

МОДЕЛЮВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ГІСОПУ ЛІКАРСЬКОГО (*HYSSOPUS OFFICINALIS* L.) ЗАЛЕЖНО ВІД ДОЗИ ТА РЕГЛАМЕНТУ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

КОВАЛЕНКО О.А. – доктор сільськогосподарських наук,
доцент
orcid.org/0000-0002-2724-3614

Миколаївський національний аграрний університет

ЛИХОВИД П.В. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ПІЛЯРСЬКА О.О. – кандидат сільськогосподарських наук,
старший дослідник
orcid.org/0000-0001-8649-0618

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

КАЧАНОВА Т.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
провідний науковий співробітник
orcid.org/0000-0003-0032-3996

ДУ «Миколаївська дослідна станція»

Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Гісоп лікарський (*Hyssopus officinalis* L.) є цінною лікарською культурою, яка має тривалу історію використання у народній медицині, парфумерії та фармацевтичній промисловості. У деяких країнах Європи та на Сході трава гісопу застосовується під час приготування страв у якості приправи, що надає їжі специфічного приємного присмаку та аромату. У народній медицині настої, відвари та спиртові настоянки сировини гісопу лікарського застосовують під час інфекційних та застудних захворювань дихальних шляхів, під час захворювань шлунково-кишкового тракту, для зниження збудження нервової системи, при захворюваннях очей, для полегшення перебігу стенокардії, тощо [1; 2]. Враховуючи перспективність культури для лікарського та ефіроолійного рослинництва України, вважаємо за потрібне поглибити теоретичні знання щодо окремих агротехнологічних прийомів її вирощування, насамперед, застосування мінеральних добрив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Гісоп лікарський є маловиблаглигим до умов навколишнього середовища та агротехнології. Передусім, культивується у південних і західних регіонах України, але площі під гісопом лікарським зростають і в інших природно-кліматичних зонах держави [3]. Рослина є стійкою до посухи, має невисокі вимоги до забезпечення вологою та середні вимоги до теплового режиму, добре росте навіть на відносно бідних органічною речовиною та доступними елементами живлення ґрунтах, що робить її при-

важливою та перспективною у сучасних агрокліматичних умовах, що формуються в Україні в контексті глобального потепління клімату, а саме в умовах аридизації більшості регіонів [4; 5]. Незважаючи на високу привабливість і відносну простоту культивування гісопу лікарського, стабільний попит на його сировину як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках фармацевтичної та ефіроолійної продукції, донині ця культура залишається недостатньо вивченою в контексті оптимальних параметрів агротехнології для різних агроєкологічних зон вирощування. Хоча основні елементи агротехніки є загальновідомими та достатньо описаними в науковій та фаховій літературі [6; 7], втім, ряд агротехнічних прийомів вимагає подальшої деталізації та вивчення, зокрема, особливості живлення культури. Більшість рекомендацій, доступних у сучасній науковій літературі, обмежуються загальними правилами та середніми нормами застосування мінеральних добрив, не даючи детального теоретичного обґрунтування строків і способам їх внесення на посівах гісопу лікарського [8]. Найкраще питання удобрення гісопу лікарського висвітлено у працях [9–11], результати яких і покладено в основу теоретичного дослідження, представленого в даній роботі.

Метою даної роботи було теоретичне вивчення та моделювання врожайності гісопу лікарського в умовах Півдня України за різних доз і регламенту внесення мінеральних добрив із використанням методів регресійного математичного аналізу, рангових кореляцій і штучної нейронної мережі.

Матеріали та методика досліджень. Базисом для математико-статистичного аналізу та моделювання продуктивності гісопу лікарського стали результати польових експериментів із технології вирощування культури, виконані на базі ДУ «Миколаївська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН» у 2017–2018 рр. Сорт гісопу – Маркиз. Попередник – картопля раннього терміну садіння. Основний обробіток ґрунту полягав у виконанні луцення в два сліди, глибокої полицевої оранки на 25–27 см, культивуванні на 8–10 см. Висівання насіння гісопу виконували на глибину 2-3 см за допомогою сівалки *Agricola italiana* SN-2-290 у відповідності до схеми експериментальних досліджень. Площа живлення однієї рослини складала 0,21 м². У досліді вивчали три варіанти удобрення: без добрив, N₆₀P₆₀ в основне внесення одноразово, N₆₀P₆₀ за регламенту N₃₀P₃₀ в основне внесення та N₃₀P₃₀ під час фертигації. Зрошення – краплинне. Під час вегетації культури виконували дві міжрядні культивування (на 5–6 та 8–10 см). Збирання врожаю виконували шляхом скошування надземної біомаси рослин гісопу в фазу масового цвітіння з наступним просушуванням її в укритті.

