

ВПЛИВ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ НАДЗЕМНОЇ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО

ДЕКОВЕЦЬ В.О. – здобувач ступеня вищої освіти доктора філософії

orcid.org/0000-0003-3537-5016

Полтавський державний аграрний університет

КУЛИК М.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-0394-5846

Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. В даний час у світі спостерігається неспинна тенденція до поступового виснаження непоновлюваних джерел енергії (нафта, газ, вугілля). Tian, S. Sacho разом із співавторами (2017) зазначили, що сьогодні світова потреба в енергії покривається за рахунок нафти (35%), вугілля (23%), природного газу (21%) та ядерного палива (7%). Всі ці ресурси є непоновлюваними та мають тенденцію до виснаження [1]. Саме тому, світова наукова спільнота робить акцент та зосереджує значну увагу на альтернативних джерелах енергії, особливо на потенціалі рослинної енергоємної сировини [2; 3]. Водночас є значна кількість джерел енергії з біомаси для біопалива виробництва в Україні: рослинні рештки, відходи деревини, промисловості та фітомаса енергетичних культур [4]. Останній тип представлений переважно багаторічними рослинами, які є адаптованими до умов вирощування, формують високий урожай фітомаси при їх вирощуванні в малопродуктивних ґрунтах. Серед них найбільш поширеним є міскантус, просо прутіподібне (світчграс) і клони верби [5; 6]. З-поміж цих культур, міскантус належить до родини тонконогові (*Poaceae*); має дуже високі стебла – до п'яти метрів, що утворюють потужну надземну вегетативну масу [7]. Міскантус гігантський – природний гібрид між *Miscanthus sinensis* і *Miscanthus saccharifolius*, а його материнською формою був *Miscanthus saccharifolius* [8]. Він розмножується тільки вегетативно і є найпоширенішим видом в Україні та використовується для виробництва біопалив, фіторемедіації ґрунтів та отримання додаткових продуктів [9, 10]. Саме тому, більш детальне вивчення шляхів збільшення врожайності біомаси міскантусу дозволить отримати додаткову сировину для виробництва біопалив. Що є актуальним питанням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що максимальний загальний річний потенціал виробництва біомаси в Європі (ранній урожай) від *miscanthus*, *reed canarygrass* (*Phalaris arundinacea* L.) і *switchgrass* (*Panicum virgatum* L.) теоретично може сягати відповідно: 59,6; 155,2 і 173,6 млн тон сухої біомаси на рік за умов богарного вирощування. Поряд з цим в умовах зрощення обсяг сухої біомаси міскантусу значно зростає – до 205,4 млн т/рік, *reed canarygrass* – 214,9 млн. т/рік, а проса прутіподібного – 368,8 млн. т/рік [11]. Що є значним внеском в енергетичну енергонезалежність європейських країн. Тому вбачаємо необхідність застосування даного рослинного ресурсу і в нашій країні,

що дозволить знизити залежність від зовнішніх чинників та розвинути власне виробництво біопалив.

Разом із результатами попереднього дослідження щодо особливостей формування врожайності енергетичних культур [12] автори X. C. Baxter (2014) та M. Macák et al. (2015) стверджують, що агротехнічні заходи та погодні умови вирощування мають суттєвий вплив на рівень врожайності світчграсу і міскантусу гігантського [13, 14].

Визначено, що з урожаєм 20 т сухої маси з 1 га міскантус гігантський вносить близько 60 кг N, 16 кг P₂O₅, та 80 кг K₂O [15]. Тому, підживлення насаджень цієї культури є однією із умов отримання високого врожаю біомаси.

Нашими попередніми дослідженнями визначено, що найбільший вплив на врожайність міскантусу гігантського має весняне підживлення за вирощування рослин за схемою 60 × 60 см. Встановлено, що врожайність міскантусу гігантського на 79% залежить від висоти рослин за коефіцієнта кореляції r 0,89 та на 82% – від кількості стебел за коефіцієнта кореляції r 0,91 [16].

Як стверджують С. Г. Димитров та В. Т. Саблук [17] застосування мікоризоутворювальних грибів і азотфіксуючих бактерій за прикореневого їх внесення сприяє значному зростанню листової маси та накопиченню сухої біомаси міскантусу гігантського. При цьому відмічено зростання фотосинтетичного потенціалу порівняно з контролем на 4,0–21,9%, а чиста продуктивність фотосинтезу була більша за контроль на 3,6–22,0%.

Науковець М.Я. Гументик встановив, що одним із способів створення оптимальних фітоценозів за вирощування енергетичних культур (міскантусу й світчграсу) є сумісне їх розміщення, або ж застосування покривних культур, що є основою для розробки екологічних технологій [18].

Також авторами визначено, що за вирощування злакових культур разом із бобовими (люпину вузьколистий) сприяє утворенню щільного ценозу, продуктивність якого стабільна за роками і може перевищувати врожайність компонентів у монокультурі [19, 20].

Що цілком узгоджується з нашими попередніми дослідженнями, в яких виокремлено варіанти сумісного вирощування міскантусу з люпином які мають найбільший вплив на збільшення врожайності біомаси [21].

У зв'язку з чим, наша публікація присвячена вивченню впливу удосконаленню елементів технології вирощування для збільшення врожайності біомаси міскантусу гігантського.

