

ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ КАЛЬЦІЮ У НАДЗЕМНІЙ ВЕГЕТАТИВНІЙ МАСІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА ВИРОЩУВАННЯ НА РІЗНИХ ҐРУНТАХ

АЛЕКСЄЄВ О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-5807-4932

Вінницький національний аграрний університет

ШУВАР І.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-4149-1761

Львівський національний університет природокористування

БАХМАТ О.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-8015-1567

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ВРАДІЙ О.І. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-7383-3829

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Кальцій (Ca) є важливим макроелементом ґрунтів. Даний елемент скріплює стінки рослинних клітин між собою і є основним компонентом пектинів. Від вмісту його у рослині залежить стійкість та міцність стебла, здатність чинити опір вітру та опадам [15].

Недостатнє забезпечення ґрунтів кальцієм порушує поділ клітин. Перш за все, страждає коренева система, що супроводжується зниженням та призупиненням її росту та як наслідок засвоєння елементів живлення і води. Вкрай важливим кальцій є для бобових рослин при формування бульбочок на кореневій системі.

Не менш важливу роль встановлено і перенесення високих температур рослиною завдяки кальцію. Достатній рівень кальцію є запорукою перешкодження надходження грибків та бактерій у рослину. Кальцій відомий і як активний антагоніст витісняючи цілу низку елементів знижуючи їх шкідливу дію [2].

В ґрунтового середовища кальцій потрапляє з материнських порід у вигляді вапняків, доломітів, добрив та меліорантів. У ґрунті він перебуває в трьох станах, однак найцінніший є обмінний, що утримуються ґрунтовым вбирним комплексом та є основним резервом для рослин. Кальцій вимивається опадами (особливо на піщаних ґрунтах), що призводить до їх закислення. Тому контроль за його вмістом повинен проводитися постійно [7].

Помітна частина кальцію з ґрунтів виноситься з урожаєм сільськогосподарських культур. Високим винесенням кальцію з ґрунтів характеризуються рослини кальцієфіли, зокрема соя, люцерна, капуста, цукровий буряк та соняшник. Злакові культури, в яких кальцій накопичується переважно у стеблі виносять значно менше [9].

Винесення кальцію з ґрунтів повинно постійно компенсуватися, тобто необхідно, тобто необхідно

у ґрунт повернути ту кількість, яка винесене з урожаєм. Основним джерелом надходження у ґрунт кальцію є залишки вегетативної маси, вапнякове добриво, дефекат, кальцієва селітра та інші. Важливим елементом в тваринництві є кальцій, особливо птиці не тільки для забезпечення фізіологічних потреб існування організації для виробництва продукції, зокрема молоко, м'ясо та яйця [1, 4].

Основне джерело надходження кальцію в організм тварин є кормова сировина, особливо бобові рослини, які до 5-ти разів містять більше кальцію порівняно зі злаковими, такими як пшениця та кукурудза. Відходи від переробки насіння соняшнику (макух, шрот) також багаті на кальцій [5].

Дефіцит у раціоні тварин кальцію викликає рахіт у молодняка, остеомаляція (розм'якшення кісток) у дорослих тварин та зниження несучості птиці. Надмірне надходження кальцію в організмі тварин сприяє відкладенню солей у нирках та погіршення засвоєння цинку, міді та марганцю [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних першоджерел свідчить про важливість врахування при мінеральному живленні енергетичних культур кальцію як важливого елемента стійкості багаторічних плантацій та якістю кормової сировини та біопалива [11].

Сучасні результати досліджень показують, що кальцій в енергетичних культурах накопичується нерівномірно. Найвища частина кальцію накопичується в корі деревних енергетичних культур, таких як верба та тополя. В корі деревних енергетичних культур зосереджується до 70% кальцію [14].

Трав'янисті багаторічні енергетичні культури мають порівняно нижчий потенціал винесення кальцію з ґрунту. Найвища кількість кальцію у трав'яних багаторічних культур зосереджується у листках порівняно менше у стеблах. Інтенсивність накопи-

чення трав'яними багаторічними культурами кальцію в певній мірі залежить від ґрунтів. Виявлено вищу інтенсивність накопичення кальцію енергетичними рослинами на чорноземах та нижчу на дерново підзолистих. Тому на малогумусних та кислих ґрунтах рекомендується перед закладкою плантацій проводити обов'язкове вапнування. Достатнє забезпечення кальцієм ґрунтів знижує транслокацію токсичних елементів у надземній вегетативній масі енергетичних культур. Ранній збір урожаю у надземній вегетативній масі енергетичних культур сприяє вищому винесенню з ґрунтів кальцію, більш пізній лютий-березень сприяє переходу до 30% кальцію з надземної маси у кореневу (ризому) [17].

