

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ СВІТОВОЇ ПРАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ НА ПОСІВАХ М'ЯТИ ПЕРЦЕВОЇ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН, директор
orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

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

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

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

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. М'ята перцева (*Mentha piperita* L.) належить до числа найбільш важливих і широко використовуваних лікарських і ефіроолійних рослин у світі, має надзвичайно високе господарське значення. Ментолова олія, яка видобувається із сировини цієї культури, є вихідним матеріалом для синтезу та добування похідних речовин, таких як терпени, ментон, ізоментон, ментофуран та ін., які входять до складу низки парфумерних засобів і біологічних лікарських препаратів [1]. Так, наприклад, фармацевти високо оцінюють та використовують такі властивості біологічної сировини м'яти перцевої як антимікробна, спазмолітична активність, здатність до поліпшення процесів травлення та полегшення перебігу окремих серцево-судинних захворювань [2–5]. Крім парфумерної та фармацевтичної промисловості, м'ята перцева широко використовується у харчовій промисловості, зокрема, у кондитерській галузі [6]. Враховуючи стабільний попит на якісну сировину м'яти перцевої як на внутрішньому ринку України, так і на світовому ринку, вивчення особливостей формування продуктивності даної культури має високі актуальність і практичний інтерес, оскільки науково обґрунтована система теоретичних знань щодо продукційних процесів є підґрунтям розробки плану польових досліджень і формування практичних рекомендацій щодо поліпшення якості та підвищення зборів рослинницької сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із найбільш важливих і гострих питань лікарського та ефіроолійного рослинництва є проблема ефективного, еколого безпечного застосування мінеральних добрив для отримання якісної сировини. Особливо важливим є дане питання під час культивування таких рослин як м'ята перцева, оскільки їхня сировина використовується не тільки в переробленому вигляді, але й у свіжому та сушеному вигляді під час приготування кондитерської продукції та страв, а тому питання забезпечення максимальної продуктивності культури за мінімального агро-технологічного втручання (щодо добрив – застосування мінімально можливих ефективних доз) постає вкрай гостро для забезпечення відповідної санітарно-гігієнічної та токсикологічної безпеки продукції.

Втім, донині проблематика удобрення м'яти є недостатньо вивченою та має дуже обмежене висвітлення у наукових джерелах не тільки на теренах України, але й у світовому масштабі. Аналітичний огляд наукової літератури щодо питання удобрення м'яти перцевої у світовій практиці за останні десятиліття свідчить про обмежене коло якісних наукових досліджень із цього питання. Нами було відібрано та узагальнено результати науково-дослідних робіт, виконаних у різних кутках світу, зокрема, у Португалії [7], Болгарії [8], Індії [1; 9; 13; 14], Туреччині [10; 11], США [12]. Важливо, що дані дослідження мають не лише строкату географічну сітку, включаючи основні райони виробництва сировини м'яти, але й різні за інтенсивністю та характером агро-технології, а також різні ґрунтово-кліматичні умови та технології штучного зволоження посівів, що підвищує репрезентативність вибірки. Крім того, звертає на себе увагу надмірне застосування мінеральних добрив у ряді наукових досліджень (понад 150 кг д. р./га), що вступає у протиріччя із принципами еколого-безпечного ведення землеробства та може істотно знижувати токсикологічні характеристики якості сировини. На жаль, в Україні до сьогодні не було проведено систематизованих наукових досліджень із питання застосування на посівах м'яти мінеральних добрив, тому, на жаль, наша аналітична робота стосуватиметься тільки систематизованих закордонних досліджень.

Мета. Завданням роботи було виконати математичну аналітичну роботу щодо визначення ефективності мінеральних азотних, фосфорних і калійних добрив (NPK) у формуванні врожаю біомаси м'яти.

Матеріали та методика досліджень. Для досягнення постановленої мети нами було застосовано такі статистичні методи роботи з даними як:

1) Оцінка гетероскедастичності, або дисперсії випадкових величин у досліджуваній послідовності. Оскільки в нашій роботі регресійна модель – множинна лінійна регресія, було застосовано тест Бройша-Паґана [15] та альтернативний йому тест Уайта [16].

