

БІОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ВНЕСЕННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД ПІД СИЛЬФІЮ ПРОНИЗАНОЛИСТУ (*SILPHIUM PERFOLIATUM* L.) НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

В.І. Лопушняк¹, Г.М. Грицуляк², Г.М. Джус³

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: lorpushniak@i.ua; ORCID: 0000-0001-9596-8169

² Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(м. Івано-Франківськ, Україна)
e-mail: griutsulyaka@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2463-4772

³ Івано-Франківський коледж ЛНАУ (м. Івано-Франківськ, Україна)
e-mail: ataman1977@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4211-3148

У багатьох країнах світу приділяють значну увагу пошуку та використанню альтернативних джерел енергії, які б могли замінити викопні вуглеводні: нафту та газ. Вирощена біомаса зелених рослин розглядається як альтернативне джерело енергії для виробництва біопалива. Однією з енергетичних культур, яка здатна формувати високі врожаї біомаси та може використовуватися в якості джерела біосировини, є сільфія пронизаноліста. Дослідженнями визначено біоенергетичну ефективність вирощування сільфії пронизанолістої за внесення різних норм осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. Проведено порівняльний аналіз морфометричних показників рослин сільфії пронизанолістої, а саме зміни висоти та діаметра пагонів, довжини та ширини листків, визначено її продуктивність та вихід енергії з біомасою сільфії пронизанолістої, а також проведено статистичний аналіз експериментальних показників. Встановлено, що внесення під сільфію пронизанолісту добрив на основі осаду стічних вод та соломи у нормі 30–40 т/га та мінеральних добрив $N_{10-50}P_{14-52}K_{58-74}$ забезпечує підвищення продуктивності культури на рівні 20,5–22,4 т/га, найвищий вихід валової енергії 356–385 ГДж/га з біомасою та найвищі показники енергетичної ефективності. Коефіцієнт енергетичної ефективності при цьому становить 1,2–1,3, а його кореляційна залежність від виходу сухої біомаси та запасів енергії в гумусі є тісною. На основі польових досліджень складено математичне рівняння прогнозу біоенергетичної ефективності залежно від норм внесення осаду стічних вод, визначено коефіцієнти енергетичної ефективності на основі виходу сухої біомаси та запасів енергії в гумусі дерново-підзолистого ґрунту.

Ключові слова: біоенергетична оцінка, осад стічних вод, сільфія пронизаноліста, гумус, гумінові кислоти, фульвокислоти, продуктивність.

ВСТУП

В Європі виробництво енергії з біомаси отримало всебічну підтримку і є одним із шляхів вирішення глобальної проблеми сучасності — енергетичної кризи. Світовий досвід доводить ефективність і перспективність вирощування біомаси як сировини для виробництва теплової та електричної енергії [1; 2]. Найповнішу оцінку технології вирощування і продуктивності куль-

тур дає показник виходу енергії з урожаєм енергетичних культур [3]. У країнах Європейського Союзу вже закладено сотні тисяч гектарів енергетичних плантацій і їх площі щорічно зростають. В Україні, за різними оцінками, близько 8 млн га малопродуктивних земель, які можна успішно використати під енергетичні культури [4; 6–7]. Нарощення обсягів вирощення біопалива в Україні і, передусім, широке запровадження у виробництво плантацій швид-

коростучих енергетичних культур постає надзвичайно актуальним і необхідним у нинішніх економічних умовах [8–10; 12].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед енергетичних культур на сьогодні перспективною є сільфія пронизаноліста [14; 15–17]. Досліджувана культура є невибаглива до умов вирощування, відзначається екологічною пластичністю, багаторічна, формує високі врожаї біомаси та може бути використана в якості джерела біосировини. У перший рік після сівби сільфія пронизаноліста росте не швидко, формуючи лише прикореневу розетку листків [11; 13–15]. На другий рік і надалі вона здатна формувати великі та стабільні врожаї біомаси. Стебло сільфії може сягати триметрової висоти, а врожайність понад 100 т/га зеленої маси [17; 18]. Сільфія пронизаноліста (*Silphium perfoliatum* L.) — перспективна багаторічна культура, яка у природних умовах росте в американських преріях і в Канаді. В Європу її завезли у XVIII ст. як декоративну рослину. У ботанічних садах Чернівецького та Львівського університетів сільфія пронизаноліста росте понад 60 років [12; 14–16]. Ця рослина часто зустрічається у вологих місцях центральної частини північноамериканських прерій, а також біля південних кордонів Східної Канади, переважно по берегах річок і озер. Рослина може вегетувати без пересівання, не знижуючи врожаю біомаси, до 20 років. Її використовують для виготовлення силосу й вітамінного борошна, також її можна з успіхом використовувати як енергетичну культуру [6; 8; 15; 19].

