

АГРОНОМІЯ

УДК 633.282:631.559:620.952

Потреба проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) в елементах живлення за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України

Присяжнюк О.І.¹, Мусіч В.В.¹, Маляренко О.А.¹, Музика О.В.²,Свистунова І.В.³ , Слободянюк В.В.¹, Заришняк А.С.⁴, Сінченко В.М.¹¹ Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України² Київська спеціалізована філія Українського інституту експертизи сортів рослин³ Національний університет біоресурсів і природокористування України⁴ Національна академія аграрних наук України

Присяжнюк О.І., Мусіч В.В., Маляренко О.А., Музика О.В., Свистунова І.В., Слободянюк В.В., Заришняк А.С., Сінченко В.М. Потреба проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) в елементах живлення за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. «Агробіологія», 2023. № 1. С. 169–177.

Prisiazhniuk O., Musich V., Maliarenko O., Muzyka O., Svystunova I., Slobodyanuk V., Zaryshniak A., Sinchenko V. Nutrient requirement of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivated on marginal land of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. «Agrobiologia», 2023. no. 1, pp. 169–177.

Рукопис отримано: 06.05.2023 р.

Прийнято: 21.05.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2023-179-1-169-177

Метою дослідження було установити потребу проса прутоподібного в елементах живлення за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. Для зменшення стресу в рослин і компенсації вивнесених з урожаєм поживних речовин було застосовано такі агрозаходи: вапнування ґрунту, внесення вологоутримувального полімеру та позакореневе підживлення впродовж вегетації. Польові дослідження проводили на Уладово-Люлинській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН в 2019–2022 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний вилугуваний піскуватий середньосуглинковий, який характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом (нітратний – 16,4 мг/кг та амонійний – 38,7 мг/кг ґрунту). Вміст гумусу в орному шарі (0–30 см) становить 3,9 %. Забезпеченість рухомим фосфором низька (8,3 мг/кг ґрунту), а обмінним калієм підвищена (10,3 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового середовища кисла (рН 5,1), а Нг – 4,2 мг.екв/100 г ґрунту (підвищена).

Встановлено, що у разі застосування досліджуваних агрозаходів, спрямованих на полегшення стресового стану рослин проса прутоподібного за вирощування на кислих маргінальних ґрунтах, а саме: вапнування ґрунтів (25 % від потреби), внесення адсорбенту МахіМагін гранульований та позакореневе підживлення, досягається висока продуктивність плантації, і як наслідок – збільшене вивнесення елементів живлення з ґрунту. Загалом по досліді рослини проса прутоподібного виносили з урожаєм 57,5 кг/га азоту, 39,3 кг/га фосфору й 118,7 кг/га калію, а з відмерлою надземною та підземною біомасою в ґрунт поверталось 25,0 кг/га азоту, 17,6 кг/га фосфору й 55,8 кг/га калію. Встановлено, що застосування запропонованих агрозаходів призводить до зростання як вивесу, так і повернення поживних елементів. Зокрема, у посівах проса прутоподібного четвертого року вирощування повернення в ґрунт (у відсотках до вивесення) становило 43,6 % азоту, 44,7 % фосфору та 47,0 % калію.

Ключові слова: розкислення ґрунту, адсорбент, позакореневе підживлення.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Біоенергетичні культури вирощують по всьому світу, починаючи з початку 1990-х років, як сировину для виробництва біопалива, та складову частину відновлюваних джерел енергії [1]. Наприклад, мета заміщення 10 % викопного палива біопаливом була встановлена для Європейського Союзу до 2030 року [2] і 12 % у Сполучених Штатах до 2025 року [3]. За розрахунками експертів, поставлені цілі приведуть до зростання світового попиту на біопаливо – до 760 млн т умовного палива до 2050 року – що обумовить збільшення споживання біопалива [4].

