

ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗА ВНЕСЕННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

В. Лопушняк, доктор сільськогосподарських наук, професор

ORCID ID: 0000-0001-9596-8169

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»

Г. Грицуляк, кандидат сільськогосподарських наук

ORCID ID: 0000-0003-2463-4772

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Т. Якубовські, доктор габілітований, професор

Краківський аграрний університет ім. Хугона Колонтая

Б. Барчак, доктор габілітований, професор

Технологічно-природничий університет ім. Яна і Єдзея Снядецьких м. Бидгощ

Р. Сав'юк, студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

У статті наведено результати польових досліджень в умовах Івано-Франківської області на дерново-підзолистих ґрунтах із застосуванням осаду стічних вод як добрива під вербу енергетичну другого циклу використання її плантації. Дослідженнями встановлено, що повторне внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну сприяє збільшенню вмісту органічної речовини в ґрунті, поліпшенню її якісного складу, підвищенню продуктивності агрофітоценозу, зокрема збільшенню виходу сирової і сухої біомаси.

Ключові слова: верба енергетична, осад стічних вод, компост, гумусовий стан дерново-підзолистого ґрунту, продуктивність.

Постановка проблеми. Сучасні світові тенденції споживання енергоресурсів вказують на неухильне скорочення обсягів використання традиційних видів палива та поступової часткової їх заміни відновлюваними джерелами енергії. Це зумовлено не тільки обмеженими запасами викопного палива, нестабільністю ринків збуту та політичним впливом на них, але також нагальною потребою зменшення викидів в атмосферу парникових газів, з чим пов'язують динамічні зміни клімату. За прогнозами міжнародних організацій, відновлювані джерела енергії стануть найдинамічнішим енергоресурсом з огляду на зростання обсягів споживання, яке буде підвищуватися в середньому на 7,6% на рік і більше, а за наступні 20 років зросте в чотири рази [1, 9].

Збільшення частки відновлюваних джерел енергії у структурі енергоспоживання розглядається як важливий чинник підвищення рівня енергетичної безпеки держави. Європейські країни досягли 10% забезпечення своїх енергетичних потреб за рахунок джерел відновлювальної

енергетики. В Україні цей показник становить лише близько 5,8% [1, 3].

Серед джерел відновлюваного палива у нашій державі активними темпами розвивається такий важливий ресурс, як біоенергетика, зокрема добування енергії з біомаси культурних рослин [12]. Актуальним напрямком розвитку біоенергетики в Україні є створення багаторічних плантацій енергетичних культур, зокрема верби енергетичної. В Україні насадження верби енергетичної сягають близько 5 тис. га. [4, 9]. Від часу закладання плантації до першого збору врожаю проходить 3-4 роки, а використовувати плантацію можна понад 20-25 років. Підвищення продуктивності плантацій верби енергетичної та зростання виходу біопалива з одиниці площі може забезпечити внесення добрив, зокрема осаду стічних вод (ОСВ) [2, 4, 20, 21]. Важливо встановити дію добрив за повторних циклів використання насаджень верби енергетичної.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Згідно з джерелами літератури та нашими власними спостереженнями, верба енергетична не вимагає особливих ґрунтово-кліматичних умов

вищого вирощування. Внаслідок багаторічного беззмінного вирощування сприяє поліпшенню структури ґрунтів, а опале листя та кореневі залишки забезпечують підвищення загального рівня родючості та поліпшення фізико-хімічних, агрофізичних, агрохімічних, біологічних та екологічних властивостей ґрунтового покриву [9, 11, 23].

Встановлено, що з 1 га плантації верби енергетичної щорічно восени з опалим листям повертається у ґрунт до 60-80% поживних речовин. Приріст 2 м/рік забезпечує врожай 40-60 т/га біомаси природної вологості за трирічного циклу збирання врожаю, що з урахуванням теплотворної здатності рослинної сировини, еквівалентне 10-15 тис. кубометрів газу [3, 8].

