

ПАРАМЕТРИ КОРЕНЕВИХ СИСТЕМ БОБОВИХ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ ЯК ЧИННИК ВПЛИВУ НА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТУ

Ткачук О.П., Врадій О.І.

Вінницький національний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця
tkachukop@ukr.net

Досліджено індивідуальні параметри кореневих систем шести видів бобових багаторічних трав: люцерни посівної (*Medicago sativa*), конюшини лучної (*Trifolium pratense*), еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), буркуну білого (*Melilotus albus*), лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та козлятника східного (*Galega orientalis*) у динаміці їх чотирирічного росту і розвитку: сумарна довжина, площа поверхні, об'єм та маса кореневої системи, а також комплексно-групові параметри: об'єм і маса кореневих систем усіх рослин на площі 1 га.

Зазначені індивідуально-групові параметри кореневих систем були співставлені з агроекологічними показниками ґрунту, що були досягнуті при вирощуванні бобових багаторічних трав: вміст гумусу, азоту легкогідролізованого, фосфору рухомого, калію обмінного, величина гідролітичної кислотності, реакція ґрунтового розчину рН, вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

Встановлено, що коренева система конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначається великою сумарною довжиною та площею поверхні, але найменшою масою; коренева система лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) має найменші загальну довжину, площу поверхні, об'єм та масу; коренева система козлятника східного (*Galega orientalis*) має найбільшу довжину та масу; коренева система буркуну білого (*Melilotus albus*) має найбільший об'єм, але найменшу сумарну довжину; коренева система еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризувалась найбільшими сумарною довжиною, площею поверхні та об'ємом.

Найбільший об'єм, площа поверхні та сумарна довжини кореневої системи еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на кінець другого року вегетації серед усіх видів бобових багаторічних трав забезпечує накопичення у ґрунті найвищого вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, а також найменший вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку. *Ключові слова:* бобові багаторічні трави, кореневі системи, індивідуальні параметри, ґрунт, агроекологічний стан, взаємозв'язок.

Parameters of the root systems of perennial legumes as a factor of influence on the agro-ecological condition of the soil. Tkachuk O., Vradii O.

The individual parameters of the root systems of six types of leguminous perennial grasses were studied: alfalfa (*Medicago sativa*), meadow clover (*Trifolium pratense*), sand safflower (*Onobrychis arenaria*), white burdock (*Melilotus albus*), horned licorice (*Lotus corniculatus*) and oriental goat's milkweed (*Galega orientalis*) in the dynamics of their four-year growth and development: total length, surface area, volume and mass of the root system, as well as complex group parameters: volume and mass of root systems of all plants on an area of 1 ha.

The specified individual and group parameters of the root systems were compared with the agroecological indicators of the soil, which were achieved during the cultivation of leguminous perennial grasses: the content of humus, easily hydrolyzable nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, the amount of hydrolytic acidity, the reaction of the soil solution pH, the content of mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc.

It was established that the root system of meadow clover (*Trifolium pratense*) is characterized by a large total length and surface area, but the smallest mass; the root system of lotus (*Lotus corniculatus*) has the smallest total length, surface area, volume and mass; the root system of *Galega orientalis* has the largest length and mass; the root system of the white gorse (*Melilotus albus*) has the largest volume, but the smallest total length; the root system of sand safflower (*Onobrychis arenaria*) was characterized by the largest total length, surface area and volume.

The largest volume, surface area and total length of the root system of sand safflower (*Onobrychis arenaria*) at the end of the second year of vegetation among all types of leguminous perennial grasses ensures the accumulation in the soil of the highest content of humus, easily hydrolyzed nitrogen, mobile phosphorus and exchangeable potassium, as well as the lowest content mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc. *Key words:* leguminous perennial grasses, root systems, individual parameters, soil, agroecological condition, relationship.

Постановка проблеми. Відомо, що багаторічні бобові трави комплексно впливають на поліпшення показників родючості ґрунту, залишаючи у ньому сухі кореневі рештки масою від 40 до 120 ц/га. У кореневій системі бобових багаторічних трав міститься 2,5–4,0% азоту в перерахунку на суху

речовину. Після відмирання та розкладання кореневих систем бобових багаторічних трав запаси азоту в ґрунті збільшуються на 150–300 кг/га [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залежно від виду вирощуваної культури та рівня сформованої нею біологічної маси, змінюється кількість

рослинних решток, які повертаються в ґрунт, як субстрат, з якого утворюється гумус. Найбільша кількість біомаси серед усіх культурних рослин, яка поступає в ґрунт з кореневими рештками, відмічається після вирощування бобових багаторічних трав. У результаті розкладу органічних решток з них у ґрунті накопичується гумус, кількість якого тим більша – чим більше в ґрунт поступило біомаси рослин [3; 4].

Біологізація ґрунту під травостоєм бобових багаторічних трав найбільше залежить від накопичення запасів органічної речовини. Підземну біомасу бобових багаторічних трав складають підземні пагони, дрібні корінці з великою кількістю бульбочок із бульбочковими бактеріями, старе коріння і стерня. Уже починаючи з другого року вегетації бобових багаторічних трав, унаслідок ущільнення ґрунту сповільнюються процеси мінералізації органічної речовини в ґрунті, що призводить до поступового утворення гумусу [5; 6].