Ступінь впливу мінеральних добрив на врожайність гісопу лікарського вивчали методом рангових кореляцій, розрахованих за стандартним алгоритмом [12]. Вивчення ваги доз і регламенту внесення мінеральних добрив у продуктивності культури встановлювали шляхом моделювання у штучній нейронній мережі конфігурації 3-1-5, з алгоритмом навчання «зворотне поширення помилки», коефіцієнтом підсилення (темпом навчання) 0,6, із цільовою похибкою ≤0,0445, у 1000000 циклів. Побудову, навчання та валідацію нейронної мережі виконували у програмному забезпеченні JustNN [13]. Моделювання врожайності гісопу лікарського залежно від дози внесення мінеральних добрив виконували шляхом лінійного регресійного аналізу за рівня достовірності 95% у програмному комплексі BioStat v.7, точність моделі встановлювали за величиною середньої абсолютної похибки [14; 15]. Графічні побудови та розрахунки частково виконано в Microsoft Excel 365.

Результати досліджень. Розрахунок рангових кореляцій вказує на наявність помірного взаємозв'язку між дозою внесення мінеральних добрив і врожайністю гісопу лікарського (табл. 1) [16].

Таблиця 1 – Рангові кореляції врожайності гісопу лікарського залежно від доз внесення мінеральних добрив

| ρ (Спірмена) | τ (Кендалла) | γ (Гудмана та Крускала) | r (Пірсона) |
|--------------|--------------|-------------------------|-------------|
| 0,6037 | 0,5044 | 0,6970 | 0,5609 |

(результат роботи авторів)

Таблиця 2 – Регресійна статистика математичної моделі врожайності гісопу лікарського залежно від дози внесення азотно-фосфорних добрив

| Статистичні індекси | Значення індексу |
|-------------------------------------|------------------|
| Коефіцієнт кореляції | 0,7286 |
| Коефіцієнт детермінації | 0,5309 |
| Коефіцієнт детермінації коригований | 0,5074 |
| Коефіцієнт детермінації прогнозний | 0,4322 |
| Середньоквадратична похибка | 0,2828 |
| Середня абсолютна похибка | 26,86% |

(результат роботи авторів)

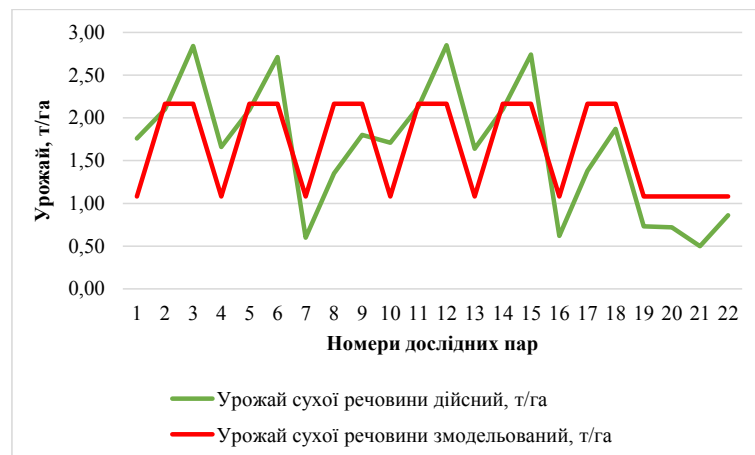


Рис. 1. Графічна апроксимація математичної моделі врожайності гісопу лікарського залежно від доз внесення мінеральних добрив

