ISSN 2410-1303 (online)
Новітні агротехнології, 2025, Т. 13, № 1
doi: 10.47414/na.13.1.2025.323001

УДК 631.547:57.087

Визначення критичних фаз росту й розвитку міскантусу гігантського

О. І. Присяжнюк*, Н. О. Кононюк, О. А. Маляренко, В. В. Мусіч, О. М. Гончарук, О. Ю. Половинчук, П. Ю. Волошин, М. О. Черняк

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

Мета. Установити закономірності росту й розвитку міскантусу гігантського та визначити критичні періоди за реакцією на фактори середовища. **Методи.** Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (50.023194, 30.173895) упродовж 2020–2024 рр. **Результати.** Фактори, які можуть спричиняти стрес або загибель рослин міскантусу гігантського, можна умовно розділити за величиною впливу на основні й додаткові (тобто такі, які посилюють стрес, спричинений дією основного фактору), а за ступенем толерантності рослин до них на такі, дія яких може бути знівельована, й ті, впливу яких уникнути неможливо. У цьому дослідженні не враховували фактори глобального впливу на рослини, наприклад, відсутність снігового покриву, адже за зниження температури ґрунту в кореневмісній зоні нижче –15…–20 °С та відсутності снігового покриву загинуть не тільки рослини міскантусу, а й більшість посівів озимих злакових культур. Також не брали до уваги ті фактори, які не призводять до загибелі рослин, наприклад, низька температура повітря рано навесні тільки відтерміновує появу листків над поверхнею ґрунту. А також ті, вплив яких на ростові процеси рослин міскантусу неможливо достовірно оцінити (додаткові фактори стресу). Отже, у результаті опрацювання даних й аналізу факторів впливу на ріст і розвиток міскантусу гігантського можна виділити такі критичні періоди: перший – макростадія 1 (розвиток листків) – весняні заморозки з короткочасним зниженням температури до –2 °С; другий – період активного росту й споживання великої кількості вологи – від макростадії 3 до макростадії 6. **Висновки.** Під час вирощування міскантусу гігантського найкритичнішими за впливом низьких температур повітря є фенофази за шкалою BBCH від 00 до 19, а за дефіцитом вологи – від 30 до 69.

Ключові слова: *BBCH; шкала Куперман; шкала Задокса; шкала Фікеса; шкала Хауна; шкала Келлер – Багліоні.*

Вступ

Міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*) є багаторічною злаковою культурою – міжвидовим гібридом *M. sacchariflorus* і *M. sinensis* [1, 2] з типом фотосинтезу C_4. Він походить зі Східної Азії, але його стерильні триплоїдні клони зараз використовуються для вирощування біомаси у різних регіонах світу. В умовах помірного клімату ця культура має відносно високу врожайність біомаси, помірну холодостійкість та низькі вимоги до агротехніки вирощування [3–6]. Міскантус гігантський є стерильним триплоїдним клоновий гібридом, хоч він і формує квітки та може сформувати нежиттєздатні насінини. Розмножується вегетативно й забезпечує щорічний урожай придатних для збирання стебел, відростаючи із кореневищ. Після завершення вегетації рослини зберігають більшість поживних речовин у своїй розвиненій кореневій системі, що забезпечує ефективний колообіг поживних речовин [7, 8]. Тому загалом культура не потребує застосування великих норм добрив у циклі її вирощування.

Для ліпшого розуміння фенології міскантусу пропонується до використання шкала морфологічного розвитку, побудована на основі триплоїдного *M. × giganteus*, оскільки це

Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Маляренко О. А., Мусіч В. В., Гончарук О. М., Половинчук О. Ю., Волошин П. Ю., Черняк М. О. Визначення критичних фаз росту й розвитку міскантусу гігантського. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13, № 1. https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.323001

найпоширеніший вид [9]. Описи морфологічного розвитку мають вирішальне значення для застосування елементів агротехніки у фізіологічно важливий період, який краще описується стадією розвитку, ніж альтернативним показником, як-от календарні дати або накопичення суми температур [10].

Є декілька широко використовуваних шкал морфологічного розвитку, які всі характеризують основні стадії росту рослин, але відрізняються точністю, з якою вони описують проміжні стадії росту. Наприклад, широко використовувані шкали Фікеса [11, 12] і Хауна [2] можуть бути використані для оцінки *Miscanthus* spp., але обмежено. Оскільки ці шкали були розроблені для зернових, їм бракує деталей, необхідних для опису всього циклу росту багаторічних трав, і вони мають невисоку роздільну здатність на вегетативних стадіях [10]. Навпаки, K. J. Moore зі співавторами [13] розробили шкалу для кормових трав, яка підкреслює вегетативні стадії, але не забезпечує точного визначення репродуктивних стадій, обмежуючи корисність шкали для деяких важливих ознак, як-от час цвітіння й розвиток насіння.

Сьогодні вчені розробляють абсолютно нові шкали морфологічного розвитку, щоб задовольнити потреби конкретних досліджень [14–21]. Ці шкали добре функціонують у рамках певних досліджень чи галузі дослідниць, але не зовсім придатні для широкого використання. Наприклад, жодна з них не надає ані повного опису всіх стадій розвитку рослини, ані достатньої кількості деталей у межах кожної стадії, щоб точно відстежувати розвиток протягом вегетаційного періоду.

BBCH є ще однією широко використовуваною шкалою. Її було адаптовано для понад 50 видів [22, 23], включаючи комерційно використовувані злакові культури з C_4-типом фотосинтезу, як-от цукрова тростина (*Saccharum officinarum* L.) [24], світчграс (*Panicum virgatum* L.) [9], сорго цукрове (*Sorghum bicolor* L.) [25] та кукурудза (*Zea mays* L.) [26]. Шкала BBCH була прийнята в усьому світі. Вона має гнучку, але послідовну структуру, що полегшує порівняння різних типів рослин, що є особливо корисною функцією для оцінки біоенергетичних рослин із дуже різними характеристиками [27].

