

number of climatologists have proved that the current 'global warming' is residual from the last spike in solar activity, formed due to a decrease in negative winter temperatures over the past 40–50 years, and should change with another cooling with a minimum in 2065. **Conclusions.** The causes of climate warming in recent decades, mainly associated with the activities of the Sun, ocean, land and atmosphere, are substantiated; the concept of 'climate' has been improved, the forecast of its changes in the near future is substantiated – until 2065. The fallacy of the statement about the effect of overpopulation of the planet Earth on food shortages, the controversy of the hypothesis about the exclusive role of CO<sub>2</sub>, the fallacy of the statements about the role of the Earth's internal heat in climate change, water shortage are proved, etc.

**Keywords:** *climate; global warming; anthropogenic and cosmological factors; cyclicity of climate change; the role of the sun, atmosphere, ocean, land.*

*Надійшла / Received 26.01.2020*

*Погоджено до друку / Accepted 22.02.2020*

УДК 633.62

## **Продуктивність сорго цукрового залежно від елементів технології його вирощування у зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України**

**О. М. Ганженко**

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: ganzhenko74@gmail.com*

**Мета.** Встановити залежність показників продуктивності сорго цукрового від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої біомаси в зоні недостатнього зволоження східного Лісостепу України. **Методи.** У дослідженні використані біологічні та статистичні методи. Біологічні методи включали проведення польових досліджень та облік показників продуктивності. Отримані результати опрацьовували із використанням статистичних методів – описової статистики, дисперсійного та кореляційного аналізів. **Результати.** Встановлено ступінь впливу сортових особливостей, строків сівби насіння, збирання врожаю і погодних умов на продуктивність та якість біомаси сорго цукрового. За врожайністю зеленої біомаси, цукристістю соку та вмістом сухої речовини сорго цукрове гібриду 'Мамонт' перевищувало відповідні показники сорту 'Силосне 42'. Збирання біомаси сорго цукрового сорту 'Силосне 42' і гібрида 'Мамонт' в фазі воскової стиглості забезпечило збільшення врожайності зеленої біомаси відповідно на 10,4 і 9,5%, цукристості соку – в 1,8 рази, вмісту сухої речовини – на 32,6 і 18,3%, вміст сирової золи при цьому зменшився на 4,6 і 3,0% порівняно з фазою викидання волоті. **Висновки.** Врожайність зеленої біомаси залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %). Встановлено тісну залежність ( $R^2=0,76$ ) між урожайністю зеленої біомаси та тривалістю періоду вегетації рослин сорго цукрового. Для отримання високої врожайності зеленої біомаси сорго цукрового його насіння слід висівати в III декаді квітня-I декаді травня, а збирати вирощену біомасу не раніше вересня місяця у фазі повної стиглості насіння. Домінуючий вплив на варіювання цукристості соку мали строки збирання біомаси – 68,1 %. Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей на цукристість соку був значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 %. Збирання сорго цукрового у фазі воскової стиглості забезпечило в 1,8 разу вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті, а подальше перенесення строків збирання до фази повної стиглості не істотно збільшувало цукристість соку. На накопичення сухої речовини в

рослинах сорго цукрового впливали строки збирання біомаси (54,5 %), строки сівби насіння (5,2 %), погодні умови (3,3 %) та сортові особливості (0,3 %). Запізнення зі строками сівби насіння на кожні 10 діб починаючи з кінця квітня веде до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі сорго цукрового в середньому на 1 %, а подовження вегетації на 1 добу за рахунок пізнішого збирання біомаси дозволяє збільшити вміст сухої речовини на 0,25 %. Вплив сортових особливостей (12,4 %), строків сівби насіння (1,9 %) та строків збирання біомаси (23,6 %) на вміст сирової золи у зеленій масі сорго цукрового. Із подовженням вегетаційного періоду вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового як сорту, так і гібриду істотно зменшувався. Сорго цукрове гібриду 'Мамонт' за показниками врожайності зеленої біомаси (91,5 т/га), цукристості соку (12,7 %) та вмісту сухої речовини (24,6 %) перевищувало сорт 'Силосне 42', відповідні показники якого становили 70,8 т/га, 12 % та 24,0 %, при цьому вміст зольних елементів у біомасі гібриду був нижчим ніж у сорту.

**Ключові слова:** сортові особливості; сорт; гібрид; строки збирання; зелена біомаса; строки сівби; цукристість соку.

## Вступ

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum*) є найбільш перспективною культурою для виробництва біопалива в світі завдяки його швидким темпам зростання, ранньому дозріванню, більш ефективному використанню води та обмеженій потребі в добривах [1–4].

У зв'язку зі змінами клімату волога може стати головним стримуючим фактором для розвитку сільськогосподарського виробництва, тому цукрове сорго може замінити цукрову тростину (*Saccharum officinarum*) та інші цукроносні та кормові культури, оскільки під час вирощування сорго цукрове споживає у 4 рази менше води порівняно з тростиною [5–7].

Тому стає актуальним питання вивчення впливу елементів технології вирощування сорго цукрового на його продуктивність та вихід біопалива. Такі дослідження проводяться здебільшого в країнах з теплим та посушливим кліматом, таких як: Індія [7], США [8, 9], Пакистан [3, 4], Туреччина [10], країнах Африки [11].

Відомо, що урожайність зеленої біомаси сорго цукрового та вихід біоетанолу значно залежить від сортових особливостей, а також від строків сівби насіння та строків збирання біомаси. Зокрема встановлено, що у південно-західних штатах США найбільший розрахунковий вихід біоетанолу було отримано за сівби насіння у травні місяці, а ступінь впливу строків сівби насіння на продуктивність сорго цукрового значно залежала від його сортових особливостей [8]. Іншими дослідженнями було встановлено, що ранні строки сівби насіння сорго цукрового дозволяють на 13% збільшити вихід біоетанолу, при цьому дози добрив та норма висіву суттєво не впливали на вихід біопалива [9].

Дослідженнями, проведеними в теплих та посушливих умовах Пакистану встановлено, що подовження вегетаційного періоду з 60 до 120 діб сприяло збільшенню сухої біомаси на 48 % та зменшенню золи на 28 % [3]. Разом з тим з подовженням вегетації рослин відмічалось значне зростання вмісту целюлози, геміцелюлози і лігніну, що негативно впливало на питомий вихід біогазу [3]. При цьому ранні і пізні строки сівби насіння зменшували врожайність сухої біомаси сорго цукрового на 23 % [4].

Турецькими дослідниками відмічено, що за збирання рослин сорго цукрового у більш пізні строки збільшується врожай зеленої та сухої біомаси, висота рослин та вміст лігніну. За збирання сорго цукрового в фазах викидання волотей і молочної стиглості вміст сухих речовин не перевищував 24,7 % [10]. Тому найкращим строком збирання на кормові цілі є фаза воскової або повної стиглості. Жоден із досліджуваних сортів сорго цукрового не був придатний для силосування якщо його збирали раніше фази воскової стиглості [10].

