

ISSN 2410-1281

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ ІНСТИТУТУ  
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР  
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Випуск 30**

**КИЇВ – 2022**

УДК 633.63:631.52

**Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків :**  
зб. наук. праць / Ін-т біоенергет. культур і цукр. буряків, Нац. акад. аграр. наук  
України. Київ, 2022. Вип. 30. 119 с. ISSN 2410-1281.

У збірнику висвітлено результати наукових досліджень, проведених ученими науково-дослідних та навчальних установ аграрного профілю України та країн ближнього зарубіжжя, з актуальних питань новітніх технологій вирощування, переробляння та зберігання продукції рослинництва, а також пов'язаних із ними галузей сільськогосподарського виробництва.

Для наукових працівників, викладачів, аспірантів та студентів ВНЗ аграрного профілю, спеціалістів сільського господарства.

*Збірник заснований у 1998 році.*

*До 2012 р. видання виходило під назвою «Наукові праці Інституту цукрових буряків»*

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**М. В. Роїк** (*головний редактор*), **О. І. Присяжнюк** (*відповідальний секретар*),  
**М. Я. Гументик**, **В. А. Доронін**, **W. Elbersen**, **В. М. Квак**, **D. Lazdiņa**,  
**В. М. Сінченко**, **Л. І. Сторожик**, **Я. Д. Фучило**

**Адреса редакційної колегії:**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН,  
вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, тел. (044) 275-50-00  
e-mail: naukovi\_praci\_ibkcb@ukr.net

**Сайт збірника: <http://np.bio.gov.ua>**

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН  
(протокол № 18 від 15.12.2022)

*Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України  
наказ МОН України № 157 від 09.02.2021 (с.-г. науки)  
Спеціальності: 201 – Агронія, 202 – Захист і карантин рослин*

Свідоцтво про державну реєстрацію серія КВ № 12270-9070ПР від 13.07.2012,  
видане Державною реєстраційною службою України

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 2022

ISSN 2410-1281

**NATIONAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF BIOENERGY CROPS AND SUGAR BEET**

**SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE  
OF BIOENERGY CROPS  
AND SUGAR BEET**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS**

**Issue 30**

**KYIV – 2022**

## З М І С Т

### СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

#### *Öztürk İ.*

Оцінка впливу навколишнього середовища на елементи врожайності у генотипів ячменю (*Hordeum vulgare* L.) в умовах зрошення ..... 6

#### *Роїк М. В., Балагура О. В., Ковальчук Н. С., Зінченко О. А., Власюк В. І., Федорощак Л. Г.*

Насіннева продуктивність алоплазматичних ліній на основі стерильних цитоплазм *Beta patula* і *B. maritima* за апозиготичного способу репродукції насіння ..... 14

#### *Дрига В. В., Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Доронін В. В., Орлов С. Д.*

Вплив умов зберігання насіння проса прутоподібного на його якість залежно від маси 1000 насінин ..... 26

### РОСЛИННИЦТВО

#### *Каленська С. М., Говенько Р. В.*

Продуктивність кукурудзи залежно від забезпечення тепловими одиницями та живлення різними видами азотних добрив ..... 33

#### *Новицька Н. В., Пономаренко О. В.*

Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобержного Лісостепу України ..... 43

#### *Присяжнюк О. І., Гончарук О. М.*

Особливості формування продуктивності та якості біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки ..... 53

#### *Присяжнюк О. І., Мусіч В. В.*

Формування біометричних показників посівів проса прутоподібного за вирощування на кислих ґрунтах ..... 61

#### *Присяжнюк О. І., Пенькова С. В.*

Вплив азотного удобрення та позакореневого підживлення на продуктивність та енергетичну ефективність плантацій міскантусу гігантського ..... 70

#### *Присяжнюк О. І., Шульга С. С.*

Формування продуктивності та технологічної якості буряків цукрових в умовах континентального клімату ..... 79

#### *Фучило Я. Д., Бордусь О. О.*

Вирощування однорічних живцевих саджанців тополі за різних строків садіння та способів нарізання живців ..... 96

#### *Царук І. В., Рахметов Д. Б.*

Екологічна пластичність та стабільність продуктивності озимих капустяних культур під впливом елементів технології вирощування ..... 105

### ПЕРЕРОБКА ТА ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

#### *Любич В. В., Кононенко Л. М., Полторецька Н. М., Войтовська В. В.*

Азотовмісний складник та жирнокислотний склад насіння різних сортів амаранту ... 112

# CONTENTS

## PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

### **Öztürk İ.**

Assessment of environment effect on yield component in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under rainfed conditions ..... 6

### **Roik M. V., Balahura O. V., Kovalchuk N. S., Zinchenko O. A., Vlasiuk V. I., Fedoroshchak L. S.**

Seed productivity of alloplasmic lines of *Beta patula* and *B. maritima* with sterile cytoplasm under the conditions of apozygotic reproduction ..... 14

### **Dryha V. V., Doronin V. A., Kravchenko Yu. A., Doronin V. V., Orlov S. D.**

The effect of the storage conditions on the quality of switchgrass seeds of different 1000-kernel weight ..... 26

## CROP PRODUCTION

### **Kalenska S. M., Hovenko R. V.**

Productivity of corn as affected by the accumulation of heat units and different nitrogen fertilizers ..... 33

### **Novytska N. V., Ponomarenko O. V.**

Photosynthetic parameters of winter pea sowings under the effect of nitrogen fertilization and seed inoculation in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine ..... 43

### **Prysiazhniuk O. I., Honcharuk O. M.**

Peculiarities of the biomass yield and quality formation in giant miscanthus under the effect of agricultural technology components ..... 53

### **Prysiazhniuk O. I., Musich V. V.**

Formation of biometric parameters of switchgrass on acid soils ..... 61

### **Prysiazhniuk O. I., Penkova S. V.**

The effect of nitrogen fertilization and foliar application of fertilizers on yield and energy efficiency of giant miscanthus plantations ..... 70

### **Prysiazhniuk O. I., Shulha S. S.**

Productivity formation and processability of sugar beet in the conditions of continental climate ..... 79

### **Fuchylo Ya. D., Bordus O. O.**

Cultivation of one-year poplar plants rooted in autumn and spring with the use of different methods of cutting planting material ..... 96

### **Tsaruk I. V., Rakhmetov D. B.**

Peculiarities of the biometric indicator formation in winter cabbage crops for different methods of sowing ..... 105

## CROP PROCESSING AND STORAGE

### **Liubych V. V., Kononenko L. M., Poltoretska N. M., Voitovska V. I.**

Nitrogen compounds and fatty acid composition in seeds of amaranth varieties ..... 112

# СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268939>

## Assessment of environment effect on yield component in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under rainfed conditions

İ. Öztürk

*Trakia Agricultural Research Institute, Edirne, Turkey, e-mail: ozturkirfan62@yahoo.com*

**Purpose.** This research was carried out to assess barley genotypes yield and quality parameters under various environmental conditions. **Methods.** The experiments were set up with 25 barley genotypes in a completely randomized blocks design with four replications at four locations in the 2018–2019 cycles in the Trakia region, Turkey. Data on grain yield, plant height, days of heading, 1000-kernel weight, test weight, protein ratio and grain uniformity were investigated. **Results.** The combined ANOVA revealed significant differences ( $p < 0.01$ ) among genotypes and environments for all parameters investigated. In the study genotype G4 (8514 kg ha<sup>-1</sup>) had a higher yield followed by G9 (8369 kg ha<sup>-1</sup>). The highest thousand kernel weight was 52.0 g in G14 and the test weight was 75.1 kg in G5. There was a significant difference among genotypes for protein ratio and genotype G22 had a higher protein ratio, followed by G23 and G24. The grain uniformity in barley is an essential parameter and G14 had a higher ratio of grain uniformity. Correlation analyses showed that a negative correlation was determined between grain yield with days of heading ( $r = -0.506^{**}$ ), plant height ( $r = -0.583^{**}$ ), and protein ratio ( $r = -0.542^{**}$ ). 1000-kernel weight and test weight were significantly positively correlated ( $r = 0.708^{**}$ ). Grain uniformity had a positive correlation with 1000-kernel weight ( $r = 0.898^{**}$ ) and test weight ( $r = 0.539^{**}$ ). Protein ratio was positively associated with plant height ( $r = 0.692^{**}$ ). According to stability analysis genotypes G9, G3, G15, G2, and G17 were adaptable to less fertile environmental conditions. It was determined that G10 and G16 were well adaptable to all environmental conditions and also were ideal in terms of higher-yielding ability and stability. **Conclusions.** While genotype G9 has high yield potential, G10 and G16 have high adaptability to different environmental conditions. The environmental effect was found to be very important according to the parameters examined. Early and short genotypes have higher yield potential. Environment E4 was the ideal environment because located close to the first concentric circle in the environment-focused biplot. Therefore, it should be regarded as the most suitable to select widely adapted barley genotypes.

**Keywords:** *barley; genotypes; yield component; environment effect; G×E interaction.*

### Introduction

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the primary cereal in many areas of the Trakya region and is essential for the livelihoods of many farmers. Barley is an annual cereal crop grown in environments ranging the many areas. Because of various environmental conditions during the growing season (October-June), in weather conditions, some biotic and abiotic stress factors could reduce grain yield [1]. Barley is one of the more important cultivated crops in the Mediterranean region, where drought and high temperatures during the grain filling stage are the main abiotic stresses limiting its production [2]. Climate change presents geographically varied risks to barley production. Due to the large proportion of barley used for animal feed, it is not surprising that the

effect of future shocks to supply has been assessed mainly from food security or feed use perspective [3]. Improving crop yields is essential to meet the increasing pressure of global food demands. The loss of high-quality land, the slowing in annual yield increases of major cereals, increasing fertilizer use, and the effect of this on the environment indicate that we need to develop new strategies an increase grain yields with less impact on the environment. One strategy that could help address this concern is by narrowing the yield gaps of major crops using improved genetics and management [4, 5]. Grain yield in barley is a complex character depending on a large number of environmental, agronomic and physiological characteristics. Grain yields also depend upon other yield components [6]. Genotype  $\times$  trait biplot analysis is highlighted among the multivariate methodologies because it assesses genotypes based on multiple traits and identifies those that are superior to the desired variables; these can be used as parents in breeding programs or even as possible commercial cultivars. A quick and practical visualization of the genetic correlation between traits is also provided by this analysis [7]. The long-term value of a genotype depends not only on its absolute productivity or the possession of some other desirable traits but also on its ability to maintain sufficient levels of these traits under different environmental conditions. Experiments that include testing cultivars for several years under a range of locations (or treatments) require analysis of genotype-environment interaction (GE) in addition to the analysis of means [8]. GGE biplot analysis has been widely used to determine performance stability in multilocation trials when identifying superior genotypes [9, 10].  $G \times E$  interactions are of major importance, because they provide information about the effect of different environments on cultivar performance and have a key role for assessment of performance stability of the breeding materials [11]. Barley grain is used primarily as an energy and protein source for animal feed. The high protein content is desirable for feed production. Variations in weather conditions, environmental effects, soil fertility and pest management can affect barley grain quality significantly [12].

*The aim of the study.* It was to investigate and compares yield quality and physiological parameters under various rainfed environment conditions by using four experiments and advanced genotypes.

### Material and methods

The experiments were set up in 2018–2019 growing cycles at four locations in the Trakya region, Turkey. The research was carried out on a total of 25 barley genotypes. A randomized complete block design (RCBD) with four replications was used. Each plot had 6 meters long, in 6 rows, spaced 0.17 meters apart. Sowings were performed by using a plot drill and a seed rate of 500 seeds  $m^2$  and fertilizer 170 kg  $ha^{-1}$  N and 40 kg  $ha^{-1}$   $P_2O_5$  was used.

Data on; grain yield (kg  $ha^{-1}$ ), plant height (cm), days of heading, 1000-kernel weight (g), test weight (kg), protein ratio (%), and grain uniformity (%) were investigated. The parameter days to heading (DH) was estimated from 1<sup>st</sup> January to the moment when 50% of main stems in a plot had at least half of emerged ears. The parameter plant height of ten randomly taken plants was measured at harvest maturity from the ground level to the tip of the tallest spike in centimeters and averaged. Thousand kernel weights and test weight [13], protein ratio [14, 15] were investigated.

The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) according to the statistical methods [16] and mean performance and LSD of all genotypes were calculated for the comparison of means [17]. The differences between genotype means of parameters were tested by the L.S.D test (0.05). Letter groupings were generated by using a 5% level of significance. The regression equations were also calculated [18, 19]. Regression graphs were used to predict the adaptability of genotypes and the correlations between the quality parameters were determined by Pearson's correlation analysis.

### Results and discussion

The results of the variance analysis (ANOVA) of the research are presented in Table 2. The combined ANOVA revealed significant differences ( $P < 0.01$ ) among genotypes for all parameters investigated, and significant differences ( $P < 0.01$ ) for all traits among environments (Table 1).

Table 1

**Combined analysis of variance for barley genotypes across four environments  
for parameters**

Parameters	Genotypes			Environments		
	SS	MS	F Ratio	SS	MS	F Ratio
Grain yield (GY)	735541.0	30647.5	6.05**	3217541.0	1072514.0	50.46**
Days of heading (DH)	982.86	40.95	8.30**	3116.20	1038.73	210.49**
Plant height (PH)	5066.94	211.12	5.01**	5064.35	1688.12	40.02**
1000-kernel weight (TKW)	3460.11	144.17	26.90**	666.39	222.13	41.45**
Test weight (TW)	629.33	26.22	9.52**	75.36	25.12	9.12**
Protein ratio (PRT)	39.90	1.66	3.29**	50.69	16.90	33.47**
Grain uniformity (GU)	23406.10	975.25	10.30**	2464.31	821.44	8.68**

\*, \*\* Significant at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$  respectively. ns: non-significant. SS: Sum of square, MS: Mean of square.

Due to various environmental conditions, grain yield is a complex character depending on a large number of environmental, agronomic and physiological characteristics [6]. There was a significant difference among genotypes for yield across four environments. In the study genotype G4 (8514 kg ha<sup>-1</sup>) had a higher yield followed by G9 (8369 kg ha<sup>-1</sup>). There was a highly significant difference ( $p < 0.01$ ) in the thousand kernel weights of barley genotypes. The highest thousand kernel weight was 52.0 g (G14) and the lowest was 29.0 g (G10) across four environments. The mean test weight of genotypes indicated that the highest test weight was 75.1 kg in G5, whereas, the lowest test weight was observed in G17 (64.7 kg). There was a significant difference among genotypes for protein ratio. The maximum and lowest protein ratio varied from 12.4% to 10.0%. Genotype G22 had a higher protein ratio, followed by G23 and G24. The grain uniformity in barley is an essential parameter and the uniformity of grain depends to a large extent on the structure of the genotype of the spikes. There was a highly significant difference among genotypes for grain uniformity and the minimum was 49.85% and a maximum of 96.0%. Genotypes G14 had a higher ratio of grain uniformity (Table 2). Earliness is a favourable character in barley production areas, especially for second crop cultivation in the same growing year. In the study, the earliest heading was in G3 and the latest was in G11. Stem length and solidness are the most essential selection criteria in barley breeding study, being a direct component of lodging resistance. In the study, the lowest and highest plant height varied from 95.0 cm to 122.3 cm over four environments. The mean plant height was 106.9 cm (Table 2).

Table 2

**Mean grain yield and parameters investigated across four environments  
in 2018–2019 cycles**

Genotype	GY	DH	PH	TKW	TW	PRT	GU
1	2	3	4	5	6	7	8
G1	7605d-g	109.0c-f	105.0e-1	46.5b-e	72.5bcd	11.6a-d	90.1abc
G2	8128abc	106.5e-1	96.5ij	48.3bc	72.8abc	10.3fgh	89.4abc
G3	8208abc	106.0f-1	95.0j	48.7b	73.3abc	10.0h	88.9abc
G4	8514a	106.8e-1	97.8hij	45.0def	71.5cde	10.7c-h	86.3a-d
G5	7817cde	105.5ghi	110.0c-f	44.1ef	75.1a	11.3b-f	85.3a-d
G6	8118abc	108.5c-g	103.3f-j	46.7b-e	72.9abc	10.6e-h	87.3a-d
G7	8203abc	108.5c-g	104.5e-1	36.5gh	69.6efg	10.6d-h	58.4ghi
G8	7764c-f	103.8i	107.0d-g	42.3f	72.2bcd	10.6d-h	67.3efg
G9	8369ab	107.0d-h	103.3f-j	45.1c-f	71.8b-e	10.2gh	81.9bcd
G10	8043a-d	105.5ghi	98.0g-j	29.0i	70.2def	10.3fgh	34.0j



## СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

<i>Continuation of the Table 2</i>							
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8
G11	7148gh	118.5a	102.8f-j	47.8bcd	74.0ab	10.9c-h	84.5a-d
G12	8015bcd	110.8c	97.3hij	38.1g	70.4def	11.1c-g	63.2f-i
G13	7417e-h	106.3f-i	109.8c-f	45.9b-e	73.8abc	11.5a-e	90.3abc
G14	7379e-h	105.3hi	109.0def	52.0a	72.7bc	11.7abc	96.0a
G15	8169abc	105.5ghi	111.3c-f	44.1ef	72.1bcd	11.1c-g	79.1cde
G16	8089a-d	106.8e-i	112.8b-e	38.5g	67.3gh	11.5a-e	85.6a-d
G17	8041a-d	110.0cd	106.3d-h	30.7i	64.7i	11.4a-e	49.8i
G18	7025h	109.5cde	118.3abc	43.9ef	67.7gh	10.7c-h	79.2b-e
G19	7287fgh	109.5cde	105.5d-i	37.2gh	69.1fgh	10.8c-h	63.7fgh
G20	7771c-f	108.3c-h	114.5a-d	44.9def	72.0bcd	11.4b-e	88.5a-d
G21	7188gh	110.3c	104.8e-i	34.4h	68.3fgh	11.4b-e	52.0hi
G22	7481e-h	114.0b	110.3c-f	34.0h	68.9fgh	12.4a	74.8def
G23	7380e-h	111.3bc	120.8ab	38.3g	67.2h	12.2ab	74.9def
G24	7040h	111.3bc	122.3a	48.1bcd	70.3def	12.2ab	92.9ab
G25	7774c-f	106.5e-i	107.3def	42.1f	73.0abc	11.4b-e	74.9def
Mean	7759	108.4	106.9	42.1	70.9	11.1	76.7
CV (%)	49.3	2.04	6.07	5.5	2.34	6.39	12.6
LSD (0.05)	9.2	3.12	9.13	3.26	2.33	1	13.69

GY: Grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), DH: days of heading, PH: Plant height (cm), TKW: 1000-kernel weight (g), TW: Test weight (kg), PRT: Protein ratio (%), GU: Grain uniformity (%).

Correlation coefficients were determined by Pearson's correlation analysis and given in Table 3. Correlation analyses showed that a negative correlation was determined between grain yield with days of heading ( $r = -0.506^{**}$ ), plant height ( $r = -0.583^{**}$ ), and protein ratio ( $r = -0.542^{**}$ ). There was no correlation between grain yield and 1000-kernel weight. The results revealed that test weight was negatively slightly correlated with days of heading and plant height. 1000-kernel weight and test weight was significantly positively correlated ( $r = 0.708^{**}$ ). Grain uniformity had a positive correlation with 1000-kernel weight ( $r = 0.898^{**}$ ) and test weight ( $r = 0.539^{**}$ ). Protein ratio was positively associated with plant height ( $r = 0.692^{**}$ ).

Table 3

## Correlation coefficients among yield and other parameters in 2018–2019

Parameters	GY	DH	PH	TKW	TW	PRT
DH	-0.506**					
PH	-0.583**	0.165				
TKW	-0.067	-0.150	0.047			
TW	0.138	-0.276	-0.313	0.708**		
PRT	-0.542**	0.370	0.692**	-0.108	-0.280	
GU	-0.081	-0.049	0.244	0.898**	0.539**	0.174

Significance at \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; GY: Grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), DH: days of heading, PH: Plant height (cm), TKW: 1000-kernel weight (g), TW: Test weight (kg), PRT: Protein ratio (%), GU: Grain uniformity.

Genotype environment interaction is the main issue in improving high-yielding and stable genotypes across variable environments. Several methods of measuring the stability of genotypes tested across a range of environments have been proposed. Genotypes with high average yield ( $\bar{x}$ ), regression coefficient ( $b$ ) equal to one, mean of squares leaving the regression ( $S^2_d$ ) close to zero, high coefficient of determination ( $R^2$ ), positive coefficient of determination ( $a$ ) and high are considered as stable genotypes. The stability parameters of the genotypes are presented in Table 3. Genotypes G4, G9 and G3 had higher yield potential across four environments. Genotypes G12 was

very stable due to the highest determinations coefficient ( $R^2$ ). In the study, the regression coefficients (b) values varied between 0.60 (G17) and 1.57 (G18) among genotypes. The variation in the b value showed a wide range of stability in genotypes. Genotypes G11, G21, G14 and G25 had optimum b values. Across four locations, a total of 11 genotypes had the highest positive intercept values (a). This result showed that genotypes G9, G3, G15, G2, and G17 were well adaptable to less fertile environmental conditions. It was determined that G10 and G16 were well adaptable to all environmental conditions and also were ideal in terms of higher-yielding ability and stability. In the study, the lowest standard deviation was determined in G23 and G17 according to grain yield in barley genotypes (Table 4).

Table 4

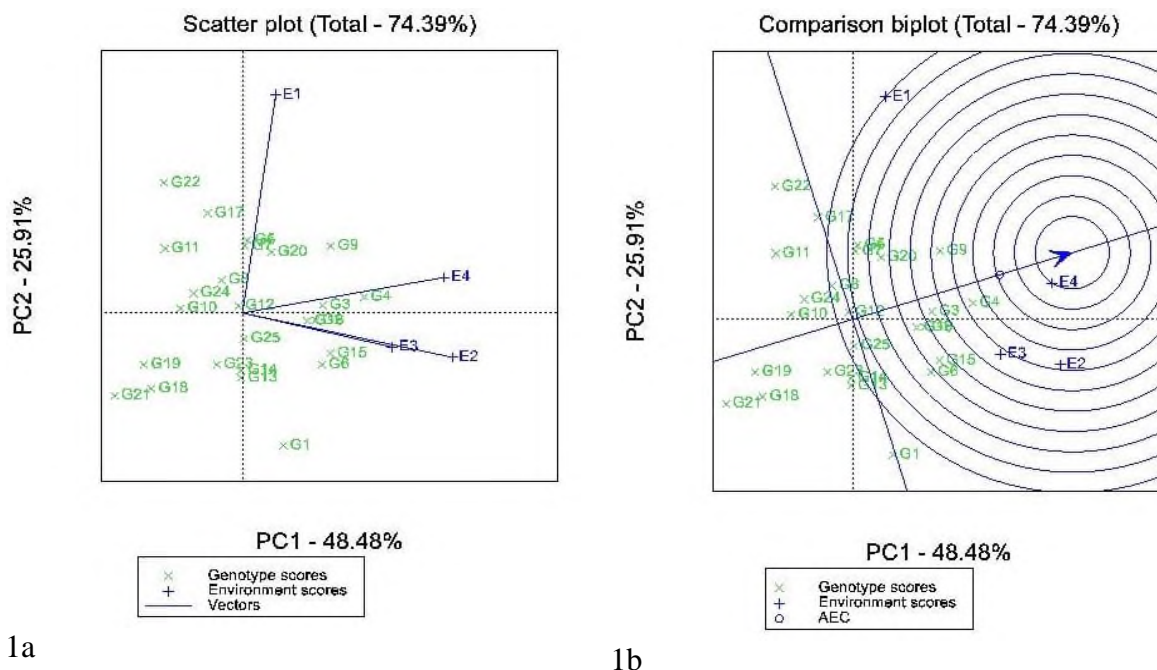
**The stability parameters and standard deviation of the barley genotypes across four environments**

No	Genotype	X	$R^2$	b	$S^2d$	a
1	G1	7605 ± 102.9	0.66	0.81	453.6	135.41
2	G2	8128 ± 99.3	0.75	0.83	307.3	168.13
3	G3	8208 ± 101.5	0.61	0.77	497.7	225.16
4	G4	8514 ± 89.6	0.92	0.83	81.1	208.11
5	G5	7817 ± 141.7	0.90	1.30	244.6	-226.46
6	G6	8118 ± 137.5	0.82	1.20	429.6	-120.37
7	G7	8203 ± 156.8	0.88	1.42	361.6	-282.84
8	G8	7764 ± 87.1	0.89	0.79	105.9	161.36
9	G9	8369 ± 87.6	0.82	0.77	169.8	241.88
10	G10	8043 ± 103.2	0.96	0.97	57.8	48.21
11	G11	7148 ± 141.7	0.86	1.27	346.4	-271.18
12	G12	8015 ± 121.3	0.99	1.16	22.1	-101.83
13	G13	7417 ± 89.9	0.81	0.78	190.1	134.69
14	G14	7379 ± 113.7	0.96	1.07	71.7	-95.12
15	G15	8169 ± 97.6	0.84	0.87	185.3	145.03
16	G16	8089 ± 94.3	0.98	0.90	26.7	111.26
17	G17	8042 ± 77.5	0.64	0.60	271.4	339.48
18	G18	7025 ± 167.9	0.94	1.57	201.3	-518.79
19	G19	7287 ± 123.2	0.96	1.16	81.8	-174.52
20	G20	7771 ± 100.6	0.90	0.92	130.4	63.36
21	G21	7188 ± 101.6	0.98	0.97	31.2	-33.18
22	G22	7481 ± 175.3	0.72	1.43	1094.8	-362.56
23	G23	7380 ± 74.8	0.79	0.64	147.9	240.69
24	G24	7040 ± 98.0	0.87	0.88	155.8	19.03
25	G25	7774 ± 113.2	0.96	1.07	59.6	-54.97

X: mean yield,  $R^2$ : coefficient of determinations,  $S^2d$ : Deviation from regression, a: intercept value, b: regression coefficient

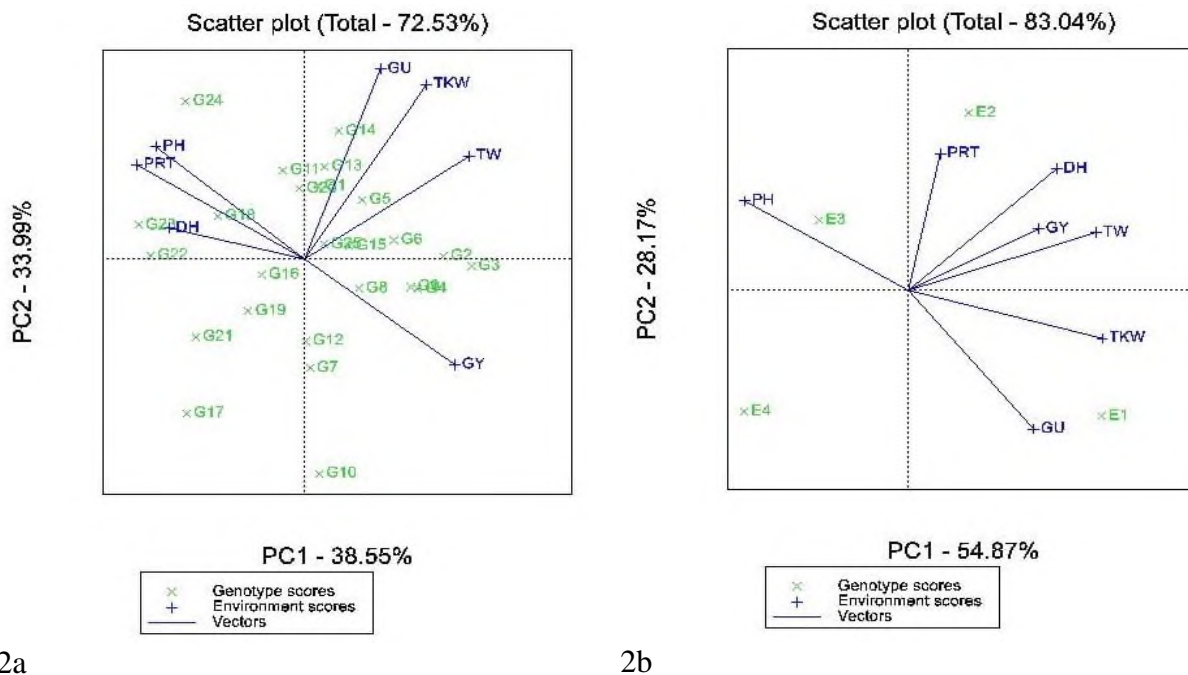
The genotype and environment interaction varieties were evaluated according to GGE biplot analysis across 4 environmental conditions. Obtained GGE biplot analysis results are explained below. About the discriminating power of environments can be obtained by the environment-vector view of the GGE-biplot. A long environmental vector reflects a high capacity to discriminate the genotypes. Furthermore, the cosine of an angle between vectors of two environments approximates the correlation between them. A wide obtuse angle indicates a strong negative correlation, an acute angle indicates a positive correlation while a close-to-90° angle indicates a lack of correlation [7, 20]. With the longest vectors from the origin, environments E1 were the most discriminating while E3 was the least discriminating. While there was a very high positive correlation between E3 and E2, these two locations were also positively correlated (Fig. 1a).

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО



**Fig. 1. GGE biplot for the evaluation of the relationships among the four environments (1a), and GGE biplot with scaling focused on environments, for the evaluation based on the ideal environment of genotypes across four environments (1b)**

The ideal environment is representative and has the highest discriminating power [7]. Similarly to the ideal genotype, the ideal environment is located in the first concentric circle in the environment-focused biplot, and desirable environments are close to the ideal environment. In the study, Environment E4 was the ideal environment. Therefore, it should be regarded as the most suitable to select widely adapted genotypes (1b).



**Fig. 2. The GGE biplot to show which genotypes performed best in which environments and a genotype by trait biplot represent genotypes measured for parameters (2b) and the relationship among test environments and genotypes based on parameters investigated (2b)**

The angle between the vector of any genotype and any trait gives information about the state of the genotypes. According to this description, plant height was positively correlated with protein ratio and days of heading. Grain yield was negatively correlated with PH, DH and protein ratio. Among other parameters, there was a positively highly correlation between grain uniformity and 1000-kernel weight (Figure 2a). With the longest vectors from the origin, traits GU, TKW, DH, TW and PH were the most discriminating. PRT was moderately discriminating, while GY was least discriminating. Considering the angles between parameter vectors, parameter results in GY and TW were strongly correlated, similarly to those obtained in grain yield and days of heading.

### Conclusions

The environment affected the characters examined in the study at different rates. In the study, there were significant differences among genotypes and environments for all parameters investigated. Genotypes G4 and G9 had a higher yield. The highest thousand kernel weight was in G14 and the test weight was in G5. There was a significant difference among genotypes for protein ratio and genotype G22 had a higher protein ratio, followed by G23 and G24. The grain uniformity in barley is an essential parameter and G14 had a higher ratio of grain uniformity. Correlation analyses showed that a negative correlation was determined between grain yield with days of heading, plant height, and protein ratio. 1000-kernel weight and test weight were significantly positively correlated. Grain uniformity had a positive correlation with 1000-kernel weight and test weight. The protein ratio was positively associated with plant height. According to stability analysis genotypes G9, G3, G15, G2, and G17 were adaptable to less fertile environmental conditions. It was determined that G10 and G16 were well adaptable to all environmental conditions and also were ideal in terms of higher-yielding ability and stability. While genotype G9 has high yield potential, G10 and G16 have high adaptability to different environmental conditions. The environmental effect was found to be very important according to the parameters examined. Early and short genotypes have higher yield potential. Environment E4 was the ideal environment because located close to the first concentric circle in the environment-focused biplot. Therefore, it should be regarded as the most suitable to select widely adapted barley genotypes.

### References

1. Öztürk, İ. (2019). Comparison of the Two and Six-Rowed Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes Based on Yield and Agronomic Characters. *Agriculture & Food*, 7(1), 75–85.
2. Bendada, H., Guendouz, A., Benniou, R., & Louahdi, N. (2021). The Effect of Spike Row Type on the Grain Yield and Grain Filling Parameters in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes under Semi-arid Conditions. *Agricultural Science Digest – A Research Journal*, 1–4. doi: 10.18805/ag.D-311
3. Yawson, D. O., Mulholland, B. J., Ball, T., Michael, O. A., Mohan, S., & White, P. J. (2018). Effect of climate and agricultural land use changes on UK feed barley production and food security to the 2050s. *Land*, 6(4), 74. doi: 10.3390/land6040074
4. Chapagain, T., & Good, A. (2015). Yield and Production Gaps in Rainfed Wheat, Barley, and Canola in Alberta. *Frontiers in Plant Science*, 6, 990. doi: 10.3389/fpls.2015.00990
5. Patrignani, P., Lollato, R. P., Ochsner, T. E., Godsey, C. B., & Edwards, J. T. (2014). Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the Southern Grain Plains. *Agronomy Journal*, 106(4), 1329–1339. doi: 10.2166/wst.2013.305
6. Öztürk, İ., Avci, R., Girgin, V. C., Kahraman, T., Şili, Ş., Kiliç, T. H., Vulchev, D., Valcheva, D., & Gocheva, M. (2018). Effect of Biomass at Different Growth Stages on Yield and Agronomic Characters in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars. *Agriculture & Food*, 6, 15–25.
7. Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623–645. doi: 10.4141/P05-169
8. Kang, M. S. (1993). Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85(3), 754–757. doi: 10.2134/agronj1993.00021962008500030042x



9. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643–655. doi: 10.2135/cropsci2006.06.0374
10. Sharma, R. C., Morgounov, A. I., Braun, H. J., Akin, B., Keser, M., Bedoshvili, D., Bagci, A., Martius, C., & van Ginkel, M. (2010). Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in Central and West Asia. *Euphytica*, 171, 53–64. doi: 10.1007/s10681-009-9992-6
11. Moldovan, V., Moldovan, M., & Kadar, R. (2000). Phenotypic stability for yield in chickpea. *Pakistan of Science Research*, 30, 455–465.
12. Öztürk, İ., Çiftçigil, T. H., Avcı, R., Kahraman, T., Girgin, V. C., Seidi, M., ... Tuna, B. (2017). Effect of the Location on Some Biotic Stress and Agronomic Characters in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes. *Agriculture & Food*, 5, 562–570.
13. Blakeney, A. B., Cracknell, R. L., Crosbie, G. B., Jefferies, S. P., Miskelly, D. M., O'Brien, L., ... Williams, R. M. (2009). Understanding Wheat Quality. P. 8. GRDC, Kingston, Australia.
14. Anonymous. (2002). International Association for Cereal Sci. and Technology. (ICC Standart No: 110, Standart No: 105, Standart No: 106, Standart No: 155, Standart No: 116, Standart No: 115).
15. Anonymous. (1990). AACC Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist. USA.
16. Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: John Wiley and Sons.
17. Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. New York: McGraw-Hill Book Company.
18. Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The Analysis of Adaptation in a Plant Breeding Programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6), 742–754. doi: 10.1071/AR9630742
19. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
20. Yan, W., & Rajcan, I. R. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 42(1), 11–20. doi: 10.2135/cropsci2002.1100

**Öztürk İ.** Оцінка впливу навколишнього середовища на елементи врожайності у генотипів ячменю (*Hordeum vulgare* L.) в умовах зрошення. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. Вип. 30. С. 6–14.

Дослідний інститут сільського господарства Тракії, Едірне, Туреччина,  
e-mail: ozturkirfan62@yahoo.com

**Мета.** Оцінка показників урожайності та якості генотипів ячменю за різних умов навколишнього середовища. **Методи.** У дослідженні було використано 25 генотипів ячменю. Схема експерименту – повністю рандомізовані блоки з чотирма повторами у чотирьох місцях у регіоні Тракія (Туреччина) впродовж 2018–2019 рр. Визначали врожайність зерна, висоту рослин, дату колосіння, масу 1000 зерен, насипну вагу, вміст білка й вирівняність зерна. **Результати.** За допомогою комбінованого методу ANOVA було виявлено значні відмінності ( $p < 0,01$ ) усіх досліджуваних показників між генотипами й середовищами. Генотип G4 (8514 кг/га) мав вищу врожайність, за ним був G9 (8369 кг/га). Найвищий показник маси 1000 зерен мав G14 – 52,0 г, а найвищу насипну вагу G5 – 75,1 кг. Генотипи значно відрізнялися за вмістом білка: генотип G22 мав найвищий вміст білка, за ним слідували G23 і G24. Однорідність зерна ячменю є важливим параметром, і генотип G14 мав вищий коефіцієнт однорідності зерна. Кореляційний аналіз виявив негативну кореляцію між урожайністю зерна й датою колосіння ( $r = -0,506^{**}$ ), висотою рослин ( $r = -0,583^{**}$ ) і вмістом білка ( $r = -0,542^{**}$ ). Маса 1000 зерен і насипна вага корелювали істотно позитивно ( $r = 0,708^{**}$ ). Однорідність зерна мала позитивну кореляцію з масою 1000 зерен ( $r = 0,898^{**}$ ).

і насипною вагою ( $r = 0,539^{**}$ ). Вміст білка позитивно корелював із висотою рослин ( $r = 0,692^{**}$ ). За результатами аналізу стабільності генотипи G9, G3, G15, G2 і G17 виявилися адаптованими до менш сприятливих умов середовища. Було визначено, що G10 і G16 добре адаптуються до будь-яких умов навколишнього середовища, а також є ідеальними з точки зору високої врожайності та стабільності. **Висновки.** Генотип G9 має високий потенціал урожайності, а G10 і G16 мають високу адаптивну здатність до різних умов середовища. Вплив навколишнього середовища на досліджувані показники виявився значним. Вищий потенціал урожайності мають ранні й низькорослі генотипи. Середовище E4 виявилось ідеальним, оскільки воно було розташоване близько до першого концентричного кола парних ділянок середовищ, тому його слід розглядати як найбільш придатне для відбору генотипів ячменю з широкою адаптивною здатністю.

**Ключові слова:** ячмінь; генотипи; складова врожайності; вплив середовища;  $G \times E$  взаємодія.

Надійшла / Received 02.09.2022

Погоджено до друку / Accepted 19.09.2022

УДК 633.63:631.52

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268940>

## Насіннева продуктивність алоплазматичних ліній на основі стерильних цитоплазм *Beta patula* і *B. maritima* за апозиготичного способу репродукції насіння

Роїк М. В., Балагура О. В., Ковальчук Н. С. \*,  
Зінченко О. А., Власюк В. І, Федорошак Л. Г.

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, \*e-mail:natalakovalcuk461@gmail.com

**Мета.** Вивчити вплив цитоплазматичного геному заміщених ліній з новою плазмою від диких видів *Beta patula* і *B. maritima* і апозиготичних ліній А4–А8 з *S vulgaris* цитоплазмою Оуена на основні чинники апозиготичної репродукції насіння, насінневу продуктивність, схожість роздільноквітковість, стерильність залежно від генетичного походження матеріалу. **Методи.** Дослідження проведено з використанням польових, лабораторних, статистичних методів в лабораторії цитогенетики ІБКіЦБ, лабораторії апоміксису і поліплоїдії Ялтушківської ДСС, лабораторії адаптивної селекції Веселоподільської ДСС. Отримане апозиготичне насіння в умовах безпилкового режиму за методикою ІБКіЦБ з використанням просторової ізоляції і пергаментних ізоляторів. Під час цвітіння насінників у кожній рослині визначали її фенотип за стерильністю пилку та роздільноквітковістю. Класифікацію рослин проводили за Оуеном (1945), ідентифікуючи рослини чс-0 типу, чс-1 типу, чс-2 типу. Роздільноквітковість насінників оцінювали візуально за наявністю роздільноплідних плодів на центральних пагонах. У 2021 р. коренеплоди заміщених ліній Веселоподільської ДСС посаджені в умовах безпилкового режиму на дослідному полі ІБКіЦБ. Досліджена насіннева продуктивність при апозиготії, враховуючи кількість зав'язаних плодів на відрізьку 10 см при 5 повторях для кожного насінника. Схожість визначалась на 10-ту добу, енергія проростання – на 5-ту добу. **Результати.** Нові джерела цитоплазматичної чоловічої стерильності (ЦЧС) виділені в лабораторії цитогенетики на основі генетичної моделі аналізуючого схрещування, з використанням диференціації і добору за маркерними зчепленими генами забарвлення гіпокотелю  $R+r-$ , однолітнього і дволітнього циклу розвитку  $B+b-$ . Аналізаторами природи стерильності використані закріплювачі стерильності цукрових буряків, домінантні гомозиготи за рецесивними генами антоціанового забарвлення,

циклу розвитку, роздільноплідності і стерильності (*Beta vulgaris Sxxzz rr bb*). Роздільноплідні пилкостерильні лінії з апоміктичним способом репродукції насіння, походження ЯДСС (*A4–A8 Beta vulgaris Sxxzz rr*), відібрані за домінантним червоним забарвленням гіпокотелю  $R+r-$ , стабілізовані, за роздільноплідністю, стерильністю 100 %, рівнем плоідності геному  $2x$ , характеризуються низькою насінневою продуктивністю. На фоні стерильної цитоплазми *Beta maritima* походження із Туреччини спостерігались високі показники розвитку апозиготичного насіння, що змінювалися від 80 % до 96,4 % від кількості закладених квіток. У лінії *BC4S patula* кількість зав'язаного апозиготичного насіння мала значення від  $34 \pm 0,3$  до  $39 \pm 0,42$  шт., а показники дегенерованих квіток при апозиготії характеризувалися показниками від 31,2 до 54,3 %. Виділені насінні рослини з високою саморепродукцією насіння, такі як *BC4S maritima* (Туреччина), к.2/1 к.6/2 к.6/3 і на фоні нової плазми *Beta patula* к.3/4, к.9/4. Феномен високої саморепродукції насіння до 98,5–96,4 % закладених квіток виявлено у лінії 21-011 ЧС *BC5S patula* на рівні гібридів із закріплювачами стерильності цукрових буряків 97,5–93,1 %, що визначається особливою взаємодією ядерного геному буряків цукрових і нової плазми диких видів роду *Beta L.* **Висновки.** Апоміктичний спосіб забезпечить скорочення схеми селекції цукрових буряків завдяки високій апозиготичній репродукції насіння материнського компонента у заміщених ліній з новою плазмою та диференціацію за гаметофітним редукованим партеногенезом з використанням морфологічних маркерних ознак.

**Ключові слова:** цукрові буряки; (ЦМС) цитоплазматична чоловіча стерильність; закріплювачі стерильності; дикі види *Beta maritima* і *B. patula*; роздільноплідність; апозиготичний спосіб репродукції насіння.

## Вступ

Вперше утворення апоміктичних зародків у цукрових буряків спостерігав М. В. Фаворський ще в 1928 р. [1]. Перші публікації про розмноження шляхом апоміксису диких видів роду *Beta L.* належать К. Вароска (1966) [2]. Малецька К. І. (2009) довела, що апоміктичне розмноження у пилкостерильних ліній цукрових буряків в умовах безпилкового режиму не є соматичним клонуванням і випадком нуцелярної ембріонії, а в основному природою зародків є гаметофітний редукований і нередукований партеногенез [3]. На таку особливість розвитку зародків при апозиготії звернена увага польської дослідниці Т. Szkutnik з використанням генетики ізоферментів [4]. Досліджено, що насіння селекційних матеріалів цукрових буряків, яке зав'язане без запилення, завдяки поліембріонії, характеризується генетичною різноякісністю і наявністю двох-трьох проростків у деяких роздільноплідних плодів [5, 6]. Ембріологічні дослідження показали їх природу, як із соматичних клітин (адвентивна ембріонія), так і генеративних клітин зародкового мішка [7, 8]. Утворення насіння в такому випадку називають насінневим клонуванням, проте теоретично такі потомства не повинні бути однорідними. Левітес та ін. [9] встановили, що поліморфізм ферментів, виявлений у таких рослин, зв'язаний з редетермінацією ферментного локуса і мінливістю експресії за структурою ізоферментів при апозиготії. З використанням ембріологічних досліджень встановлено, що залежно від способу формування зародкових мішків природа розвитку апозиготичного зародка визначається типом апоміксису: диплоспорія, апоспорія, адвентивна ембріонія, партеногенез [5, 7, 8].

При диплоспорії зародковий мішок розвивається з нередукованого мегаспороцита. У деяких мейоз може бути замінений мітозом або ж відсутній другий поділ. Цитоембріологічні дослідження показали, що в апоспорових зародкових мішках цього типу спостерігається формування партеногенетичних зародків, які розвиваються до глобулярної стадії, і подальший їх розвиток не відбувається через відсутність ендосперму [5, 9, 10]. Низька насіннева продуктивність характерна багатьом іншим видам незалежно від типів апозиготії і є одним із невирішених завдань для широкого використання нового способу репродукції насіння в селекції рослин [10, 11]. Так у більшості видів нуцелярна і інтегументальна ембріонія поєднується з генеративним партеногенезом і зародками, що потрапляють в

зародковий мішок іззовні [7, 8]. Присутність одночасно гаплоїдного зародка із редукованих клітин і адвентивного із соматичних цілком можлива [5, 7, 8]. А тому вирішення проблеми диференціації потомств за типом апозиготії, соматичним і генеративним редукованим апоміксисом у матеріалів з ЦМС та прийоми стабілізації рівня плоїдності геному за умов високих показників генетичної детермінації однобатьківської репродукції насіння дозволять лише реалізувати проблему використання апозиготичного способу репродукції насіння для отримання константного потомства, закріплення гетерозису і скорочення селекційного процесу без використання закріплювачів стерильності у цукрових буряків.

Вважається, що практичне значення апоміксису – велике, завдяки можливості зберігати гібридні ( $F_1$ ) і гетерозисні властивості в господарсько-цінних рослин протягом багатьох років і в цілому ряді поколінь. За літературними джерелами висока економічна зацікавленість і перспектива величезних вигод вже зараз визначає конкуренцію між провідними сільськогосподарськими монополіями світу (Syngenta, Pioneer Hi Bred International, Rijk Zwaan Zaadteelt B. V., Partec GmbH та ін.) [12–15].

Апоміксис зустрічається серед покритонасінних рослин, окремі види або роди можуть бути повністю апоміктичними, а також спосіб репродукції насіння змінюється у біотипів одного і того ж виду в широких межах [7, 11, 16]. Більшість дослідників з апозиготії у рослин вважають, що в даному разі зародок без запилення і запліднення виникає не в результаті об'єднання генеративних клітин, а завдяки клонуванню материнської тканини насінневого зачатку [5, 8]. На даний час стали доступні нові стратегії геноміки для розуміння ключових механізмів регуляції мейозу, партеногенезу, після розшифровки геномів арабідопсису та ірису [10, 15, 16]. Численні результати дослідження з апоміксису доводять високий рівень генного, хромосомного і морфологічного різноманіття у апоміктичного потомства [13, 17, 18]. В ІБКіЦБ впровадили безпилковий режим для одержання апозиготичних пилкостерильних ліній вітчизняного походження завдяки встановленню зв'язку між міксоплоїдією клітинних популяцій, стабілізацією рівня геному і показників роздільноплідності та стерильності [19]. Добір за антоціановим маркерним забарвленням донорних насінних рослин та плоїдністю з використанням АП «Partec» в умовах ембріокультури недозрілих апоміктичних зародків дозволяє виділити гомозиготні лінії, індуковані за генеративними редукованим партеногенезом [20]. Вихідні матеріали з генетично детермінованими високими показниками апозиготичного розвитку насіння, вивчення особливостей їх насінневої продуктивності є особливо актуальними для практичної селекції, так само як і дослідження генетичної мінливості селекційноцінних показників при даному способі репродукції насіння.

*Мета досліджень* – вивчити вплив цитоплазматичного геному заміщених ліній з новою плазмою від диких видів *Beta patula* і *B. maritima* і апозиготичних ліній  $A_4$ – $A_8$  з *S vulgaris* цитоплазмою Оуена на основні чинники апозиготичної репродукції насіння, насінневу продуктивність, схожість, роздільноквітковість, стерильність залежно від генетичного походження матеріалу.

### Матеріали та методика досліджень

Вихідним матеріалом для експериментальних досліджень експресії ядерних генів роздільноплідності *mt* та стерильності *xxzz* при апозиготії, після стабілізації за рівнем плоїдності геному, були використані:

– коренеплоди пилкостерильних ліній Ялтушківської ДСС з апозиготією  $A_7$ – $A_8$ , стабілізовані за стерильністю *xxzz*, роздільноплідністю *mt*, рівнем плоїдності геному  $2x = 18$  і антоціановим забарвленням гіпокотелю  $R+$ ;

– апозиготичні потомства четвертого циклу апоміктичної репродукції від багатоплідних гібридних рослин, сортів іноземної селекції: 'Leopard' (SES Vander-Have), 'Ventura' (Maribo Seed), 'Berni' (Strube), 'Florata' (Syngenta), 'Sylveta' (Syngenta Axam), 'Clarina' (KWS), 'Triada' (Syngenta);



– реципроктні потомства міжвидових гібридів цукрових буряків з інтродукційною новою плазмою *V. maritima* і *V. patula* з елементами апозиготичної репродукції насіння.

Безпилковий режим і однопольовий спосіб репродукції був забезпечений просторовою ізоляцією на дослідному полі ІБКіЦБ з використанням групових ізоляторів та селекційно-тепличного комплексу Ялтушківської ДСС. Дослідження проведені за роздільноплідністю, стерильністю, масою отриманого насіння залежно від стабілізуючого добору за рівнем плідності геному з використанням комп'ютерних програм АП «Partec» за методикою, розробленою в ІБКіЦБ [21].

Для дослідження насінневої продуктивності нових плазматипів при апозиготії використані коренеплоди, отримані від кращих зразків заміщених ліній ВПДСС у 2020–2021 рр. за селекційними номерами: *BC<sub>6</sub>S maritima*, к.2/1, 3/1, 4/1, Селек. № 16901, пол. № 178; *BC<sub>6</sub>S patula*, 2/4,3/4, 4/4, 4/7, Селек. № 16907, пол. № 184; *BC<sub>6</sub>S maritima*, 6/1, 6/2, 6/3, 6/5, Селек. № 16903.