Структура шкали BBCH базується на двозначному десятковому коді на основі шкали Задокса [28]. Перша цифра відповідає основній стадії росту (0–9) і поділяє цикл розвитку рослини на 10 чітко впізнаваних і помітних стадій [29]. Друга цифра відповідає вторинній стадії росту (0–9) і описує проміжні стадії основної стадії росту й розвитку рослини крізь призму цих стадій. Залежно від головної стадії, вторинні стадії відповідають або порядковим, або відсотковим значенням. Двозначний код складається з комбінації коду основного етапу росту (розряд десятків) і коду вторинного етапу (розряд одиниць). У разі, коли потрібна додаткова точність, вторинні етапи можна розділити шляхом включення мезостадій і розширення до тризначного коду.

Мета досліджень – установити закономірності росту й розвитку міскантусу гігантського та визначити критичні періоди за реакцією на фактори середовища.

Матеріали та методика досліджень

Місце дослідження й ґрунтові умови

Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (50.023194, 30.173895) упродовж 2020–2024 рр.

Ґрунт Дослідного поля ІБКіЦБ – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку: вміст гумусу – 2,58 % (за Тюріним), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чиріковим), рНсольове – 6,75, сума ввібраних основ – 305 мг-екв/кг ґрунту, гідролітична кислотність – 9,1 мг-екв/кг. Уміст гумусу та лужногідролізованого азоту середній, рухомого фосфору – високий та підвищений уміст калію. Дослідження проводили згідно з методиками [30, 31].

Погодні умови

Вересень 2019 розпочався з істотно теплої першої декади та дефіциту опадів, але загалом місяць не мав значних відхилень від норми. У жовтні, друга декада була екстремально теплою, а третя – істотно теплою, з дефіцитом опадів. Листопад був теплим у перших двох декадах, прохолоднішим у третій, загалом сухим. У грудні третя декада відзначалася значним похолоданням, тоді як кількість опадів залишалася в межах норми.

Січень 2020 року мав теплі другу та третю декади, що зробило цей місяць загалом теплішим за норму, з дефіцитом опадів у перших двох декадах та їх надлишком у третій. Лютий мав погодні

показники, наближені до багаторічних норм. Березень відзначився істотно теплими першою та другою декадами, а третя була прохолоднішою, при цьому рівень опадів залишався в межах норми. У квітні, лише третя декада була значно теплішою, а загалом, в цей місяць спостерігався дефіцит опадів. У травні прохолодними були друга і третя декади, тоді як перша і третя декади супроводжувалися надлишком опадів. Літні місяці мали свої особливості: у червні друга й третя декади були екстремально теплими, а загалом місяць був посушливим. Липень характеризувався спекотними першою і третьою декадами, у другій спостерігався дефіцит опадів. У серпні, третя декада була істотно жаркою, друга – сухою, а в третій фіксувався надлишок опадів. Вересень загалом був теплішим за норму, з дефіцитом опадів у першій декаді та їх надлишком у третій. У жовтні аномально теплими та вологими виявилися перша і третя декади. Листопад мав прохолодні першу і другу декади (друга – значно холодніша), тоді як третя декада була теплішою, а рівень опадів загалом відповідав нормі. У грудні температура повітря залишалася в межах багаторічних показників, хоча місяць загалом мав дефіцит опадів.

У 2021 році, січень мав значно прохолоднішу другу декаду, а в третій декаді спостерігався надлишок опадів. У лютому, перші дві декади були холоднішими за норму, а в першій декаді випало значно більше опадів. Березень виявився загалом прохолодним, з дефіцитом опадів у третій декаді. Квітень мав екстремально теплу третю декаду, а у травні друга декада супроводжувалася значним рівнем опадів, тоді як решта показників залишалася в межах норми. У червні, друга декада була істотно теплою, третя – екстремально спекотною, загалом відмічався значний дефіцит опадів. Липень відзначався екстремально спекотними першою й третьою декадами, істотно теплішою другою, а дефіцит опадів спостерігався у першій і третій декадах. У серпні, перша декада була екстремально теплою, друга – значно відрізнялася від норми, у другій декаді також спостерігався дефіцит опадів. У вересні, третя декада була прохолоднішою, а в першій декаді рівень опадів був нижчим за норму. Жовтень мав температурні показники, близькі до норми, з дефіцитом опадів у першій і третій декадах. У листопаді погодні умови залишалися типовими, хоча в другій декаді спостерігався дефіцит опадів. Грудень розпочався з істотно теплої першої декади, друга була прохолодною, а в першій і третій декадах зафіксовано значний надлишок опадів.

Січень 2022 року мав значно холоднішу третю декадою, а рівень опадів був близьким до норми. Лютий мав показники, близькі до середньорічних, хоча загальний рівень опадів залишався недостатнім. У березні, перші дві декади були істотно прохолодними, і в першій декаді випав надлишок опадів. Квітень і травень загалом не відрізнялися від норми, лише перша декада травня була посушливою. Літні місяці були переважно теплими. У червні, у всіх декадах реєструвалися підвищені температури, також місяць відзначався значним дефіцитом опадів. Липень розпочався з екстремально теплої першої декади, а дефіцит опадів спостерігався в третій декаді. У серпні, друга й третя декади були істотно теплими, у першій декаді – надлишок опадів, у третій – їх дефіцит. Вересень розпочався з прохолодної першої декади, а інші дві декади супроводжувалися надлишком опадів. Жовтень мав значно теплішу третю декаду, загальний рівень опадів залишався близьким до норми. Листопад не мав значних температурних відхилень, а в другій і третій декадах відзначався надлишок опадів. У грудні, температура була в межах норми, хоча в другій декаді випала велика кількість опадів.

Січень 2023 року мав температурні відхилення в межах норми, середньомісячна температура була трохи вищою за норму. Лютий завершився значно холоднішою третьою декадою, у якій також спостерігався надлишок опадів. У березні, в третій декаді спостерігався підвищений рівень опадів. Квітень загалом відповідав нормі, але перша декада була надмірно вологою. У травні, перша декада була прохолодною і сухою. Літо мало нестабільні погодні умови. У червні температура була близькою до норми, друга декада відзначалася дефіцитом опадів, третя – їх надлишком. Липень розпочався зі спекотної першої декади, рівень опадів був близьким до середньорічного. У серпні всі декади були екстремально спекотними, а дефіцит опадів спостерігався у першій і другій декадах. Вересень мав значно теплішу другу декаду, а у третій декаді відзначався дефіцит опадів. Жовтень завершився екстремально теплою третьою декадою та надлишком опадів у цей період. Листопад розпочався з підвищених температур і значного рівня опадів у першій декаді, тоді як друга і третя декади були теплими, а в третій декаді спостерігався дефіцит опадів. У грудні, середньомісячна температура була вищою за норму, а третя декада мала дефіцит опадів.

Січень 2024 розпочався прохолодною першою декадою, у перших двох декадах випав надлишок опадів. Лютий загалом був теплим, у першій і третій декадах температура значно перевищувала норму, друга декада відзначалася надлишком опадів. У березні, третя декада була теплою, а опади

розподілялися нерівномірно: дефіцит у першій декаді, надлишок у другій. Квітень був екстремально спекотим, у другій і третій декадах спостерігався надлишок опадів. У травні, друга декада була прохолодною, третя – теплою, а в першій декаді спостерігався дефіцит опадів.

Загалом, період 2019–2024 рр. характеризувався частими температурними аномаліями, переважно у бік потепління, та значними коливаннями рівня опадів.

Результати досліджень

Опис морфологічного розвитку *Miscanthus* spp. за шкалою BBCH дає змогу порівняти його розвиток з іншими видами, для яких була адаптована шкала BBCH і містить чіткі орієнтири розвитку, за якими можна оцінити та порівняти фенологію рослин (табл. 1).

Таблиця 1

Морфологічні стадії розвитку *Miscanthus × giganteus* за шкалою BBCH

Код	Опис
1	2
Макростадія 0: Розвиток бруньок	
00	Спляча ризома
01	Початок набубнявіння бруньок
03	Кінець набубнявіння бруньок
05	Розпускання бруньок. Скручені листки ростуть у напрямку до поверхні ґрунту
07	Витягування хлоротичної листкової пластинки
09	Скручені листки пробивають поверхню ґрунту
Макростадія 1: Розвиток листків	
10	Перша видима листкова пластинка
11	Дві повністю розгорнутих листки
12	Чотири повністю розгорнутих листки
13	Шість повністю розгорнутих листків
19	18+ повністю розгорнутих листків
Макростадія 2: Кущіння*	
20	Немає бічних пагонів на стеблі
20.1	Частково набубнявіла пазушна брунька (≈ 2 мм)
20.5	Набубнявіла пазушна брунька (≈ 8–10 мм)
20.9	Розпускання бруньки
21	Один бічний пагін на стеблі
22	Два бічні пагони на стеблі
29	Дев’ять бічних пагонів на стеблі
Макростадія 3: Витягування стебла	
30	Псевдовитягування стебла
31	Два відчутних на дотик стеблових вузли
32	Чотири відчутних на дотик стеблових вузли
33	Шість відчутних на дотик стеблових вузли
39	18+ відчутних на дотик стеблових вузли
Макростадія 4: Вихід у трубку	
40	Прапорцевий листок уже видимий, але ще скручений
41	Прапорцевий листок повністю розгорнений
43	Суцвіття заповнює 25 % піхви прапорцевого листка
45	Суцвіття заповнює 50 % піхви прапорцевого листка
47	Суцвіття заповнює 75 % піхви прапорцевого листка
49	Суцвіття заповнює всю піхву прапорцевого листка, але окремі квітки ще не показуються
Макростадія 5: Поява суцвіття	
51	Перші окремі квітки видимі через вузол прапорцевого листка
52	Поява верхніх гілочок суцвіття
56	Поява нижніх гілочок суцвіття
59	Суцвіття повністю викинулося, а також квітконіжка
Макростадія 6: Цвітіння	
60	Розкриття поодиноких квіток
61	10 % квіток розкриті
62	20 % квіток розкриті
63	30 % квіток розкриті
69	90–100 % квіток розкриті

Продовження таблиці 1

1	2
Макростадія 7: Розвиток насіння*	
71	Водяниста стиглість
73	Рання молочна стиглість
75	Середня молочна стиглість
77	Пізня молочна стиглість
Макростадія 8: Достигання*	
81	Рання воскова стиглість
83	М'яка воскова стиглість
85	Тверда воскова стиглість
87	Повна стиглість
89	Перестиглість
Макростадія 9: Відмирання	
90	Часткове пожовтіння листків
91	10 % стебла відмерло
92	20 % стебла відмерло
93	30 % стебла відмерло
99	90–100 % стебла відмерло

*Стадія, що ніколи або рідко спостерігається в клонів *Miscanthus × giganteus*.

Макростадія 0: Розвиток бруньок описує розвиток рослин, починаючи з кореневищних бруньок, а також пазушних бруньок наземних пагонів, які запропоновано вважати пропагулами, як у цукрової тростини [32]. Розвиток кореневищної бруньки починається її набубнявінням (стадія 01) і закінчується проростанням, коли листки пробивають поверхню ґрунту (стадія 09). Набубнявіння бруньки закінчується (стадія 03), коли вона розпускається (стадія 05), перші справжні листки виходять із захисних лусочок бруньки, а листкові пластинки ростуть до поверхні ґрунту (табл. 1). У рік закладання плантації розвиток бруньок, як правило, починається пізньою весною, залежно від дати садіння й погодних умов. У старіших насадженнях поява стебел зазвичай починається, коли температура ґрунту стає стабільно > 10 °C або сума активних температур (понад 0 °C) перевищує 650 °C [15].

