

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. м²/га, а на торфво-болотному – сорт 'Збруч' (від 17,2 до 27,5 тис. м²/га). Середній фотосинтетичний потенціал за варіантами дослідів становив від 1,67 до 5,06 млн м²-дб/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/м² за добу та у сорту 'Збруч' (0,70–1,16 г/м² 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

продуктивності. На торфово-болотних ґрунтах із досліджуваних сортів для створення енергетичних плантацій верби доцільно використовувати сорт 'Збруч', який відзначається найвищими показниками продуктивності біомаси (3,28 т/га/рік).

Ключові слова: *Salix viminalis L.*; *Salix triandra L.*; енергетичні плантації; сорти 'Збруч' і 'Тернопільська'; густина садіння живців; продуктивність біомаси; площа листкової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу.

Вступ

Розуміння щодо обмеженості запасів традиційних викопних джерел енергії спричинило до швидких змін у підходах до їх використання і пошуку альтернативних видів енергетичної сировини [1, 2]. Додатковий імпульс у пошуку нових рішень у галузі енергетики зумовили також глобальні кліматичні тренди та їх негативний вплив на біосферу. У зв'язку з цим більшість економічно розвинутих країн спрямовують значні зусилля на пошук та використання нових відновлюваних джерел енергії, серед яких значне місце займає рослинна біомаса. Для її отримання вирощують низку біоенергетичних культур [3]. Однією з найперспективніших серед них є верба (*Salix L.*) [4–8].

Використання вербової біомаси як енергетичної сировини набуває в Україні впродовж останніх десяти років значного поширення. Енергетичні плантації верби створюють на малопридатних для сільськогосподарського виробництва землях у багатьох регіонах держави, і на сьогодні їх площа становить приблизно 5000 га [9, 10].

Як в Україні, так і за кордоном на енергетичних плантаціях переважно вирощують сорти й гібриди верби прутувидної (*Salix viminalis L.*), через це за цим видом закріпилася назва «енергетична верба» [3, 9], хоча з метою отримання енергетичної біомаси з успіхом можна використовувати багато різних видів верб, зокрема – вербу тритичинкову (*Salix triandra L.*) [6, 8–10].

Зважаючи на відносну новизну культивування верби на різних категоріях земель, у багатьох країнах проводяться дослідження різних видів і сортів верби з огляду на їхню придатність для вирощування на енергетичну біомасу [4, 6, 7, 11, 12]. Схожі науково-дослідні роботи ведуться і в Україні [8–10].

З огляду на різноманіття ґрунтово-кліматичних умов і важливість широкого розвитку альтернативної енергетики, такі дослідження в Україні є надзвичайно актуальними.

Мета досліджень – визначити параметри основних чинників, що впливають на продуктивність енергетичних плантацій верби на заплавах ґрунтах Полісся України.

Матеріали та методика досліджень

Об'єктами дослідження були експериментальні енергетичні плантації двох сортів верби прутувидної: 'Тернопільська' і 'Збруч' та одного клону верби тритичинкової, створені навесні 2017 року в заплаві річки Тетерів у Іванківському районі Київської області на торфово-болотному ґрунті з шаром торфу потужністю 30 см.

Навесні 2018 року поблизу цього досліду на алювіальному супіщаному свіжому ґрунті було створено схожий об'єкт з використанням семи сортів верби прутувидної, серед яких також був використаний сорт 'Тернопільська'.

На обох варіантах ґрунтових умов обробіток ґрунту виконувався восени, а садіння живців – навесні, після проведення передсадивної культивуації. Живці завдовжки 25 см висаджувались двома спареними рядками з відстанню між ними 0,75 м та міжряддями 1,50 м. В рядку живці розміщувалися через 0,89, 0,59 і 0,45 м, що забезпечило густоту відповідно: 10, 15 і 20 тис. шт./га.

Площа облікової ділянки 50 м². Повторність – триразова.

