

УДК 519.22:631.5:633

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.6>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНІВ ПРОДУКТИВНОСТІ БАГАТОРІЧНИХ БОБОВИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Коковіхін С.В. – д.с.-г.н., професор,
заступник директора з наукової роботи,
Інститут зрошуваного землеробства
Національної академії аграрних наук України

Коваленко В.П. – к.с.-г.н., доцент,
заступник декана агробіологічного факультету,
Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті наведено результати програмування врожайності зеленої маси люцерни, конюшини та еспарцету, що свідчить про високий ступінь впливу на продуктивність рослин як природних, так і агротехнологічних факторів. У проведених дослідженнях виявлено тісні статистичні зв'язки між продуктивністю люцерни й температурним режимом, який склався під час періоду вегетації рослин. Між сумою температур і кількістю днів від сівби до сходів встановлена пряма кореляційна залежність. За результатами моделювання розроблено нейронні мережі агроекологічної продуктивності люцерни посівної, конюшини лучної та еспарцету посівного, які мають високий рівень початкової й контрольної продуктивності з різним відображенням кольорами дії та взаємодії досліджуваних чинників. Розроблена за допомогою нейронної мережі агроекологічна модель підтверджує експериментальні дані, що отримані в польових дослідках і дають змогу науково обґрунтувати технологію вирощування багаторічних бобових трав у зоні проведення досліджень. Порівняння агроекологічної моделі продуктивності конюшини з люцерною вказує на більш істотний вплив на рослини конюшини метеорологічних чинників. Аналіз побудованої нейронної мережі продуктивності еспарцету свідчить про різний рівень дії та взаємодії досліджуваних факторів: слабкий – метеорологічних та істотний – елементів агротехніки вирощування культури. Розроблені агроекологічні моделі продуктивності люцерни, конюшини та еспарцету під час їх вирощування в умовах Лісостепу України з використанням природних та агротехнічних чинників: суми ефективних температур, находження опадів за період вегетації, тривалості сонячного сяйва, норм висіву, норм унесення мінеральних добрив; глибини обробітку ґрунту; використання ризоторфіну для обробки насіння перед сівою, сортового складу тощо – дали змогу виявити реакцію кожної досліджуваної культури на метеорологічні показники й елементи технології їх вирощування.

Ключові слова: люцерна, конюшина, еспарцет, математична статистика, кормовиробництво.

Kokokhin S.V., Kovalenko V.P. Mathematical modelling of the efficiency levels of higher educational cultures in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine

The article presents the results of the yield programming for green mass of alfalfa, clover and sainfoin, which indicates a high degree of influence of both - natural and agrotechnological factors – on the productivity of plants. The conducted studies had shown close statistical relationships between the alfalfa productivity and the temperature regime that occurred during the vegetation period of the plants. A direct correlation between the sum of the temperatures and the number of days from sowing to the seedlings was found. According to the results of the studies, the neural networks agroecological productivity models of alfalfa (*Medicago sativa*), clover (*Trifolium pratense*) and sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) have been developed, which have a high level of initial and control productivity with reflection by different colors of the of action and interaction of the investigated factors. The agroecological model developed with the aid of the neural network confirms the experimental data obtained in field experiments and allows to substantiate scientifically the technology of perennial legumes growing in the studied area. Comparison of the agroecological models of clover and alfalfa yields a more significant effect of meteorological factors on clover was established. The analysis of the built-up neural network of sainfoin productivity shows a different level of action and interaction of the in-

vestigated factors – weak of meteorological and significant – of the elements of agricultural technology of crop growing. The agroecological models of productivity of alfalfa, clover and sainfoin, growing in the conditions of the forest-steppe of Ukraine, with the use of natural and agronomic factors – the sum of effective temperatures, precipitation in the period of vegetation, duration of sunshine, seed rates, norms of mineral fertilizers, depth of soil cultivation, the use of risotorfin for processing seeds before sowing, varietal composition, etc., – allowed to reveal the reaction of each studied crop to the meteorological parameters and elements of the technologies of their cultivation.