Макростадія 1: Розвиток листків базується на загальній кількості листків на стеблі, незалежно від того, ці листки зелені чи відмерлі. Залежно від мети, спостерігач вирішує, враховувати тільки зелені листки чи, також, і відмерлі. Частка відмерлого листя на стеблі є підґрунтям для поділу Макростадії 9 (Відмирання) на мікростадії. Враховуються тільки ті молоді листки, які повністю розгорнулися – тобто мають видимий язичок. Нові листки продовжують з'являтися, поки рослина повністю не відцвіте і не відімре, або загине від морозу взимку. *M. × giganteus*, зазвичай, має менше 20 листків на стеблі. Тому ми пропонуємо, щоб мікростадії змінювалися з появою кожної нової пари листків (табл. 1). Наприклад, стебло, що має два повністю розгорнутих листки, відповідає мікростадії 11, де перша цифра (1) відповідає макростадії 1 (Розвиток листків), а друга цифра відповідає кількості листків поділеній на 2. Таким чином, стебло з 8 листками відповідатиме стадії росту 14. Якщо стебло має 15 листків, можна додати мезостадію, використовуючи для цього десятковий дріб – відповідно, ця стадія росту позначатиметься як 17,5. Рідко, особливо якщо враховувати тільки зелені листки, але трапляється так, що стебло має більше 19 листків. Тоді ця фаза позначатиметься як 19,5 – максимальне значення для цієї стадії росту.

Макростадія 2: Кущіння означає появу нових пагонів із пазушних бруньок на стеблі. Узагалі, стебла *M. × giganteus* нерозгалужені і рідко кущаться, однак можуть з'явитися набубнявілі пазушні бруньки на стеблі, особливо коли стебло було пошкоджене (наприклад, градом або травоїдними тваринами). Рідко коли ці бруньки розвиваються у нові пагони, і ще рідше ці пагони досягають рівня листяного покриву. Мікростадії в цьому випадку відповідають кількості вторинних пагонів, сформованих на стеблі. Нормою важається відсутність вторинних пагонів на стеблі (мікростадія 20), але іноді можуть мати місце один-два пагони (мікростадія 21 або 22 відповідно).

Наявність набубнявілих бруньок теж може бути зафіксована в цій макростадії, оскільки ця обставина може впливати на фенологічний і фізіологічний розвиток рослини. У цьому разі мікростадії позначаються через крапку: 20.1 – наявність частково набубнявілої пазушної бруньки (2 мм); 20.5 – наявність повністю набубнявілої пазушної бруньки (8–1,0 мм); 20.9 – розкрита брунька. У разі кущіння використовується шкала для основного стебла.

Макростадія 3: Витягування стебла починається невдовзі після появи сходів і триває до того часу, поки стебло зацвіте або загине від морозу. Ця макростадія дуже важлива, оскільки впродовж неї формується врожайність культури. Витягування стебла визначається шляхом підрахунку кількості вузлів на ньому – рахуються тільки ті вузли, які можна відчути на дотик промацуванням уздовж стебла. Ми пропонуємо, щоб як і з листками, мікростадії змінювалися через кожні два вузли (табл. 1). Наприклад, стебло з вісьмома повністю розгорнутими листками і чотирма відчутними вузлами матиме код 14/32, що означатиме 4 × 2 = 8 листків у макростадії 1 Розвиток листків і 2 × 2 = 4 вузли в макростадії 3 Витягування стебла. Якщо потрібна більш детальна інформація, непарну кількість вузлів можна закодувати як мезостадію у вигляді десяткового дробу. Наприклад, якщо стовбур має сім вузлів, його слід кодувати як 33.5, що означатиме 3 × 2 = 6 вузлів, а 0.5 вказуватиме на наявність ще одного вузла (тобто всього сім). Як і в разі розвитку листків, стебла з більш ніж 19 вузлами трапляються досить рідко і кодуються як 39.5.

Макростадія 4: Вихід у трубку фіксується тоді, коли прапорцевий листок уже видно, але листкова пластинка все ще скручена (мікростадія 40). Мікростадія 41 настає тоді, коли прапорцевий листок повністю розгорнутий, що вказує на кінець його розвитку. Вихід у трубку закінчується тоді, коли суцвіття заповнює всю піхву прапорцевого листка, а квіток ще не видно (мікростадія 49). Мікростадії визначають частку піхви, заповнену суцвіттям. Оскільки їх може бути важко відстежити, ми рекомендуємо використовувати загальні орієнтири та призначати мікростадії з кроком 25 %. Відповідно, для рівномірного розподілу цих морфологічних змін необхідні тільки три мікростадії: 43, 45 і 47 (табл. 1). Наприклад, мікростадія 43 – коли суцвіття заповнює 25 % піхви, стадія 45 – коли суцвіття займає 50 % і так далі. Перші квітки можуть не показуватися через вузол прапорцевого листка і натомість можуть рости через піхву. У такому разі розвиток стебла все одно відповідатиме мікростадії 49.

Макростадія 5: Поява суцвіття починається з верхніх колосків, що виходять з вузла прапорцевого листка (мікростадія 51), і закінчується, коли волоть повністю оголюється і видно квітконіжку (мікростадія 59). Вторинні стадії можуть бути описані появою верхньої гілочки (на верхній половині головної осі, мікростадія 53), появою нижньої гілочки (на нижній половині головної осі (мікростадія 56) і появою квітконіжки (мікростадія 59, табл. 1). Якщо потрібна докладніша інформація, мікростадії можуть бути описані як відсоток волоті, що показується. Проте для такої оцінки спостерігач має бути досвідченим. Зверніть увагу, що стадія 59 може й не відбуватися в тих кліматичних умовах, де вегетаційний період недостатньо тривалий, або в середині або наприкінці осені трапляються сильні заморозки. У цьому разі поява суцвіття може призупинитися до викидання всієї волоті. Відкриті квіти суцвіття можуть продовжувати відкриватися.

Макростадія 6: Цвітіння починається з поодинокої появи пиляків (мікростадія 60) до повного цвітіння (мікростадія 69), коли пиляки є в усьому суцвітті; вторинні стадії описуються з кроком у 10 % (наприклад, мікростадія 65 – 50 % пиляків, табл. 1). Цвітіння протікає базипетально по суцвіттю. Поява пиляків може відбуватися, коли волоть все ще продовжує викидатися, і, отже, можлива ситуація коли суцвіття повністю розцвіло, але ще не повністю викинулося. *M. × giganteus* є стерильним клоном, який не утворює насіння, тому цвітіння у нього є останньою репродуктивною стадією. З метою розширення сфери застосування цієї шкали на інші сорти *Miscanthus* spp. були включені й стадії дозрівання зерна. Ці стадії ґрунтувалися на загальних описах злакових трав [33], подібно до того як було адаптовано опис багаторічних трав, зокрема *P. virgatum* [9].