Якісні показники апоміктичного насіння *A1–A2* заміщених ліній вивчалися з використанням селекційних номерів: *BC<sub>4</sub>S patula* к.1 *A2:19\*R+r-bbmmxxzz*; *BC<sub>3</sub>S* Туреччина к.3 *A2:19p*; *BC<sub>3</sub>S* Греція «Ц» к.4 *A2:19p*; *BC<sub>3</sub>S* Греція к.3 *A2:19p*; *BC<sub>6</sub>S patula*, Португалія, о. Мадейра к.2/4, *A1:21*.

Дослідження проведені в лабораторії цитогенетики ІБКіЦБ, лабораторії апоміксису і поліплоїдії Ялтушківської ДСС, лабораторії адаптивної селекції Веселоподільської ДСС.

Коренеплоди заміщених ліній Веселоподільської ДСС за селекційними номерами *BC<sub>6</sub>S maritima*, *BC<sub>6</sub>S patula* висаджені в умовах безпилкового режиму на дослідному полі ІБКіЦБ і досліджена продуктивність зав'язування насіння при апозиготії залежно від генетичного походження стерильних цитоплазм. Метод безпилкового режиму включає ізолюване вирощування насінних рослин цукрових буряків з фенотипом ЧС-0 за Оуеном (1945). Безпилковий режим проведений за методикою одержання апозиготичного насіння у цукрових буряків [22]. Цвітіння насінників на дослідному полі ІБКіЦБ спостерігали в червні – липні. Роздільноквітковість насінників оцінювали візуально, аналізуючи центральні пагони за методикою [23].

Особливості формування насіння однопольовим способом досліджували на відрізьку 10 см в 5 повторах для кожного насінника. Селекційні номери оцінювали між собою за походженням і терміном апоміктичної репродукції. Середнє значення розвитку зародків на відрізьку 10 см у кожного насінника визначалось за формулою:

$$X = \frac{\sum_{\text{Мср.}-x}}{n},$$

де  $x$  – кількість насінин на відрізьку 10 см;  $n$  – кількість вимірювань з кожного насінника сумарно в 5 повторах.

Похибка середньої арифметичної визначається за формулою:

$$m = \frac{\delta}{\sqrt{n}},$$

де  $\delta$  – стандартне відхилення середньої арифметичної для кожного варіанта виміру, а саме, кількості плодів на відрізьку 10 см;  $n$  – загальна кількість плодів для кожного селекційного номера (насінника).

Для встановлення достовірності проведених досліджень і правильно підібраної вибірки для аналізу проводили обрахунок величини похибки репрезентативності  $m_p$ , що у відсотках дозволяє контролювати суттєвість досліду за методикою статистичного аналізу [24]. Середня похибка репрезентативності  $m_p$  у відсотках визначалась за формулою:

$$m = \pm \sqrt{\frac{P(100-P)}{n}},$$

де  $P$  – відсоток апозиготичного насіння, визначеного за схожістю, енергією проростання, антиціановим забарвленням проростків;  $n$  – обсяги дослідження насіння кожного селекційного номера.

## Результати досліджень

Результати аналізу селекційноцінних показників у насінних рослин, стабілізованих за рівнем плідності генному, вирощених із коренеплодів  $A_4$ – $A_8$  різного генетичного походження Ялтушківської ДСС, викладені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Показники мінливості за роздільноплідністю, стерильністю та продуктивністю цукрових буряків з апозиготією залежно від стабілізуючого добору за рівнем плідності геному**

п/п	Походження селекційних номерів	Апозиготична репродукція	Кількість насінників 2х	Плідність, %****		Стерильність, %		Одержано насіння, шт.; г
				РК	БК	ЧС-О	Ф***	
Насінники з коренеплодів, вирощених у селекційному розсаднику								
1	M/V 16-1-5 чс (г.і.39-40)	$A_4$	7	16,7	83,3	50,0	50,0	64
2	M/V 16-1-8 чс (г.і.41)	$A_4$	8	25,0	75,0	33,3	66,7	8
3	M/V 16-10-8 чс (г.і.42)	$A_4$	9	100	–	100	–	100
4	M/S 16-4-4 чс (г.і.43)	$A_4$	9	12,5	87,5	87,5	12,5	3 шт.
5	M/S 16-5-5 чс (г.і.43)	$A_4$	10	100	–	33,3	66,7	20
6	M/S 16-7-3 чс (г.і.43)	$A_4$	8	33,3	66,7	66,7	33,3	5
7	M/S 16-13-3 чс (г.і.44)	$A_4$	10	16,7	83,3	91,7	8,3	45
8	M/T 16-18-6 чс (г.і.95)	$A_4$	8	50,0	50,0	37,5	62,5	102
9	M/S 16-16-2 чс (г.і.45)	$A_4$	9	60,0	40,0	46,7	53,3	20
10	M/S 16-18-4 чс (г.і.47)	$A_4$	5	14,3	85,7	57,1	42,9	5
11	18-133-1 чс R+r-;	$A_8$	9	66,7	33,3	69,4	30,6	70
12	18-143-1 чс R+r-;	$A_8$	9	88,9	11,1	77,8	22,2	140
13	18-198-1 чс R+r-;	$A_8$	11	80,4	19,3	62,7	37,3	50
14	18-146-1 чс R+r-;	$A_8$	10	100	–	62,8	37,2	140
15	18-198-2 чс R+r-;	$A_8$	13	91,2	8,8	67,2	32,8	170
16	18-200-1 чс R+r-;	$A_8$	9	91,2	8,8	73,5	26,5	130
17	18-184-1 чс R+r-;	$A_8$	10	91,3	8,7	66,7	33,3	40
18	18-180-1 чс R+r-;	$A_8$	10	94,3	5,7	80,0	20,0	140
19	18-138-1 чс R+r-;	$A_8$	15	93,2	6,8	71,2	28,8	75
20	18-200-2 чс R+r-;	$A_8$	11	90,7	9,3	60,5	39,5	70

**Примітка.** \* – безпилковий режим забезпечений добором лише ЧС-О насінників на початку цвітіння; \*\* – кількість насінників, стабілізованих за роздільноплідністю, стерильністю і плідністю від загальної кількості (20 шт.) у групових ізоляторах; \*\*\* – «Ф» для зручності браковки і аналізів насінники ЧС-1 і ЧС-2 типу об'єднували в один клас; \*\*\*\* – одноросткові (ОР) і багаторосткові (БР) насінники.

За даними таблиці 1, як серед апозиготичних потомств багатонасінних гібридних рослин, так і стабілізованих за рівнем геному роздільноплідних ліній Ялтушківської ДСС, спостерігалась мінливість за фенотиповими ознаками рецесивних ядерних генів роздільноплідності  $m$  від 12,5 до 100 % і в апоміктичних потомств пилкостерильних ліній  $A_8$  від 66,7 до 100 %. Лише два селекційних номери з апозиготичною репродукцією, від іноземних гібридів – M/V 16-10-8 чс (г.і.42) і M/S 16-5-5 чс (г.і.43) мали показники роздільноплідності насінних рослин до 100 %. Показники маси апоміктичного насіння в грамах були у селекційному матеріалі цукрових буряків незначними і змінювались від 3–5 шт. до 102 г насіння.

Коренеплоди, отримані від кращих зразків насіння заміщених ліній ВПДСС у 2020 р., вирощувалися в умовах просторової ізоляції ІБКіЦБ. Показники зав'язування насіння, а також кількість дегенерованих зародків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Насіннева продуктивність нових плазмотипів на основі інтродукційних стерильних цитоплазм за апоміктичної репродукції насіння**

Походження	Селекційні номери	Умови репродукції насіння	Кількість плодів на відрізьку 10 см, $X \pm m$	Із них, %	
				розвинених	дегенерованих
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина к.2/1	Селек. № 16901, пол. № 178	A <sub>1</sub> безпилковий режим*	31 ± 0,52	93,5	6,5
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина к.3/1	Селек. № 16901, пол. № 178	просторова ізоляція	26 ± 0	46,2	53,8
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина к.4/1	Селек. № 16901, пол. № 178	—/—	23 ± 0,3	39,1	60,9
<i>BC<sub>s</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.2/4	Селек. № 16907, пол. № 184	—/—	35 ± 0,3	45,7	54,3
<i>BC<sub>s</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.3/4	Селек. № 16907, пол. № 184	—/—	39 ± 0,42	51,3	48,7
<i>BC<sub>s</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.4/4	Селек. № 16907, пол. № 184	—/—	36 ± 0,42	50,0	50,0
<i>BC<sub>s</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.4/7	Селек. № 16907, пол. № 184	—/—	34 ± 0,3	68,8	31,2
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина к.6/1	Селек. № 16903, пол. № 180	—/—	29 ± 0	79,3	20,7
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/2	Селек. № 16903, пол. № 180	A <sub>1</sub> безпилковий режим	28 ± 0,42	96,4	3,6
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/3	Селек. № 16903, пол. № 180	просторова ізоляція	23 ± 0,30	95,7	4,3
<i>BC<sub>s</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/5	Селек. № 16903, пол. № 180	—/—	26 ± 0,30	88,5	11,5

**Примітка.** \* – безпилковий режим забезпечений використанням просторової ізоляції.

Насіннева продуктивність досліджувалась на 28-му добу від початку цвітіння. Високі і найбільш стабільні показники зав'язування насіння в умовах просторової ізоляції були характерні для насінників заміщених ліній за селекційними номерами *BC<sub>s</sub>S maritima* 6/2, 6/3 селек. № 16903 на основі стерильної плазми *V. maritima*, походження із Туреччини. Досліджували насінневе потомство чотирьох насінників *BC<sub>s</sub>S patula*, 2/4, 3/4, 4/4, 4/7, Селек. № 16907. Показники зав'язування насіння у заміщених ліній на відрізьку 10 см змінювалися від 39,1 до 96,4 %.

Кількість плодів, за даними таблиці 2, мала значення від 23 ± 0,3 до 39 ± 0,42 шт. залежно від походження селекційних номерів. Квітоносні пагони у заміщених ліній на основі плазми *V. maritima*, Туреччина на 28-му добу після початку цвітіння з дегенерацією 11,5 % зображено на рисунку 1.

У деяких селекційних номерів з високим відсотковим значенням поліембріонії, особливо на фоні стерильної цитоплазми *V. patula*, спостерігали відставання кришечки на сформованій насініні (рис. 1 б).

Для лінії *V. patula* кількість плодів на відрізьку 10 см суттєво перевищувала показники насінників на фоні стерильної цитоплазми *V. maritima* (Туреччина). Низькими показниками дегенерації і стабільними показниками розвинених зародків характеризувалися окремі селекційні номери на фоні стерильної цитоплазми походженням від *V. maritima* із Туреччини. Виділяються насінні рослини з високою саморепродукцією насіння, такі як *BC<sub>4</sub>S maritima*, Туреччина к.2/1, к.6/2, к.6/3 і на цитоплазматичному фоні *V. patula* (о. Мадейра) за селекційними номерами *BC<sub>4</sub>S patula* к.3/4, 4/4.



**Рис. 1. Зав'язування апоміктичного насіння в умовах безпилкового режиму:**  
а) розвиток насіння на квітконосних пагонах у ліній *BC<sub>6</sub>S maritima*, 6/1, 6/2, 6/3, 6/5, Селек. № 16903, пол. № 180; б) відставання кришечки плоду у *BC<sub>6</sub>S patula*, 3/4, селек. № 16907, пол. № 184 з високими показниками поліембріонії

В умовах безпилкового режиму, з використанням пергаментних ізоляторів, отримано апозиготичне насіння  $A_2$  у заміщених ліній з новими стерильними цитоплазмами від диких видів *V. maritima* і *V. patula*, відібраних за високою цукристістю. Коренеплоди високоцукристих ліній  $A_1$ , вирощені в селекційному розсаднику Веселоподільської ДСС, досліджувались в умовах вегетаційних посудів ІБКіЦБ.

Основними чинниками, що визначають використання апозиготії в селекції цукрових буряків, є, окрім продуктивності насінників, якість насіння. В умовах вегетаційних посудів ІБКіЦБ при використанні пергаментних ізоляторів отримано насіння  $A_1$ – $A_2$  заміщених ліній різного генетичного походження. Високоцукристі лінії з новою стерильною плазмою від диких видів *V. maritima* і *V. patula*, що характеризуються високими показниками репродукції насіння, зображено на рисунку 2.



**Рис. 2. Зав'язування апоміктичного насіння  $A_1$ – $A_2$  нових плазмотипів із стерильними цитоплазмами від диких видів в умовах безпилкового режиму ІБКіЦБ (просторова ізоляція):** а), б) розвиток насіння в безпилковому режимі у лінії *BC<sub>4</sub>S patula*

Показники схожості, енергії проростання у різних за терміном апоміктичної репродукції заміщених ліній наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Оцінка схожості, енергії проростання і мінливості за забарвленням гіпокотелю  
у проростків апоміктичного насіння реципроктних потомств  
з новими інтродукційними цитоплазмами**

№ п/п	Походження селекційних номерів (термін апоміктичної репродукції)	Посіяно насіння, шт.	Енергія проростання і ростковість на 5-ту добу, шт.	Схожість насіння на 10-ту добу, $P \pm m_p$	Із них за забарвленням гіпокотелю, %	
					червоних	зелених
1	<i>BC<sub>4</sub>S patula</i> к.1 А2:19* R+r-bbmmxxzz	100	21 mm <sup>1</sup> 20 mm <sup>1+2</sup> 1	68 ± 4,7	50	50
2	<i>BC<sub>3</sub>S</i> Туреччина к.3 А2:19р R+r-bbmmxxzz	100	45 mm <sup>1</sup> 39 mm <sup>1+2</sup> 6	100 ± 0	80	20
3	<i>BC<sub>3</sub>S</i> Греція «Ц» к.4 А2:19р R+r-bbmmxxzz	100	9 mm <sup>1</sup> 7 mm <sup>1+2</sup> 2	17 ± 3,8	–	100
4	<i>BC<sub>3</sub>S</i> Греція к.3 А2:19р R+r-bbmmxxzz	100	87 mm <sup>1</sup> 71 mm <sup>1+2</sup> 16	100 ± 0	–	100
5	<i>BC<sub>3</sub>S</i> Греція б.г. к.2 А2:19р R+r-bbmmxxzz	100	26 mm <sup>1</sup> 26	56 ± 4,9	82,14	17,86
6	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина к.2/1, А1:21	100	90 mm <sup>1</sup> 80 mm <sup>1+2</sup> 10	100 ± 0	50	50
7	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина к.3/1, А1:21	100	95 mm <sup>1</sup> 89 mm <sup>1+2</sup> 6	100 ± 0	70	30
8	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина к.4/1 А1:21	100	89 mm <sup>1</sup> 79 mm <sup>1+2</sup> 10	99,8 ± 1,4	30	70
9	<i>BC<sub>6</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.2/4, А1:21	100	87 mm <sup>1</sup> 71 mm <sup>1+2</sup> 16	99 ± 0,99	16	84
10	<i>BC<sub>6</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.3/4, А1:21	100	86 mm <sup>1</sup> 86	96 ± 1,95	82,14	17,86
11	<i>BC<sub>6</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.4/4, А1:21	100	80 mm <sup>1</sup> 70 mm <sup>1+2</sup> 10	100 ± 0	50	50
12	<i>BC<sub>6</sub>S patula</i> , Португалія, о. Мадейра к.4/7, А1:21	100	95 mm <sup>1</sup> 79 mm <sup>1+2</sup> 16	100 ± 0	80	20
13	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина к.6/1, А1:21	100	90 mm <sup>1</sup> 87 mm <sup>1+2</sup> 3	100 ± 0	55	45
14	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/2, А1:21	100	87 mm <sup>1</sup> 71 mm <sup>1+2</sup> 16	100 ± 0	47	53
15	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/3, А1:21	100	96 mm <sup>1</sup> 96	96 ± 1,95	25	75
16	<i>BC<sub>6</sub>S maritima</i> , Туреччина, к.6/5, А1:21	100	96 mm <sup>1</sup> 93 mm <sup>1+2</sup> 3	95,6 ± 2,1	35	65

**Примітка.** \* – А2:19 термін апоміктичної репродукції насіння у бекросних потомств *B<sub>3</sub>*, *B<sub>4</sub>* – 2019 рік – А1:21 термін апоміктичної репродукції насіння у бекросних потомств заміщених ліній *B<sub>6</sub>*:21.



За результатами аналізу таблиці 3, як енергія проростання, так і схожість при апозиготії у заміщених ліній *BC<sub>3</sub>*, *BC<sub>4</sub>* на основі стерильних цитоплазм *B. maritima* (Греція і Туреччина) змінювалась від 17 до 100 % залежно від генетичного походження матеріалу. У більшості номерів спостерігалась багаторостковість у роздільноплідних плодів як показник поліембріонії при апозиготії. Насіння із зеленим забарвленням гіпокотелю є показником розвитку зародків за генеративним редукованим ембріогенезом від гетерозиготних R+r-насінних рослин. У високоцукристих заміщених ліній на основі стерильної цитоплазми *BC<sub>3</sub>S* Греція «Ц» р.4 A<sub>2</sub>:18, *BC<sub>3</sub>S* Греція р.3 A<sub>2</sub>:18 проростки з експресією рецесивних алелей r-r мали значення 100 %.

У 2021 році досліджувались селекційні показники фертильності, стерильності, однонасінності апоміктичних потомств пилкостерильної лінії *BC<sub>5</sub>S patula* у зрівнянні із селекційними показниками, отриманими від схрещування її з закріплювачем стерильності походження ЯДСС 305а зап. (каб. 37) і специфічним закріплювачем № 677 (21-011 зап). Дані занесені в таблицю 4.

Таблиця 4

**Аналіз селекційних показників стерильності, роздільноквітковості в апоміктичних потомств і потомств від схрещування із закріплювачем стерильності заміщеної лінії *BC<sub>5</sub>S patula***

№ п/п	Селекційний номер і генетичне походження	Проаналізовано рослин, шт.	Визначено			
			Стерильність, P ± mp	Фертильність, P ± mp	Роздільноквітковість, P ± mp	Багатоквітковість, P ± mp
Групові ізолятори-кабіни						
1	21-011 чс <i>BC<sub>5</sub>S patula</i> A1	1544	84,5 ± 0,92	15,5 ± 0,93	87,2 ± 0,90	12,8 ± 0,85
2	21-305а <i>Beta vulgaris</i> Nxxxz ЯДСС	743	2,9 ± 0,61	97,1 ± 0,62	87,2 ± 1,22	12,8 ± 1,23
Ізольована ділянка						
3	21-011 чс <i>BC<sub>5</sub>S patula</i> A1	1594	79,1 ± 1,02	20,7 ± 1,01	75,1 ± 1,08	24,9 ± 1,08
4	21-011 <i>Beta vulgaris</i> Nxxxz, № 677	920	13,4 ± 1,12	86,6 ± 1,10	93,9 ± 0,79	6,1 ± 1,79
5	21-011 чс (прост. гібриди) <i>BC<sub>5</sub>S patula</i> × <i>Beta vulgaris</i> Nxxxz	2175	87,3 ± 0,70	12,7 ± 0,71	86,6 ± 0,73	13,4 ± 0,73
6	21-011. <i>Beta vulgaris</i> Nxxxz	654	15,3 ± 1,42	84,7 ± 1,41	84,6 ± 1,44	15,4 ± 1,40

За даними таблиці 4, показники роздільноквітковості за апоміктичної репродукції насіння *BC<sub>5</sub>S patula* A1 мали відсоткове значення 87,2 ± 0,90 %, що відповідає показникам заміщених ліній *BC<sub>6</sub>*, отриманих від схрещування із неспецифічним закріплювачем стерильності *B. vulgaris* Nxxxz 21-305а зап. (каб 37) походження ЯДСС із відсотковим значенням 86,6 ± 0,73 %. Показники стерильності змінювались при цьому в умовах групових ізоляторів у апоміктичних потомств від 84,5 ± 0,92 % до 79,1 ± 1,02 %, порівнюючи з пилкостерильними гібридними рослинами із відсотковим значенням 87,3 ± 0,70 %, отриманими в результаті гібридизації *BC<sub>5</sub>S* ♀ *patula* × ♂ *Beta vulgaris* Nxxxz.

### Висновки

Виділено нові заміщені лінії з високим зав'язуванням апозиготичного насіння для спрощення схеми селекції без використання закріплювачів стерильності цукрових буряків за селекційними номерами:

*BC<sub>6</sub>S maritima* 6/2, 6/3 селек. № 16903, пол. № 180 на основі нової плазми походження із Туреччини і дикого виду *B. patula*, № *BC<sub>6</sub>S patula*, 2/4, 3/4, 4/4, 4/7, селек. № 16907, пол. № 184. Показники розвитку насіння на відрізьку 10 см у заміщених ліній на основі нової плазми *B. maritima* і *B. patula* змінювались від 39,1 до 96,4 % від усіх закладених квіток.

Феномен високої саморепродукції насіння до 98,5–96,4 % у лінії *BC<sub>5</sub>S patula* на рівні гібридних зародків 97,5–93,1 % ми пояснюємо особливою взаємодією ядра і цитоплазми у нових плазмотипів.

## Використана література

1. Фаворский Н. В. Материалы по биологии и эмбриологии сахарной свеклы. *Труды Научного института селекции*. 1928. Вып. 2. С. 41–45.
2. Barocka K.-H. Die Sektion *Corollinae* der Gattung *Beta* (Tournef.) L. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1966. No. 56. S. 379–388.
3. Maletskaya E. I., Yudanov S. S., Maletskii S. I. Haploids in Apozygotic Seed Progenies of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Sugar Tech*. 2009. Vol. 11, Iss. 1. P. 61–65. doi: 10.1007/s12355-009-0010-z
4. Szkutnik T. Apomixis in the sugar beet reproduction system. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*. 2011. Vol. 52, Iss. 1. P. 87–96. doi: 10.2478/v10182-010-0011-y
5. Жужжалова Т. П., Подвигина О. А. Генетическая разнокачественность семян и методы ее преодоления. *Сахарная свекла*. 2011. № 7. С. 14–17.
6. Малецкий С. И., Юданова С. С., Малецкая Е. И. Эпигеномная и эпипластомная изменчивость у гаплоидных и дигаплоидных растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.). *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50, № 5. С. 579–589. doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.579Rus
7. Наумова Т. Н. Апомиксис и амфимиксис у цветковых растений. *Цитология и генетика*. 2008. Т. 42, № 3. С. 51–63.
8. Богомолов М. А., Фоменко Н. Р. Эмбриологические особенности апомиксиса у сахарной свеклы. *Сахарная свекла*. 2017. № 3. С. 8–10.
9. Левитес Е. В., Кирикович С. С., Виниченко Н. А. Изменчивость в агамоспермных потомствах сахарной свеклы. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 60. С. 162–168.
10. Gerashchenkov G. A., Yasybaeva G. R., Rozhnova N. A., Chemeris A. V. Isolation of Promoters and Fragments of Genes Controlling Endosperm Development Without Fertilization in Arabidopsis and Engineering of the Antisense Constructions. *European Journal of Molecular Biotechnology*. 2015. Vol. 8, Iss. 2. P. 56–62. doi: 10.13187/ejmb.2015.8.56
11. Кашин А. С., Цветова М. И., Демочко Ю. А. Цитологические особенности генезиса клеток апикальных меристем при гаметофитном апомиксисе (на примере автономных апомиктов *Asteraceae*). *Цитология и генетика*. 2011. № 2. С. 28–38.
12. Hand M. L., Vít P., Krahulcová A. et al. Evolution of apomixes loci in *Pilosella* and *Hieracium* (*Asteraceae*) inferred from the conservation of apomixes-linked markers in natural and experimental populations. *Heredity*. 2014. Vol. 114, Iss. 1. P. 17–26. doi: 10.1038/hdy.2014.61
13. Murovec J., Bohanec B. Haploids and doubled haploids in plant breeding. *Plant breeding* / I. Abdurakhmonov (ed.). InTech, 2012. P. 87–106. doi: 10.5772/29982
14. Okada T., Ito K., Johnson S.D. et al. Chromosomes Carrying Meiotic Avoidance Loci in Three Apomictic Eudicot *Hieracium* Subgenus *Pilosella* Species Share Structural Features with Two Monocot Apomicts. *Plant Physiology*. 2011. Vol. 157, Iss. 3. P. 327–341. doi: 10.1104/pp.111.181164
15. Богомолов М. А., Федулова Т. П. Интрогрессия апомиксиса – новый путь создания гибридов сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.). *Сахарная свекла*. 2018. № 2. С. 4–7.
16. Hojsgaard D., Klatt S., Baier R. et al. Taxonomy and Biogeography of Apomixis in Angiosperms and Associated Biodiversity Characteristics. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2014. Vol. 33, Iss. 5. P. 414–427. doi: 10.1080/07352689.2014.898488
17. Rodriguez-Leal D., Vielle-Calzada J.-P. Regulation of apomixes: learning from sexual experience. *Current Opinion in Plant Biology*. 2012. Vol. 15, Iss. 5. P. 549–555. doi: 10.1016/j.pbi.2012.09.005
18. Юданова С. С. Миксоплоидия и сегрегация по одно-многокостковости в партогенетических потомствах сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.). *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 2. С. 405–411.
19. Роїк М. В., Ковальчук Н. С., Яцева О. А. Апозиготія як метод створення вихідних матеріалів буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 11. С. 45–49.

20. Kovalchuk N. S., Royik M. V., Hadzalo Ya. M. et al. Improvement of technologies of obtaining regenerates from embryoculture of sugar beet breeding genotypes (*Beta vulgaris*) with apospogotic seed reproduction. *Agricultural Sciences and Practice*. 2019. Vol. 6, Iss. 2. P. 3–17. doi: 10.15407/agrisp6.02.003
21. Роїк М. В., Ковальчук Н. С. Аналіз мінливості рівня плоідності геному вихідних селекційних матеріалів цукрових буряків з використанням технології аналізатора плоідності «Partec»: методичні рекомендації. Київ, 2006. 40 с.
22. Роїк М. В., Ковальчук Н. С., Яцева О. А. Оцінка і добір селекційних матеріалів з апозиготією та цитоплазматичною чоловічою стерильністю: методичні рекомендації. Київ, 2014. 19 с.
23. Малецкий С. И. Эпигенетическая изменчивость признака раздельно-сростноцветковости у сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.). *Эпигенетика растений*. Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2005. С. 195–205.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

### References

1. Favorskiy, N. V. (1928). Materials on biology and embryology of sugar beet. *Proceedings of the Scientific Institute of Breeding*, 2, 41–45. [In russian]
2. Barocka, K.-H. (1966). Die Sektion *Corollinae* der Gattung *Beta* (Tournef.) L. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 56, 379–388.
3. Maletskaya, E. I., Yudanov, S. S., & Maletskii, S. I. (2009). Haploids in Apozygotic Seed Progenies of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *Sugar Tech*, 11(1), 61–65. doi: 10.1007/s12355-009-0010-z
4. Szkutnik, T. (2011). Apomixis in the sugar beet reproduction system. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 52(1), 87–96. doi: 10.2478/v10182-010-0011-y
5. Zhuzhzhhalova, T. P., & Podvigina, O. A. (2011). Genetic heterogeneity of seeds and methods for overcoming it. *Sugar beet*, 7, 14–17. [In russian]
6. Maletskiy, S. I., Yudanov, S. S., & Maletskaya, E. I. (2015). Epigenomic and epiplastomic variability in haploid and dihaploid sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.). *Agricultural Biology*, 50(5), 579–589. doi: 10.15389/agrobiol.2015.5.579rus [In russian]
7. Naumova, T. N. (2008). Apomixis and amphimixis in flowering plants. *Cytology and genetics*, 42(3), 51–63. [In russian]
8. Bogomolov, M. A., & Fomenko, N. R. (2017). Embryological features of apomixis in sugar beet. *Sugar Beet*, 3, 8–10. [In russian]
9. Levites, E. V., Kirikovich, S. S., & Vinichenko, N. A. (2016). Variability in agamospermic offspring of sugar beet. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 60, 162–168. [In russian]
10. Gerashchenkov, G. A., Yasybaeva, G. R., Rozhnova, N. A., & Chemeris, A. V. (2015). Isolation of Promoters and Fragments of Genes Controlling Endosperm Development Without Fertilization in Arabidopsis and Engineering of the Antisense Constructions. *European Journal of Molecular Biotechnology*, 8(2), 56–62. doi: 10.13187/ejmb.2015.8.56
11. Kashin, A. S., Tsvetova, M. I., & Demochko, Yu. A. (2011). Cytological features of the genesis of apical meristem cells during gametophyte apomixis (on the example of autonomous apomicts of *Asteraceae*). *Cytology and genetics*, 2, 28–38. [In russian]
12. Hand, M. L., Vít, P., Krahulcová, A., Johnson, S. D., Oelkers, K., Siddons, H., Chrtek, J., Jr, Fehrer, J., & Koltunow, A. M. G. (2014). Evolution of apomixis loci in *Pilosella* and *Hieracium* (*Asteraceae*) inferred from the conservation of apomixis-linked markers in natural and experimental populations. *Heredity*, 114(1), 17–26. doi: 10.1038/hdy.2014.61
13. Murovec, J., & Bohanec, B. (2012). Haploids and doubled haploids in plant breeding. In I. Abdurakhmonov (Ed.), *Plant breeding* (pp. 87–106). InTech. doi: 10.5772/29982



14. Okada, T., Ito, K., Johnson, S. D., Oelkers, K., Suzuki, G., Houben, A., Mukai, Y., & Koltunow, A. M. (2011). Chromosomes Carrying Meiotic Avoidance Loci in Three Apomictic Eudicot *Hieracium* Subgenus *Pilosella* Species Share Structural Features with Two Monocot Apomicts. *Plant Physiology*, 157(3), 327–1341. doi: 10.1104/pp.111.181164
15. Bogomolov, M. A., & Fedulova, T. P. (2018). Apomixis introgression is a new way to create sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids. *Sugar Beet*, 2, 4–7. [In russian]
16. Hojsgaard, D., Klatt, S., Baier, R., Carman, J. G., & Hörandl, E. (2014). Taxonomy and Biogeography of Apomixis in Angiosperms and Associated Biodiversity Characteristics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(5), 414–427. doi: 10.1080/07352689.2014.898488
17. Rodriguez-Leal, D., & Vielle-Calzada, J.-P. (2012). Regulation of apomixes: learning from sexual experience. *Current Opinion in Plant Biology*, 15(5), 549–555. doi: 10.1016/j.pbi.2012.09.005
18. Yudanova, S. S. (2016). Mixoploidy and segregation by single-multigerm in partogenetic offspring of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2, 405–411. [In russian]
19. Roik, M. V., Kovalchuk, N. S., & Yatseva, O. A. (2014). Apozygosity as a method of creating raw materials of sugar beets. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 45–49. [In Ukrainian]
20. Kovalchuk, N., Roik, M., Hadzalo, Ya., Nediak, T., & Zinchenko, O. (2019). Improvement of technologies of obtaining regenerates from embryoculture of sugar beet breeding genotypes (*Beta vulgaris*) with apospotic seed reproduction. *Agricultural Sciences and Practice*, 6(2), 3–17. doi: 10.15407/agrisp6.02.003
21. Roik, M. V., & Kovalchuk N. S. (2006). *Analysis of the variability of the ploidy level of the genome of the initial breeding materials of sugar beets using the technology of the ploidy analyzer "Partec": methodological recommendations*. Kyiv: N. p. [In Ukrainian]
22. Roik, M. V., Kovalchuk N. S., & Yatseva, O. A. (2014). *Evaluation and selection of breeding materials with apozygosity and cytoplasmic male sterility: methodological recommendations*. Kyiv: N. p. [In Ukrainian]
23. Maletskiy, S. I. (2005). *Epigenetic variability of the trait of separate flowering in sugar beet (Beta vulgaris L.)*. In *Plant Epigenetics* (pp. 195–205). Novosibirsk: ICG SO RAN. [In russian]
25. Dospekhov, B. A. (1985). *Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)* (5<sup>th</sup> ed., rev. and enl.). Moscow: Agropromizdat. [In russian]

UDC 633/63:631.52

**Roik, M. V., Balahura, O. V., Kovalchuk, N. S., Zinchenko, O. A., Vlasiuk, V. I., & Fedoroshchak, L. S.** (2022). Seed productivity of alloplasmic lines of *Beta patula* and *B. maritima* with sterile cytoplasm under the conditions of apozygotic reproduction. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 14–26. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: natalakovalchuk461@gmail.com*

**Purpose.** Revealing the effect of the cytoplasmic genome of replaced lines with the plasma of wild species *Beta patula* and *B. maritima* L., and apozygotic lines A4–A8 with the cytoplasm of *S vulgaris* Owen on the main factors of apozygotic reproduction, seed productivity, germination, monogermity and sterility as affected by the genetic origin of breeding material. **Methods.** The research was carried out in the Cytogenetics Laboratory (IBCSB), the Laboratory for Apomixis and Polyploidy of the Yaltushkiv EBS, and the Laboratory for Adaptive Breeding (Veselyi Podil EBS). Apozygotic seeds were obtained under a pollen-free regime according to the IBCSB's Methods for Spatial Isolation and Parchment Insulators. Each seed bearer plant phenotype was determined during the flowering period by pollen sterility and partial flowering. Classification of plants was performed according to Owen (1945), with identifying plants of CMS-0, Type CMS-1, and CMS-2 types. The Monogermity of seed plants was assessed visually by the presence of separate fruits on the central shoots. In 2021, the roots of the replaced lines of the Veselyi Podil EBS were planted

under the conditions of a pollen-free regime in the experimental field of the IBCSB. Seed production under apozygotic conditions was studied, taking into account the number of set fruits per 10-cm segment with 5 replications for each seed bearer. Germination was determined on the 10<sup>th</sup> day and germination vigour on the 5<sup>th</sup> day. **Results.** New sources of cytoplasmic male sterility (CMS) were obtained in the cytogenetics laboratory based on a genetic model of crossbreeding analysis, using differentiation and tools according to the marker-linked genes of hypocotyl color  $R+r-$ , and one / two-year development cycle  $B+b-$ . The analyzers for the nature of sugar beet sterility were sterility maintainers, dominant homozygotes for recessive genes of anthocyanin color, development cycle, partial fertility and sterility (*NBeta vulgaris Sxxzz rr bb*). Monogerm pollen-sterile lines with an apomictic way of seed reproduction (Yaltushkiv EBS) ( $A_4-A_8$  *Beta vulgaris Sxxzz rr*), selected for the dominant color of the hypocotyl  $R+r-$ , stabilized for the trait of monogermity, 100% sterility and 2x gene ploidy, were characterized by low seed productivity. High rates of apozygotic seed development (80 to 96.4% of the number of set flowers) were observed against the background of the sterile cytoplasm of *Beta maritima* (Turkey). In the CMS  $BC_4S$  *patula* line, the number of set apozygotic seeds ranges from  $34 \pm 0.3$  to  $39 \pm 0.42$ , and the indicators of degenerated flowers under apozygotic regime varied from 31.2 to 54.3%. Isolated were seed plants with high self-reproduction, such as  $BC_4S$  *maritima* Turkey, k.2/1, k.6/2, k.6/3 and k.3/4, k.9/4 on the background of new plasma of wild species of *B. patula*. The phenomenon of high self-reproduction of seeds (up to 98.5–96.4% of set flowers) was detected in line 21-011  $CHS$   $BC_5S$  *patula*, which was comparable with hybrids and sterility maintainers (97.5–93.1%), which is determined by a special interaction of the beet nuclear genome of sugar beet and new plasma of wild species of the genus *Beta* L. **Conclusions.** The apomictic way of seed reproduction ensures the shortening of the breeding scheme for sugar beet due to high seed reproduction of mother parent in substituted lines with new plasma and differentiation by gametophytic reduction of parthenogenesis using morphological marker traits.

**Keywords:** sugar beet; (CMS) cytoplasmic male sterility; sterility maintainers; *Beta maritima* and *Beta patula* species; separate flowering; apozygotic way of seed reproduction.

Надійшла / Received 25.09.2022

Погоджено до друку / Accepted 27.10.2022

УДК 633.179: 631.53.01:631.559

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.269016>

## Вплив умов зберігання насіння проса прутоподібного на його якість залежно від маси 1000 насінин

В. В. Дрига, В. А. Доронін\*, Ю. А. Кравченко, В. В. Доронін, С. Д. Орлов

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, \*e-mail: [doronin1955@ukr.net](mailto:doronin1955@ukr.net)

**Мета.** З'ясувати вплив умов зберігання насіння проса прутоподібного залежно від сортових особливостей та маси на його енергію проростання та схожість. **Методи.** У дослідженнях використовували лабораторний (визначення енергії проростання та схожості насіння), вимірювально-ваговий (визначення маси 1000 насінин), математично-статистичний методи. **Результати.** Доведено, що зі зменшенням маси 1000 насінин закономірно знижувалися його енергія проростання та схожість. У середньому по сортозразках найнижчі показники якості отримано за маси 1000 насінин 1,24 г, але упродовж восьми місяців його зберігання не виявлено закономірного зменшення енергії проростання та схожості. Якість насіння з більшою масою 1000 насінин – 1,67 г була достовірно вищою і становила 55 та 58 %. Зі зменшенням маси 1000 насінин спостерігалася тенденція зниження його енергії проростання

та схожості за зберігання упродовж трьох та восьми місяців. Не виявлено достовірного підвищення або зниження якості насіння залежно від маси 1000 насінин та терміну його зберігання. Аналогічні результати отримані з якості насіння в розрізі сортозразків. Найменшу енергію проростання мало насіння сортозразку 'Cave-in-rock' з масою 1000 шт. 0,63 г як при закладанні досліду, так і упродовж восьми місяців його зберігання, але це не залежало від терміну зберігання. **Висновки.** У середньому по сортозразках встановлено закономірне підвищення енергії проростання та схожості насіння зі збільшенням його маси. Водночас, закономірного підвищення якості насіння з різною масою 1000 насінин залежно від терміну зберігання не виявлено. Навпаки енергія проростання та схожість були нижчими, ніж в контролі – на період закладки.

**Ключові слова:** сортозразок; енергія проростання; схожість; термін зберігання; якість насіння.

## Вступ

Вагомою альтернативою традиційним викопним видам палива на сьогодні для України є біоенергетика, яка базується на сировині рослинного походження. До енергетичних культур, які доцільно використовувати для виготовлення біопалива, належать швидкоростучі дерева – види верби і тополі [1] однорічні (цукрові буряки, цукрове сорго) та багаторічні (просо прутіподібне, міскантус) рослини [2, 3]. Особливістю багаторічних трав (проса прутіподібного, міскантусу) вважається позитивний вплив на екологічний стан навколишнього середовища [4].

Однією з найперспективніших багаторічних рослин для виробництва біопалива є просо прутіподібне – свічграс (*Panicum virgatum* L.). Основними перевагами свічграсу, як біоенергетичної культури вважають відносно високий урожай, низьку потребу у воді та підживленні, надійну продуктивність у широкому географічному ареалі, зменшена ерозія ґрунту, поглинання вуглецю та покращення середовища існування дикої природи [5].

Просо прутіподібне характеризується високим вмістом целюлози та лігніну, тому його можна розглядати як перспективну культуру для виробництва біопалива [6]. Одним з головних стримуючих факторів широкого впровадження проса прутіподібного у виробництво є низька схожість насіння, яка зумовлена біологічними властивостями сортів та великим його станом спокою, що призводить до низької польової схожості та отримання нерівномірних сходів. Тому головним завданням є дослідження причин зниження стану спокою насіння та розроблення способів підвищення схожості насіння проса прутіподібного.

Біологічний спокій насіння можна зменшити і, відповідно – підвищити його енергію проростання та схожість, створюючи стресові умови в період проростання насіння або до початку його проростання такими технологічними операціями як стратифікація [7, 8], скарифікація [9], сортування за аеродинамічними властивостями, питомою масою та розмірами [10] з виділенням крупнішого насіння.

Питання переваг крупного насіння різних сільськогосподарських культур дискутується з кінця XIX століття. В численних дослідках з насіннезнавства цукрових буряків було одержано досить суперечливі результати. І. І. Малтшев і С. М. Богданов вважали, що жодних переваг велике насіння не має перед дрібним. Ф. П. Гавронський, А. Т. Болотов, Н. Е. Цабель дійшли висновків, що схожість насіння перебуває в прямій залежності від його величини, велике насіння має більше запасних поживних речовин, а більші зародки, дають сильніші ростки, які забезпечують інтенсивніший ріст і розвиток рослин і, відповідно – більшу продуктивність культури [11]. За даними І. Г. Строни [12], Е. Г. Кизилова [13] використання крупної фракції насіння кукурудзи є найбільш позитивним елементом для підвищення врожайності зерна. Дослідженнями К. Е. Овчарова [14] доведено, що дрібне насіння пшениці, вівса і ячменю мало вищу польову схожість, ніж крупніше. Це зумовлено більш швидким набуханням дрібного насіння, у якого відношення поверхні до об'єму більше, ніж у крупного насіння. Дрібне насіння більше поглинає води (у % до своєї маси), ніж крупне.

Дослідженнями М. І. Кулика та І. І. Рожко [15] встановлено, що за зберігання крупнішого насіння, порівняно з дрібним та середніх розмірів насінням проса прутіподібного протягом перших двох років спостерігається динаміка підвищення його лабораторної схожості, та значне збільшення даного показника з третього року зберігання. Але, автори не вказують рівень підвищення цих показників, його достовірність, умов зберігання, а лише залежність схожості насіння, його величини (за масою) та терміну зберігання. Якщо упродовж трьох років схожість насіння підвищувалася не достовірно, то його недоцільно так довго зберігати та збільшувати собівартість. Щоб відповісти на ці питання нами був проведений дослід за зберігання насіння трьох сортів різних груп стиглості з масою 1000 насінини від 0,6 до 1,75 г за пониженої температури повітря 5–7 °С.

*Мета досліджень* – з'ясувати вплив умов зберігання насіння залежно від сортових особливостей та його маси на його енергію проростання та схожість.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж восьми місяців в 2021 р. з сортозразками проса прутіподібного різних груп стиглості: дуже ранній – ‘Dacota’ (американського походження) та середньопізні – ‘Морозко’ (українського походження) та ‘Save-in-rock’ (американського походження) з масою 1000 насінин від 0,63 до 1,78 г. Відбирання насіння відповідної маси кожного сортозразка проводили шляхом сортування його на аспіраційній аеродинамічній колонці, розділяючи на важке, легше і найлегше. Зберігали насіння в поліетиленових герметичних пакетах за температури повітря 18–22 °С (в термостаті). Якість насіння – енергію проростання, схожість та масу 1000 насінин визначали за методикою, яка розроблена Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків [16] в період закладання досліду та через 3 і 8 місяців його зберігання.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами дисперсійного аналізу за методом Фішера [17] з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.0.

### Результати досліджень

Експериментально доведено, що зі зменшенням маси 1000 насінин закономірно знижувалися його енергія проростання та схожість. У середньому по сортозразках найнижчі показники якості отримано за маси 1000 насінин 1,24 г. Перед закладанням досліду енергія проростання та схожість насіння з масою 1,24 г становили, відповідно – 28 та 30 % (табл. 1).

Таблиця 1

**Якість насіння залежно від його маси 1000 шт. та терміну зберігання за температури 5–7 °С (середнє по сортах)**

Варіант		Енергія проростання, %	Схожість, %
термін зберігання	маса 1000 насінин, г		
Закладка досліду 29.03.2021 – контроль	1,67	55	58
	1,62	54	58
	1,24	28	30
Облік через 3 місяці	1,68	47	50
	1,61	40	42
	1,24	25	27
Облік через 8 місяців	1,68	55	57
	1,61	51	53
	1,24	30	31
НІРзаг		7,6	7,4
НІР <sub>0,05</sub> строк зберігання		2,6	2,5
НІР <sub>0,05</sub> маса 1000 шт.		2,5	2,5



За зберігання насіння з найменшою масою 1000 насінин (1,24 г) не виявлено закономірного зменшення енергії проростання та схожості упродовж восьми місяців, а спостерігалось їх зменшення або збільшення. Через 3 місяці після зберігання ці показники достовірно знизилися, а через 8 місяців – навпаки збільшилися, порівняно з контролем. Водночас, показники якості насіння з більшою масою 1000 насінин – 1,67 г були достовірно вищими як при закладанні досліду, так і упродовж зберігання. За зберігання насіння упродовж трьох та восьми місяців спостерігалась тенденція зниження або збільшення цих показників. Так, на період закладання досліду енергія проростання насіння з масою 1,67 г становила 55 %, схожість – 58 %. Через три місяці зберігання вони достовірно зменшилися, відповідно – до 47 та 50 %, а через 8 місяців вони були такими ж як і на період закладання досліду. Тобто, закономірного підвищення або зменшення якості насіння залежно від маси 1000 насінин упродовж його зберігання не виявлено. Навпаки енергія проростання та схожість були нижчими, ніж в контролі – на період закладання досліду.

При дослідженні якості насіння по сортозразках також не виявлено закономірного збільшення енергії проростання (табл. 2) та схожості (табл. 3) насіння залежно від маси 1000 насінин та терміну його зберігання.

Таблиця 2

**Енергія насіння проса прутноподібного залежно від сортових особливостей, крупності насіння та строку його зберігання за температури 5–7 °С**

Варіант		Енергія проростання (%) облік через:		
Сортозразок	Маса 1000 шт., г	при закладці досліду (29.03.2021)	3 місяці (30.06.2021)	8 місяців (29.11.2021)
‘Морозко’	1,73	19	17	19
	1,63	65	59	76
	1,60	74	57	66
‘Dacota’	1,78	27	25	22
	1,63	69	69	76
	1,48	66	45	56
‘Cave-in-rock’	1,75	28	22	20
	1,35	62	55	69
	0,63	2	4	2
НІРзаг.		7,6		
НІР <sub>0,05</sub> строк зберігання		2,6		
НІР <sub>0,05</sub> сорт, маса 1000 шт.		2,5		

Так, якщо насіння, яке мало масу 1000 шт. 1,73 г, сорту ‘Морозко’ перед закладанням досліду енергія проростання становила 19 %, то на восьмий місяць зберігання цей показник був таким же – 19 %. Енергія проростання насіння з масою 1000 шт. 1,63 г цього ж сорту за вісім місяців зберігання достовірно збільшилася з 65 до 76 %, а насіння з масою 1000 шт. 1,60 г – навпаки енергія проростання значно зменшилася з 74 до 66 %.

Енергія проростання насіння сортозразків ‘Dacota’ та ‘Cave-in-rock’ з масою 1000 шт. 1,75–1,78 г зменшувалася як на третій, так і восьмий місяці зберігання. Найменшу енергію проростання мало насіння сортозразку ‘Cave-in-rock’ з масою 1000 шт. 0,63 г як при закладанні досліду, так і упродовж восьми місяців його зберігання, але зменшення цього показника не залежало від терміну зберігання. Якщо на період закладання досліду енергія проростання цього насіння становила лише 2 %, то через вісім місяців зберігання вона була такою ж. Аналогічні результати отримані і по схожості насіння.

Аналіз факторів, які впливали на енергію проростання в межах кожного окремо строку зберігання виявив, що вплив фактору «сорт» становив 37,2 %, фактору «маса 1000 насінини» – 17,5%, а найбільший вплив – 40,6 % був взаємодії факторів «сорт × маса 1000 насінин». Вплив факторів на схожість насіння був майже таким але найбільшим був вплив фактору «сорт» – 44,8 %. Вплив інших факторів та їх взаємодії був незначним або ж повністю був відсутнім.

Таблиця 3

**Схожість насіння проса прутіподібного залежно від сортових особливостей,  
крупності насіння та строку його зберігання за температури 5–7 °С**

Варіант		Схожість (%) облік через:		
Сортозразок	Маса 1000 шт., г	при закладці досліду (29.03.2021)	3 місяці (30.06.2021)	8 місяців (29.11.2021)
‘Морозко’	1,73	22	20	23
	1,63	67	60	76
	1,60	74	63	66
‘Dacota’	1,78	33	27	28
	1,63	74	74	77
	1,48	69	46	56
‘Cave-in-rock’	1,75	32	26	25
	1,35	67	56	69
	0,63	2	6	2
НІР заг		7,4		
НІР <sub>0,05</sub> строк зберігання		2,5		
НІР <sub>0,05</sub> сорт, маса 1000 шт.		2,5		

### Висновки

У середньому по сортозразках встановлено закономірне підвищення енергії проростання та схожості насіння зі збільшенням його маси. Водночас, закономірного підвищення якості насіння з різною масою 1000 насінин залежно від терміну зберігання не виявлено. Навпаки енергія проростання та схожість були нижчими, ніж в контролі – на період закладки.

