



Original researches

Received: 17.01.2022

Revised: 20.02.2022

Accepted: 21.02.2022

Dnipro State Agrarian and
Economic University,
Serhii Yefremov st., 25,
Dnipro, 49600, Ukraine.
Tel.: +38-097-342-62-27.
E-mail:
kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

Oles Honchar Dnipro National
University, Gagarin av., 72,
Dnipro, 49010, Ukraine.
Tel.: +38-050-182-43-85.
E-mail: nadiamart.bg@gmail.com

University of Girona,
Carrer Maria Aurèlia Capmany,
61, Girona, 17003, Spain.
Tel.: +34-972-41-84-31.
E-mail: maria.gispert@udg.edu

Cite this article: Kharytonov,
M. M., Babenko, M. G.,
Martynova, N. V., & Gispert,
M. (2022). Efficiency of sewage
sludge application for the
cultivation of herbaceous energy
crops on lithozem. *Agrology*, 5(1),
35–40. doi: 10.32819/021105

Efficiency of sewage sludge application for the cultivation of herbaceous energy crops on lithozem

M. M. Kharytonov¹, M. G. Babenko¹, N. V. Martynova², M. Gispert³

¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

²Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

³University of Girona, Carrer Maria Aurèlia Capmany, Girona, Spain

Abstract. The development of bioenergy in Ukraine in today's conditions is far behind the world and Europe. The aim of the research was to evaluate the impact of various soil amendments on bioproductivity, content and removal of heavy metals with biomass of miscanthus (*Miscanthus Anders.*) and switchgrass (*Panicum virgatum L.*) in field experiments on recultivated lands. Miscanthus and switchgrass plants for the field experiment were planted on a technical mixture consisting of loess-like loam and red-brown clay. Municipal sewage sludge as an organic-mineral fertilizer was applied separately and together with sunflower husk ash to determine the effectiveness of the application. All additives were applied to the soil annually in the spring in dry form. The trials without and with the application of a complex mineral fertilizer of nitrogen, phosphorus and potassium in the dose of 60 kg/ha and a ratio of 1:1:1 served as the control. The yield of aboveground dry biomass of annual switchgrass plantations was higher than such of miscanthus and amounted to 6 t/ha due to fast plant growth. The reaction of miscanthus to the introduction of sewage sludge and mineral fertilizers was stronger. This led to 2.0–2.3 times increase in the productivity. Over the next three years, the bioproductivity of switchgrass was at the level of the first year. The productive potential of miscanthus varied depending on the amount of precipitation during the growing season. It is possible to obtain from up to 7.5 t/ha of aboveground mass of rod-shaped prosase without the introduction of nutrients. Miscanthus yields can be twice as high in years with better soil moisture. Prolonged drought can lead to significant crop losses. The effect of ash on the accumulation of zinc, copper and lead by switchgrass was the smallest. In the case of miscanthus, the weakest effect was observed in the variant with mineral fertilizers. The highest removal of all heavy metals by biomass of both energy crops was promoted by the introduction of a double dose of sewage sludge. As a result, the accumulation of zinc increased 4.7 (miscanthus) and 7.2 times (switchgrass), copper 6.2 (miscanthus) and 14.0 times (switchgrass), lead 4.4 (miscanthus) and 10.2 times (switchgrass). The removal of elements by switchgrass biomass was 1.1–1.6 times less than miscanthus. It was found that the removal of elements from four-year miscanthus plantations was greater than such of switchgrass, but given that the yield of miscanthus can vary significantly depending on weather conditions (water supply), this ratio may vary from year to year. Thus, a low-cost innovative strategy to cultivate such perennial grasses as miscanthus and switchgrass by creating fast-growing herbaceous plantations on recultivated land has long-term prospects for raw materials production as a source of pellets and other biomaterials.

Keywords: miscanthus; switchgrass; amendments; yield; heavy metals.