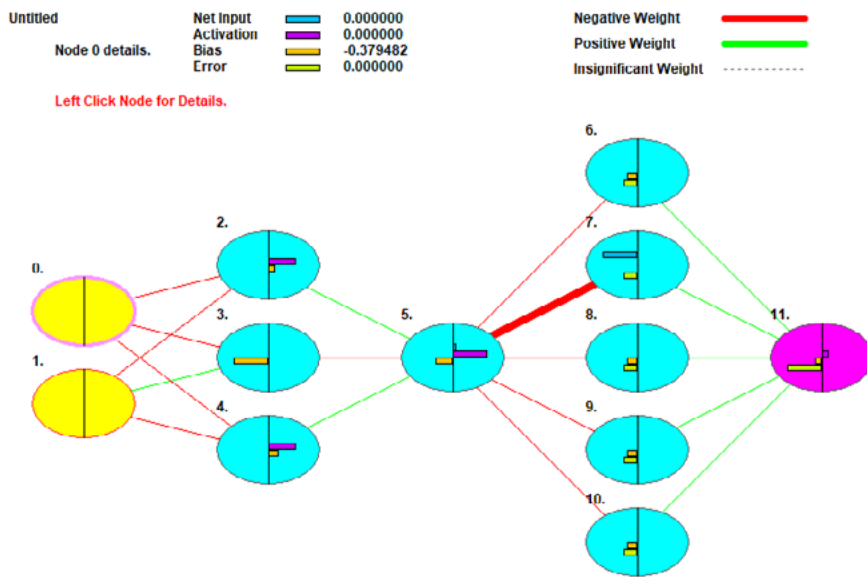


Рис. 2. Схема штучної нейронної мережі щодо вивчення врожайності гісопу лікарського залежно від дози та регламенту внесення мінеральних добрив

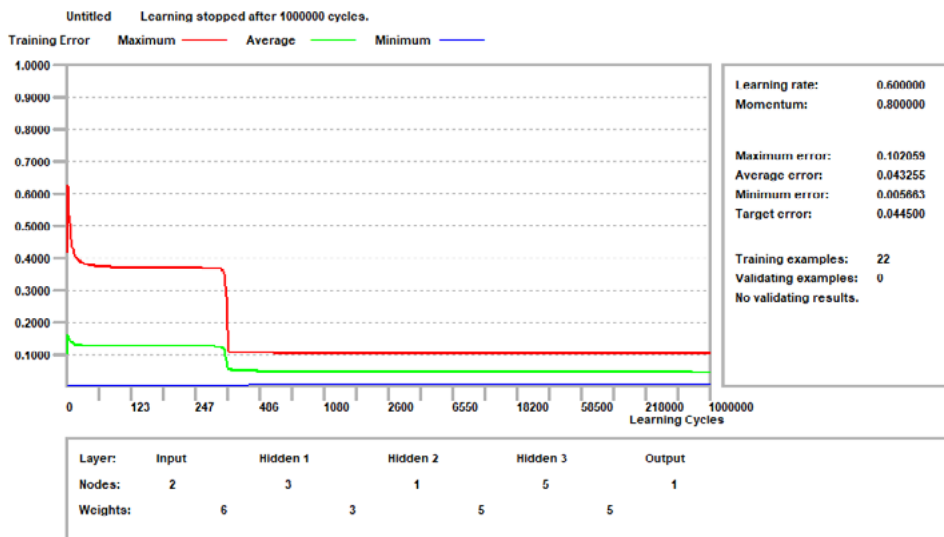


Рис. 3. Графік навчання штучної нейронної мережі з вивчення врожайності гісопу лікарського та похибки навчання

Untitled 1000000 cycles. Target error 0.0445 Average training error 0.043255
The first 2 of 2 Inputs in descending order.

| Column | Input Name | Importance | Relative Importance |
|--------|------------|------------|---|
| 1 | | 18.9313 | <div style="width: 100%; height: 10px; background-color: green;"></div> |
| 2 | | 14.3041 | <div style="width: 75%; height: 10px; background-color: green;"></div> |

Рис. 4. Відносна вага вхідних параметрів штучної нейронної мережі з вивчення врожайності гісопу лікарського (1 – доза мінеральних добрив; 2 – регламент внесення мінеральних добрив)

Математична модель, отримана внаслідок виконання регресійного аналізу вхідного набору даних щодо продуктивності гісопу лікарського та доз внесення азотно-фосфорних добрив має наступний вигляд (1):

$$Y = 1,0800 + 0,01806 \times D$$

де: Y – урожай сухої надземної біомаси гісопу лікарського, т/га; D – доза азотно-фосфорних добрив, кг/га діючої речовини.