Для задоволення попиту на біомасу вирощують багаторічні злаки, такі як міскантус і просо прутіподібне або світчграс (*Panicum virgatum* L.). Багаторічні злакові трави не потребують значної кількості води, високої родючості ґрунту, а завдяки толерантності до ґрунтових умов їх можна вирощувати на маловикористовуваних землях з бідними або деградованими ґрунтами. Це важливо, адже дозволяє продуктивним оброблюваним землям залишатися у сівозміні та бути задіяними у вирощуванні продовольчих культур [5, 6]. Також вирощування багаторічних біоенергетичних культур може збільшити секвестрацію вуглецю і, в такий спосіб, пом'якшити загальні нієквиди та їх наслідки [7–9].

Екологічні переваги біоенергетичних культур можуть бути змарновані, якщо у процесі їх вирощування вносять надлишкову кількість добрив, або ж спостерігається тривалий дефіцит поживних речовин [10]. Наслідками можуть бути вимивання азоту до водойм і збільшення викидів закису азоту (N_2O) з ґрунту – сильного парникового газу і озоноруйнівної речовини. Або ж навпаки – деградація запасів поживних елементів в ґрунті та виснаження його природної родючості [11].

Деякі дослідження показали, що з ґрунтів, зайнятих під вирощуванням багаторічних біоенергетичних культур, виділяється удвічі більше N_2O , порівняно з традиційними культурами. Отже, лише коли буде вжито заходів щодо внесення мінімальної кількості добрив, необхідних для росту біоенергетичних культур, виробництво біомаси може досягти рівня вуглецевої нейтральності або позитивної секвестрації вуглецю [10].

Дослідження варіантів удобрення засвідчили як незначну, так і значну реакцію на внесення азоту через високу варіацію початкового вмісту азоту в ґрунті. Автори також припустили, що високі втрати N від удобрен-

ня були пов'язані з надмірними дозами й невідповідними термінами внесення добрив [12–13]. Водночас, Wullschlegel et al. [14] проаналізували дані багаторічних досліджень світчграсу в США і побудували параметричну модель врожайності для оцінки врожайності біомаси залежно від дози застосування азотних добрив, впливу опадів і температури для двох екотипів світчграсу. Ця модель пояснила лише одну третину від загальної кількості отриманих у дослідженнях даних [15].

Проблемою подібних досліджень залишається пояснення експериментальної мінливості між дослідженнями, зокрема між місцями й роками з досить різними кліматичними середньорічними нормами. Наприклад, щоб експериментально вирішити цю проблему, Laurent et al. [16] скористалися еталонною культурою, вирощеною на тих самих ділянках, що і досліджувані біоенергетичні культури, і провели непрямі порівняння врожайності різних видів, вирощених на різних ділянках. Однак, не було проведено комплексного аналізу й синтезу даних щодо врожайності біоенергетичних культур, які реагують на рівні удобрення та зміну кліматичних умов.

Отже, багаторічні злакові культури є визнаним джерелом біомаси для виробництва енергії. Однак, їх переваги можуть бути знівельовані у випадку, коли надмірне або недостатнє забезпечення макроелементами призводить до економічних і екологічних проблем. З огляду на це, питанню винесення макроелементів з урожаєм біомаси слід приділити більше уваги, адже саме від показників винесення залежать розрахунки достатнього і екологічно безпечного рівня удобрення проса прутіподібного.

Метою дослідження було визначення потреби рослин проса прутіподібного в елементах живлення за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи дослідження. Польові дослідження проводили на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН у 2019–2022 рр. згідно зі схемою досліду, наведеної в таблиці 1.

Площа посівної ділянки 35 м², облікової – 25 м²; повторність – триразова. Сорт світчграсу – Морозко.

Внесення адсорбенту виконували за 2 тижні перед сівбою проса прутіподібного локально в рядки, а позакореневе підживлення рослин у фазу кушення + повторна обробка через 2 тижні.

Таблиця 1 – Схема дослід з вирощування проса прутіподібного на маргінальних ґрунтах

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант Аміно-Стар, 1,0 л/га обробка рослин у фазу кущіння
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований), 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант Аміно-Стар, 1,0 л/га. обробка рослин у фазу кущіння
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант Аміно-Стар, 1,0 л/га обробка рослин у фазу кущіння
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований), 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант Аміно-Стар, 1,0 л/га обробка рослин у фазу кущіння

Щодо визначення стандартної норми застосування вапна (D – норма вапна (CaCO_3), т/га) для розкислення ґрунту проводили розрахунки за формулою:

$$D = 0,05 \times \text{Нг} \times \text{h} \times \text{d},$$

де Нг – гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту; h – глибина орного шару, см; d – об'ємна маса ґрунту, 1,22 г/см³.

