

УДК 633.9:631.54

Закономірності формування фотосинтетичних показників міскантусу гігантського в умовах Правобережного Лісостепу України

О. І. Присяжнюк^{1*}, О. М. Гончарук¹, Т. П. Костина²,
Н. О. Кононюк¹, М. О. Черняк¹, В. В. Мусіч¹, Є. В. Качура³

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: ollpris@gmail.com

²ТОВ «БАСФ Т.О.В», б-р Миколи Міхновського, 19, м. Київ, 01042, Україна

³Інститут агроєкології і природокористування НААН України, вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна

Мета. Установити вплив елементів технології вирощування міскантусу гігантського на особливості формування його фотосинтетичних показників. **Методи.** Дослідження проводили на Білоцерківській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл.) упродовж 2019–2022 рр. Міскантус гігантський 'Осінній зорецьвіт' вирощували за схемою трифакторного польового досліду: фактор А – інокуляція: 1) без інокуляції; 2) Азофосфорин, 1,0 л/га; фактор Б – застосування адсорбенту: 1) без адсорбенту; 2) МахіМарін гранульований, 30 кг/га; фактор В – позакореневе підживлення: 1) без підживлення; 2) Гуміфілд, 50 г/га; 3) Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га. **Результати.** Найбільша в досліді площа листової поверхні формувалась у варіантах застосування інокуляції Азофосфорином разом з адсорбентом та позакореневим підживленням Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га. За таких умов площа листової поверхні у фазі утворення волоті рослин міскантусу становила 60,7 тис. м²/га. Застосування інокуляції Азофосфорином позитивно вплинуло на фотосинтетичний потенціал насаджень, збільшивши показники на 0,19 тис. м²/га × діб у 2020 р., на 0,24 тис. м²/га × діб у 2021-му та на 0,20 тис. м²/га × діб у 2022 р. Внесення адсорбенту МахіМарін гранульований також сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу: на 0,18 тис. м²/га × діб у 2020 р., на 0,21 тис. м²/га × діб у 2021-му та на 0,18 тис. м²/га × діб у 2022 р. За сукупного впливу факторів (інокуляція + гідрогель) та обробки насаджень Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га + антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га були досягнуті максимальні показники фотосинтетичного потенціалу: 3,26 тис. м²/га × діб у 2020 р., 4,23 тис. м²/га × діб у 2021-му та 3,58 тис. м²/га × діб у 2022 р. Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) у середньому по досліді становила 2,16 г/м² за добу у 2020 р., 4,99 г/м² за добу у 2021-му та 5,03 г/м² за добу у 2022 р. Незважаючи на втрату сходів у 2022 році, рослини міскантусу гігантського змогли відрости і сформувати високий потенціал ЧПФ. Застосування інокуляції Азофосфорином підвищило ЧПФ на 0,19 г/м² за добу у 2020 р., на 0,43 г/м² за добу у 2021-му та на 0,49 г/м² за добу у 2022 р. Внесення адсорбенту МахіМарін гранульований збільшило ЧПФ на 0,13 г/м² за добу у 2020 р., на 0,34 г/м² за добу у 2021-му та на 0,62 г/м² за добу у 2022 р. За сукупного впливу факторів (інокуляції Азофосфорином та гідрогелю МахіМарін гранульований) були досягнуті високі показники ЧПФ: 2,34 г/м² за добу у 2020 р., 5,40 г/м² за добу у 2021-му та 5,56 г/м² за добу у 2022 р. При цьому значного внеску фактору позакореневого удобрення гуматами та амінокислотами не було виявлено. **Висновки.** Установлені процеси досліджень дані можуть бути використані для оптимізації елементів технології вирощування міскантусу гігантського в умовах Правобережного Лісостепу України з метою підвищення продуктивності насаджень культури.

Ключові слова: інокуляція; внесення адсорбенту; позакореневе підживлення; площа листя; чиста продуктивність фотосинтезу; фотосинтетичний потенціал.

Вступ

Міскантус гігантський є багаторічною трав'янистою рослиною C₄-типу фотосинтезу, що походить зі Східної Азії та поширюється у Європі з середини 1980-х років. Фактично ж міскантус гігантський є міжвидовим гібридом *Miscanthus sinensis* та *M. sacchariflorus*, та являє цінність як енергетична культура через високий уміст лігноцелюлози та виробництво біомаси [1–5].

Урожайність міскантуса гігантського в умовах Європи змінюється від 10 до 25 т сухої речовини на гектар. Причому дослідники відмічають, що врожайність поступово зростає щороку протягом перших років розвитку плантацій [6, 7].

Однак висока вартість закладання плантацій міскантуса гігантського, що становить від 1900 до 3300 євро/га є основним обмеженням для фермерів протягом першого року виробництва. Крім того, використання кореневищ часто призводить до низької приживлюваності, оскільки їхню якість непросто перевірити, адже вона залежить від періоду заготівлі, технології збирання, часу зберігання між збиранням і висаджуванням, умов зберігання та розміру кореневища [8–10].

Недосконалість технології вирощування міскантуса гігантського призводить до додаткових витрат на закладання плантації або до зниження їх продуктивності. Тому варто вивчити нові методи догляду для подолання проблем, які виникають через слабкий ріст культури на початку вегетації та недосконалість технології [11, 12].

До фотосинтетичних показників будь-яких вирощуваних культур можна віднести площу фотосинтетичної поверхні (зазвичай листків) рослин, інтенсивність накопичення ними сухої речовини, вміст фотосинтетично активних пігментів (хлорофілів) у листових пластинках, а також показники фотосинтетичного потенціалу (ФП) та чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ), які показують потенційні можливості до фотосинтезу та інтенсивність накопичення сухої речовини одиницею площі листя [13, 14].

Площа листя, зазвичай, визначає фотосинтетично активну поверхню, на якій рослина може здійснювати фотосинтез – процес, за якого рослини засвоюють сонячну енергію та перетворюють її на органічні речовини. Чим більша площа листя, тим більше сонячної енергії може бути вловлено рослинами й використано для синтезу органічних речовин [15]. Міскантус гігантський формує досить велику площу листя, що дає йому змогу ефективно використовувати доступне сонячне випромінювання для синтезу біомаси, адже більша площа листя зазвичай сприяє кращому накопиченню органічних речовин у рослині. Це сприяє збільшенню продуктивності культури. Крім того, завдяки великій площі листя, рослина може формувати більше біомаси [16, 17].

Водночас дослідження елементів агротехнологій вирощування міскантуса гігантського в умовах Лісостепу України наразі є актуальним питанням, особливо з позицій підвищення його фотосинтетичної активності та подальшого накопичення сухої речовини.

Мета досліджень – установити вплив елементів технології вирощування міскантуса гігантського на особливості формування його фотосинтетичних показників.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили на Білоцерківській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл.) упродовж 2019–2022 рр. Схему дослідження наведено в таблиці.

Таблиця

Схема дослідів з технології вирощування міскантуса гігантського

Інокуляція	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без інокуляції	без адсорбенту	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
	MaxiMarin, 30 кг/га	Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
Азофосфорин, 1 л/га	без адсорбенту	Без підживлення
		Гуміфілд, 50 г/га
	MaxiMarin, 30 кг/га	Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га
		Гуміфілд, 50 г/га + АміноСтар, 1,0 л/га

Адсорбент вносили в ґрунт у міжряддя, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі 3–5 листків культури та повторно у фазі кущення.