Key words: alfalfa, clover, sainfoin, mathematical statistics, fodder production.

Постановка проблеми. Методологічну основу програмування врожаїв сільськогосподарських культур становлять науково-методологічні принципи, які сформульовані вітчизняними та закордонними вченими. Головний принцип програмування врожаїв полягає в тому, щоб визначити біогідротермічний показник продуктивності рослин, що пропорційно коливається за показниками надходження фотосинтетично-активної радіації, продуктивної вологи, сум температур, періоду вегетації для конкретної географічної зони тощо [1]. Проте тепер недостатньо вивчено закономірності формування врожаю залежно від агротехнологічних чинників, що потребує відповідних досліджень для створення математичних моделей рівнів продуктивності рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень, присвячених зазначеній проблемі, відображено в працях багатьох вітчизняних і закордонних учених, дає змогу зробити висновок, що підходи до математичної статистики продуктивності вирощування багаторічних бобових трав повинні мати системний характер. Доведено, що врожай формується за рахунок сонячної енергії й вуглекислого газу, що знаходиться в атмосфері. Тому всі агротехнічні прийоми спрямовані на те, щоб допомогти рослині повніше використовувати сонячну енергію. Знаючи прихід ФАР за період вегетації, можна поставити завдання формування посіву із засвоєнням, наприклад, 3% ФАР, а на основі цього показника визначити потенційну врожайність культури [2–4].

Для забезпечення високої ефективності добрив або сорту треба комплексом агротехнічних заходів створити середовище, сприятливе для вирощування культури. Успіхи селекції останніх років зумовили розроблення сортової агротехніки, адже нові сорти характеризуються іншими шляхами надходження поживних речовин і більш економним витрачанням вологи для формування врожаю [5; 6].

Постановка завдання. Накопичення достовірних експериментальних даних з отримання заздалегідь розрахованої врожайності дає можливість підійти до математичного моделювання програмування врожайності. Визначено, що програмування врожаїв передбачає використання математичного апарату для визначення оптимального варіанта комплексу агрозаходів, виконання якого забезпечить отримання запланованого врожаю. Перераховані принципи моделювання продукційного процесу охоплюють три основні аспекти – агрометеорологічний, агрофізичних та агротехнічний, якими в основному визначається проблема програмування врожаю. Основні фактори урожайності - агрометеорологічні, агрофізичні, агрохімічні та агротехнічні, розумним чином враховані й застосовані в комплексному поєднанні, дають змогу вирощувати заплановані врожаї [7].

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмування врожаїв має свою спеціальну шкалу відповідних рівнів урожайності, включаючи показники фактичної врожайності (у виробничих умовах), дійсно можливу, кліматично забезпечену, потенційну й програмовану. Як і будь-яка шкала, градація шкали рівнів урожайності має початкову точку відліку [8].

У проведених дослідженнях виявлено тісні статистичні зв'язки між продуктивністю люцерни й температурним режимом, який складався під час періоду вегетації рослин.

Окремі елементи продуктивності рослин люцерни тісно пов'язані між собою, про що свідчать високі показники коефіцієнтів кореляції. Аналіз кореляційної плеяди системи зв'язків показників продукційного процесу культури свідчить, що між кількістю та масою насіння з рослини існує тісна кореляційна залежність, яка допомагає встановити рівень впливу розроблених агрозаходів (рис. 1).



Рис. 1. Кореляційна плеяда системи зв'язків біометричних показників структури врожаю люцерни першого року вегетації в умовах ВП НУБіП «Агрономічна дослідна станція»

Джерело: розраховано авторами

Коефіцієнт кореляції був близький до одиниці в системі взаємозв'язків між висотою рослин, масою насіння, кількістю насінин і бобів. Це можна пояснити тим, що залежно від норми висіву істотно змінювалася висота рослин. Установлена слабка від'ємна кореляція ($r = -0,2989$) між висотою рослин та облишеністю. Крім того, слабкий зв'язок ($r = 0,2499$) виявився між облишеністю й кількістю китиць на одному стеблі.