Зростання вмісту органічної речовини в ґрунті під травостоєм бобових багаторічних трав має пряму залежність не тільки з надземною біомасою рослин, але й з накопиченням корневих та стерньових решток у ґрунті [7].

Процеси, що відбуваються у надземних органах рослин мають прямий зв'язок із функцією їх підземної частини. Встановлено, що чим більший об'єм і протяжність кореневої системи рослини – тим більша сформована маса її надземної частини, оскільки розвинена коренева система сприяє ефективному поглинанню поживних речовин та вологи з ґрунту [8; 9].

Утворений гумус з корневих систем бобових багаторічних трав сприяє зростанню у ґрунті не лише вмісту азоту, але й фосфору, калію, кальцію, мікроелементів, поліпшує агрофізичні та фітосанітарні властивості. Встановлено, що вирощування бобових багаторічних трав зумовлює зниження вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті [10; 11].

Мета роботи. Відома беззаперечна та визначальна роль потужних корневих систем бобових багаторічних трав у поліпшенні агроекологічного стану ґрунту, проте не встановлені безпосередні індивідуальні та комплексно-групові параметри корневих систем бобових багаторічних трав, які здійснюють визначальний вплив на стан ґрунту, зокрема такі як сумарна протяжність кореневої системи, площа її поверхні, об'єм та маса кореневої системи однієї рослини. А з урахуванням того, що на площі 1 га кількість рослин кожного виду бобових багаторічних трав буде різною, відбуватимуться зміни і у кількісних параметрах корневих систем.

Методологія. Дослідженнями передбачалось вивчити вплив динаміки параметрів корневих систем бобових багаторічних трав на зміну агроекологічних показників ґрунту. Вивчали шість видів бобових багаторічних трав: люцерна посівна (*Medicago sativa*), конюшина лучна (*Trifolium pratense*), еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*), буркун

білий (*Melilotus albus*), лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) та козлятник східний (*Galega orientalis*). Досліджували наступні параметри корневих систем у розрізі однієї рослини бобових багаторічних трав: сумарна довжина, площа поверхні, об'єм та маса. Також об'єм та масу корневих систем усіх рослин перераховували на площу 1 га. Визначали наступні агроекологічні показники ґрунту після вирощування бобових багаторічних трав: вміст гумусу, азоту легкогідролізованого, фосфору рухомого, калію обмінного, кальцію, гідролітичну кислотність, реакцію ґрунтового розчину рН, вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

Повторність досліду чотириразова. Облікова площа ділянки польового досліду – 50 м², загальна площа ділянки – 70 м². Варіанти у досліді розміщуються систематично у 6 блоків. Бобові багаторічні трави висівали 2013 року весною, безпокровним способом на дослідних ділянках Науково-дослідного господарства «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету на сірих опідзолених середньосуглинкових ґрунтах. Щорічно травостій бобових багаторічних трав скошували на зелену масу. Дослід тривав з 2013 по 2018 рр.

Агрохімічний склад ґрунту дослідної ділянки до початку проведення досліду мав такі показники: вміст гумусу – 2,0%, азоту легкогідролізованого (за Корнфілдом) – 13,3 мг/100 г, рухомого фосфору (за Чіріковим) – 39,0 мг/100 г, обмінного калію (за Чіріковим) – 6,4 мг/100 г, кальцію – 13,0 мг/100 г, кислотність гідролітична – 0,53 мг-екв./100 г, реакція ґрунтового розчину рН_{сол.} 7,0.

Визначення досліджуваних агроекологічних показників ґрунту здійснювали у сертифікованих та акредитованих лабораторіях: Випробувальному центрі Вінницької філії Державної установи «Держґрунтохорона» Інституту охорони ґрунтів України Міністерства аграрної політики та продовольства України та Науково-вимірвальній агрохімічній лабораторії кафедри екології та охорони навколишнього середовища факультету агрономії та лісівництва Вінницького національного аграрного університету Міністерства освіти і науки України.

Вміст гумусу визначали окисленням органічної речовини розчином двохромовокислого калію в сірчаній кислоті для визначення органічного вуглецю спектрофотометрично; вміст рухомих форм важких металів – атомно-абсорбційним методом; реакцію ґрунтового розчину рН – вилученням обмінного іону водню з ґрунту хлористим калієм; гідролітичну кислотність – методом Каппена в модифікації ЦІНАО; вміст легкогідролізованого азоту – методом Корнфілда; вміст рухомого фосфору і обмінного калію – методами Чирикова; вміст кальцію – комплексонометричним способом з використанням трилону Б [12].

Спостереження за індивідуальними параметрами корневих систем бобових багаторічних трав передбачали визначення особливостей поширення коренів

у ґрунті методом сухого розкопування з послідовним вимірюванням довжини коренів мірною стрічкою, товщини – штангенциркулем. Площу поверхні кореневої системи визначали розрахунковим способом, а об'єм – зануренням кореневої системи у мірний циліндр, заповнений водою [13].

