






УДК 633.282:620.952

Сезонна динаміка росту *Miscanthus* × *giganteus* в умовах Західного Лісостепу

Ю. І. Гайда^{1, 2} , Я. Д. Фучило^{3*} , В. Я. Брич² ,
А. М. Шувар² , Т. М. Грохольська² 

¹Національний університет «Чернігівська політехніка», вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14030, Україна

²Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна

³Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

*Автор для листування: Ярослав Фучило, fuchylo_yar@ukr.net

Цитування: Гайда Ю. І., Фучило Я. Д., Брич В. Я., Шувар А. М., Грохольська Т. М. Сезонна динаміка росту *Miscanthus* × *giganteus* в умовах Західного Лісостепу. *Біоенергетика*. 2026. № 1. С. 20–31. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp20-31>

Мета. Вивчити особливості сезонної динаміки росту міскантусу гігантського (*Miscanthus* × *giganteus*) на різних етапах становлення плантації (перший рік вирощування і третій рік вегетації) в умовах Західного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проведено на експериментально-демонстраційній плантації у дослідному господарстві Західноукраїнського національного університету. Спостереження включали моніторинг висоти пагонів міскантусу на одно- та трирічній плантації. На кожній ділянці відібрано 20 модельних куртин (рослинних груп із однієї висадженої ризоми). Висоту пагонів у кожній куртині вимірювали регулярно (8 контрольних дат з кінця травня до кінця вересня) з точністю до 1 см. За результатами вимірювань проаналізовано динаміку середньої висоти пагонів та приростів висоти протягом вегетаційного періоду. **Результати.** На однорічній плантації міскантусу виявлено три фази росту пагонів: інтенсивне наростання навесні – на початку літа, середньолітнє уповільнення росту внаслідок недостатності опадів та відновлення росту наприкінці літа – восени. Середня висота пагонів зростає від 10,7 см наприкінці травня до 87,2 см наприкінці вересня (більш ніж у 8 разів). У червні висота швидко досягла 45–60 см, після чого в липні спостерігалось «плато» росту – темпи збільшення висоти різко знизилися, а в окремих куртинах відзначено поживтіння й загибель пагонів. У кінці липня в більшості рослин ростові процеси поновилися, і висота пагонів досягла максимальних значень у вересні (до 1,2–1,3 м у найрозвиненіших куртинах). При цьому між індивідуальними рослинами зафіксовано високу варіабельність: частина молодих ризом не змогла підтримувати ріст під час стресового середньолітнього періоду, що спричинило істотну варіабельність висот (від 0 до 125 см). На трирічній плантації міскантусу формування надземної маси відбувалося більш рівномірно. Ріст пагонів починався раніше (вже у травні висота сягала 25–60 см), інтенсивно продовжувався до початку липня (до 110–150 см), після чого поступово сповільнювався. Впродовж липня – вересня прирости висоти залишалися додатними без різких провалів, а максимальна висота пагонів на кінець сезону склала 160–190 см. Криві індивідуального росту на старшій плантації були монотонно зростаючими, без епізодів втрати листя чи пагонів, що вказує на кращу стійкість укорінених рослин до короткочасної засухи. Величини середньодобових поточних приростів на третьому році вегетації досягали піку наприкінці червня (30–35 см за інтервал між вимірами) і різко знижувалися в липні; на початку серпня відзначена коротка друга хвиля помірних приростів (11–15 см), після чого ріст згасав до нуля з настанням осені. На відміну від молодшої плантації, де спостерігалася значна мозаїчність розвитку, у зрілих куртинах висота наприкінці сезону вирівнялася, а відмінності між рослинами зменшилися. **Висновки.** Сезонна динаміка росту *M. × giganteus* суттєво залежить від віку насадження. На першому році вирощування спостерігається нерівномірний ріст із

Одержано 29.12.2025 • Погоджено 24.02.2026 • Опубліковано онлайн 18.05.2026



© Автор(и), 2026. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.

середньолітнім призупиненням та частковою втратою біомаси під час періоду з високими температурами і недостатніми опадами, тоді як на третьому році розвитку рослини демонструють більш ранній старт, стабільний ростовий хід без значного пригнічення влітку і значно більшу кінцеву висоту пагонів. Отримані дані підкреслюють важливість урахування вікових особливостей росту та реакції на кліматичні стреси при оцінюванні продуктивності і доборі високопродуктивних генотипів міскантусу для умов Західного Лісостепу.

Ключові слова: міскантус гігантський; приріст за висотою; вікові особливості росту; реакція на кліматичні стреси.

Вступ

Miscanthus × giganteus (міскантус гігантський) розглядається як перспективна біоенергетична культура завдяки здатності забезпечувати високий вихід біомаси у помірному кліматі [1, 3]. Залежно від умов вирощування, річна врожайність сухої маси міскантусу може сягати 10–30 т/га [2]. Висока продуктивність цієї рослини пов'язана, зокрема, з тривалістю її вегетаційного періоду: ранній початок росту навесні та пізні відмирання восени забезпечують довше використання ресурсів і накопичення біомаси [16]. Доведено, що тривалість санору duration (періоду від встановлення повного листкового положу до початку сенесценції) є важливим чинником урожайності міскантусу. Збільшення тривалості росту може значно підвищувати річний вихід біомаси [14].

Miscanthus є багаторічником, тому його продуктивність зростає протягом перших кількох років після садіння, досягаючи повної сили на приблизно на 3–5-й рік вегетації [5]. У перші роки після вкорінення спостерігаються вікові зміни фенології: встановлено, що старші насадження починають весняну вегетацію раніше, формують більше пагонів і листкової маси, але й раніше вступають у фазу сенесценції порівняно з молодими (тобто мають коротший активний період росту). Водночас широкий генетичний діапазон у межах роду *Miscanthus* та селекційних гібридів зумовлює значну варіабельність ознак фенології та продуктивності в різних кліматичних умовах. Це створює можливості для добору форм, більш пристосованих до подовженого сезону росту чи толерантних до стресів [4].

У помірному кліматі *M. × giganteus* зазвичай виходить із стану спокою навесні після стійкого прогрівання ґрунту, швидко нарощує листкову поверхню й формує суцільний намет. Тривалість «зеленої фази» (sanoru duration), яку визначають як кількість днів між формуванням покриву (sanoru establishment) та початком сенесценції, вважається важливим детермінантом урожайності міскантусу. Дослідження тривалості зеленого покриву (вегетаційного періоду) колекції зі 244 генотипів міскантусу, виявили що врожайність біомаси позитивно корелює з тривалістю зеленого покриву. Раніше формування покриву та пізніша сенесценція також корелювали з вищою врожайністю. Водночас не всі генотипи з довгою тривалістю покриву виявилися високоврожайними [14]. Це свідчить про те, що для виявлення високоврожайних сортів для певних природно-кліматичних умов потрібно також досліджувати особливості сезонної динаміки їх росту та розвитку.