Метою дослідження було встановлення шляхів збільшення врожайності біомаси міскантусу гігантського на різних варіантах мінерального, мікробіологічного та симбіотичного живлення рослин.

Для досягнення мети дослідження було вирішено наступні завдання:

1. Встановити вплив на врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського різних варіантах мінерального, мікробіологічного та симбіотичного живлення рослин.

2. Визначити вплив вмісту вологи у фітомасі міскантусу гігантського на врожайність за сухою біомасою.

3. Встановити вплив умов року та досліджуваних варіантів досліду на врожайність біомаси міскантусу гігантського.

Матеріали та методика досліджень. Експеримент закладено і проведено протягом 2018–2022 років в умовах центральної частини Лісостепу України відповідно загальноприйнятої методики за Д. Доспеховим (1985) [22].

З точки зору клімату і ґрунту, умови були характерні для даного регіону і всі технологічні операції за вирощування міскантусу гігантського поєднували: обробіток ґрунту (осінь і весна); весняне висаджування ризом, прополки в міру з'явлення бур'янів, збирання врожаю біомаси.

Погодні умови протягом років досліджень динамічно змінювалися як за температурою повітря, так і кількістю опадів, що відрізнялася від середньо-багаторічних даних (рис. 1).

Дослідження в польових умовах проведено відповідно до методичних наукових рекомендацій [23]. Варіанти в межах чотирьох повторень розміщували рендомізованим методом: варіант 1 (контроль) – без прополювання бур'янів, без удобрення; варіант 2 – прополювання бур'янів, без удобрення; варіант 3 – внесення мінеральних добрив у підживленні; варіант 4 – вирощування міскантусу гігантського з люпином; варіант 5 – позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд); варіант 6 – вирощування міскантусу гігантського з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд).

Загальна площа ділянки кожного варіанту становила 60 м², а площа облікової ділянки складала 50 м².

Щоб запобігти помилкам під час експерименту, врожайність біомаси міскантусу визначали із снопових зразків, які були відібрані по діагоналі кожної ділянки в чотирикратній повторності. Відібрану середню пробу рослин висушували, а суху масу (біомасу) розраховували з урахуванням вологості сировини [24].

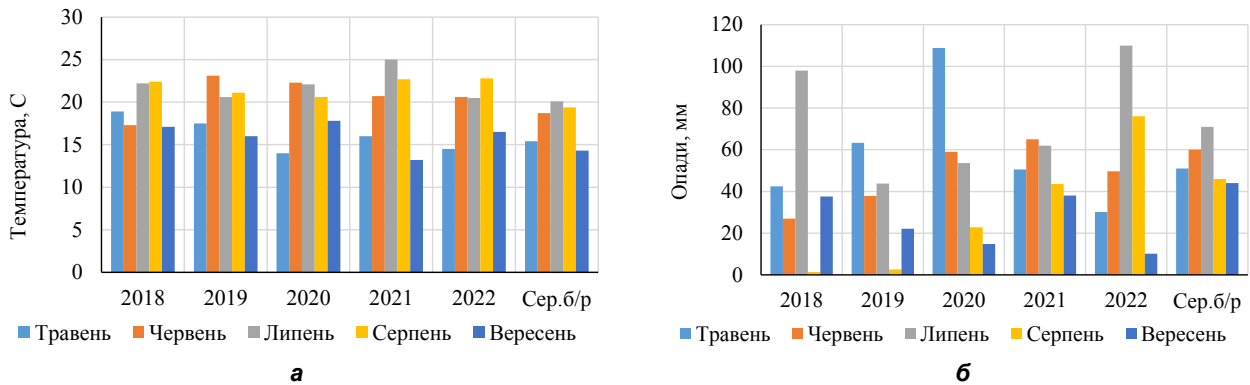


Рис. 1. Температура повітря (а) та кількість опадів (б) періоду вегетації міскантусу гігантського, 2018–2022 рр.

Таблиця 1

Урожайність міскантусу гігантського залежно від способу підживлення рослин, 2018–2022 рр.

Варіанти* (Фактор Б)	Рік вегетації (фактор А)			Середнє за роки	Прибавка до контролю
	перший (2018–2020 рр.)	другий (2019–2021 рр.)	третій (2020–2022 рр.)		
варіант 1	6,2	8,9	12,1	10,5	-
варіант 2	6,6	10,1	13,4	11,8	1,3
варіант 3	8,9	14,7	17,6	16,2	5,7
варіант 4	9,7	18,5	20,5	19,5	9,0
варіант 5	8,4	16,3	18,2	17,3	6,8
варіант 6	9,9	19,1	22,3	20,7	10,3
НІР ⁰⁵	0,6	2,4	1,8	-	-

НІР₀₅ (фактор А) 1,97 т/га, НІР₀₅ (фактор Б) 3,81 т/га, НІР₀₅ (фактор А і Б) 0,12 т/га.