Велика кількість наукових досліджень підтверджують, що енергетичні культури схильні до високого накопичення кальцію. Виявлено, що навіть на ґрунтах з низьким вмістом кальцію спостерігається високий рівень накопичення даного елемента у вегетативній масі. Міскантус гігантський має здатність наприкінці вегетації до ретранслюкації, але кальцій переважно залишається в опалому листі, формуючи замкнений цикл у межах плантації. Тип ґрунту є визначальним фактором інтенсивності поглинання кальцію. Зокрема, на лучно-чорноземних та каштанових ґрунтах виявлена пряма кореляція між вмістом обмінного кальцію в ґрунті та його накопиченням у біомасі. Однак, надлишок кальцію в цих ґрунтах може блокувати засвоєння таких мікроелементів, як бор та цинк енергетичними культурами. Недостатній рівень кальцію у ґрунтах негативно позначається на інтенсивності вегетації енергетичних культур та як правило зниження до 40% урожайності [14, 15].

При спалюванні надземної вегетативної маси енергетичних культур за використання її джерело енергії отримана зола містить високий вміст кальцію. Внесення золи в ґрунти повертає до 80% кальцію винесеного з надземною вегетативною масою [10].

Тобто енергетичні культури характеризуються високою інтенсивністю накопичення кальцію у своїй біомасі, контроль, контроль заособливостями накопичення даного елемента в урожаї є важливим заходом при прогнозуванні мінерального удобрення та відновлення родючості ґрунтів після багаторічного їх використання [13].

За аналізом літературних першоджерел виявлено недостатнє вивчення особливостей накопичення кальцію у біомасі енергетичних рослин, особливо таких як сільфій пронизанолистий та мальва пенсільванська, вирощених на території України, що і сформувало мету та потреби наших досліджень [6, 12].

Мета статті – дослідження накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів та років вегетації.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження по вивченню вмісту кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур (міскантус, сільфій пронизанолистий, мальва пенсільванська) проводили протягом 2023–2025 рр. в умовах трьох типів ґрунтів (сірий лісовий, чорнозем типовий, дер-

ново підзолистий піщаний). Територія вирощування енергетичних культур включала с. Гнівани Тиврівського району, Вінницької області – сірий лісовий ґрунт. с. Станілівка Погребищенський район, Вінницька область – чорнозем типовий. с. Грозино Коростенський район, Житомирської області – дерново підзолистий піщаний ґрунт.

Формування зразків для досліджень надземної вегетативної маси енергетичних культур проводили після її збору в осінній період методом точкових проб.

Визначення кальцію у наземній вегетативній масі проводили в науково-дослідній лабораторії інституту сільського господарства Полісся УААН м. Житомир за комплексометричним методом (титрування Трилоном Б). Даний метод базується на здатності Трилону Б утворювати стабільні безбарвні комплекси з іонами кальцію в лужному середовищі. Оскільки кальцій у рослинах зв'язаний з органічними сполуками, його переводили у розчинну мінеральну форму. Рослинну масу спалювали у муфельній печі при температурі 500–550°C до отримання білого попелу. Отриманий попіл розчинили у хлоридній кислоті (HCl), фільтрували та доводили до певного об'єму дистильованою водою.

ГОСТ 26570-95 (в Україні діє як ДСТУ ГОСТ 26570:2004) є базовим документом для лабораторій агрохімічного профілю. Згідно стандарту це атомно-абсорбційна спектрометрія (ААС). Саме цей метод найчастіше використовують у сучасних лабораторіях, оскільки він надзвичайно швидкий та точний.

Результати досліджень. Результати досліджень з вивчення інтенсивності накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичних культур показали певний вплив, як самої культури, так і типу ґрунтів. Виявлені також певні відмінності вмісту кальцію у надземній вегетативній масі залежно від років вегетації рослин.

Вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантуса, вирощеного на сірих лісових ґрунтах виявився найвищим за першого року вегетації – 0,34%, тоді як на другому і третьому роках вегетації даний показник був нижчим у 1,21 рази та 1,54 рази відповідно.

На чорноземі типовому у вирощеній вегетативній масі міскантуса вміст кальцію за другої та третьої вегетації був нижчим у 1,55 рази і 1,55 рази відповідно порівняно з першим роком вегетації. Подібна тенденція спостерігалась і в умовах дерново підзолистих піщаних ґрунтах у вирощеній на них надземній вегетативній масі міскантуса вміст кальцію на другому та третьому роках вегетації був нижчим у 1,76 рази та 1,85 рази відповідно порівняно з першим роком вегетації. Тобто, виявлена певна тенденція зниження вмісту кальцію на другому та третьому році вегетації порівняно з першим роком.

Найвищим вмістом кальцію характеризувалась надземна вегетативна маса міскантуса, вирощеного на сірих лісових ґрунтах за другої та третьої вегетації, тоді як за першої вегетації на дерново підзолистих піщаних ґрунтах. За першого року вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантуса вирощеного на дерново підзолистому піщаному

ґрунті був вищим у 1,32 рази і 1,08 рази порівняно з аналогічною сировиною вирощеною на чорноземі типовому та сірому лісовому ґрунтах. На другому і третьому році вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантусу вирощеного в умовах сірих лісових ґрунтів був вищим порівняно з чорноземом типовим у 1,55 рази і 1,33 рази та дерново підзолистим піщаним у 1,55 рази і 1,1 рази відповідно.

Результати досліджень наведені в табл. 2 показують, що вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах та чорноземі типовому протягом першого року вегетації склав 1,37% та 1,29% тоді, як на другому році вегетації даний показник підвищився у 1,22 рази і 1,14 рази та третьому році у 1,21 рази і 1,1 рази відповідно.

У вирощеній на дерново-підзолистих ґрунтах надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого першого року вегетації вміст кальцію склав 1,16% тоді, як на другому та третьому році вегетації даний показник був нижчий у 1,04 рази та 1,15 рази відповідно.

Найвищий вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого протягом трьох років вегетації спостерігався на сірих лісових ґрунтах. Так, у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на чорноземі типовому вміст кальцію був нижчий першого, другого та третього року вегетації у 1,06 рази, 1,12 рази та 1,16 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірому лісовому ґрунті.

За вирощування сільфію пронизанолістого на дерново підзолистому піщаному ґрунті вміст кальцію у надземній вегетативній масі першого, другого та третього року вегетації був нижчим у 1,18 рази, 1,5 рази та 1,64 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових ґрунтах. В середньому за 2023-2025 рр. вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах склав

1,56%, тоді як на чорноземі типовому та дерново підзолистому піщаному ґрунті даний показник був нижчим у 1,11 рази та 1,43 рази. Тобто, за результатом досліджень, встановлена чітка тенденція найвищого вмісту кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах, а найнижчого – на дерново підзолистому піщаному ґрунті.

Деякі інші показники по вмісту кальцію виявлено у вегетативній масі мальви пенсільванської (табл. 3). Зокрема, виявлена чітка тенденція зниження вмісту кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської із збільшенням років вегетації. Поряд з цим, необхідно відмітити, що найвищий вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської виявлено за її вирощування на чорноземі типовому. Так, вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської другого і третього року вегетації на сірих лісових ґрунтах був нижчим у 1,53 рази і 1,33 рази, чорноземі типовому – у 1,51 і 1,57 рази та дерново підзолистому піщаному у 1,6 рази та 1,86 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною першого року вегетації. На чорноземі типовому у вирощеній за першого року вегетації надземній вегетативній масі мальви пенсільванської вміст кальцію склав 0,88%, тоді як в аналогічній сировині одержаній на сірих лісових ґрунтах та дерново підзолистих піщаних даний показник був нижчим у 1,69 і 1,1 рази відповідно. На другому році вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви був у межах 0,58%, що у 1,7 рази і 1,16 рази вище порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових та дерново підзолистих ґрунтах. За третього року вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської був вищим на чорноземах типових і склав 0,56%, що вище порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових ґрунтах та дерново підзолистих піщаних у 1,43 рази і 1,30 рази відповідно.