Виклад основного матеріалу. Кореневі системи бобових багаторічних трав впливають на агроecологічний стан ґрунту формуючи певний об'єм у ґрунті, а також накопичуючи біологічну масу, що наповнює ґрунт. У цьому аспекті сформований об'єм кореневої системи бобових багаторічних трав розрихлює ґрунт, а маса коренів є фактичним чинником формування у ґрунті поживних речовин при розкладанні кореневих систем після відмирання рослини. Також сформований розмір кореневої системи впливає на поглинання з ґрунту токсикантів, зокрема важких металів, залишків пестицидів, радіонуклідів, очищаючи його та виконуючи функцію фіторедеміантів. Чим більший розмір кореневої системи – тим більш позитивний вплив на ґрунт можуть чинити бобові багаторічні трави.

Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав можна визначити як на одну рослину, так і розрахувати на один гектар, що дасть більш об'ек-

тивні дані щодо впливу на агроecологічний стан ґрунту того чи іншого виду бобових багаторічних трав. Побічними параметрами кореневих систем бобових багаторічних трав, які також можуть впливати на агроecологічний стан ґрунту, є сумарна довжина коренів однієї рослини та площа поверхні усіх коренів однієї рослини. Зазначені параметри значною мірою впливають на поглинальну здатність рослин не тільки поживних речовин і води з ґрунту, але й токсичних речовин разом з ними.

Найбільший об'єм кореневої системи з однієї рослини в кінці першого року вегетації бобових багаторічних трав мали еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) і буркун білий (*Melilotus albus*) – по 1,25 дм³, а найменший – лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) – 0,20 дм³, що було на 84% менше, ніж у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*). Решта видів бобових багаторічних трав мали подібну за об'ємом кореневу систему, яка становила 0,37-0,42 дм³, що було на 66-70% менше, ніж її об'єм у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*) (табл. 1).

Найбільшу площу поверхні кореневої системи з однієї рослини бобових багаторічних трав мав еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) – 200 дм²,

Таблиця 1

Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр.

Вид бобових багаторічних трав	Роки вегетації	Сумарна довжина кореневої системи, дм/рослина	Площа поверхні кореневої системи, дм ² /рослина	Об'єм кореневої системи, дм ³		Маса кореневої системи	
				однієї рослини	на 1 га	однієї рослини, г	на 1 га, кг
Люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>)	1	840,0	67,2	0,42	17,640×10 ⁵	18,17	76314
	2	2369,1	260,6	2,28	45,144×10 ⁵	97,00	192060
	3	2888,6	404,4	4,55	26,845×10 ⁵	196,61	116000
	4	5694,1	968,0	14,52	17,424×10 ⁵	624,35	74922
Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i>)	1	1974,0	98,7	0,37	16,354×10 ⁵	5,90	26078
	2	2880,0	230,4	1,44	32,256×10 ⁵	24,00	53760
Еспарцет піщаний (<i>Onobrychis arenaria</i>)	1	2500,0	200,0	1,25	24,750×10 ⁵	11,88	23522
	2	3407,7	443,0	4,43	76,196×10 ⁵	64,01	110097
	3	2301,8	391,3	5,38	28,514×10 ⁵	79,62	42199
	4	1244,0	311,0	6,22	16,172×10 ⁵	92,37	24016
Буркун білий (<i>Melilotus albus</i>)	1	793,6	111,1	1,25	42,125×10 ⁵	20,90	70433
	2	2565,0	359,1	4,04	74,740×10 ⁵	67,00	123950
Лядвенець рогатий (<i>Lotus corniculatus</i>)	1	666,7	40,0	0,20	9,360×10 ⁵	4,50	21060
	2	1633,3	98,0	0,49	13,573×10 ⁵	11,27	31220
	3	2000,0	160,0	1,00	14,500×10 ⁵	22,45	32553
	4	2266,7	204,0	1,53	11,781×10 ⁵	33,81	26034
Козлятник східний (<i>Galega orientalis</i>)	1	840,0	67,2	0,42	12,180×10 ⁵	27,70	80330
	2	2547,8	229,3	1,72	48,848×10 ⁵	113,52	322397
	3	1190,0	190,4	2,38	26,656×10 ⁵	155,89	174597
	4	807,1	193,7	3,39	30,849×10 ⁵	220,35	200519

що забезпечувала велика кількість тонких бічних корінців у нього. Найменшу площу поверхні кореневої системи з однієї рослини мав лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus*) – 40 дм². Це було на 80% менше, ніж площа поверхні кореневої системи однієї рослини у решти бобових багаторічних трав, де вона становила 67,2–111,1 дм², та була на 44–66% менша, ніж площа поверхні кореневої системи у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сумарна довжина кореневої системи з однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільша у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – 2500,0 дм, а найменша – 666,7 дм, визначена у лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*). Це було на 73,3% менше, ніж сумарна довжина усіх коренів з однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сира маса кореневої системи бобових багаторічних трав з однієї рослини була найбільша у козлятнику східного (*Galega orientalis*) – 27,70 г а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 4,50 г та конюшини лучної (*Trifolium pratense*) – 5,90 г, що було, відповідно, на 83,8% та 78,7% менше, ніж сира маса кореневої системи однієї рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На другий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем однієї рослини зріс і становив 0,49–4,43 дм³. Найбільший об'єм кореневої системи однієї рослини зберегли, як і першого року вегетації, еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria*) і буркун білий (*Melilotus albus*) – 4,43 дм³, а найменший – рослини лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 0,49 дм³, що було на 88,9% менше, ніж об'єм кореневої системи однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і буркуну білого (*Melilotus albus*). Така ж залежність щодо об'єму кореневих систем бобових багаторічних трав відмічалась і першого року вегетації рослин.