Кореляційно-регресійне моделювання дало змогу встановити пряму позитивну дію використання ризоторфіну для підвищення врожайності зеленої маси люцерни (рис. 2).

За аналізом теоретичних ліній урожайності зеленої маси досліджуваної культури простежується різниця в зонах оптимуму доз азотних добрив на фоні внесення $P_{60}K_{60}$ – на першому варіанті (без обробки насіння ризоторфіном), що становить 35–50 кг д. р. на 1 га, на другому (із ризоторфіном) – 60–75 кг д. р. на 1 га. Високий рівень кореляційних зв'язків ($r = 0,6955-0,7503$) виявився під час порівняння врожайності зеленої маси люцерни та норм висіву (рис. 3).

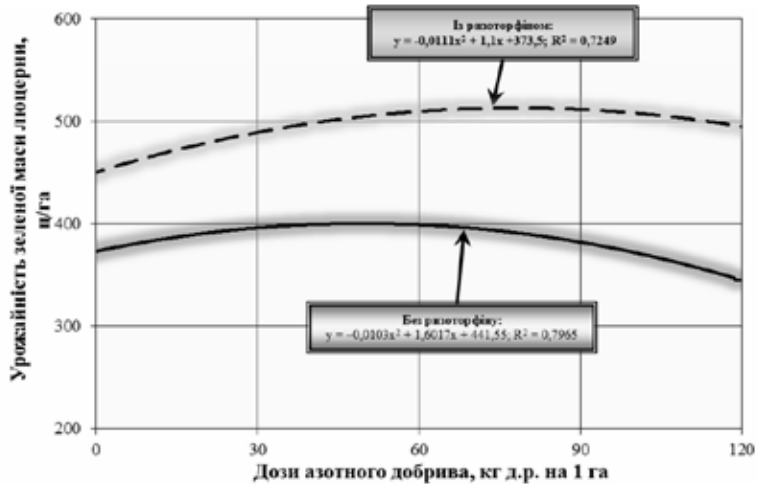


Рис. 2. Кореляційно-регресійна модель урожайності зеленої маси люцерни залежно від доз азотного добрива та використання ризоторфіну для обробки насіння перед сівбом

Джерело: розраховано авторами

На другому році використання оптимальною виявилася норма висіву в межах від 7,3–8,5 млн/га. Проте на третій рік використання потенціал продуктивності перевищив 45 т/га за оптимальних значень норм висіву в діапазоні від 9,2–10,4 млн/га.

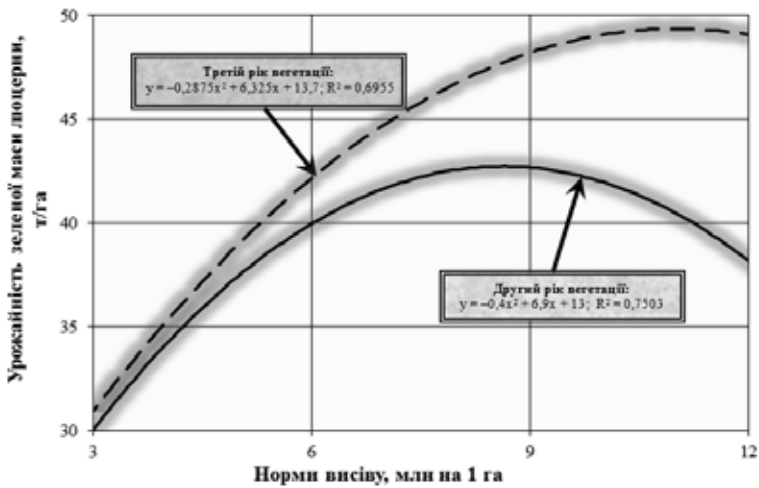


Рис. 3. Кореляційно-регресійна модель урожайності зеленої маси люцерни другого і третього років використання залежно від норм висіву

Джерело: розраховано авторами

За результатами проведених досліджень встановлено тісні кореляційні зв'язки (r – близькі до одиниці) між накопиченням сухої речовини листостеблової маси конюшини лучної другого року вегетації та площею листової поверхні.

