

Біоморфологічна характеристика селекційних зразків представників роду *Miscanthus*, отриманих в умовах *in vitro*

С. О. Лашук

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, e-mail: lashuk_s@ukr.net

Мета. Оцінити фенологічні та морфологічні характеристики рослин міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize), міскантусу цукроквіткового (*M. sacchariflorus* (Maxim) Benth.) та міскантусу китайського (*M. sinensis* Anderss.), отриманих у культурі *in vitro*, та міскантусу гігантського, розмноженого ризомами (*ex vitro*) для залучення їх у селекційний процес і створення нових форм міскантусу для використання в біоенергетиці.

Методи. У дослідженнях використовували насіння *M. sinensis*, а також *M. sacchariflorus* (2n), рослини *M. sacchariflorus* (4n), уведені в культуру та розмножені в умовах *in vitro* за загальноприйнятими методиками (М. Д. Мельничук, А. Plazek та ін.). Фенологічні спостереження проводили за методиками В. О. Зінченко, М. В. Роїка, Д. Б. Рахметова та ін.; статистичну обробку отриманих даних – за М. А. Шеламовой та ін. **Результати.** *M. sacchariflorus* (2n) в умовах Лісостепу України у фазу цвітіння не вступає, натомість у *M. sacchariflorus* (4n) цвітіння починається на місяць раніше, ніж у *M. sinensis*, що є перешкодою для переzapилення цих видів у природньому середовищі. *M. giganteus*, розмножений ризомами, за переважною більшістю показників (висота та діаметр стебла, кількість міжвузлів та листків, площа листків, довжина та ширина волоті) домінує над усіма видами міскантусу, отриманими в культурі *in vitro*. Проте кількість стебел у кущі в рослин *M. sinensis* є найбільшою (63 шт.) і майже у 2–4 рази перевищує показники рослин *M. giganteus*, отриманих із ризом та в *in vitro*. Найперспективнішими формами для використання в біоенергетиці є *M. sinensis* та розмножений ризомами (*ex vitro*) *M. giganteus*, урожайність зеленої маси яких становила приблизно 7 і 9 кг/м² відповідно, тоді як *M. sacchariflorus* (2n) та *M. sacchariflorus* (4n) для цього є непридатними, адже формують лише 0,25 та 2,05 кг наземної маси з 1 м². **Висновки.** На основі отриманих даних встановлено найперспективніші форми *Miscanthus* для залучення їх у селекційний процес та отримання нових сортів з високою продуктивністю біомаси для потреб біоенергетики.

Ключові слова: міскантус; морфологічні показники; ризоми; фенофази; біоенергетика.

Вступ

Національний план дій з поновної енергетики на період до 2020 року передбачає досягнення частки «зеленої» енергії на рівні 11% у валовому кінцевому обсязі енергоспоживання країни, що еквівалентно 8590 тис. т нафтового еквівалента [1].

Тому для України актуальним є пошук альтернативних джерел енергії з постійним зменшенням частки викопних видів палива. Такою альтернативою може стати міскантус – швидкоросла тростина з родини злакових, яка має цілу низку переваг над іншими багаторічними культурами, що полягають у його швидкому рості, високому врожаї біомаси та низькому вмісті мінеральних речовин [2, 3]. Проте, отримання високої врожайності біомаси – це результат комплексного впливу чинників, що визначають величину загальної біологічної продуктивності рослин. Зокрема, динаміка росту рослин і накопичення ними вегетативної маси визна-

чаються впливом агротехнічних, кліматичних і біологічних чинників, сортовими особливостями, інтенсивністю кущення, висотою рослин тощо [4]. Тому актуальним є дослідження морфологічних показників рослин *Miscanthus giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim) Benth. та *Miscanthus sinensis* Anderss. для виявлення перспективних форм і залучення їх у селекційний процес, створення нових форм міскантусу для використання в біоенергетиці.

Шумный В. К. та ін. [5] з'ясували, що плантації міскантусу істотно перевершують за ефективністю накопичення біомаси найкращі біоенергетичні породи дерев помірної зони Європи.

Також є дані про те, що *M. sinensis* є пластичнішим щодо посухи, порівняно з іншими представниками роду, тому створені на його основі сорти становлять особливий інтерес для аграріїв за відсутності штучного зрошення в районах, де спостерігаються короткочасні й середньотривалі посухи [6]. Учені Інституту цитології і генетики СВ РАН ведуть роботу над створенням нових сортів, які здатні формувати в умовах Західного

Snizhana Lashuk

<https://orcid.org/0000-0002-9588-7761>

Сибіру врожайність зеленої маси 76–80 т/га або 10–15 т/га сіна. При цьому вміст лігніну в рослинах міскантусу мінімальний, а це значить, що його буде легше переробити на біоетанол мікробіологічним способом [7]. Ученими зі штату Іллінойс (США) було з'ясовано, що через нездатність генеративного розмноження *M. giganteus* має вузьку генетичну варіацію, тому масштабне вирощування цього виду може бути під екологічною загрозою зникнення через шкідники, патогени тощо. Натомість, *M. sinensis* виявляє ознаки високої продуктивності, холодостійкості та низького вмісту лігніну, що є цінними характеристиками виду в разі вирощування рослин для потреб біоенергетики [8]. Унікальні дослідження в останні роки були проведені в штаті Айова (США) із клонами рослин *M. giganteus*, де кожен етап розвитку рослин описували на основі відомої шкали ВВСН (Biologische Bundesanstalt, Bundesartenamt und Chemische Industrie), яка використовується для визначення фенологічних етапів розвитку рослин [9]. Кожну основну стадію розвитку рослин культури було розділено на вторинні етапи, щоб дати змогу детально описати прогрес розвитку.

Мета досліджень – оцінити фенологічні та морфологічні характеристики рослин міскантусу гігантського (*Miscanthus giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize), міскантусу цукроквіткового (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim) Benth.) і міскантусу китайського (*Miscanthus sinensis* Anderss.), отриманих у культурі *in vitro*, та міскантусу гігантського, розмноженого ризомами (*ex vitro*) для залучення їх у селекційний процес, створення нових форм міскантусу для використання в біоенергетиці.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили на базі стаціонарного польового дослідження відділу технологій вирощування та перероблення біоенергетичних культур для виробництва цукру та біопалива Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України впродовж 2014–2017 рр. У дослідженні використовували насіння *M. sinensis* фірми «Jelitto» 2008 р. та насіння *M. sacchariflorus* (2n) 2012 р. репродукції з Росії та рослини *M. sacchariflorus* (4n), завезені з Голандії й уведені в культуру та розмножені в умовах *in vitro*.

Рослини *M. giganteus* отримували через поділ кореневищ (ризосомами) та в культурі *in vitro*.

Для розмноження рослин насіння висівали в ґрунт та висаджували на живильні середовища *in vitro*.

Стерилізацію та культивування насіння *in vitro* проводили з використанням загальних схем та методів, розроблених для інших культур, які адаптували для роботи з насінням міскантусу в культурі *in vitro* [10–12]. Дбір та оптимізацію складу середовищ для культивування, пророщування насіння міскантусу, ініціації калусогенезу, морфогенезу та регенерації рослин, культивування та розмноження мікроклонів проводили за чинниками: макро-, мікроелементи, гормони, вуглеводи, амінокислоти, вітаміни та інші домішки [13]. За основу використовували мінеральну частину середовища Мурасіге–Скуга [14].

Стерильне насіння міскантусу висівали на модифіковані середовища, стимулюючи калусо- й морфогенез. Культивували до появи первинних корінців, бруньок та пагонів. Після того, як пагони досягли 2–3 см заввишки, їх пасивували на середовище для розмноження, а потім – на середовище для вкорінення.

Введення в культуру *M. giganteus* та *M. sacchariflorus* (4n) проводили за рахунок бруньок, які видаляли з ризом. Бруньки попередньо пророщували за розміщення ризом на вологому фільтрувальному папері. Експланти знезаражували в декілька етапів. Спочатку бруньки ретельно промивали в мильній воді, потім стерилізували розчином 1–2%-го гіпохлориду натрію протягом 25–35 хв та витримували в пероксиді водню (концентрація 3–10% з експозицією 10–15 хв). За високої контамінації експлантів застосовували також 0,1–0,2%-й розчин сулеми з експозицією 10–20 хв у комбінаціях з 70%-м етиловим спиртом (1–2 хв).

Експланти тричі промивали стерильною дистильованою водою. У разі використання пероксиду водню унаслідок його швидкого розкладання потреба тривалого промивання водою відпадала. Стерильні бруньки висаджували на модифіковане середовище Мурасіге–Скуга, клонували, стимулювали коренотворення.

Клони *M. giganteus*, *M. sinensis* та *M. sacchariflorus* з довжиною ризом 10–15 см висаджували з колби безпосередньо у відкритий ґрунт без попередньої адаптації та підрощування в умовах теплиць [15].

Ґрунт дослідного поля – темно-сірий опідзолений. В орному шарі ґрунту вміст гумусу становить 2,23%, ступінь насичення основами – 71%, рН сольове – 5,9; сума ввібраних основ невисока (14–17 мг-екв/100 г ґрунту). Важливою агрохімічною характеристикою ґрунтів є забезпеченість їх елементами жив-

лення – рухомими формами азоту, фосфору та калію. Уміст легкогідролізованого азоту – 5,02 мг, рухомого фосфору та обмінного калію – 12,0 і 5,6 мг/100 г ґрунту відповідно.

Темпи росту й розвитку рослин, урожай і якість сільськогосподарських культур значною мірою залежать від метеорологічних умов. Кліматичні умови Київського Полісся є сприятливими для вирощування багатьох сільськогосподарських культур, зокрема й енергетичних.

Середньорічна температура повітря у м. Києві за 2014–2017 рр. становила 8,7 °С. Найхолоднішим місяцем за роки досліджень був січень, найтеплішим – липень. Сума активних температур становить 2500–3000 °С. Останні весняні заморозки закінчувались, зазвичай, у кінці травня, а перші осінні починалися наприкінці вересня. Вегетаційний період рослин з температурою понад 5 °С становив 210–215 дб. Розподіл опадів у регіоні характеризувався нерівномірністю за часом випадання.