2) Рангові кореляції. Коефіцієнти кореляції рангу – статистичні показники, за якими можна оцінювати сту-

пінь статистичної значущості взаємовідношення між двома рангами величин. Величини коефіцієнтів рангової кореляції коливаються в межах $-1...+1$, та трактуються у розрізі: чим ближче абсолютна величина коефіцієнту до 1, тим сильніший і досконаліший взаємозв'язок між вибірками, а чим ближчий до нуля – тим слабший. У нашій роботі було розраховано наступні коефіцієнти кореляції рангу: Спірмена, Кендала, Гудмана та Крускала, Пірсона [17; 18].

Множинна лінійна регресія. Використано стандартний алгоритм (найменших квадратів) регресійного аналізу із паралельним розрахунком таких статистичних параметрів як коефіцієнти детермінації моделі (простий, коригований та прогнозний), середня абсолютна похибка моделі у відсотках [19]. Адекватність розробленої регресійної моделі оцінювали за показником коефіцієнту детермінації, а точність прогнозів було оцінено за середньою абсолютною похибкою прогнозу у відсотках [20].

Статистичні розрахунки виконувалися із використанням пакету BioStat v.7 (надбудова для Microsoft Excel 365). Графічну апроксимацію моделі виконано у табличному процесорі Microsoft Excel 365.

Результати досліджень. Результати досліджень, включених у аналіз, генералізовано у таблиці 1, загалом, вхідні дані містять 64 вхідні дослідні пари. Регресійна статистика моделі врожайності м'яти залежно від доз мінеральних добрив приведена у таблиці 2, результати перевірки нульової гіпотези в моделі щодо її вхідних параметрів наведено у таблиці 3. Щодо основних критеріїв гетероскедастичності та пов'язаних із ними оцінок нульової гіпотези, то результати їх розрахунку містяться у таблиці 4. Коефіцієнти кореляції рангу, використані нами для оцінки сили взаємовідношення ефекту від кожного елементу живлення на продуктивність культури, наведено у таблиці 5 (найбільш уживаний в аграрній науці – коефіцієнт кореляції Пірсона).

Таблиця 1

Урожайність сирої біомаси м'яти перцевої залежно від дози застосування NPK мінеральних добрив

| Дози внесення мінеральних добрив у кг д. р./га | | | Урожайність, т/га |
|--|-----|-----|-------------------|
| N | P | K | |
| 0 | 0 | 0 | 7,40 |
| 50 | 0 | 0 | 6,66 |
| 100 | 0 | 0 | 7,89 |
| 150 | 0 | 0 | 9,34 |
| 0 | 0 | 0 | 5,39 |
| 50 | 0 | 0 | 7,93 |
| 100 | 0 | 0 | 8,28 |
| 150 | 0 | 0 | 8,29 |
| 0 | 0 | 0 | 12,00 |
| 151 | 0 | 0 | 14,00 |
| 306.2 | 0 | 110 | 14,50 |
| 533.6 | 182 | 240 | 21,00 |
| 0 | 0 | 0 | 14,00 |
| 151 | 0 | 0 | 15,00 |