Продуктивність агрофітоценозів верби енергетичної становить 8-12 т сухої деревини в рік, що перевищує продуктивність традиційних лісових насаджень приблизно у 14 разів [10, 13, 16]. Для її вирощування потрібно втричі менше мінеральних добрив, ніж для зернових культур. До того ж енергія, отримана від спалювання верби, може до 20 разів перевищити витрати енергії на її вирощування, оскільки не потребує значних витрат на догляд [11, 15, 17]. Під час вирощування енергетичної верби не має потреби у застосуванні великої кількості пестицидів, адже шкідники не завдають значної шкоди рослинам, а бур'яни не здатні конкурувати з енергетичними рослинами через їхню високорослість [1, 17, 23].

До переваг вирощування енергетичної верби можна віднести насамперед стійкість до низьких температур, шкідників і хвороб; невибагливість до умов проростання і можливість її вирощування на малопродуктивних землях [2, 9, 21]. Встановлено, що ступінь виснаження ґрунту вербою у 3-5 разів нижчий, ніж зерновими культурами [3-4, 7, 20].

Метою досліджень було визначення змін продуктивності верби енергетичної за другого циклу використання її плантації на дерново-підзолистих ґрунтах із застосуванням осаду стічних вод як добрива.

Умови та методика проведення досліджень. Ґрунт дослідного поля – дерново-підзолистий середньо-суглинковий, який перед закладанням польового дослідження відзначався такими агрохімічними показниками в шарі 0-25 см: гідролітична кислотність – 3,25 ммоль/100 г ґрунту; ємність поглинання катіонів – 11,73 ммоль/100 г ґрунту; сума увібраних основ – 8,48 ммоль/100 г ґрунту (за Каппеном); ступінь насичення основами – 73,1%; рН сольове 5,0; вміст гумусу – 1,54% (за Тюрнімом); азот загальний – 0,07%; азот лужно-гідролізований – 66,40 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом); азот мінеральних сполук – 15,7 мг/кг ґрунту; рухомі сполуки фосфору і калію (за Кірсановим)

відповідно 120,0 і 48,0 мг/кг ґрунту. У досліджуваному ґрунті визначали лабільні форми гумусу згідно з ДСТУ 4732 та фракційно-груповий склад гумусу за методом Пономарьової – Плотникової [5].

Експериментальна плантація енергетичної верби була створена в другій декаді березня 2012 року на колекційно-дослідному полі Івано-Франківського коледжу ЛНАУ в селі Чукалівка Тисменицького району Івано-Франківської області. У 2015 році після збору біомаси верби енергетичної повторно вносили добрива у ґрунт за схемою.

Підготовка ґрунту до садіння верби включала в себе оранку на глибину 20-25 см, а через два тижні після оранки – розпушення ґрунту та внесення осаду стічних вод і компостів на їх основі згідно зі схемою польового дослідження під заробляння дисковою бороною на глибину до 15-20 см.

Висадження культури здійснювали згідно зі схемою – 0,33 x 0,70 м. Ширина дослідної ділянки складає 4,0 м; довжина – 7,0 м; облікова площа – 28,0 м². Загальна площа дослідної ділянки 54 м².

Повторність – триразова, розміщення ділянок – систематичне. Варіанти дослідження: 1. Контроль – без добрив; 2. Мінеральні добрива – N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀; 3. ОСВ – 40 т/га; 4. ОСВ – 60 т/га; 5. ОСВ – 80 т/га; 6. Компост (ОСВ + тирса (3 : 1)) – 60 т/га; 7. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 20 т/га; 8. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 40 т/га; 9. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 60 т/га; 10. Компост (ОСВ + солома (3 : 1) + цементний пил 10%) – 40 т/га [6, 20, 22].

Погодні умови в різні роки відзначалися різними показниками. У зоні проведення досліджень середня багаторічна кількість опадів становить 662,4 мм. В окремі роки їх кількість зростала до 723,9 мм або знижувалася до 619,3 мм. Середня багаторічна температура складає +10,45°C, найхолодніший місяць січень. Його середньомісячна температура становить -5,7°C, найтепліші – липень та серпень – +20,0 +20,2°C.

Польові та лабораторні дослідження за ростом та розвитком насаджень проводили за прийнятими в агрономії методиками [7, 17].

Виклад основного матеріалу. Проведено аналіз осаду стічних вод та компостів, які використовували в дослідженнях під час повторного внесення добрив під вербу енергетичну. Осад стічних вод відзначається підвищеним вмістом вологи (76%) порівняно з іншими добривами та зольністю 5,0%. Показник рН середовища в осаді стічних вод є найвищим і становить 8,1, а показники вмісту фосфору та калію 0,21 та 0,10% відповідно.