Зважаючи на швидкий ріст і утворення рослиною великих купин, рослини були висаджені з густотою одна рослина на 1 м², або 10 тис. рослин на гектар з відстанню між рядами 1 м, а між рослинами в рядах – 0,5 м.

Для біоморфометричної характеристики, ритмів росту й розвитку (феноритмики) вихідного селекційного матеріалу представників роду *Miscanthus*, отриманих в умовах *in vitro*, та розмножених за допомогою ризом у період вегетації рослин проводили:

- фенологічні та морфологічні спостереження за рослинами проводили за методами В. О. Зінченка, М. В. Роїка, Д. Б. Рахметова та ін. [16–18];

- визначали кількість стебел, міжвузлів, листків – шляхом підрахунку й визначання середніх значень показників;

- біоморфологічні дослідження – шляхом вимірювання довжини, діаметру осьових органів рослин, довжини, ширини листків, суцвіття;

- продуктивність визначали шляхом зважування за стандартної вологості наземної маси всієї рослини та окремо маси стебел, листків, суцвіття;

Статистичну обробку отриманих даних досліджень проводили за Шеламовою М. А. та ін. [19], визначали середні значення показників (\bar{X}) та їх похибки (s_x).

Результати досліджень

Спостереження за ростом і розвитком рослини *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* (4n) та *M. sacchariflorus* (2n), а також рослини



Рис. 1. Рослини *M. giganteus* першого року вегетації, отримані в умовах *in vitro* (фаза куцїння)



Рис. 2. Рослин *M. sinensis* першого року вегетації, отримані в умовах *in vitro* (фаза куцїння)

M. giganteus першого року вегетації, які були висаджені з колб безпосередньо в ґрунт наприкінці травня – початку червня 2014 р., засвідчили, що всі види успішно перезимували і витримали морози до -20 °С.

На рисунках наведено рослини різних видів міскантусу першого року вегетації (травень–червень 2015 р.) у фазі куцїння, отриманих в умовах *in vitro*.

Фенологічні спостереження за фазами росту й розвитку цих рослин, а також рослин *M. giganteus*, розмноженого за допомогою ризом (*ex vitro*) проводили на другий рік вегетації (табл. 1).

Як еталон були обрані рослини *M. giganteus*, отримані шляхом розмноження ризом (*ex vitro*). Ці рослини характеризуються пізнім відростанням, порівняно з рослинами інших дослідних зразків міскантусу (зокрема *M. sacchariflorus* (2n) та *M. sacchariflorus* (4n)



Рис. 3. Рослини *M. sacchariflorus* (2n) першого року вегетації, отримані в умовах *in vitro* (фаза кущіння)



Рис. 4. Рослини *M. sacchariflorus* (4n) першого року вегетації, отримані в умовах *in vitro* (фаза кущіння)

відростають у середньому на 7 діб швидше). Фаза кущіння в контрольних зразків настає через 50–55 діб після відростання. Такими ж темпами кущіння характеризуються рослини *M. giganteus*, отримані в культурі *in vitro*. А от рослини *M. sacchariflorus* (2n) та *M. sacchari-*

florus (4n) починають кущитися вже за 45–48 діб після відростання. У рослин *M. sacchariflorus* (2n) фаза виходу в трубку, а відповідно й появи волоті, цвітіння та плодоношення, не наступає. Проте в рослини *M. sacchariflorus* (4n) вихід у трубку починається на місяць раніше за *M. sinensis* та майже на два місяці раніше, ніж у рослин *M. giganteus* з *in vitro* та з *ex vitro*. В еталонних зразків та рослин *M. giganteus* з *in vitro* волоть з'являється в середині вересня, проте плодоношення не наступає, оскільки за пізніх строків цвітіння (початок жовтня) насіння не встигає достигати. Поява волоті та цвітіння в рослин *M. sacchariflorus* (4n) відбувається на місяць раніше, ніж у рослин *M. sinensis*, чез що є проблема з перезапиленням цих видів та отриманням гібридного насіння.

На другий та третій рік вегетації (2016 і 2017) були проведені морфометричні дослідження селекційних зразків досліджуваних видів міскантусу, розраховано середнє значення отриманих даних та похибка показників (табл. 2). Для проведення досліджень відбирали по п'ять рослин з п'яти різних кущів, тобто по 25 рослин кожного виду міскантусу. Оскільки *M. sacchariflorus* (4n) не утворює кущ, а росте хаотично за рахунок сланких ризом, то відбирали по п'ять рослин цього виду з 1 м², загальною площею плантації 5 м².

Результати спостережень досліджуваних зразків міскантусів показали, що *M. giganteus* (*ex vitro*) має найвищі рослини серед інших представників роду [майже вдвічі за *M. sacchariflorus* (4n) та *M. sinensis*], найбільші діаметр та висоту стебла, кількість листків на рослині й площу листової пластинки. Проте найвищою кущистістю характеризуються рослини *M. sinensis*, завдяки чому його продуктивність може конкурувати з показниками контрольного зразка.

Продуктивність наземної маси міскантусів визначали на другий-третій рік вегетації рослин (вересень 2016–2017 рр.), взявши для розрахунку середні значення по кількості рослин кожного виду на 1 м² площі (рис. 5).