Продовження таблиці 1

| | | | |
|-------|-----|-----|-------|
| 306.2 | 0 | 110 | 18,00 |
| 533.6 | 182 | 240 | 24,00 |
| 0 | 0 | 0 | 13,00 |
| 151 | 0 | 0 | 15,00 |
| 306.2 | 0 | 110 | 14,00 |
| 533.6 | 182 | 240 | 19,50 |
| 0 | 0 | 0 | 13,33 |
| 60 | 60 | 60 | 14,87 |
| 90 | 90 | 90 | 16,13 |
| 120 | 90 | 90 | 17,53 |
| 100 | 0 | 60 | 18,47 |
| 100 | 0 | 60 | 16,95 |
| 150 | 30 | 120 | 24,98 |
| 150 | 30 | 120 | 16,45 |
| 150 | 30 | 120 | 17,83 |
| 150 | 30 | 120 | 16,20 |
| 100 | 45 | 120 | 14,15 |
| 100 | 45 | 120 | 12,31 |
| 0 | 50 | 0 | 19,52 |
| 50 | 50 | 0 | 30,11 |
| 100 | 50 | 0 | 38,92 |
| 150 | 50 | 0 | 42,99 |
| 200 | 50 | 0 | 45,32 |
| 0 | 50 | 0 | 13,98 |
| 50 | 50 | 0 | 28,00 |
| 100 | 50 | 0 | 36,26 |
| 150 | 50 | 0 | 40,93 |
| 200 | 50 | 0 | 44,03 |
| 20 | 0 | 0 | 5,99 |
| 40 | 0 | 0 | 6,32 |
| 60 | 0 | 0 | 6,99 |
| 80 | 0 | 0 | 8,46 |
| 10 | 0 | 0 | 7,11 |
| 120 | 0 | 0 | 7,55 |
| 0 | 0 | 0 | 5,49 |
| 0 | 0 | 0 | 6,58 |
| 80 | 0 | 0 | 7,65 |
| 0 | 0 | 0 | 5,48 |
| 80 | 0 | 0 | 6,75 |
| 0 | 0 | 0 | 7,68 |
| 80 | 0 | 0 | 8,56 |
| 75 | 45 | 30 | 24,04 |
| 100 | 60 | 40 | 28,56 |
| 125 | 75 | 50 | 30,03 |
| 150 | 60 | 60 | 32,56 |
| 150 | 60 | 60 | 32,59 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 113 | 45 | 45 | 31,87 |
| 113 | 45 | 45 | 32,05 |
| 75 | 30 | 30 | 31,33 |
| 75 | 30 | 30 | 31,60 |

Таблиця 2

Регресійна статистика моделі врожайності сирої біомаси м'яти перцевої залежно від дози внесення NPK мінеральних добрив

| Показник (статистичний параметр) | Значення |
|---|----------------------------------|
| Коефіцієнт множинної кореляції | 0,6029 |
| Коефіцієнт множинної детермінації (простий) | 0,3635 |
| Коефіцієнт множинної детермінації (коригований) | 0,3317 |
| Коефіцієнт множинної детермінації (прогнозний) | 0,2357 |
| Середня абсолютна похибка у відсотках | 59,25 |
| Множинна модель урожайності надземної біомаси | $13,605+0,0287N+0.1920P-0.1177K$ |

Таблиця 3

Результати перевірки нульової гіпотези щодо входних параметрів моделі врожайності сирої біомаси м'яти перцевої

| Вхідний параметр моделі | t-статистика | H0 (5%) |
|-------------------------|--------------|-----------|
| N | 1,7161 | Прийнята |
| P | 4,8728 | Відхилена |
| K | -3,4913 | Відхилена |

Таблиця 4

Оцінка гетероскедастичності моделі врожайності сирої біомаси м'яти перцевої залежно від дози внесення NPK мінеральних добрив

| Критерій Бройша-Паґана | |
|------------------------|-------------------------|
| Статистика | 23,489 |
| P-значення | $6,4832 \times 10^{-4}$ |
| Ступені свободи | 6 |
| Критичне значення | 12,592 |
| H0 (5%) | відхилена |
| Критерій Уайта | |
| Статистика | 55,480 |
| P-значення | $9,988 \times 10^{-4}$ |
| Ступені свободи | 27 |
| Критичне значення | 40,113 |
| H0 (5%) | відхилена |

Таблиця 5

Рангові кореляції моделі врожайності сирої біомаси м'яти перцевої залежно від дози внесення NPK мінеральних добрив

| Пари | Коефіцієнти | | | |
|------------|-------------|---------|---------------------|---------|
| | Спірмена | Кендала | Гудмана та Крускала | Пірсона |
| N – урожай | 0,5266 | 0,3793 | 0,3972 | 0,2833 |
| P – урожай | 0,7475 | 0,5585 | 0,6676 | 0,4807 |
| K – урожай | 0,3953 | 0,2751 | 0,3459 | 0,1205 |

За результатами статистичної роботи встановлено, що множинна регресійна модель урожайності сирої біомаси м'яти перцевої залежно від доз внесення мінеральних добрив має середню адекватність та нижче-середню точність прогнозу. Нульову гіпотезу (відсутність статистично достовірного впливу на врожайність) підтверджено лише для азотних добрив. Втім, детальніше вивчення рангової кореляції засвідчило, що мінімальний вплив на продуктивність досліджуваної культури мали не азотні, а калійні добрива. Оцінка критеріїв гетероскедастичності моделі засвідчила про статистичну достовірність сукупного впливу фактору внесення NPK мінеральних добрив на врожайність сирої біомаси м'яти.