Регресійна статистика математичної моделі наведена в табл. 2. Згідно сучасних критеріїв, модель має середню адекватність та прогнозу точність відповідно величини коефіцієнтів кореляції та детермінації, а також величини середньої абсолютної похибки.

Графічна апроксимація моделі наведена на Рис. 1.

Оскільки регресійний аналіз не дозволяє оцінити значущість регламенту внесення мінеральних добрив, вивчення ваги доз і способів удобрення гісопу лікарського вивчали у штучній нейронній мережі. Конфігурація нейронної мережі наведена на Рис. 2.

Згідно результатів, одержаних після навчання, тестової перевірки та валідації нейронної мережі (Рис. 3), вага регламенту внесення азотно-фосфорних добрив (тобто разове основне внесення чи роздільне з фертигацією) виявилася істотно (на 32%) нижчою за вагу доз (Рис. 4).

Таким чином, не завжди можна виправдати дрібне внесення мінеральних добрив. Втім, враховуючи абсолютну величину ваги фактора регламенту застосування азотно-фосфорних добрив, варто зазначити, що за ряду умов такий підхід може бути раціональним у плані забезпечення якомога високої продуктивності гісопу лікарського.

Представлене у даній роботі математико-статистичне дослідження продуктивності гісопу лікарського залежно від доз і регламенту внесення азотно-фосфорних добрив не має аналогів в Україні. Воно є логічним продовженням циклу подібних теоретичних досліджень, виконаних для ряду лікарських та ефіроолійних культур, що є перспективними для вирощування в Україні, зокрема, в зоні Південного Степу, а саме: стевії, валеріани лікарської, розторопші плямистої, коріандру посівного, шафрану посівного та артишоку [17–22]. Результати даних науково-дослідних робіт поглиблюють теоретичні відомості про формування продуктивності вищезгаданих культурних рослин, дозволяють програмувати їх врожайність залежно від окремих параметрів агротехнології.

Висновки. Гісоп лікарський позитивно реагує на застосування азотно-фосфорних мінеральних добрив. При цьому регламент їх внесення має другорядне значення порівняно із дозами. Математична модель продуктивності гісопу лікарського може бути використана для програмування врожайності цієї культури в умовах краплинного зрошення Півдня України. Виконання подальших польових і теоретичних досліджень є необхідною передумовою побудови оптимальної ресурсощадної та адаптивної агротехнології вирощування гісопу лікарського в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Рева М. Л., Рева Н. Н. Дикі їстівні рослини України. Київ : Наукова думка, 1976. 168 с.
2. Жаріков В. І., Остапенко А. І. Вирощування лікарських, ефіроолійних, пряноароматичних рослин. Київ : Вища школа, 1994. 234 с.
3. Котюк Л. Біохімічний склад інтродуцента *Hyssopus officinalis* L. Залежно від сортових особливостей. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2013. Вип. 62. С. 302–308.
4. Єрмаков С. В., Белова Т. О. Фармакологічні властивості, біологічні особливості та технологія вирощування гісопу лікарського. *Матеріали II науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні проблеми вирощування та переробки продукції рослинництва»*. Полтава : Полтавська державна аграрна академія, 2014. С. 33–35.
5. Лиховид П. В. Зрошення в Україні з огляду на сучасну кліматичну ситуацію. *International scientific conference «The latest scientific achievements in the modern agro-industrial complex» (December 28–29, Lublin, the Republic of Poland)*. Lublin, 2021. С. 20–21.
6. Белова Т. О. Перспективи використання і особливості технології вирощування гісопу лікарського. *Матеріали III науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки продукції рослинництва» (21–22 квітня 2015 р.)*. Полтава : Полтавська державна аграрна академія, 2015. С. 34–36.
7. Вожегова Р. А., Лиховид П. В., Біляєва І. М., Бойченко Х. І. Рівень інформаційного забезпечення ефіроолійного та лікарського рослинництва в Україні. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 19–22.
8. Федорчук М. І., Федорчук В. Г., Ткачова Є. С. Агротехнічні основи продуктивності гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.). *Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень* : матеріали IV Міжнародної наукової конференції присвяченої 140-річчю з дня народження П.І. Гавсевича (Березоточа, 13–14 червня 2019 року). Лубни: Комунальне видавництво «Лубни», 2019. С. 86–87.
9. Коваленко О. А., Андрійченко Л. В. Продуктивність гісопу лікарського за умов краплинного зрошення в Південному Степу України. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток аграрної галузі та впровадження наукових досліджень у виробництво (Миколаїв, 17-19 жовтня 2018 року)*. Миколаїв, 2018. С. 22.
10. Коваленко О. А., Андрійченко Л. В. Як вирощувати нову пряно-ароматичну культуру гісопу лікарського у південній частині Степу України. *The Ukrainian FARMER : партнер сучасного фермера*. 2019. № 2 (110). С. 122–123.
11. Добровольський П. А. Параметри продуктивності гісопу лікарського за вирощування в умовах південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 36–42.
12. Fieller E. C., Hartley H. O., Pearson E. S. Tests for rank correlation coefficients. I. *Biometrika*. 1957. Vol. 44(3/4). P. 470–481.
13. Vozhehova R. A., Lykhovyd P. V., Kokovikhin S. V., Biliaieva I. M., Markovska O. Y., Lavrenko S. O., Rudik O. L. Artificial neural networks and their implementation in agri-