У стандартному повному варіанті застосування потрібно внести: $0,05 \times 4,2 \times 25 \times 1,22 = 6,40$ т/га вапна CaCO_3 . Тимчасом 25 % від потреби становить 1,6 т/га вапна CaCO_3 .

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний вилугуваний піскуватий середньосуглинковий, який характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом (нітратний – 16,4 мг/кг та амонійний – 38,7 мг/кг ґрунту). Вміст гумусу в орному шарі (0–30 см) становить 3,9 %. Забезпеченість рухомим фосфором низька (8,3 мг/кг ґрунту), а обмінним калієм – підвищена (10,3 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового середовища кисла (рН 5,1), а Нг підвищена – 4,2 мг-екв/100 г ґрунту. Висока кислотність, попри наявність необхідних елементів живлення в ґрунті, призводить до малодоступності рослинам основних елементів живлення та низької схожості насіння. Погодні умови в роки проведення досліджень були типовими для зони нестійкого зволоження Лісо-

степу України. Спостерігалися відхилення від середньобагаторічних показників, однак це не заважало отриманню об'єктивних експериментальних даних польових досліджень.

Вміст макроелементів (азот, фосфор, калій) в рослинах визначали за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра С-115 згідно з відповідними методиками й відповідно до ДСТУ [17].

Експериментальні дослідження проводили згідно з методикою польового дослідження та спеціальними методиками [18–20].

Результати дослідження та обговорення. Удобрення плантацій біоенергетичних культур є важливим чинником їх довготривалості й ефективної експлуатації. Хоча до завдань досліджень не входило встановлення способів та норм удобрення проса прутіподібного на маргінальних ґрунтах, ми провели оцінку виносу макроелементів рослинами з ґрунту, а також повторного надходження з опалим листям та відмерлими кореневими волосками.

Баланс елементів живлення в ґрунті досягається не лише за достатнього рівня мінерального або органічного удобрення, а також завдяки мінералізації рослинних решток. Щодо проса прутіподібного, до 30 % сформованої біомаси може втрачатись – опадати й далі мінералізуватись у ґрунті. Стосовно кореневої системи, то за високого рівня кислотності ґрунту

вона оновлюється частіше, ніж на нейтральних ґрунтах і відповідно втрачається частина підземної біомаси рослин, особливо в орному шарі ґрунту.

Проаналізуємо дані винесення макроелементів з врожаєм четвертого року проса прутоподібного (табл. 2).

Якщо проаналізувати дані таблиці 2, то, в середньому за дослід, отримували показники винесення 57,5 кг/га азоту, 39,3 кг/га фосфору і 118,7 кг/га калію, що зіставно з відповідними показниками традиційних сільськогосподарських культур.

Зважаючи на те що тип ґрунту, на якому проводили дослідження, характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом, низькою рухомим фосфором та підвищеною обмінним калієм, то загалом спостерігаємо гарну картину забезпечення елементами живлення відповідно до потреб культури. Хоча, з часом експлуатації плантацій, потреба в застосуванні добрив може виникнути щодо усіх елементів живлення. Адже висока кислотність ґрунту суттєво знижує рухомість іонів фосфору та калію, а отже і їх доступність.

Що стосується впливу елементів досліду, то загалом спостерігали підтвердження закономірності – значне накопичення біомаси призводить до більшого винесення поживних речовин, у порівнянні з контрольними варіантами досліду. Тобто вважаємо, що застосування досліджуваних агрозаходів загалом не впливало істотно на накопичення біомаси та її вищий відсоток збирання. Це логічно, тому що ми не вносили в досліді різні норми азотних чи інших мінеральних добрив, здатних змінити не лише обсяги накопичуваної біомаси, а також її структурні елементи міцності, зокрема кріплення до стебла, стійкість соломини до обламування чи стійкість стебла до вилягання тощо.

