

АГРОНОМІЯ

УДК 633.31:631.559:631.8(477.4)

Формування урожайності зеленої маси люцерни за різних доз та строків внесення мінеральних добрив в умовах Правобережного Лісостепу УкраїниКозак Л.А.¹ , Панченко Т.В.¹ , Козак А.Л.²¹ Білоцерківський національний аграрний університет² Компанія «Corteva Agriscience»✉ E-mail: Козак Л.А. kla59@ukr.net; Панченко Т.В. panchenko.taras@gmail.com;
Козак А.Л. andrii.kozak@corteva.com

Козак Л.А., Панченко Т.В., Козак А.Л. Формування урожайності зеленої маси люцерни за різних доз та строків внесення мінеральних добрив в умовах Правобережного Лісостепу України. «Агробіологія», 2024. № 1. С. 175–187.

Kozak L., Panchenko T., Kozak A. The formation of green mass yield of alfalfa under different doses and periods of mineral fertilizers application in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. «Agrobiologia», 2024. no. 1, pp. 175–187.

Рукопис отримано: 17.04.2024 р.
Прийнято: 02.05.2024 р.
Затверджено до друку: 24.05.2024 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2024-187-1-175-187

Дози добрив та строки їх внесення мали вплив на ріст, розвиток, виживаність люцерни та на енергетичну ефективність її вирощування.

Найкраща виживаність люцерни спостерігалася на варіантах, де вносили $P_{120}K_{120}$ двічі за рік вегетації. Зокрема виживаність становила у межах 72,0–74,1 % за першого укусу, 66,2–68,4 % за другого і 46,5–47,2 % за третього укусу. Найнижча виживаність рослин люцерни спостерігалася на варіанті без добрив, відповідно по укусах становила 69,5; 63,5 і 41,9 %.

Найбільша площа листової поверхні люцерни спостерігалася на варіанті з внесенням $P_{120}K_{120}$ восени та весною і становила 129 тис. м²/га, що перевищувало контроль в 2,3 рази. На варіантах з внесенням за вегетацію люцерни $P_{120}K_{120}$ і $P_{60}K_{60}$ врожайність зеленої маси підвищувалася, порівняно з контролем, в 1,9 рази.

Найвищу врожайність зеленої маси люцерни отримано за подвійного внесення $P_{120}K_{120}$ – 54,2 т/га, що суттєво перевищувало контроль. Дрібне внесення добрив ($P_{60}K_{60}$ восени та $P_{60}K_{60}$ навесні) не має суттєвої переваги над удобренням $P_{120}K_{120}$ весною, або восени (врожайність становила відповідно 39,9; 40,4 і 39,2 т/га).

Урожайність зеленої маси люцерни по укусах розподілялася нерівномірно. У середньому по досліді, перший укіс давав 35,9 % зеленої маси, другий – 39,3 %, а третій укіс – лише 24,8 %.

Використання мінеральних добрив у дозі $P_{60}K_{60}$ приводило до збільшення витрат сукупної енергії вирощування люцерни на 1,89 ГДж/га, або на 6,71 %, порівняно до контролю. За внесення $P_{120}K_{120}$ витрати збільшувалися на 4,39 ГДж/га, або на 15,59 %, порівняно з контролем. Внесення мінеральних добрив під люцерну сприяло підвищенню енергетичного коефіцієнту. Внесення $P_{60}K_{60}$ приводило до підвищення енергетичного коефіцієнту на 11,7 %, порівняно з контролем, $P_{120}K_{120}$ – на 31,9 %, $P_{60}K_{60}$ восени $P_{120}K_{120}$ весною – на 39,3 %, а $P_{120}K_{120}$ восени і $P_{120}K_{120}$ весною – на 56,2 %. Розрахунками встановлено, що мінеральні добрива сприяли зменшенню енергоємності 1 т кормових одиниць. Зокрема, якщо на варіанті без добрив енергоємність 1 т кормових одиниць становила 1,06 ГДж, то внесення $P_{60}K_{60}$ приводило до зниження цього показника на 10 %, $P_{120}K_{120}$ – на 24,0 %, $P_{60}K_{60}$ восени $P_{120}K_{120}$ весною – на 28,1 %, а $P_{120}K_{120}$ восени і $P_{120}K_{120}$ весною – на 36,1 %.

Ключові слова: люцерна, дози добрив, строки внесення, урожайність зеленої маси, укуси люцерни, економічна ефективність, густина рослин, строки вегетації, виживання рослин.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Люцерна є однією із найцінніших кормових бобових трав в Україні. Це високобілкова, високоврожайна, багаторічна культура, може вирощуватися як на зелений корм так і на сіно, сінаж, у сумішках і на високобілковий силос. У кормовому раціоні сільськогосподарських тварин люцерна є джерелом дешевого і якісного білка, особливо у зимовий період [23]. Високий відсоток люцерни у раціоні тварин приводить до здешевлення кормів. Вирощують люцерну здебільшого у вивідних полях, оскільки вона може утримуватися на одному полі до семи років. Однак наразі цю культуру вирощують на порівняно незначній площі. Зокрема, у 90-х роках площа вирощування люцерни в Україні сягала до 1,8 млн га [8], у 2018 році її площі скоротилися удвічі і становили лише 920 тис. га [1]. Це недостатньо і пояснюється певними технологічними проблемами вирощування, високою потенційною засміченістю ґрунтів кормових сівозмін та низкою інших причин. Окрім цього, урожайність зеленої маси люцерни по роках користування досить нестабільна і залежить від низки чинників, насамперед від кількості доступних елементів живлення, кислотності ґрунтів та погодних умов, що склалися у рік вирощування. Однією з важливих причин низької врожайності є сівба люцерни на маргінальних землях, які зазвичай мають низьку родючість ґрунту. Кращі землі використовують для сівби зернових культур з метою забезпечення продовольчої безпеки. Тому внесення добрив є прямою та ефективною стратегією управління для підвищення врожайності та якості зеленої маси, особливо на низькородючих ґрунтах.

З урожаєм люцерни на безпокровних посівах у перший рік життя виноситься з ґрунту, в кг/га: азоту – 180; фосфору – 18; калію – 60; кальцію – 98; магнію – 42; натрію – 10. У наступні роки кількість використаних елементів живлення для росту і розвитку збільшується і становить: 300–320 кг/га азоту, 60–80 фосфору та 180–200 кг/га калію, що дає сформувати близько 45 т/га зеленої маси. Як зернобобова культура люцерна за допомогою азотфіксуючих бактерій до 40 % азоту фіксує з атмосфери, а решту отримує з ґрунту [4].