### Використана література

1. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Досвід та перспективи вирощування тополі (*Populus sp.l.*) в Південному Степу України. *Наукові праці Лісової академії наук України*. 2009. Вип. 7. С. 66–69.
2. Яценко А. С., Балюк А. В., Єсіпов О. В. Світчґрас як енергоємка сировина для виробництва біопалива. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Молодь і технічний прогрес в АПВ»*. Харків, 2020. С. 54–55.
3. Можарівська І. А. Технологія вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва різних видів біопалива. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 85–89.
4. Кучеровська С. В., Стефановська Т. Р. Агроекологічні аспекти вирощування багаторічних трав для виробництва біопалива другої генерації. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2002. Вип. 4. С. 128–131.
5. Shastri Y. N., Hansen A. C., Rodriguez L. F., Ting K. C. Switchgrass – practical issues in developing a fuel crop. *CABI Reviews*. 2012. Vol. 2012. P. 1–14. doi: 10.1079/pavsnnr20127037
6. Гументик М. Я. Агротехнічні прийоми вирощування проса прутіподібного «*Panicum virgatum* L.». *Біоенергетика*. 2014. № 1. С. 29–32.
7. Shen Z., Parrish D. J., Wolf D. D., Welbaum G. E. Stratification in switchgrass seed is reversed and hastened by drying. *Crop Science*. 2001. Vol. 41. P. 1546–1551.
8. Дрига В. В. Стратифікація, як спосіб підвищення схожості насіння проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.). *Біоенергетика*. 2021. № 1. С. 16–18.
9. Дрига В. В. Якість насіння проса прутіподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від режиму його скарифікації. *Агробіологія*. 2020. Вип. 1. С. 35–41.
10. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В., Доронін В. В. Способи підвищення якості насіння світчґрасу. *Біоенергетика*. 2014. № 2. С. 22–24. doi: 10.2135/cropsci2001.4151546x

11. Доронін В. А., Бусол М. В., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Якості насіння постійну турботу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 13. С. 171–177.
12. Строна И. Г. Общее семеноведение полевых культур. Москва : Колос, 1966. 464 с.
13. Кизилова Е. Г. Разнокачественность семян и ее агрономическое значение. Колос : Урожай, 1974. 216 с.
14. Овчаров К. Е. Физиологические основы всхожести семян. Москва : Наука, 1969. 280 с.
15. Кулик М. І., Рожко І. І. Вплив агротехнічних заходів вирощування на формування врожайності насіння проса прутоподібного. *Альтернативні джерела енергії у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій* / за ред. Т. О. Чайки, О. О. Горба. Київ ; Полтава : Астроя, 2019. 276 с.
16. Доронін В. А., Кравченко Ю. А., Бусол М. В. та ін. Визначення схожості насіння проса прутоподібного (свічграсу) *Panicum virgatum* L. : методичні рекомендації. Київ : ІБКЦБ НААН, 2015. 10 с.
17. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi : Cosmo Publications, 2006. 354 p.

### References

1. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V., Fuchylo, O. Ya., & Litvin, V. M. (2009). Experience and prospects of growing poplar (*Populus* sp.l.) in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific works of the Forest Academy of Sciences of Ukraine*, 7, 66–69. [In Ukrainian]
2. Yatsenko, A. S., Baliuk, A. V., & Yesipov, O. V. (2020). Switchgrass as an energy-intensive raw material for biofuel production. In *Materials of the international scientific and practical conference “Youth and technical progress in APV”* (pp. 54–55). Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
3. Mozharivska, I. A. (2013). Technology of growing rare energy crops for the production of various types of biofuel. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 19, 85–89. [In Ukrainian]
4. Kucherovska, S. V., & Stefanovska, T. R. (2002). Agro-environmental aspects of perennial grasses growing for second generation biofuels. *Scientific Journal “Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University”*, 4, 128–131. [In Ukrainian]
5. Shastri, Y. N., Hansen, A. C., Rodriguez, L. F., & Ting, K. C. (2012). Switchgrass – practical issues in developing a fuel crop. *CABI Reviews*, 2012, 1–14. doi: 10.1079/pavsnnr20127037
6. Humentyk, M. Ya. (2014). Agrotechnical methods of growing millet “*Panicum virgatum* L.”. *Bioenergy*, 1, 29–32. [In Ukrainian]
7. Shen, Z., Parrish, D. J., Wolf, D. D., & Welbaum, G. E. (2001). Stratification in switchgrass seed is reversed and hastened by drying. *Crop Science*, 41, 1546–1551. doi: 10.2135/cropsci2001.4151546x
8. Dryha, V. V. (2021). Stratification as a method of increasing the germination of the seeds of barbed millet (*Panicum virgatum* L.). *Bioenergy*, 1, 16–18. [In Ukrainian]
9. Dryha, V. V. (2020). The quality of the seeds of millet (*Panicum virgatum* L.) depending on the regime of its scarification. *Agrobiology*, 1, 35–41. [In Ukrainian]
10. Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Busol, M. V., & Doronin, V. V. (2014). Ways to improve the quality of switchgrass seeds. *Bioenergy*, 2, 22–24. [In Ukrainian]
11. Doronin, V. A., Busol, M. V., Kravchenko, Yu. A., & Doronin, V. V. (2012). Constant concern for seed quality. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 13, 171–177. [In Ukrainian]
12. Strona, I. G. (1964). *General seed science of field crops*. Moscow: Kolos. [In russian]
13. Kizilova, E. G. (1974). *Different quality of seeds and its agronomic significance*. Kolos: Harvest. [In russian]

14. Ovcharov, K. E. (1969). *Physiological basis of seed germination*. Moscow: Nauka. [In russian]
15. Kulyk, M. I., & Rozhko, I. I. (2019). The influence of agrotechnical measures of cultivation on the formation of the yield of millet seeds. In T. O. Chaikf, & O. O. Gorb (Eds.), *Alternative energy sources for increased energy efficiency and energy independence of rural areas*. Kyiv: Astraya. [In Ukrainian]
16. Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., & Busol, M. V. (2015). *Determining the germination of Panicum virgatum L. seeds: methodical recommendations*. Kyiv: IBC&SB of NAAS. [In Ukrainian]
17. Fisher, R. A. (2006). *Statistical methods for research workers*. New Delhi: Cosmo Publications.

UDC 633.179: 631.53.01:631.559

**Dryha, V. V., Doronin, V. A.\* , Kravchenko, Yu. A., Doronin, V. V., & Orlov, S. D.** (2022). The effect of the storage conditions on the quality of switchgrass seeds of different 1000-kernel weight. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 26–32. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: doronin1955@ukr.net*

**Purpose.** Revealing the effect of the storage conditions for switchgrass seeds of different varieties and 1000-kernel weight on germination and seed vigour. **Methods.** Laboratory (determination of seed vigour and seed germination), measurement and weighting (determination of the 1000-kernel weight), and mathematical and statistical methods were used in the research. **Results.** It has been proven that seed vigour and germination naturally decreased along with a decrease in the 1000-kernel weight. On average, the lowest quality indicators were obtained for the seeds with the 1000-kernel weight of 1.24 g, however, during eight months of its storage, no natural decrease in the seed vigour and germination occurred. The quality of seeds with a greater 1000-kernel weight (1.67 g) was significantly higher and amounted to 55 and 58%. The smaller 1000-kernel weight, the lower was seed vigour and germination during storage for three and eight months was observed. No significant increase or decrease in seed quality was found depending on the 1000-kernel weight and the storage period. Similar results of the seed quality were obtained in the seed samples of different varieties. Seeds ‘Cave-in-rock’ variety with a 1000-kernel weight of 0.63 g had the lowest germination vigour, both at the beginning of the experiment and during eight months of storage; however, it did not depend on the storage period. **Conclusions.** On average of variety samples, a natural increase in seed vigour and germination occurs along with an increase in the 1000-kernel weight. At the same time, a natural increase in the seed quality of different 1000-kernel weight depending on the storage period was not found. On the contrary, seed vigour and germination were lower than in the control (at placing seeds for storage).

**Keywords:** variety sample; seed vigour; germination; term of storage; seed quality.

*Надійшла / Received 15.11.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 07.12.2022*



## РОСЛИННИЦТВО

УДК 633.15[631.527.5/.559:631.84+551.515] DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268943>

### Продуктивність кукурудзи залежно від забезпечення тепловими одиницями та живлення різними видами азотних добрив

С. М. Каленська\*, Р. В. Говенько

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, \*e-mail: svitlana.kalenska@gmail.com*

**Мета.** Установити ефективність застосування різних видів добрив у технологіях вирощування кукурудзи в Лівобережному Лісостепу України залежно від погодних умов років проведення досліджень. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на темно-сірому опідзоленому ґрунті. Результати дослідження були обраховані з використанням програмного пакету SAS 9.4. Дисперсійний аналіз виконували за системою оцінювання за ранговим критерієм Дункана. **Результати.** Розрахунки накопичення теплових одиниць показали суттєву різницю за роками, що значною мірою обумовлювало й рівень урожайності кукурудзи. За вегетаційний період кукурудзи сума активних температур в умовах північних регіонів Лівобережного Лісостепу змінювалася в середньому за 2019–2021 рр. від 3235 (травень – вересень) до 3731 (квітень – листопад). Найбільший діапазон різниці між сумами теплових одиниць був для періоду «квітень – жовтень» – від 3550 у 2019-му до 3845 у 2021 р., що свідчить про потенційну можливість більш ранніх строків сівби кукурудзи в цьому регіоні за сприятливих погодних умов. Гібриди кукурудзи ‘ЄС Конкорд’ та ‘ЄС Астероїд’ є досить пластичними й позитивно реагують на оптимізацію живлення. Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> у вигляді діаміфоски забезпечує підвищення врожайності їх зерна на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діаміфоски забезпечує зростання врожайності від 0,57 до 1,33 т/га, або на 8,0–18,6%. За внесення КАС 32 приріст урожайності ‘ЄС Конкорд’ становив 2,19 т/га, ‘ЄС Астероїд’ – 2,34 т/га порівняно з контролем. **Висновки.** Сума накопичених теплових одиниць за вегетаційний період об’єктивніше характеризує теплові ресурси території порівняно із сумами позитивних, активних та ефективних температур, що дає змогу точніше встановлювати оптимальні строки сівби та закінчення вегетації культури в умовах регіону проведення досліджень. Унесення азоту в декілька прийомів оптимізує живлення рослин кукурудзи, забезпечуючи зростання показників індивідуальної продуктивності та врожайності зерна до 18,6 %.

**Ключові слова:** гібрид; теплові одиниці; види азотних добрив; індекс урожайності.

#### Вступ

Кукурудза, за обсягом виробництва і споживання, вийшла на перше місце у світі серед зернових культур. Як культура інтенсивного типу, для формування високої врожайності вона потребує значних виробничих витрат, за якими часто перевищує інші зернові. Досягнення в селекції кукурудзи сприяють забезпеченню виробництва високопродуктивними, інноваційними гібридами, які своєю чергою є надзвичайно вимогливими до умов та технологій вирощування [1, 2].

За змінних кліматичних умов та технологій вирощування, адаптивність гібридів кукурудзи відіграє важливу роль [3–5]. Кукурудза ефективно реагує на оптимізацію живлення рослин через підвищення продуктивності [6, 7]. Генетичний прогрес за врожаєм зернових культур досягнуто переважно завдяки збільшенню індексу врожайності, або збирального індексу. Збиральний індекс також є важливим показником пристосування сортів та гібридів до місцевих умов [8, 9].

Кукурудза потребує підвищеного мінерального живлення, що пов'язано, насамперед, з довготривалим вегетаційним періодом та здатністю рослин засвоювати поживні речовини майже до самого завершення досягання зерна [10, 11]. Застосування добрив нового покоління з макро- та мікроелементним складом, нанодобрив, добрив пролонгованої дії забезпечує цільове використання рослинами елементів живлення [12–14]. Оптимізація живлення рослин тісно пов'язана зі збереженням родючості ґрунтів, мікробіологічного біорізноманіття та безпекою довкілля [15, 16].

Підвищення врожайності кукурудзи знаходиться в тісному корелятивному зв'язку з нормою азотних добрив, ефективність яких зростає за комбінованого застосування [1, 17, 18].

Ефективність використання елементів живлення кукурудзою також тісно пов'язана з ґрунтовими умовами, забезпеченням вологою, тепловими ресурсами та розвитком кореневої системи [19–23]. У сприятливі за погодними умовами роки чинники погоди та азоту об'єднуються, забезпечуючи високий рівень урожайності [24, 25]. Однак, у посушливі роки, істотно обмежується реакція кукурудзи на застосування азоту. За внесення відносно невеликих доз азоту в середньому за кілька років урожайність основної продукції може зростати лише на 10 %, а в роки із сприятливими умовами вологозабезпечення приріст врожаю може становити 50 % і більше [26]. Найбільше надходження макроелементів (42–81 %) припадає на період активного нарощування вегетативної маси [27].

Кукурудза на старті потребує лише 25 % необхідного їй азоту [11]. Досліджено, що на початкових фазах росту засвоєння азоту є незначним (3–9 %). Зменшення засвоєння азоту, викликане низькими температурами навесні, спричинює пожовтіння рослин і гальмування їх росту. Інтенсивніше азот надходить у рослину починаючи з фази 6–8 листків. Зокрема, якщо до фази 8 листків засвоюється лише 2–3 %, то від фази 8 листків до фази засихання квіткових стовпчиків на качанах – приблизно 85 % загальної кількості азоту [17]. Потреба у цьому елементі живлення стрімко зростає після формування 10 листків. Як засвідчують результати досліджень, високу ефективність забезпечує пролонговане азотне живлення кукурудзи [2, 13]. Найінтенсивніше поглинання азоту відбувається в період від 10–12 листків до молочної стиглості зерна, а калію – у першій половині вегетації. Фосфор використовується більш рівномірно майже до повної стиглості зерна [25].

На ранніх фазах росту й розвитку рослини кукурудзи через слабкорозвинену кореневу систему потерпають від нестачі як фосфору, так і марганцю й цинку. У фазі інтенсивного росту рослин кукурудзи потреба в цих елементах висока, оскільки вони активізують ферментативну діяльність [2, 28].

*Мета досліджень* – установити ефективність застосування різних видів добрив у технологіях вирощування кукурудзи в Лівобережному Лісостепу України залежно від погодних умов років проведення досліджень.

### **Матеріали та методика досліджень**

Польові дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. в умовах ФГ «Богатирівське» (с. Андріяшівка, Роменський р-н, Сумська обл.) у північній частині Лівобережного Лісостепу України. Досліди закладали відповідно до вимог методики дослідної справи [29]. Ґрунти дослідного поля – темно-сірі опідзолені зі вмістом азоту (за Тюрнімом – Коновою) – 40–50 мг/кг, рухомих форм фосфору та калію (за Чиріковим) – 50–100 і 40–80 мг/кг ґрунту відповідно.

Схема двофакторного польового дослідження:

*фактор А* – гібриди: 'ЕС Конкорд' та 'ЕС Астероїд';

*фактор В* – добрива: 1) без добрив – контроль; 2) N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (діамофоска) – фон; 3) фон + N<sub>120</sub> (аміачна вода); 4) фон + N<sub>120</sub> (КАС 32); 5) фон + N<sub>120</sub> (карбамід).

Польові дослідження проводили із середньостиглими гібридами ‘ЕС Конкорд’ (ФАО 250) та ‘ЕС Астероїд’ (ФАО 290). Перед основним обробітком, згідно зі схемою досліду, на дослідних ділянках уносили фон добрив, а саме діамофоску (10:26:26) – 220 кг ф. в. Добрива вносили розкидачем Amazone ZA-M Limiter X 1001 з подальшим зароблянням під оранку, яку проводили на глибину 30–35 см плугом Lemken Juwel 8M 5+1. Кукурудзу висівали за прогрівання ґрунту на глибині заробляння насіння до 8 °С: 2019 р. – 15 квітня; 2020 – 19 квітня; 2021 р. – 23 квітня. Сівбу проводили сівалкою ELVORTI VESTA 8 на глибину 5 см з нормою висіву 75 тис. насінин на один гектар.

Під передпосівний обробіток ґрунту вносили різні види азотних добрив відповідно до схеми досліду.

Збирали врожай поділянково шляхом суцільного обмолоту. Перед збиранням урожаю відбирали пробні зразки рослин для визначення біологічної врожайності та структури врожаю.

Розміщення ділянок – рендомізоване, за чотириразової повторності. Площа облікової ділянки – 50 м<sup>2</sup>.

Статистичну обробку даних польових дослідів, зокрема врожайності, проводили з використанням програмного пакету SAS 9.4, розробленого Університетом штату Північна Кароліна, США. Дисперсійний аналіз виконували за системою оцінювання за ранговим критерієм Дункана [29].

### Результати досліджень

Роки досліджень досить суттєво різнилися за гідротермічними показниками, що дало змогу об’єктивно оцінити за врожайністю досліджувані гібриди та виявити їх реакцію на різні види азотних добрив за різноманітних погодних умов.

В усі роки проведення досліджень у квітні, а особливо в травні, випадали опади, які перевищували багаторічну їх кількість у регіоні, і сприяли забезпеченню вологою (табл. 1).

Таблиця 1

**Середньомісячні опади та коефіцієнти суттєвості відхилення середньомісячних опадів від багаторічних даних**

Місяць	Багаторічні середньомісячні опади, мм (2008–2018)	Середньомісячні опади, мм				Гідротермічний коефіцієнт*		
		2019	2020	2021	2019–2021	2019	2020	2021
Квітень	36,0	33,1	32,3	67,2	44,2	2,0	3,6	9,7
Травень	57,0	67,5	147,2	83,4	99,3	1,4	4,6	2,1
Червень	73,0	42,0	54,0	73,1	56,4	0,6	0,8	1,2
Липень	72,0	56,2	60,4	51,5	56,0	1,0	0,9	0,7
Серпень	58,0	9,7	29,6	61,3	33,5	0,1	0,5	0,9
Вересень	44,0	40,3	33,5	6,8	26,9	1,0	0,7	0,1
Жовтень	40,0	22,4	30,1	0,01	17,5	1,0	1,0	0,01

\*ГТК: < 0,4 – дуже сильна посуха; 0,4–0,5 – сильна посуха; 0,6–0,7 – середня посуха; 0,8–0,9 – слабка посуха; 1,0–1,5 – достатньо волого; > 1,5 – надмірно волого.

Значні запаси вологи сприяли появі дружних сходів. Сумарна кількість опадів у період активної вегетації (червень – жовтень) була нижчою порівняно з багаторічними даними. Винятком був лише серпень 2021 р., впродовж якого випало 61,3 мм (середньобагаторічна норма – 58,0 мм). Особливо критичним, також в усі роки, було забезпечення вологою в серпні, вересні та жовтні. Нестача вологи негативно позначилася на масі 1000 насінин.

Загалом температурний режим упродовж років проведення досліджень був сприятливим для росту й розвитку гібридів кукурудзи. Середньодобові температури, за деякими винятками, мало відрізнялися від багаторічних показників. Відповідність теплових ресурсів вимогам гібридів кукурудзи є критичною умовою їх вибору за скоростиглістю, реалізації генетичного потенціалу, формування врожайності та якості зерна. Для регіону проведення дослідження важливим є встановлення оптимальних строків сівби та закінчення вегетації, що пов'язано з температурним режимом. З метою оцінювання умов вирощування гібридів кукурудзи нами було розраховано накопичення теплових одиниць (СНУ) упродовж вегетаційного періоду росту й розвитку рослин відповідно до методики D. M Brown, A. Bootsma [30]. Особливістю розрахунку СНУ є те, що він ведеться для кожної доби і враховуються мінімальні та максимальні температури. Роки різнилися за надходженням тепла – як за абсолютними показниками, так і тривалістю періоду надходження. Значна різниця між роками була власне в період перед сівбою і появою сходів (табл. 2).

Таблиця 2

**Сума теплових одиниць (СНУ) за декадами  
впродовж вегетаційного періоду**

Місяць	Декада	Рік			Середнє за 2019–2021
		2019	2020	2021	
Квітень	1	70,5	54,7	22,4	49,2
	2	48,1	29,5	46,5	41,4
	3	125,3	91,2	43,2	86,6
	$\Sigma$	<b>243,9</b>	<b>175,4</b>	<b>112,1</b>	<b>177,2</b>
Травень	1	131,2	133,5	98,5	121,1
	2	205,9	102,5	173,4	160,6
	3	262,2	116,9	159,7	179,2
	$\Sigma$	<b>599,3</b>	<b>352,8</b>	<b>431,5</b>	<b>461,2</b>
Червень	1	268,6	205,9	187,7	220,7
	2	284,3	292,7	257,7	278,2
	3	254,4	269,0	289,8	271,1
	$\Sigma$	<b>807,3</b>	<b>767,5</b>	<b>735,2</b>	<b>770,0</b>
Липень	1	216,9	254,3	280,5	250,6
	2	214,4	219,6	295,9	243,3
	3	281,7	265,0	287,1	277,9
	$\Sigma$	<b>712,9</b>	<b>738,9</b>	<b>863,5</b>	<b>771,8</b>
Серпень	1	207,4	237,3	241,8	228,8
	2	251,4	212,3	252,5	238,7
	3	269,2	257,2	263,1	263,2
	$\Sigma$	<b>727,9</b>	<b>706,8</b>	<b>785,9</b>	<b>730,7</b>
Вересень	1	238,2	239,3	173,4	217,2
	2	151,3	160,9	201,9	171,4
	3	88,2	182,1	88,9	112,4
	$\Sigma$	<b>478,4</b>	<b>582,2</b>	<b>442,4</b>	<b>501,0</b>
Жовтень	1	72,7	187,7	81,8	114,1
	2	153,3	101,6	58,2	104,2
	3	49,8	74,2	68,1	64,0
	$\Sigma$	<b>275,9</b>	<b>363,5</b>	<b>208,1</b>	<b>282,3</b>
Листопад	1	43,6	12,2	49,5	35,0
	2	2,37	0,00	0,77	1,00
	3	0,00	0,00	14,5	4,80
	$\Sigma$	<b>46,9</b>	<b>12,2</b>	<b>64,7</b>	<b>40,8</b>

Зокрема, 2021 р. характеризувався досить тривалим періодом «входження» в активну стадію накопичення СНУ у весняний період. Стабільний перехід до накопичення СНУ відзначено лише 10 квітня, але надалі накопичення СНУ відбувалося переважно за рахунок денних теплових одиниць і тривало до закінчення першої декади травня. За квітень кількість теплових одиниць становила лише 112,1. Накопичення СНУ вночі, відповідно до методики, також не розраховується, якщо мінімальна температура повітря не перевищує 4,44, таким чином у третій декаді травня накопичення відбувалося лише за рахунок дня. У період з 25 до 29 квітня вночі були зафіксовані помірні мінусові температури, що обумовило зниження СНУ. У першій декаді травня накопичення СНУ також відбувалося переважно за рахунок денних температур. Лише після 11 травня почалося накопичення тепла і за рахунок ночі. У другій декаді травня було накопичено 173,4, третій – 159,7, а загалом за місяць – 431,5 теплових одиниць. Упродовж червня й липня накопичення СНУ в усі роки відбувається рівномірно за рахунок дня і ночі. У вересні відбувається зниження накопичення СНУ і частка накопичення поступово стає майже рівномірною за рахунок денного і нічного тепла. У третій декаді вересня вже лише в половині діб накопичення відбувалося переважно за рахунок денного тепла.

Максимальна кількість СНУ накопичується в травні – жовтні (табл. 3). Упродовж активної вегетації рослин кукурудзи (травень – жовтень) у 2021 р. було накопичено 3602 теплові одиниці. Різниця порівняно з періодом травень – вересень становила 276 теплових одиниць, а з періодом травень – листопад – лише 46. Варто зазначити, що у 2021 р. було максимальне забезпечення тепловими ресурсами порівняно з 2020 і 2019 рр. – відповідно 3511 і 3438 теплових одиниць.

Кількість СНУ до травня і після жовтня не має суттєвого впливу на загальну їх суму. Загальна кількість накопичених СНУ коливалася від 3891 за квітень – листопад у 2021 р. до 3148 за травень – вересень у 2020 р. У жовтні в усі роки ще спостерігалось накопичення теплових одиниць, що свідчить про те, що в цей період може відбуватися повноцінний налив зернівок і збільшення маси 1000 насінин.

Таблиця 3

Сума теплових одиниць за періоди (СНУ)

Період, Місяць	Рік			Середнє 2019–2021
	2019	2020	2021	
IV–XI	3615	3686	3891	3731
IV–X	3550	3686	3845	3694
IV–IX	3342	3323	3570	3412
V–XI	3503	3523	3648	3558
V–X	3438	3511	3602	3517
V–IX	3230	3148	3326	3235

Гібриди є пластичними до умов вирощування та мають значну реакцію на добрива. Діапазон зміни врожайності в середньому за 2019–2021 рр. для гібрида ‘ЕС Конкорд’ становив від 6,07 (контроль) до 8,26 т/га за внесення КАС 32 (N<sub>120</sub> кг/га д. р.) на фоні N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (діамофоска); ‘ЕС Астероїд’ – від 6,16 до 8,50 т/га відповідно (табл. 4).

Потенційна родючість ґрунтів дослідного поля є високою – врожайність у контрольних варіантах (без добрив) сформувалась на рівні 6,07 та 6,16 т/га відповідно для ‘ЕС Конкорд’ та ‘ЕС Астероїд’.

Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> (фон, діамофоска) забезпечувало зростання врожайності на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діамофоски сприяло збільшенню врожайності ще на 8,0–18,6 %. За внесення КАС 32 приріст урожайності гібрида ‘ЕС Конкорд’ становив 2,19 т/га, або 36,1 %, а ‘ЕС Астероїд’ – 2,34 т/га, або 38,0 % порівняно з контролем. Реакція гібридів на внесення аміачної води та карбаміду, через приріст урожайності, була нижчою порівняно зі внесенням КАС 32.



## Урожайність гібридів кукурудзи залежно від норми внесення та виду добрив

Удобрення (фактор В)		Рік			Середнє	Приріст урожаю	
Норма добрив, кг/га д. р.	Вид добрива	2019	2020	2021		т/га	%
‘СС Конкорд’ (фактор А)							
Контроль, без добрив		5,31 <sup>a</sup>	6,55 <sup>a</sup>	6,34 <sup>a</sup>	6,07 <sup>a</sup>	–	–
N <sub>22</sub> P <sub>57</sub> K <sub>57</sub> – фон	Діамофоска	6,23 <sup>b</sup>	7,61 <sup>b</sup>	7,35 <sup>b</sup>	7,06 <sup>b</sup>	0,99	16,3
Фон + N <sub>120</sub>	Аміачна вода	6,81 <sup>c</sup>	8,18 <sup>c</sup>	8,02 <sup>c</sup>	7,67 <sup>c</sup>	1,60	26,4
Фон + N <sub>120</sub>	КАС	7,37 <sup>d</sup>	8,93 <sup>d</sup>	8,48 <sup>d</sup>	8,26 <sup>d</sup>	2,19	36,1
Фон + N <sub>120</sub>	Карбамід	6,45 <sup>b</sup>	8,59 <sup>cd</sup>	8,17 <sup>c</sup>	7,74 <sup>c</sup>	1,67	27,5
‘СС Астероїд’ (фактор А)							
Контроль, без добрив		5,18 <sup>a</sup>	6,80 <sup>a</sup>	6,49 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup>	–	–
N <sub>22</sub> P <sub>57</sub> K <sub>57</sub> – фон	Діамофоска	6,38 <sup>b</sup>	7,69 <sup>b</sup>	7,44 <sup>b</sup>	7,17 <sup>b</sup>	1,01	16,4
Фон + N <sub>120</sub>	Аміачна вода	6,71 <sup>b</sup>	8,30 <sup>c</sup>	8,22 <sup>c</sup>	7,74 <sup>c</sup>	1,58	25,6
Фон + N <sub>120</sub>	КАС	7,34 <sup>c</sup>	9,20 <sup>d</sup>	8,96 <sup>d</sup>	8,50 <sup>d</sup>	2,34	38,0
Фон + N <sub>120</sub>	Карбамід	6,97 <sup>bc</sup>	8,49 <sup>c</sup>	8,41 <sup>c</sup>	7,96 <sup>c</sup>	1,80	29,2

**Примітка.** Суттєва різниця між значеннями присутня за позначення різними літерами в одній колонці, SAS 9,4.

Індекс урожайності суттєво різниться для гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та погодних умов – 0,31–0,51. За внесення N<sub>120</sub> на фоні N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> формується значно вища врожайність гібридів кукурудзи, але й вегетативна маса також формується більш інтенсивно. За сприятливих погодних умов індекс урожайності має значний діапазон варіювання. Загальна маса рослин та вихід зерна навіть для певного гібрида суттєво варіює залежно від удобрення у вологі роки, а в посушливі роки варіювання є незначним. Через що індекс урожайності за внесення додаткового азоту був нижчим в усі роки і для обох гібридів, лише за деякими винятками. Установлена тенденція щодо зміни індексу врожайності залежно від виду добрив. За внесення КАС співвідношення вегетативної маси і зерна в усі роки був стабільним і знаходився в інтервалі 0,48–0,51 залежно від погодних умов року.

## Висновки

За вегетаційний період кукурудзи сума активних температур в умовах північних регіонів Лівобережного Лісостепу змінювалася в середньому за 2019–2021 рр. від 3235 (травень – вересень) до 3731 (квітень – листопад). Найбільший діапазон різниці між сумами теплових одиниць був для періоду «квітень – жовтень» – від 3550 у 2019-му до 3845 у 2021 р., що свідчить про потенційну можливість більш ранніх строків сівби кукурудзи в цьому регіоні за сприятливих погодних умов. Сума накопичених теплових одиниць за вегетаційний період об’єктивніше характеризує теплові ресурси території порівняно із сумами позитивних, активних та ефективних температур.

Унесення азоту в декілька прийомів оптимізує живлення рослин кукурудзи, забезпечуючи зростання показників індивідуальної продуктивності та врожайності зерна. Гібриди кукурудзи є досить пластичними й позитивно реагують на оптимізацію живлення. Унесення N<sub>22</sub>P<sub>57</sub>K<sub>57</sub> у вигляді діамофоски забезпечує підвищення врожайності на 0,99–1,01 т/га, або 16,3–16,4 %. Додаткове внесення азотних добрив на фоні діамофоски забезпечує зростання врожайності від 0,57 до 1,33 т/га, або на 8,0–18,6 %. За внесення КАС 32 приріст урожайності ‘СС Конкорд’ становив 2,19 т/га, ‘СС Астероїд’ – 2,34 т/га порівняно з контролем. Індекс урожайності різниться за вирощування гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та погодних умов – 0,31–0,50. За сприятливих погодних умов індекс урожайності має значний діапазон варіювання. Загальна маса рослин та вихід зерна навіть для певного гібрида суттєво варіює залежно від норми та виду удобрення у вологі роки, а в посушливі роки варіювання є незначним.

**Використана література**

1. Shafi M., Bakht J., Ali S. et al. Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 2012. Vol. 44, Iss. 2. P. 691–696.
2. Ali, S., Uddin, S., Ullah, O. et al. Yield and yield components of maize response to compost and fertilizer-nitrogen. *Food Science and Quality Management*. 2015. Vol. 38. P. 39–44.
3. Ruiz M. B., D'Andrea K. E., Otegui M. E. Phenotypic plasticity of maize grain yield and related secondary traits: Differences between inbreds and hybrids in response to contrasting water and nitrogen regimes. *Field Crops Research*. 2019. Vol. 239. P. 19–29. doi: 10.1016/j.fcr.2019.04.004
4. Kalenska S., Ryzhenko A., Novytska N. et al. Morphological Features of Plants and Yield of Sunflower Hybrids Cultivated in the Northern Part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*. 2020. Vol. 11, Iss. 8. P. 1331–1344. doi: 10.4236/ajps.2020.118095
5. Ross F., Matteo J. D., Cerrudo A. Maize prolificacy: a source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in drought prone environments. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 247. Article 107699. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107699
6. Chassot A., Stamp P., Richner W. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil*. 2001. Vol. 231. P. 123–135. doi: 10.1023/A:1010335229111
7. Lopushniak V. Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western Forest-Steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 44, Iss. 1. P. 19–25.
8. Egli D. B. Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel  $m^{-2}$  in maize. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 136. Article 126486. doi: 10.1016/j.eja.2022.126486
9. Chakwizira E., Teixeira E. I., de Ruiter J. M. et al. Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. *Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world", 4–8 December 2016, Melbourne, Australia*. URL: [http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016\\_Chakwizira\\_Emmanuel.pdf](http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Chakwizira_Emmanuel.pdf)
10. Drulis P., Kriauciūnienė Z., Liakas V. The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, Iss. 3. Article 741. doi: 10.3390/agronomy12030741
11. Pierson W. The effects of starter fertilizer on root and shoot growth of corn hybrids and seeding rates and plant-to-plant variability in growth and grain yield: Master of Science Dissertations / Iowa State University. Ames, Iowa, 2013. 127 p. doi: 10.31274/etd-180810-3378
12. Batsmanova L., Taran N., Konotop Y. et al. Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. Vol. 21, Iss. 2. P. 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414
13. Balawejder M., Szostek M., Gorzelany J. et al. Study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 4. Article 1343. doi: 10.3390/su12041343
14. Novytska N., Gadzvsokiy G., Mazurenko B. et al. Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, Iss. 3. P. 2512–2519. doi: 10.15159/ar.20.203
15. Yang L., Muhammad I., Chi Y. X. et al. Straw return and nitrogen fertilization to maize regulate soil properties, microbial community, and enzyme activities under a dual cropping system. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 823963. doi: 10.3389/fmicb.2022.823963
16. Lopushniak V. Fertilization system as a factor of transforming the humus state of the soil. *Agricultural Science and Practice*. 2015. Vol. 2, Iss. 2. P. 39–44. doi: 10.15407/agrisp2.02.039
17. Paponov I. A., Engels C. Effect of nitrogen supply on leaf traits related to photosynthesis during grain filling in two maize genotypes with different N efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003. Vol. 166, Iss. 6. P. 756–763. doi: 10.1002/jpln.200320339

18. Rossini M. A., Otegui M. E., Martínez E. L., Maddonni G. A. Contribution of the early-established plant hierarchies to maize crop responses to N fertilization. *Field Crops Research*. 2018. Vol. 216. P. 141–149. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.015
19. Casali L., Herrera J. M., Rubio G. Resilient soybean and maize production under a varying climate in the semi-arid and sub-humid Chaco. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 135. Article 126463. doi: 10.1016/j.eja.2022.126463
20. Zhoua B., Suna X., Wangb D. et al. Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *Crop Journal*. 2019. Vol. 7, Iss. 4. P. 527–538. doi: 10.1016/j.cj.2018.12.005
21. Yan H., Li K., Ding H. et al. Root morphological and proteomic responses to growth restriction in maize plants supplied with sufficient N. *Journal of Plant Physiology*. 2011. Vol. 168, Iss. 10. P. 1067–1075. doi: 10.1016/j.jplph.2010.12.018
22. Smetanska I., Tonkha O., Patyka T. et al. The influence of yeast extract and jasmonic acid on phenolic acids content of *in vitro* hairy root cultures of *Orthosiphon aristatus*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 1–8. doi: 10.5219/1508
23. Duvick D. N., Cassman K. Y. Post-green revolution trends in yields potential of temperate mais in the north-central USA. *Crop Science*. 1999. Vol. 39, Iss. 6. P. 1622–1630. doi: 10.2135/cropsci1999.3961622x
24. Trachsel S., San Vicente F. M., Suarez E. A. et al. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 154, Iss. 4. P. 689–704. doi: 10.1017/S0021859615000696
25. Fernández M. C., Rubio G. Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. Vol. 178, Iss. 5. P. 807–815. doi: 10.1002/jpln.201500155
26. Khalili M., Naghavi M. R., Aboughadareh A. P., Rad H. N. Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize Cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2013. Vol. 4, Iss. 4. P. 809–812.
27. Neilson E. H., Edwards A. M., Blomstedt C. K. et al. Utilization of a high-throughput shoot imaging system to examine the dynamic phenotypic responses of a C<sub>4</sub> cereal crop plant to nitrogen and water deficiency over time. *Journal of Experimental Botany*. 2015. Vol. 66, Iss. 7. P. 1817–1832. doi: 10.1093/jxb/eru526
28. Wnuk A., Górny A. G., Bocianowski J., Kozak M. Visualizing harvest index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science*. 2013. Vol. 8, Iss. 2. P. 48–59.
29. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
30. Brown D. M., Bootsma A. Crop Heat Units for Corn and Other Warm Season Crops in Ontario. URL: <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Berechnung-CHU-Uni-Guelph-Ontario.pdf>

## References

1. Shafi, M., Bakht, J., Ali, S., Khan, H., Khan, M. A., & Sharif, M. (2012). Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 44(2), 691–696.
2. Ali, S., Uddin, S., Ullah, O., Shah, S., ud-Din, S., & Ali, T. (2015). Yield and yield components of maize response to compost and fertilizer-nitrogen. *Food Science and Quality Management*, 38, 39–44.
3. Ruiz, M. B., D'Andrea, K. E., & Otegui, M. E. (2019). Phenotypic plasticity of maize grain yield and related secondary traits: Differences between inbreds and hybrids in response to contrasting water and nitrogen regimes. *Field Crops Research*, 239, 19–29. doi: 10.1016/j.fcr.2019.04.004



4. Kalenska, S., Ryzhenko, A., Novytska, N., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., & Shytiy, O. (2020). Morphological Features of Plants and Yield of Sunflower Hybrids Cultivated in the Northern Part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*, 11(8), 1331–1344. doi: 10.4236/ajps.2020.118095
5. Ross, F., Di Matteo, J., & Cerrudo, A. (2020). Maize prolificacy: a source of reproductive plasticity that contributes to yield stability when plant population varies in drought prone environments. *Field Crops Research*, 247, Article 107699. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107699
6. Chassot, A., Stamp, P., & Richner, W. (2001). Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. *Plant and Soil*, 231, 123–135. doi: 10.1023/A:1010335229111
7. Lopushniak, V. (2011). Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western forest-steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*, 44(1), 19–25.
8. Egli, D. B. (2022). Modelling the effect of variation of in-row spacing on kernel  $m^{-2}$  in maize. *European Journal of Agronomy*, 136, Article 126486. doi: 10.1016/j.eja.2022.126486
9. Chakwizira, E., Teixeira, E. I., de Ruiter, J. M., Maley, S., & George, M. J. (2016). Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. In *Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference, "Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world", 4–8 December 2016, Melbourne, Australia*. Retrieved from [http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016\\_Chakwizira\\_Emanuel.pdf](http://www.ini2016.com/pdf-papers/INI2016_Chakwizira_Emanuel.pdf)
10. Drulis, P., Kriauciūnienė, Z., & Liakas, V. (2022). The Influence of Different Nitrogen Fertilizer Rates, Urease Inhibitors and Biological Preparations on Maize Grain Yield and Yield Structure Elements. *Agronomy*, 12(3), Article 741. doi: 10.3390/agronomy12030741
11. Pierson, W. (2013). *The effects of starter fertilizer on root and shoot growth of corn hybrids and seeding rates and plant-to-plant variability in growth and grain yield* (Master of science Dissertations, Iowa State University). Ames, Iowa. doi: 10.31274/etd-180810-3378
12. Batsmanova, L., Taran, N., Konotop, Y., Kalenska, S., & Novytska, N. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*, 21(2), 311–319. doi: 10.5513/JCEA01/21.2.2414
13. Balawejder, M., Szostek, M., Gorzelany, J., Antos, P., Witek, G., & Matłok, N. (2020). Study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*, 12(4), Article 1343. doi: 10.3390/su12041343
14. Novytska, N., Gadzovskiy, G., Mazurenko, B., Kalenska, S., Svistunova, I., & Martynov, O. (2020). Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*, 18(3), 2512–2519. doi: 10.15159/ar.20.203
15. Yang, L., Muhammad, I., Chi, Y. X., Wang, D., & Zhou, X. B. (2022). Straw return and nitrogen fertilization to maize regulate soil properties, microbial community, and enzyme activities under a dual cropping system. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 823963. doi: 10.3389/fmicb.2022.823963
16. Lopushniak, V. (2015). Fertilization system as a factor of transforming the humus state of the soil. *Agricultural Science and Practice*, 2(2), 39–44. doi: 10.15407/agrisp2.02.039
17. Paponov, I. A., & Engels, C. (2003). Effect of nitrogen supply on leaf traits related to photosynthesis during grain filling in two maize genotypes with different N efficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(6), 756–763. doi: 10.1002/jpln.200320339
18. Rossini, M. A., Otegui, M. E., Martínez, E. L., & Maddonni, G. A. (2018). Contribution of the early-established plant hierarchies to maize crop responses to N fertilization. *Field Crops Research*, 216, 141–149. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.015
19. Casali, L., Herrera, J. M., & Rubio, G. (2022). Resilient soybean and maize production under a varying climate in the semi-arid and sub-humid Chaco. *European Journal of Agronomy*, 135, Article 126463. doi: 10.1016/j.eja.2022.126463

20. Zhou, B., Sun, X., Wang, D., Ding, Z., Li, C., Ma, W., & Zhao, M. (2019). Integrated agronomic practice increases maize grain yield and nitrogen use efficiency under various soil fertility conditions. *Crop Journal*, 7(4), 527–538. doi: 10.1016/j.cj.2018.12.005
21. Yan, H., Li, K., Ding, H., Liao, C., Li, X., Yuan, L., & Li, C. (2011). Root morphological and proteomic responses to growth restriction in maize plants supplied with sufficient N. *Journal of Plant Physiology*, 168(10), 1067–1075. doi: 10.1016/j.jplph.2010.12.018
22. Smetanska, I., Tonkha, O., Patyka, T., Hunaefi, D., Mamdouh, D., Patyka, M., ... Omelian, A. (2021). The influence of yeast extract and jasmonic acid on phenolic acids content of *in vitro* hairy root cultures of *Orthosiphon aristatus*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 1–8. doi: 10.5219/1508
23. Duvick, D. N., & Cassman, K. G. (1999). Post-green revolution trends in yields potential of temperate maize in the north-central USA. *Crop Science*, 39(6), 1622–1630. doi: 10.2135/cropsci1999.3961622x
24. Trachsel, S., San Vicente, F. M., Suarez, E. A., Rodriguez, C. S., & Atlin, G. N. (2015). Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Science*, 154(4), 689–704. doi: 10.1017/S0021859615000696
25. Fernandez, M. C., & Rubio, G. (2015). Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(5), 807–815. doi: 10.1002/jpln.201500155
26. Khalili, M., Naghavi, M. R., Aboughadareh, A. P., & Rad, H. N. (2013). Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize Cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 809–812.
27. Neilson, E. H., Edwards, A. M., Blomstedt, C. K., Berger, B., Møller, B. L., & Gleadow, R. M. (2015). Utilization of a high-throughput shoot imaging system to examine the dynamic phenotypic responses of a C<sub>4</sub> cereal crop plant to nitrogen and water deficiency over time. *Journal of Experimental Botany*, 66(7), 1817–1832. doi: 10.1093/jxb/eru526
28. Wnuk, A., Górny, A. G., Bocianowski, J., & Kozak, M. (2013). Visualizing harvest index in crops. *Communications in Biometry and Crop Science*, 8(2), 48–59.
29. Prysiazniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
30. Brown, D. M., & Bootsma, A. (n. d.). *Crop Heat Units for Corn and Other Warm Season Crops in Ontario*. Retrieved from <https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Berechnung-CHU-Uni-Guelph-Ontario.pdf>

UDC 633.15[631.527.5/.559:631.84+551.515]

**Kalenska, S. M.\***, & **Hovenko, R. V.** (2022). Productivity of corn as affected by the accumulation of heat units and different nitrogen fertilizers. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 33–43. [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, \*e-mail: svitlana.kalenska@gmail.com*

**Purpose.** To establish the effectiveness of the application of different fertilizers in corn cultivation technologies in the Left Bank Forest Steppe of Ukraine, depending on the weather conditions of the years of research. **Methods.** Field research was conducted in the years 2019–2021 in dark grey podzolized soil. The results of the study were calculated using the SAS 9.4 software package. Analysis of variance was performed using the Duncan rank criterion. **Results.** Calculations of the accumulation of heat units showed a significant difference by year, which largely determined the level of corn productivity. During vegetation, the sum of active temperatures in the conditions of the northern regions of the Left Bank Forest-Steppe varied, on average for

2019–2021, from 3235 (May–September) to 3731 (April–November). The largest range of difference between the sums of heat units was for the period April–October, from 3550 in 2019 to 3845 in 2021, which indicates the potential for earlier corn sowing dates in this region under favorable weather conditions. Corn hybrids 'EU Concord' and 'EU Asteroid' are quite plastic and respond positively to optimization of nutrition. Application of  $N_{22}P_{57}K_{57}$  in the form of diamophoska provides an increase in the yield of their grain by 0.99–1.01 t/ha, or 16.3–16.4%. Additional application of nitrogen fertilizers against the background of diammonium phosphate provides an increase in yield from 0.57 to 1.33 t/ha, or by 8.0–18.6%. With the introduction of potassium ammonium nitrate (KAN 32), the yield increase in 'EU Concord' was 2.19 t/ha and in 'EU Asteroid' 2.34 t/ha compared to the control. **Conclusions.** The sum of the accumulated heat units during vegetation more objectively characterizes the thermal resources of the area compared to the sums of positive, active and effective temperatures, which makes it possible to more accurately determine the optimal dates for sowing and the end of the crop vegetation season in the conditions of the research region. Applying nitrogen in several ways optimizes the nutrition of corn plants, ensuring an increase in individual productivity and grain yield up to 18.6%.

**Keywords:** hybrid; heat units; types of nitrogen fertilizers; productivity index.

Надійшла / Received 21.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 09.12.2022

УДК 633.358:631.54:631.84

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.270118>

## Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від азотного удобрення та інокуляції насіння в умовах Правобережного Лісостепу України

Н. В. Новицька, О. В. Пономаренко\*

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, \*e-mail: [ronomarenko2332@gmail.com](mailto:ronomarenko2332@gmail.com)

**Мета.** Оцінити фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2019–2021 рр. на полях відокремленого підрозділу НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.). Горох озимий 'НС Мороз' висівали в другій половині вересня нормою 1,2 млн схожих насінин/га, ширина міжрядь – 15 см, глибина висіву насіння – 4–4,5 см. Схема досліду передбачала комбіноване застосування таких технологічних чинників, як інокуляція насіння (без інокуляції; Оптімайз Пульс, 3,3 л/т) та азотне удобрення – основне внесення + ранньовесняне підживлення ( $N_0$ ;  $N_{15} + N_{15}$ ;  $N_{15} + N_{30}$ ;  $N_{15} + N_{45}$ ;  $N_{30} + N_0$ ;  $N_{30} + N_{15}$ ;  $N_{30} + N_{30}$ ;  $N_{45} + N_0$ ;  $N_{45} + N_{15}$ ;  $N_{60} + N_0$ ). В основне удобрення як загальний фон також вносили  $R_{45}K_{45}$ . **Результати.** Інокуляція насіння та азотні добрива позитивно впливають на фотосинтетичну діяльність посівів гороху озимого, однак ефективність їхньої дії значною мірою залежить як від доз і строків внесення добрив, так і фази розвитку культури. Установлено, що в осінній період вегетації гороху озимого (повні сходи – стеблуння) вплив досліджуваних агротехнічних заходів на формування показників площі листової поверхні (ПЛП), фотосинтетичного потенціалу (ФП) та чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) був здебільшого неістотним. У період весняно-літньої вегетації у досліді суттєво зростав вплив чинника інокуляції насіння, а також ранньовесняного підживлення азотом, натомість зменшувався основного удобрення. Найбільші параметри ПЛП (у середньому по досліді 31,4 тис.  $m^2/га$ ) посіви формували у фазі

цвітіння, ФП – у період формування бобів – досягання насіння (0,75 млн м<sup>2</sup>/га × діб). Застосування інокуляції насіння порівняно з варіантами без неї сприяло підвищенню цих показників на 5,33 тис. м<sup>2</sup>/га та 0,17 млн м<sup>2</sup>/га × діб відповідно. Максимальні в досліді значення як ПЛП (35,77–36,45 тис. м<sup>2</sup>/га), так і ФП (0,91–0,93 млн м<sup>2</sup>/га × діб) отримано за внесення N<sub>15</sub> + N<sub>30-45</sub> та N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub> на фоні інокуляції насіння, мінімальні – на контролях (N<sub>0</sub>). Кардинально іншими були закономірності формування ЧПФ. Найвищі її показники в період відновлення вегетації – бутонізація рослин (як і в наступні міжфазні періоди) спостерігалися передусім за мінімального застосування добрив (N<sub>30</sub> + N<sub>0</sub>, N<sub>15</sub> + N<sub>15</sub>) або ж у контрольних варіантах (N<sub>0</sub>) – 8,1–9,2 г/м<sup>2</sup> за добу. Інокуляція насіння на формування ЧПФ істотно не впливала. Максимальний уміст хлорофілу *a* в рослинах – 5,90 мг/г формувалася у фазі бутонізації, поступово знижуючись до 5,74 і 5,05 мг/г у фазах цвітіння та формування бобів відповідно. Натомість уміст хлорофілу *b* найнижчим був у фазі бутонізації – 12,37 мг/г, досягав максимуму в період цвітіння – 19,71 мг/г, дещо знижуючись у фазі формування бобів – 16,37 мг/г сирової маси. Інокуляція насіння сприяла підвищенню вмісту хлорофілу *a* за фазами розвитку в середньому на 0,9–1,0 мг/г, хлорофілу *b* – на 1,4–2,2 мг/г. Що стосується варіантів мінерального удобрення, то найліпшими були схеми N<sub>15</sub> + N<sub>30-45</sub>. **Висновки.** Застосування інокуляції насіння та азотних добрив є вагомим і дієвим чинником інтенсифікації фотосинтетичної діяльності посівів гороху озимого. Виявлені у процесі дослідження закономірності формування показників площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та вмісту фотосинтетичних пігментів можуть бути використані для вдосконалення технології вирощування культури з метою якнайповнішої реалізації її потенційної продуктивності в умовах Правобережного Лісостепу України.

**Ключові слова:** площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; уміст хлорофілів.

## Вступ

Від розмірів та ефективності роботи фотосинтетичного апарату рослин залежить величина врожаю всіх без винятку сільськогосподарських культур. Дослідження щодо оптимізації фотосинтетичної діяльності посівів, розпочаті ще в середині минулого століття під керівництвом А. О. Ничипоровича, і досі не втратили своєї актуальності [1, 2].

Фотосинтетичні параметри посівів можна оптимізувати багатьма способами. Зокрема, якщо розглядати технологію вирощування як сукупність чинників, що впливають на фотосинтез окремо, то навіть елементарне просторове розташування рослин, густина посівів, ширина міжрядь та інші фактори структурного розміщення листя, їх ярусності, взаємозатінювання тощо, визначають скільки речовин зможуть синтезувати рослини завдяки енергії сонця [3, 4].