Це вологолюбна, пізньостигла, холодостійка культура. Витримує зимові морози до 30–35°C. Добре росте на низинних заплавах, лучних торфових ґрунтах. Витримує нетривале затоплення до 15 днів. Багато дослідників вважають, що для формування високого врожаю біомаси оптимальними показниками середньодобової температури в період вегетації є 10–15°C [14; 16; 26].

Згідно з літературними даними [5] за внесення $N_{120}P_{30}K_{60}$ під час вирощування сільфії пронизанолістої вихід енергії рівний 468160 Мдж/га, енергетичний коефіцієнт при цьому становив 13,2. Ефективність вирощування енергетичних культур залежить від удобрення [11; 16; 18]. За хімічним складом осад стічних вод містить необхідні для розвитку рослин мікроелементи, які потенційно можуть бути використані в якості добрива. Суха речовина активного мулу містить 70–90% органічних і 10–30% неорганічних речовин. Сучасні технології дають змогу утилізувати осад стічних вод як добриво з економічною користю [14; 19].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета досліджень — визначити вплив удобрення на основі осаду стічних вод на біоенергетичну ефективність вирощування сільфії пронизанолістої.

Дослідження проводили у 2016–2019 рр. на дерново-підзолистих ґрунтах в с. Майдан (ст. Ценжів) Тисменицького р-ну Івано-Франківської обл. Загальна площа дослідної ділянки 63 м².

Схема польових дослідів включає 10 варіантів у триразовій повторності:

- 1 — контроль;
- 2 — $N_{60}P_{60}K_{60}$;
- 3 — $N_{90}P_{90}K_{90}$;
- 4 — ОСВ 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$;
- 5 — ОСВ 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$;
- 6 — ОСВ 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$;
- 7 — компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$;
- 8 — компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 30 т/га + $N_{30}K_{55}$.

Варіанти 3–8 збалансовані за внесенням основних елементів живлення $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Схема дослідів передбачала вивчення продуктивності та біоенергетичної ефективності вирощування сільфії пронизанолістої, залежно від норми внесення осадів стічних вод та компостів на їх основі.

Під час проведення експериментальних досліджень використовували традиційні методики визначення. Вимірювання висоти рослин проводили за допомогою

мірної рейки з точністю до 1 см, а діаметри — електронним штангенциркулем з точністю 0,1 мм, врожайність біомаси — електронними вагами з точністю до 1 г. Фракційно-груповий склад гумусу визначали за методикою І. В. Тюріна, для оцінки енергетичного стану гумусу використано рівняння Орлова–Грішиної в модифікації Орлова [21], що враховує якісний склад гумусу й теплоємність усіх груп гумусових сполук.

Добуток енергії, яка міститься в кілограмі сухої речовини на величину врожаю основної та побічної продукції дав кількість валової енергії, акумульованої плантацією вирощування сільфії пронизанолістої. Коефіцієнт біоенергетичної ефективності визначали за методикою О.С. Болотських і М.М. Довгаль, а саме вираховували його як відношення валової енергії, акумульованої врожаєм, до енергетичних витрат на виробництво біомаси з одиниці площі [6; 7; 12]. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин проводили за Методикою державного сорто випробування сільськогосподарських культур [3; 9].

Технологія вирощування була енергоощадною, тобто забезпечувався мінімальний рівень витрат сукупної енергії на одиницю продукції. На одиницю витраченої сукупної енергії в процесі вирощування високопродуктивних енергетичних куль-

тур припадає від 3–6 одиниць акумульованої енергії [2; 4; 7].

Під час проведення фенологічних спостережень, початок кожної фази росту й розвитку встановлювали після її настання у 10% рослин, повну — у 75% рослин. Статистичний аналіз експериментальних даних виконували за допомогою програм Microsoft Excel, Statistika [1; 2].

Агротехніка в досліді поєднувала в перший рік дискування площі дослідної ділянки, внесення добрив та проведення культивування, прополювання міжрядь у міру забур'яненості, а в наступні роки — тільки скошування рослин на час закінчення вегетації.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ґрунт дослідного поля — дерново-підзолистий середньосуглинковий зі вмістом в орному шарі (0–20 см) гумусу 1,70%, азоту лужногідролізованих сполук — 67 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору та сполук обмінного калію (за Чириковим) — 174 і 172 мг/кг ґрунту відповідно, рН 4,8, гідролітична кислотність — 3,10 ммоль/100 г ґрунту.

За результатами фенологічних спостережень за ростом і розвитком сільфії пронизанолістої виявлено, що внесення добрив на основі осаду стічних вод, суттєво впливало на біометричні показники рослин (табл. 1).