Таблиця 1 – Вміст кальцію у вегетативній масі міскантусу, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	0,42 0,34 0,30 0,30	0,34 ± 0,05	0,24 0,27 0,31 0,30	0,28 ± 0,03	0,24 0,27 0,21 0,19	0,22 ± 0,04	0,28
Чорнозем типовий	0,29 0,30 0,24 0,32	0,28 ± 0,03	0,18 0,19 0,20 0,18	0,18 ± 0,01	0,17 0,22 0,19 0,16	0,18 ± 0,01	0,21
Дерново підзолистий піщаний	0,32 0,35 0,41 0,40	0,37 ± 0,04	0,21 0,20 0,20 0,22	0,21 ± 0,01	0,19 0,23 0,21 0,16	0,20 ± 0,03	0,26

Таблиця 2 – Вміст кальцію у вегетативній масі сільфію пронизанолістого, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	1,44 1,30 1,22 1,53	1,37 ± 0,14	1,71 1,63 1,60 1,74	1,67 ± 0,07	1,66 1,72 1,68 1,61	1,66 ± 0,02	1,56
Чорнозем типовий	1,44 1,32 1,11 1,29	1,29 ± 0,14	1,52 1,43 1,44 1,56	1,48 ± 0,03	1,44 1,49 1,42 1,38	1,43 ± 0,04	1,40
Дерново підзолистий піщаний	1,03 1,22 1,27 1,13	1,16 ± 0,11	1,14 1,02 1,21 1,07	1,11 ± 0,04	1,00 1,16 0,98 0,92	1,01 ± 0,05	1,09

Таблиця 3 – Вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	0,63 0,51 0,48 0,49	0,52 ± 0,07	0,33 0,37 0,35 0,31	0,34 ± 0,03	0,40 0,44 0,38 0,35	1,66 ± 0,04	0,41
Чорнозем типовий	0,97 0,80 0,88 0,90	0,88 ± 0,07	0,60 0,55 0,57 0,61	0,58 ± 0,03	0,55 0,62 0,58 0,52	0,56 ± 0,02	0,67
Дерново підзолистий піщаний	0,83 0,74 0,91 0,73	0,80 ± 0,08	0,47 0,52 0,50 0,54	0,50 ± 0,01	0,34 0,40 0,37 0,28	0,43 ± 0,03	0,57

Характеризуючи середній вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської за 2023-2025 роки вегетації необхідно відмітити, що даний показник на чорноземі типовому склав 0,67% тоді, як у аналогічній сировині одержаній на сірому лісовому ґрунті та дерново підзолистому піщаному даний показник був нижчий у 1,63 рази та 1,17 рази відповідно.

Висновки. Встановлено, що вміст у надземній вегетативній масі міскантусу вирощеного на різних ґрунтах (сірий лісовий, чорнозем типовий, дерново підзолистий піщаний) кальцію був у межах від 0,21% до 0,28%. Найвищий вміст кальцію 0,28% виявлено у надземній вегетативній масі міскантусу в середньому за три роки вегетації вирощеного на сірих лісових ґрунтах порівняно нижчі показники у 1,33 рази і 1,07 рази на чорноземі типовому та дерново підзолистому піщаному ґрунті. За вирощування сільфію пронизанолістого найвищий вміст кальцію 1,56% виявлено за вирощування на сірих лісових ґрунтах порівняно нижчі на чорноземі типо-

вому у 1,11 рази та дерново підзолистих піщаних у 1,43 рази. У надземній вегетативній масі мальви пенсільванської найвищий вміст кальцію спостерігався за вирощування даної культури на чорноземі типовому порівняно нижчий у 1,63 рази на сірому лісовому та 1,17 рази на дерново підзолистому піщаному ґрунті. В зростаючій регресії вмісту кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур вирощених на різних ґрунтах спостерігається наступна: послідовність міскантус→мальва пенсільванська→сільфій пронизанолістий.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ястремська Л.С., Пришляк Р.І., Федонюк Ю.В. Міскантус – енергетична культура для отримання біопалива. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2017. №1. С.1–16. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2017_1_3
2. Razanov S., Aliksieiev O., Lykhochvor V., Vradii O., Razanova A., Datsko T., Holubieva T. Assessment of mineral composition of grey forest soils under energy crops

in the Western Forest Steppe of Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2025. Vol. 82, Issue 2. P. 771–777. DOI: 10.1080/00207233.2024.2445412