Отже, застосування додаткових агрозаходів для покращення стану рослин проса прутоподібного, загалом, призводить до зростання винесення біогенних елементів, а саме: азоту – на 10,5 кг/га, фосфору – на 7,2 кг/га та калію – на 21,7 кг/га. Тому за планування удобрення плантацій проса прутоподібного слід враховувати загальний рівень винесення елементів та коригувати його, залежно від інтенсивності технології вирощування культури.

Таблиця 2 – Винесення макроелементів з врожаєм четвертого року проса прутоподібного, кг/га

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	Азот	Фосфор	Калій
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	52,7	36,1	108,9
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	52,4	35,9	108,3
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	58,2	39,9	120,3
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	55,5	38,0	114,6
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	60,1	41,1	124,1
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	61,9	42,4	127,9
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення	53,6	36,7	110,8
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	53,6	36,7	110,8
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	60,1	41,1	124,1
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	55,8	38,2	115,3
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	62,3	42,7	128,6
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	63,2	43,3	130,5
НІР _{0,05}			3,8	2,6	7,4

Отже, як зазначено вище, вивчення закономірностей повернення біогенних елементів в ґрунт є важливим питанням для досягнення ефективності вирощування світочграсу (табл. 3).

За результатами визначення біомаси, що відмирає в процесі старіння листків проса прутноподібного під час вегетації та осипається в проміжок часу від відмирання рослин до збирання біомаси, розрахували показники повернення біогенних елементів з опалим листям.

Звичайно, що опале листя не гарантує повернення біогенних елементів власне в ґрунт, особливо це стосується азоту, мінералізація якого може відбуватися різними способами, зокрема і з виділенням аміаку. Однак потенційно оцінити такі трансформації елементів живлення досить важко, тому вважаємо, що накопичені запаси макроелементів потраплять у ґрунт і будуть повторно використані під час наступного періоду вегетації.

Таблиця 3 – Повернення біогенних елементів в ґрунт на четвертий рік вегетації проса прутноподібного, кг/га

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	З опалим листям			З відмерлими корневими волосками		
			азот	фосфор	калій	азот	фосфор	калій
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	13,1	9,5	35,9	9,8	6,6	15,5
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	12,1	8,8	33,1	10,4	7,0	16,4
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	15,0	10,9	40,9	11,1	7,5	17,5
	З адсорбентом (МахіМарін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	13,7	10,0	37,5	10,8	7,3	17,1
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	14,8	10,8	40,5	11,6	7,8	18,3
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	14,4	10,5	39,5	11,9	8,0	18,8
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення	13,2	9,6	36,1	10,1	6,8	15,9
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	13,8	10,0	37,9	10,3	6,9	16,3
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	14,8	10,8	40,6	12,1	8,1	19,1
	З адсорбентом (МахіМарін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	13,2	9,6	36,2	10,8	7,3	17,1
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	15,5	11,3	42,5	11,4	7,7	18,1
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	14,4	10,5	39,5	12,0	8,1	18,9
НІР _{0,05}			2,4	2,3	8,5	2,3	2,2	9,8

Якщо проаналізувати закономірності повернення з надземною частиною врожаю макроелементів, то в середньому по досліді отримували для надземної частини 14,0 кг/га азоту, 10,2 кг/га фосфору та 38,4 кг/га калію, а застосування додаткових агротехнічних заходів загалом приводить до зростання й повернення біогенних елементів з опалим листям, а саме: азоту на 1,3 кг/га, фосфору на 1,0 кг/га та калію на 3,7 кг/га.

Що стосується аналізу повернення біогенних елементів з відмерлими кореневими волосками, то підраховували масу кореневої системи в шарі ґрунту 0–20 см на початку вегетації культури та на час її завершення. Визначення маси кореневої системи на час завершення вегетації минулого року та встановлення цього ж показника на час відновлення вегетації в поточному році дало змогу прорахувати втрати кореневої системи під час перезимівлі рослин,

а визначення маси коренів на час завершення вегетації – динаміку змін впродовж періоду активного росту й розвитку рослин. Причому, в перші два роки коренева система активно наростала, а починаючи з третього – визначено досить великий відсоток відмирання старих корневих волосків та оновлення коренів.

