

ІВАНОВА ІРИНА

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
<https://orcid.org/0000-0003-2711-2021>
e-mail: irynaivanova2017@gmail.com

СЕРДЮК МАРИНА

Національний університет біоресурсів та
природокористування України
<https://orcid.org/0000-0002-6504-4093>

ТИМОЩУК ТЕТЯНА

Поліський національний університет
<https://orcid.org/0000-0001-8980-7334>

КРИВОНОС ІРИНА

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
<https://orcid.org/0000-0001-7079-5150>
e-mail: iryna.a.krivosos@gmail.com

ПЕНДРАК ЯРОСЛАВ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ФОНДУ ПОЛІФЕНОЛЬНИХ РЕЧОВИН В ПЛОДАХ ВИШНІ

Вишня є популярною та розповсюдженою плодовою культурою багатьох Європейських країн. Наукові зусилля дослідників сьогодні спрямовані на визначення показників якості спектру сучасних сортів вишні та їх підбір для подальшого столового та технологічного використання за найважливішими біохімічними складовими. У зв'язку з цим робота присвячена дослідженню накопичення фонду поліфенольних речовин сортів вишні. Мета досліджень полягала у побудові та аналізі математичної моделі, яка дозволить визначити ступінь впливу погодних факторів на динаміку накопичення поліфенольних речовин у плодах вишні модельних сортів. Модельними сортами були обрані плоди сорту вишні, що зареєстровані у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні – «Встреча», «Ожиданіє», «Шалунья», «Сіянець Туровцевої», «Гріот Мелітопольський», «Солідарність», «Ігрушка»; та перспективні сорти – «Мелітопольська пурпурна», «Модниця», «Експромт».

Дослідження накопичення поліфенольних речовин в плодах 10-ти модельних сортів вишні показало, що найменшою мінливістю за вмістом якісного показника характеризувався сорт «Ігрушка» зі значенням коефіцієнту варіації – 9,9%. Оптимальне середнє значення фенольних речовин (224,615 мг на 100г) мали плоди вишні сорту «Сіянець Туровцевої» (Vр – 12,8%). Проведений двофакторний дисперсійний аналіз дозволив визначити домінуючий вплив сортних особливостей (фактор В) на формування фонду поліфенольних речовин плодів вишні. Частка впливу фактору В становила – 41,3%. Проведений кореляційний аналіз показав наявність кореляційної лінійної залежності між сьома погодними факторами (X_i, i=1..7) та вмістом поліфенольних речовин $[(Y)]_1$ в плодах вишні.

Дослідження побудованої регресійної моделі визначення та ранжування погодних факторів відповідно до ступеня їх впливу на досліджуваній показник якості плодів показав, що вирішальною для накопичення фонду поліфенольних речовин стала середньомісячна сума опадів у червні – Δ_{X2}-35,23%.

Ключові слова: фенольні сполуки, помологічний сорт, терміни достигання плодів, варіабельність, фактор, погодні умови, кісточкова порода, вишня, ridge - regression.

IVANOVA IRYNA

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

SERDYUK MARINA

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

TYMOSHCHUK TETIANA

Polissia National University

KRYVONOS IRYNA

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

PENDRAK YAROSLAV

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

MATHEMATICAL MODELLING OF THE INFLUENCE OF WEATHER FACTORS ON THE FORMATION OF THE FUND OF POLYPHENOLIC SUBSTANCES IN CHERRY FRUITS

Cherry is a popular and widespread fruit crop in many European countries. The scientific efforts of researchers today are aimed at determining the quality indicators of the spectrum of modern cherry varieties and their selection for further table and technological use by the most important biochemical components. In this regard, this work is devoted to the study of the accumulation of polyphenolic substances in cherry varieties.

The aim of the research was to build and analyse a mathematical model that would allow determining the degree of weather factors influence on the dynamics of polyphenolic substances accumulation in cherry fruits of model varieties.

The model varieties were the fruits of cherry varieties registered in the State Register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine – 'Vstriecha', 'Ozhydaniie', 'Shalunia', 'Siianets Turovivoi', 'Hriot Melitopolskyi', 'Solidarnist', 'Ihrushka'; and promising varieties – 'Melitopolska purpurna', 'Modnytsia', 'Ekspromt'.

The study of the accumulation of polyphenolic substances in the fruits of 10 model cherry varieties showed that the variety 'Ihrushka' was characterised by the lowest variability in the content of the quality indicator with a value of the coefficient of variation of 9,9%. The optimum average value of phenolic substances (224,615 mg per 100 g) was found in the fruits of cherry variety 'Sianets Turovisevoi' ($V_p - 12,8\%$).

The conducted two-factor analysis of variance made it possible to determine the dominant influence of varietal characteristics (factor B) on the formation of the fund of polyphenolic substances in cherry fruits. The influence share of factor B was 41,3%. The correlation analysis showed the presence of a correlation linear relationship between the seven weather factors ($X_i, i=1..7$) and the content of polyphenolic substances $[(Y)]_1$ in cherry fruits. The study of the constructed regression model for determining and ranking weather factors according to the degree of their influence on the studied fruit quality indicator showed that the average monthly amount of precipitation in June was decisive for the accumulation of the fund of polyphenolic substances $\Delta_{X2-35,23\%$.