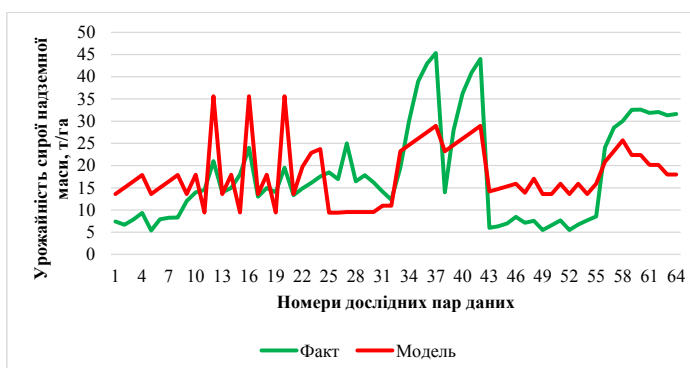


Рис. 1. Апроксимація регресійної моделі урожайності сирої біомаси м'яти перцевої залежно від дози внесення NPK мінеральних добрив

Графічна апроксимація регресійної моделі врожайності м'яти залежно від доз внесення мінеральних добрив наведена на рис. 1.

Вцілому, за результатами математико-статистичного аналізу доведено, що врожайність м'яти перцевої істотно залежить від застосування мінеральних добрив, причому культура позитивно відповідає на збільшення доз внесення азотно-фосфорних добрив і не знижує своєї продуктивності навіть за сукупного внесення понад 300-400 кг/га діючої речовини зазначених добрив. Максимальний позитивний вплив на формування врожаю культури мали фосфорні добрива, значно менший – азотні, і фактично не мали ніякого впливу (а згідно величини регресійного коефіцієнту множинної моделі – мали певний негативний вплив) калійні добрива. Таким чином, перспективними є польові та вегетаційні дослідження щодо продуктивності м'яти перцевої саме за внесення азотно-фосфорних мінеральних добрив.

