

Analysis of miscanthus varieties for adaptability, yield and energy productivity of biomass in the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine

R. Teteriuk | M. Kulyk✉

Article info

Correspondence Author
M. Kulyk
E-mail:
kulykmaksym@ukr.netPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda St., 1/3,
Poltava, 36000,
Ukraine

Citation: Kulyk, M., & Teteriuk, R. (2024). Analysis of miscanthus varieties for adaptability, yield and energy productivity of biomass in the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (3), 31–37. doi: 10.31210/spi2024.27.03.05

A comprehensive study of energy crops, taking into account the technology elements, is the key to obtaining a sustainable harvest of energy-intensive biomass (raw material for biofuel production). It is very important to choose the right miscanthus varieties for specific growing conditions, considering their adaptive properties, yield and energy productivity. This article is dedicated to the study of this issue. The research was carried out during the period of 2020–2024 using the methodology of experimental agronomy and scientific recommendations. The scheme of the experiment involved 5 varieties of miscanthus giganteus of Ukrainian origin. The variants were randomly placed in a four-fold replication. The research results found that during the first to third years, miscanthus varieties showed high adaptive properties. On average, over the years, miscanthus plants were resistant to lodging (9.0–9.7 points), drought-resistant (8.2–9.7 points) and cold-resistant (9.0–9.4 points). Miscanthus plants of the following varieties have the highest complex adaptability to growing conditions: ‘Hulliver’ and ‘Osinnii zoretsvit’ (9.5 and 9.6 points, respectively), slightly lower but high level of adaptability was observed in the varieties ‘Biotekh’ and ‘Verum’ (9.3 and 9.4 points, respectively), and the lowest adaptability was recorded in the variety ‘Universalnii’ (less than 9.0 points). The varieties with the longest growing season were found to be: ‘Hulliver’ and ‘Osinnii zoretsvit’ (202.2 and 200.7 days, respectively). Other varieties under study had a shorter growing period. Having calculated the yield of miscanthus biomass in terms of dry biomass, the inter-variety difference of these parameters was determined. The most productive varieties were ‘Osinnii zoretsvit’ and ‘Hulliver’ (at or above 12.5 t/ha of dry biomass). The same varieties provided a high yield of biomass (37.5 and 39.3 t/ha, respectively) and energy yield (at or above 675.0 GJ/ha) over the three years. Thus, the response of miscanthus plants to environmental conditions is reflected in their adaptability and the duration of the growing season. This is closely related to biomass yield. Varieties with a longer growing season also provided higher yields of energy-intensive biomass: ‘Hulliver’ and ‘Osinnii zoretsvit’.

Keywords: miscanthus, variety, adaptability, productivity, yield, energy productivity, energy yield.

Аналіз сортів міскантусу за адаптивністю, врожайністю та енергопродуктивністю біомаси в умовах Лівобережного Лісостепу України

P. С. Тетерюк | М. І. Кулик

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава,
Україна

Всебічне вивчення енергетичних культур, з урахуванням елементів технології є запорукою отримання сталої врожайності енергоємної біомаси (сировина для виробництва біопалив). При цьому, правильно підбір сортів міскантусу, з урахуванням певних умов вирощування та їх адаптивних властивостей, потенціалу врожайності та енергопродуктивності має актуальне значення. Саме вивченню цих питань і присвячена дана публікація. Дослідження були проведені протягом 2020–2024 років з використанням методики дослідної справи в агрономії та наукових рекомендацій. У схему експерименту було залучено 5 сортів міскантусу гігантського українського походження. Варіанти на площі були розміщено рендомізовано у чотирикратній повторності. За результатами досліджень встановлено, що впродовж першого–третього років сорти міскантусу проявили високі адаптивні властивості. В середньому за роки рослини міскантусу були стійкі до вилягання (9,0–9,7 балів), посухостійкі (8,2–9,7 балів) та холодостійкі (9,0–9,4 балів). Найбільшою комплексною адаптивністю до умов вирощування володіють рослини міскантусу наступних сортів: ‘Гулівер’ та ‘Осінній зорецвіт’ (відповідно 9,5 і 9,6 балів), дещо нижча, але на високому рівні – вона наявна у сортів ‘Біотех’ і ‘Верум’ (відповідно 9,3 і 9,4 балів), та найнижча – відмічена у сорту ‘Універсальний’ (менше 9,0 балів). Встановлено, що найбільш тривалим вегетаційним періодом відзначилися сорти: ‘Гулівер’ та ‘Осінній зорецвіт’ (відповідно 202,2 та 200,7 діб). Менш тривалим цей період був у інших сортів поставлених на вивчення. Після обліку врожайності біомаси міскантусу за сухою біомасою визначено міжсорткову різницю за даними показниками. Найбільш врожайними сортами виявились ‘Осінній зорецвіт’ та ‘Гулівер’ (на рівні, або більше 12,5 т/га сухої біомаси). Ці ж сорти сумарно за три роки забезпечили й високий обсяг біомаси (відповідно 37,5 і 39,3 т/га) та вихід енергії (на рівні, або більше 675,0 ГДж/га). Таким чином, реакція рослин міскантусу на вплив умов зовнішнього середовища відображається їх адаптивністю та тривалістю вегетаційного періоду. Що має тісний зв’язок з врожайністю біомаси. Самі ті сорти, що характеризувалися більш подовженим періодом вегетації забезпечили й високу врожайність енергоємної біомаси: ‘Гулівер’ та ‘Осінній зорецвіт’.