Key words: phenolic compounds, pomological variety, fruit ripening time, variability, factor, weather conditions, stone fruit, cherry, ridge - regression.

Постановка проблеми

Потенціал сучасного процесу формування, переробки та зберігання плодової сировини в контексті забезпечення населення нашої планети якісними фруктами мають суттєві обмеження, які значною мірою залежать від інтенсивності накопичення якісних показників плодів та абіотичних факторів що мають вплив на формування фонду поживних речовин продукції. В цій ситуації зростає роль біохімічних досліджень спрямованих на визначення амплітуди сортової різниці в межах вивчених видів плодової сировини та на визначення можливостей відбору сортів за найважливішими хімічними складовими для подальшого використання та переробки. У зв'язку з цим на увагу заслуговує вивчення біохімічного складу плодів нових вітчизняних сортів вишні та вишнево-черешневих гібридів, отриманих завдяки селекційній роботі, проведеної на МДСС імені М.Ф. Сидоренка [1]. Дослідники значну увагу приділяють вивченню фенольних сполук плодів, які впливають на їх забарвлення і такі смакові якості. Але, сорти вишні та черешні демонструють мінливість рівнів фенольних сполук у плодах [2, 3].

Абіотичні фактори вирощування, а саме клімат регіону мають вплив на формування фонду поліфенольних речовин у плодах вишні. Тому, в умовах сьогодення, коли спостерігаються глобальні зміни клімату дослідження механізмів формування смакових якостей плодів вишні оновленого спектру сортів під впливом різних погодних показників з виділенням найкращих сорто-зразків для подальшого зберігання та переробки є не до кінця дослідженим. Крім того, для отримання якісної плодової сировини і успішного управління процесами формування фенольних речовин наукових зусиль потребує визначення нових статистично-математичних підходів для виділення погодних факторів, що мають вирішальне значення на накопичення фенольних сполук в плодах вишні в процесі формування сировини. Саме тому створення математичної моделі формування фонду фенольних речовин за дії кліматичних параметрів наразі є актуальним питанням.

Аналіз досліджень та публікацій

За даними FAOSTAT у 2019 році Україна відносилась до країн-виробників плодів вишні. Так, у 2017 році з об'ємом виробництва вишні 172 тис. тон Україна посідала третє місце в світі. Науковцями на чолі з Кесеровіч З. зазначено, що в складі загального світового виробництва плодів вишні більша частина належить країнам Європи - 70 %, країнам Азії – 20 % та Північній Америці – 10% [4].

Численними дослідженнями підтримується популярність вживання плодів вишні завдяки біохімічному складу плодів та наявності в їх складі біологічно активних речовин з лікувальним та профілактичним ефектом на здоров'я людини. Так, Бландо Ф. зазначає, що споживання плодів вишні протидіє в організмі окислювальному стресу, зменшує процеси запалення, сприяє регулюванню рівня глюкози в крові та покращує когнітивні функції, має позитивний вплив на процес відновлення м'язових пошкоджень, спричинених фізичними вправами [5].

Результати клінічних досліджень Келлі С. Д. зі співавторами [6], Карен М. та Альба С.М. зі співавторами [7, 8] щодо функціонального ефекту після споживання плодів вишні та продуктів їх переробки констатували багатий вміст поліфенолів, а також наявність антиоксидантних та протизапальних властивостей плодів.

Зацікавленість дослідників багатьох країн викликають питання дослідження біохімічного складу плодів вишні у зв'язку із сортовими особливостями. Дослідження колег Китаю на чолі з Цао Дж щодо біохімічного вмісту плодів чотирьох сортів роду *Prunus* відмітили придатність плодів *Prunus cesarus* до переробки через високий вміст антоціанів [9].

Група Сербських дослідників вивчала загальний вміст фенолів, антоціанів, антиоксидантну активність та поліфенольний профіль 39 клонів сорту вишні Облачинська у Сербії. Аналіз якісного складу поліфенолів різного ступеня окислення дав змогу зробити висновок, що найбільш розповсюдженими поліфенолами були рутин та хлорогенова кислота. Вперше дослідниками було виявлено в плодах вишні деяких клонів такі сполуки, як пінобаксін, гесперетін і галангін [10].

Вченими Німеччини Графе С. та Шустер М. проведено аналіз впливу біотичних та біотичних факторів на формування фонду якісних показників плодів 78 генотипів вишні з генетичної колекції Дрезденського інституту. В дослідженнях відмічений більш істотний вплив фактору сорту на коливання вивчених ознак, ніж фактору року [11].

Кхо Г.М. та Клаузен М.Р. досліджували 34 сорти вишні. З результатів досліджень було виділено сорти «Birgitte × Böttermö» та «Fanal», які характеризувались самим високим вмістом поліфенольних сполук, показали найвищу загальну антиоксидантну здатність та максимальну активність інгібування проліферації ракових клітин [12].

Численна кількість публікацій, присвячених сортовивченню вишні та біохімічного складу її плодів вчених з різних регіонів Польщі. Сокол-Летовська А., Кухарська А. визначали вміст поліфенольних сполук у плодах 21 сорту та генотипу *Prunus cerasus* L. та встановили, що найбільший вміст поліфенольних сполук був у плодах сортів «Wieluń 17», «Sokółka Nowotomyska», «Grosenkirch», «Sokółka Nowotomyska», «Grosenkirch» (антоціани, флаваноли та загальні фенольні сполуки) і «Meteor» (фенольні кислоти) [13]. Боров А. та інші провели порівняльне вивчення біохімічного складу плодів у сортів вишні «Kelleris 16», «Nefris» та «Łutówka» в центрально-східних регіонах Польщі [14]. Оцінювали плоди вишні *Prunus cerasus* L. за вмістом поліфенолів, антиоксидантними властивостями та поживними компонентами дослідники Войдило А., Новицька П., Ласковські Р. та інші [15].

Дослідження вчених Угорщини були присвячені аналізу антиоксидантних властивостей плодів вишні на сортах типу гріотів та аморелей в залежності від забарвлення м'якоті. Авторами встановлено діапазон варіювання антоціанів 11,3 - 93,5 мг / 100 г, виділено сорт «Piracs 1», що мав максимальну антиоксидантну здатність (21,85 ммоль АА/л) [16].

Пікарелло Дж. зі співавторами вивчали біохімічний склад п'яти сортів вишні. Авторами були розроблені профілі антоціанів. Вони виявились особливими як для певного виду плодів, так і для сорту [17].

Зміни клімату також можуть мати наслідки, які вплинуть на якість плодів культур. Питанню дослідження впливу погодних параметрів на формування якісного врожаю провідних плодів культур Півдня Степової зони України приділено увагу. Завданням науковців в цих умовах є підготовка відповідну інформацію для прийняття рішень [18].

В останні роки в питанні виробництва плодів приділено увагу до методів удосконалення отримання погодних даних, вивчення впливу погодних факторів на продуктивність плодів [19]. Тому адаптація плодів культур, зокрема вишні до умов довкілля також вимагає розробки нових методик та створення моделей продуктивності цієї культури на основі погодних факторів.

Вивчення закономірностей формування окремих компонентів біохімічного складу поліфенольної природи плодів існуючого та перспективного сортименту вишні і встановлення домінуючих погодних параметрів на накопичення фенольних речовин дозволить спрогнозувати якість плодової сировини та використати отримані дані для визначення подальших пріоритетних напрямків її зберігання та переробки у безвідходному циклі використання.

Мета досліджень

Мета роботи - побудувати математичну модель та виявити ступінь впливу погодних факторів на процеси формування вмісту поліфенольних речовин у плодах вишні в умовах Південної степової підзони України.

Виклад основного матеріалу

Дослідження були проведені впродовж 2007–2019 рр. у плодів садах вишні Південної степової підзони України на базі лабораторії технології первинної переробки і зберігання продуктів рослинництва НДІ Агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь (Україна).

Для дослідження були обрані плоди зареєстрованих сортів вишні – «Встреча», «Ожиданіє», «Шалуња», «Сіянець Туровцевої», «Гріот Мелітопольський», «Солідарність», «Ігрушка»; та перспективних – «Мелітопольська пурпура», «Модниця», «Експромт».

Вміст поліфенолів визначали за реактивом Фоліна-Деніса. Метод охоплює проведення реакції комплексотворення поліфенолів з реактивом Фоліна-Деніса і утворення забарвлених речовин з наступним визначенням оптичної густини. За стандарт для перерахунку вмісту поліфенолів у плодах черешні використовували рутин [20].

Модель залежності вмісту поліфенольних речовин у плодах вишні від погодних факторів формували за схемою, яка запропонована в роботах [21, 22]. Вона представлена наступними етапами:

1. Визначення масової частки поліфенольних речовин;
2. Аналіз метеорологічних показників за роки досліджень;
3. Проведення кореляційного аналізу та відбір метеорологічних факторів з високою кореляцією з поліфенольними речовинами у плодах;
4. Побудова регресійної моделі залежності вмісту поліфенольних речовин у плодах сортів вишні від метеорологічних показників;
5. Побудова регресійної моделі та ранжування погодних факторів відповідно до ступеня їх впливу на досліджуваний показник якості плодів.

В роботах [23, 24, 25] було запропоновано алгоритм аналізу впливу корелюючих факторів на результуючий показник на основі регресійної моделі, побудованої методом LASSO. Пропонується в даній роботі побудувати регресійну модель на основі рідж-регресії. Згідно з методом рідж-регресії для визначення параметрів моделі знаходять мінімум функції:

$$L = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda \sum_{i=1}^n \beta_i^2, \quad (1)$$

де: y_i – експериментальні значення регресанта;

\hat{y}_i – теоретичні значення регресанта, яке розраховується на основі побудованого рівняння регресії;

λ – заданий параметр;

β_i – коефіцієнти регресійної моделі.

Таким чином, дослідження пропонуємо проводити за наступним алгоритмом:

1. На основі експериментальних даних x_{ij} , ($i = 1 \dots n$ – номер погодного фактору, $j = 1 \dots m$ – номер року дослідження), будемо рідж-регресійну модель у вигляді:

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot X_j, \quad (2)$$

де X_j – фактори ;

a_j – параметри моделі;

\hat{Y} – показник вмісту поліфенольних речовин.

2. Розраховуємо значення коефіцієнтів відповідної регресійної моделі в нормалізованих факторах за формулою

$$\tilde{a}_i = a_i \frac{\bar{s}_{X_i}}{\bar{s}_Y}, \quad (3)$$

де: a_i – розраховані коефіцієнти регресійної моделі (2);

\bar{s}_{X_i} – середнє квадратичне відхилення факторів X_i ;

\bar{s}_Y – середнє квадратичне відхилення досліджуваного показника Y .

3. Проводимо аналіз побудованої регресії (2) для визначення ступеня впливу кожного з кліматичних факторів на досліджуваний показник. Для визначення частки впливу погодних чинників у сумарному впливі всіх факторів розраховуємо коефіцієнт Δ_j за формулою:

$$\Delta_i = \left| \frac{\tilde{a}_i \cdot r_{YX_i}}{R^2} \right|, \quad (4)$$

де \tilde{a}_i - параметри регресійної моделі в нормалізованих факторах \tilde{X}_i ;

r_{YX_i} - коефіцієнти кореляції;

R^2 – коефіцієнт детермінації .

За результатами тринадцятирічних досліджень визначено, що середній вміст поліфенольних речовин у плодах вишні вирощених в умовах Південної степової підзони України становив 199,137 мг на 100 грам (Рис 1). Сортом, який за результатами тринадцятирічних досліджень мав найбільшу середню масову частку поліфенольних речовин був сорт «Мелітопольська пурпурна», а найменшу – «Експромт».

Наведені результати досліджень свідчать про середню варіативність вмісту поліфенольних речовин за роками досліджень майже для всіх сортів вишні. Винятком був сорт «Ігрушка» – $V_p=9,9\%$.

Максимальний вплив абіотичних чинників на вміст поліфенольних речовин у плодах із середньою варіативністю показника було відмічено для сортів «Ожиданіє» та «Мелітопольська пурпурна» з коефіцієнтами варіації 17,9 та 18,8%, відповідно. Найбільш стійким за вмістом Р-вітаміноактивних речовин виявився сорт «Ігрушка» зі значенням коефіцієнту варіації – 9,9%. Оптимальним середнім вмістом поліфенольних речовин на рівні 224,615% характеризувалися плоди сорту «Сіянець Туровцевої» ($V_p = 12,8\%$).

Домінуючий вплив сортових особливостей (фактор В) на формування фонду поліфенольних речовин плодів вишні підтверджено результатами двофакторного дисперсійного аналізу (табл. 1). Частка впливу фактору В становила - 41,3% на фоні частки впливу фактору А - 32,2%.

Таблиця 1.

Результати двох факторного дисперсійного аналізу при формуванні фонду поліфенольних речовин в плодах вишні

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступінь свободи	Дисперсія	F _{факт}	F _{таб.095}	Вплив, %
Рік (фактор А)	161933,2	12	13494,4	11312,9	1,8	32,2
Сорт (фактор В)	207608,3	9	23067,5	19338,4	1,9	41,3
Взаємодія АВ	132466,0	108	1226,5	1028,2	1,3	26,3

Регресійна модель залежності показника Y_1 - вміст поліфенольних речовин від погодних факторів має вид:

$$\hat{Y}_1 = 01120X_1 + 0.2194X_2 + 0.0263X_3 + 0.0166X_4 - 0.1075X_5 + 0.1628X_6 + 0.0202X_7$$

де \hat{Y}_1 – прогнозне значення показника вміст поліфенольних речовин,

X_1 - середньомісячна сума опадів в травні,

X_2 - середньомісячна сума опадів в червні,

X_3 - кількість днів з опадами більше 1 мм в травні,

X_4 - кількість днів з опадами більше 1 мм в червні,

X_5 - тривалість без морозного періоду впродовж року,

X_6 - сума опадів в період від цвітіння до досягання плодів,

X_7 - загальна кількість днів з опадами в червні.

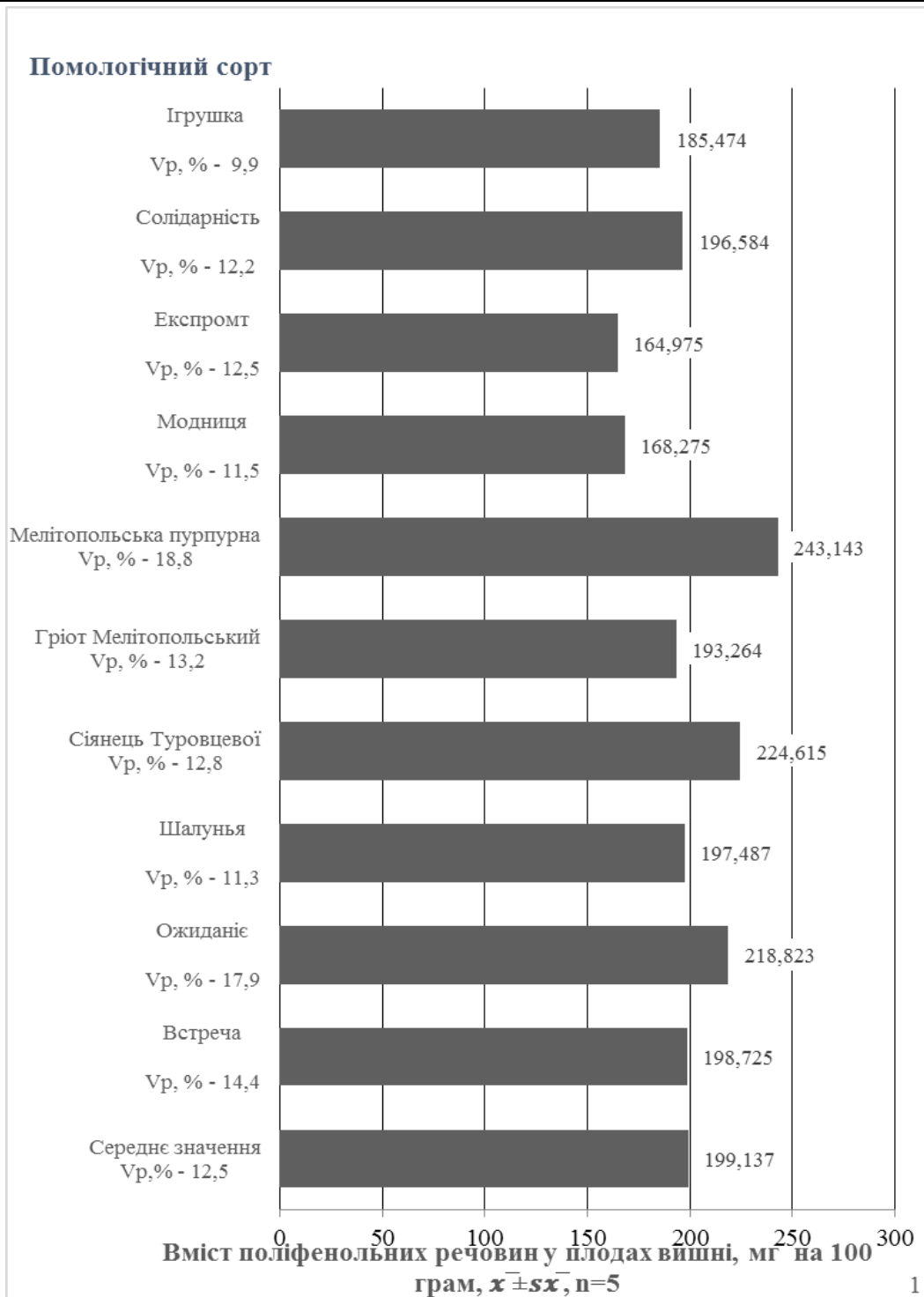


Рис 1. Діаграма вмісту поліфенольних речовин у плодах вишні, мг на 100 грам (2007 – 2019 рр.), $\bar{x} \pm s\bar{x}$, $n=5$

Коефіцієнт детермінації, розрахований на основі побудованої моделі $R^2 = 0.7928$, що говорить про суттєвий вплив факторів на показник вмісту поліфенольних речовин у порівнянні з випадковими похибками.

На основі побудованих моделей були розраховані показники Δ_i ($i=1..7$), які характеризують ступінь впливу факторів на досліджуваний показник. Виконувано ранжування факторів, відповідно до їх ступеня важливості. В таблиці 2 наведено розраховані показники та ранги факторів.

Частка впливу Δ_i у досліджуваних сортах вишні для показника поліфенольні речовини варіювала в межах 2,15...35,23% в таблиці 2.

В залежності від значень коефіцієнтів Δ_i ($i=1..7$) в межах двох біохімічних показників погодні фактори отримали ранги впливу на накопичення фонду поліфенольних речовин у плодах вишні.

Згідно таблиці 2 максимальний вплив на накопичення досліджуваного показника для плодів вишні мав показник вологості - середньомісячна сума опадів, він отримав 1 ранг за показниками часток впливу факторів. А саме, для накопичення фонду поліфенольних речовин вирішальним місяцем став червень (X_2) - Δ_{X_2} - 35,23%.

До 2 рангу як для формування поліфенольних речовин - сума опадів в період від цвітіння до досягання плодів вишні, мм (X6). Значення частки впливу фактору Δ_{X6} для біохімічних показників становило 28,30%. Помітний вплив на накопичення досліджуваного показника в плодах вишні на рівні 3 рангу мала середньомісячна сума опадів в травні ($\Delta_{X1}=14,91\%$).

Решта погодних показників (X3, X4, X5, X7) мали менш суттєвий вплив на накопичення поліфенольних сполук.

Таблиця 2.

Коефіцієнти парної кореляції між погодними факторами (X_i) і біохімічними показниками, частки впливу погодних факторів $\Delta_i, \%$ на накопичення фонду поліфенольних речовин у плодах вишні та їх ранг.

Умовне позначення фактору, (X_i)	Фактори	Поліфенольні речовини		
		Парні коефіцієнти кореляції $r_{Y_i X_i}$	Коефіцієнти частки впливу факторів ($\Delta_i, \%$) та показатники рангу факторів	
			Ранг	$\Delta_i, \%$
X ₁	Середньомісячна сума опадів в травні, мм	0,618	3	14,91
X ₂	Середньомісячна сума опадів в червні, мм	0,746	1	35,23
X ₃	Кількість днів з опадами більше 1 мм в травні, доба	0,594	5	3,36
X ₄	Кількість днів з опадами більше 1 мм в червні, доба	0,679	7	2,15
X ₅	Тривалість безморозного періоду впродовж року, доба	-0,568	4	13,15
X ₆	Сума опадів в період від цвітіння до досягання плодів, мм	0,808	2	28,30
X ₇	Загальна кількість днів з опадами в червні, доба	0,599	6	2,59

Висновки

1. За вмістом поліфенольних речовин найменшою мінливістю характеризувався сорт «Ігрушка» зі значенням коефіцієнту варіації – 9,9 %. Плоди вишні сорту «Сіянець Туровцевої» мають оптимальний середній вміст поліфенольних речовин на рівні 224,615% при V_p – 12,8%.

2. Встановлено домінуючий вплив сортових особливостей на формування фонду поліфенольних речовин плодів вишні. Частка впливу фактору В становила - 41,3%.

3. Кореляційний аналіз впливу погодних факторів на вміст поліфенольних речовин в плодах вишні показав середню та сильну кореляційну залежність між 7 погодними факторами ($X_i, i=1..7$) та вмістом поліфенольних речовин для 10 модельних сортів вишні ($|r_{(Y_j X_i)}| \geq 0,55, i=1..7, j=1$).

4. На основі побудованих регресійних моделей виконано аналіз долі впливу кожного з 10 погодних факторів на показник вмісту поліфенольних сполук. Перший ранг та максимальний вплив на накопичення фонду поліфенольних речовин для плодів вишні мав показник вологості - середньомісячна сума опадів. Для накопичення фонду поліфенольних речовин вирішальною стала середньомісячна сума опадів у червні (X2) - $\Delta_{X2}=35,23\%$.

Література

1. Туровцева В. А. Результаты селекционной работы с вишней и дюками на Мелитопольской опытной станции садоводства имени М. Ф. Сидоренко ИС НААН / В. А. Туровцева, Н. Н. Туровцева, А. Н. Шкиндер-Бармина // Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2016. Т. 14, № 2. С. 227-238.

2. Serrano M. Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars / M. Serrano, H. M. Díaz-Mula, P.J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero, J. M. Valverde, D. Valero // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. 57(8). С. 3240-3246.
3. Шкіндер-Барміна А.М. Сорти вишні - джерела високих смакових якостей плодів / А.М. Шкіндер-Барміна // *Тези Всеукраїнської науково-практичної конф. «Актуальні питання виробництва продукції рослинництва та садівництва»*, м. Запоріжжя : ТДАТУ, 2023. – С.61-64.
4. Keserović Z. Current situation and perspectives in sour cherry production / Z. Keserović, V. Ognjanov, N. Magazin, M. Dorić // *Sour cherry breeding cost action FA1104 Sustainable production of highquality cherries for the European market Novi Sad, Serbia*. 2014. pp.1-25.
5. Blando F. Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits / F. Blando, B.D. Oomah // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. 86, pp. 517–529.
6. Kelley S.D. A Review of the health benefits of cherries / S.D. Kelley, Y. Adkins, D.K. Laugero // *Nutrients*. 2018, 10, P.368.
7. Karen M. Keane Phytochemical uptake following human consumption of Montmorency tart cherry (*L. Prunus cerasus*) and influence of phenolic acids on vascular smooth muscle cells in vitro / K.M. Keane, P.G. Bell, J.K. Lodge, C.L. Constantinou, S.E. Jenkinson, R. Bass, G. Howatson // *European Journal of Nutrition*. 2016, 55, 4. pp.1695- 1705.
8. Alba C.M.A. Tart cherries and health: Current knowledge and need for a better understanding of the fate of phytochemicals in the human gastrointestinal tract / C.M.A. Alba, M. Daya, C. Franck // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2019, 59, pp. 626–638.
9. Cao J. Physical and chemical characteristics of four types of cherries (*Prunus spp.*) grown in China / J. Cao, Q. Jiang, J. Lin, X. Li, C. Sun, K. Chen // *Food Chemistry*. 2015. V. 173 (15), pp. 855-863.
10. Alrgei H.O.S. Chemical profile of major taste- and health-related compounds of Oblačinska sour cherry / H.O.S. Alrgei, c D.C. Dabi', c M.M. Nati', V.S. Rakonjac, D. Milojkovi'c-Opseunica, Ž.L. Teši'c, M.M. Fotiri'c 'Akši'c // *J. Sci. Food Agric*. 2016, 96. pp. 1241–1251.