Для видів міскантусу виявлені генотипові відмінності за часом проходження фенологічних фаз. Встановлено, що рання поява пагонів, швидкість виходу в трубку, дата початку та швидкість осіннього пожовтіння сильно корелюють з обсягом накопичення сухої біомаси [8]. У перші роки вирощування міскантусу спостерігаються вікові зміни фенології: старші насадження виходять у вегетацію раніше, мають більше стебел і листків, але й раніше вступають у сенесценцію [17]. Різноманіття природного й селекційного матеріалу *Miscanthus* забезпечує широке варіювання фенологічних ознак у різних кліматах [12].

Дослідження сезонного розвитку двох видів міскантусу виявили, що в Уельсі найбільші прирости довжини стебел припадають на середину сезону, коли покрив уже сформований. Висота та діаметр стебел, а також щільність стеблостою є найкращими предикторами врожайності. Ранні генотипи із швидшим стартом і тривалішим збереженням листя зазвичай продуктивніші [15]. Для *M. sinensis* у багаторічних колекційних дослідках тривалість вегетації, висота, діаметр і маса стебла у дворічній плантації достовірно корелюють із урожаєм на 4-й рік [13]. Окрім фенологічних характеристик, важливе значення для продуктивності міскантусу мають морфологічні показники, зокрема висота та товщина стебел і густота стеблостою [15].

На сьогодні бракує інформації про те, як саме проявляються закономірності росту міскантусу на різних стадіях становлення плантації у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу. Таким чином, наше дослідження було спрямоване на порівняння сезонної динаміки росту пагонів *M. × giganteus* у молодому насадженні першого року вирощування та у функціонуючій багаторічній плантації (третій рік вегетації) в умовах Тернопільської області.

Метою дослідження було визначення особливостей сезонного росту й розвитку пагонів міскантусу гігантського на одно- та трирічній плантаціях, моделювання динаміки висоти пагонів протягом вегетаційного періоду та характеру росту за стресових кліматичних факторів Західного Лісостепу.

Матеріали та методи дослідження

Обміри та обліки проводилися на дослідно-демонстраційній плантації в Науково-дослідному виробничому господарстві «Наука» Західноукраїнського національного університету у 2025 році. Клімат регіону дослідження – помірно континентальний з теплим літом і відносно м'якою зимою. Середньорічні опади 520–600 мм; середня температура січня – -5°C , липня – $+19^{\circ}\text{C}$. Останніми роками в області фіксується підвищення температури влітку та взимку, що подовжує теплий період і збільшує кількість спекотних днів (рис. 1).



Рис. 1. Динаміка середніх температур повітря за даними метеостанції Тернопіль у 2025 р. [18]



Рис. 2. Динаміка опадів за даними метеостанції Тернопіль у 2025 р. [18]

Ґрунт на дослідних плантаціях – чорнозем опідзолений середньо-суглинковий, тобто типова для Західного Лісостепу ґрунтова відміна. Середина літа 2025 р. характеризувалася підвищеними температурами у червні – липні (рис. 1) та дефіцитом опадів у 2-й і 3-й декаді червня, що спричинило ґрунтову посуху в цей період. Для спостережень обрано два варіанти насаджень міскантусу – однорічна (садіння ризом *M. × giganteus* весною 2025 р.) та трирічна плантації (закладено весною 2023 р.). В обох випадках використано вегетативний садивний матеріал – фрагменти кореневищ міскантусу гігантського (ризоми).

На кожній з двох дослідних ділянок закладено по 20 облікових (модельних) куртин, кожна з яких розвивається з окремої висадженої ризоми. Куртини розташовані рівномірно, догляд за плантацією стандартний (міжрядний обробіток, без зрошення). Впродовж вегетаційного сезону здійснювали періодичні вимірювання висоти пагонів у кожній куртині. Висоту визначали як середню висоту надземної частини рослини (листочкостебловий «пучок» пагонів) – для цього рулеткою заміряли висоту найбільш розвинених пагонів куртини та обчислювали середнє значення, округлене до 1 см. Спостереження проводилися приблизно кожні два-три тижні, загалом вісім разів у період з кінця травня до кінця вересня. Отримані дані використано для побудови динамічних рядів росту висоти (у середньому по куртинах) та аналізу приростів висоти між послідовними термінами спостережень.

Статистична обробка даних включала розрахунок середніх значень, діапазонів варіювання та апроксимацію трендів росту методом найменших квадратів (регресійний аналіз).

Результати дослідження

На рисунку 3 представлено графіки, які відображають зміни середніх висот пагонів у модельних куртинах на однорічній плантації.

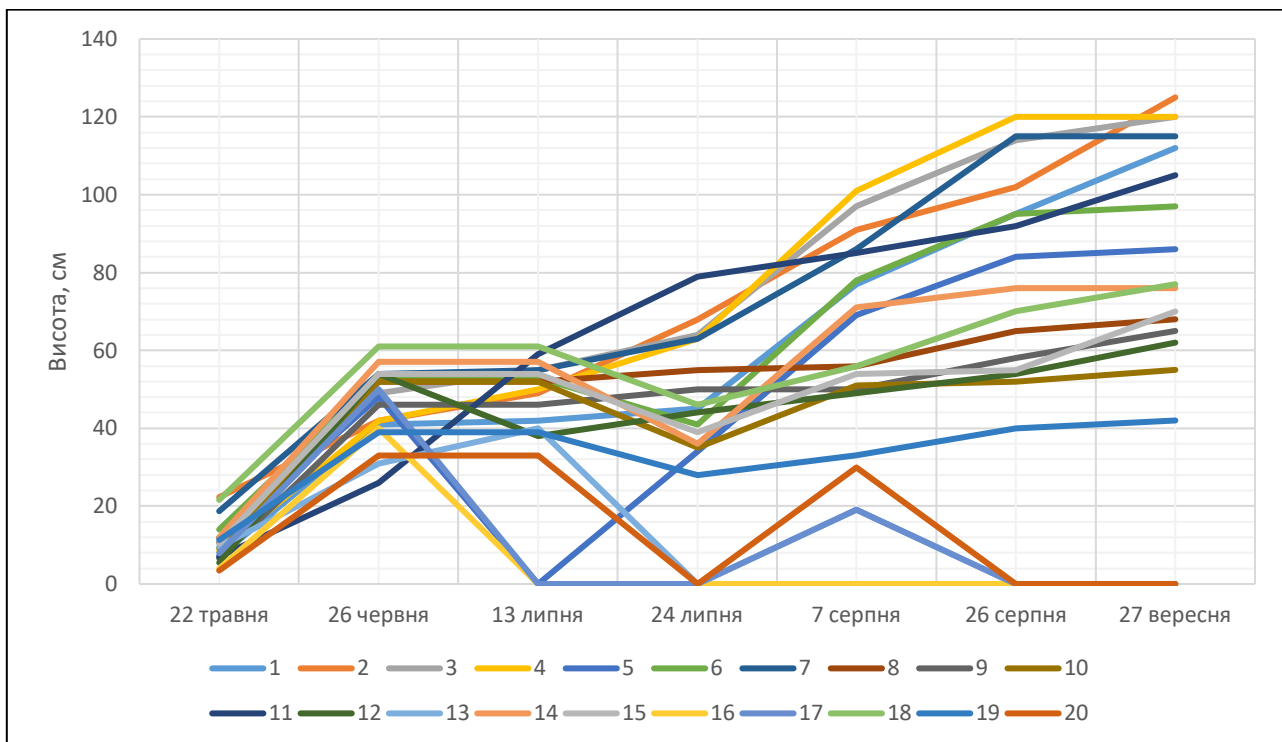


Рис. 3. Сезонна динаміка росту пагонів у висоту в облікових куртинах міскантусу на однорічній плантації