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації складала 98,0–443,0 дм². Вона була найбільша у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 77,9% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність відмічалась і першого року вегетації бобових багаторічних трав.

Сумарна довжина кореневої системи з однієї рослини другого року вегетації бобових багаторічних трав складала 1633,3–3407,7 дм. Найбільша вона була виявлена у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 52,1% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність спостерігалась і першого року вегетації бобових багаторічних трав.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації складала 11,27–113,52 г. Найбільшу масу кореневої

системи мали рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшу – рослини лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що була на 90,1% менша, ніж маса кореневої системи козлятнику східного (*Galega orientalis*). Порівняно з першим роком вегетації бобових багаторічних трав, загальна тенденція зберігалась, проте зростає маса кореневої системи конюшини лучної (*Trifolium pratense*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав з травостою випадають рослини буркуну білого (*Melilotus albus*) і конюшини лучної (*Trifolium pratense*), які є дворічними культурами. Найбільший об'єм кореневої системи серед трав, які продовжили вегетацію, був у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – 5,38 дм³, а найменший – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 1,00 дм³, що на 81,4% менше, ніж у рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Подібна залежність спостерігалась і у попередні роки вегетації бобових багаторічних трав.

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільшою у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 404,4 дм², а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*) – 160,0 дм², що на 60,4% менше, ніж площа поверхні кореневої системи люцерни посівної (*Medicago sativa*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав суттєво зростає площа поверхні кореневої системи люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав у кінці третього року вегетації становила 1190,0–2888,6 дм. Найбільшою вона спостерігалась у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменшою – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), що було на 58,8% менше, ніж у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з попереднім роком вегетації бобових багаторічних трав, зросла сумарна довжина кореневої системи у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*).

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на кінець третього року вегетації складала 22,45–196,61 г. Найбільша маса кореневої системи однієї рослини була виявлена у люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у рослин лядвенець рогатого (*Lotus corniculatus*), що було на 88,6% менше, ніж маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з попереднім роком вегетації бобових багаторічних трав, зросла маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини склав 1,53–14,52 дм³. Найбільшим він був у однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменшим – у рослини лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 89,5% менше, ніж об'єм кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Порівняно з третім роком вегетації бобових багаторічних трав суттєво збільшується об'єм кореневої системи рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), порівняно з рослинами еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Площа поверхні кореневої системи однієї рослини досліджуваних бобових багаторічних трав складала 193,7–968,0 дм². Найбільша вона була у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 80,0% менше, ніж площа поверхні кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Подібна тенденція щодо розподілу площі поверхні кореневих систем однієї рослини бобових багаторічних трав спостерігалась і третього року вегетації.

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав була найбільшою у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 5694,1 дм, а найменшою – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*) – 807,1 дм, що на 85,8% менше, ніж довжина кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Така ж тенденція щодо розподілу між різними видами бобових багаторічних трав загальної довжини кореневої системи відмічалась і попереднього року вегетації.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на четвертий рік вегетації була найбільшою у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – 624,35 г, а найменшою – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – 33,81 г, що на 94,6% менше, ніж маса кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*). Така ж тенденція щодо розподілу маси кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав відмічалась і попереднього року вегетації.

Загалом, впродовж усіх чотирьох років вегетації бобових багаторічних трав, об'єм кореневої системи однієї рослини усіх видів збільшувався щорічно. Зокрема, на другий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини зріс у 2,5–5,4 рази. Найінтенсивніше збільшувався об'єм кореневої системи однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневої системи однієї рослини зріс у 1,2–2,0 рази, найбільше – у рослин лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найменше – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм

кореневих систем однієї рослини зріс у 1,2–3,2 рази. Найбільше зростання об'єму кореневих систем було характерне для рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – для рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). Загалом, у всіх видів бобових багаторічних трав найбільше зростає об'єм кореневих систем однієї рослини на другий рік вегетації, а найменше – на третій-четвертий рік.

Площа поверхні кореневих систем однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації зросла у 2,2–3,9 рази, порівняно з першим роком. Найбільше зростання було характерне для рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – для рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав площа поверхні кореневих систем однієї рослини зросла у лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та люцерни посівної (*Medicago sativa*) у 1,6 рази, в той час як у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*) зменшилась і становила 0,8–0,9 від частки площі кореневої системи однієї рослини другого року вегетації цих бобових багаторічних трав. На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав зросла площа кореневих систем однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) у 2,4 рази, лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – у 1,3 рази, а козлятнику східного (*Galega orientalis*) залишилась на рівні третього року вегетації і лише еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – зменшилась у 1,3 рази.