Дослідники рекомендують під люцерну вносити органічні добрива у нормі 20–40 т/га під попередник, а фосфорно-калійні – під оранку в підвищеній дозі – 90–150 кг P_2O_5 і 60–100 кг/га K_2O , які будуть використовуватися покривною культурою і травостоєм у перший та в наступні роки життя. Щорічно після скошування люцерну рекомендується підживлювати фосфором і калієм $P_{30-60}K_{30-60}$ [2, 12].

Фосфор, як елемент живлення, має важливе значення у формуванні урожайності люцерни, особливо у створенні і функціонуванні симбіотичного апарату. Завдяки достатньому засвоєнню фосфору азотфіксуючими бактеріями зростає кількість легмоглобіну, який є індикатором активності азотфіксації, а тому забезпечує синтез амінокислот, білків, жирів, крохмалю і цукрів у люцерні. Вносити фосфорні добрива необхідно не лише на один рік, а пролонговано і на подальші роки використання посівів люцерни, завдяки тому, що фосфор малорухливий у ґрунті [3].

Доступний фосфор сприяє гарному розвитку кореневої системи і подовжує термін використання полів люцерни. Дефіцит фосфору на люцерні можна розпізнати за синьо-фіолетовим відтінком на листках і червоно-фіолетовим на стеблі та нижній стороні листків. У перший рік люцерна використовує до 70 кг/га фосфору, а потім щороку під час відновлення вегетації цю дозу треба вносити знову. Варто зауважити, що щорічна доза використання фосфорних добрив змінюється і залежить від забезпечення ґрунтів цим елементом живлення, програмованою врожайністю та кількістю добрив, що вносили у попередні роки [11].

Найкраще зростає люцерна на родючих ґрунтах, які містять в орному шарі не менш як 2,5–3 % гумусу, та повним забезпеченням органічними і мінеральними добривами. Гній доцільно вносити під попередник чи передпопередник люцерни, а азотні і калійні добрива рекомендують вносити у дозі 30–60 кг/га, тимчасом доза фосфорних добрив значно більша і становить 100–120 кг/га [7].

Калій незамінний у вуглеводному та білковому обміні люцерни. Він посилює асиміляцію вуглеводів і синтез білків, а також переміщення вуглеводів із надземної частини в кореневу систему. Калій сприяє підвищенню зимостійкості і посухостійкості люцерни [5, 10].

Калій – незамінний макроелемент рослин, необхідний для росту та розвитку люцерни [17]. Забезпечення калієм люцерни у достатній кількості сприяє кращому розвитку кореневої системи на ранніх стадіях, кращій витривалості посівів, а тому сприяє виживаності рослин до збору врожаю [13]. Краща виживаність рослин люцерни за удобрення калієм частково пояснюється стійкістю до стресів завдяки достатнім запасам вуглеводів [25, 26]. Однак позитивні кореляції між удобренням калієм і врожайністю люцерни та виживаністю не завжди є однозначними у науковій літературі [14, 19].

Забезпечення достатньою кількістю доступного калію є важливим у управлінні до-

ступними поживними речовинами у ґрунті задля отримання високої сталої урожайності люцерни та поживної цінності корму з неї. Завдяки достатньому удобренню калійними добривами встановлена позитивна реакція люцерни на ріст урожайності, що відмічено багатьма вченими [19]. На ґрунтах з низьким вмістом калію, зазвичай, внесення високих доз калійних добрив сприяло стрімкішому підвищенню урожайності люцерни, ніж на ґрунтах з кращим забезпеченням цим макроелементом [13, 14, 15, 17, 25, 26]. Крива реакції урожайності люцерни від росту доз калійних добрив не знижувалася навіть за надлишкового внесення калію у ґрунт. Водночас не спостерігалися ні зниження якості корму з люцерни ні негативної дії на культуру [20], що однак суперечить результатам досліджень інших вчених.

Додавання калію на піщаних ґрунтах, які поширені в посушливих і напівпосушливих регіонах, збільшувало фіксацію азоту на 300 % завдяки посиленню утворення бульбочок у коренях, що свідчить про позитивну кореляцію між удобренням калієм і фіксацією азоту в люцерні. Також встановлено, що внесення калійних добрив зменшує стреси, спричинені нестачею води [26] і захворюваність люцерни [16].

Надмірна концентрація калію в тканинах (>3 % сухої маси) у люцерні може мати негативний вплив на уміст сирого протеїну та деякі основні поживні речовини, а також уміст кальцію, магнію і натрію [22].

Використання кальцій-дефіцитних кормів, зумовлене надмірним поглинанням калію в раціонах, може призвести до недоїдання та низької продуктивності великої рогатої худоби. Також встановлено, що зниження поживної цінності люцерни, особливо через якість сирого протеїну і перетравність нейтральних детергентних волокон, відбувається зі збільшенням застосованої норми K_2O понад 300 кг/га [18].

Для ґрунтів з низьким вмістом калію швидкість обмінного насичення K_2O до оптимальної концентрації становить 3–4 % [24, 15]. Ґрунти з низьким вмістом K_2O для оптимального росту рослин часто потребують вищих доз калійних добрив, особливо для багаторічних рослин, таких як люцерна [19].

На сьогодні хлористий калій, сульфат калію і нітрат калію є поширеними джерелами калійних добрив, які використовують для вирощування люцерни. Вибір кращого калійного добрива на основі його складу та властивостей ґрунту для покращення забезпечення калієм люцерни в ґрунтах з його дефіцитом має важливе значення у підвищенні урожайності цієї культури [21].

Отже, за даними багатьох дослідників, можна зробити висновок, що внесення фосфорних і калійних добрив сприяє росту урожайності зеленої маси люцерни, однак дози добрив та час їх внесення значно залежить від якості ґрунтів, погодно-кліматичних умов вирощування культури та інших чинників.

Метою дослідження було встановлення строків внесення та доз мінеральних добрив на ріст і розвиток люцерни, виживаність рослин, урожайність зеленої маси, енергетичну ефективність вирощування в умовах центральної частини Правобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи дослідження. У досліді використовували наступні методи досліджень: спостереження, порівняння, експеримент, аналіз і синтез, польовий, візуальний, вимірний, ваговий, кількісний, метод пробного снопа, математично-статистичний.

Дослідження проводили впродовж трьох років вирощування люцерни у тимчасовому польовому досліді кафедри технологій у рослинництві та захисту рослин, розміщеному у сівозміні науково-виробничого центру (НВЦ) БНАУ.

Розміщення повторень суцільне, варіантів у повтореннях систематичне, послідовне. Повторність досліді трикратна.

Розмір облікової ділянки 108 м². Люцерну сорту Ярославна підсівали під ячмінь на зерно. Облік урожаю у досліді проводили прямим методом, за допомогою зважування зеленої маси із залікової площі ділянки.

Результати урожайності обробляли статистичним методом для дисперсійного аналізу у програмі Statistica 6,0.

Фенологічні спостереження, обліки й аналізи рослин з люцерною проводили згідно з «Методикою проведення досліджень в кормовиробництві». З цією метою було виділено на двох несуміжних повтореннях по десять рослин люцерни. На цих ділянках підраховували кількість рослин, які вступили у цю фазу і повне настання фази. Настання фази відмічали за нарахування на ділянці 10 % рослин, що її досягли, а повну фазу – у 75 % [9].

Для визначення густоти посівів виділяли ділянки площею 0,5 м² з 3-разовою повторністю на кожному з трьох повторень. На ділянках підраховували кількість рослин за повних сходів, кожного укусу люцерни, після припинення вегетації восени і за відновлення росту весною [9].

Облік урожаю зеленої маси люцерни проводили урожаю методом – скошуванням травостою з раніше виділеної облікової ділянки, зважуванням і наступними перерахунками [6].

Науково-виробничий центр (НВЦ) БНАУ розміщений у центральній частині Правобережного Лісостепу України, у зоні помірно континентального клімату Білоцерківського агроґрунтового району. Він характеризується сприятливими температурними умовами і ґрунтовим покривом для вирощування більшості сільськогосподарських культур, зокрема люцерни.

Погодні умови загалом значно впливають на рівень урожайності будь-якої культури. Тому були проаналізовані елементи погодних умов за роки досліджень.

За елементами погоди 2020 рік був достатньо теплим і зволеним. За рік випало 562,2 мм опадів за середньобагаторічних даних 530,2 мм, а за 5–9-й місяці 313,8 мм, що на 19,9 % вище середньобагаторічних даних. Сума активних температур вище 10 і 15-ти градусів була відповідно вищою від середньобагаторічних даних на 46,2 та 41,5 градуси. Тому рік, загалом, був сприятливим для вирощування люцерни другого року життя.

Встановлено, що 2021 і 2022 роки мало чим відрізнялися між собою за сумою опадів за рік і періодом з 5 до 9-го місяців, що відповідає більшій частині вегетаційного періоду люцерни. Водночас ці показники були значно нижчими у порівнянні із середньобагаторічними даними. Зокрема, якщо за 2015–2022 рр. середня кількість опадів за рік становила 530,2 мм, а за 5–9-й місяці 261,8 мм, то у 2021 р. ці показники становили відповідно 462,6 і 253,7 мм, що менше багаторічних даних на 14,6 і 3,2 %. Відповідно у 2022 р. середня кількість опадів за рік становила 463,2 мм, а за 5–9-й місяці 240,1 мм, що було менше середньобагаторічних даних на 14,5 і 9,0 %. Незважаючи на це опади випадали подекадно нерівномірно, що впливало на ГТК і корегувало рівень урожайності люцерни.

Важливим показником елементів погоди є температура, яка також впливає на ріст і розвиток люцерни. Встановлено, що за сумами температур вище 10 і 15 °С роки практично не відрізнялися. Зокрема, у 2021 році суми температур вище 10 і 15 °С становили відповідно 2896,6 і 2599,1 градусів, або -3,9 і +7,0 %, а у 2022 році – 2959,9 і 2597,8 градусів, або -6,1 і +6,9 %, порівняно з середньобагаторічними даними.

Загалом погодні умови були сприятливими для вирощування люцерни, що підтверджується і ГТК, який за роки досліджень у середньому за вегетацію становив 0,92–0,94.

Дослід був закладений на типових для центральної частини Правобережного Лісостепу України ґрунтах – вилуженому чорноземі з умістом гумусу 3,2–4,0 %. Ґрунт за механічним складом крупнопилувато-середньосуг-

линковий. Уміст рухливих форм поживних речовин (P_2O_5 , K_2O) середній і становить 8–12 мг на 100 г ґрунту.

Результати дослідження та обговорення.

Люцерна має високі потреби щодо умов проростання – температури повітря і ґрунту, вологозабезпеченості та ґрунтового режиму живлення. Результати досліджень показали, що зазначені чинники життя істотно впливають на наростання надземної маси люцерни. Водночас проведені спостереження вказують на те, що зростаючі дози мінеральних добрив, які вносять у підживлення, на перебіг вегетації люцерни впливають незначно. За варіантами досліду відмінності у тривалості фаз розвитку люцерни та міжкісничевих періодів становили не більше 2–3 діб.

Водночас проводили обліки настання фаз вегетації люцерни впродовж трьох років використання травостою на зелену масу (табл. 1).

У різні роки використання травостою найбільші розбіжності у тривалості вегетації люцерни спостерігалися до збору першого укосу і у період від третього укосу до закінчення вегетації восени. Це пов'язано з різними погодними умовами у роки досліджень, тобто з настанням початку вегетації навесні та закінченням її восени. Водночас тривалість вегетації за три укоси майже однакова, оскільки різниця становить лише 5 діб. За середніх даних тривалість вегетації за три укоси становила 172 доби, а по роках досліджень вона варіювала від 170 до 175 діб. Слід зазначити, що найбільшими темпами росту і розвитку люцерни відрізняється у другому укосі. Зокрема, період від початку весняного відростання до початку цвітіння (збору першого укосу) становив у досліді 62–73 доби, тимчасом від відростання після першого укосу до початку цвітіння (збору другого укосу) – 51–56 діб. Ріст і розвиток люцерни після другого укосу до третього укосу становив ще менше – 51–53 доби. Це обумовлено різними чинниками, особливо меншою кількістю опадів, а тому і доступної вологи у ґрунті в періоди від першого укосу до третього укосу.

Важливою умовою високої продуктивності люцерни є її густина травостою. Тому необхідно отримати оптимальну густоту рослин та зберегти її до збирання впродовж усього періоду використання травостою. Вивчено вплив доз і строків внесення мінеральних добрив на виживання рослин люцерни (табл. 2).