Дослідженнями, проведеними в Кенії встановлено, строки збирання біомаси сорго цукрового є важливим фактором, що впливає на вміст цукру і вихід технічного біоетанолу. Результати цих досліджень показали, що збирання зеленої біомаси сорго цукрового через 104–117 діб після сівби насіння найбільш оптимальні для виробництва біоетанолу [11].

Широкомасштабні дослідження, які були проведені в чотирьох різних регіонах Індії показали, що найвища врожайність зеленої біомаси, вихід соку та вміст цукрів у соці відмічались за сівби насіння сорго цукрового в червні місяці. За цього строку сівби отримали максимальний вихід біоетанолу для усіх 12 сортів сорго цукрового, які досліджувались [7].

*Мета досліджень* – встановити вплив сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання врожаю на продуктивність та якість біомаси сорго цукрового у зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України.

### Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводились впродовж 2011–2015 рр. на полях Веселоподільської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Вереміївка, Семенівський р-н, Полтавська обл.) за 3-факторною схемою. Насіння сорго цукрового сорту ‘Силосне 42’ та гібриду ‘Мамонт’ висівали в три строки: III декада квітня, I декада травня та II декада травня. Біомасу збирали в III декада липня, II декада серпня та I декада вересня.

Площа посівної ділянки 50 м<sup>2</sup>, облікової – 30 м<sup>2</sup>. Загальна площа дослідів – 0,36 га. Повторюваність дослідів – чотириразова. Насіння сорго цукрового висівали на глибину 4–6 см з шириною міжрядь 45 см, нормою висіву 222 тис.шт./га (10 насінин на 1 м рядка). В якості добрива використовували нітроамофоску (N:P:K=16:16:16), яку вносили восени в дозі N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>80</sub>.

Отримані результати опрацьовували із використанням статистичних методів – описової статистики, дисперсійного та кореляційного аналізів за допомогою програми Statistica 12.

Дослід проводили на чорноземі типовому потужному, слабосолонцюватому, малогумусному, середньосуглинковому. Потужність гумусного горизонту – від 35 до 45 см із вмістом гумусу від 3,6 до 4,2 %. Вміст нітратного азоту – 22–24 мг/кг ґрунту (L-нафтіламінім методом), рухомих форм фосфору – 26–29, калію – 114–150 мг/кг ґрунту (на полуменовому фотометрі по Мачигіну). Структура орного шару пилувато-грудочко-зерниста. Реакція ґрунтового розчину орного шару слабо лужна, ближча до нейтральної (рН 7,2–7,4). Гідролітична кислотність ґрунтового розчину орного шару складає 0,37–0,39 мл-екв. на 100 г ґрунту.

Температура повітря впродовж вегетаційного періоду за роки досліджень в середньому на 2 °С перевищувала багаторічні показники (рис. 1а). Особливо екстремальним був вегетаційний період 2012 року, в якому середня температура повітря у період з квітня по вересень становила 19,2 °С, що на 3,1 °С перевищує багаторічні показники, при цьому сума опадів за цей період становила лише 264,8 мм, що на 10% менше багаторічних показників (рис. 1б). Найсприятливіші погодні умови для вегетації рослин сорго цукрового склалися у 2014 році, у якому середня температура повітря та кількість опадів за вегетаційний період були відповідно на 1,7 °С та 48,1 мм вищими середніх багаторічних показників.

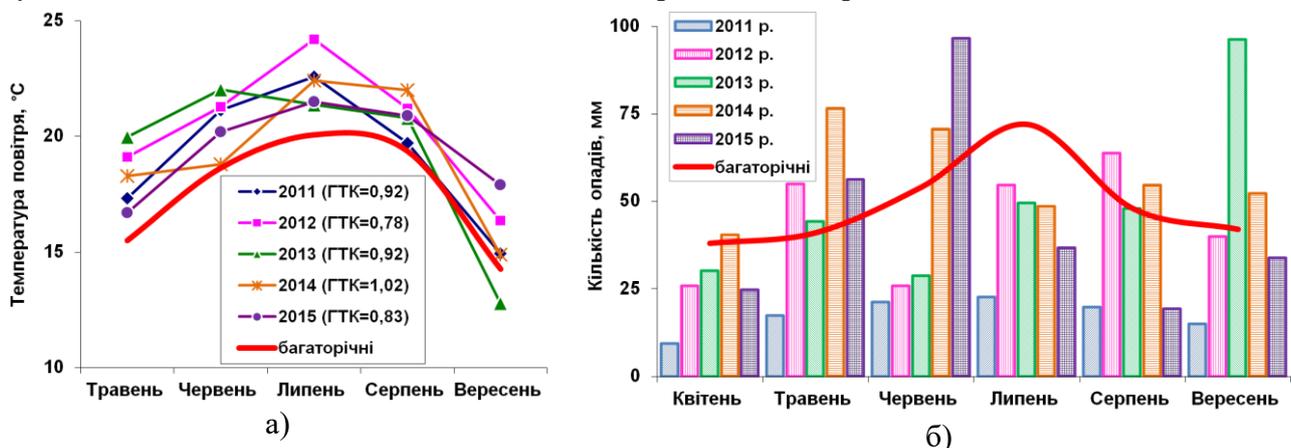


Рис. 1. Погодні умови за роки досліджень: а) температура повітря; б) кількість опадів.

Характеризуючи погодні умови в роки досліджень за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК) можна відмітити, що у 2011, 2012, 2013 та 2015 роках спостерігалась слабка посуха (ГТК=0,78...0,92), а 2014 рік був достатньо вологим (ГТК=1,02).

### Результати досліджень

Результати експерименту свідчать, що досліджувані фактори суттєво впливали на врожайність зеленої біомаси сорго цукрового. Так, за результатами дисперсійного аналізу (рис. 2) встановлено, що врожайність зеленої біомаси найбільше залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %). Вплив строків сівби насіння та строків збирання на варіювання урожайності зеленої біомаси сорго цукрового були приблизно однакові і становили відповідно 12,1 та 12,2 %.