Погодні умови в роки проведення досліджень (2017–2019 рр.) були за температурним режимом суттєво теплішими за середні багаторічні дані для Київського Полісся. Середня річна температура повітря у 2017 і 2018 рр. становила 9,5 °С, а у 2019-му – 10,6 °С, тоді як за середніми багаторічними даними вона становить 7,7 °С.

За середньомісячними температурами повітря до середніх багаторічних даних найбільш близький 2018 рік, який характеризувався мінусовими температурами протягом зими і першого весняного місяця і більш теплими останніми місяцями вегетаційного періоду.

За кількістю опадів 2017-й рік був близьким до середніх багаторічних даних (654 мм), у наступному їх випало 595 мм, а 2019-й був найбільш посушливим (521 мм). У той же час, за вегетаційний період (з квітня по вересень) у 2017 році випало 304 мм опадів, у 2018-му – 322 мм, а у 2019-му – 336 мм, що є сприятливим для інтенсивного росту енергетичних плантацій верби.

Приживаність рослин визначали на облікових ділянках за кількістю висаджених і приживлених живців. Продуктивність встановлювали ваговим методом [13]. Показники фотосинтетичної діяльності рослин – площу листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал і продуктивність фотосинтезу визначали за загальноприйнятими у рослинництві методами [14]. Отримані дані обробляли за допомогою персонального комп'ютера з використанням пакета прикладних програм Statistika-6.0.

Результати досліджень

Встановлено, що приживлюваність живців на торфово-болотному ґрунті суттєво залежить від сорту верби. Так у сорту 'Тернопільська' після першого вегетаційного періоду приживлюваність живців змінювалася (за варіантами густоти) 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. Найбільше загинуло рослин у верби тритичинкової. Збереженість її рослин становила лише 36,3–40,2 %. На супіщаному ґрунті після другого року вегетації збереглося від 74,1 до 87,5 % рослин.

Було встановлено, що у перший рік густота садіння не впливає на висоту пагонів, що виростили з живців. Як і у випадку з приживлюваністю живців, висота пагонів, що з них виростили, найменшою виявилася у рослин сорту 'Тернопільська' ($33,0 \pm 1,96$ см). На інших двох варіантах цього сорту висота становила $42,6 \pm 2,20$ та $45,5 \pm 1,66$ см. Однорічні рослини сорту 'Збруч' інтенсивніше росли за висотою зі збільшенням густоти садіння. За густоти 10 тис. шт./га їх висота становила $44,6 \pm 1,51$ см, за 15 тис. шт./га – $45,4 \pm 1,44$ см, а за 20 тис. шт./га – $49,8 \pm 1,53$ см.

У верби тритичинкової, навпаки, середня висота однорічних саджанців зменшувалася із зростанням густоти – від $50,8 \pm 1,82$ см (за густоти 10 тис. шт./га) до $43,1 \pm 1,31$ см (за густоти 20 тис. шт./га). Схожа тенденція за висотою збереглася і на другий вегетаційний період. Найбільші показники висоти у дворічному віці мали рослини сорту 'Збруч' (від $107,3 \pm 3,78$ до $144,4 \pm 4,77$ см), а найменші – сорту 'Тернопільська' (від $78,4 \pm 3,55$ до $95,2 \pm 4,69$ см).

За третій рік висота досліджуваних насаджень суттєво зросла і досягла у сорту 'Тернопільська' від $144,6 \pm 4,69$ см до $178,6 \pm 4,94$ см, у сорту 'Збруч' – $180,2 \pm 5,03$ – $248,6 \pm 6,79$ см. У досліджуваного клону верби тритичинкової показники висоти змінювалися від $167,5 \pm 5,80$ до $185,5 \pm 9,13$ см. На супіщаному ґрунті після другого року вегетації висота становила від $98 \pm 8,7$ до $175 \pm 4,3$ см.