cultural science and practice. Warsaw : Diamond Trading Tour, 2019. 108 pp.

14. Blasco B. C., Moreno J. J. M., PoA. P., Abad A. S. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 2013. Vol. 25(4). P. 500–506.

15. De Myttenaere A., Golden B., Le Grand B., Rossi F. Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*. 2016. Vol. 192. P. 38–48.

16. Wahyuni T. S., Purwanto K. K. Students' conceptual understanding on acid-base titration and its relationship with drawing skills on a titration curve. *Journal of Physics Conference Series*. 2020. Vol. 1440(1). Article ID 012018.

17. Вожегова Р. А., Біляєва І. М., Лиховид П. В., Пілярська О. О., Бойценюк Х. І. Досвід застосування макроелементів NPK на посівах коріандру. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Наукові читання до 85-річчя від дня народження Орлюка Анатолія Павловича – видатного вченого у галузі селекції та насінництва сільськогосподарських культур», присвяченої пам'яті доктора біологічних наук, професора, Заслуженого діяча науки і техніки України, лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки*. Херсон: ІЗЗ НААН, 2021. С. 124–126.

18. Вожегова Р. А., Біляєва І. М., Коковіхін С. В., Лиховид П. В., Бойценюк Х. І. Урожайність артишоку (*Cynara cardunculus* L. var. *Scolymus* (L.) Fiori) залежно від густоти рослин. *Аграрні Інновації*. 2021. № 8. С. 18–22.

19. Вожегова Р. А., Лиховид П. В., Біляєва І. М., Пілярська О. О. Мета-аналіз насінневої продуктивності розторопші плямистої залежно від ширини міжрядь. *Здобутки та досягнення прикладних та фундаментальних наук XXI століття: матеріали II Міжнародної наукової конференції (Т. 2), м. Рівне, 5 листопада, 2021 р.* Рівне, 2021. С. 28–30.

20. Lykhovyd P., Lavrenko N., Biliaieva I., Piliarska O., Piliarskyi V. Regression model of valerian root yields in the Forest Steppe zone of Ukraine depending on fertilization rates and water use of the crop. *Bioscience Research*. 2021. Vol. 18. No. 3. P. 219–2201.

21. Вожегова Р. А., Біляєва І. М., Лиховид П. В. Продуктивність шафрану залежно від густоти посівів. *Вектори розвитку та результати досягнень науки в сучасному освітньому просторі. Матеріали науково-практичної конференції (м. Одеса, 23-24 липня 2021 р.)*. Херсон: Видавництво «Молодий вчений», 2021. С. 67–70.