Таблиця 1. Біометричні показники сільфії пронизанолістої за внесення добрив на основі осаду стічних вод, середнє за 2016–2019 рр.

Варіант	Висота рослин, м	Кількість листків, шт.	Діаметр стебла біля основи / на висоті 1 м, см	Середня довжина / ширина листка, см
Без добрив — контроль	2,10	14	1,1/0,9	24,8/12,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,24	15	1,1/0,9	25,1/12,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	2,36	15	1,2/1,0	25,6/12,9
ОСВ — 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	2,29	15	1,2/1,0	26,4/13,6
ОСВ — 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	2,46	16	1,2/1,1	26,9/14,1
ОСВ — 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	2,67	17	1,3/1,2	27,5/14,9
Компост (ОСВ + солома (3:1)) — 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	2,35	16	1,2/1,1	26,0/13,4
Компост (ОСВ + солома (3:1)) — 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	2,48	16	1,3/1,1	27,0/14,2
НІР ₀₅	0,13	1	0,1/0,1	1,0/1,0

Зокрема, висота рослин у контрольному варіанті становила 2,10 м, а за внесення удобрення у нормі 20 – 40 т/га осаду стічних вод (варіанти 4–6) висота сильфії пронизанолістої зросла на 0,19–0,57 м відповідно. За внесення компостів на основі осаду стічних вод та мінерального удобрення (варіанти 7 – 8) висота рослин становила 2,35–2,48 м відповідно, що на 0,11–0,24 м перевищувало варіант 2 ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Кількість листків на рослині змінювалася відповідно до внесення удобрення: найбільше у варіанті за внесення ОСВ у нормі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) і становила 17 шт., а найменша кількість у контрольному варіанті становила 14 шт. Визначаючи біометричні показники сильфії пронизанолістої, вимірювали діаметр стебла біля основи та на висоті 1,0 м. Згідно з отриманими результатами діаметр стебла біля основи і на висоті 1 м коливався порівняно у незначних межах (0,9 см – 1,3 см). А найвищим був у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$) та у варіанті за внесення ОСВ у нормі 40 т/га. Також вимірювали середні показники довжини та ширини листків сильфії пронизанолістої. Згідно з отриманими результатами довжина листків рослини у варіантах, де вносили ОСВ у нормі 20–40 т/га (варіант 4–6) становила 26,4–27,5 см відповідно, що на 16,0–27,0 см перевищує контроль. За внесення компосту на основі ОСВ та соломи (3:1)) у нормі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$ (варіант 7) довжина листка становила 26,0 см, а ширина листка 13,4 см. У варіанті 8 за внесення компосту на основі ОСВ та соломи (3:1)) у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$ довжина листка становила 27,0 см, а ширина – 14,2 см. Згідно з отриманими результатами, збільшення дози внесення осаду стічних вод сприяє підвищенню біометричних показників сильфії пронизанолістої.

Зміна біометричних показників та облістаності стебла впливали на вихід біомаси сильфії пронизанолістої за варіантами дослідів. Середні показники виходу сухої біомаси за чотири

роки досліджень становили 11,7–24,1 т/га залежно від варіантів удобрення (рис. 1). Внесення мінеральних добрив у нормі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2–3) сприяють збільшенню продуктивності сухої біомаси сильфії пронизанолістої до 16,2–19,9 т/га. За внесення осаду стічних вод у нормі 20–40 т/га (варіанти 4–6) вихід сухої біомаси становив 19,1–24,1 т/га, що перевищувало показник контрольного варіанта на 7,4–12,4 т/га. Внесення добрив на основі осаду стічних вод та соломи у нормі 20–30 т/га (варіанти 7–8) сприяло підвищенню продуктивності до 20,5–22,4 т/га.

Впродовж чотирьох років вегетації сильфії пронизанолістої вихід біомаси зростав з кожним роком і відповідно збільшувався вихід валової енергії з врожаєм (рис. 2).

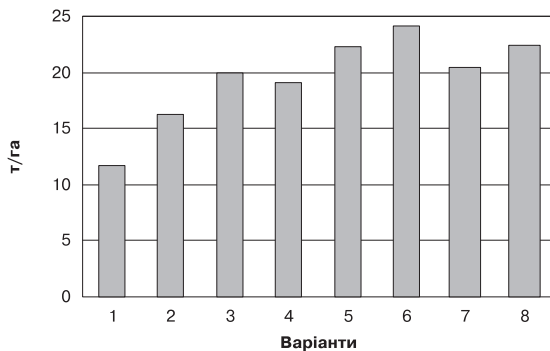


Рис. 1. Продуктивність сильфії пронизанолістої залежно від норм внесення добрив, середнє за 2016 – 2019 рр.