Таблиця 1

Фази росту й розвитку представників роду *Miscanthus*, розмножених (отриманих) в умовах *in vitro* та *ex vitro* (ризомами)

Вид міскантусу	Фази росту й розвитку, дата ± діб					
	відростання	кущіння	вихід у трубку	поява волоті	цвітіння	плодоношення
<i>M. sacchariflorus</i> (2n)	10.04 ± 4	28.05 ± 3	не настає	не настає	–	–
<i>M. sacchariflorus</i> (4n)	8.04 ± 3	22.05 ± 3	6.07 ± 5	22.07 ± 4	9.08 ± 5	5.09 ± 6
<i>M. sinensis</i>	12.04 ± 5	04.06 ± 4	10.08 ± 5	26.08 ± 6	08.09 ± 6	10.10 ± 7
<i>M. giganteus</i>	15.04 ± 5	06.06 ± 5	26.08 ± 7	16.09 ± 7	10.10 ± 7	не настає
<i>M. giganteus</i> (розмножений ризомами)	15.04 ± 5	04.06 ± 5	25.08 ± 5	14.09 ± 6	7.10 ± 7	не настає

Таблиця 2

Морфометрична характеристика представників роду *Miscanthus*, розмножених (отриманих) в умовах *in vitro* та *ex vitro* (ризомами)

Середні значення параметрів органів рослин 2–3-го років вегетації		Вид міскантусу				
		<i>M. sacchariflorus</i> (2n)	<i>M. sacchariflorus</i> (4n)	<i>M. sinensis</i>	<i>M. giganteus</i>	<i>M. giganteus</i> (розмножений ризомами)
Висота рослини, см		43,2 ± 3,0	215,7 ± 6,3	224 ± 5,8	289,3 ± 9,1	380,3 ± 11,1
Стебла	Кількість стебел у кущі	5 ± 0,4	24,4 ± 2,7	62,6 ± 4,6	16,3 ± 2,1	36,4 ± 3,2
	Висота, см	39,3 ± 3,1	202 ± 9,3	215,3 ± 7,1	267,5 ± 10,8	357,4 ± 14,5
	Діаметр, мм	6,4 ± 0,4	5,0 ± 0,2	12,5 ± 1,4	14,0 ± 1,6	14,6 ± 1,4
	Кількість міжвузлів, шт.	7,0 ± 0,3	12,1 ± 0,6	14,2 ± 0,9	16,1 ± 1,1	17,0 ± 1,2
Листки	Кількість на стеблі, шт.	7,0 ± 0,4	11,8 ± 0,2	12,4 ± 0,3	15,7 ± 1,4	16,5 ± 1,3
	Довжина, см	27,9 ± 3,0	38,2 ± 4,1	45,7 ± 1,7	56,1 ± 2,1	65,7 ± 4,0
	Ширина, см	1,3 ± 0,3	1,5 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,6 ± 0,3	2,6 ± 0,2
	Площа, см ²	27,2 ± 2,2	42,9 ± 2,9	78,8 ± 1,1	109,4 ± 1,9	128,1 ± 2,6
Суцвіття (волоть)	Довжина, см	–	26,1 ± 0,4	32,4 ± 1,2	36,7 ± 1,4	38,1 ± 1,5
	Ширина, см	–	14,2 ± 0,6	13,4 ± 0,4	18,9 ± 1,5	19,6 ± 1,3