* Примітка:

варіант 1 (контроль) – без прополювання бур'янів, без удобрення;

варіант 2 – прополювання бур'янів, без удобрення;

варіант 3 – внесення мінеральних добрив у підживленні;

варіант 4 – вирощування міскантусу гігантського з люпином;

варіант 5 – позакоренева обробка мікоризним препаратом;

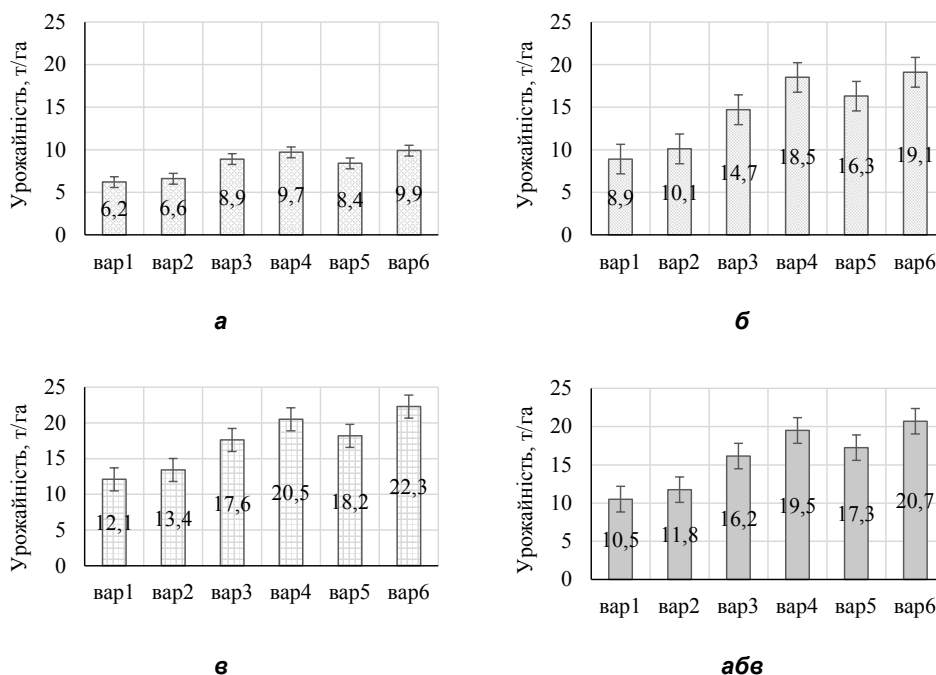
варіант 6 – вирощування міскантусу гігантського з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом.

Отримані результати досліджень оброблено методами дисперсійного аналізу в пакеті Statistica 6.0. Розраховані теоретичні значення критерію Фішера (F) на основі ступенів свободи для дисперсії варіантів і ступенів для помилки дослідів. Якщо фактичний критерій Фішера більше ніж теоретичний ($F_{\text{факт}} > F_{0,05}$), вважали, що є значні варіації в експерименті і нульова гіпотеза відхилялася, відмінності між варіантами були суттєві.

Результати досліджень. Урожайність сухої біомаси міскантусу гігантського змінювалася за роками та варіантами дослідів – від 6,2 до 9,9 т/га (у перший рік), до 12,1 до 22,3 т/га (на третій рік), табл. 1.

У перший вегетаційний рік відбувається поступове укорінення насаджень тому врожайність біомаси міскантусу гігантського не рекомендують збирати. У наших дослідженнях вона була не значною, та не перевищувала показник 10,0 т/га. В наступні роки врожайність за сухою біомасою суттєво зростала за варіантами дослідів (рис. 2).

На другий рік вегетації врожайність біомаси міскантусу за сумісного вирощування лише з люпином була на рівні 18,5 т/га, а найбільша – на варіантах з люпином та застосування мікробіологічного препарату (19,1 т/га). Врожайність при застосуванні лише мікори-



Позначення: а – перший вегетаційний рік, б – другий вегетаційний рік, в – третій вегетаційний рік, абв – за три вегетаційні роки.

* Примітка:

- варіант 1 (контроль) – без прополювання бур'янів, без удобрення;
- варіант 2 – прополювання бур'янів, без удобрення;
- варіант 3 – внесення мінеральних добрив у підживленні;
- варіант 4 – вирощування міскантусу гігантського з люпином;
- варіант 5 – позакоренева обробка мікоризним препаратом;
- варіант 6 – вирощування міскантусу гігантського з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом.