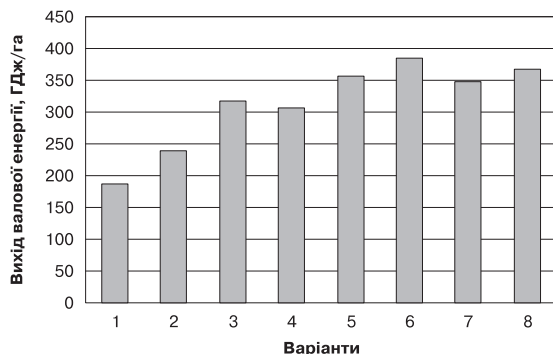


Рис. 2. Вихід валової енергії з врожаєм сильфії пронизанолістої залежно від норм внесення добрив, 2019 р.

У 2019 р. збір біомаси в контролі без добрив (варіант 1) становив 11,7 т/га, а вихід валової енергії відповідно 187 ГДж/га, за внесення мінеральних добрив у нормі 60–90 кг/га (варіанти 2–3) вихід валової енергії становив — 259–318 ГДж/га. За внесення свіжого осаду стічних вод сумісно з мінеральними добривами вихід валової енергії був найбільшим — 386 ГДж/га у варіанті 6, де вносили ОСВ + $N_{10}P_{14}K_{58}$ у нормі 40 т/га.

За внесення компостів (варіанти 7 та 8) вихід валової енергії зменшився порівняно з варіантами, де вносили свіжий осад стічних вод (варіант 4–6), але залишився вищим порівняно з контролем без добрив (варіант 1).

За ефективністю вирощування сільфії пронизанолістої у варіантах, де вносили компост на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20–30 т/га зафіксовано найвищі результати енергетичної ефективності завдяки невисокій вартості соломи, її доступності і механізації технологічних операцій за її використання для виготовлення компостів. У цих варіантах коефіцієнти енергетичної ефективності становили 1,1–1,2 відповідно (рис. 3).

Енергетична ефективність застосування добрив в технологіях вирощування культурних рослин визначається не тільки кількістю енергії, яка акумулюється у товарній та нетоварній частині врожаю, але й залежить від впливу удобрення на

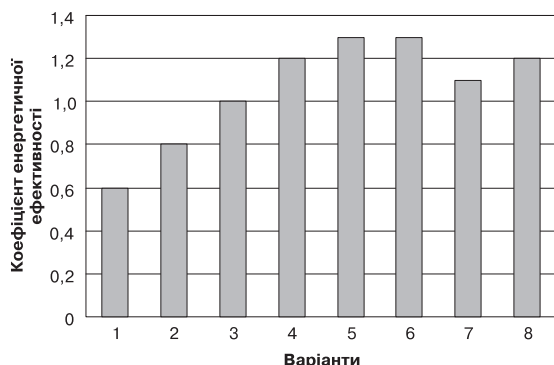


Рис. 3. Коефіцієнт енергетичної ефективності залежно від норм внесення добрив, середнє за 2016 – 2019 рр.

енергетичний стан ґрунту, який, своєю чергою, залежить від динаміки вмісту гумусу та зміни показників його якості [20; 21].

Сумісне внесення осаду стічних вод та мінеральних добрив сприяло підвищенню вмісту гумусу в ґрунті (табл. 2). Упродовж 4 років досліджень середній вміст загального гумусу за внесення осаду стічних вод та компостів на його основі змінювався у межах від 1,70 до 1,77%. У варіантах 2–3, де вносили мінеральні добрива вміст загального гумусу зростав на 0,1% порівняно з контролем і становив 1,71%. Варіанти 4–6, де вносили сумісно осад стічних вод та мінеральні добрива у нормі 20–40 т/га вміст загального гумусу зростав порівняно з контролем на 0,3–0,7% і становив 1,73–1,78% відповідно. За внесення компостів на основі осаду стічних вод і соломи (3:1) — у нормі 20–30 т/га (варіанти 7–8) загальний вміст гумусу збільшився на 0,2–0,3% порівняно з контролем і становив 1,72–1,73%.

Енергоємність гумусу ґрунтів залежить від вмісту гумусу та його якісних показників, тобто фракційно-групового складу. Цей показник свідчить про потенційну родючість ґрунтів, яка зростає зі збільшенням кількості валової енергії, зв'язаної гумусом [20; 21].