Ефективність застосування осаду стічних вод під час вирощування трав'янистих енергокультур на літоземі

M. M. Харитонов¹, M. Г. Бабенко¹, Н. В. Мартинова², М. Жисперт³

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

³Університет міста Жирона, Жирона, Іспанія

Анотація. Нині темпи розвитку біоенергетики в Україні значно відстають від світових і європейських. У статті оцінено вплив різних ґрунтових домішок на біопродуктивність, вміст та винос важких металів із біомасою міскантусу та світчґрасу в польових дослідах на рекультивованих землях. Рослини міскантусу та світчґрасу для польового експерименту висаджували на технічній суміші, що складалася з лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини. Для визначення ефективності застосовували муніципальний осад стічних вод. Таке органо-мінеральне добриво вносили окремо та разом із золою соняшникового лушпиння. Варіанти без та із внесенням у ґрунт комплексного мінерального добрива азоту, фосфору та калію в дозі 60 кг/га та співвідношенні 1:1:1 слугували контролем. Завдяки швидкому росту врожайність надземної сухої біомаси однорічних плантацій світчґрасу (6 т/га) виявилася вищою, ніж міскантусу. Але реакція міскантусу на внесення осаду стічних вод і мінерального добрива була сильніша, бо

продуктивність вища у 2,0–2,3 раза. Протягом наступних трьох років біопродуктивність прутоподібного проса була на рівні показників першого року. Продуктивний потенціал міскантусу змінювався залежно від кількості опадів протягом періоду вегетації рослин. За відсутності внесення поживних речовин можливо отримати до 7,5 т/га надземної маси прутоподібного проса. Урожайність міскантусу може бути удвічі більшою в роки з кращим зволоженням ґрунту. Тривала посуха може спричинити значні втрати врожаю цієї культури. Вплив золи на накопичення цинку, міді та свинцю світчграсом був найменшим. У випадку з міскантусом найслабший ефект відмічений у варіанті з мінеральним добривом. Найбільший винос усіх важких металів біомасою обох енергетичних культур отримано від внесення подвійної дози осаду стічних вод. Накопичення цинку збільшилося у 4,7 (міскантус) та 7,2 раза (світчграс), міді – у 6,2 (міскантус) та 14,0 раза (світчграс), свинцю – у 4,4 (міскантус) та 10,2 раза (світчграс). Винос елементів біомасою світчграсу менший за міскантус в 1,1–1,6 раза. Отже, маловитратна інноваційна стратегія вирощування таких трав'янистих багаторічних культур, як міскантус і світчграс, шляхом створення плантацій швидкорослих трав'янистих культур на рекультивованих землях перспективна для виробництва біосировини як джерела для подальшого виробництва пеллет та інших біоматеріалів.

Ключові слова: міскантус; світчграс; домішки; урожайність; важкі метали.

Вступ

Із кожним роком споживання енергії зростає, а запаси корисних копалин стрімко скорочуються. Занепокоєння посилюється не лише тим, як такі високі потреби буде можливим задовольняти виснаженими ресурсами, а й через збільшення викидів парникових газів від спалювання викопного палива. Отже, існує потреба в альтернативних джерелах енергії (Hein, 2016). Відновлювані джерела енергії, особливо з багаторічних трав і швидкорослих дерев, можуть суттєво впливати на процеси вирішення глобальних проблем у сфері енергетичної безпеки (Sims et al., 2006; Karp & Shieid, 2008). Нині частка біомаси в загальному обсязі первинної енергії в Україні становить не більше 1,5%. Тим не менш, перспективи розвитку цієї енергетичної галузі дуже великі (Geletukha et al., 2014; Geletukha et al., 2016).

Серед великого переліку швидкорослих рослин, які можна використовувати як енергетичні культури другого покоління, найбільш переважними є ті, які не потребують інтенсивних технологій вирощування, невибагливі до умов навколишнього середовища та дають великі врожаї навіть на маргінальних землях (Hodgson et al., 2010; Han et al., 2011). Останнім часом все більше авторів зосереджують свою увагу на двох трав'янистих багаторічних культурах – міскантусі та світчграсі – щодо постачання багатой целюлозою сировини для хімічної промисловості та для виробництва енергії (Powlson et al., 2005; Heaton et al., 2008(2010); Ziolkowska, 2014).