22. Vozhehova R., Lykhovyd P., Biliaieva I., Shebanova V., Rudik O., Sinhaievskyi A. Modeling stevia yields depending on plant density and mineral fertilizers rates. *Modern Phytomorphology*. 2021. Vol. 15. P. 91–94.

REFERENCES:

1. Reva, M. L., & Reva, N. N. (1976). Dyki yivistni rosliny Ukrainy [Wild edible plants of Ukraine]. *Kyiv: Naukova dumka* [in Ukrainian].

2. Zharikov, V. I., & Ostapenko, A. I. (1994). Vyroshhuvannya likarskykh, efiroolijnykh, pryanosmakovykh roslin [Cultivation of medicinal, aromatic and spicy plants]. *Kyiv: Vyshcha shkola* [in Ukrainian].

3. Kotyuk, L. (2013). Biokhimichnyj sklad introducenta *Hyssopus officinalis* L. zalezno vid sortovykh osoblyv-

ostej [Biochemical contains of the introductent *Hyssopus officinalis* L. depending on varietal traits]. *Herald of Lviv University. Series Biology*, 62, 302–308 [in Ukrainian].

4. Yermakov, S. V., & Byelova, T. O. (2014). Farmakolohichni vlastyvoli, biolohichni osoblyvosti ta tekhnolohiya vyroshhuvannya hisopu likarskoho [Pharmacological properties, biological traits and cultivation technology of hyssop]. *Proceedings of the II scientific-practical internet-conference «Relevant problems of cultivation and processing medicinal plants»*. *Poltava: Poltava State Agrarian Academy*. pp. 33–35 [in Ukrainian].

5. Lykhovyd, P. V. (2021). Zroshennya v Ukrayini z ohlyadu na suchasnu klimatychnu sytuaciyu [Irrigation in Ukraine in the context of current climate situation]. *International scientific conference «The latest scientific achievements in the modern agro-industrial complex» (December 28-29, Lublin, the Republic of Poland)*. *Lublin*. pp. 20–21 [in Ukrainian].

6. Byelova, T. O. (2015). Perspektyvy vykorystannya i osoblyvosti tekhnolohiyi vyroshhuvannya hisopu likarskoho [Production prospects and peculiarities of cultivation of hyssop]. *Proceedings of the III scientific-practical internet-conference «Innovative aspects of cultivation, storage and processing crop products» (21-22 kvitnya 2015 p.)*. *Poltava: Poltava State Agrarian Academy*. pp. 34–36 [in Ukrainian].

7. Vozhehova, R. A., Lykhovyd, P. V., Biliaieva, I. M., & Boitseniuk, K. I. (2022). Riven informacijnoho zabezpechennya efiroolijnoho ta likarskoho roslynnytva v Ukrayini [The level of information support for aromatic and medicinal plant growing in Ukraine]. *Irrigated Agriculture*, 77, 19–22 [in Ukrainian].

8. Fedorchuk, M. I., Fedorchuk, V. H., & Tkachova, Ye. S. (2019). Ahrotekhnichni osnovy produktyvnosti hisopu likarskoho (*Hyssopus officinalis* L.) [Agrotechnical bases of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) productivity]. *Medicinal plants: customs and prospects of investigation: proceedings of the IV International scientific conference dedicated to 140-anniversary from the birthday of P.I. Havsevych (Berezotocha, 13–14 June 2019)*. *Lubny: Publishing house «Lubny»*. pp. 86–87 [in Ukrainian].

9. Kovalenko, O. A., & Andriichenko, L. V. (2018). Produktyvnist hisopu likarskoho za umov kraplynnoho zroshennya v Pivdennomu Stepu Ukrayiny [Hyssop productivity at the drip irrigation in the Southern Steppe of Ukraine]. *Proceedings of the international scientific-practical conference «Development of agrarian branch and introduction of scientific research in practice (Mykolaiv, 17-19 October 2018)*. *Mykolaiv*. pp. 22 [in Ukrainian].