Встановлено, що з кожним укосом кількість рослин люцерни, які вижили, зменшується. На період від весняного відростання до першого укосу відсоток рослин, які вижили, становив у середньому по досліді 70,8 %, до другого укосу – 65,0 %, а до третього – лише 45,3 %.

Таблиця 1 – Дата настання та кількість діб вегетації люцерни за укосами

Строки вегетації	Дата				Діб від початку вегетації та між укосами			
	2020 р.	2021 р.	2022 р.	середнє	2020 р.	2021 р.	2022 р.	середнє
Початок весняного відростання	10.04	9.04	18.04	12.04	-	-	-	-
Збір першого укосу	10.06	20.06	18.06	16.06	62	73	62	66
Збір другого укосу	05.08	10.08	12.08	09.08	56	51	56	54
Збір третього укосу	25.09	30.09	04.10	30.09	52	51	53	52
За три укоси	-	-	-	-	170	175	171	172
Закінчення вегетації	01.11	12.11	5.11	06.11	204	217	202	208

Таблиця 2 – Вплив строків внесення та доз мінеральних добрив на густоту сходів та виживання люцерни, середнє за 2021–2022 рр.

Варіант		Укоси						
		густина сходів, шт./м ²	перший		другий		третій	
دوزи добрив	строки внесення		шт./м ²	виживання, %	шт./м ²	виживання, %	шт./м ²	виживання, %
Контроль (без добрив)		475	330	69,5	274	63,5	199	41,9
P ₆₀ K ₆₀	весна	470	324	68,9	270	63,2	212	45,1
P ₁₂₀ K ₁₂₀	весна	465	336	72,3	289	68,4	219	47,1
P ₆₀ K ₆₀	осінь	474	340	71,7	280	65,0	203	42,8
P ₆₀ K ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	осінь весна	471	328	69,6	271	63,3	206	43,7
P ₆₀ K ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	осінь весна	465	329	70,8	275	65,1	218	46,9
P ₁₂₀ K ₁₂₀	осінь	460	341	74,1	284	67,9	214	46,5
P ₁₂₀ K ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	осінь весна	478	328	68,6	273	62,8	221	46,2
P ₁₂₀ K ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	осінь весна	475	342	72,0	286	66,2	224	47,2

Дози добрив не мали істотного впливу на виживання рослин. Зокрема, різниця у кількості рослин, що вижили по варіантах дослідження становила у межах 5 %.

Встановлена тенденція дещо вищого виживання рослин люцерни на варіантах з вищими дозами добрив. Зокрема, на час першого укусу, найкраща виживаність люцерни спостерігалася на варіантах, де вносили $P_{120}K_{120}$ восени або весною та на варіанті де вносили $P_{120}K_{120}$ восени і весною. Виживаність становила у межах 72,0–74,1 %. На час другого укусу виживаність рослин люцерни на цих варіантах була також найвищою – у межах 66,2–68,4 %, а на час третього укусу – 46,5–47,2 %. Найнижча виживаність рослин люцерни спостерігалася на варіанті без добрив, відповідно по укусах становила 69,5; 63,5 і 41,9 %.

Закономірно, що густина посівів люцерни у 2022 році була орієнтовно на 23–28 % нижчою, а ніж у 2021 році по усіх варіантах дослідження відповідно.

Площа листкової поверхні люцерни є важливим показником для оцінки фотосинтетичної активності рослини. Цей параметр визначає площу листових пластинок, яка є доступною поваріантно для здійснення фотосинтезу, тоб-

то для засвоєння сонячного світла та вуглекислого газу з метою синтезу органічних речовин у рослинах. Збільшення площі листкової поверхні закономірно сприятиме підвищенню врожайності та якості зеленої маси, що робить цей показник важливим за вирощування люцерни на зелену масу. Встановлено, що є певні закономірності формування листкової маси люцерни залежно від укусу, строків внесення та доз мінеральних добрив (рис. 1).

Площа листкової поверхні люцерни з кожним укусом закономірно зменшувалася. Зокрема, у середньому за два роки досліджень по дослідженню, площа листкової поверхні люцерни перед першим укусом становила 43,9 тис. $m^2/га$, перед другим – 28,4 тис. $m^2/га$, що на 55 % менше, ніж перед першим укусом. Перед третім укусом площа листкової поверхні люцерни була лише 19,1 тис. $m^2/га$, що на 48,5 % менше від площі листкової поверхні перед другим укусом.

Однак варто пам'ятати, що кількість поживних речовин в одиниці зеленої маси люцерни кожного наступного укусу збільшується, а тому збір перетравного протеїну, каротину та інших корисних тваринам речовин, поукісно знижується меншою мірою.