В останні роки найбільша увага надається п'яти генотипам міскантусу, серед яких тільки три використовують у регіонах із помірним кліматом як декоративну, протиерозійну та біоенергетичну культуру (Kharytonov et al., 2017). Для біоенергетики частіше використовують міскантус гігантський – спонтанний стерильний триплоїдний гібрид, який характеризується найбільшою продуктивністю (Clifton-Brown et al., 2004). Гібрид розмножується тільки вегетативно, кореневищами. Врожайність міскантусу значною мірою залежить від водозабезпечення (Dohleman & Long, 2009; Emerson et al., 2014; Kiesel et al., 2017). Для формування великої кількості біомаси потребує значної кількості води, приблизно 700 мм опадів. За сприятливих погодних умов урожай біомаси міскантусу через 2–3 роки вирощування може досягати 25 т/га (Christian et al., 2008).

Світчграс, або просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.), одним з основних компонентів високотравних прерій. Коренева маса майже в 1,5 раза перевищує надземну частину рослини (Wullschlegel et al., 2010; Vogel et al., 2011). Світчграс розмножується не тільки кореневищами, а й насінням (Skousen et al., 2012). Прутподібне просо – ксерофіт. Його влаштовують посушливі умови степів на різних континентах (Hartman et al., 2011). Можливість щорічного отримання сировини для виробництва біопалива та біоматеріалів протягом 10–15 років дає всі підстави для створення енергетичних плантацій міскантусу та світчграсу на маргінальних землях.

Мета досліджень – оцінити вплив різних ґрунтових домішок на біопродуктивність, вміст та винос важких металів із біомасою міскантусу та світчграсу в польових дослідках на рекультивованих землях.

Матеріал і методи

Дослідження проводили на півдні Дніпропетровської області на базі науково-дослідного стаціонару рекультивації земель ДДАЕУ (Kharytonov & Resio Espejo, 2013). Основні кліматичні особливості району досліджень – дефіцит атмосферних опадів, достатня кількість тепла та світла в період вегетації рослин. Ризомі прутоподібного проса та міскантусу були отримані з Інституту енергетичних культур і цукрового буряку НААН України. Вони висаджені восени 2017 року у фіто-меліорований літозем. Співвідношення лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини було рівним. Для визначення ефективності застосування муніципального осаду стічних вод це органо-мінеральне добриво вносили окремо (10 та 20 т/га) та разом із золою соняшникового лушпиння (10 т/га). Осад стічних вод відібраний на Покровській станції аерації стічних вод. Механічне зневоднення осаду робиться з використанням центрифуги (ДСТУ 7369:2013. Національний стандарт України. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення. Київ, Мінекономрозвитку, 2014). Зола соняшникового лушпиння відібрана після його спалювання у твердопаливному котлі. Варіант із внесенням у ґрунт комплексного мінерального добрива азоту, фосфору та калію в дозі 60 кг/га та співвідношенні 1:1:1 як традиційний для порівняння з дією деяких нетрадиційних добрив (домішок) – золи соняшникового лушпиння та осаду стічних вод. Параметрами біопродуктивності були висота рослин, діаметр, кількість стебел і надземна біомаса (рис. 1–3). Діаметр стебла визначали штангенциркулем на висоті 15 см над поверхнею ґрунту. Кількість стебел підраховували на площі 1 м². Урожайність рослин розраховували після їх уборки та подальшого сушіння. Вміст хімічних елементів у біомасі визначали для оцінювання здатності акумулювати важкі метали (з ґрунту). Вміст важких металів після озолення та розчинення золи в 5 мл 6 N соляної кислоти спектральної чистоти вимірювали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі (Varian Cary-50, США, 2001 р.) в учбовій лабораторії ґрунтознавства університету міста Жирона (Іспанія). Отримані дані являють собою середні арифметичні значення трьох повторів кожної вибірки, їх діапазони та значення стандартних помилок ($\bar{x} \pm SE$).

Результати

У перший рік після посадки ризом рослин спостерігали активний ріст надземної та підземної біомаси трав'янистих рослин. Але реакція міскантусу на внесення осаду стічних вод і мінерального добрива була сильнішою, що сприяло збільшенню продуктивності у 2,0–2,3 раза (рис. 4).

