

УДК 633.282:631.332.81

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.4>

ПРОДУКТИВНІСТЬ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ САДІННЯ ТА МАСИ РИЗОМІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Гументик М.Я. – к.с.-г.н., с.н.с., завідувач лабораторії технології вирощування і перероблення біоенергетичних культур для виробництва біопалива, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України

Гончарук Г.С. – к.с.-г.н., с.н.с., завідувач лабораторії вирощування біоенергетичних культур на малопродуктивних землях, Ялтушківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України

Гументик В.М. – технік-лаборант лабораторії цитогенетики, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України

У статті викладаються результати досліджень із впливу окремих факторів на продуктивність біомаси міскантусу під час вирощування його в умовах промислових плантацій у Лісостепу України. Мета досліджень – встановити показники продуктивності біомаси міскантусу для виробництва твердих видів біопалива залежно від біологічних і морфологічних особливостей рослини, оптимальної густоти садіння та маси ризомів. Дослідження проводились упродовж 2015–2018 рр. на Ялтушківській дослідно-селекційній станції Барського району Вінницької області в зоні Західної частини Лісостепу України. Для отримання високих і сталих урожаїв біомаси необхідно вдосконалити елементи технології вирощування, зокрема формування заданої густоти рослин на початок збирання. Рослини міскантусу в перший рік росту формують спершу підземну масу – ризоми, а в наступні періоди вегетації – надземну.

У результаті досліджень встановлено, що оптимальних показників продуктивності біомаси міскантусу можна досягнути за використання ризомів, які є частиною мичкуватої кореневої системи рослини й основним матеріалом для її розмноження в разі посадки масою 30–40 г, що дозволяє одержати урожай біомаси на рівні 14,4–19,8 т / га вже на третій рік вегетації. Максимальна густина стояння рослин водночас має становити 18 тис. / га, а ширина міжрядь – 70 см, що дозволить забезпечити оптимальну площу живлення (70x70 см). За такої умови маса ризомів у куці становитиме 400–450 г, що забезпечить найбільший вихід енергії біомаси вже в перший рік вегетації – 30,5 ГДж / га. Вплив маси ризомів на урожайність біомаси спостерігається лише в перший рік вегетації. Маса кореневищ міскантусу й ризомів зменшується зі збільшенням загальної густоти стояння рослин, і вони стають неефективними під час використання як посадкового матеріалу.

Ключові слова: продуктивність, міскантус, біомаса, пагони, густина садіння, маса ризомів, тверді види біопалива, вихід енергії.

Gumentyk M.Ya., Honcharuk G.S., Gumentyk V.M. Productivity of miscanthus biomass depending on planting density and rhizome mass in the Forest-Steppe of Ukraine

The article highlights the results of research on the influence of miscanthus planting density and rhizome mass on biomass productivity when grown in industrial plantations in the Forest-Steppe of Ukraine. The purpose of this research is to determine miscanthus biomass cultivation productivity for solid biofuels based on biological and morphological plant features, optimum planting density and rhizome mass. The research was conducted in 2015–2018, at the Yaltushkivka Research and Breeding Station of Barsky District, Vinnytsia region in zone C of the western part of the Forest-Steppe of Ukraine. To obtain high and stable yields of biomass, it is necessary to improve the elements of the technology of its cultivation, in particular, the formation of a given plant density at the beginning of harvesting. In the first year of growth, Miscanthus plants first

form underground mass – rhizomes, and in subsequent periods of vegetation – aboveground mass. As a result, it is established that the optimal productivity of miscanthus biomass can be achieved by using rhizomes that are part of the plant fibrous root system and the main material for its reproduction when planting rhizomes weighing 30–40 gram. This allowed us to obtain a biomass yield at the level of 14.4–19.8 ton / ha for the third year of the growing season. The maximum density of standing plants of 18 thousand / ha and the width of the row spacing of 70 cm allowed ensuring the optimal feeding area of 70x70cm. The mass of rhizomes in the bush of 400–450 g provided the highest biomass energy yield of 30.5 GJ / ha in the first year of growth. The influence of rhizome mass on biomass yield is observed only in the first year of vegetation.