З усіх фракцій гумусу найвищою теплотворною здатністю, тобто найвищим умістом акумульованої енергії відзначаються гумінові кислоти [21]. Звідси, чим вищий уміст в гумусі гумінових кислот, тим вища енергоємність ґрунту. Вміст гумінових кислот на контролі становив 0,22%. У варіантах 2–3, де вносили мінеральні добрива вміст гумінових кислот зростав на 0,1–0,2% порівняно з контролем і становив 0,23–0,24%. Варіанти 4–6, де вносили сумісно осад стічних вод та мінеральні добрива у нормі 20–40 т/га, вміст гумінових кислот зростав порівняно з контролем на 0,4–0,5% відповідно і становив 0,26–0,27%. За внесення компостів на основі осаду стічних вод і соломи (варіанти 7–8) вміст гумінових кислот збільшився на 0,2–0,3% порівняно з контролем і становив 0,24–0,25%. Вміст фульвокислот змінювався

Таблиця 2. Фракційно-груповий склад та енергоємність гумусу дерново-підзолистого ґрунту за внесення добрив на основі осаду стічних вод, середнє за 2016–2019 рр.

Варіант	Загальний уміст гумусу	Фракційно-груповий склад гумусу			СТГК / СФК	Запаси вальної енергії в гумусі, ГДж/га
		Гумінові кислоти	Фульво- кислоти	Гуміни		
1. Без добрив — контроль	1,70	0,22	0,38	0,57	0,5	4,67
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,71	0,23	0,39	0,60	0,5	4,98
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,71	0,24	0,38	0,62	0,6	5,31
4. ОСВ — 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,73	0,26	0,37	0,61	0,6	5,24
5. ОСВ — 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,76	0,27	0,36	0,64	0,7	5,57
6. ОСВ — 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,77	0,27	0,36	0,66	0,7	5,81
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) — 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,73	0,24	0,37	0,63	0,6	5,64
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) — 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,72	0,25	0,39	0,65	0,6	5,72
НІР ₀₅	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,12

в межах 0,36–0,39%. За сумісного внесення осаду стічних вод у нормі 20–40 т/га та мінеральних добрив вміст фульвокислот становив 0,36–0,37% відповідно. Співвідношення гумінових кислот до фульвокислот змінювалося у межах 0,5–0,7%. Запаси енергії в гумусі змінювались відповідно до норм внесення добрив на основі осаду стічних вод від 4,67 ГДж/га на контролі до 5,81 ГДж/га за сумісного внесення ОСВ у нормі 40 т/га та N₁₀P₁₄K₅₈. За внесення компостів на основі ОСВ і солома (3:1) у нормі 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇ та ОСВ + солома (3:1) у нормі 30 т/га + N₃₀K₅₅ показники запасів енергії в ґрунті становили 5,64–5,72 ГДж/га відповідно.

Слід зазначити, що розрахунки коефіцієнтів енергетичної ефективності за вирощування сільфії пронизанолістої з внесенням різних норм добрив на основі осаду стічних вод, показали тенденцію до їхнього підвищення не лише завдяки зростанню виходу валової енергії з врожаєм, але й внаслідок покращання гумусового стану ґрунту, зокрема підвищення вмісту частки гумінових кислот у складі гумусу (рис. 4).

Вміст гумусу в досліджуваному ґрунті збільшувався відповідно до норм внесення удобрення, співвідношення

частки гумінових кислот та вихід сухої біомаси здійснює взаємний вплив на коефіцієнт енергетичної ефективності.

$$K_{ee} = 1,2489 + 1,4495x - 0,0198y + 1,1186x^2 + 0,0753xy + 0,00049y^2,$$

де z — коефіцієнт енергетичної ефективності K_{ee} вирощування сільфії пронизанолістої; x — вихід сухої біомаси, т/га; y — співвідношення

$$C_{гк} : C_{фк}.$$

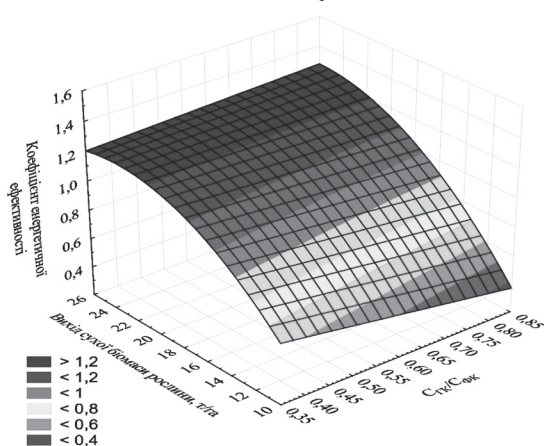


Рис. 4. Залежність коефіцієнта енергетичної ефективності від виходу сухої біомаси та запасів енергії в гумусі

Цю залежність можна вважати тісною, оскільки множинний коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,84$.