Протягом другого року вирощування продуктивність міскантусу вже трохи перевищила продуктивність світчграсу. Реакція на підживлення також більш виразна. У варіанті з комбінацією золи та осаду стічних вод врожайність збільшилася на 45,2%, а на ділянці з осадом стічних вод – на 96,8%. Додавання мінерального добрива та подвійної дози осаду стічних вод зумовило підвищення врожайності на 136,1% та 130,1%, відповідно. Того самого часу прибавка продуктивності світчграсу на ділянках із мінеральним добривом, осадом у дозі 10 т/га та в

суміші зі золою соняшникового лушпиння в дозі 10 т/га поступалася на 12,0%, а на ділянці з внесенням осаду стічних вод у дозі 20 т/га становила 100,0%. Додавання золи мало найслабший ефект (6–8%) для обох видів, міскантусу та світчграсу. На четвертий рік дослідження врожайність міскантусу порівняно з рослинами прутоподібного проса була вищою в контролі в 1,9 раза (рис. 5). Внесення подвійної дози осаду стічних

вод сприяло підвищенню врожайності у 2,3 раза для міскантусу та у 3,2 раза – для світчграсу. Таким чином, максимальна продуктивність світчграсу становила 23,3, а міскантусу – 31,8 т/га. Вміст марганцю та цинку в біомасі міскантусу на ділянках із застосуванням добавок був вищим, ніж у контрольному варіанті. Мідь та свинець накопичувались активніше у біомасі світчграсу.



Рис. 1. Вирощування міскантусу у дрібноділянковому досліді (другий рік)

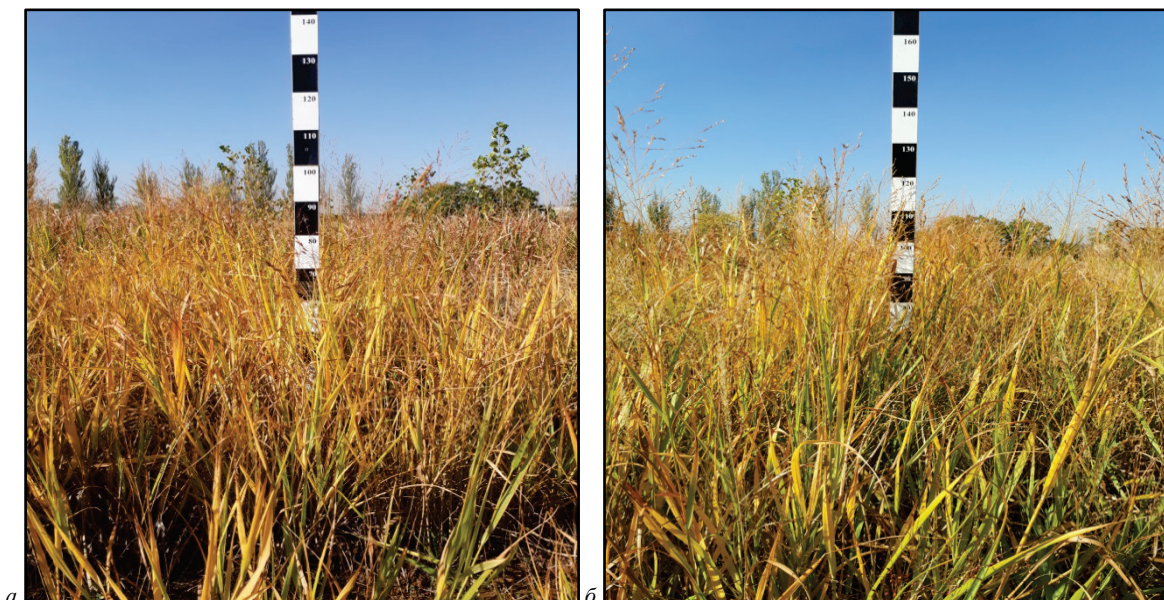


Рис. 2. Вирощування світчграсу в мікропольовому досліді зі внесенням осаду стічних вод (другий рік):
а – контроль; б – із додаванням 10 т/га осаду стічних вод

У досліді з міскантусом найбільшою геохімічною активністю відзначився марганець (рис. 6). Його акумуляція надземною масою рослин збільшилася від 91,2 (варіант із внесенням мінерального добрива) до 163,5 (варіант із внесенням подвійної дози осаду стічних вод). У досліді зі світчграсом внесення осаду стічних вод у дозі 10 т/га

підвищувало акумуляцію свинцю на 144,5% (рис. 7). Подвоєння дози осаду стічних вод спричинило підвищення вносу свинцю на 215%, а міді – на 335%. Незважаючи на відносно низький вміст елементів у надземній біомасі міскантусу та світчграсу, щорічний внос важких металів з урожаєм може бути значним.