3. Ткаченко Т. В., Євдокименко В. О., Каменських Д. С., Філоненко М. М., Вахрін В. В., Кашковський В. І. Переробка рослинних відходів різного походження. *Наука та інновації*. 2018. № 2. С. 51-66. doi:10.15407/scin14.02.051

4. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В., Тарасенко О.А. Водоспоживання енергетичних культур. *Science, world view and modern youth*. 2023. №8 (8). С. 15-19.

5. Риженко Н.В., Прошчалікіна А.М. Тенденції розвитку біоенергетики в Україні. *Вісник ЧНУ ім. Б. Хмельницького. Серія «Економічні науки»*. 2019. № 4. С. 163–171. DOI: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171

6. Полянський О. С., Д'яконов В.І., Д'яконов О.В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. № 190. С. 192-202.

7. Razanov S., Aliksieiev O., Bakhmat O., Bakhmat M., Lytvyn O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Razanova A., Mazurak I. Accumulation of chemical elements in the vegetative mass of energy cultures grown on gray forest soils in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (9). P. 282–291. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/191439>

8. Марчук О.О., Бойко І.І., Гончарук Г.С. Якісні характеристики енергетичних культур. *Цукрові буряки*. 2017. № 2. С. 11–12.

9. Мазур В.А., Ганженко О.М., Шляхтуров Д.С. Стан і перспективи розвитку технологій вирощування біоенергетичних культур в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Т. 1. № 7. С. 6–18.

10. Браніцький Ю.Ю., Мазур О.В. Кількісні показники рослин проса лозовидного за різних технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 12. С. 28–43.

11. Нікітенко М.П., Аверчев О.В. Впровадження елементів біологізації в рослинництві як чинник підвищення кваліфікації в умовах глобальних змін клімату. Збірник тез IV Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» – Україна, м. Київ (21 квітня 2021р.). С. 193–196. <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/6389>

12. Бульо В.С., Сорочинський В.В., Оліфір Ю.М. Роль нетрадиційних органічних добрив у регулюванні родючості сірих лісових ґрунтів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2008. Вип. 50. С. 12-20.

13. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства: монографія. Вінниця. ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

14. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В. Особливості вирощування міскантусу гігантського на осушуваних органічних ґрунтах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. Том 97. №8. 2019. С. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-10>

15. Aliksieiev O.O., Vradii O.I. Organic agriculture as an element of soil preservation and restoration. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 3 (30). С. 228–239. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-3-17

16. Перець С.В. Міскантус гігантський – перспективи вирощування на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфових ґрунтів Лісостепу. III-я Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування», присвячена пам'яті професора С.Т. Вознюка та 95-річчю з Дня народження, 29-30 вересня 2022 року Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне. НУВГП. 2023. С. 96-97.

17. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povochnikov M., Postoienco D., Zelisko O. The content of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (6). P. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>

REFERENCES:

1. Iastremska L.S., Pryshliak R.I., Fedoniuk Yu.V. (2017) Miskantus – enerhetychna kultura dlia otrymannia biopalyva [Miscanthus – an energy crop for biofuel production]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*. №1. S.1–16. [in Ukrainian].

2. Razanov S., Aliksieiev O., Lykhochvor V., Vradii O., Razanova A., Datsko T., Holubieva T. (2025) Assessment of mineral composition of grey forest soils under energy crops in the Western Forest Steppe of Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. Vol. 82, Issue 2. P. 771–777. doi: 10.1080/00207233.2024.2445412

3. Tkachenko T.V., Yevdokymenko V.O., Kamenskykh D.S., Filonenko M.M., Vakhryn V.V., Kashkovskiy V.I. (2018) Pererobka roslynnykh vidkhodiv riznoho pokhodzhennia [Processing of plant waste of various origins]. *Nauka ta innovatsii*. № 2. S. 51-66. doi:10.15407/scin14.02.051 [in Ukrainian].

4. Virovka V.M., Opanasenko O.H., Perets S.V., Tarasenko O.A. (2023) Vodospozhyvannia enerhetychnykh kultur [Water consumption of energy crops]. *Science, world view and modern youth*. №8 (8). S. 15-19. [in Ukrainian].