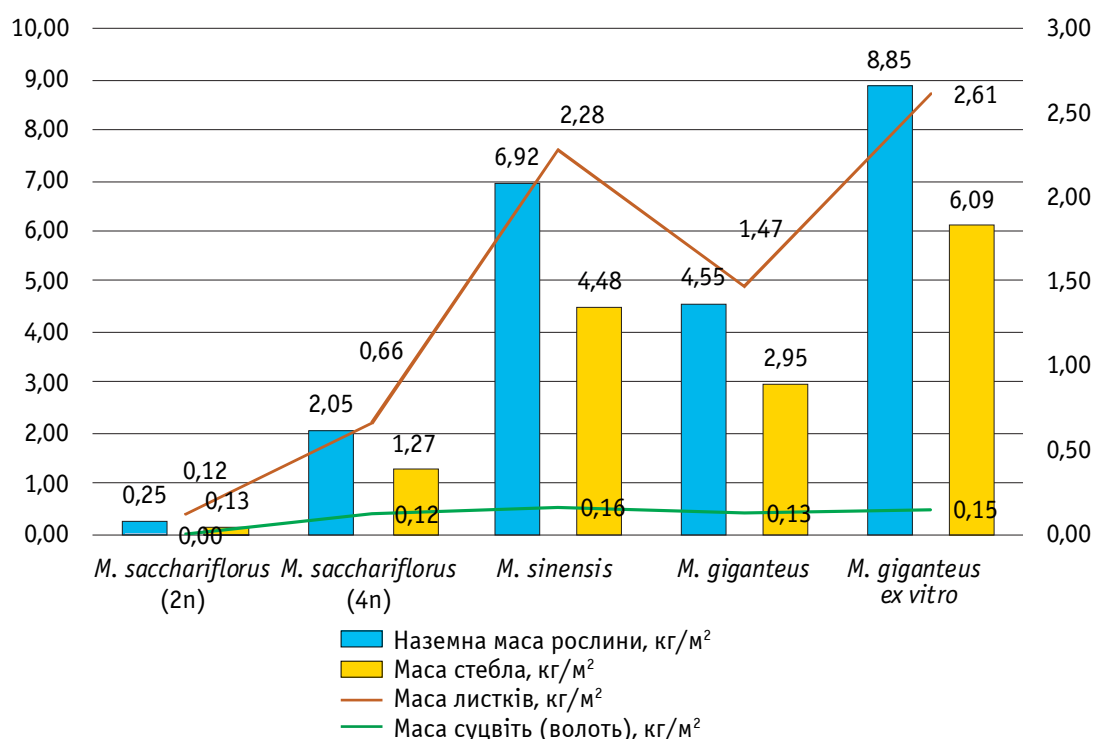


Рис. 5. Наземна маса органів рослин досліджуваних видів міскантусу на 1 м² площі (середнє за 2016–2017 рр.)

Найперспективнішими формами для використання в біоенергетиці є *M. sinensis* та розмножений ризомами (*ex vitro*) *M. giganteus*, продуктивність зеленої маси яких становила 6,92 і 8,85 кг/м² відповідно, тоді як *M. sacchariflorus* (2n) та *M. sacchariflorus* (4n) для цього є непридатними, адже формують лише 0,25 та 2,05 кг наземної маси з 1 м².

Результати перезимівлі рослини третього року вегетації засвідчили, що майже всі рослини *M. sacchariflorus* (2n) вимерзли, проте навіть ті рослини, що лишилися, у наступні роки не утворили стебла та жодного квіткового пагона.

Ще один важливий показник – це вміст сухої речовини в рослині, що є відбитком життєдіяльності рослинного організму на кожному етапі його росту й розвитку в конкретних умовах довкілля. Визначали суху масу в рослин третього року вегетації (початок жовтня 2017 р.), відбираючи по 5 г подрібненого рослинного матеріалу кожного виду міскантусу в трьох повторностях і за допомогою математико-статистичних методів аналізували отримані результати (рис. 6).

Максимальну кількість сухої речовини відзначено в рослинах *M. giganteus*, отриманого в умовах *in vitro*, та *M. giganteus*, роз-

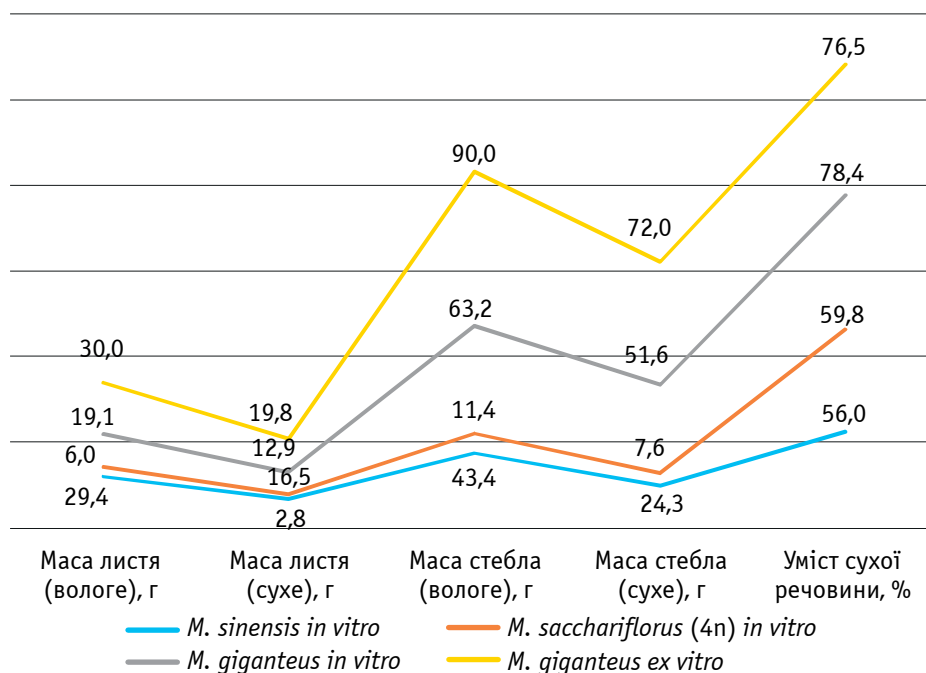


Рис. 6. Наземна маса досліджуваних видів міскантусу та сумарний уміст сухої речовини в рослині (2017 р.)

множеного поділом ризом (*ex vitro*). Проте й в рослин *M. sinensis* цей показник є досить високим – 60% від загальної наземної маси рослин, що дає змогу цьому виду гідно конкурувати з міскантусом гігантським.

Висновки

Установлено суттєві відмінності у строках проходження основних фенофаз різними видами міскантусу. *M. sacchariflorus* (2n) в умовах Лісостепу України у фазу цвітіння не вступає, натомість у *M. sacchariflorus* (4n) цвітіння починається на місяць раніше, ніж у *M. sinensis*, що є перешкодою для перезапилення цих видів у природньому середовищі.