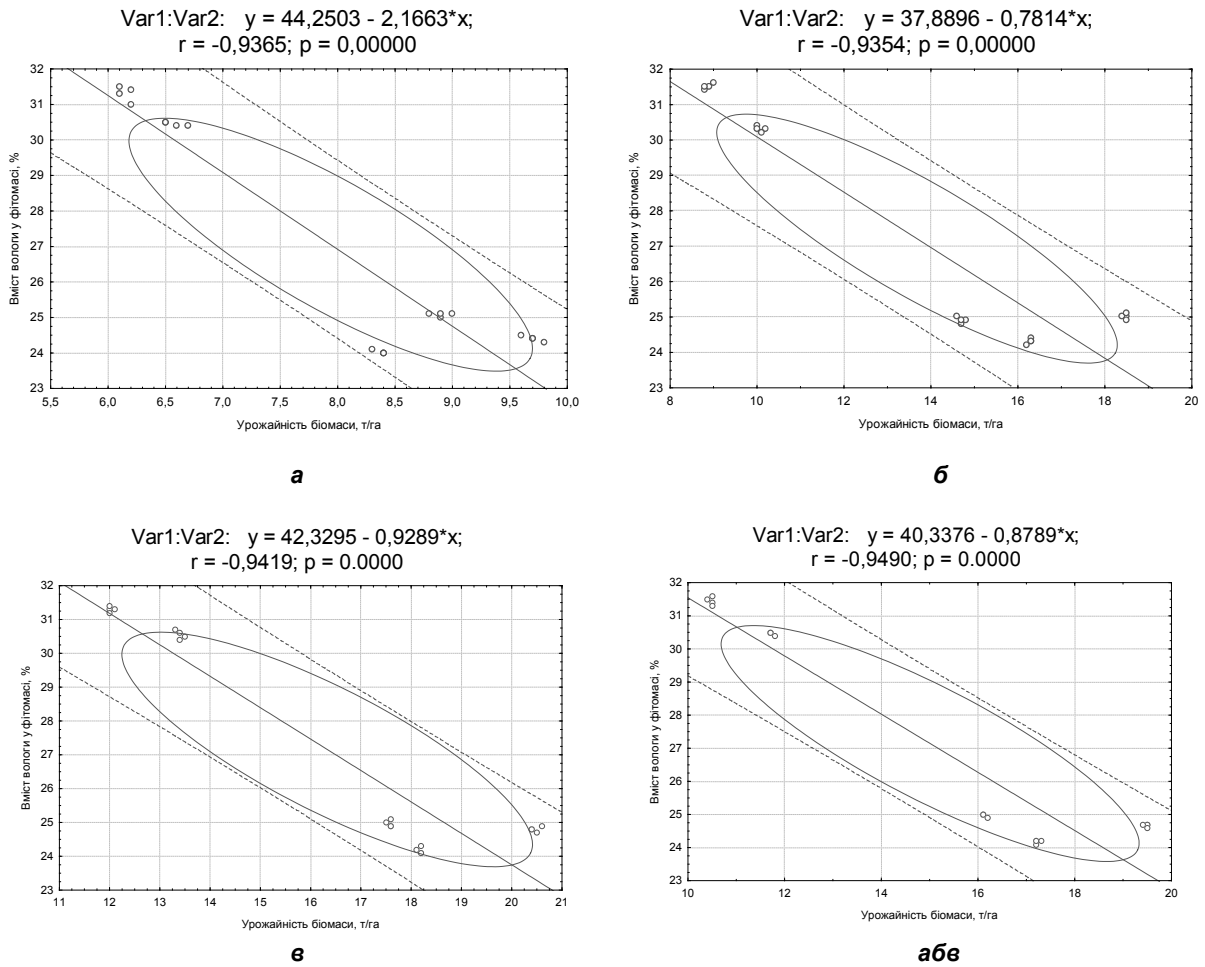
Рис. 2. Урожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського, 2018–2022 рр.

Таблиця 2

Дисперсійний аналіз досліджуваних чинників, 2018–2022 рр.

Показники*	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
загальне	12904,21	1	12904,21	2604962	< 0,05
фактор А	1035,76	2	517,88	104544	< 0,05
фактор Б	635,64	5	127,13	25663	< 0,05
фактор А і Б	93,19	10	9,32	1881	< 0,05
помилка	0,27	54	0,00		

* Примітка: SS – дисперсія, Degr. of Freedom – ступені свободи, MS – сума квадратів, F – критерій Фішера, p – рівень значущості.



Примітка: а – перший вегетаційний рік, б – другий вегетаційний рік, в – третій вегетаційний рік, абв – за три вегетаційні роки.

Рис. 3. Кореляційні залежності вмісту вологи у фітомасі та врожайності сухої біомаси міскантусу гігантського, 2018–2022 рр.

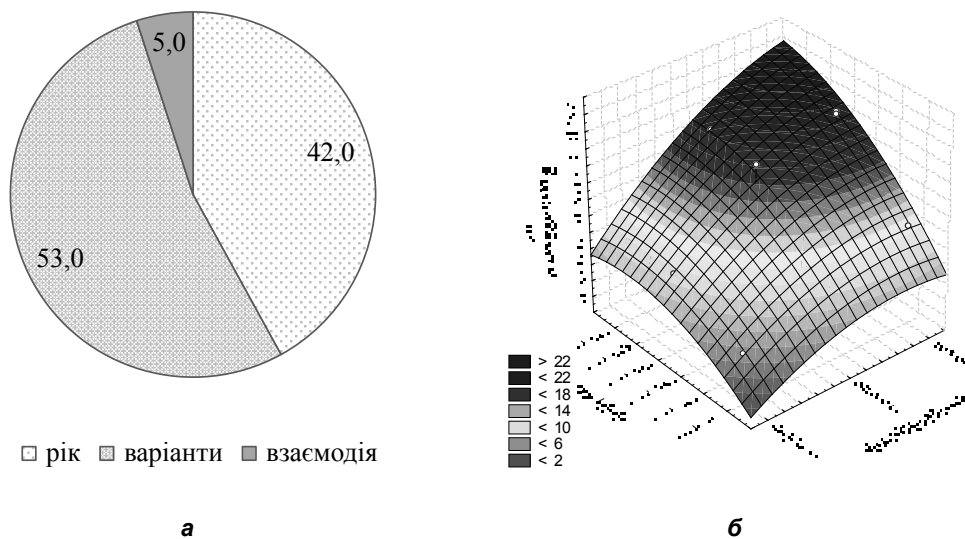


Рис. 4. Частки впливу досліджуваних чинників на врожайність біомаси (а) та багатомірний зв'язок врожайності міскантусу гігантського із варіантами дослідів (б), 2018–2022 рр.