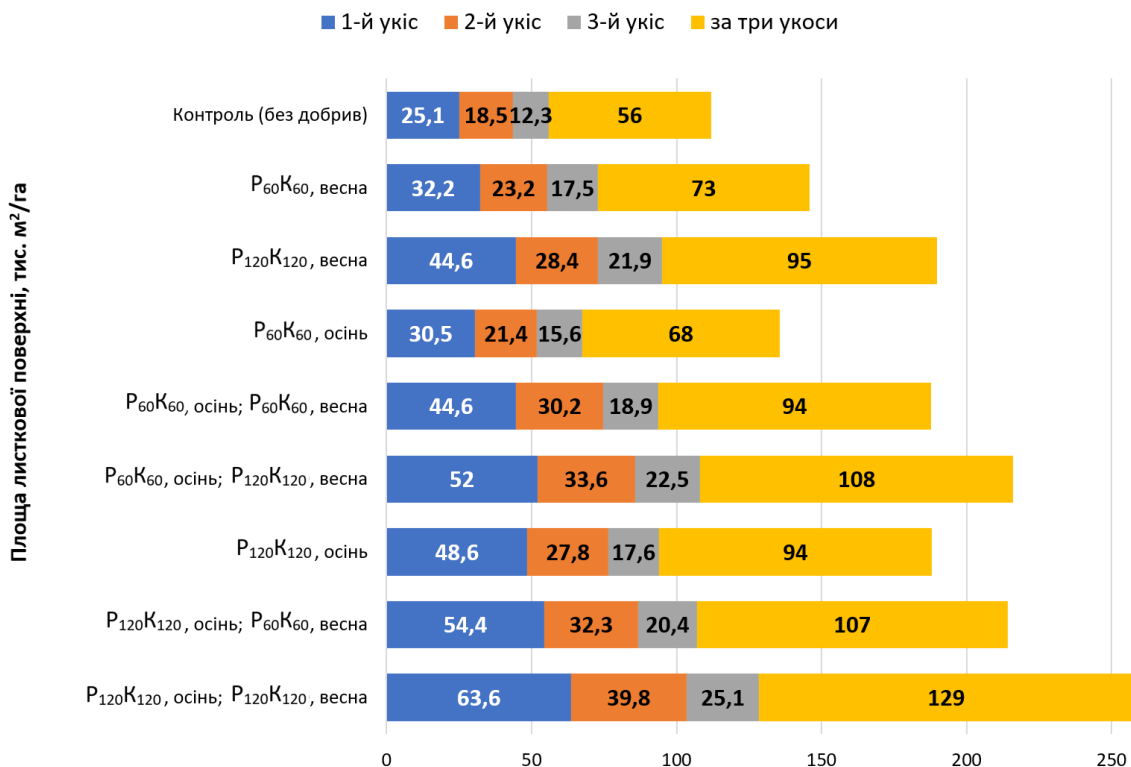


Рис. 1. Вплив строків внесення та доз мінеральних добрив на площу листкової поверхні люцерни, тис. $m^2/га$ (середнє за 2 роки).

Найвища площа листкової поверхні люцерни спостерігалася на варіанті з внесенням $P_{120}K_{120}$ восени та весною і становила 129 тис. $m^2/га$, що перевищувало контроль в 2,3 рази.

Незалежно від дози з внесенням $P_{120}K_{120}$ і $P_{60}K_{60}$ та строків, восени чи весною, врожайність зеленої маси люцерни підвищувалася, порівняно з контролем, в 1,9 рази.

Приблизно однакові результати отримано за внесення $P_{60}K_{60}$ восени і $P_{60}K_{60}$ весною чи таку ж дозу $P_{120}K_{120}$ одноразово. На цих варіантах площа листкової поверхні люцерни перевищувала контроль в 1,7 рази.

Проведені дослідження показують, що досліджувані добрива у досліді істотно впливали на врожайність зеленої маси люцерни. Зокрема, якщо на контролі (без добрив) урожай-

ність люцерни в сумі за 2 роки використання травостою становила 53,0 т/га, то за внесення добрив за варіантами досліді вона зростала до 63,8–119,4 т/га. Встановлено, що врожайність змінюється від строків внесення та доз мінеральних добрив (табл. 3).

Результати досліджень показують, що внесення в підживлення фосфорно-калійних добрив позитивно вплинуло на врожайність зеленої маси люцерни. Водночас зі збільшенням доз добрив врожайність зеленої маси зростає. Зокрема, у середньому за два роки досліджень, за внесення $P_{60}K_{60}$ весною врожайність зеленої маси становила 31,6 т/га, або +19 % до контролю без добрив, а за внесення весною $P_{120}K_{120}$ – 40,4 т/га, або +52 % до контролю.

Таблиця 3 – Вплив строків внесення та доз мінеральних добрив на врожайність зеленої маси люцерни, т/га (за три укоси)

Варіант досліді		2021 р.			2022 р.			Середнє за два роки		
دوزи добрив	строки підживлення	урожайність, т/га	відхилення від контролю, т/га	%	урожайність, т/га	відхилення від контролю, т/га	%	урожайність, т/га	відхилення від контролю, т/га	%
Контроль (без добрив)		26,7	-	100	26,3	-	100	26,5	-	100
$P_{60}K_{60}$	весна	32,6	5,9	122	30,5	4,2	116	31,6	5,1	119
$P_{120}K_{120}$	весна	38,3	11,6	143	42,5	16,2	162	40,4	13,9	152
$P_{60}K_{60}$	осінь	32,1	5,4	120	30,8	4,5	117	31,5	5,0	119
$P_{60}K_{60}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	41,4	14,7	155	38,4	12,1	146	39,9	13,4	151
$P_{60}K_{60}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	45,5	18,8	170	45,5	19,2	173	45,5	19,0	172
$P_{120}K_{120}$	осінь	42,1	15,4	158	36,3	10	138	39,2	12,7	148
$P_{120}K_{120}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	47,9	21,2	179	41	14,7	156	44,5	18,0	168
$P_{120}K_{120}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	58,5	31,8	219	50,5	24,2	192	54,5	28,0	206
НІР ₀₅			3,8			4,0			3,9	

Також спостерігається тенденція до дещо ефективнішого ранньовесняного внесення добрив, ніж осіннього. На варіантах з внесенням $P_{60}K_{60}$ і $P_{120}K_{120}$ навесні отримано середню урожайність за роки досліджень – 31,6 і 40,4 т/га, а за внесення восени – 31,5 і 39,2 т/га.

Роздрібне внесення добрив ($P_{60}K_{60}$ восени та $P_{60}K_{60}$ навесні) не має суттєвої переваги над підживленням посівів $P_{120}K_{120}$ весною, або восени (врожайність становила відповідно 39,9; 40,4 і 39,2 т/га).

Найвищу врожайність зеленої маси люцерни отримано за внесення $P_{120}K_{120}$ восени + $P_{120}K_{120}$ навесні – 54,2 т/га або 206 % до контролю, що суттєво вище.

За внесення дещо нижчої кількості добрив, а саме $P_{120}K_{120}$ восени + $P_{60}K_{60}$ навесні або $P_{60}K_{60}$ восени + $P_{120}K_{120}$ навесні отримали теж достатньо високу урожайність зеленої маси, а саме – 44,5 і 45,5 т/га, що перевищувало контроль на 68 і 72 %.

Варто зазначити, що роки досліджень за погодними умовами вирізнялися незначно, а тому рівень урожайності зеленої маси люцерни був майже однаковий і становив у 2021 році, у середньому по всіх варіантах, 40,6 т/га, у 2022 році – 38,0 т/га.

За багатоукісного використання люцерни на корм значний інтерес становить не лише загальна продуктивність травостою за вегетацію, а також розподіл урожаю зеленої маси за укосами. У літературі немає повних даних з цього питання не лише для Лісостепу України, але й для Поліської та Степової зон.