5. Ryzhenko N.V., Proshchalykina A.M. (2019) Tendentsii rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. *Visnyk ChNU im. B. Khmelnytskoho* [Trends in the development of bioenergy in Ukraine]. *Seriia «Ekonomichni nauky»*. № 4. S. 163–171. doi: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171 [in Ukrainian].

6. Polianskyi O.S., Diakonov V.I., Diakonov O.V. (2018) Kompleksna otsinka i analiz enerhetychnykh pokaznykiv isnuuyuchykh tekhnolohii pererobky roslynnykh vidkhodiv u palyvni brykety [Comprehensive assessment and analysis of energy performance of existing technologies for processing plant waste into fuel briquettes]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*. № 190. S. 192-202. [in Ukrainian].

7. Razanov S., Aliksieiev O., Bakhmat O., Bakhmat M., Lytvyn O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Razanova A., Mazurak I. (2024) Accumulation of chemical

elements in the vegetative mass of energy cultures grown on gray forest soils in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25 (9). P. 282–291. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/191439>

8. Marchuk O.O., Boiko I.I., Honcharuk H.S. (2017) Yakisni kharakterystyky enerhetychnykh kultur [Qualitative characteristics of energy crops]. *Tsukrovi buriaky*. № 2. S. 11–12. [in Ukrainian].

9. Mazur V.A., Hanzhenko O.M., Shliakhturov D.S. (2017). Stan i perspektyvy rozvytku tekhnologii vyroshchuvannya bioenerhetychnykh kultur v Ukraini [Status and prospects for the development of bioenergy crop cultivation technologies in Ukraine]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. T. 1. № 7. S. 6–18. [in Ukrainian].

10. Branitskyi Yu.Iu., Mazur O.V. (2019) Kilkisni pokaznyky roslyn prosa lozovydnogo za riznykh tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannya [Quantitative indicators of vine millet plants under different technological cultivation methods]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. № 12. C. 28–43. [in Ukrainian].

11. Nikitenko M.P., Averchev O.V. (2021) Vprovadzhennia elementiv biolohizatsii v roslynnytstvi yak chynnyk pidvyshchennia kvalifikatsii v umovakh hlobalnykh zmin klimatu [Introduction of elements of biologization in crop production as a factor of professional development in the context of global climate change]. *Zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Klimatychni zminy ta sil'ske hospodarstvo. Vyklyky dlia aharnoï nauky ta osvity» – Ukraina, m. Kyiv (21 kvitnia 2021r.)*. S. 193–196. [in Ukrainian].

12. Bulov V.S., Sorochynskyi V.V., Olifir Yu.M. (2008) Rol netradytsiinykh orhanichnykh dobryv u rehuliuванні rodiuchosti sirykh lisovykh gruntiv [The role of non-traditional organic fertilizers in regulating the fertility of gray forest soils]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynytstvo*. Vyp. 50. C. 12-20. [in Ukrainian].

13. Tsytsiura Ya.H., Neilyk M.M., Didur I.M., Polishchuk M.I. (2022) Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsii suchasnykh system zemlerobstva [Sideration as a basic component of biologization of modern agricultural systems]: monohrafiia. *Vinnytsia. TOV «Druk»*, 770 s. [in Ukrainian].

14. Virovka V.M., Opanasenko O.H., Perets S.V. (2019) Osoblyvosti vyroshchuvannya miskantusu hihantskoho na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh Livoberezhnoho Lisostepu [Peculiarities of growing giant miscanthus on drained organic soils of the Left-Bank Forest-Steppe]. *Visnyk aharnoï nauky*. Tom 97. №8. S. 60-66. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-10> [in Ukrainian].

15. Aliksieiev O.O., Vradii O.I. (2023) Organic agriculture as an element of soil preservation and restoration. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. № 3 (30). S. 228–239. doi: [10.37128/2707-5826-2023-3-17](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-3-17)

16. Perets S.V. (2023) Miskantus hihantskyi – perspektyvy vyroshchuvannya na enerhetychni tsili v umovakh osushuvanykh torfovykh gruntiv Lisostepu [Miscanthus giganteus – prospects for cultivation for energy purposes in conditions of drained peat soils of the Forest-Steppe]. *III-ya Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia «Naukovoinnovatsiinyi suprovod zbalansovanoho pryrodokorystuvannia»*, prysviachena pamiaty profesora S.T. Vozniuka ta

95-richchiu z Dnia narodzhennia, 29-30 veresnia 2022 roku Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Rivne. NUVHP. S. 96-97. [in Ukrainian].

17. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povoznikov M., Postoienko D., Zelisko O. (2024) The content of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25 (6). P. 42–50. [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>

Алексєєв О.О., Шувар І.А., Бахмат О.М., Врадїй О.І. Інтенсивність накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур за вирощування на різних ґрунтах

Мета статті – дослідження накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів та років вегетації.

Методи. Дослідження вмісту кальцію в надземній масі міскантусу, сільфію пронизанолистого та мальви пенсільванської проводили протягом 2023–2025 рр. на базі трьох типів ґрунтів: сірий лісовий (с. Гнівань, Вінницька обл.); чорнозем типовий (с. Станілівка, Вінницька обл.); дерново-підзолистий піщаний (с. Грозино, Житомирська обл.).

Зразки рослинної маси відбирали восени методом точкових проб. Лабораторний аналіз виконували в Інституті сільського господарства Полісся НААН (м. Житомир) за допомогою комплексометричного титрування Трилоном Б.

Для підготовки проб рослинну масу мінералізували шляхом спалювання в муфельній печі при 500–550°C. Отриманий зольний залишок розчиняли в хлоридній кислоті (HCl) з наступним фільтруванням та доведенням до робочого об'єму. У наших дослідженнях було застосовано класичний комплексометричний метод.

Результати. Енергетичні культури через високу урожайність помітно впливають на агрохімічний стан ґрунтів, що супроводжується зміною їх складу. Одним із важливих елементів є кальцій, особливо на ґрунтах з високим рН середовищем. Тому контроль за винесенням вегетативною масою енергетичних культур з ґрунтів кальцію є важливим завданням для прогнозованого їх відновлення та використання в перспективі.

Досліджено інтенсивність накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичними культурами (міскантус, сільфія пронизанолистя, мальва пенсільванська) вирощених на різних ґрунтах (сірий лісовий, чорнозем типовий, дерново-підзолистий піщаний).

Виявлено чітку тенденцію до накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів, культури та років вегетації. За вирощування міскантусу на сірому лісовому ґрунті, чорноземі типовому та дерново-підзолистому піщаному ґрунті найвищий вміст кальцію виявлено за першого року вегетації, на другий та третій рік спостерігалось поступове зниження, найвищий вміст кальцію у вегетативній масі міскантусу за першого року вегетації виявлено на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах, тоді як на другий та третій рік на сірих лісових ґрунтах.

Вміст у вегетативній масі сільфію пронизанолистя вирощеної на сірих лісових ґрунтах та

чорноземі типовому із збільшенням років вегетації (1-3) підвищувався тоді, як на дерново-підзолистих навпаки знижувався. Найвищий вміст кальцію виявлено у вегетативній масі сільфії пронизанолистого протягом всіх трьох років вегетації вирощеного на сірих лісових ґрунтах.

У надземній вегетативній масі мальви пенсільванської вирощеної на сірих лісових ґрунтах, чорноземі типовому та дерново-підзолистому ґрунтах вміст кальцію на другому та третьому роках вегетації знижувався порівняно з першим роком вегетації. Найвищий вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської спостерігався за вирощування даної культури на чорноземі типовому.

Висновки. Результати досліджень показали, що концентрація кальцію в надземній масі міскантусу варіювала від 0,21% до 0,28% залежно від типу ґрунту. Максимальний показник (0,28%) зафіксовано на сірих лісових ґрунтах, що в 1,33 та 1,07 раза перевищує значення, отримані на чорноземах типових і дерново-підзолистих піщаних ґрунтах відповідно. Для сільфії пронизанолистого також характерний найвищий вміст кальцію на сірих лісових ґрунтах (1,56%), тоді як на чорноземах він був нижчим у 1,11 раза, а на дерново-підзолистих – у 1,43 раза. На відміну від попередніх культур, мальва пенсільванська накопичувала найбільше кальцію на чорноземах типових; на сірих лісових та дерново-підзолистих ґрунтах цей показник був меншим у 1,63 та 1,17 раза відповідно. Загалом, за здатністю до накопичення кальцію досліджувані культури утворюють такий зростаючий ряд: міскантус → мальва пенсільванська → сільфії пронизанолистий.