Урожайність сухої біомаси протягом перших трьох років існування плантацій в досліджуваних умовах виявилася невисокою (табл. 1). Як випливає з наведених у таблиці 1 даних, урожайність біомаси в середньому за перші 3 роки на торфово-болотному ґрунті, залежно від густоти садіння, 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 густота насадження та едафічні умови. Зокрема, на супіщаному ґрунті сорт 'Тернопільська' за 2 перші роки мав середню продуктивність від $0,77$ до $3,21$ т/га/рік, тобто значно більшу, ніж на багатих на органіку перезволожених торфово-болотних ґрунтах.

Таблиця 1

Урожайність сухої речовини верби залежно від густоти живців та ґрунтових умов, т/га (2015–2017 рр.)

| Сорт | Тип ґрунту | Густота садіння живців, тис. шт./га | Рік | | | У середньому за один рік |
|---------------------|------------------|-------------------------------------|------|------|------|--------------------------|
| | | | 2015 | 2016 | 2017 | |
| ‘Тернопільська’ | торфово-болотний | 10 | 0,38 | 0,88 | 1,74 | 0,58 |
| | | 15 | 0,30 | 0,72 | 1,47 | 0,49 |
| | | 20 | 0,67 | 1,70 | 3,29 | 1,10 |
| ‘Збруч’ | торфово-болотний | 10 | 0,49 | 1,19 | 2,39 | 0,80 |
| | | 15 | 0,92 | 2,21 | 4,55 | 1,52 |
| | | 20 | 1,88 | 4,86 | 9,84 | 3,28 |
| ‘Тритичинкова’ | торфово-болотний | 10 | 0,28 | 0,70 | 1,45 | 0,48 |
| | | 15 | 0,36 | 0,91 | 1,87 | 0,62 |
| | | 20 | 0,56 | 1,39 | 2,88 | 0,96 |
| ‘Тернопільська’ | супіщаний | 10 | – | 0,42 | 1,53 | 0,77 |
| | | 15 | – | 1,01 | 4,50 | 2,25 |
| | | 20 | – | 1,34 | 6,41 | 3,21 |
| НІР _{0,05} | | – | 0,03 | 0,09 | 0,13 | – |

Різниця за показниками продуктивності досліджуваних сортів зумовлена, найімовірніше, різницею в інтенсивності накопичення біомаси внаслідок різної інтенсивності фотосинтетичної діяльності рослин, яка, зі свого боку, залежить від площі листкової поверхні протягом періоду вегетації і продуктивності фотосинтезу.

Динаміку формування площі листкового апарату досліджуваних сортів помісячно залежно від густоти насадження (густоти садіння живців) і ґрунтових умов наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Площа листкового апарату сортів енергетичної верби залежно від густоти насадження та ґрунтових умов, тис. м²/га (2017–2019 рр.)

| Густота садіння живців, тис. шт./га | Місяць | | | | | У середньому за вегетацію |
|---|--------|------|------|------|------|---------------------------|
| | V | VI | VII | VIII | IX | |
| ‘Тернопільська’, торфово-болотний ґрунт | | | | | | |
| 10 | 9,8 | 11,8 | 21,0 | 18,8 | 10,5 | 14,4 |
| 15 | 9,2 | 13,7 | 25,6 | 21,5 | 20,2 | 18,0 |
| 20 | 14,0 | 26,2 | 32,0 | 29,1 | 18,7 | 24,0 |
| ‘Збруч’, торфово-болотний ґрунт | | | | | | |
| 10 | 16,3 | 18,6 | 24,5 | 16,7 | 10,1 | 17,2 |
| 15 | 14,8 | 22,3 | 32,1 | 22,7 | 11,5 | 20,7 |
| 20 | 2,3 | 34,8 | 40,4 | 26,5 | 15,6 | 27,5 |
| Тритичинкова, торфово-болотний ґрунт | | | | | | |
| 10 | 3,7 | 13,1 | 12,6 | 12,6 | 9,5 | 10,3 |
| 15 | 7,1 | 14,8 | 20,4 | 13,9 | 12,3 | 13,7 |
| 20 | 8,9 | 16,7 | 22,3 | 17,8 | 15,8 | 16,3 |
| ‘Тернопільська’, супіщаний ґрунт | | | | | | |
| 10 | 19,4 | 32,4 | 21,6 | 20,4 | 16,3 | 22,0 |
| 15 | 28,0 | 36,7 | 26,5 | 23,5 | 21,2 | 27,2 |
| 20 | 32,3 | 36,1 | 31,2 | 30,1 | 27,7 | 31,3 |
| НІР _{0,05} загальна = 1,96 | | | | | | |