Площа садивної ділянки становила 35 м², облікової – 25 м²; повторність – триразова. У досліді висаджували сорт міскантусу ‘Осінній зорецвіт’.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий глибокий малогумусний вилугуваний середньосуглинковий зі вмістом гумусу в шарі 0–30 см – 3,5 %. Вміст азоту становить 29–37 мг/кг, рухомого фосфору – 200–220 мг/кг та обмінного калію – 100 мг/кг ґрунту. У складі обмінних катіонів кальцій становить 78–90 %, магній – 7–19 % від загальної суми.

Умови регіону проведення досліджень цілком сприятливі для росту й розвитку міскантусу, оскільки середня багаторічна температура поверхні ґрунту +10,8 °С, абсолютний максимум +34,2 °С, мінімум – 27,6 °С. Середня багаторічна відносна вологість повітря становить 74 %. Середня багаторічна кількість днів з відносною вологістю не більше 30 % дорівнює 33 доби, не менше 80 % – 104 доби.

Площу листя визначали як довжину та ширину окремих листків, а потім ці дані перемножували на перевідний коефіцієнт, який для міскантусу гігантського ‘Осінній зорецвіт’ становить 0,669.

Фотосинтетичний потенціал посівів міскантусу гігантського встановлювали за весь вегетаційний період:

$$\Phi\P = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \times 1000} T,$$

де $Л_1 + Л_2$ – площа листя, тис. м²/га; T – тривалість періоду вегетації, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу посівів розраховували також за весь період вегетації культури, оскільки мали на меті показати загальну ефективність посівів упродовж річного циклу їх вирощування:

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

де $(B_2 - B_1)$ – приріст сухої речовини за вегетацію, г; $0,5(Л_1 + Л_2)$ – середня площа листя посівів; n – тривалість періоду вегетації, діб.

Експериментальні дослідження проводили згідно методик польового досліді та спеціальних методик [18–20].

Результати дослідження

Площа листя міскантусу гігантського впливає на його продуктивність, оскільки визначає здатність до фотосинтезу та накопичення біомаси. Водночас слід зважати, що не завжди більша площа листя дозволяє рослині виробляти більше органічних речовин. А тому питанню вивчення закономірностей формування площі листя у фазі утворення волоті слід присвятити окрему увагу (рис. 1).

Ничипорович О.О. вважає, що висока продуктивність фітоценозів можлива за умови оптимального розміру та тривалості роботи фотосинтетичного апарату, досягнення найкращої інтенсивності та якості його функціонування на різних стадіях росту й розвитку рослин, а також забезпечення мінімальних втрат продуктів фотосинтезу при формуванні врожаю. Важливо не лише виробляти суху речовину, а й зберігати її.

Темпи утворення й росту листків, а також тривалість їх функціонування залежать як від властивостей самої рослини, так і від умов вирощування. За пізніх строків садіння рослини значно скорочують вегетаційний період, розвивають менший листовий апарат і швидше переходять до репродуктивної фази.

З погляду ефективності застосування запропонованих агротехнічних заходів, період утворення волоті є особливо важливим. Саме в цей час завершуються всі внесення препаратів позакореневого підживлення, і вони вже вплинули на ріст та розвиток рослин. На контрольних ділянках без агротехнічних заходів площа листової поверхні рослин міскантусу становила 39,7 тис. м²/га. Найкращих результатів досягли в разі застосування інокуляції Азофосфорином на фоні внесення адсорбенту та позакореневого підживлення Гуміфілд + АміноСтар. За таких умов площа листової поверхні у фазі утворення волоті досягала 51,0 тис. м²/га.

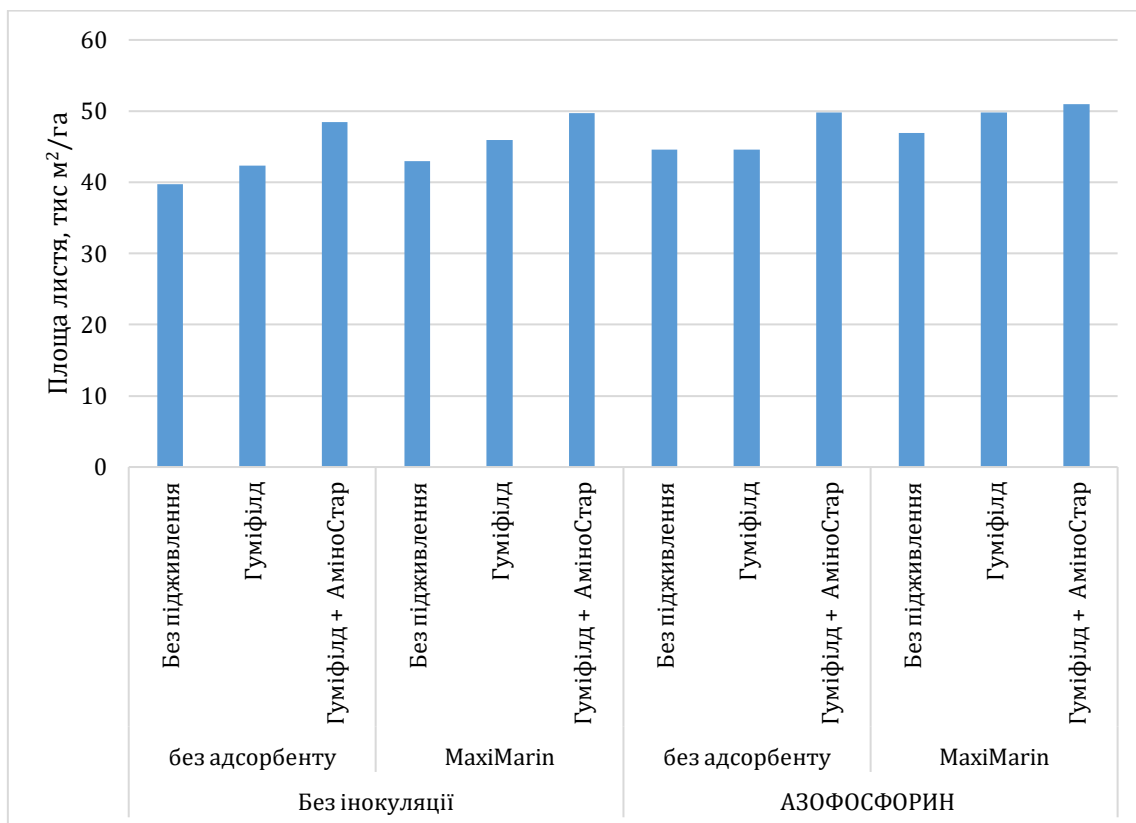


Рис. 1. Площа листків рослин міскантусу у фазі утворення волоті, тис. м²/га (2020 р.)

Параметри площі листків міскантусу у фазі утворення волоті у 2021 році наведено на рисунку 2.