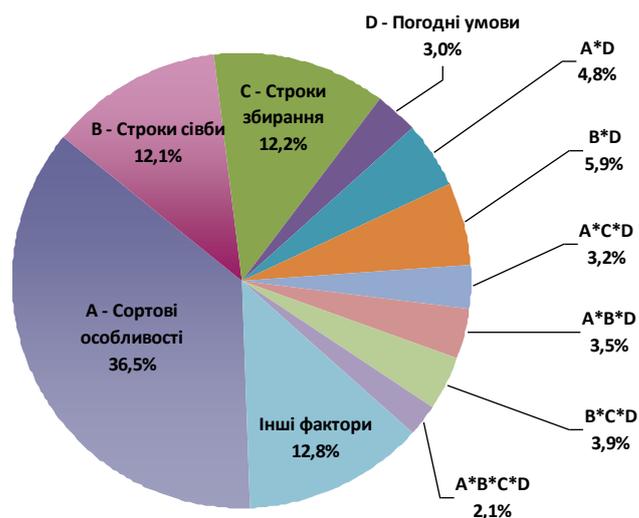


Рис. 2. Результати дисперсійного аналізу за урожайністю зеленої біомаси

Незважаючи на те, що сорго цукрове теплолюбна культура, перенесення строків сівби його насіння на більш пізні строки в зоні недостатнього зволоження призводить до істотного зменшення врожайності зеленої біомаси ( $p < 0,05$ ). Так, за сівби насіння сорту 'Силосне 42' та гібриду 'Мамонт' у III декаді квітня врожайність зеленої біомаси становила відповідно 75,0 та 97,8 т/га, а за сівби насіння на 10 днів пізніше (I декада травня) врожайність зменшувалась на 4-5 % і становила відповідно 71,4 та 93,9 т/га (рис. 3). Перенесення строків сівби насіння ще на 10 днів (II декада травня) призводить до зменшення врожайності зеленої біомаси сорту 'Силосне 42' на 12 % (до 66,0 т/га) та гібриду 'Мамонт' на 18,3 % (до 79,9 т/га) порівняно з раннім строком сівби.

За ранніх строків збирання сорго цукрового врожайність зеленої біомаси істотно зменшується ( $p < 0,05$ ). Так, за збирання біомаси в III декаді липня (фаза викидання волоті) врожайність зеленої маси сорго цукрового сорту 'Силосне 42' становить 64,5 т/га, а гібрида 'Мамонт' – 82,7 т/га (див рис. 3). Перенесення строків збирання на II декаду серпня (фаза воскової стиглості) дозволяє збільшити вихід зеленої біомаси на 10,4 % для сорту 'Силосне 42' (до 71,2 т/га) та на 9,3 % для гібриду 'Мамонт' (до 90,4 т/га). Найбільша урожайність зеленої біомаси досягається за пізніх строків збирання (I декада вересня) і становить для сорту 'Силосне 42' 76,7 т/га, для гібриду 'Мамонт' – 98,5 т/га.

Середня за роки досліджень врожайність зеленої біомаси гібриду 'Мамонт' становила 90,5 т/га, а сорту 'Силосне 42' – 70,8 т/га, тобто на 27,8 % менше ніж гібриду. Найменша у досліді врожайність зеленої біомаси (55,3 т/га) спостерігалась за сівби насіння сорту 'Силосне 42' у II декаді травня та збирання біомаси у III декаді липня. Максимальну врожайність зеленої біомаси в досліді (106,8 т/га) було отримано за сівби насіння гібриду 'Мамонт' у III декаді квітня та збирання біомаси у I декаді вересня.

## РОСЛИНИЦТВО

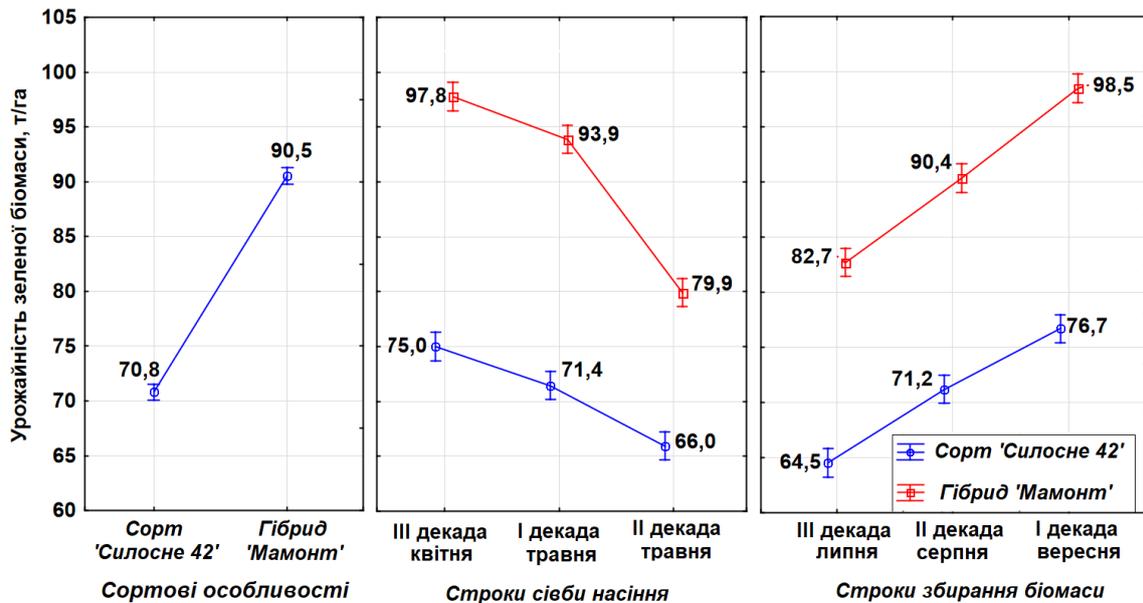


Рис. 3. Вплив сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання на врожайність зеленої біомаси сорго цукрового

За результатами кореляційного та регресійного аналізів встановлено тісну залежність ( $R^2=0,76$ ) між врожайністю зеленої біомаси та тривалістю періоду вегетації рослин гібриду 'Мамонт', яка має лінійний характер (рис. 4). Для сорту 'Силосне 42' також встановлено тісну кореляційну залежність ( $R^2=0,92$ ), яка має криволінійний характер і описується поліномом другого порядку.

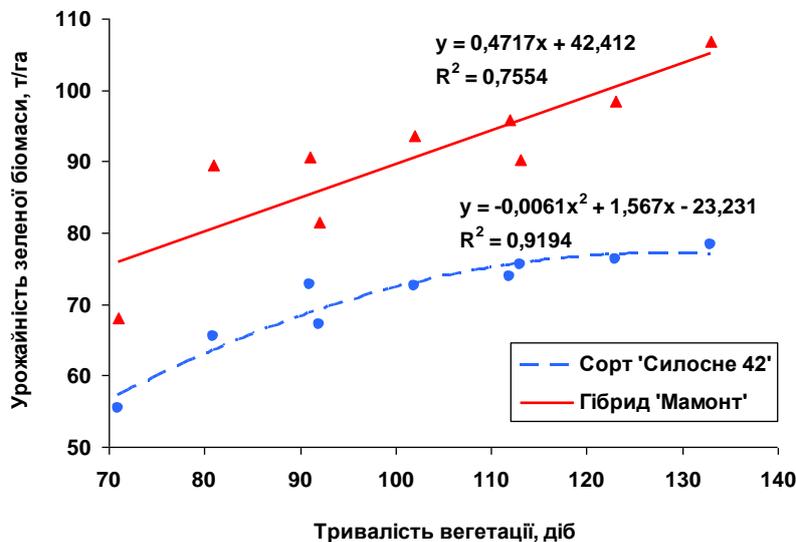


Рис. 4. Залежність врожайності зеленої біомаси сорго цукрового від сортових особливостей та тривалості періоду вегетації рослин

Отже в умовах недостатнього зволоження Східного Лісостепу України для отримання високої врожайності зеленої біомаси сорго цукрового його насіння слід висівати в III декаді квітня-I декаді травня, а збирати вирощену біомасу не раніше вересня місяця у фазі повної стиглості насіння.