Як видно з наведених даних, площа листкової поверхні збільшується зі збільшенням густоти насаджень. Найбільшу площу листкової поверхні мав сорт ‘Тернопільська’ на

супіщаному ґрунті – від 22,0 до 31,3 тис. м²/га, а на торфово-болотному – сорт ‘Збруч’ (від 17,2 до 27,5 тис. м²/га). Найменшими досліджувани показники були у насадженнях верби тритичинкової, яка характеризується найменшою продуктивністю біомаси.

Фотосинтетичний потенціал характеризує тривалість роботи листової поверхні протягом певного періоду. У досліджуваних сортів за весь період вегетації, залежно від густоти насадження та ґрунтових умов, він змінювався таким чином (табл. 3).

Таблиця 3

Фотосинтетичний потенціал сортів енергетичної верби залежно від густоти насадження та ґрунтових умов, млн м²·діб/га (2017–2019 рр.)

| Сорт | Тип ґрунту | Густота садіння живців, тис. шт./га | Рік | | | Серед не |
|-------------------------------------|------------------|--|------|------|------|-------------|
| | | | 2017 | 2018 | 2019 | |
| ‘Тернопільська’ | торфово-болотний | 10 | 1,58 | 2,60 | 2,81 | 2,33 |
| | | 15 | 1,98 | 2,62 | 4,13 | 2,91 |
| | | 20 | 2,64 | 3,90 | 5,13 | 3,89 |
| ‘Збруч’ | торфово-болотний | 10 | 1,89 | 2,81 | 3,64 | 2,78 |
| | | 15 | 2,28 | 3,40 | 4,37 | 3,35 |
| | | 20 | 3,03 | 4,52 | 5,80 | 4,45 |
| ‘Тритичинкова’ | торфово-болотний | 10 | 1,14 | 1,59 | 2,28 | 1,67 |
| | | 15 | 1,51 | 2,10 | 3,05 | 2,22 |
| | | 20 | 1,79 | 2,69 | 3,44 | 2,64 |
| ‘Тернопільська’ | супіщаний | 10 | 2,42 | 3,65 | 4,61 | 3,56 |
| | | 15 | 2,99 | 4,60 | 5,61 | 4,40 |
| | | 20 | 3,44 | 5,50 | 6,24 | 5,06 |
| НІР _{0,05} загальна = 0,15 | | | | | | |

За тривалості вегетаційного періоду в межах 155–166 діб середній фотосинтетичний потенціал за варіантами дослідів становив від 1,67 до 5,06 млн м²·діб/га, зростаючи за збільшення густоти садіння рослин і площі листового апарату.

Швидкість накопичення сухої речовини в рослин верби залежно від біологічних особливостей сорту, густоти насадження і едафічних умов має певні особливості. Її встановлюють за показниками чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) – кількості сухої речовини, яку за певну фазу росту й розвитку певна площа листової поверхні утворює протягом доби (табл. 4).