Ряд науковців зазначають, що поукісна врожайність люцерни розподіляється нерівномірно. Зокрема вказують, що на другий рік використання травостою у сприятливих умовах рівень врожайності люцерни не знижується і може бути навіть вищим, ніж у перший рік. Очевидно, на врожайність зеленої маси люцерни впливають погодні умови, уміст поживних речовин у ґрунті тощо. У дослідженнях урожайність зеленої маси у перший рік використання люцерни становила, у середньому по досліді – 40,6 т/га, на другий рік використання – 38,0 т/га, тобто зниження врожайності було незначним, що дозволяло використовувати цей посів люцерни ще 3–4 роки без значних додаткових витрат.

У наших дослідженнях поукісна врожайність зеленої маси розподіляється нерівномірно (табл. 4).

Таблиця 4 – Вплив строків внесення та доз мінеральних добрив на розподіл врожайності зеленої маси люцерни за укосами

Варіант досліді		Урожайність зеленої маси, т/га								
دوزи добрив	строки підживлення	2021 р.			2022 р.			середнє за 2 роки		
		1-й укис	2-й укис	3-й укис	1-й укис	2-й укис	3-й укис	1-й укис	2-й укис	3-й укис
Контроль (без добрив)		8,4	11,2	7,1	9,3	10,9	6,1	8,9	11,1	6,6
$P_{60}K_{60}$	весна	8,5	13,3	10,8	10,4	11,4	8,7	9,5	12,4	9,8
$P_{120}K_{120}$	весна	9,7	15	13,6	16,4	16,6	9,5	13,1	15,8	11,6
$P_{60}K_{60}$	осінь	12,0	11,6	8,5	11,7	12,6	6,5	11,9	12,1	7,5
$P_{60}K_{60}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	11,4	19,1	10,9	16,2	14,1	8,1	13,8	16,6	9,5
$P_{60}K_{60}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	14,2	19,6	11,7	19,7	15,7	10,1	17,0	17,7	10,9
$P_{120}K_{120}$	осінь	15,4	15,5	11,2	16,1	11,8	8,4	15,8	13,7	9,8
$P_{120}K_{120}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	17,4	19,8	10,7	17,7	15,5	7,8	17,6	17,7	9,3
$P_{120}K_{120}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	19,2	25,9	13,4	22,4	18,4	9,7	20,8	22,2	11,6

Отримані результати вказують, що вищу врожайність зеленої маси дає люцерна за першого та другого укосів і значно нижчу за третього укосу. За внесення мінеральних добрив врожайність люцерни підвищується. Зі збільшенням доз мінерального живлення спостерігається помітне збільшення врожайності зеленої маси.

Розподіл урожайності зеленої маси люцерни по укосах був нерівномірним. Перший укіс, у середньому по досліді, давав 35,9 % зеленої маси, другий – 39,3 %, а третій укіс – лише 24,8 %.

Слід зазначити, що в роки використання травостою люцерни за підживлення восени спостерігається підвищення врожайності в першому укосі, а за підживлення навесні – навпаки у другому та третьому укосах. Зокрема, за внесення $P_{120}K_{120}$ восени, в середньому за два роки, перший укіс дав 40,2 % врожаю, другий – 34,8, а третій – 25,0. Водночас внесення $P_{120}K_{120}$ весною приводило до отримання 32,3 % урожайності зеленої маси в перший укіс, 39,1 % – в другий і 25,0 % – в третій укіс.

Використання мінеральних добрив може позитивно впливати на врожайність та якість урожаю, але також закономірно збільшує витра-

ти енергії на вирощування культури. Це пов'язано з тим, що виробництво мінеральних добрив потребує значних витрат енергії, що може вплинути на загальну енергетичну ефективність вирощування люцерни. Якщо використання мінеральних добрив підвищує врожайність настільки, що значно збільшує її та знижує витрати енергії на одиницю продукції, то це може бути вигідним з енергетичного погляду. Однак важливо також враховувати екологічні аспекти використання мінеральних добрив, такі як забруднення ґрунту та водних ресурсів.

Дослідженнями та розрахунками встановлено, що застосування різних доз мінеральних добрив приводило до закономірного зростання витрат сукупної енергії на вирощування люцерни (табл. 5). Зокрема, використання мінеральних добрив у дозі $P_{60}K_{60}$ приводило до збільшення витрат сукупної енергії вирощування люцерни на 1,89 ГДж/га, або на 6,71 %, порівняно до контролю. За збільшення добрив удвічі ($P_{120}K_{120}$) витрати збільшувалися на 4,39 ГДж/га, або на 15,59 %, порівняно з контролем. Збільшення дози внесення добрив до $P_{120}K_{120}$ восени і весною приводило до максимального у досліді збільшення витрат сукупної енергії – на 8,78 ГДж/га, порівняно з контролем.

Таблиця 5 – Енергетична оцінка вирощування люцерни залежно від доз добрив та рівня удобрення (середнє за 2021–2022 рр.)

Варіант досліді		Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Вміст в урожаї, ГДж/га		Енергетичний коефіцієнт	Коефіцієнт енергетичної ефективності	Енергоємність 1 т кормових одиниць, ГДж
доза добрив	строки підживлення		валова енергія	обмінна енергія			
Контроль (без добрив)		28,16	88,68	49,45	3,15	1,76	1,06
$P_{60}K_{60}$	весна	30,05	105,75	58,97	3,52	1,96	0,95
$P_{120}K_{120}$	весна	32,55	135,19	75,39	4,15	2,32	0,81
$P_{60}K_{60}$	осінь	30,05	105,41	58,78	3,51	1,96	0,95
$P_{60}K_{60}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	32,88	133,52	74,45	4,06	2,26	0,82
$P_{60}K_{60}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	34,69	152,26	84,90	4,39	2,45	0,76
$P_{120}K_{120}$	осінь	32,55	131,18	73,15	4,03	2,25	0,83
$P_{120}K_{120}$ $P_{60}K_{60}$	осінь весна	34,67	148,91	83,04	4,30	2,40	0,78
$P_{120}K_{120}$ $P_{120}K_{120}$	осінь весна	36,94	182,38	101,70	4,94	2,75	0,68

Уміст валової та обмінної енергії також закономірно змінювався, залежно від доз внесення добрив у досліді. Зокрема, найвищий уміст валової енергії у досліді отримано на варіанті з внесенням $P_{120}K_{120}$ восени і весною – 182,38 ГДж/га, що перевищувало контрольний варіант без добрив на 17,07 ГДж/га. Внесення мінеральних добрив з більшою дозою на варіантах досліді приводило до закономірного отримання більшої кількості обмінної енергії в урожаї люцерни.