The mass of miscanthus roots and rhizomes decreases with increasing plant density, so they become ineffective as planting material.

Key words: *productivity, miscanthus, biomass, shoots, planting density, rhizome mass, solid biofuels, energy yield.*

Постановка проблеми. Серед основних стратегічних проблем кожної країни є максимально ефективне збалансування енергетичних потреб із можливостями агроценозів такої території з акумулювання сонячної енергії та перетворення її у вуглеводні. Тому все більше уваги приділяється проблемі використання біосировини шляхом стабільного й планового її отримання зі спеціально створених плантації біоенергетичних культур [1; 2].

В умовах України для розширення промислових площ використовується така високопродуктивна багаторічна культура, як міскантус, яка потребує подальшої розробки й вдосконалення ефективних технологій її вирощування та використання [5; 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми, пов'язані з вирощуванням біомаси міскантуса, розкрито в публікаціях [4–7]. У працях наведено характеристику вимог міскантуса до ґрунтово-кліматичних умов та оптимізації технології вирощування [8; 9; 10]. Узагальнено теоретичні засади й методичні підходи щодо оцінки економічної ефективності виробництва біомаси міскантуса в Україні [1]. Проаналізовано також агрономічні й екологічні аспекти вирощування злакових культур для виробництва біопалива [10; 11]. Схарактеризовано й інші біоенергетичні рослини, що вирощуються для твердих видів палива, їхнє практичне використання та енергетичну цінність [2; 3]. Проте натепер питання визначення продуктивності міскантуса залежно від густоти стояння рослин і маси ризомів для посадкового матеріалу в ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу України вивчено мало й недостатньо висвітлено в наукових публікаціях.

Постановка завдання. Встановити продуктивність вирощування біомаси міскантуса для виробництва біопалива залежно від біологічних і морфологічних особливостей рослини, визначити оптимальну густоту садіння та масу ризом в умовах Лісостепу України.

Дослідження проводили впродовж 2015–2018 рр. на Ялтушківській дослідно-селекційній станції Барського району Вінницької області в зоні Західної частини Лісостепу України на сірому лісовому опідзоленому середньо-суглинковому слабо кислому ґрунті, який характеризується такими агрохімічними показниками: вмістом гумусу – 1, 5%; рН сол. – 5,5; гідролітичною кислотністю – 2,5–2,9 мг-екв на 100 г ґрунту; ступенем насичення основами – 80–83 %; вмістом лужногідролізованого азоту – 75,0–77,6 мг/кг (за Корнфільдом); рухомого фосфору (P_2O_5) – 127,3–131,0 мг / кг та обмінного калію (K_2O) – 115,0–123,4 мг / кг ґрунту (за Кірсановим).

Схема досліду передбачала вивчення продуктивності біомаси міскантуса залежно від густоти садіння та маси ризомів.

Фактор А – густина садіння: 1). 18 тис. шт. / га (70x70 см); 2). 15 тис. шт. / га (70x90 см); 3). 12 тис. шт. / га (70x140 см).

Фактор Б – маса ризомів: 1). 20...30 г; 2). 30...60 г; 3). 60...90 г.

Площа ділянки – 25 м², облікової – 15 м². Загальна площа досліді – 0,20 га. Дослід закладено за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти досліді розміщуються по ділянках послідовно [12; 13]. Повторюваність дослідів – трьохразова. Садіння ризом проводили на глибину 6...8 см з шириною міжрядь 70 см.

Виклад основного матеріалу дослідження. Встановлено, що інтенсивність проростання ризомів міскантусу й повнота сходів зумовлюються такими показниками, як температура й вологість ґрунту. За низької температури й вологості ґрунту період появи сходів рослин затягується, а тривала недостача тепла й вологи призводить до загибелі ризомів. Проте вирішальним фактором проростання ризомів і швидкої появи сходів є вологість ґрунту в початковий період вегетації.