Таблиця 4

Чиста продуктивність фотосинтезу сортів енергетичної верби залежно від густоти насадження та схеми садіння (2017–2019 рр.)

| Сорт | Тип ґрунту | Густота садіння живців, тис. шт./га | ЧПФ, г/м ² за добу |
|-------------------------------------|------------------|--|----------------------------------|
| ‘Тернопільська’ | торфово-болотний | 10 | 0,68 |
| | | 15 | 0,63 |
| | | 20 | 0,56 |
| ‘Збруч’ | торфово-болотний | 10 | 0,70 |
| | | 15 | 1,16 |
| | | 20 | 0,88 |
| Тритичинкова | торфово-болотний | 10 | 0,59 |
| | | 15 | 0,49 |
| | | 20 | 0,62 |
| ‘Тернопільська’ | супіщаний | 10 | 0,98 |
| | | 15 | 1,62 |
| | | 20 | 1,23 |
| НІР _{0,05} загальна = 0,14 | | | |

Як видно з даних таблиці 4, найбільші показники ЧПФ спостерігаються у насадженні сорту 'Тернопільська' на супіщаному ґрунті – від 0,98 до 1,62 г/м² за добу та у сорту 'Збруч' (0,70–1,16 г/м² за добу). При цьому максимальними ці показники є за густоти 15 тис. шт./га.

Висновки

Із двох варіантів заплачних ґрунтів Полісся України більш придатними для вирощування енергетичної біомаси верби є супіщані, порівняно з торфово-болотними. На них енергетичні плантації верби мають більшу площу листової поверхні (від 22,0 до 31,3 тис. м²/га), вищі показники фотосинтетичного потенціалу (3,56–5,06 млн м²·діб/га) та чистої продуктивності фотосинтезу (до 1,62 г/м² на добу), що забезпечує відносно високі показники продуктивності (0,77–2,21 т/га/рік).

Для створення енергетичних плантацій верби на торфово-болотних ґрунтах доцільно використовувати сорт 'Збруч', який відзначається найвищими показниками продуктивності біомаси (3,28 т/га/рік), у той час як у сорту 'Тернопільська' цей показник становив 1,10 т/га/рік, а у клону верби тритичинкової – 0,77 т/га/рік.

Використана література

1. Dobrowolski, J. W., Bedla, D., Czech T. et al. Integrated Innovative Biotechnology for Optimization of Environmental Bioprocesses and a Green Economy. *Optimization and Applicability of Bioprocesses* / Н. Purohit, V. Kalia, A. Vaidya, A. Khardenavis (Eds.). Singapore : Springer, 2017. P. 27–71. doi: 10.1007/978-981-10-6863-8_3.
2. Keoleian G. A., Volk T. A. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2005. Vol. 24, Iss. 5–6. P. 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334
3. Aronsson P., Weih M., Åhman I. *Salix* cultivation yields added value – in addition to energy. *Bioenergy – for what and how much* / B. Johansson (Ed.). Stockholm : Swedish Research Council Formas, 2008. P. 269–284.
4. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London ; Washington, DC : Earthscan, 2010. 544 p.
5. 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 COM(97) 630 final. URL: [http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_\(97\)_630_final.pdf](http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_(97)_630_final.pdf)
6. Amichev B. Y., Hanga R. D., Bélanger N. et al. First-Rotation Yields of 30 Short-Rotation Willow Cultivars in Central Saskatchewan, Canada. *BioEnerg. Res.* 2015. Vol. 8, Iss. 1. P. 292–306. doi: 10.1007/s12155-014-9519-4
7. Kopp R. F., Smart L. B., Maynard C. A. et al. The development of improved willow clones for eastern North America. *Forest. Chron.* 2001. Vol. 77, Iss. 2. P. 287–292.
8. Фучило Я. Д. Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. Київ : Логос, 2011. 464 с.
9. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / за ред. В. М. Сінченка. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2015. 340 с.
10. Фучило Я. Д., Гнап І. В., Ганженко О. М. Ріст і продуктивність деяких сортів енергетичної верби іноземної селекції в умовах Волинського Опілля. *Plant Var. Stud. Prot.* 2018. Т. 14, № 2. С. 230–239. doi: 10.21498/2518-1017.14.3.2018.145310
11. Christersson L. High technology biomass production by *Salix* clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiol.* 1986. Vol. 2. P. 261–272. doi: 10.1093/treephys/2.1-2-3.261
12. Lindroth A., Båth A. Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. *Forest Ecol. Manag.* 1999. Vol. 121, Iss. 1–2. P. 57–65. doi: 10.1016/s0378-1127(98)00556-8
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.