Сезонна динаміка росту пагонів міскантусу за даними 20 модельних куртин демонструє різко виражену гетерогенність темпів і траєкторій. Початковий етап (22 травня – 26 червня) характеризується інтенсивним наростанням вегетативної маси більшості екземплярів із виходом висоти пагонів на проміжне плато (45–60 см) наприкінці червня. У липні спостерігалось суттєве розшарування: у частині куртин зберігалось помірне зростання, проте у низки екземп-

лярів фіксувалися епізоди пожовтіння й часткового або повного всихання листя, що обумовило різкі провали показника висоти на початку – середині липня. Окремі куртини (13, 16, 17, 20), випустивши навесні пагони, втратили їх у липні та надалі не відновили вегетацію (фактична стабілізація висоти на нульових або близьких до нуля значеннях). Після 24 липня в більшості варіантів спостерігається повторна активація росту: значна частка ризом демонструвала відновлення й кумулятивне збільшення довжини пагонів у серпні – вересні, з досягненням максимальних сезонних значень наприкінці вегетації. Разом із тим, вищезгадана група куртин зберегла стійко низькі або нульові траєкторії росту.

Загалом конфігурація кривих росту пагонів у модельних куртинах свідчить про поєднання типових для міскантусу фаз інтенсивного весняно-літнього розвитку з середньолітнім стресовим вікном, обумовленим екстремальними температурами червня – липня і дефіцитом вологи у другій-третій декадах червня, яке стало причиною часткової ймовірної сенесценції пагонів і тимчасових або незворотних втрат надземної маси, тоді як компенсаторне відновлення у значній частині ризом забезпечило інтенсифікацію росту їх пагонів до кінця сезону. Діапазон варіювання показника висоти рослин за сезон розширюється від 10–30 см на початку до 0–125 см у вересні, що вказує на збільшення індивідуальної мінливості. Таке розмаїття індивідуальних траєкторій підкреслює важливість урахування мікроекологічних градієнтів і внутрішньопопуляційної варіабельності при оцінюванні успішності укорінення та продуктивності плантацій міскантуса.

Сезонна траєкторія середньої висоти пагонів міскантусу відображає ту ж триетапну динаміку, яку засвідчив ріст пагонів у окремих куртинах – інтенсивний старт, середньолітнє «вікно» стагнації та компенсаторне відновлення росту наприкінці сезону (рис. 4).

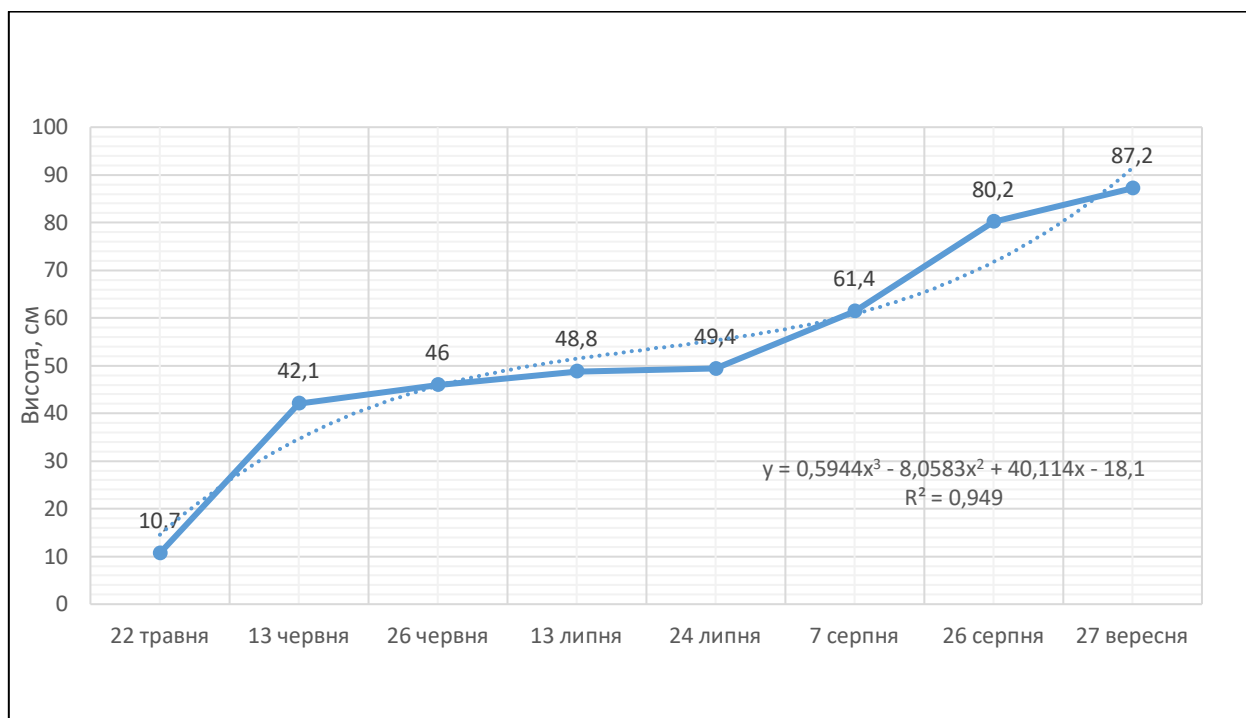


Рис. 4. Сезонна динаміка середніх висот пагонів на однорічній плантації міскантусу

Від 22 травня до 13 червня середня висота пагонів зросла з 10,7 до 42,1 см (на 31,4 см), після чого темп різко знизився 26 червня – 46,0 см (лише на 3,9 см), 13 липня – 48,8 см (лише на 2,8 см), 24 липня – 49,4 см (лише на 0,6 см). Це плато узгоджується з попередніми спостереженнями щодо пожовтіння та всихання частини пагонів у кінці червня – на початку липня й повної втрати надземної маси в окремих куртинах, що тимчасово зменшило внесок цих рослин у приріст біомаси на плантації. Після 24 липня (внаслідок поповнення запасів вологи ґрунту після інтенсивних опадів) фіксується відновлення росту: 7 серпня – 61,4 см (приріст 12,0 см), 26 серпня – 80,2 см (приріст 18,8 см), 27 вересня – 87,2 см (приріст 7,0 см). Загалом за період

спостережень середня висота зросла приблизно у 8 разів (з 10,7 до 87,2 см). Криволінійна апроксимація поліномом третього ступеня добре описує нелінійну сезонну криву з виразним літнім «плато» ($R^2 = 0,949$), що відображає сумарний ефект індивідуальних реакцій на стресові фактори і подальшого компенсаторного розвитку більшості екземплярів, виявлених в індивідуальних рядах куртин (див. рис. 4).