Рис. 3. Облік біомаси у дрібно ділянкових дослідях із міскантусом і світчграсом

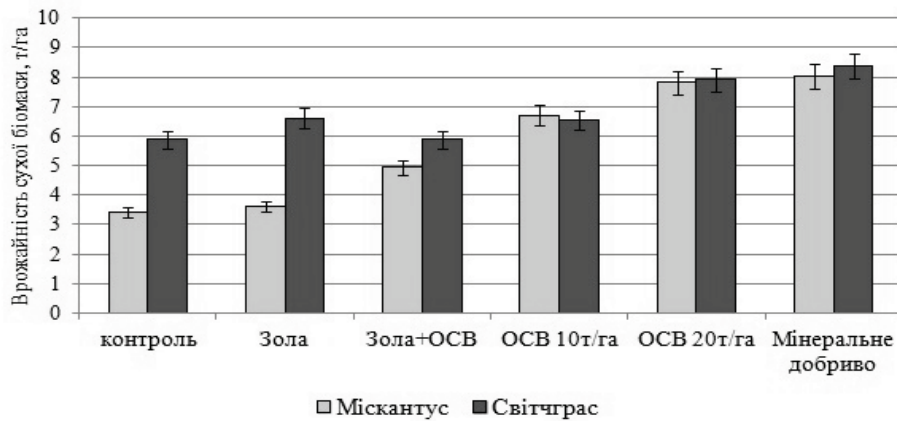


Рис. 4. Врожайність біомаси однорічних рослин міскантусу та світчграсу на ділянках із додаванням ґрунтових домішок

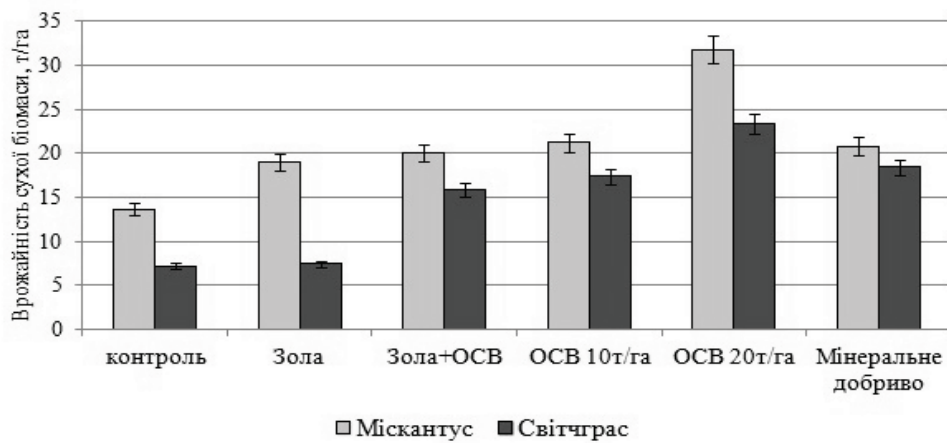


Рис. 5. Врожайність біомаси чотирирічних рослин міскантусу та світчграсу на ділянках із додаванням ґрунтових домішок