Компости містять необхідні елементи живлення рослин, тому їхнє внесення сприяє підвищенню ефективної родючості ґрунтів, активізації діяльності корисної мікрофлори (табл. 1).

Порівняльний хімічний склад осаду стічних вод та компостів, виготовлених на їх основі

Агрохімічні показники	ОСВ	Компост 1	Компост 2	Компост 3	НІР _{0,5}
Органічна речовина, %	76,0	77,0	79,0	75,0	2,0
pH _{сольове}	5,0	7,5	7,1	7,3	0,1
Азот лужногідролізований, мг/кг	0,66	708,59	223,19	637,29	71,20
Сполуки рухомого фосфору, мг/кг	2,51	432,5	392,2	412,6	9,1
Обмінні сполуки калію, мг/кг	2,16	401,7	199,1	305,6	25,2

*Примітка: Компост 1 - ОСВ + тирса (3 : 1); Компост 2 - ОСВ + солома (3 : 1); Компост 3 - ОСВ + солома (3 : 1) + цементний тил 10%.

У виготовлених компостах вміст органічної речовини коливався в межах 75-78%, показник кислотності становив рН 7,1-7,5, вміст лужногідролізованих форм азоту – 708,6 мг/кг у компості 1 та зменшувався у компостах 2 і 3 відповідно до 223,2; 637,3 мг/кг [2, 4]. Меншою мірою різнилися показники вмісту рухомих сполук фосфору (від 392 до 433 мг/кг) та обмінних форм калію (від 199,1 до 401,7 мг/кг). Найнижчими показниками вмісту основних елементів живлення відзначався компост 2 (ОСВ з соломою (3:1)) [2]. Результати аналізу компостів на основі осаду стічних вод вказують, що компост 1 містить найбільшу кількість поживних речовин [2, 20].

Після створення плантацій у наших дослідженнях чотирирічну вербу зрізували восени так, щоб залишилося 8-10 см стовбура над поверхнею ґрунту.

Наступного року після зрізування вегетативної маси рано навесні одразу після припинення стійких морозів до проростання живців верби, проводили розпушування ґрунту в міжряддях удосконаленим фрезерним культиватором та вносили повторно осад стічних вод і компости за схемою досліджу. Обробіток здійснювали таким чином, щоби розпушений шар не був глибоким, але водночас так, щоб добрива були вкриті шаром ґрунту товщиною до 5-8 см.

Впродовж першого року вегетації після повторного внесення ОСВ забезпечували ретельний догляд і захист від бур'янів до висоти пагонів верби понад 1,0 м. У перші 1,5-2 місяці бур'яни знищували періодично вручну. Пізніше, коли верба переросла бур'яни, процес знищення небажаної рослинності вже не був визначальним у догляді, а в посушливі періоди прополювання не проводили, запобігаючи тим самим надмірному висушуванню ґрунту.

Проведена в перший рік відповідним чином робота для забезпечення інтенсивної вегетації

рослин верби енергетичної визначає рівень нагромадження вегетативної маси у наступні роки. В перший рік після вирубки з одного стовбура проростає 5-8 гілок довжиною близько 3-4 м. Довжина гілок залежить від водного режиму та рівня мінерального живлення.

Чотирирічну вербу зрізували вручну, вибірково зважували для визначення продуктивності та аналізу сирової маси. Після висушування до сталої маси визначали вихід біомаси сухої речовини.

Нашими дослідженнями встановлено певні закономірності нагромадження гумусових сполук у дерново-підзолистому ґрунті за повторного внесення осаду стічних вод та компостів на його основі під вербу енергетичну. Аналіз показників вмісту гумусу та якісного складу гумусу досліджуваного ґрунту вказує на залежність процесу трансформації гумусових сполук від системи удобрення.

Відомо, що внесення органічних добрив у ґрунт сприяє підвищенню загального вмісту гумусу та його стабільної фракції [5].

В умовах досліджу вміст гумусу на ділянці контрольного варіанта знизився з 1,54 до 1,51% за 2012-2019 роки порівняно з вихідними показниками вмісту гумусу до закладання досліджу. Таким чином, вирощування верби енергетичної без внесення добрив зумовлює процеси деградації ґрунтового покриву та його дегуміфікацію. Така тенденція актуалізує питання удобрення верби енергетичної, зокрема органічними добривами, з метою поповнення запасів органічної речовини у ґрунті.