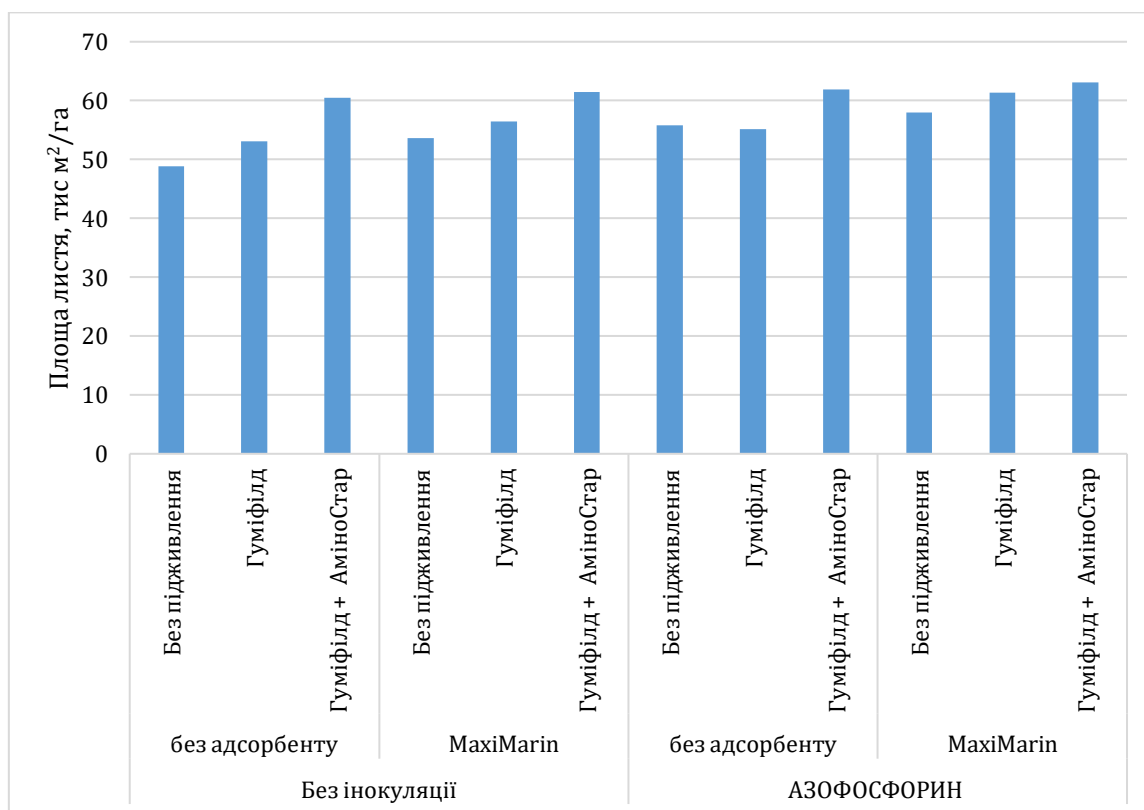


Рис. 2. Площа листків рослин міскантусу у фазі утворення волоті, тис. м²/га (2021 р.)

Закономірності формування площі листової поверхні рослин міскантусу у 2021 році певної мірою нагадували особливості 2020 року, оскільки ця рослина є багаторічною, але трав'янистою і щорічно відростаючою. Проте є відмінності, пов'язані з тим, що рослини різних років вегетації

розвиваються дещо по-іншому, тому порівнювати їх некоректно. Через це можуть виникати відмінності у формуванні площі листя, на яких варто зупинитися окремо.

Період утворення волоті характеризується не лише активізацією ростових процесів, але і є слушним часом для оцінювання ефективності запропонованих агротехнічних заходів. Препарати для позакореневого підживлення вже внесені, і можна оцінити їх вплив на ріст та розвиток рослин.

У контрольних варіантах без заходів впливу площа листової поверхні міскантусу в цій фазі розвитку становила 48,8 тис. м²/га. Найкращих результатів досягли в разі застосування інокуляції Азофосфорином на фоні внесення адсорбенту та позакореневого підживлення Гуміфілд + АміноСтар. За таких умов площа листової поверхні у фазі утворення волоті досягла 63,1 тис. м²/га. Отже, комбіноване застосування досліджуваних препаратів позитивно вплинуло на ріст і розвиток рослин міскантусу та формування ними ефективної площі листової поверхні.

Особливості формування площі листків рослин міскантусу під впливом факторів досліді у 2022 році відображено на рисунку 3.

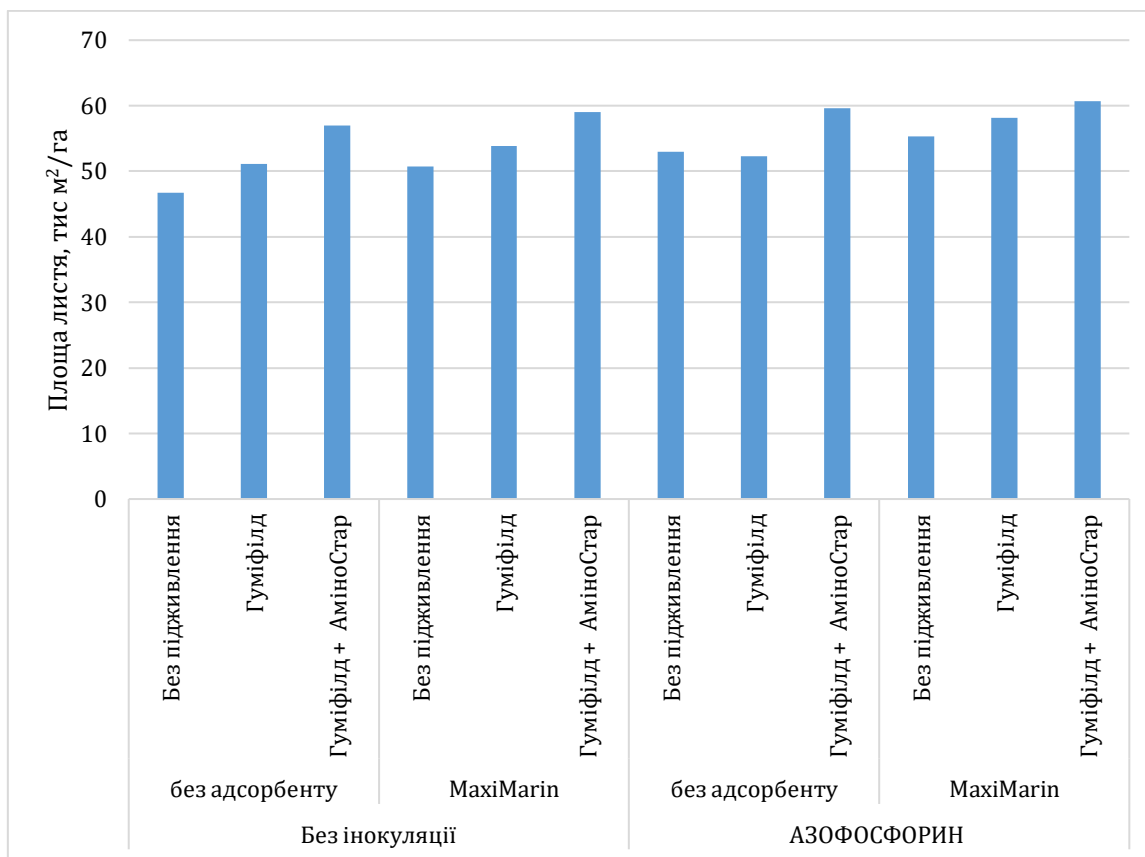


Рис. 3. Площа листків рослин міскантусу у фазі утворення волоті, тис. м²/га (2022 р.)