Висновки. За результатами математико-статистичного аналізу залежності врожайності сирової біомаси м'яти перцевої від доз внесення мінеральних добрив встановлено, що найбільше значення для поліпшення продуктивності культури мають фосфорні добрива. Калійні добрива практично не мають значення для продуктивності культури. Таким чином, під час вивчення продуктивності м'яти в польових умовах або в рамках вегетаційних дослідів головний фокус уваги має падати саме на азотно-фосфорне живлення, причому бажано, щоб було враховано еколого-токсикологічні вимоги та не перевищувати дози внесення понад 150 кг д. р./га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Fazili M. A., Wani A. H., Bhat M. Y. Effect of different doses of gamma-irradiated sodium alginate and nitrogen fertilizer on growth, physiology and yield attributes of *Mentha piperita* L. in Northern Himalayas. *International Journal of Agricultural Science and Research*. 2017. Vol. 7. Issue 4. P. 165–176.
- Sujana P., Sridhar T. M., Josthna P., Naidu C. V. Antibacterial activity and phytochemical analysis of *Mentha piperita* L. (Peppermint) – An important multipurpose medicinal plant. *American Journal of Plant Sciences*. 2013. Vol. 4. P. 77–83. DOI:10.4236/ajps.2013.41012
- Yamamoto N., Nakai Y., Sasahira N., Hirano K., Tsujino T., Isayama H., Komatsu Y., Tada M., Yoshida H., Kawabe T., Hiki N., Kaminishi M., Kurosaka H., Omata M. Efficacy of peppermint oil as an antispasmodic during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*. 2006. Vol. 21. P. 1394–1398.
- Cash B., Epstein M., Shah S. A novel delivery system of peppermint oil is an effective therapy for irritable bowel syndrome symptoms. *Digestive Diseases and Sciences*. 2016. Vol. 61. P. 560–571. DOI: 10.1007/s10620-015-3858-7
- Haber S. L., El-Ibiary S. Y. Peppermint oil. *American Journal of Health-System Pharmacy*. 2016. Vol. 73. P. 22–26. DOI:10.2146/ajhp140801
- Cunha A. P., Ribeiro J. A., Roque O. R. Plantas aromáticas em Portugal. Caracterização e utilização. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian. 2007.
- Arrobas M., Ferreira I. Q., Afonso S., Ângelo Rodrigues M. Sufficiency ranges and crop nutrient removals for peppermint (*Mentha X piperita* L.) established from field and pot fertilizer experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018. 12 pp. DOI: 10.1080/00103624.2018.1474909
- Jeliazkova E. A., Zheljzkov V. D., Craker L. E., Yankov B., Georgieva T. NPK fertilizers and yields of peppermint, *Mentha x Piperita*. *Acta Horticulturae*. 1999. 502. P. 231–236.
- Patruil O., Tabara V. Research on the quality yield of herbal mint (*Mentha piperita* L.) under the influence of mineral and organic fertilization in climate conditions in S. C. D. A. Lorvin. *Buletinul AGIR*. 2011. No. 2. P. 60–62.
- Tepecik M., Esetilli B. C., Ozturk B., Anac D. Effect of different fertilizers on peppermint – Essential and non-essential nutrients, essential oils and yield. *Italian Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 17. 1921. DOI: 10.4081/ija.2022.1921
- Can M., Katar D. Effect of different nitrogen doses on agricultural and quality characteristics of *Mentha x piperita* L. and *Mentha spicata* L. species. *Journal of Agricultural Science and technology*. 2021. Vol. 23. No. 6. P. 1327–1338.
- Cerven, V. Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint (*Mentha X piperita* L.) productivity, oil content, and composition. A thesis for the degree of Master of Science. Mississippi State, US. 2009. 50 pp.
- Jat, M., Singh, G., Choudhary, S. Standardizing drip irrigation scheduling and NPK levels on economics and energy use of *Mentha* (*Mentha arvensis*) Crop in Tarai regions of Uttarakhand. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13. No. 3. P. 125–133.
- Behera, M. S., Mahapatra, P. K., Singandhupe, R. B., Kundum D. K., Kannan, K., Mandal, K. G., Singh, A. Effect of drip fertigation on yield, water use efficiency and water productivity of mint (*Mentha arvensis* L.). *Journal of Agricultural Physics*. 2014. Vol. 14. No. 1. P. 37–43.
- Krämer, W., Sonnberger, H. The linear regression model under test. Springer Science & Business Media, 2012.
- White, H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1980. P. 817–838.
- Cureton, E. E. Rank-biserial correlation. *Psychometrika*. 1956. Vol. 21. P. 287–290. DOI: 10.1007/BF02289138
- Forthofer, R. N., Lehnen, R. G., Forthofer, R. N., Lehnen, R. G. Rank correlation methods. In *Public Program Analysis: A New Categorical Data Approach*. Springer, 1981. P. 146-163. DOI: 10.1007/978-1-4684-6683-6_9
- Haase, R. F. Multivariate General Linear Models. Sage, 2011.
- Blasco B. C., Moreno J. J. M., Pol A. P., Abad A. S. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 2013. Vol. 25. No. 4. P. 500–506. DOI: 10.7334/psicothema2013.23

REFERENCES:

- Fazili, M.A., Wani, A.H., & Bhat, M.Y. (2017). Effect of different doses of gamma-irradiated sodium alginate and nitrogen fertilizer on growth, physiology and yield attributes of *Mentha piperita* L. in Northern Himalayas.