Ключові слова: вирощування, енергетичні культури, кальцій, ґрунти, вегетативна маса.

Aliexsieiev O.O., Shuvar I.A., Bakhmat O.M., Vradii O.I. Intensity of calcium accumulation in the above-ground vegetative mass of energy crops when grown on different soils

The purpose of the article is to study the accumulation of calcium in the aboveground vegetative mass of energy crops depending on the type of soil and years of vegetation.

Methods. The study of calcium content in the above-ground mass of *Miscanthus x giganteus*, *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum* was carried out during 2023–2025 on the basis of three types of soils: gray forest (village Hnivan, Vinnytsia region); typical black soil (village Stanylivka, Vinnytsia region); so podzolic sandy (village Grozyno, Zhytomyr region).

Plant mass samples were taken in the fall by spot sampling method. Laboratory analysis was performed at the Institute of Agriculture of Polissya NAAS (Zhytomyr) using complexometric titration with Trilon B.

To prepare the samples, the plant mass was mineralized by burning in a muffle furnace at 500–550°C. The obtained ash residue was dissolved in hydrochloric acid (HCl) with subsequent filtration and adjustment to the working volume. In our studies, the classical complexometric method was used.

Results. Energy crops, due to their high yield, significantly affect the agrochemical state of soils, which is accompanied by a change in their composition. One of the important elements is calcium, especially on soils with a high pH environment. Therefore, control over the removal of calcium by the vegetative mass of energy crops from calcium soils is an important task for their predicted recovery and use in the future.

The intensity of calcium accumulation by the aboveground vegetative mass of energy crops (*Miscanthus x giganteus*, *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*) grown on different soils (gray forest, typical black soil, sod podzolic sandy) was studied.

A clear trend towards the accumulation of calcium by the aboveground vegetative mass of energy crops depending on the type of soil, crop and years of vegetation was revealed. When growing miscanthus on gray forest soil, typical chernozem and soddy-podzolic sandy soil, the highest calcium content was found in the first year of vegetation, in the second and third years a gradual decrease was observed, the highest calcium content in the vegetative mass of *Miscanthus x giganteus* in the first year of vegetation was found on soddy-podzolic sandy soils, while in the second and third years on gray forest soils.

The content in the vegetative mass of *Silphium perfoliatum* grown on gray forest soils and typical chernozem with increasing years of vegetation (1-3) increased, while on soddy-podzolic, on the contrary, it decreased. The highest calcium content was found in the vegetative mass of *Silphium peneplain* during all three years of vegetation grown on gray forest soils.

In the above-ground vegetative mass of *Sida hermaphrodita* grown on gray forest soils, typical chernozem and sod-podzolic soils, the calcium content in the second and third years of vegetation decreased compared to the first year of vegetation. The highest calcium content in the above-ground vegetative mass of *Sida hermaphrodita* was observed when this crop was grown on typical chernozem.

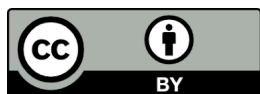
Conclusions. The results of the studies showed that the calcium concentration in the above-ground mass of *Miscanthus x giganteus* varied from 0.21% to 0.28% depending on the type of soil. The maximum indicator (0.28%) was recorded on gray forest soils, which is 1.33 and 1.07 times higher than the values obtained on typical chernozem and sod-podzolic sandy soils, respectively. *Sida hermaphrodita* is also characterized by the highest calcium content on gray forest soils (1.56%), while on chernozems it was 1.11 times lower, and on sod-podzolic soils – 1.43 times. Unlike previous crops, *Sida hermaphrodita* accumulated the most calcium on typical chernozems; on gray forest and sod-podzolic soils this indicator was 1.63 and 1.17 times lower, respectively. In general, the studied crops form the following increasing series in terms of their ability to accumulate calcium: *Miscanthus x giganteus* → *Sida hermaphrodita* → *silphium pendulous*.

Key words: cultivation, energy crops, calcium, soils, vegetative mass.

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0