Одним із найбільш важливих показників, що характеризують якість вирощеної біомаси сорго цукрового як сировини для виробництва харчових сиропів та біопалива є вміст цукрів у соці його стебел. Як свідчать результати дисперсійного аналізу цукристість соку суттєво залежала від факторів, які вивчались у досліді (рис. 5). Домінуючий вплив на варіювання

## РОСЛИННИЦТВО

цукристості соку мали строки збирання біомаси – 68,1 %. Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей на цукристість соку був значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 %.

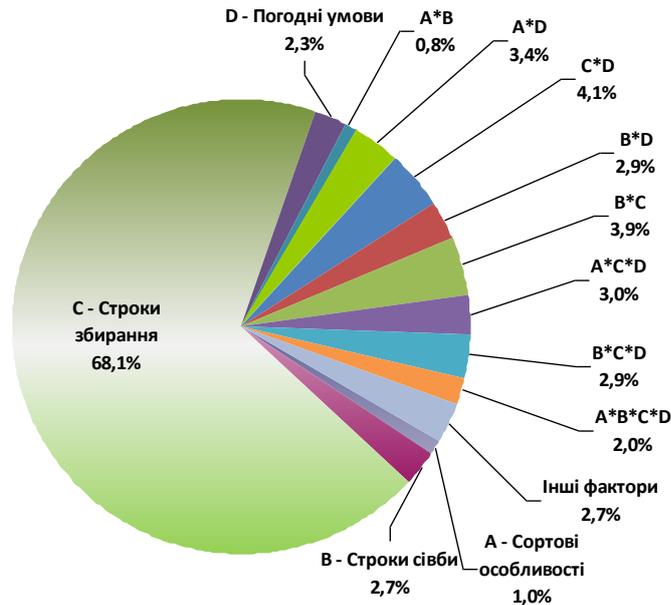


Рис. 5. Результати дисперсійного аналізу за цукристістю соку

Запізнення з сівбою насіння гібриду 'Мамонт' на кожні 10 діб починаючи з III декади квітня призводило до зменшення цукристості соку в середньому на 0,2...0,3 % (рис. 6). Для сорту 'Силосне 42' різниця в цукристості соку між першим (III декада квітня) та другим (I декада травня) строком сівби насіння була не істотною і коливалось в межах 12,6...12,7 % ( $p>0,05$ ). Подальше перенесення строків сівби на II декаду травня вело до значного зменшення цукристості соку до 10,6 %.

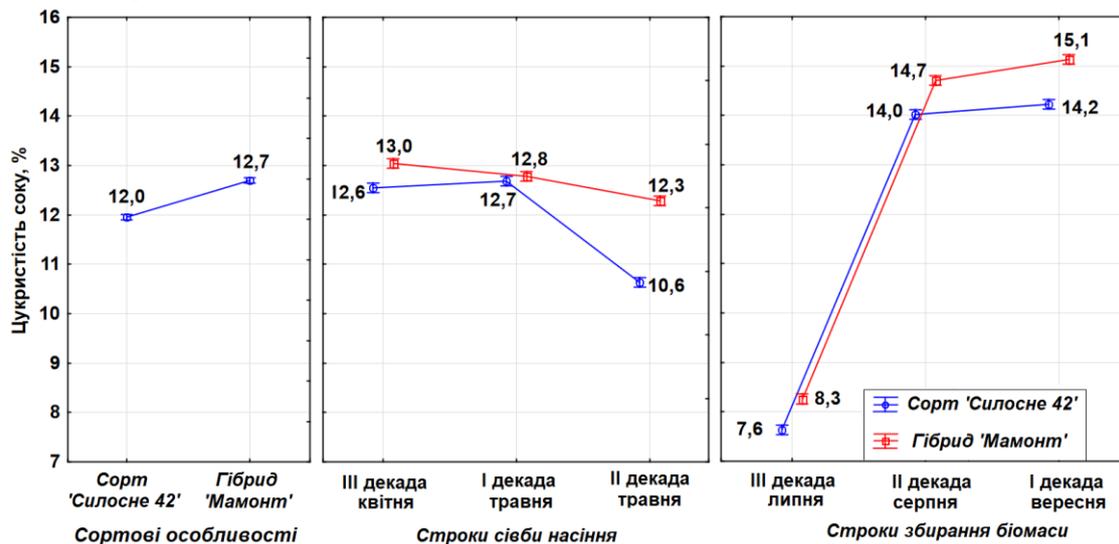


Рис. 6. Залежність цукристості соку від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої біомаси сорго цукрового

Збирання біомаси сорго цукрового в ранні строки негативно вплинуло на вміст цукрів у соці. Так, за збирання зеленої біомаси у III декаді липня (початок викидання волотей) вміст цукру у соці стебел гібриду 'Мамонт' та сорту 'Силосне 42' становив відповідно 8,3 та 7,6 %. За збирання сорго цукрового через 20 діб у II декаді серпня (фаза воскової стиглості) вміст цукрів у соці стебел зростає в середньому у 1,8 раза і становить для сорту 'Силосне 42' –

14 %, для гібриду ‘Мамонт’ – 14,7 %. Подальше перенесення строків збирання на I декаду вересня (повна стиглість) дозволило не істотно ( $p>0,05$ ) підвищити цукристість соку до 14,2 % для сорту ‘Силосне 42’ та істотно ( $p<0,05$ ) до 15,1 % для гібриду ‘Мамонт’.

В середньому за роки досліджень цукристість соку сорту ‘Силосне 42’ становила 12,0 %, а гібриду ‘Мамонт’ – 12,7 %.

Важливим показником, який визначає кормову та енергетичну цінність вирощеної біомаси сорго цукрового є вміст сухої речовини. За результатами дисперсійного аналізу експериментальних даних встановлено (рис. 7), що з факторів, що вивчались у досліді, найбільше впливали на накопичення сухої речовини строки збирання біомаси (54,5 %). Вплив строків сівби насіння та погодних умов був значно меншим і становив відповідно 5,2 та 3,3 %. Вплив сортових особливостей на варіювання вмісту сухої речовини був також істотним ( $p<0,05$ ), хоча становив лише 0,3 %. Досить високим (10,5 %) виявився вплив спільної дії двох факторів – строків збирання та погодних умов.