У наших дослідженнях за вісім років вирощування верби енергетичної та дворазового застосування добрив згідно зі схемою внесення мінеральна система удобрення (варіант 1) сприяла деякому підвищенню вмісту гумусу на 0,02%, порівняно з неудобреним варіантом (табл. 2).

Вплив повторного внесення осаду стічних вод на гумусовий стан дерново-підзолистого ґрунту (2016 – 2019 рр.)

Варіанти	Загальний вміст гумусу, %	Га	Гп	Сгк	Сфк	Нерозчинний залишок	Сгк : Сфк
1. Без добрив – контроль	1,51	0,51	1,00	0,25	0,37	0,82	0,7
2. N100P100K100	1,53	0,52	1,01	0,27	0,36	0,84	0,7
3. ОСВ – 40 т/га	1,61	0,57	1,04	0,28	0,35	0,89	0,8
4. ОСВ – 60 т/га	1,72	0,61	1,11	0,29	0,32	0,93	0,9
5. ОСВ – 80 т/га	1,76	0,64	1,12	0,32	0,30	0,96	1,0
6. Компост (ОСВ + тирса (3 : 1)) – 60 т/га	1,68	0,63	1,05	0,28	0,29	0,91	1,0
7. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 20 т/га	1,61	0,60	1,01	0,25	0,28	0,88	0,8
8. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 40 т/га	1,64	0,61	1,03	0,26	0,28	0,90	0,9
9. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 60 т/га	1,69	0,62	1,07	0,30	0,29	0,91	1,0
10. Компост (ОСВ + солома (3 : 1) + цементний пил 10%) – 40 т/га	1,67	0,63	1,04	0,27	0,29	0,92	0,9
НІР 0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1

Застосування осаду стічних вод (варіанти 3 – 5) сприяло нагромадженню гумусу приблизно на 0,1-0,3%, порівняно з контролем. Внесення компосту на основі осаду стічних вод та тирси підвищує вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті на 0,17% порівняно з контролем та на 0,15% порівняно з унесенням мінеральних добрив. За внесення компостів з осадом стічних вод і соломою (варіанти 7-9) уміст гумусу зростає на 0,1-0,16%, порівняно з контролем (варіант 2).

Крім загального вмісту гумусу нами визначено його груповий склад, тобто частку активного і пасивного гумусу згідно методики [5].

Результати визначення частки активного гумусу (Га) свідчать, що за внесення осаду стічних вод, як добрив, його вміст зростає. Найвищі показники вмісту активного гумусу відзначено у варіантах, де вносили найвищі дози органічних добрив (варіант 3-5). Рівень його коливався в межах 0,57-0,64%. Показники пасивного гумусу (Гп) зростали за внесення осаду стічних вод у дозі 40-60 т/га (варіанти 4-5) і становили 1,11-1,12%. Проте, за внесення компостів на основі осаду стічних вод та соломи (варіант 10), вміст пасивного гумусу був дещо нижчим і становив 1,04% [2, 5].

У процесі синтезу гумусу формуються гумінові кислоти (Сгк), які мають високу молекулярну масу і складнішу хімічну будову порівняно з фульвокислотами (Сфк). Показники фракційно-групового складу гумусу вказують на те, що без внесення добрив відбувається погіршення гумусового стану ґрунту. Співвідношення гумінових кислот до

фульвокислот показує спрямованість процесів мінералізації органічної речовини [4].

Співвідношення гумінових кислот до фульвокислот у варіантах, де вносили органічні добрива (варіант 5) у нормі 60 т/га та у варіантах, де вносили компости на основі осаду стічних вод у нормі 60 т/га (варіант 6 і 9) відзначаються найвищими значеннями цього співвідношення 1,0.

Вміст нерозчинного залишку за внесення осаду стічних вод зростає. Найвищі показники вмісту нерозчинного залишку (коливання в межах 0,93 – 0,96%) спостерігали у варіантах, де вносили осад стічних вод у дозі 40–60 т/га (варіанти 4-5). Вміст нерозчинного залишку у варіантах, де вносили компости на основі осаду стічних вод та соломи у співвідношенні 3 : 1 у нормі 20 – 60 т/га, коливався в межах 0,88 – 0,91%.