За роки досліджень погодні умови були такими. Кількість опадів найбільш сприятлива для росту і розвитку рослин міскантусу були у 2015 та 2016 роках, коли їх сума за квітень та травень перевищувала середнє багаторічне значення. А найбільш посушливими та несприятливим, виявились 2017 та 2018 роки, коли у травні та червні опадів було менше середньої норми, тобто саме тоді, коли формувалися сходи рослин (рис. 1).

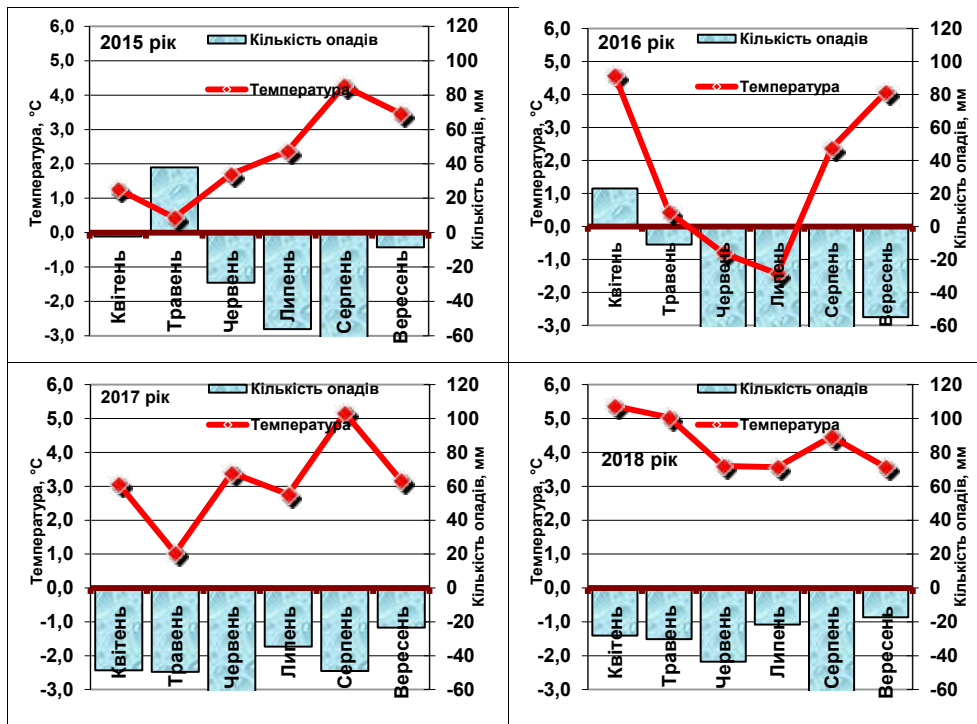


Рис. 1. Відхилення показників температури повітря та кількості опадів від середніх багаторічних значень на Ялушківській ДСС (2015-2018 рр.)

Рослини міскантусу в перший рік вегетації формують спершу більшу підземну масу, а потім надземну. У зв'язку із цим особливу зацікавленість викликає вивчення розвитку кореневої системи (зокрема кореневищ) за різної густоти садіння та маси ризомів.

Дослідженням встановлено, що перші місяці вегетації рослини міскантусу формують вегетативну масу й додаткові корені, а починаючи з другої половини вегетаційного періоду активно збільшують масу кореневища. Зі збільшенням загальної густоти стояння рослин маса кореневищ зменшувалась, і за максимальної густоти в досліді 18 тис. шт. / га становила 450 г, а за густоти стояння 12 тис. шт. / га сягала значення 620 г. На початку вегетаційного періоду різниця між масою кореневищ за різної густоти стояння рослин була незначною (в межах НІР_{0,05}), а з другої половини вегетації ця різниця дещо збільшилась. Маса ризомів має значний вплив на ріст і розвиток кореневищ. Так, за маси ризомів 20...30 г на кінець вегетаційного періоду маса кореневища в середньому становила 470 г, а за маси ризомів 60...90 г – 655 г.