Така ж залежність спостерігалася і з вмістом в урожаї обмінної енергії. Зокрема, найбільша кількість обмінної енергії спостерігалася на варіанті з внесенням $P_{120}K_{120}$ восени і весною – 101,7 ГДж/га, що перевищувало контроль на 9,52 ГДж/га.

Внесення мінеральних добрив під люцерну сприяло підвищенню енергетичного коефіцієнту. Зокрема, внесення $P_{60}K_{60}$ приводило до підвищення енергетичного коефіцієнту на 11,7 %, порівняно з контролем, $P_{120}K_{120}$ – 31,9 %, $P_{60}K_{60}$ восени $P_{120}K_{120}$ весною – на 39,3 %, а $P_{120}K_{120}$ восени і $P_{120}K_{120}$ весною – на 56,2 %.

Внесення доз мінеральних добрив під люцерну, зокрема високих – пролонговано було доцільним, оскільки коефіцієнт енергетичної ефективності був на усіх варіантах вище одиниці. Навіть за найвищої дози добрив – $P_{120}K_{120}$ восени і $P_{120}K_{120}$ весною коефіцієнт енергетичної ефективності був у досліді найвищим і становив 2,75, що перевищувало варіант без добрив на 0,99.

Розрахунками встановлено, що мінеральні добрива сприяли зменшенню енергоємності 1 т кормових одиниць. Зокрема, якщо на варіанті без добрив енергоємність 1 т кормових одиниць становила 1,06 ГДж, то внесення $P_{60}K_{60}$ приводило до зниження цього показника на 10 %, $P_{120}K_{120}$ – на 24,0 %, $P_{60}K_{60}$ восени $P_{120}K_{120}$ весною – на 28,1 %, а $P_{120}K_{120}$ восени і $P_{120}K_{120}$ весною – на 36,1 %.

Висновки.

1. Найвищу врожайність зеленої маси люцерни отримано за внесення $P_{120}K_{120}$ восени + $P_{120}K_{120}$ навесні – 54,2 т/га, що суттєво вище контролю. На цьому варіанті склалися умови, що сприяли найвищій по досліді виживаності люцерни – 72,0–74,1 %. На цьому ж варіанті отримана найбільша площа листової поверхні люцерни – 129 тис. м²/га, що перевищувало контроль в 2,3 рази.

2. Роздрібне внесення добрив ($P_{60}K_{60}$ восени та $P_{60}K_{60}$ навесні) не мало суттєвої переваги над удобренням $P_{120}K_{120}$ весною, або восени (врожайність становила відповідно 39,9; 40,4 і 39,2 т/га).

3. Найбільшу кількість обмінної енергії отримано з варіанта де вносили $P_{120}K_{120}$ восени і весною – 101,7 ГДж/га, що було вище варіанта, де добрива не вносили на 9,52 ГДж/га. Збільшення внесених доз мінеральних добрив під люцерну сприяло підвищенню енергетичного коефіцієнту. Енергоємність кормових одиниць зі збільшенням доз мінеральних добрив пропорційно знижувалася.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антипова Л.К. Урожайність сіна сортів люцерни залежно від погодних умов та рістрегулюючого препарату Емістим С. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2020. № 1. С. 43–49.
2. Башкірова Н.В., Новак Т.В. Експериментальні зміни в системі розмноження люцерни посівної від алогамії до автогамії. Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2005. Т. 3. № 1–2. С. 21–25.
3. Гетман Н.Я., Векленко Ю.А., Ткачук Р.О. Формування екологічно стійких агрофітоценозів люцерни посівної залежно від умов вирощування. АгроСтор. 2018. URL: <https://agrostore.biz.ua/formuvannya-ekologichno-stijkix-agrofitocenziv-lyucerni-posivno%dl%97-zalezno-vid-umov-viroshhuvannya/>
4. Багаторічні бобові трави як основа природної інтенсифікації кормовиробництва / Г.І. Демидає та ін.; за ред. проф. Г.І. Демидає, Г.П. Квітка. Київ: ТОВ «Ніланд-ЛТД», 2013. 322 с.
5. Дитер Шпаар. Люцерна – королева кормових культур. Agroexpert. 2011. № 4. С. 52–56.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 350 с.
7. Єрмакова Л., Іванівська Р. Люцерна – ваш вдалий вибір. Пропозиція – головний журнал з питань агробізнесу. 2008. URL: <https://propozitsiya.com.ua/lyucerna-vash-vdaliy-vibir>
8. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Люцерна. Рослиництво: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
9. Бабич А.О. Методика проведення дослідів з кормовиробництва. Вінниця, 1998. 96 с.
10. Събев В., Пачев И. Экономическая оценка внесения минерального удобрения и обработки почвы для люцерны на корм. Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. Харків, 2008. № 2. С. 193–200.
11. Фосфор. Система живлення люцерни. Masseeds. 2013. URL: <https://masseeds.ua/nashi-publikatsiyi/systema-zhyvlennya-lyutserny>
12. Шевель І.В. Вплив добрив на продуктивність і деякі показники якості люцерни при вирощуванні її на зрошуваному чорноземі південному. Таврійський науковий вісник. Херсон: ННБК «Херсонський агроуніверситет», 2003. № 25. С. 65–69.

able at: <https://masseeds.ua/nashi-publikatsiyi/systema-zhyvlyennya-lyutserny>

12. Shevel, I.V. (2003). Vpliv dobriv na produktivnist i deyaki pokazniki yakosti lyucerni pri viroshuvanni yiyi na zroshuvanomu chornozemi pivdennomu [The influence of fertilizers on the productivity and some indicators of the quality of alfalfa when growing it on irrigated chernozem in the south]. *Tavrijskij naukovij visnik [Taurian Scientific Bulletin]*. Kherson, NNVK, no. 25, pp. 65–69.

13. Berg, W.K., Cunningham, S.M., Brouder, S.M., Joern, B.C., Johnson, K.D., Santini, J.B., Volenec, J.J. (2007). The long-term impact of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. *Crop Sci.* no. 47, pp. 2198–2209. DOI: 10.2135/cropsci2006.09.0576

14. Berg, W.K., Cunningham, S.M., Brouder, S.M., Joern, B.C., Johnson, K.D., Volenec, J.J. (2005). Influence of phosphorus and potassium fertilization on alfalfa yield and yield components. *Crop Sci.* no. 45, pp. 297–304. DOI: 10.2135/cropsci2005.0297

15. Flynn, R. (2015). *Interpreting Soil Tests: Unlock the Secrets of Your Soil*; New Mexico State University Cooperative Extension: Las Cruces, NM, USA. 676 p.

