

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**СІМЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 631.95, 631.963.3, 634.54, 635.075

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ СУЧАСНИХ СОРТІВ  
ФУНДУКУ В УМОВАХ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ**

Спеціальність - 201 Агрономія  
Галузь знань - 20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Олександр СІМЧЕНКО

Науковий керівник: Назаренко Микола Миколайович, доктор  
сільськогосподарських наук, професор

Дніпро – 2024

## АНОТАЦІЯ

*Сімченко О. О.* Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Півночі Степу України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – Агрономія. – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, 2024.

У дисертаційному дослідженні показано можливості створення продуктивних та якісних стабільних агроценозів фундуку в умовах зони нестійкого зволоження при просуванні нових культур на глобальний південь в рамках стратегії використання змін клімату у зв'язку з суттєвим пом'якшенням умов вирощування. Висвітлена проблематика високої прихованої гетерозиготності сортів традиційної селекції та показані шляхи ідентифікації відповідних форм.

Метою роботи було провести агроекологічну оцінку впровадження фундуку як культури у виробничі насадження зони нестійкого зволоження (півночі Степу України) з метою отримання стабільних високопродуктивних агроценозів з гарними фіксованими харчовими якостями за ключовими показниками вмісту цінних елементів.

Глобальні зміни клімату ведуть до появи нових можливостей щодо інтродукції у виробничі насадження нових для зон недостатнього зволоження культур. Крім господарського аспекту представляє також інтерес біологія розвитку даної рослини в якісно-новому середовищі при просуванні на глобальний південь в рамках загальної концепції інтродукції нових культур у зв'язку зі змінами клімату.

В ході роботи ідентифіковано такі нові та раніше не відзначені ефекти біології розвитку рослин фундуку як суттєве прискорення за формуванням цілком придатних горіхів (вже на перший рік вирощування) та формування до 5-6 суцвіть на кожну плодоносну гілку вже на другий рік вирощування. Встановлено, що наявність суттєвих відмінностей кількісних параметрів по

режиму освітлення, температурно-вологісного режиму призводить до якісних змін в онтогенезі, перш за все при переході в розвитку до формування репродуктивних частин рослини. В ситуації зі Степом це призводить до прискорення та інтенсифікації розвитку згідно з нашими спостереженнями.

Суттєво впливають на формування врожайності у дослідженої культури наступні ознаки об'єм крони, площа поверхні листя (морфометрія кущів фундуку); товщина шкарлупи, середня маса одного горіха, маса сухих горіхів (100 шт.) (ознаки морфометрії горіху); урожайність з дерева, вихід з ядра.

Встановлено, що формування вищої врожайності може відбуватися як через покращення лінійно-вагових характеристик окремих горіхів (сорт Галле) так і за рахунок виходу більшої кількості горіхів (сорт Косфорд). Останнє може компенсувати та навіть призвести до покращення в порівнянні з іншими за механізмом сортами (сорт Барселонський), тому є доцільним застосування в насадженнях комплексу сортів з обома механізмами формування врожайності.

За врожайними якостями переважно відзначився сорт Галле, котрий формує врожайність за рахунок вищих лінійних та вагових параметрів окремих горіхів, можливо використання у комплексі з сортом Косфорд, котрий формує врожайність завдяки більш високій кількості горіхів на кущ, що дозволяє знівелювати негативні тенденції на рівні формування врожаю підсумково, а за рахунок агроекологічної варіативності суттєво підвищити сталість сформованого агроценозу виробничих насаджень фундуку.

Ураховуючи показники мінливості окремих ознак за усіма трьома групами (морфометрія куща, горіха та безпосередньо врожайні якості) сорт Барселонський демонструє суттєвий поліморфізм та має неоднорідний біотиповий склад та менш придатний до використання у виробничих насадженнях, менш виражена, але достатньо вагома відповідна тенденція й у сорту Каталонський. Загалом більша мінливість за сортом Барселонський характерна для першої та третьої групи, за іншими сортами по градації мінливість знижується з першої (найвища) до третьої (нижча) групи.

Активність рослин фундука у використанні сонячної радіації навіть за умов високого рівня цього фактору вагомо впливає на формування продуктивності та залежить від генотипових потенцій кожного сорту. Сорти демонструють переважно дуже низький поліморфізм за даними ознаками. Згідно з проведеним аналізом вагомо на врожайність фундука впливали такі досліджені параметри як загальна фотосинтетична активність листового апарату та ефективність його ж у використанні світлового потоку у центральній частині крони. Дані ознаки були лише слабоваріативні.

Вищу активність та, таким чином, вищу потенційну продуктивність в умовах дослідження продемонстрували сорти Галле та Косфорд з незначними відмінностями між собою. Сорти Барселонський та Каталонський статистично значимо поступалися за всіма параметрами. Доведена можливість використання вимірів фотосинтетичної активності за SPAD як моніторингового методу для первинної ідентифікації потенційно більш продуктивних форм серед сортів фундука.

Усі досліджені ознаки вмісту макро- та мікроелементів відносяться до низьковаріативних, крім вмісту фосфору. Причому переважно на мінливість за цими ознаками впливають генетичні потенції сорту, за виключенням цинку та міді. Генотип-середовищна взаємодія не була значимою, фактор рік був значим, але суттєво поступався за вагомістю у впливі.

Усі представлені сорти є константними стабільними формами за дослідженими ознаками вмісту за виключенням сорту Косфорд по вмісту фосфору та є гарним вихідним матеріалом, довели можливість отримання горіхів з високою фіксованою харчовою якістю з огляду на потреби людського організму у розрахунку на споживання 100 г на добу у раціоні.

Сорти відзначалися доволі високою генетично-обумовленою стабільністю у прояві ознак вмісту основних елементів, що свідчить про їх перспективність у використанні для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектру природніх умов.

Більш перспективним для генетичного поліпшення в рамках проведеного дослідження мінливості сортів є ознаки вмісту молібдену та кобальту, потім вмісту фосфору, калію та магнію, марганцю, цинку та міді, але все ще з високою вірогідністю. Менш доцільним є робота з поліпшення вмісту кальцію для представлених сортів фундуку. Проведення досліджень з поліпшення вмісту сірки як ознаки середньоперспективне. За вмістом цінних макро- та мікроелементів відзначився сорт Косфорд (вміст кальцію, сірки, магнію, калію, молібдену, кобальту, марганцю).

Досліджені ознаки вмісту біологічно-активних речовин переважно варіюють слабо, крім вмісту харчових волокон, для котрих може бути характерною посередня варіація. В більшості випадків на мінливість за даними ознаками впливають генетичні потенції сорту, доволі часто вагомими є генотип-середовищна взаємодія, фактор рік переважно не був значим та суттєво поступався за вагомістю у впливі.

Усі представлені сорти є константними стабільними формами за дослідженими ознаками вмісту та є гарним вихідним матеріалом за ознаками вмісту макро- та мікроелементів та довели можливість отримання горіхів з високою фіксованою харчовою якістю з огляду на потреби людського організму у розрахунку на споживання 100 г на добу у раціоні.

Сорти відзначалися доволі високою генетично обумовленою стабільністю у прояві ознак вмісту корисних речовин, що свідчить про їх перспективність у використанні для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектру природніх умов.

Більш перспективним для генетичного поліпшення в рамках проведеного дослідження мінливості сортів є ознаки вмісту насичених жирних кислот та харчових волокон, вмісту вітамінів А, Е та С. Безперспективним в дослідженому наборі сортів є генетичне поліпшення за ознакою вміст вітаміну РР, котрий фактично не варіював.

Більш цінним за дослідженими показниками вмісту біологічно-активних речовин є сорт Галле, за загальним же вмістом цінних речовин за усіма

біохімічними аналізами на обох етапах дослідження у комплексі відзначилися сорти Косфорд та Галле, котрі рекомендуються для отримання продукції високої фіксованої якості при вирощуванні у комплексі.

Для впровадження використання як вихідного матеріалу, так і для прямого формування перспективних продуктивних та стабільних агроценозів фундуку високої фіксованої харчової якості рекомендовано використовувати сорти Галле та Косфорд у комплексі. При створенні виробничих насаджень фундуку в зоні Степу України варто звертати увагу на суттєве прискорення переходу до репродуктивних фаз у розвитку онтогенезу, що може бути суттєвим недоліком для впровадження ранньостиглих форм. Для сортів Каталонський та Барселонський варто провести заходи з внутрішньосортового добору за окремими біотипами згідно виявленого дуже високого ступеню генетично-обумовленого поліморфізму за господарсько-цінними ознаками.

**Ключові слова:** горіхоплідні, садівництво, фундук, врожайність, якість горіхів, сорт, інтродукція, зона нестійкого зволоження.

## ABSTRACT

*Simchenko O.O.* Agroecological aspects of the cultivation of modern hazelnut varieties under the conditions of North Steppe of Ukraine. – Qualification science work on manuscript rules.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy by specialty 210 – Agronomy. – Dnipro State Agrarian and Economic university, Dnipro, 2024.

The dissertation research shows the options of creating productive and high-quality sustainable agrocenoses of hazelnuts under conditions of an unstable wetness area when spreading new crops further in the Global South as part of a strategy for using climate change due to a significant mitigation of growing conditions. The range of problems of high latent heterozygosity of conventional breeding varieties is covered and the methods to identify the corresponding forms are explained.

The purpose of the research is an agroecological evaluation of the introduction of hazelnuts as a crop in the industrial plantations of the unstable wetness area (the north of the Steppe of Ukraine) in order to obtain sustainable highly productive agrocenoses with good fixed food qualities related to key characteristics of the content of valuable elements.

Global climate change provides new opportunities for the introduction of new crops into industrial plantations in the areas of insufficient wetness. In addition to the economic aspect, the biology of this plant development in a qualitatively new environment is also of interest when growing the variety further in the Global South within the framework of the general concept of new crops introduction due to the climate change.

During the research, new and previously unnoticed effects of hazelnut plant development biology were discovered, such as a significant acceleration of the formation of quite viable plants (already in the first year of cultivation) and the formation of up to 5-6 inflorescences per each fruiting branch in the second year of cultivation. It has been established that the significant differences in quantitative parameters of the lighting regime, temperature and humidity regime promote qualitative changes in ontogenesis, primarily during the transition to the formation of

the reproductive parts of the plant. In terms of the Steppe, this leads to acceleration and intensification of development, according to our observations.

Crown volume, leaf surface area (morphometry of hazelnut bushes); nutshell thickness, average weight of one nut, weight of dry nuts (100 pcs.) (nut morphometric parameters); yield per tree, and kernel yield are the parameters that significantly affect the yielding capacity development in the studied crop.

It has been established that the higher yields can be formed both due to the improvement of the linear-weight characteristics of individual nuts (variety Galle) and due to the greater number of nuts grown (variety Kosford). The latter can compensate and even lead to improvements as compared to other varieties differing by the mechanism (variety Barselonskiy), so it is advisable to use in plantations a wide range of varieties with both mechanisms of yield formation.

In terms of the yielding qualities, the variety Galle can be distinguished, which forms the yield due to the higher linear and weight parameters of individual nuts. It is possible to use the variety in combination with the variety Kosford, which forms the yield due to a higher number of nuts per bush, which allows levelling the negative trends of crop formation in total and ensures a significant increase in the sustainability of the developed agrocenosis of hazelnut industrial plantations due to agroecological variation.

Taking into account the indicators of the variability of individual characteristics in all three groups (morphometry of the bush, nut, and the yielding characteristics), the variety Barselonskiy demonstrates major polymorphism and has a heterogeneous biotypic composition and is less suitable for use in industrial plantations, which is also a less pronounced, but a quite notable trend in the variety Katalonskiy. In general, a greater variability for the variety Barselonskiy is characteristic of the first and third groups, in other varieties, according to the gradation, the variability decreases from the first (highest) to the third (lowest) group.

The intensity of the use of solar radiation by hazelnut plants, even under conditions when the values of this contributor are high, produces a significant effect on the formation of yielding capacity and depends on the genotypic potentials of each



variety. The varieties show predominantly very low polymorphism by these characteristics. According to the analysis, the yield of hazelnuts is significantly affected by such studied parameters as the total photosynthetic activity of the leaf apparatus and its efficiency in using the luminous flux in the central part of the crown. These characteristics appeared to be only slightly variable.

The varieties Galle and Kosford showed higher activity and thus higher yielding potential in the context of the study, with minor differences between them. The varieties Barselonskiy and Katalonskiy appeared to be statistically significantly inferior in all parameters. The possibility of using photosynthetic activity measurements using SPAD as a monitoring method for the primary identification of potentially more productive hazelnut varieties has been confirmed.

All the studied traces of the content of macro- and microelements are low-variable except for the phosphorus content. Moreover, the variability in terms of these characteristics is mainly influenced by the genetic potencies of the variety, with the exception of zinc and copper. The genotype and environment interaction was not significant, the year parameter was significant for the effect, but inferior in terms of importance.

All the varieties mentioned above are constant stable forms according to the studied content, except for the variety Kosford in terms of phosphorus content, and are a good starting material. The possibility of obtaining nut yields with high fixed food quality was confirmed, taking into account the needs of the human body in terms of consumption of 100 g per day.

The varieties were characterized by a fairly high genetic stability of traces of the main elements' content, which indicates the prospects for their use in producing the high quality products under a wide range of natural environment.

Traces of molybdenum and cobalt, followed by phosphorus, potassium and magnesium, manganese, zinc and copper appeared to be more promising for genetic improvement in the study of variation, and with great probability. It is less advisable to work on adjusting the calcium content for the hazelnut varieties mentioned above. Conducting studies to adjust the sulphur content as a characteristic is a mid-term

prospective. The variety Kosford is distinguished by the content of valuable macro- and microelements (content of calcium, sulphur, magnesium, potassium, molybdenum, cobalt, and manganese).

The studied traces of biologically active substances mainly vary slightly, except for the content of dietary fibre, which may be characterized by a mediocre variation. In most cases, the variability in these characteristics is influenced by the genetic potencies of the variety, the genotype and environmental interaction is quite often significant, the year parameter is mostly not significant and is slightly important for the effect.

All the varieties mentioned above are constant stable forms according to the studied content, and are a good starting material due to the traces of macro- and microelements. The possibility of obtaining nut yields with high fixed food quality was confirmed, taking into account the needs of the human body in terms of consumption of 100 g per day.

The varieties were characterized by a fairly high genetic stability of traces of nutrients, which indicates the prospects for their use in producing the high quality products under a wide range of natural environment.

Traces of saturated fatty acids and dietary fibres, the content of vitamins A, E and C appeared to be more promising for genetic improvement in the study of variation. The genetic improvement in the content of vitamin PP, which did not actually vary, is futile in the studied set of varieties.

The Galle variety is more valuable in terms of the studied traces of biologically active substances, while the varieties Kosford and Galle are distinguished by the total content of nutrients according to all biochemical tests at both stages of the study, and are recommended for producing high fixed quality products when grown as a set.

The varieties Galle and Kosford are recommended to use in combination in order to ensure the application of starting material and the development of promising productive and sustainable agrocenoses of hazelnuts of high fixed food quality. When creating industrial plantations of hazelnuts in the Steppe of Ukraine, it is worth

focusing on the significant acceleration of the transition to the reproductive phases in the development of ontogenesis, which can be a significant drawback for the introduction of early-ripening forms. For the varieties Katalonskiy and Barselonskiy , it is recommended to implement the measures for intra-varietal selection by individual biotypes according to the identified very high degree of genetically determined polymorphism in terms of economically valuable features.

**Keywords:** nuts, horticulture, hazelnut, yield, quality of nuts, variety, introduction, zone of unstable moisture.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті в наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:

1. Nazarenko M., **Simchenko O.** Diversity of hazelnut varieties and changes in plant development during introduction in the semi-arid zone. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31, № 3. P. 313–318. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті).*

### Статті в наукових фахових виданнях України:

2. **Сімченко О.О.**, Назаренко М.М. Сорти фундуку як джерело отримання цінних харчових елементів в умовах півночі степу України. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 197–201. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*

3. **Сімченко О.О.**, Назаренко М.М. Формування продуктивності у фундука в залежності від активності фотосинтезу. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 53–58. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*

### Розділи колективних монографій:

4. **Сімченко О.О.**, Назаренко М.М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Півночі Степу України. *Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження* : кол. моногр. ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : ПП «Астрая», 2021. С. 150–160. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання)*

### Тези наукових доповідей:

5. **Сімченко О.О.**, Назаренко М.М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Північного Степу України. *Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності* : матеріали I Міжнар. науково-практ. конф. (Полтава, 5 трав. 2021). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. С. 78–80. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання)*

написання статті).

6. **Simchenko O.**, Nazarenko M., Izhboldin O. Productivity of hazelnut varieties under steppe climatic conditions. *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи* : матеріали Міжнародної науково-практ. конф., присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантелєєва та М. М. Родігіна (м. Харків, 20–21 жовт. 2022 р.). Харків, 2022. С. 234–235. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті).

7. Nazarenko M., **Simchenko O.** Activity of photosynthesis as factor for hazelnuts productivity. *Матеріали VI Міжнародної науково-практ. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур»* (м. Дніпро, 16–17 листоп. 2022 р.). Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 3–4. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті).

8. **Simchenko O.**, Nazarenko M. Hazelnut varieties as a source of microelements under the conditions of the northern steppe of ukraine. *Selection of agrocrops in the conditions of climate change: directions and priorities: Collection of materials II International Scientific and Practical Conference*. Odessa: Oldi+, 2023. P. 157–158. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті).

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	17
<b>РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ CORYLUS L. ЯК КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН У СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ ТА СВІТУ .....</b>	<b>24</b>
1.1. Використання фундука в агропромисловому виробництві. Історичний аспект та сучасний стан .....	24
1.2. Значення та особливості вирощування фундука у виробничих насадженнях .....	31
1.3. Генетичне поліпшення культури для підвищення врожайності, якості продукції та нових можливостей у використанні .....	39
<b>РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ПОЛЬОВИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>47</b>
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення польових дослідів .....	47
2.2. Характеристики сортів, що є об'єктами дослідження.....	54
2.3. Методики проведення польових та лабораторних дослідів .....	59
2.4. Методи математико-статистичного аналізу .....	64
<b>РОЗДІЛ 3. ОНТОГЕНЕЗ СОРТІВ ФУНДУКА У ЗОНІ НЕСТІЙКОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ТА ЗВ'ЯЗОК ЙОГО З ПРОДУКТИВНІСТЮ. ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА АГРО-ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ У ЗОНІ НЕСТІЙ-КОГО ЗВОЛОЖЕННЯ .....</b>	<b>67</b>
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ АКТИВНОСТІ СВІТЛА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ФУНДУКА В ЗОНІ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ .....</b>	<b>95</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ ІНТРОДУКОВАНИХ СОРТІВ ФУНДУКУ ЯК ДЖЕРЕЛА ОТРИМАННЯ ЦІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УМОВАХ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПІВ МІНЛИВОСТІ .....</b>	<b>113</b>

5.1. Аналіз вмісту та мінливість органогенних елементів у досліджуваних сортах фундука .....	113
5.2. Аналіз вмісту та мінливості мікроелементів у досліджуваних сортах фундука. Генотипова та середовищна варіанси .....	139
<b>РОЗДІЛ 6. ІНТРОДУКОВАНІ СОРТИ ФУНДУКА ЯК ДЖЕРЕЛО БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В УМОВАХ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТИПІВ МІНЛИВОСТІ .....</b>	<b>165</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>196</b>
<b>РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....</b>	<b>198</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>199</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>220</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ДДАЕУ – Дніпровський державний аграрно-економічний університет

ДУ ІЗК НААН України – Державна Установа «Інститут зернових культур» НААН України

НЖК – насичені жирні кислоти



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Глобальні зміни клімату ведуть до появи нових можливостей щодо інтродукції у виробничі посадки нових для зон недостатнього зволоження культур. Крім господарського аспекту, становить також інтерес біологія розвитку цих культур у якісно новому середовищі. Пом'якшення умов зими, яке спостерігається останніми роками, і встановлення певного балансу в літніх посухах дозволяє створити необхідні виробничі посадки, що сприяє підвищенню виробництва фундука й вирішенню проблем з уразливістю харчового раціону населення з позиції постачання необхідними вітамінами та мікроелементами, джерелом яких є фундук.

У світі постійно зростає валове виробництво горіхів фундука. За період з 2013 по 2020 рік площі вирощування цієї горіхоплідної культури зросли фактично в 1,6 рази. За той самий період кількість населення, яка активно вживає фундук у їжу (здебільшого як продукт переробки у складі кондитерських виробів), збільшилася фактично в п'ять раз та досягла мільярда.

У прогнозах провідних міжнародних організацій до 2035 року відбудеться подвоєння площі вирощування під фундуком, а кількість людей, для яких горіхи фундука є постійною частиною раціону, зросте до двох мільярдів, причому ця тенденція буде поглиблена не менш стрімким зростанням частки населення, яка безпосередньо вживає фундук у їжу в непереробленому вигляді як джерело корисних поживних елементів, а не в складі кондитерських виробів після переробки. Ця тенденція характеризує розвиток споживання переважно для розвинених країн.

Досить часто інтродукція нових культур та використання біорізноманіття приводять також до нових спостережень та якісних змін у біології розвитку рослини. Нове екологічне середовище здатне досить істотно змінити усталені уявлення й дати нові особливості розвитку, іноді навіть позитивні.

Суттєво виросла експортна вагомість фундука (на базі потужного зростання масштабів виробництва та рівня врожайності цієї культури) для

таких розвиваючихся країн з огляду на інтенсифікацію галузі садівництва. До першої п'ятірки країн за насадженнями фундука належать США та Італія. Площа під фундуком у нашій країні становить до 1100 га зі стабільним розширенням в останню декаду. При цьому в попередню декаду спостерігалось деяке зменшення площ, але тенденцію змінила висока експортна зацікавленість. Слід наголосити, що забезпечення потреб населення України власною продукцією залишається на рівні 10-15 %. Переважно продукція імпортується (Туреччина).

Обсяги вирощування фундука за світовими даними становлять 600-700 тис. тонн через різні погодні обставини. За останнє десятиріччя (2010–2020 рр.) обсяги виробництва в умовах інтенсифікації вирощування цієї культури виростили на 40–50 % (для України на 4–5 %), а рівень цін на горіх зріс на 45 % (щодо динаміки внутрішнього ринку країни на 60–70 %). Прогнозують щорічне зростання ціни на горіхи на 10-15 %, а обсягів виробництва – на 5–10 %, і до його подвоєння у 2035 році.

Маржа між виробничими витратами на вирощування та експортною ціною становить до 40–60 % щорічно. Ринок України критично потребує не лише власної, але хоча б імпоротної продукції, що є причиною постійних криз у переробній промисловості та заміни фундука дешевшою та неякісною з позиції харчової цінності продукцією. За динамікою останніх років загальна потреба країни становила 38,8 тис. тонн підготовлених горіхів лише як продукції для переробки. За таких умов потреби населення в цьому типі продукції задовольняються на 7–8 %, що свідчить про дуже низький рівень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі селекції і насінництва Дніпровського державного аграрно-економічного університету в рамках наукових тем: «Використання індукованого біорізноманіття та формотворчого процесу» (номер державної реєстрації 0120U104321), господарчої тематики «Агроекологічна оцінка сортів фундуку в умовах Півночі Степу України» (госпдоговір № 737), грантової тематики «Introduction of new agricultural crop

(hazelnut) for zone of insufficient moisture (Steppe)» AgriSciences Platform (Czech University of Life Sciences Prague – CZU).

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* дослідження є виконання агроекологічної оцінки впровадження фундука як культури у виробничі насадження зони нестійкого зволоження (півночі Степу України) для отримання стабільних високопродуктивних агроценозів з хорошими фіксованими харчовими якостями за ключовими показниками вмісту цінних елементів.

Для досягнення цієї мети вирішували такі *завдання*:

- виявити особливості росту та розвитку рослин фундука в зоні нестійкого зволоження (півночі Степу України) та встановити можливі відмінності в перебігу онтогенезу залежно від генотип-середовищної взаємодії;
- встановити межі мінливості за ключовими біометричними показниками окремих сортів, їх вплив на формування врожайності та товарної якості;
- показати вплив абіотичних факторів у екстремумі та можливості їх використання залежно від взаємодії сорту та середовища вирощування;
- показати межі варіації за ознаками вмісту цінних мінеральних та біологічних речовин та виявити можливості окремих сортів у формуванні стабільної якості;
- встановити рівень генетично зумовленого поліморфізму за сортами залежно від господарсько-цінних ознак, ураховуючи відому приховану високу гетерозиготність традиційних сортів цієї культури;
- надати відповідні рекомендації щодо можливості створення стабільних агроценозів фундука з високою продуктивністю та якістю на базі дослідженого сортового матеріалу.

*Об'єкт дослідження* – чотири традиційні для вирощування сорти фундука: Каталонський, Барселонський, Косфорд та Галле.

*Предмет дослідження* – біометричні показники рослин фундука, параметри використання сонячної радіації, генотип-середовищна варіативність та взаємодія, поліморфізм вихідного сортового матеріалу, вміст корисних мінеральних та біологічних речовин, створення нових стабільних агроценозів за всіма показниками врожайності та якості горіхів, можливості використання мінливості та стабільності сортового матеріалу залежно від еколого-географічних районів вирощування.

*Методи дослідження* – польовий дослід, математико-статистичний аналіз, біохімічні аналізи, закладання саду, фенологічні дослідження та біометричні обстеження протягом сезону вегетації, облік врожайності, аналіз її структури, аналіз вмісту цінних речовин, оцінка суттєвої різниці середніх значень вибірок за попарного порівняння тестом Т'юкі, факторний та дискримінантний аналіз.

**Наукова новизна одержаних результатів.** За результатами наукових досліджень на різних рівнях організації агроценозів фундука (*Corylus avellana*) *вперше*:

- показано можливості використання сортів фундука у виробничих насадженнях зони нестійкого зволоження;
- описано прихований генетично зумовлений поліморфізм за основними господарсько-цінними ознаками в чотирьох сортах;
- встановлено перспективність використання окремих сортів як вихідних форм та для внутрішньосортового добору за прихованою гетерозиготністю;
- визначено особливості впливу окремих ознак на формування врожайності у фундука;
- досліджено чотири сорти фундука як джерело корисних харчових речовин;
- визначено механізми формування основних господарсько-цінних ознак у сортів фундука в реалізації за генотип-середовищної взаємодії в зоні

нестійкого зволоження;

*удосконалено:*

- методи моніторингу мінливості основних господарсько-цінних ознак для визначення їх генетично зумовленої константності;
- моделювання впливу ознак на формування продуктивності та якості;
- способи комплексної оцінки сортового матеріалу на придатність до агроекологічних умов;

*набули подальшого розвитку:*

- методики оцінки впливу абіотичних чинників залежно від активності в процесах формування врожайності;
- способи оцінки ефективності фотосинтетичної активності листового апарату культурних рослин;
- методи оцінки врожайності та якості горіхів фундука.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі здобутих у ході дослідження результатів встановлено прискорення формування врожаю у виробничих насадження фундука в зоні нестійкого зволоження (півночі Степу України). Показано можливості інтродукції нової культури в раніше несприятливу за кліматичними умовами зону (у регулярні виробничі насадження) з отриманням достатнього врожаю відповідної якості. Виконано комплексну агроекологічну оцінку чотирьох сортів фундука традиційної селекції з виявленням можливого біотипового складу для подальшого виробничого використання та як вихідного матеріалу для комплексного поліпшення. Встановлена конкретна (за окремими елементами раціону людини) цінність культури як джерела цінних мінеральних речовин та біологічних компонентів. Встановлено межі варіативності та показана мінливість основних цінних показників у культури в аспекті генотип-середовищної взаємодії. Розроблена поетапна математико-аналітична схема оцінки сортів з агроекологічної позиції та тестування матеріалу на однорідність та стабільність.

Показана можливість створення стабільних високопродуктивних та якісних агроценозів фундука в зоні нестійкого зволоження на базі використання комплексу сортів Галле та Косфорд, небажаність використання сортів Барселонський та Каталонський через нижчі врожайно-якісні параметри та високий генетично зумовлений поліморфізм за основними господарсько-цінними ознаками.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційне дослідження є самостійною роботою здобувача. Визначення генеральної послідовності вивчення, формулювання нульової гіпотези, планування етапів дослідної роботи, розробка схеми польового дослідження та обрання методів виконано автором особисто. Польові та лабораторні дослідження, математико-статистичний аналіз отриманих даних, узагальнення та інтерпретація результатів польових та лабораторних дослідів виконані самостійно здобувачем або за його безпосередньої участі спільно зі співробітниками Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ).

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження обговорювалися на: I Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності» (Полтава, 5 травня 2021 р.), Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантелєєва та М. М. Родігіна «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи» (Харків, 20–21 жовтня 2022 р.), VI Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур» (Дніпро, 16–17 листопада 2022 р.), II International Scientific and Practical Conference (Odesa, 2023).

Матеріали дисертаційного дослідження обговорювали на щорічних конференціях професорсько-викладацького складу кафедри селекції і

насінництва ДДАЕУ, агрономічного факультету ДДАЕУ, під час регулярних звітів за кожне півріччя та рік згідно з індивідуальним планом на засіданнях кафедри селекції і насінництва ДДАЕУ.

**Публікації.** Результати дисертаційного дослідження опубліковано у 8 наукових працях, зокрема 2 статті в наукових фахових виданнях України, 1 стаття в наукових періодичних виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science (Q2), 1 розділ колективної монографії, 4 тези доповідей конференцій.

**Структура дисертації.** Загальний обсяг дисертаційної роботи – 242 сторінки, зокрема основного тексту – 182. Робота ілюстрована 21 таблицею, 54 рисунками і складається зі вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел, який налічує 205 найменувань, з них 115 – латиницею, та 5 додатків.

## РОЗДІЛ 1.

# ОСОБЛИВОСТІ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *CORYLUS* L. ЯК КУЛЬТУРНИХ РОСЛИН У СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ ТА СВІТУ

### 1.1. Використання фундука в агропромисловому виробництві. Історичний аспект та сучасний стан

Фундук вживався людиною в їжу з давніх часів. Спеціалізоване сільськогосподарське вирощування доволі давно розвинулося в Середземноморському басейні на основі виду *Corylus avellana*, а пізніше в інших регіонах світу, включаючи Китай, де вирощують *C. heterophylla* та його гібридні форми, отримані у результаті схрещування з *C. avellana*. Сьогодні фундук є важливою горіхоплідною культурою, популярність якої пояснюється високим попитом на горіхи з боку кондитерської промисловості [97, 98].

Незважаючи на важливість цієї культури, її вирощування досі базується на стародавніх місцевих сортах, відібраних з місцевих дикорослих форм, а більшість світового виробництва зосереджено у двох країнах: Туреччині та Італії. Державні програми селекції не були впроваджені до 1960-х років. Селекційні програми, започатковані у 1960-х роках, були спрямовані на підвищення врожайності та якості горіхів, адаптацію до кліматичних умов і стійкість до хвороб та мають переважно регіональний характер [96]. І лише дві (обидві в США) працюють на загальнонаціональному рівні та є доволі великими, з вагомим використанням міжнародної та національної кооперації [95].

Фундук – це економічно важливий лісовий горіх, виробництво якого здебільшого призначене для кондитерської промисловості, де попит і нині перевищує пропозицію. Його вирощування, як і раніше, в основному базується на званих народних доборах з місцевих регіональних форм.



Фундук (інші поширені назви – кокосовий горіх та ліщина) належить до порядку Fagales, родини Betulaceae, підродини Coryloideae, роду *Corylus* L. та поширений в помірних зонах північної півкулі (Європа, Мала Азія, Азія, Північна Америка). Інші родини в порядку Fagales містять Juglandaceae (наприклад, *Juglans* (волоський горіх), *Carya* (пекан і гікорі)) і Fagaceae (наприклад, *Fagus* (бук), *Castanea* (каштан) і *Quercus* (дуб)). Кількість видів у межах роду *Corylus* коливається від 9 до 25, залежно від таксономічного типу, з поточними переглядами, що базуються на морфологічних, молекулярних і селекційно-генетичних дослідженнях, які охоплюють 13 основних видів, розподілених на 4 роди [115]. Два види трапляються в Європі та Малій Азії (*C. avellana* L., *C. colurna* L.), три – у Північній Америці (*C. americana* Marshall, *C. cornuta* Marshall, *C. californica* Marshall) і один – у Гімалаях (*C. jacquemontii* Decaisne). Решта видів є ендеміками Східної Азії.

Усі види *Corylus* мають їстівні горіхи, але їхній розмір і особливості форми (ядра) значно відрізняються залежно від виду та порядку. *Corylus avellana* є основним видом, який культивується для комерційного виробництва як горіхоплідна культура [117].

*Corylus avellana*, також відомий як європейський фундук, має природне географічне поширення в країнах Європи та Західній Азії: Португалія, Ірландія, Оркнейські острови, Норвегія, Швеція, Казахстан, Іран, Ірак, Сирія, Ліван, Греція, Італія та Іспанія. У природі трапляється на висоті від рівня моря до 1500 м. Він поширений у змішаних листяних лісах, а також уздовж стежок та сільських доріг. Зовсім недавно його почали вирощувати в Північній Америці та Китаї, а також у Південній півкулі, головним чином у Чилі.

*Corylus avellana* є дуже поліморфним видом за своєю морфологією [141, 151]. Він був розділений на підгрупи, які деякі автори розглядали як окремі види: *C. maxima* Mill., *C. pontica* Koch. та *C. colchica*. Однак тепер експерти погоджуються, що ці види слід віднести до одного *C. avellana*, оскільки вони демонструють безперервні варіації в морфології, легко гібридизуються та збігаються в географічному просторі. Крім того, дані про ДНК-аналіз

кластеризують *C. maxima* та *C. avellana* разом, підтверджуючи спільне походження видів [120, 121].

Значне поширення *Corylus avellana* підкреслює його велику генетичну та морфологічну мінливість і адаптацію до кліматичних умов. Однак його стабільна область вирощування обмежена м'яким кліматом у помірних регіонах, які часто характеризуються близькістю до моря чи інших великих водоймів. Зі збільшенням відстані від сприятливих регіонів врожайність і якість ядра зазвичай знижуються. Крім того, деякі сорти можуть відрізнятися в адаптації до місцевих екологічних умов. Наприклад, нещодавнє дослідження показало, що іспанський сорт Негрет і кілька турецьких сортів були більш чутливими до несприятливих умов, ніж інші сорти з Європи та США. Крім того, лісовий горіх має потребу в охолодженні, яка має бути задоволена для подовження сережки, розвитку жіночої квітки та розпускання листя, що створює проблеми для правильного розвитку та/або стабільного виробництва в деяких регіонах [155, 162].

Використання фундука як культури людиною сягає щонайменше 8400 років до нашої ери й було поширене в Західній і Центральній Європі, Північній Америці та Китаї. Наприкінці останнього льодовикового періоду фундук був однією з перших чагарникових рослин, які перемістилися з півдня до північної Європи. Між 7500 і 5500 роками до нашої ери їх було багато в лісах бореальних регіонів, аж до Британських островів і частини Скандинавії. У той час фундук був важливим компонентом у раціоні людини, про що свідчать знахідки з мезолітичних і неолітичних пам'яток у Швеції, Норвегії та Данії [172, 173].

Вважається, що рід *Corylus* названий на честь оболонки, яка оточує горіх і нагадує шолом, який класичною грецькою мовою називається «*corus*». Вважається, що назва виду *avellana* походить від назви місцевості Абелліна на Близькому Сході, центру раннього виробництва, або від Абелли (нині Авелла), міста в Кампанії (регіон на півдні Італії, де вирощували фундук). Згідно з Плінієм, культивований фундук походить з Абелліни на Близькому Сході, що відповідає сучасній долині Дамаска. Потім рослини були привезені до

Чорноморського регіону, а пізніше до Греції. З Греції вони були завезені до Кампанії, а фруктові сади були закладені в Абеллі – місті, розташованому поблизу гори Везувій [38, 39, 178].

Перші історичні докази комерційної торгівлі фундуком були зареєстровані в Туреччині та датуються періодом середньої бронзи (близько 1950–1830 рр. до н. е.). У західному Середземноморському басейні Кампанія, нинішня Італія, вважається найстарішим центром вирощування фундука. Археологічні знахідки показують, що його вирощували принаймні з п'ятого по четверте століття до нашої ери. Однак найдавніші свідчення спеціалізованого вирощування фундука в Італії можна знайти в документах (контрактах між виробниками та землевласниками) періоду високого Середньовіччя (800-900 рр. н. е.) [175, 176].

У традиційних районах вирощування в Середземноморському басейні, зокрема в Туреччині, Італії та Іспанії, виробництво все ще покладається на традиційні сорти, які були відібрані з місцевої дикої флори. Походження цих сортів погано задокументовано, але їхній успіх був підтверджений у двадцятому столітті, коли кондитерська промисловість визначила стандарти якості, необхідні для переробки [186, 187].

У північно-східному Китаї *Corylus heterophylla* природно поширений у лісах, а його горіхи традиційно збирали в дикій природі та використовували як їжу з давніх часів. Свідчення про його вирощування датуються 1100-600 роками до нашої ери, але впровадження методів селекції для підвищення врожайності та ефективності збору врожаю диких популяцій відбулося нещодавно. У ХХІ ст. спеціалізоване вирощування (на сьогодні понад 50 000 га) базується на гібридах між *C. heterophylla* та *C. avellana*, які мають підвищену врожайність та якість горіхів порівняно з місцевими видами-батьками, а також кращу холодостійкість [189, 190].

Як зазначалося, вагомі сучасні селекційні програми стартували в Італії, Франції та США в 1960-х роках, а в Китаї та Туреччині на початку 1980-х років. У Європі їхньою метою було поліпшити продуктивність і адаптивність, а також

зберегти або підвищити якість ядра для промислового використання. Були також зусилля для поліпшення якості та продуктивності сортів для столового використання (ринок необробленого горіха) [191, 195, 199].

Постійне збільшення посівних площ і високий попит на фундук вищої якості для кондитерської промисловості вплинули як на методи вирощування, так і на вибір сортів. Особливо це стосується нових насаджень. Однак у регіонах стародавнього вирощування, наприклад на узбережжі Чорного моря, все ще існують топографічні, соціальні, економічні та екологічні обмеження, які уповільнюють інновації та впровадження нових практик. Крім того, кліматичні зміни та поширення культур на нові території, наприклад у південній півкулі, впливають на цілі селекції та дієтичні потреби [200, 203, 204].

Щодо України, то загальна площа вирощування фундука на підприємствах будь-якої категорії та різних форм господарювання досягала 300 га згідно з державними даними. Продуктивність цих виробничих насаджень переважно була на рівні 0,8–1,1 т/га, досягаючи 2 т/га в окремих випадках. Загалом врожайність є вищою на присадибних ділянках, ніж у виробничих садах [76, 55].

Тривалий час досліджували нові форми ліщини звичайної, їхню продуктивність та якість на Боярській лісовій дослідній станції на Київщині, де були описані методи підготовки горіхів до сівби, особливості впровадження нового садивного матеріалу, побудову кореневої системи рослин та її вплив на формування господарсько-цінних ознак, вивчали вміст корисних речовин у горіхах фундука. Встановлено, що оптимальним було вирощування цієї горіхоплідної культури в умовах Лісостепу [12, 43].

Існуючий зараз в країні рівень власного використання горіхів фундука (переважно у переробленому вигляді) лише на 86 % забезпечує мінімальне споживання згідно з існуючими нормативами, фактично вполовину менший за доцільний раціон людини (51 %) та суттєво відрізняється від оптимально-збалансованого згідно із загальними вимогами до споживання людини (21 %).

Тобто, можна говорити про нестачу внутрішнього сільськогосподарського ринку в межах від 5,7 до 130 тисяч тонн. Ураховуючи особливості функціонування ринку горіхоплідної продукції (показники експорту, імпорту, різні продукти переробки, садивний матеріал, непродовольчі потреби) нестача горіхів фундука становить не менш ніж 24,3 тисяч тонн, а враховуючи потреби збалансованого оптимального раціону – до 550 тисяч тонн [55, 87].

Вагомі досягнення в селекційному поліпшенні горіхоплідної культури та впровадженні нових сортів цієї ключової сільськогосподарської рослини пов'язані з багаторічною селекційною роботою українського вченого Ф. А. Павленка, який протягом тривалого періоду праці впровадив десятки сортів цієї та інших горіхоплідних культур у виробництво, насамперед для регіонів Полісся та Лісостепу. У інші ж еколого-географічні зони нові вітчизняні сорти заходили важко та мали лише обмежене впровадження [86, 87]. Переважно селекційне поліпшення зосереджено на створенні нових сортів для більш традиційних районів вирощування цієї культури, впровадження для нових ґрунтово-кліматичних умов відбувається із суттєвими труднощами [55, 56].

Селекційною роботою з впровадження нових сортів фундука займаються в таких провідних наукових установах країни: Українському науково-дослідному інституті лісівництва та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького Національної академії аграрних наук України, Національному дендрологічному парку «Софіївка» Національної академії аграрних наук України [44], а також у Мліївському інституті садівництва ім. Л. П. Симиренка Національної академії аграрних наук України [43]. Також частково в ній беруть участь деякі інші науково-дослідні установи, доволі активно йшла робота на селекційно-дослідних станціях та деяких ділянках з державного сортовипробування [41]. Ця система установ дозволяє в ході регулярного селекційного процесу створювати дві-три нові перспективні форми культури на рік, що можна вважати задовільним рівнем для нашої країни в рамках регіональної селекції рослини. Але велике занепокоєння викликає система традиційної орієнтації на

впровадження нових форм лише для регіонів, де вже існують виробничі насадження, без поступового просування на південь, згідно зі змінами кліматичних умов [40, 42].

Суттєвого розширення біорізноманіття вихідного матеріалу в українській селекції цієї культури тривалий час не відбувалося, і процес впровадження нових форм не набуває якогось принципово нового підходу [46]: залишаються лише традиційні питання та традиційні методи генетичного поліпшення, що зумовлює високу тривалість процесу сортозміни для горіхоплідних [45, 180, 181].

Відповідна тенденція зберігається останні чверть віку, без виникнення передумов навіть до якихось часткових змін у контексті європейської інтеграції та глобалізації селекційних програм [47]. Єдиним моментом з кардинальними змінами в селекційному процесі є впровадження принципово нових джерел генетично зумовленої якості, насамперед за вмістом ключових корисних речовин. Так, протягом останніх десяти років як вихідний матеріал до програм з віддаленої гібридизації горіхоплідних залучаються перспективні форми від віддалених споріднених форм нових ботанічних видів *C. Chinensis* Franch., для селекційного створення нових господарсько-цінних властивостей, таких як збільшення розмірів та оптимізація форми горіхів, поліпшення кількості сирого протеїну в горіхові фундука та зрушення в співвідношенні шкаралупи та ядра на користь останнього з вимогою, що не менше половини від шкаралупи повинно займати саме ядро горіха фундука [58, 60].

Постійною проблемою в селекційних схемах з поліпшення цієї культури залишається низька врожайність отриманих форм порівняно з фундуком культурним, вимоги до більшого зволоження та низька толерантність до несприятливих умов перезимівлі. У рамках таких схрещувань не вдалося отримати нових сортів, які задовольняли б задані параметри [57, 59].

## **1.2. Значення та особливості вирощування фундука у виробничих насадженнях.**

Наразі фундук займає п'яте місце у світі за площею вирощування (близько 672 000 га у 2017 році) серед культивованих видів горіхів, після кеш'ю, волоського горіха, мигдалю та фісташок. Середнє річне виробництво фундука в шкаралупі становить близько 865 000 тон і зосереджено здебільшого у двох країнах: Туреччині (570 000 тонн) та Італії (104 000 тонн). Іншими значними країнами-виробниками є США (34 000 тонн), Азербайджан і Республіка Грузія (33 000 і 31 000 тонн відповідно), а також Китай (25 000 тонн) [196]. Фундук також культивують у Чилі, Іспанії, Франції, Румунії, Сербії. У середньому комерційна вартість виробництва перевищує 2 мільярди доларів США на рік, але ціни на світовому ринку змінюються через коливання обсягів виробництва в Туреччині, що залежить від кліматичних тенденцій і можливого впливу весняних заморозків у Чорноморському регіоні. Сьогодні ринок переробки становить близько 93 % світового ринку фундука, решта продається як горіхи в шкаралупі [197, 198].

Фундук здебільшого призначений для кондитерської промисловості, де ядра обсмажують і використовують для виробництва великої кількості харчових продуктів, таких як креми (горіхове масло), цукерки, хлібобулочні вироби. Завдяки високому попиту на ядра для кондитерської та хлібобулочної промисловості посівна площа та обсяг зібраного врожаю продемонстрували тенденцію постійного зростання з 1961 по 2017 рік [194], і в багатьох країнах, включаючи Італію, США, Чилі та кілька країн Східної Європи, є нові посадки значних розмірів [202, 205].

Сорти фундука є високогетерозиготними й розмножуються клонально. Більшість сортів мають моноклональне походження, але деякі старіші сорти, такі як Томбул у Туреччині, складаються з колекцій різних клонів зі схожими фенотипами. Клональне розмноження лісового горіха історично здійснювалося за допомогою вкорінених нащадків, які природним чином утворюються навколо крони рослини. У комерційних розплідниках його розмножують

здебільшого відводками. Розмноження шляхом укорінення стеблових живців також можливе, але не дуже поширене, оскільки практично може бути дуже складним: відсоток добре вкорінених живців, які розвиваються в рослини й придатні для посадки в саду, залежить від генотипу [192, 193]. Сьогодні мікророзмноження регулярно використовується в США і все частіше в інших країнах, але також залишається складним через потребу в дорогих приміщеннях і спеціальному досвіді, особливо тому, що фундук, як виявилось, складніше, ніж багато інших видів, розмножується *in vitro* [201].

Також для розмноження фундука можна використовувати щеплення. Щеплення на сіянці *Corylus colurna* зазвичай призводить до позбавлення відростків дерева (видалення відростків є постійною вимогою та витратами для садів фундука). Міжвидові клонові підщепи *C. colurna* x *C. avellana* дають мало наростків і є сильнорослими деревами. Приблизно 5 % фундукових садів було посаджено деревами, щепленими на підщепі *C. colurna* [185, 188].

Під час вибору сорту враховується багато факторів, але основними з них є адаптація до навколишнього середовища, місцеві традиції та ринок призначення, яким сьогодні є насамперед кондитерська промисловість. Сьогодні лише невелика кількість сортів з оптимальними властивостями для промисловості (виробництво високоякісного ядра круглої форми) доступні та вирощуються по всьому світу [183, 184]. Через їхню несумісність основні сорти у виробництві вирощують разом із генетично сумісними запилювачами, обраними для викидання пилку під час сприйнятливості жіночих квіток основних сортів. Відсоток запилювачів, необхідних для належного запилення, становить принаймні 10 % садових дерев. Як правило, висаджують два сорти запилювачів, кожен з різними періодами цвітіння, щоб забезпечити розповсюдження перехресно-сумісного пилку [182].

Сади фундука висаджують на рівній відстані. Вона залежить від сили рослини, яка може бути специфічною для сорту та системи культивування. У Туреччині фундук традиційно вирощують у вигляді купи, яка називається «очак» і складається приблизно із 6 дерев, встановлених у колі діаметром 1,2 м.



Очаки розташовують у полі на сітці 4 x 4 м або 4 x 5 м на схилах з легкими та середніми ґрунтами і 6 x 6 м на рівних ділянках з важкими ґрунтами. У Західній Європі (Італія, Іспанія, Франція) одиночні дерева висаджують на відстані 4-6 м у рядку (2,5-3 м при подвійній густоті) і 5-6 м між рядами. В Орегоні стандартна відстань становить 6 x 6 м, а подвійна щільність – 3 x 6 м [177, 179].

Традиційна схема вирощування сприяє природному розвитку рослини в кущ, але обмежує кількість основних стовбурів до 4-5. Цієї форми досягають видаленням кори рослини 3-5 разів на рік механічним або більш ефективним способом із застосуванням гербіциду для знищення молодих пагонів (15-20 см). У сучасних фруктових садах часто віддають перевагу рослинам з одним стеблом для полегшення підтримання крони. У цьому випадку, видаляючи протягом сезону всі інші пагони, починаючи з першого року посадки, одиничний пагін привчають до розвитку міцних гілок на відстані приблизно 1-1,5 м від крони [171, 174].

Стиглість горіхи досягають у серпні-жовтні залежно від сорту, району вирощування та висоти. Під час збирання врожаю горіхи падають на землю вільними або в лушпинні. Горіхи все ще збирають вручну в районах, де рельєф або інші фактори не дозволяють машинне збирання, наприклад у Туреччині, де їх збирають вручну з рослини ще в лушпинні. У цьому випадку лушпиння знімають вручну або машиною після попереднього просушування протягом 3-5 днів. У всіх випадках горіхи потребують сушіння до вмісту вологи близько 10 %, що відповідає <6 % вологи в ядрі, щоб бути придатними для зберігання та/або продажу. Раніше горіхи для сушіння розкладали тонким шаром під сонцем і залишали на 4-5 днів. Однак дощі та висока вологість можуть перешкоджати процесу сушіння, спричиняючи затримки та псування ядра. Сьогодні електричні або теплові сушарки з примусовою вентиляцією використовуються для отримання стабільніших результатів і вважаються необхідними для правильного післязбирального догляду за фундуком [169, 170].

Сухі горіхи можна зберігати при кімнатній температурі понад 8 місяців у шкаралупі без значної втрати якості; ядра можуть зберігатися до 1 року в камері зберігання при 2-4 °С. У Туреччині лісові горіхи в шкаралупі можуть зберігатися протягом 24 місяців у складах з кліматичним контролем, що дає можливість зберігати врожай протягом тривалого періоду, коли він перевищує внутрішні та/або міжнародні потреби [160, 161].

Сьогодні фундук як культура перебуває в стадії значного розширення площ вирощування й збирання в усьому світі, включаючи землі за межами традиційних регіонів виробництва. Збільшення виробництва в нових регіонах, що поєднується з очікуваними наслідками зміни клімату, привертає першочергову увагу до потреби у визначенні та/або створенні нових сортів, які підходять для різних середовищ вирощування, включаючи ті, які більш стійкі до теплового стресу та посухи, а також до значних температурних коливань. Крім того, увага органів влади та громадської думки до стійкості та впливу сільськогосподарських агроценозів вказує на те, що методи вирощування повинні бути спрямовані на бажане зменшення використання хімікатів, забруднення через добрива, споживання води та викопного палива та викиди CO<sub>2</sub> [156, 157].

Логістичні та економічні проблеми, пов'язані зі збиранням та наявністю достатньої кількості ручної праці в сільськогосподарському секторі, є ще однією серйозною проблемою, яка змінює технології вирощування, стимулюючи збільшення механізації (також очікується, що це стане актуальним у майбутньому в усіх країнах, що вирощують фундук) [34]. ). Крім того, у багатьох існуючих ситуаціях, наприклад у старих виробничих центрах, таких як Чорноморський регіон, вік фруктових садів (>100 років) і невеликий розмір ферми (1-2 га) та обмежений доступ до різних ресурсів роблять подальшу механізацію малоімовірною, що призводить до зниження врожайності та зниження доходів господарства [35].

Фундук вважається культурою з відносно низькими витратами; у багатьох країнах він переважно вирощується в районах, де основні культури, такі як

зернові або інші високоцінні плодові види, не можуть бути вирощені з прибутком через неідеальне середовище (тип ґрунту, відсутність можливості зрошення) та/або орографічні (пагорби) умови [30].

Проте можна вжити подальших кроків для розширення цього цінного аспекту виробництва фундука шляхом впровадження інноваційних та більш стабільних методів вирощування, що базуються також на сортах, які вважаються більш толерантними до обмежень навколишнього середовища та біотичних факторів, включаючи шкідників і патогени, які іноді доволі сильно впливають на рівень виробництва. Щоб досягти цього без втрати якості та врожайності, використання біотехнологічних інструментів та більш глибоке розуміння генетики фундука на додаток до традиційних методів може виявитися вкрай доцільним [19].

Цілі створення нових сортів можуть змінюватися залежно від умов навколишнього середовища та наявності різних патогенів або шкідників у різних регіонах вирощування фундука по всьому світу [150]. Основні підсумовано в наведеному нижче списку.

**Онтогенетичні ознаки.** Перспективні напрями для селекції [5]:

- зменшення кількості бруньок;
- прямостоячі дерева з детермінованою силою росту;
- пізнє розпускання вегетативних бруньок, щоб уникнути весняних заморозків;

Безпосередні селекційні параметри, які вже впроваджені [18, 20]:

- холодостійкість (особливо сержок) для поширення впровадження в північні райони із суворими зимами;
- низька вимоги до охолодження для поширення вирощування в субтропічних регіонах;
- стійкість до несприятливих ґрунтових умов, таких як високий/низький рН і важкий ґрунт;
- покращена стійкість до посухи.

**Ознаки, що стосуються репродуктивних фаз розвитку.** Безпосередні селекційні параметри, які вже впроваджені [4]:

- раннє плодоношення (скороспілість);
- рясне чоловіче (запилювач) і жіноче цвітіння;
- висока плодючість квіток;
- самосумісність;
- висока врожайність;
- ранній термін дозрівання горіхів;
- короткий період опадання горіха (концентроване опадання при стиглості);
- лущиння не стискається, щоб дозволити горіху вільно випасти при зрілості (легке механічне збирання);
- добре спаяна шкаралупа горіха (відсутність розривних швів);
- високий відсоток ядра (тонкі оболонки);
- низький відсоток горіхів з дефектами (заготовки, подвійні ядра, зморщені, погано наповнені горіхи, ядра з пліснявою, чорні кінчики, горіхи з коричневими плямами);
- ядра однорідні за розміром і круглою формою;
- довгий термін зберігання (олія менш схильна до згіркнення);
- висока поживна та дієтична цінність [8].

Характеристики ядра горіха згідно з вимогами до експорту [10, 12]:

- кругла форма горіха і ядра;
- ядро від малого до середнього розміру, діаметром 13-15 мм з низьким відсотком розбитого ядра після лущення;
- легкість видалення плівки після смаження ядра;
- гарний смак після смаження ядра.

Характеристики вимог до внутрішнього ринку/присадибного вирощування [13, 17] :

- великий розмір горіха;

- приваблива і ціла (без розколів) шкаралупа горіха; оболонка без опушення (чиста і блискуча, не тьмяна);

- ядро з хорошими смаковими якостями;

- невелика кількість або відсутність волокон на оболонці ядра.

### **Селекція на стійкість до шкідників та патогенів.**

Резистентність/толерантність до основних шкідників [7, 9]:

- великий бруньковий кліщ (*Phytoptus avellanae*);

- горіховий довгоносик (*Curculio nucum*).

Резистентність/толерантність до основних хвороб:

- східна гниль фундука (*Anisogramma anomala*)

- антракноз (*Piggotia coryli*);

- рак цитоспоріозний (*Cytospora corylicola*);

- борошниста роса (*Erysiphe corylacearum*);

- бактеріальний опік (*Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*);

- бактеріоз відмирання гілочки (*Pseudomonas syringae* pv. *coryli*).

Декоративні ознаки для використання як орнаментальної культури в ландшафтному дизайні [24, 154]:

- скривлені та плакучі пагони;

- червоне/фіолетове або жовте листя;

- рожево-червоний осінній колір;

- розсічені, лопатеві або усічені листя;

- оборки;

- привабливий колір та структура кори, що відшаровується;

- ознаки, які ще підлягають перевірці на генетичну мінливість у межах роду *Corylus* і які наразі не є внесеними до вимог схем селекційного процесу.

Більшість цікавих ознак є полігенними, деякі з них мають середню або високу ймовірність успадкування. Самонесумісність, червоне забарвлення листя та стійкість до деяких поширених хвороб є ознаками, які успадковуються за простим домінантним типом за Менделем. Інші ознаки, як відомо,

успадковуються просто: це детермінація росту, колір листя, кремовий колір пилку та жовте забарвлення, але є рецесивними [152 -154].

### **1.3. Генетичне поліпшення культури для підвищення врожайності, якості продукції та нових можливостей у використанні.**

Біорізноманіття фундука є дуже високим завдяки його природному ареалу поширення, що охоплює різні кліматичні зони та типи ґрунтів. Кілька авторів вивчали генетичну структуру дикої та культивованої зародкової плазми цієї культури [147, 148].

Згідно з деякими дослідженнями, *Corylus avellana* був одомашнений незалежно в шести різних областях: Британські острови, Центральна Європа, Іспанія, Італія, Чорноморський регіон та Іран. Результати вказують на існування трьох основних груп зародкової плазми в Середземноморському басейні, що відповідає трьом передбачуваним одомашненням: північно-західна Іспанія (Таррагона), південна Італія (Кампанія) і Чорноморський регіон (Туреччина). Вторинні генофонди спостерігалися на Піренейському (Астурія) та Італійському (Лаціум, Лігурія) півостровах, де місцеві сорти були створені з диких форм та/або від схрещування з інтродукованими стародавніми сортами [145, 146].

Дослідження генетичного різноманіття фундука показують, що *Corylus avellana* має велику генетичну мінливість. На сьогодні в літературі описано близько 500 його сортів. Неправильне маркування та існування синонімів і омонімів є вагомими проблемами для збереження зародкової плазми, які в більшості випадків можна вирішити за допомогою набору маркерів SSR. Проте SSR мають обмеження, пов'язані з нездатністю ідентифікувати близькоспоріднені сорти, отримані з клонових варіантів, тож потрібні інші типи маркерів. Фенотипова мінливість, яка існує серед клонів основних сортів у відповідь на клонове розмноження протягом багатьох десятиліть, якщо не століть, підкреслює необхідність проведення клонової селекційної роботи та генетичної сертифікації. Попередні результати показують наявність приблизно 130 000 поліморфізмів (переважно SNP) між клонами [143, 149].

Незважаючи на систему самонесумісності, види *Corylus* досить добре піддаються селекції, особливо порівняно з іншими горіховими культурами

помірного клімату. Час генерації відносно короткий (3-6 років до першого цвітіння у *C. avellana*, можливо, довше в інших видів роду); рослини меншого розміру; жіночі суцвіття залишаються сприйнятливими до пилку протягом декількох тижнів і їх легко ізолювати від стороннього пилку; тичинкові квіти легко вихолостити, пилок у великій кількості легко збирається та може зберігатися до 1 року; ручне схрещування може давати значну кількість насіння. Враховуючи властивості комерційного горіха та високий рівень фенотипічної та генотипової варіабельності, очікується, що більшість зусиль щодо генетичного вдосконалення й надалі будуть зосереджені на використанні культивованої та дикої зародкової плазми *C. avellana*, а інші види будуть застосовуватися як батьки-донори для внесення бажаної ознаки за потреби, використовуючи стратегію зворотного схрещування [144].

Методологія селекції фундука передбачає встановлення цілей селекції, збір та оцінку зародкової плазми, відбір придатних батьків, схрещування відібраних батьків, збір насіння, а потім вирощування саджанців у теплиці та пізніше в полі для оцінки. На цій стадії селекція за допомогою маркерів може бути використана для ідентифікації генотипів, що несуть певну ознаку. Як правило, восени першого року рослини пересаджують у відкритий ґрунт, щоб почати первинний скринінг та добір. Вони починають цвісти через 4-5 років, тоді ж можна оцінити перші горіхи, а особин з неідеальними ознаками згодом відсіювати, однак повний цикл селекції/оцінки займає приблизно 8 років від моменту проростання, оскільки для визначення ефективності однієї рослини протягом сезонів потрібно кілька років. Відібрані найкращі генотипи на цьому етапі можуть брати участь у повторних випробуваннях врожайності, щоб оцінити їхню ефективність у довгостроковій перспективі та в різних місцях, та/або можуть бути відібрані для використання в продовженні селекційної роботи [135, 142].

В ідеальному сценарії для виведення нового сорту потрібно 17-18 років від року виконання схрещування. Однак, незважаючи на цей тривалий часовий проміжок, оскільки фундук демонструє високий рівень гетерозиготності, відбір



потомства першого покоління може не забезпечити всі бажані ознаки в одній особині, тому необхідно продовжувати селекцію. Це особливо правильно, коли інтрогресія необхідного характеру чи риси, такої як стійкість до захворювань, вимагає починати з батьківських джерел з горіхами низької якості та/або іншими ознаками, непридатними до комерційного виробництва. Терміни часу можуть ще зрости, якщо розглядати ознаки з мультигенним контролем. Таким чином, використання диких форм у селекції слід розглядати дуже обережно, звертаючи увагу також на використання найкращих доступних різноманітних батьків. На щастя, високе генетичне різноманіття культивованого *Corylus avellana* та нещодавній початок селекції цієї культури загалом відкриває великі можливості для систематичного вдосконалення багатьох ознак [136, 138].

Фундук однодомний та вітрозапильний. Цвіте взимку і є дихогамним. Терміни цвітіння варіюються від початку грудня до березня залежно від генотипу, географічного положення та року. Розмноження обмежується системою самонесумісності, яка в *Corylus avellana*, найбільш вивченого в цьому відношенні виду, контролюється одним локусом, позначеним як S-локус із 33 алелями. Домінування або кодомінування алелей виражено в пилку, тоді як усі відомі S-алелі є кодомінантними. Цікаво, що жіночі квіти можуть залишатися сприйнятливими до запліднення до 3 місяців. Самозапилення більшості сортів призводить до нульового або дуже низького зав'язування горіхів. Повідомлялося про часткову самосумісність у деяких сортів. Самонесумісність також існує в інших видів *Corylus* [134, 139].

Важливим першим кроком у плануванні схрещувань є визначення S-алелей потенційних батьків, щоб переконатися, що бажана комбінація сумісна. Восени, до того, як викидається будь-який пилок і ще не з'явилися маточкові квітки, рослину, вибрану як батьківську жіночу рослину, необхідно ізолювати, щоб виключити сторонній пилок, що переноситься вітром. Усе дерево можна покрити пилконепроникною конструкцією, або, якщо потрібна менша кількість горіхів, пилкозахисні пакети можна помістити на окремі гілки. Перед укриттям рослину необхідно вихолостити (зрізати сережки). Незважаючи на те що

більшість з них зав'язує небагато горіхів або зовсім не зав'язує їх власним пилом, кастрація допомагає уникнути потенційного неконтрольованого запилення та спрощує процедуру, зменшуючи кількість власного пилку, який може бути присутнім в камері ізоляції або мішках [132].

Пилок збирають із вибраної чоловічої батьківської рослини шляхом видалення сережок з дерева відразу після того, як вони почали подовжуватися, і поки залишаються видимими тверді яскраво-жовті пиляки, бажано вранці перед вивільненням пилку. Після збору їх поміщають на чистий білий папір у закриту кімнату з температурою 15-20 °С, щоб сприяти виходу пиляків, як правило, на ніч. Наступного ранку пилок обережно струшують із сережок на папір, потім розсипають у скляні або пластикові флакони та зберігають у морозильній камері за температури -18...-20 °С до використання для запилення. Пилок можна наносити вручну в безвітряний день і бажано за дуже високої вологості за допомогою пензлика або кінчика пальця. Захищену від пилку камеру можна видалити в кінці періоду цвітіння материнської форми, коли рильця висохнуть і забарвляться в темно-коричневий колір [130].

Незважаючи на те що потенціал міжвидової гібридизації в *Corylus* є високим, стратегії, які використовуються для поліпшення фундука, здебільшого базуються на внутрішньовидовому схрещуванні *C. avellana*. Це пояснюється значно кращою якістю горіхів, врожайністю та іншими товарними характеристиками у культурного порівняно з некультивованими видами роду. Загалом, успішні гібриди можуть бути легко отримані між представниками одного роду, тоді як схрещування між різними родами є більш обмеженим, але все ще можливим у багатьох випадках. У той час як певні види вільно схрещуються, інші можуть схрещуватися з труднощами, деякі – тільки в одному напрямку (одностороння несумісність), а інші не можуть в жодному напрямку. Невдалі міжвидові схрещування можуть призвести до низького або нульового зав'язування насіння, високої частоти абортаций, аномальних ембріонів, зниження схожості та/або затримки росту розсади, хлорозу або

загибелі. Загалом, схрещування за участю *C. avellana* було більш успішним, коли він був батьківською формою [122].

Бажані та економічно корисні ознаки, яких бракує або важко знайти у *Corylus avellana* і які можуть бути цікавими для поліпшення сортів, передбачають: толерантність до лужних ґрунтів, надзвичайну скоростиглість, раннє дозрівання горіхів, екстремальну холодостійкість, посухо- і термостійкість, декоративні властивості, унікальні алелі несумісності та нові джерела стійкості до східної гнилі. Кілька привабливих декоративних ознак присутні в роду, включаючи скручені стебла, звисаючі/плакучі гілки, червоне/фіолетове та жовте/золоте листя, сильно розсічені листки, лопатеве та усічене листя (*C. heterophylla*), яскраво-рожевий і червоний осінній колір (*C. americana*), гофровані обгортки (*C. americana*) і привабливу кору (*C. fargesii*) [118].

*Corylus jacquemontii*, *C. chinensis*, *C. fargesii* та *C. ferox* цікаві своєю формою дерева та декоративними атрибутами, проте вони мають невеликі горіхи з товстою шкаралупою та лушпинням, яке зберігає горіхи до зрілості, і обмежену базу зародкової плазми, доступну на сьогодні. У межах роду *Corylus* три види найчастіше використовувалися для розведення з *C. avellana*: *C. colurna*, *C. americana* та *C. heterophylla* [119, 121].

Біотехнологія пропонує широкий спектр методів пришвидчення селекції. У випадку з фундуком прогрес у цій галузі був повільнішим, ніж для інших горіхових культур. Однією з причин цього є обмежена кількість генетичних досліджень та їх розпорошеність у світі, що перешкоджає створенню великих консорціумів для розподілу витрат на складні проекти, такі як точне картування ознак і секвенування геному. Іншою причиною є складна природа виду при вирощуванні *in vitro* для проведення соматичного ембріогенезу та як об'єкта для подальшої генної інженерії [114, 116].

Останнім часом зниження пов'язаних витрат і широкий доступ до технологій сприяли секвенуванню геному та розробці SNP (однонуклеотидного поліморфізму) маркерів для точного картування. Таким чином, роль

біотехнології стає все більш актуальною в молекулярній селекції лісового горіха з цікавими перспективами для розвитку MAS (маркерного відбору) для переліку ознак, а також ідентифікації та маніпулювання генами резистентності або сприйнятливості до патогенів. Розробка цього потенціалу є фундаментальним кроком, необхідним для прискорення досліджень з адаптації до стресових факторів навколишнього середовища та для переходу до використання генної інженерії [203, 204].

Незважаючи на значне генетичне різноманіття, присутнє в зародковій плазмі *Corylus*, та існування близько 500 сортів, описаних у літературі, сьогодні існує дефіцит поширених сортів: лише близько 20 з них широко вирощуються, а ще 30 вважаються цікавими для використання [104, 188].

Значна економічна цінність фундука та високий попит на культуру для садівництва в багатьох регіонах світу вказують на необхідність збільшення інвестицій у генетичне вдосконалення. Протягом останніх 60 років у різних країнах було реалізовано десять програм селекції. Однак поточні програми генетичного поліпшення містять лише дві програми у США, які є відносно великими, і менші програми в Румунії, Італії та Китаї. На жаль, більшість попередніх програм селекції було припинено, що викликає занепокоєння [105, 172].

У країнах традиційного вирощування, таких як Туреччина, Італія та Іспанія, існує сильний зв'язок історичних сортів із територією та тенденція використовувати лише місцеві сорти в нових посадках. Наприклад, в Італії діє географічний захист чотирьох основних сортів. Такий сценарій суттєво знижує зацікавленість у вирощуванні нових сортів, а отже, і фінансування селекції, а водночас і впровадження інновацій [106, 120, 121].

Світове комерційне виробництво, яке базується лише на невеликій сортовій платформі та з невеликою кількістю активних програм селекції, безперечно, є ризикованим, особливо в умовах зміни клімату, що ускладнюються можливістю впровадження чужорідних шкідників і патогенів. У *Corylus avellana*, а також у *C. americana*, *C. colurna* та *C. heterophylla* існує

значна генетична мінливість, яку можна використати для селекції сортів, що мають поліпшені адаптивні та господарчі властивості. З іншого боку, на ринок впливають стандарти якості ядра горіха, яких вимагає кондитерська промисловість і яких важко досягти без кількох циклів зворотного схрещування, які потребують багато часу, зусиль та значного фінансування [113, 134].

Незважаючи на те що сьогодні є широкий доступний набір старих і нових сортів, а методи селекції стандартизовані, слід створити більшу й набагато доступнішу генетичну платформу для обміну зародковою плазмою фундука для підтримки вдосконалення у всіх географічних регіонах, зацікавлених у вирощуванні, для того, щоб протистояти новим і майбутнім викликам глобальної зміни клімату. Національна та міжнародна політика має враховувати стратегічне значення такої культури, як фундук, яка користується дуже високим попитом з боку кондитерської промисловості та все ще мало використовується як дієтичний товар (де може бути застосована додаткова цінність за вмістом корисних речовин). Враховуючи історично низькі витрати, стійкий характер виробництва фундука в поєднанні з високим попитом з боку існуючих галузей і галузей, що розвиваються, а також багатьох зацікавлених сторін і кінцевих користувачів та споживачів продукції з фундука, збільшення фінансування досліджень та підтримки селекції цієї культури може принести значні та довгострокові суспільні та економічні переваги в усьому світі [112, 197].

## **Висновки до розділу 1**

1. У результаті аналізу світових та українських джерел доходимо висновку, що проблематика інтродукції сортів фундука у виробничі насадження нових еколого-географічних районів вивчена недостатньо та потребує виконання суттєвого обсягу наукових досліджень через відповідні польові та лабораторні досліді.

2. Підвищення обсягів виробництва цієї культури через розширення площ виробничих насаджень, зростання врожайності та поліпшення якісних показників отриманих горіхів є важливою складовою у вирішенні нагальних проблем з орієнтації споживання населення на вітчизняну продукцію та поліпшення раціону громадян.

3. Навіть обмежений рівень споживання фундука на задовольняється у достатньому обсязі національним виробником. Темпи розвитку є дуже повільними та обмежено підкріплені рівнем наукового дослідження цієї проблематики.

4. Існуючі економічні умови та загальні зростаючі потреби суспільства в цьому типі сільськогосподарської продукції створюють сприятливу атмосферу для розвитку та інтенсифікації впровадження цієї цінної культури. Рівень пропозиції дуже суттєво не встигає за рівнем споживання. Водночас, через особливості ведення садівництва, відповідні заходи мають довготерміновий ефект у розвитку та потребують тривалих програм розвитку, що свідчить про стратегічну доцільність сталого розвитку горіхівництва у зоні нестійкого зволоження.

Основні положення змісту цього розділу викладені в наукових працях:

1. Сімченко О.О., Назаренко М.М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундука в умовах Півночі степу України/ Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження. – ПП «Астрая», 2021. – С. 150–160.

2. Сімченко О.О., Назаренко М.М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундука в умовах Північного Степу України // Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. (Полтава, 5 травн. 2021). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. – С. 78–80.

## РОЗДІЛ 2.

### УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ПОЛЬОВИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Ґрунтово-кліматичні умови проведення польових дослідів.

Дослідження виконували впродовж 2020–2022 рр. на виробничих посадках фондука ТОВ «ТРАНСРЕЗЕРВ» (с. Шульгівка Дніпропетровської області). (48°44'36" п.ш. 34°23'33" с.д.). Ґрунт – чорнозем звичайний на лесі.

Клімат зони переважно залежить від течій континентального повітря помірних широт та нетривалих надходжень холодного арктичного, досить рідко теплого та вологого поморського повітря. Відмінностями є доволі високі температури влітку, не завжди достатнє, іноді нестійке зволоження та нестабільна кількість опадів. Загальні ресурси температури повітря та опадів мають такі ліміти (середньобагаторічні значення): гідротермічний коефіцієнт 0,6–0,9, за період вегетації випадає опадів 310–380 мм, за рік може випадати 450–550 мм, усього сума активних температур протягом періоду з температурами понад 10 °С становить 2 800–3 000 °С. Терміни періоду з температурами понад 10 °С становлять майже 165 днів, а безморозний період у середньому не перевищує 155–174 днів.

Посуха характерна для ранньовесняного та осіннього періоду. Уміст гумусу в ґрунті дослідних ділянок в орному шарі 5,3 % (за Тюрінім). рН водний – 7,2–7,3. Об'ємна маса ґрунту 1,15–1,22 г/см<sup>3</sup>. Ґрунтові води не підіймаються вище від 8–9 м. Тривалість безморозного періоду протягом дослідження становила 162–169 днів. Загальна температура в січні становила -5,7 °С, у липні – 22,4 °С, протягом року середня температура повітря була на рівні 6,9 °С. Термін періоду з температурами понад 10 °С становив протягом років польових дослідів приблизно 158 днів. Сніговий покрив без суттєвих порушень зберігається в середньому протягом 45–50 днів.

Дослідні ділянки мали однорідний покрив, який представлено чорноземом звичайним малогумусним вилугуваним середньосуглинковим, підґрунтя – суглинковий лес. Горизонт гумусу за забарвленням однорідний, до 40–45 см за глибиною, перехідний горизонт розташований на 45–80 см. Гідролітична кислотність 0,82–1,35 мг-екв. на 100 г ґрунту (за Капенем). Кількість увібраних основ варіює 21,1 – 29,1 мг-екв. на 100 г ґрунту (за Гедройцем). Досліджені ґрунти забезпечені задовільно та добре рухомими формами азоту, фосфору та калію. Уміст азоту (за Тюріним) за період польових дослідів на ділянках не перевищує 4–5 мг, вміст рухомого фосфору (за Чириковим) – 21–31 мг, вміст рухомого калію (за Чириковим) – 20–35 мг на 100 г ґрунту.

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) обчислено відповідно до формули Г. Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = \Sigma r / 0,1 \Sigma t^{\circ}\text{C},$$

де:  $\Sigma r$  – кількість опадів за місяць, мм;

$\Sigma t^{\circ}\text{C}$  – кількість активних температур менше  $10^{\circ}\text{C}$  за місяць відповідно.

Кліматичний оптимум умов за значенням ГТК класифікується як: 0,4–0,7 – сильна посуха; 0,8–1,0 – посуха; 1,1–1,5 – оптимальне; понад 1,6 – надмірне зволоження.

За 2020 р. температура повітря в середньому була  $10,6^{\circ}\text{C}$ , водночас середня багаторічна становила  $8,5^{\circ}\text{C}$  (протягом останніх 40 років); діапазон температур протягом року  $-4,5 - 23,1^{\circ}\text{C}$  (табл. 2.1).

За період весна-літо температура досягала максимуму в липні  $23,1^{\circ}\text{C}$ . Усього за рік опадів випало 553,9 мм, що на 54,9 мм більше від середнього багаторічного показника за цим параметром (501 мм). Найбільше опадів було зафіксовано в лютому (70,2 мм) та у квітні (59,6 мм). За середніми даними кількість опадів щомісячно становила 46,2 мм, що перевищувало на 4,6 мм середні показники багаторічних випробувань (41,6 мм). Протягом 2020 року кількість опадів у цілому була задовільною та оптимальною.



**Середньомісячні та багаторічні значення кліматичних факторів за  
2020 р. (за даними Дніпровської метеостанції)**

Місяць	Показник						
	Температура повітря, °С			Опади, мм			ГТК
	Фактична	Багаторічна	±	Фактичні	Багаторічні	±	
I	-4,5	-5,3	0,8	57,3	44	13,3	-
II	-0,9	-4,2	3,3	70,2	35	35,2	-
III	3,6	0,8	2,8	34,1	33	1,1	-
IV	12,5	9,5	3	59,6	37	22,6	1,82
V	17,1	16,1	1	48,6	45	3,6	1,02
VI	21,1	19,5	1,6	65,6	58	7,6	1,31
VII	23,1	21,2	1,9	58,3	55	3,3	1,03
VIII	22,9	20,3	2,6	55,1	36	19,1	1,48
IX	19,5	15,2	4,3	18,6	35	- 16,4	0,72
X	7,0	8,4	-1,4	18,4	31	- 12,6	-
XI	4,9	2,5	2,4	33,7	39	-5,3	-
XII	0,9	-2,1	3	34,4	51	- 16,6	-
Середнє	10,6	8,5	2,1	46,2	41,6	4,6	
Σ				553,9	501	54,9	

Періоди, під час яких ГТК був у межах оптимального, спостерігалися в травні, червні, серпні, липні; надмірне зволоження було у квітні, посушливий період спостерігався у вересні. Загалом 2020 рік за показниками температури та вологості та їх співвідношенням у часі був швидше близьким до можливо оптимального для онтогенезу фундука з урахуванням особливостей зони вирощування.

За 2021 р. температура повітря в середньому була 10,4 °С, водночас середня багаторічна становила 8,5 °С (протягом останніх 40 років); діапазон температур протягом року -5,1 – 23,8°С (табл. 2.2).

Максимуму температура за період весна-літо досягала в липні – 23,8 °С. Усього за рік опадів випало 514,2 мм, що на 15,2 мм більше від середнього багаторічного показника за цим параметром (501 мм). Найбільше опадів було зафіксовано в лютому (63,2 мм) та листопаді (67,7 мм). За середніми даними кількість опадів щомісячно становила 42,9 мм, що перевищувало на 1,3 мм середні показники багаторічних випробувань (41,6 мм). Протягом 2021 року кількість опадів у цілому була задовільною та умовно-задовільною.

Періоди, під час яких ГТК був у межах оптимального, спостерігалися в травні, червні, серпні, квітні; надмірне зволоження не спостерігалось, посушливий період зафіксований у липні та вересні. Загалом 2021 рік за показниками температури та вологості та їх співвідношенням у часі був швидше близьким до посереднього для онтогенезу фундука з урахуванням особливостей зони вирощування.

За 2022 р. температура повітря в середньому була 10,6 °С, водночас середня багаторічна становила 8,5 °С (протягом останніх 40 років); діапазон температур протягом року -4,1 – 23,5°С (табл. 2.3).

Максимуму температура за період весна-літо досягала в липні 21,2 °С. Усього за рік опадів випало 525,6 мм, що на 26,6 мм більше від середнього багаторічного показника за цим параметром (501 мм). Найбільше опадів було зафіксовано в лютому (75,2 мм) та в березні (57,1 мм). За середніми даними кількість опадів щомісячно становила 43,8 мм, що перевищувало на 22 мм середні показники багаторічних випробувань (41,6 мм). Протягом 2020 року кількість опадів у цілому була незадовільною та помірно-задовільною.

**Середньомісячні та багаторічні значення кліматичних факторів за  
2021 р. (за даними Дніпровської метеостанції)**

Місяць	Показник						
	Температура повітря, °С			Опади, мм			ГТК
	Фактичні	Багаторічні	±	Фактичні	Багаторічні	±	
I	-5,1	-5,3	0,2	23,3	44	- 20,7	-
II	-1,7	-4,2	2,5	63,2	35	28,2	-
III	3	0,8	2,2	39,1	33	6,1	-
IV	12,1	9,5	2,6	33,9	37	-3,1	1,12
V	16,1	16,1	0	33,6	45	- 11,4	0,81
VI	22,1	19,5	2,6	56,1	58	-1,9	1,41
VII	23,8	21,2	2,6	23,3	55	- 31,7	0,69
VIII	22,1	20,3	1,8	51,1	36	15,1	1,38
IX	18,3	15,2	3,1	34,6	35	-0,4	0,79
X	6,5	8,4	-1,9	38,4	31	7,4	-
XI	5,1	2,5	2,6	67,7	39	28,7	-
XII	2,1	-2,1	4,2	49,9	51	-1,1	-
Середнє	10,4	8,5	1,9	42,9	41,6	1,3	
Σ				514,2	501	15,2	

Періоди, під час яких ГТК був у межах оптимального, спостерігалися у травні, липні, надмірне зволоження було у квітні, посушливий період фіксувався в червні, серпні та вересні. Загалом 2022 рік за показниками температури та вологості та їх співвідношенням у часі був доволі несприятливим для росту та розвитку кущів фундука з урахуванням особливостей зони вирощування, найменш сприятливим з усіх років досліджень.

Таблиця 2.3

**Середньомісячні та багаторічні значення кліматичних факторів за  
2022 р. (за даними Дніпровської метеостанції)**

Місяць	Показник						
	Температура повітря, °С			Опади, мм			ГТК
	Фактична	Багаторічна	±	Фактичні	Багаторічні	±	
I	-4,1	-5,3	1,2	34,3	44	-9,7	-
II	-3,7	-4,2	0,5	75,2	35	40,2	-
III	2,7	0,8	1,9	57,1	33	24,1	-
IV	11,7	9,5	2,2	53,7	37	16,7	1,70
V	15,9	16,1	-0,2	39,3	45	-5,7	0,81
VI	23,1	19,5	3,6	29,5	58	- 28,5	0,71
VII	23,5	21,2	2,3	45,8	55	-9,2	0,88
VIII	23,1	20,3	2,8	31,1	36	-4,9	0,78
IX	18,9	15,2	3,7	14,9	35	- 20,1	0,61
X	6,1	8,4	-2,3	31,7	31	0,7	-
XI	5,9	2,5	3,4	43,2	39	4,2	-
XII	3,8	-2,1	5,9	69,8	51	18,8	-
Середнє	10,6	8,5	2,1	43,8	41,6	2,2	
Σ				525,6	501	26,6	

Таким чином, за кліматичними умовами слід визнати період дослідження задовільним для вегетації фундука з урахуванням особливостей регіону. Насамперед слід сказати про суттєве пом'якшення умов перезимівлі, що є критичним для цієї культури, особливо в перші роки дослідження, та доволі гарний режим температури та вологості, відсутність суттєвих проблем з посухою. Слід зауважити, що проблемним залишається зволоження у вересні,

але це не становить такої суттєвої проблеми для горіхоплідних, за винятком висадки нових саджанців для створення виробничих садів. За сприятливістю до вирощування культури періоди можна ранжувати таким чином: від сприятливого 2020-го через посередній 2021-й до обмежено сприятливого 2022-го.

## 2.2. Характеристики сортів, що є об'єктами дослідження.

Об'єктом дослідження були чотири сорти фундука: Барселонський, Каталонський, Косфорд, Галле. Їх досліджували на загальну адаптивність і технічну придатність до інтродукції та впровадження в промислові садові насадження на півночі Степу України як в регіоні з нестійким зволоженням та вивчали загальну можливість подальшого розповсюдження горіхоплідної культури на південь [74] у зв'язку з глобальними змінами клімату та пом'якшенням зимових умов [69], поліпшенням балансу опадів для отримання джерела стабільного надходження цінних харчових елементів [21, 27, 29]. Загальну виробничу характеристику сортів наведено нижче.

### Сорт Галле

Сорт походить з Німеччини, доволі давній. Характеризується значними темпами зростання, формує дещо загущений, стрункий кущ розлогої форми. За сприятливими природно-кліматичними умовами досягає у висоту 5,5 м. Листя помірно-густе, середньо-розмірне (довжина 13 см, ширина 10 см), овальної або округлої форми, можуть бути нечасті, доволі глибокі впадини та листя має невелику гостру верхівку. За кольором листя темно-зелене. Структура листя більш жорстка, на поверхні багато волосків. Сережка сіра з коричневим та фіолетовим відтінком (довжина не менш ніж 7 см, діаметр до 5 мм), не менш ніж 4–6 штук у гроні, тобто доволі багато. Сорт середньо-ранній, традиційно цвіте в той самий час, що й інші сорти.

Покриває за довжиною приблизно як і сам горіх, іноді трохи довша, іноді коротша, грубо-м'ясиста, багато волосків біля основи. Край хвилястий та зазубрений, тісний зв'язок з горіхом. З дозріванням горіхів стає жовтим, розкривається та горіхи вільно виходять із супліддя. Горіхи доволі великі або дуже великі, конічної форми, іноді трохи витягнуті та різко звужуються до верхівки горіха, у гроні зазвичай 2-4 горіхи. Вони приблизно одного розміру (висота 26-28 мм, ширина 22-25 мм, товщина 20-23 мм), майже однакової форми, іноді злегка приплюснуті. Оболонка середньої товщини, тверда, жовто-

коричнева з темними смугами, доволі гладка, блискуча, на верхній частині трохи світліша.

Основа горіха доволі велика, трохи випукла, округла, іноді може бути чотирикутною, коричнево-білою, на середині трохи темнішою. Характеризується великим ядром яйцеподібно-овальної форми з гострим кінцем, відсутні суттєві пустоти в оболонці горіха, покрив темно-коричневий, досить грубий з волокнистими оболонками, які доволі легко можна очистити від ядра, світло-кремового кольору. Ядро солодке та смачне, високі дегустаційні якості.

Сорт належить до пізньостиглих, товарне плодоношення – з кінця вересня до початку жовтня. Зі збиранням врожаю не потрібно поспішати, оскільки це призводить до зниження якості.

Сорт відзначається високою врожайністю у сприятливих умовах. Потребує постійного перехресного запилення, за такої умови плодоношення регулярне та щедre. Помірно толерантний до низьких температур. Потребує теплих, родючих ґрунтів зі значним умістом гумусу, краще росте та розвивається на ділянках з підвищенням та за умови відсутності вітру. Врожайність низька на холодних, з підвищеною вологістю ґрунтах. Має високі товарні якості продукції, підтвержені у виробництві.

Характеризується високою стійкістю до хвороб та шкідників, посередньо толерантний до маніліозу. Досить резистентний до горіхового довгоносика та проявляє посередню резистентність до брунькового кліща. Традиційні опилувачі для гарного плодоношення: Барселонський, Косфорд.

### **Косфорд**

Сорт походить з Англії, створений у Косфорді у 19 ст. Куш сильнорослий, з високою густою кроною. Середньо-толерантний до низьких температурних режимів. Листя темно-зелене, широке, овальне або обернено яйцеподібне, трохи шорстке, велике (довжина досягає 14 см, ширина 12 см),

може почервоніти ближче до вересня. Велика кількість довгих, гнучких сережок коричневого забарвлення. Сорт ранньостиглий.

Сорт має плоди з твердою оболонкою, великі, зазвичай виростає в еліптичній формі й має приплюснуті, заокруглені кінці. Оболонка, що оточує плід, відкривається із зморщеними та нерівними краями, але часто щільно прилягає до горіха біля основи. Ці горіхи зазвичай легко випадають з оболонки. Шкаралупа горіха у дозрілому стані може мати жовто-коричневий чи червоно-коричневий колір, а основа може бути світлою, опуклою, чотирикутною або багатокутною. Ядро горіха волокнисте, коричневе, іноді з гладкою оболонкою. Його текстура зазвичай є кремовою, соковитою та смачною. Дозрівають плоди у 2 – 3-й декадах вересня.

Характеризується високою врожайністю, з раннім початком плодоношення. Вибагливий до захищених від вітру місць посадки. Також потребує більш теплих кліматичних умов.

Сорт може бути гарним запилювачем для інших сортів: Галле, Чудо з Больвіллер, Вебба цінний, Ноттінгемський та багато інших. Може гарно запилюватися такими сортами: Галле, Ламберт червонолистий та Вебба цінний. Частково може бути самозапильним.

### **Барселонський**

Кущ потужно росте та може досягати 5 метрів заввишки в умовах певного клімату. Він є відносно стійким до низьких температур. Листя може бути великим або дуже великим (довжина досягає 14 см, ширина 12 см), з еліптичною або округлою формою, світло-зеленого кольору, з темнішою верхньою стороною та світлішою нижньою, може мати ворсинки на жилках.

Восени листя змінює колір на світло-жовте з дрібними зубчиками, із сильно зазубленою верхівкою. Має численні великі сережки (довжина досягає 9 см, діаметр 7 мм) салатого кольору, які розташовуються по 2–3 в гроні. Цвітіння зазвичай настає в середньоранній період.



Плодова оболонка горіха часто є великою, майже вдвічі довшою за сам горіх, широкою і розплющеною, нагадуючи віяло. Краї мають довгі, вузькі зубчики, а під час дозрівання оболонка розкривається, дозволяючи плодам вільно випадати.

Горіхи можуть мати великий розмір, варіативну форму, часто обернено-яйцеподібні або тупо-конусоподібні, іноді легко приплюснуті, нерегулярно рифлені або кутасті, можуть мати тригранну форму. Досягають до 25 мм у довжину, 20 мм в ширину та 17 мм у товщину.

Шкаралупа може бути червоно-коричневою, знизу блискучою з темними смугами, а зверху світлішою та замшлюю. Верхівка горіха може мати шпичасту форму, а основа бути великою або середньою, конусоподібною, часто трикутною або нерегулярної форми.

Ядро може бути великим, майже заповнювати шкаралупу, приплюснутим, несиметричним, соковитим, солодким та смачним. Зазвичай воно покрите тонкою, коричневою, зморщеною, дрібно волокнистою оболонкою. Іноді всередині ядра може бути невеликий проміжок. Ці горіхи, як правило, дозрівають у першій половині вересня.

Сорт має високу врожайність, доволі рано надає товарну продукцію. Популярний і рекомендований для посадки в різних типах садів сорт, зокрема, для комерційних плантацій. Недоліком його може бути вразливість на маніліоз.

Для запилення у виробництві використовують сорти Галле, Чудо з Больвіллер, Ноттінгемський, Ламберта білий, Давіана.

### **Каталонський**

Сорт створено в Іспанії, є стародавнім. Кущ потужно росте й утворює високу густу крону з листям середньої або малої величини. Листя овальне або широко-еліптичне, довжиною до 10 см і шириною до 8 см, з дрібними зубчиками на краю, закінчується вузькою ледь висунутою верхівкою.

Характерною рисою листя є те, що найширше місце на листі припадає на половину його довжини. Квітки зазвичай розташовані в численних суцвіттях,

які є досить малими, короткими, салатого кольору, зазвичай по 2–4 на одній ніжці. Цвітіння відбувається досить рано, це характерна риса сорту.

У горіха оболонка може бути приблизно такою самою, як довжина самого горіха. Біля основи вона може мати м'ясистий шар з ворсинками та вузько зазубленими краями. Під час дозрівання оболонка горіха відкривається, дозволяючи горіхам легко випадати.

Горіхи можуть бути великими або дуже великими, розміщеними по 3–6 на верхівках гілок, безформними, круглуватими або конусоподібними з виразною верхівкою. Шкаралупа може бути товстою, темно-коричневою з темнішими смугами, у верхній частині мати сіру поволоку. Основа горіха може бути малою або середньою, овальною або продовгуватою, чотирикутною та трохи опуклою, меншою за верхню частину горіха.

Ядро може бути великим і не завжди повністю заповнювати шкаралупу. Має солодкий, мигдальний смак і є соковитим. Оболонка ядра білувата, переплетена коричневими волокнами, які легко можна відділити від ядра.

Строки досягання горіхів – друга декада вересня. Сорт характеризується високою врожайністю та відмінними технологічними якостями. Рекомендується використовувати як у товарних, так і аматорських насадженнях. Зазвичай для запилення використовують сорти Барселонський, Косфорд, Галле [3, 80].

### 2.3. Методики проведення польових та лабораторних дослідів.

Технологія вирощування фундука в досліді відповідала загальноприйнятій для зон вирощування в Україні [32, 33]. Застосовували відповідні засоби захисту від шкідників (Актара, 1,5 л/га) та хвороб (Квадрис, 1л/га) [82].



Рис. 2.1. Саджанці першого року при закладанні польового досліді

Облік урожаю горіхів фундука здійснювали суцільним подільночним збиранням з урахуванням типовості кущів фундука, схема посадки 4 по 10

кущів кожного сорту. Досліджували сорти Барселонський, Каталонський, Косфорд, Галле (схема посадки  $4 \times 5$  метри (між кущами  $\times$  між рядками, по рослині в садивні ями) [26, 31].



Рис. 2.2. Кущі другого року. Період інтенсивного розвитку

Відбирали 10 дерев за кожним сортом, на яких біометрично обчислювали такі показники: висоту, ширину крони вздовж ряду/впоперек, вздовж ряду та впоперек окремо, об'єм крони, діаметр штамба, середню довжину пагонів, площу поверхні листків, урожайність з дерева, середню масу одного горіха, параметри горіха, висоту шкаралупи, її ширину та товщину, вихід з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву), вихід з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках), головний/додатковий ядра відходів, урожайність з дерева та із загальної площі, маса сухих горіхів (100 шт.), вихід ядра, відповідно до загальноприйнятих методик [69, 74, 90].

Обрізання кущів виконували напівінтенсивним методом для утворення максимальної листкової поверхні з урахуванням необхідності максимального використання сонячного світла [29].



Рис. 2.3. Характерне суцвіття для третього року вирощування

У ході обрізання молодих дерев, особливо з метою формування продуктивного скелета, ураховували баланс між вегетативним зростанням та репродуктивною системою дерева. Скорочення непродуктивного етапу та спрямування енергії на розвиток плодів є важливими для отримання високої врожайності. Формування продуктивного скелета розраховане не лише на фізіологічну, але й на економічну ефективність. Максимізація фотосинтетичної площі за допомогою меншого скелета допомагає забезпечити ефективну продуктивність дерева. Міцний скелет допомагає дереву витримувати високі навантаження врожаєм, що є важливим для збереження його стабільності та здоров'я [28].



Рис. 2.4. Кущі третього року. Початок активного товарного плодоношення культури

Період глибокого спокою в кущів фундука закінчувався в кінці грудня, потім рослини перебували в стані вимушеного спокою. Вегетаційний період фундука в досліді становив 190–210 днів. Активне товарне плодоношення розпочалося на третій рік вирощування після закладки виробничого насадження [16]. Але особливістю є наявність доволі значної кількості плодів (на 30-40 % менше ніж на третій рік) вже на другий рік насадження. На деяких рослинах відбувалося ще більше випередження звичайних строків розвитку, що буде додатково вказано у відповідному розділі роботи [61, 85].

Оцінку фотосинтетичної активності виконували приладом SPAD-502 та перерахунком на концентрацію хлорофілу (a+b) згідно із загальновизнаною методикою за формулою  $Chl = 10M^{0,265}$ , де M – значення одиниць SPAD. Освітленість виміряли люксометром у верхній третині, центральній частині та нижній третині крони згідно із загальноприйнятою методикою [48, 50].

Досліджували такі органогенні елементи, як кальцій, фосфор, сірка, магній, калій, г/кг; цинк, мідь, молібден, кобальт, марганець, мг/кг, у лабораторії науково-дослідного центру біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК ДДАЕУ.

Перед дослідженням зразки попередньо мінералізували з використанням системи мікрохвильового розкладання Multiwave GO Plus виробництва Anton Paar (Австрія), додаючи до наважки зразка 0,5 г 10 мл 65 %-ної азотної кислоти і 1 мл концентрованої соляної кислот (Sigma-Aldrich). Час розкладання (включаючи час охолодження) становив 45 хв за температури 185 °С.

Вміст мінеральних речовин визначали з використанням атомно-емісійного спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою Agilent 5110 за інтенсивністю емісії світла з характерними довжинами хвиль. Як стандарт використовували мультиелементний розчин виробництва Agilent.

Вміст (на 100 г) таких речовин: насичені жирні кислоти, харчові волокна, вітамін А, вітамін Е, вітамін С, вітамін РР, – визначали в лабораторії фізіології рослин кафедри фізіології рослин та інтродукції ДНУ ім. О. Гончара.

Для визначення вмісту насичених жирних кислот виконували екстракцію і застосовували газохроматичний метод з використанням полум'яно-іонізаційного детектора. Олію екстрагували з висушених проб горіхів (наважка по 8 г) в екстракторі в колбах об'ємом 250 мл за допомогою гексану не менше восьми годин [11]. Харчові волокна визначали ферментативно-гравіметричним методом.

Вміст вітамінів А, Е (токоферол), РР (нікотинамід) визначали флюорометричним методом за різних довжин світлової хвилі на спектрофотометрі ULAB 102UV, вітамін С визначали титрометричним методом через окиснення в дегідроаскорбінову кислоту у висушених пробах горіхів (наважка по 5 г) [84].

## 2.4. Методи математико-статистичного аналізу

Для аналізу дослідних даних застосовували модулі описової базової статистики та ANOVA, пакет багатовимірної статистики програми Statistica 10.0, (дискримінантний, факторний аналіз).

Математико-статистичну обробку отриманих результатів виконували за методикою одно- та двофакторного аналізу, достовірність різниці між вибірками дослідних варіантів визначали попарним порівнянням тестом Т'юкі HSD за критерієм Фішера, для ознак розраховували коефіцієнт варіації та поділяли їх на слабомінливі (загальна варіація до 5 %), середньомінливі ( 5 – 15 %) та високомінливі (понад 15 %). Нормальність розподілу перевіряли за допомогою W-тесту Шапіро–Вілка та підтверджували за критерієм Колмогорова–Смірнова, також частково застосовували коефіцієнти асиметрії (As) та ексцесу (Ex). Метою дискримінантного аналізу було виявлення значущості ознак, його здійснювали за загально визнаною методикою.

На першому етапі статистичну обробку даних виконували методом однофакторного аналізу з порівнянням вибірок та виявленням мінливості окремих ознак, дискримінантного аналізу – для виявлення значущості ознак (програма Statistica 10.0). Відмінності між відборами визначали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (модуль базової описової статистики) і вважали надійними при не менш ніж  $P < 0,05$  та наявності нормального розподілу отриманих даних та рівним набором дат між вибірками відповідно до загальних вимог до post hoc методів. Визначали коефіцієнт варіації та за ним межі мінливості окремих ознак або факторів, виконували оцінку генетичного поліморфізму сортових зразків у дослідженні за окремими параметрами.

У разі потреби визначення ефектів взаємодії здійснювали двофакторний аналіз для обчислення генотип-середовищного ефекту (переважно різниця за роками була більш слабкою, наявні варіації між крайніми 2020 та 2022 роками досліджень) за модулем ANOVA (аналіз за основними факторами). У жодному випадку частка варіації, зумовлена похибками чи діями інших неврахованих факторів, не була статистично значущою.



На наступному етапі здійснювали дискримінантний аналіз для визначення вагомості окремих ознак та факторів впливу, побудови загальної моделі реакцій та визначення місця впливу у взаємодії факторів у просторі, зумовленому значеннями канонічних функцій.

Для дискримінантного аналізу досліджували вихідну кореляційну матрицю для ознак морфометрії та структури врожайності, параметрів впливу факторів, вмісту окремих цінних речовин.

Виконано такі етапи обчислення канонічних матриць: обчислено базові таблиці кореляції та коваріації, виявлено модельні та відсутні в моделі ознаки та фактори, обчислено дискримінантні та канонічні функції та виконано групування у факторному просторі за отриманими значеннями, обчислено коефіцієнти канонічної кореляції, здійснена оцінка функцій за диференціальною значущістю та відмінністю за ключовими параметрами, виконано оцінку груп за різницею відстаней від об'єктів до центроїдів груп.

## **Висновки до розділу 2**

1. Ґрунтово-кліматичні умови виконання досліджень цілком адекватні для періоду польового досліду та відбивають загальні особливості умов регіону, надають можливість адекватної агроекологічної оцінки придатності та мінливості сортів фундука з метою майбутнього впровадження у виробничі насадження. Водночас вони достатньо контрастні для виявлення особливостей генотип-середовищної взаємодії у окремих сортів та меж мінливості за окремими господарсько-цінними ознаками.

2. Характеристика сортів вказує на їхню можливість для інтродукції в умовах регіону, високий рівень дослідження специфічності вимог цього генетичного матеріалу до широкого діапазону умов та особливостей вирощування у виробничих насадженнях. Сортовий матеріал достатньою мірою характеризує варіативність фундука як культурної рослини в межах країни і дає можливість зробити висновки щодо можливостей її постійної культивуації в зоні нестійкого зволоження.

3. Умови виконання польового та лабораторного дослідів повністю відповідають методичним вимогам до цих типів дослідження та надали об'єктивні дані для оцінки як культури загалом, так і відмінностей за сортами фундука та роками дослідження, дозволили зробити відповідні узагальнення та висновки.

4. Застосований аналітичний математико-статистичний аналіз адаптовано до потреб схеми дослідження, він повністю відповідає встановленню всіх типів ефектів, які були наявні під час проведення польових та лабораторних досліджень, та дозволяє надати коректну оцінку дослідному матеріалу, зробити відповідні узагальнення та висновки щодо матеріалу загалом, особливостей впливу окремих компонентів та їх взаємодії, відповідності первинних даних методам їх обробки.

## РОЗДІЛ 3

### **ОНТОГЕНЕЗ СОРТІВ ФУНДУКА У ЗОНІ НЕСТІЙКОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ТА ЗВ'ЯЗОК ЙОГО З ПРОДУКТИВНІСТЮ. ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ У ЗОНІ НЕСТІЙКОГО ЗВОЛОЖЕННЯ**

За останні роки фундук став дуже популярним продуктом на світовому харчовому ринку [1, 52, 54]. Зростання площ насадження фундука свідчить про підвищений інтерес до цього горіха серед виробників та споживачів. Так, у період 2013–2020 роки площі насаджень фундука у світі зросли майже на 60 %. Також зросла кількість населення, яке регулярно використовує горіхи фундука у своєму раціоні (пріоритет за кондитерськими виробами): з 200 млн до 1 млрд згідно з даними ФАО [123].

До 2035 року ця організація прогнозує подвоєння площ насадження цієї загалом малопоширеної горіхоплідної культури та збільшення кількості постійних споживачів у добовому раціоні до 2 млрд. До того ж прогнозується суттєве зростання кількості людей, які включають до свого добового раціону безпосередньо горіхи фундука як харчову добавку та джерело надходження корисних харчових елементів, а не використовують виключно кондитерські вироби з додаванням горіхів [124]. Ця тенденція найбільш притаманна для розвинених північно-американських та західноєвропейських країн, для яких взагалі властива більша переорієнтація на продукцію рослинництва, передусім як на джерело корисних ліпідів [125].

Досить часто впровадження у виробництво нових сільськогосподарських культур та використання природного біорізноманіття призводить також до нових наукових фактів та якісних змін у біології розвитку рослини (прискорення або сповільнення деяких окремих фаз або онтогенезу в цілому) [127]. Нове екологічне середовище здатне досить істотно змінити вже усталені

уявлення та надати нові особливості індивідуального розвитку [126, 129]. Іноді ці зрушення можуть навіть мати позитивний характер, як частково у нашому дослідженні (суттєве прискорення розвитку кущів фундука у виробничих насадженнях під час польового досліджу).

Постійно зростає експортна вагомість цієї культури (на тлі підвищення загальних обсягів виробництва та поліпшення врожайності) для більшості економічно зростаючих країн [128].

Адаптація сучасних сортів фундука до менш сприятливих умов, таких як недостатнє зволоження та зміни режиму освітлення, погіршення умов перезимівлі, відкриває нові можливості для розширення областей вирощування цієї культури. Заходи з розширення вирощування фундука в умовах Степу України та Північного Степу повинні передбачати використання сучасних гібридних та стійких до стресових умов сортів фундука, які пристосовані до обмеженого зволоження та недостатнього освітлення, здійснення наукових досліджень та розвитку для пошуку нових технологій та методів, які полегшать вирощування фундука в умовах степового клімату [62, 63]. Такі дослідження здатні розширити перелік областей для вирощування фундука [133], включаючи наш регіон Північного Степу, і сприяти розширенню виробництва цього корисного горіха в більш широких екологічно різноманітних умовах.

Зміни клімату можуть впливати на умови вирощування різних культур та створити нові можливості для розвитку сільського господарства в регіонах, які раніше були менш придатні для певних культур через несприятливі кліматичні умови [131]. З підвищенням норм опадів та пом'якшенням зимових температур може збільшитися придатність північних степових регіонів для вирощування різних культур. Це може стосуватися не лише фундука, але й інших сільськогосподарських культур, які раніше були менш поширеними у цих областях через низьку температуру чи недостатню вологість [140]. Проте важливо також враховувати можливі наслідки цих змін для екосистеми та збалансованості природних процесів. Дотримання сталого підходу до

сільського господарства та врахування екологічних аспектів буде ключовим для забезпечення довгострокової стійкості та високої якості продукції [137].

Метою досліджень цього розділу було визначити особливості онтогенезу сортів фундука залежно від нової зони вирощування, дослідити вплив окремих показників морфометрії кущів культури на їх продуктивність та встановити більш продуктивні сорти для впровадження в умовах північної частини Степу України як зони з нестійким зволоженням та різко-континентальними кліматичними умовами, тобто несприятливими для культури умовами перезимівлі. Раніше цей регіон визначався як непридатний для масового вирощування фундука.

Протягом періоду вегетації виконували спостереження і відповідний облік трьох груп ознак, фенотипічна мінливість яких може безпосередньо впливати на успішність використання конкретного сорту у виробничих насадженнях [61, 73]. Обчислювали також коефіцієнт варіації для всіх ознак, враховуючи придатність для виробничих посівів (за інших рівних) сортів з більш детермінантним типом розвитку.

Перша група (показники морфометрії рослин) наведена в таблиці 3.1. Це такі ознаки, як висота куща, ширина крони вздовж ряду, ширина крони впоперек ряду, об'єм крони, діаметр штамба, середня довжина пагонів, площа поверхні листків. За кожною з ознак обчислені також коефіцієнти варіації, залежно від яких встановлювали мінливість кожної ознаки, яка до того ж буде показником поліморфізму цього сорту. Різницю за сортами та роками спочатку визначали однофакторним аналізом, для визначення генотип-середовищного ефекту застосовували двофакторний аналіз (додаток В).

Ознака висоти куща варіювала переважно середньо, від 5 до 9 %, суттєво відрізнялися за цим параметром сорти Барселонський та Каталонський, сорт Галле суттєво нижче, а сорт Косфорд взагалі можна віднести до низьковаріативних (менше від 5 %), але за абсолютними значеннями суттєвих різниць за сортовою ( $F = 3,84$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,07$ ) та річною дисперсією не було ( $F = 3,99$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,06$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,84$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,06$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість висоти кущів з початку товарного плодоношення ( $F = 2,16$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,09$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,90$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,12$ )

Таблиця 3.1

**Основні показники морфометрії кущів різних сортів у порівнянні  
( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n=36$ ), 2020 – 2022 рр. дослідження**

Показник	Барселонський	Каталонський	Косфорд	Галле
Висота, м	1,18±0,08 <sup>a</sup>	1,16±0,11 <sup>a</sup>	1,30±0,06 <sup>a</sup>	1,30±0,07 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	7,09	9,83	4,98	5,44
Ширина крони вздовж ряду, м	1,34±0,11 <sup>a</sup>	1,14±0,09 <sup>a</sup>	1,20±0,06 <sup>a</sup>	1,24±0,11 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	8,51	7,85	4,89	9,19
Ширина крони впоперек ряду, м	1,29±0,13 <sup>a</sup>	1,14±0,11 <sup>a</sup>	1,22±0,04 <sup>a</sup>	1,22±0,04 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	10,40	10,00	3,67	3,67
Об'єм крони, м <sup>3</sup>	2,07±0,25 <sup>a</sup>	1,54±0,27 <sup>b</sup>	1,93±0,12 <sup>a</sup>	1,98±0,25 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	12,01	13,94	6,12	12,58
Діаметр штамба, см	1,05±0,07 <sup>a</sup>	1,38±0,15 <sup>b</sup>	1,37±0,06 <sup>b</sup>	1,26±0,05 <sup>b</sup>
$C_v$ , %	4,97	10,75	4,45	4,35
Середня довжина пагонів, см	87,00±7,00 <sup>a</sup>	88±11,52 <sup>a</sup>	91,60±3,94 <sup>a</sup>	96,60±5,94 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	8,05	13,09	4,49	6,15
Площа поверхні листіків, м <sup>2</sup>	0,42±0,02 <sup>a</sup>	0,43±0,01 <sup>a</sup>	0,40±0,01 <sup>b</sup>	0,44±0,01 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	4,98	4,16	4,08	2,95

Примітка: мультіваріантне порівняння здійснено методом факторного аналізу ANOVA  $P < 0,05$  з урахуванням поправки Бонферроні

Ознака ширина крони вздовж ряду варіювала теж переважно середньо, від 5 до 9 %, знову суттєво відрізнялися за межами мінливості ознаки сорти Барселонський та Каталонський, сорт Галле, а сорт Косфорд також можна віднести до низьковаріативних (менше від 5 %), але за абсолютними значеннями суттєвих різниць за сортовою ( $F = 4,99$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,06$ ) та річною дисперсією за результатами однофакторних аналізів не було ( $F = 3,16$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 4,04$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,06$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість ширини крони вздовж ряду з початку товарного плодоношення ( $F = 3,76$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,07$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 0,98$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,15$ ).

Ознака ширина крони поперек ряду варіювала теж переважно середньо, від 3 до 10 %, знову суттєво відрізнялися за межами мінливості ознаки сорти Барселонський та Каталонський; сорти Галле та сорт Косфорд взагалі показали себе як низьковаріативні (менше від 5 %) за цією ознакою, але за абсолютними значеннями за результатами однофакторних аналізів суттєвих різниць за сортовою ( $F = 2,17$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,09$ ) та річною дисперсією не спостерігалось ( $F = 1,09$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,09$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,11$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість ширини крони поперек ряду з початку товарного плодоношення ( $F = 3,45$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 0,92$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,15$ ).

Тобто такі ознаки, як висота рослин, ширина крони вздовж і поперек ряду від сорту до сорту суттєво не змінювалися. За варіативністю вони належать до

слабо- (сорт Косфорд і сорт Галле для третьої ознаки) і середньоваріативних (сорта Барселонський, Каталонський, Галле для перших двох ознак). Таким чином, якщо статистично достовірних відмінностей за сортами й немає, то варіативність (детермінованість) певної ознаки в її прояві все ж таки залежить від генотипу. І в цьому плані своєю більшою придатністю для регулярних виробничих посадок виділився сорт Косфорд, який демонструє суттєво нижчу мінливість та, відповідно, суттєво нижчі можливості наявності додаткових біотипів у сорті.

За показником об'єму крон у всіх сортів спостерігається середня варіативність (5–15 %), але знову доволі суттєво нижчою варіативністю відрізняється сорт Косфорд, причому за абсолютними показниками ознака достовірно нижча у сорту Каталонський ( $F=10,77$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P=0,007$ ), що дає змогу розраховувати на кращу можливість використання цього сорту для більш інтенсивних типів насаджень. Усі інші сорти показали однакові результати. За сортовою ( $F = 2,24$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,09$ ) та річною дисперсією за результатами однофакторних аналізів не було суттєвої різниці ( $F = 1,11$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,09$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,01$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість показника об'єму крон з початку товарного плодоношення ( $F = 3,34$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 0,99$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,14$ ).

Діаметр штамба варіює слабо тільки в сорту Барселонський, у нього ж і статистично достовірно відрізняється в нижчій ступінь від трьох інших сортів ( $F = 31,13$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), у яких ця ознака середньоваріативна. Межі мінливості загальні 4–11 %. Усі інші сорти не відрізняються. За сортовою складовою мінливість вагома ( $F = 5,56$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,05$ ), за річною дисперсією за результатами однофакторного аналізу не було суттєвої різниці ( $F = 1,99$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,07$ ).



Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що реакція окремих сортів виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним з високою вірогідністю ( $F = 5,98$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,04$ ), фактор рік не вплинув на мінливість діаметра штамба з початку товарного плодоношення ( $F = 3,17$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 0,90$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,15$ ).

Середня довжина пагонів у всіх сортів приблизно змінюється на одному рівні (6 – 13 %), крім сорту Косфорд, у якого цей показник варіює слабо (4,5 %). За сортовою ( $F = 2,77$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,08$ ) та річною дисперсією за результатами однофакторних аналізів не було суттєвої різниці ( $F = 1,98$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,13$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість середньої довжини пагонів з початку товарного плодоношення ( $F = 3,00$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,13$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,13$ ).

Ознака площа листової поверхні, яка в перспективі дозволяє зробити висновки про ефективність використання світлової енергії певним сортом, значуще серед трьох сортів у менший бік відрізнялася тільки в сорту Косфорд ( $F=14,10$ ;  $F_{0,05} =5,31$ ;  $P<0,01$ ). Ознака у всіх сортів слабоваріативна (до 5 %). За сортовою складовою мінливість вагома ( $F = 5,99$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,04$ ), за річною дисперсією за результатами однофакторного аналізу не було суттєвої різниці ( $F = 2,89$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,07$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що реакція окремих сортів виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним з високою вірогідністю ( $F = 6,19$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,02$ ), фактор рік не вплинув на мінливість площі листової поверхні з початку товарного плодоношення ( $F = 2,87$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,09$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,01$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,14$ ).

Таким чином, за комплексом ознак виділився сорт Косфорд, який явно демонструє детермінантний тип розвитку й більш придатний до використання в сучасних високоінтенсивних насадженнях, потім йде сорт Галле, у якого частина ознак теж слабоваріативна.

Виконаний аналіз мінливості також продемонстрував значущий поліморфізм сортів Каталонський та трохи менше Барселонський за дослідженими ознаками морфометрії, а, відповідно, про суттєву вірогідність зумовленості такої варіативності спадковими потенціями сортів. Це може свідчити про наявність додаткових біотипів у складі сорту, що підтверджують численні генетичні аналізи давніх сортів плодових культур.

Для визначення класифікаційної потужності та значущості окремих параметрів морфометрії було виконано дискримінантний аналіз (табл. 3.2, рис. 3.1).

Таблиця 3.2

**Результати дискримінантного аналізу за показниками морфометрії  
кущів щодо сортового різноманіття у фундука**

Показник	Wilks' - Lambda	Partial - Lambda	F-remove - (3,9)	p-value
Висота, м	0,14	0,59	2,80	0,085
Ширина крони вздовж ряду, м	0,13	0,63	2,38	0,120
Ширина крони впоперек ряду, м	0,12	0,65	2,19	0,141
Об'єм крони, м <sup>3</sup>	0,22	0,26	11,87	0,007
Діаметр штамба, см	0,11	0,68	2,08	0,141
Середня довжина пагонів, см	0,10	0,77	1,15	0,367
Площа поверхні листя, м <sup>2</sup>	0,20	0,31	7,16	0,013

За результатами виконаного аналізу показник висота кущів по досягненню товарного плодоношення на врожайність сортів суттєво не впливав, тобто за застосованої технології вирощування та за наявного набору сортів ця ознака не є значущою для моделі для визначення врожайних якостей. Ознаки ширина крони вздовж та впоперек ряду статистично достовірно теж зовсім не вплинули,

незважаючи на те, що вони є складовими наступної ознаки – об'єм крони в кущів, яка, вочевидь через зв'язок між об'ємом крони та придатністю архітектури рослини для більш ефективного фотосинтезу, надалі значуще вплинула на врожайність.

Також незначимим виявився вплив діаметра штамба та середньої довжини пагонів, вочевидь через одноманітність цих ознак за сортовою та річною дисперсією. Площа поверхні листя зі свого боку вплинула достовірно, можливо, як ознака, прямо пов'язана через ту саму ефективність фотосинтезу з майбутньою врожайністю сортів фундука.

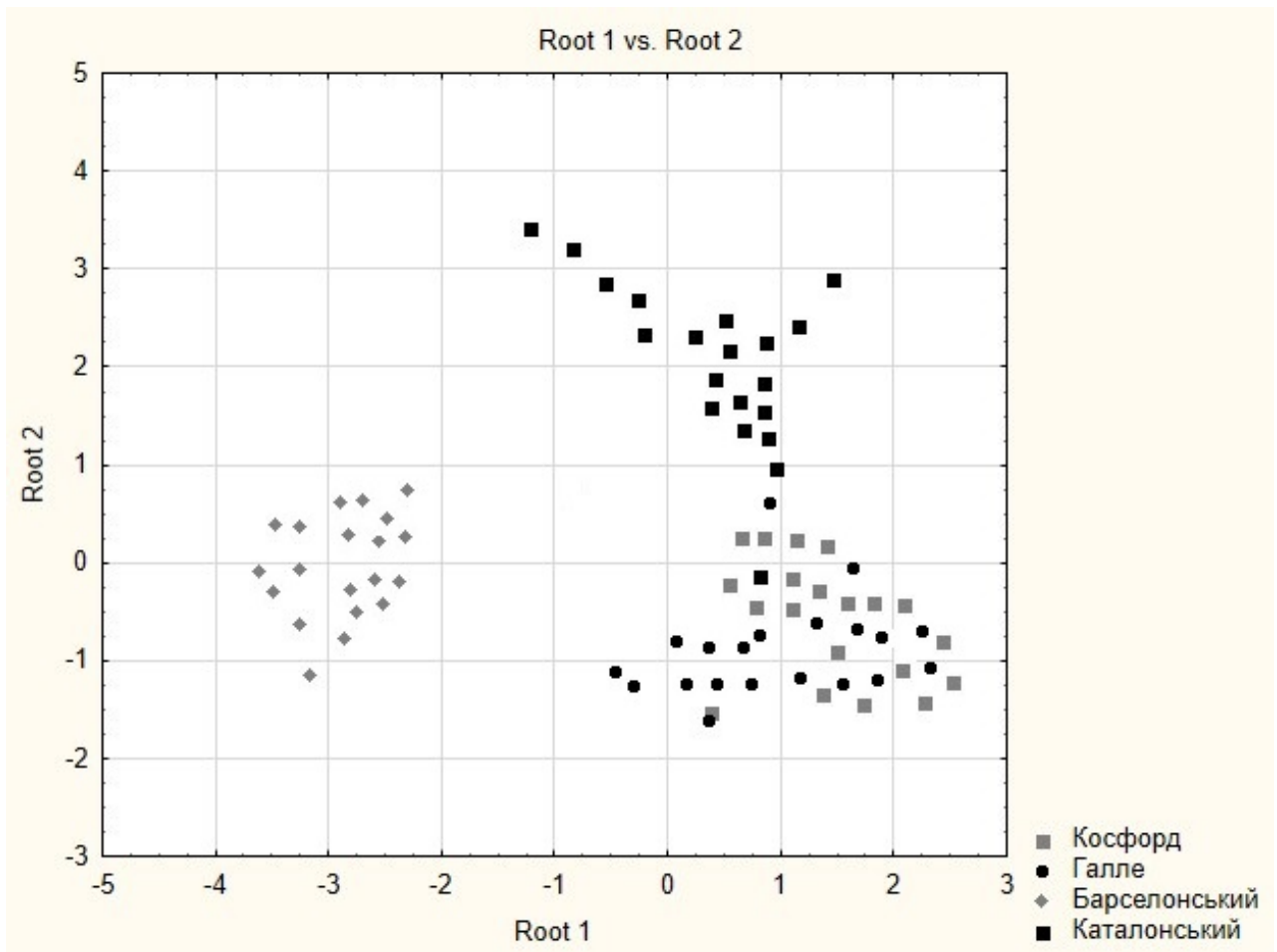


Рис 3.1. Результати класифікації за канонічними функціями сортів рослин за ознаками морфометрії кущів

Згідно з отриманими даними, можна зробити висновок, що у цьому випадку значення для дискримінації архітектури рослин за сортовою специфікою мали такі ознаки, як об'єм крони та площа поверхні листя. Тільки ці ознаки є значущими для моделі, що видно виходячи зі значення статистичного критерію.

Виходячи з отриманих канонічних коренів можна зробити висновок, що реально відрізняється за морфометричними параметрами в сукупності (особливо стосовно архітектури рослини) сорт Барселонський. Інші сорти, особливо Косфорд і Галле, утворюють більш-менш однорідну групу, з деякими варіаціями щодо сорту Каталонський, але в нього відстань до центроїда групи недостатня для статистично достовірної різниці.

Враховуючи попередній аналіз, можна стверджувати, що для нас перспективнішим може бути використання сортів Косфорд і Галле. Можна розглядати можливість вирощування сорту Каталонський і навряд чи є доцільним вирощування сорту Барселонський.

Привнесення нового рослинного матеріалу в якісно інше екологічне середовище може призвести до якісно нових явищ в онтогенезі рослин [164, 168]. Зафіксовані вкрай нехарактерні ефекти наведено на рис. 3.2. та 3.3. Насамперед це раннє плодоношення з утворенням цілком повноцінних горіхів фундука вже в перший рік після посадки (див. рис. 3.2). З господарської позиції істотного значення цей ефект не має, але він якісно новий для біології цієї культури.

Другим таким ефектом було те, що рослини фундука, отримавши доступ до суттєво вищої освітленості на другий-третій рік, формували більшу кількість (до 5-6) суцвіть з ефективним плодоношенням (див. рис. 3.3). Хоча горіхи й були дещо дрібнішими, але це помітно не вплинуло на якість продукції й легко компенсується агротехнічно [159].



Рис 3.2. Кущі фундука першого року та їх плодоношення в умовах зони нестійкого зволоження. Фіксація випередження за онтогенезом рослин

У таблиці 3.3 наведено показники морфометрії горіхів окремих сортів. Досліджували згідно зі стандартною методикою такі ознаки, як висота горіха, ширина горіха, товщина шкаралупи, вихід з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву), вихід з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках), головний/додатковий ядра відходів, середня маса одного горіха, маса сухих горіхів (100 шт.).

Параметр висота горіхів у всіх сортів приблизно змінюється на одному рівні, слабо варіюючи (2–5 %); лише в сорту Барселонський ця ознака середньоваріативна, трохи більше від 5 %. Статистично достовірної різниці між сортами за абсолютним значенням ознаки немає ( $F = 4,46$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P=0,07$ ). За

результатами однофакторних аналізів за сортовою ( $F = 2,98$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,08$ ) та річною дисперсією не було суттєвої різниці ( $F = 2,14$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ).



Рис 3.3. Підвищення активності плодоношення горіхів фундука на другий рік, до формування товарного обсягу продуктивності

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,09$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість висоти горіхів з початку товарного плодоношення ( $F = 2,19$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,00$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,14$ ).

Параметр ширини горіхів у всіх сортів приблизно змінюється на одному рівні, слабо варіюючи (2 – 5 %); лише в сорту Галле ця ознака середньоваріативна, трохи більше від 5 %.

**Основні показники морфометричних параметрів різних сортів фундука  
у порівнянні ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n = 36$ )**

Параметр	Барселонський	Каталонський	Косфорд	Галле
Висота горіха, мм	22,4±1,14 <sup>a</sup>	24,4±0,55 <sup>a</sup>	23,00±1,18 <sup>a</sup>	24,40±1,14 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	5,09	2,24	4,87	4,67
Ширина горіха, мм	19,4±0,89 <sup>a</sup>	19,6±0,89 <sup>a</sup>	19,20±0,90 <sup>a</sup>	20,20±1,10 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	4,61	4,56	4,79	5,42
Товщина шкаралупи, мм	1,24±0,05 <sup>a</sup>	1,2±0,05 <sup>a</sup>	1,20±0,05 <sup>a</sup>	1,54±0,09 <sup>b</sup>
$C_v$ , %	4,42	4,89	4,89	5,81
Вихід з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву)	19±0,71 <sup>a</sup>	20,7±0,97 <sup>b</sup>	19,60±1,14 <sup>ab</sup>	21,20±0,84 <sup>b</sup>
$C_v$ , %	3,72	4,71	5,82	3,95
Вихід з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках)	17,1±0,55 <sup>a</sup>	17,6±0,55 <sup>a</sup>	16,80±1,30 <sup>a</sup>	18,26±1,24 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	3,20	3,11	7,76	6,79
Головний/дод атковий ядра відходів, %	36,4±1,14 <sup>a</sup>	36,3±1,12 <sup>a</sup>	36,80±1,10 <sup>a</sup>	37,00±1,00 <sup>a</sup>
$C_v$ , %	3,13	3,13	2,98	2,70
Середня маса одного горіха, г	3,72±0,16 <sup>a</sup>	3,76±0,17 <sup>a</sup>	2,84±0,12 <sup>b</sup>	4,24±0,17 <sup>c</sup>
$C_v$ , %	4,42	4,52	4,30	3,95
Маса сухих горіхів (100 шт.), г	353±16,23 <sup>a</sup>	369±14,62 <sup>a</sup>	279,00±15,1 2 <sup>b</sup>	416,00±17,8 2 <sup>c</sup>
$C_v$ , %	4,17	3,86	4,21	4,28

Примітка: мультиваріантне порівняння виконано методом факторного аналізу ANOVA  $P < 0,05$

з урахуванням поправки Бонферроні

Статистично достовірної різниці між сортами за абсолютним значенням ознаки немає ( $F = 4,34$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,07$ ). За сортовою ( $F = 3,02$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,08$ ) та річною дисперсією за результатами однофакторних аналізів суттєвої різниці не зафіксовано ( $F = 2,21$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав можливість встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою).

Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,11$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість ширини горіхів з початку товарного плодоношення ( $F = 2,21$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,02$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,14$ ).

Параметр товщини шкаралупи у всіх сортів приблизно змінюється на одному рівні, слабо варіюючи (4 – 5 %), крім сорту Галле, у якого ця ознака середньоваріативна, більше від 5 %. Статистично достовірна різниця між сортами фіксується також для сорту Галле ( $F = 14,46$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ). Результати однофакторних аналізів свідчать про суттєву різницю за сортовою дисперсією ( $F = 5,99$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,04$ ), за роками суттєвої різниці не спостерігалось ( $F = 4,01$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,06$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що сильним був вплив фактора сорт, він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 5,65$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,03$ ), фактор рік не вплинув на мінливість товщини шкаралупи з початку товарного плодоношення ( $F = 4,11$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,06$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 3,17$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,09$ ). Таким чином, це перший параметр, для якого проявляється дійсно вагома сортова мінливість за ознаками морфометрії горіха.

Доволі складною за різницею між окремими сортами виявилася така ознака, як вихід з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву). Ознака характеризувалася слабкою мінливістю (4 – 5 %), крім сорту Косфорд (понад 5 %, ознака середньоваріативна). Так, сорти Каталонський та Галле переважали сорт



Барселонський ( $F = 36,22$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), у той час як сорт Косфорд не поступався за значенням сортам Каталонський та Галле ( $F = 4,46$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,04$ ), але й не перевищував сорт Барселонський ( $F = 4,11$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,07$ ). За сортовою дисперсією зафіксована суттєва різниця ( $F = 8,14$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,01$ ), за роками суттєвої різниці не спостерігалось ( $F = 4,11$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,06$ ), що підтверджують результати однофакторних аналізів.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що вплив фактора сорт був сильним та з він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 8,82$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,01$ ), фактор рік не вплинув на мінливість виходу з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву) з початку товарного плодоношення ( $F = 4,41$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,06$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 4,32$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,08$ ).

Параметр виходу з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках) у сортів Барселонський та Каталонський приблизно змінюється на одному рівні, слабо варіюючи (на рівні 3 %), у сортів Косфорд та Галле ця ознака середньоваріативна, на рівні 6–7 %. Статистично достовірної різниці між сортами за абсолютним значенням ознаки немає ( $F = 3,17$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,09$ ). За сортовою ( $F = 2,11$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,09$ ) та річною дисперсією результати однофакторних аналізів суттєво не відрізнялися ( $F = 2,23$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 2,11$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,10$ ), фактор рік також не вплинув на мінливість виходу з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках) з початку товарного плодоношення ( $F = 1,72$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,09$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 0,89$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,17$ ).

Параметр головний/додатковий ядра відходів у всіх сортів змінюється приблизно на одному рівні, слабо варіюючи (2–3 %). Статистично достовірної різниці між сортами за абсолютним значенням ознаки немає ( $F = 3,13$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,09$ ). Результати однофакторних аналізів не продемонстрували суттєвої

різниці ( $F = 2,16$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,08$ ) за сортовою ( $F = 2,99$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,08$ ) та річною дисперсією.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт не був сильним та з високою вірогідністю не подіяв ( $F = 3,10$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P = 0,08$ ). Фактор рік також не вплинув на мінливість ознаки головний/додатковий ядра відходів з початку товарного плодоношення ( $F = 2,23$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,08$ ). Генотип-середовищна взаємодія також не була значною ( $F = 1,01$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,14$ ).

Що стосується середньої маси горіха, то параметр знову був доволі складним. Ознака характеризувалася слабкою мінливістю (4–5 %) для всіх сортів, але різниці за абсолютними значеннями були достовірними. Так, сорт Косфорд поступається всім сортам ( $F = 55,31$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), у той час як сорт Галле статистично значуще за цим показником перевершував усі сорти ( $F = 24,58$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ). Тобто градація сортів була такою (у спадному порядку): Галле → Барселонський, Каталонський → Косфорд. За сортовою дисперсією виявлено суттєву різницю ( $F = 9,19$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), за роками суттєвої різниці не зафіксовано ( $F = 4,00$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,06$ ) за результатами однофакторних аналізів.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що подіяв фактор сорту: вплив його був сильним і він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 10,02$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ). Фактор рік не вплинув на мінливість середньої маси горіха ( $F = 3,86$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,07$ ). Генотип-середовищна взаємодія в цьому випадку була значною ( $F = 7,38$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,05$ ).

Стосовно маси 100 сухих горіхів, то ознака знову була доволі складною за мінливістю та частково відповідала попередній. Ознака характеризувалася слабкою мінливістю (3–5 %) для всіх сортів, але різниці за абсолютними значеннями були достовірними. Так, сорт Косфорд поступається усім сортам ( $F = 46,41$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), у той час як сорт Галле статистично значуще за

цим показником перевершував усі сорти ( $F = 14,07$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ). Тобто градація сортів знову була такою (у спадному порядку): Галле → Барселонський, Каталонський → Косфорд. За результатами однофакторних аналізів виявлено суттєву різницю за сортовою дисперсією ( $F = 10,66$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ) та за роками ( $F = 4,86$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,05$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що подіяли як фактор сорту, так і фактор річних кліматичних умов. Вплив фактора сорт був сильним, і він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 11,64$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ). Фактор рік також вплинув на мінливість параметра маса 100 горіхів з початку товарного плодоношення ( $F = 6,11$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,03$ ). Генотип-середовищна взаємодія в цьому випадку знову не була значною ( $F = 4,22$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,07$ ).

Таким чином, щодо характеристик морфометрії горіхів переважає сорт Галле, сильно поступається за значеннями показників сорт Косфорд. Для частини досліджених ознак вагомою була сортова дисперсія. Річна компонента була значущою для маси 100 горіхів. Єдина ознака, для якої виявилася вагомою генотип-середовищна взаємодія, – це маса горіха. За варіативністю всі сорти демонстрували певну нестабільність, але вона не була настільки сильною, як за попередньої групи.

Для визначення класифікаційної сили та ідентифікації окремих параметрів морфометрії горіха було виконано дискримінантний аналіз (табл. 3.4, рис. 3.4).

Було виокремлено такі показники, як товщина шкаралупи горіха, середня маса одного горіха, маса 100 сухих горіхів, які і повинні бути ключовими при класифікації цих сортів в умовах зони недостатнього зволоження. Варто наголосити, що всі ознаки є ключовими для переробки отриманої сировини і досить сильно зумовляють якість готової продукції.

За результатами аналізу досить чітко виділилися як більш специфічні сорти Косфорд та Галле. Сорти Барселонський і Каталонський належали до однієї сукупності та їх чітке розмежування виявилось неможливим: відстань між центроїдами статистично не достовірна.

**Результати дискримінантного аналізу за окремими показниками  
морфометрії горіха у сортів фундука**

Показник	Wilks' - Lambda	Partial - Lambda	F-remove - (3,9)	p-value
Висота горіха, мм	0,13	0,86	0,45	0,72
Ширина горіха, мм	0,13	0,86	0,48	0,69
Товщина шкаралупи, мм	0,45	0,25	8,53	0,01
Вихід з одного горіха по висоті по I діаметру (по шву)	0,14	0,81	0,65	0,59
Вихід з одного горіха по висоті по II діаметру (по боках)	0,17	0,67	1,46	0,28
Головний/додатковий ядра відходів, %	0,19	0,60	1,99	0,18
Середня маса одного горіха, г	0,36	0,32	6,11	0,01
Маса сухих горіхів (100 шт.), г	0,23	0,52	4,75	0,04

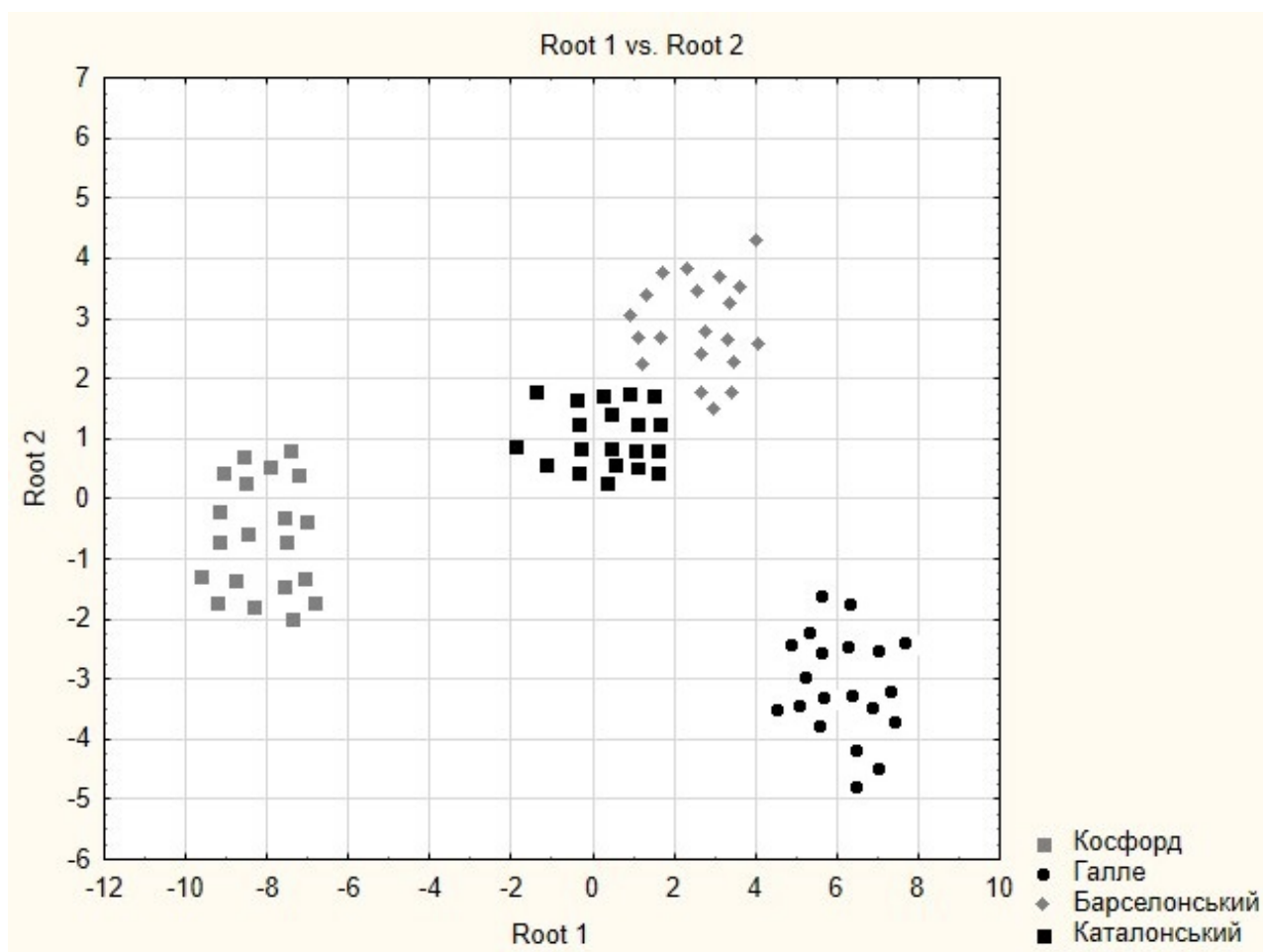


Рис. 3.4. Результати аналізу канонічних функцій за показниками  
морфометрії горіха окремих сортів фундука

Після аналізу цих показників пріоритети для вивчення здобувають сорти Галле і Косфорд, які показали себе відповідно найкращим та найгіршим чином.

Безпосередньо показник врожайності за усіма чотирма сортами наведено в таблиці 3.5 (врожайність з дерева, врожайність загальна та вихід ядра у відсотках від загального врожаю).

Щодо врожаю горіхів з дерева, то ознака була доволі складною за мінливістю. Вона продемонструвала середньою мінливістю (5–13 %) для всіх сортів, крім сорту Галле, для якого ознака була слабоваріативною. Так, сорт Косфорд переважає сорт Барселонський ( $F = 9,91$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), у той час як сорт Галле переважає сорти Каталонський та Барселонський ( $F = 26,20$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), але не сорт Косфорд ( $F = 4,91$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P = 0,06$ ). Тобто градація сортів була такою (у спадному порядку): Галле → Косфорд → Барселонський, Каталонський. За сортовою дисперсією ( $F = 11,15$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ) та за роками ( $F = 6,86$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,02$ ) виявлено суттєву різницю, що підтвердили результати однофакторних аналізів.

Таблиця 3.5

**Параметри врожайності різних сортів у порівнянні та визначені межі варіативності ( $x \pm SD$ ,  $n = 36$ ), 2020-2022 рр.**

Параметр	Барселонський	Каталонський	Косфорд	Галле
Урожайність з дерева, кг	0,93±0,12 <sup>a</sup>	1,1±0,10 <sup>a</sup>	1,16±0,06 <sup>ab</sup>	1,24±0,05 <sup>b</sup>
$C_v$ , %	12,50	8,37	5,83	4,42
Урожайність, т/га	2,26±0,23 <sup>a</sup>	2,62±0,08 <sup>b</sup>	2,64±0,09 <sup>b</sup>	2,84±0,09 <sup>c</sup>
$C_v$ , %	10,54	4,68	4,88	4,01
Вихід ядра, %	46,4±2,46 <sup>a</sup>	38,2±1,10 <sup>b</sup>	53,40±1,52 <sup>c</sup>	53,30±1,42 <sup>c</sup>
$C_v$ , %	1,14	2,87	2,84	2,64

Примітка: мультиваріантне порівняння виконано методом факторного аналізу ANOVA  $P < 0,05$  з урахуванням поправки Бонферроні

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що подіяли як фактор сорту, так і фактор річних кліматичних умов. Вплив фактора

сорт був сильним, і він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 12,12$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ). Фактор рік також вплинув на мінливість врожаю горіхів з дерева з початку товарного плодоношення ( $F = 7,85$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,03$ ). Генотип-середовищна взаємодія в цьому випадку була значущою зі статистичною достовірністю ( $F = 7,76$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,03$ ). Ця ознака вже вказує на те, що, незважаючи на суттєво нижчі показники за морфометрією горіхів, сорт Косфорд здатний це частково компенсувати вже на рівні врожайності з дерева.

За загальною врожайністю горіхів ознака теж була доволі складною за мінливістю. Параметр характеризувався слабкою мінливістю (4–5 %) для всіх сортів, крім сорту Барселонський, для якого ознака була середньоваріативною. Так, сорти Косфорд, Каталонський та Галле переважали сорт Барселонський ( $F = 31,15$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), водночас сорт Галле переважав усі інші сорти ( $F = 16,11$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ). Тобто градація сортів була такою (у спадному порядку): Галле → Косфорд, Каталонський → Барселонський. За результатами однофакторних аналізів виявлено суттєву різницю за сортовою дисперсією ( $F = 14,17$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ) та за роками ( $F = 7,77$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,01$ ).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що подіяли як фактор сорту, так і фактор річних кліматичних умов. Вплив фактора сорт був сильним, і він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 13,17$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ), фактор рік також вплинув на мінливість врожаю горіхів з початку товарного плодоношення ( $F = 8,88$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,01$ ). Генотип-середовищна взаємодія в цьому випадку була значущою зі статистичною достовірністю ( $F = 6,77$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,05$ ). За загальною врожайністю знову суттєво виділився сорт Галле, наступними були сорти Косфорд та Каталонський, але необхідно зауважити, що сорт Косфорд принципово по-іншому формує врожайність через кількість горіхів, а не їх масово-габаритні параметри, як три інших генотипи.

Що стосується ознаки виходу ядра з врожаю, то ознака слабо варіює в усіх сортів (на рівні 1–3 %). За абсолютними значеннями сорти Косфорд та Галле статистично достовірно переважають ( $F = 14,26$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ) сорти Барселонський та Каталонський, які не відрізняються між собою ( $F = 3,07$ ;  $F_{0,05} =$

4,11;  $P = 0,07$ ). Водночас за цією ознакою сорт Барселонський статистично достовірно переважає сорт Каталонський ( $F = 25,04$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ). Тобто градація сортів була такою (у спадному порядку): Галле, Косфорд → Барселонський → Каталонський. За сортовою дисперсією спостерігалася суттєва різниця ( $F = 10,00$ ;  $F_{0,05} = 5,31$ ;  $P < 0,01$ ), за роками вона теж була виявлена ( $F = 8,11$ ;  $F_{0,05} = 4,22$ ;  $P = 0,01$ ) за результатами однофакторних аналізів.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що подіяли як фактор сорту, так і фактор річних кліматичних умов. Вплив фактора сорт був сильним, і він подіяв з високою вірогідністю ( $F = 9,36$ ;  $F_{0,05} = 4,11$ ;  $P < 0,01$ ). Фактор рік також вплинув на мінливість виходу горіхів з початку товарного плодоношення ( $F = 6,17$ ;  $F_{0,05} = 4,55$ ;  $P = 0,03$ ). Генотип-середовищна взаємодія в цьому випадку не була значною ( $F = 5,99$ ;  $F_{0,05} = 6,70$ ;  $P = 0,06$ ).

Таким чином, за показниками врожайності найбільш перспективним виявився сорт Галле для інтродукції у виробничі посадки зон з недостатньою зволоженістю. Додаткових досліджень потребують урожайні особливості сорту Косфорд, який загалом теж може бути перспективним (можливо, у разі варіювання схем посадки та обрізки), проте поступається сорту Галле.

Ознаки врожайності менш варіативні, ніж у випадку з морфометрією рослин, проте це має більше значення вже для технологічності переробки, ніж безпосередньо для вирощування. З цього погляду не можна сказати, що є більш перспективні сорти, але висока варіативність сорту Барселонський робить його малопридатним для виробничого використання.

Для встановлення вагомості окремих ознак було виконано дискримінантний аналіз за ознаками врожайності з дерева, загальної врожайності з одиниці площі, виходу ядра (табл. 3.6 та рис. 3.5).

У просторі канонічних коефіцієнтів за центроїдними відстанями відрізнялися мінорні групи сортів Каталонський та Барселонський, різниця між сортами Косфорд та Галле була статистично недостовірною (див. рис. 3.5).

Таким чином, за результатами дискримінантного аналізу в класифікації чітко виділяються сорти Барселонський і Каталонський і змішану групу

утворюють сорти Косфорд і Галле, які є більш цікавими для дослідження з позиції інтродукції сортів фундука в зону з недостатнім зволоженням.

Таблиця 3.6

**Параметри врожайності різних сортів у моделі дискримінантного аналізу за вагомістю впливу на формування ознаки**

Показник	Wilks' - Lambda	Partial - Lambda	F-remove - (3,14)	p-value
Урожайність з дерева, кг	0,22	0,32	3,97	0,043
Урожайність, т/га	0,25	0,31	9,21	0,016
Вихід ядра,%	0,42	0,03	127,92	0,001

Глобальні зміни клімату ведуть до появи нових можливостей щодо інтродукції у виробничі посадки нових для зон недостатнього зволоження культур. Крім господарського аспекту становить також інтерес біологія онтогенетичного розвитку цієї рослини в якісно новому середовищі. Розглянуто особливості варіативності основних ознак морфометрії рослини та плоду, урожайності у чотирьох сортів фундука з метою виокремити найперспективніші форми для вирощування в умовах північної частини Степу України, які характеризуються нестабільним зволоженням через обмеження опадів у критичні для розвитку фенофази та суворими зимовими умовами, але підвищеними можливостями у надходженні сонячної радіації як кількісно, так і в часових межах.

Пом'якшення умов зими, що спостерігається останніми роками, і встановлення деякого балансу щодо літніх посух (пом'якшення у критичні періоди травень-червень) дає можливість запровадити необхідні виробничі посадки, що сприяє підвищенню виробництва фундука і вирішенню проблем з недоліками харчового раціону населення з точки зору постачання необхідних вітамінів і мікроелементів, джерелом яких є фундук. За результатами дослідження виділено перспективні генотипи серед обраного набору сортів для створення виробничих насаджень, виявлено основні механізми формування



врожайності. Визначено ключові ознаки морфометрії кущів, які здатні впливати на успішність сорту в умовах недостатнього зволоження.

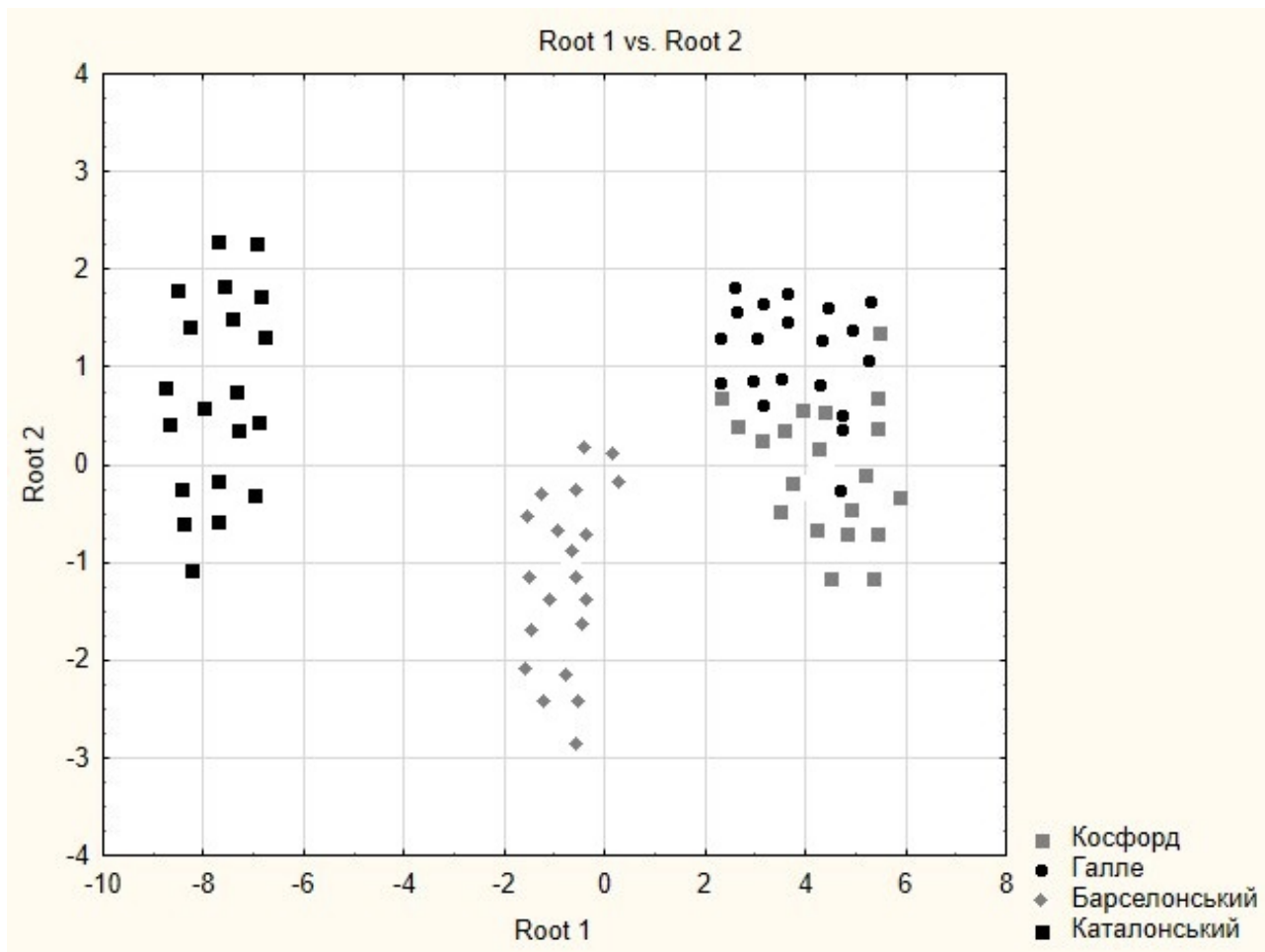


Рис. 3.5. Результати канонічних функцій для показників урожайності при диференціації за роками

Встановлено, що найкращим з позиції загального виробництва продукції є формування врожайності за рахунок наявності великих, добре виконаних горіхів. Деякі аспекти формування врожайності та можливості поєднання різних сортів, особливо в разі використання більш інтенсивних методів вирощування, становлять додатковий інтерес, як і вирощування деяких з досліджених сортів у комплексі.

Виявлено такі нові та раніше не відзначені ефекти, як прискорення плодоношення на перший рік у виробничих посівах, формування до 5-6 суцвіть

на кожен плодоносний гілку на другий-третій рік. Планується також виконати біохімічний аналіз отриманої продукції з метою виявити більш перспективні зразки в цьому напрямку, додатково дослідити особливості взаємозаміщення сортів з різним типом формування врожайності – за рахунок виконаності й крупності горіха, більшої кількості плодів з куща, змішаним чином – з метою збалансованості отримання продукції у різних варіантах залежно від кліматичних умов зони недостатнього зволоження, насамперед щодо посух та несприятливих умов перезимівлі.

Як бачимо зіставляючи дані, сорт Косфорд значно поступається за параметрами окремого горіха, при цьому домагаючись переваги за кількістю плодів, що є якісною відмінністю в механізмі формування врожайності від інших сортів. Це може бути дуже перспективним для отримання збалансованого врожаю. Ця властивість повинна краще функціонувати щодо вищої врожайності у цього сорту при тестуванні з іншими у більш несприятливих кліматичних умовах, наприклад, за наявності посух у другій половині періоду формування плодів, оскільки цей шлях надає істотні переваги в цьому за рахунок швидшого розвитку.

В умовах глобальної зміни клімату відбувається суттєве поширення екогеографії вирощування різних видів культурних рослин. Разом з пов'язаними проблемами (наприклад – підвищення інтенсивності посух) за рахунок пом'якшення суворих зимових умов, зниження суворості континентальності клімату, зміщення і пом'якшення періоду інтенсивних посух можливий також і рух сільськогосподарських культур на глобальний південь, у нові, раніше не дуже придатні для їх виробничого вирощування райони як країни так і світу, що заслуговує бути окремим напрямком дослідження у сільськогосподарській науці.

Таким чином можна вирішити проблеми, пов'язані з недостатнім виробництвом продукції таких культур на національному рівні, отримати додаткові ресурси для розвитку територій (особливо враховуючи, що будь-яка програма, пов'язана із закладкою садів, є якісно більш ефективною з позиції довготривалого сприятливого економічного ефекту для місцевого населення

регіону [1, 2] – через тривалість виробничого циклу (порівняно з польовими культурами і більшої ємності з точки зору технологій), вирішення істотного поліпшення раціону місцевого населення за рахунок збільшення вмісту корисних речовин та здешевлення джерела більш повноцінного харчування, яким є горіхи фундука через вміст необхідних мікроелементів і вітамінів.

Знову, як раніше зазначалося і для інших культур, до вкрай суттєвих зсувів у біології розвитку рослини привела істотна зміна важливих екологічних факторів, насамперед кількісна. У нашому випадку вона перейшла у якісну, передусім з погляду онтогенезу культури. Результатом цього може стати зміна уявлень про формування рослини в посадках при інтродукції.

Наявність дуже суттєвих відмінностей кількісних параметрів за режимом освітлення, температурно-вологісним режимом викликає якісні зміни в онтогенезі, насамперед у пізніх стадіях. Як правило, у ситуації зі Степом це прискорення та інтенсифікація розвитку згідно з нашими спостереженнями.

Починаючи з 2015 року в умовах регіону відзначаються суттєві зрушення щодо кліматичних ресурсів. Істотно збільшився безморозний період, тривала вегетація озимих культур, змістилися терміни сівби ярих, період несприятливих посух, які менш збігаються з критичними фазами у розвитку сільськогосподарських рослин.

У зв'язку з цим постало питання щодо розширення асортименту культур, що постійно вирощуються в регіоні для підвищення рентабельності господарювання в зоні Півночі Степу України, поліпшення раціону харчування місцевого населення.

Істотно полегшує реалізацію цих планів пошук краще адаптованих сортових ресурсів, використання біорізноманіття як на локальному, місцевому, так і загальносвітовому рівні, прояснення механізмів формування врожайності та реалізації генетично зумовлених позитивних якостей конкретного сорту.

Останнє також дозволяє створювати виробничі насадження з декількох сортів, що суттєво згладжує ризики у разі зміни кліматичних умов за роками, і навіть за настання критичних, нехарактерних несприятливих змін спад

врожайності культури може бути не таким катастрофічним. Проте в цьому випадку, як показали наші дослідження, бажано використовувати різні особливості сортів щодо розвитку та формування врожайності, а це дає можливість застосовувати більш гнучку стратегію. Формування врожайності залежить від багатьох параметрів як самої рослини, так і її плоду, що неодноразово зазначалося раніше, однак конкретний механізм іноді встановити досить складно, оскільки ключовими можуть бути залежно від генотипу досить різні набори ознак. Саме вони для кожного із сортів якраз і встановлені в цьому дослідженні. Тільки таким чином можна досягти стабільного відтворення та функціонування агроценозу сільськогосподарської культури.

Підсумовуючи, зауважимо, що перспективним в умовах зони недостатнього зволоження є використання механізму формування врожайності, що базується на здатності виробляти великі, виконані горіхи. Проте цікавим є також механізм, коли перевага досягається за рахунок кількості плодів, а не їх досконалості. Змішаний шлях видається менш перспективним. Планується вивчення можливого компенсаторного ефекту за несприятливих кліматичних умов для другого шляху, дослідження варіативності першого в різних умовах середовища, виконання біохімічного аналізу для встановлення харчової цінності врожаю кожного із сортів та особливостей формування цієї цінності в умовах зони недостатнього зволоження, вивчення стійкості до забруднення навколишнього середовища важкими металами, що є актуальним для регіону.

### **Висновки до розділу 3**

1. Ідентифіковано такі нові та раніше не відзначені ефекти біології розвитку рослин фундука, як суттєве прискорення за формуванням цілком придатних горіхів (уже на перший рік вирощування) та формування до 5-6 суцвіть на кожен плодоносну гілку на другий рік вирощування.

2. Встановлено, що наявність суттєвих відмінностей кількісних параметрів, пов'язаних з режимом освітлення, температурно-вологісним режимом, приводить до якісних змін в онтогенезі, насамперед у разі переходу в

розвитку до формування репродуктивних частин рослини. В умовах степової зони це відбивається у прискоренні та інтенсифікації розвитку, що підтверджено нашими спостереженнями.

3. Суттєво впливають на формування врожайності у дослідженої культури такі ознаки: об'єм крони, площа поверхні листя (морфометрія кущів фундука); товщина шкаралупи, середня маса одного горіха, маса сухих горіхів (100 шт.) (ознаки морфометрії горіха); урожайність з дерева, вихід з ядра.

4. Встановлено, що формування вищої врожайності може відбуватися як завдяки поліпшенню лінійно-вагових характеристик окремих горіхів (сорт Галле), так і за рахунок виходу більшої кількості горіхів (сорт Косфорд). Останнє може компенсувати та навіть привести до поліпшення порівняно з іншими за механізмом сортами (сорт Барселонський), тому вважаємо за доцільне застосування в насадженнях комплексу сортів з обома механізмами формування врожайності.

5. Рекомендується до використання сорт Галле, який формує врожайність за рахунок вищих лінійних та вагових параметрів окремих горіхів. Можливе його використання в комплексі із сортом Косфорд, який формує врожайність завдяки більшій кількості горіхів на кущ, що дозволяє знівелювати негативні тенденції на рівні формування врожаю підсумково, а за рахунок агроecологічної варіативності суттєво підвищити сталість сформованого агроценозу виробничих насаджень фундука.

6. Ураховуючи показники мінливості окремих ознак за усіма трьома групами (морфометрія куща, горіха та безпосередньо врожайні якості), сорт Барселонський демонструє суттєвий поліморфізм, має неоднорідний біотиповий склад та менш придатний до використання у виробничих насадженнях. Менш виражена, але достатньо вагома відповідна тенденція й у сорту Каталонський. Загалом більша мінливість за сортом Барселонський характерна для першої та третьої групи, за іншими сортами градація мінливості знижується з першої (найвища) до третьої (нижча) групи.

Основні положення змісту цього розділу викладені в наукових працях:

1. Nazarenko M., Simchenko O. Diversity of hazelnut varieties and changes in plant development during introduction in the semi-arid zone. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31 (3). P. 313–318. Режим доступу DOI: 10.15421/012336

2. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Півночі степу України. Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження : кол. моногр. ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: ПП «Астрая», 2021. С. 150–160.

3. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Північного Степу України. *Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності* : матеріали I Міжнар. науково-практ. конф. (Полтава, 5 трав. 2021). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. С. 78–80.

4. Simchenko O., Nazarenko M., Izhboldin O. Productivity of hazelnut varieties under steppe climatic conditions. *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи* : матеріали Міжнародної науково-практ. конф., присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантелєєва та М. М. Родігіна (м. Харків, 20–21 жовт. 2022 р.). Харків, 2022. С. 234–235.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ АКТИВНОСТІ СВІТЛА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ ФУНДУКА В ЗОНІ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ

Екологічне середовище, яке містить такі фактори, як водний, світловий, тепловий режими, склад ґрунтового розчину та склад повітря в ґрунті, є визначальним для здоров'я та розвитку рослин. Прямі та непрямі впливи цих факторів визначають різноманіття умов, у яких рослини можуть рости [6, 64]. Такі фактори, як водний та світловий режими, напряду взаємодіють з рослиною, впливаючи на її фізіологічні процеси. Непрямі фактори, зокрема рельєф та рівень ґрунтових вод, також відіграють важливу роль у формуванні середовища для рослин. До того ж важливо враховувати адаптацію рослин до змін у середовищі протягом часу [23, 53].

Рослини розвивають різноманітні пристосування до різних кліматичних, ґрунтових та біологічних умов, у які вони потрапляють. Це допомагає їм виживати та адаптовуватися до різних агроєкосистем [22, 51]. Дослідження взаємодії між рослинами та їхнім середовищем, враховуючи едафічні та кліматичні фактори, є важливим для збереження біорізноманіття та розуміння природних процесів у екосистемах [14, 15, 49].

Одним із чинників, який за звичайних умов обмежує врожайність фундука в традиційних умовах вирощування, є освітленість насаджень [25, 36, 37, 158]. Як уже було зазначено в попередніх розділах нашої роботи, інколи саме для цієї культури цей показник є лімітуючим в умовах традиційних регіонів вирощування. Водночас у зоні Степу України інтенсивність потоку світла значно підвищується. Важливою стає оптимальна форма крони для максимально можливого використання цього чинника [76].

У таблиці 4.1 наведено дані щодо освітленості різної частини крони та ефективності листової поверхні у використанні світлового потоку.

Таблиця 4.1

**Аналіз освітленості по кроні сортів фундука ( $x=27, \pm SD$ ), 2020 – 2022 рр.**

Сорт	Верхня третина		Центральна частина		Нижня третина	
	люкс	%	люкс	%	люкс	%
Косфорд	9267±240 <sup>a</sup>	11,6	6567±198 <sup>a</sup>	9,5	3200±234 <sup>a</sup>	4,0
Галле	8133±234 <sup>a</sup>	10,1	4733±216 <sup>b</sup>	5,9	3433±301 <sup>a</sup>	4,3
Барселонський	10200±189 <sup>a</sup>	11,6	7633±278 <sup>c</sup>	7,5	4367±317 <sup>b</sup>	5,0
Каталонський	14200±298 <sup>b</sup>	16,9	8100±212 <sup>c</sup>	9,7	4200±297 <sup>b</sup>	5,0

Примітка: різниця статистично достовірна за  $P_{0,05}$

Першим показником у дослідженні була ефективність верхньої третини крони у використанні надходження світлової енергії. Так, згідно з даними таблиці 4.1 встановлено, що він варіював залежно від сорту: від 8133 люксів у сорту Галле до 14200 люксів у сорту Каталонський. Тобто від 10,1 % у сорту Галле до 16,9 % у сорту Каталонський залишалось поза використанням сформованої листової поверхні у крони. Встановлено, що статистично достовірно за неефективністю в гірший бік відрізнявся сорт Каталонський ( $F = 9,98$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ) за попарного порівняння за тестом Т'юкі. Достовірної різниці між іншими сортами не було, спадна градація за ефективністю за сортами має такий вигляд: Галле → Косфорд → Барселонський → Каталонський (додаток С).

Згідно з наведеною на рис. 4.1 диференціацією за сортами можна сказати, що найбільш варіативним у межах сортової мінливості був генотип Барселонський, у якого ця ознака була середньо мінливою (коефіцієнт варіації становив 8 %), у той час як у інших сортів загалом показник ефективності варіював слабо. Причинами такої різниці могли бути як сортові відмінності, так і проблеми з формуванням крони саме в посадок цього сорту, що не було виявлено при візуальному спостереженні польових дослідів.



Ще одним вагомим чинником ефективності використання сонячної радіації могла бути річна мінливість, вказана на рис. 4.2. Можна побачити, що вона не була достовірною й мінливості за роками не спостерігалось, хоча й вона в межах кожного року була доволі значущою.

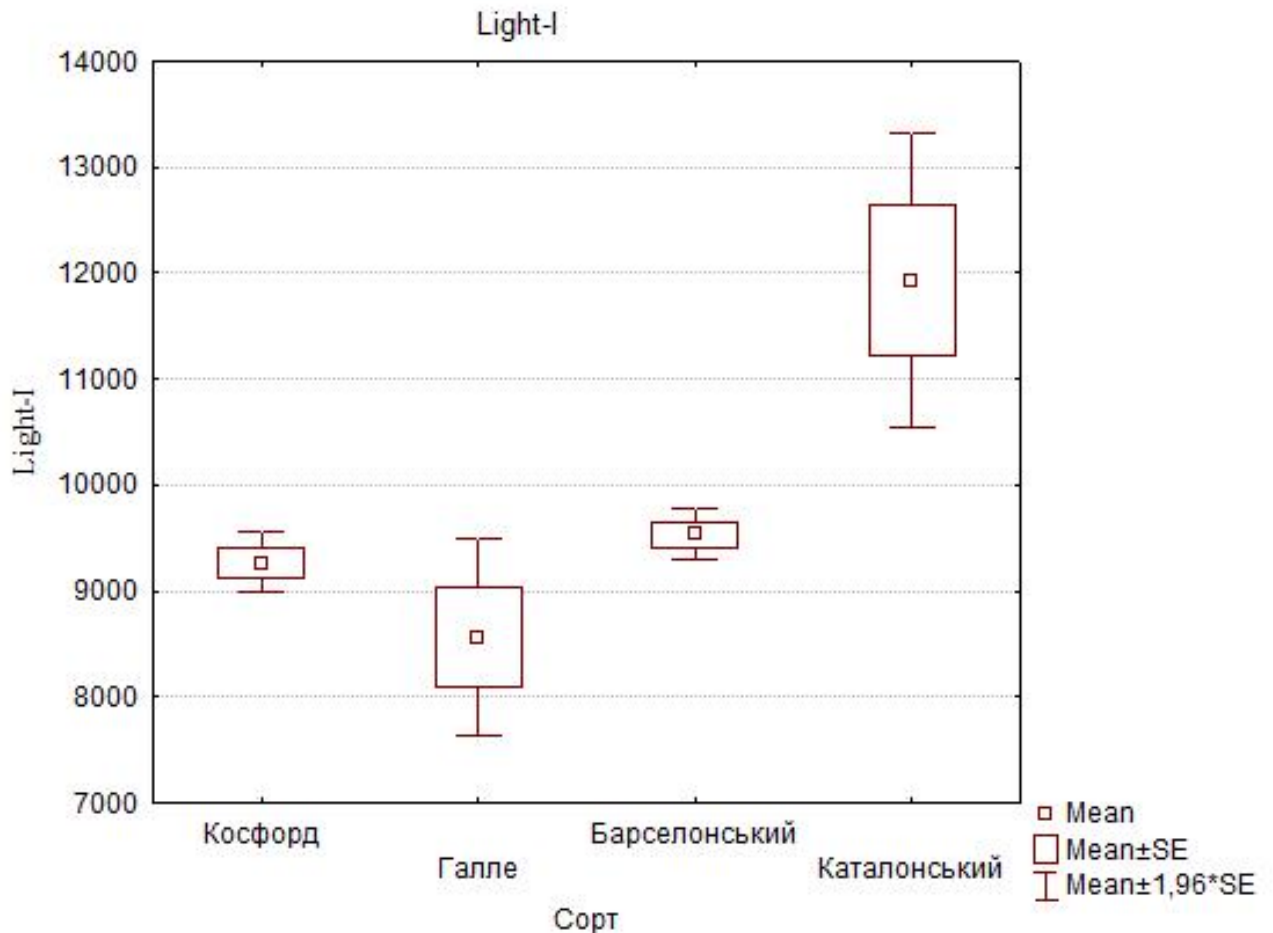


Рис. 4.1. Результати аналізу за фактором сорт. Ефективність верхньої третини крони

Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки деяка частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки, для чого було виконано двофакторний аналіз з визначенням генотип-середовищної взаємодії.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяла тільки одна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 8,84$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,003$ ), тоді як фактор рік не вплинув на мінливість ефективності використання сонячного світла ( $F = 0,47$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,62$ ).

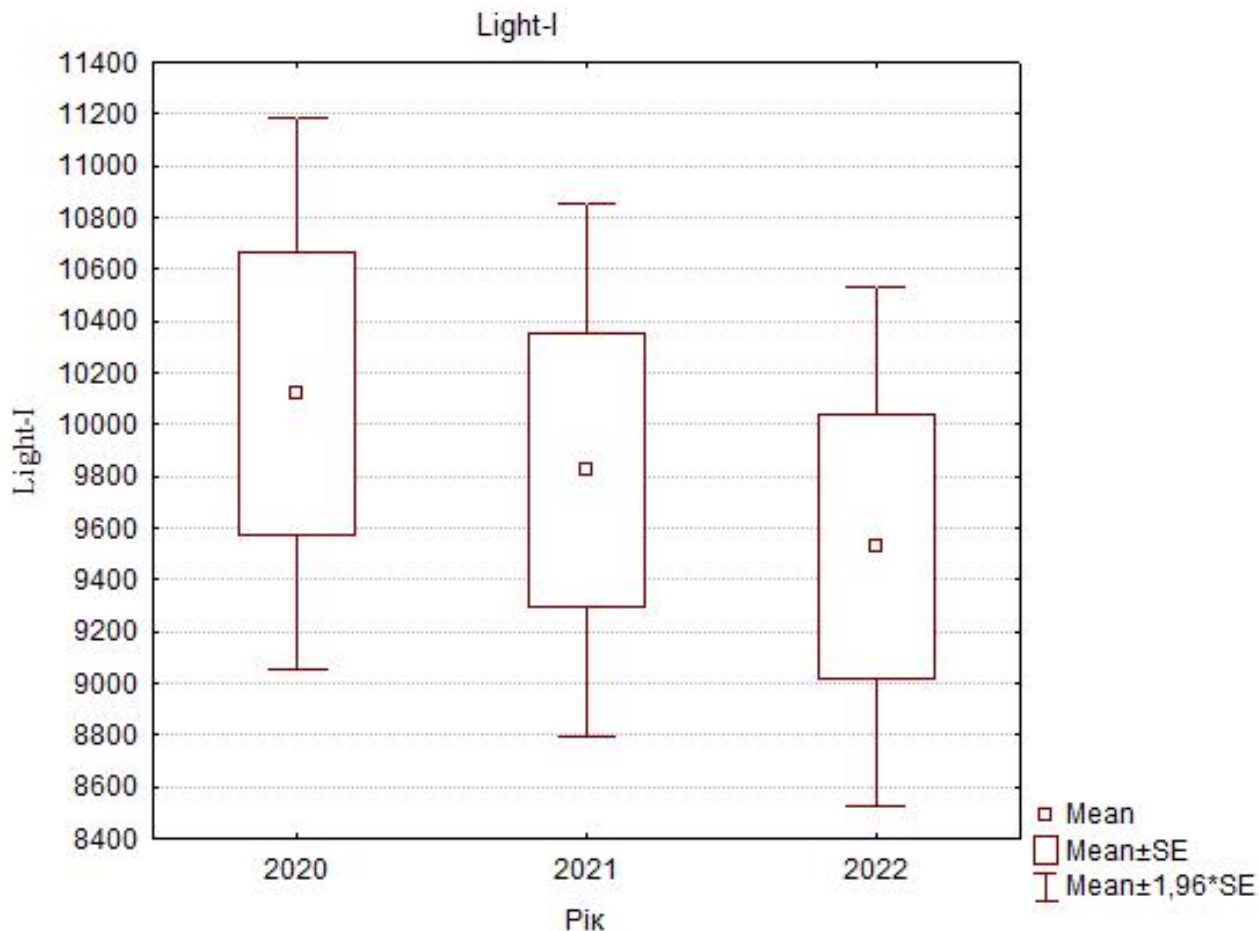


Рис. 4.2. Результати аналізу за фактором умов року. Ефективність верхньої третини крони

Загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік ( $F = 0,36$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,79$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їхня наявність) з більш суттєвим використанням сонячного світла може бути перспективним та сорти цілком

відповідають умовам регіону – як за своїми особливостями, так і за елементами напівінтенсивного обрізання, яке орієнтовано на максимальне формування листкової поверхні. Зумовлена ця ознака в наших дослідках була лише генотипово, причому сорт Барселонський, менш продуктивний, демонстрував значуще меншу ефективність у використанні сонячної радіації за верхньою третиною крони.

Наступним показником у дослідженні була ефективність центральної частини крони щодо використання надходження світлової енергії. Так, згідно з даними таблиці 4.1 встановлено, що він варіював залежно від сорту від 4733 люксів у сорту Галле до 8100 люксів у сорту Каталонський. Тобто від 5,9 % у сорту Галле до 9,7 % у сорту Каталонський сформованої листкової поверхні біля крони залишалося поза використанням).

Помітно, що ефективність використання суттєво виросла та відрізняється статистично достовірно ( $F = 11,34$ ;  $F_{0,05} = 4,02$ ;  $P < 0,01$ ). Встановлено, що статистично достовірно за ефективністю в кращий бік відрізнялися сорти Галле ( $F = 11,34$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ) та Косфорд ( $F = 7,18$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P = 0,02$ ) за попарного порівняння за тестом Т'юкі. Достовірної різниці між іншими сортами не було, спадна градація за ефективністю за сортами має вигляд: Галле → Косфорд → Барселонський → Каталонський.

Згідно з наведеною на рис. 4.3 диференціацією за сортами можна сказати, що найбільш варіативним у межах сортової мінливості був генотип Галле, у якого ця ознака була середньо мінливою (коефіцієнт варіації становив 8 %), у той час як у інших сортів загалом показник ефективності варіював слабо. Причинами такої різниці могли бути як сортові відмінності, так і проблеми з формуванням крони саме в посадок цього сорту, що не було виявлено при візуальному спостереженні польових дослідів.

Ще одним вагомим чинником ефективності використання сонячної радіації могла бути річна мінливість, яка вказана на рис. 4.4. Можна пересвідчитися, що вона не була достовірною і мінливості за роками не спостерігалася, хоча й вона в межах кожного року була доволі значущою.

Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки, для чого було виконано двофакторний аналіз з визначенням генотип-середовищної взаємодії.

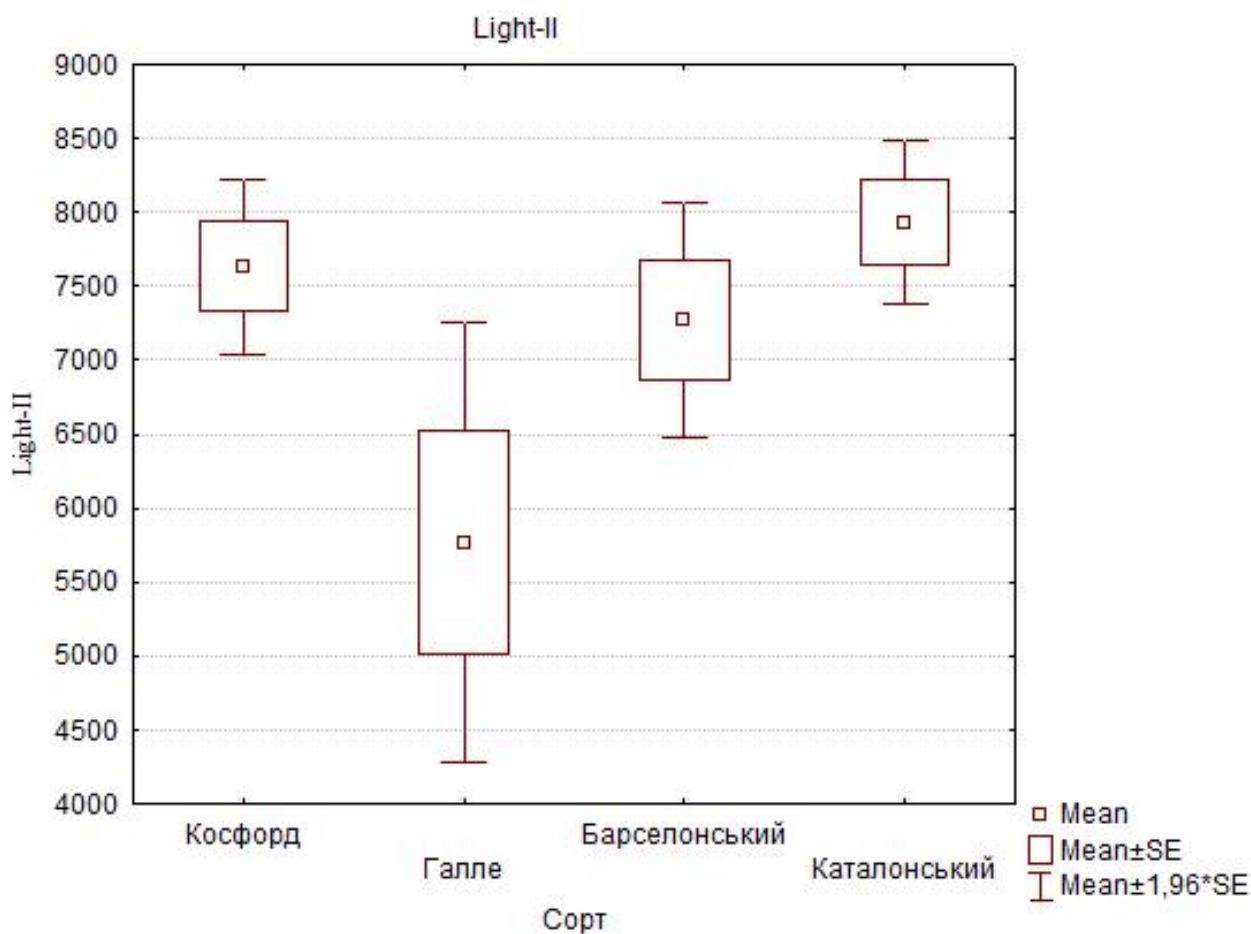


Рис. 4.3. Результати аналізу за фактором сорт. Ефективність центральної частини крони

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяла тільки одна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був вагомим, з достатньою вірогідністю ( $F = 4,08$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P = 0,0033$ ), тоді як фактор рік не вплинув на

мінливість ефективності використання сонячного світла ( $F = 0,21$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,82$ ).

Загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік ( $F = 0,01$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,98$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим використанням сонячного світла може бути перспективним і сорти цілком відповідають умовам регіону – як за своїми особливостями, так і за елементами напівінтенсивного обрізання, яке орієнтовано на максимальне формування листової поверхні.

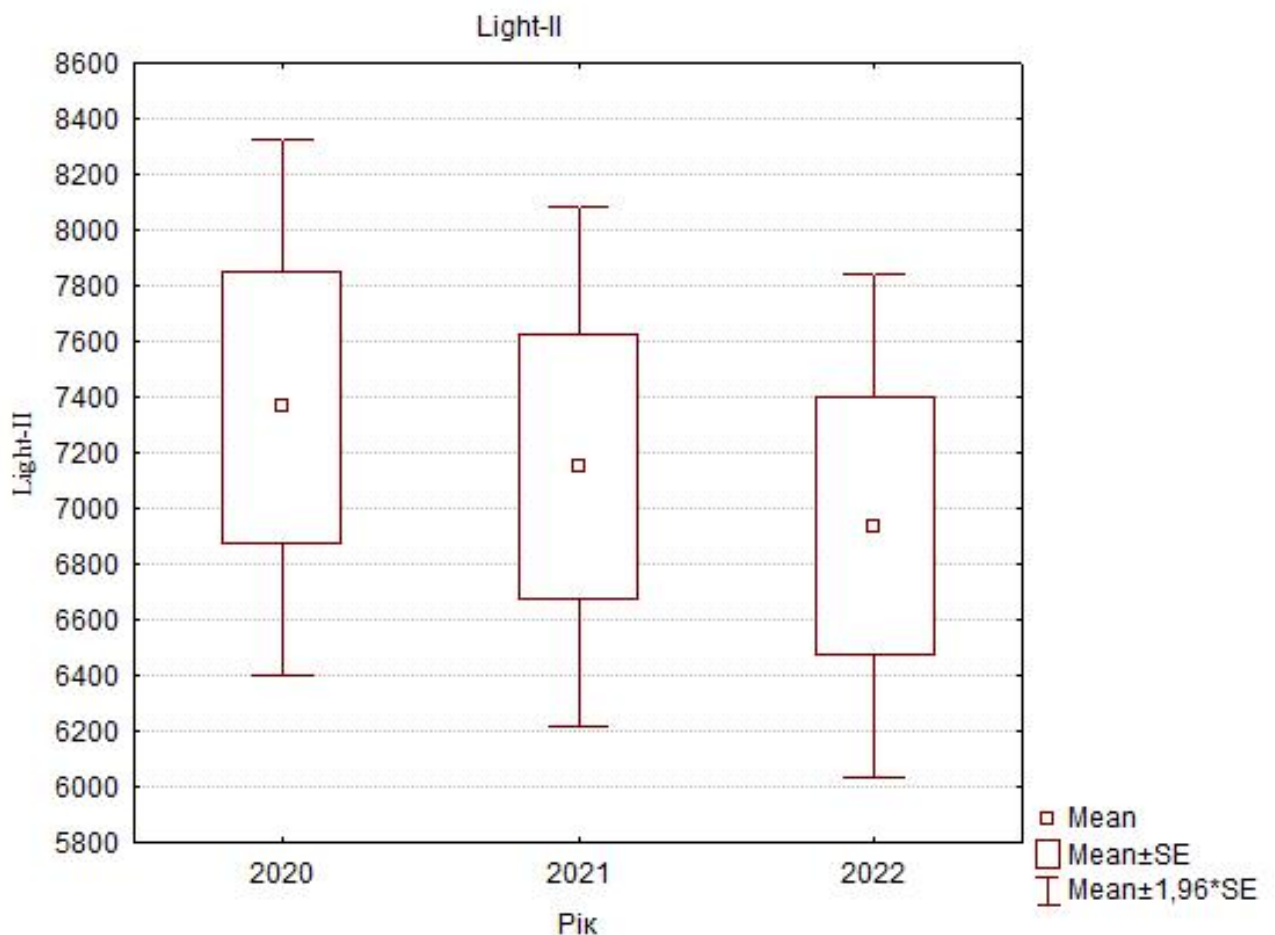


Рис. 4.4. Результати аналізу за фактором умов року. Ефективність центральної частини крони

Зумовлена ця ознака в наших дослідках була лише за сортовими особливостями, причому менш продуктивні сорти Барселонський та Каталонський демонстрували значуще меншу ефективність у використанні сонячної радіації за центральною частиною крони, але загалом використання було більш інтенсивним.

Третім з розглянутих показників у дослідженні була ефективність використання надходження світлової енергії в нижній третині крони. Так, згідно з даними таблиці 4.1, встановлено, що він варіював залежно від сорту від 3200 люксів у сорту Косфорд до 4367 люксів у сорту Барселонський. Тобто від 4,0 % у Косфорд до 5,9 % у сорту Каталонський залишалося поза використанням сформованої листової поверхні у крони. Ефективність зростає ще більш значуще ( $F = 14,11$ ;  $F_{0,05} = 4,02$ ;  $P < 0,01$ ). Встановлено, що статистично достовірно за ефективністю в кращий бік відрізнялися сорти Косфорд ( $F = 11,24$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ) та Галле ( $F = 10,63$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ) за попарного порівняння за тестом Т'юкі. Достовірної різниці між іншими сортами не було, спадна градація за ефективністю по сортах така: Косфорд → Галле → Барселонський → Каталонський.

Згідно з наведеною на рис. 4.5 диференціацією по сортах можна сказати, що й найбільш варіативним у межах сортової мінливості був генотип Косфорд, у якого ця ознака була середньомінливою (коефіцієнт варіації становив 6 %), у той час як у інших сортів загалом показник ефективності варіював слабо. Причинами такої різниці могли бути як сортові відмінності, так і проблеми з формуванням крони саме в посадок цього сорту, що не було виявлено при візуальному спостереженні польових дослідів.

Ще одним вагомим чинником ефективності використання сонячної радіації могла бути річна мінливість, яка вказана на рис. 4.6. Можна побачити, що вона не була достовірною і мінливості за роками не спостерігалось, хоча й вона в межах кожного року була доволі значуща.

Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції

генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки, для чого було виконано двофакторний аналіз з визначенням генотип-середовищної взаємодії.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяла тільки одна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 4,45$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P = 0,003$ ), тоді як фактор рік не вплинув на мінливість ефективності використання сонячного світла ( $F = 0,36$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,70$ ).

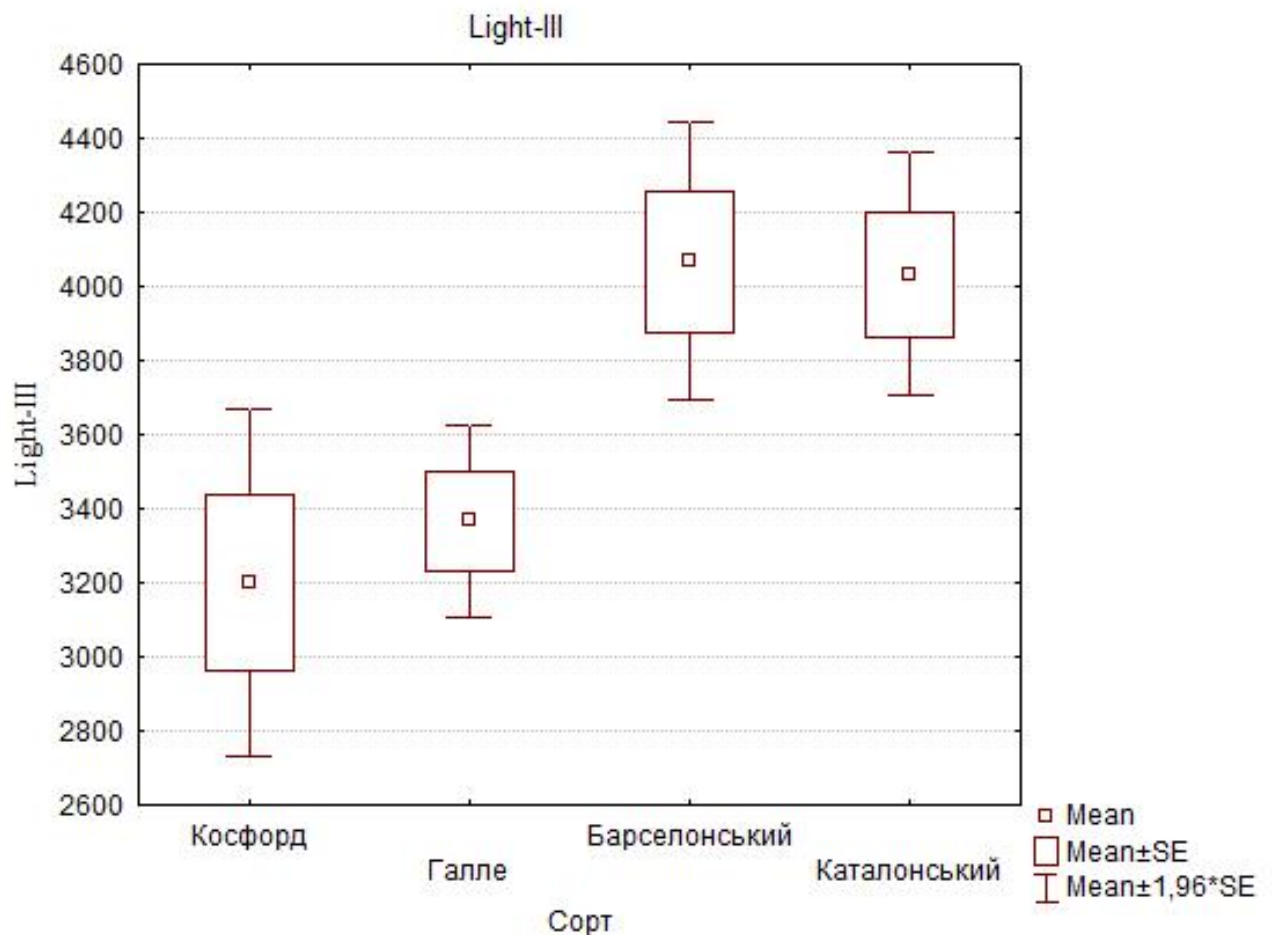


Рис. 4.5. Результати аналізу за фактором сорт. Ефективність нижньої третини крони

Загальна варіативність сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилася недостатньою для визначення взаємодії факторів сорт та рік ( $F =$

0,01;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,97$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим використанням сонячного світла може бути перспективним та сорти цілком відповідають як за своїми особливостями, так і за елементами напівінтенсивного обрізання, яке орієнтовано на максимальне формування листової поверхні, умовам регіону. Зумовлена ця ознака в наших дослідках була лише генотипово, причому сорти Барселонський та Каталонський, менш продуктивні, демонстрували значуще меншу ефективність у використанні сонячної радіації за верхньою третиною крони, але загалом ефективність у використанні суттєво зростає.

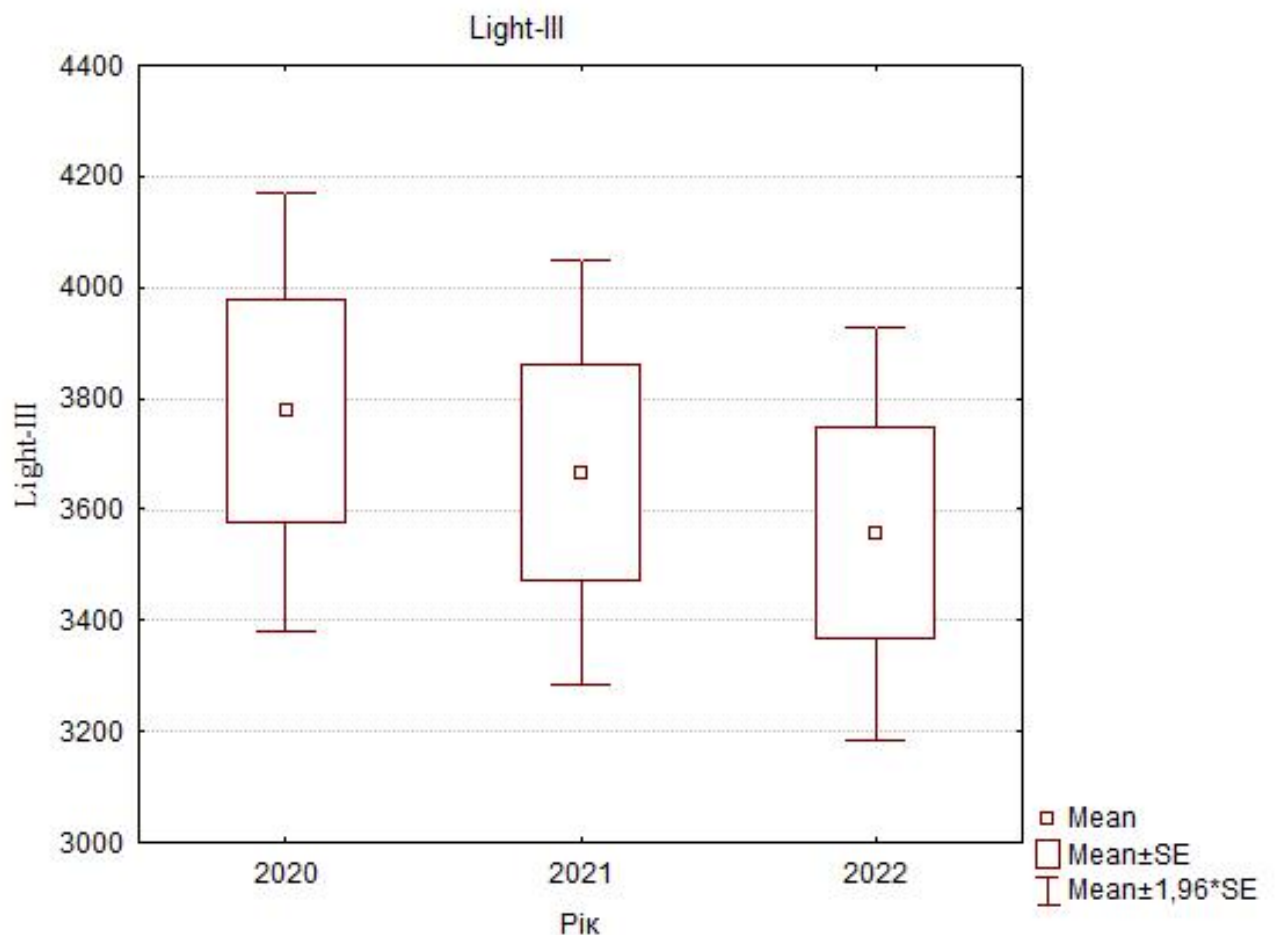


Рис. 4.6. Результати аналізу за фактором умов року. Ефективність нижньої третини крони



Таким чином більш ефективно сонячну енергію використовує центральна частина крони, тобто її параметри є більш перспективними з огляду на формування врожайності та більш пов'язані із цією ознакою. Верхня третина крони значуще менш ефективно працює переважно в не таких врожайних сортів Барселонський та Каталонський, досить негативно за усіма ознаками щодо використання сонячної активності відзначився останній. У сорту Галле найбільш інтенсивно над поглинанням сонячної радіації працює центральна частина крони, така особливість дозволяє суттєво позитивно впливати на формування врожаю. До нижньої третини крони в не таких врожайних генотипів Барселонський та Каталонський надходить значуще більше сонячної радіації та вона більш ефективно працює вже в сорту Косфорд. Тобто, можна зауважити, що ефективність поглинання сонячної енергії є значущим параметром, який впливає в майбутньому на врожайність навіть на рівні моніторингових досліджень. Більш ефективними виявилися сорти Косфорд та Галле, які й показали в попередньому розділі вищу продуктивність.

Додатково проводили вимірювання фотосинтетичної активності за показником SPAD та вмістом хлорофілу в листовій поверхні. Знову позитивно з великими відривом виділилися сорти Косфорд та Галле, між якими не було значуще статистично достовірної різниці. Фактично єдиним (хоча й ключовим параметром), за яким відрізнялися ці сорти, була врожайність з гектара.

Таблиця 4.2

#### Фотосинтетична активність за умовами 2020 – 2022 рр. у сортів фундука

Сорт	SPAD	SD	Chl, тис. мкмоль/см <sup>2</sup>	SD
Косфорд	49,91 <sup>a</sup>	1,11	658,46 <sup>a</sup>	10,69
Галле	50,70 <sup>a</sup>	2,75	676,50 <sup>a</sup>	20,29
Барселонський	41,13 <sup>b</sup>	2,19	476,10 <sup>b</sup>	17,02
Каталонський	39,32 <sup>b</sup>	2,00	442,52 <sup>b</sup>	15,92

Примітка: різниця статистично достовірна за  $P_{0,05}$  за факторним аналізом

Останнім окремим показником у дослідженні була активність фотосинтезу, обчислена відповідно до приладу за SPAD. Так, згідно з даними таблиці 4.2. встановлено, що він варіював залежно від сорту від 39,32 у сорту Каталонський до 50,70 у сорту Галле. Тобто концентрація хлорофілу варіювала від 442 тис. мкмоль/см<sup>2</sup> у сорту Каталонський до 676 тис. мкмоль/см<sup>2</sup> у сорту Галле, що визначала активність фотосинтетичного апарату крони (вона безпосередньо пов'язана з продуктивністю). Встановлено, що статистично достовірно за активністю фотосинтезу в кращу сторону відрізнялися сорти Галле ( $F = 12,41$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ) та Косфорд ( $F = 9,98$ ;  $F_{0,05} = 12,02$ ;  $P < 0,01$ ) за попарного порівняння за тестом Т'юкі. Достовірної різниці між іншими сортами не було, спадна градація за ефективністю по сортах: Галле → Косфорд → Барселонський → Каталонський.

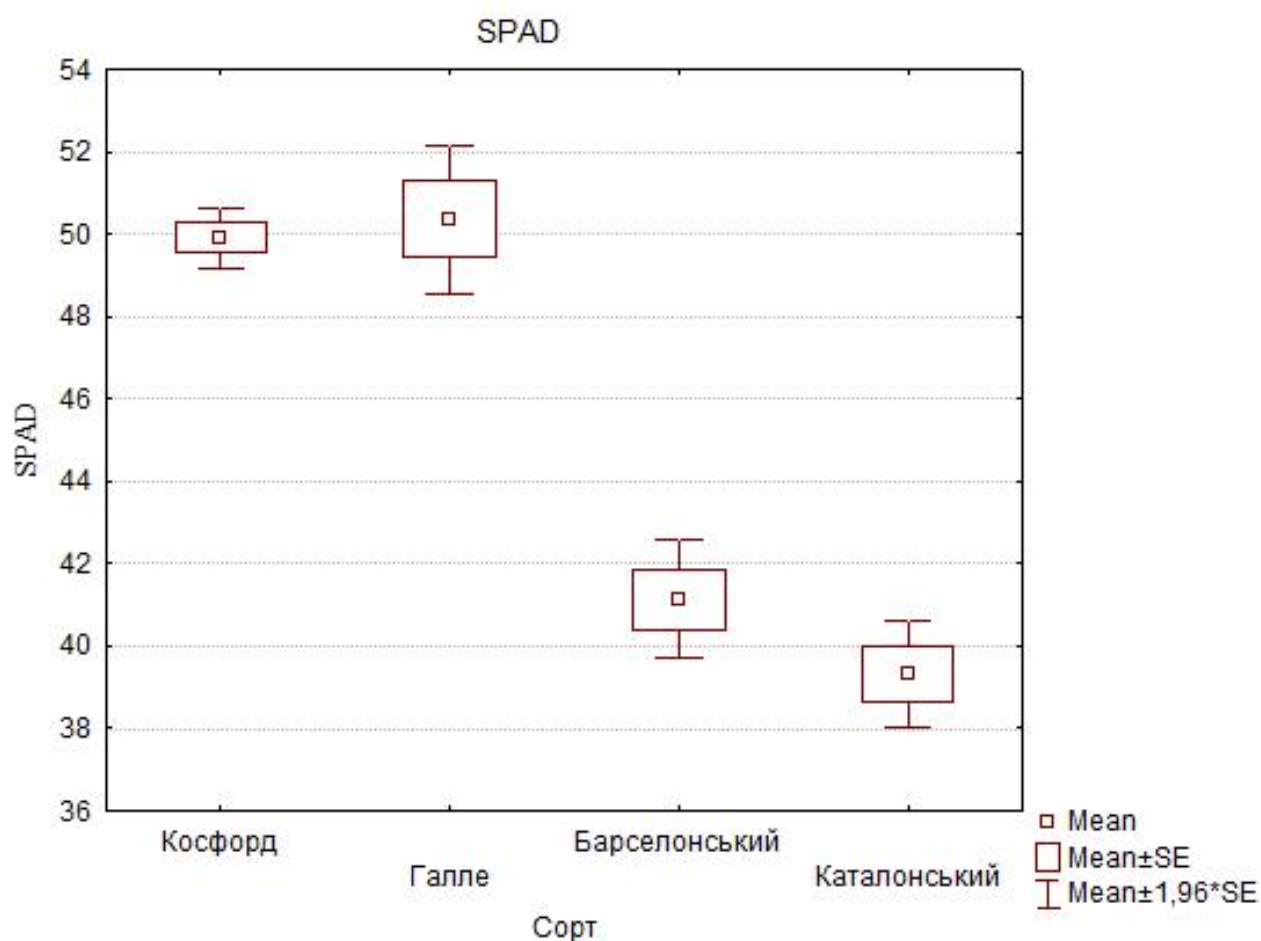


Рис. 4.7. Результати аналізу за фактором сорту. Фотосинтетична активність

Згідно з наведеною на рис. 4.7 диференціацією за сортами можна сказати, що найбільш варіативним у межах сортової мінливості був генотип Галле, але навіть у нього ця ознака була слабомінливою (коефіцієнт варіації становив 3 %), у інших сортів загалом показник фотосинтетичної активності також варіював слабо. Це остаточно підтверджує, що й вище досліджені параметри все ж таки залежали виключно від сортових особливостей і встановлює тісний зв'язок між ознаками ( $r=0,87$ ).

Ще одним вагомим чинником фотосинтетичної активності могла бути річна мінливість, яка вказана на рис. 4.8. Можна побачити, що вона не була достовірною та мінливості за роками не спостерігалось, хоча й вона в межах кожного року була доволі значущою.

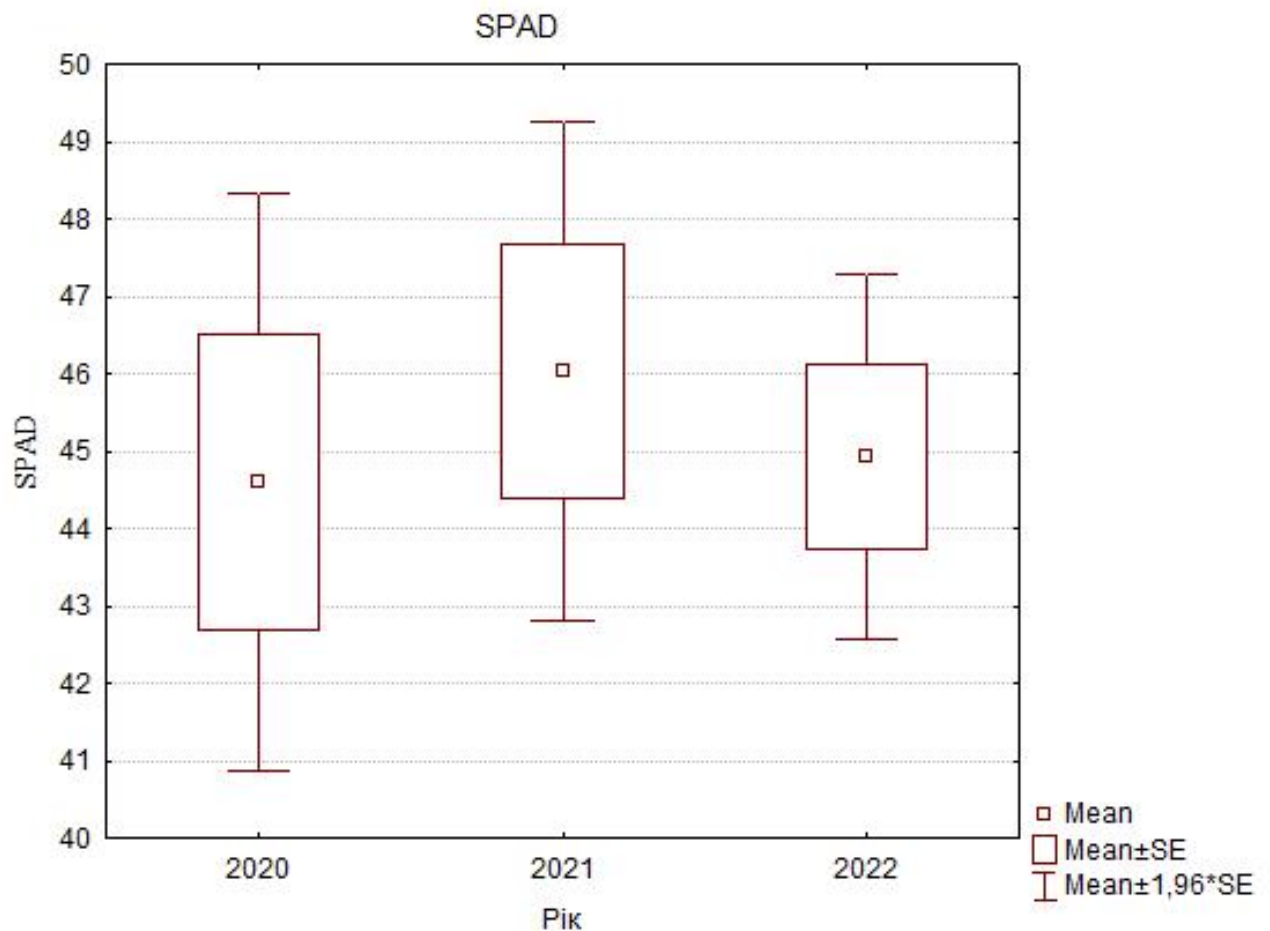


Рис. 4.8. