

УДК 519.23:635.72

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.4>

## МОДЕЛЬ УРОЖАЙНОСТІ М'ЯТИ ПЕРЦЕВОЇ (*MENTHA PIPERITA* L.) ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН

**Вожегова Р.А.** – д.с.-г.н., професор, академік

Національної академії аграрних наук,

директор

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук

**Лиховид П.В.** – к.с.-г.н., докторант,

с.н.с. відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроєкосистем,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук

**Пілярська О.О.** – к.с.-г.н., старший дослідник,

завідувач відділу маркетингу і міжнародної діяльності,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук

М'ята перцева (*Mentha piperita* L.) є однією з найважливіших лікарських і ефіроолійних культур в Україні та світі, яка знайшла широке використання у фармацевтичній, косметичній і харчовій промисловості. Попит на якісну сировину м'яти є стабільно високим, а враховуючи високу економічну ефективність і сприятливість ґрунтово-кліматичних умов України для вирощування культури, вона стає однією з найбільш перспективних культивованих лікарських рослин. Втім, питання вирощування м'яти перцевої вивчене недостатньо. Дана робота присвячена висвітленню результатів математичного моделювання продуктивності рослин м'яти перцевої у сирій біомасі залежно від густоти стояння рослин. Базисом для розробки математичної моделі стали узагальнені дані щодо продуктивності культури, зареєстровані в результаті виконання польових дослідів в Україні та за кордоном. Розробка моделі врожайності сирової біомаси м'яти перцевої виконувалася із застосуванням методу поліноміальної регресії (поліном третього ступеня, кубічна регресійна модель). Аналіз тренду виконано із залученням лінійної моделі. Оцінку математичної моделі виконано із застосуванням рангових кореляцій і середньої абсолютної похибки прогнозу у відсотках. Математичні розрахунки та графічну апроксимацію виконували в табличному процесорі Microsoft Excel 365 та статистичному пакеті BioStat v.7. Встановлено, що максимальна продуктивність культури в більшості польових дослідів зафіксовано за густоти стояння рослин близько 20 тис./га. Подальше збільшення густоти посівів м'яти перцевої сприяло поступовому зниженню врожайності сирової біомаси. Розроблена поліноміальна модель продуктивності має середню прогностичну цінність, середня абсолютна похибка прогнозу склала 23,33%; коефіцієнт кореляції Пірсона – 0,6715. Найвища похибка моделі зафіксована під час оцінки продуктивності в парах, де врожайність була максимальною. Найкраща точність прогнозування забезпечувалася для пар середньої та низької продуктивності м'яти перцевої.

**Ключові слова:** математичне моделювання, продуктивність, регресійний аналіз, сира біомаса, статистична оцінка.

### **Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Piliarska O.O. Model of peppermint (*Mentha piperita* L.) yield depending on the plants density**

Peppermint (*Mentha piperita* L.) is one of the most important medicinal and aromatic crops in Ukraine and in the world, which is widely used in pharmaceutical, perfumery and food industries. The demand for high-quality raw material of peppermint is sustainably high, and considering high economic efficiency and favorable soil-climatic conditions of Ukraine for the crop cultivation, it becomes one of the most prospective cultivated medicinal plants. However, the question of peppermint cultivation is insufficiently studied. This work is devoted to describing the results

of the mathematical modeling of peppermint plants productivity, expressed in crude biomass, depending on the plants density. The mathematical model was developed based on the generalized data on the crop productivity, achieved in the field experiments in Ukraine and abroad. The model of peppermint crude biomass yield was developed by the means of polynomial regression (the third-grade polynomial, cubic regression model). Trend analysis was performed by the linear model. Mathematical model's evaluation was performed through computation of rank correlation coefficients and mean absolute percentage error. The calculations and graphical approximation were performed in the spreadsheet processor Microsoft Excel 365 and statistical package BioStat v.7. It was established that the highest crop productivity in most field experiments was recorded at the plants density about 20 thousand per ha. Further thickening of peppermint crops led to gradual decrease of the crude biomass yields. The developed polynomial model has average prognostic value, mean absolute percentage error is 23.33%; Pearson's correlation coefficient is 0,6715. The highest error in the model is recorded in the pairs of the highest crop yield. The best prediction accuracy was guaranteed for the pairs of moderate and low productivity of peppermint crops.

**Key words:** mathematical modeling, productivity, regression analysis, crude biomass, statistical evaluation.

**Постановка проблеми.** М'ята перцева (*Mentha piperita* L.) є однією з найбільш поширених лікарських та ефіроолійних рослин у світі. Даний вид м'яти не зустрічається у дикій природі, є виключно культивованою рослиною, яка одержана в Англії внаслідок гібридизації м'яти водної (*Mentha aquatica*) та м'яти кучерявої (*Mentha spicata* L.). Ментолова олія, яка видобувається із рослинної сировини цієї культури, знайшла широке використання у фармацевтичній, парфумерній та харчовій промисловості, тож не дивно, що на м'яту перцеву існує стабільно високий попит на міжнародному ринку сільськогосподарської продукції. Наразі головними виробниками цієї культури в світі є США та Індія [1]. Враховуючи зростаючу економічну привабливість культури, що відбувається за рахунок сучасного тренду до широкого використання фітопрепаратів у розвинених країнах світу, та сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для виробництва м'яти перцевої, Україна у перспективі може посісти чільне місце серед головних виробників лікарської сировини цієї рослини. У ХХ ст. м'ята перцева культивувалася в Чернігівській, Полтавській, Сумській та Київській областях в індивідуальних садибах та на невеликих площах у спеціалізованих господарствах [2]. Культура відрізняється відносною простотою та невибагливістю та доволі високою, порівняно з іншими лікарськими рослинами, рентабельністю та швидкістю віддачі капіталовкладень [3].

Втім, для успішного виробництва м'яти потрібні не тільки сприятливі фактори навколишнього середовища, але й відповідний генетичний матеріал, урожайний потенціал якого повною мірою можливо розкрити лише за використання відповідної біологічним вимогам рослин агротехніки [4; 5]. Проблема забезпечення генетичного розмаїття сортів культури є фактично невирішеною, оскільки наразі в Державному реєстрі міститься лише один сорт – Лебедина пісня, зареєстрований ще у 2008 році Дослідною станцією лікарських рослин Української академії аграрних наук (Полтавська область) [6]. Крім того, на даному етапі, саме агротехніка є найбільшою прогалиною не тільки вітчизняної, але й світової практики виробництва м'яти перцевої. Одним із найбільш вивчених, але недостатньо систематизованих, елементів агротехніки є оптимальна густина стояння рослин. Дана робота присвячена систематизації та математичному аналізу світового та вітчизняного наукового досвіду щодо формування оптимальної густоти стояння рослин м'яти перцевої для забезпечення максимального виходу сирої біомаси.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пошук наукових літературних джерел, які місять результати польових досліджень щодо впливу густоти стояння рослин м'яти перцевої на вихід її сирої біомаси засвідчив, що наразі існує певний

дефіцит якісних наукових публікацій із даної тематики. Так, у даний аналітичний огляд було включено лише одне наукове дослідження, виконане в Україні [7]. Географічна сітка польових дослідів включала такі країни світу як Іран [8–10; 12; 14], США [11], Індія [13], Ефіопія [15], тобто, в основному, країни з посушливим кліматичним режимом. Переважна більшість наукових робіт належить науковцям з Ірану, а країни, які є основними виробниками культури (США та Індія), дуже мало уваги приділяють науковому обґрунтуванню агротехнологічних прийомів виробництва м'яти перцевої. Майже всі наукові роботи, включені в огляд, присвячені вивченню комплексу агротехнологічних елементів, серед яких густота стояння рослин відіграла першочергове, або другорядне значення. Проблема формування оптимальної густоти посівів м'яти перцевої у відриві від інших елементів агротехніки є практично невивченою на сьогодні. Отже, математичне моделювання як універсальний підхід до роботи з даними може бути одним із варіантів наукового дослідження парної залежності продуктивності м'яти перцевої залежно від загущення посівів, і створюватиме передумови для більш успішного виконання науково-виробничих випробувань агротехніки культури. Дана робота є продовженням циклу наукових робіт щодо теоретичного моделювання продуктивності лікарських та ефіроолійних культур, які є перспективними для вирощування в Україні [16–18].

**Постановка завдання.** Метою роботи було виконання систематизації та математико-статистичного аналізу результатів польових досліджень, виконаних в Україні та за кордоном, щодо оптимальної густоти стояння рослин м'яти перцевої для забезпечення максимального виходу сирової біомаси для чіткого окреслення оптимального діапазону густоти посівів культури, які є перспективними для подальшого науково-виробничого вивчення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Після узагальнення результатів польових дослідів та формування таблиці вхідних даних, було ініційовано поліноміальний регресійний аналіз із застосуванням поліному третього ступеня (кубічний поліном) [19]. За результатами розрахунку регресійних коефіцієнтів і константи було створено рівняння продуктивності сирової біомаси м'яти перцевої залежно від густоти посівів, яке має вигляд (1):

$$Y = 34,381E - 4,6331 \times 10^{-4} \times X + 4,9051 \times 10^{-9} \times X^2 - 2,1699 \times 10^{-14} \times X^3 \quad (1)$$

де  $Y$  – урожай сирової біомаси м'яти перцевої, т/га;  $X$  – густота стояння рослин, шт./га.

Регресійна статистика моделі наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

**Регресійна статистика математичної моделі продуктивності м'яти перцевої залежно від густоти стояння рослин**

Показник	Значення
Коефіцієнт кореляції	0,6715
Коефіцієнт детермінації	0,4509
Коефіцієнт детермінації коригований	0,3593

Відповідно до класифікації регресійних моделей за величиною коефіцієнта кореляції Пірсона [20], розроблене нами рівняння забезпечує середню адекватність щодо вхідного набору даних, а за показником середньої абсолютної похибки (склала 23,33%) вона забезпечує середню точність прогнозу врожаю культури [21].

Графічну апроксимацію розробленої моделі, виконану засобами Microsoft Excel 365, наведено на рис. 1, а оцінку лінійного тренду взаємозалежності між густрою посіву м'яти перцевої та врожайністю культури наведено на рис. 2. Помітно, що максимальна продуктивність культури найчастіше фіксувалася за густоти стояння рослин близько 20 тис./га.

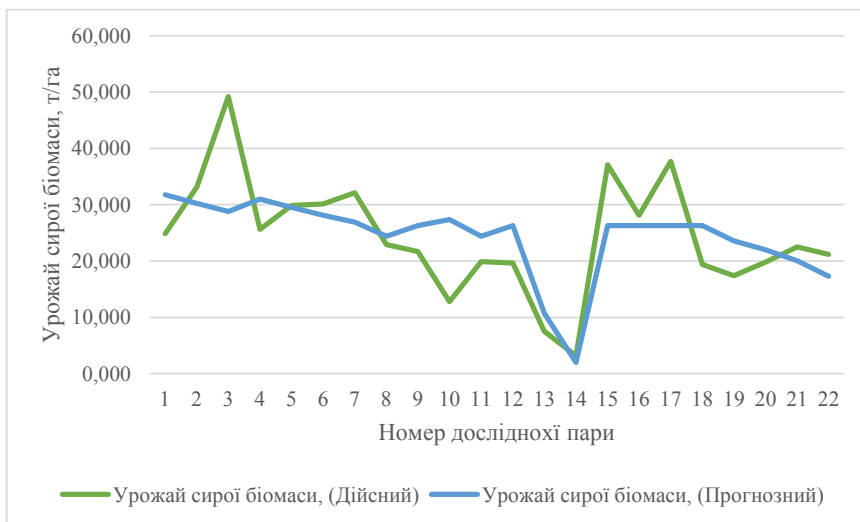


Рис. 1. Графічна апроксимація моделі продуктивності м'яти перцевої

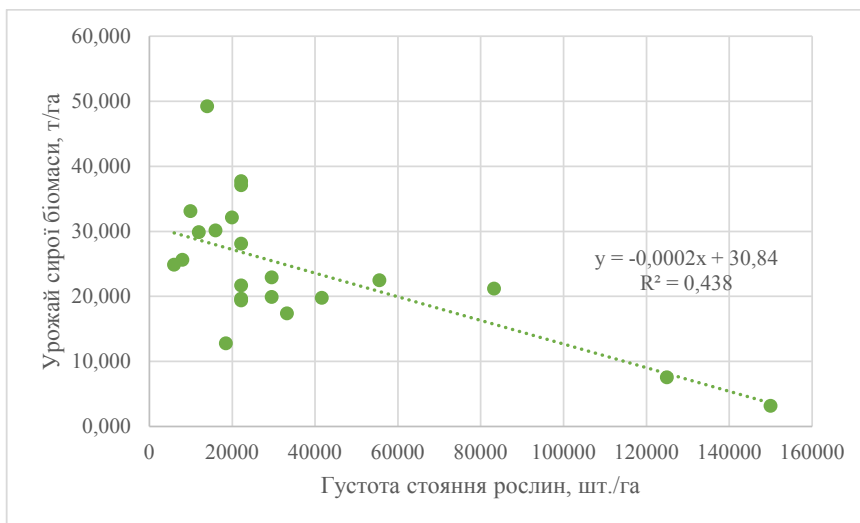


Рис. 2. Оцінка лінійного тренду взаємозалежності між густрою стояння рослин м'яти перцевої та врожаєм сирової біомаси культури

За результатами розрахунку рангових кореляцій (виконано у статистичному пакеті BioStat v.7 за стандартними алгоритмами [22]) було підтверджено середню ступінь взаємозв'язку продуктивності посівів м'яти перцевої залежно від загущення (табл. 2).