Встановлено, що удобрення осадом стічних вод у нормі 60 т/га забезпечує якісне поліпшення фракційно-групового складу гумусу, підвищення частки гумінових кислот в гумусі і, як наслідок, більший показник співвідношення гумінових до фульвокислот.

Від вмісту гумусу в ґрунті залежить формування продуктивності рослин, зокрема верби енергетичної. Показники продуктивності верби вказують, що за другого циклу використання приріст біомаси верби енергетичної перевищує показники першого циклу використання (табл. 3). За повторного внесення свіжого осаду стічних вод мінеральних добрив продуктивність вегетативної маси досягала 54 – 62 т/га у варіантах 3-5, що на 12,9-18,4 т/га

переважав аналогічний показник контрольного варіанта. За виходом сухої біомаси верби енергетичної найпродуктивнішими є варіанти з внесенням ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на

основі ОСВ + тирса (3 : 1) – 60 т/га відповідно. За внесення ОСВ в дозі 80 т/га вміст сухої біомаси за повторного внесення становив 52,6 т/га (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив удобрення верби енергетичної на продуктивність вегетативної біомаси, т/га

Варіант	Вихід сирової маси	Вихід сухої маси
1. Без добрив – контроль	41,1	34,2
2. N100P100K100	52,2	45,4
3. ОСВ – 40 т/га	54,0	50,3
4. ОСВ – 60 т/га	56,5	51,8
5. ОСВ – 80 т/га	62,0	52,6
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	61,8	50,4
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	51,3	48,8
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	53,9	51,6
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	56,5	52,5
10. Компост (ОСВ + солома (3:1)) + цементний пил 10%) – 40 т/га	60,0	47,1
НІР 0,5	1,04	0,02

Проаналізувавши одержані результати, визначено залежність отриманої сухої маси верби

енергетичної (продуктивності) від гумусового стану ґрунту (рис. 1).

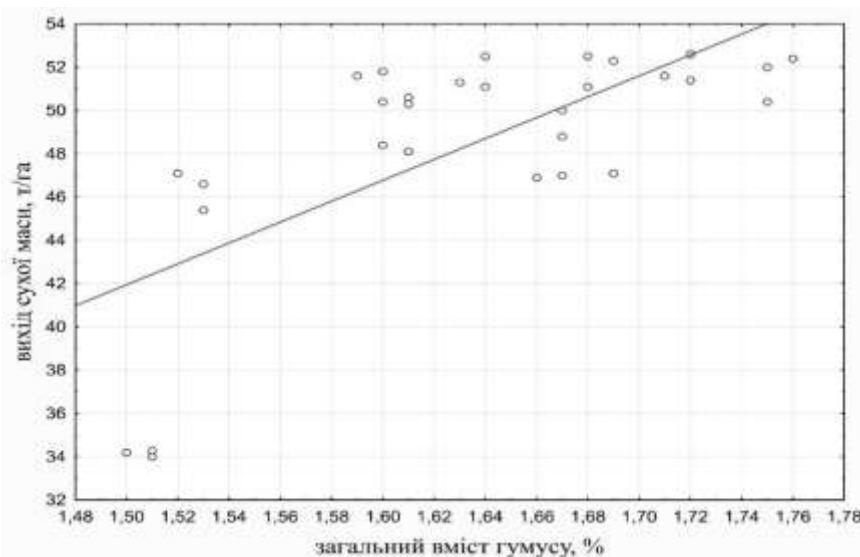


Рис. 1. Залежність продуктивності верби енергетичної (сухої маси) від умісту загального гумусу дерново-підзолистого ґрунту

Продуктивність верби енергетичної пов'язана з умістом гумусу.

Цю залежність можна описати таким рівнянням лінійної регресії:

$$y = -30,44 + 48,2569x,$$

де y – вміст сухої біомаси, т/га; x – загальний вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті, %;

З огляду на значення множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,49$), кореляційний зв'язок можна вважати як помірний.

Помірною кореляційною залежністю характеризується не тільки підвищення продуктивності верби енергетичної від загального умісту гумусу, але й від його якісного складу (рис. 2).