Ріст пагона в довжину відрізняється відповідною закономірністю: на початку спостереження незначний ріст пагона в довжину, потім швидкий ріст до максимального значення перед цвітінням, після чого настає постійне сповільнення росту й на кінець повне припинення росту пагона в довжину. Ця динаміка росту пагона в довжину може дещо змінюватись залежно від умов навколишнього середовища: від температури, інтенсивності світла, забезпечення рослин водою та інших.

Встановлено, що густота стояння рослин у першій половині першого року вегетації мало впливала на показники лінійного приросту пагона й висоти рослини в цілому. На кінець вегетації найбільша висота головного пагона була за густоти стояння рослин 18 тис. шт. / га і сягала 160,4 см, а найменша – 129,8 см за густоти стояння 12 тис. шт. / га.

У середньому по досліді висота головного пагона зі збільшенням густоти стояння рослин від 12 до 18 тис. шт. / га збільшується від 130 до 160 см.

Оптимальний ріст пагона може проходити лише за визначених умов зовнішнього середовища, зокрема за відповідної температури, присутності кисню, що зумовлює процес дихання рослин, і за наявності поживних речовин, що проникають у ростучі частини пагона.

Важливим фактором росту й розвитку рослин міскантусу є маса ризомів, адже в них нагромаджено необхідні поживні речовини та містяться сплячі бруньки, з яких пізніше утворюються пагони. Висота головного пагона за маси ризомів 30...40 г зі збільшенням густоти стояння рослин від 12 до 18 тис. шт. / га збільшується від 130 до 145 см, а найбільшого значення вона сягає за маси ризомів 60...90 г і становить 160 см.

З настанням фази куціння в рослин міскантусу починаються процес активного пагоноутворення, який триває до фази викидання волоті. Так, за маси ризомів 30...60 г на початку липня середня кількість пагонів становила 2,4 шт., а в серпні, вересні й жовтні – 6,0; 8,4 та 9,4 шт. відповідно.

Під час вегетації рослини міскантусу пагони збільшуються у діаметрі за рахунок розростання кореневища, які утворюються як з бруньок материнської ризоми, так і з новоутворених частин ризомів. Ті бруньки, які знаходяться найближче до поверхні ґрунту, проростають у вигляді пагонів, а ті, які знаходяться найглибше, утворюють нові ризоми. З настанням зими пагони відмирають, а весною утворюється більша кількість нових пагонів [6; 7].

Аналіз результатів досліджень впливу маси ризомів на процес пагоноутворення свідчить, що кількість пагонів знаходиться в прямій залежності від маси ризомів. При масі ризомів 20...30 г найбільша кількість пагонів у кущі становила 9,5 шт., а за маси ризомів 90...120 г – 11,0 шт.

Аналізуючи показники пагоноутворення на одиниці площі, слід відмітити, що за густоти стояння рослин (кущів) 15 тис. шт. / га збільшення маси ризомів від 20...30 г до 90...120 г сприяло збільшенню кількості пагонів на 20 %.

Зменшення густоти стояння рослин призводить до зростання кількості пагонів у кущі. Так, за густоти стояння рослин 18 тис. шт. / га в середньому було 9,0 шт. пагонів, а за густоти 12 тис. шт. / га – 11,8 шт. пагонів. Восени за маси ризомів 60...90 г і густоти стояння рослин 18 тис. шт. / га кількість пагонів становила 9,0 шт., а за 15 та 12,0 та 11,4 шт. Це пов'язано зі збільшенням площі живлення та фотосинтетично активної радіації, які припадають на одну рослину.

Під час росту й розвитку кореневищ частина бруньок, які вегетують, утворюючи нові пагони, а інша частина розростається під землею, утворюючи таким чином нові ризоми. Чим більше новоутворених пагонів у кущі, тим інтенсивніше розростається кореневище і збільшується його маса. Наступним важливим фактором, що впливає на продуктивність міскантусу, є кількість і висота стебел міскантусу, що відображають прямолінійну залежність (рис. 2).