M. giganteus, розмножений ризомами, за переважною більшістю показників (висота та діаметр стебла, кількість міжвузлів та листків, площа листків, довжина та ширина волоті) домінує над усіма видами міскантусу, отриманими в культурі *in vitro*. Проте кількість стебел у куці в рослин *M. sinensis* є найбільшою (63 шт.) і майже у 2–4 рази перевищує показники рослин *M. giganteus*, отриманих із ризом та в *in vitro*. Завдяки високій куцистості рослини *M. sinensis* можуть скласти їм конкуренцію як перспективна форма для використання в селекції та біоенергетиці.

Найперспективнішими формами для використання в біоенергетиці є *M. sinensis* та розмножений ризомами (*ex vitro*) *M. giganteus*, продуктивність зеленої маси яких становила

приблизно 7 і 9 кг/м² відповідно, тоді як *M. sacchariflorus* (2n) та *M. sacchariflorus* (4n) для цього є непридатними, адже формують лише 0,25 та 2,05 кг наземної маси з 1 м².

Максимальну кількість сухої речовини відзначено в рослинах *M. giganteus*, отриманого в умовах *in vitro*, та *M. giganteus*, розмноженого поділом ризом (*ex vitro*) – приблизно 75%.

Використана література

1. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/paran10#n10>
2. Beale C. V., Long S. P. Can perennial C₄ grasses attain high efficiencies of radiant energy conversion in cool climates? *Plant Cell Environ.* 1995. Vol. 18, Iss. 6. P. 641–650. doi: 10.1111/j.1365-3040.1995.tb00565.x
3. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Scurlock J., Willem H. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenerg.* 2000. Vol. 19, Iss. 4. P. 209–227. doi: 10.1016/S0961-9534(00)00032-5
4. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В. Значення абіотичних факторів середовища в житті організмів. *Екологія і охорона навколишнього середовища*. Суми : ВТД «Університетська книга», 2003. 284 с.
5. Шумный В. К., Вепрев С. Г., Нечипоренко Н. Н. Новая форма мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* Anderss.) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья. *Вестник ВОУС*. 2010. Т. 14, № 1. С. 122–126.
6. Clifton-Brown J. C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Ann Bot.* 2000. Vol. 86, Iss. 1. P. 191–200. doi: 10.1006/anbo.2000.1183
7. Денисова М. Н., Огиенко А. Г., Будаева В. В. Исследования структур мискантуса, гидротропной целлюлозы и нитратов, полученных из нее. *Химия растительного сырья*. 2012. № 4. С. 19–27.