Таблиця 2

**Рангові кореляції для взаємозв'язку між густиною стояння рослин  
і врожаєм сирової біомаси м'яти перцевої**

Рангові коефіцієнти кореляції			
Спірмена (ρ)	Кендала (τ)	Гудмана та Крускала(γ)	Пірсона (r)
0,6024	0,4083	0,4233	0,6618

Таким чином, пошук оптимальної густоти стояння рослин є важливим, вельми впливовим фактором агротехнології культури. За допомогою математичного моделювання можна прогнозувати очікуваний рівень врожайності сирової біомаси м'яти перцевої, а подальші польові та теоретичні дослідження дозволять розширити модель та зробити її більш універсальною за рахунок додавання нових вхідних даних із урахуванням додаткових параметрів агротехнології та факторів навколишнього середовища.

**Висновки і пропозиції.** За результатами теоретичного математико-статистичного дослідження рівня врожайності сирової біомаси м'яти перцевої залежно від густоти стояння рослин встановлено середній ступінь взаємозв'язку між даними показниками, запропоновано математичну модель прогнозу продуктивності лікарської рослини та рекомендовано як перспективну для подальших науково-виробничих випробувань густоту посівів формувати на рівні 20 тис./га. Подальша польова перевірка дозволить не тільки уточнити математичну модель, але й встановити додаткові фактори впливу на продуктивність культури.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Arabaci O., Bayram E. The effect of nitrogen fertilization a different plant densities on some agronomic and technologic characteristic on basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agronomy*. 2004. Vol. 3. P. 255–256.
2. Товстуха Є. С. Фітотерапія. Київ: Здоров'я, 1990. С. 95.
3. Мірзоева Т. В. Щодо питання економічної ефективності виробництва лікарських рослин і лікарської рослинної сировини. *Проблеми економіки*. 2018. № 3 (37). С. 267–272.
4. Zehtab-Salmasi S., Heidari F., Alyari H. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Science Research*. 2008. Vol. 1. P. 24–26.
5. Zhelajzkov V.D., Cerven V., Cantrell L.C., Ebelhar M.W., Horgan M. Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint productivity, oil content, and oil composition. *Horticultural Science*. 2009. Vol. 44. P. 1267–1270.
6. Вожегова Р. А., Лиховид П.В., Біляєва І. М. Сучасний стан, перспективи та напрями розвитку виробництва лікарських рослин в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 118. С. 57–66.
7. Шатковський А. П., Приведенюк Н. В., Глуценко Л. А. Ефективність агротехнологічних прийомів вирощування лікарських культур на зрошенні. *Меліорація і водне господарство*. 2021. № 2. С. 166–176.
8. Raooifi M., Giti S. The effect of hand weeding and planting density on the yield, essential oil content and some morphological properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) in Hamadan. *Journal Crop and Weed*. 2015. Vol. 11. No. 2. P. 154–160.
9. Mansoori I. The effect of plant density and harvesting time on growth and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medical and Bioengineering*. 2014. Vol. 3. No. 2. P. 113–116.
10. Karimi A., Alamdari E. G., Avarseji Z., Moghaddam A. N. The effect of planting density and number of hand weeding times on weeds control and relationship between

morphological characteristics with content and yield of essential oil of *Satureja hortensis* L. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2021. Vol. 69. No. 3. P. 417–426.

11. Zheljzakov V. D., Cantrell C. L., Astatkie T., Ebelhar M. W. Peppermint productivity and oil composition as a function of nitrogen, growth stage, and harvest time. *Agronomy Journal*. 2010. Vol. 102. No. 1. P. 124–128.

12. Sadeghi Z., Khorramdel S., Nassiri Mahallati M., Parsapour F. Optimization of cow manure and plant density in peppermint (*Mentha piperita* L.) as a medicinal plant using response surface methodology. *Journal of Crop Production*. 2021. Vol. 14. No. 2. P. 33–50.

13. Verma R. K., Chauhan A., Verma R. S., Rahman L. U., Bisht A. Improving production potential and resources use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with geranium (*Pelargonium graveolens* L. Herit ex Ait) under different plant density. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 44. P. 577–582.

14. Abbaszadeh B., Sefidkon F., Layegh Haghighi M., Karegar Hajiabadi E. The effect of planting time and planting density on yield and essential oil of *Satureja sahendica* Bornm. *Journal of Medicinal plants and By-product*. 2014. Vol. 3. No. 2. P. 141–146.

15. Heidari F., Zehtab-Salmasi S., Javanshir A., Aliari H., Dadpour M. R. The effect of plant density on yield and production of essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Water and Soil Science*. 2008. Vol. 12 No. 45. P. 501–510.

16. 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.

17. 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. 2196–2201.

18. 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.

19. Ostertagová E. Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 48. P. 500–506.

20. Schmidt J. S., Osebold R. Environmental management systems as a driver for sustainability: state of implementation, benefits and barriers in German construction companies. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2017. Vol. 23. No. 1. P. 150–162.

21. 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.

22. Forthofer R. N., Lehnen R. G., Forthofer R. N., Lehnen R. G. Rank correlation methods. *Public program analysis: a new categorical data approach*. 1981. P. 146–163.