Загалом визначили, що в середньому по досліді отримано для підземної частини повернення в ґрунт з відмерлими кореневими волосками 11,0 кг/га азоту, 7,4 кг/га фосфору та 17 кг/га калію, а застосування додаткових агротехнічних заходів загалом приводить до зростання й повернення біогенних елементів з відмерлою кореневою системою, а саме: азоту на 2,1 кг/га, фосфору на 1,4 кг/га та калію на 3,4 кг/га.

Наведемо дані також сумарного надходження біогенних елементів з рослинними рештками за вирощування проса прутноподібного (табл. 4).

Таблиця 4 – Сумарне надходження біогенних елементів з рослинними рештками за вирощування проса прутноподібного, кг/га

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	Азот	Фосфор	Калій
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	22,9	16,1	51,4
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	22,5	15,8	49,5
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	26,1	18,3	58,5
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	24,6	17,3	54,7
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	26,4	18,5	58,8
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	26,3	18,5	58,3
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення	23,3	16,4	52,0
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	24,1	17,0	54,1
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	26,9	18,9	59,7
	З адсорбентом (МахіМагін гранульований) 30 кг/га	Без підживлення	24,1	16,9	53,3
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га	27,0	19,0	60,6
		Гумат калію (Гуміфілд) 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	26,4	18,5	58,4
НІР _{0,05}			2,4	2,2	9,3

Якщо проаналізувати закономірності повернення макроелементів, то в середньому по досліді отримували 25,0 кг/га азоту, 17,6 кг/га фосфору та 55,8 кг/га калію, а застосування додаткових агротехнічних заходів приводить до зростання й повернення біогенних елементів, а саме: азоту на 3,5 кг/га, фосфору на 2,4 кг/га та калію на 7,0 кг/га.

Отже, посіви проса прутоподібного четвертого року вегетації втрачали частину біомаси впродовж вирощування і, в такий спосіб, у ґрунт поверталось до 43,6 % азоту, 44,7 % фосфору й 47,0 % калію від загального виносу культури.

Висновки. Встановлено, що у разі застосування досліджуваних агрозаходів, спрямованих на полегшення стресового стану рослин проса прутоподібного за вирощування на кислих маргінальних ґрунтах, а саме: вапнування ґрунтів (25 % від потреби), внесення адсорбенту МахіМагін гранульований та позакореневе підживлення, досягається висока продуктивність плантації, і як наслідок – збільшене винесення елементів живлення з ґрунту.

Загалом по досліді рослини проса прутоподібного виносили з урожаєм 57,5 кг/га азоту, 39,3 кг/га фосфору й 118,7 кг/га калію, а з відмерлою надземною та підземною біомасою поверталось 25,0 кг/га азоту, 17,6 кг/га фосфору й 55,8 кг/га калію. Застосування додаткових агрозаходів призвело до зростання як виносу, так і повернення елементів живлення. Зокрема, посіви проса прутоподібного четвертого року вегетації втрачали частину біомаси впродовж вирощування і в такий спосіб поверталось в ґрунт до 43,6 % азоту, 44,7 % фосфору та 47,0 % калію від загального рівня винесення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Lewandowski I., Scurlock J.M., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy*. 2003. 25. P. 335–361.
- Knopf B., Nahmmacher P., Schmid E. The European renewable energy target for 2030—An impact assessment of the electricity sector. *Energy Policy*. 2015. 85. P. 50–60.
- IPCC. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Summary for policy-makers. 2011.
- IEA. Technology roadmap: biofuels for transport. Paris, France: OECD Publishing, 2011.
- Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Glob Chang Biol*. 2008. 14. P. 2000–2014.
- Conversion of marginal land into switchgrass conditionally accrues soil carbon but reduces methane

consumption / C.T. Bates et al. *ISME J*. 2022. 16. P. 10–25. DOI: 10.1038/s41396-021-00916-y