8. Li D. Investigation of *Miscanthus* associated microbiome: effects of biotic and abiotic factors : Ph.D. Diss. / Graduate College of the University of Illinois. Urbana, 2015. 162 p. URL: <http://hdl.handle.net/2142/88261>
9. Tejera M. D., Heaton E. A. Description and Codification of *Miscanthus* × *giganteus* Growth Stages for Phenological Assessment. *Front Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 1726. doi: 10.3389/fpls.2017.01726
10. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин / за ред. В. Д. Мельничука. Київ : Вища освіта, 2003. 520 с.
11. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Левенко Б. О. Основи біотехнології рослин. Київ, 2000. 248 с.
12. Płazek A., Dubert F. Improvement of medium for *Miscanthus giganteus* callus induction and plant regeneration. *Acta Biol. Cracov. Ser. Bot.* 2010. Vol. 52, Iss. 1. P. 105–110. doi: 10.2478/v10182-010-0013-9
13. Гонтаренко С. М., Лашук С. О. Отримання рослин *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack та *Miscanthus sinensis* Andersson у культурі *in vitro* шляхом непрямого морфогенезу. *Plant Var. Stud. Prot.* 2017. Т. 13, № 1. С. 12–20. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97219
14. Кушнір Г. П., Сарнацька В. В. Мікроклональне розмноження рослин. Київ : Наукова думка, 2005. 271 с.
15. Гонтаренко С. М., Лашук С. О. Метод розмноження, стимуляції росту ризом у культурі *in vitro* та адаптації у відкритому ґрунті представників роду *Miscanthus*. *Plant Var. Stud. Prot.* 2017. Т. 13, № 3. С. 230–238. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110703
16. Зінченко В. О., Роїк М. В., Рахметов Д. Б. та ін. Методика проведення експертизи сортів міскантусу гігантського (*Miscanthus* × *giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize) на відмінність, однорідність та стабільність. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. С. 501–514.
17. Роїк М. В., Рахметов Д. Б., Гонтаренко С. М. та ін. Методика проведення експертизи сортів міскантусу китайського (*Miscanthus sinensis* Anders.) на відмінність, однорідність та стабільність. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. С. 514–529.
18. Роїк М. В., Рахметов Д. Б., Гонтаренко С. М. та ін. Методика проведення експертизи сортів міскантусу цукрокріткового (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim) Benth.) на відмінність, однорідність та стабільність. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. С. 529–543.
19. Шеламова М. А., Инсарова Н. И., Лещенко В. Г. Статистический анализ медико-биологических данных с использованием программы Excel. Минск, 2010. 96 с.
1. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). About the National Renewable Energy Action Plan for the period until 2020. *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 1, 2014 No. 902-p*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/paran10#n10> [in Ukrainian]
2. Beale, C. V., & Long, S. P. (1995). Can perennial C₄ grasses attain high efficiencies of radiant energy conversion in cool climates? *Plant Cell Environ.*, 18(6), 641–650. doi: 10.1111/j.1365-3040.1995.tb00565.x
3. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Scurlock, J., & Willem, H. (2000). *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenerg.*, 19(4), 209–227. doi: 10.1016/S0961-9534(00)00032-5
4. Boichuk, Yu. D., Soloshenko, E. M., & Buhai, O. V. (2003). Value of Abiotic Environmental Factors in the Life of Organisms. In *Ekolohiia i okhorona navkolnyshnoho seredovyshcha* [Ecology and Environment Protection]. Sumy: VTD "Universytetska knyha". [in Ukrainian]
5. Shumny, V. K., Veprev, S. G., Nechiporenko, N. N., Goryachkovskaya, T. N., Slynko, N. M., Kolchanov, N. A., & Peltek, S. E. (2010). A new variety of chinese silver grass (*Miscanthus sinensis* Anders.) is a promising source of cellulosic material. *Vestnik VOGiS* [VOGiS Herald], 14(1), 122–126. [in Russian]
6. Clifton-Brown, J. C., & Lewandowski, I. (2000). Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Ann Bot.*, 86(1), 191–200. doi: 10.1006/anbo.2000.1183
7. Denisova, M. N., Ogienko, A. G., & Budaeva, V. V. (2012). Investigations of the structures of the *Miscanthus*, the hydrotropic pulp and the nitrates obtained from it. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of Plant Raw Material], 4, 19–27. [in Russian]
8. Li, D. (2015). Investigation of *Miscanthus* associated microbiome: effects of biotic and abiotic factors (Ph.D. Diss.). Graduate College of the University of Illinois, Urbana. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2142/88261>
9. Tejera, M. D., & Heaton, E. A. (2017). Description and Codification of *Miscanthus* × *giganteus* Growth Stages for Phenological Assessment. *Front Plant Sci.*, 8, 1726. doi: 10.3389/fpls.2017.01726
10. Melnychuk, M. D., Novak, T. V., & Kunakh, V. A. (2003). *Biotehnolohiia roslyn* [Plant Biotechnology]. V. D. Melnychuk (Ed.). Kyiv: Vyscha osvita. [in Ukrainian]
11. Melnychuk, M. D., Novak, T. V., & Levenko, B. O. (2000). *Osnovy biotehnolohii roslyn* [Fundamentals of Plant Biotechnology]. Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
12. Płazek, A., & Dubert, F. (2010). Improvement of medium for *Miscanthus giganteus* callus induction and plant regeneration. *Acta Biol. Cracov. Ser. Bot.*, 52(1), 105–110. doi: 10.2478/v10182-010-0013-9
13. Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2017). Obtaining plant *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack and *Miscanthus sinensis* Andersson *in vitro* culture by indirect morphogenesis. *Plant Var. Stud. Prot.*, 13(1), 12–20. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97219 [in Ukrainian]
14. Kushnir, H. P., & Sarnatska, V. V. (2005). *Mikroklonalne rozmnozhenia roslyn* [Microclone propagation of plants]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]
15. Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2017). Method of propagation, stimulation of rhizomes growth *in vitro* culture and adaptation in the open ground for the genus *Miscanthus* representatives. *Plant Var. Stud. Prot.*, 13(3), 230–238. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110703 [in Ukrainian]
16. Zinchenko, V. O., Roik, M. V., Rakhmetov, D. B., Hontarenko, S. M., Shcherbakova, T. O., Kurylo, V. L., ... Lashuk, S. O. (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv miskantusu hihantskoho (Miscanthus × giganteus J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize) na vidminnist, odnoridnist ta stabilnist* [The methodology for examining the giant *Miscanthus* varieties (*Miscanthus* × *giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize) for distinctness, uniformity, and stability] (pp. 501–514). Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
17. Roik, M. V., Rakhmetov, D. B., Hontarenko, C. M., Shcherbakova, T. O., Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., ... Lashuk, S. O. (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv miskantusu kytaiskoho (Miscanthus sinensis Anders.) na vidminnist, odnoridnist ta stabilnist* [The method of examination of *Miscanthus sinensis* Anders. varieties for distinctness, uniformity, and stability] (pp. 514–529). Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
18. Roik, M. V., Rakhmetov, D. B., Hontarenko, C. M., Shcherbakova, T. O., Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., ... Lashuk, S. O. (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv miskantusu tsukrokrivkovoho (Miscanthus sacchariflorus (Maxim) Benth.) na vidminnist, odnoridnist ta stabilnist* [The method of examination of varieties of *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim) Benth.) for distinctness, uniformity, and stability] (pp. 529–543). Vinnytsia: Nilan-LTD. [in Ukrainian]
19. Shelamova, M. A., Insarova, N. I., & Leshchenko, V. G. (2010). *Statisticheskiy analiz mediko-biologicheskikh dannykh s ispol'zovaniem programy Excel* [Statistical analysis of biomedical data using Excel]. Minsk: N.p. [in Russian]

УДК 633.282:577.3:631

Лашук С. А. Биоморфологическая характеристика селекционных образцов представителей рода *Miscanthus*, полученных в условиях *in vitro* // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Т. 15, № 2. С. 163–170. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.2.2019.173566>