Макростадія 7: Розвиток насіння. На початку розвитку насіння (мікростадія 71) загальна кількість клітин в ендоспермі вже визначена, а зерна мають консистенцію водянистої стиглості. Перші зерна можуть досягати половини свого кінцевого розміру. Поступово в насінні збільшується концентрація твердих речовин (наприклад, крохмалю, білка) і воно досягає кінцевого розміру на стадії середньої молочної зрілості (75). Розвиток насіння закінчується на пізній стадії молочної зрілості (77).

Макростадія 8: Достигання. Більша частина сухих речовин насіння накопичується на стадії достигання. Поряд із постійним збільшенням концентрації крохмалю й білків, уміст води зменшується, що збільшує твердість зерна. Мікростадії визначаються натисканням на зерно нігтем. Мікростадія 83 – коли вміст зерна м'який і відбиток нігтя не залишається. Мікростадія 85 – відбиток нігтя залишається після натискання. Мікростадія 87 – зернину важко роздушити нігтем великого пальця. Мікростадія 89 – на зернині неможливо залишити вм'ятину нігтем.

Макростадія 9: Відмирання. Цей етап описує перебіг процесу відмирання стовбура впродовж вегетаційного періоду, і він ґрунтується на відмиранні листя без розрізнення можливих причин цього, наприклад, стресу або впливу умов вегетаційного сезону. Для того, щоб забезпечити кращу основу для порівняння, слід визначати частку відмерлих листків у загальній кількості листків. Листок вважається відмерлим після того, як відмерло 50 % або більша частина його пластинки. Для простоти визначення також можна візуально оцінювати відсоток відмерлої частки рослини. Наприклад, рослина з п'ятьма відмерлими листками з загальної кількості листків 25 вважатиметься на 20 % відмерлою і кодуватиметься як 92. Мікростадії 91–99 фіксують прогресуюче відмирання листя на стеблі, від 10 до 90 %, з кроком у 10 % (таблиця 1). Стадія відмирання може розпочатися дуже рано на початку вегетаційного періоду, як тільки листяний покрив зімкнеться – нестача світла спричинить відмирання нижніх листків.

Алгоритмізація визначення стресу рослин є актуальним питанням для прогнозування росту й розвитку рослин та напрацювання механізмів мінімізації стресу рослин, спричиненого впливом абіотичних факторів. Попри те, що питання раціонального застосування окремих елементів технології відпрацьовані досить добре, вплив абіотичних факторів є мало вивченим. Коли ми працюємо з біоенергетичними культурами, часто буває так, що впливу стресу неможливо уникнути, оскільки це вже, як правило, рослини другого й наступних років вегетації, а не однорічні культури, сівбу яких можна відтермінувати. Оперативне застосування таких препаратів, як мікродобрива, фітогормони, кріопротектори, органічні сполуки сприяє зростанню стійкості рослин до несприятливих умов середовища.

Також, сучасні прилади діагностування роботи фотосинтетичного апарату рослин не здатні визначати різні види стресів, як це може робити підготовлений фахівець. Адже прилад показує, по суті, високий рівень стресу фотосинтетичного апарату та відсутність його роботи, або ж навпаки – високу інтенсивність фотосинтезу. Чи зумовлений стрес негативною дією посухи, а чи то є результатом дефіциту азоту прилад не розрізняє, бо фотосинтетичний апарат рослини може однаково реагувати на дефіцит окремих факторів живлення. Річ у тому, що за значного дефіциту вологи в ґрунті рослина різко зупиняє процеси фотосинтезу, а за нестачі доступних елементів живлення процес фотосинтезу сповільнюється плавно. Тому прилад не допоможе відрізнити стрес від незначного дефіциту вологи в ґрунті від стресу від дії низьких чи високих температур повітря.

Відповідно, для автоматизації роботи приладу та системи баз даних без постійного залучення ручної праці має бути напрацьований алгоритм оцінювання ризиків рослин від впливу абіотичних факторів.

Найважливіші параметри фенологічних стадій росту та фактори, що спричиняють стрес у рослин міскантусу гігантського, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Фенологічні стадії росту та фактори, що формують стрес у рослин міскантусу гігантського

Код	Опис	Основний фактор стресу	Супутній фактор стресу
1	2	3	4
Макростадія 0: Розвиток бруньок			
00	Спляча ризома	Температура ґрунту нижче –15–20 °С на час спокою та нижче –5 °С на час настання фенофази 01 та далі	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ
01	Початок набубнявіння бруньок		
03	Кінець набубнявіння бруньок		
05	Розпускання бруньок. Скручені листки ростуть у напрямку до поверхні ґрунту		
07	Витягування хлоротичної листкової пластинки		
09	Скручені листки пробивають поверхню ґрунту		
Макростадія 1: Розвиток листків			
10	Перша видима листкова пластинка	Весняні заморозки з короткочасним зниженням температури до –2 °С	Середньодобова температура повітря +5–7 °С. У ґрунті вологи < 60 % НВ
11	Два повністю розгорнутих листки		
12	Чотири повністю розгорнутих листки		
13	Шість повністю розгорнутих листків		
19	18+ повністю розгорнутих листків		