Сумарна довжина кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації, порівняно з першим роком, зросла у 1,4–3,2 рази, найбільше – у рослин буркуну білого (*Melilotus albus*), а найменше – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На третій рік вегетації довжина кореневої системи однієї рослини зросла в 1,2 рази у люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та зменшилась у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) в 1,5 рази та козлятнику східного (*Galega orientalis*) – в 2,2 рази. На четвертий рік вегетації сумарна довжина кореневої системи однієї рослини зросла лише у люцерни посівної (*Medicago sativa*) – у 2 рази та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) – у 1,4 рази. В той же час у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та козлятнику східного (*Galega orientalis*) сумарна довжина кореневої системи однієї рослини зменшилась, порівняно з третім роком вегетації, відповідно у 1,9 та 1,5 рази.

Сира маса кореневої системи однієї рослини бобових багаторічних трав на другий рік вегетації, порівняно з першим роком, зросла у 2,5–5,4 рази. Найбільше зростання маси кореневої системи однієї рослини було характерне для еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменше – для лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем однієї рослини зросла в 1,3–2,0 рази. Найбільше зростання маси кореневої системи однієї рослини було характерне для люцерни посівної (*Medicago sativa*) та лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найменше – для еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневої системи однієї рослини зросла у 1,2–3,2 рази, найбільше – у люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменше – у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

Загальний вплив кореневих систем бобових багаторічних трав на зміну показників агроекологічного стану ґрунту визначається об'ємом та масою кореневих систем на одиниці площі ґрунту, зокрема на один гектар. Ці параметри включають об'єм контакту кореневих систем усіх рослин з ґрунтом при поглинанні як поживних речовин, так і токсичних важких металів з ґрунту, а також обсяг накопиченої у ґрунті маси органічної речовини, що згодом перетвориться у гумус. Об'єм та маса кореневих систем бобових багаторічних трав у ґрунті визначаються не лише морфологічними розмірами кореневих систем окремих рослин, але й загальною кількістю рослин на одиниці площі.

У кінці вегетаційного періоду першого року життя бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем усіх рослин становив $9,360\text{--}42,125 \times 10^5$ дм³/га. Найбільший об'єм кореневих систем усіх рослин у ґрунті формують посіви буркуну білого (*Melilotus albus*), а найменший – посіви лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 77,8% менше, ніж об'єм кореневих систем усіх рослин буркуну білого (*Melilotus albus*).

На кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав об'єм усіх кореневих систем рослин на площі 1 га становив $13,573\text{--}76,196 \times 10^5$ дм³. Найбільший об'єм кореневих систем усіх рослин був встановлений на посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменший – на посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 82,2% менше, ніж об'єм кореневих систем усіх рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*).

На третій рік вегетації бобових багаторічних трав об'єм кореневих систем усіх рослин становив $14,500\text{--}28,514 \times 10^5$ дм³/га. Найменшим він залишився у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), а найбільшим – у посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), що на 49,2% більше, ніж у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*).

На четвертий рік вегетації об'єм кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав у ґрунті склав $11,781\text{--}30,849 \times 10^5$ дм³/га. Найбільший об'єм кореневих систем був встановлений у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменший – у посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 61,8% менший, ніж у посівах козлятнику східного (*Galega orientalis*).

Спостереження за динамікою об'єму кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав впродовж усіх років вегетації показали, що другого року вегетації бобових багаторічних трав, порівняно з першим роком, об'єм кореневих систем зріс на площі 1 га у 1,5–4,0 рази. Найсуттєвіше збільшився об'єм кореневих систем у посівах козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменше – у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав на площі 1 га зріс лише об'єм кореневих систем у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) у 1,1 рази, а у решти бобових багаторічних трав – зменшився у 1,7–2,7 рази. Найсуттєвіше зменшився об'єм кореневих систем у посівах еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав подібна залежність зберіглась, зокрема зменшився об'єм кореневих систем на площі 1 га посівів люцерни посівної (*Medicago sativa*) та еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – у 1,6–1,8 рази, але збільшився об'єм кореневих систем посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та козлятнику східного (*Galega orientalis*) – в 1,2 рази.

Маса кореневих систем усіх рослин бобових багаторічних трав у кінці вегетації першого року становила 21060–80330 кг/га. Найбільшу масу кореневих систем мав посів козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшу – посів лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 73,8% менше, ніж маса кореневих систем козлятнику східного (*Galega orientalis*).

У кінці другого року вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин становила 31220–322397 кг/га. Найбільша маса кореневих систем була виявлена у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменша – у посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 90,3% менше, ніж маса усіх рослин з посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*).

У кінці третього року вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин становила 32553–174597 кг/га. Найбільшою вона була у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*), а найменшою – у посівах лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*), що на 81,4% менше, ніж маса кореневих систем у посіву козлятнику східного (*Galega orientalis*).

На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем усіх рослин склала 24016–200519 кг/га. Найбільша маса кореневих систем була у посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*), а найменша – у посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), що на 88,0% менше, ніж маса кореневих систем у посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*).

Аналіз динаміки маси кореневих систем рослин бобових багаторічних трав на площі 1 га показав, що на другий рік вегетації, порівняно з першим роком,

їх маса зростає у 1,5–4,7 рази. Найбільше зростання маси кореневих систем усіх рослин було характерне для посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), а найменше – для посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*). На третій рік вегетації бобових багаторічних трав маса кореневих систем на площі 1 га зростає лише на посіві лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) в 1,1 рази, а на решті посівах – зменшилась у 1,7–2,6 рази. Найсуттєвіше зменшилась маса кореневих систем посіву еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*). На четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав відбулось збільшення маси кореневих систем посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) і козлятнику східного (*Galega orientalis*) в 1,2–1,3 рази та зменшення маси на решті видах бобових багаторічних трав у 1,6–1,8 рази.

Підсумовуючи результати досліджень щодо впливу досліджуваних параметрів кореневих систем бобових багаторічних трав на агроекологічний стан ґрунту, необхідно відмітити наступне: коренева система конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначається великою сумарною довжиною та площею поверхні, але найменшою масою; коренева система лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) має найменші загальну довжину, площу поверхні, об'єм та масу; коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) має найбільшу довжину та масу; коренева система буркуну білого (*Melilotus albus*) має найбільший об'єм, але найменшу сумарну довжину; коренева система еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризувалась найбільшими сумарною довжиною, площею поверхні та об'ємом.

На другий рік вегетації бобових багаторічних трав, більшість з досліджуваних видів збільшили сумарну довжину, площу поверхні та об'єм кореневих систем з однієї рослини, крім рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та буркуну білого (*Melilotus albus*), а масу кореневих систем однієї рослини збільшили всі види бобових багаторічних трав; рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) та буркуну білого (*Melilotus albus*) на другий рік вегетації зменшили, порівняно з першим роком, сумарну довжину, площу поверхні та об'єм кореневої системи, а збільшили лише її масу; найбільш інтенсивно зростає сумарна довжина кореневих систем однієї рослини на другий рік вегетації, порівняно з першим, у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), площа поверхні та об'єм кореневих систем однієї рослини – у рослин люцерни посівної (*Medicago sativa*), маса кореневих систем – у еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*); найповільніше зростає на другий рік вегетації сумарна довжина кореневих систем у рослин конюшини лучної (*Trifolium pratense*), площа поверхні та маса кореневих систем – у рослин козлятнику східного (*Galega orientalis*), об'єм кореневих систем – у рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*); рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*) мали

на другий рік вегетації найбільшу сумарну довжину і площу поверхні кореневих систем; рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) мали найбільший об'єм, а еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) – масу кореневих систем; рослини лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) мали найменший об'єм та масу кореневих систем з однієї рослини.

На основі виявлених залежностей особливостей впливу параметрів кореневих систем бобових багаторічних трав на агроекологічні показники ґрунту, встановлені такі тенденції: коренева система однієї рослини еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) характеризується найбільшим об'ємом, площею та сумарною довжиною на кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав. Це зумовило формування найбільшого об'єму кореневих систем еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на площі 1 га на кінець другого року вегетації бобових багаторічних трав. Найбільший об'єм кореневих систем серед усіх бобових багаторічних трав сприяв накопиченню у ґрунті найбільшого вмісту гумусу на четвертий рік вегетації – 2,30%, легкогідролізованого азоту – 14,2 мг/100 г, рухомого фосфору – 44,4 мг/100 г, калію обмінного – 9,2 мг/100 г, а також найбільшого вмісту на другий рік вегетації: фосфору рухомого – 41,3 мг/100 г та калію обмінного – 8,4 мг/100 г. Потужна коренева система рослин еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) завдяки поглинанню з ґрунту важких металів забезпечила на другий та четвертий роки вегетації бобових багаторічних трав найнижчий вміст у ньому рухомих форм свинцю – по 1,5 мг/кг, кадмію, відповідно 0,02 мг/кг та 0,01 мг/кг, найменший вміст міді та цинку на другий рік вегетації, відповідно 6,0 мг/кг та 2,8 мг/кг (табл. 2, 3).

Також травостій еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) відзначався найменшою масою, об'ємом та сумарною довжиною кореневих систем на площі 1 га на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав та найменшою площею кореневої системи однієї рослини на четвертий рік вегетації, що зумовило найбільший вміст міді – 0,4 мг/кг та цинку – 2,4 мг/кг у ґрунті серед усіх видів бобових багаторічних трав на четвертий рік вегетації.