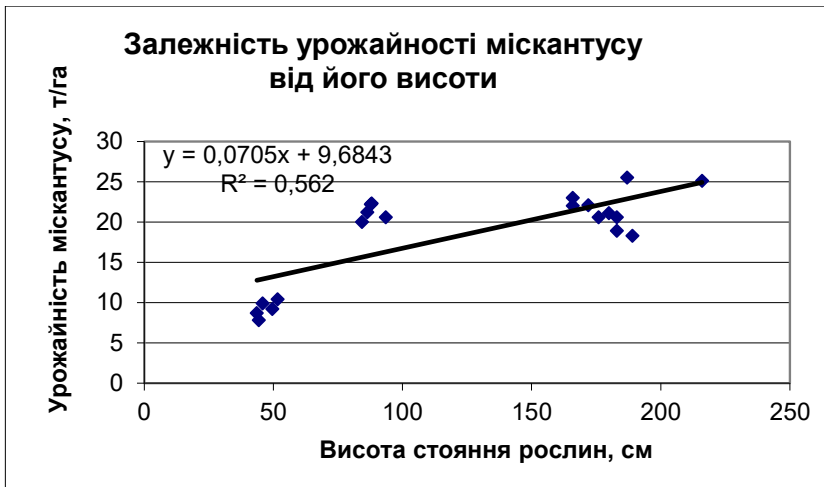


Рис. 2. Урожайність біомаси міскантусу залежно від висоти стебел, Ялтушківська ДСС (2015–2018 рр.)

Результати досліджень показують, що між кількістю пагонів у кущі й масою кореневищ існує кореляційний зв'язок з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,5555$ (рис. 3).

Ріст і розвиток рослин супроводжується ростом листового апарату, який є засобом накопичення сухих речовин. Упродовж усього вегетаційного періоду кількість листків на головному пагоні була практично однаковою (в межах $HP_{0,05}$) на всіх ділянках із незначним коливанням у межах від 13,7 до 14,7 шт. Отже, кількість листків не значною мірою залежить від густоти стояння рослин та маси ризомів і визначається фазами розвитку рослини. Залежність у межах досліджуваної маси кореневища одного куща має лінійний характер. Зі зменшенням густоти сто-

яння рослин урожайність на початку вегетації зростає, а досягнувши максимального значення починає знижуватись.

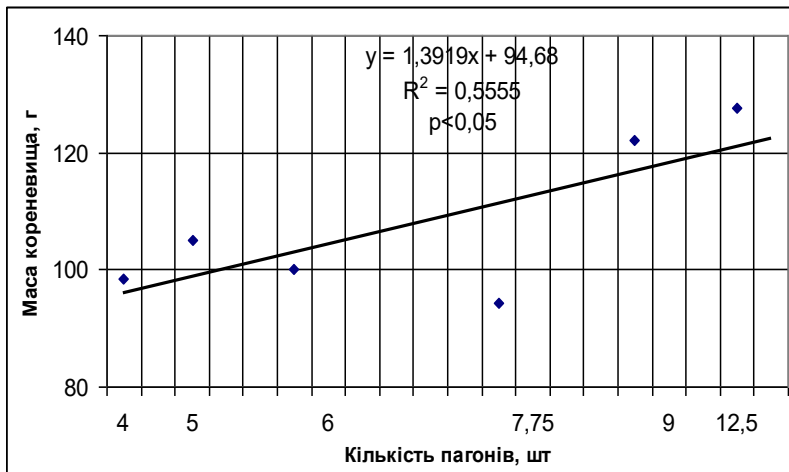


Рис. 3. Залежність маси кореневищ міскантусу від кількості пагонів у куці, Ялушківська ДСС (2015–2018 рр.)

Як показують результати досліджень, суха біомаса однієї рослини збільшувалася зі зменшенням густоти стояння та збільшенням маси ризомів. Так, за густоти стояння 18 тис. шт. / га середня суха маса однієї рослини міскантусу першого року вегетації становила 90,0 г, за густоти 15 та 13 тис. шт. / га – відповідно 120,0 та 140,0 г. Це пов'язано з тим, що збільшувалась площа живлення, покращувались умови освітлення і знижувалась конкуренція між рослинами.