- Georgescu M., Lobell D.B., Field C.B. Direct climate effects of perennial bioenergy crops in the United States. *Proc Natl Acad Sci Unit States Am*. 2011. 108. P. 4307–4312.
- Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications / J.N. Barney et al. *Plant Sci*. 2009. 177. P. 724–732.
- Ma Z., Wood C.W., Bransby D.I. Soil management impacts on soil carbon sequestration by switchgrass. *Biomass Bioenergy*. 2000. 18. P. 469–477.
- Cadoux S., Riche A.B., Yates N.E., Machet J.-M. Nutrient requirements of *Miscanthus x giganteus*: conclusions from a review of published studies. *Biomass Bioenergy*. 2012. 38. P. 14–22.
- N₂O emission from energy crop fields of *Miscanthus “Giganteus”* and winter rye / R.N. Jørgensen et al. *Atmos Environ*. 1997. 31. P. 2899–2904.
- Heaton E., Voigt T., Long S.P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy*. 2004. 27. P. 21–30.
- Miguez F.E., Villamil M.B., Long S.P., Bolleiro G.A. Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus x giganteus* growth and biomass production. *Agric For Meteorol*. 2008. 148. P. 1280–1292.
- Biomass production in switchgrass across the United States: database description and determinants of yield / S.D. Wullschlegel et al. *Agron J*. 2010. 102. P. 1158–1168.
- Empirical geographic modeling of switchgrass yields in the United States / H.I. Jager et al. *Glob Chang Biol Bioenerg*. 2010. 2. P. 248–257.
- Laurent A., Pelzer E., Loyce C., Makowski D. Ranking yields of energy crops: a meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renew Sustain Energy. Rev*. 2015. 46. P. 41–50.
- Господаренко Г.М. Практикум з агрохімії. Київ: СІК ГРУП Україна, 2020. 148 с.
- Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях / О.І. Присяжнюк та ін. Київ: Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
- Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
- Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь / Я.Д. Фучило та ін. Київ: Логос, 2018. 240 с.

REFERENCES

- Lewandowski, I., Scurlock, J.M., Lindvall, E., Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy*. no. 25, pp. 335–361.