14. Войцехівська О. В., Капустян А. В., Косик О. І. та ін. Фізіологія рослин / за ред. Т. В. Паршикової. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.

References

1. Dobrowolski, J. W., Bedla, D., & Czech, T. (2017). Integrated Innovative Biotechnology for Optimization of Environmental Bioprocesses and a Green Economy. In H. Purohit, V. Kalia, A. Vaidya, & A. Khardenavis (Eds.), *Optimization and Applicability of Bioprocesses*. Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-10-6863-8_3
2. Keoleian, G. A., & Volk, T. A. (2005). Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24(5–6), 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334
3. Aronsson, P., Weih, M., & Åhman, I. (2008). *Salix* cultivation yields added value – in addition to energy. *Bioenergy – for what and how much*. Stockholm: Swedish Research Council Formas.
4. El Bassam, N. (2010). Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London ; Washington, DC: Earthscan, 2010. 544 p.
5. 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 COM(97) 630 final. Retrieved from [http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_\(97\)_630_final.pdf](http://aei.pitt.edu/47273/1/COM_(97)_630_final.pdf)
6. Amichev, B. Y., Hangs, R. D., & Bélanger, N. (2015). First-Rotation Yields of 30 Short-Rotation Willow Cultivars in Central Saskatchewan, Canada. *BioEnerg. Res.*, 8(1), 292–306. doi: 10.1007/s12155-014-9519-4
7. Kopp, R. F., Smart, L. B., & Maynard, C. A. (2001). The development of improved willow clones for eastern North America. *Forest. Chron.*, 77(2), 287–292. doi: 10.5558/TFC77287-2
8. Fuchylo, Ya. D. (2011). Plantatsiine lisovyroshchuvannia: teoriia, praktyka, perspektyvy [Forest plantations: theory, practice, perspectives]. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
9. Sinchenko, V. M. (Ed.). (2015). *Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroshchuvannia ta vykorystannia* [Energy willow: technology of cultivation and use]. Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
10. Fuchylo, Ya. D., Hnap, I. V., & Hanzhenko, O. M. (2018). Growth and productivity of some foreign cultivars of energy willow in Volyn Opillia. *Plant Var. Stud. Prot.*, 14(2), 230–239. doi: 10.21498/2518-1017.14.2.2018.134775 [in Ukrainian]
11. Christersson, L. (1986). High technology biomass production by *Salix* clones on a sandy soil in southern Sweden. *Tree Physiol.*, 2(1–3), 261–272. doi: 10.1093/treephys/2.1-2-3.261
12. Lindroth, A., & Båth, A. (1999). Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. *Forest Ecol. Manag.*, 121(1–2), 57–65. doi: 10.1016/s0378-1127(98)00556-8
13. Dospekhov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. (5nd ed., rev.). Moscow: Agropromizdat. [in Russian]
14. Voitsekhivska, O. V., Kapustian, A. V., Kosyk, O. I., Musiienko, M. M., Olkhovych, O. P., Paniuta, O. O., Parshykova, T. V., & Slavnyi, P. S. (2010). *Fiziolohiia roslyn* [Plant Physiology]. Lutsk: Teren. [in Ukrainian]

УДК 630*232 + 504.73: 582.632.2

Зелинский Б. В., Фучило Я. Д.* Особенности накопления энергетической биомассы ивы на пойменных почвах Полесья Украины // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вып. 28. С. 76–84.