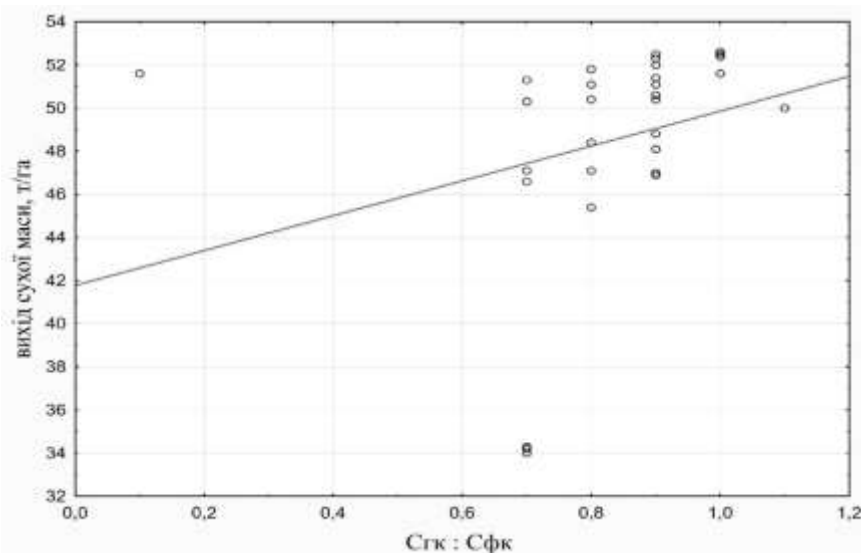


Рис. 2. Залежність продуктивності сухої маси верби енергетичної від співвідношення Сгк : Сфк дерново-підзолистого ґрунту

Залежність між вмістом гумусу та Сгк : Сфк можна описати таким рівнянням лінійної регресії:

$$y = 41,7798 + 8,0809x$$

де y – вміст сухої маси, т/га; x – Сгк : Сфк в дерново-підзолистому ґрунті, %.

Згідно зі значенням множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,42$), кореляційний зв'язок можна вважати помірним.

Як зазначалося в наших попередніх публікаціях [4, 19, 20], величина збору біомаси верби енергетичної залежить від висоти рослин. Аналіз залежності середньої висоти рослин верби енергетичної від вмісту гумусу в ґрунті показав такі закономірності: із внесенням добрив на

основі осаду стічних вод у нормі 40–80 т/га (варіант 3-5) збільшується вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті порівняно з контролем (варіант 1) від 1,6 до 1,8%, тому відповідно висота рослин верби енергетичної зростає і становить близько 452–628 см. За внесення компостів на основі осаду стічних вод та соломи у співвідношенні 3 : 1 у нормі 20 – 60 т/га (варіанти 7-9) вміст гумусу залишався в межах 1,65-1,71, що на 0,14-0,20% перевищувало контроль. Висота рослин в цих варіантах сягала 441-476 см. Згідно з проведеними дослідженнями нами відзначено суттєву залежність висоти рослин верби енергетичної від вмісту гумусу в ґрунті (рис. 3).

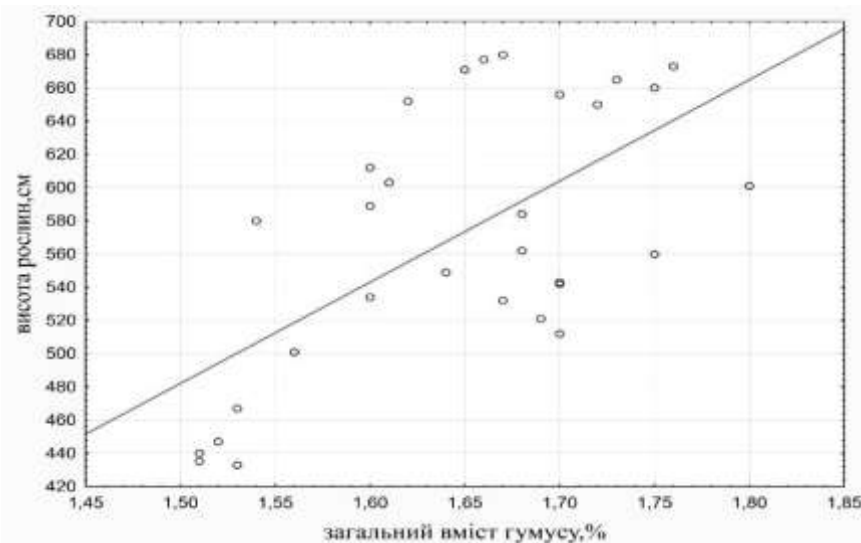


Рис. 3. Залежність висоти рослин верби енергетичної від загального вмісту гумусу в дерново-підзолистому ґрунті