Застосування адсорбенту MaxiMarin загалом позитивно вплинуло на формування листової поверхні у цей період розвитку рослин, збільшуючи її на 3,0 тис. м²/га більше порівняно з варіантами досліді без адсорбенту. Однак забезпечення вологою протягом вегетації не є найважливішим чинником впливу на формування листової поверхні міскантусу гігантського, оскільки рослини мають потужну кореневу систему і здатні ефективно засвоювати вологу з глибоких шарів ґрунту та ефективно її використовувати завдяки С₄-типу фотосинтезу. Тому застосування інокуляції рослин Азофосфорином загалом сприяло збільшенню площі листя на 3,4 тис. м²/га. Значний внесок також мало позакореневе підживлення, особливо у комплексній дії з іншими елементами технології.

Отже, в умовах 2022 року на контрольних варіантах без додаткових заходів площа листової поверхні міскантусу в цю фазу розвитку становила 46,7 тис. м²/га, тоді як у середньому по досліді площа листя була 54,8 тис. м²/га, що свідчить про вагомий вплив додаткових елементів технології вирощування культури.

Найкращими виявилися варіанти із застосуванням інокуляції Азофосфорином на фоні внесення адсорбенту та позакореневого підживлення Гуміфілд + АміноСтар. За таких умов площа листової поверхні у фазі утворення волоті міскантусу сягала 60,7 тис. м²/га.

Проаналізуємо отримані показники фотосинтетичного потенціалу посівів міскантусу гігантського за вегетаційний період (рис. 4).

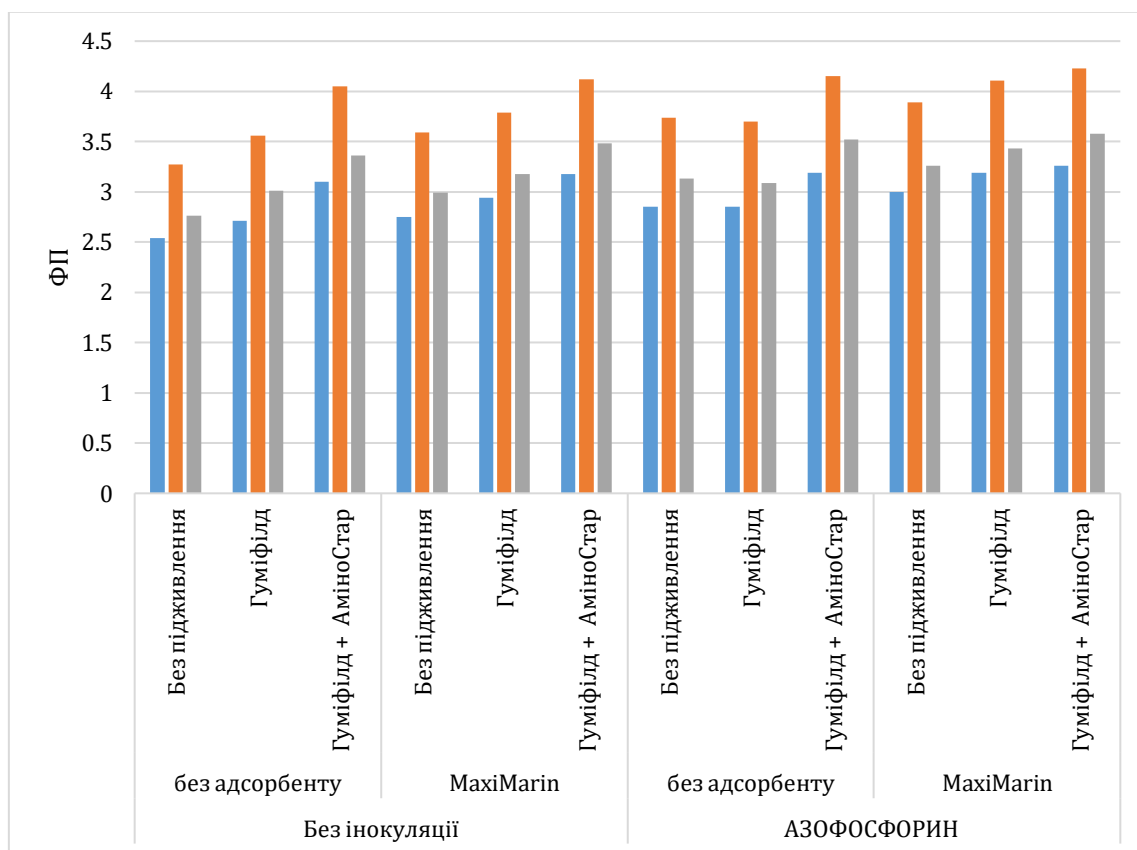


Рис. 4. Фотосинтетичний потенціал посівів міскантусу за вегетаційний період, тис. м²/га × діб (2020–2022 рр.)

За фотосинтетичним потенціалом у середньому по досліді отримали такі показники: у 2020 році – 2,96 тис. м²/га × діб, у 2021-му – 3,85 тис. м²/га × діб, а у 2022 році – 3,23 тис. м²/га × діб. Таким чином, наслідки приморозків та затримка росту насаджень міскантусу гігантського позначилися на формуванні площі листя, що призвело до зниження фотосинтетичного потенціалу загалом.

Застосування інокуляції посівів Азофосфорином позитивно вплинуло на формування фотосинтетичного потенціалу, забезпечивши приріст на 0,19 тис. м²/га × діб у 2020 році, на 0,24 тис. м²/га × діб у 2021 році та на 0,20 тис. м²/га × діб у 2022 році. Внесення адсорбенту MaxiMarin сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу на 0,18 тис. м²/га × діб у 2020 році, на 0,21 тис. м²/га × діб у 2021 році та на 0,18 тис. м²/га × діб у 2022 році.

За комплексного застосування факторів (інокуляція та гідрогель) і обробці посівів Гуміфілд + АміноСтар, у роки досліджень було досягнуто максимальних показників фотосинтетичного потенціалу насаджень: 3,26 тис. м²/га × діб у 2020 році, 4,23 тис. м²/га × діб у 2021 році та 3,58 тис. м²/га × діб у 2022 році. Отже, такі варіанти досліді можуть сприяти формуванню кращого рівня продуктивності насаджень міскантусу гігантського.

Аналізуючи вплив позакореневого підживлення на фотосинтетичний потенціал насаджень міскантусу гігантського, було встановлено, що у варіантах без інокуляції рослин Азофосфорином приріст від внесення Гуміфілд становив у середньому 0,24 тис. м²/га × діб, а за поєднання з внесенням гідрогелю – 0,65 тис. м²/га × діб. Аналогічно, обробка насаджень комплексним добривом Гуміфілд + АміноСтар забезпечила приріст 0,65 та 0,48 тис. м²/га × діб.

У разі застосування інокуляції рослин Азофосфорином відбувся перерозподіл впливу позакореневого удобрення завдяки покращенню забезпечення живлення рослин макроелементами. Внесення Гуміфілд забезпечило середній приріст 0,03 тис. м²/га × діб, а за поєднанні з внесенням гідрогелю – 0,19 тис. м²/га × діб. Аналогічно, обробка посівів комплексним добривом Гуміфілд + АміноСтар дала приріст 0,38 та 0,31 тис. м²/га × діб.