Якщо ж оцінювати важливість чинників життєдіяльності рослин за їхнім впливом на процеси фотосинтезу, то найвагомими серед них є забезпечення доступною рослинам вологою та елементами живлення. Щодо оптимального розташування рослин чи доступу їх листків до сонячної енергії, то ці чинники можуть як підсилити, так і послабити інтенсивність фотосинтезу. Зокрема, у разі затінення листків у них утворюється більше тінювих хлорофілів *b* і фотосинтез відбувається, тоді як за відсутності вологи чи мінерального живлення – фотохімічна реакція зупиняється [5–8].

Горох належить до культур із коротким вегетаційним періодом, і навіть озима його форма не має надто тривалої активної вегетації [9]. Звісно, сюди можна відносити й період перезимівлі, але активний розвиток навесні є все ж коротшим, ніж у гороху посівного. Тому важливо дослідити закономірності формування фотосинтетичного апарату гороху озимого та ефективні способи технологічного впливу на нього.

*Мета досліджень* – оцінити фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України.



## Матеріали та методика досліджень

Фотосинтетичні параметри посівів гороху озимого залежно від впливу інокуляції та азотного удобрення вивчали в досліді, що закладався на базі ННЛ «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» впродовж 2019–2021 рр.

Грунт дослідного поля – чорнозем карбонатний грубопилувато-легкосуглинковий на лесовидному суглинку. Цей тип ґрунту характеризується середній умістом гумусу в орному шарі (4,58 %), середньою забезпеченістю рухомим фосфором і обмінним калієм та низькою – легкогідролізованим азотом.

Погодні умови в роки проведення досліджень мали деякі відхилення від середніх багаторічних показників, але загалом були сприятливими для росту й розвитку рослин гороху озимого, успішної перезимівлі посівів та формування ними високого рівня продуктивності.

Площа посівної ділянки – 25 м<sup>2</sup>, облікової – 20 м<sup>2</sup>. Повторність досліду – трикратна, розміщення варіантів – рендомізоване. Попередник – пшениця озима. Висівали горох озимий у другій половині вересня нормою 1,2 млн схожих насінин/га, ширина міжрядь – 15 см, глибина висіву насіння – 4–4,5 см.

У досліді вирощували горох озимий 'НС Мороз'. Це перший озимий сорт білкового гороху сербської селекції, призначений для виробництва зерна. Рік реєстрації – 2016. Рекомендовані зони вирощування – Степ, Лісостеп, Полісся. Сорт дуже ранній, створений методом добору гібридної популяції.

Схема досліду передбачала застосування таких технологічних чинників, як *інокуляція насіння*: 1. без інокуляції (контроль), 2. інокуляція Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т, та *азотне удобрення*: 1. N<sub>0</sub> (контроль), 2. N<sub>15</sub> + N<sub>15</sub>, 3. N<sub>15</sub> + N<sub>30</sub>, 4. N<sub>15</sub> + N<sub>45</sub>, 5. N<sub>30</sub> + N<sub>0</sub>, 6. N<sub>30</sub> + N<sub>15</sub>, 7. N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub>, 8. N<sub>45</sub> + N<sub>0</sub>, 9. N<sub>45</sub> + N<sub>15</sub>, 10. N<sub>60</sub> + N<sub>0</sub>.

Азотні добрива – аміачну селітру – як восени (в основне удобрення, N<sub>15-60</sub>), так і на початку відновлення вегетації (ранньовесняне підживлення, N<sub>15-45</sub>) застосовували згідно зі схемою досліду. В основне удобрення як загальний фон також вносили P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. Щодо решти елементів технологія була загальноприйнятою для зони вирощування культури.

Площу листової поверхні визначали за формулою:

$$S = D \times Ш \times K, \text{ де}$$

D – довжина листочка, см; Ш – ширина листочка в найширшому місці, см; K – перевідний коефіцієнт (0,75).

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП, млн м<sup>2</sup>/га × діб) визначали за формулою:

$$\text{ФП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \times 1000} T, \text{ де}$$

Л<sub>1</sub> + Л<sub>2</sub> – площа листової поверхні в певні фази розвитку, тис. м<sup>2</sup>/га; T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу посіву (ЧПФ, г/м<sup>2</sup> за добу) визначали за формулою:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{0,5 (Л_1 + Л_2) \times n}, \text{ де}$$

B<sub>1</sub> і B<sub>2</sub> – маса сухої речовини рослин на початку і в кінці облікового періоду, г; (B<sub>2</sub> – B<sub>1</sub>) – приріст маси сухої речовини за n діб, г; Л<sub>1</sub> і Л<sub>2</sub> – площа листків на початку і кінці облікового періоду, м<sup>2</sup>; 0,5 (Л<sub>1</sub> + Л<sub>2</sub>) – середня площа листової поверхні; n – період між двома спостереженнями, діб.

Статистично результати досліджень обробляли методом дисперсійного аналізу з використанням прикладної програми Statistica-6 [12].

## Результати досліджень

Динаміку формування площі листової поверхні посівів гороху озимого впродовж періоду вегетації залежно від інокуляції насіння та азотного удобрення наведено в таблиці 1.



**Площа листової поверхні посівів гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, тис. м<sup>2</sup>/га (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фаза розвитку						
		сходи	стеблуння	весняне відновлення вегетації	бутонізація	цвітіння	формування бобів	достигання насіння
Без інокуляції	N <sub>0</sub>	1,39	4,68	4,02	10,58	24,12	21,21	14,85
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	1,36	4,70	4,04	11,39	26,06	22,94	16,06
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	1,47	4,68	4,02	13,68	30,72	27,04	18,90
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	1,47	4,71	4,05	13,95	31,45	27,68	19,37
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	1,42	5,05	4,35	11,32	26,36	23,21	16,26
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	1,47	5,00	4,30	12,34	28,54	25,11	17,57
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	1,39	5,10	4,39	13,79	30,88	27,18	19,02
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	1,43	5,29	4,55	13,16	29,72	26,16	18,31
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	1,47	5,36	4,61	13,15	29,77	26,18	18,33
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	1,39	6,00	4,92	13,07	30,04	26,44	18,50
Оптімійз Пульс, 3,3 кг/т	N <sub>0</sub>	1,53	4,70	4,04	12,98	29,97	26,40	18,49
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	1,34	4,75	4,08	13,92	31,96	28,13	19,67
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	1,35	4,72	4,06	15,62	35,77	31,52	22,04
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	1,53	4,71	4,05	15,70	36,45	32,10	22,46
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	1,51	5,11	4,39	14,40	33,98	29,88	20,91
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	1,48	5,10	4,38	15,10	35,64	31,34	21,94
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	1,42	5,15	4,43	15,24	36,19	31,85	22,31
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	1,43	5,40	4,65	14,14	34,19	30,09	21,07
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	1,46	5,35	4,60	15,03	35,17	30,95	21,65
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	1,47	6,02	5,18	13,19	31,69	27,92	19,56
НІР <sub>0,05</sub>		0,4	0,6	0,5	0,9	1,8	1,6	1,5

Щодо площі листової поверхні рослин гороху в період настання повних сходів, то в середньому по досліді вона становила 1,44 тис. м<sup>2</sup>/га, а наявні відхилення між варіантами були зумовлені передусім строкатістю ділянок та відповідним варіюванням біометричних параметрів рослин. Чіткої закономірності у формуванні показників площі листя залежно від інокуляції та застосування азотних добрив також не було виявлено. І це не дивно, адже рослини гороху на час сходів повністю забезпечені елементами живлення з насінини, тому більшою мірою площу їх листової поверхні визначали доступні в ґрунті запаси вологи.

У фазі стеблуння середня площа листової поверхні становила 5,08 тис. м<sup>2</sup>/га, при цьому не спостерігалось істотних відхилень між варіантами без та з інокуляцією насіння. Водночас застосування азотного добрива в основне внесення ефективно впливало на збільшення площі листя рослин уже від дози N<sub>30</sub>, досягаючи максимуму дії за внесення N<sub>60</sub> – 6,00–6,02 тис. м<sup>2</sup>/га. Тож цілком закономірно, що в поєднанні з більш високорослими рослинами гороху в осінній час у варіантах застосування максимальних доз основного удобрення були сформовані й більші за габітусом рослини.

Під час перезимівлі посівів гороху, одночасно з випаданням частини рослин унаслідок дії несприятливих чинників, утрачалась і частина листків на рослинах, що вижили. А тому на час відновлення весняної вегетації середня площа листової поверхні становила 4,36 тис. м<sup>2</sup>/га, причому не спостерігалось значних її відхилень як у разі застосування інокуляції, або без неї. Водночас за максимальних норм унесених восени мінеральних добрив до часу відновлення вегетації на рослинах залишалось досить багато листків, попри вищий відсоток їх відмирання взимку. Зокрема, у варіантах з N<sub>60</sub> площа листової поверхні становила 4,92–5,18 тис. м<sup>2</sup>/га.

У фазі бутонізації рослин гороху відбувся перерозподіл впливу чинників у досліді й за середньої площі листя 13,59 тис. м<sup>2</sup>/га у варіантах з інокуляцією насіння цей показник зростав

на 1,9 тис. м<sup>2</sup>/га. Також істотно посилювся вплив на формування площі листя чинника мінерального азотного живлення, застосованого навесні, натомість основне, осіннє внесення добрив з великими нормами втратило свої лідерські позиції. Зокрема, незважаючи на якому фоні інокуляції проводили досліді, найефективнішими виявились варіанти внесення восени N<sub>15</sub> у поєднанні з ранньовесняним підживленням N<sub>30</sub> та N<sub>45</sub>. Аналогічні результати було отримано і в разі застосування системи удобрення N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub>.

Максимальні параметри площі листової поверхні гороху відзначено у фазі цвітіння – в середньому по досліді 31,3 тис. м<sup>2</sup>/га. Застосування інокуляції насіння Оптімайз Пульс сприяло ліпшому забезпеченню рослин доступним азотом, а отже й формуванню ними на 5,3 тис. м<sup>2</sup>/га більшої поверхні листя.

Як і в попередній фазі розвитку, найвищі показники площі листків отримано за ранньовесняного підживлення посівів N<sub>30</sub> та N<sub>45</sub>. При цьому слід зазначити, що схема удобрення N<sub>15</sub> + N<sub>45</sub> на фоні без інокуляції насіння забезпечувала формування площі листової поверхні на рівні 31,45 тис. м<sup>2</sup>/га, а в разі застосування інокулянта Оптімайз Пульс – 36,45 тис. м<sup>2</sup>/га. Такий істотний приріст показника пов'язаний передусім із синергічним ефектом поєднання малих доз мінерального живлення та симбіотичної активності колоній бульбочкових бактерій на коренях рослин.

Надалі у процесі вегетації культури площа листової поверхні рослин поступово зменшувалась, і становила в середньому за варіантами досліді у фазі формування бобів 27,67 тис. м<sup>2</sup>/га, а у фазі досягання насіння – 19,36 тис. м<sup>2</sup>/га. При цьому загальні закономірності формування площі листя гороху озимого залежно від досліджуваних чинників були аналогічними попереднім фазам розвитку культури. Зокрема, застосування інокуляції насіння забезпечувало прирости на рівні 4,7 та 3,3 тис. м<sup>2</sup>/га відповідно, а найвищі показники спостерігались у варіантах підживлення посівів N<sub>30-45</sub>.

Параметри фотосинтетичного потенціалу посівів гороху озимого також значною мірою залежали від застосовуваних агротехнічних заходів (табл. 2).

Таблиця 2

**Фотосинтетичний потенціал посівів гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, млн м<sup>2</sup>/га × діб (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Міжфазний період				
		повні сходи – стеблуння	відновлення вегетації – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – формування бобів	формування бобів – досягання насіння
Без інокуляції	N <sub>0</sub>	0,05	0,10	0,23	0,27	0,54
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,12	0,26	0,29	0,58
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	0,05	0,13	0,33	0,38	0,74
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	0,05	0,14	0,36	0,41	0,75
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	0,05	0,11	0,26	0,30	0,61
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,13	0,29	0,32	0,66
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	0,05	0,15	0,36	0,38	0,74
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	0,05	0,12	0,28	0,34	0,67
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,13	0,32	0,36	0,69
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	0,06	0,13	0,28	0,34	0,67
Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т	N <sub>0</sub>	0,05	0,12	0,30	0,34	0,72
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,14	0,34	0,39	0,76
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	0,05	0,16	0,41	0,47	0,91
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	0,05	0,17	0,42	0,48	0,93
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	0,05	0,14	0,34	0,38	0,81
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,16	0,38	0,44	0,85
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	0,05	0,17	0,39	0,48	0,92
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	0,05	0,14	0,36	0,39	0,84
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	0,05	0,16	0,35	0,40	0,87
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	0,06	0,14	0,34	0,36	0,81

## РОСЛИННИЦТВО

У міжфазний період повні сходи – стеблуння рослини гороху озимого мали досить низькі та практично однакові показники фотосинтетичного потенціалу – 0,05 млн м<sup>2</sup>/га × діб, і лише у варіантах внесення в основне удобрення N<sub>60</sub> цей показник був дещо вищим – 0,06 млн м<sup>2</sup>/га × діб.

У проміжок часу від весняного відновлення вегетації до бутонізації середній по досліді показник фотосинтетичного потенціалу становив 0,14 млн м<sup>2</sup>/га × діб, а різниця між варіантами з інокуляцією насіння та без неї була в межах 0,02 млн м<sup>2</sup>/га × діб.

Серед варіантів застосування азотного добрива найліпшими виявились схеми внесення N<sub>15</sub> в основне удобрення + N<sub>45</sub> у ранньовесняне підживлення, а також N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub>.

У наступні міжфазні періоди – бутонізація – цвітіння, цвітіння – формування бобів та формування бобів – досягання – фотосинтетичний потенціал у середньому по досліді становив 0,33; 0,38 та 0,75 млн м<sup>2</sup>/га × діб відповідно. Застосування інокуляції насіння порівняно в варіантами без неї сприяло зростанню цього показника на 0,07; 0,07 та 0,18 млн м<sup>2</sup>/га × діб. Щодо варіантів мінерального удобрення, то найвищі показники фотосинтетичного потенціалу в усі три періоди отримано за схем N<sub>15</sub> + N<sub>30-45</sub> та N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub>.

Основні закономірності формування чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху озимого залежно від впливу елементів технології вирощування наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів гороху озимого ‘НС Мороз’  
залежно від елементів технології вирощування, г/м<sup>2</sup> за добу (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Міжфазний період				
		повні сходи – стеблуння	відновлення вегетації – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – формування бобів	формування бобів – досягання насіння
Без інокуляції	N <sub>0</sub>	0,6	8,4	6,7	1,8	3,4
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	8,8	6,6	1,2	3,6
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	0,7	7,5	4,8	1,4	2,8
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	0,7	8,5	5,6	1,1	2,9
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	0,7	9,0	7,0	0,9	3,0
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	7,8	6,3	1,0	2,9
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	0,7	6,5	4,7	1,3	2,7
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	0,8	7,5	6,3	1,0	3,0
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	7,9	5,7	0,8	3,1
Оптімайз Пульс, 3,3 кг/т	N <sub>0</sub>	0,7	9,2	6,4	0,7	2,8
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	8,2	5,5	1,2	3,0
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	0,8	7,7	4,9	1,0	2,6
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	0,7	8,1	5,1	1,1	2,7
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	0,6	8,1	6,1	1,4	2,2
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	7,9	5,1	0,4	2,3
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	0,7	6,9	5,0	0,6	2,4
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	0,7	7,2	5,1	1,3	2,8
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	0,7	7,4	5,6	1,3	2,4
N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	0,8	8,5	5,9	1,0	2,6	

Як відомо, не вся площа листової поверхні, сформована посівами сільськогосподарської культури, може бути ефективно задіяна в синтезуванні сухої речовини. Здебільшого це відбувається через ярусність листків та проблеми з ефективним доступом сонячної енергії до них. Звичайно, досить складно оцінити фотоумови окремих листків, однак за зниженням показників чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) усе ж таки можна робити деякі припущення.

У міжфазний період від повних сходів до стеблуння в середньому по досліді ЧПФ становила 0,7 г/м<sup>2</sup> за добу, а найвищі її показники – 0,8 г/м<sup>2</sup> за добу відзначено у варіантах внесення в основне удобрення N<sub>60</sub>.

На період від відновлення вегетації до бутонізації рослин гороху найліпші значення ЧПФ були у варіантах без удобрення (контролі, N<sub>0</sub>) та за осіннього внесення добрив у нормі до N<sub>30</sub>. При цьому середнє в досліді значення ЧПФ було на рівні 7,9 г/м<sup>2</sup> за добу, а інокуляція насіння на її формування істотно не впливала.

У наступні міжфазні періоди найвищі показники чистої продуктивності фотосинтезу спостерігалися також саме за мінімального застосування мінеральних добрив або на контрольних варіантах досліді.

Інокуляція насіння загалом не мала суттєвого впливу на показники ЧПФ, оскільки багатовекторність процесів взаємодії, спрямованих на стимулювання формування як листової поверхні, так і накопичення сухої речовини, не дали змогу виокремити закономірності впливу на неї цього агрозаходу. Натомість внесення азотних добрив сприяло збільшенню ЧПФ, хоча й за певних умов. Адже підвищення доз удобрення до більш ніж N<sub>30</sub> здебільшого спричиняло зменшення накопичення сухої речовини одиницею поверхні листя, саме через його більшу загальну площу. Звісно, у досліді не вивчали високі дози добрив, здатні кардинально змінити ріст і розвиток рослин у плані формування надмірної вегетативної маси, однак навіть за низьких доз азотного удобрення потрібно оптимізувати роботу листової поверхні рослин.

Окрім особливостей перебігу фотосинтетичних процесів рослин, значний інтерес становлять і закономірності формування хлорофілів у фотосинтезувальних органах гороху озимого залежно від застосовуваних елементів технології його вирощування. Адже вміст хлорофілів є досить важливим показником, що дає змогу додатково оцінити стан рослин культури впродовж вегетації, особливо в період їх найактивнішого росту й розвитку (табл. 4).

Таблиця 4

**Уміст хлорофілів у фотосинтезувальних органах гороху озимого 'НС Мороз' залежно від елементів технології вирощування, мг/г сирі маси (середнє за 2019–2021 рр.)**

Інокуляція насіння	Азотне удобрення	Фаза розвитку								
		бутонізація			цвітіння			формування бобів		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>
Без інокуляції	N <sub>0</sub>	5,00	11,00	16,00	4,90	17,48	22,37	4,28	14,52	18,81
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	5,20	11,33	16,53	5,09	18,13	23,22	4,52	15,06	19,58
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	5,62	11,80	17,42	5,40	18,86	24,25	4,77	15,55	20,32
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	5,83	12,36	18,19	5,59	19,76	25,35	4,94	16,28	21,23
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	5,23	11,44	16,67	5,08	18,34	23,42	4,54	15,34	19,88
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	5,36	11,45	16,81	5,16	18,23	23,39	4,49	15,28	19,78
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	5,43	11,51	16,94	5,31	18,38	23,69	4,65	15,40	20,05
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	5,36	11,50	16,86	5,23	18,30	23,53	4,63	15,13	19,75
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	5,54	12,00	17,54	5,27	19,25	24,52	4,74	15,92	20,66
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	5,42	12,20	17,62	5,23	19,64	24,87	4,59	16,18	20,77
Оптімайз Пульс	N <sub>0</sub>	6,23	12,11	18,34	6,06	19,19	25,25	5,31	15,95	21,26
	N <sub>15</sub> + N <sub>15</sub>	7,06	12,99	20,05	6,88	20,81	27,68	6,02	16,91	22,93
	N <sub>15</sub> + N <sub>30</sub>	7,05	13,62	20,67	6,88	21,35	28,24	6,05	17,41	23,46
	N <sub>15</sub> + N <sub>45</sub>	7,25	13,76	21,01	7,20	21,69	28,89	6,37	18,01	24,38
	N <sub>30</sub> + N <sub>0</sub>	5,64	12,38	18,02	5,48	19,75	25,23	4,82	16,47	21,29
	N <sub>30</sub> + N <sub>15</sub>	6,28	13,35	19,62	6,15	21,35	27,50	5,39	17,55	22,94
	N <sub>30</sub> + N <sub>30</sub>	6,52	13,56	20,08	6,30	21,66	27,96	5,58	18,33	23,91
	N <sub>45</sub> + N <sub>0</sub>	6,69	13,67	20,36	6,62	21,82	28,44	5,77	18,50	24,27
	N <sub>45</sub> + N <sub>15</sub>	5,34	12,83	18,17	5,16	20,33	25,48	4,47	16,80	21,28
	N <sub>60</sub> + N <sub>0</sub>	5,88	12,57	18,45	5,73	19,94	25,67	5,07	16,81	21,88
НІР <sub>0,05</sub>		0,14	1,0	1,3	0,12	1,2	1,5	0,12	1,4	1,9

Відомо, що хлорофіл *a* є світловим фотопігментом, тоді як хлорофіл *b* навпаки формується в другій половині вегетаційного періоду рослин, коли створюються умови максимального затінення листкового апарату. Середній за варіантами дослідів вміст хлорофілу *a* у фазі бутонізації рослин гороху озимого становив 5,90 мг/г, і надалі поступово знижувався до 5,74 мг/г у фазі цвітіння та 5,05 мг/г сирової маси – у фазі формування бобів. Натомість вміст хлорофілу *b* в рослинах найнижчим був у фазі бутонізації – 12,37 мг/г, досягав максимуму в період цвітіння – 19,71 мг/г, дещо знижуючись у фазі формування бобів – 16,37 мг/г сирової маси.

Що стосується середнього по досліді сумарного вмісту хлорофілів (*a+b*), то у фазі бутонізації він становив 18,27 мг/г, досягаючи максимальних значень у фазі цвітіння – 25,45 мг/г. Надалі, внаслідок природних процесів старіння рослин, вміст хлорофілів поступово знижувався і на час формування бобів був на рівні 21,42 мг/г сирової маси.

Інокуляція насіння позитивно впливала на загальний фізіологічний стан рослин, зокрема й на формування в них хлорофілів. У варіантах, де застосовували інокулянт Оптімайз Пульс, вміст хлорофілу *a* у фазі бутонізації був вищим у середньому на 1,0 мг/г, хлорофілу *b* – на 1,4, а їх сума – відповідно на 2,4 мг/г. У наступні облікові періоди зберігалась аналогічна ситуація: у фазі цвітіння ця різниця становила 1,0; 2,2 та 3,2 мг/га, а у фазі формування бобів – 0,9; 1,8 та 2,7 мг/г відповідно.

Що стосується варіантів мінерального удобрення, то в період активного розвитку рослин загалом найліпшими були схеми використання  $N_{15}$  в основне внесення у поєднанні з ранньовесняним підживленням  $N_{30-45}$ . Застосування схем удобрення  $N_{45} + N_{15}$  та  $N_{60} + N_0$  у варіантах без інокуляції насіння сприяло формуванню більшої кількості передусім тіньового хлорофілу *b*, тоді як хлорофілу *a* – у разі внесення  $N_{30} + N_{30}$  та  $N_{45} + N_0$ . Останнє, найімовірніше, пов'язано з деяким переростанням рослин за ефективного засвоєння ними азоту, зокрема й симбіотично фіксованого. Натомість за внесення більших доз добрив інтенсивність симбіотичної азотфіксації дещо знижувалась, і в цих варіантах навіть площа листкової поверхні була меншою, ніж за інокуляції насіння та внесення  $N_{15}$  як в основне удобрення, так і в ранньовесняне підживлення, що й позначилось на вмісті хлорофілів у листках.

## Висновки

Інокуляція насіння та азотні добрива позитивно впливають на фотосинтетичну діяльність посівів гороху озимого, однак ефективність їхньої дії значною мірою залежить як від доз і строків внесення добрив, так і фази розвитку культури.

Установлено, що в осінній період вегетації гороху озимого (повні сходи – стеблуння) вплив досліджуваних агротехнічних заходів на формування площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу був неістотним. Винятком були варіанти застосування в основне удобрення  $N_{45-60}$ , де у фазі стеблуння все ж отримано істотні прирости площі листя порівняно з контролем. У період весняно-літньої вегетації у досліді суттєво зростає вплив чинника інокуляції насіння, а також ранньовесняного підживлення азотом, натомість зменшувався основного удобрення.

Максимальні параметри показників площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та вмісту хлорофілів у період весняно-літньої вегетації забезпечуються у варіантах застосування схем удобрення  $N_{15} + N_{30-45}$  та  $N_{30} + N_{30}$  на фоні інокуляції насіння. Натомість найвищі параметри чистої продуктивності фотосинтезу спостерігалися за мінімального застосування добрив ( $N_{30} + N_0$ ,  $N_{15} + N_{15}$ ) або ж у контрольних варіантах ( $N_0$ ). При цьому інокуляція насіння не практично не впливала на формування цього показника.

Виявлені у процесі дослідження закономірності формування показників площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та вмісту фотосинтетичних пігментів можуть бути використані для вдосконалення технології вирощування культури з метою якнайповнішої реалізації її потенційної продуктивності в умовах Правобережного Лісостепу України.



**Використана література**

1. Дворецька С. П., Рябокiнь Т. М., Єфіменко Г. М., Тилиця Т. В. Особливості формування елементів продуктивності рослин гороху залежно від рівня інтенсифікації технології вирощування культури. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. Вип. 3. С. 56–66.
2. Присяжнюк О. І., Король Л. В. Оцінка адаптивних особливостей нових сортів гороху. *Новітні агротехнології*. 2014. № 1. С. 12–22. doi: 10.21498/na.1(2).2014.119078
3. Присяжнюк О. І., Калюжна Е. А., Король Л. В. Оцінка сучасних сортів гороху за основними господарсько-цінними ознаками. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2015. Вип. 3. С. 106–116.
4. Петриченко В. Ф., Антипін Р. А. Фотосинтетична продуктивність гороху залежно від впливу технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип. 57. С. 3–13.
5. Щигорцова О. Л. Вирощування бобових культур – чини, сочевиці, гороху, нуту в Криму без застосування азотних добрив. *Проблеми та перспективи ведення землеробства в посушливій зоні Степу України: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції (16–18 червня 2009 р.)*. Херсон: ІЗПР УААН, 2009. С. 161–163.
6. Щигорцова О. Л. Розробка елементів технології вирощування нуту, гороху, чини і сочевиці в умовах зрошення в Центральному Степу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09 – рослинництво / ПФ «Кримський агротехнологічний університет» НАУ. Сімферополь, 2006. 16 с.
7. Di Paolo E., Garofalo P., Rinaldi M. Irrigation and nitrogen fertilization treatments on productive and qualitative traits of broad bean (*Vicia faba* var. *minor* L.) in a Mediterranean environment. *Legume Research – An International Journal*. 2015. Vol. 38, Iss. 2. P. 209–218. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00069.7
8. Mishra N. Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to integrated nutrient management – a review. *Journal of Plant and Pest Science*. 2014. Vol. 1, Iss. 2. P. 87–95.
9. Каленська С. М., Присяжнюк О. І., Король Л. В., Половинчук О. Ю. Порівняльна характеристика шкал росту та розвитку гороху посівного (*Pisum sativum*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Vol. 16, № 2. С. 99–104. doi: 10.21498/2518-1017.15.1.2019.162492
10. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

**References**

1. Dvoretzka, S. P., Riabokin, T. M., Yefimenko, H. M., & Tylytsia, T. V. (2014). Peculiarities of the formation of elements of the productivity of pea plants depending on the level of intensification of the cultivation technology. *Proceedings of the NSC "Institute of Agriculture of NAAS"*, 3, 56–66. [In Ukrainian]
2. Prysiazhniuk, O. I., & Korol, L. V. (2014). Estimation of adaptive features of new pea varieties. *Advanced Agritechnologies, 1*. doi: 10.21498/na.1(2).2014.119078 [In Ukrainian]
3. Prysiazhniuk, O. I., Kaliuzhna, E. A., & Korol, L. V. (2015). Evaluation of modern pea varieties according to the main economic and valuable characteristics. *Proceedings of the NSC "Institute of Agriculture of NAAS"*, 3, 106–116. [In Ukrainian]
4. Petrychenko, V. F., & Antypin, R. A. (2006). Photosynthetic productivity of peas depending on the influence of technological methods of cultivation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Feeds and Feed Production, 57*, 3–13. [In Ukrainian]
5. Shchyhortsova, O. L. (2009). Cultivation of leguminous crops - turnips, lentils, peas, chickpeas in the Crimea without the use of nitrogen fertilizers. In *Problems and prospects of farming in the arid zone of the Steppe of Ukraine: collection of materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 161–163). Kherson: IZPR UAAN. [In Ukrainian]

6. Shchyhortsova, O. L. (2006). *Development of elements of chickpea, pea, chickpea and lentil cultivation technology under irrigation conditions in the Central Steppe of Ukraine* (PhD Diss. abstract). Southern Branch of “Crimean Agro-Technological University” National Agrarian University, Simferopol, Ukraine. [In Ukrainian]

7. Di Paolo, E., Garofalo, P., & Rinaldi, M. (2015). Irrigation and nitrogen fertilization treatments on productive and qualitative traits of broad bean (*Vicia faba* var. *minor* L.) in a Mediterranean environment. *Legume Research – An International Journal*, 38(2), 209–218. doi: 10.5958/0976-0571.2015.00069.7

8. Mishra, N. (2014). Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to integrated nutrient management – a review. *Journal of Plant and Pest Science*, 1(2), 87–95.

9. Kalenska, S. M., Prysiazniuk, O. I., Korol, L. V., & Polovynchuk, O. Yu. (2019). Comparative characteristics of growth and development scales of the pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(2), 155–162. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173563

10. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

**Novytska, N. V., & Ponomarenko, O. V.\*** (2022). Photosynthetic parameters of winter pea sowings under the effect of nitrogen fertilization and seed inoculation in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 43–53. [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, \*e-mail: ponomarenko2332@gmail.com*

**Purpose.** To evaluate the photosynthetic parameters of winter pea sowings under the effect of seed inoculation and nitrogen fertilization in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was carried out in the years 2019–2021 in the fields of the Agronomic Research Station (a division of NULES of Ukraine, Kyiv region). Winter pea ‘NS Moroz’ was sown in the second half of September at the rate of 1.2 million seeds/ha. The width of the rows was 15 cm, and the seed sowing depth was 4–4.5 cm. The design of the experiment provided for the combined use of such technological factors as seed inoculation (without inoculation; Optimize Pulse, 3.3 l/t) and nitrogen fertilizer [main application + early spring top dressing ( $N_0$ ;  $N_{15} + N_{15}$ ;  $N_{15} + N_{30}$ ;  $N_{15} + N_{45}$ ;  $N_{30} + N_0$ ;  $N_{30} + N_{15}$ ;  $N_{30} + N_{30}$ ;  $N_{45} + N_0$ ;  $N_{45} + N_{15}$ ;  $N_{60} + N_0$ )].  $P_{45}K_{45}$  was also applied in the primary fertilization as a background. **Results.** Seed inoculation and nitrogen fertilizers positively affect the photosynthetic activity of winter pea; however, the efficiency of their action largely depends on the application doses and timing, as well as the stage of crop development. It was established that in the autumn period of winter pea vegetation (complete sprouting–stalking), the influence of the studied agrotechnical measures on the leaf area index (LAI), photosynthetic potential (PP), and net photosynthetic productivity (NPP) was mostly insignificant. In the period of spring-summer vegetation, the effect of the factor of seed inoculation, as well as early spring fertilization with nitrogen, increased significantly, while the main fertilization decreased. The highest LAI (on average according to the experiment 31.4 thousand  $m^2/ha$ ) was formed in the flowering stage, PP during the stages of bean formation – ripening of seeds (0.75 million  $m^2/ha$  per day). The use of seed inoculation compared to options without it contributed to the increase of these indicators by 5.33 and 0.17 million  $m^2/ha$  per day, respectively. In the experiment, the maximum values of both LAI (35.77–36.45 thousand  $m^2/ha$ ) and PP (0.91–0.93 million  $m^2/ha$  per day) were obtained when applying  $N_{15} + N_{30-45}$  and  $N_{30} + N_{30}$  on the background of seed inoculation, while the minimal in control treatments ( $N_0$ ). The regularities of the formation of the NPP were radically different. Its highest indicators during the period of the beginning of vegetation – budding (as well as in the following interphase stages) were observed primarily with the minimal application of fertilizers ( $N_{30} + N_0$ ,  $N_{15} + N_{15}$ ) or in the control treatments ( $N_0$ ), 8.1–

9.2 g/m<sup>2</sup> per day. Seed inoculation had no significant effect on the formation of NPP. The maximum content of chlorophyll *a* in plants (5.90 mg/g) was formed in the budding stage, gradually decreasing to 5.74 and 5.05 mg/g in the flowering and bean formation stages, respectively. Instead, the content of chlorophyll *b* was the lowest in the budding stage (12.37 mg/g), reaching its maximum in the flowering stage (19.71 mg/g) and slightly decreasing in the stage of bean formation – 16.37 mg/g of raw mass. Seed inoculation helped to increase the content of chlorophyll *a* by an average of 0.9–1.0 mg/g over growth stages and chlorophyll *b* by 1.4–2.2 mg/g. The best fertilization treatment was N<sub>15</sub> + N<sub>30-45</sub>. **Conclusions.** Seed inoculation and nitrogen fertilization are significant and effective factors to intensify the photosynthetic activity of winter pea sowings. The patterns of the parameters of leaf s area, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis, and the content of photosynthetic pigments revealed in the study may be used to improve the cultivation technology to fully realize the crop potential productivity under the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine.

**Keywords:** leaf area; photosynthetic potential; net productivity of photosynthesis; chlorophyll content.

Надійшла / Received 02.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 17.11.2022

УДК 633.9:631.54

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268944>

## Особливості формування продуктивності та якості біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки

О. І. Присяжнюк\*, О. М. Гончарук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, \*e-mail: ollpris@gmail.com

**Мета.** Установити особливості формування продуктивності та якості сухої біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки. **Методи.** Дослідження проводили в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр. згідно із загальноприйнятими методиками. Міскантус гігантський ‘Осінній зорецвіт’ вирощували за схемою трифакторного польового досліду із застосуванням інокуляції (Азофосфорин, 1,0 л/га), адсорбенту МахіМарін гранульований (30 кг/га) та препаратів Гумат калію (Гуміфілд) (50 г/га) та Антистресант АміноСтар (1,0 л/га) для позакоренових підживлень у період вегетації. **Результати.** Продуктивність міскантусу другого року вегетації (2020 р.) була досить низькою, оскільки розвиток рослин був спрямований передусім на формування потужної кореневої системи, зокрема ризом. У середньому за варіантами досліду листково-стеблова маса однієї рослини становила від 177,0 до 240,0 г, а вихід твердого біопалива – від 5,84 до 7,92 т/га. Максимальні параметри цих показників формувались у варіанті комбінованого застосування Азофосфорину та адсорбенту МахіМарін гранульований – 236–240 г/роsl. та 7,79–7,92 т/га відповідно. Водночас позакореневе підживлення в перший рік досліджень було неефективним: відмінності в показниках продуктивності рослин мали радше тенденційний характер. На третій рік вирощування міскантусу (2021) в усіх варіантах досліду спостерігалось істотне – приблизно втричі – зростання його продуктивних показників. Зокрема, маса однієї рослини становила 531,8–772,2 г, вихід твердого біопалива – 17,5–23,8 т/га, вихід енергії – 287,8–391,1 ГДж/га. Як і в попередній рік досліджень, максимальні

їх значення отримано у варіантах поєднання інокулянта та адсорбенту, причому застосування позакореневого підживлення також виявилось ефективним агрозаходом. Щодо якісних характеристик отриманої біомаси культури, то в середньому по досліді вміст сухої речовини в ній становив 48,8 %, целюлози 40,0 %, лігніну 10,3 %, золи 1,3 %. Варіювання цих показників залежно від впливу досліджуваних чинників було здебільшого неістотним – у межах похибки досліді. **Висновки.** За вирощування міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ найвищий вихід твердого біопалива (23,8 т/га), а відповідно й енергії з ним (391,1 ГДж/га) на третій рік вегетації культури забезпечує варіант комбінованого застосування інокулянта Азофосфорин, адсорбенту МахіМарін гранульований та позакореневого підживлення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар.

**Ключові слова:** інокуляція; адсорбент; гумати; позакореневе підживлення; індивідуальна продуктивність рослин; вихід твердого біопалива; вихід енергії; вміст сухої речовини; лігнін; целюлоза; зола.

## Вступ

Реалії сучасного життя накладають нові вимоги щодо дедалі ширшого вирощування біоенергетичних культур для перероблення їх на біопаливо. Адже отримувати врожай на рівні біомаси традиційних сільськогосподарських культур не раціонально, оскільки площі, доступні для вирощування біоенергетичних рослин, є досить обмеженими [1, 2]. При цьому в умовах України такі рослини C<sub>4</sub>-типу фотосинтезу, як міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*), здатні забезпечити високий рівень формування біомаси [3, 4].

Рослини міскантусу гігантського на формування одиниці сухої речовини витрачають 250–300 одиниць води, що досить ощадливо порівняно з іншими польовими культурами. Однак процеси засвоєння енергії сонця за допомогою C<sub>4</sub>-типу фотосинтезу потребують досить високих температур повітря. Зокрема, оптимальною для росту й розвитку міскантусу є температура 28–30 °С, що вносить свої корективи в технологію його вирощування. Адже остання в умовах України, зокрема Лісостепової зони, має бути спрямована на максимальне забезпечення потреб рослин у період інтенсивного їх росту [5, 6].

Дослідження, проведені багатьма вітчизняними вченими, зосереджені переважно на питаннях формування оптимальних параметрів посівів (густоти рослин, ширини міжрядь, строків садіння), або ж систем основного удобрення чи раціональних способів догляду за посівами, особливо захисту їх від бур'янів. А от питанням стимуляції росту й розвитку рослин міскантусу в онтогенезі та застосуванню препаратів, здатних мінімізувати стрес рослин, що своєю чергою забезпечують максимальну продуктивність агрофітоценозу, приділяється менше уваги [7, 8].

З огляду на це, актуальним є дослідження елементів технології вирощування міскантусу гігантського, здатних максимально підсилити його адаптивний потенціал та стимулювати рослини до ефективного підвищення рівня продуктивності в багаторічній перспективі експлуатації біоенергетичних плантацій [9].

*Мета досліджень* – установити особливості формування продуктивності та якості сухої біомаси міскантусу гігантського під впливом елементів агротехніки.

## Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр. згідно зі схемою, наведеною в таблиці 1.

Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий глибокий малогумусний вилугуваний середньо-суглинковий зі вмістом у шарі ґрунту 0–30 см гумусу – 3,5 %, мінерального азоту – 29–37 мг/кг, рухомого фосфору та обмінного калію (за Чиріковим) – 200–220 і 100 мг/кг ґрунту відповідно. У складі обмінних катіонів кальцій становить 78–90 %, магній – 7–19 % від загальної суми.



**Схема дослідю щодо розроблення елементів технології вирощування  
міскантусу гігантського**

Інокуляція	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без інокуляції	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
Азофосфорин, 1,0 л/га	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га

Умови регіону проведення досліджень цілком сприятливі для росту й розвитку рослин міскантуса. Зокрема, середня багаторічна температура становить 10,8 °С, абсолютний максимум – 34,2 °С, мінімум – –27,6 °С. Середня багаторічна відносна вологість повітря – 74 %. Середня багаторічна кількість діб з відносною вологістю не більше ніж 30 % становить 33, а з не менше ніж 80 % – 104.

Адсорбент уносили в ґрунт у міжряддя, позакореневе підживлення рослин гуматом калію та антистресантом проводили у фазі 3–5 листків культури + повторне оброблення у фазі кушення.

У досліді використовували сорт міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ (оригіатор – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, включений до Державного реєстру сортів рослин України з 2015 р.). Площа садивної ділянки становила 35 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>; повторність – триразова. Експериментальні дослідження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [10–12].

### Результати досліджень

Забезпечення економічно вигідного рівня продуктивності сільськогосподарських культур можливе лише за оптимізації технології вирощування рослин за рахунок раціонального застосування всіх без винятку чинників. Зокрема, завдяки оптимальному поєднанню декількох агротехнічних заходів можна спрямовано регулювати ріст і розвиток рослин на різних етапах органогенезу, прискорювати або уповільнювати досягання тощо.

Показники продуктивності міскантусу гігантського за роками досліджень залежно від застосовуваних елементів технології вирощування наведено в таблицях 2 і 3.

Слід зазначити, що загалом продуктивність міскантусу другого року вегетації була низькою, і зумовлено це, на нашу думку, розвитком рослин, спрямованим передусім на формування великої кореневої системи та відповідно утворення ризом та інших підземних частин рослини.

Максимальні параметри індивідуальної врожайності рослин міскантусу формувались у варіанті комбінованого застосування Азофосфору та адсорбенту МахіМарін гранульований – 236–240 г/рослину. Водночас позакореневе підживлення в перший рік досліджень було неефективним: відмінності в показниках продуктивності рослин мали



радше тенденційних характер, аніж були закономірностями. Останнє пов'язано передусім із проведенням цього заходу у фазі куціння культури. Адже внаслідок пізніх строків садіння ризом рослини міскантусу першого року вирощування не переходили в наступну фенологічну фазу. А отже, часу для ефективного впливу на ріст і розвиток культури досліджуваних препаратів було недостатньо.

Таблиця 2

**Продуктивність міскантусу гігантського 'Осінній зорецвіт' другого року вегетації залежно від елементів технології вирощування (2020 р.)**

Інокуляція	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	Листково-стеблова маса однієї рослини, г	Вихід твердого біопалива, т/га
Без інокуляції	Без адсорбенту	Без підживлення	177,0	5,84
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	179,0	5,91
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	180,0	5,94
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	217,0	7,16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	219,0	7,23
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	221,0	7,29
Азофосфорин, 1,0 л/га	Без адсорбенту	Без підживлення	223,0	7,36
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	225,0	7,43
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	229,0	7,56
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	236,0	7,79
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	238,0	7,85
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	240,0	7,92
НІР <sub>0,05</sub>			11,0	0,15

Найвищий у досліді вихід твердого біопалива зафіксовано у варіанті комплексного застосування Азофосфору, адсорбенту та позакореневого підживлення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар – 7,92 т/га проти 5,84 т/га на «чистому» контролі.

У наступному, 2021 році було заплановано повторити схему застосування позакореневого підживлення у фазі куціння рослин міскантусу. Показники індивідуальної продуктивності рослин культури, виходу твердого біопалива та енергії з нього залежно від елементів технології вирощування наведено в таблиці 3.

Порівняно з попереднім роком досліджень, отримано набагато вищий рівень індивідуальної продуктивності рослин міскантусу. Зокрема, максимальні показники листково-стеблової маси відзначено у варіантах комбінованого використання Азофосфору та адсорбенту МахіМарін гранульований – 706,7–722,6 г/рослину. Причому застосування позакореневого підживлення також виявилось ефективним агрозаходом.

Найвищий вихід твердого біопалива та енергії в досліді забезпечив варіант поєднання Азофосфору, адсорбенту та позакореневого підживлення Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар – 23,8 т/га та 391,1 ГДж відповідно, тоді як на чистому контролі отримано 17,5 т/га та 287,8 ГДж.

**Продуктивність міскантусу гігантського ‘Осінній зорецвіт’ третього року вегетації залежно від елементів технології вирощування (2021 р.)**

Інокуляція	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	Листково-стеблова маса однієї рослини, г	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід енергії, ГДж/га
Без інокуляції	Без адсорбенту	Без підживлення	531,8	17,5	287,8
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	538,0	17,8	291,4
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	542,3	17,9	293,4
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	653,8	21,6	353,6
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	656,2	21,7	355,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	663,1	21,9	358,6
Азофосфорин, 1,0 л/га	Без адсорбенту	Без підживлення	668,2	22,1	361,5
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	675,3	22,3	365,8
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	682,7	22,5	369,4
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	706,7	23,3	382,4
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	712,7	23,5	385,4
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	722,6	23,8	391,1
НІР <sub>0,05</sub>			4,6	0,1	1,2

Поряд із продуктивними показниками отримуваної біомаси міскантусу гігантського, не менш важливе значення мають і її якісні параметри. Адже отримання високоякісного біопалива напряму залежить від агротехнічних операцій по догляду за рослинами.

Основні якісні показники сухої біомаси міскантусу гігантського залежно від елементів технології вирощування наведено в таблиці 4.

У середньому по досліді вміст сухої речовини в біомасі становив 48,8 %, целюлози – 40,0 %, лігніну – 10,3 % та золи – 1,3 %. Варіювання цих показників за варіантами мало здебільшого тенденційний характер, оскільки було межах похибки досліді.

### Висновки

В умовах другого року вирощування (2020 р.) міскантусу гігантського ‘Осінній зорецвіт’ найвищий показник виходу твердого біопалива відзначено у варіанті комбінованого застосування біопрепарату Азофосфорин (1,0 л/га), адсорбенту МахіМарін гранульований (30 кг/га) та позакореневого підживлення Гумат калію (Гуміфілд) (50 г/га) + Антистресант АміноСтар (1,0 л/га) – 7,92 проти 5,84 т/га на «чистому» контролі. При цьому варто зазначити, що застосування позакореневого підживлення було менш ефективним щодо впливу на продуктивність рослин (у межах похибки досліді), ніж дія інших агротехнічних чинників.

На третій рік вирощування міскантусу (2021 р.) в усіх варіантах досліді відзначено істотне – приблизно втричі – зростання його продуктивних показників. Як і в попередній рік досліджень, найвищий вихід твердого біопалива, а відповідно й енергії з ним отримано у

варіанті застосування інокулянта, адсорбенту та позакореневого підживлення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар – 23,8 т/га та 391,1 ГДж/га, тоді як на «чистому» контролі ці показники становили 17,5 т/га та 287,8 ГДж/га.

Таблиця 4

**Якісні показники сухої біомаси міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ третього року вегетації залежно від елементів технології вирощування (2021 р.)**

Інокуляція	Застосування адсорбент	Позакоренево підживлення	Уміст, %			
			сухої речовини	целюлози	лігніну	золи
Без інокуляції	Без адсорбенту	Без підживлення	48,7	39,8	10,2	1,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	49,2	40,0	10,0	1,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	49,1	40,2	10,5	1,3
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	48,9	38,9	10,3	1,2
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	49,3	40,0	10,3	1,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	48,5	40,3	10,5	1,3
Азофосфорин, 1,0 л/га	Без адсорбенту	Без підживлення	48,6	39,0	10,2	1,1
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	49,0	40,3	10,3	1,2
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	47,9	40,5	10,2	1,3
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	49,2	39,6	10,2	1,2
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	49,0	40,8	10,3	1,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	47,8	41,1	10,4	1,3
НІР <sub>0,05</sub>			2,0	0,5	0,2	0,3

Щодо якісних характеристик отриманої біомаси культури, то в середньому по досліді вміст сухої речовини в ній становив 48,8 %, целюлози 40,0 %, лігніну 10,3 %, золи 1,3 %. Варіювання цих показників залежно від впливу досліджуваних чинників було здебільшого несуттєвим – у межах похибки досліді.

### Використана література

1. Гелетуа Г. Г., Железня Т. А., Трибой А. В. Перспективы выращивания и использования энергетических культур в Украине. *Аналитическая записка БАУ*. 2014. № 10. 33 с.
2. Бузовський Є. А. Нетрадиційні поновлювальні джерела енергії. Навчально-методичний посібник. Київ : ННІ ПО НАУ, 2007. 21 с.
3. Brosse N., Dufour A., Meng X. et al. *Miscanthus*: a fast-growing crops for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2012. Vol. 6, Iss. 5. P. 580–598. doi: 10.1002/bbb.1353
4. Jensen E., Robson P., Norris J. et al. Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 64, Iss. 2. P. 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346

5. Beale C. V., Morison J. I. L., Long S. P. Water use efficiency of C<sub>4</sub> perennial grasses in a temperate climate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999. Vol. 96, Iss. 1–3. P. 103–115. doi: 10.1016/S0168-1923(99)00042-8
6. Clifton-Brown J. C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*. 2000. Vol. 86, Iss. 1. P. 191–200. doi: 10.1006/anbo.2000.1183
7. Вирощування біоенергетичних культур / за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 178 с.
8. Курило В. Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. Київ : Компринт, 2016. 40 с.
9. Ганженко О. М., Квак В. М., Федорин Г. О. Вплив мінеральних добрив на врожайність біомаси міскантусу в умовах Карпатського регіону. *Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні* : зб. наук. статей. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 113–116.
10. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
11. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
12. Роїк М. В., Сінченко В. М., Іващенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. Київ : Компринт, 2019. 256 с.