2. Knopf, B., Nahmmacher, P., Schmid, E. (2015). The European renewable energy target for 2030—An impact assessment of the electricity sector. *Energy Policy*. no. 85, pp. 50–60.
3. IPCC. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Summary for policy-makers. 2011.
4. IEA. Technology roadmap: biofuels for transport. Paris, France: OECD Publishing, 2011.
5. Heaton, E.A., Dohleman, F.G., Long, S.P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Glob Chang Biol*. no. 14, pp. 2000–2014.
6. Bates, C.T., Escalas, A., Kuang, J. (2022). Conversion of marginal land into switchgrass conditionally accrues soil carbon but reduces methane consumption. *ISME J*. no. 16, pp. 10–25 DOI: 10.1038/s41396-021-00916-y
7. Georgescu, M., Lobell, D.B., Field, C.B. (2011). Direct climate effects of perennial bioenergy crops in the United States. *Proc Natl Acad Sci Unit States Am*. no. 108, pp. 4307–4312.
8. Barney, J.N., Mann, J.J., Kyser, G.B., Blumwald, E., Van Deynze, A., DiTomaso, J.M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture-stress: Ecological implications. *Plant Sci*. no. 177, pp. 724–732.
9. Ma, Z., Wood, C.W., Bransby, D.I. (2000). Soil management impacts on soilcarbon sequestration by switchgrass. *Biomass Bioenergy*. no. 18, pp. 469–477.
10. Cadoux, S., Riche, A.B., Yates, N.E., Machet, J-M. (2012). Nutrient requirements of *Miscanthus x giganteus*: conclusions from a review of published studies. *Biomass Bioenergy*. no. 38, pp. 14–22.
11. Jørgensen, R.N., Jørgensen, B.J., Nielsen, N.E., Maag, M., Lind, A-M. (1997). N₂O emission from energy crop fields of *Miscanthus "Giganteus"* and winter rye. *Atmos Environ*. no. 31, pp. 2899–2904.
12. Heaton, E., Voigt, T., Long, S.P. (2004). A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy*. no. 27, pp. 21–30.
13. Miguez, F.E., Villamil, M.B., Long, S.P., Boltero, G.A. (2008). Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus x giganteus* growth and biomass production. *Agric For Meteorol*. no. 148, pp. 1280–1292.
14. Wullschleger, S.D., Davis, E.B., Borsuk, M.E., Gunderson, C.A., Lynd, L. (2010). Biomass production in switchgrass across the United States: database description and determinants of yield. *Agron J*. no. 102, pp. 1158–1168.
15. Jager, H.I., Baskaran, L.M., Brandt, C.C., Davis, E.B., Gunderson, C.A., Wullschleger S.D. (2010). Empirical geographic modeling of switchgrass yields in the United States. *Glob Chang Biol Bioenerg*. no. 2, pp. 248–257.
16. Laurent, A., Pelzer, E., Loyce, C., Makowski, D. (2015). Ranking yields of energy crops: a meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renew Sustain Energy Rev*. no. 46, pp. 41–50.
17. Hospodarenko, H.M. (2020). *Praktykum z agrohimii'* [Practical workshop on agrochemistry]. Kyiv, SIK HRUP, 148 p.
18. 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). Metodologija i organizacija naukovyh doslidzhen' u sil'skomu gospodarstvi ta harchovyh tehnologijah [Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies]. Kyiv, Nilan-LTD, 300 p.
19. Ermantraut, E.R., Prysiazhniuk, O.I., Shevchenko, I.L. (2007). Statystychnyj analiz agronomichnyh doslidnyh danyh v paketi Statistica 6.0. [Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite]. Kyiv, PolihrafKonsaltnyh, 56 p.
20. Fuchylo, Ya.D., Sinchenko, V.M., Hanzhenko, O.M., Humentyk, M.Ya., Pyrkin, V.I., Prysiazhniuk O.I., Zelinskyi B.V. (2018). Metodologija doslidzhenja energetychnyh plantacij verb i topol' [Research methodology of willow and poplar energy plantations]. Kyiv, Lohos, 240 p.

Nutrient requirement of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivated on marginal land of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine

Prysiazhniuk O., Musich V., Maliarenko O., Muzyka O., Svystunova I., Slobodyanuk V., Zaryshniak A., Sinchenko V.

The study aimed to investigate the peculiarities of the nutrient requirement of switchgrass cultivated on marginal land under the application of lime, adsorbent and foliar application of fertilizers in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. The experiment was conducted in the Uladivka-Liulyntsi Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences in 2019–2022. The soil of the experimental field was deep, leached, sandy, medium-loamy chernozem with low humus content in the 0–30 cm layer (3.9 %). Mineral nitrogen content was as following: 16.4 mg/kg (nitrate) and 38.7 mg/kg (ammonium). Mobile phosphorus availability was low (8.3 mg/kg), while the content of exchange potassium was high – 10.3 mg/kg. Soil pH was 5.1, and hydrolytic acidity was high – 4.2 mg eq/100 g.

Application of lime (25 % of the required rate), MaxiMarin granulated adsorbent and foliar fertilizer aimed at the alleviation of plant stress related to soil acidity and formation of high productivity of plantations taking into account nutrient removal with harvested biomass. In the experiment, the nitrogen removal was 57.5 kg/ha, phosphorus 39.3 kg/ha and

potassium 118.7 kg/ha, while 25.0 kg/ha of nitrogen, 17.6 kg/ha of phosphorus and 55.8 kg/ha of potassium was returned to the soil with harvest residues. The application of the studied agronomic practices led to an increase in both the removal and recycling of nutrients. In the 4th vegetation season, nutrient recycling

of switchgrass (% to the nutrient removal) made up 43.6 % of nitrogen, 44.7 % of phosphorus and 47.0 % of potassium from the total removal of the crop were returned to the soil.

Key words: liming, adsorbent, foliar application of fertilizers.



Copyright: Присяжнюк О.І. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Свистунова І.В.

<https://orcid.org/0000-0001-8922-1261>