- International Journal of Agricultural Science and Research*. Vol. 7. Issue 4. P. 165–176
2. Sujana, P., Sridhar, T.M., Josthna, P., & Naidu, C.V. (2013). Antibacterial activity and phytochemical analysis of *Mentha piperita* L. (Peppermint) – An important multipurpose medicinal plant. *American Journal of Plant Sciences*. Vol. 4. P. 77–83. DOI:10.4236/ajps.2013.41012
 3. Yamamoto, N., Nakai, Y., Sasahira, N., Hirano, K., Tsujino, T., Isayama, H., Komatsu, Y., Tada, M., Yoshida, H., Kawabe, T., Hiki, N., Kaminishi, M., Kurosaka, H., & Omata, M. (2006). Efficacy of peppermint oil as an antispasmodic during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*. Vol. 21. P. 1394–1398
 4. Cash, B., Epstein, M., & Shah, S. (2016). A novel delivery system of peppermint oil is an effective therapy for irritable bowel syndrome symptoms. *Digestive Diseases and Sciences*. Vol. 61. P. 560–571. DOI: 10.1007/s10620-015-3858-7
 5. Haber S. L., El-Ibiary S. Y. Peppermint oil. *American Journal of Health-System Pharmacy*. 2016. Vol. 73. P. 22–26. DOI:10.2146/ajhp140801
 6. Cunha, A.P., Ribeiro, J.A., & Roque, O.R. (2007). Plantas aromáticas em Portugal. Caracterização e utilização. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian [in Portuguese].
 7. Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Afonso, S., Ângelo Rodrigues, M. (2018). Sufficiency ranges and crop nutrient removals for peppermint (*Mentha X piperita* L.) established from field and pot fertilizer experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 12 pp. DOI: 10.1080/00103624.2018.1474909
 8. Jeliaskova, E.A., Zheljaskov, V.D., Craker, L.E., Yankov, B., & Georgieva, T. (1999). NPK fertilizers and yields of peppermint, *Mentha x Piperita*. *Acta Horticulturae*. 502. P. 231–236.
 9. Patru, O., & Tabara, V. (2011). Research on the quality yield of herbal mint (*Mentha piperita* L.) under the influence of mineral and organic fertilization in climate conditions in S. C. D. A. Lorvin. *Buletinul AGIR*. No. 2. P. 60–62.
 10. Tepecik, M., Esetilli, B.C., Ozturk, B., & Anac, D. (2022). Effect of different fertilizers on peppermint – Essential and non-essential nutrients, essential oils and yield. *Italian Journal of Agronomy*. Vol. 17. 1921. DOI: 10.4081/ija.2022.1921
 11. Can, M., & Katar, D. (2021). Effect of different nitrogen doses on agricultural and quality characteristics of *Mentha x piperita* L. and *Mentha spicata* L. species. *Journal of Agricultural Science and technology*. Vol. 23. No. 6. P. 1327-1338
 12. Cerven, V. (2009). Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint (*Mentha X piperita* L.) productivity, oil content, and composition. A thesis for the degree of Master of Science. Mississippi State, US. 50 pp.
 13. Jat, M., & Singh, G., Choudhary, S. (2023). Standardizing drip irrigation scheduling and NPK levels on economics and energy use of *Mentha* (*Mentha arvensis*) Crop in Tarai regions of Uttarakhand. *International Journal of Environment and Climate Change*. Vol. 13. No. 3. P. 125–133.
 14. Behera, M.S., Mahapatra, P.K., Singandhupe, R.B., Kundum D.K., Kannan, K., Mandal, K.G., & Singh, A. (2014). Effect of drip fertigation on yield, water use efficiency and water productivity of mint (*Mentha arvensis* L.). *Journal of Agricultural Physics*. Vol. 14. No. 1. P. 37–43.
 15. Krämer, W., & Sonnberger, H. (2012). The linear regression model under test. *Springer Science & Business Media*
 16. White, H.A. (1980). heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. P. 817–838.
 17. Cureton, E.E. (1956). Rank-biserial correlation. *Psychometrika*. Vol. 21. P. 287–290. DOI: 10.1007/BF02289138
 18. Forthofer, R.N., Lehnen, R.G., Forthofer, R.N., & Lehnen, R.G. (1981). Rank correlation methods. In *Public Program Analysis: A New Categorical Data Approach*. Springer, P. 146–163. DOI: 10.1007/978-1-4684-6683-6_9
 19. Haase, R.F. (2011). *Multivariate General Linear Models*. Sage
 20. 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*. Vol. 25. No. 4. P. 500–506. DOI: 10.7334/psicothema2013.23
- Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Пілярська О.О. Математико-статистичний аналіз світової практики застосування мінеральних добрив на посівах м'яти перцевої**
- Мета.** М'ята перцева є однією із найбільш важливих лікарських та ефіроолійних культур в Україні та світі, тому вивчення особливостей формування її продуктивності є важливим завданням сучасної аграрної науки. У статті представлено результати математичної аналітики ефективності застосування різних доз мінеральних добрив NPK на посівах м'яти перцевої з огляду на врожайність сирової надземної біомаси культури. **Методи.** Узагальнені результати наукових досліджень, виконаних у різних кутках світу, було оброблено методами множинної регресії для побудови моделі врожайності культури залежно від доз NPK та апроксимації результатів математичного моделювання. Додатково було виконано перевірку гетероскедастичності вхідних даних моделі, та розраховано рангові кореляції. **Результати.** У результаті статистичних розрахунків за більшістю критеріїв нормальності розподілу даних та гетероскедастичності було відкинута нульова гіпотеза щодо впливу мінеральних добрив на врожайність м'яти перцевої. Розраховані величини коефіцієнтів рангових кореляцій дозволяють стверджувати про визначальну роль фосфорних мінеральних добрив у продуктивності культури, у той час як роль калійних добрив є мінімальною та за окремими статистичними критеріями може бути описана як неістотна. Множинна регресійна модель урожайності м'яти перцевої залежно від доз внесення NPK мінеральних добрив має середню адекватність вхідному набору даних, але прогностична точність моделі є низькою. Коефіцієнти регресії множинної моделі підтверджують високу роль фосфорних добрив у формуванні продуктивності м'яти перцевої. **Висновки.** Таким чином, перспективними є подальші польові та вегетаційні дослідження щодо формування продуктивності культури за внесення саме азотно-фосфорних мінеральних добрив, у той час як застосування калійних добрив на посівах м'яти перцевої з високою вірогідністю не матиме позитивного