Ключові слова: міскантус, сорт, адаптивність, продуктивність, врожайність, енергопродуктивність, вихід енергії.

Бібліографічний опис для цитування: Тетерюк П. С., Кулик М. І. Аналіз сортів міскантусу за адаптивністю, врожайністю та енергопродуктивністю біомаси в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (3). С. 31–37.

Вступ

На сьогодні, для отримання доступної й дешевої енергії все більша увага вчених спрямована на вивчення альтернативних джерел енергії в світі. Залучення до використання альтернативних джерел енергії наразі є актуальним питанням й для України. З-поміж них – рослинна біомаса спеціальних рослин вирощуваних для отримання енергії є найбільш доступною. До таких рослин відносять так звані «енергетичні культури», що є адаптованими до умов вирощування та високоврожайними [1]. Поряд з цим, за допомогою енергетичних культур цілком можливо підвищити енергонезалежність територіальних громад нашої країни. При цьому важливим є оцінка потенціалу енергокультур, в т.ч. і міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus*), як однієї із високопродуктивних енергокультур [2]. Враховуючи значні площі маргінальних земель та наявні зареєстровані сорти міскантусу гігантського виникла потреба у забезпеченні цих площ якісним садивним матеріалом. Дане питання потребує більш глибокого вивчення.

З усіх видів енергетичних культур найбільш поширеним на території України є представники родини тонконогових (*Poaceae*): міскантуси, просо прутоподібне (світчграс), сорго цукрове та ін. [3]. Менш поширені, але високопродуктивні за біомасою та виходом енергії з одиниці площі є клони верби й тополі та різновиди павловнії [4–6].

Встановлено, що поряд із диверсифікацією сільськогосподарських культур [7, 8], наявним потенціалом рослинного ресурсу [9], енергетичні культури володіють високими адаптивними властивостями та здатні формувати високі врожаї біомаси в умовах України [10–12]. Хоча всі енергетичні культури високоврожайні, вони дають різну продукцію з огляду енергоємності біомаси [13, 14]. На цей показник, поряд із ґрунтово-кліматичними умовами, в більшій мірі мають вплив сортові властивості, аніж агротехнологія вирощування культур [15–17].

Відмітимо, що з-поміж наукових установ України які працюють по селекції та насінництву сортів енергетичних культур є: Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НААН України [18, 19], Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України [20, 21] та інші, в т.ч. зарубіжні [22, 23].

Насьогодні інтродукція та селекція міскантусу розвивається у двох основних напрямках: як декоративної та енергетичної рослини [24, 25].

Інші науковці, аналізуючи сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі здійснили їх порівняльний аналіз. При цьому вони встановили потенціал енергії, що забезпечують рослини біоенергетичного напрямку використання. При цьому визначено важливість поглиблення селекційної роботи зі створення нових сортів міскантусу [26].

З урахуванням своїх особливостей *Miscanthus Lutarioriparius* широко вирощується на маргінальних, низькопродуктивних землях [27]. При цьому

фітоценози міскантусу можуть формувати щорічний обсяг біомаси на рівні 28,4 т/га [28]. Водночас біомаса цієї рослини вважається відмінною сировиною для біомаси, оскільки його стебла мають високий вміст лігноцелюлози та низький вміст золи [29].

Поряд з цим, на сьогодні ґрунтового аналізу й дослідження видових особливостей, зареєстрованих сортів та інтродукованих сортозразків рослин з роду міскантусу за господарською придатністю, врожайністю та енергопотенціалом в науковій літературі недостатньо. У зв'язку з чим дане питання, що обране для дослідження є актуальним.

Мета дослідження

Мета дослідження – вивчення сортів міскантусу гігантського за адаптивністю рослин, врожайністю та енергопродуктивністю біомаси.

Матеріали і методи

Дослідження були проведені протягом 2020–2024 років з використанням методики дослідної справи в агрономії [30] та наукових рекомендацій [31–33]. У схему експерименту було залучено сорти міскантусу гігантського українського походження. Варіанти на площі були розміщено рендомізовано у чотирикратній повторності.

Для проведення досліджень застосували загальновідомі методи (діалектики, аналізу і синтезу) та спеціальні методи, з-поміж яких: лабораторний та польовий.

Матеріалом для дослідження були сорти міскантусу гігантського, що внесені в Реєстр [34]: 'Верум', 'Осінній зорецвіт', 'Гулівер', 'Біотех', та 'Універсальний'.

Вивчення сортів міскантусу проводили відповідно до офіційного опису сортів рослин та показників їх господарської придатності з урахуванням географічної та зони рекомендації їх використання [35, 36].

Енергетичну продуктивність, з урахуванням енергоємності біомаси міскантусу гігантського проводили відповідно методики [37].

Математичну обробку експериментальних даних проводили на основі статистичного аналізу дослідних даних із застосуванням комп'ютерної програми Статистика 6.0 [38].

Результати та їх обговорення

Період проведення досліджень в умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу характеризувався нестійкими кліматичними умовами (*рис. 1, рис. 2*).

Упродовж 2020–2024 років спостерігалось відхилення середньодобової температури повітря від середньобагаторічних показників. Ці відхилення у бік збільшення, порівняно із середніми фіксували у наступні періоди: березні та червні 2020 року, липні 2021 року, серпні 2022–2023 рр. та липні-серпні й частково першої половини вересня 2024 року.