зного препарату становила 16,3 т/га, на фоні мінерального підживлення рослин – на рівні 14,7 т/га. Контрольні варіанти та варіанти з прополюванням бур'янів, але без удобрення міскантусу гігантського формували суттєво нижчу врожайність біомаси, відповідно – 8,9 та 10,1 т/га.

Більш повно потенціал урожайності міскантусу проявився на третій рік: зафіксовано суттєве збільшення цього показника до 22,3 т/га на варіантах сумісного вирощування з бобовим компонентом і додаткового внесення Мікофренд, менше, на високому рівні – на варіантах сумісного вирощування лише з люпином (20,5 т/га). Застосування лише мінеральних добрив у підживленні дозволяє збільшити врожайність біомаси до 17,6 т/га, позакоренева обробка мікоризним препаратом – до 18,2 т/га. Отримані дані досліджень є достовірними та підтверджуються показником «найменша істотна різниця» (NIP), що розрахована за результатами дисперсійного аналізу при рівні значущості $p < 0,05$ (табл. 2).

Вміст вологи у фітомасі міскантусу гігантського на час збирання культури відіграє важливу роль у виході сухої біомаси (рис. 3).

Отже, протягом років дослідження вміст вологи у щойнозібраній фітомасі має суттєвий вплив на врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського, що характеризується сильним оберненим кореляційним зв'язком ($r = -0,95$) за рівняння регресії: $y = 40,34 - 0,88 \times x$.

При встановленні частки впливу досліджуваних чинників визначено, що врожайність біомаси міскантусу гігантського на 42,0% залежить від умов року та на 53,0% – від досліджуваних варіантів досліду (рис. 4а). А багатомірний зв'язок свідчить про більшу ефективність біологічного підживлення насаджень міскантусу, порівняно із мінеральним, що виражається рівнянням регресії $Z = -612,8814 + 4,5292 \times x + 1,5874 \times y$ (рис. 4б).

Висновки. Обґрунтовано, що врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського на третій вегетаційний рік можливо збільшити (на рівні або більше 20,0 т/га) за вирощування на маргінальних землях. Що досягається за вирощування культури сумісно з бобовим компонентом у міжряддях (люпин багаторічний) й застосування мікоризного препарату Мікофренд дозою 0,2 л/га з нормою витратою 25 л/га робочого розчину для позакореневої обробки рослин при весняному підживленні.

Вміст вологи у фітомасі міскантусу гігантського на час збирання є вагомим показником, що має істотний вплив на врожайність за сухою біомасою й виражається оберненою кореляцією ($r = -0,95$) та рівнянням регресії: $y = 40,34 - 0,88 \times x$.

Встановлено, що врожайність біомаси міскантусу гігантського на 42,0% залежить від умов року та на 53,0% – від досліджуваних варіантів досліду: застосування весняного підживлення рослин дозволяє частково нівелювати вплив погодних умов вегетаційного періоду культури.

Перспективи подальших досліджень передбачають вивчення впливу різних схем підживлення рослинного фітоценозу на хімічний склад біомаси міскантусу гігантського.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tian S., Cacho J. F., Youssef M. A., Chescheir G. M., Fischer M., Nettles J. E., King, J. S. Switchgrass growth and pine-switchgrass interactions in established intercropping systems. *GCB Bioenergy*, 2017. Vol. 9. P. 845–857. doi.org/10.1111/gcbb.12381
2. Mehmooda M., Ibrahimb M., Rashid U., Nawazd M., Alib S., Hussaina A., Gulle M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*. 2017. Vol. 9. P. 3–21. doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003
3. Kurylo V. L., Roik M. V., Hanzhenko O. M. Bioenergy in Ukraine: status and prospects for development. *Bioenerhetyka*, 2013. Vol. 1. P. 5–10.
4. Кулик М. І., Падалка В. В. Розвиток біоенергетики на основі рослинного енергетичного ресурсу (на прикладі Полтавської області). *Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку: монографія* / за ред. к.е.н., доцента Н. С. Ілляшенко. Суми: Триторія, 2020. С. 109–118.
5. Costanza J. K., Abt R. C., Mckerrow A. J., Collazo J. A. Bioenergy production and forest landscape change in the southeastern United States. *GCB Bioenergy*, 2017. Vol. 9. P. 924–939. doi.org/10.1111/gcbb.12386
6. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects: *Monograph* / Edited by authors. Poltava: Astraya, 2019. 119 p.
7. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 1 (88), 2018. С. 11–17. DOI 10.31210/visnyk2018.01.01
8. Chramiec-Głabik A., Grabowska-Joachimiak A., Sliwiska E., Legutko J., Kula A. Cytogenetic analysis of *Miscanthus × giganteus* and its parent forms. *Caryologia*, 2012. Vol. 65, no. 3. P. 234–242.
9. Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., Zhornyk I. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology*, 2019. Vol. 1, no. 4. P. 373–381. http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/4157
10. Samson R., Mani S., Boddey R., Sokhansanj S., Quesada D., Urquiaga S. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005. Vol. 24. P. 461–495. doi.org/10.1080/07352680500316508
11. Baptiste Giroux (2020). Bioenergy feedstock production on abandoned agricultural land in Europe: A spatially explicit life cycle analysis. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering. Department of Energy and Process Engineering. P. 45.
12. Kulyk Maksym, Kalinichenko Oleksandr, Dekovetz Vitalii. (2020). Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. *Organization and management in the services' sphere on selected examples* / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. P. 36–45. ISBN 978-83-66567-02-3. http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3_2020.pdf
13. Macák M., Nozdrovický L., Hussein A. Effect of preheating and different moisture content of input materials on durability of pellets made from different