10. Kovalenko, O. A., & Andriichenko, L. V. (2019). Yak vyroshhuvaty novu pryano-aromatychnu kulturu hisopu likarskyj u pivdennij chastyni Stepu Ukrayiny [On the cultivation of new aromatic crop hyssop in the Southern Steppe of Ukraine]. *The Ukrainian FARMER*, 2 (110), 122–123 [in Ukrainian].

11. Dobrovolskyi, P. A. (2021). Parametry produktyvnosti hisopu likarskoho za vyroshhuvannya v umovax pivdennoho Stepu Ukrayiny [Crop capacity parameters of hyssop when grown in the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavrian Scientific Herald*, 120, 36–42 [in Ukrainian].

12. Fieller, E. C., Hartley, H. O., & Pearson, E. S. (1957). Tests for rank correlation coefficients. I. *Biometrika*, 44(3/4), 470–481.

13. Vozhehova, R. A., Lykhovyd, P. V., Kokovikhin, S. V., Biliaieva, I. M., Markovska, O. Y., Lavrenko, S. O., & Rudik, O. L. (2019). Artificial neural networks and their implementation in agricultural science and practice. *Warsaw : Diamond Trading Tour*. [in English].

14. Blasco, B. C., Moreno, J. J. M., Pol, A. P., & Abad, A. S. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500–506.

15. De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, 192, 38–48. [in English].

16. Wahyuni, T. S., & Purwanto, K. K. (2020). Students' conceptual understanding on acid-base titration and its relationship with drawing skills on a titration curve. *Journal of Physics Conference Series*, 1440(1), Article ID 012018. [in English].

17. Vozhehova, R. A., Biliaieva, I. M., Lykhovyd, P. V., Piliarska, O. O., & Boitseniuk, K. I. (2021). Dosvid zastosuvannya makroelementiv NPK na posivax koriandru [Experience of the application of NPK macro elements on the crops of Coriandrum]. *Proceedings of the International scientific-practical conference «Scientific readings to 85-anniversary from the birthday of Orliuk Anatolii Pavlovych – a prominent scientist in plant breeding and seed growing of crops», devoted to cherish the memory of the doctor of agricultural sciences, professor, Honored worker of science and technique, laureate of the State prize of Ukraine in the field of science and technology. Kherson: IZZ NAAN*. pp. 124–126 [in Ukrainian].

18. Vozhehova, R. A., Biliaieva, I. M., Kokovikhin, S. V., Lykhovyd, P. V., & Boitseniuk, K. I. (2021). Urozha-jnist" artyshoku (*Cynara cardunculus* L. var. *Scolymus* (L.) Fiori) zalezno vid hustoty roslyn [Yield of artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori) depending on plant density]. *Agrarian Innovations*, 8, 18–22 [in Ukrainian].

19. Vozhehova, R. A., Lykhovyd, P. V., Biliaieva, I. M., & Piliarska, O. O. (2021). Meta-analiz nasinnyevoyi produktyvnosti roztoropshi plyamystoyi zalezno vid shyryny mizhyriad [Meta-analysis of mil thistle productivity depending on inter-row spacing]. *Achievements of applied and fundamental sciences of the XXI century: proceedings of the II International scientific conference (Vol. 2), Rivne, 5 November, 2021. Rivne*. pp. 28–30 [in Ukrainian].

20. Lykhovyd, P., Lavrenko, N., Biliaieva, I., Piliarska, O., & Piliarskyi, V. (2021). Regression model of valerian root yields in the Forest Steppe zone of Ukraine depending on fertilization rates and water use of the crop. *Bioscience Research*, 18 (3), 219–2201. [in English].

21. Vozhehova, R. A., Biliaieva, I. M., & Lykhovyd, P. V. (2021). Produktyvnist shafранu zalezno vid hustoty posiviv [Saffron productivity depending on plants density]. *Vectors of development and results of scientific achievements in modern educational environment. Proceedings of scientific-practical conference (Odesa, 23–24 July 2021). Kherson: Publishing house «Young scientist»*. pp. 67–70 [in Ukrainian].

22. Vozhehova, R., Lykhovyd, P., Biliaieva, I., Shebanova, V., Rudik, O., & Sinhaievskiy, A. (2021). Modeling stevia yields depending on plant density and mineral fertilizers rates. *Modern Phytomorphology*, 15, 91–94. [in English].