## References

1. Geletukha, G. G., Zheleznaia, T. A., & Triboy, A. V. (2014). Prospects for growing and using energy crops in Ukraine. *Analytical note of the Bioenergy Association of Ukraine*, 10. [In Russian]
2. Buzovskyi, Ye. A. (2007). *Non-traditional renewable energy sources. Educational and methodological manual*. Kyiv: NNI PO NAU. [In Ukrainian]
3. Brosse, N., Dufour, A., Meng, X., Sun, Q., & Ragauskas, A. (2012). *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580–598. doi: 10.1002/bbb.1353
4. Jensen, E., Robson, P., Norris, J., Cookson, A., Farrar, K., Donnison, I., & Clifton-Brown, J. (2012). Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response, whilst delayed flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346
5. Beale, C. V., Morison, J. I. L., & Long, S. P. (1999). Water use efficiency of C<sub>4</sub> perennial grasses in a temperate climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96(1–3), 103–115. doi: 10.1016/s0168-1923(99)00042-8
6. Clifton-Brown, J. (2000). Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*, 86(1), 191–200. doi: 10.1006/anbo.2000.1183
7. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2018). *Growing bioenergy crops*. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
8. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., Kaskiv, V. V., Maksymenko, O. V., & Mandrovska, S. M. (2012). *Methodical recommendations for the main and pre-sowing tillage and sowing of vine millet*. Kyiv: IBKiTsB. [In Ukrainian]
9. Hanzhenko, O. M., Kvak, V. M., & Fedoryn, H. O. (2017). The effect of mineral fertilizers on the yield of miscanthus biomass in the conditions of the Carpathian region. In *Non-traditional and renewable energy sources as alternatives to primary energy sources in the region* (pp. 113–116). Lviv: NU “Lviv Polytechnic”. [In Ukrainian]
10. Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and*

*organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

11. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsal'tynh. [In Ukrainian]

12. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., ... Katelevskyi, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Kyiv: Komprint. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

**Prysiazhniuk, O. I.\***, & **Honcharuk, O. M.** (2022). Peculiarities of the biomass yield and quality formation in giant miscanthus under the effect of agricultural technology components. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 53–60. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Purpose.** To establish the peculiarities of the dry biomass productivity and quality formation in giant miscanthus under the effect of agricultural technology components. **Methods.** The research was carried out at the Bila Tserkva Experimental and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences in the years 2019–2021. In the research, generally accepted methods were used. Giant miscanthus variety ‘Osinnii Zoretsvit’ was grown in a three-factor field experiment with the use of the following formulations: Azophosphoryn for inoculation (1,0 l/ha), adsorbent MaxiMarin granulated (30 kg/ha), Humate potassium (Humifield) (50 g/ha) and Antistress AminoStar (1,0 l/ha) for foliar fertilization over vegetation. **Results.** The productivity of miscanthus in the second year of vegetation (2020) was quite low since the development of plants was aimed primarily at forming a powerful root system, particularly rhizomes. On average in the experiment, the leaf and stem biomass weight of one plant ranged from 177.0 to 240.0 g, and the yield of solid biofuel from 5.84 to 7.92 t/ha. The maximum values of these indicators were observed in the treatments with the combined use of Azophosphoryn and MaxiMarin (236–240 g/plant. and 7.79–7.92 t/ha, respectively). At the same time, the foliar application of fertilizers in the first year of the experiment was ineffective: the differences in plant productivity indicators were rather tendentious. In the third year of miscanthus cultivation (2021), all treatments demonstrated a significant – approximately threefold – increase in the productive indicators. In particular, the weight of one plant was 531.8–772.2 g, solid biofuel yield 17.5–23.8 t/ha, and energy yield 287.8–391.1 GJ/ha. As in the previous year of research, their maximum values were obtained in the treatments with the combination of inoculant and adsorbent; foliar fertilization also proved to be an effective practice. As for the qualitative characteristics of the obtained crop biomass, on average in the experiment, the content of dry matter was 48.8%, cellulose 40.0%, lignin 10.3%, and ash 1.3%. The variation of these indicators under the effect of the studied factors was mostly insignificant (within the limits of error). **Conclusions.** In the third year of giant miscanthus variety ‘Osinnii Zoretsvit’ cultivation, the highest yield of solid biofuel (23.8 t/ha) and energy yield (391.1 GJ/ha) was provided by the combined use of inoculant Azophosphoryn, adsorbent MaxiMarin granulated and foliar application of fertilizer Potassium humate (Humifield) + Antistress AminoStar.

**Keywords:** *inoculation; adsorbent; humates; foliar application of fertilizers; individual productivity of plants; solid biofuel yield; energy yield; dry matter content; lignin; cellulose; ash.*

*Надійшла / Received 16.08.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 24.09.2022*



## Формування біометричних показників посівів проса прутіподібного за вирощування на кислих ґрунтах

О. І. Присяжнюк\*, В. В. Мусіч

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Мета.** Установити особливості формування біометричних показників посівів проса прутіподібного за вирощування його на кислих ґрунтах, що належать до категорії маргінальних. **Методи.** Польові дослідження проводили на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр. Просо прутіподібне ‘Морозко’ вирощували за схемою трифакторного польового дослідження, із застосуванням вапнування ґрунту (25 % від потреби), адсорбенту МахіМаріні гранульований (30 кг/га), а також препаратів Гумат калію (Гуміфілд) (50 г/га) та Антистресант АміноСтар (1,0 л/га). Адсорбент вносили за два тижні перед сівбою культури локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кушення та повторно через два тижні. **Результати.** На другий рік вирощування проса прутіподібного густина рослин у фазі кушення становила від 12 до 21 шт./м. п., на третій – від 16 до 23 шт./м. п. рядка. Оскільки рослини вже в першій половині вегетації формували оптично щільний посів, тож подальше збільшення їх густоти не відбувалося, і в усіх варіантах дослідження на час збирання культури було збережено кількість рослин, визначену у фазі кушення. Вапнування ґрунту не мало суттєвого впливу на формування цього показника, а основні відмінності були лише порівняно з варіантами внесення адсорбенту. Висота рослин у фазі кушення в досліді була приблизно на одному рівні: у 2020 р. – 24–30 см, у 2021-му – 12–16 см. Деяку тенденцію до її збільшення відзначено лише у варіантах з адсорбентом. Починаючи із фази виходу в трубку, істотно зростає вплив чинника позакореневого підживлення, ефективність якого підвищувалась на фоні застосування адсорбенту. Зокрема, у варіанті з Гуматом калію рослини в обидва роки досліджень порівняно з відповідними контролями були вищими на 5–15 см, а в разі комбінованого внесення цього препарату з Антистресантом АміноСтар – на 5–25 см. Розкислення ґрунту теж позитивно позначалось на рості рослин: у середньому за варіантами без вапнування у фазі виходу в трубку вони були заввишки 48–88 см, тоді як із внесенням вапна – 54–115 см. У 2020 р. аналогічні закономірності формування показника відзначено і в наступні фази розвитку. Натомість у 2021 р. на більш пізніх етапах вегетації культури різниця між цими варіантами дослідження зменшувалась, а у фазі збирання навіть вищими на 6 см були рослини у варіантах, де вапно не застосовували. Подібна ситуація спостерігалась й у варіантах комбінованого застосування адсорбенту та позакореневого підживлення гуматами: у фазі виходу в трубку показники висоти рослин були значно вищими, однак уже у фазі цвітіння практично зрівнювались із контрольними варіантами, а на час збирання взагалі були дещо нижчими. **Висновки.** Максимальні параметри біометричних показників рослин проса прутіподібного отримано здебільшого у варіантах поєднання всіх трьох досліджуваних агротехнічних заходів. При цьому істотніше на їх формування впливало застосування адсорбенту та позакореневого підживлення рослин, аніж вапнування ґрунту, вплив якого був переважно тенденційним. Водночас ефективність цих технологічних чинників значною мірою визначалась погодними умовами вегетаційного періоду, що своєю чергою впливало на ростові процеси рослин та зумовлювало певне варіювання їх біометричних показників за роками досліджень.

**Ключові слова:** вапнування ґрунту; адсорбент; гумат; висота рослин; густина рослин.

## Вступ

Дослідженнями вітчизняних та закордонних учених доведено, що для забезпечення потужного фітоценозу проса прутіноподібного з довготривалим використанням необхідно вдосконалювати технологію вирощування культури [1, 2].

Усі процеси росту й розвитку рослин можна охарактеризувати як складні біологічні взаємодії, які визначаються закономірностями їх реакції на зміну умов вирощування. Саме тому істотний вплив на ріст рослин мають ґрунтово-кліматичні та агротехнічні чинники [3–5].

Серед усіх досліджуваних параметрів біометрики, оптимальна густина посівів проса прутіноподібного на другий рік вегетації рослин є не менш важливою, ніж у перший рік. Адже попри конкурентну боротьбу з бур'янами, рослини освоюють вільні екологічні ніші, створюючи передумови формування високого рівня продуктивності в наступні роки. А відповідно окрім надзвичайної важливості забезпечення належної густоти посівів для ефективного освоєння агрофітоценозу, залишається актуальним і питання забезпечення високого рівня їх продуктивності, особливо в роки ефективного використання плантацій проса прутіноподібного. А отже, в перший рік вегетації культури надзвичайно важливо сформувати оптимальну густоту її посівів, а от у наступні – вберегти рослини від загибелі та забезпечити за допомогою агротехнічних заходів сприятливі умови для їх подальшого розвитку. Відповідно динаміка зміни показників густоти посівів є своєрідним індикатором того, що всі заходи догляду спрацювали правильно і рослини добре розвиваються [6–8].

Дослідження особливостей росту й розвитку рослин проса прутіноподібного впродовж вегетаційного періоду дає можливість розкрити найважливіші залежності процесу формування високої продуктивності культури. Однією з основних ознак, що визначає темпи росту й розвитку культурних рослин, є їхня висота впродовж вегетації [9, 10].

*Мета досліджень* – установити особливості формування біометричних показників посівів проса прутіноподібного за вирощування його на кислих ґрунтах, що належать до категорії маргінальних.

## Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили в умовах Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний вилугуваний піскуватий середньосуглинковий. Уміст гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,9 %, реакція ґрунтового середовища – кисла (рН 5,1). Ґрунт характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом (нітратний – 16,4 та амонійний – 38,7 мг/кг ґрунту), низькою – рухомим фосфором (8,3 мг/кг ґрунту) та підвищеною – обмінним калієм (10,3 мг/кг ґрунту).

Загалом ґрунтові умови є сприятливими для вирощування біоенергетичних культур, за винятком значної кислотності, яка призводить до малодоступності рослинам основних елементів живлення та низької схожості насіння. Оскільки, згідно з актом Європейського законодавства № 1305/2013, індикатором маргінальності земель для вирощування сільськогосподарських культур є кислотність ґрунту рН (H<sub>2</sub>O) < 5,5 в орному шарі, то цей тип ґрунту можна віднести до маргінальних, і таких, що мало використовуються для вирощування сільськогосподарських культур у зоні проведення досліджень.

Погодні умови, що склались у роки проведення досліджень, були типовими для зони нестійкого зволоження Лісостепу України, мали певні відхилення від середньобогаторічних їх значень, однак це не стало на заваді отриманню об'єктивних експериментальних даних польових досліджень.

Зокрема, протягом вегетаційного періоду 2020 р. сума активних температур становила 2766,7 °С, що переважало багаторічну норму на 242,2 °С. Водночас докладніший аналіз температурних показників, передусім їх максимумів, дає змогу стверджувати, що впродовж усіх місяців вегетації культури склались досить сприятливі умови без значного перевищення допустимого рівня температури (табл. 1).

Таблиця 1

**Сума активних температур та абсолютний максимум температури повітря  
впродовж вегетаційного періоду у 2020–2021 рр.**

Показник	Роки	Місяць						За вегетацію (IV–IX)	За рік
		IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Сума активних температур, °С	2020	138,9	336,8	611,2	621,2	609,2	449,4	2766,7	–
	2021	386,2	582,9	692,5	578,5	305,1	386,2	2545,2	–
	Середня багаторічна	119,7	402,3	516,0	584,5	557,4	344,6	2524,5	2622,5
Абсолютний максимум температури повітря, °С	2020	22,0	27,0	31,0	31,0	33,0	33,0	33,0	–
	2021	20,5	24,0	33,0	33,0	31,0	26,0	33,0	–
	Багаторічний максимум	29,7	31,5	37,0	35,6	39,3	36,1	39,3	39,3

В умовах 2021 р. сума активних температур протягом вегетаційного періоду становила 2545,2 °С, що більше норми на 20,7 °С. Абсолютний максимум температури повітря за вегетаційний період – 33,0 проти 39,3 °С як багаторічного показника.

Дослідження виконували згідно зі схемою, наведеною в таблиці 2.

Таблиця 2

**Розроблення елементів технології вирощування проса прутіподібного  
на маргінальних землях**

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га

Адсорбент вносили в ґрунт за два тижні перед сівбою проса прутіподібного локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кушення та повторно через два тижні. Площа посівної ділянки становила 35 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>; повторність – триразова. У досліді висівали сорт проса прутіподібного ‘Морозко’, селекції ІБКіЦБ НААН.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методиками польового досліду та спеціальними методиками [11–13].

### Результати досліджень

Показники густоти рослин проса прутіподібного на другий (2020) та третій (2021) роки вегетації залежно від застосовуваних агротехнічних заходів наведено в таблиці 3. У середньому за варіантами досліду густота рослин проса прутіподібного на другий рік вегетації становила у фазі кушення 17,2 шт. на один погонний метр рядка.

## Густота рослин проса прутоподібного залежно від елементів технології вирощування, шт./м. п. (2020–2021 рр.)

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	2020		2021	
			у фазі кушення	перед збиранням	у фазі кушення	перед збиранням
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	15	15	16	16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	16	16	17	17
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	15	15	16	16
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	18	18	19	19
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	17	17	18	18
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	20	20	21	21
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби	Без адсорбенту	Без підживлення	12	12	16	16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	16	16	18	18
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	17	17	18	18
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	19	19	21	21
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	20	20	21	21
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	21	21	23	23
НІР <sub>0,05</sub>			2	2	2	2

Аналогічно першому року вегетації, розкислення ґрунту не впливало на формування цього показника, а основні відмінності були лише порівняно з варіантами внесення адсорбенту МахіМарін гранульований. Зокрема, в разі внесення адсорбенту без застосування вапна густота рослин проса прутоподібного збільшувалась на 3,3 шт./м. п., а за поєднання цього заходу з розкисленням ґрунту – на 8,0 шт./м. п. порівняно з відповідними контрольними варіантами.

На другий рік вирощування рослини проса прутоподібного на середину вегетації формували оптично світлонепроникний посів, а тому подальше зростання їх густоти не відбувалося. Відповідно в усіх варіантах досліду було збережено кількість рослин, визначену у фазі кушення.

Що стосується відмінностей у густоті посівів, то максимальні їх значення отримано у варіантах внесення МахіМарін гранульований у поєднанні з Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га. За таких умов густота рослин проса прутоподібного становила 20–21 шт./м. п., що є свідченням доброго їх забезпечення вологою та елементами захисту від стресових чинників, також дозійшло насіння ще й на другий рік вегетації культури.

На третій рік вирощування рослини проса прутоподібного вже в першій половині вегетації формували оптично щільний посів, а тому подальше збільшення їх густоти не відбувалося. В усіх варіантах дослідів було збережено кількість рослин культури, визначену на час настання фази куцнення.

Що ж до впливу чинників дослідів, то аналогічно першому та другому року вегетації, розкислення ґрунту кардинально не впливало на густоту посівів проса прутоподібного. Зокрема, у варіанті без застосування вапна та за умови внесення адсорбенту МахіМарін гранульований рослин було більше на 3,0 шт./м. п., а в разі поєднання з розкисленням ґрунту – на 5,0 шт./м. п. порівняно з відповідними контрольними варіантами.

Максимальні показники густоти рослин проса прутоподібного були у варіантах внесення МахіМарін гранульований у поєднанні з Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га – 21–23 шт./м. п.

На особливості формування висоти рослин проса прутоподібного значний вплив мають гідротермічні умови, а тому варто докладніше зупинитись на характеристичі зміни цього показника залежно від впливу елементів технології вирощування у 2020 році (табл. 4).

Таблиця 4

**Висота рослин проса прутоподібного на другий рік вегетації залежно від елементів технології вирощування, см (2020 р.)**

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	У фазі		
			куцнення	виходу в трубку	збирання врожаю
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	25	35	160
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	24	40	165
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	27	50	170
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	28	45	168
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	30	60	170
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	30	55	180
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби	Без адсорбенту	Без підживлення	27	48	170
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	32	55	175
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	27	60	180
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	28	45	170
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	29	60	177
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	28	55	180
НІР <sub>0,05</sub>			5	7	9



Застосування досліджуваних агротехнічних заходів позитивно вплинуло на формування висоти рослин проса прутоподібного. Зокрема, у варіантах без вапнування та адсорбенту у фазі кушення вони досягали заввишки 24–27 см, тоді як за внесення МахіМарін гранульований – 28–30 см. Оскільки на ранніх етапах росту й розвитку рослин не застосовували позакореневого підживлення Гуматом калію (Гуміфілд) та Антистресантом АміноСтар, а тому істотного відхилення їх висоти у цих варіантах не відзначено. По суті, цей агротехнічний захід має мінімальну післядію і не може істотно впливати на ріст і розвиток рослин наступного року вегетації.

Оброблення рослин у фазі кушення Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га та Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га сприяло формуванню вищих рослин у фазі виходу в трубку. Зокрема, у варіанті з Гуматом калію рослини порівняно з відповідними контролями були вищими на 5–15 см, а в разі комбінованого внесення цього препарату з Антистресантом АміноСтар – на 10–15 см.

Розкислення ґрунту теж позитивно позначалось на формуванні висоти рослин: у середньому за варіантами досліді без вапнування рослини у фазі виходу в трубку були заввишки 47,5 см, тоді як у варіантах із внесенням вапна – 53,8 см, у фазі збирання – 168,8 та 175,3 см відповідно.

Загалом застосування адсорбенту та позакореневого підживлення сприяло формуванню ліпших параметрів висоти рослин навіть на більш пізніх етапах їх росту й розвитку. Зокрема, максимальні по досліді показники висоти рослин у фазі збирання були у варіантах із позакореневим підживленням препаратами Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га – 180 см.

Відомо, що інтенсивність приростів рослин проса прутоподібного значною мірою визначається гідротермічними умовами. А тому варто докладніше розглянути особливості формування показників висоти рослин культури залежно від впливу елементів технології вирощування в умовах вегетаційного періоду 2021 року (табл. 5).

На ранніх етапах росту й розвитку рослин, коли не застосовували позакореневого підживлення Гуматом калію (Гуміфілд) та Антистресантом АміноСтар, істотного відхилення висоти рослин на цих варіантах досліді не спостерігали і в третій рік вегетації посівів. Причому такі агрозаходи, як вапнування та застосування адсорбенту МахіМарін гранульований, що були застосовані на початку закладання плантацій проса прутоподібного, теж істотно не впливали на висоту рослин у фазі кушення.

Водночас додаткове оброблення рослин у фазі кушення Гуматом калію (Гуміфілд) та його композицією з Антистресантом АміноСтар, сприяло збільшенню їхньої висоти у фазі виходу в трубку. Зокрема, у варіанті з Гуматом калію приріст цього показника порівняно з відповідними контролями становив 5–10 см, а за комбінованого внесення Гумату калію (Гуміфілд) з Антистресантом АміноСтар – 5–25 см.

Варто зазначити, що в період активного розвитку рослин проса прутоподібного вапнування також позитивно позначилось на формуванні висоти рослин: у середньому за варіантами без вапнування у фазі виходу в трубку вони досягали заввишки 88 см, тоді як у варіантах зі внесенням вапна – 115 см. На більш пізніх етапах вегетації культури різниця між цими варіантами досліді зменшувалась, а у фазі збирання врожаю навіть вищими на 6 см були рослини у варіантах, де вапно не застосовували.

Аналогічну закономірність відзначено й у варіантах застосування адсорбенту МахіМарін гранульований та позакореневого підживлення гуматами: у фазі виходу в трубку показники висоти рослин були значно вищими, однак уже у фазі цвітіння практично зрівнювались із контрольними варіантами. Ба більше, на час збирання у варіантах максимального впливу з агротехнічної точки зору рослини проса прутоподібного були дещо нижчими.

**Висота рослин проса прутоподібного на третій рік вегетації залежно від елементів технології вирощування, см (2021 р.)**

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	У фазі			
			кущіння	виходу в трубку	цвітіння	збирання врожаю
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	13	70	140	200
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	12	80	130	210
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	13	84	120	205
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	14	93	135	190
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	15	100	140	180
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	15	100	130	205
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби	Без адсорбенту	Без підживлення	14	90	140	185
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	16	100	140	195
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	13	115	130	187
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	14	125	140	210
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	14	130	140	198
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	14	130	140	180
НІР <sub>0,05</sub>			6	8	10	12

### Висновки

У середньому за варіантами дослідів густина рослин проса прутоподібного на другий рік вегетації становила у фазі кушення 17,2 шт./м. п. (від 12 до 21 шт./м. п.), а на третій – 18,7 шт./м. п. рядка (від 16 до 23 шт./м. п.). Максимальні параметри густоти рослин в обидва роки досліджень – 20–21 і 21–23 шт./м. п. відповідно були у варіантах застосування МахіМарін гранульований, 30 кг/га у поєднанні з Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га та антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га незалежно від внесення вапна для розкислення ґрунту.

Висота рослин у фазі кушення в досліді була приблизно на одному рівні: у 2020 р. – 24–30 см, у 2021-му – 12–16 см. Деяку тенденцію до її збільшення відзначено лише у варіантах з адсорбентом. Починаючи із фази виходу в трубку, істотно зростає вплив чинника позакореневого підживлення, ефективність якого підвищувалась на фоні застосування адсорбенту. Зокрема, у варіанті з Гуматом калію рослини в обидва роки досліджень порівняно з відповідними контролями були вищими на 5–15 см, а в разі комбінованого внесення цього препарату з Антистресантом АміноСтар – на 5–25 см. Розкислення ґрунту теж позитивно позначалось на рості рослин: у середньому за варіантами без вапнування у

фазі виходу в трубку вони були заввишки 48–88 см, тоді як із внесенням вапна – 54–115 см. У 2020 р. аналогічні закономірності формування показника відзначено і в наступні фази розвитку. Натомість у 2021 р. на більш пізніх етапах вегетації культури різниця між цими варіантами досліду зменшувалась, а у фазі збирання навіть вищими на 6 см були рослини у варіантах, де вапно не застосовували. Подібна ситуація спостерігалась й у варіантах комбінованого застосування адсорбенту та позакореневого підживлення гуматами: у фазі виходу в трубку показники висоти рослин були значно вищими, однак уже у фазі цвітіння практично зрівнювались із контрольними варіантами, а на час збирання взагалі були дещо нижчими.

### Використана література

- Schmer M. R., Liebig M. A., Vogel K. P., Mitchell R. B. Field-scale soil property changes under switchgrass managed for bioenergy. *GCB Bioenergy*. 2011. Vol. 3, Iss. 6. P. 439–448. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01099.x
- Мороз О. В., Смірних В. М., Курило В. Л. та ін. Світчграс як нова фітоенергетична культура. *Цукрові буряки*. 2011. № 3. С. 12–14.
- Christian D. G., Riche A. B., Yates N. E. The yield and composition of switchgrass and coastal panic grass grown as a biofuel in Southern England. *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 83, Iss. 2. P. 115–124. doi: 10.1016/S0960-8524(01)00201-2
- Кулик М. І., Галицька М. А., Дьомін Д. Г. Агробіомаса та енергетичні культури для виробництва біопалива : науково-практичні рекомендації. Дніпро, 2018. 36 с.
- Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 1. С. 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01
- Кулик М. І., Курило В. Л. Енергетичні культури для виробництва біопалива : довідник. Полтава : РВВ ПДАА, 2017. 74 с.
- Switchgrass: A valuable biomass crop for energy / A. Monti (Ed.). London, UK : Springer, 2012. 209 p. doi: 10.1007/978-1-4471-2903-5
- Keshwani D. R., Cheng J. J. Switchgrass for bioethanol and other value-added applications: a review. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, Iss. 4. P. 1515–1523. doi: 10.1016/j.biortech.2008.09.035
- Parrish D. J., Fike J. H. The Biology and Agronomy of switchgrass for Biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24, Iss. 5–6. P. 423–459. doi: 10.1080/07352680500316433
- Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я. та ін. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2011. Вип. 15(2). С. 85–90.
- Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
- Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
- Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь. Київ : Логос, 2018. 240 с.

### References

- Schmer, M. R., Liebig, M. A., Vogel, K. P., & Mitchell, R. B. (2011) Field-scale soil property changes under switchgrass managed for bioenergy. *GCB Bioenergy*, 3(6), 439–448. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01099.x
- Moroz, O. V., Smirnykh, V. M., Kurylo, V. L., Herasymenko, Yu. P., Mostovna, N. A., Horobets, A. M., & Kulyk, M. I. (2015). Switchgrass as a new phyto-energy culture. *Sugar Beet*, 3, 12–14. [In Ukrainian]

3. Christian, D. G., Riche, A. B., & Yates, N. E. (2002). The yield and composition of switchgrass and coastal panic grass grown as a biofuel in Southern England. *Bioresource Technology*, 83(2), 115–124. doi: 10.1016/S0960-8524(01)00201-2
4. Kulyk, M. I., Halytska, M. A., & Domin, D. H. (2018). *Agrobiomass and energy crops for biofuel production: scientific and practical recommendations*. Dnipro: N.p. [In Ukrainian]
5. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy cultures of the family of thin-skinned in the conditions of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]
6. Kulyk, M. I., & Kurylo, V. L. (2017). *Energy crops for biofuel production: a guide*. Poltava: RVV PDAA. [In Ukrainian]
7. Monti, A. (Ed.). (2012). *Switchgrass: A valuable biomass crop for energy*. London, UK: Springer. doi: 10.1007/978-1-4471-2903-5
8. Keshwani, D. R., & Cheng, J. J. (2009). Switchgrass for bioethanol and other value-added applications: a review. *Bioresource Technology*, 100(4), 1515–1523. doi: 10.1016/j.biortech.2008.09.035
9. Parrish, D. J., & Fike, J. H. (2005). The Biology and Agronomy of switchgrass for Biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(5–6), 423–459. doi: 10.1080/07352680500316433
10. Roik, M. V., Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Hanzhenko, O. M., & Kvak, V. V. (2011). The efficiency of growing high-yielding energy crops. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University*, 15(2), 85–90. [In Ukrainian]
11. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
12. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsaltnyh. [In Ukrainian]
13. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Pyrkin, V. I., Prysiazhniuk, O. I., ... Zelinskyi, B. V. (2018). *Research methodology of willow and poplar energy plantations*. Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]

UDC 633.282:631.559:620.952

**Prysiazhniuk, O. I., & Musich, V. V.** (2022). Formation of biometric parameters of switchgrass on acid soils. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 61–70. [in Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Purpose.** To establish the peculiarities of the biometric parameters of switchgrass cultivated on acid soils attributed to the category of marginal land. **Methods.** Field experiment was carried out at the Uladivka-Liulyntsi Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences in the years 2019–2021. Switchgrass variety ‘Morozko’ was grown in the a three-factor field experiment, with the application of lime (25% of the need), MaxiMarin granulated adsorbent (30 kg/ha), potassium humate (Humifield) (50 g/ha) and Antistress AminoStar (1.0 l/ha) to the soil. The adsorbent was applied two weeks before sowing the crop locally in the rows, foliar application of fertilizers was carried out in the budding stage and the second time after two weeks. **Results.** In the second year of cultivation, the plant density in the tillering stage was from 12 to 21, in the third year from 16 to 23. Since the plants already formed an optically dense crop in the first half of the vegetation season, there was no further increase in the plant density, and in all treatments of the experiment, the number of plants determined in the tillering stage was preserved at the time of harvesting. Application of lime to the soil did not have a significant impact on the formation of this indicator, and the main differences were only compared to the treatments with applying the adsorbent. The height of the plants in the

tillering stage in the experiment was approximately at the same level: in 2020, 24–30 cm and 2021, 12–16 cm. A tendency of the increase was noted only in the treatments with adsorbent. Starting from the stage of leaf-tube formation, the influence of the factor of foliar application of fertilizers increased significantly, the effectiveness of which increased against the background of the adsorbent application. In particular, in the treatment with potassium humate, the plants were 5–15 cm taller in both years of the experiment compared to the corresponding controls, and in the case of the combined application of potassium humate with AminoStar Antistress plant height exceeded by 5–25 cm. Soil deoxidation also had a positive effect on plant growth: on average of the treatments without liming, in the leaf-tube formation, the plants were 48–88 cm tall, while with the application of lime 54–115 cm. In 2020, similar patterns of this indicator formation were noted in the following stages of development. On the other hand, in 2021, at the later stages of the crop vegetation, the difference between these experimental treatments decreased, and in the harvesting stage, the plants in the treatments where lime was not applied were even taller by 6 cm. A similar situation was observed in the treatments with the combined application of the adsorbent and foliar application of humates: in the stage of leaf-tube formation, the plant height was significantly higher, but already in the flowering stage it was practically equal to the control treatments, and at the time of harvesting it was somewhat lower. **Conclusions.** The maximum values of the biometric parameters of switchgrass were obtained mostly in the treatments with the combination of all three investigated agrotechnical measures. At the same time, their formation was more significantly affected by the use of adsorbent and foliar feeding of plants than by liming the soil, the effect of which was mostly tendentious. At the same time, the effectiveness of these technological factors was largely determined by the weather conditions of the growing season, which in turn affected the growth processes of plants and caused certain variations in their biometric parameters over the years of research.

**Keywords:** soil liming; adsorbent; humate; plant height; plant density.

*Надійшла / Received 15.07.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 07.09.2022*

УДК 633.9:631.54

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268946>

## **Вплив азотного удобрення та позакореневого підживлення на продуктивність та енергетичну ефективність плантацій міскантусу гігантського**

**О. І. Присяжнюк\*, С. В. Пенькова**

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Мета.** Удосконалити технологію догляду за плантаціями міскантусу гігантського та встановити особливості формування його продуктивності за використання різних видів добрив, починаючи з другого року вегетації культури. **Методи.** Дослідження виконували впродовж 2020–2021 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, що розташована в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. Схема досліду передбачала внесення навесні в зону рядка мінеральних добрив [аміачна селітра + сульфат амонію ( $N_{24} + S_6$  кг/га д. р.), аміачна селітра ( $N_{24}$  кг/га д. р.)] та позакореневе підживлення гуматами (Вермісол, 8 л/га, Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га) і комплексним добривом з амінокислотами (Квантум Аміномакс 0,5 л/га). Мінеральні добрива вносили локально в міжряддя до появи сходів міскантусу, позакореневе підживлення рослин гуматами та антистресантом проводили



у фазі 5-ти листків культури та повторно через два тижні. **Результати.** Рослини міскантусу гігантського впродовж другого року вегетації формували від 18 до 37 пагонів із середньою масою від 76,3 до 111,0 г, максимальна маса однієї рослини при цьому досягала 4091 г. На наступний рік досліджень кількість стебел на одну рослину та їх середня маса зростали у 1,5–2 рази, а максимальна маса однієї рослини становила 7016 г. Урожайність біомаси міскантусу гігантського третього року вегетації становила 31,0–74,6 т/га, розрахунковий вихід твердого біопалива – 19,2–41,6 т/га, енергії – 315,5–683,2 ГДж/га. **Висновки.** За весняного підживлення мінеральними добривами (аміачна селітра + сульфат амонію, аміачна селітра) істотно зростали показники врожайності сирової біомаси, виходу твердого біопалива та енергії з гектара площі. Суттєвий позитивний вплив на продуктивність міскантусу гігантського мало й позакореневе підживлення препаратом Гуміфілд ВР-18. Найліпші показники продуктивності культури отримано у варіантах поєднання весняного удобрення аміачною селітрою із сульфатом амонію ( $N_{24} + S_6$ ) з наступним дворазовим позакореневим підживленням гуматами (Вермісол, 8 л/га, Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га) та комплексним добривом з амінокислотами Квантум Аміномакс, 0,5 л/га.

**Ключові слова:** біопаливо; мінеральні добрива; гумати; амінокислоти; урожайність біомаси.

## Вступ

Відновлювані джерела енергії в Україні та Європейському союзі за останні десятиліття перетворились на окрему високорозвинену індустрію, актуальним сегментом якої наразі є вирощування біоенергетичних культур, що забезпечують отримання великої кількості біомаси, придатної для перероблення на різні види біопалива.

Використання в біоенергетиці міскантусу має свої переваги: швидкий ріст рослин, можливість щорічного отримання великих обсягів біомаси та вирощування культури на малопродуктивних і забруднених землях. Створення високопродуктивних плантацій міскантусу гігантського за відповідної логістики може забезпечити стабільне завантаження виробничих потужностей біопаливних заводів та теплових електростанцій необхідною кількістю високоякісної біомаси з високим умістом лігніну та целюлози [1].

Останніми роками проводиться багато досліджень особливостей росту, розвитку та формування продуктивності цієї культури. Особливу увагу дослідники звертають на створення плантації міскантусу та догляд за рослинами у перший рік після висаджування ризом. Вважається, що в наступні роки вегетації, після успішної перезимівлі першого року, плантації міскантусу гігантського потребують мінімального догляду [2–6]. Проте, на нашу думку, є можливість підвищення ефективності вирощування біомаси завдяки впровадженню досконаліших систем догляду за вже сформованими насадженнями із застосуванням малих доз мінеральних добрив та використанням органічних регуляторів росту рослин, комплексних добрив з амінокислотами [6].

Збільшення врожайності біомаси в разі застосування високих доз мінеральних добрив неодноразово було висвітлено в наукових працях [7, 8]. Деякі дослідження показують, що рослини міскантусу позитивно реагують на альтернативні джерела органічних добрив, мікробні препарати та рідкі комплексні добрива [9, 10].

Оптимізація умов вирощування міскантусу гігантського в разі застосування нових сучасних препаратів для основного удобрення та позакореневого підживлення є сьогоднім вкрай актуальним питанням. Адже саме продуктивність плантацій другого та наступних років вирощування є ключовим чинником отримання високого виходу енергії з одиниці площі, оскільки рослини за відсутності доступного мінерального живлення активніше конкурують між собою. А отже, створюються умови для подальшого неоднорідного формування біомаси та відмирання частини рослин, які програли конкурентну боротьбу за чинники живлення. Як наслідок, плантації зріджуються, втрачають високий рівень продуктивності й раніше виводяться з промислового використання.

*Мета досліджень* – удосконалити технологію догляду за плантаціями міскантусу гігантського та встановити особливості формування його продуктивності за використання різних видів добрив, починаючи з другого року вегетації культури.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2020–2021 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, що розташована в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий глибокий малогумусний вилугуваний середньо-суглинковий зі вмістом у шарі ґрунту 0–30 см гумусу – 3,5 %, мінерального азоту – 29–37 мг/кг, рухомого фосфору та обмінного калію (за Чиріковим) – 200–220 і 100 мг/кг ґрунту відповідно. Кислотність ґрунту (рН) – 6,55–6,72.

Кліматичні умови характеризуються як помірно-континентальні. Середня багаторічна температура повітря становить 7,5 °С, багаторічний абсолютний максимум температури 34,4 °С, абсолютний мінімум – –24,7 °С. Сумарна багаторічна кількість опадів – 526 мм, більшість з яких випадає у квітні – жовтні.

Температура повітря впродовж вегетаційних періодів 2020–2021 рр. була вищою за середньобагаторічні значення. Відсутність заморозків та утримання позитивних температур до третьої декади листопада 2020 р. продовжили вегетаційний період міскантусу гігантського до кінця цього місяця. Зниження температури повітря у квітні та травні 2021 р. затримало початок вегетації порівняно з минулим роком, а нічні заморозки у третій декаді жовтня сприяли закінченню вегетації культури.

У 2020 р. склалася досить складна ситуація щодо опадів. За рік випало 91 % від їх середньорічної кількості з нерівномірним розподілом за місяцями. Натомість у 2021 р. кількість опадів на 6 % перевищила середні багаторічні значення.

Загалом кліматичні умови зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України дають змогу отримувати високі врожаї біомаси міскантусу [11, 12].

Схема досліджень передбачала вивчення дії трьох факторів досліджу:

*фактор А* – внесення мінеральних добрив у ґрунт навесні: без добрив; аміачна селітра + сульфат амонію (N<sub>24</sub> + S<sub>6</sub>); аміачна селітра (N<sub>24</sub>);

*фактор В* – позакореневе підживлення гуматами: не застосовується; Вермісол, 8,0 л/га; Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га;

*фактор С* – позакореневе підживлення антистресантом на основі амінокислот: не застосовується; Квантум Аміномакс, 0,5 л/га.

Аміачну селітру та сульфат амонію вносили локально в міжряддя до появи сходів міскантусу. Позакореневе підживлення рослин гуматами та антистресантом проводили у фазі 5-ти листків культури та повторно через два тижні.

У досліді вирощували сорт міскантусу гігантського ‘Осінній зорецвіт’ (оригінатор – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, включений до Державного реєстру сортів рослин України з 2015 р.).

Польові дослідження проводили згідно з [13]. Фактичну врожайність сирої біомаси вимірювали суцільно за ділянками. Уміст сухої речовини в біомасі визначали ваговим методом, золи – методом спалювання біомаси в муфельній печі. Вихід твердого біопалива та енергії з гектара розраховували відповідно до [14]. Статистичний аналіз результатів досліджень виконували за допомогою прикладних програм Excel та Statistica-6 [15].

### Результати досліджень

Важливими показниками в процесі оцінювання ефективності технології вирощування міскантусу гігантського є врожайність його біомаси, вихід твердого біопалива та енергії з гектара площі. Своєю чергою врожайність біомаси залежить від таких структурних елементів, як кількість стебел на рослині та їхня маса, уміст сухої речовини в листках та стеблах рослин.

Протягом вегетаційного періоду 2020 р. рослини міскантусу інтенсивно розростались і вже кінець другого року вегетації в кожній з них налічувалось у середньому від 18 до 37 пагонів (табл. 1). Найменше пагонів рослини формували в контрольному варіанті, де не застосовували жодних агротехнічних заходів – 18 шт. Позакореневе підживлення лише добривом з амінокислотами Квантум Аміномакс не забезпечило істотного збільшення кількості пагонів на одну рослину. Усі ж інші варіанти застосування мінеральних добрив та позакореневого підживлення сприяли значно інтенсивнішому пагоноутворенню.

Таблиця 1

**Биометричні параметри рослин міскантусу гігантського ‘Осінній зорецвіт’ залежно від впливу чинників досліду (2020–2021 рр.)**

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Кількість стебел, шт./росл.		Маса одного стебла (пагона), г		Маса однієї рослини, г	
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Без добрив	не застосовується	не застосовується	17,8	36,8	76,3	79,2	1362	2916
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	18,5	37,2	76,9	90,3	1422	3357
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	20,0	38,0	77,2	91,8	1544	3498
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	20,7	39,3	77,9	95,8	1612	3761
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	25,2	40,5	78,9	102,6	1985	4158
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	26,5	41,9	80,3	106,8	2126	4480
Аміачна селітра сульфат амонію (N <sub>24</sub> + S <sub>6</sub> )	не застосовується	не застосовується	27,0	46,7	86,4	115,6	2334	5404
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	29,5	47,2	101,3	117,8	2988	5555
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	33,0	47,7	106,3	120,4	3508	5745
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	35,0	49,1	106,5	123,7	3726	6077
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	36,2	49,3	107,5	129,0	3887	6364
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	36,8	50,2	111,0	139,8	4091	7016
Аміачна селітра (N <sub>24</sub> )	не застосовується	не застосовується	26,0	42,3	80,9	108,3	2104	4577
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	27,0	43,4	87,9	109,4	2374	4745
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	27,0	44,8	92,5	113,4	2498	5076
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	28,2	46,5	95,7	113,8	2697	5293
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	30,0	46,9	96,3	115,8	2888	5427
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	31,0	47,7	98,5	117,7	3054	5601
НІР <sub>0,05</sub>			1,6	2,6	2,5	6,5	169	443

Зокрема, за весняного внесення аміачної селітри кожна рослина міскантусу формувала в середньому 26, а в разі її поєднання із сульфатом амонію – 27 пагонів. Додаткове позакореневе підживлення удобрених мінеральними добривами рослин міскантусу значно підвищило інтенсивність пагоноутворення. Найбільшу кількість пагонів на одну рослину (37 шт.) було відзначено у варіанті комбінованого застосування аміачної селітри, сульфату амонію, Гуміфілд ВР-18 та Квантум Аміномакс, що вдвічі перевищує показник контрольного варіанту. При цьому найбільший вплив на процес наростання нових стебел забезпечувало застосування мінеральних добрив для весняного підживлення насаджень. Ефективним було й позакореневе підживлення гуматами.

Аналогічна закономірність впливу варіантів удобрення на інтенсивність пагоноутворення відзначалась і у 2021 р., на третій рік вегетації міскантусу гігантського.

Водночас кількість пагонів у середньому по досліді була більшою у 1,6 раза порівняно з минулим роком, а максимально рослини мали по 50 пагонів.

Залежно від варіанту удобрення різнилась і маса одного пагона міскантусу. Після завершення другого року вегетації, стебла міскантусу гігантського у контрольному варіанті досліді важили в середньому 76,3 г. Позакореневе підживлення у варіанті з весняним внесенням мінеральних добрив додатково підвищувало показник маси стебла. Найбільшу середню масу одного пагона – 111,0 г отримали у варіанті поєднання аміачної селітри, сульфату амонію, Гуміфілд ВР-18 та Квантум Аміномакс.

За результатами третього року вегетації міскантусу спостерігалось значне збільшення маси одного стебла в усіх варіантах досліді, окрім контрольного, де цей показник був на рівні 79,2 г. Навіть на ділянках, де навесні мінеральних добрив не вносили, а тільки проводили позакореневі підживлення, середня маса одного пагона була істотно вищою, ніж на контролі. Максимальну масу стебла – 139,8 г відзначено у тому ж варіанті, що й у минулому році.

На основі показників кількості пагонів в одній рослині та середньої маси одного стебла визначили середню масу однієї рослини міскантусу гігантського. На другий рік вегетації середня маса однієї рослини становила від 1362 (контроль) до 4091 г, а на третій рік вирощування максимальних значень цей показник досягав у варіанті комбінованого внесення аміачної селітри, сульфату амонію, Гуміфілд ВР-18 та Квантум Аміномакс – 7016 г проти 2916 г на контролі. Як видно з наведених даних, весняне удобрення та позакореневе підживлення в період вегетації культури істотно впливають на процес пагоноутворення, збільшення маси одного пагона та, як наслідок, середньої маси однієї рослини.

Урожайність біомаси міскантусу гігантського після завершення вегетаційного періоду 2020 р. становила за варіантами досліді від 14,5 (контроль) до 43,5 т/га (табл. 2).

Таблиця 2

**Урожайність біомаси міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’  
залежно від впливу чинників досліді (2020–2021 рр.)**

Удобрення навесні	Позакореневе підживлення		Урожайність біомаси, т/га	
	гумати	амінокислоти	2020	2021
Без добрив	не застосовується	не застосовується	14,5	31,0
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	15,9	37,5
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	16,4	37,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	17,1	40,0
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	20,1	42,0
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	22,6	47,7
Аміачна селітра + сульфат амонію (N <sub>24</sub> + S <sub>6</sub> )	не застосовується	не застосовується	25,4	58,9
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	33,4	62,1
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	40,1	65,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	39,6	64,6
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	41,4	67,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	43,5	74,6
Аміачна селітра (N <sub>24</sub> )	не застосовується	не застосовується	22,4	48,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	25,3	50,5
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	25,2	51,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	28,7	56,3
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	30,7	57,7
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	34,1	62,6
HP <sub>0,05</sub>			1,8	4,8

За весняного внесення аміачної селітри (N<sub>24</sub>) урожайність біомаси зростала до 22,4 т/га, а в разі її поєднання із сульфатом амонію (N<sub>24</sub> + S<sub>6</sub>) – до 25,4 т/га. Позакореневе підживлення гуматами також сприяло істотному підвищенню врожайності культури порівняно з контролем. Максимальну кількість біомаси – 43,5 т/га отримано у варіанті застосування

аміачної селітри та сульфату амонію з наступними позакореновими обробками препаратами Гуміфлд ВР-18 і Квантум Аміномакс.

У 2021 р. врожайність сирої біомаси міскантусу гігантського в середньому досліді була вищою у 1,5–2 рази порівняно з попереднім роком. При цьому в усіх варіантах удобрення цей показник був істотно вищим ніж на контролі. Зокрема, у контрольному варіанті без застосування добрив отримано 31,0 т/га біомаси, що більше порівняно з 2020 р. у 2,1 раза, оскільки цього року рослини міскантусу гігантського досягли своєї потенційної продуктивності. Найвищий показник урожайності біомаси становив 74,6 т/га.

У 2020 р. в середньому по досліді вміст сухої речовини в біомасі становив від 57,7 до 69,5 %, що вплинуло на розрахунковий вихід твердого біопалива з гектара площі (табл. 3). Уміст золи в біомасі міскантусу гігантського, що вирощувався за різних варіантів удобрення, становив 1,5–2,3 %, що відповідно позначилось і на показниках енергоємності твердого біопалива та виходу енергії з гектара. У 2021 р. в біомасі на кінець вегетації містилось менше сухої речовини порівняно з минулим роком – від 42,4 до 56,4 %. Нижчим був і вміст золи – 1,0–1,5 %.

Таблиця 3

**Уміст сухої речовини та золи в біомасі міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ залежно від впливу чинників досліді (2020–2021 рр.)**

Весняне удобрення	Позакореневе підживлення		Уміст, %			
			сухої речовини		золи	
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2020	2021
Без добрив	не застосовується	не застосовується	67,5	56,4	2,20	1,40
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	63,0	48,4	1,90	1,20
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	59,6	49,8	1,60	1,30
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	68,1	49,6	2,00	1,20
	Гуміфлд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	62,7	54,4	1,90	1,30
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	59,8	53,0	2,10	1,50
Аміачна селітра + сульфат амонію (N <sub>24</sub> + S <sub>6</sub> )	не застосовується	не застосовується	61,8	46,1	2,20	1,50
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	66,1	52,3	2,10	1,30
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	58,3	45,5	1,80	1,10
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	69,5	47,8	2,00	1,40
	Гуміфлд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	68,4	55,9	1,50	1,30
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	60,3	49,9	2,10	1,00
Аміачна селітра (N <sub>24</sub> )	не застосовується	не застосовується	58,2	51,2	2,00	1,30
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	59,1	55,7	2,30	1,40
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	57,7	42,4	2,20	1,10
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	60,1	45,7	1,60	1,40
	Гуміфлд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	58,7	48,0	1,80	1,30
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	60,2	50,1	2,20	1,00
HP <sub>0,05</sub>			1,42	1,54	0,10	0,10

Оскільки основною метою за вирощування міскантусу гігантського є отримання енергії від спалювання біомаси, важливим є визначення показників виходу твердого біопалива та енергії з нього з одного гектара площі. Розраховували їх за методикою, розробленою в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [14].

Як впливає з даних таблиці 4, вихід твердого біопалива з одного гектара дворічних насаджень міскантусу гігантського становив від 10,8 до 31,1 т/га, а енергії – від 174,8 до 509,6 ГДж/га.

У варіантах внесення аміачної селітри або селітри із сульфатом амонію істотно зростав вихід як твердого біопалива – до 14,3 і 17,3 т/га, так і енергії – до 233,3 і 280,8 ГДж/га відповідно. Водночас не зафіксовано істотного підвищення цих показників у варіантах



позакореневого підживлення препаратами Вермісол та Квантум Аміномакс. Істотно вищі показники виходу твердого біопалива та енергії з гектара спостерігались в усіх інших варіантах позакореневого підживлення та комплексного застосування чинників досліджу.

Таблиця 4

**Енергетична ефективність вирощування міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’ залежно від впливу чинників досліджу (2020–2021 рр.)**

Удобрення навесні	Позакоренеve підживлення		Розрахунковий вихід			
			твердого біопалива, т/га		енергії, ГДж/га	
	гумати	амінокислоти	2020	2021	2020	2021
Без добрив	не застосовується	не застосовується	10,8	19,2	174,8	315,5
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	11,0	20,0	179,3	328,0
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	10,8	20,4	176,2	334,5
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	12,8	21,8	209,1	358,6
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	13,8	25,1	225,4	412,6
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	14,9	27,8	241,9	454,9
Аміачна селітра + сульфат амонію (N <sub>24</sub> + S <sub>6</sub> )	не застосовується	не застосовується	17,3	29,9	280,8	489,3
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	24,3	35,7	394,4	585,8
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	25,7	32,9	419,8	540,8
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	30,3	34,0	493,2	557,2
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	31,1	41,6	509,6	683,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	28,9	41,0	469,4	674,6
Аміачна селітра (N <sub>24</sub> )	не застосовується	не застосовується	14,3	27,4	233,3	450,0
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	16,4	30,9	266,4	507,0
	Вермісол, 8,0 л/га	не застосовується	16,0	23,9	260,2	393,5
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	19,0	28,3	310,0	464,0
	Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га	не застосовується	19,8	30,5	323,4	500,2
		Квантум Аміномакс, 0,5 л/га	22,6	34,5	366,8	567,7
НІР <sub>0,05</sub>			1,3	2,6	21,0	43,3

У 2021 р., наприкінці третього року вегетації міскантусу гігантського, у деяких варіантах досліджу з одного гектара можна було отримати майже вдвічі більше твердого біопалива порівняно з попереднім роком. Істотно зросли показники й у варіантах позакореневого підживлення Гуміфілд ВР-18 та Гуміфілд ВР-18 + Квантум Аміномакс. Максимальний вихід енергії становив 683,2 ГДж/га, мінімальний – 315,5 ГДж/га (контроль), середній показник по досліджу – 478,7 ГДж/га. Усі варіанти, де проводили весняне внесення мінеральних добрив, забезпечили істотно вищу продуктивність міскантусу протягом двох років досліджень, а лише позакоренеve підживлення мало позитивний ефект тільки в разі застосування препарату Гуміфілд ВР-18.

### Висновки

Узагальнюючи дані двох років досліджень можна зробити висновок, що підживлення аміачною селітрою та сульфатом амонію сприяло істотному збільшенню врожайності та енергетичних показників плантацій міскантусу гігантського ‘Осінній зорецьвіт’. Застосування позакореневого підживлення препаратом Гуміфілд ВР-18 сприяло збільшенню маси одного пагона та середньої маси однієї рослини культури.

Найвищі показники продуктивності міскантусу гігантського отримано за весняного удобрення аміачною селітрою із сульфатом амонію (N<sub>24</sub> + S<sub>6</sub> кг/га д.р.) з наступним дворазовим позакоренеvim підживленням гуматами та комплексним добривом з амінокислотами (Вермісол, 8,0 л/га / Гуміфілд ВР-18, 0,4 л/га + Квантум Аміномакс, 0,5 л/га).