- phytomass content. *Acta Technologica Agriculturae*, 2015. Vol. 18. P. 22–27.
14. Baxter X. C., Darvell L. I., Jones J. M., Barraclough T., Yates N. E., Shield I. Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy. *Fuel*. 2014. Vol. 117, part A. P. 851–869. doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.003
 15. Романчук Л. Д., Зінченко В. О., Василюк Т. П. Особливості вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України: з кн. *Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України* / відп. ред. О. В. Скидан. К.: Центр учбової літератури, 2014. С. 81–111.
 16. Кулик М. І., Сиплива Н. О., Рожко І. І. Урожайність та ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. Вип. 104, 2019. С. 148–159. URL: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/8607>
 17. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Зростання накопичення сухої біомаси злакових біоенергетичних культур за мікоризації їх кореневої системи. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*, 2021. Випуск 4 (46), С. 3–8.
 18. Гументик М. Я. Особливості технології змішаного вирощування біоенергетичних злакових культур для виробництва біопалива. *Біоенергетика*. 2019. № 1. С. 16–18.
 19. Шувар А. М., Рудавська Н. М., Беген Л. Л. Особливості формування елементів структури сумішок зернових і зернобобових культур. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (2). С. 108–122. DOI: 10.32636/01308521.2021-(69)-2-7
 20. Голодна А. В., Олійник К. М. Формування продуктивності люпину вузьколистого і пшениці ярої за сумісного вирощування. *Корми і кормовиробництво*. 2016. Вип. 82. С. 142–148.
 21. Дековец Віталій, Кулик Максим, Сипливая Наталия. Особенности формирования урожайности биомассы мискантуса гигантского при совместном выращивании с бобовыми культурами. *Stinta Agricola*. Vol. 2 (2021). С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5834616>
 22. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта. 1985. Москва: Колос. 416 с.
 23. Рахметов Д. Б., Каленська С. М., Федорчук М. І., та ін. Методичні рекомендації з оптимізації технології вирощування мискантуса в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Видавничий центр «Колос»: ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», 2017. 22 с.
 24. Kulyk M. I., Rakhmetov D. B., Kurylo V. L. Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava, 2017. 24 p. URL: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/7586>
 - Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*, 9, pp. 3–21.
 3. Kurylo, V. L., Roik, M. V., Hanzhenko, O. M. (2013). Bioenergy in Ukraine: status and prospects for development. *Bioenerhetyka*, 1, pp. 5–10. [in Ukrainian].
 4. Kulyk, M. I., Padalka, V. V. (2020). Rozvytok bioenerhetyky na osnovi roslynnoho enerhetychnoho resursu (na prykladi Poltavskoi oblasti) [Development of bioenergy based on plant energy resources (on the example of Poltava region)]. *Upravlinnia stratehiiamy vyperedzhaiuchoho innovatsiinoho rozvytku : monohrafiia / za red. k.e.n., dotsenta N. S. Illiashenko*. Sumy : Trytoriia, pp. 109–118. [in Ukrainian].
 5. Costanza, J. K., Abt, R. C., Mckerrow, A. J., Collazo, J. A. (2017). Bioenergy production and forest landscape change in the southeastern United States. *GCB Bioenergy*, 9, pp. 924–939. doi.org/10.1111/gcbb.12386
 6. Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., Kalinichenko, O. V., Galytska, M. A. (2019). Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects: *Monograph / Edited by authors*. Poltava: Astraya, 119 p. [in Ukrainian].
 7. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., Kulyk, M. I. (2018). Bioloichni osoblyvosti ta potentsial urozhainosti enerhetychnykh kultur rodny tonkonohovykh v umovakh Ukrainy [Biological features and yield potential of energy crops of the Poaceae family in the conditions of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1 (88), pp. 11–17. DOI 10.31210/visnyk2018.01.01 [in Ukrainian].
 8. Chramiec-Glabik, A., Grabowska-Joachimiak, A., Sliwinska, E., Legutko, J., Kula, A. (2012). Cytogenetic analysis of *Miscanthus × giganteus* and its parent forms. *Caryologia*, 65 (3), pp. 234–242.
 9. Kulyk, M., Galytska, M., Samoylik, M., Zhornyk, I. (2019). Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology*, 1 (4), pp. 373–381. <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/4157> [in Ukrainian].
 10. Samson, R., Mani, S., Boddey, R., Sokhansanj, S., Quesada, D., Urquiaga, S. (2005). The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, pp. 461–495. doi.org/10.1080/07352680500316508
 11. Baptiste, Giroux (2020). Bioenergy feedstock production on abandoned agricultural land in Europe: A spatially explicit life cycle analysis. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering. Department of Energy and Process Engineering. P. 45.
 12. Kulyk, M., Kalinichenko, O., Dekovetz, V. (2020). Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. *Organization and management in the services' sphere on selected examples / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa*. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, pp. 36–45.
 13. Macák, M., Nozdrovický, L., Hussein, A. (2015). Effect of preheating and different moisture content of input materials on durability of pellets made from different phytomass content. *Acta Technologica Agriculturae*, 18, pp. 22–27.
 14. Baxter, X. C., Darvell, L. I., Jones, J. M., Barraclough, T., Yates, N. E., Shield, I. (2014). Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy. *Fuel*, 117, pp. 851–869. doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.003