На рисунку 5 проілюстрована зміна середніх висот пагонів у модельних куртинах на трирічній плантації міскантуса.

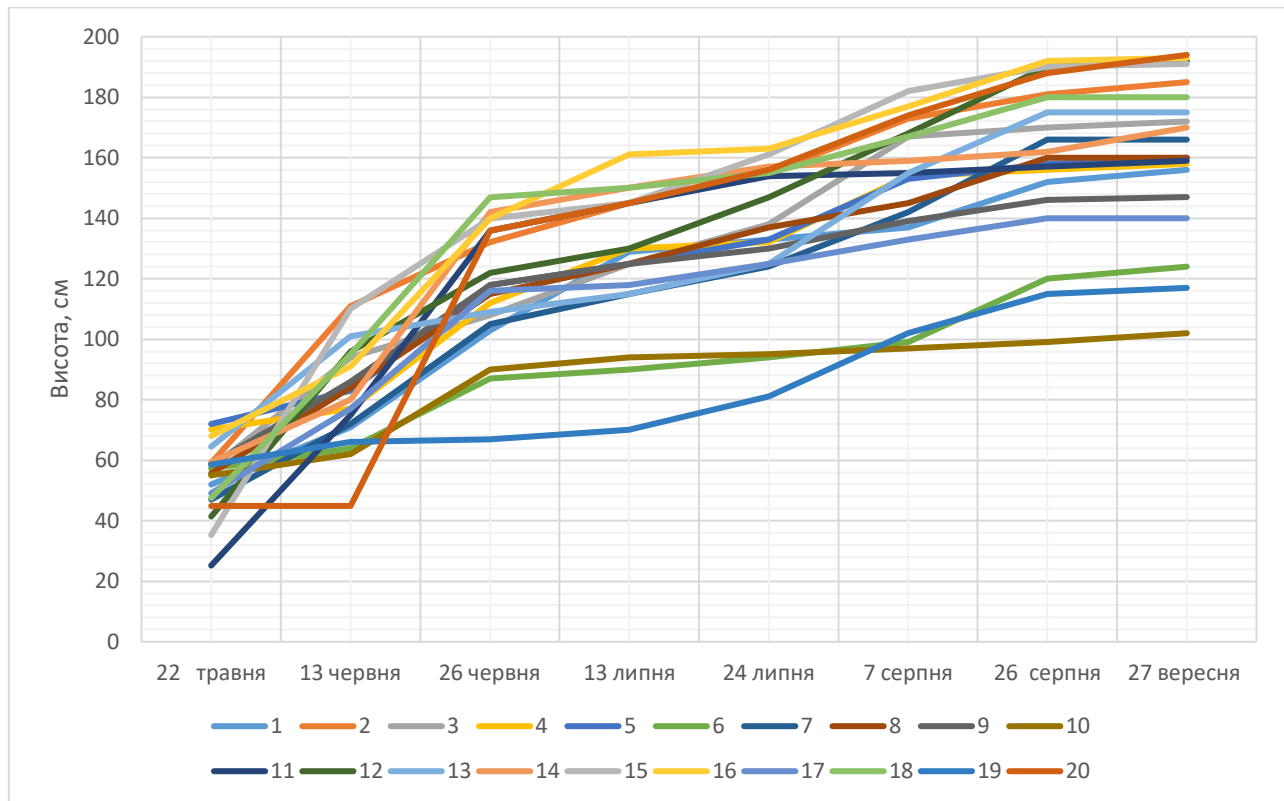


Рис. 5. Сезонна динаміка росту пагонів у висоту в облікових куртинах міскантуса на трирічній плантації

На трирічній плантації (рис. 5) висота пагонів міскантуса в кінці травня становила переважно 25–60 см і вже до кінця червня – початку липня у більшості куртин досягнула висоти близько 110–150 см, після чого приріст уповільнився, але залишився додатним до вересня, коли висоти вирівнялися на рівні приблизно 160–190 см. Траєкторії росту при цьому майже всюди монотонні, без різких падінь, що свідчить про стабільний ріст за рахунок сформованої кореневої системи. На однорічній плантації (див. рис. 3) фаза активного нарощування біомаси була більш розтягнута, а динаміка помітно варіабельніша – у середині літа на частині куртин спостерігалися «провали» у траєкторії або тимчасові зменшення висоти, після чого криві знову зростали. Таким чином, у старшій плантації ріст починається раніше, відбувається рівномірніше і завершується вищими підсумковими висотами з помітною конвергенцією між куртинами, тоді як у молодій – ріст пізніший, «зубчастий» і менш однорідний, із нижчими сезонними максимумами та довшим збереженням відмінностей між окремими рослинами.

На рисунку 6 відображено сезонну динаміку приростів пагонів у висоту в облікових куртинах міскантуса на третій рік вегетації. Загальний хід кривих свідчить про різко виражену хвилю інтенсивного росту з максимумом наприкінці червня та подальше швидке згасання до середини липня. Уже 13 червня у більшості куртин зафіксовано помітні прирости, що переважно знаходилися у межах від низьких до середніх значень, але для окремих екземплярів спостерігаються високі піки. Кульмінація припадає на 26 червня – саме в цей момент більшість кривих досягає найбільших значень, а індивідуальна мінливість максимальна – поряд із

численними приростами середнього рівня трапляються поодинокі «сплески» понад середні, включно з одиничними екстремумами.