**Використана література**

1. Трибой О. В. Оцінка життєвого циклу виробництва теплової енергії з тріски біомаси *Miscanthus × giganteus* в Україні. *Біоенергетика*. 2018. № 2. С. 22–27.
2. Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Зиков П. Ю. Вплив глибини садіння ризомів міскантусу на їх проростання. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 36–38.
3. Гументик М. Я., Квак В. М., Замойський О. І. Урожайність біомаси міскантусу. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 32–35.
4. Khakhula V. S., Grabovskyi M. B., Panchenko T. V. et al. Energy productivity of *Miscanthus giganteus* depending on growing technology elements. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2020. Vol. 14. P. 757–761.
5. Доронін В. А., Дрига В. В., Кравченко Ю. А., Доронін В. В. Особливості росту та розвитку міскантусу залежно від якості садивного матеріалу. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2017. № 2. С. 19–25.
6. Сінченко В. М. Міскантус – перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика*. 2017. № 2. С. 15–19.
7. Wang D., Maughan M. W., Sun J. et al. Impact of nitrogen allocation on growth and photosynthesis of *Miscanthus (Miscanthus × giganteus)*. *GCB Bioenergy*. 2012. Vol. 4, Iss. 6. P. 688–697. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01167.x
8. Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу (*Miscanthus*) за різних норм добрив. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548–551.
9. Кателевський В. М. Ефективність впливу позакореневої обробки ростовими регуляторами рослин на параметри біомаси міскантусу. *Agrology*. 2020. Vol. 3, Iss. 1. С. 19–24. doi: 10.32819/020003
10. Скачок Л. М., Квак В. М. Комплексна оцінка вирощування біоенергетичних культур залежно від різних систем удобрення. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2016. Вип. 24. С. 86–92. doi: 10.47414/np.24.2016.216898
11. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 1. С. 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01
12. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М., Дубовий Ю. П. Удосконалення елементів технології вирощування міскантусу в умовах Центрального Лісостепу України для виробництва твердого біопалива. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2016. Вип. 24. С. 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897
13. Дослідна справа в агрономії : у 2 кн. Кн. 1 : Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
14. Роїк М. В., Сінченко В. М., Івашенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. Київ : Компрінт, 2019. 256 с.
15. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
16. Prysiazniuk O., Maliarenko O., Roik M. et al. Biomass dry matter yield of willow and *Miscanthus* in low-input cropping on heavy clay soils in Ukraine. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2022. Vol. 16, Iss. 6. P. 1794–1807. doi: 10.1002/bbb.2432

**References**

1. Tryboi, O. V. (2018). Assessment of the life cycle of thermal energy production from cod biomass *Miscanthus × giganteus* in Ukraine. *Bioenergy*, 2, 22–27. [In Ukrainian]
2. Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., & Zykov, P. Yu. (2013). The effect of planting depth of miscanthus rhizomes on their germination. *Bioenergy*, 1, 36–38. [In Ukrainian]
3. Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., & Zamoyskyi, O. I. (2013). Biomass yield of miscanthus. *Bioenergy*, 2, 32–35. [In Ukrainian]

4. Khakhula, V. S., Grabovskyi, M. B., Panchenko, T. V., Pravdyva, L. A., Fuchylo, Y. D., Kvak, V. M., & Khakhula, B. V. (2020). Energy productivity of *Miscanthus giganteus* depending on growing technology elements. *EurAsian Journal of BioSciences*, 14, 757–761.

5. Doronin, V. A., Dryha, V. V., Kravchenko, Yu. A., & Doronin, V. V. (2017). Peculiarities of miscanthus growth and development depending on the quality of planting material. *Bulletin of the Uman National University of Horticulture*, 2, 19–25. [In Ukrainian]

6. Sinchenko, V. M. (2017). *Miscanthus* – a promising bioenergy culture. *Bioenergy*, 2, 15–19. [In Ukrainian]

8. Kvak, V. M. (2012). Growth, development and productivity of *Miscanthus* under different rates of fertilizers. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 548–551. [In Ukrainian]

9. Katelevsky, V. M. (2020). Efficiency of influence of foliar treatment by plant growth regulators on the parameters of miscanthus biomass. *Agrology*, 3(1), 19–24. doi: 10.32819/020003 [In Ukrainian]

10. Skachok, L. M., & Kvak, V. M. (2016). Comprehensive assessment of growing bioenergy crops as affected by various fertilization system. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 24, 86–92. doi: 10.47414/np.24.2016.216898 [In Ukrainian]

11. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy cultures of the family of thin-skinned in the conditions of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]

12. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., & Dubovyi, Yu. P. (2016). Improvement of technology elements for growing miscanthus under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine for the production of solid biofuel. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 24, 77–85. doi: 10.47414/np.24.2016.216897 [In Ukrainian]

13. Rozhkov, A. O. (Ed). (2016). *Research case in agronomy. Book 1: Theoretical aspects of the research case*. Kharkiv: Maidan. [In Ukrainian]

14. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., ... Katelevskyi, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Kyiv: Komprint. [In Ukrainian]

15. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the package Statistica 6.0*. Kyiv: PoligrafConsulting. [in Ukrainian]

16. Prysiazhniuk, O., Maliarenko, O., Roik, M., Fuchylo, Y., Lewandowski, I., Makovskis, K., Lazdina, D., & von Cossel, M. (2022). Biomass dry matter yield of willow and *Miscanthus* in low-input cropping on heavy clay soils in Ukraine. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1794–1807. doi: 10.1002/bbb.2432

UDC 633.9:631.54

**Prysiazhniuk, O. I.\***, & **Penkova, S. V.** (2022). The effect of nitrogen fertilization and foliar application of fertilizers on yield and energy efficiency of giant miscanthus plantations. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 70–79. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Purpose.** To improve the technology of caring for giant miscanthus plantations and establish the features of its productivity formation with the use of different types of fertilizers, starting from the second year of crop vegetation. **Methods.** The research was carried out in the years 2020–2021 in the Bila Tserkva Experimental and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, which is located in the zone of unstable moisture of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. The design of the experiment included application of mineral fertilizers [ammonium nitrate + ammonium sulfate ( $N_{24} + S_6$  kg/ha a.i.), ammonium nitrate ( $N_{24}$  kg/ha a.i.)] in a row zone in spring, foliar application of humates (Vermisol, 8.0 l/ha, Humifield BP-18, 0.4 l/ha) and complex fertilizer with amino acids (Quantum

Aminomax, 0.5 l/ha). Mineral fertilizers were applied before the emergence of miscanthus sprouts; foliar application of fertilizers was carried out in the 5-leaf stage and the second time after two weeks. **Results.** Giant miscanthus plants in second year of vegetation formed from 18 to 37 shoots with an average weight of 76.3 to 111.0 g, with the maximum weight of one plant reaching 4091 g. In the next year of research, the number of stems per plant and their average weight increased by 1.5–2 times, and the maximum weight of one plant was 7016 g. Biomass yield of giant miscanthus in the third year of vegetation was 31.0–74.6 t/ha, the estimated yield of solid biofuel was 19.2–41.6 t/ha and energy 315.5–683.2 GJ/ha. **Conclusions.** Application of mineral fertilizers (ammonium nitrate + ammonium sulfate, ammonium nitrate) in spring contributed to significant increase in the indicators of raw biomass yield, solid biofuel output, and energy yield per hectare. Foliar application of Humifield BP-18 has a significant positive effect on the productivity of giant miscanthus. The best indicators of crop productivity were obtained in treatments combining spring fertilization with ammonium nitrate and ammonium sulfate (N<sub>24</sub> + S<sub>6</sub>) followed by two-time foliar application of humates (Vermisol, 8.0 l/ha, Humifield BP-18, 0.4 l/ha) and complex fertilizer with amino acids Quantum Aminomax, 0.5 l/ha.

**Keywords:** *biofuel; mineral fertilizers; humates; amino acids; biomass productivity.*

*Надійшла / Received 13.10.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 28.10.2022*

УДК 633.9:631.54

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.269736>

## **Формування продуктивності та технологічної якості буряків цукрових в умовах континентального клімату**

**О. І. Присяжнюк\*, С. С. Шульга**

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Мета.** Установити особливості формування врожайності та технологічної якості коренеплодів буряків цукрових в умовах Степу України за оптимізації технології їх вирощування. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2020–2021 рр. в умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова» (Кіровоградська обл.). Диплоїдний посухостійкий гібрид буряків цукрових 'Магістр' (SESVanderHave) вирощували на фоні застосування вологоутримувача (без гідрогелю; гідрогель Aquasorb, 300 кг/га) та різних систем удобрення [без добрив – контроль; гній, 20 т/га; N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>; Леонардит, 400 кг/га; Паросток (марка 20), 400 кг/га]. Органічні та мінеральні добрива (РК) вносили восени під оранку, а азотний компонент останніх (N) – під ранньовесняну культивуацію. Адсорбент вносили в ґрунт за два тижні до сівби культури локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS-трекера. Решта агрозаходів відповідали загальноприйнятій технології вирощування культури в зоні проведення досліджень. **Результати.** Унаслідок досить складних погодних умов 2020 року, врожайність коренеплодів у середньому по досліді становила лише 30,3 т/га. Найнижчий її рівень – 26,0 т/га отримано на ділянках обох контролів без удобрення, тоді як за внесення 20 т/га гною – 29,0–30,0 т/га. Мінеральна система (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>), попри істотно меншу ефективність у варіанті без гідрогелю Aquasorb (31,0 т/га), у разі його внесення в ґрунт до сівби культури забезпечувала максимальну продуктивність буряків – 34,0 т/га. Також на фоні гідрогелю значно зростала й ефективність застосування Леонардиту та Паросток (марка 20) – прирости врожаю становили 7,0 і 6,0 т/га відповідно. Максимальний уміст цукрів у коренеплодах відзначено за мінеральної системи



удобрення на фоні внесення гідрогелю Aquasorb – 16,3 проти 15,0 % на контролі, однак у цьому ж варіанті отримано й найвищий уміст  $\alpha$ -амінного азоту, який суттєво знижує заводський вихід цукру. У 2021 році, з огляду на істотно ліпші погодні умови впродовж вегетації культури, урожайність коренеплодів у середньому по досліді становила 55,6 т/га, що майже вдвічі вище показників попереднього року. Цілком прогнозовано, найнижчу врожайність отримано у варіантах без добрив – 49,7–50,2 т/га, за внесення гною – 50,7–53,3 т/га. Суттєво вищими, проте, на відміну від 2020 року, не максимальними, були показники за мінеральної системи удобрення – 56,9–58,1 т/га. Найефективнішими ж з погляду формування продуктивності буряків цукрових були варіанти застосування Леонардиту та Паросток (марка 20) – 58,1–58,6 та 59,2–61,6 т/га відповідно. Максимальну цукристість коренеплодів забезпечило застосування добрива Паросток (марка 20), причому як на фоні гідрогелю Aquasorb, так і без нього – 17,8 % (контроль – 15,8 %). **Висновки.** Погодні умови в період вегетації буряків цукрових є найсуттєвішим чинником, що визначає рівень їх продуктивності, а також і ефективність застосовуваних агрозаходів. В усіх варіантах внесення добрив спостерігалось істотне збільшення врожайності культури, причому величина отриманих приростів значною мірою залежала як від їх виду, так і застосування вологоутримувача, особливо за несприятливих умов вегетації. У середньому за період досліджень, найвищі показники збору цукру отримано у варіантах застосування органічних добрив нової формуляції Леонардит та Паросток (марка 20) на фоні гідрогелю Aquasorb, що свідчить про доцільність їх подальшого впровадження у технології вирощування буряків цукрових.

**Ключові слова:** урожайність; цукристість коренеплодів; альфа-амінний азот; мінеральне удобрення; органічне удобрення.

## Вступ

Сьогодні буряки цукрові (*Beta vulgaris* L.), попри значну конкуренцію з цукровою тростиною та відмову в багатьох державах Євросоюзу від дотацій на їх вирощування, усе ще залишаються важливою технічною та біоенергетичною культурою. З огляду на це, для забезпечення якнайповнішої реалізації їх генетичного потенціалу необхідно приділяти значну увагу технології вирощування, а також своєчасній швидкій діагностиці фізіологічного стану рослин.

Буряки цукрові можна вирощувати в широкому діапазоні кліматичних умов, тому вони добре підходять для культивування в умовах континентального клімату Європи та США. У їхніх коренеплодах міститься до від 15 до 22 % сахарози [4]. Потенціал продуктивності буряків цукрових від півночі Франції до східної Польщі визначається кліматичними умовами регіону та оцінюється у 85–95 т/га [33]. Однак реальна врожайність коренеплодів станом на 2011 рік у Франції була понад 70 т/га, а в Польщі – менше ніж 50 т/га. Проте вже у 2016 р. в Німеччині середня врожайність буряків цукрових становила 76,2 т/га, у Франції – 83,9 т/га, у Польщі – 65,8 т/га (FAOSTAT, 2018). Як бачимо, впровадження у виробництво нових гібридів та елементів технологій їх вирощування дає змогу суттєво підвищити продуктивність культури. Попри це, усе ще спостерігається значна невідповідність між реальною та потенційною врожайністю, чому є низка причин. Однією з них є переважна погода в літні місяці, наприклад вплив континентального клімату [19], від півночі до східних частин континенту. Нестача опадів у літні місяці, яка спричиняє часті посухи, поєднується з високими температурами, значно зменшуючи врожайність багатьох культур, зокрема й буряків цукрових [31, 33]. А отже, чинниками, що обмежують продуктивність та якість буряків цукрових, є температура повітря та ґрунту в критичні фази їх росту й розвитку, наявність доступних рослинам вологи й рухомих форм елементів живлення та достатня кількість сонячної радіації [35].

На відміну від країн Південної Америки, у Європі буряки цукрові є єдиним джерелом цукру, придатним до організації промислового виробництва [40]. Зокрема, за даними ФАО (fao.org) та Євростату (ec.europa.eu/eurostat) станом на 2016 рік, Європейський союз є



провідним виробником буряків цукрових – приблизно 50 % світових обсягів. Загалом країни ЄС вирощували їх на площі 1498,6 тис. га. та виробили 111,7 млн т коренеплодів. Більш ніж половину буряків цукрових було сумарно вироблено у Франції (31,0 %), Німеччині (22,8 %) та Польщі (12,1 %). Аналогічні закономірності розподілу виробництва збереглися і в наступні роки, а от загальна площа, зайнята під буряками цукровими в ЄС, у 2017 році становила 1741,6, а в 2018-му – 1550,9 тис. га.

Останніми роками Україна зазнавала активних економічних змін, що торкнулись зокрема й сільськогосподарської галузі. За даними Державної служби статистики (ukrstat.gov.ua), виробництво цукру стабілізувалось на рівні 2 млн т за внутрішньої потреби 1,4–1,5 млн т. Зокрема, у 2016 р. площі під буряками цукровими становили 291,1 тис. га, а у 2017-му – 313,6 тис. га. Відповідно у 2016 р. було зібрано 14 011,3 тис. т коренеплодів і вироблено 2008 тис. т цукру, середня урожайність становила 48,1 т/га, середня цукристість коренеплодів – 17,22 %, вихід цукру на заводі – 14,3 %. У 2017 р. ці показники кардинально не змінились: було зібрано 14 881,6 тис. т коренеплодів, валовий збір цукру – 2140 тис. т, середня врожайність – 47,5 т/га, цукристість коренеплодів – 17,86 %, вихід цукру на заводі – 14,4 %.

Водночас скасовані в країнах ЄС у 2017 р. обмеження на виробництво цукру змушують виробників буряків цукрових підвищувати конкурентоспроможність завдяки оптимізації технологічних процесів та зменшенню витрат. Тому впровадження нових агротехнічних заходів та поліпшення використання наявних ресурсів і умов стає все більш популярним та необхідним [22, 32, 38].

Традиційно низький уміст цукрів та погана якість коренеплодів буряків є однією з причин високих витрат на їхнє перероблення. Тому саме високий вихід цукру вважається ключовим чинником для посилення економічної ефективності його виробництва на заводах [8]. Якість перероблення – досить складна характеристика, яка оцінюється через кількісне визначення трьох важливих складників – умісту калію (K), натрію (Na) і  $\alpha$ -амінного азоту. Перші два елементи містяться в коренеплодах у значних кількостях та перешкоджають кристалізації цукру. А от  $\alpha$ -аміний азот є сумішшю амінокислот з  $\text{NH}_2$ -групою, зв'язаною з вуглецевим ланцюгом, і представлений численними речовинами, як-от бетаїн, амінокислоти (глутамін, гліцин, аланін), аміді та нітрат. Ці речовини вступають у реакцію або ж розкладаються під час перероблення та є шкідливими, оскільки спричиняють утворення аміаку, забарвлення та органічних кислот у соку [8].

А отже, застосування агротехнічних заходів, що сприяють підвищенню цукристості коренеплодів та зменшенню в них концентрації мелясоутворювальних речовин, є дієвим механізмом підвищення ефективності вирощування та перероблення буряків цукрових. Узагальнення накопиченого світового досвіду дасть змогу ліпше зрозуміти основні процеси росту й розвитку рослин буряків цукрових, зокрема і цукронакопичення.

*Мета досліджень* – установити особливості формування врожайності та технологічної якості коренеплодів буряків цукрових в умовах Степу України за оптимізації технології їх вирощування.

### **Матеріали та методика досліджень**

Дослідження проводили впродовж 2020–2021 рр. в умовах ТОВ «Агрофірма імені Чкалова» (м. Новомиргород, Новоукраїнський р-н, Кіровоградська обл.), що розташоване в агрокліматичній зоні Степу України.

Основним типом ґрунту на території господарства є чорнозем типовий глибокий мало- або середньогумусний. Уміст гумусу в орному шарі ґрунту становить 2,59 %, рН – 6,2–6,8, ємність вбирання – 30,7–32,5 мг-екв на 100 г ґрунту. Підґрунтові води розташовані на глибині 4–6 м. До складу мінеральної твердої фази ґрунту входить 37 % фізичної глини та 63 % піску. Щільність ґрунту в рівноважному стані – 1,16–1,25 г/см<sup>3</sup>, вологість стійкого в'янення – 10,8 %. Повна вологоємність ґрунту в шарі 0–30 см – 38,4 %, у шарі 30–45 см – 42,7 %. Польова вологоємність цього ґрунту в шарі 0–30 см сягає 28,2 %, вологість розриву

капілярів – 19,7 %, максимальна гігроскопічність – 7,46 %, недоступна для рослин вологість – 10 %, загальна шпаруватість у рівноважному стані – 52–55 %.

Погодні умови впродовж років досліджень були строкатими і досить несприятливими для росту й розвитку буряків цукрових, особливо у вегетаційний період 2020 р., коли сумарно за квітень – вересень випало лише 179 мм опадів, а квітень, травень, серпень та вересень були вкрай жаркими. Тобто критичним для росту й розвитку рослин був період їх ранньої вегетації, а також формування коренеплодів та цукронакопичення. Загалом такі умови негативно позначились на показниках урожайності буряків цукрових, однак дали змогу повніше дослідити ефективність застосування вологоутримувача в технології вирощування культури.

Зовсім інші погодні умови склались у період з квітня до вересня 2021 року, коли сумарно випало 476,7 мм опадів, особливо рясні дощі пройшли в травні (106,0 мм), червні (74,0 мм), липні (87,5 мм) та серпні (113,9 мм). А що стосується температури повітря, то квітень був прохолодним, травень та червень – близькими до норми, а найбільш жарким – липень (середньодобова температура повітря – 23,1 °C).

*Схема дослідю з вивчення впливу утримувача вологи та основного удобрення на продуктивність та технологічні якості буряків цукрових:*

Утримувач вологи	Система удобрення
Без гідрогелю	Без удобрення – контроль
	Гній, 20 т/га
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )
	Леонардит – органічне викопне добриво, 400 кг/га
	Паросток (марка 20), 400 кг/га
Гідрогель Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення – контроль
	Гній, 20 т/га
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )
	Леонардит – органічне викопне добриво, 400 кг/га
	Паросток (марка 20), 400 кг/га

Площа посівної ділянки становила 70 м<sup>2</sup>, облікової – 35 м<sup>2</sup>, повторність – триразова. У досліді вирощували диплоїдний посухостійкий гібрид буряків цукрових ‘Магістр’, оригінатор – SESVanderHave.

Органічні та мінеральні фосфорно-калійні добрива (PK) вносили восени під оранку, а азотний компонент останніх (N) – під ранньовесняну культивуацію. Адсорбент вносили в ґрунт за два тижні до сівби буряків цукрових локально в зону майбутнього рядка, орієнтуючись на дані GPS-трекера.

Експериментальні дослідження виконували згідно із методиками [48–52].

### Результати досліджень

Якість коренеплодів буряків цукрових є одним з найважливіших показників ефективності виробництва цукру та залежить від генотипу [24] і впливу багатьох біо- і абіотичних чинників. Коренеплоди культури містять у собі значну кількість води, а вміст сухої речовини в середньому становить 230–270 г/кг їх сирої маси [17].

Загалом до якісних характеристик коренеплодів можна віднести концентрацію сахарози в коренеплодах та вміст численних нецукрів, так званих меласоутворювальних сполук – натрію (Na), калію (K) та  $\alpha$ -амінного азоту ( $\alpha$ -amino-N). З погляду ефективності виробництва цукру, саме ці сполуки розглядаються як найважливіші чинники, що призводять до втрат цукру з мелясою. Проте в стандартній процедурі розрахунку втрат цукрової меляси визначається тільки  $\alpha$ -амінний азот [18]. Усі ці сполуки, зокрема K і Na, які називаються нецукровими домішками, збільшують втрати цукру в мелясі, зменшуючи таким чином ефективність відновлення білого цукру з буряків під час його виготовлення [16].

З 1996 р. загальноприйнятим для визначення втрат цукру в процесі перероблення є використання Брауншвейгської формули:

$$\text{Утрати цукру в мелясі} = 0,12 \times (K + Na) + 0,24 \times \alpha\text{-amino-N} + 1,08 [\%]$$

K [калій] – уміст калію, ммоль/100 г коренеплодів буряків;

Na [натрій] – уміст натрію, ммоль/100 г коренеплодів буряків;

$\alpha$ -amino-N [альфа-амінний азот] – уміст  $\alpha$ -амінного азоту, ммоль/100 г коренеплодів буряків.

Основними відмінностями в новій формулі визначення втрат цукру є співвідношення часток основних мелясоутворювальних елементів. Зокрема, за старою формулою K і Na впливали на втрати цукру на 78 %, а вміст  $\alpha$ -амінного азоту – тільки на 22 %, тоді як за новою формулою на частку K і Na припадає 33 %, а вміст  $\alpha$ -амінного азоту – 67 %.

А отже, вихід цукру визначається відповідно до формули:

$$\text{Вихід цукру} = \text{Урожайність} \times (\text{Цукристість} - \text{Утрати цукру в мелясі}) [\text{т/га}]$$

Урожайність [т/га];

Цукристість [%];

Утрати цукру в мелясі [%].

Згідно з даними С. Hoffmann [16], концентрація мелясоутворювальних речовин у коренеплодах буряків цукрових є нижчою, аніж це описано раніше іншими дослідниками [4]. Що, найімовірніше, пов'язано із селекційними успіхами у створенні нових гібридів упродовж останніх років [2]. Нові гібриди поєднують у собі однакову, і навіть вищу концентрацію сахарози з меншою концентрацією мелясоутворювальних речовин, порівняно зі старими сортами та гібридами буряків цукрових. Це свідчить про зміну складу сухої речовини буряків з переходом на більш високу концентрацію сахарози. Однак, такі зміни можуть бути пов'язані не тільки зі зниженням умісту шкідливих речовин, а й бути наслідком меншої товщини клітинної стінки. З іншого боку, у нових гібридів оптимальний об'єм клітин для зберігання сахарози є дещо більшим. Це підтверджується тим, що в останні десятиліття одночасно збільшуються і врожай коренеплодів, і концентрація в них сахарози. Водночас у публікаціях авторів за минулі десятиліття є дані щодо негативної кореляції між урожайністю коренеплодів та концентрацією сахарози в тканинах паренхіми [41]. Поясненням поліпшення можливостей накопичення та зберігання сахарози в нових сортах може бути збільшення ефективності завантаження флоєми листя, що дає дуже високу концентрацію сахарози у флоєчному соку [23], та/або зміна транспортних відмінностей між великими та малими клітинами паренхіми [27], які розглядаються як граничні чинники накопичення сахарози [26].

Водночас варто зазначити, що збільшення потенційної продуктивності нових гібридів буряків цукрових призводить і до її значної строкатості. Зокрема, дослідження Carter et al. [3] виявили значні відмінності за показниками збору цукру серед гібридів культури. Також встановлено, що збір цукру в різних середовищах вирощування був неоднаковим і змінювався від 12,9 до 15,1 т/га [35].

Установлено, що за умови дефіциту вологи, порівняно з буряками цукровими, вирощеними з достатньою кількістю води (100 % польової вологості, ПВ), концентрація сухої речовини в коренеплодах була трохи вищою. Подібний вплив дефіциту вологи спостерігався і на концентрацію сахарози: за 20 % ПВ концентрація сахарози була значно вищою, ніж за 100 % ПВ ґрунту [16].

Уміст золи в гібридах з високою концентрацією сахарози був вищим, ніж у гібридах з її низькою концентрацією [16]. Оскільки зола складається з нерозчинних сполук клітинної стінки, її концентрація в основному залежить від кількості камбіальних кілець, а також кількості та розміру клітин паренхіми в коренеплодах буряків цукрових. Коренеплоди з дрібними клітинами мають вищу концентрацію цукрів, ніж з великими. Крім того, дрібні клітини зазвичай містять вищу концентрацію сахарози, оскільки для її зберігання є оптимальний об'єм клітин: якщо розміри клітин перевищують цей оптимальний об'єм, то

вміст сухої речовини води та нецукрів зростає пропорційно розміру клітини, тоді як концентрація сахарози не збільшується. З іншого боку, ця різниця в об'ємі клітин може бути знівельована через відмінності між різними гібридами, які мають різну товщину клітинної стінки [21].

Уміст  $\alpha$ -амінного азоту в різних гібридів буряків цукрових значно змінюється, а от середні його значення знаходяться в межах 1,5 % [1].

Загалом вважається, що вміст  $\alpha$ -амінного азоту зменшується по мірі дозрівання коренеплодів. Проте іншими дослідженнями встановлено, що його концентрація збільшується в разі, якщо коренеплоди буряків цукрових досягають найбільшого абсолютного темпу росту [15].

Вважається, що основні відмінності вмісту  $\alpha$ -амінного азоту визначаються біологічними особливостями досліджуваних гібридів у засвоєнні поживних речовин із ґрунту. Проте інші дослідники не виявили жодних значних розбіжностей щодо вмісту  $\alpha$ -амінного азоту в коренеплодах у різних гібридів буряків цукрових [13, 14].

З огляду на суттєві відмінності погодних умов вегетаційних періодів 2020 та 2021 рр., дані щодо врожайності та якісних показників коренеплодів буряків цукрових доцільніше аналізувати окремо за кожним роком проведення досліджень.

Показники врожайності та якісні характеристики коренеплодів буряків цукрових, вирощених на дослідних ділянках у 2020 році, наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

**Урожайність коренеплодів буряків цукрових та рівень їх фізичного забруднення залежно від елементів технології вирощування (2020 р.)**

Утримувач вологи	Система удобрення	Урожайність коренеплодів, т/га	Фізичне забруднення коренеплодів, %
Без гідрогелю	Без удобрення – контроль	26,0	5,8
	Гній, 20 т/га	29,0	6,1
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	31,0	7,1
	Леонардит, 400 кг/га	32,0	6,2
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	30,0	6,5
Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення – контроль	26,0	6,1
	Гній, 20 т/га	30,0	6,3
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	34,0	6,9
	Леонардит, 400 кг/га	33,0	6,5
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	32,0	7,0
НІР <sub>0,05</sub>		1,3	0,8

Унаслідок досить складних погодних умов 2020 року, врожайність коренеплодів у середньому по досліді становила лише 30,3 т/га. Найнижчий її рівень – 26,0 т/га отримано на ділянках обох контролів без удобрення. Водночас в усіх варіантах внесення добрив спостерігалось суттєве збільшення врожайності культури, причому величина отриманих приростів значною мірою залежала як від їх виду, так і застосування вологоутримувача.

Зокрема, внесення 20 т/га гною забезпечило врожайність коренеплодів у межах 29,0–30,0 т/га. Мінеральна система (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>), попри істотно меншу ефективність на фоні без застосування гідрогелю Aquasorb, у разі його внесення в ґрунт до сівби культури забезпечувала отримання максимальної в досліді продуктивності буряків – 34,0 т/га. Фактично це підтверджує вже усталені догми про те, що мінеральні добрива ефективно діють лише за наявності доступної вологи.

Також на фоні застосування гідрогелю Aquasorb значно зростала й ефективність Леонардиту та Паросток (марка 20).

Фізичне забруднення коренеплодів буряків цукрових (ФЗ) напряму залежить від кількості прикореневи́х волосків на коренеплоді, а тому може побічно показувати, наскільки інтенсивно рослини формують кореневу систему. У середньому по досліді показник ФЗ становив 6,45 %, зокрема у варіантах без застосування вологоутримувача – 6,34 %, тоді як із ним – 6,56 %. Тобто у верхньому шарі ґрунту рослини, унаслідок взаємодії з гранулами гідрогелю, інтенсивніше формували кореневу систему.

Що стосується якісних параметрів коренеплодів, то максимальну їх цукристість відзначено за мінеральної системи удобрення (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>) на фоні внесення гідрогелю Aquasorb – 16,3 %. Водночас у цьому ж варіанті отримано й максимальні показники вмісту α-амінного азоту, який знижує заводський вихід цукру (табл. 2).

Таблиця 2

**Якісні показники коренеплодів буряків цукрових та збір цукру залежно від елементів технології вирощування (2020 р.)**

Утримувач вологи	Система удобрення	Цукристість коренеплодів, %	Уміст α-амінного азоту, %	Заводський вихід цукру, %	Збір цукру, т/га
Без гідрогелю	Без удобрення – контроль	15,1	0,020	12,3	3,2
	Гній, 20 т/га	15,0	0,023	12,1	3,5
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	15,7	0,030	12,9	4,0
	Леонардит, 400 кг/га	15,6	0,019	12,7	4,1
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	15,7	0,020	12,9	3,9
Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення – контроль	15,0	0,020	12,2	3,2
	Гній, 20 т/га	15,3	0,210	12,4	3,7
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	16,3	0,260	13,5	4,6
	Леонардит, 400 кг/га	16,0	0,019	13,2	4,4
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	15,8	0,020	12,9	4,1
НІР <sub>0,05</sub>		0,3	0,006	0,2	0,1

Високий уміст α-амінного азоту, незалежно від застосування гідрогелю, традиційно спостерігався за внесення гною – 0,023 та 0,210 % відповідно. Водночас застосування органічних добрив нової формуляції – Леонардит та Паросток (марка 20) сприяло отриманню коренеплодів з добрими якісними показниками.

Незважаючи на високий уміст α-амінного азоту, найліпшим варіантом щодо заводського збору цукру виявилась мінеральна система удобрення, оскільки вища врожайність коренеплодів сумарно з вищою їх цукристістю дали змогу компенсувати більші втрати цукру в процесі переробляння сировини. Тому, за високого рівня базових показників якості коренеплодів, уміст речовин, що зменшують заводський вихід цукру, може бути не критичним.

Підбиваючи підсумки першого року досліджень, слід зазначити, що у зв'язку зі складними погодними умовами, що склалися наприкінці 2019-го та всього 2020 р., не вдалося розкрити весь потенціал буряків цукрових та отримати їх високі врожаї. Водночас завдяки таким умовам, була змога повною мірою дослідити та підтвердити високу ефективність використання вологоутримувача Aquasorb у технології вирощування культури. Зокрема, цей агрозахід сприяє швидшому проростанню насіння, що своєю чергою прискорює проходження критичних фенологічних фаз буряків цукрових – від проростання до третьої пари листків, після чого можна вважати, що посівна компанія завершилась успішно.

Також завдяки вологоутримувачу та його адсорбційній здатності, рослинам буряків цукрових було значно легше використати поживні речовини в ґрунті, що зі свого боку сприяло їх швидшому стартовому розвитку, вкоріненню та збільшенню площі листової поверхні. Однак у зв'язку зі складними погодними умовами, усі вище перераховані плюси не



допомогли отримати високі врожаї через надмірно високу температуру в літній період, що своєю чергою впливає на формування маси коренеплодів, а також недостатнє воголозабезпечення в осінній період, що негативно позначається на накопиченні цукрів та підвищує вміст  $\alpha$ -амінного азоту.

Показники врожайності та якісні характеристики коренеплодів буряків цукрових, вирощених на дослідних ділянках у 2021 році, наведено в таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

**Урожайність коренеплодів буряків цукрових та рівень їх фізичного забруднення залежно від елементів технології вирощування (2021 р.)**

Утримувач вологи	Система удобрення	Урожайність коренеплодів, т/га	Фізичне забруднення коренеплодів, %
Без гідрогелю	Без удобрення – контроль	49,7	6,1
	Гній, 20 т/га	50,7	6,3
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	56,9	6,9
	Леонардит, 400 кг/га	58,1	6,5
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	59,2	7,0
Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення – контроль	50,2	5,8
	Гній, 20 т/га	53,3	6,1
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	58,1	7,1
	Леонардит, 400 кг/га	58,6	6,2
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	61,6	6,5
HP <sub>0,05</sub>		1,8	1,0

З огляду на суттєво ліпші погодні умови впродовж вегетаційного періоду, урожайність коренеплодів буряків цукрових у 2021 р. в середньому по досліді становила 55,6 т/га, що майже вдвічі вище показників попереднього року. Цілком прогнозовано, найнижчий рівень урожайності отримано у варіантах без удобрення – 49,7–50,2 т/га. Унесення гною забезпечило рівень продуктивності в межах 50,7–53,3 т/га. Водночас мінеральна система удобрення (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>), попри найліпші результати у 2020 р., у 2021 р. не дала змоги отримати максимальні в досліді значення врожайності, але результати все ж досить достойні – 56,9–58,1 т/га. Найефективнішими ж з погляду формування продуктивності культури були варіанти застосування органічного добрива Паросток (марка 20) – 59,2–61,6 т/га.

Щодо гідрогелю Aquasorb, то на його фоні підвищувалась ефективність усіх досліджуваних систем удобрення, однак найістотніші прирости врожайності отримано передусім у варіантах внесення гною та добрива Паросток (марка 200).

Показники фізичного забруднення коренеплодів в умовах 2021 року відрізнялися від минулорічних тим, що за однакових по досліді середніх значень (6,45 %), застосування вологоутримувача не сприяло їх підвищенню. Останнє, найімовірніше, пов'язано з достатньою кількістю опадів упродовж вегетації та відсутністю у рослин потреби тісніше взаємодіяти з гранулами вологоутримувача, розташованими у верхніх шарах ґрунту.

На відміну від 2020 року, максимальні показники цукристості коренеплодів – 17,8 % було отримано у варіантах внесення добрива Паросток (марка 200), однак найвищий уміст у них  $\alpha$ -амінного азоту був усе ж за мінеральної системи удобрення, причому незалежно від застосування вологоутримувача – 0,049–0,051 % (табл. 4).

Застосування органічних добрив, як класичного гною, так і сучасних їх формуляцій – Леонардит та Паросток (марка 20), сприяло отриманню коренеплодів із доброю якістю. Максимальні показники заводського виходу цукру та його загального збору були отримані в разі застосування добрива Паросток (марка 20) на фоні внесення гідрогелю Aquasorb – 14,9 % та 9,2 т/га відповідно.

**Якісні показники коренеплодів буряків цукрових та збір цукру  
залежно від елементів технології вирощування (2021 р.)**

Утримувач вологи	Система удобрення	Цукристість корене- плодів, %	Уміст $\alpha$ -амінного азоту, %	Заводський вихід цукру, %	Збір цукру, т/га
Без гідрогелю	Без удобрення – контроль	15,8	0,030	13,0	6,5
	Гній, 20 т/га	17,6	0,031	14,8	7,5
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	16,9	0,051	14,0	8,0
	Леонардит, 400 кг/га	17,1	0,037	14,2	8,3
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	17,8	0,040	14,9	8,8
Aquasorb, 300 кг/га	Без удобрення – контроль	15,8	0,030	13,0	6,5
	Гній, 20 т/га	17,6	0,031	12,9	6,9
	Мінеральна система удобрення (N <sub>170</sub> P <sub>180</sub> K <sub>350</sub> )	16,8	0,049	14,0	8,1
	Леонардит, 400 кг/га	17,3	0,037	14,5	8,5
	Паросток (марка 20), 400 кг/га	17,8	0,040	14,9	9,2
НІР <sub>0,05</sub>		0,5	0,009	0,3	0,2

Аналізуючи дані другого року досліджень, загалом слід зазначити, що завдяки досить сприятливим погодним умовам кінця 2020-го та вегетаційного періоду 2021 року, рослини буряків цукрових мали змогу якнайповніше реалізувати свій потенціал, забезпечивши в умовах Північного Степу України за відсутності зрошення досить високу врожайність коренеплодів – до 61,6 т/га з цукристістю до 17,8 %. При цьому значно вищою, порівняно з попереднім роком, була й ефективність досліджуваних елементів технології за впливом на формування продуктивності культури.

Одним із основних критеріїв продуктивності буряків цукрових є цукристість їх коренеплодів, що значною мірою залежить від генетичних особливостей сортів і гібридів [43, 44], а також системи удобрення, попередників культури у сівозміні, типу ґрунту, кліматичних особливостей року тощо. У сівозмінах система удобрення буряків цукрових повинна плануватись з урахуванням урожайності й технологічних якостей та коригуватись залежно від умісту в ґрунті поживних речовин [37, 42, 45]. У Німеччині за 25 років кількість добрив, внесених при програмному забезпеченні врожайності буряків цукрових, скоротилась: N з 189 до 154; K – з 147 до 63; P – з 103 до 25. При цьому їхня врожайність зросла з 42,7 до 54,1 т/га; цукристість – з 16,4 до 17,0 % [18], що зумовлено зростанням родючості ґрунту завдяки підвищенню вмісту калію та фосфору. Саме через регулювання мінерального живлення можна змінити біохімічні процеси, пов'язані із синтезом цукрів і нагромадженням їх у коренеплодах.

Буряки цукрові дуже вимогливі до родючості ґрунтів, особливо до забезпечення калієм та фосфором. Найбільша їх урожайність формується за високого забезпечення калієм. Калій з мінеральних добрив, використовуваний рослинами на найважливіших етапах формування врожаю, зазвичай розглядається як чинник, що послаблює, принаймні частково, негативні наслідки нестачі води [15, 28, 29].

А от високий рівень продуктивності буряків цукрових можливий лише за достатнього водопостачання [6, 7, 20], адже в роки обмеженого водозабезпечення, засвоєння рослинами елементів живлення з мінеральних добрив мінімальне, окрім азоту [10, 36].

Вплив рівня засвоєння елементів живлення рослинами з мінеральних добрив їх на ріст і розвиток заслуговує на значну увагу в таких регіонах, як Центральна Європа, де буряки цукрові сильно потерпають від літньої посухи [20]. Адже відомо, що за навіть оптимального забезпечення вологою ця культура може повною мірою реалізувати свій потенціал за умови, що основні поживні речовини, як-от фосфор і калій, наявні у достатній кількості [11, 25, 34].

Водночас аналіз умісту азоту в ґрунті перед сівбою буряків цукрових не може дати точної відповіді про те, скільки азоту з органічної речовини буде доступним рослинам упродовж вегетації [9]. А отже, помилки у визначенні кількості азоту, доступного рослинам у ґрунті, і як наслідок цього надлишкове або недостатнє застосування мінеральних добрив під буряки цукрові може суттєво впливати на врожайність та якість коренеплодів.

За використання підвищеної норми добрив ( $N_{130}P_{160}K_{200}$ ) на фоні 40 т/га гною, порівняно мінеральною системою удобрення, найбільше цукристість коренеплодів знижувалася в ланці з кукурудзою з підсівом бобів – на 0,50 % та з горохом – на 0,89 % і становила 17,10 і 17,92 %, що пов'язано з кількістю мінерального азоту в ґрунті. Унесення 40 т/га гною підтримує цукристість на досить високому рівні порівняно застосуванням лише мінеральних добрив [45].

Заорювання соломи на фоні мінеральних добрив сприяє підвищенню цукристості коренеплодів, що обумовлено збільшенням у ґрунті вмісту обмінного калію й рухомого фосфору. Водночас кількість мінерального азоту через посилення іммобілізаційних процесів зменшується, натомість збільшується виділення вуглекислоти в прикореневому шарі ґрунту, що позитивно впливає на синтез цукрів [46].

За використання післяжнивних культур, як-от гірчиця біла, на зелене добриво на фоні мінеральної системи живлення цукристість коренеплодів підвищується на 0,5–0,6 %, але це залежить від зони зволоження і типу ґрунту [42]. Про ефективність вирощування післяжнивних культур як зеленого добрива свідчать дослідження багатьох учених [5, 12, 39].

У разі застосування добрив доброякісність нормально очищеного соку знижується. Зокрема, за внесення  $N_{90}P_{110}K_{130}$  цей показник у ланці з кукурудзою з підсівом бобів становив 92,6 %, із конюшиною – 92,2 і горохом – 92,1 %, що було на 1,3; 0,6 та 1,0 % менше, ніж у варіанті без застосування добрив [45].

Дослідження, проведені на лучних чорноземних ґрунтах, показали, що в разі застосування  $N_{140}P_{180}K_{170}$  уміст калію в розчинній золі становив 5,65, натрію – 3,17,  $\alpha$ -амінного азоту – 4,23 мг-екв/100 г сирової маси, тоді як у варіанті без добрив – 4,44; 1,96 та 3,41 мг-екв/100 г сирової маси відповідно [47].

На фоні внесення  $N_{90}P_{110}K_{130}$  на чорноземі вилугуваному, уміст калію в ланці з кукурудзою з підсівом бобів становив 3,90, натрію – 0,86,  $\alpha$ -амінного азоту – 3,48 мг-екв/100 г сирової маси. У ланці з конюшиною вміст натрію зростав до 1,05, а  $\alpha$ -амінного азоту – до 4,13 мг-екв/100 г сирової маси, натомість у ланці з горохом останній показник навіть дещо знижувався – до 3,46 мг-екв/100 г сирової маси. Уміст калію за таких умов лишався приблизно на тому ж рівні. У разі збільшення норми добрив до  $N_{180}P_{220}K_{260}$ , на відміну від натрію і калію, спостерігалось значне підвищення показників  $\alpha$ -амінного азоту: у ланці з конюшиною – до 4,88; з горохом – до 4,34, з кукурудзою з підсівом бобів – до 4,12 мг-екв/100 г сирової маси. Залежність умісту  $\alpha$ -амінного азоту в коренеплодах буряків цукрових може характеризуватись таким рівнянням:  $\alpha N = 0,0089 N \times 2,8445$  ( $R = 0,8$ ), де  $\alpha N$  – уміст  $\alpha$ -амінного азоту в коренеплодах буряків цукрових, мг-екв/100 г сирової маси;  $N$  – норма внесення азотних добрив, кг/га д. р. [45].

За вирощування буряків цукрових на органо-мінеральних фонах удобрення може погіршуватися їхня технологічна якість. Це пов'язано з надлишковим умістом мінерального азоту наприкінці вегетації, який надходить у ґрунт у процесі мінералізації органічної речовини гною й вивільненні іммобілізованого азоту [30].

У дослідженнях, проведених на чорноземах вилугуваних на фоні 40 т/га гною +  $N_{90}P_{110}K_{130}$ , у ланці з конюшиною вміст калію становив 4,73, натрію – 2,49,  $\alpha$ -амінного азоту – 4,58 мг-екв/100 г соку, утрати цукру в мелясі – 2,88 %, що перевищувало аналогічні показники на мінеральному фоні живлення на 0,72; 0,44 та 0,45 мг-екв/100 г соку відповідно. У разі заорювання лише 40 т/га гною втрати цукру в мелясі становили в ланці з конюшиною 3,40 %, з кукурудзою з підсівом бобів – 3,10, з горохом – 3,46 % [45].

На фоні застосування  $N_{90}P_{60}K_{90}$  + 40 т/га гною на чорноземах вилугуваних у ланці з горохом уміст калію, натрію і  $\alpha$ -амінного азоту був у межах 4,95; 1,23 та 4,43 мг-екв/100 г

соку, тоді як на фоні лише мінеральних добрив – 4,92; 1,39 та 4,40 мг-екв/100 г соку, втрати цукру в мелясі становили 2,16 і 2,20 % відповідно. При заорюванні сидерату гірчиці білої + N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> уміст калію, натрію та  $\alpha$ -амінного азоту був меншим порівняно з органічно-мінеральною системою на 0,20; 0,24 і 0,78 мг-екв/100 г соку, а втрати цукру в мелясі зменшились на 0,11 % [42].

### Висновки

Установлено що якість коренеплодів буряків цукрових залежить від впливу багатьох як біо-, так і абіотичних чинників, і є одним з найважливіших показників ефективності виробництва цукру. Зокрема, до якісних характеристик коренеплодів належать: концентрація сахарози та вміст численних мелясоутворювальних сполук (натрію, калію та  $\alpha$ -амінного азоту). З погляду ефективності виробництва цукру, саме концентрація  $\alpha$ -амінного азоту визначають так звані втрати цукру в мелясі.

Урожайність буряків цукрових значно залежить не тільки від біологічних особливостей рослин, а й від умісту доступного рослинам азоту в ґрунті. Застосування підвищених доз мінеральних добрив призводить до зниження цукристості та підвищеної концентрації домішок, як-от  $\alpha$ -амінний азот, тому найважливішим завданням для виробників буряків цукрових є розроблення й дотримання ефективної стратегії застосування мінеральних добрив, що забезпечує як прибутковість, так і якість коренеплодів.

В умовах 2020 року за внесення гною врожайність буряків була в межах 29,0–30,0 т/га, а от мінеральна система на фоні застосування гідрогелю в зону рядка до сівби дала змогу отримати максимальні 34,0 т/га проти 26,0 т/га на контролі. Також за внесення гідрогелю Aquasorb істотно зросла й ефективність добрив Леонардит та Паросток (марка 20) – прирости врожайності становили 7,0 і 6,0 т/га відповідно. Максимальний уміст цукрів у коренеплодах відзначено за мінеральної системи удобрення (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>) на фоні внесення гідрогелю Aquasorb – 16,3 % проти 15,0 % на контролі, однак у цьому ж варіанті отримано й найвищий уміст  $\alpha$ -амінного азоту, який суттєво знижує заводський вихід цукру.

В умовах 2021 року застосування гною сприяло формуванню продуктивності в межах 50,7–53,3 т/га проти 49,7–50,2 т/га на контролях, а от мінеральна система забезпечила не найліпші результати (56,9–58,1 т/га), що підтверджує той факт, що мінеральне добриво ефективно працює лише за наявності доступної вологи. Найвищі показники врожайності отримано у варіантах застосування Леонардиту та Паросток (марка 20) на фоні гідрогелю – 58,6 та 61,6 т/га відповідно. Максимальну цукристість коренеплодів забезпечило застосування добрива Паросток (марка 20), причому як на фоні гідрогелю Aquasorb, так і без нього – 17,8 %.