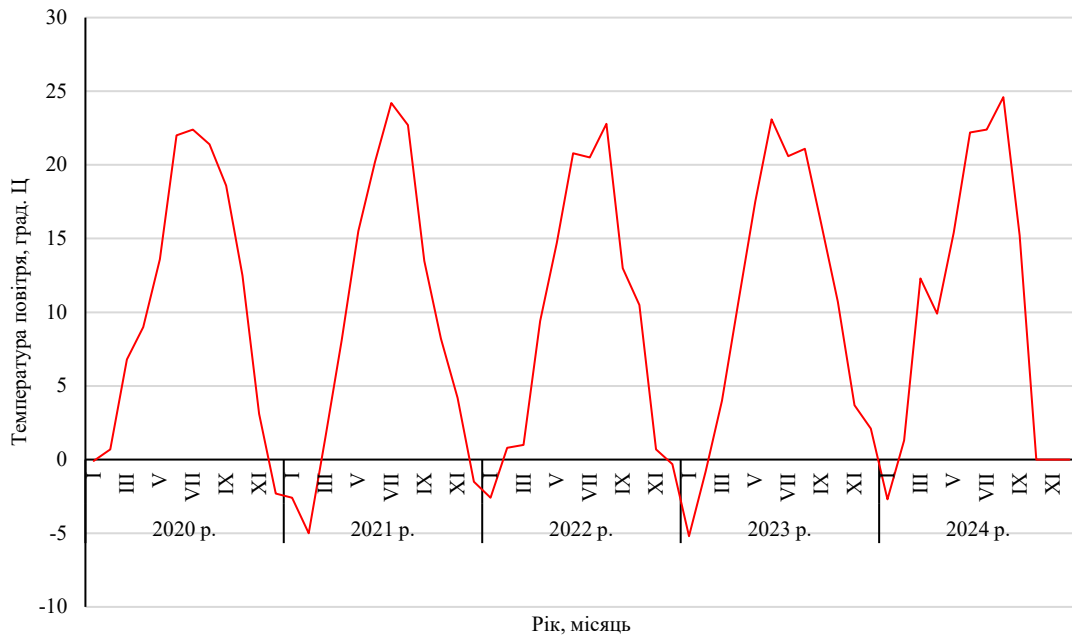


Рис. 1. Середньомісячна температура повітря за період вегетації міскантусу, 2020–2024 рр.

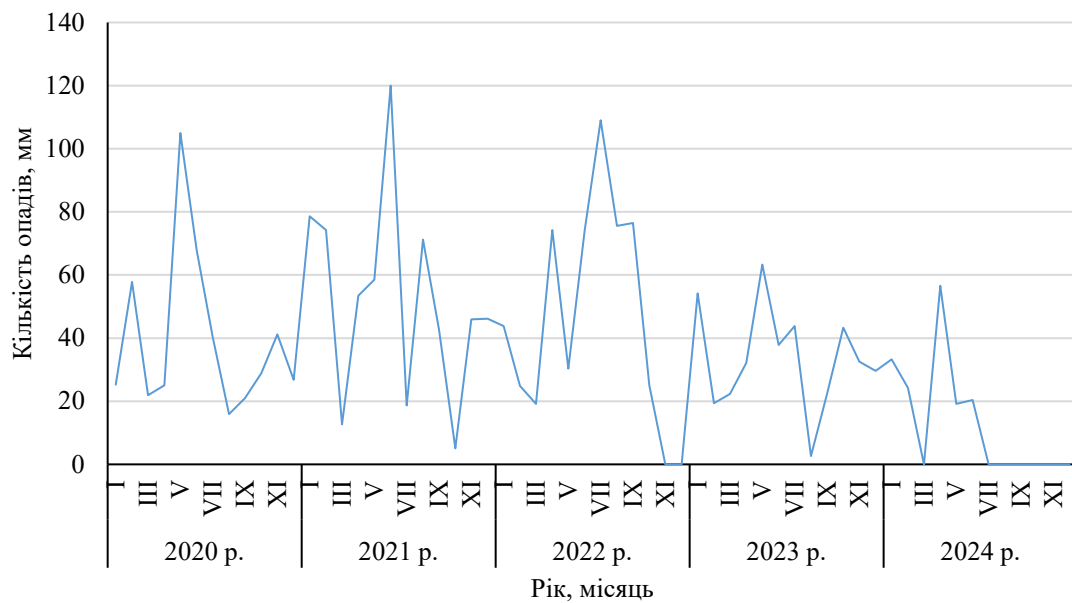


Рис. 2. Середньомісячна кількість опадів за період вегетації міскантусу, 2020–2024 рр.

Протягом 2020–2024 років в умовах проведення досліджень також відмічали відхилення середньомісячної кількості опадів від середньобогаторічних показників. Надмірна кількість опадів відмічена у квітні та червні 2020–2021 років та протягом окремих періодів червня, серпня й вересня 2022 року. Збільшення опадів порівняно із середніми показниками відмічали також у квітні, серпні, жовтні-листопаді 2023 року, а також в окремі періоди квітня-травня 2024 року. Протягом періоду вегетації енергетичних культур спостерігали й окремі посушливі періоди, що припадали на весняні місяці 2022 року. Нестачу опадів також відмічали у літні місяці 2021–2022 років та 2023–2024 років. Що дало можливість об'єктивно оцінити реакцію рослин

міскантусу гігантського на умови вирощування за їх адаптивністю.