ефекту з огляду на продуктивність та економічні показники вирощування лікарської сировини.

Ключові слова: гетероскедастичність, математична модель, рангові кореляції, регресійний аналіз, урожайність надземної біомаси.

Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Piliarska O.O. Mathematical and statistical analysis of the world practice of mineral fertilizers application in the peppermint crops

Purpose. Peppermint is one of the most important medicinal and aromatic crops in Ukraine and in the world, therefore, it is important to study the peculiarities of its productivity formation. The article presents the results of mathematical analysis of mineral NPK fertilizers use efficiency in the crops of peppermint from the fresh biomass yielding capacity point of view. **Methods.** The generalized results of scientific research, conducted in different areas of the planet, were processed using the methods of multiple regression analysis to create the model of the crop's yield depending on the doses of NPK fertilizers, as well as to approximate the results of modeling. Heteroscedasticity of the inputs of the model was additionally evaluated, as well

as rank correlations assessment was done. **Results.** As a result of statistical computations, the most criteria attributed to data distribution normality and heteroscedasticity testify that the null hypothesis about the influence of mineral fertilizers on the yields of peppermint is denied. Rank correlation coefficients allows to state that phosphorus fertilizers are of the greatest impact on the crop's productivity, while potassium fertilizers play the minimum role, and in some cases, it could be neglected as insignificant. Multiple regression model of the yields of peppermint depending on the doses of NPK mineral fertilizers application has average fitting quality with low prognostic value. Regression coefficients within the rank correlation also support the leading role of phosphorus fertilizers in the formation of peppermint productivity. **Conclusions.** Thus, further in-field and in-pot investigations with nitrogen-phosphorus fertilizers are prospective to enhance the knowledge on peppermint productivity formation, whereas potassium fertilizers are highly likely to have almost no impact on the crop's yields and economic efficiency of its raw material production.

Key words: heteroscedasticity, mathematical model, rank correlation, regression analysis, fresh biomass yield.