Коренева система однієї рослини люцерни посівної (*Medicago sativa*) відзначалась найбільшим об'ємом, площею поверхні, сумарною довжиною та масою на 3–4-й роки вегетації бобових багаторічних трав. Це зумовило накопичення у ґрунті найменшого вмісту міді – 0,1 мг/кг та цинку – 1,1 мг/кг на четвертий рік вегетації. Також сукупність кореневих систем посіву люцерни посівної (*Medicago sativa*) відзначалась найменшим об'ємом на площі 1 га на четвертий рік вегетації. Це зумовило накопиченню найменшого вмісту гумусу на четвертий рік вегетації – 2,10% та азоту легкогідролізованого як на другий рік – 13,0 мг/100 г, так і на четвертий рік вегетації – 13,7 мг/100 г, фосфору рухомого – 42,4 мг/100 г та калію обмінного на четвертий рік вегетації –

8,6 мг/100 г, а також кальцію на другий рік і четвертий рік вегетації – по 13,0 мг-екв./100 г.

Також спостерігалась найменша величина гідролітичної кислотності ґрунту на другий рік вегетації – 0,38 мг-екв./100 г, але найбільша концентрація на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав рухомих форм свинцю – 3,6 мг/кг та кадмію –

0,02 мг/кг, а також на другий рік вегетації міді – 6,8 мг/кг та цинку – 9,1 мг/кг.

Коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) відзначалась найбільшою масою з однієї рослини першого-третього років вегетації. Це зумовило формуванню найбільшої маси корневих систем на площі 1 га впродовж усіх років вегетації

Таблиця 2

Агрохімічні показники ґрунту після вирощування бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр.

Вид бобових багаторічних трав	Роки вегетації	Вміст					Кислотність гідролітична, мг-екв./100 г ґрунту	Реакція ґрунтового розчину, рНсол
		Гумусу, %	Азоту легкогідролізованого, мг/100 г ґрунту	Фосфору рухомого, мг/100 г ґрунту	Калію обмінного, мг/100 г ґрунту	Кальцію, мг-екв./100 г ґрунту		
До вирощування трав	-	2,00	13,3	39,0	6,4	13,0	0,53	7,0
Люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>)	2	2,03	13,0	40,5	8,0	13,0	0,38	7,3
	4	2,10	13,7	42,4	8,6	13,0	0,40	7,1
Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i>)	2	2,01	13,1	40,0	7,7	13,1	0,38	7,3
Еспарцет піщаний (<i>Onobrychis arenaria</i>)	2	2,02	13,2	41,3	8,4	13,2	0,43	6,6
	4	2,30	14,2	44,4	9,2	13,3	0,39	7,2
Буркун білий (<i>Melilotus albus</i>)	2	2,02	13,0	40,8	7,6	13,5	0,40	7,2
Лядвенець рогатий (<i>Lotus corniculatus</i>)	2	2,01	13,3	40,6	8,2	13,3	0,38	7,3
	4	2,10	13,8	43,0	8,7	13,4	0,43	7,0
Козлятник східний (<i>Galega orientalis</i>)	2	2,05	13,3	41,1	8,2	13,2	0,40	7,2
	4	2,20	14,0	43,5	9,1	13,3	0,32	7,2

Таблиця 3

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті після вирощування бобових багаторічних трав, 2013–2018 рр., мг/кг

Вид бобових багаторічних трав	Рік вегетації	Свинець	Кадмій	Мідь	Цинк
До вирощування трав	-	5,9	0,60	6,8	9,1
Люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>)	2	5,7	0,05	6,8	9,1
	4	3,6	0,02	0,1	1,1
Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i>)	2	3,0	0,03	6,7	6,6
Еспарцет піщаний (<i>Onobrychis arenaria</i>)	2	1,5	0,02	6,0	2,8
	4	1,5	0,01	0,4	2,4
Буркун білий (<i>Melilotus albus</i>)	2	3,6	0,60	6,4	4,3
Лядвенець рогатий (<i>Lotus corniculatus</i>)	2	2,3	0,50	6,6	4,0
	4	3,4	0,02	0,2	0,9
Козлятник східний (<i>Galega orientalis</i>)	2	5,9	0,60	6,5	5,4
	4	2,6	0,01	0,1	1,1

бобових багаторічних трав та найбільшого об'єму кореневих систем на площі 1 га третього-четвертого років вегетації. Такий вплив сприяв накопиченню у ґрунті на другий рік вегетації найбільшого вмісту гумусу у ґрунті – 2,05% та азоту легкогідролізованого – 13,3 мг/100 г; найвищого значення гідролітичної кислотності на другий рік вегетації – 0,40 мг-екв./100 г, але найменшого значення – на четвертий рік – 0,32 мг-екв./100 г. Також потужна коренева система козлятнику східного (*Galega orientalis*) на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав забезпечила найнижчий вміст у ґрунті міді – 0,1 мг/кг і цинку – 1,1 мг/кг. Проте на другий рік вегетації козлятник східний (*Galega orientalis*) забезпечив найбільший вміст свинцю – 5,9 мг/кг та кадмію – 0,60 мг/кг у ґрунті. Також кореневі системи однієї рослини козлятнику східного (*Galega orientalis*) характеризувались найменшою сумарною довжиною та площею поверхні на третій-четвертий роки вегетації бобових багаторічних трав.