ВИСНОВКИ

Із проведених польових досліджень та розрахунків біоенергетичної ефективності внесення осаду стічних вод у вигляді добрива під сільфію пронизанолістої можна зробити певні висновки:

1. Зміна біометричних показників та облистяності стебла впливають на вихід сухої біомаси сільфії пронизанолістої за варіантами досліду. Найвищі показники виходу сухої біомаси 19,1–24,1 т/га забезпечує внесення осаду стічних вод у нормі 20–40 т/га з відповідною кількістю мінеральних добрив $N_{10-50}P_{14-52}K_{58-74}$ (варіанти 4–6), що перевищує показник контрольного варіанта на 7,4–12,4 т/га.

2. Застосування осаду стічних вод у нормі 40 т/га та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіанти 5–6) забезпечує найвищий вихід валової енергії 356–385 ГДж/га з біомасою сільфії пронизанолістої, що на 187 ГДж/га перевищує показники контрольного варіанта без добрив.

3. Внесення добрив, зокрема осаду стіч-

них вод у нормі 30–40 т/га з відповідною кількістю мінеральних добрив, зумовлює підвищення вмісту гумусових сполук у ґрунті та певні зміни у фракційно-груповому складі гумусу, зокрема забезпечує тенденцію до підвищення частки гумінових кислот та зменшення частки фульвокислот у гумусі. Це сприяє підвищенню вмісту валової енергії, акумульованої гумусом до 5,24–5,64 ГДж/га. Найвищі показники виходу валової енергії 5,81 ГДж/га встановлені за сумісного внесення осаду стічних вод у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$, що на 1,14 ГДж/га переважає показники контрольного варіанта без добрив.

4. Коефіцієнти енергетичної ефективності за внесення осаду стічних вод у різних нормах під сільфію пронизанолістої коливаються в межах 1,2–1,3 і підвищуються не лише завдяки зростанню виходу валової енергії з врожаєм, але й внаслідок покращання гумусового стану ґрунту, зокрема підвищення частки гумінових кислот у складі гумусу та підвищення співвідношення гумінові 6 фульвокислоти ($C_{гк} : C_{фк}$). Цю залежність можна вважати тісною, оскільки множинний коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,84$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Медведовський О.К., Іваненко П.І. *Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві*. Київ: Урожай, 1988. 208 с.
2. Архипенко Ф.Н., Ларина В.І. Сильфий пронзеннолистный (*Silphium perfoliatum* L.) в Лесостепи Украины. *Інтродукція рослин*. 2011. № 1. С. 9–13.
3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Біоенергетика в Україні: стан розвитку, бар'єри та шляхи їх подолання. *Біоенергетика*. 2014. № 1. С. 16–19.
4. Грицуляк Г.М., Лопушняк В.І. Екологічні аспекти використання осаду стічних вод комунального господарства у фітоенергетиці. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Харків, 2016. С. 125–130.
5. Шевчук Р.В., Гук Б.В., Шевчук Г.М., Ювчик Н.О. Енергетична і економічна ефективність вирощування сільфії пронизанолістої на тверде біопаливо. *Біоенергетика*. 2015. № 1. С. 28–29.
6. Степанов А.Ф., Чупина М.П. Сильфия пронзеннолистная: биология, агротехника, использование. Омск: Изд-во Омского гос. аграр. ун-та, 2017. 304 с.
7. Schorpp Q., Müller A.L., Schrader S. and Dauber J. Agroecological potential of the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) from a biodiversity perspective. *J. für Kulturpflanzen*. 2016. Vol. 68 (12). P. 412–422.
8. Emmerling C. Soil quality through the cultivation of perennial bioenergy crops by example of *Silphium perfoliatum* – an innovative agroecosystem in future. *J. für Kulturpflanzen*. 2016. Vol. 68 (12). P. 399–406.
9. Gerstberger P., Asen P., Gerstberger F. and Hartmann C. Economy ecology of cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) compared with silage maize. *J. für Kulturpflanzen*. 2016. Vol. 68 (12). P. 372–377.
10. Klimont K. Ocena przydatności wybranych gatunków roślin użytkowych do rekultywacji terenów zdewastowanych przez przemysł i gospodarke komunalna. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. 2007. Vol. 15, № 2. P. 27–36.
11. Titei V. The evaluation of biomass of the *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum* for renewable energy in Moldova. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2017. Vol. LX. P. 534–540.
12. Gansberger M., Montgomery L.F.R. and Liebhard P. Botanical characteristics, crop management and potential *Silphium perfoliatum* L. as a renewable