Урожайність сухої біомаси міскантусу з одиниці площі зростала зі збільшенням густоти стояння рослин. За густоти стояння рослин 12 тис. шт. / га урожайність сухої маси в перший рік вегетації в середньому становила 1,2 т / га, а за густоти 18 тис. шт. / га – 1,9 т / га.

Така тенденція зберіглася у другий і третій роки вегетації. За густоти стояння рослин 12 тис. шт. / га урожайність сухої маси з 1 га в другий і третій роки в середньому становила 7,4 та 12,4 т / га, а за густоти 18 тис. шт. / га – 14,5 та 19,8 т / га. Слід відзначити, що з кожним наступним роком різниця між варіантами зменшувалася.

Одним із важливих факторів, який впливає на врожайність міскантусу, є маса ризомів, збільшення якої призводить до зростання врожайності рослин. Так, за маси ризомів 20...30 г урожайність сухої маси міскантусу становила в середньому в перший, другий і третій роки вегетації відповідно 1,1–7,4 та 12,0 т / га, а за маси 90...120 г – 2,0–12,0 та 18,5 т / га.

Врожайність біомаси міскантусу зумовлена масою ризомів, які утворювали під час проростання більшого числа пагонів. Рослини активно формують потужну кореневу систему (кореневища), яка дозволяє їм успішно перезимувати, а в наступні роки – забезпечує формування потужної надземної біомаси. У перший рік вегетації маса кореневищ перевищувала листово-стеблову масу в 1,9 рази. Так, за маси ризомів 20...30 г на кінець вегетаційного періоду маса кореневища становила 475 г, а за маси ризомів 90...120 г – 660 г.

Слід відзначити, що маса кореневищ міскантусу зменшувалась зі збільшенням загальної густоти стояння рослин і досягла найменших значень – 470 г за максимальної густоти – 18 тис. шт. / га. За густоти садіння 12 тис. шт. / га вона становила 640 г. Зі збільшенням густоти стояння рослин міскантусу врожайність біомаси також зростає.

Так, за густоти стояння рослин 15 тис. шт. / га вихід енергії становив 28,1 ГДж / га, за 18 тис. шт. / га – 30,5 ГДж / га, а найменший (20,6 ГДж / га) – за густоти стояння 12 тис. шт. / га (рис. 4).

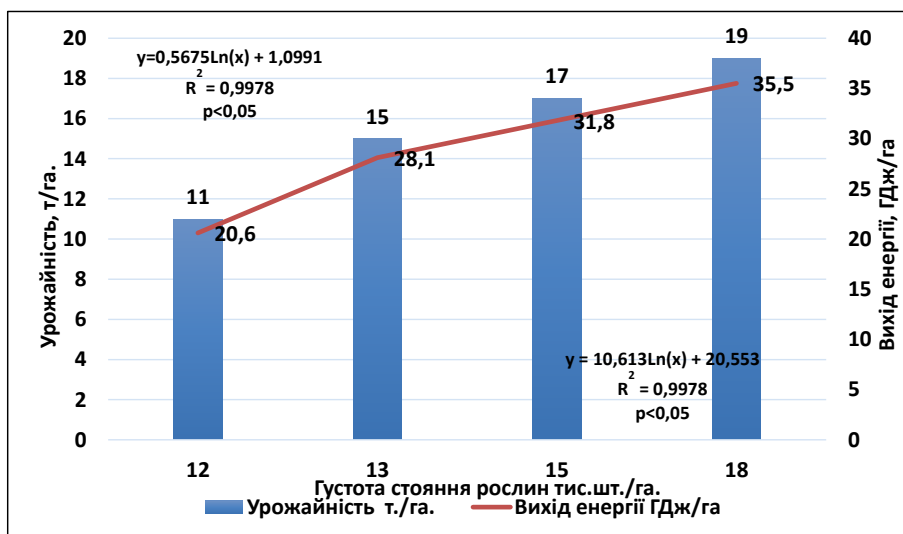


Рис. 4. Урожайність сухої біомаси міскантусу першого року вегетації та вихід енергії залежно від густоти стояння рослин.