Інститут біоенергетических культур и сахарной свеклы НААН України, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03110, Украина, *e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Цель. Определить параметры основных факторов, влияющих на продуктивность энергетических плантаций ивы на пойменных почвах Полесья Украины. **Методы.** Опытные энергетические плантации ивы созданы однолетними черенками сортов 'Збруч', 'Тернопольская' и клона ивы трёхтычинковой, высаженными спаренными рядами с расстоянием между ними 0,75 м и с междурядьями 1,5 м. Густота посадки черенков: 10, 15 и 20 тыс. шт./га. **Результаты.** У сорта 'Тернопольская' после первого вегетационного периода приживаемость черенков на торфяно-болотной почве составляла от 48,6 до 54,8 %, у сорта 'Збруч' – от 72,8 до 86,6 %, а у ивы трёхтычинковой – от 71,0 до 82,3 %. В течение второго вегетационного периода произошел существенный отпад растений, особенно – в более густых вариантах. На супесчаной почве после второго года вегетации сохранилось от 74,1 до 87,5 % растений. Урожайность биомассы за первые 3 года на торфяно-болотной почве составляла у сорта 'Тернопольская' 0,58–1,10 т/га/год, у сорта 'Збруч' – от 0,80 до 3,28 т/га/год, а у ивы трёхтычинковой – от 0,62 до 0,96 т/га/год. При этом на производительность сухой массы растений существенно влияли густота насаждения и эдафические условия. В частности, на супесчаной почве сорт 'Тернопольская' за первые 2 года имел продуктивность от 0,77 до 3,21 т/га/год, что значительно больше, чем на богатых на органику переувлажненных торфяно-болотных почвах. Наибольшую площадь листовой поверхности имел сорт 'Тернопольская' на супесчаной почве – от 22,0 до 31,3 тыс. м²/га, а на торфяно-болотной – сорт 'Збруч' (от 17,2 до 27,5 тыс. м²/га). Средний фотосинтетический потенциал по вариантам опыта составил от 1,67 до 5,06 млн м²-сутки/га, возрастая при увеличении густоты посадки растений и площади листового аппарата. Наибольшие показатели ЧПФ наблюдаются в насаждении сорта 'Тернопольская' на супесчаной почве – от 0,98 до 1,62 г/м² в сутки и у сорта 'Збруч' (0,70–1,16 г/м² в сутки). При этом максимальными эти показатели были при густоте 15 тыс. шт./га. **Выводы.** В поймах рек Полесья Украины для выращивания энергетической биомассы ивы более пригодны супесчаные почвы по сравнению с торфяно-болотными. На них энергетические плантации ивы имеют большую площадь листовой поверхности, высокие показатели фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза, что обеспечивает относительно высокие показатели продуктивности биомассы. На торфяно-болотных почвах из изучаемых сортов для создания энергетических плантаций ивы целесообразно использовать сорт 'Збруч', который отличается высокими показателями продуктивности биомассы (3,28 т/га/год).

Ключевые слова: *Salix viminalis L.; Salix triandra L.; энергетические плантации; сорта 'Збруч' и 'Тернопольская'; густота посадки черенков; продуктивность биомассы; площадь листовой поверхности; фотосинтетический потенциал; чистая продуктивность фотосинтеза.*

UDC 630 * 232 + 504.73: 582.632.2

Zelinskyi, B. V., & Fuchylo, Ya. D.* (2019). Features of energy willow biomass accumulation on floodplain soils of Polissia (Ukraine). *Nauk. pracì Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burâkiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 28, 76–84. [in Ukrainian]