Цікавим питанням до вивчення є встановлення залежності між збором сухої речовини та показників фотосинтетичного потенціалу посівів міскантусу гігантського (рис. 5).

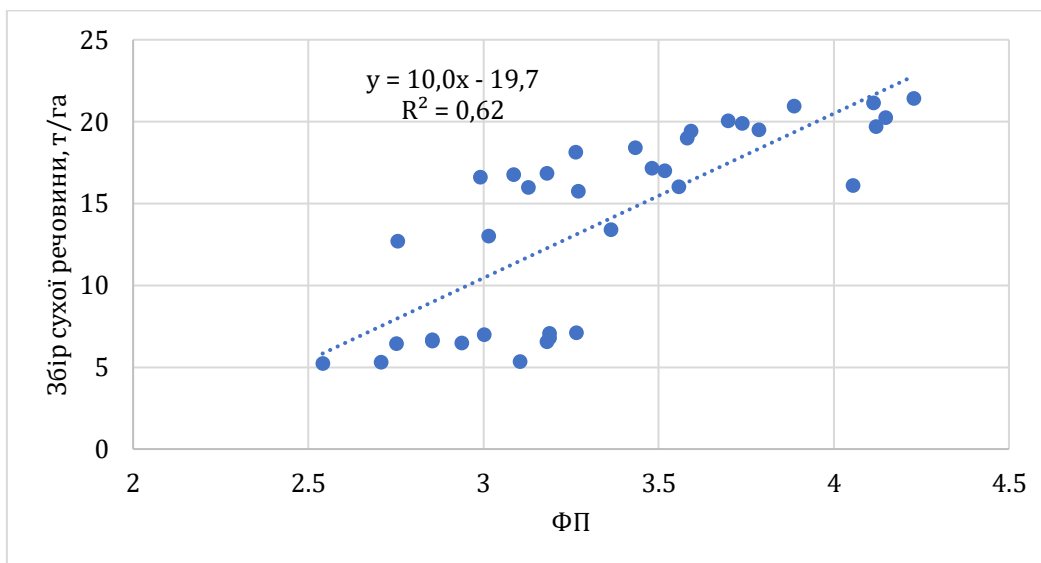


Рис. 5. Залежність збору сухої речовини та показників фотосинтетичного потенціалу посівів міскантусу гігантського

Попри те що фотосинтетичний потенціал визначається як відношення площі листкової поверхні до тривалості вегетаційного періоду тісноту впливу цього показника на формування збору сухої речовини можна оцінити як значний кореляційний зв'язок ($r = 0,61$).

Отже, отримані закономірності підтверджують дані інших дослідників, що визначені показники фотосинтетичного потенціалу насаджень впливають на формування врожайності досліджуваної культури на досить прийнятному рівні точності. А тому можуть використовуватись у моделях передбачення продуктивності культури.

Також проаналізуємо взаємозв'язок площі листя та показників фотосинтетичного потенціалу насаджень міскантусу гігантського (рис. 6).

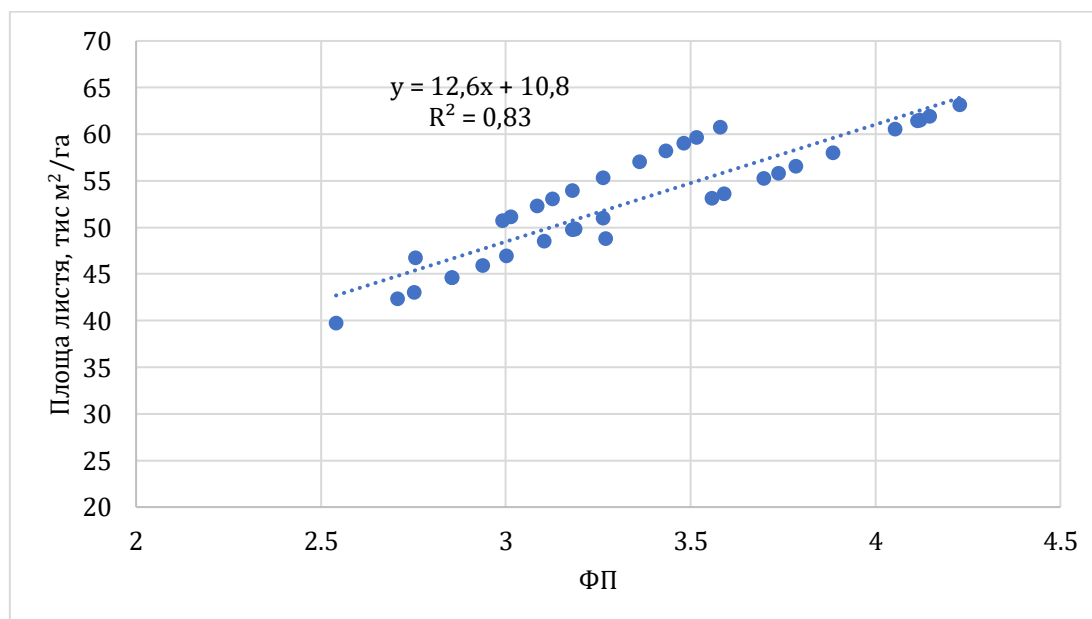


Рис. 6. Взаємозв'язок площі листя та показників фотосинтетичного потенціалу насаджень міскантусу гігантського

Якщо ж аналізувати взаємозв'язок фотосинтетичного потенціалу з площею листкової поверхні, то в цьому випадку отримуємо сильний кореляційний зв'язок ($r = 0,82$), оскільки порівнюємо дані з однією з ознак, що і власне входить до показника фотосинтетичного потенціалу насаджень.

Інформаційного навантаження це порівняння не несе, однак дає змогу визначити точність регресійно-кореляційного аналізу для встановлення математично-статистичних параметрів моделей насаджень міскантусу гігантського.

Визначимо також особливості зміни чистої продуктивності фотосинтезу за вегетаційний період міскантусу гігантського (рис. 7).