Посіви конюшини лучної (*Trifolium pratense*) відзначались найбільшою сумарною довжиною кореневої системи однієї рослини першого-другого років вегетації бобових багаторічних трав. В той же вони мали найменшу масу кореневих систем з площі 1 га першого-другого років вегетації, що зумовило накопичення найменшого вмісту гумусу на другий рік вегетації – 2,01% та фосфору рухомого – 40,0 мг/100 г та найменше значення величини гідролітичної кислотності – 0,38 мг-екв./100 г.

Посіви буркуну білого (*Melilotus albus*) відзначалися найбільшою площею і об'ємом кореневої системи однієї рослини та відповідно мали найбільший об'єм кореневих систем на площі 1 га другого року вегетації бобових багаторічних трав. Проте це зумовило накопичення найменшого вмісту легкогідролі-

зованого азоту на другий рік вегетації – 13,0 мг/100 г та калію обмінного – 7,6 мг/100 г але найбільшого вмісту кальцію – 13,5 мг-екв./100 г та найвищої величини гідролітичної кислотності – 0,40 мг-екв./100 г та найбільшого вмісту кадмію на другий рік вегетації – 0,60 мг/кг.

Посіви лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) характеризувались найменшими об'ємом, площею поверхні та масою кореневої системи однієї рослини впродовж усіх років вегетації бобових багаторічних трав. Це сприяло утворенню найменшої сумарної довжини кореневих систем на площі 1 га впродовж першого-другого років вегетації та найменшого об'єму і маси кореневих систем на площі 1 га за усі роки вегетації бобових багаторічних трав. Через це у ґрунті було виявлено найменший вміст гумусу як на другий рік вегетації – 2,01%, так і на четвертий рік – 2,10%, але найбільший вміст легкогідролізованого азоту на другий рік вегетації – 13,3 мг/100 г та кальцію на четвертий рік вегетації – 13,4 мг-екв./100 г. У ґрунті посіву лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) була найменша величина гідролітичної кислотності на другий рік вегетації – 0,38 мг-екв./100 г, але найбільша – на четвертий рік вегетації – 0,43 мг-екв./100 г. Також тут було на четвертий рік вегетації найбільше кадмію – 0,02 мг/кг та найменше цинку – 0,9 мг/кг.

Головні висновки. Найбільший об'єм, площа поверхні та сумарна довжини кореневої системи еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*) на кінець другого року вегетації серед усіх видів бобових багаторічних трав забезпечує накопичення у ґрунті найвищого вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію, а також найменший вміст рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку.

Література

1. Собко М.Г., Собко Н.А., Собко О.М. Роль багаторічних бобових трав у підвищенні родючості ґрунту. *Корми і кормовиробництво*, 2012. Вип. 74. С. 53–57.
2. Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы. Харьков : Штрих, 2000. 162 с.
3. Кірілеско О.Л. Вплив насичення ланок кормових сівозмін багаторічними травами і проміжними культурами на баланс гумусу в ґрунті. *Корми і кормовиробництво*, 2013. Вип. 76. С. 151–157.
4. Баласв А.Д., Ковальчук О.П., Дорошкевич Н.Ф. Зміна вмісту та запасів гумусу в сірому лісовому ґрунті за застосування різних сидеральних культур як зеленого добрива. *Корми і кормовиробництво*, 2011. Вип. 70. С. 106–110.
5. Квітко Г.П., Ткачук О.П., Гетман Н.Я. Багаторічні бобові трави – основа природної інтенсифікації кормовиробництва та поліпшення родючості ґрунту в Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*, 2012. Вип. 73. С. 113–117.
6. Гетман Н.Я., Квітко Г.П. Агробіологічне обґрунтування ресурсоощадних технологій вирощування фітоценозів багаторічних та однорічних кормових культур у польовому кормовиробництві. *Вісник аграрної науки*, 2013. № 9. С. 44–47.
7. Шевніков М.Я. Бобові культури – фактор стійкості та біологізації землеробства в сучасних умовах. *Корми і кормовиробництво*, 2008. Вип. 62. С. 84–89.
8. Петриченко В.Ф., Квітко Г.П., Царенко М.К. Наукові основи інтенсифікації польового кормовиробництва в Україні. Вінниця : ФОП Данилюк В.Г., 2008. 240 с.
9. Квасніцька Л.С. Продуктивність та енергетична оцінка кормової сівозміни залежно від насичення бобовими багаторічними травами. *Корми і кормовиробництво*, Вінниця. 2013. Вип. 77. С. 202–208.
10. Ткачук О.П. Вплив бобових багаторічних трав на агроекологічний стан ґрунту. *Збалансоване природокористування*, 2017. № 1. С. 127–130.
11. Разанов С.Ф., Ткачук О.П. Динаміка зміни концентрації важких металів у ґрунті при вирощуванні бобових багаторічних трав. *Збалансоване природокористування*, 2017. № 4. С. 140–143.
12. Грицасенко З.М., Грицасенко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К. : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
13. Мойсейченко В.Ф., Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії. К. : Вища школа, 1994. 334 с.