- resource for biogas production: a review. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 63. P. 362–372.
13. Algirdas J., Simonaviciute R., Saudinis G. and Liaudanskiene I. The assessment of common mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity and technological preparation for solid biofuel. *Zemdirbyste*. 2014. Vol. 101, № 1. P. 19–36.
14. Kowalski R. Selected secondary metabolites in leaves, inflorescences and rhizomes of *Silphium perfoliatum* L. — alternative herbal plant. *Folia Horticulturae*. 2003. Vol. 15, № 2. P. 203–209.
15. Titei V. The Perspective of Cultivation and Utilization of the Species *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus tuberosus* L. in Moldova. *Bulletin UASMV*. 2013. Vol. 70(1) (Serie: Agriculture). P. 160–166.
16. Gansberger M., Montgomery L.F.R. and Liebhard P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: a review. *Industrial Crops and Products*. 2015. P. 362–372.
17. Чупина М.П., Степанов А.Ф., Христин В.В. Влияние сальфии пронзеннолистной как предшественника на урожайность зерновых культур. *Вестник Красноярского гос. аграр. ун-та*. 2017. № 6. С. 3–9.
18. Зинковская Т.С., Ковалев Н.Г., Зинковский В.Н. Водопотребление и малиоративные функции сальфии (*Silphium perfoliatum* L.) на осушаемой дерново-подзолистой почве. *Агрофизика*. 2017. № 2. С. 47–53.
19. Лопушняк В. І. Енергоємність гумусу темно-сірого опідзоленого ґрунту під впливом різних систем удобрення в західному Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер.: Агрономія і біологія*. 2012. Вип. 9. С. 57–59. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2012_9_16
20. Орлов О. Енергоємність гумусу як критерій гумусового стану ґрунтів. *Вісник Львів. нац. у-ту. Сер. біологічна*, 2002. Вип. 31. С. 111–115.
1. Medvedov's'kyy, O.K. & Ivanenko, P.I. (1988). *Enerhetychnyy analiz intensyvykh tekhnolohiy v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi* [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production] [in Ukrainian].
2. Arkhipenko, F.N. & Larina, V.I. (2011). Sil'fii pronzenolistnyy (*Silphium perfoliatum* L.) v Lesostepi Ukrainy [Silphium perforated (*Silphium perfoliatum* L.) in the forest-steppe of Ukraine]. *Introduktsiya roslin* [in Ukrainian].
3. Heletukha, H.H. & Zhelyezna, T.A. (2014). Bioenerhetyka v Ukrayini: stan rozvytku, bar'yery ta shlyakhy yikh podolannya. [Bioenergy in Ukraine: state of development, barriers and ways to overcome them] *Bioenerhetyka* [in Ukrainian].
4. Hrytsulyak, H.M. & Lopushnyak, V.I. (2016). Ekolohichni aspekty vykorystannya osadu stichnykh vod komunal'noho hospodarstva u fitoenerhetytsi. [Ecological aspects of utilization of municipal sewage sludge in phytoenergy]. *Ahrokhimiya i gruntoznavstvo*. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Shevchuk, R.V. et al. (2015). Enerhetychna i ekonomichna efektyvnist' vyroshchuvannya syl'fiiy pronyzanolystoyi na tverde biopalyvo [Energy and economic efficiency of growing *Silphium perfoliatum* L. on solid biofuels]. *Bioenerhetyka* [in Ukrainian].
6. Stepanov, A.F. & Chupyna, M. P. (2017). *Syl'fyya pronzenolistnaya: byolohyya, ahrotekhnika, yspol'zovanye* [*Silphium perfoliatum* L.: biology, agricultural techniques, use. Omsk]: Yz-vo Omskoho hos. arhar. un-ta [in Russian].
7. Schorpp, Q., Müller, A.L., Schrader, S. & Dauber J. (2016). Agro-ecological potential of the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) from a biodiversity perspective. J. für Kulturpflanzen [in English].
8. Gerstberger, P., Asen, P., Gerstberger, F. & Hartmann, C. (2016). *Economy ecology of cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) compared with silage maize*. J. für Kulturpflanzen [in English].
9. Klimont, K. (2007). *Ocena przydatnosci wybranych gatunkow roslin uzytkowych do rekultywacji terenow zdewastowanych przez przemysl i gospodarke komunalna*. Problemy Inzynierii Rolniczej [in English].
10. Titei, V. (2017). *The evaluation of biomass of the Sida hermaphrodita and Silphium perfoliatum for renewable energy in Moldova*. Scientific Papers. Series A. Agronomy. LX. [in English].
11. Haag, N.G. et al. (2015). Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). *Biomass and Bioenergy* [in English].
12. Gansberger, M., Montgomery, L.F.R., Liebhard, P. & Gansberger, M. (2015). Botanical characteristics, crop management and potential *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: a review. *Industrial Crops and Products* [in English].
13. Algirdas, J., Simonaviciute, R., Saudinis, G. & Liaudanskiene I. (2014). The assessment of common mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) productivity and technological preparation for solid biofuel. *Zemdirbyste* [in English].
14. Kowalski, R. (2003). Selected secondary metabolites in leaves, inflorescences and rhizomes of *Silphium perfoliatum* L. — alternative herbal plant. *Folia Horticulturae* [in English].
15. Titei, V. (2013). The Perspective of Cultivation and Utilization of the Species *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus tuberosus* L. in Moldova. *Bulletin UASMV*. 70(1) Serie: Agriculture [in English].
16. Gansberger, M., Montgomery, L.F.R. & Liebhard P. (2015). *Botanical characteristics, crop management and potential of Silphium perfoliatum L. as a renewable resource for biogas production: a review*. Industrial Crops and Products [in English].
17. Chupyna, M.P., Stepanov, A.F. & Khrystych, V.V. (2017). Vlyyanye syl'fii pronzenolistnoy kak predshestvennyka na urozhaynost' zernovykh kul'tur [Influence of *Silphium perfoliatum* L. as a precursor