Вожегова Р.А., Коваленко О.А., Лиховид П.В., Пилирська О.О., Качанова Т.В. Моделювання врожайності гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.) залежно від дози та регламенту внесення мінеральних добрив

Мета. Теоретичне вивчення та моделювання врожайності гісопу лікарського в умовах Півдня України за різних доз і регламенту внесення мінеральних добрив із використанням методів регресійного математичного аналізу, рангових кореляцій і штучної нейронної мережі. **Методи.** Польові дослідження з вивчення продуктивності гісопу лікарського сорту Маркиз на краплинному зрошенні в умовах Півдня України виконували на дослідних полях ДУ «Миколаївська дослідна станція Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН» у 2017–2018 рр. Агротехніка – загально рекомендована, крім досліджуваних факторів. Теоретичне вивчення врожайності культури виконували за допомогою методів математичної статистики (кореляції рангу, регресійний аналіз) та штучної нейронної мережі з алгоритмом навчання «зворотне поширення помилки» та конфігурацією 3-1-5. Статистичний аналіз виконували за рівня достовірності 95%. **Результати.** За результатами теоретичної роботи методом рангових кореляцій було встановлено наявність прямого помірною взаємозв'язку між врожайністю сировини гісопу лікарського та дозами внесення азотно-фосфорних мінеральних добрив. Регресійна математична модель, побудована для прогнозування продуктивності культури, має середню адекватність відносно набору даних і середню прогностичну точність із середньою абсолютною похибкою 26,86%. Результати вивчення ваги вхідних параметрів у штучній нейронній мережі дозволили встановити, що значущість фактору способу внесення мінеральних добрив є на 32% нижчою за фактор доз. **Висновки.** Гісоп лікарський позитивно реагує на застосування азотно-фосфорних мінеральних добрив. При цьому регламент їх внесення має другорядне значення порівняно із дозами. Математична модель продуктивності гісопу лікарського може бути використана для програмування врожайності цієї культури в умовах краплинного зрошення Півдня України. Виконання подальших польових і теоретичних досліджень є необхідною передумовою побудови оптимальної ресурсоощадної та адаптивної агротехнології вирощування гісопу лікарського в Україні.

Ключові слова: кореляції рангу, Південь України, продуктивність, регресійний аналіз, штучна нейронна мережа.

Vozhehova R.A., Kovalenko O.A., Lykhovyd P.V., Piliarska O.O., Kachanova T.V. Modeling yields of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) depending on the dose and schedule of mineral fertilization

Purpose. Theoretical study and modeling hyssop yield in the conditions of the South of Ukraine under different doses and schedules of mineral fertilization by the methods of regression mathematical analysis, rank correlations and artificial neural network. **Methods.** Field studies regarding hyssop variety Markiz productivity at drip irrigation in the conditions of the South of Ukraine were conducted at the experimental field of SE «Mykolaiv Research Station of the Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS» during 2017–2018. The cultivation technology was as generally recommended, except for the studied factors.

Theoretical study of the crop yield was performed using the methods of mathematical statistics (rank correlation, regression analysis) and artificial neural network with back-propagation learning algorithm and 3-1-5 architecture. Statistical analysis was performed at the probability level of 95%. **Results.** The results of theoretical assessment by the method of rank correlations revealed intermediate direct interconnection between the yield of hyssop dry biomass and doses of nitrogen-phosphorus mineral fertilization. Regression mathematical model, developed to predict the crop yield, has average fitting quality and prognostic value with the mean absolute percentage error of 26.86%. The results of the weight study for the inputs in the arti-

ficial neural network allowed conclude that the importance of the schedule of mineral fertilization is 32% less significant than the dosage factor. **Conclusions.** Hyssop reacts positively to application of mineral nitrogen-phosphorus fertilization. The schedule of fertilization plays secondary role comparing to doses. Mathematical model for the hyssop productivity prediction could be used to program the yields of the crop in the conditions of drip irrigation in the South of Ukraine. Further field and theoretical research are required to build up optimal resource-saving and adaptive cultivation technology of hyssop in Ukraine.

Key words: rank correlation, South of Ukraine, productivity, regression analysis, artificial neural network.