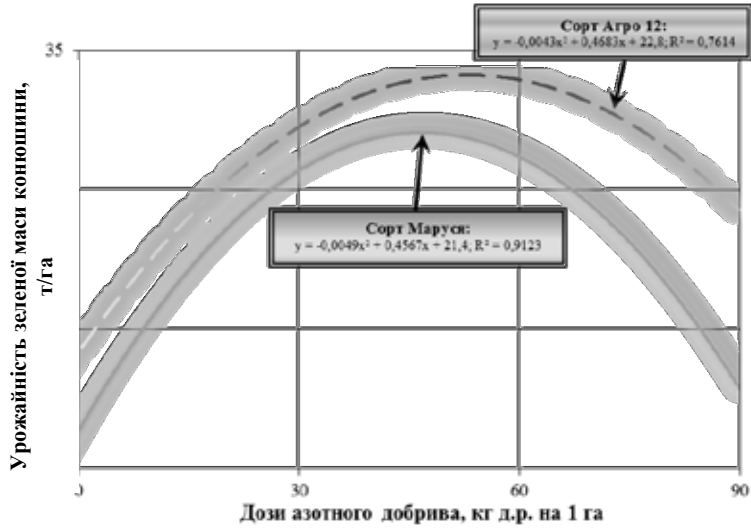


Рис. 4. Поліноміальна кореляційно-регресійна модель урожайності зеленої маси сортів конюшини лучної залежно від доз азотного добрива

Джерело: розраховано авторами

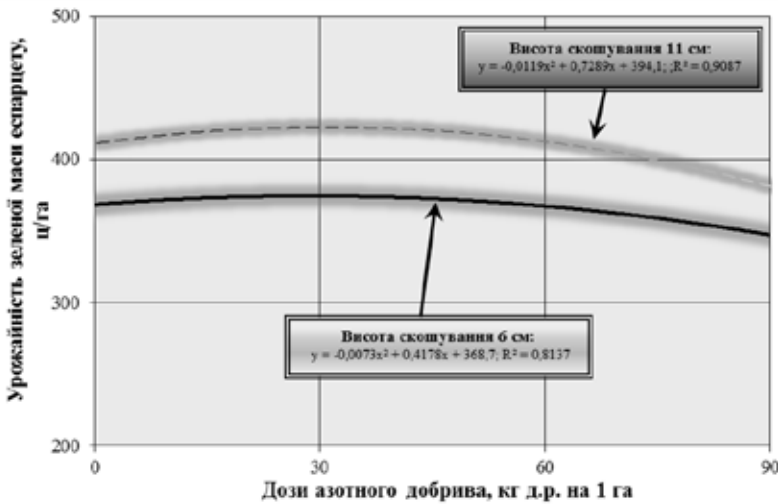


Рис. 5. Кореляційно-регресійна модель урожайності зеленої маси еспарцету посівного залежно від доз азотного добрива та висоти скошування

Джерело: розраховано авторами

Відзначені залежності формування величини виходу сухої речовини листостеблової маси від площі асиміляційної поверхні травостоїв виражаються такими рівняннями лінійної регресії:

$$Y = 0,0709 \times X + 0,6927, R^2 = 0,9837 \text{ – для сорту Маруся};$$

$$Y = 0,0701 \times X + 0,7631, R^2 = 0,9812 \text{ – для сорту Агро-12};$$

де Y – вихід сухої речовини листостеблової маси конюшини лучної, т/га;

X – площа листкової поверхні травостоїв конюшини лучної, тис. м²/га.

Моделювання теоретичних поліноміальних ліній продуктивності конюшини лучної залежно від доз азотного добрива й сортового складу дало можливість установити тісні кореляційні зв'язки між цими показниками (рис. 4). Доведено, що сорт Агро-12 має більший потенціал продуктивності порівняно із сортом Маруся. За аналізом криволінійної регресії оптимальні значення норм азотного добрива для сорту Агро-12 становлять 52–59 кг д. р. на 1 га, що забезпечує формування теоретичної врожайності зеленої маси на рівні 33–34 т/га. На сорті Маруся азотні добрива забезпечують менший рівень урожайності – 31,5–33,2 т/га за оптимальної дози азотних добрив у межах 34–41 кг д. р. на 1 га.