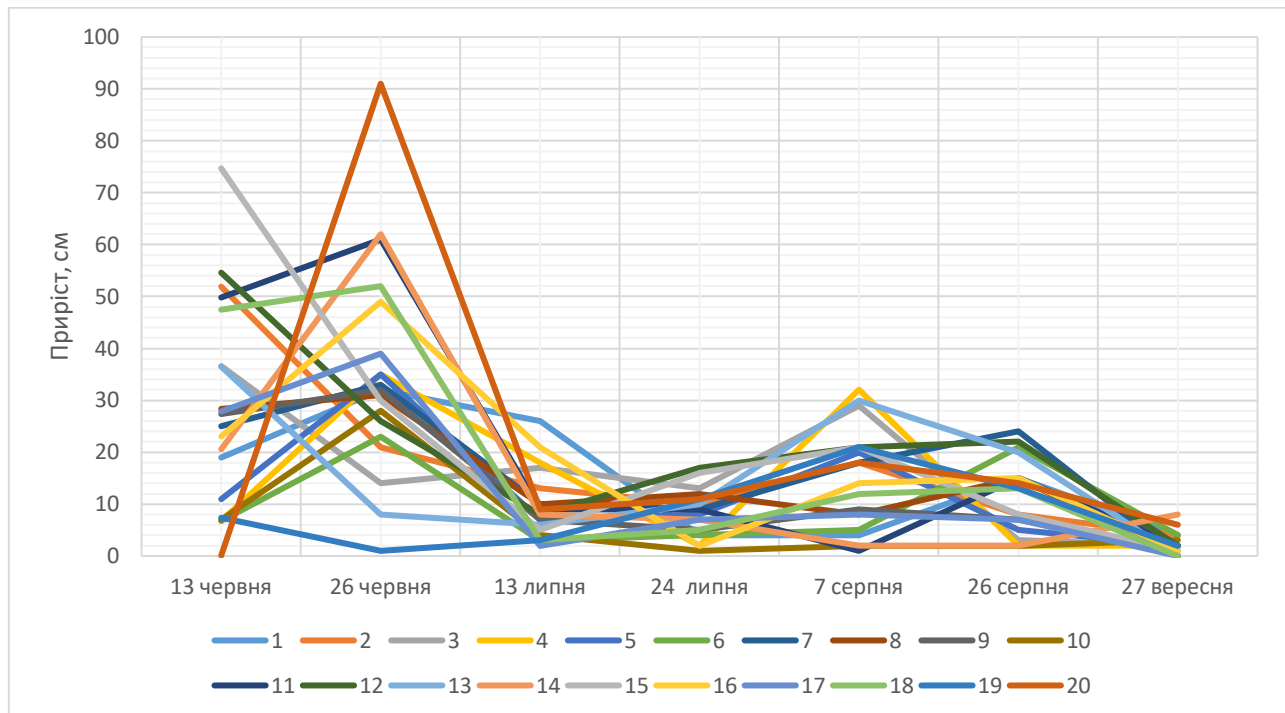


Рис. 6. Динаміка приростів пагонів у висоту в облікових куртинах міскантусу впродовж вегетаційного періоду на трирічній плантації

Уже до 13 липня величини приростів різко зменшуються й наближаються до невеликих, а потім криві конвергують, що вказує на синхронне уповільнення ростових процесів на плантації. У другій половині літа характерна короткочасна «вторинна» хвиля – у кінці липня – на початку серпня у частині облікових куртин спостерігається тимчасове підвищення інтенсивності росту до помірних значень, тоді як інші зберігають низькі прирости. Цей імпульс швидко згасає, і станом на кінець серпня більшість показників знову невеликі. До кінця вересня величини приростів майже для всіх екземплярів знижуються до мінімальних або близьких до нуля значень, що відповідає завершенню активної вегетації. Таким чином, третій рік розвитку характеризується короткою, але потужною хвилею інтенсивного видовження росту пагонів наприкінці червня, різкою вираженою депресією в липні та нетривалим серпневим приростом на тлі загального згасання росту до осені. Індивідуальна варіабельність приростів висока під час піків і зменшується наприкінці сезону.

Рисунок 7 ілюструє сезонний тренд середньої висоти пагонів міскантусу на третій рік вегетації. Крива має виразний висхідний характер зі спадним темпом – після швидкого початкового підйому навесні темпи приросту зменшуються в літні місяці, а наприкінці сезону висота майже стабілізується. Цей тренд добре описує логарифмічна функція $y = 53,927 \ln(x) + 51,667$ з дуже високим коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,9881$, що відображає майже монотонну, але таку, що сповільнюється, траєкторію росту.

Як бачимо з рисунку 8, максимальні середні прирости пагонів у висоту фіксуються в першій половині літа: 13 червня приблизно 28 см і 26 червня близько 35 см (це період найкрутішого сегменту кривої на рис. 7). Після піку приростів спостерігається різке згасання (13 липня – 9 см і 24 липня – 8 см), що відповідає помітному вирівнюванню кривої росту за висотою.

На початку серпня простежується короткочасна «вторинна хвиля» інтенсивності приростів (7 серпня – 15 см, 26 серпня – 11 см), яка пов'язана з сприятливими погодними умовами (опаді / температура). Наприкінці вересня прирости були мінімальними (до 2 см), що ілюструє завершення активної вегетації та майже горизонтальну ділянку кривої висоти.