### Використана література

1. Allison M. F., Jaggard K. W., Armstrong M. J. Time of application and chemical form of potassium, phosphorus, magnesium and sodium fertilizers and effects on the growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Agricultural Science*. 1994. Vol. 123, Iss. 1. P. 61–70. doi: 10.1017/S0021859600067782
2. Bornscheuer E., Meyerholz K., Wunderlich K. H. Seed production and quality. *The Sugar Beet Crop* / D. A. Cooke, R. K. Scott (Eds.). London, UK : Chapman & Hall., 1993. P. 120–155. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_4
3. Carter J. N., Kemper W. D., Traveller D. J. Yield and quality as affected by early and late fall and spring harvest of sugarbeets. *Journal of Sugarbeet Research*. 1985. Vol. 23, Iss. 1–2. P. 8–27.
4. The Sugar Beet Crop / D. A. Cooke, R. K. Scott (Eds.). London, UK : Chapman & Hall., 1993. 704 p. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9
5. Crocholl J., Knieke J. Gründüngung ist auf Leichten Böden Standard. *Zuckerrübe*. 2007. Vol. 1. S. 33–34.
6. Croll B., Hayes C. R. Nitrate and water supplies in the United Kingdom. *Environmental Pollution*. 1990. Vol. 50, Iss. 1–2. P. 163–187. doi: 10.1016/0269-7491(88)90190-X



7. Dunham R. J. Water use and irrigation. *The Sugar Beet Crop* / D. A. Cooke, R. K. Scott (Eds.). London, UK : Chapman & Hall., 1993. P. 279–309. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_8
8. Dutton J., Huijbregts T. Root quality and processing. *Sugar beet* / A. P. Draycott (Ed.). Oxford, UK : Blackwell Publ., 2006. P. 409–442. doi: 10.1002/9780470751114.ch16
9. Eckhoff J. L. A. Sugarbeet response to nitrogen at four harvest dates. *Journal of Sugarbeet Research*. 1999. Vol. 36, Iss. 4. P. 33–45. doi: 10.5274/jsbr.36.4.33
10. Fixen P. E. Crop responses to chloride. *Advances in Agronomy*. 1993. Vol. 50. P. 107–150. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60833-0
11. Freckleton R., Watkinson A., Weeb D., Thomas T. Yield of sugar in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999. Vol. 93, Iss. 1. P. 39–51. doi: 10.1016/S0168-1923(98)00106-3
12. Gaskell M., Smith R., Mitchell J. et al. Soil Fertility Management for Organic Crops. Davis, CA : University of California, 2007. doi: 10.3733/ucanr.7249
13. Giardini L., Pimpini F., Borin M., Gianquinto G. Effects of poultry manure and mineral fertilizers on yield of crops. *Journal of Agricultural Science*. 1992. Vol. 118, Iss. 2. P. 207–213. doi: 10.1017/S0021859600068805
14. Gilmour J. T., Clark M. D., Daniel S. M. Predicting long-term decomposition of biosolids with a seven-day test. *Journal of Environmental Quality*. 1996. Vol. 25, Iss. 4. P. 766–770. doi: 10.2134/jeq1996.00472425002500040016x
15. Grzebisz W., Pepliński K., Szczepaniak W. et al. Impact of nitrogen concentration variability in sugar beet plant organs throughout the growing season on dry matter accumulation patterns. *Journal of Elementology*. 2012. Vol. 17, Iss. 3. P. 389–407. doi: 10.5601/jelem.2012.17.3.03
16. Hoffmann C. Changes in N composition of sugar beet varieties in response to increasing N supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005. Vol. 191, Iss. 2. P. 138–145. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00149.x
17. Hoffmann C. M., Kenter C., Bloch D. Marc concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relation to sucrose storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol. 85, Iss. 3. P. 459–465. doi: 10.1002/jsfa.2002
18. Hoffmann D. C., Märlander B. Entwicklung und Perspektiven von Trtragundtechnischer Qualität. *Zuckerrüben*. 2001. No. 4. S. 218–225.
19. Jongman R. H. G., Bunce R. G. H., Metzger M. J. et al. Objectives and applications of a statistical environmental stratification of Europe. *Landscape Ecology*. 2006. Vol. 21, Iss. 3. P. 409–419. doi: 10.1007/s10980-005-6428-0
20. Kenter C., Hoffmann C., Märlander B. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*. 2006. Vol. 24, Iss. 1. P. 62–69. doi: 10.1016/j.eja.2005.05.001
21. Khan A. A. Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*. 1992. Vol. 13. P. 131–166. doi: 10.1002/9780470650509.ch4
22. Koch H. J., Dieckmann J., Büchse A., Märlander B. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *European Journal of Agronomy*. 2009. Vol. 30, Iss. 2. P. 101–109. doi: 10.1016/j.eja.2008.08.001
23. Lohaus G., Burba M., Heldt H. W. Comparison of the contents of sucrose and amino acids in the leaves, phloem sap and taproots of high and low sugar-producing hybrids of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany*. 1994. Vol. 45, Iss. 8. P. 1097–1101. doi: 10.1093/jxb/45.8.1097
24. Mahn K., Hoffmann C., Märlander B. Distribution of quality components in different morphological sections of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*. 2002. Vol. 17, Iss. 1. P. 29–39. doi: 10.1016/S1161-0301(01)00139-3
25. Malnou C. S., Jaggard K. W., Sparkes D. L. A canopy approach to nitrogen fertilizer recommendation for the sugar beet. *European Journal of Agronomy*. 2006. Vol. 25, Iss. 3. P. 254–263. doi: 10.1016/j.eja.2006.06.002



26. Meissner S. T. Water potential gradients imply an apoplastic separation between red beet storage organ sink regions and the central xylem. *Journal of Sugarbeet Research*. 1999. Vol. 36, Iss. 1. P. 33–49. doi: 10.5274/jsbr.36.1.33
27. Meissner S. T., Spanswick R. M. Growth of the storage organ and parenchyma cells in red beet (*Beta vulgaris* L.): lower osmolarity correlates with increasing cell size, implying cell transport rather than diffusion limitation. *International Journal of Plant Sciences*. 1994. Vol. 155, Iss. 1. P. 36–48. doi: 10.1086/297145
28. Principles of Plant Nutrition / K. Mengel, E. A. Kirkby, H. Kosegarten, T. Appel (Eds.). Dordrecht : Springer, 2001. 593 p. doi: 10.1007/978-94-010-1009-2
29. Milford G. F. J., Armstrong M. J., Jarvis P. J. et al. Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops grown on soils of different potassium status. *Journal of Agricultural Science*. 2000. Vol. 135, Iss. 1. P. 1–10. doi: 10.1017/S0021859699007881
30. Mitchell J., Gaskell M., Smith R. et al. Soil Management and Soil Quality for Organic Crops. Davis, CA : University of California, 2000. doi: 10.3733/ucanr.7248
31. Olesen J. E., Trnka M., Kersebaum K. C. et al. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*. 2011. Vol. 34, Iss. 2. P. 96–112. doi: 10.1016/j.eja.2010.11.003
32. Petersen J., Röver A. Comparison of sugar beet cropping systems with dead and living mulch using a glyphosate-resistant hybrid. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005. Vol. 191, Iss. 1. P. 55–63. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00134.x
33. Pidgeon J. D., Werker A. R., Jaggard K. W. et al. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961–1995. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001. Vol. 109, Iss. 1. P. 27–37. doi: 10.1016/S0168-1923(01)00254-4
34. Pimpini F., Giardini L., Borin M., Gianquinto G. Effects of poultry manure and mineral fertilizers on the quality of crops. *Journal of Agricultural Science*. 1992. Vol. 118, Iss. 2. P. 215–221. doi: 10.1017/S0021859600068817
35. Rychcik B., Zawiślak K. Yield and Root Technological Quality of Sugar Beet Grown in Crop Rotation and Long-Term Monoculture. *Plant, Soil and Environment*. 2011. Vol. 48, Iss. 10. P. 458–462. doi: 10.17221/4395-PSE
36. Supit I., van Diepen C. A., de Wit A. J. W. et al. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. *Agricultural Systems*. 2010. Vol. 103, Iss. 9. P. 683–694. doi: 10.1016/j.agsy.2010.08.009
37. Theobald K. Welches Fruchtfolgeintervall ist optimal? *Zuckerrübe*. 2016. No. 2. S. 14–15.
38. Van den Putte A., Govers G., Diels J. et al. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 33, Iss. 3. P. 231–241. doi: 10.1016/j.eja.2010.05.008
39. Windt A., Wollenweder D. Grunddüngung Zuckerrüben. *Zuckerrübe*. 2005. No. 4. S. 206–207.
40. Winner C. History of the crop. *The Sugar Beet Crop* / D. A. Cooke, R. K. Scott (Eds.). London, UK : Chapman & Hall., 1993. P. 1–35. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_1
41. Wyse R. Parameters controlling sucrose content and yield of sugarbeet roots. *Journal of Sugarbeet Research*. 1979. Vol. 20, Iss. 4. P. 368–385. doi: 10.5274/jsbr.20.4.368
42. Іваніна В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах. Київ : Компрінт, 2016. 328 с.
43. Карпук Л. М., Присяжнюк О. І. Математичні моделі росту та розвитку цукрових буряків залежно від кліматичних факторів. *Цукрові буряки*. 2014. № 6. С. 13.
44. Роїк М. В., Корнеєва М. О. Екологічна стабільність і пластичність перспективних гібридів цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2017. № 3. С. 4.
45. Цвей Я. П. Родючість ґрунтів і продуктивність сівозмін. Київ, 2014. 416 с.
46. Цвей Я. П., Торлина О. Н., Левченко Л. Н. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от звеньев коротко-ротационных севооборотов. *Сахарная свекла*. 2016. № 2. С. 7.

47. Ященко Л. А. Агрохімічне обґрунтування підвищення продуктивності цукрових буряків на лужно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.04 – агрохімія. Київ, 2003. 19 с.

48. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

49. Ермантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (в рослинництві). Харків, 2014. 229 с.

50. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.

51. Ткачик С. О., Присяжнюк О. І., Лешук Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 118 с.

52. Роїк М. В., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І., Ермантраут Е. Р. Проведення демонстраційних дослідів. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2017. 22 с.

## References

1. Allison, M. F., Jaggard, K. W., & Armstrong, M. J. (1994). Time of application and chemical form of potassium, phosphorus, magnesium and sodium fertilizers and effects on the growth, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Agricultural Science*, 123(1), 61–70. doi: 10.1017/S0021859600067782

2. Bornscheuer, E. Meyerholz, K., & Wunderlich, K. H. (1993). Seed production and quality. In D. A. Cooke, & R. K. Scott (Eds.), *The Sugar Beet Crop* (pp. 120–155). London, UK: Chapman & Hall. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_4

3. Carter, J. N., Kemper, W. D., & Traveller, D. J. (1985). Yield and quality as affected by early and late fall and spring harvest of sugarbeets. *Journal of Sugar Beet Research*, 23(1–2), 8–27.

4. Cooke, D. A., & Scott, R. K. (Eds.). (1993). *The Sugar Beet Crop*. London, UK: Chapman & Hall. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9

5. Crocholl, J., & Knieke, J. (2007). Gründüngung ist auf Leichten Böden Standard. *Zuckerrübe*, 1, 33–34.

6. Croll, B., & Hayes, C. R. (1990). Nitrate and water supplies in the United Kingdom. *Environmental Pollution*, 50(1–2), 163–187. doi: 10.1016/0269-7491(88)90190-X

7. Dunham, R. J. (1993). Water use and irrigation. In D. A. Cooke, & R. K. Scott (Eds.), *The Sugar Beet Crop* (pp. 279–309). London, UK: Chapman & Hall. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_8

8. Dutton, J., & Huijbregts, T. (2006). Root quality and processing. In A. P. Draycott (Ed.), *Sugar beet* (pp. 409–442). Oxford, UK: Blackwell Publ. doi: 10.1002/9780470751114.ch16

9. Eckhoff, J. L. A. (1999). Sugarbeet response to nitrogen at four harvest dates. *Journal of Sugar Beet Research*, 36(4), 33–45. doi: 10.5274/jsbr.36.4.33

10. Fixen, P. E. (1993). Crop responses to chloride. *Advances in Agronomy*, 50, 107–150. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60833-0

11. Freckleton, R., Watkinson, A., Weeb, D., & Thomas, T. (1999). Yield of sugar in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93(1), 39–51. doi: 10.1016/S0168-1923(98)00106-3

12. Gaskell, M., Smith, R., Mitchell, J., Koike, S. T., Fouche, C., Hartz, T., Horwath, W., & Jackson, L. (2007). *Soil Fertility Management for Organic Crops*. University of California, Davis, California. doi: 10.3733/ucanr.7249

13. Giardini, L., Pimpini, F., Borin, M., & Gianquinto, G. (1992). Effects of poultry manure and mineral fertilizers on yield of crops. *Journal of Agricultural Science*, 118(2), 207–213. doi: 10.1017/S0021859600068805

14. Gilmour, J. T., Clark, M. D., & Daniel, S. M. (1996). Predicting long-term decomposition of biosolids with a seven-day test. *Journal of Environmental Quality*, 25(4), 766–770. doi: 10.2134/jeq1996.00472425002500040016x

15. Grzebisz, W., Pepliński, K., Szczepaniak, W., Barłóg, P., & Cyna, K. (2012). Impact of nitrogen concentration variability in sugar beet plant organs throughout the growing season on dry matter accumulation patterns. *Journal of Elementology*, 17(3), 389–407. doi: 10.5601/jelem.2012.17.3.03
16. Hoffmann, C. (2005). Changes in N composition of sugar beet varieties in response to increasing N supply. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(2), 138–145. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00149.x
17. Hoffmann, C. M., Kenter, C., & Bloch, D. (2005). Marc concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relation to sucrose storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(3), 459–465. doi: 10.1002/jsfa.2002
18. Hoffmann, D. C., & Märlander, B. (2001). Entwicklung und Perspektiven von Ertrag und technischer Qualität. *Zuckerrüben*, 4, 218–225.
19. Jongman, R. H. G., Bunce, R. G. H., Metzger, M. J., Mücher, C. A., Howard, D. C., & Mateus, V. L. (2006). Objectives and applications of a statistical environmental stratification of Europe. *Landscape Ecology*, 21(3), 409–419. doi: 10.1007/s10980-005-6428-0
20. Kenter, C., Hoffmann, C., & Märlander, B. (2006). Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(1), 62–69. doi: 10.1016/j.eja.2005.05.001
21. Khan, A. A. (1992). Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 13, 131–166. doi: 10.1002/9780470650509.ch4
22. Koch, H. J., Dieckmann, J., Büchse, A., & Märlander, B. (2009). Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *European Journal of Agronomy*, 30(2), 101–109. doi: 10.1016/j.eja.2008.08.001
23. Lohaus, G., Burba, M., & Heldt, H. W. (1994). Comparison of the contents of sucrose and amino acids in the leaves, phloem sap and taproots of high and low sugar-producing hybrids of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Botany*, 45(8), 1097–1101. doi: 10.1093/jxb/45.8.1097
24. Mahn, K., Hoffmann, C., & Märlander, B. (2002). Distribution of quality components in different morphological sections of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 17(1), 29–39. doi: 10.1016/S1161-0301(01)00139-3
25. Malnou, C. S., Jaggard, K. W., & Sparkes, D. L. (2006). A canopy approach to nitrogen fertilizer recommendation for the sugar beet. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 254–263. doi: 10.1016/j.eja.2006.06.002
26. Meissner, S. T. (1999). Water potential gradients imply an apoplastic separation between red beet storage organ sink regions and the central xylem. *Journal of Sugarbeet Research*, 36(1), 33–49. doi: 10.5274/jsbr.36.1.33
27. Meissner, S. T., & Spanswick, R. M. (1994). Growth of the storage organ and parenchyma cells in red beet (*Beta vulgaris* L.): lower osmolarity correlates with increasing cell size, implying cell transport rather than diffusion limitation. *International Journal of Plant Sciences*, 155(1), 36–48. doi: 10.1086/297145
28. Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (Eds.). (2001). *Principles of Plant Nutrition*. Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-94-010-1009-2
29. Milford, G. F. J., Armstrong, M. J., Jarvis, P. J., Houghton, B. J., Bellett-Travers, D. M., Jones, J., & Leigh, R. A. (2000). Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops grown on soils of different potassium status. *Journal of Agricultural Science*, 135(1), 1–10. doi: 10.1017/S0021859699007881
30. Mitchell, J., Gaskell, M., Smith, R., Fouche, C., & Koike, S. (2000). *Soil Management and Soil Quality for Organic Crops*. University of California, Davis, California. doi: 10.3733/ucanr.7248
31. Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., ... Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34(2), 96–112. doi: 10.1016/j.eja.2010.11.003

32. Petersen, J., & Röver, A. (2005). Comparison of sugar beet cropping systems with dead and living mulch using a glyphosate-resistant hybrid. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(1), 55–63. doi: 10.1111/j.1439-037X.2004.00134.x
33. Pidgeon, J. D., Werker, A. R., Jaggard, K. W., Richter, G. M., Lister, D. H., & Jones, P. D. (2001). Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961–1995. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109(1), 27–37. doi: 10.1016/S0168-1923(01)00254-4
34. Pimpini, F., Giardini, L., Borin, M., & Gianquinto, G. (1992). Effects of poultry manure and mineral fertilizers on the quality of crops. *Journal of Agricultural Science*, 118(2), 215–221. doi: 10.1017/S0021859600068817
35. Rychcik, B., & Zawiślak, K. (2011). Yield and Root Technological Quality of Sugar Beet Grown in Crop Rotation and Long-Term Monoculture. *Plant, Soil and Environment*, 48(10), 458–462. doi: 10.17221/4395-PSE
36. Supit, I., van Diepen, C. A., de Wit, A. J. W., Kabat, P., Baruth, B., & Ludwig, F. (2010). Recent changes in the climatic yield potential of various crops in Europe. *Agricultural Systems*, 103(9), 683–694. doi: 10.1016/j.agsy.2010.08.009
37. Theobald, K. (2016). Welches Fruchtfolgeintervall ist optimal? *Zuckerrübe*, 2, 14–15.
38. Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., & Demuzere, M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European Journal of Agronomy*, 33(3), 231–241. doi: 10.1016/j.eja.2010.05.008
39. Windt, A., & Wollenweder, D. (2005). Grunddüngung Zuckerrüben. *Zuckerrübe*, 4, 206–207.
40. Winner, C. (1993). History of the crop. In D. A. Cooke, & R. K. Scott (Eds.), *The Sugar Beet Crop* (pp. 1–35). London, UK: Chapman & Hall. doi: 10.1007/978-94-009-0373-9\_1
41. Wyse, R. (1979). Parameters controlling sucrose content and yield of sugarbeet roots. *Journal of Sugarbeet Research*, 20(4), 368–385. doi: 10.5274/jsbr.20.4.368
42. Ivanina, V. V. (2016). *Biologization of crop fertilization in crop rotations*. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
43. Karpuk, L. M., & Prysiazhniuk, O. I. (2014). Mathematical models of sugar beet growth and development depending on climatic factors. *Sugar Beet*, 6, 13. [In Ukrainian]
44. Roik, M. V., & Kornieieva, M. O. (2017). Environmental stability and plasticity of promising sugar beet hybrids. *Sugar Beet*, 3, 4. [In Ukrainian]
45. Tsvei, Ya. P. (2014). *Soil fertility and crop rotation productivity*. Kyiv: Komprynt. [In Ukrainian]
46. Tsvei, Y. P., Torlyna, O. N., & Levchenko, L. N. (2016). The productivity of sugar beet depending on the links of short-rotation crop rotations. *Sugar Beet*, 2, 7. [In russian]
47. Yashchenko, L. A. (2003). *Agrochemical justification of increasing the productivity of sugar beets on the alkaline-chnozem carbonate soil of the Forest-Steppe of Ukraine* (PhD Diss. Abstract). Kyiv, Ukraine. [In Ukrainian]
48. Ehrmantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data in the Statistica 6.0 package*. Kyiv: PolighrafConsaltyn. [In Ukrainian]
49. Ermantraut, E. R., Hoptsii, T. I., Kalenska, S. M., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., & Prysiazhniuk, O. I. (2014). *Methods of selection experiment (in crop production)*. Kharkiv: N.p. [In Ukrainian]
50. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of research in sugar beet growing*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
51. Tkachyk, S. O., Prysiazhniuk, O. I., & Leshchuk, N. V. (2016). *The method of conducting a qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part* (4<sup>th</sup> ed., rev. and enl.). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
52. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Prysiazhniuk, O. I., & Ermantraut, E. R. (2017). *Conducting demonstration experiments*. Kyiv: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]



UDC 633.9:631.54

**Prysiashniuk, O. I., & Shulha, S. S.** (2022). Productivity formation and processability of sugar beet in the conditions of continental climate. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 79–95. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: ollpris@gmail.com*

**Purpose.** To reveal the peculiarities of yield formation and processability of sugar beet roots in the conditions of the Steppe of Ukraine through optimizing the cultivation technology. **Methods.** The field experiment was conducted in the years 2020–2021 in the conditions of Chkalov Agrocompany LLC (Kirovohrad region). A drought-resistant diploid sugar beet hybrid ‘Magister’ (SESVanderHave) was grown against the background of the application of a moisture retainer (without hydrogel and hydrogel Aquasorb, 300 kg/ha) and different fertilization systems [without fertilizers – control; manure, 20 t/ha; N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>; Leonardyt, 400 kg/ha; Parostok-20, 400 kg/ha]. Organic and mineral fertilizers (PK) were applied in autumn under plowing, while nitrogen component was applied under early spring cultivation. The adsorbent was applied to the soil two weeks before sowing the crop locally in the zone of the row to be, based on the data of the GPS tracker. The rest of the agricultural activities carried out were generally accepted components of cultivation technology in the research area. **Results.** As a result of rather difficult weather conditions in 2020, the yield of root crops was only 30.3 t/ha on average in the experiment. The lowest level yield (26.0 t/ha) was obtained in the plots of both controls without fertilizer, while the application of 20 t/ha of manure yielded 29.0–30.0 t/ha. The mineral system (N<sub>170</sub>P<sub>180</sub>K<sub>350</sub>), despite its significantly lower efficiency in the treatment without Aquasorb hydrogel (31.0 t/ha), when it was applied to the soil before sowing the crop, ensured the maximum productivity of sugar beets – 34.0 t/ha. In addition, against the background of the hydrogel, the effectiveness of Leonardyt and Parostok-20 increased significantly – yield increases by 7.0 and 6.0 t/ha, respectively. The maximum content of sugars in roots was noted under the mineral fertilization system against the background of Aquasorb hydrogel – 16.3 against 15.0% in the control. However, in the same treatment, the highest content of  $\alpha$ -amine nitrogen was also obtained, which significantly reduces the yield of sugar at the factory. In 2021, due to favorable weather conditions during the crop vegetation, the yield of root crops was 55.6 t/ha on average in the experiment, which is almost twice as high as the previous year. As predicted, the lowest yield was obtained in the treatments without fertilizers – 49.7–50.2 t/ha, with manure application – 50.7–53.3 t/ha. Significantly higher, however, unlike in 2020, the indicators for the mineral fertilizer system were 56.9–58.1 t/ha. The most effective from the point of view of the formation of sugar beet productivity were Leonardyt and Parostok-20 yielding 58.1–58.6 and 59.2–61.6 t/ha, respectively. The maximum sugar content of roots was ensured by the use of Parostok-20 fertilizer, both on the background of Aquasorb hydrogel and without it (17.8% compared to control 15.8%). **Conclusions.** Weather conditions during the vegetation of sugar beets are the most significant factor that determines the level of their productivity, as well as the effectiveness of applied agricultural measures. In all treatments with fertilizers, a significant increase in crop yield was observed, and the amount of the obtained increments largely depended on both their type and the use of hydrogel, especially under unfavorable growing conditions. On average, during the research period, the highest indicators of sugar yield were obtained in the treatment with the use of organic fertilizers of the new formulation Leonardyt and Parostok-20 on the background of Aquasorb hydrogel, which indicates the feasibility of their further implementation in the cultivation technology for sugar beet.

**Keywords:** *productivity; sugar content of roots; alpha-amine nitrogen; mineral fertilizer; organic fertilizer.*

*Надійшла / Received 15.09.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 27.10.2022*



## Вирощування однорічних живцевих саджанців тополі за різних строків садіння та способів нарізання живців

Я. Д. Фучило\*, О. О. Бордусь

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна, \*e-mail: fuchylo\_yar@ukr.net*

**Мета.** Установити особливості вирощування однорічних живцевих саджанців чотирьох культиварів секції чорних тополь в умовах Правобережного Лісостепу за використання живців з перпендикулярним і косим зрізом. **Методи.** Польовий, лабораторний, статистичний. **Результати.** Живці культиварів ‘Dorskamp’, ‘I-45/51’, ‘Robusta’ і тополі Торопогрицького завдовжки 20 см протягом трьох років висаджували в листопаді та на початку квітня. Заготівля живців проводилась з однорічних пагонів секаторами зі зрізами перпендикулярно до осі пагонів і під кутом 45°. У середньому за три роки, за осіннього садіння, вищу укоріненість живців з перпендикулярними зрізами мали сорти ‘I-45/51’ (на 6 %) і ‘Robusta’ (на 25 %). У сорту ‘Dorskamp’ живці з косими зрізами укоренилися краще на 11 %, а у тополі Торопогрицького – на 7 %. За весняного садіння укоріненість живців з перпендикулярним зрізом у сорту ‘Dorskamp’ була більшою на 24 %, у ‘I-45/51’ – на 30 % і у сорту ‘Robusta’ – на 54 %. У тополі Торопогрицького краще укоренилися живці з косим зрізом (на 20 %). У цього ж сорту за осіннього садіння найбільшою була і висота саджанців – 192,9 см. Також перевагу за висотою живці з косим зрізом мали у сорту ‘Dorskamp’ (на 12 %). У сортів ‘I-45/51’ та ‘Robusta’ більшу висоту мають живці з перпендикулярним зрізом відповідно на 16 та 5 %. За весняного садіння рослини сорту ‘Dorskamp’ мали максимальну висоту, як за використання живців з перпендикулярним зрізом – 197,9 см, так і з косим – 195,6 см. Рослини сорту ‘I-45/51’ за перпендикулярного зрізу мали висоту 149,1 см, а за косою – 126,5 см. У сорту ‘Robusta’ живці з косим зрізом були менші на 8 %. Живцеві саджанці тополі Торопогрицького за обох термінів садіння були вищими з живців з косим зрізом. **Висновки.** Ефективність використання живців з перпендикулярним чи косим зрізом залежить від сорту тополі, строків садіння живців і погодних умов протягом вегетаційного періоду. В умовах Правобережного Лісостепу за вирощування тополі Торопогрицького доцільно застосовувати осіннє садіння живців з косим зрізом. Живці сортів ‘I-45/51’ та ‘Robusta’ слід висаджувати восени з використанням перпендикулярного зрізу, а ‘Dorskamp’ – з таким же зрізом, але навесні.

**Ключові слова:** *Populus L.; ‘Dorskamp’; ‘I-45/51’; ‘Robusta’; тополя Торопогрицького; здерев’янілі живці; укоріненість; висота живцевих саджанців.*

### Вступ

Перспективним напрямком розвитку енергетики і поліпшення умов довкілля є використання як джерела енергії деревної маси швидкорослих деревних видів [1–4]. Щорічно використання деревини як джерела енергії інтенсивно зростає і за прогнозами до 2030 року зросте на 500 млн м<sup>3</sup> [3]. Найвищу продуктивність в умовах помірного клімату мають низка видів і сортів тополі, тому її в Європі вирощують ще з початку 1600-х років [5]. Кращі її насадження можуть продукувати до 20–25 т/га сухої біомаси у рік [4, 6–8], і на даний час вона визнана культурою, значний потенціал якої застосовується не тільки в озелененні, фітомеліорації та лісовому господарстві, а й для отримання сировини для виробництва різних видів енергії [2; 8–10]. Дефіцит деревини, з якою стикнулися країни ЄС у кінці двадцятого століття, обумовив необхідність схвалення директиви EU/2080/92 [11], згідно якої передбачається виділення субсидій для заліснення частини земель сільсько-господарського призначення швидкорослими деревними видами, зокрема – тополями [7].

Енергетичну біомасу деревних рослин переважно вирощують на спеціальних енергетичних плантаціях, де на даний час, частіше за інші деревні рослини, використовують вербу і тополь [4, 12, 13]. Особливо високою продуктивністю відзначаються міжвидові і міжсекційні гібриди секцій чорних (*Aigeiros*) і бальзамічних тополь (*Tacamahaca*), у яких часто проявляється гетерозис за інтенсивністю росту і пристосованістю до умов зростання [5, 6].

Під час створення енергетичних, полезахисних та інших насаджень тополі використовують переважно два види садивного матеріалу – здерев'янілі живці і живцеві саджанці. За створення енергетичних плантацій тополі безпосередньо живцями, за великих обсягів робіт, використовують спеціальні садивні машини, які нарізають живці з пагонів безпосередньо в процесі садіння. У результаті зріз на живцях виходить перпендикулярним. Існують також саджальні машини з висаджуванням наперед заготовлених живців, де, для забезпечення якісного садіння, живці теж нарізаються перпендикулярно до осі пагона. З іншого боку, в лісових розсадниках, за вирощування живцевих саджанців, рекомендується заготовляти живці з перпендикулярним верхнім зрізом і косим (під кутом 45°) – нижнім [14], що суттєво ускладнює процес нарізання живців і можливість його механізації.

*Мета досліджень* – установити особливості вирощування однорічних живцевих саджанців чотирьох культиварів із секції чорних тополь в умовах Правобережного Лісостепу за використання живців з перпендикулярним і косим зрізом.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження особливостей укорінення живців і росту живцевих саджанців тополі залежно від способу нарізання живців проводились протягом 2018–2021 рр. у ДП ДГ «Саливківське» (с. Ксаверівка Друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.). Були використані здерев'янілі живці чотирьох культиварів: 'Dorskamp', 'I-45/51', 'Robusta' і тополя Торопогрицького. Для досліджень було вибрано живці завдовжки 20 см, які найчастіше використовуються в дослідженнях вчених низки країн [2, 10, 15].

Живці нарізувалися секаторами з однорічних пагонів безпосередньо перед садінням. Зрізи виконувалися двома способами: перпендикулярно до осі пагонів і з косим зрізом до осі пагонів під кутом близьким до 45°. Висаджували живці у кінці листопада 2018–2020 рр. та у другій декаді квітня 2019–2021 рр. Схема садіння: 125 × 50 см. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий, глибокий, малогумусний, крупнопилувато-середньосуглинковий, що містить: гумусу (за Тюрнімом) – 3,90 %, азоту лужногідролізованого (за Корнфільдом) – 176 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору та калію (за Чиріковим) – 108 і 67 мг/кг ґрунту відповідно, рН сольове – 6,2, сума ввібраних основ – 15,64 мг-екв/100 г ґрунту, гідролітична кислотність – 1,14 мг-екв/100 г, ступінь насиченості основами – 93,2 %. Обробіток ґрунту – суцільний на глибину 25 см. Живці висаджувалися у ґрунт вручну вертикально на всю довжину з залишенням над поверхнею близько 1,0 см живця. Протягом кожного вегетаційного періоду в насадженнях проводили 4 ручних догляди за ґрунтом з видаленням бур'янів і розпушуванням ґрунту.

Погодні умови протягом періоду досліджень в цілому були сприятливими для росту енергетичних культур і тополі зокрема. Сніг у 2018 р. випав у третій декаді листопада, через кілька днів після проведення осіннього садіння живців тополі, і розтанув у кінці лютого 2019 р. Температура повітря протягом вегетаційного періоду була дещо вищою за середні багаторічні дані (за винятком липня). У 2020 р. на початку вегетації спостерігалася холодна і відносно суха погода – температура повітря у травні була на 4,5 °С нижчою за середню багаторічну. Протягом вегетації 2021 р. температурний режим протягом квітня-травня був близьким до багаторічних даних, у червні – перевищував їх на 3 °С, а у липні – на 4 °С. Вологозабезпеченість вегетаційних періодів у роки досліджень була нерівномірною і відзначалася надлишком опадів у травні та жорстким дефіцитом вологи у липні.

Восени, після припинення росту живцевих саджанців, за традиційними методиками визначався відсоток укоріненості живців та середня висота рослин за загальноприйнятими у рослинництві методиками [16, 17].

**Результати досліджень**

Було встановлено, що після завершення вегетаційного періоду 2019 року живці усіх досліджуваних сортів за обох варіантів нарізання живців, за осіннього їх садіння, мали високі показники укорінення (табл. 1).

Таблиця 1

**Укоріненість живців тополі за різних способів нарізання живців, %  
(осіннє садіння)**

Назва сорту	Спосіб нарізання живців відносно осі пагона		Різниця між варіантами, %
	перпендикулярний	косий	
2019 р.			
'Dorskamp'	77,4 ± 5,35	77,4 ± 7,63	0
'I-45/51'	71,0 ± 8,29	87,1 ± 6,12	-18
'Robusta'	87,1 ± 6,12	67,7 ± 8,54	29
Торопогрицького	61,7 ± 6,33	65,0 ± 6,21	-5
2020 р.			
'Dorskamp'	43,3 ± 6,45	66,7 ± 6,14	-35
'I-45/51'	53,3 ± 6,49	55,0 ± 6,48	-3
'Robusta'	35,0 ± 6,21	58,3 ± 6,42	-40
Торопогрицького	55,0 ± 6,48	56,7 ± 6,45	-3
2021 р.			
'Dorskamp'	46,7 ± 6,50	43,3 ± 6,45	8
'I-45/51'	65,0 ± 6,21	36,7 ± 6,27	77
'Robusta'	73,3 ± 5,76	30,0 ± 5,97	144
Торопогрицького	41,7 ± 6,42	48,3 ± 6,51	-14
В середньому за 3 роки			
'Dorskamp'	55,8 ± 3,71	62,5 ± 3,62	-11
'I-45/51'	63,1 ± 3,60	59,6 ± 3,66	6
'Robusta'	65,1 ± 3,57	52,0 ± 3,73	25
Торопогрицького	52,8 ± 3,73	56,7 ± 3,70	-7

Найвищі показники укорінення (87,1 ± 6,12 %) виявилися у живців сорту 'I-45/51' з косим зрізом і сорту 'Robusta' з перпендикулярним зрізом. Живці сорту 'Dorskamp' за обох варіантів нарізання живців мали однакову укорінюваність на рівні 77,4 %. Живці тополі Торопогрицького краще прижилися у варіанті з косим зрізом – 65,0 ± 6,21 %, проти 61,7 ± 6,33 % за використання перпендикулярного зрізу.

У 2020 році, через складні погодні умови (суха і холодна весна) показники приживлюваності усіх варіантів дослідів виявилися нижчими порівняно з попереднім роком. Водночас у всіх сортів живці з косими зрізами мали вищі показники укорінення. Щоправда, у сортів 'I-45/51' і Торопогрицького перевищення становить всього 3 %, тобто знаходиться у межах похибки дослідів.

У 2021 році приживлюваність живців, висаджених восени 2020-го року, за винятком тополі Торопогрицького, була більшою за використання живців з перпендикулярним зрізом: у сорту 'Dorskamp' – на 8 %, 'I-45/51' – 47 %, а у сорту 'Robusta' – на 144 %.

У середньому за 3 роки за осіннього садіння живців вищі показники укоріненості за використання перпендикулярних зрізів були у живців сортів 'I-45/51' (на 6 %) і 'Robusta' (на 25 %). У сорту 'Dorskamp' живці з косими зрізами вкоренилися краще на 11 %, а у тополі Торопогрицького – на 7 %. У решти сортів краще прижилися живці з перпендикулярним зрізом: 'I-45/51' – на 6 %, а 'Robusta' – на 25 %.

## РОСЛИНИЦТВО

За весняного садіння, в середньому за 3 роки, у трьох досліджуваних сортів вищі показники укорінення мали живці з перпендикулярним зрізом: у сорту 'Dorskamp' – на 24 %, у 'I-45/51' – на 30 %, і у сорту 'Robusta' – на 54 % (табл. 2).

У тополі Торопогрицького, як і за осіннього садіння, значно краще (на 20 %) укоренилися живці з косим зрізом.

Встановлено наявність позитивної залежності між укоріненістю живців і висотою живцевих саджанців, що з них вирости.

Таблиця 2

**Укоріненість живців тополі за різних способів нарізання живців, %  
(весняне садіння)**

Назва сорту	Спосіб нарізання живців відносно осі пагона		Різниця між варіантами, %
	перпендикулярний	косий	
2019 р.			
'Dorskamp'	83,9 ± 6,71	93,6 ± 4,48	-10
'I-45/51'	77,4 ± 7,63	61,3 ± 8,89	26
'Robusta'	80,6 ± 7,21	41,9 ± 9,01	92
Торопогрицького	74,2 ± 7,99	83,9 ± 6,72	-12
2020 р.			
'Dorskamp'	85,0 ± 4,65	60,0 ± 6,38	42
'I-45/51'	23,3 ± 5,51	23,3 ± 5,51	0
'Robusta'	20,0 ± 5,21	13,3 ± 4,26	50
Торопогрицького	35,0 ± 6,21	41,7 ± 6,42	-16
2021 р.			
'Dorskamp'	86,7 ± 4,43	53,3 ± 6,49	63
'I-45/51'	70,0 ± 5,97	46,7 ± 6,49	50
'Robusta'	85,0 ± 4,65	65,0 ± 6,21	31
Торопогрицького	33,3 ± 6,14	51,7 ± 6,51	-36
В середньому за 3 роки			
'Dorskamp'	85,2 ± 2,76	69,0 ± 3,46	24
'I-45/51'	56,9 ± 3,70	43,8 ± 3,71	30
'Robusta'	61,9 ± 3,63	40,1 ± 3,66	54
Торопогрицького	47,5 ± 3,72	59,1 ± 3,67	-20

За осіннього садіння протягом трьох років досліджень максимальними показниками висоти саджанців відзначалася тополя Торопогрицького (табл. 3). У середньому за 3 роки цей показник у неї становив 178,4 см у живців з перпендикулярним зрізом та 192,9 см – у рослин, що вирости з живців з косим зрізом.

Також перевагу за висотою живці з косим зрізом мали у сорту 'Dorskamp' (на 12 %). У сорту 'Robusta' за висотою переважають живці з перпендикулярним зрізом. Їх висота при цьому становить в середньому за роки досліджень 161,8 см, що на 16 % більше, ніж висота рослин з живців з косим зрізом. У сорту 'I-45/51' перевага рослин з живців з перпендикулярним зрізом (середня висота 153,8 см) становила лише 5 %.

Таблиця 3

## Середня висота однорічних саджанців тополі за різних способів нарізання живців, см (осіннє садіння)

Назва сорту	Спосіб нарізання живців відносно осі пагона		Різниця між варіантами, %
	перпендикулярний	косий	
2019 р.			
'Dorskamp'	156,3 ± 6,79	196,5 ± 6,71	-20
'I-45/51'	165,5 ± 5,75	148,0 ± 7,46	12
'Robusta'	176,4 ± 4,62	160,0 ± 7,73	10
Торопогрицького	179,7 ± 2,71	198,4 ± 5,19	-9
2020 р.			
'Dorskamp'	157,0 ± 10,26	155,4 ± 5,94	1
'I-45/51'	142,8 ± 5,07	143,6 ± 2,98	-1
'Robusta'	117,6 ± 8,22	127,1 ± 7,47	-7
Торопогрицького	183,9 ± 2,82	175,3 ± 5,11	5
2021 р.			
'Dorskamp'	161,4 ± 9,15	186,5 ± 8,05	-13
'I-45/51'	153,1 ± 6,05	149,8 ± 9,34	2
'Robusta'	191,4 ± 5,97	130,6 ± 6,82	47
Торопогрицького	171,6 ± 7,50	205,0 ± 5,28	-16
В середньому за 3 роки			
'Dorskamp'	158,2 ± 8,73	179,5 ± 6,90	-12
'I-45/51'	153,8 ± 5,68	147,1 ± 6,59	5
'Robusta'	161,8 ± 6,27	139,2 ± 7,34	16
Торопогрицького	178,4 ± 5,29	192,9 ± 5,02	-7

За весняного садіння живцеві саджанці сорту 'Dorskamp' в середньому за 3 роки мали найбільші показники висоти з усіх досліджуваних сортів, як за використання живців з перпендикулярним зрізом (197,9 см), так і з косим – 195,6 см (табл. 4). При цьому різниця виявилася дуже незначною – лише 1 %.

Живцеві саджанці решти сортів мали значно менші показники висоти порівняно з саджанцями з живців, що висаджувалися восени. Зокрема, рослини сорту 'Robusta' за перпендикулярного зрізу мали висоту 149,1 см, а за косого – 126,5 см, тобто відрізнялися на 18 %. Рослини сорту 'I-45/51' мали середню висоту 128,3 та 118,5 см відповідно, тобто їхні рослини з живців, нарізаних перпендикулярно, були більшими за рослини, отримані з косих живців на 8 %.

Однорічні саджанці тополі Торопогрицького, за весняного садіння живців, мали висоту 154,6 см за прямого зрізу і 157,8 см – за косого, тобто відрізнялися несуттєво – на 2 %.

Отже, з огляду отримання більшої кількості садивного матеріалу, восени живці завдовжки 20 см з перпендикулярним зрізом краще застосовувати під час садіння сортів 'I-45/51' та 'Robusta', а весною – цих же сортів і сорту 'Dorskamp'. Живці тополі Торопогрицького в обох випадках краще укорінювалися за використання косих зрізів.

Щодо розмірів однорічних живцевих саджанців, то за осіннього садіння вищі рослини у сортів 'I-45/51' і 'Robusta' вирости з живців, що нарізані з перпендикулярним зрізом. У сортів 'Dorskamp' і Торопогрицького більшу висоту мали рослини з косо нарізаних живців.

За весняного садіння більшу висоту мали рослини, що вирости з перпендикулярно нарізаних живців (за винятком тополі Торопогрицького). Живцеві саджанці останньої за обох термінів садіння вищими вирости з живців з косим зрізом, що вказує на доцільність заготовляти живці тополі Торопогрицького з застосуванням косого зрізу.



Таблиця 4

## Середня висота однорічних саджанців тополі за різних способів нарізання живців, см (весняне садіння)

Назва сорту	Спосіб нарізання живців відносно осі пагона		Різниця між варіантами, %
	перпендикулярний	косий	
2019 р.			
‘Dorskamp’	188,8 ± 9,45	202,9 ± 9,09	-7
‘I-45/51’	151,6 ± 5,00	129,2 ± 8,54	17
‘Robusta’	138,7 ± 8,89	134,5 ± 12,12	3
Торопогрицького	223,8 ± 8,50	167,6 ± 10,34	34
2020 р.			
‘Dorskamp’	176,4 ± 7,50	173,3 ± 6,57	2
‘I-45/51’	87,1 ± 08,74	87,1 ± 8,74	0
‘Robusta’	100,8 ± 9,08	106,3 ± 14,13	-5
Торопогрицького	106,2 ± 10,88	144,4 ± 7,26	-26
2021 р.			
‘Dorskamp’	228,6 ± 4,03	210,6 ± 6,96	9
‘I-45/51’	146,3 ± 3,90	139,3 ± 6,72	5
‘Robusta’	207,9 ± 6,65	138,8 ± 5,27	50
Торопогрицького	133,9 ± 8,18	161,3 ± 6,25	-17
В середньому за 3 роки			
‘Dorskamp’	197,9 ± 6,99	195,6 ± 7,54	1
‘I-45/51’	128,3 ± 5,88	118,5 ± 8,00	8
‘Robusta’	149,1 ± 8,21	126,5 ± 10,51	18
Торопогрицького	154,6 ± 9,19	157,8 ± 8,04	-2

**Висновки**

Проведені дослідження вказують на відсутність однозначної відповіді на питання ефективності використання живців з перпендикулярним чи косим зрізом для всіх досліджуваних сортів тополі, оскільки цей вибір залежить від сортових особливостей, терміну садіння живців і погодних умов вегетаційного періоду.

Вищі показники приживлюваності живців і висоти живцевих саджанців у тополі Торопогрицького виявилися за використання осіннього садіння живців з косим зрізом. Живці сортів ‘I-45/51’ та ‘Robusta’ краще висаджувати восени з використанням перпендикулярного зрізу.

Найвищі показники укорінення живців і висоти живцевих саджанців сорту ‘Dorskamp’ отримано за весняного садіння живців, нарізаних перпендикулярно.

**Використана література**

1. Aylott M. J., Casella E., Tubby I. et al. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-cutting cycle coppice in the UK. *New Phytologist*. 2008. Vol. 178, Iss. 2. P. 358–370. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x
2. Broeckx L. S., Verlinden M. S., Ceulemans R. Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium): effects of genotype and former land use. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 42. P. 151–163. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.03.005
3. Dieter M. Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies. *25th Session of the International Poplar Commission : Working Paper IPC/15 :*

- Abstracts of Submitted Papers and Posters* (Berlin, Sept. 13–16, 2016). Rome : FAO, 2016. P. 5. URL: <https://www.fao.org/forestry/45092-0fcd1e7430938785c3e2c0a0a03329a88.pdf>
4. Keoleian G. A., Volk T. A. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24, Iss. 5–6. P. 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334
  5. Stoffel R. Short rotation woody crops – Hybrid poplar. URL: [https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans\\_asset\\_356341.pdf](https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans_asset_356341.pdf)
  6. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Досвід та перспективи вирощування тополі (*Populus* sp. L.) у Південному Степу України. *Наукові праці ЛАНУ*. 2009. Вип. 7. С. 66–69.
  7. Arabatzis G., Christopoulou O., Soutsas K. The EEC Regulation 2080/92 about forest measures in agriculture: The case of poplar plantations in Greece. *International Journal of Ecodynamics*. 2006. Vol. 1, Iss. 3. P. 95–110. doi: 10.2495/ECO-V1-N3-245-257
  8. Mann J. Comparison of Yield, Calorific Value and Ash Content in Woody and Herbaceous Biomass used for Bioenergy Production in Southern Ontario, Canada : A Thesis Presented to The University of Guelph. Guelph. Ontario, Canada, 2012. 106 p. URL: [https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/3959/Mann %20Thesis %20Def ense %20Revised %202.pdf?sequence=1](https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/3959/Mann%20Thesis%20Defense%20Revised%202.pdf?sequence=1)
  9. Фучило Я. Д., Літвін В. М., Сбитна М. В. Біологічні, екологічні та технологічні аспекти плантаційного вирощування тополі в умовах Київського Полісся. Київ : Логос, 2012. 214 с.
  10. Zalesny S., Wiese A. Date of Shoot Collection, Genotype, and Original Shoot Position Affect Early Rooting of Dormant Hardwood Cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica*. 2006. Vol. 55, Iss. 1–6. P. 169–182. doi: 10.1515/sg-2006-0024
  11. Report from the commission to the council and the european parliament on the application of Regulation (EEC) No 2080/92 instituting a Community aid scheme for forestry measures in agriculture. Brussels, 28.11.1997. URL: [http://aei.pitt.edu/47273/1/COM\\_\(97\)\\_630\\_final.pdf](http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_(97)_630_final.pdf)
  12. Spinelli R. Short rotation coppice production in Italy. *Energiepflanzen im Aufwind. Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz : Fachtagung* (Potsdam, Juni 12–13, 2007). Potsdam-Bornim, 2007. P. 158–167.
  13. Volk T. A., Berguson B., Daly C. et al. Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. *Global Change Biology Bioenergy*. 2018. Vol. 10, Iss. 10. P. 735–751. doi: 10.1111/gcbb.12498
  14. Гордієнко М. І., Гузь М. М., Дебринюк Ю. М., Маурер В. М. Лісові культури. Львів : Камула, 2005. 608 с.
  15. Zalesny R., Hall R., Bauer E., Riemenschneider D. Shoot Position Affects Root Initiation and Growth of Dormant Unrooted Cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica*. 2006. Vol. 52, Iss. 5. P. 273–279.
  16. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь. Київ : Компрінт, 2018. 137 с.
  17. Руденко В. М. Математична статистика. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 304 с.

## References

1. Aylott, M. J., Casella, E., Tubby, I., Street, N. R., Smith, P., & Taylor, G. (2008). Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-cutting cycle coppice in the UK. *New Phytologist*, 178(2), 358–370. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x
2. Broeckx, L. S., Verlinden, M. S., & Ceulemans, R. (2012). Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium): effects of genotype and former land use. *Biomass and Bioenergy*, 42, 151–163. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.03.005

3. Dieter, M. (2016, Sept. 13–16). Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies. In *25th Session of the International Poplar Commission: Working Paper IPC/15: Abstracts of Submitted Papers and Posters* (p. 5). Rome: FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/forestry/45092-0fcd1e7430938785c3e2c0a0a03329a88.pdf>
4. Keoleian, G. A., & Volk, T. A. (2005). Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(5–6), 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334
5. Stoffel, R. (2008). *Short rotation woody crops – Hybrid poplar*. Retrieved from [https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans\\_asset\\_356341.pdf](https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans_asset_356341.pdf)
6. Fuchylo, Ya. D., Sbytna, M. V., Fuchylo, O. Ya., & Litvin, V. M. (2009). Experience and prospects of growing poplar (*Populus* sp. L.) in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific labors LANU*, 7, 66–69. [In Ukrainian].
7. Arabatzis, G., Christopoulou, O., & Soutsas, K. (1992). The EEC Regulation 2080/92 about forest measures in agriculture: The case of poplar plantations in Greece. *International Journal of Ecodynamics*, 1(3), 95–110. doi: 10.2495/ECO-V1-N3-245-257
8. Mann, J. (2012). *Comparison of Yield, Calorific Value and Ash Content in Woody and Herbaceous Biomass used for Bioenergy Production in Southern Ontario, Canada: A Thesis Presented to The University of Guelph*. Guelph, Ontario, Canada. Retrieved from [https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/3959/Mann %20Thesis %20Defence %20Revised %202.pdf?sequence=1](https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/3959/Mann%20Thesis%20Defence%20Revised%202.pdf?sequence=1)
9. Fuchylo, Ya. D., Litvin, V. M., & Sbytna, M. V. (2012). *Biological, ecological and technological aspects of plantation cultivation of poplar in the conditions of Kyiv Polissia*. Kyiv: Logos. [In Ukrainian]
10. Zalesny, S., & Wiese, A. (2006). Date of Shoot Collection, Genotype, and Original Shoot Position Affect Early Rooting of Dormant Hardwood Cuttings of Populus. *Silvae Genetica*, 55(1–6), 169–182. doi: 10.1515/sg-2006-0024
11. Report from the commission to the council and the european parliament on the application of Regulation (EEC) No 2080/92 instituting a Community aid scheme for forestry measures in agriculture. Brussels, 28.11.1997. Retrieved from [http://aei.pitt.edu/47273/1/COM\\_\(97\)\\_630\\_final.pdf](http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_(97)_630_final.pdf)
12. Spinelli, R. (2007, Juni 12–13). Short rotation coppice production in Italy. In *Energiepflanzen im Aufwind. Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz: Fachtagung* (pp. 158–167). Potsdam-Bornim.
13. Volk, T. A., Berguson, B., Daly, C., Halbleib, M. D., Miller, R., Rials, T. G., ... Wright, J. (2018). Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. *Global Change Biology Bioenergy*, 10(10), 735–751. doi: 10.1111/gcbb.12498
14. Hordienko, M. I., Huz, M. M., Debrynuik, Yu. M., & Maurer, V. M. (2005). *Forest crops*. Lviv: Kamula. [In Ukrainian]
15. Zalesny, R., Hall, R., Bauer, E., & Riemenschneider, D. (2006). Shoot Position Affects Root Initiation and Growth of Dormant Unrooted Cuttings of Populus. *Silvae Genetica*, 52(5), 273–279.
16. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Pyrkin, V. I., Prysyzhnyuk, O. I., ... Tymoshenko, A. M. (2018). *Methodology of research of energy plantations of willows and poplars*. Kyiv: Comprint [In Ukrainian]
17. Rudenko, V. M. (2012). *Mathematical statistics*. Kyiv: Center of Educational Literature. [In Ukrainian]

UDC 630\*2:630\*18

**Fuchylo, Ya. D.**, & **Bordus, O. O.** (2022). Cultivation of one-year poplar plants rooted in autumn and spring with the use of different methods of cutting planting material. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 96–104. [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, \*e-mail: fuchylo\_yar@ukr.net*

**Purpose.** Study of the peculiarities of growing one-year cutting seedlings of four cultivars of the black poplar under the conditions of the Right Bank Forest Steppe using cuttings with a perpendicular and oblique section. **Methods.** Field, laboratory, statistical. **The results.** Cuttings of cultivars ‘Dorskamp’, ‘I-45/51’, ‘Robusta’ and Toropohrytskyi’s poplar 20 cm long were planted in November and early April for three years. The cuttings for rooting were cut from one-year-old shoots using secateurs, with cuts (i) perpendicular to the axis of the shoots and (ii) an angle of 45°. In an average of 3 years, autumn planting of the varieties ‘I-45/51’ (by 6%) and ‘Robusta’ (by 25%) showed better rooting of cuttings with perpendicular cuts. Cuttings of ‘Dorskamp’ variety with oblique cuts rooted by 11 % and Toropohrytskyi’s poplar by 7% better. When planted in spring, the rooting index of cuttings with a perpendicular cut in the ‘Dorskamp’ variety was 24% higher, in ‘I-45/51’ by 30% higher, and in ‘Robusta’ variety 54 % higher. Cuttings with an oblique cut rooted better in Toropohrytskyi’s poplar (by 20 %). The height of the rooted cuttings was the largest for autumn planting of the same variety (192.9 cm). Also, cuttings with an oblique cut had an advantage in height in the variety ‘Dorskamp’ (by 12%). In the varieties ‘I-45/51’ and ‘Robusta’, cuttings with a perpendicular cut had a higher height by 16 and 5 %, respectively. For spring planting, plants of the ‘Dorskamp’ variety had a maximum height, both when using cuttings with a perpendicular cut (197.9 cm), and with an oblique cut (195.6 cm). Plants of the ‘I-45/51’ variety with a perpendicular cut had a height of 149.1 cm and oblique 126.5 cm. In ‘Robusta’, cuttings with an oblique cut were 8% smaller. The cuttings of Toropohrytskyi’s poplar at both planting seasons were taller than cuttings with an oblique cut. **Conclusions.** The effectiveness of using cuttings with a perpendicular or oblique cut depends on the cultivar of poplar, the timing of planting and the weather conditions during vegetation season. In the conditions of the Right Bank Forest Steppe, for the cultivation of Toropohrytskyi’s poplar, it is recommended to use autumn planting of cuttings with an oblique cut. Cuttings of the varieties ‘I-45/51’ and ‘Robusta’ should be planted in autumn using a perpendicular cut, and ‘Dorskamp’ with the same cut, but in spring.