Украинский институт экспертизы сортов растений, ул. Генерала Родимцева, 15, г. Киев, 03041, Украина, e-mail: lashuk_s@ukr.net

Цель. Оценить фенологические и морфологические характеристики растений мискантуса гигантского (*Miscanthus giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize), мискантуса сахароцветного (*M. sacchariflorus* (Maxim) Benth.) и мискантуса китайского (*M. sinensis* Anders.), полученных в культуре *in vitro*, и мискантуса гигантского, размноженного ризомами (*ex vitro*) для привлечения их в селекционный процесс и создания новых форм мискантуса для использования в биоэнергетике. **Методы.** В исследованиях использовали семена *M. sinensis*, а также *M. sacchariflorus* (2n), растения *M. sacchariflorus* (4n), введены в культуру и размножены в условиях *in vitro* по общепринятым методикам (М. Д. Мельничук и др., А. Plazek et al.). Фенологические наблюдения проводили по методикам В. А. Зинченко, М. В. Роика, Д. Б. Рахметова и др.; статистическую обработку полученных данных – по М. А. Шеламовой и др. **Результаты.** *M. sacchariflorus* (2n) в условиях Лесостепи Украины в фазу цветения не вступает, зато у *M. sacchariflorus* (4n) цветение начинается на месяц раньше, чем у *M. sinensis*, что является препятствием для переполынения этих видов в естественной среде. *M. giganteus*,

размноженный ризомами, по подавляющему большинству показателей (высота и диаметр стебля, количество междоузлий и листьев, площадь листьев, длина и ширина метелки) доминирует над всеми видами мискантуса, полученными в культуре *in vitro*. Однако количество стеблей в кусте у растений *M. sinensis* является наибольшим (63 шт.) и почти в 2–4 раза превышает показатели растений *M. giganteus*, полученных из ризом и в *in vitro*. Наиболее перспективными формами для использования в биоэнергетике является *M. sinensis* и размноженный ризомами (*ex vitro*) *M. giganteus*, урожайность зеленой массы которых составляла примерно 7 и 9 кг/м² соответственно, тогда как *M. sacchariflorus* (2n) и *M. sacchariflorus* (4n) для этого непригодны, ведь формируют лишь 0,25 и 2,05 кг наземной массы с 1 м². **Выводы.** На основе полученных данных установлены перспективные формы *Miscanthus* для привлечения их в селекционный процесс и получения новых сортов с высокой продуктивностью биомассы для нужд биоэнергетики.

Ключевые слова: мискантус; морфологические показатели; ризомеры; фенофазы; биоэнергетика.

UDC 633.282:577.3:631

Lashuk, S. O. (2019). Biomorphological characteristic of breeding samples of representatives of the genus *Miscanthus*, obtained *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(2), 163–170. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.2.2019.173566>

Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymytseva St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: lashuk_s@ukr.net

Purpose. Estimate phenological and morphological characteristics of *Miscanthus giganteus* J. M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize, *M. sacchariflorus* (Maxim) Benth. and *M. sinensis* Anders., obtained *in vitro*, and *M. giganteus*, propagated by rhizomimes (*ex vitro*) to attract them to the breeding process and create new forms of miscanthus for use in bioenergy. **Methods.** Seeds of *M. sinensis*, as well as *M. sacchariflorus* (2n), *M. sacchariflorus* (4n), introduced into culture and propagated *in vitro* according to commonly used methods (M. D. Melnychuk, A. Plazek et al.) were used in the studies. Phenological observations were carried out according to the methods of V. V. Zinchenko, M. V. Roik, D. B. Rakhmetov, and others. Statistical processing of the obtained data was carried out according to M. A. Shelamov and others. **Results.** *M. sacchariflorus* (2n) in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine does not enter into the flowering phase, whereas in *M. sacchariflorus* (4n) the flowering phase begins a month earlier than *M. sinensis*, which is an obstacle for transpollination of these species in the natural environment. *M. giganteus*, reproduced by rhizomes, in overwhelming

majority of indicators (stem height and diameter, number of interstices and leaves, leaf area, length and width of cluster) dominate all species of miscanthus obtained *in vitro*. But the number of stems in the bush of *M. sinensis* is the highest (63 pcs.) and is almost 2–4 times higher than those of *M. giganteus*, obtained from risomes and *in vitro*. It has been revealed that the most promising forms for bioenergy use are *M. sinensis*, whose productivity is about 7 kg/m² of green mass and *M. giganteus*, propagated by rhizomimes (*ex vitro*), where the mass of the aerial part is almost 9 kg/m². But *M. sacchariflorus* (2n) and *M. sacchariflorus* (4n) should not be considered as promising species for use in bioenergy purposes, because their performance is very low compared to other species and is only 0.25 and 2.05 kg above ground mass from 1 m². **Conclusions.** On the basis of the obtained data, the most promising forms of *Miscanthus* were established to attract them into the breeding process and to obtain new varieties with high biomass productivity for the needs of bioenergy.

Keywords: miscanthus; morphological indices; rhizomes; phenophase; bioenergetics.

Надійшла / Received 12.03.2019

Погоджено до друку / Accepted 21.06.2019