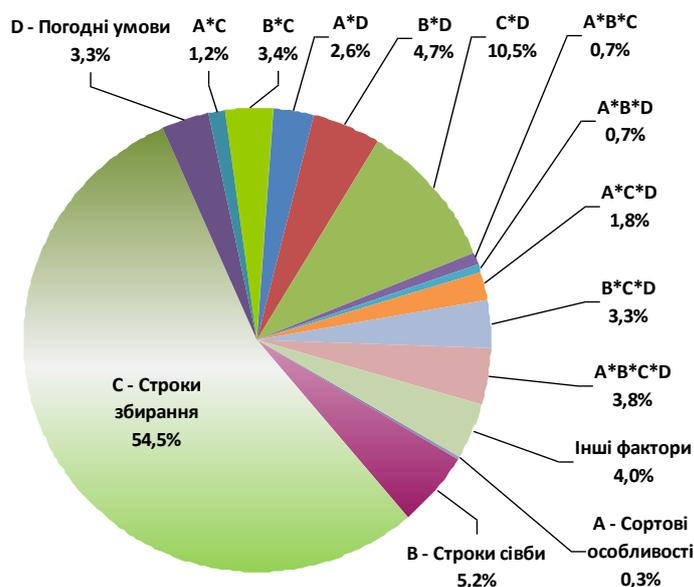


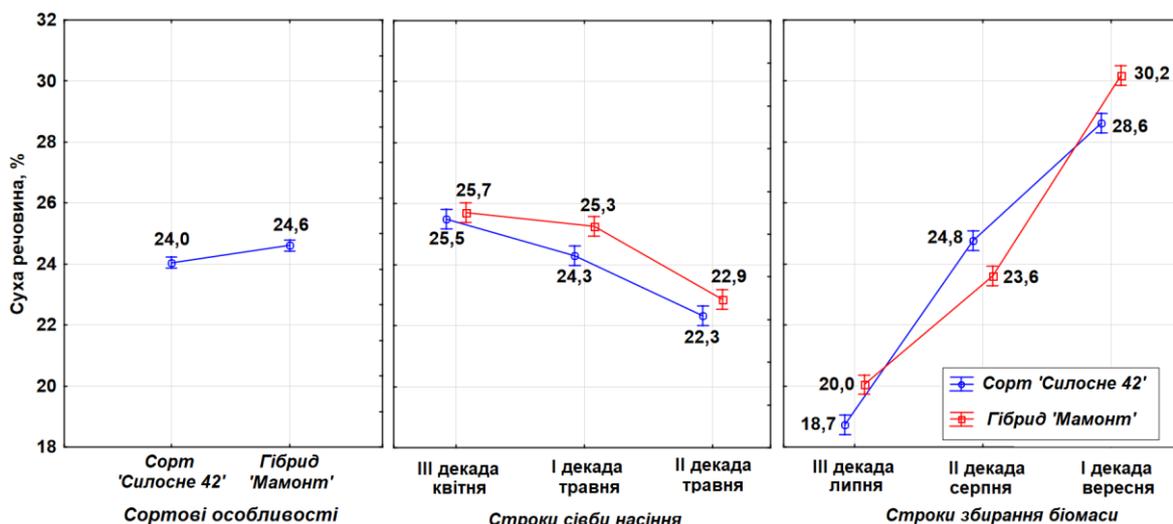
Рис. 7. Результати дисперсійного аналізу за вмістом сухої речовини

За сівби насіння сорго цукрового в кінці квітня вміст сухої речовини в зеленій біомасі рослин сорту ‘Силосне 42’ та гібриду ‘Мамонт’ становив відповідно 25,5 та 25,7 %, а за сівби через 10 діб (I декада травня) вміст сухої речовини зменшився до 24,3 та 25,3 % – відповідно (рис. 8). Подальше перенесення строків сівби насіння на середину травня призвело до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі рослин сорту ‘Силосне 42’ до 22,3 % та гібриду ‘Мамонт’ – до 22,9 %. Отже, запізнення зі строками сівби насіння на кожні 10 діб починаючи з кінця квітня веде до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі сорго цукрового в середньому на 1 %.

Набагато суттєвіше вміст сухої речовини залежав від строків збирання біомаси сорго цукрового. Так, за ранніх строків збирання (III декада липня) вміст сухих речовин в біомасі сорту ‘Силосне 42’ та гібриду ‘Мамонт’ становив відповідно 18,7 та 20,0 %, а за збирання в II декаді серпня – відповідно 24,8 та 23,6 %. Перенесення строків збирання ще на 20 діб сприяло підвищенню вмісту сухої речовини в біомасі сорту ‘Силосне 42’ до 28,6 % та гібриду ‘Мамонт’ – до 30,2 %. Отже, продовження вегетації рослин сорго цукрового на 1 добу за рахунок пізнішого збирання біомаси дозволяє збільшити вміст сухої речовини на 0,25 % як для сорту ‘Силосне 42’, так і для гібриду ‘Мамонт’.

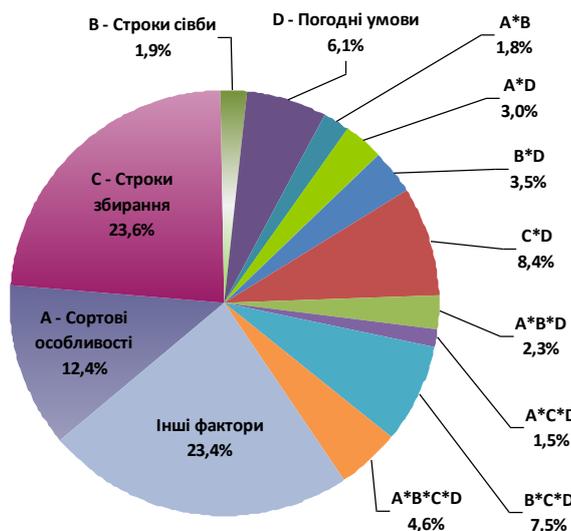
Середній по досліді вміст сухої речовини в біомасі рослин сорго цукрового сорту ‘Силосне 42’ та гібриду ‘Мамонт’ становив відповідно 24,0 та 24,6 %.

## РОСЛИННИЦТВО



**Рис. 8. Залежність вмісту сухої речовини від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої біомаси сорго цукрового**

Якість біомаси цукрового сорго суттєво залежить від вмісту в ній зольних елементів, які негативно впливають на питомий вихід біоетанолу та біогазу. Нашими дослідженнями встановлено істотний ( $p < 0,05$ ) вплив сортових особливостей (12,4 %), строків сівби насіння (1,9 %) та строків збирання біомаси (23,6 %) на вміст сирової золи у зеленій масі сорго цукрового (рис. 9).



**Рис. 9. Результати дисперсійного аналізу за вмістом сирової золи**

У рослин сорту 'Силосне 42' за сівби насіння в кінці квітня вміст сирової золи становив 7,60 %, за сівби на початку травня вміст золи зростав до 7,88 %, а за зміщення строків сівби на середину травня – неістотно ( $p > 0,05$ ) зменшувався до 7,81 % (рис. 10). У рослин гібриду 'Мамонт' навпаки за сівби насіння на початку травня вміст сирової золи неістотно зменшувався з 7,32 до 7,27 % ( $p > 0,05$ ), а за більш пізніх строків сівби – зростав до 7,50 %.