Адаптивність рослин міскантусу гігантського до умов вирощування здійснювали протягом кожного року вегетації, відповідно 10-ти бальної шкали. При цьому визначали основні показники: стійкість рослин до виліяння, посухо- та холодостійкість, на основі чого встановлювали їх комплексну стійкість.

Протягом першого–третього років сорти міскантусу гігантського проявили високі адаптивні властивості, що в динаміці зростали з першого по третій період вирощування культури. В середньому за роки рослин міскантусу були стійкі до виліяння (9,0–9,7 балів), середньо- та посухостійкі (8,2–9,8 балів) та холодостійкі (9,0–9,4 балів), див. **рис. 3**.

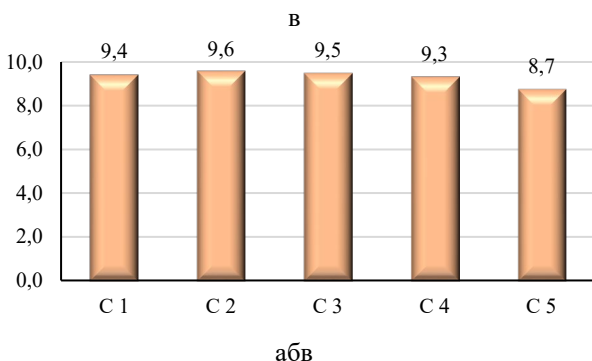
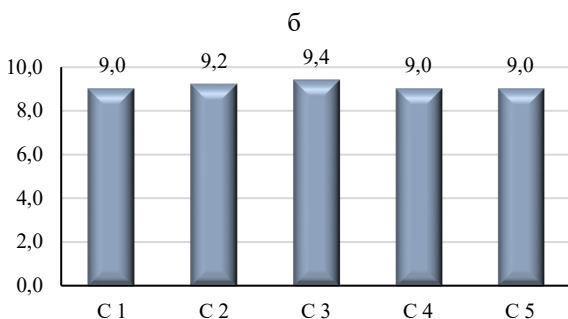
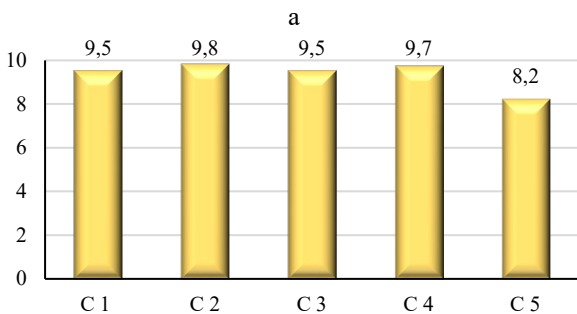
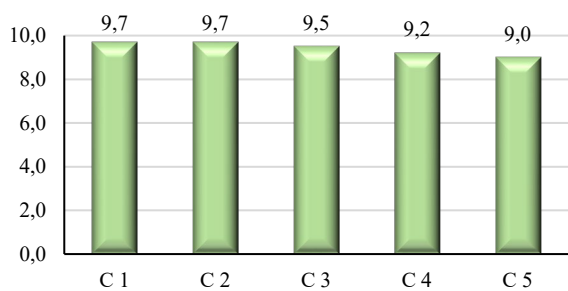


Рис. 3. Адаптивні властивості сортів міскантусу гігантського:

а – стійкість до вилягання, б – посухостійкість, в – холодостійкість, абв – комплексна стійкість, середнє за 2020–2024 рр.

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осіній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

Найбільшою комплексною стійкістю до умов вирощування володіють рослини міскантусу гігантського наступних сортів: ‘Гулівер’, ‘Верум’ та Осіній зорецвіт (9,4–9,6 балів), дещо нижча, але на високому рівні – наявна у сортів ‘Біотех’ (на рівні 9,3 балів), та найнижча – відмічена у сорту ‘Універсальний’ (8,7 балів).

Протягом періоду дослідження (впродовж 2020–2024 рр.) зафіксовано різну тривалість вегетаційного періоду сортів міскантусу гігантського, яка мала значне варіювання в межах досліджуваного сортименту – від 175,9 до 204,3 діб (табл. 1, рис. 4).

Таблиця 1

Тривалість вегетаційного періоду сортів міскантусу гігантського, 2020–2024 рр.

Сорт	Період, роки			Середнє за роки
	2020–2022 (перший)	2021–2023 (другий)	2022–2024 (третій)	
С 1	199,1	202,4	189,6	197,0
С 2	200,4	202,3	199,5	200,7
С 3	201,5	204,3	200,8	202,2
С 4	198,2	200,4	197,2	198,6
С 5	195,8	199,4	175,9	190,4
Середнє	199,0	201,8	192,6	197,8

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осіній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

Протягом років дослідження спостерігалось незначне збільшення вегетаційного періоду сортів міскантусу на другий рік (199,4–204,3 діб) порівняно з першим (195,8–201,5 діб) та третім (175,9–200,8 діб), рис. 4.