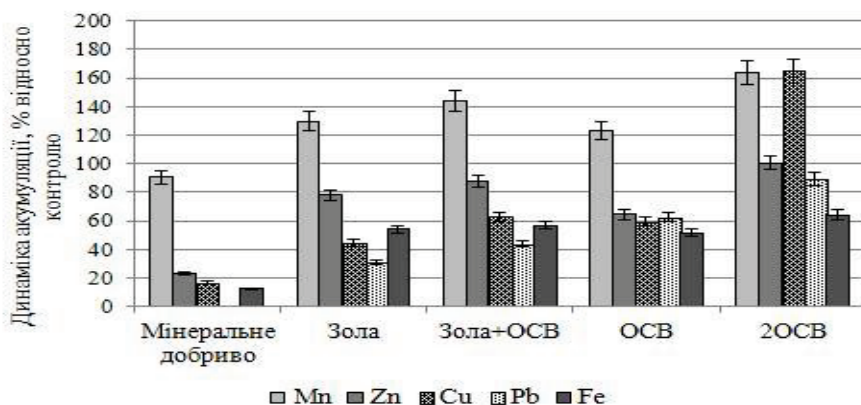


Рис. 6. Ефект додавання ґрунтових домішок на акумуляцію важких металів надземною біомасою міскантусу

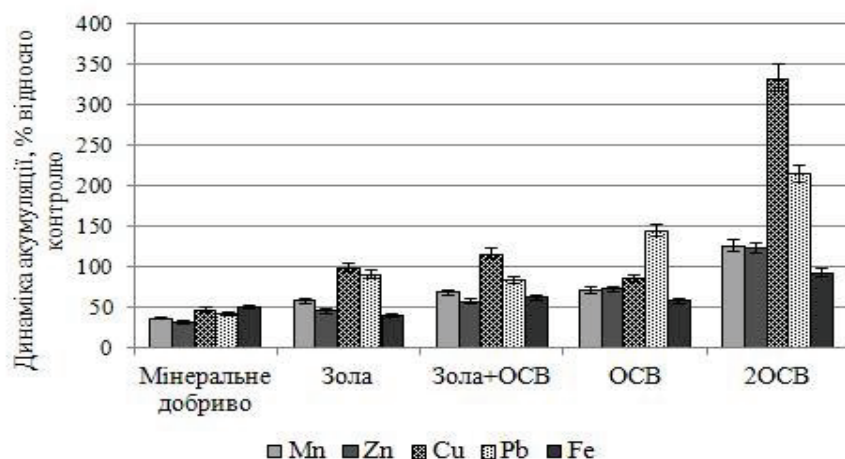


Рис. 7. Ефект додавання ґрунтових домішок на акумуляцію важких металів надземною біомасою світчграсу

Обговорення

Використання маргінальних земель, таких як пустища, деградовані, малопродуктивні землі, шахтні відвали, низькопродуктивні пасовища та луки, занедбані малоцінні землі, може стати рішенням для вирощування культур як вихідної сировини для біоенергетики та біопродуктів (Blanco-Canqui, 2016). Швидкорослі культури можуть бути першим вибором для вирощування в таких районах, де існують великі площі малородючих земель, але є відповідний клімат для росту біомаси (Werling et al., 2014). Висока продуктивність енергетичних насаджень може бути забезпечена за рахунок використання осаду стічних вод (Clifton-Brown et al., 2000; Burli et al., 2017). Використання осаду зі золою або біовугіллям дозволяє компенсувати викиди парникових газів та підвищити енергетичний потенціал біомаси (Marra et al., 2013; Cherney et al., 2018; Scagline-Mellor et al., 2018). Згідно з Державним стандартом України (ДСТУ 7369:2013) дозволене внесення осаду стічних вод для вирощування сільськогосподарських культур у дозі не більше 10 т/га за три роки. Більша доза можлива у випадку проведення рекультивативної земель.

Гігієнічні властивості і високий вміст важких металів в осаді стічних вод – основні проблеми, що перешкоджають застосуванню осаду стічних вод для вирощування енергетичних культур (Singh & Agrawal, 2007; Zhou et al., 2014; Antonkiewicz et al., 2018). Отже, можливість сумісного застосування комунальних відходів поживних речовин і, зокрема, осаду стічних вод як добрива може стати альтернативою використанню звичайних добрив задля виробництва енергії та біопродуктів на рекультивованих землях.

Висновки

Основна гіпотеза наших досліджень ґрунтується на тому, що деякі комунальні відходи поживних речовин, придатні як

добрива для вирощування енергетичних культур, можуть бути, після відповідної переробки або сумісного використання, цінним джерелом органічної речовини та мінералів для рослин, не признаних для споживання, сприяючи їх росту та розвитку. Внесення осаду стічних вод у мікропольових дослідах сприяло збільшенню продуктивності міскантусу, світчграсу та інтенсифікації акумуляції важких металів біомасою цих рослин. На четвертий рік дослідження за рахунок додавання осаду стічних вод у дозі 20 т/га, максимальна продуктивність світчграсу становила 23,3, а міскантусу – 31,8 т/га. Реакція міскантусу на внесення осаду стічних вод і мінерального добрива була сильнішою, що викликало підвищення продуктивності у 2,0–2,3 раза. Проведеними розрахунками з'ясовано, що зола має найменший ефект і збільшує поглинання марганцю в 1,6 (світчграс) та 3,2 раза (міскантус). Накопичення заліза міскантусом залежно від варіанта досліду збільшилося у 2,2–3,8 раза, світчграсом – в 1,4–6,2 раза. Вплив золи на накопичення цинку, міді та свинцю світчграсом був також найменшим. У випадку з міскантусом найслабший ефект відзначено у варіанті з мінеральним добривом. Накопичення цинку за внесення подвійної дози осаду стічних вод збільшилося у 4,7 раза (міскантус) та у 7,2 раза (світчграс), міді – у 6,2 (міскантус) та 14,0 раза (світчграс), свинцю – у 4,4 (міскантус) та 10,2 раза (світчграс). У цілому винос елементів біомасою світчграсу був меншим за міскантус в 1,1–1,6 раза.

References

- Antonkiewicz, J., Peika, R., Bik-Maiodzicka, M., Ćukowska, G., & Glec-Karolczyk, K. (2018). The effect of cellulose production waste and municipal sewage sludge on biomass and heavy metal uptake by a plant mixture. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 31101–31112.
- Blanco-Canqui, H. (2016). Growing dedicated energy crops on marginal lands and ecosystem services. *Soil Science Society of America Journal*, 80(4), 845–858.