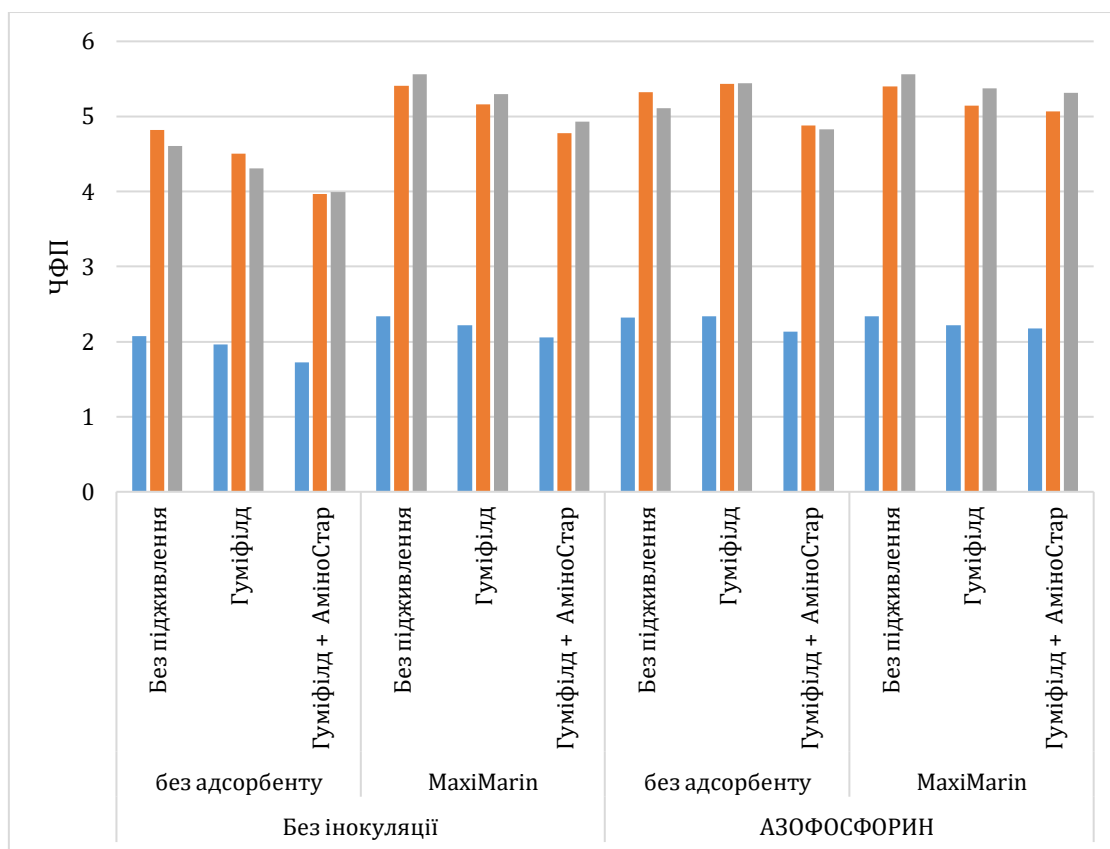


Рис. 7. Чиста продуктивність фотосинтезу міскантусу за вегетаційний період, г/м² за добу

За чистою продуктивністю фотосинтезу (ЧПФ) у середньому по досліді отримали такі показники: у 2020 році – 2,16 г/м² за добу, у 2021 році – 4,99 г/м² за добу, а у 2022 році – 5,03 г/м² за добу. Незважаючи на втрату сходів у 2022 році, рослини міскантусу гігантського змогли відрости і сформувати високий потенціал ЧПФ.

Аналізуючи вплив факторів, встановлено, що застосування інокуляції насаджень Азофосфорином підвищило ЧПФ на 0,19 г/м² за добу у 2020 році, на 0,43 г/м² за добу у 2021 році та на 0,49 г/м² за добу у 2022 році. Внесення адсорбенту MaxiMarin також сприяло збільшенню ЧПФ: на 0,13 г/м² за добу у 2020 році, на 0,34 г/м² за добу у 2021 році та на 0,62 г/м² за добу у 2022 році.

За сукупної дії факторів (інокуляції Азофосфорином та гідрогелю MaxiMarin) отримали високі показники ЧПФ насаджень міскантусу гігантського: 2,34 г/м² за добу у 2020 році, 5,40 г/м² за добу у 2021-му та 5,56 г/м² за добу у 2022 році.

Аналогічно показникам ФП проведемо оцінку залежності збору сухої речовини і показників чистої продуктивності фотосинтезу насаджень міскантусу гігантського (рис. 8) та площі листя і ЧПФ (рис. 9).

Було визначено, на збір сухої речовини міскантусу гігантського чиста продуктивність фотосинтезу мала дуже сильний кореляційний зв'язок ($r = 0,91$), ЧПФ та площа листя мали між собою тісноту зв'язку на рівні значного ($r = 0,50$).

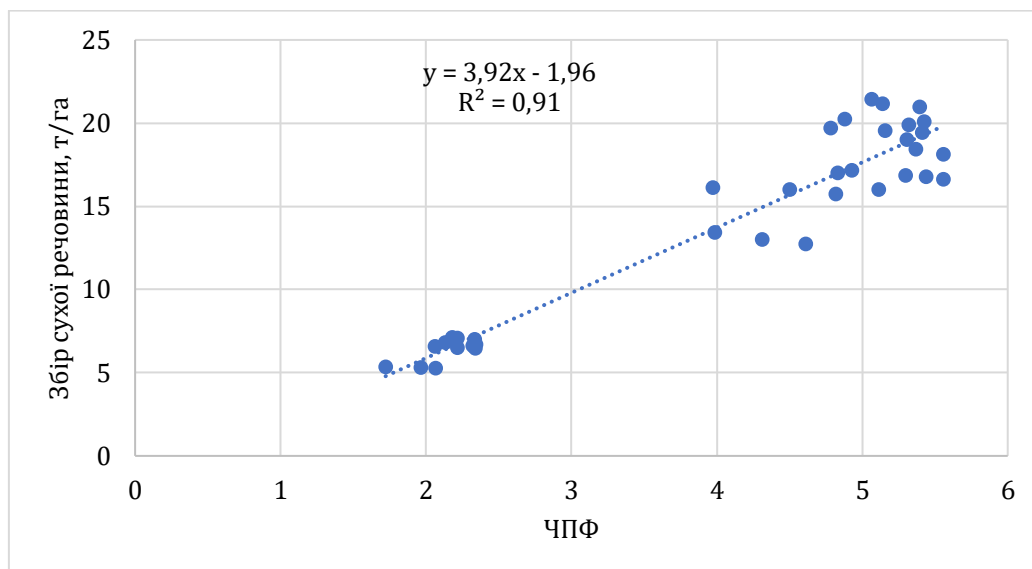


Рис. 8. Залежність збору сухої речовини та показників чистої продуктивності фотосинтезу насаджень міскантусу гігантського

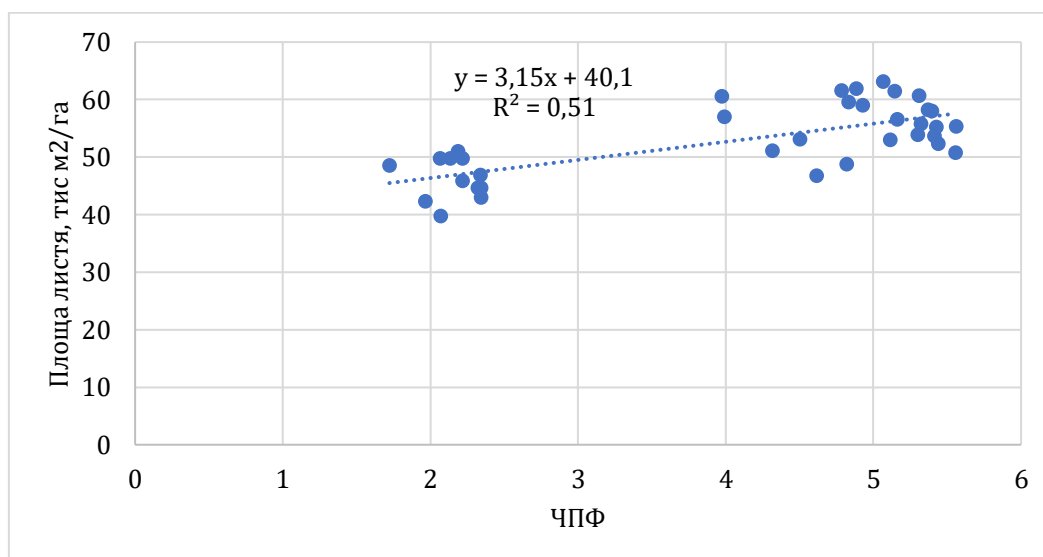


Рис. 9. Взаємозв'язок площі листя та показників чистої продуктивності фотосинтезу насаджень міскантусу гігантського

Висновки

Найбільша площа листкової поверхні спостерігалася у варіантах застосування інокуляції Азофосфорином разом з адсорбентом та позакореневим підживленням Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га. За таких умов площа листкової поверхні у фазі утворення волоті рослин міскантусу становила 60,7 тис. м²/га.