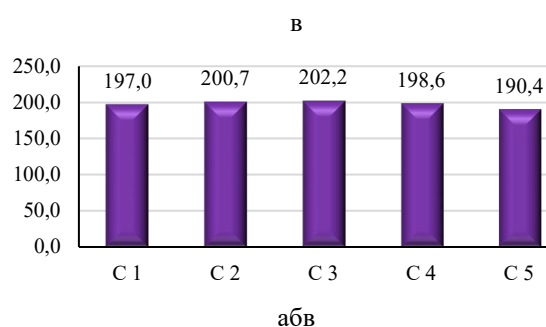
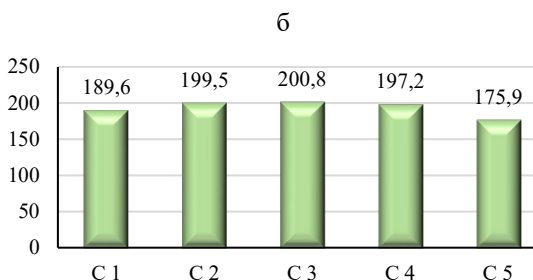
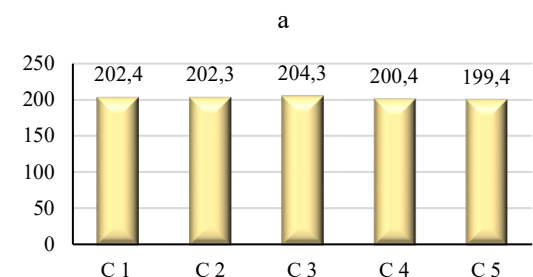
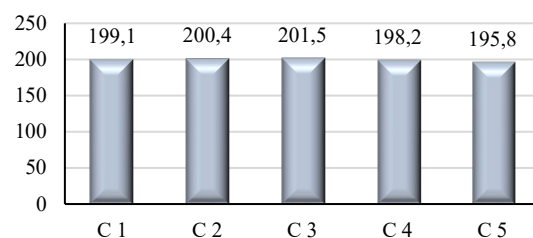


Рис. 4. Тривалість вегетаційного періоду сортів міскантусу гігантського:

а – перший рік вегетації, б – другий рік вегетації, в – третій рік вегетації, абв – середнє за роки, 2020–2024 рр.

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осіній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

В середньому за роки дослідження з-поміж сортів, що вивчалися найбільш тривалим вегетаційним періодом відзначилися сорти: ‘Осінній зорецвіт’, ‘Гулівер’, (більше 200 діб), дещо нижча – він був у сортів ‘Верум’ та ‘Біотех’ і найменш тривалим цей період був у сорту ‘Універсальний’ (190,4 діб). Що вказує на те, що досліджувані сорти міскантусу

мали різну реакцію на погодні умови вирощування й вегетували протягом неоднакового проміжку часу (190,4–202,2 діб).

За вивчення врожайності сортів міскантусу за сухою біомасою встановлено, що цей показник в динаміці років дослідження варіював у досить широких межах – від 4,9 до 19,5 т/га (табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність сортів міскантусу за сухою біомасою (т/га), 2020–2024 рр.

Сорт	Період, роки			Середнє за роки	+/- до умовного стандарту
	2020–2022 (перший)	2021–2023 (другий)	2022–2024 (третій)		
С 1	5,7	12,5	18,3	12,2	–
С 2	5,5	13,0	19,0	12,5	+0,3
С 3	6,4	13,4	19,5	13,1	+0,9
С 4	5,3	12,3	18,2	11,9	–0,3
С 5	4,9	11,3	17,9	11,4	–0,8
Середнє	5,6	12,5	18,6	12,2	–
НІР ₀₅	0,13	0,12	0,14	–	–
НІР ₀₅ (рік) 5,98, НІР ₀₅ (сорт) 0,44, НІР ₀₅ (рік і сорт) 0,13 т/га.					

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осінній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

З-поміж сортів міскантусу гігантського в середньому за три роки найбільш врожайними за сухою біомасою був сорт ‘Гулівер’ (13,1 т/га, прибавка до умовного стандарту сягала 0,9 т/га) і

‘Осінній зорецвіт’ (12,5 т/га, прибавка 0,3 т/га). Менш врожайним (11,9 т/га, зменшення до стандарту на 0,3 т/га) був сорт ‘Біотех’. Найменш врожайними був сорт ‘Універсальний’ (11,4 т/га), *рис. 5*.

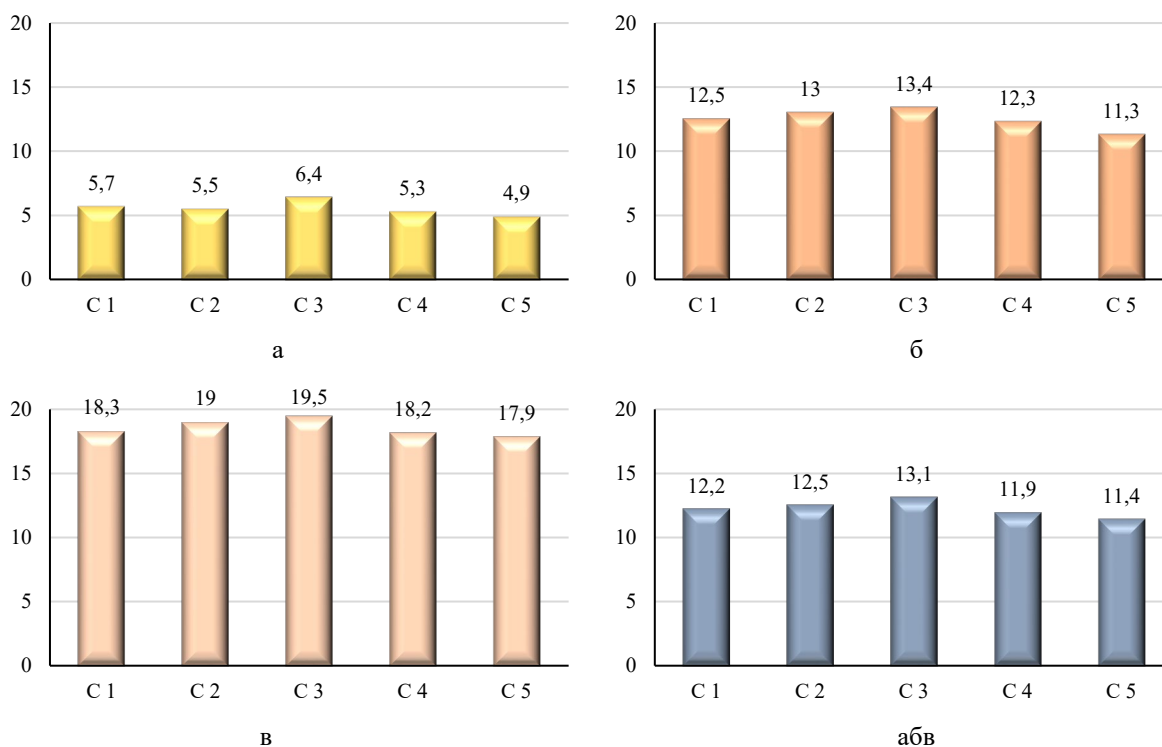


Рис. 5. Урожайність сухої біомаси сортів міскантусу гігантського:

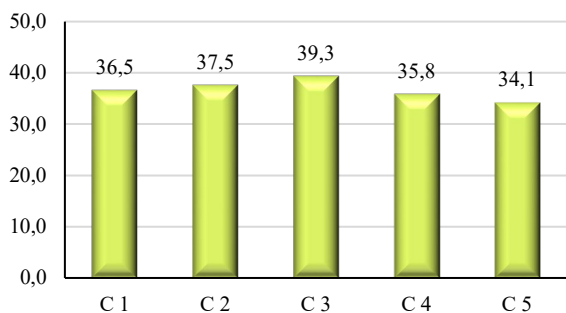
а – перший рік, б – другий рік, в – третій рік, абв – середнє за роки, 2020–2024 рр.

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осінній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

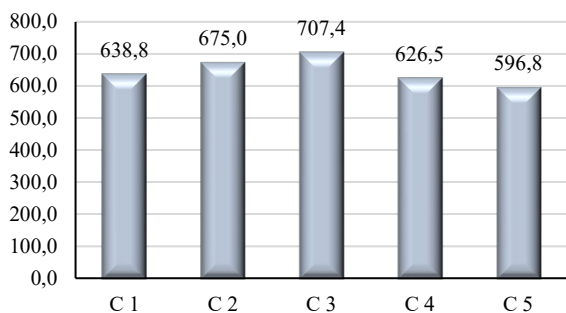
З-поміж досліджуваного сортименту за врожайністю сухої біомаси виокремлено сорти міскантусу гігантського ‘Гулівер’ (від 6,4 до 19,5 т/га, в середньому за роки 13,1 т/га). На однаковому рівні (відповідно 12,5 та 12,2 т/га в середньому за роки) врожайність біомаси формувалася

у сортів ‘Осінній зорецвіт’ та ‘Верум’, а у сорту ‘Універсальний’ цей показник був суттєво нижчим (11,4 т/га).

Обсяг сухої біомаси та вихід енергії з неї в розрізі сортів міскантусу гігантського разом за роки дослідження наведено на *рис. 6*.



а



б

Рис. 6. Обсяг сухої біомаси (а) та вихід енергії (б) сортів міскантусу гігантського, у сумі за 2020–2024 рр.

Примітки: С 1 – сорт ‘Верум’, С 2 – сорт ‘Осінній зорецвіт’, С 3 – сорт ‘Гулівер’, С 4 – сорт ‘Біотех’, С 5 – сорт ‘Універсальний’.

За обсягом біомаси виокремлено сорт міскантусу гігантського ‘Гулівер’ (39,3 т/га, в сумі за три роки). Суттєво нижчим і майже на однаковому рівні цей показник був у сортів: ‘Верум’ і ‘Осінній зорецвіт’, відповідно 36,5 та 37,5 т/га. Сорт ‘Біотех’ забезпечив обсяг біомаси на рівні 35,8 т/га, а найнижчим цей показник був у сорту ‘Універсальний’ (34,1 т/га).

З урахуванням теплоємності біомаси (17,5–18,0 Мдж/кг) та її обсягу отриманої за три роки ці ж сорти міскантусу забезпечили й найбільший сумарний вихід енергії, що властиве сортам: ‘Гулівер’ (707,4 ГДж/га), ‘Осінній зорецвіт’ (675,0 ГДж/га), та ‘Верум’ (638,8 ГДж/га), інші сорти – мали цей показник значно меншим.

Висновки

Найбільша комплексна стійкість до умов вирощування (стійкість до вилягання, посухо та холодостійкість) та тривалість вегетаційного періоду характерна сортам міскантусу гігантського: ‘Гулівер’, ‘Верум’ та Осінній зорецвіт’, а найнижча – для сорту ‘Універсальний’.

У середньому за врожайністю та обсягом сухої біомаси виокремлено сорти міскантусу гігантського ‘Гулівер’ (відповідно показників 13,1 та 39,3 т/га). Суттєво нижчими ці показники були у сортів ‘Осінній зорецвіт’ та ‘Верум’ (12,5 і 36,5 та 12,2 і 35,8 т/га відповідно), у інших сортів вони були суттєво нижчими.

За показником виходу енергії з біомаси виокремлено сорти міскантусу гігантського: ‘Гулівер’

(707,4 ГДж/га), ‘Осінній зорецвіт’ (675,0 ГДж/га), та ‘Верум’ (638,8 ГДж/га).

Перспективи подальших досліджень. У перспективі, з урахуванням удосконалених елементів технології вирощування виокремлених сортів міскантусу гігантського дозволить виробляти достатній обсяг енергоємної рослинної біомаси для виготовлення біопалив.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Kulyk, M. I. (Red). (2023). *Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology: collective monograph*. Poltava: “Astraia”
- Prushliak, N. (2021). Potential possibilities of growing bioenergy crops for the production of solid biofuels. *Agrosvit*, 1–2, 33. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.1-2.33>
- Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., Kalinichenko, O. V., & Galyska, M. A. (2019). Plant energy resources : agroecological, economic and energy aspects : Monograph. Astraya Poltava.
- Costanza, J. K., Abt, R. C., McKerrow, A. J., & Collazo, J. A. (2016). Bioenergy production and forest landscape change in the southeastern United States. *GCB Bioenergy*, 9 (5), 924–939. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12386>
- Vokalchuk, B. M., & Fuchylo, Ya. D. (2021). The influence of nitrogen fertilizers on the productivity of energy biomass of willow. *Bioenergy*, 2. <https://doi.org/10.47414/be.2.2021.244116>
- Fuchylo, Ya. D., Hnap, I. V., & Hanzhenko, O. M. (2018). Growth and productivity of some foreign cultivars of energy willow in Volyn Opillia. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14 (2), 230–239. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134775>
- Cardinale, B. J., Wright, J. P., Cadotte, M. W., Carroll, I. T., Hector, A., Srivastava, D. S., Loreau, M., & Weis, J. J. (2007). Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (46), 18123–18128. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709069104>
- Hufnagel, J., Reckling, M., & Ewert, F. (2020). Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (2). 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00617-4>
- Bianchi, F. J. J. A., Booi, C. J. H., & Tschardtke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273 (1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Humentyk, M. Ya., Radeiko, B. M., Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Bondar, V. S., Fursa, A. V., Kvak, V. M., Kharytonov, M. M., & Katelevskiy, V. M. (2018). *Cultivation of bioenergy crops*. Kyiv : Kompynt.
- Humentyk, M. Ya. (2010). Perspektyvy vyroshchuvannya bahatorichnykh zlakovykh kultur dlia vyrobnytstva biopalyva [Prospects for growing perennial cereal crops for biofuel production]. *Tsukrovi Buriaky*, 4, 21–22 [in Ukrainian]
- Osadchuk, V. D., Hunchak, T. I., & Sanduliak, T. M. (2017). Osoblyvosti vyroshchuvannya svitchhrasu yak enerhetychnoi kultury v umovakh Bukovyny. *Peredhirne ta Hirske Zemlerobstvo i Tvarynystvo*, 61, 102–112 [in Ukrainian]
- Blium, Ya. B., & Heletukha, H. H. (2010). *Novitni tekhnolohii bioenerhokonversii. Monohrafiia*. Kyiv : «Ahrar Media Hrup» [in Ukrainian]
- Hanzhenko, O. M. (2022). *Ahroekolohichni osnovy formuvannya produktyvnosti tsukronosnykh kultur dlia biopalyva: monohrafiia*. Kyiv: Kompynt [in Ukrainian]
- Elbersen, H. W., Christian, D. G., Bassen, N. E., Bacher, W., Sauerbeckat, G., Alexopoulou, E., Sharma, N., Piscioneri, I., Visser, P. De., & Van Den Berg, D (2001). Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects of Applied Biology*, 65, 21–28.