- Brosse, N., Dufour, A., Meng, G. X., Sun, Q., & Ragauskas, A. (2012). Miscanthus: A fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Review Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(5), 580–598.
- Burli, P., Forgoston, E., Lal, P., Billings, L., & Wolde, B. (2017). Adoption of switchgrass cultivation for biofuel under uncertainty: A discrete-time modeling approach. *Biomass and Bioenergy*, 105, 107–115.
- Cherney, J. H., Cherney, D. J. R., & Paddock, K. M. (2018). Biomass yield and composition of switchgrass bales on marginal land as influenced by harvest management scheme. *Bioenergy Research*, 11(1), 34–43.
- 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, 320–327.
- Clifton-Brown, J. C., & Lewandowski, I. (2000). Water-use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*, 86(1), 191–200.
- Clifton-Brown, J. C., Stampfl, P. F., & Jones, M. B. (2004). *Miscanthus* biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology*, 10, 509–518.
- Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2009). More productive than maize in the Midwest: How does *Miscanthus* do it? *Plant Physiology*, 150, 2104–2115.
- Emerson, R., Hoover, A., Ray, A., Lacey, J., Cortez, M., Payne, C., Karlen, D., Birrell, S., Laird, D., Kallenbach, R., Egenolf, J., Sousek, M., & Voigt, T. (2014). Drought effects on composition and yield for corn stover, mixed grasses, and *Miscanthus* as bioenergy feedstocks. *Biofuels*, 5(3), 275–291.
- Geletukha, G., Zheliezna, T., & Tryboi, O. (2014). Prospects for the growing and use of energy crops in Ukraine. *UABio Position Paper*, 10, 1–30.
- Geletukha, G., Zheliezna, T., & Tryboi, O. (2016). Bashtovyi, analysis of criteria for the sustainable development of bioenergy. *UABio Position Paper*, 17, 1–30.
- Han, M., Choi, G. W., Kim, Y., & Koo, B. (2011). Bioethanol production by *Miscanthus* as a lignocellulosic biomass: Focus on high efficiency conversion to glucose and ethanol. *BioResources*, 6(2), 1939–1953.
- Hartman, J. C., Nippert, J. B., Orozco, R. A., & Springer, C. J. (2011). Potential ecological impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biofuel cultivation in the Central Great Plains, USA. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3415–3421.
- 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.
- Heaton, E. A., Dohleman, F. G., Miguez, A. F., Juvik, J. A., Lozovaya, V., Widholm, J., Zabolina, O. A., McIsaac, G. F., David, M. B., Voigt, T. B., Boersma, N. N., & Long, S. P. (2010). *Miscanthus*: A promising biomass crop. *Advances in Botanical Research*, 56, 76–137.
- Hein, K. (2005). Future energy supply in Europe – challenge and chances. *Fuel*, 84, 1189–1194.
- Hodgson, E. M., Lister, S. J., Bridgwater, A. V., Clifton-Brown, J., & Donnison, I. S. (2010). Genotypic and environmentally derived variation in the cell wall composition of *Miscanthus* in relation to its use as a biomass feedstock. *Biomass and Bioenergy*, 34(5), 652–660.
- Karp, A., & Shield, I. (2008). Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*, 179(1), 15–32.
- Kharytonov, M. M., & Resio Espejo, J. M. (2013). Prospects of the Nikopol Manganese Basin rocks using for land reclamation. *Gruntoznavstvo*, 14, 78–86.
- Kharytonov, M., Martynova, N., Sytnyk, S., Naumenko, M., Pidlisnyuk, V., & Stefanovska, T. (2017). A productive potential estimation of five genotypes of the miscanthus anderss genus in the Ukrainian steppe zones conditions. *Inmateh – Agricultural Engineering Journal*, 52(2), 129–136.
- Kiesel, A., Nunn, C., Iqbal, Y., Weijde, T., Wanger, M., Ozguven, M., Tarakanov, I., Kalinina, O., Trindade, L., Clifton-Brown, J., & Lewandowski, I. (2017). Site-specific management of *Miscanthus* genotypes for combustion and anaerobic digestion: A comparison of energy yields. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–15.
- Marra, M., Keene, T., Skousen, J., & Griggs, T. (2013). Switchgrass yield on reclaimed surface mines for bioenergy production. *Journal of Environmental Quality*, 42(3), 696–703.
- Powelson, D. S., Riche, A. B., & Shield, I. (2005). Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Annals of Applied Biology*, 146, 193–201.
- Scaglione-Mellor, S., Griggs, T., Skousen, J., Wolfrum, E., & Holaskova, I. (2018). Switchgrass and giant *Miscanthus* biomass and theoretical ethanol production from reclaimed mine lands. *BioEnergy Research*, 11, 562–573.
- Sims, R., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G., & Smith, P. (2006). Energy crops: Current status and future prospects. *Global Change Biology*, 12, 2054–2076.
- Singh, R. P., & Aqrwal, M. (2007). Effect of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*, 67(11), 2229–2240.
- Skousen, J., Keene, T., Marra, M., & Gutta, B. (2012). Reclamation of mined land with switchgrass, miscanthus and arundo for biofuel production. *Journal of the American Society of Mining and Reclamation*, 2(1), 177–191.
- Vogel, K. P., Sarath, G., Saathoff, A., & Mitchell, R. (2011). Switchgrass. In: Halford, N. G., & Karp, A. (Eds.). *RSC Energy and environment. Series No. 3. Energy crops*. Royal Society of Chemistry. Pp. 341–380.
- Werling, B. P., Dickson, T. L., Isaacs, R., Gaines, H., Gratton, C., Gross, K. L. (2014). Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 1652–1657.
- Wullschleger, S. D., Yin, T. M., DiFazio, S. P., Tschaplinski, T. J., Gunter, L. E., Davis, M. F., & Tuskan, G. A. (2005). Phenotypic variation in growth and biomass distribution for two advanced-generation pedigrees of hybrid poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(8), 1779–1789.
- Zhou, H., Zhou, X., Zeng, M., Liao, B., Liu, L., Yang, W., Wu, Y., Qiu, Q., & Wang, Y. (2014). Effects of combined amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on contaminated paddy soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 101, 226–232.
- Ziolkowska, J. R. (2014). Prospective technologies, feedstocks and market innovations for ethanol and biodiesel production in the US. *Biotechnology Reports*, 4, 94–98.