Застосування інокуляції Азофосфорином позитивно вплинуло на фотосинтетичний потенціал насаджень, збільшивши показники на 0,19 тис. м²/га × діб у 2020 р., на 0,24 тис. м²/га × діб у 2021-му та на 0,20 тис. м²/га × діб у 2022 р. Внесення адсорбенту MaxiMarin гранульований також сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу: на 0,18 тис. м²/га × діб у 2020 р., на 0,21 тис. м²/га × діб у 2021-му та на 0,18 тис. м²/га × діб у 2022 р. За сукупного впливу факторів (інокуляція + гідрогель) та обробки посівів Гуматом калію (Гуміфілд), 50 г/га + антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га були досягнуті максимальні показники фотосинтетичного потенціалу: 3,26 тис. м²/га × діб у 2020 р., 4,23 тис. м²/га × діб у 2021-му та 3,58 тис. м²/га × діб у 2022 р.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) у середньому по досліді становила 2,16 г/м² за добу в 2020 р., 4,99 г/м² за добу у 2021-му та 5,03 г/м² за добу у 2022 р. Незважаючи на втрату сходів у 2022 році, рослини міскантусу гігантського змогли відрости і сформувати високий потенціал ЧПФ. Застосування інокуляції Азофосфорином підвищило ЧПФ на 0,19 г/м² за добу у 2020 р., на 0,43 г/м² за добу у 2021-му та на 0,49 г/м² за добу у 2022 р. Внесення адсорбенту MaxiMarin гранульований

збільшило ЧПФ на 0,13 г/м² за добу у 2020 р., на 0,34 г/м² за добу у 2021-му та на 0,62 г/м² за добу у 2022 р. За сукупного впливу факторів (інокуляції Азофосфорином та гідрогелю MaxiMarin гранульований) були досягнуті високі показники ЧПФ: 2,34 г/м² за добу у 2020 р., 5,40 г/м² за добу у 2021-му та 5,56 г/м² за добу у 2022 р. При цьому значного внеску фактору позакореневого удобрення гуматами та амінокислотами не було виявлено.

Використана література

1. Atkinson C. J. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*. 2009. Vol. 33, Iss. P. 752–759. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.01.005
2. Boersma N. N., Heaton E. A. Does propagation method affect yield and survival? The potential of *Miscanthus × giganteus* in Iowa, USA. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 57. P. 43–51. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.01.058
3. Christian D. G., Riche A. B., Yates N. E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. 2008. Vol. 28, Iss. 3. P. 320–327. doi: 10.1016/j.indcrop.2008.02.009
4. Christian D. G., Yates N. E., Riche A. B. Estimation of ramet production from *Miscanthus × giganteus* rhizome of different ages. *Industrial Crops and Products*. 2009. Vol. 30, Iss. 1. P. 176–178. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.02.007
5. Clifton-Brown J. C., Breuer J., Jones M. B. Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2007. Vol. 13, Iss. 11. P. 2296–2307. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x
6. Clifton-Brown J., Hastings A., Mos M. et al. Progress in upscaling *Miscanthus* biomass production for the European bio-economy with seed-based hybrids. *GCB Bioenergy*. 2017. Vol. 9, Iss. 1. P. 6–17. doi: 10.1111/gcbb.12357
7. Clifton-Brown J. C., Neilson B., Lewandowski I., Jones M. B. The modelled productivity of *Miscanthus × giganteus* (GREEF et DEU) in Ireland. *Industrial Crops and Products*. 2000. Vol. 12, Iss. 2. P. 97–109. doi: 10.1016/S0926-6690(00)00042-X
8. Covarelli L., Beccari G., Tosi L. *Miscanthus* rhizome rot: A potential threat for the establishment and the development of biomass cultivations. *Biomass and Bioenergy*. 2020. Vol. 46. P. 263–269. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.08.018
9. Davey C. L., Jones L. E., Squance M. et al. Radiation capture and conversion efficiencies of *Miscanthus sacchariflorus*, *M. sinensis* and their naturally occurring hybrid *M. × giganteus*. *GCB Bioenergy*. 2017. Vol. 9, Iss. 2. P. 385–399. doi: 10.1111/gcbb.12331
10. Gauder M., Graeff-Hönniger S., Lewandowski I., Claupein W. Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany: Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes. *Annals of Applied Biology*. 2012. Vol. 160, Iss. 2. P. 126–136. doi: 10.1111/j.1744-7348.2011.00526.x
11. Hastings A. Economic and environmental assessment of seed and rhizome propagated *Miscanthus* in the UK. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. doi: 10.3389/fpls.2017.01058
12. Jensen E., Robson P., Norris J. et al. Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response whilst delay flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*. 2013. Vol. 643, Iss. 2. P. 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346
13. Kalinina O., Nunn C., Sanderson R. et al. Extending *Miscanthus* cultivation with novel germplasm at six contrasting sites. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. doi: 10.3389/fpls.2017.00563
14. Laurent A., Pelzer E., Loyce C., Makowski D. Ranking yields of energy crops: A meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 46. P. 41–50. doi: 10.1016/j.rser.2015.02.023
15. Lewandowski I., Scurlock J. M. O., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*. 2003. Vol. 25, Iss. 4. P. 335–361. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00030-8
16. Nakajima T., Yamada T., Anzoua K. G. et al. Carbon sequestration and yield performances of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. *Carbon Management*. 2018. Vol. 9, Iss. 4. P. 415–423. doi: 10.1080/17583004.2018.1518106
17. O'Loughlin J., McDonnell K., Finnan J. Establishing *Miscanthus × giganteus* crops in Ireland through nodal propagation by harvesting stems in autumn and sowing them immediately into a field. *Biomass and Bioenergy*. 2007. Vol. 107. P. 345–352. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.08.010
18. 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.
19. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0 : методичні вказівки. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
20. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь / за ред В. М. Сінченка. Київ : Логос, 2018. 240 с.