11. Grafe C. Physicochemical characterization of fruit quality traits in a German sour cherry collection / C. Grafe; M. Schuster // *Scientia Horticulturae*. 2014. 180. pp. 24–31.
12. Khoo G.M. Bioactivity and total phenolic content of 34 sour cherry cultivars / G.M. Khoo, M.R. Clausen, B.H. Pedersen, E. Larsen // *J. Food Compos. Anal*. 2011, 24. pp. 772–776.
13. Sokół-Łętowska A. Chemical Composition of 21 Cultivars of Sour Cherry (*Prunus cerasus*) / A. Sokół-Łętowska, A.Z. Kucharska, G. Hodun, M. Gołba // *Fruit Cultivated in Poland. Molecules* 25. 2020, no. 19, p.4587.
14. Borowy A. Comparison of three sour cherry cultivars grown in central-eastern Poland / A. Borowy, E. Chrzanowska, M. Kapłan // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018. 17(1). pp. 63-73.
15. Wojdyło A. Evaluation of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) fruits for their polyphenol content, antioxidant properties, and nutritional components / A. Wojdyło, P. Nowicka, P. Laskowski, J. Oszmiański // *J. Agric. Food Chem*. 2014. 62. pp. 12332–12345.
16. Papp N. Main quality attributes and antioxidants in Hungarian sour cherries: Identification of genotypes with enhanced functional properties / N. Papp, B. Szilvássy, L. Abrankó, T. Szabó, P. Pfeiffer, Z. Szabó, J. Nyéki, S. Ercisli, É. Stefanovits-Bányai, A. Hegedűs // *Int. J. Food Sci. Technol*. 2010. 45. pp. 395–402.
17. Picariello G. Species- and cultivar-dependent traits of *Prunus avium* and *Prunus cerasus* polyphenols / G. Picariello, V. De Vito, P. Ferranti, M. Paolucci, M.G. Volpe // *J. Food Compos. Anal*. 2016. 45. pp. 50–57.
18. Semenov V.A. Climate changing and field experimental practice / V.A. Semenov, V.B. Minin, M.P. Jakushev // *Aspects of Applied Biology*. 2000. 61. pp. 113-120.
19. Іванова І.Є. Урожайність вишні залежно від кліматичних умов років вирощування / І.Є. Іванова, М.Є. Сердюк, В.М. Малкіна, А.М. Шкіндер-Барміна, І.А. Кривонос // *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 2019. № 4, С. 29-50.
20. Ivanova I. Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage / I. Ivanova, I. Kryvonos, L. Shleina, G. Taranenko, T. Gerasko // In: Nadykto V. (eds) *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 2019. pp. 707–717.
21. Ivanova I. The forecasting of polyphenolic substances in sweet cherry fruits under the impact of weather factors / I. Ivanova, M. Serdyuk, V. Malkina, T. Tymoshchuk, A. Kotelnyska, V. Moisiienko // *Journal of Agricultural Science*. 2021. 2. 32. pp. 239–250.
22. Ivanova I. Investigation into sugars accumulation in sweet cherry fruits under abiotic factors effects / I. Ivanova, M. Serdyuk, V. Malkina, O. Priss, T. Herasko, T. Tymoshchuk // *Agronomy Research*. 2021. 19(2). pp. 444–457.
23. Gujarati D.N. *Basic econometrics* / D.N. Gujarati // Fourth edition. New York: McGraw-Hill. 2004. pp. 960 – 976.
24. Іванова І. Є. Вплив абіотичних чинників на формування смакових якостей плодів вишні / І.Є. Іванова, М. Є. Сердюк, Г. М. Шкіндер-Барміна, І. А. Кривонос // *Збірник наук. пр. УНУС*. 2020. Вип. 96. Ч.1. С. 416-432.
25. Малкіна В.М. Регресійний аналіз залежності урожайності вишні від гідротермічних факторів в умовах мультиколінеарності / В.М. Малкіна, І.Є. Іванова, М.Є. Сердюк, І.А. Кривонос, Е.С. Білоус // *Наукові горизонти*, 2019. 11(84). С. 51–60.