REFERENCES:

1. Tian, S., Cacho, J. F., Youssef, M. A., Chescheir, G. M., Fischer, M., Nettles, J. E., King, J. S. (2017). Switchgrass growth and pine-switchgrass interactions in established intercropping systems. *GCB Bioenergy*, 9, pp. 845–857.
2. Mehmooda, M. A., Ibrahim, M., Rashid, U., Nawaz, M., Alib, S., Hussaina, A., Gulle, M. (2017).

15. Romanchuk L. D., Zinchenko V. O., & Vasyliuk T. P. (2014). Osoblyvosti vyroshchuvannya enerhetychnykh kultur v umovakh Polissia Ukrainy [Features of growing energy crops in Polissia of Ukraine]. In O. V. Skydan (Ed.), *Perspektyvy rozvytku alternatyvnoi enerhetyky na Polissi Ukrainy [Prospects for the development of alternative energy in Polissia of Ukraine]*. Tsentri uchbovoi literatury, Kyiv, 81–111 [in Ukrainian].
16. Kulyk, M. I., Syplyva, N. O., Rozhko, I. I. (2019). Urozhainist ta efektyvnist vyrobnytstva biomasy enerhetychnykh kultur zalezno vid elementiv tekhnologii vyroshchuvannya [Yield and efficiency of biomass production of energy crops depending on the elements of cultivation technology]. *Tavriskiyi naukovyi visnyk*, 104, pp. 148–159. [in Ukrainian].
17. Dymytrov, S. H., Sabluk, V. T. (2021). Zrostannia nakopychennia sukhoi biomasy zlakovykh bioenerhetychnykh kultur za mikoryzatsii yikh korenevoi systemy [Growth of accumulation of dry biomass of cereal bioenergy crops under mycorrhizae of their root system]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 4 (46), pp. 3–8. [in Ukrainian].
18. Humentyk, M. Ya. (2019). Osoblyvosti tekhnologii zmishanoho vyroshchuvannya bioenerhetychnykh zlakovykh kultur dlia vyrobnytstva biopalyva [Features of the technology of mixed cultivation of bioenergy cereal crops for the production of biofuel]. *Bioenerhetyka*, 1, pp. 16–18. [in Ukrainian].
19. Shuvar, A. M., Rudavska, N. M., Behen, L. L. (2021). Osoblyvosti formuvannya elementiv struktury sumishok zernovykh i zernobovovykh kultur [Peculiarities of the formation of elements of the structure of mixtures of grain and leguminous crops]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynytstvo*, 69 (2), pp. 108–122. [in Ukrainian].
20. Holodna, A. V., Oliinyk, K. M. (2016). Formuvannya produktyvnosti liupynu vuzkolystoho i pshenytsi yaroї za sumisnoho vyroshchuvannya [Formation of productivity of narrow-leaved lupine and spring wheat under joint cultivation]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 82, pp. 142–148. [in Ukrainian].
21. Dekovets, V., Kulik, M., Siplivaya, N. (2021). Osobnosti formirovaniya urozhainosti biomassy miskantusa gigantskogo pri sovместnom vyrashchivaniі s bobovymi kul'turami [Features of formation of biomass yield of giant miscanthus when grown together with legumes]. *Stinta Agricola*, 2, pp. 71–78. [in Russian].
22. Dospelkov, B. A. (1985). Metodika polevogo opyta [Field experiment methodology]. Moskva: Kolos. 416 p. [in Russian].
23. Rakhmetov, D. B., Kalenska, S. M., Fedorchuk, M. I., ta in. (2017). Metodychni rekomendatsii z optymizatsii tekhnologii vyroshchuvannya miskantusu v riznykh hruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy [Methodical recommendations for optimizing miscanthus cultivation technology in different soil and climatic zones of Ukraine]. *Vydavnychiy tsentr «Kolos»: DVNZ «Khersonskiy derzhavnyi ahrarniy universytet»*, 22 p. [in Ukrainian].
24. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., Kurylo, V. L. Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava, 2017. 24 p. [in Ukrainian].

Дековець В.О., Кулик М.І. Вплив удосконалення елементів технології вирощування на врожайність надземної вегетативної маси міскантусу гігантського

На фоні неспинної тенденції до поступового виснаження непоновлюваних джерел енергії (нафта, газ, вугілля), постає нагальна сьогоденна потреба у впровадженні альтернативних джерел енергії. З-поміж яких, рослинний енергоресурс найбільш доступний та не потребує значних енергозатрат для виробництва біомаси. Енергетичні культури: міскантус гігантський, просо прутоподібне, клони верб вже вивчаються в різних умовах України. Але технологія їх вирощування потребує удосконалення, особливо міскантусу гігантського, що характеризується багаторічним циклом життя та має високий потенціал врожайності. Це потребує обґрунтованого агрономічного менеджменту за вирощування цієї енергетичної культури на маргінальних землях. **Метою досліджень** було вивчення шляхів збільшення врожайності біомаси міскантусу гігантського на різних варіантах мінерального, мікробіологічного та симбіотичного живлення рослин. **Методи.** Дослід закладено і проведено протягом 2018–2022 років в умовах центральної частини Лісостепу України. Варіанти досліду поєднували: варіант 1 (контроль) – без прополювання бур'янів, без удобрення; варіант 2 – прополювання бур'янів, без удобрення; варіант 3 – внесення мінеральних добрив у підживленні; варіант 4 – вирощування міскантусу гігантського з люпином; варіант 5 – позакоренева обробка мікоризним препаратом; варіант 6 – вирощування міскантусу гігантського з люпином та позакоренева обробка мікоризним препаратом (Мікофренд). **Результати.** За результати досліджень встановлено, що врожайність біомаси має тренд до щорічного збільшення – від 6,2–9,9 т/га за перший рік вегетації, до 12,1–22,3 т/га за третій рік. При цьому визначено, що у середньому за роки дослідження найбільша врожайність біомаси міскантусу формується за сумісного вирощування з люпином та застосування Мікофренду для підживлення енергонасаджень (20,7 т/га). Урожайність на варіантах лише біологічного азоту люпину становила 19,5 т/га, повного мінерального живлення рослин – дещо менша, але на високому рівні – 17,3 т/га, а при застосуванні мікоризних препаратів – на рівні 16,2 т/га. На основі кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що вміст вологи у фітомасі має суттєвий вплив на врожайність за сухою біомасою міскантусу гігантського й характеризується сильним оберненим кореляційним зв'язком ($r = -0,95$) за рівняння регресії: $y = 40,34 - 0,88 \times x$. **Висновки.** Отже, для збільшення врожайності біомаси за вирощування культури на маргінальних землях рекомендовано вирощувати міскантус гігантський сумісно з бобовим компонентом у міжряддях (люпин багаторічний) й застосовувати мікоризний препарат Мікофренд (дозою 0,2 л/га з нормою витратою 25 л/га робочого розчину) для кореневого внесення навесні. Перспективи подальших досліджень передбачатимуть вивчення впливу різних схем підживлення рослинного фітоценозу на хімічний склад біомаси міскантусу гігантського.

Ключові слова: міскантус гігантський, підживлення рослин, сумісні насадження, врожайність, біомаса, вміст вологи, кореляція.

Dekovets V.O., Kulyk M.I. Influence of improvement of cultivation technology elements on the yield of aboveground vegetative mass of miscanthus giganteus

In view of the constant trend towards the gradual depletion of non-renewable energy sources (oil, gas, coal), there is an urgent need to introduce alternative energy sources. Among them, the plant energy resource is the most accessible and does not require significant energy input for biomass production. Energy crops such as miscanthus giganteus, switchgrass, willow clones are already being studied in various conditions in Ukraine. But their cultivation technology needs improvement, especially for miscanthus giganteus, which is characterized by a multi-year life cycle and has a high yield potential. Cultivation of this energy crop on marginal soils requires the rational agronomic management. The **purpose** of our research was to study ways to increase the biomass yield of miscanthus giganteus on different variants of mineral, microbiological and symbiotic plant fertilization. **Methods.** The experiment was laid and conducted during the period of 2018–2022 in the central part of the Forest-Steppe of Ukraine. The experiment variants were combined: variant 1 (control) – without weeding, without fertilization; variant 2 – weeding, without fertilization; variant 3 – application of mineral fertilizers; variant 4 – cultivation of miscanthus giganteus with lupine; variant 5 – foliar treatment with mycorrhizal preparation; variant 6 – cultivation of miscanthus giganteus with lupine and foliar treatment

with mycorrhizal preparation (Mycofriend). **Results.** It was found that the biomass yield increased annually from 6.2–9.9 t/ha in the first year of vegetation to 12.1–22.3 t/ha in the third year. It was determined that on average over the years of research, the highest yield of miscanthus biomass was formed by joint cultivation with lupine and the use of Mycofriend for fertilizing energy plants (20.7 t/ha). The yield on the variants with only biological nitrogen (cultivation in combination with lupine) was 19.5 t/ha, with mineral fertilization of plants – slightly less, but at a high level of 17.3 t/ha, and with mycorrhizal preparation application it was at a level of 16.2 t/ha. The correlation and regression analysis found that the moisture content in phytomass has a significant influence on the yield of dry biomass of miscanthus giganteus and is characterized by a strong inverse correlation ($r = -0.95$) according to the regression equation: $y = 40.34 - 0.88 \times x$. **Conclusions.** Thus, to increase the biomass yield when growing the crop on marginal lands, it is recommended to grow miscanthus giganteus together with a legume component in row-spacing (lupine perennial) and to apply mycorrhizal preparation Mycofriend for root application in spring. Prospects for further research will include the study of the influence of different fertilization schemes of plant phytocenosis on the chemical composition of miscanthus giganteus biomass.

Key words: miscanthus giganteus, plant fertilization, joint plantings, yield, biomass, moisture content, correlation.