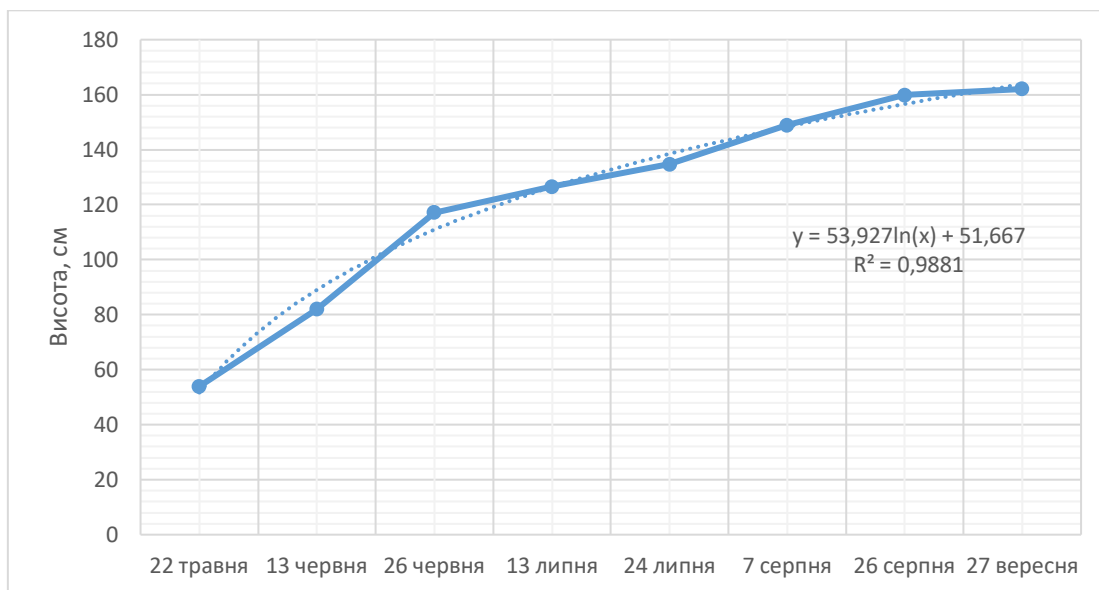


Рис. 7. Динаміка середньої висоти пагонів на трирічній плантації міскантусу

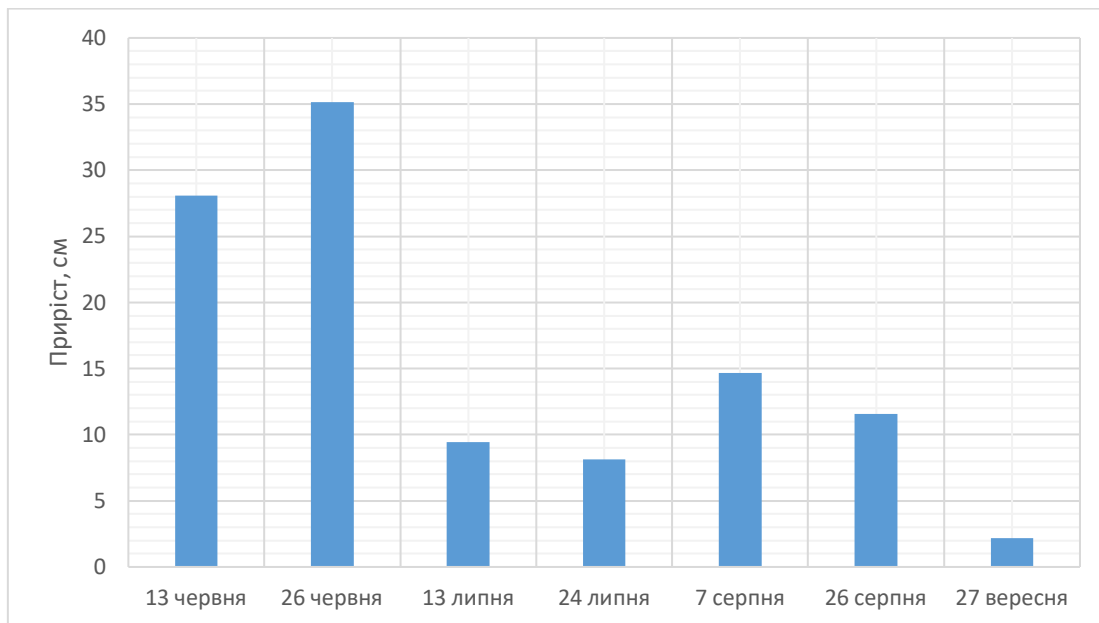


Рис. 8. Динаміка середнього приросту пагонів міскантусу за висотою на трирічній плантації

Таким чином, рисунки 7 і 8 узгоджено демонструють наступний сценарій вегетаційної динаміки росту міскантусу на трирічній плантації: швидкий старт і пікові темпи росту до кінця червня формують основну частину сезонного приросту біомаси, далі – тривала фаза сповільнення з коротким серпневим імпульсом і вихід на плато восени. Логарифмічний тренд середньої висоти відображає накопичувальний характер росту, а профіль поточних приростів визначає часові періоди максимальної та вторинної активності приростів, які й визначають форму кривої висот пагонів міскантусу.

Порівнюючи дві дослідні плантації, можна зробити висновок, що на третій рік розвитку *M. × giganteus* реалізує свій потенціал росту значно повніше, ніж у перший. Рослини старшого віку розпочинають свій ріст раніше навесні, досягають значно більшої абсолютної висоти стебел і роблять це більш рівномірно. Молоді ж рослини потребують більше часу для розгортання листової поверхні, їхній активний ріст починається пізніше і триває довше (розтягується на все літо та осінь), причому під впливом стресових чинників можливі зворотні процеси

(втрата листя, відмирання пагонів) і сильні відмінності між окремими особинами. На третій рік ці ефекти змінюються: усі куртини успішно вкорінені, сформували потужну кореневу систему й достатній запас пластичних речовин і вологи, тому навіть за несприятливих умов літа вони вегетують інтенсивніше і стабільніше. Як наслідок, кінцеві показники висоти та урожайності біомаси стають у рази більшими, ніж у рік садіння.

Отримані результати демонструють характерні відмінності у сезонній динаміці росту міскантусу гігантського залежно від віку плантації та свідчать про вплив кліматичних стресів літа на продуктивність молодих насаджень. У перший рік вирощування *M. × giganteus* в умовах Західного Лісостепу відзначено високу чутливість рослин до середньолітньої посухи – частина пагонів не витримує дефіциту вологи і гине, що призводить до тимчасового зменшення загальної біомаси надземної частини. Подібні явища раніше описувалися для міскантусу за дії екстремальних факторів – зокрема, встановлено, що за сильних літніх засух молоді рослини можуть втрачати листя і зупиняти ріст, переходячи в стан спокою до покращення умов. Наші спостереження підтверджують, що в перший рік після посадки розвиток міскантусу є нерівномірним і значною мірою залежить від погодної ситуації в ключовий період червень – липень. Відомо, що зазвичай урожай міскантусу на першому році дуже низький і комерційно не збирається [7], натомість на другий рік і далі продуктивність різко зростає, досягаючи максимальних значень приблизно на 3–4-й рік культивування [5]. Наші дані узгоджуються з цим: різниця у кінцевій висоті пагонів між одно- та трирічною плантаціями свідчить, що потенційний урожай сухої біомаси на третій рік вегетації у декілька разів перевищує показники першого року. Це пояснюється нарощуванням кореневої системи та запасу поживних речовин в кореневищах, що забезпечує інтенсивніший ріст пагонів і більшу кількість стебел у наступні роки (за сприятливих умов плантація залишається продуктивною до 20–25 років).

На трирічній плантації міскантус гігантський виявив високу стійкість до гідротермічного стресу – жодна рослина не втратила пагонів в період літньої посухи, хоча темпи росту в липні помітно знизилися. Це вказує на важливу роль розвиненої кореневої системи у підтриманні водного режиму рослин. Більш глибоке проникнення коренів та накопичення підземних резервів у старших куртинах дозволяють їм пережити посушливі періоди без критичних втрат листяного покриву. Отже, зі збільшенням віку насадження зростає і його екологічна стабільність. Відзначимо, що у третій рік спостерігалася також більша синхронність ростових процесів серед різних куртин – більшість з них досягли подібної фінальної висоти і мали схожий характер кривих росту. Натомість на першому році варіабельність між рослинами була дуже високою – деякі ризоми, імовірно, мали гірші мікроумови (гіршу забезпеченість вологою, сильнішу конкуренцію з бур'янами тощо) і тому майже не реалізували свого потенціалу росту.

З точки зору фазової структури сезонного розвитку, у трирічному насадженні проявився чіткіший однохвильовий характер росту пагонів. Максимальна інтенсивність росту припала на кінець червня – початок липня, після чого наступила затяжна фаза поступового уповільнення (з коротким незначним прискоренням на початку серпня за рахунок покращення погодних умов). Цей сценарій відповідає класичній сигмоїдній моделі росту рослин, коли початковий експоненційний підйом змінюється насиченням. У випадку міскантусу важливу роль відіграє фенологічний перехід до генеративної стадії (цвітіння) та початку сенесценції, які зазвичай настають після піку вегетативного росту [16]. Хоча в наших спостереженнях цвітіння *M. × giganteus* не було масовим (даний гібрид часто не переходить до генеративної фази в умовах помірних широт), уповільнення росту в липні можна пов'язати з досягненням рослинами певного порогу розвитку, коли приріст біомаси більше лімітований наявними ресурсами та кліматичними умовами. Цікаво, що у різних генотипів міскантусу співвідношення між швидкістю росту і тривалістю активного періоду може відрізнятися. Як показали Robson та ін. [15], форми з довшим періодом інтенсивного росту часто мають дещо меншу максимальну швидкість росту, тоді як дуже швидкозрілі форми можуть раніше вичерпувати свій ресурс і припиняти вегетацію. У контексті нашого дослідження це означає, що потенційне продовження фази активного росту міскантусу (наприклад, шляхом іригації чи селекції на пізніше відмирання) могло б підвищити загальну урожайність, але лише за умови, що рослини зберуть достатньо ресурсів для підтримання належних темпів росту. Відомо, що довший сезон росту та вищий врожай можуть супроводжуватися ризиками, зокрема вразливістю до осінніх

заморозків чи погіршення якості біомаси [16]. Тому оптимізація продуктивності міскантусу потребує збалансованого врахування обох факторів – і максимальної тривалості фотосинтезу активного періоду, і достатньо інтенсивного росту на його початку.