Продуктивність еспарцету посівного згідно з проведенням кореляційно-регресійним моделюванням залежно від доз азотного добрива характеризувалася найбільшою стабільністю порівняно з іншими досліджуваними культурами, слабо залежала від фону азотного живлення, а направленість зв'язків залежно від висоти скошування була практично однаковою (рис. 5).

Установлено, що висота скошування 11 см забезпечує найвищий потенціал продуктивності культури з рівнем теоретичної врожайності зеленої маси понад 400 ц/га. За висоти скошування рівень теоретичної врожайності неістотно коливався в межах від 320 до 350 ц/га.

Зона оптимуму використання азотних добрив незалежно від висоти скошування еспарцету посівного становила 15–30 кг д. р. на 1 га, що можна пояснити слабкою реакцією рослин на фон живлення.

Висновки і пропозиції. Доведено, що окремі елементи продуктивності рослин люцерни тісно пов'язані між собою, на що вказують високі показники коефіцієнтів кореляції. Аналіз кореляційної плеяди системи зв'язків показників продукційного процесу культури свідчить, що між кількістю й масою насіння з рослини існує тісна кореляційна залежність, яка дає змогу встановити рівень впливу розроблених агрозаходів. Моделювання продуктивності рослин дало змогу становити пряму позитивну дію використання ризоторфіну для підвищення врожайності зеленої маси люцерни. За аналізом теоретичних ліній урожайності зеленої маси досліджуваної культури простежується різниця в зонах оптимуму доз азотних добрив на фоні внесення $P_{60}K_{60}$ – без обробки насіння ризоторфіном, що становить 35–50 кг д. р. на 1 га, а з ризоторфіном підвищується до 60–75 кг д. р. на 1 га. За результатами польових дослідів із конюшиною лучною встановлено тісні кореляційні зв'язки (r – близькі до одиниці) між накопиченням сухої речовини листостеблової маси конюшини лучної другого року вегетації та площею листкової поверхні. Продуктивність еспарцету посівного згідно з проведенням кореляційно-регресійним моделюванням залежно від доз азотного добрива характеризувалася найбільшою стабільністю порівняно з іншими досліджуваними культурами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Антипова Л.К. Производство семян люцерны в Степи Украины : монография. Николаев, 2009. 227 с.
 2. Бабич А.О., Петриченко В.Ф., Адамень Ф.Ф. Проблема фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграрної науки*. 1996. № 2. С. 34–39.
 3. Байков А.М., Кузин Е.С., Шамис А.Л. Целостное целенаправленное распознавание изображений в ЭВМ. *Вопросы кибернетики. Автоматизированные системы ввода-вывода графической информации* : научный сборник. Москва, 1987. С. 78–90.
 4. Аксак Н.Г., Лебедкина А.Ю. Методы и модели производительности обучения многослойных нейронных сетей в распределенных компьютерных средах. *Штучний інтелект*. 2011. Вип. 4. С. 481–488.
 5. Коковіхін С.В. Електронно-інформаційний довідник ЕІД «Agromet» : методичні рекомендації. Херсон : ІЗЗ НААН, 2009. 16 с.
 6. Аксак Н.Г., Лебедкина А.Ю., Хоменко О.В. Процедура параллельного обучения многослойной нейронной сети. Топология передачи данных «звезда». *Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія «Комп'ютерні системи та компоненти»*. Чернівці, 2010. Т. 1. Вип. 2. С. 95–103.
 7. Солдатова О.П. Многофункциональный имитатор нейронных сетей. *Программные продукты и системы*. 2012. № 3. С. 27–30.
 8. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навчальний посібник / В.О. Ушкаренко та ін. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
-