Висновки і пропозиції. Для ефективного використання енергетичної плантації міскантусу з метою промислового вирощування сировини необхідно посадку формувати при густоті стояння рослин 17–18 тис. / га при ширині міжрядь 70 см, і площі живлення (70x70 см), що забезпечує у перший рік вегетації найбільший вихід енергії – 30,5 ГДж / га. За максимальної густоти стояння рослин 18 тис. шт. / га маса кореневищ міскантусу складає в межах 400–450 г. Зі збільшенням загальної густоти стояння рослин маса кореневищ і ризомів зменшується до найменших значень.

У зоні Лісостепу України вплив маси ризомів на урожайність біомаси спостерігається лише у перший рік вегетації, в подальшому тенденція зберігається за рахунок різниці густоти стояння рослин. Якісним посадковим матеріалом для створення енергетичних плантацій міскантусу є ризоми масою 30–40 г.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бондар В.С., Фурса А.В., Гументик М.Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 3. С. 17–25.
2. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року: звіт за результатами моделювання базового та альтернативних сценаріїв розвитку біоенерге-

тичного сектору / О.А. Дячук та ін. ; за заг. ред. Ю.О. Огаренко, О.В. Алієвої. Київ : ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. 88 с.

3. Гелетуха Г.Г., Желізна Т.А., Крамар В.Х., Кучерук П.П. Перспективи розвитку біоенергетики як інструмент заміщення природного газу в Україні. *Біоенергетична асоціація України*. 2015. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-12-ua.pdf> (дата звернення: 02.07.2018).

4. Доронін В.А., Дрига В.В., Кравченко Ю.В., Доронін В.В. Особливості росту та розвитку міскантусу залежно від якості садивного матеріалу. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2017. № 2. С. 19–24. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnu2017_2.

5. Дрига В.В. Формування маточних кореневищ міскантусу гігантського залежно від якості садивного матеріалу та умов вирощування. *Новітні агротехнології*. 2017. № 5. URL: <http://jna.bio.gov.ua/article/view/122117>.

6. Курило В.Л., Ганженко О.М., Гументик М.Я., Квак В.М., Замойський О.І., Зиков П.Ю. Методичні рекомендації з проведення передсадильного обробітку ґрунту і садіння ризомів міскантусу. Київ, 2012. 22с. URL: <http://www.uk.x-pdf.ru/5kulturologiya/1591715-1-vl-kurilo-ganzhenko-gumentik-kvak-oi-zamoyskiy-zikov-metodichni-rekomendacii-provedennya-peredsadilnogo-obrobтку.php>.

7. Квак В.М. Вплив маси ризомів міскантусу та густоти їх садіння на енергетичну продуктивність біомаси. *Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. Київ, 2013. Вип. 17. Т. 1. С. 146–151.

8. Miscanthus as an energy crop its potential for Northern Ireland / Z. McKerverey, V.B. Woods, D.L. Easson. AFBI Hillsborough, 2008. 80 s.

9. Plant Crops Bioenergy Research UK. URL: <http://www.tsec-biosys.ac.uk/index.php?p=8&t=1&ss=4>.

10. Huisman W., Kasper G.J., Venturi P. Technical and economic feasibility of the complete production transport chain of Miscanthus x giganteus as an energy crop. Enschede, The Netherlands, September 30-October 1, 1996.

11. Kharitonov M, Pidlisnyuk V, Stefanovska T, Babenko M, Martynva N, Rula I The estimation of Miscanthusxgiganteus adaptive potential for cultivation on the mining and post-mining lands in Ukraine. 2019. *Environ Sci Pollut Res* 26:2974–2986. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3741-0>.

12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.

13. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica-6. Київ : Поліграф Консалтинг, 2007. 55 с.