References

1. Atkinson, C. J. (2009). Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*, 33(5), 752–759. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.01.005
2. Boersma, N. N., & Heaton, E. A. (2014). Does propagation method affect yield and survival? The potential of *Miscanthus × giganteus* in Iowa, USA. *Industrial Crops and Products*, 57, 43–51. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.01.058
3. Christian, D. G., Riche, A. B., & Yates, N. E. (2008). Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 320–327. doi: 10.1016/j.indcrop.2008.02.009
4. Christian, D. G., Yates, N. E., & Riche, A. B. (2009). Estimation of ramet production from *Miscanthus × giganteus* rhizome of different ages. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 176–178. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.02.007
5. Clifton-Brown, J. C., Breuer, J., & Jones, M. B. (2007). Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 13(11), 2296–2307. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x
6. Clifton-Brown, J., Hastings, A., Mos, M., McCalmont, J. P., Ashman, C., Awty-Carroll, D., ... Flavell, R. (2017). Progress in upscaling *Miscanthus* biomass production for the European bio-economy with seed-based hybrids. *GCB Bioenergy*, 9(1), 6–17. doi: 10.1111/gcbb.12357
7. Clifton-Brown, J. C., Neilson, B., Lewandowski, I., & Jones, M. B. (2000). The modelled productivity of *Miscanthus × giganteus* (GREEF et DEU) in Ireland. *Industrial Crops and Products*, 12(2), 97–109. doi: 10.1016/S0926-6690(00)00042-X
8. Covarelli, L., Beccari, G., & Tosi, L. (2012). *Miscanthus* rhizome rot: A potential threat for the establishment and the development of biomass cultivations. *Biomass and Bioenergy*, 46, 263–269. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.08.018
9. Davey, C. L., Jones, L. E., Squance, M., Purdy, S. J., Maddison, A. L., Cunliffe, J., ... Clifton-Brown, J. (2017). Radiation capture and conversion efficiencies of *Miscanthus sacchariflorus*, *M. sinensis* and their naturally occurring hybrid *M. × giganteus*. *GCB Bioenergy*, 9(2), 385–399. doi: 10.1111/gcbb.12331
10. Gauder, M., Graeff-Hönniger, S., Lewandowski, I., & Claupein, W. (2012). Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany: Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes. *Annals of Applied Biology*, 160(2), 126–136. doi: 10.1111/j.1744-7348.2011.00526.x
11. Hastings, A. (2017). Economic and environmental assessment of seed and rhizome propagated *Miscanthus* in the UK. *Frontiers in Plant Science*, 8. doi: 10.3389/fpls.2017.01058
12. Jensen, E., Robson, P., Norris, J., Cookson, A., Farrar, K., Donnison, I., & Clifton-Brown, J. (2013). Flowering induction in the bioenergy grass *Miscanthus sacchariflorus* is a quantitative short-day response whilst delay flowering under long days increases biomass accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 643(2), 541–552. doi: 10.1093/jxb/ers346
13. Kalinina, O., Nunn, C., Sanderson, R., Hastings, A. F. S., van derWeijde, T., Özgüven, M., ... Clifton-Brown, J. C. (2017). Extending *Miscanthus* cultivation with novel germplasm at six contrasting sites. *Frontiers in Plant Science*, 8. doi: 10.3389/fpls.2017.00563
14. Laurent, A., Pelzer, E., Loyce, C., & Makowski, D. (2015). Ranking yields of energy crops: A meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 41–50. doi: 10.1016/j.rser.2015.02.023
15. Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 335–361. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00030-8
16. Nakajima, T., Yamada, T., Anzoua, K. G., Kokubo, R., & Noborio, K. (2018). Carbon sequestration and yield performances of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. *Carbon Management*, 9(4), 415–423. doi: 10.1080/17583004.2018.1518106
17. O'Loughlin, J., McDonnell, K., & Finnan, J. (2017). Establishing *Miscanthus × giganteus* crops in Ireland through nodal propagation by harvesting stems in autumn and sowing them immediately into a field. *Biomass and Bioenergy*, 107, 345–352. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.08.010
31. 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]
32. Ermantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsal'tynh. [In Ukrainian]
33. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Pyrkin, V. M., Prysiashniuk, O. I., ... Tkachenko, A. M. (2018). *Research methodology of willow and poplar energy plantations*. V. M. Sinchenko (Ed.). Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]

UDC 633.9:631.54

Prysiashniuk, O. I., Honcharuk, O. M., Kostyna, T. P., Kononiuk, N. O., Cherniak, M. O., Musich, V. V., & Kachura, Ye. V. (2024). Patterns of photosynthetic indicators of giant miscanthus in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 12(2). <https://doi.org/10.47414/na.12.2.2024.306976> [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine,*

^{*}*e-mail: ollpris@gmail.com*

²*LLC BASF T.O.V., 19 Mykola Mikhnovskyi Blvd., Kyiv, 01042, Ukraine*

³*Institute of Agroecology and Environmental Management, NAAS of Ukraine, 12 Metrolohična St., Kyiv, 03143, Ukraine*

Purpose. To establish the influence of the elements of cultivation technology on the formation of photosynthetic indicators in giant miscanthus. **Methods.** The research was conducted at the Bila Tserkva Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences (Kyiv region) in 2019–2022. Miscanthus giganteus variety ‘Osinnii zoretsvit’ was grown according to a three-factor field experiment design: factor A: inoculation: 1) without inoculation; 2) Azophosphorin, 1.0 l/ha; factor B: application of adsorbent: 1) without adsorbent; 2) MaxiMarin granulated, 30 kg/ha; factor B: foliar feeding: 1) without feeding; 2) Humifild, 50 g/ha; 3) Humifild, 50 g/ha + AminoStar, 1.0 l/ha. **Results.** The highest leaf area in the experiment was formed in the treatments with inoculation using Azophosphorin together with the adsorbent and foliar application of potassium humate (Humifild) + antistressant AminoStar. Under these conditions, leaf area in the panicle formation stage of miscanthus was 60.7 thousand m²/ha. Inoculation with Azophosphorin had a positive effect on the photosynthetic potential of plantations, increasing the indicators by 0.19 thousand m²/ha × day in 2020, by 0.24 thousand m²/ha × days in 2021 and by 0.20 thousand m²/ha × day in 2022. Application of MaxiMarin granulated adsorbent also contributed to an increase in photosynthetic potential: by 0.18 thousand m²/ha × day in 2020, by 0.21 thousand m²/ha × day in 2021 and by 0.18 thousand m²/ha × day in 2022. Under the combined effect of factors (inoculation + hydrogel) and treatment of plantations with potassium humate (Humifild), 50 g/ha + antistressant AminoStar, 1.0 l/ha maximum indicators of photosynthetic potential were achieved: 3.26 thousand m²/ha × day in 2020, 4.23 thousand m²/ha × day in 2021 and 3.58 thousand m²/ha × day in 2022. NPP, on average in the experiment was 2.16 g/m² × day in 2020, 4.99 g/m² × day in 2021 and 5.03 g/m² × day in 2022. Despite loss of sprouts in 2022, the giant miscanthus plants were able to regrow and form a high NPP. The use of inoculation with Azophosphorin increased the NPP by 0.19 g/m² × day in 2020, by 0.43 g/m² × day in 2021, and by 0.49 g/m² × day in 2022. Application of MaxiMarin granulated adsorbent increased NPP by 0.13 g/m² × day in 2020, by 0.34 g/m² × day in 2021 and by 0.62 g/m² × day in 2022. Under the combined effect of factors (inoculation with Azophosphorin and MaxiMarin granulated hydrogel) high NPP indicators were achieved: 2.34 g/m² × day in 2020, 5.40 g/m² × day in 2021 and 5.56 g/m² × day in 2022. No significant contribution of the factor of foliar application of humates and amino acids was found. **Conclusions.** The data obtained in the experiment can be used to optimize the elements of the cultivation technology for giant miscanthus in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine in order to increase the productivity of plantation.

Keywords: inoculation; application of adsorbent; foliar application of fertilizers; leaf area; net productivity of photosynthesis; photosynthetic potential.

Надійшла / Received 03.05.2024

Погоджено до друку / Accepted 24.05.2024