References

1. Turovtseva V.A. Rezultaty selektsionnoi raboty s vyshnei y diukamy na Melytopolskoi opytnoi stantsii sadovodstva ymeny M. F. Sydorenko YS NAAN / V. A. Turovtseva, N. N. Turovtseva, A. N. Shkynder-Barmyna // *Visnyk Ukrainkoho tovarystva henetykiv i selektsioneriv*. 2016. T. 14, № 2. C. 227-238.
2. Serrano M. Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars / M. Serrano, H. M. Diaz-Mula, P.J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero, J. M. Valverde, D. Valero // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. 57(8). C. 3240-3246.
3. Shkinder-Barmyna A.M. Sorty vyshni - dzherela vysokokh smakovykh yakosteï plodiv / A.M. Shkinder-Barmyna // *Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konf. «Aktualni pytannia vyrobnytstva produktsii roslinnytstva ta sadivnytstva»*, m. Zaporizhzhia : TDATU, 2023. – S.61-64.
4. Keserović Z. Current situation and perspectives in sour cherry production/ Z. Keserović, V. Ognjanov, N. Magazin, M. Dorić // *Sour cherry breeding cost action FA1104 Sustainable production of highquality cherries for the European market Novi Sad, Serbia*. 2014. pp.1-25.
5. Blando F. Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits / F. Blando, B.D. Oomah // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. 86, pp. 517–529.
6. Kelley S.D. A Review of the health benefits of cherries / S.D. Kelley, Y. Adkins, D.K. Laugero // *Nutrients*. 2018, 10, P.368.
7. Karen M. Keane Phytochemical uptake following human consumption of Montmorency tart cherry (*L. Prunus cerasus*) and influence of phenolic acids on vascular smooth muscle cells in vitro / K.M. Keane, P.G. Bell, J.K. Lodge, C.L. Constantinou, S.E. Jenkinson, R. Bass, G. Howatson // *European Journal of Nutrition*. 2016, 55, 4. 1695- 1705.
8. Alba C.M.A. Tart cherries and health: Current knowledge and need for a better understanding of the fate of phytochemicals in the human gastrointestinal tract / C.M.A. Alba, M. Daya, C. Franck // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2019, 59, pp. 626–638.
9. Cao J. Physical and chemical characteristics of four types of cherries (*Prunus* spp.) grown in China / J. Cao, Q. Jiang, J. Lin, X. Li, C. Sun, K. Chen // *Food Chemistry*. 2015. V. 173 (15), pp. 855-863.
10. Alrgei H.O.S. Chemical profile of major taste- and health-related compounds of Obla'cinska sour cherry / H.O.S. Alrgei, c D.C. Dabi', c M.M. Nati', V.S. Rakonjac, D. Milojkovi'c-Opsenica, Ž.L. Teši'c, M.M. Fotiri'c Akši'c // *J. Sci. Food Agric*. 2016, 96, pp. 1241–1251.
11. Grafe C. Physicochemical characterization of fruit quality traits in a German sour cherry collection / C. Grafe; M. Schuster // *Scientia Horticulturae*. 2014. 180, pp. 24–31.
12. Khoo G.M. Bioactivity and total phenolic content of 34 sour cherry cultivars / G.M. Khoo, M.R. Clausen, B.H. Pedersen, E. Larsen // *J. Food Compos. Anal*. 2011, 24, pp. 772–776.
13. Sokół-Łętowska A. Chemical Composition of 21 Cultivars of Sour Cherry (*Prunus cerasus*) / A. Sokół-Łętowska, A.Z. Kucharska, G. Hodun, M. Gołba // *Fruit Cultivated in Poland. Molecules* 25. 2020, no. 19, p.4587.
14. Borowy A. Comparison of three sour cherry cultivars grown in central-eastern Poland / A. Borowy, E. Chrzanowska, M. Kapłan // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018. 17(1), pp. 63-73.
15. Wojdyło A. Evaluation of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) fruits for their polyphenol content, antioxidant properties, and nutritional components / A. Wojdyło, P. Nowicka, P. Laskowski, J. Oszmia'nski // *J. Agric. Food Chem*. 2014. 62, pp. 12332–12345.
16. Papp N. Main quality attributes and antioxidants in Hungarian sour cherries: Identification of genotypes with enhanced functional properties / N. Papp, B. Szilvássy, L. Abrankó, T. Szabó, P. Pfeiffer, Z. Szabó, J. Nyéki, S. Ercisli, É. Stefanovits-Bányai, A. Heged'us // *Int. J. Food Sci. Technol*. 2010. 45, pp. 395–402.
17. Picariello G. Species- and cultivar-dependent traits of *Prunus avium* and *Prunus cerasus* polyphenols / G. Picariello, V. De Vito, P. Ferranti, M. Paolucci, M.G. Volpe // *J. Food Compos. Anal*. 2016. 45, pp. 50–57.
18. Semenov V.A. Climate changing and field experimental practice / V.A. Semenov, V.B. Minin, M.P. Jakushev // *Aspects of Applied Biology*. 2000. 61, pp. 113-120.
19. Ivanova I.Ye. Urozhainist vyshni zalezno vid klimatychnykh umov rokiv vyroshchuvannia / I.Ye. Ivanova, M.Ye. Serdiuk, V.M. Malkina, A.M. Shkinder-Barmyna, I.A. Kryvonos // *Visnyk Ahranoi nauky Prychornomoria*, 2019. № 4, S. 29-50.
20. Ivanova I. Multicriteria Optimization of Quality Indicators of Sweet Cherry Fruits of Ukrainian Selection During Freezing and Storage / I. Ivanova, I. Kryvonos, L. Shleina, G. Taranenko, T. Gerasko // In: Nadykto V. (eds) *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 2019. pp. 707–717.
21. Ivanova I. The forecasting of polyphenolic substances in sweet cherry fruits under the impact of weather factors / I. Ivanova, M. Serdyuk, V. Malkina, T. Tymoshchuk, A. Kotelnyska, V. Moisiienko // *Journal of Agricultural Science*. 2021. 2. 32, pp. 239–250.
22. Ivanova I. Investigation into sugars accumulation in sweet cherry fruits under abiotic factors effects / I. Ivanova, M. Serdyuk, V. Malkina, O. Priss, T. Herasko, T. Tymoshchuk // *Agronomy Research*. 2021. 19(2), pp. 444–457.
23. Gujarati D.N. *Basic econometrics* / D.N. Gujarati // Fourth edition. New York: McGraw-Hill. 2004. pp. 960 – 976.
24. Ivanova I.Ye. Vplyv abiotychnykh chynnykiv na formuvannia smakovykh yakosteï plodiv vyshni / I.Ie. Ivanova, M.Ye. Serdiuk, H.M. Shkinder-Barmyna, I. A. Kryvonos // *Zbirnyk nauk. pr. UNUS*. 2020. Vyp. 96. Ch.1. S. 416-432.
25. Malkina V.M. Rehresiyni analiz zaleznosti urozhainosti vyshni vid hidrotermichnykh faktoriv v umovakh multykolinearnosti / V.M. Malkina, I.Ie. Ivanova, M.Ie. Serdiuk, I.A. Krivonos, E.S. Bilous // *Naukovi horizonty*, 2019. 11(84). S. 51–60.