16. Chramiec-Głębik, A., Grabowska-Joachimiak, A., Sliwinska, E., Legutko, J., & Kula, A. (2012). Cytogenetic analysis of *Miscanthus* × *giganteus* and its parent forms. *Caryologia*, 65 (3), 234–242. <https://doi.org/10.1080/00087114.2012.740192>
17. Rakhmetova, S. O., Vergun, O. M., Kulyk, M. I., Blume, R. Y., Bondarchuk, O. P., Blume, Y. B., & Rakhmetov, D. B. (2020). Efficiency of Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) Cultivation in the Ukrainian Forest-Steppe Zone and Development of Its New Lines. *The Open Agriculture Journal*, 14 (1), 273–289. <https://doi.org/10.2174/1874331502014010273>
18. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkyn, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ia., Hanzhenko, O. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Fuchylo, Ya. D., Honcharuk, H. S., Furman, V. A., Suslyk, L. O., Makukh, Ya. P., Remeniuk, S. O., Ivanina, V. V., Fursa, A. V., Bondar, V. S., Bekh, N. S., Kotsar, M. I., Tsvihun, H. V., Kovalchuk, N. S., Nediak, T. M., Vorozhko, S. P., Doronin, V. A., Dryha, V. V., Buzynnyi, M. V., Dubovyi, Yu. P., Pedos, V. P., Balahura, O. V., Smirnykh, V. M., Zaimenko, N. V., Rakhmetov, D. B., Shcherbakova, T. O., Rakhmetov, S. D., & Katelevskiy, V. M. (2019). *Miskantus v Ukraini*: Kyiv: TOV «TsP «Komprint» [in Ukrainian]
19. Rakhmetov, D. B. (2011). *Teoretychni ta prykladni aspekty introduksii roslyn v Ukraini*. Kyiv: Ahrar Media Hrup [in Ukrainian]
20. Gumentyk, M., & Kharytonov, M. (2018). Development and assessment of technologies of miscanthus and switchgrass growing in Forest-Steppe zone of Ukraine. *The Journal "Agriculture and Forestry,"* 64 (2), 137–146. <https://doi.org/10.17707/agricultforest.64.2.10>
21. Dryha, V. V., Doronin, V. A., Kravchenko, Yu. A., Doronin, V. V., & Boiko, A. I. (2023). Seed productivity of switchgrass depending on varietal characteristics. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 31, 76–84. <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292395>
22. Hodgkinson, T. R., Klaas, M., Jones, M. B., Prickett, R., & Barth, S. (2014). *Miscanthus*: a case study for the utilization of natural genetic variation. *Plant Genetic Resources*, 13 (3), 219–237. <https://doi.org/10.1017/s147926211400094x>
23. Anderson, E., Arundale, R., Maughan, M., Oladeinde, A., Wycislo, A., & Voigt, T. (2011). Growth and agronomy of *Miscanthus* × *giganteus* for biomass production. *Biofuels*, 2 (1), 71–87. <https://doi.org/10.4155/bfs.10.80>
24. Scally, L., Hodgkinson, T., & Jones, M. B. (2001). Origins and taxonomy of *Miscanthus*. *Miscanthus for Energy and Fibre*, 1–9.
25. Słomka, A., Kuta, E., Płażek, A., Dubert, F., Żur, I., Dubas, E., Kopeć, P., & Żurek, G. (2012). Sterility of *Miscanthus* × *Giganteus* results from hybrid incompatibility. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 54 (1), 1–11. <https://doi.org/10.2478/v10182-012-0011-1>
26. Roik, M. V., Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2014). Suchasnyi stan rozvytku selektsii ta reiestratsii predstavnykiv rodu *Miscanthus* v Ukraini ta sviiti. *Naukovi Pratsi Instytutu Bioenerhetychnykh Kultur i Tsukrovykh Buriakiv*, 21, 249–254 [in Ukrainian]
27. Atkhanov, A., Turdikulov, I., Mamadiyrov, B., Abdullaeva, N., Nurgaliev, I., Khaydar, Y., & Rashidova, S. (2019). Isolation of nanocellulose from cotton cellulose and computer modeling of its structure. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 09 (04), 117–129. <https://doi.org/10.4236/ojpcem.2019.94010>
28. Li, C., Liu, G., Nges, I. A., & Liu, J. (2016). Enhanced biomethane production from *Miscanthus lutarioriparius* using steam explosion pretreatment. *Fuel*, 179, 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.087>
29. Zheng, C., Iqbal, Y., Labonte, N., Sun, G., Feng, H., Yi, Z., & Xiao, L. (2019). Performance of switchgrass and *Miscanthus* genotypes on marginal land in the Yellow River Delta. *Industrial Crops and Products*, 141, 111773. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111773>
30. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., & Kalenska, S. M. (2016). *Doslidna sprava v ahronomii. Navchalnyi posibnyk: u 2 knyzhakh*. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian]
31. Tkachyk, S. O. (Red.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini*. Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian]
32. Vovkodav, V. V. (Red.) (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyprovuvannia silskohospodarskykh kultur. Vypusk 2: Zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury*. Kyiv [in Ukrainian]
33. Rakhmetov, D. B., Kalenska, S. M., Fedorchuk, M. I., Rakhmetov, S. D., Kokovikhin, S. V., Fedorchuk, Ye. M., Fedorchuk, V. H., & Polyvoda, O. M. (2017). *Metodychni rekomendatsii z optymizatsii tekhnologii vyroshchuvannia miskantusu v riznykh hruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy*. Kremenchuk: Vydavnychiy tsentr «Kolosa», DVNZ «Khersonskiy derzhavnyi ahrarniy universytet» [in Ukrainian]
34. Informatsiino-dovidkova sistema «Reiestr sortiv». Retrieved from: <http://service.ukragroexpert.com.ua/> [in Ukrainian]
35. *Okhorona prav na sorty roslyn: Biuletyn*. (2022). Vinnytsia: Ukrainskiy instytut ekspertyzy sortiv roslyn, TOV «TVORY» [in Ukrainian].
36. Informatsiino-dovidkova sistema «Sort». Retrieved from: <http://sort.sops.gov.ua/search/search> [in Ukrainian]
37. Dubrovin, V. O., Holub, H. A., Drahnev, S. V., Heletukha, H. H., Zheleznaia, T. A., Kucheruk, P. P., Matveiev, Yu. B., Kudria, S. O., Zabarnyi, H. M., & Masliukova, Z. V. (2013). *Metodyka uzahalnenoi otsinky tekhnichno-dosiazhnogo enerhetychnoho potentsialu biomasy*. Kyiv: TOV. «Viol-prynt» [in Ukrainian]
38. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica 6.0*. Kyiv: PoligrafKonsaling [in Ukrainian]

ORCID

R. Teteriuk 
M. Kulyk 

<https://orcid.org/0009-0003-1715-8824>
<https://orcid.org/0000-0003-0394-5846>



© 2024 Teteriuk R. And Kulyk M. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.