16. Grewal, H.S., Williams, R. (2002). Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. *J. Plant Nutr.* no. 25, pp. 781–795. DOI: 10.1081/PLN-120002959

17. Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, H.J., Moller, I.S., White, S. (2012). *Functions of macronutrients. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press: Waltham, MA, USA, pp. 135–189. DOI: 10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6

18. Jungers, J.M., Kaiser, D.E., Lamb, J.F.S., Lamb, J.A., Noland, R.L., Samac, D.A., Wells, M.S., Sheaffer, C.C. (2019). Potassium fertilization affects alfalfa forage yield, nutritive value, root traits, and persistence. *Agron. J.* no. 111, pp. 2843–2852. DOI: 10.2134/agronj2019.01.0011

19. Lloveras, J., Chocarro, C., Torres, L., Viladrich, D., Costafreda, R., Santiveri, F. (2012). Alfalfa yield components and soil potassium depletion as affected by potassium fertilization. *Agron. J.* no. 104, pp. 729–734. DOI: 10.2134/agronj2011.0293

20. Macolino, S., Lauriault, L.M., Rimi, F., Zil-iotto, U. (2013). Phosphorus and Potassium Fertilizer Effects on Alfalfa and Soil in a Non-Limited Soil. *Agron. J.* no. 105, pp. 1613–1618. DOI: 10.2134/agronj2013.0054].

21. Murali, K., Darapuneni, Leonard, M. Lauriault, Gasper, K. Martinez, Koffi, Djaman, Kevin, A. Lombard, Syam, K. Dodla. Potassium and Sulfur Fertilizer Sources Influence Alfalfa Yield and Nutritive Value and Residual Soil Characteristics in an Arid, Moderately Low-Potassium Soil. DOI: 10.3390/agronomy14010117

22. Pant, H.K., Mislevy, P., Rechcigl, J.E. (2004). Effect of phosphorous and potassium on forage nutritive value and quantity. *Agron. J.* no. 96, pp. 1299–1305. DOI: 10.2134/agronj2004.1299

23. Petrychenko, V.F., Hetman, N.Ya., Veklenko, Yu.A. (2020). Substantiation of alfalfa productivity at long-term use of grass stands in conditions of climate change. *Herald of Agrarian Science.* no. 3 (804), pp. 20–26. DOI: 10.31073/agrovisnyk202003-03

24. Schneider A., Villemin P. (1992). Importance of texture and CEC in K fertilization advice. In *Proceedings of the 23rd Colloquium of the International Potash Institute*. Prague, Czechoslovakia, pp. 395–398.

25. Teixeira, E.I., Moot, D.J., Mickelbart, M.V. (2007). Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *Eur. Agron. J.* no. 26, pp. 10–20. DOI: 10.1016/j.eja.2006.08.010.

26. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *Int. J. Mol. Sci.* no. 14, pp. 7370–7390. DOI: 10.3390/ijms14047370

The formation of green mass yield of alfalfa under different doses and periods of mineral fertilizers application in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine

Kozak L., Panchenko T., Kozak A.

Doses of fertilizers and timing of their application had an effect on the growth, development, survival of alfalfa and on the energy efficiency of its cultivation.

The best survival of alfalfa was observed in the options where $P_{120}K_{120}$ was applied twice during the growing season. At the same time, survival was within the range of 72.0–74.1% for the first cut, 66.2–68.4% for the second cut, and 46.5–47.2 % for the third cut. The lowest survival of alfalfa plants was observed on the variant without fertilizers and, respectively, on the cut, it was 69.5, 63.5 and 41.9 %.

The largest leaf surface area of alfalfa was observed in the variant with $P_{120}K_{120}$ application in autumn and spring and was 129,000 m²/ha, which exceeded the control by 2.3 times. On the variants with introduction of alfalfa $P_{120}K_{120}$ and $P_{60}K_{60}$ during the growing season, the yield of green mass increased by 1.9 times compared to the control.

The highest green mass yield of alfalfa was obtained with double application of $P_{120}K_{120}$ – 54.2 t/ha, which significantly exceeded the control. Portion application of fertilizers ($P_{60}K_{60}$ in autumn and $P_{60}K_{60}$ in spring) has no significant advantage over $P_{120}K_{120}$ fertilization in spring or autumn (the yield was 39.9, 40.4 and 39.2 t/ha, respectively).

The green mass yield of alfalfa was unevenly distributed according to the terms of mowing. On average, according to the experiment, the first cut gave 35.9 % of green mass, the second cut – 39.3%, and the third – only 24.8%.

The use of mineral fertilizers in the dose of $P_{60}K_{60}$ led to an increase in the total energy consumption of

alfalfa cultivation by 1.89 GJ/ha, or by 6.71%, compared to the control. When applying $P_{120}K_{120}$, the costs increased by 4.39 GJ/ha, or by 15.59%, compared to the control. Mineral fertilizers application under alfalfa helped to increase the energy coefficient. The introduction of $P_{60}K_{60}$ led to an increase in the energy coefficient by 11.7%, compared to the control, $P_{120}K_{120}$ – by 31.9%, $P_{60}K_{60}$ in autumn $P_{120}K_{120}$ in spring – by 39.3%, and $P_{120}K_{120}$ in autumn and $P_{120}K_{120}$ in spring – by 56.2%. It was established by calculations that mineral ferti-

zers contributed to the reduction of the energy intensity of 1 ton of fodder units. So, if the energy intensity of 1 ton of feed units was 1.06 GJ in the version without fertilizers, then the introduction of $P_{60}K_{60}$ led to a decrease in this indicator by 10%, $P_{120}K_{120}$ by 24.0%, $P_{60}K_{60}$ in the fall, $P_{120}K_{120}$ in the spring by – 28.1%, and $P_{120}K_{120}$ in autumn and $P_{120}K_{120}$ in spring – by 36.1%.

Key words: alfalfa, fertilizer doses, time of application, yield of green mass, alfalfa slopes, economic efficiency, plant density, growing season, plant survival.



Copyright: Козак Л.А., Панченко Т.В., Козак А.Л. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Козак Л.А.

Панченко Т.В.

<https://orcid.org/0000-0002-7770-9734>

<https://orcid.org/0000-0003-1114-5670>