Продовження таблиці 2

Макростадія 3: Витягування стебла			
30	Псевдовитягування стебла	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	
31	Два відчутних на дотик стеблових вузли		
32	Чотири відчутних на дотик стеблових вузли		
33	Шість відчутних на дотик стеблових вузли		
39	18+ відчутних на дотик стеблових вузли		
Макростадія 4: Вихід у трубку			
40	Прапорцевий листок вже видимий, але ще скручений	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Температура повітря нижче ніж 25 °С та понад 35 °С
41	Прапорцевий листок повністю розгорнений		
43	Суцвіття заповнює 25 % піхви прапорцевого листка		
45	Суцвіття заповнює 50 % піхви прапорцевого листка		
47	Суцвіття заповнює 75 % піхви прапорцевого листка		
49	Суцвіття заповнює всю піхву прапорцевого листка, але окремі квітки ще не показуються		
Макростадія 5: Поява суцвіття			
51	Перші окремі квітки видимі через вузол прапорцевого листка	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Температура повітря понад 35 °С
52	Поява верхніх гілочок суцвіття		
56	Поява нижніх гілочок суцвіття		
59	Суцвіття повністю викинулося, а також квітконіжка		
Макростадія 6: Цвітіння			
60	Розкриття поодиноких квіток	У ґрунті міститься вологи < 60 % НВ	Температура повітря нижче ніж 25 °С та понад 35 °С
61	10 % квіток розкриті		
62	20 % квіток розкриті		
63	30 % квіток розкриті		
69	90–100 % квіток розкриті		
Макростадія 9: Відмирання			
90	Часткове пожовтіння листків		
91	10 % стебла відмерло		
92	20 % стебла відмерло		
93	30 % стебла відмерло		
99	90–100 % стебла відмерло		

* НВ – найменша вологоємність.

Отже, фактори, які можуть викликати стрес або спричинити загибель рослин міскантусу гігантського, можна умовно розділити за величиною впливу на основні й додаткові (тобто такі, які посилюють стрес спричинений дією основного фактору), а за ступенем толерантності рослин до них на такі, дія яких може бути знівельована, і такі, впливу яких уникнути неможливо. У цьому дослідженні не враховували фактори глобального впливу на рослини, наприклад, відсутність снігового покриву, адже за зниження температури ґрунту в кореневій зоні нижче –15–20 °С та відсутності снігового покриву загинуть не тільки рослини міскантусу, а й більшість посівів озимих злакових культур. Також не брали до уваги ті фактори, які не призводять до загибелі рослин, наприклад, низька температура повітря рано навесні тільки відтерміновує появу листків над поверхнею ґрунту, або ж такі, вплив яких на зміну ростових процесів рослин міскантусу неможливо достовірно оцінити (додаткові фактори стресу). Отже, у результаті опрацювання й аналізу факторів впливу на ріст і розвиток міскантусу гігантського, можна виділити такі критичні періоди: перший – макростадія 1 (розвиток листків) – весняні заморозки з короткочасним зниженням температури до –2 °С; другий – період активного росту й споживання великої кількості вологи – від макростадії 3 до макростадії 6.

Висновки

Під час вирощування міскантусу гігантського найкритичнішими за впливом низьких температур повітря є фенофази за шкалою BBCH від 00 до 19, а за дефіцитом вологи – від 30 до 69.

Використана література

1. Greef J. M., Deuter M., Jung C. et al. Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 1997. Vol. 44. P. 185–195. https://doi.org/10.1023/A:1008693214629

2. Haun J. R. Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal.* 1973. Vol. 65, Iss. 1. Article 116. https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010035x

3. Arnoult S., Brancourt-Hulmel M. A review on *Miscanthus* biomass production and composition for bioenergy use: Genotypic and environmental variability and implications for breeding. *BioEnergy Research.* 2015. Vol. 8, Iss. 2. P. 502–526. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9524-7

4. Christian D. G., Riche A. B., Yates N. E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products.* 2008. Vol. 28, Iss. 3. P. 320–327. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.009

5. Clifton-Brown J. C., Breuer J., Jones M. B. Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Global Change Biology.* 2007. Vol. 13, Iss. 11. P. 2296–2307. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x

6. Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting US biofuel goals with less land: The potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14, Iss. 9. P. 2000–2014. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x

7. Cadoux S., Riche A. B., Yates N. E., Machet J. M. Nutrient requirements of *Miscanthus × giganteus*: Conclusions from a review of published studies. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 38. P. 14–22. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.015

8. Dohleman F. G., Heaton E. A., Arundale R. A., Long S. P. Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons. *GCB Bioenergy*. 2012. Vol. 4, Iss. 5. P. 534–544. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01153.x

9. Sanderson M. A., West C. P., Moore K. J. et al. Comparison of morphological development indexes for switchgrass and bermudagrass. *Crop Science*. 1997. Vol. 37, Iss. 3. Article 871. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030029x

10. Jones M. B., Finnan J., Hodkinson T. R. Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land. *GCB Bioenergy*. 2015. Vol. 7, Iss. 2. P. 375–385. https://doi.org/10.1111/gcbb.12203

11. Feekes W. De tarwe en haar milieu. *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie*, *17*. Groningen, The Netherlands : Hoitsema, 1941. P. 523–888.

12. Large E. C. Growth stages in cereals: Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*. 1954. Vol. 3, Iss. 4. P. 128–129. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x

13. Moore K. J., Moser L. E., Vogel K. P. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agronomy Journal*. 1991. Vol. 83, Iss. 6. Article 1073. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300060027x

14. da Costa R. M., Lee S. J., Allison G. G. et al. Genotype, development and tissue-derived variation of cell-wall properties in the lignocellulosic energy crop *Miscanthus*. *Annals of Botany*. 2014. Vol. 114, Iss. 6. P. 1265–1277. https://doi.org/10.1093/aob/mcu054

15. Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M. et al. The development of MISCANFOR, a new *Miscanthus* crop growth model: Towards more robust yield predictions under different climatic and soil conditions. *Global Change Biology Bioenergy*. 2009. Vol. 1, Iss. 2. P. 154–170. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01007.x

16. Jensen E., Farrar K., Thomas-Jones S. et al. Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy*. 2011. Vol. 3, Iss. 5. P. 387–400. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01097.x

17. Miguez F. E., Zhu X., Humphries S. et al. A semimechanistic model predicting the growth and production of the bioenergy crop *Miscanthus × giganteus*: Description, parameterization and validation. *GCB Bioenergy*. 2009. Vol. 1, Iss. 1. P. 282–296. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01019.x

18. Purdy S. J., Cunniff J., Maddison A. L. et al. Seasonal carbohydrate dynamics and climatic regulation of senescence in the perennial grass, *Miscanthus*. *BioEnergy Research*. 2015. Vol. 8, Iss. 1. P. 28–41. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9500-2