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

Purpose. To determine the parameters of the main factors affecting the productivity of energy plantations of willow on the floodplain soils of Polissya (Ukraine). **Methods.** The experimet with energy willow plantations were created using annual cuttings of the varieties 'Zbruch', 'Ternopil'ska' and a *Salix triandra* willow clone, planted in double rows with a distance of 0.75 m between them and with a row spacing of 1.5 m. Planting cuttings density: 10, 15 and 20 thousand pcs/ha. **Results.** After the first growing season in the 'Ternopil'ska' variety, the survival rate of cuttings on peat-bog soil ranged from 48.6 to 54.8 %, in the 'Zbruch' variety from 72.8 to 86.6 %, and in *Salix triandra* from 71.0 to 82.3 %. During the second growing season there was a

significant decline in plants, especially in denser stands. On sandy soil, after the second year of vegetation, from 74.1 to 87.5 % of plants remained. Biomass productivity in the first 3 years on peat-bog soil was 0.58–1.10 t/ha/year in 'Ternopil'ska' variety, 0.80 to 3.28 t/ha/year in 'Zbruch' variety, and from 0.62 to 0.96 t/ha/year. At the same time, the density of plantations and edaphic conditions significantly affected the productivity of the dry mass of plants. In particular, on sandy loam soil, 'Ternopil'ska' variety in the first 2 years had productivity from 0.77 to 3.21 t/ha/year, which is significantly higher than on rich of organic substances moistened peat-bog soils. The largest leaf area was in 'Ternopil'ska' variety on sandy loam soil, from 22.0 to 31.3 thousand m²/ha, and in 'Zbruch' variety (from 17.2 to 27.5 thousand m²/ha). The average photosynthetic potential according to the experimental options ranged from 1.67 to 5.06 million m²·day/ha, increasing with increasing planting density and leaf area. The highest net productivity of photosynthesis indicators are observed in 'Ternopil'ska' variety on sandy soil, from 0.98 to 1.62 g/m² per day and in 'Zbruch' variety (0.70–1.16 g/m² per day). At the same time, these indicators were maximum with a density of 15 thousand plants./ha. **Conclusions.** In floodplains of the Polissia, sandy loamy soils are more suitable for growing the willow energy biomass compared to peat-bog soils. Willow energy plantations have a large leaf surface area, high photosynthetic potential and net photosynthesis productivity, which provides relatively high biomass productivity indicators. On peat-bog soils from the studied varieties, it is advisable to use 'Zbruch' variety, which is characterized by high biomass productivity (3.28 t/ha/year), to create willow energy plantations.

Keywords: *Salix viminalis L.; Salix triandra L.; energy plantations; varieties 'Zbruch' and 'Ternopil'ska'; planting density of cuttings; biomass productivity; leaf area; photosynthetic potential; net productivity of photosynthesis.*

Надійшла / Received 17.01.2020

Погоджено до друку / Accepted 12.02.2020

УДК 664.7.004.12:633.111:631.526.3

Хлібопекарські властивості зерна пшениці м'якої з добавлянням пшениці спельти

О. А. Єремєєва¹, Є. І. Харченко², Г. В. Ткаченко¹, В. В. Любич¹

¹Уманський національний університет садівництва, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., 20305, Україна, e-mail: LyubichV@gmail.com

²Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601, Україна, e-mail: info@nuft.edu.ua

Мета. Вивчити питання щодо формування хлібопекарських властивостей зерна пшениці м'якої з добавлянням пшениці спельти. **Методи.** Лабораторні, математично-статистичні, органолептичні, експертальні. **Результати.** Результати дослідження процесу подрібнення помельних партій з відсотковим вмістом спельти 5 %, 10, 15, 20, 25 %, вказують, що в третьому та п'ятому зразках високий вміст клейковини – 29,6 % і 29,04 %. Найменша кількість у четвертому зразкові – 24,8 %. За білизною всі зразки отриманого борошна відносяться до вищого сорту. Результати пробної випічки хліба показали добрі результати. Найкращими борошномельними та хлібопекарськими властивостями характеризувались зразки з відсотковим вмістом спельти у кількості 15, 20 і 25 %. Отримані результати досліджень науково обґрунтовують доцільність добавляння пшениці спельти у помельні партії пшениці м'якої в кількості 15 % для покращення борошномельних та хлібопекарських властивостей. При добавлянні 15 % пшениці спельти до помельної партії пшениці м'якої отримано найвищу якість борошна. **Висновки.** Хлібопекарські властивості