**Keywords:** *Populus L.*; ‘Dorskamp’; ‘I-45/51’; ‘Robusta’; *Toropogrytsky poplar*; lignified cuttings; rooting; height of cuttings seedlings.

Надійшла / Received 11.11.2022

Погоджено до друку / Accepted 21.11.2022

## Екологічна пластичність та стабільність продуктивності озимих капустияних культур під впливом елементів технології вирощування

І. В. Царук\*, Д. Б. Рахметов

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, \*e-mail: [illik94@ukr.net](mailto:illik94@ukr.net)

**Мета.** Установити особливості формування екологічної пластичності та стабільності продуктивності озимих капустияних культур залежно від елементів агротехніки – ширини міжрядь та норм внесення мінеральних добрив. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2018–2021 рр. в умовах ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» (Чернігівська обл.) за загальноприйнятими методиками. Схема польового досліду передбачала вирощування тифону 'Оракам' за різних способів сівби (ширина міжрядь – 15, 30 і 45 см) та норм мінерального удобрення (без добрив,  $N_{80}P_{60}K_{60}$  та  $N_{120}P_{90}K_{90}$ ). Параметри екологічної стабільності (b) та пластичності (W) урожайності насіння й виходу енергії з біомаси розраховували згідно з методикою Ебергарда – Рассела за допомогою пакету прикладних програм PTC Mathcad Prime 3.1. **Результати.** Найнижчі показники стабільності як урожайності насіння (0,55–0,79), так і виходу енергії з біомаси (0,55–0,81) відзначено у варіантах без застосування добрив, тоді як за внесення  $N_{80}P_{60}K_{60}$  та  $N_{120}P_{90}K_{90}$  вони були майже вдвічі вищими (1,03–1,33 та 0,97–1,32 відповідно). При цьому в межах усіх трьох фонів удобрення спостерігалась чітка тенденція до зниження стабільності продуктивності культури зі збільшенням ширини міжрядь. Зокрема, найвищий у досліді коефіцієнт стабільності врожайності насіння – 1,33 отримано на фоні  $N_{80}P_{60}K_{60}$  за ширини міжрядь 15 см, водночас зі збільшенням міжрядь до 30 і 45 см він знижувався до 1,19 та 1,05 відповідно. Щодо параметрів екологічної пластичності продуктивних показників тифону, то вони були приблизно на одному рівні в усіх варіантах досліду. **Висновки.** Найліпші умови для формування високої врожайності насіння та загального виходу енергії з біомаси тифону 'Оракам' забезпечувались у варіантах його вирощування із шириною міжрядь 15 та 30 см на фоні внесення мінеральних добрив у нормі  $N_{80}P_{60}K_{60}$  та  $N_{120}P_{90}K_{90}$ . У такому разі формування продуктивності культури відбувалось з високим рівнем пластичності, а загалом умови вирощування відповідали інтенсивним, що сприяло повнішій реалізації рослинами біологічного потенціалу та ефективному використанню ними елементів технології, зокрема удобрення.

**Ключові слова:** тифон; ширина міжрядь; норма мінеральних добрив; стабільність продуктивності; пластичність формування врожаю.

### Вступ

Ефективність елементів технології вирощування за їх впливом на параметри врожайності та якості продукції сільськогосподарських культур можна оцінити різними способами. Одним із найліпших серед них є оцінювання екологічних складників формування продуктивності культурних рослин. Адже елементи агротехнології по суті є контрольованими екологічними чинниками, що можуть розширити або звужити межі мінливості культури в одних і тих же умовах вирощування [1–3].

Традиційним способом екологічного оцінювання сільськогосподарських культур є визначення пластичності (b) та стабільності (W) їхньої продуктивності згідно з методикою Ебергарда – Рассела. Перший із цих показників є регресійною реакцією на зміну умов вирощування, тоді як другий визначає стабільність цієї реакції, і являє собою середнє квадратичне відхилення від регресії [4, 5].



У разі забезпечення в досліді умов, що сприяють формуванню продуктивності культур із низькими показниками пластичності та стабільності, відзначається ліміт чинників середовища за іншими параметрами. Тобто, якщо попри наявність, наприклад, оптимальних параметрів ширини міжрядь чи норми удобрення рослини використали решту чинників і при цьому не спостерігається значного зниження їхньої врожайності, вирощування культур за таких умов є нерентабельним. Адже додаткові витрати, скажімо на добрива, не компенсуються формуванням рослинами вищої продуктивності навіть у найліпші роки, оскільки наявний дефіцит інших чинників [6, 7].

Водночас за високих показників пластичності продуктивності культур та їхньої низької стабільності створюються умови формування високої продуктивності за оптимального використання додатково залучених елементів технології. Тобто за таких умов не тільки забезпечується високий рівень урожайності, а рослини також не піддаються впливу з обмеження критичних чинників, що можуть кардинально зменшити рівень їхньої продуктивності загалом [8–10].

*Мета досліджень* – установити особливості формування екологічної пластичності та стабільності продуктивності озимих капустяних культур залежно від елементів агротехніки – ширини міжрядь та норм внесення мінеральних добрив.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2018–2021 рр. в умовах Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут» (Чернігівська обл.).

Ґрунт дослідного поля – чорнозем опідзолений зі вмістом гумусу на рівні 3,38–3,76 % (підвищений), мінерального азоту ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ ) – 18,6–29,4 мг/кг (від середнього до підвищеного), рухомого фосфору та обмінного калію – 106,6–120,6 та 50,04–72,2 мг/кг (середній) відповідно, магнію – 243,0–364,5 мг/кг (від підвищеного до високого), рухомої сірки – 7,7–10,3 мг/кг (від середнього до високого), обмінного кальцію – 2225–4100 мг/кг (від підвищеного до дуже високого). Кислотність ґрунту (рН) – 5,7–6,5.

Погодно-кліматичні умови впродовж років досліджень характеризувались певними відхиленнями від середньобагаторічних значень, однак це не стало на заваді отриманню об'єктивних експериментальних даних польових досліджень та росту й розвитку озимих олійних капустяних культур. Найліпші показники температурного режиму, забезпеченості вологою тощо відзначено впродовж вегетаційного періоду 2020/21 рр., найгірші – у 2018/19 рр. Загалом же варто зауважити, що зафіксовані зміни погодних умов дали змогу якнайповніше виявити вплив обраних агротехнічних чинників на ріст і розвиток рослин досліджуваних культур.

Елементи технології вирощування озимих олійних культур родини *Brassicaceae* досліджували за такою схемою:

Культура	Удобрення	Ширина міжрядь, см
Суріпиця озима 'Оріана'	Контроль (без добрив)	15
Ріпак озимий 'Мерседес'	Контроль (без добрив)	15
Тифон 'Оракам'	Контроль (без добрив)	15
		30
		45
	$\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	15
		30
		45
	$\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$	15
		30
		45

Площа елементарної ділянки в досліді становила 35 м<sup>2</sup>, облікової – 25 м<sup>2</sup>, повторність – триразова.

Технологія вирощування озимих капустияних культур у польовому досліді є загальноприйнятою для правобережної частини Лісостепу України, окрім досліджуваних елементів. Фосфорно-калійні добрива вносили восени, до сівби культури. Азотні добрива застосовували як восени в міжряддя під час сівби (N<sub>20</sub>), так і весною: ранньовесняне підживлення сульфатом амонію (40–60 кг/га д. р.) та через три тижні карбамідом (20–40 кг/га д. р.).

Досліди проводили відповідно до загальноновизнаних методик дослідної справи в агрономії, а також інших спеціальних методик [11–13].

Параметри екологічної стабільності та пластичності показників продуктивності озимих капустияних культур розраховували згідно з методикою Ебергарда – Рассела [14] за допомогою пакету прикладних програм PTC Mathcad Prime 3.1.

### Результати досліджень

Основні результати оцінювання стабільності та пластичності показників урожайності насіння та виходу з енергії наземної біомаси озимих капустияних культур залежно від досліджуваних елементів технології їх вирощування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Стабільність (b) та пластичність (W) урожайності насіння та виходу енергії з наземної біомаси культур родини *Brassicaciae***

Культура	Удобрення	Ширина міжрядь	Урожайність насіння		Вихід енергії з біомаси	
			b	W	b	W
Суріпиця озима 'Оріана'	Контроль (без добрив)	15	0,95	1,37 × 10 <sup>4</sup>	1,16	7,11 × 10 <sup>6</sup>
Ріпак озимий 'Мерседес'	Контроль (без добрив)	15	0,91	1,25 × 10 <sup>4</sup>	0,84	6,85 × 10 <sup>6</sup>
Тифон 'Оракам'	Контроль (без добрив)	15	0,79	1,28 × 10 <sup>4</sup>	0,81	6,85 × 10 <sup>6</sup>
		30	0,70	1,29 × 10 <sup>4</sup>	0,68	6,96 × 10 <sup>6</sup>
		45	0,55	1,33 × 10 <sup>4</sup>	0,55	7,15 × 10 <sup>6</sup>
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	15	1,33	1,24 × 10 <sup>4</sup>	1,32	6,67 × 10 <sup>6</sup>
		30	1,19	1,27 × 10 <sup>4</sup>	1,16	6,81 × 10 <sup>6</sup>
		45	1,05	1,29 × 10 <sup>4</sup>	1,06	6,96 × 10 <sup>6</sup>
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	15	1,23	1,26 × 10 <sup>4</sup>	1,21	6,80 × 10 <sup>6</sup>
		30	1,25	1,27 × 10 <sup>4</sup>	1,22	6,85 × 10 <sup>6</sup>
		45	1,03	1,31 × 10 <sup>4</sup>	0,97	7,00 × 10 <sup>6</sup>

Найнижчі показники стабільності як урожайності насіння (0,55–0,79), так і виходу енергії з біомаси (0,55–0,81) відзначено у варіантах без застосування добрив, тоді як за внесення N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> вони були майже вдвічі вищими (1,03–1,33 та 0,97–1,32 відповідно). При цьому в межах усіх трьох фонів удобрення спостерігалась чітка тенденція до зниження стабільності продуктивності культури зі збільшенням ширини міжрядь. Зокрема, найвищий у досліді коефіцієнт стабільності врожайності насіння – 1,33 отримано на фоні N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> за ширини міжрядь 15 см, водночас зі збільшенням міжрядь до 30 і 45 см він знижувався до 1,19 та 1,05 відповідно.

Якщо ж аналізувати стабільність формування врожайності насіння та виходу енергії з біомаси загалом, то найвищі її показники було отримано передусім за вирощування тифону у варіантах внесення N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> за ширини міжрядь 15 і 30 см.

Щодо параметрів пластичності продуктивності досліджуваних культур, то вони були приблизно на одному рівні в усіх варіантах досліді.

Додатково проведемо комплексне оцінювання екологічної характеристики умов формування врожайності насіння та виходу енергії з наземної маси досліджуваних капустияних культур (табл. 2).

Таблиця 2

**Екологічна характеристика умов формування врожайності насіння та виходу енергії з наземної біомаси культур родини *Brassicaciae***

Культура	Удобрення	Ширина міжрядь	Урожайність насіння	Вихід енергії з біомаси
Суріпиця озима 'Оріана'	Контроль (без добрив)	15	низька пластичність	висока пластичність
Ріпак озимий 'Мерседес'	Контроль (без добрив)	15	низька пластичність, ліміт чинників	низька пластичність
Тифон 'Оракам'	Контроль (без добрив)	15	низька пластичність, ліміт чинників	низька пластичність
		30	низька пластичність	низька пластичність
		45	низька пластичність	низька пластичність
	N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	15	висока пластичність, інтенсивні умови	висока пластичність, інтенсивні умови
		30	висока пластичність, інтенсивні умови	висока пластичність, інтенсивні умови
		45	висока пластичність	висока пластичність
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	15	висока пластичність, інтенсивні умови	висока пластичність, інтенсивні умови
		30	висока пластичність, інтенсивні умови	висока пластичність, інтенсивні умови
		45	висока пластичність	низька пластичність

Якщо аналізувати показники врожайності насіння тифону 'Оракам' комплексно, то найліпші умови для їх формування забезпечувались у варіантах вирощування культури із шириною міжрядь 15 та 30 см на фоні внесення мінеральних добрив у нормі N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. У такому разі формування врожаю насіння відбувалося з високим рівнем пластичності, а загалом умови вирощування відповідали інтенсивним, що сприяло добрій реалізації рослинами біологічного потенціалу та ефективному використанню елементів технології, зокрема удобрення.

Щодо виходу енергії з отриманої біомаси, якщо розглядати його як інтегральну ознаку формування високого рівня врожайності біомаси для перероблення на біоенергетичні цілі, то найоптимальніші умови для росту й розвитку рослин тифону 'Оракам' також відзначено у варіантах з міжряддями завширшки 15 і 30 см та внесенням N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. За такого поєднання елементів агротехнології накопичення біомаси та загальний вихід енергії з неї відповідав високому рівню пластичності, а умови вирощування – інтенсивним.

### Висновки

Найліпші умови для формування високої врожайності насіння та загального виходу енергії з біомаси тифону 'Оракам' забезпечувались у варіантах його вирощування із шириною міжрядь 15 та 30 см на фоні внесення мінеральних добрив у нормі N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> та N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. У такому разі формування продуктивності культури відбувалось з високим рівнем пластичності, а загалом умови вирощування відповідали інтенсивним, що сприяло повнішій реалізації рослинами біологічного потенціалу та ефективному використанню ними елементів технології, зокрема удобрення.

**Використана література**

1. Agrawal A. A. Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. *Science*. 2001. Vol. 294, Iss. 5541. P. 321–326. doi: 10.1126/science.1060701
2. Bloomfield J. A., Rose T. J., King G. J. Sustainable harvest: managing plasticity for resilient crops. *Plant Biotechnology Journal*. 2014. Vol. 12, Iss. 5. P. 517–533. doi: 10.1111/pbi.12198
3. Des Marais D. L., Hernandez K. M., Juenger T. E. Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2013. Vol. 44, Iss. 1. P. 5–29. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110512-135806
4. Hughes K. A., Burleson M. H., Rodd F. H. Is phenotypic plasticity adaptive? *Biodemography of Fertility* / J. L. Rodgers, H. C. Kohler (Eds.). Boston, MA : Springer, 2002. P. 23–42. doi: 10.1007/978-1-4615-1137-3\_2
5. Ndiaye M., Adam M., Ganyo K. K. et al. Genotype-environment interaction: trade-offs between the agronomic performance and stability of dual-purpose sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes in Senegal. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, Iss. 12. Article 867. doi: 10.3390/agronomy9120867
6. Negin B., Moshelion M. The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops. *Functional Plant Biology*. 2016. Vol. 44, Iss. 1. P. 107–118. doi: 10.1071/FP16156
7. Palmer A. R. Developmental plasticity and the origin of novel forms: unveiling cryptic genetic variation via “Use and Disuse”. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*. 2012. Vol. 318, Iss. 6. P. 466–479. doi: 10.1002/jez.b.21447
8. Schlichting C. D. Phenotypic plasticity in plants. *Plant Species Biology*. 2002. Vol. 17, Iss. 2–3. P. 85–88. doi: 10.1046/j.1442-1984.2002.00083.x
9. Sultan S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*. 2000. Vol. 5, Iss. 12. P. 537–542. doi: 10.1016/s1360-1385(00)01797-0
10. Роїк М. В., Присяжнюк О. І., Коровко І. І., Дячинська О. М. Параметри екологічної пластичності та стабільності гібридів вітчизняної селекції буряків цукрових. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Вип. 7, Т. 2. С. 25–32.
11. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
12. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
13. Рахметов Д. Б., Рахметова С. О., Ліщук Н. В. Методика проведення експертизи сортів тифона (*Brassica campestris* var. *oleifera* f. *biennis* D.C. × *B. rapa* L.) на відмінність, однорідність і стабільність. *Офіційний бюлетень. Державна служба з охорони на сорти рослин*. Київ : Алефа, 2000. Вип. 2, ч. 2. С. 210–221.
14. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6, Iss. 1. P. 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

**References**

1. Agrawal, A. A. (2001). Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. *Science*, 294(5541), 321–326. doi: 10.1126/science.1060701
2. Bloomfield, J. A., Rose, T. J., & King, G. J. (2014). Sustainable harvest: managing plasticity for resilient crops. *Plant Biotechnology Journal*, 12(5), 517–533. doi: 10.1111/pbi.12198
3. Des Marais, D. L., Hernandez, K. M., & Juenger, T. E. (2013). Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44(1), 5–29. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110512-135806

4. Hughes, K. A., Burleson, M. H., & Rodd, F. H. (2003). Is Phenotypic Plasticity Adaptive? In J. L. Rodgers, & H. P. Kohler (Eds.), *The Biodemography of Human Reproduction and Fertility*. Boston, MA: Springer. doi: 10.1007/978-1-4615-1137-3\_2
5. Ndiaye, M., Adam, M., Ganyo, K. K., Guissé, A., Cissé, N., & Muller, B. (2019). Genotype-environment interaction: trade-offs between the agronomic performance and stability of dual-purpose sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes in Senegal. *Agronomy*, 9(12), Article 867. doi: 10.3390/agronomy9120867
6. Negin, B., & Moshelion, M. (2016). The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops. *Functional Plant Biology*, 44(1), 107–118. doi: 10.1071/FP16156
7. Palmer, A. R. (2012). Developmental plasticity and the origin of novel forms: unveiling cryptic genetic variation via “Use and Disuse”. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 318(6), 466–479. doi: 10.1002/jez.b.21447
8. Schlichting, C. D. (2002). Phenotypic plasticity in plants. *Plant Species Biology*, 17(2–3), 85–88. doi: 10.1046/j.1442-1984.2002.00083.x
9. Rakhmetov, D. B., Rakhmetova, S. O., & Lishchuk, N.V. (2008). Methods of examination cultivars tyfon (*Brassica campestris* var. *oleifera* f. *biennis* D.C. × *B. rapa* L.) the difference, uniformity and stability. *Official bulletin. State Service for the Protection of Plant Varieties* (Vol. 2, Part. 22, pp. 210–221). Kyiv: Alefa. [In Ukrainian]
10. Sultan, S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 5(12), 537–542. doi: 10.1016/s1360-1385(00)01797-0
11. Roik, M. V., Prysiazniuk, O. I., Korovko, I. I., & Diachynska, O. M. (2017). Parameters of ecological plasticity and stability of hybrids of domestic selection of sugar beets. *Agriculture and Forestry*, 7(2), 25–32. [In Ukrainian]
12. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
13. Prysiazniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
14. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 633.85:57:502

**Tsaruk, I. V.\***, & **Rakhmetov, D. B.** (2022). Ecological plasticity and stability of cabbage crop productivity as affected by method of sowing. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 105–111. [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, \*e-mail: illik\_94@ukr.net*

**Purpose.** To establish the peculiarities of the formation of ecological plasticity and productivity stability of winter cabbage crops as affected by the components of agricultural technology, specifically the width of the rows and the application rates of mineral fertilizers. **Methods.** The research was carried out in the years 2018–2021 in the Chernihiv region at the Nizhyn Agricultural Technical Institute of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine). Conventional methods were used in the research. The field experiment design provided for the cultivation of typhoon variety ‘Orakam’ under different methods of sowing (width between rows of 15, 30 and 45 cm) and rates of mineral fertilizers (without fertilizers, N<sub>80</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> and N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>). Parameters of ecological stability (b) and plasticity (W) of seed yield and energy yield from biomass were calculated according to the Eberhard-Russell method using the Mathcad Prime 3.1 software. **Results.** The lowest stability of both seed yield (0.55–0.79) and energy yield from biomass (0.55–0.81) was noted in the treatments without



fertilizers, while with  $N_{80}P_{60}K_{60}$  and  $N_{120}P_{90}K_{90}$  it was almost twice as high (1.03–1.33 and 0.97–1.32, respectively). At the same time, within all three fertilization backgrounds, a clear tendency of decreasing crop productivity stability along with increasing row width was observed. In particular, the highest coefficient of stability of seed yield in the experiment (1.33) was obtained on the background of  $N_{80}P_{60}K_{60}$  at a row spacing of 15 cm, at the same time as the row spacing increased to 30 and 45 cm, it decreased to 1.19 and 1.05, respectively. As for the plasticity parameters of the productive indicators, they were approximately at the same level in all treatments. **Conclusions.** The best conditions for the formation of high seed yield and total energy yield from the biomass of typhoon variety ‘Orakam’ were provided at a row width of 15 and 30 cm and the application of mineral fertilizers  $N_{80}P_{60}K_{60}$  and  $N_{120}P_{90}K_{90}$ . In this case, the formation of crop productivity demonstrated a high level of plasticity. In general, intensive cultivation conditions contributed to the full realization of the crop biological potential and effective utilization of fertilizers.

**Keywords:** typhon; row width; fertilizer; productivity stability; yield formation plasticity.

*Надійшла / Received 03.08.2022*

*Погоджено до друку / Accepted 18.08.2022*

# ПЕРЕРОБКА ТА ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

УДК 577.112+664.34:633.2:631.526.3

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268938>

## Азотовмісний складник та жирнокислотний склад насіння різних сортів амаранту

**В. В. Любич<sup>1\*</sup>, Л. М. Кононенко<sup>1</sup>, Н. М. Полторецька<sup>1</sup>, В. І. Войтовська<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уманський національний університет садівництва, вул. Інститутська, 1, м. Умань, 20300, Україна, \*e-mail: LyubichV@gmail.com

<sup>2</sup>Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

**Мета.** Установити особливості формування азотовмісної складової та жирнокислотний склад насіння амаранту залежно від сорту. **Методи.** Лабораторні – визначення вмісту білка, амінокислот, жирних кислот, вуглеводів, розрахунковий – інтегральний скор, математично-статистичний. **Результати.** Проведені дослідження свідчать, що насіння амаранту формувало високий вміст білка – 16,1–24,7 %. При цьому цей показник достовірно змінювався залежно від сорту культури. Так, істотно вищий вміст білка порівняно з іншими сортами отримано за вирощування сорту амаранту ‘Харківський 1’ – 24,7 %. Найнижчий вміст білка отримано за вирощування сорту ‘Геліос’ – 16,1 %. Встановлено, що в складі незамінних амінокислот у насінні амаранту найбільше містилось фенілаланіну – 981–1155 мг/100 г залежно від сорту. Вміст триптофану був найнижчим – 155–206 мг/100 г. Найвищий вміст амінокислот отримано за вирощування сорту амаранту ‘Харківський 1’. Насіння цього сорту перевищувало насіння сорту ‘Геліос’ за вмістом треоніну, триптофану та ізолейцину на 30–33 %, за вмістом фенілаланіну, метіоніну та лізину – на 17–20, а валіну та лейцину – на 11 %. Крім цього, інтегральний скор для насіння цього сорту був також найвищим. Найвищий інтегральний скор отримано для метіоніну – 33,0–38,9 %, для ізолейцину – 23,1–30,7, триптофану, лізину, фенілаланіну – 19,4–26,3, лейцину та лізину – 16,6–26,3 % залежно від сорту амаранту. Основною жирною кислотою в насінні амаранту є лінолева, вміст якої істотно змінювався залежно від сорту – 2,03–2,95 г/100 г насіння. Частка ліноленої кислоти у насінні була від 43,2 до 55,5 %. Вміст олеїнової кислоти змінювався від 1,60 до 1,33 %, частка якої була 23,5–34,0 %. Найменшим був вміст ліноленої кислоти – 0,01–0,03 г/100 г, а частка становила 0,2–0,6 % від суми жирних кислот. **Висновки.** У насінні амаранту частка вуглеводів найвища – 63,1–68,2 % залежно від сорту. Вміст білка змінюється від 16,1 до 24,7 %. Із незамінних амінокислот вміст фенілаланіну найвищий – 985–1155 мг/100 г насіння залежно від сорту. Інтегральний скор насіння амаранту для амінокислот розміщується від нижчого до вищого у такому порядку: лейцин, лізин, треонін, триптофан, валін, фенілаланін, ізолейцин, метіонін. Вміст жирних кислот відповідно: ліноленова, стеаринова, пальмітинова, олеїнова та лінолева. За показниками азотовмісної складової та вмісту жирних кислот насіння сорту ‘Харківський 1’ перевищує інші досліджені сорти амаранту.

**Ключові слова:** амарант; вміст білка; вміст амінокислот; вміст жирних кислот; інтегральний скор.

## Вступ

Зростаюча чисельність населення планети вимагає більшого та ефективнішого використання рослинних ресурсів, які мають високу якість. З цього погляду насіння амаранту є сировиною, що забезпечує високу харчову цінність [1]. Родина *Amaranthaceae* включає 70 видів [2]. Види *Amaranthus hypochondriacus* L., *A. cruentus* L. і *A. caudatus* L. вирощуються для отримання насіння [3]. Доведено, що для визначення біологічної цінності зерна необхідно вивчати біохімічний його склад. Крім цього, такі результати важливі під час застосування насіння в технології харчових продуктів [4]. Насіння амаранту містить олію, вільні жирні кислоти, білки, пептиди, вільні амінокислоти, сквален, токофероли, токотриеноли, стерини, вуглеводи, харчові волокна та інші складові [5]. Його можна застосовувати у технології хліба та кондитерських виробів. Встановлено, що добавляння 20 % насіння або борошна з амаранту не змінює реологічних властивостей готового продукту. Оскільки в амаранті міститься високий вміст крохмалю, з них можна виготовляти міцні алкогольні напої та пиво [6]. При цьому біохімічна складова насіння значно змінюється залежно від сорту амаранту.

Аналіз якості зерна амаранту показав, що вологість насіння може змінюватись від 10,7 до 12,2 %, а вміст золи – від 4,4 до 8,7 % залежно від його сорту. Елементний аналіз підтвердив, що кальцію, заліза та магнію у насінні містилось мало. Науковці відзначають, що зміни біохімічної складової залежно від сорту були достовірними [7]. Проте в роботі вивчалось питання біохімічної складової листків різних сортів амаранту.

Загальний вміст вуглеводів у зерні амаранту нижчий, ніж у пшениці. Вміст крохмалю є основним вуглеводним компонентом, що становить 48–69 % сухої речовини зерна залежно від сорту. Зберігається у вигляді надзвичайно дрібних гранул крохмалю розміром від 0,8 до 2,5 мкм, найчастіше однакового розміру, сферичної, кутасто-багатокутної форми [8]. Вміст харчових волокон у зерні амаранту подібний до кіноа та злакових культур – близько 20 % сухої речовини зерна [9]. За даними інших авторів [10, 11], вміст загальних харчових волокон, розчинних і нерозчинних, становить від 9,8 до 14,5 % залежно від сорту.

Вважається, що амінокислотний склад білка амаранту близький до ідеального білка. Всі сорти амаранту характеризуються високим вмістом білка, який становить від 13 до 18 % залежно від сорту [12]. На відміну від зернових, білки амаранту складаються з альбумінів (близько 40 %), глютенінів (25–30 %) і глобулінів (20 %), а також містять дуже невелику кількість проламінів (2–3 %) [13].

Ліпіди амаранту характеризуються високим вмістом ненасичених жирних кислот з особливо високим вмістом лінолевої кислоти. Лінолева кислота становить понад 50 % від загальної кількості жирних кислот. За часткою жирних кислот міститься олеїнова (більше 25%), пальмітинова (близько 20 %) і ліноленова (близько 1 %). Загальна ненасиченість ліпідів амаранту перевищує 75 % [14]. Слід відзначити, що проаналізовані дослідження стосуються ґрунтово-кліматичних умов, які відрізняються від Правобережного Лісостепу. Крім цього, аналізувалось зерно сортів амаранту, селекційно-генетичні особливості яких відрізняються від вітчизняних. Результати хімічного складу зерна амаранту важливі для визначення його біологічної цінності. Тому за однакових умов вирощування вивчення біохімічного складу насіння різних сортів амаранту вважається важливим з точки зору застосування в технології харчових продуктів.

**Мета досліджень** – установити особливості формування азотовмісної складової та жирнокислотний склад насіння амаранту залежно від сорту.

## Матеріали та методика досліджень

Експериментальну частину роботи щодо вирощування різних сортів амаранту виконано в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків упродовж 2021–2022 рр. У досліді після пшениці озимої вирощували сорти амаранту ‘Ацтек’, ‘Геліос’, ‘Лера’ та ‘Харківський 1’.

Вміст жирних кислот визначали методом рідинної хроматографії на аналізаторі Хромос-301. Вміст білка – методом К’ельдаля, вміст амінокислот – методом іонообмінної

рідинної хроматографії на аналізаторі амінокислот Т-339, вуглеводів – за допомогою цукроміра. Інтегральний скор – за такою формулою:

$$I = \frac{\Phi}{D} \times 100,$$

де  $I$  – інтегральний скор, %;  $\Phi$  – фактичний вміст складника, мг/100 г;  $D$  – добова потреба складника організмом здорової людини, мг. Добова потреба організму дорослої людини триптофану становить 0,8 г, треоніну – 2,4, ізолейцину – 2,0, валіну – 2,5, метіоніну – 1,8, лізину – 4,1, лейцину – 4,6, фенілаланіну – 4,4 г.

Повторення досліду триразове. Статистичну обробку даних проводили дисперсійним аналізом. Дисперсійним аналізом підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення «р», який показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли  $p < 0.05$  «нульова гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним [15].

### Результати досліджень

Проведені дослідження свідчать, що насіння амаранту формувало високий вміст білка – 16,1–24,7 % (рис. 1). При цьому цей показник достовірно змінювався залежно від сорту культури. Так, істотно вищий вміст білка отримано за вирощування сорту амаранту ‘Харківський 1’ – 24,7 % порівняно з іншими сортами. Найнижчий вміст білка отримано за вирощування сорту ‘Геліос’ – 16,1 %.

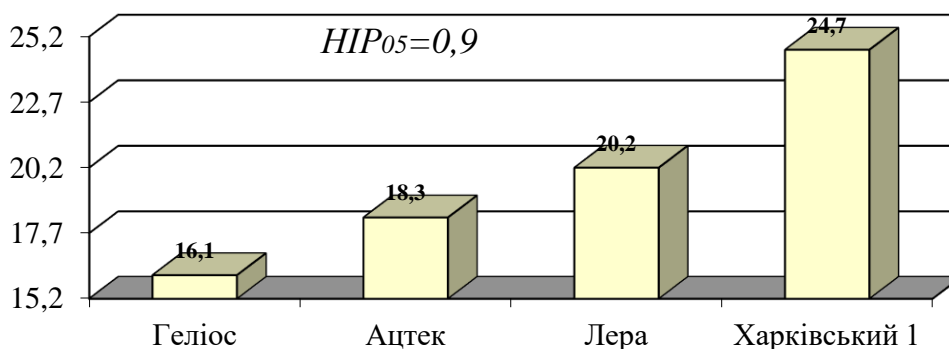


Рис. 1. Вміст білка в насінні різних сортів амаранту, % (2021–2022 рр.)

Дослідження свідчать, що вміст вуглеводів у насінні амаранту був найвищим. Так, цей показник у насінні амаранту змінювався від 63,1 до 68,2 % залежно від сорту (рис. 2). При цьому достовірно вищий вміст вуглеводів формували лише сорт ‘Харківський 1’ – 68,2 %. Вміст вуглеводів у насінні решти сортів амаранту був істотно нижчим порівняно з сортом ‘Харківський 1’ – 63,1–65,7 %.

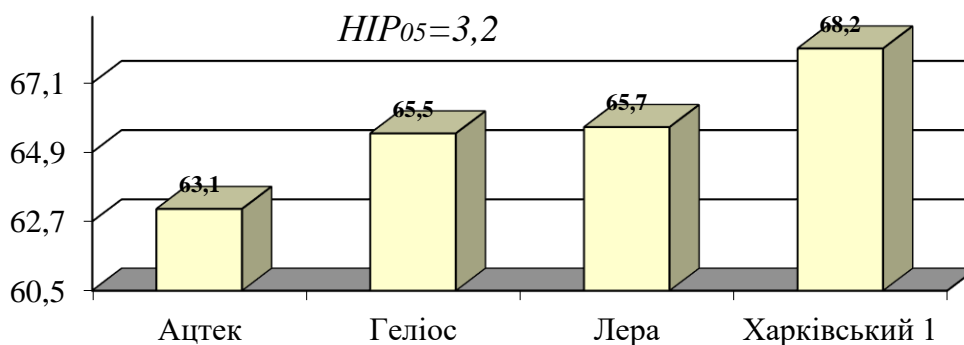


Рис. 2. Вміст вуглеводів у насінні різних сортів амаранту, % (2021–2022 рр.)

Встановлено, що в складі незамінних амінокислот у насінні амаранту найбільше містилось фенілаланіну – 981–1155 мг/100 г залежно від сорту (табл. 1). Вміст триптофану був найнижчим – 155–206 мг/100 г. Найвищий вміст амінокислот отримано за вирощування сорту амаранту ‘Харківський 1’. Насіння цього сорту перевищувало насіння сорту ‘Геліос’ за вмістом треоніну, триптофану та ізолейцину на 30–33 %, за вмістом фенілаланіну, метіоніну та лізину – на 17–20, а валіну та лейцину – на 11 %. Крім цього, інтегральний скор для насіння цього сорту був також найвищим.

Найвищий інтегральний скор отримано для метіоніну – 33,0–38,9 %, для ізолейцину – 23,1–30,7, триптофану, лізину, фенілаланіну – 19,4–26,3, лейцину та лізину – 16,6–26,3 % залежно від сорту амаранту.

Таблиця 1

**Вміст амінокислот та інтегральний скор у насінні різних сортів амаранту (2021–2022 рр.)**

Амінокислота	Сорт							
	‘Геліос’		‘Харківський 1’		‘Лера’		‘Ацтек’	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Триптофан	155	19,4	206	25,8	171	21,4	166	20,8
Треонін	403	16,8	524	21,8	475	19,8	495	20,6
Ізолейцин	461	23,1	613	30,7	562	28,1	522	26,1
Валін	592	23,7	657	26,3	696	27,8	667	26,7
Метіонін	594	33,0	701	38,9	669	37,2	627	34,8
Лізін	722	17,6	869	21,2	804	19,6	766	18,7
Лейцин	763	16,6	847	18,4	785	17,1	734	16,0
Фенілаланін	985	22,4	1155	26,3	1077	24,5	981	22,3

**Примітка.** 1 – вміст амінокислоти, мг/100 г насіння; 2 – інтегральний скор, %.

Вміст суми досліджених жирних кислот змінювався від 4,70 до 5,50 г/100 г насіння амаранту (табл. 2). Основною жирною кислотою в насінні амаранту є лінолева, вміст якої істотно змінювався залежно від сорту – 2,03–2,95 г/100 г насіння. Частка лінолевої кислоти у насінні амаранту була від 43,2 до 55,5 %.

Вміст олеїнової кислоти змінювався від 1,60 до 1,33 %, частка якої була 23,5–34,0 %. Найменшим був вміст ліноленої кислоти – 0,01–0,03 г/100 г, а частка становила 0,2–0,6 % від суми жирних кислот. За вмістом жирних кислот у насінні сорт Харківський 1 достовірно перевищував інші досліджені культивари амаранту.

Таблиця 2

**Вміст жирних кислот у насінні різних сортів амаранту (2021–2022 рр.)**

Жирна кислота	Сорт							
	‘Геліос’		‘Харківський 1’		‘Лера’		‘Ацтек’	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ліноленова (18:3)	0,03	0,6	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2
Стеаринова (18:0)	0,11	2,3	0,12	2,2	0,12	2,3	0,11	2,1
Пальмітинова (16:0)	0,93	19,8	1,09	19,8	1,05	19,7	0,96	18,6
Олеїнова (18:1)	1,60	34,0	1,33	24,2	1,72	32,3	1,21	23,5
Лінолева (18:2)	2,03	43,2	2,95	53,6	2,42	45,5	2,86	55,5
Σ	4,70		5,50		5,32		5,15	

**Примітка.** 1 – вміст жирної кислоти, г/100 г насіння; 2 – частка жирної кислоти від їх суми, %.



## Висновки

У насінні амаранту частка вуглеводів найвища – 63,1–68,2 % залежно від сорту. Вміст білка змінюється від 16,1 до 24,7 %. Із незамінних амінокислот вміст фенілаланіну найвищий – 985–1155 мг/100 г насіння залежно від сорту. Інтегральний скор насіння амаранту для амінокислот розміщується від нижчого до вищого у такому порядку: лейцин, лізин, треонін, триптофан, валін, фенілаланін, ізoleyцин, метіонін. Вміст жирних кислот відповідно: ліноленова, стеаринова, пальмітинова, олейнова та лінолева. За показниками азотовмісної складової та вмісту жирних кислот насіння сорту ‘Харківський 1’ перевищує інші досліджені сорти амаранту.

## Використана література

1. Hlinková A., Bednářová A., Havrlentová M. et al. Evaluation of fatty acid composition among selected amaranth grains grown in two consecutive years. *Biologia*. 2013. Vol. 68, Iss. 4. P. 641–650. doi: 10.2478/s11756-013-0190-6
2. Manyelo T. G., Sebola N. A., Hassan Z. M. et al. Chemical Composition and Metabolomic Analysis of *Amaranthus cruentus* Grains Harvested at Different Stages. *Molecules*. 2022. Vol. 27, Iss. 3. Article 623. doi: 10.3390/molecules27030623
3. Wolosik K., Markowska A. *Amaranthus cruentus* taxonomy, botanical description, and review of its seed chemical composition. *Natural Product Communications*. 2019. Vol. 14, Iss. 5. Article 1934578X1984414. doi: 10.1177/1934578X19844141
4. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
5. Nasirpour-Tabrizi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J., Piravi-Vanak Z. Amaranth Seed Oil Composition. *Nutritional Value of Amaranth* / V. Y. Waisundara (Ed.). Intech Open, 2020. doi: 10.5772/intechopen.91381
6. Pastor K., Acanski M. The chemistry behind amaranth grains. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2018. Vol. 8, Iss. 5. P. 358–360. doi: 10.15406/jnhfe.2018.08.00295
7. Olimjonov S. S., Ziyavitdinov J. F., Bozorov S. S. et al. Comparative chemical composition of seeds of amaranth varieties introduced in Uzbekistan. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2020. Vol. 19, Iss. 1. P. 61–69. doi: 10.36547/nbc.v19i1.578
8. Tang Y., Tsao R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2017. Vol. 61, Iss. 7. Article 1600767. doi: 10.1021/acs.jafc.5b05414
9. Martínez-Núñez M., Ruiz-Rivas M., Vera-Hernández P. F. et al. The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany*. 2019. Vol. 124. P. 436–443. doi: 10.1016/j.sajb.2019.05.035
10. Sagdiev N. J., Ziyavitdinov J. F., Berdiev N. S. et al. Low abundant bovine colostrum proteins in combination with amaranth oil reveal topical analgesic activity. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2022. Vol. 21, No. 1. Article e1246. doi: 10.36547/nbc.1246
11. Bozorov S. S., Berdiev N. S., Ishimov U. J. et al. Chemical composition and biological activity of seed oil of amaranth varieties. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2018. Vol. 17, Iss. 1. P. 66–73. doi: 10.2478/nbec-2018-0007
12. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., Lindsey L. E. Early Wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2019. Vol. 5, Iss. 1. Article 190001. doi: 10.2134/cftm2019.01.0001
13. Szabóová M., Záhorský M., Gažo J. et al. Differences in Seed Weight, Amino Acid, Fatty Acid, Oil, and Squalene Content in  $\gamma$ -Irradiation-Developed and Commercial Amaranth Varieties (*Amaranthus* spp.). *Plants*. 2020. Vol. 9, Iss. 11. Article 1412. doi: 10.3390/plants9111412
14. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, Iss. 4. Article 2181. doi: 10.3390/app12042181
15. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В. О. Єщенко. Вінниця : ТД Едельвейс і К, 2014. 332 с.

## References

1. Hlinková, A., Bednárová, A., Havrlentová, M., Šupová, J., & Cicová, I. (2013). Evaluation of fatty acid composition among selected amaranth grains grown in two consecutive years. *Biologia*, 68(4), 641–650. doi: 10.2478/s11756-013-0190-6
2. Manyelo, T. G., Sebola, N. A., Hassan, Z. M., Ng'ambi, J. W., Weeks, W. J., & Mabelebele, M. (2022). Chemical Composition and Metabolomic Analysis of *Amaranthus cruentus* Grains Harvested at Different Stages. *Molecules*, 27(3), Article 623. doi: 10.3390/molecules27030623
3. Wolosik, K., & Markowska, A. (2019). *Amaranthus Cruentus* Taxonomy, Botanical Description, and Review of its Seed Chemical Composition. *Natural Product Communications*, 14(5), Article 1934578X1984414. doi: 10.1177/1934578X19844141
4. Liubych, V. V. (2016). Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain. *Bulletin of Uman NUH*, 89, 199–206. [In Ukrainian]
5. Nasirpour-Tabrizi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J., & Piravi-Vanak Z. (2020). Amaranth Seed Oil Composition. In V. Y. Waisundara (Ed.), *Nutritional Value of Amaranth*. Intech Open. doi: 10.5772/intechopen.91381
6. Pastor, K., & Acanski, M. (2018). The chemistry behind amaranth grains. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(5), 358–360. doi: 10.15406/jnhfe.2018.08.00295
7. Olimjonov, S. S., Ziyavitdinov, J. F., Bozorov, S. S., Ishimov, U. J., Berdiev, N. Sh., Abrekova, N. N., Muminov, M. M., & Asrorov, A. M. (2020). Comparative chemical composition of seeds of amaranth varieties introduced in Uzbekistan. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 19(1), 61–69. doi: 10.36547/nbc.v19i1.578
8. Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7), Article 1600767. doi: 10.1021/acs.jafc.5b05414
9. Martínez-Núñez, M., Ruiz-Rivas, M., Vera-Hernández, P. F., Bernal-Muñoz, R., Luna-Suárez, S., & Rosas-Cárdenas, F. F. (2019). The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany*, 124, 436–443. doi: 10.1016/j.sajb.2019.05.035
10. Sagdiev, N. J., Ziyavitdinov, J. F., Berdiev, N. S., Bozorov, S. S., Khudoyberdiev, T. A., Olimjonov, S. S., Vypova, N. L., & Asrorov, A. M. (2022). Low abundant bovine colostrum proteins in combination with amaranth oil reveal topical analgesic activity. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 21(1), Article e1246. doi: 10.36547/nbc.1246
11. Bozorov, S. S., Berdiev, N. Sh., Ishimov, U. J., Olimjonov, Sh. S., Ziyavitdinov, J. F., Asrorov, A. M., & Salikhov, Sh. I. (2018). Chemical composition and biological activity of seed oil of amaranth varieties. *Nova Biotechnologica Et Chimica*, 17(1), 66–73. doi: 10.2478/nbec-2018-0007
12. Alt D. S., Paul P. A., Lindsey A. J., & Lindsey L. E. (2019). Early Wheat harvest influenced grain quality and profit but not yield. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 5(1), Article 190001. doi: 10.2134/cftm2019.01.0001
13. Szabóová, M., Záhorský, M., Gažo, J., Geuens, J., Vermoesen, A., D'Hondt, E., & Hricová, A. (2020). Differences in Seed Weight, Amino Acid, Fatty Acid, Oil, and Squalene Content in  $\gamma$ -Irradiation-Developed and Commercial Amaranth Varieties (*Amaranthus* spp.). *Plants*, 9(11), Article 1412. doi: 10.3390/plants9111412
14. Procopet, O., & Oroian, M. (2022). Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. *Applied Sciences*, 12(4), Article 2181. doi: 10.3390/app12042181
15. Yeshchenko, V. O. (Ed.). (2014). *Fundamentals of scientific research in agronomy*. Vinnitsia: TD Edelweis i K. [In Ukrainian]

UDC 577.112+664.34:633.2:631.526.3

**Liubych, V. V.<sup>1\*</sup>, Kononenko, L. M.<sup>1</sup>, Poltoretska, N. M.<sup>1</sup>, & Voitovska, V. I.<sup>2</sup>** (2022). Nitrogen compounds and fatty acid composition in seeds of amaranth varieties. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 30, 112–118. [In Ukrainian]

<sup>1</sup>Uman National University of Horticulture, 1 Instytutska St., Uman, Cherkasy region, 20305, Ukraine, \*e-mail: LyubichV@gmail.com

<sup>2</sup>Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

**Purpose.** To determine the peculiarities of the formation of the nitrogen component and the fatty acid composition in amaranth seeds of different varieties. **Methods.** Laboratory (determination of the content of protein, amino acids, fatty acids, carbohydrates), calculation (integral score), mathematical and statistical. **Results.** The conducted studies show that amaranth seeds had a high protein content amounting to 16.1–24.7%. At the same time, it varied significantly over the studied varieties. Thus, significantly higher protein content was in amaranth variety ‘Kharkivskiy 1’ (24.7%) compared to other varieties. The lowest protein content was in ‘Helios’ variety (16.1%). It was found that phenylalanine dominates among essential amino acids in amaranth seeds, with the content ranging in the studied varieties between 981 and 1155 mg/100. The content of tryptophan was the lowest, 155–206 mg/100 g. The highest content of amino acids was determined in variety ‘Kharkivskiy 1’. The seeds of this variety exceeded the seeds of the ‘Helios’ variety by 30–33% in terms of the content of threonine, tryptophan, and isoleucine, by 17–20% of phenylalanine, methionine, and lysine, and by 11% of valine and leucine. In addition, the integral score for the seeds of this variety was also the highest. The highest integral score in the studied varieties was determined for methionine – 33.0–38.9%, for isoleucine – 23.1–30.7, tryptophan, lysine, phenylalanine – 19.4–26.3, leucine and lysine – 16.6–26.3%. The major fatty acid in amaranth seeds is linoleic, the content of which in the seeds of the studied varieties varied significantly, from 2.03 to 2.95 g/100 g. The share of linolenic acid in the seeds ranged from 43.2 to 55.5%. The content of oleic acid varied from 1.60 to 1.33%, with the share of this acid being equal to 23.5–34.0%. The content of linolenic acid was the lowest, 0.01–0.03 g/100 g, with a share of 0.2–0.6% of the total fatty acids. **Conclusions.** Amaranth seeds have the highest percentage of carbohydrates that reach 63.1–68.2% in the studied varieties. The protein content varies from 16.1 to 24.7%. Among essential amino acids, the content of phenylalanine in seeds of the studied varieties was the highest, 985–1155 mg/100 g. The integral score of amaranth seeds for amino acids varied from lowest to highest in the following order: leucine, lysine, threonine, tryptophan, valine, phenylalanine, isoleucine and methionine. The content of fatty acids, varied, respectively: linolenic, stearic, palmitic, oleic and linoleic. According to indicators of the nitrogen-containing component and the content of fatty acids, the seeds of the ‘Kharkivskiy 1’ variety exceed the other studied amaranth varieties.

**Keywords:** amaranth; protein content; amino acid content; fatty acid content; integral score.

Надійшла / Received 11.10.2022

Погоджено до друку / Accepted 27.10.2022

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ  
ІНСТИТУТУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР  
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ  
ПРАЦЬ**

**ВИПУСК 30**

**За достовірність викладених у публікаціях фактів  
відповідають автори**

Підписано до друку \_\_. \_\_.2022  
Формат \_\_\_\_. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умовн. друк. арк. \_\_. Обл. - видавн. арк. \_\_  
Гарнітура Time New Roman. Наклад 50 прим. Зам. № \_\_  
Віддруковано з оригіналів замовника  
ФОП Корзун Д. Ю.  
Тел. (0432) 69-67-69