- on grain yields]. *Vestnyk Krasnoyarskoho hos. ahrar. un-ta* [in Ukrainian].
18. Zynkovskaia, T.S., Kovalev, N.H. & Zynkovskiy, V.N. (2017). Vodopotreblenye y malyoratyvnye funktsyy syl'fyy (*Silphium perfoliatum* L.) na osushaemoy dernovo-podzolistoy pochve [Water consumption and reclamation functions of sylphium (*Silphium perfoliatum* L.) on drained sod-podzolic soil]. *Ah-rofyzyka* [in Ukrainian].
 19. Lopushkak, V.I. (2012). *Enerhoyemnist' humusu tem-no-siroho opidzolenoho gruntu pid vplyvom riznykh system udobrennya v zakhidnomu Lisostepu Ukrayiny*. [Energy intensity of humus dark gray of opalized soil under the influence of various systems of fertilizer in the western forest-steppe of Ukraine]. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology [in Ukrainian].
 20. Orlov, O. (2002). Enerhoyemnist' humusu yak kryteriy humusovoho stanu gruntiv [Energy intensity of humus as a criterion of humus state of soils]. *Visnyk Lviv. NATION. U-T: Biological Series* [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 13.09.2020

УДК 632: 633.88

DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227251>

ЕФЕКТИВНІСТЬ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ ЗА ВИРОЩУВАННЯ АЛТЕЇ ЛІКАРСЬКОЇ (*ALTHAEA OFFICINALIS* L.) В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

Н.В. Приведенюк, Л.А. Глущенко, В.А. Трубка

Дослідна станція лікарських рослин
Інституту агроекології і природокористування НААН
(с. Березоточа, Лубенський р-н, Полтавська обл., Україна)
e-mail: privedenyuk1983@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0748-8083
e-mail: 1256@ukr.net; ORCID: 0000-0003-2329-5537
e-mail: trubkaval@ukr.net; ORCID: 0000-0002-2960-4137

В умовах лісостепової зони України було проведено дослідження зі встановлення впливу основного внесення мінеральних добрив у різних дозах та краплинного зрошення на врожайність сухої сировини алтеї лікарської (*Althaea officinalis* L.) першого та другого року вегетації. Виявлено, що зрошення істотно підвищує продуктивність алтеї, завдяки усуненню дефіциту ґрунтової вологи в критичні періоди росту та розвитку. Приріст урожайності від застосування краплинного зрошення в перший рік вегетації культури становив: сухої трави 1,27–1,98 т/га, листя 0,69–1,17, коренів 0,22–0,39 т/га. На другий рік вегетації приріст становив: трави 1,52–4,7 т/га, листя 0,46–1,35, коренів 1,25–2,76 т/га. Встановлено, що збільшення доз основного внесення мінеральних добрив підвищувало урожайність алтеї лікарської. Найвищу урожайність сухої сировини алтеї було отримано на першому році вегетації за внесення найвищої дози добрив. Із внесенням мінерального добрива в дозі $N_{180}P_{180}K_{180}$ в умовах зрошення урожайність сухої трави алтеї становила 8,09 т/га, листя 3,88 т/га, коренів 3,08 т/га, що перевищувало варіант без внесення добрив та без зрошення на 4,08 т/га трави, 2,04 т/га листя, 1,44 т/га коренів. Найвищу продуктивність алтеї лікарської другого року вегетації було отримано у варіанті із внесенням найбільшої дози мінеральних добрив в умовах краплинного зрошення, де урожайність сухої трави становила 15,78 т/га, листя 4,42 т/га, коренів 6,24 т/га. На плантації другого року вегетації у варіанті без застосування зрошення і без внесення добрив урожайність сировини була найменшою та становила: трави 6,85 т/га, листя 1,88 т/га, коренів 2,12 т/га.

Ключові слова: живлення, краплинне зрошення, урожайність, суха сировина, трава, листя, корені.