19. Robson P., Mos M., Clifton-Brown J., Donnison I. Phenotypic variation in senescence in *Miscanthus*: Towards optimising biomass quality and quantity. *BioEnergy Research*. 2012. Vol. 5, Iss. 1. P. 95–105. https://doi.org/10.1007/s12155-011-9118-6

20. Trybula E. M., Cibin R., Burks J. L. et al. Perennial rhizomatous grasses as bioenergy feedstock in SWAT: Parameter development and model improvement. *GCB Bioenergy*. 2015. Vol. 7, Iss. 6. P. 1185–1202. https://doi.org/10.1111/gcbb.12210

21. Zub H. W., Arnoult S., Younous J. et al. The frost tolerance of *Miscanthus* at the juvenile stage: Differences between clones are influenced by leaf-stage and acclimation. *European Journal of Agronomy*. 2012. Vol. 36, Iss. 1. P. 32–40. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.08.001

22. Martínez-Nicolás J. J., Legua P., Melgarejo P. et al. Phenological growth stages of *nashi tree* (*Pyrus pyrifolia*): Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 2016. Vol. 168, Iss. 2. P. 255–263. https://doi.org/10.1111/aab.12261

23. Meier U., Bleiholder H., Buhr L. et al. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants: History and publications. *Journal für Kulturpflanzen*. 2009. Vol. 61, Iss. 2. P. 41–52. https://doi.org/10.5073/JfK.2009.02.01

24. Bonnett G. D. Developmental stages (Phenology). *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology* / A. M. Tronsmo, H. Fykse (Eds.). John Wiley & Sons Ltd, 2013. P. 35–53. https://doi.org/10.1002/9781118771280.ch3

25. Dalla Marta A., Mancini M., Orlando F. et al. Sweet sorghum for bioethanol production: Crop responses to different water stress levels. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 64. P. 211–219. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.033

26. Lancashire P. D., Bleiholder H., Van Den Boom T. et al. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*. 1991. Vol. 119, Iss. 3. P. 561–601. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x

27. Archontoulis S. V., Struik P. C., Vos J. et al. Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 2010. Vol. 156, Iss. 2. P. 253–270. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00384.x

28. Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 1974. Vol. 14, Iss. 6. P. 415–421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

29. Hess M., Barralis G., Bleiholder H. et al. Use of the extended BBCH-scale – General for the description of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Research*. 1997. Vol. 37, Iss. 6. P. 433–441. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-70.x

30. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300с.

31. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0 : методичні вказівки. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

32. Boersma N. N., Heaton E. A. Does propagation method affect yield and survival? The potential of *Miscanthus × giganteus* in Iowa, USA. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 57. P. 43–51. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.058

33. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: BBCH Monograph / U. Meier (Ed.). Open Agrar Repositoriu, 2001. P. 141–147. https://doi.org/10.5073/20180906-074619

References

1. Greef, J. M., Deuter, M., Jung, C., & Schondelmaier, J. (1997). Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *44*, 185–195. https://doi.org/10.1023/A:1008693214629

2. Haun, J. R. (1973). Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal*, *65*(1), Article 116. https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010035x

3. Arnoult, S., & Brancourt-Hulmel, M. (2015). A review on *Miscanthus* biomass production and composition for bioenergy use: Genotypic and environmental variability and implications for breeding. *BioEnergy Research*, *8*(2), 502–526. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9524-7

4. Christian, D. G., Riche, A. B., & Yates, N. E. (2008). Growth, yield and mineral content of *Miscanthus × giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*, *28*(3), 320–327. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.009

5. Clifton-Brown, J. C., Breuer, J., & Jones, M. B. (2007). Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Global Change Biology*, *13*(11), 2296–2307. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01438.x

6. Heaton, E. A., Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: The potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*, *14*(9), 2000–2014. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x

7. Cadoux, S., Riche, A. B., Yates, N. E., & Machet, J. M. (2012). Nutrient requirements of *Miscanthus × giganteus*: Conclusions from a review of published studies. *Biomass and Bioenergy*, *38*, 14–22. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.015

8. Dohleman, F. G., Heaton, E. A., Arundale, R. A., & Long, S. P. (2012). Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons. *GCB Bioenergy*, *4*(5), 534–544. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01153.x

9. Sanderson, M. A., West, C. P., Moore, K. J., Stroup, J., & Moravec, J. (1997). Comparison of morphological development indexes for switchgrass and bermudagrass. *Crop Science*, *37*(3), Article 871. https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030029x

10. Jones, M. B., Finnan, J., & Hodkinson, T. R. (2015). Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land. *GCB Bioenergy*, *7*(2), 375–385. https://doi.org/10.1111/gcbb.12203

11. Feekes, W. (1941). De tarwe en haar milieu. In *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie, 17* (pp. 523–888). Hoitsema.

12. Large, E. C. (1954). Growth stages in cereals: Illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology*, *3*(4), 128–129. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x

13. Moore, K. J., Moser, L. E., Vogel, K. P., Waller, S. S., Johnson, B. E., & Pedersen, J. F. (1991). Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agronomy Journal*, *83*(6), Article 1073. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300060027x

14. da Costa, R. M., Lee, S. J., Allison, G. G., Hazen, S. P., Winters, A., & Bosch, M. (2014). Genotype, development and tissue-derived variation of cell-wall properties in the lignocellulosic energy crop *Miscanthus*. *Annals of Botany*, *114*(6), 1265–1277. https://doi.org/10.1093/aob/mcu054

15. Hastings, A., Clifton-Brown, J., Wattenbach, M., Mitchell, C. P., & Smith, P. (2009). The development of MISCANFOR, a new *Miscanthus* crop growth model: Towards more robust yield predictions under different climatic and soil conditions. *Global Change Biology Bioenergy*, *1*(2), 154–170. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01007.x

16. Jensen, E., Farrar, K., Thomas-Jones, S., Hastings, A., Donnison, I., & Clifton-Brown, J. (2011). Characterization of flowering time diversity in *Miscanthus* species. *GCB Bioenergy*, *3*(5), 387–400. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01097.x