Загалом, результати нашого дослідження узгоджуються з наявними науковими даними щодо факторів, які визначають продуктивність *M. × giganteus*. Виявлена на однорічній плантації пауза росту й часткова втрата пагонів у відповідь на посуху висвітлює значення посухостійкості та ефективного водокористування. Селекція на ці ознаки, а також агротехнічні заходи (мульчування, полив у критичні фази) можуть суттєво підвищити успішність старту плантацій міскантусу в регіонах з ризиком літніх посух [7]. Крім того, відмінності між індивідуальними рослинами в молодому насадженні вказують на те, що для точного прогнозування врожайності важливо враховувати густоту посадки, якість садивного матеріалу та просторову неоднорідність умов на полі.

Нарешті, варто зауважити, що максимальна висота пагонів на третій рік (до 1,9 м) все ще поступається потенційним значенням для *M. × giganteus*. У літературі вказується, що у зрілих плантаціях цей гібрид може досягати 3–4 м висоти за сезон [10]. У наших дослідних умовах 2025 р. рослини не реалізували повністю такий потенціал, ймовірно через обмеження вологозабезпечення та, можливо, поступове виснаження ґрунту. Подальше нарощування врожайності на 4–5-й рік може вимагати оптимізації живлення (внесення добрив) та збереження вологи. Тим не менше, третій рік розвитку вже продемонстрував суттєве покращення продуктивності порівняно з першим роком, що підкреслює важливість багаторічної природи культури *Miscanthus* для досягнення економічно доцільних урожаїв [6].

Наші результати підтверджують наявність сильної кореляції між тривалістю активного росту (санору duration) і накопиченою біомасою, а також важливість фенологічної пристосованості сортів (раннього старту, пізньої сенесценції) для отримання високих урожаїв [8, 9, 11].

Висновки

Сезонна динаміка росту *M. × giganteus* істотно змінюється з віком насадження. На першому році вирощування ріст пагонів був нерівномірним, зі стадією середньолітнього сповільнення і часткової втрати біомаси, тоді як на третьому році рослини росли більш стабільно і досягали значно більшої кінцевої висоти без переривань росту.

Для однорічної плантації характерна трисегментна крива росту: (1) інтенсивний весняно-літнє збільшення висоти пагонів (до кінця червня), (2) «плато» або стагнація росту кінець червня – середина липня), що у деяких рослин супроводжується пожовтінням і відмиранням пагонів, (3) вторинне відростання і певне збільшення приростів у висоту наприкінці літа – восени (серпень – вересень).

На трирічній плантації спостерігається близький до сигмоїдального, характер росту. Основний приріст висоти відбувається на початку літа (травень – червень), коли міскантус швидко досягає 1,5 м. Далі ростові процеси уповільнюються рівномірно в усіх рослин, суттєвого зменшення висоти чи відмирання пагонів не зафіксовано, незважаючи на літню посуху. Тривалість активного росту вища, ніж у молодих рослин, хоча інтенсивність приростів після червня помітно нижча.

Молода плантація *M. × giganteus* виявилася дуже чутливою до несприятливих умов середини літа – спека та дефіцит ґрунтової вологи призвели до тимчасового припинення росту, а в окремих випадках – до загибелі надземних пагонів. Натомість укорінена плантація третього року показала високу толерантність до посухи – рослини зберегли листковий намет і хоч повільно, але продовжували рости протягом усього посушливого періоду. Це свідчить про значно більшу посухостійкість і стабільність продукційного процесу у старших плантаціях завдяки розвиненій кореневій системі та накопиченим ресурсам.

Фінансування досліджень

Статтю підготовлено у межах реалізації проєкту з виконання наукового дослідження і розробки 2021.01/0416 «Впровадження кліматично-нейтральних інновацій в управління аграрним природокористуванням в контексті еколого-енергетичної безпеки України» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