Залежність висоти рослин від загального вмісту гумусу в ґрунті можна описати таким рівнянням лінійної регресії:

$$y = 432,7125 + 609,8092x,$$

де y – висота рослин, см; x – загальний вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті, %;

Згідно зі значенням множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,54$), кореляційний зв'язок також можна вважати помірним.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Встановлено, що осад стічних вод проявляє активну дію після його повторного застосування як добрива в другому циклі використання плантації верби енергетичної. Його внесення сприяє збільшенню вмісту органічної речовини в ґрунті з 1,5 (контроль) до 1,8% (ОСВ – 80 т/га), нерозчинного залишку від 0,63 (контроль) до 1,03% (ОСВ – 80 т/га), зі збільшенням показника співвідношення $S_{гк} : S_{фк}$ від 0,7 до 1,0, а також підвищенню продук-

тивності агрофітоценозу, зокрема виходу сирової 62,0 і 52,6 т/га сухої біомаси верби енергетичної. Зокрема, внесення компостів на основі осаду стічних вод та соломи (3 : 1) у нормі 20–60 т/га (варіанти 6–9) сприяє збільшенню продуктивності верби енергетичної на 20,2–25,4 т/га порівняно з варіантом без внесення добрив.

Таким чином, застосування осаду стічних вод та компостів на його основі може слугувати значним ресурсом поліпшення режиму мінерального живлення верби енергетичної, а також засобом поліпшення гумусового стану ґрунту та покращання якості гумусу дерново-підзолистого ґрунту.

Оскільки термін експлуатації насаджень верби енергетичної сягає 20–25 років, за різними оцінками науковців, вивчення динаміки показників якості гумусу та характеристика його трансформації впродовж 7–8 циклів використання плантації є перспективним напрямом досліджень.

Список використаних джерел:

1. Бойко І. І., Марчук О. О., Ганженко О. М., Гончарук Г. С. Залежність якості біомаси енергетичної верби від віку плантації та строків збирання врожаю. *Біоенергетика*. 2017. № 1. С. 24 – 26.
2. Грицуляк Г. Лопушняк В. Осад стічних вод у системі удобрення верби енергетичної: монографія. Львів: Простір М, 2017. 180 с.
3. Лис Н. М., Фучило Я. Д., Ткачук Н. Л., Іванюк Р. С. Вплив густоти і внесення мінеральних добрив на ріст і продуктивність плантацій енергетичної верби в умовах Прикарпаття. *Біоенергетика*. 2018. № 2. С. 19 – 21.
4. Лопушняк В. Агрохімічні та агроекологічні аспекти систем удобрення в західному лісостепу України: монографія. Львів: Простір М, 2015. 217 с.
5. Лопушняк В. І. Динаміка фракційної-групового складу гумусу темно-сірого опідзоленого ґрунту під впливом різних систем удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2012. Вип. 54. С. 58 – 63.
6. Лопушняк В. І. Грицуляк Г. М. Продуктивність ивы энергетической при разных нормах внесения осадков сточных вод на дерново-подзолистых почвах Прикарпатья. *Motrol. Lublin – Rzeszow*, 2013. Vol. 15. № 4. P. 249 – 253.
7. Основні положення енергетичних стратегій та програм Європейського Союзу щодо розвитку енергетичної сфери в умовах формування загальноєвропейського ринку електроенергії. К., 2017. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/2.-Energetychni-Strategiyi-YES.pdf> (час доступу: 5.02.2020 р.).
8. Польовий В. М., Шевчук Р. В. Економічна ефективність вирощування біоенергетичних культур на тверде біопаливо. *Інституціоналізація процесів євроінтеграції: суспільство, економіка, адміністрування*: тези І Міжнародної науково-практичної наук. конф. Рівне. 21–22 квітня 2016 р. С. 159–160.
9. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Гументик М. Я. та ін. *Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь*. К.: Компринт, 2018. 137 с.
10. Фучило Я., Литвин В. Енергетична верба – перспективи вирощування. *Новини агротехніки*. 2013. № 1–2. С. 30 – 31.
11. Фучило Я. Д., Гнап І. В., Ганженко О. М. Ріст і продуктивність деяких сортів енергетичної верби іноземної селекції в умовах Волинського Опілля. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2018. Т. 14. № 2. С. 230 – 239.
12. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. Верби України: біологія, екологія, використання. К.: Компринт, 2017. 259 с.
13. Хіврич О. Енергетична верба – шлях до незалежної енергетики. *Пропозиція*. 2014. № 11. С. 78 – 81.
14. Чмерук Т. Тренди альтернативної енергетики України: від занепаду до прогресу. *Дзеркало Тижня*. Україна. 2018. 5 лютого. URL: https://dt.ua/energy_market/trendi-alternativnoyi-energetiki-ukrayini-vid-zanepadu-do-progresu 268117_.html
15. Abrahamson P. Shrub Willow Biomass Producer's Handbook. State University of New York College of Environmental Science and Forestry, 2010. № 27. P. 10.
16. Aylott M. J., Casella E, Tubby I., Street N.R., Smith P., Taylor, G. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-cutting cycle coppice in the UK. *New Phytologist*. 2008. P. 358 – 370.
17. Caslin B., Finnan J., Mc Cracken A. et al. Willow Varietal Identification Guide. Carlow, Ireland: Teagasc & AFBI. 2012. 64 p.
18. Karlen D. L., Volk T. A., Abrahamson L.P., Buchholz T., Caputo J. & Eisenbies M. Development and Deployment of Willow Biomass Crops. *Cellulosic Energy Cropping Systems*. 2014. P. 201 – 217.
19. Lopushnyak V., Hrytsulyak G. Productivity formation model of Osier (*Salix viminalis*) agrocenosis. *Motrol. Lublin – Rzeszow*, 2014. Vol. 16. № 4. P. 77–81.
20. Lopushniak V., Lopushniak G., Grytsulyak G. Bioenergetic and economic estimation of sewage sludge use in osier cultivation. *Teka: Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2016. Vol. 16. №. 3. P. 26–31.

21. Nissim W. G., Pitre F. E., Teodorescu T. I., Labrecque M. Longterm biomass productivity of willow bioenergy plantations maintained in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy*. Sept. 2013, Vol. 56. P. 361–369. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413002778>
22. Volk T. A., Heavey J. P., Eisenbies M. H. Advances in shrub willow crops for bioenergy, renewable products, and environmental benefits. *Food, Energy and Security*. 2016. № 5. P. 97 – 106.

В. Лопушняк, Г. Грицуляк, Т. Якубовски, Б. Барчак, Р. Савьюк. Формирование производительности ивы энергетической при повторном внесении осадков сточных вод

В статье приведены результаты полевых исследований, проведенных в условиях Тисменицкого района Ивано-Франковской области на дерново-подзолистых почвах с применением осадка сточных вод как удобрения под иву энергетическую второго цикла использования её плантации. Исследованиями установлено, что внесение осадка сточных вод перед вторым циклом использования плантации ивы энергетической способствует увеличению содержания органического вещества в почве, повышению производительности агрофитоценозов, в частности увеличению выхода сырой и сухой биомассы.

Ключевые слова: ива энергетическая, осадок сточных вод, компост, гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы, производительность.

V. Lopushniak, G. Gritsulyak, T. Yakubovsky, B. Barchak, R. Savyuk. Formation of energy willow productivity with re-introduction of sewerage

The article presents the results of field studies conducted in the Tysmenytsia district of Ivano-Frankivsk region on sod-podzolic soils with the use of sewage sludge as fertilizer, to determine the productivity of willow energy of the second cycle of plantation use. Studies have shown that sewage sludge before the second cycle of using willow plantation energy, increases the content of organic matter in the soil, increases the productivity of agrophytocenosis, in particular raises the yield of raw and dry biomass.

Keywords: energy willow, sewage sludge, compost, humus condition of sod-podzolic soil, productivity.