17. Miguez, F. E., Zhu, X., Humphries, S., Bollero, G. A., & Long, S. P. (2009). A semimechanistic model predicting the growth and production of the bioenergy crop *Miscanthus × giganteus*: Description, parameterization and validation. *GCB Bioenergy, 1*(1), 282–296. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01019.x

18. Purdy, S. J., Cunniff, J., Maddison, A. L., Jones, L. E., Barraclough, T., Castle, M., Davey, C. L., Jones, C. M., Shield, I., Gallagher, J., Donnison, I., & Clifton-Brown, J. (2015). Seasonal carbohydrate dynamics and climatic regulation of senescence in the perennial grass, *Miscanthus*. *BioEnergy Research*, *8*(1), 28–41. https://doi.org/10.1007/s12155-014-9500-2

19. Robson, P., Mos, M., Clifton-Brown, J., & Donnison, I. (2012). Phenotypic variation in senescence in *Miscanthus*: Towards optimising biomass quality and quantity. *BioEnergy Research*, *5*(1), 95–105. https://doi.org/10.1007/s12155-011-9118-6

20. Trybula, E. M., Cibin, R., Burks, J. L., Chaubey, I., Brouder, S. M., & Volenec, J. J. (2015). Perennial rhizomatous grasses as bioenergy feedstock in SWAT: Parameter development and model improvement. *GCB Bioenergy*, *7*(6), 1185–1202. https://doi.org/10.1111/gcbb.12210

21. Zub, H. W., Arnoult, S., Younous, J., Lejeune-Hénaut, I., & Brancourt-Hulmel, M. (2012). The frost tolerance of *Miscanthus* at the juvenile stage: Differences between clones are influenced by leaf-stage and acclimation. *European Journal of Agronomy*, *36*(1), 32–40. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.08.001

22. Martínez-Nicolás, J. J., Legua, P., Melgarejo, P., Martínez, R., & Hernández, F. (2016). Phenological growth stages of nashi tree (*Pyrus pyrifolia*): Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, *168*(2), 255–263. https://doi.org/10.1111/aab.12261

23. Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., Lancashire, P. D., Schnock, U., Stauß, R., Van Den Boom, T., Weber, E., & Zwerger, P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants: History and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, *61*(2), 41–52. https://doi.org/10.5073/JfK.2009.02.01

24. Bonnett, G. D. (2013). Developmental stages (Phenology). In A. M. Tronsmo, & H. Fykse (Eds.), *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology* (pp. 35–53). John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118771280.ch3

25. Dalla Marta, A., Mancini, M., Orlando, F., Natali, F., Capecchi, L., & Orlandini, S. (2014). Sweet sorghum for bioethanol production: Crop responses to different water stress levels. *Biomass and Bioenergy*, *64*, 211–219. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.033

26. Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Van Den Boom, T., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E., & Witzenberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, *119*(3), 561–601. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x

27. Archontoulis, S. V., Struik, P. C., Vos, J., & Danalatos, N. G. (2010). Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, *156*(2), 253–270. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00384.x

28. Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, *14*(6), 415–421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

29. Hess, M., Barralis, G., Bleiholder, H., Buhr, L., Eggers, T. H., & Stauss, H. (1997). Use of the extended BBCH-scale – General for the description of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Research*, *37*(6), 433–441. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-70.x

30. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and Organization of Scientific Research in Agriculture and Food Technologies*. Nilan-LTD. [In Ukrainian]

31. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical Analysis of Agronomic Research Data in Statistica 6.0: Methodical Guidelines*. PolihrafKonsaltynh. [In Ukrainian]

32. Boersma, N. N., & Heaton, E. A. (2014). Does propagation method affect yield and survival? The potential of *Miscanthus × giganteus* in Iowa, USA. *Industrial Crops and Products*, *57*, 43–51. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.058

33. Meier, U. (Ed.) (2001). *Growth stages of mono- and dicotyledonous* plants*: BBCH Monograph* (pp. 141–147). Open Agrar Repositorium. https://doi.org/10.5073/20180906-074619

UDC 631.547:57.087

Prysiazhniuk, O. I.*, Kononiuk, N. O., Maliarenko, O. A., Musich, V. V., Honcharuk, O. M., Polovynchuk, O. Yu., Voloshyn, P. Yu., & **Cherniak, M. O.** (2024). Determination of the most critical stages of growth and development of *Miscanthus × gigantheus*. *Advanced Agritechnologies*, *13*(1). https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.323001 [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine,
**e-mail: ollpris@gmail.com*

Purpose. To establish the growth and development patterns of *Miscanthus × gigantheus* and determine critical stages by response to environmental factors. **Methods.** Field studies were conducted in the zone of unstable moisture of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (50.023194, 30.173895) in 2020–2024. **Results.** Factors that can cause stress or lead to the death of miscanthus plants can be conventionally divided by the magnitude of impact into main and additional (i.e., those that enhance stress caused by the main factor) and by the degree of plant tolerance to those that can be mitigated and those whose impact is unavoidable. In this study, we do not consider global factors affecting plants, such as the absence of snow cover, because a drop in soil temperature in the root zone below −15–20°C along with the absence of snow cover will result in the death of not only miscanthus plants but also most winter cereal crops. We also do not consider factors that do not lead to plant death, such as low air temperature early in spring, as it only delays the emergence of leaves, as well as those, whose impact on the growth processes of miscanthus plants cannot be reliably assessed (additional stress factors). Thus, based on data processing and analysis of factors influencing the growth and development of miscanthus, the following critical periods can be identified: (1) macrostage 1 (leaf development) − spring frosts with a short-term temperature drop to −2°C, and (2) period of active growth and high water consumption − from macrostage 3 to macrostage 6. **Conclusions.** It the cultivation of *M. × gigantheus*, the most critical stages in terms of low air temperatures are BBCH stages from 00 to 19, and in terms of moisture deficit BBCH stages from 30 to 69.

Keywords: *BBCH; Kuperman scale; Zadoks scale; Feekes scale; Haun scale; Keller-Baglioni scale.*

Надійшла / Received 05.01.2024
Погоджено до друку / Accepted 13.02.2025