Із подовженням вегетаційного періоду вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового як сорту, так і гібриду істотно зменшувався. Так, вміст сирової золи в рослинах сорту 'Силосне 42' та гібриду 'Мамонт' за збирання їх біомаси в кінці липня становив відповідно 8,11 та 7,66 %, за збирання біомаси в середині серпня – відповідно 7,75 та 7,44 %. Збирання біомаси сорго цукрового в фазу повної стиглості (I декада вересня) забезпечувало найнижчий вміст сирової золи, який для сорту 'Силосне 42' та гібриду 'Мамонт' становив відповідно 7,43 та 6,99 %.

## РОСЛИНИЦТВО

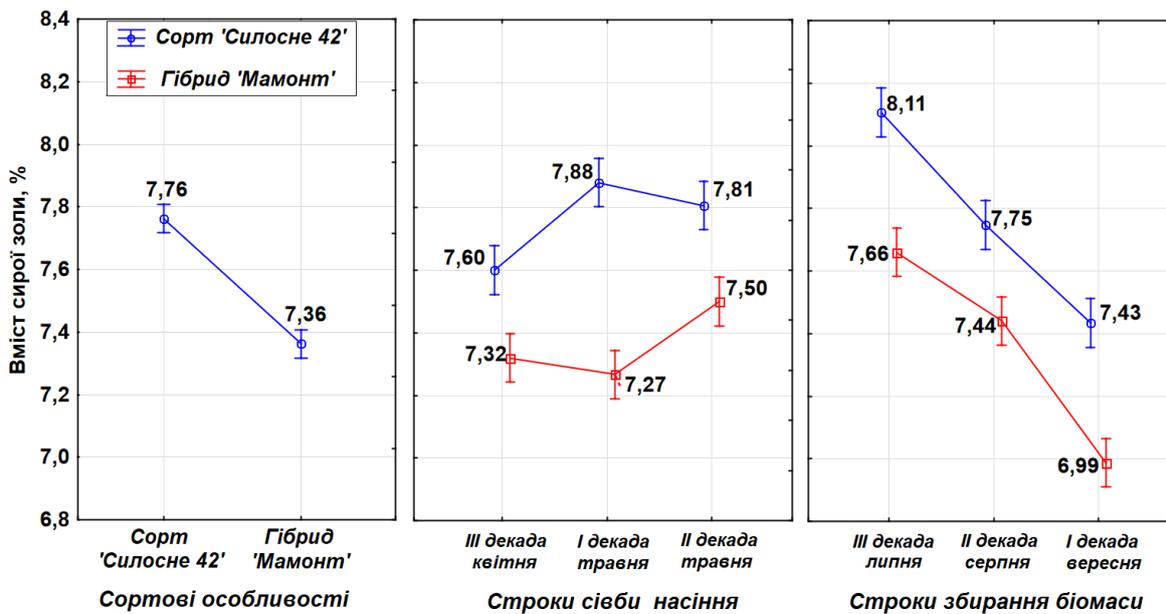


Рис. 10. Залежність вмісту сирової золи від сортових особливостей, строків сівби насіння та строків збирання зеленої біомаси сорго цукрового

Середній по досліді вміст зольних елементів в біомасі рослин сорго цукрового сорту 'Силосне 42' складав 7,76 %, а гібриду 'Мамонт' – 7,36 %.

### Висновки

У зоні недостатнього зволоження Східного лісостепу України встановлено:

1. Врожайність зеленої біомаси залежить від сортових особливостей сорго цукрового (36,5 %), строків сівби насіння (12,1 %) та строків збирання врожаю (12,2 %). Встановлено тісну залежність ( $R^2=0,76$ ) між урожайністю зеленої біомаси та тривалістю періоду вегетації рослин сорго цукрового. Для отримання високої врожайності зеленої біомаси сорго цукрового його насіння слід висівати в III декаді квітня-I декаді травня, а збирати вирощену біомасу не раніше вересня місяця у фазі повної стиглості насіння.

2. Домінуючий вплив на варіювання цукристості соку мали строки збирання біомаси – 68,1 %. Вплив строків сівби насіння, погодних умов та сортових особливостей на цукристість соку був значно меншим і становив відповідно 2,7; 2,3 та 1,0 %. Збирання сорго цукрового у фазі воскової стиглості забезпечило в 1,8 разу вищу цукристість соку порівняно із фазою викидання волоті, а подальше перенесення строків збирання до фази повної стиглості не істотно збільшувало цукристість соку.

3. На накопичення сухої речовини в рослинах сорго цукрового впливали строки збирання біомаси (54,5 %), строки сівби насіння (5,2 %), погодні умови (3,3 %) та сортові особливості (0,3 %). Запізнення зі строками сівби насіння на кожні 10 діб починаючи з кінця квітня веде до зменшення вмісту сухої речовини в біомасі сорго цукрового в середньому на 1 %, а подовження вегетації на 1 добу за рахунок пізнішого збирання біомаси дозволяє збільшити вміст сухої речовини на 0,25 %.

4. Вплив сортових особливостей (12,4 %), строків сівби насіння (1,9 %) та строків збирання біомаси (23,6 %) на вміст сирової золи у зеленій масі сорго цукрового. Із подовженням вегетаційного періоду вміст зольних елементів у біомасі сорго цукрового як сорту, так і гібриду істотно зменшувався.

5. Сорго цукрове гібриду 'Мамонт' за показниками врожайності зеленої біомаси (91,5 т/га), цукристості соку (12,7 %) та вмісту сухої речовини (24,6 %) перевищувало сорт 'Силосне 42', відповідні показники якого становили 70,8 т/га, 12 % та 24,0 %, при цьому вміст зольних елементів у біомасі гібриду був нижчим ніж у сорту.