Список використаних джерел

1. Haida, Y., Fuchylo, Y., Brych, V., Haida, T., Borysiak, O., & Shuvar, A. (2024). Carbon dioxide sequestration and oxygen production in miscanthus plantations. *Economic Analysis*, 34(3), 147–161. <https://doi.org/10.35774/econa2024.03.144> [In Ukrainian]
2. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., & Tryboi, O. V. (2014). Prospects for cultivation and use of energy crops in Ukraine. *BAU Analytical Report No. 10*. [In Ukrainian]
3. Humentyk, M. Ya., Haida, Y. I., Fuchylo, Y. D., & Hnap, I. V. (2018). Economic efficiency of investments in growing bioenergy crops in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Economic Analysis*, 28(2), 21–29. [In Ukrainian]
4. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., Hanzhenko, O. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Fuchylo, Y. D., Honcharuk, H. S., Furman, V. A., Suslyk, L. O., Makukh, Y. P., Remeniuk, S. O., Ivanina, V. V., Fursa, A. V., Bekh, N. S., Kotsar, M. I., ... Katelevskiy, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-617-7804-11-5> [In Ukrainian]
5. Ashman, C., Wilson, R., Mos, M., Clifton-Brown, J., & Robson, P. (2023). Improving field establishment and yield in seed propagated *Miscanthus* through manipulating plug size, sowing date and seedling age. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1095838. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1095838>
6. Atkinson, C. (2009). Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*, 33(5), 752–759. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.01.005>
7. von Cossel, M., Mangold, A., Iqbal, Y., Hartung, J., Lewandowski, I., & Kiesel, A. (2019). How to generate yield in the first year—A three-year experiment on *Miscanthus* (*Miscanthus* × *giganteus* [Greef et Deuter]) establishment under maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 9(5), Article 237. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050237>
8. Davey, C. L., Robson, P., Hawkins, S., Farrar, K., Clifton-Brown, J. C., Donnison, I. S., & Slavov, G. T. (2017). Genetic relationships between spring emergence, canopy phenology, and biomass yield increase the accuracy of genomic prediction in *Miscanthus*. *Journal of Experimental Botany*, 68(18), 5093–5102. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx339>
9. Fonteyne, S., Lootens, P., Roldán-Ruiz, I., & Muylle, H. (2018). Impact of flowering time and biomass yield components on biomass production of *Miscanthus*. *GCB Bioenergy*, 10(8), 616–629.
10. Jeżowski, S. (2008). Yield traits of six clones of *Miscanthus* in the first 3 years following planting in Poland. *Industrial Crops and Products*, 27(3), 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.013>
11. Jensen, E., Farrar, K., Thomas-Jones, S., Hastings, A., Donnison, I. S., & Clifton-Brown, J. (2011). Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy*, 3(6), 387–400. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01097.x>
12. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M., van der Linden, G. C., Schwarz, K.-U., Müller-Sämman, K., Anisimov, A., Chen, C.-L., Dolstra, O., Donnison, I. S., Farrar, K., Fonteyne, S., Harding, G., Hastings, A., Huxley, L. M., Iqbal, Y., Khokhlov, N., Kiesel, A., Lootens, P., ... Kalinina, O. (2016). Progress on optimizing miscanthus biomass production for the European bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 1620. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620>
13. Lim, S.-H., Yook, M.-J., Song, J.-S., Kim, J.-W., Zhang, C.-J., Kim, D.-G., Park, Y.-H., Lee, D., & Kim, D.-S. (2021). Diversity in pheno-logical and agronomic traits of *Miscanthus sinensis* collected in Korea and eastern Asia. *Agronomy*, 11(5), Article 900. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050900>
14. Robson, P. R., Farrar, K., Gay, A. P., Jensen, E. F., Clifton-Brown, J. C., & Donnison, I. S. (2013). Variation in canopy duration in the perennial biofuel crop *Miscanthus* reveals complex associations with yield. *Journal of Experimental Botany*, 64(8), 2373–2383. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert104>
15. Robson, P. R. H., Donnison, I. S., & Clifton-Brown, J. C. (2019). Stem growth characteristics of high-yielding *Miscanthus* correlate with yield, development, and intraspecific competition within plots. *GCB Bioenergy*, 11(9), 1075–1085. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12610>
16. Robson, P. R., Hawkins, S., Davey, C. L., Clifton-Brown, J. C., & Slavov, G. (2025). Seasonal stem growth analysis shows early stem growth of *Miscanthus* from high latitudes yields more biomass but stem traits negatively interact to limit seasonal growth. *Frontiers in Plant Science*, 16, Article 1569235. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1569235>
17. Tejera, M. D., Miguez, F. E., & Heaton, E. A. (2021). The older plant gets the sun: Age-related changes in *Miscanthus* × *giganteus* phenology. *GCB Bioenergy*, 13(1), 4–20. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12745>
18. Meteostat. (n.d.). Ternopil: Temperature and precipitation. <https://meteostat.net/station/33415>

Seasonal growth dynamics of *Miscanthus × giganteus* in the Western Forest Steppe

Yu. I. Haida^{1,2}, Ya. D. Fuchylo^{3*}, V. Ya. Brych², A. M. Shuvar², T. M. Hrokholska²

¹National University “Chernihiv Polytechnic”, 95 Shevchenko St., Chernihiv, 14030, Ukraine

²Western Ukrainian National University, 11 Lvivska St., Ternopil, 46009, Ukraine

³Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

*Corresponding author: Yaroslav Fuchylo, fuchylo_yar@ukr.net

Citation: Haida Yu. I., Fuchylo Ya. D., Brych V. Ya., Shuvar A. M., & Hrokholska T. M. (2026). Seasonal growth dynamics of *Miscanthus × giganteus* in the Western Forest Steppe. *Bioenergy*, 1, 20–31. <https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp20-31>

Aim. To study the peculiarities of the seasonal growth dynamics of *Miscanthus × giganteus* at different stages of plantation formation (the 1st and the 3rd year) the Western Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted at the experimental and demonstration field of the research farm of the Western Ukrainian National University. Observations included monitoring the height of miscanthus shoots in a 1-year plantation and a 3-year plantation. 20 model curtains (plant groups from one planted rhizome) were selected at each site. The height of the shoots in each curtain was measured regularly (8 control dates from the end of May to the end of September) with an accuracy of 1 cm. Based on the measurement results, the dynamics of the average height of shoots and height increments during the vegetation period were analysed. **Results.** Three stages of shoot growth were observed in the one-year miscanthus plantation: intensive growth in spring - early summer, mid-summer growth slowdown due to insufficient precipitation and growth recovery in late summer - autumn. The average shoot height increased from 10.7 cm at the end of May to 87.2 cm at the end of September (more than 8 times). In June, the height quickly reached 45–60 cm, after which a ‘plateau’ of growth was observed in July: height increments sharply decreased, and yellowing and death of shoots were noted in some curtains. At the end of July, growth processes resumed in most plants, and the height of shoots reached maximum values in September (up to 1.2–1.3 m in the most developed curtains). At the same time, high variability was recorded between individual plants: some of the young rhizomes were unable to maintain growth during the stressful mid-summer period, which caused significant variability in heights (from 0 to 125 cm). In the 3-year-old miscanthus plantation, the formation of the above-ground mass occurred more evenly. Shoot growth began earlier (the height reached 25–60 cm in May), continued intensively until the beginning of July (up to 110–150 cm), after which gradually slowed down. During July–September, height increases remained, without sharp drops, and the maximum shoot height at the end of the season was 160–190 cm. Individual growth curves in the older plantation were increasing, without episodes of leaf or shoot loss, which indicates better resistance of rooted plants to short-term drought. The values of average daily current increments in the 3rd year of vegetation reached a peak in late June (30–35 cm per measurement interval) and decreased sharply in July; in early August, a short second wave of moderate increments (11–15 cm) was noted, after which growth faded to zero with the onset of autumn. In contrast to the young plantation, where significant mosaicism of development was observed, in mature stands the height leveled out at the end of the season, and the differences between plants decreased. **Conclusions.** The seasonal growth dynamics of *M. × giganteus* significantly depends on the age of the plantation. In the first year of cultivation, uneven growth is observed with a mid-summer suspension and partial loss of biomass during the period with high temperatures and insufficient precipitation, while in the third year of development, plants demonstrate an earlier start, a stable growth course without significant inhibition in summer, and a significantly higher final shoot height. The obtained data emphasize the importance of taking into account age-related growth characteristics and response to climatic stresses when assessing productivity and selecting highly productive miscanthus genotypes for the conditions of the Western Forest Steppe.

Keywords: *Miscanthus × giganteus*; height increment; age-related growth characteristics; response to climatic stresses.

ORCID

Юрій Гайда / Yuriy Hayda

<https://orcid.org/0000-0001-6019-9654>

Ярослав Фучило / Yaroslav Fuchylo

<https://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

Василь Брич / Vasyl Brych

<https://orcid.org/0000-0002-4277-5213>

Антін Шувар / Antin Shuvar

<https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

Тетяна Грохольська / Tetiana Hrokholska

<https://orcid.org/0000-0002-1642-2203>