**Використана література**

1. Almodares A., Hadi M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 4, Issue 9. P. 772–780.
2. Prasad S., Singh A., Jain N., Joshi H.C. Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energy Fuels*. 2007. Vol. 21, Issue 4. P. 2415–2420. doi: 10.1021/ef060328z
3. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., Chattha M.B., Mahmood A., Khan I., Nawaz M. Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 84–91. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019
4. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., Mahmood A., Chattha M.B., Khan I., Mirza S., Aziz S.A., Nawaz M., Aamer M. Cultivar and seeding time role in sorghum to optimize biomass and methane yield under warm dry climate. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 145, Article ID 111983. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111983
5. Reddy B.V., Ramesh S., Reddy P.S., Ramaiah B., Salimath M., Kachapur R. Sweet sorghum – a potential alternate raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 2005. Vol. 46. P. 79–86.
6. Soltani A., Almodares A. Evaluation of the investments in sugar beet and sweet sorghum production. National Convention of Sugar Production from Agriculture Products. 13–16 March 1994. Shahid Chamran University. Ahwaz, Iran.
7. Ratnavathi C., Kumar S., Kumar B., Krishna D., Patil J. Effect of Time of Planting on Cane Yield and Quality Characters in Sweet Sorghum. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2012. Vol. 2, Issue 1. P. 1–9. doi: 10.4236/jsbs.2012.21001
8. Teetor V.H., Duclos D.V., Wittenberg E.T., et al. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Industrial Crops and Products*. 2011. Vol. 34, Issue 2. P. 1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010
9. Lueschen W.E., Putnam D.H., Kanne B.K., Hoverstad T.R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of production agriculture*. 1991. Vol. 4, Iss. 4. P. 619–625. doi: 10.2134/jpa1991.0619
10. Atis I., Konuskan O., Duru M., Gozubenli H., Yilmaz S. Effect of Harvesting Time on Yield, Composition and Forage Quality of Some Forage Sorghum Cultivars. *Int. Journal of Agriculture and Biology*. 2012. Vol. 14, Iss. 6. P. 879–886. doi: 12–208/AWB/2012/14–6–879–886
11. Oyier M.O., Owuoche J.O., Oyoo M.E., Cheruiyot E., Mulianga B., Rono J. Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. 2017. Vol. 2017. Article ID: 8249532. doi: 10.1155/2017/8249532

**References**

1. Almodares A., Hadi M. R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*. 4 (9), 772–780.
2. Prasad, S., Singh, A., Jain, N., Joshi, H.C. (2007). Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energy Fuels*, 21(4), 2415–2420. doi: 10.1021/ef060328z
3. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., et al. (2019). Combined cultivar and harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 132, 84–91. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019
4. Hassan M.U., Chattha M.U., Barbanti L., et al. (2020) Cultivar and seeding time role in sorghum to optimize biomass and methane yield under warm dry climate. *Industrial Crops and Products*. 145, Article number 111983. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111983
5. Reddy B.V., Ramesh S., Reddy P.S., et al. (2005). Sweet sorghum – a potential alternate raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter*. 46, 79–86.

6. Soltani A., Almodares A. (1994). Evaluation of the investments in sugar beet and sweet sorghum production. *National Convention of Sugar Production from Agriculture Products*. 13–16 March. Shahid Chamran University. Ahwaz, Iran.

7. Ratnavathi C., Kumar S., Kumar B., et al. (2012). Effect of Time of Planting on Cane Yield and Quality Characters in Sweet Sorghum. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 2 (1), 1–9. doi: 10.4236/jsbs.2012.21001.

8. Teetor, V.H., Duclos, D.V., Wittenberg, E.T., et al. (2011). Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. *Industrial Crops and Products*, 34(2), 1293–1300. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.09.010

9. Lueschen, W.E., Putnam, D.H., Kanne, B.K., Hoverstad, T.R. (1991). Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of production agriculture*. 4(4), 619–625. DOI: 10.2134/jpa1991.0619

10. Atis I., Konuskan O., Duru M., et al. (2012). Effect of Harvesting Time on Yield, Composition and Forage Quality of Some Forage Sorghum Cultivars. *International Journal of Agriculture and Biology*. 14 (6), 879–886. doi: 12–208/AWB/2012/14–6–879–886

11. Oyier M.O., Owuochi J.O., Oyoo M.E., et al. (2017). Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in Western Kenya. *The Scientific World Journal*. 2017, Article ID: 8249532, 10 pages. doi.org/10.1155/2017/8249532

УДК 633.62

**Ганженко А. Н.** Продуктивность сахарного сорго в зависимости от элементов технологии его выращивания в зоне недостаточного увлажнения Восточной Лесостепи Украины // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вып. 28. С. 64–76.

*Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03110, Украина, e-mail: ganzhenko74@gmail.com*

**Цель.** Установить зависимость производительности сахарного сорго от сортовых особенностей, сроков посева семян и сроков уборки зеленой биомассы в зоне недостаточного увлажнения восточного Лесостепи Украины. **Методы.** В исследовании использованы биологические и статистические методы. Биологические методы включали проведение полевых экспериментов и мониторинг показателей производительности. Полученные результаты обрабатывали с использованием статистических методов – описательной статистики, дисперсионного и корреляционного анализов. **Результаты.** Установлена степень влияния сортовых особенностей, сроков сева семян, сбор урожая и погодных условий на производительность и качество биомассы сахарного сорго. По урожайности зеленой биомассы, сахаристостью сока и содержанием сухого вещества сахарное сорго гибрида ‘Мамонт’ превышало соответствующие показатели сорта ‘Силосное 42’. Уборка сахарного сорго сорта ‘Силосное 42’ и гибрида ‘Мамонт’ в фазе восковой спелости обеспечило увеличение урожайности зеленой биомассы соответственно на 10,4 и 9,5 %, сахаристости сока – в 1,8 раза, содержания сухого вещества – на 32,6 и 18,3%, содержание сырой золы при этом уменьшилось на 4,6 и 3,0 % по сравнению с фазой выбрасывания метелки. **Выводы.** Урожайность зеленой биомассы зависит от сортовых особенностей сахарного сорго (36,5 %), сроков посева семян (12,1 %) и сроков уборки урожая (12,2 %). Установлено тесную зависимость ( $R^2=0,76$ ) между урожайностью зеленой биомассы и продолжительностью периода вегетации растений сахарного сорго. Для получения высокой урожайности зеленой биомассы сахарного сорго его семена следует высевать в 3 декаде апреля-1 декаде мая, а собирать выращенную биомассу не раньше сентября месяца в фазе полной спелости семян. Доминирующее влияние на варьирование сахаристости сока имели сроки уборки биомассы – 68,1%. Влияние сроков посева семян, погодных условий и сортовых особенностей на сахаристость сока был значительно меньше, и составляли соответственно 2,7; 2,3 и 1,0%. Уборка сорго сахарного в фазе восковой спелости обеспечила в 1,8 раза выше сахаристость сока по сравнению с фазой выбрасывания метелки, а дальнейший перенос сроков уборки в

фазу полной спелости несущественно увеличивало сахаристость сока. На накопление сухого вещества в растениях сахарного сорго влияли сроки уборки биомассы (54,5 %), сроки посева семян (5,2 %), погодные условия (3,3 %) и сортовые особенности (0,3 %). Опоздание со сроками посева семян на каждые 10 суток начиная с конца апреля, ведет к уменьшению содержания сухого вещества в биомассе сахарного сорго в среднем на 1 %, а удлинение вегетации на 1 сутки за счет более позднего сбора биомассы позволяет увеличить содержание сухого вещества на 0,25 %. Установлено влияние сортовых особенностей (12,4 %), сроков посева семян (1,9 %) и сроков уборки биомассы (23,6 %) на содержание сырой золы в зеленой массе сахарного сорго. С удлинением вегетационного периода содержание зольных элементов в биомассе сахарного сорго, как сорта, так и гибрида существенно уменьшался. Сорго сахарное гибрида 'Мамонт' по показателям урожайности зеленой биомассы (91,5 т/га), сахаристости сока (12,7 %) и содержания сухого вещества (24,6 %) превышало сорт 'Силосное 42', соответствующие показатели которого составили 70,8 т/га, 12 % и 24,0 %, при этом содержание зольных элементов в биомассе гибрида был ниже, чем у сорта.

**Ключевые слова:** сортовые особенности; сорт; гибрид; сроки уборки; зеленая биомасса; сроки сева; сахаристость сока.

UDC 633.62

**Hanzhenko, O. M.** (2020). Productivity of sugar sorghum as affected by the elements of the technology of cultivation in the zone of insufficient moisture in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Nauk. pracì Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burâkiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 28, 64–76. [in Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: ganzhenko74@gmail.com*

**Purpose.** To find out the dependence of sugar sorghum productivity on varietal characteristics, the sowing date and the harvesting date in the zone of insufficient moisture in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The biological and statistical methods were used in the research. Biological methods included field experiments and monitoring of productivity indicators. The results were processed using the following statistical methods: descriptive statistics, ANOVA, and correlation analysis. **Results.** The degree of the effect of varietal characteristics, sowing date, harvesting date and weather conditions on the productivity and quality of sugar sorghum biomass have been established. The yield of green biomass, the sugar content of the juice and the dry matter content of sugar sorghum hybrid 'Mamont' exceeded the corresponding indicators of the variety 'Sylosne 42'. Harvesting sugar sorghum of the 'Sylosne 42' variety and the 'Mamont' hybrid in the wax ripeness phase increased the yield of green biomass by 10.4 and 9.5 %, respectively, the sugar content of the juice by 1.8 times, and the dry matter content by 32.6 and 18.3 %, the crude ash content in this case decreased by 4.6 and 3.0 % compared with the phase of booting. **Conclusions.** The yield of green biomass depends on the varietal characteristics of sugar sorghum (36.5 %), the sowing date (12.1 %) and the harvesting date (12.2 %). A close relationship ( $R^2=0.76$ ) between the yield of green biomass and the length of the vegetation period of sugar sorghum had been established. To obtain a high yield of green biomass of sugar sorghum, its seeds should be sown in late April – early May, and the biomass should be collected no earlier than September in the phase of full ripeness of seeds. The dominant effect on the variation in the sugar content of the juice made the harvesting date (68.1 %). The effect of sowing dates, weather conditions and varietal characteristics on the sugar content in the juice was significantly less and amounted to 2.7, respectively; 2.3 and 1.0 %. Harvesting sugar sorghum in the wax ripeness phase provided a 1.8 times higher sugar content of the juice compared to the phase of booting, and further transfer of harvesting time to the full ripeness phase insignificantly increased the sugar content of the juice. The accumulation of dry matter in sugar sorghum plants was influenced by the harvesting date (54.5 %), the sowing date (5.2 %), weather conditions (3.3 %) and varietal characteristics (0.3 %). Delay in sowing date for every 10 days since the end of April leads to a decrease in the dry matter

content in the biomass of sugar sorghum by an average of 1%. Extension of the vegetation by 1 day due to the later harvesting of biomass increases the dry matter content by 0,25 %. The influence of varietal characteristics (12.4 %), sowing date (1.9 %) and harvesting date (23.6 %) on the content of crude ash in the sugar sorghum was established. With an increase in the growing season, the content of ash elements in the biomass of sugar sorghum, both varieties and hybrids, decreased significantly. In terms of yield of green biomass (91.5 t/ha), sugar content of juice (12.7 %) and dry matter content (24.6 %), Sorghum sugar hybrid 'Mamont' exceeded the 'Sylosne 42' variety, the corresponding indices of which were 70,8 t/ha, 12 % and 24.0 %, while the content of ash elements in the biomass of the hybrid was lower than that of the variety.

**Keywords:** *varietal features, variety, hybrid, harvesting date, green biomass, sowing date, juice sugar content.*

*Надійшла / Received 31.01.2020*

*Погоджено до друку / Accepted 26.02.2020*

УДК 630\*232+504.73:582.632.2

## Особливості накопичення енергетичної біомаси верби на заплавах ґрунтах Полісся України

Б. В. Зелінський, Я. Д. Фучило\*

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, \*e-mail: fuchylo\_yar@ukr.net*

**Мета.** Визначити параметри основних чинників, що впливають на продуктивність енергетичних плантацій верби на заплавах ґрунтах Полісся України. **Методи.** Дослідні енергетичні плантації верби створені однорічними живцями сортів 'Збруч', 'Тернопільська' та клону верби тритичинкової, висадженими спареними рядами з відстанню між ними 0,75 м і з міжряддями 1,5 м. Густота садіння живців: 10, 15 і 20 тис. шт./га. **Результати.** У сорту 'Тернопільська' після першого вегетаційного періоду приживлюваність живців на торфво-болотному ґрунті становила від 48,6 до 54,8 %, у сорту 'Збруч' – від 72,8 до 86,6 %, а у верби тритичинкової – від 71,0 до 82,3 %. Протягом другого вегетаційного періоду відбувся суттєвий відпад рослин, особливо – у більш густих варіантах. На супіщаному ґрунті після другого року вегетації збереглося від 74,1 до 87,5 % рослин. Урожайність біомаси за перші 3 роки на торфво-болотному ґрунті становила у сорту 'Тернопільська' 0,58–1,10 т/га/рік, в сорту 'Збруч' – від 0,80 до 3,28 т/га/рік, а у тритичинкової – від 0,62 до 0,96 т/га/рік. При цьому на продуктивність сухої маси рослин істотно впливали густина насадження та едафічні умови. Зокрема, на супіщаному ґрунті сорт 'Тернопільська' за перші 2 роки мав продуктивність від 0,77 до 3,21 т/га/рік, що значно більше, ніж на багатих на органіку перезволожених торфво-болотних ґрунтах. Найбільшу площу листової поверхні мав сорт 'Тернопільська' на супіщаному ґрунті – від 22,0 до 31,3 тис. м<sup>2</sup>/га, а на торфво-болотному – сорт 'Збруч' (від 17,2 до 27,5 тис. м<sup>2</sup>/га). Середній фотосинтетичний потенціал за варіантами дослідів становив від 1,67 до 5,06 млн м<sup>2</sup>-діб/га, зростаючи за збільшення густоти садіння рослин і площі листового апарату. Найбільші показники ЧПФ спостерігаються у насадженні сорту 'Тернопільська' на супіщаному ґрунті – від 0,98 до 1,62 г/м<sup>2</sup> за добу та у сорту 'Збруч' (0,70–1,16 г/м<sup>2</sup> за добу). При цьому максимальними ці показники були за густоти 15 тис. шт./га. **Висновки.** В заплавах річок Полісся України для вирощування енергетичної біомаси верби більш придатні супіщані ґрунти, порівняно з торфво-болотними. На них енергетичні плантації верби мають більшу площу листової поверхні, вищі показники фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу, що забезпечує відносно високі показники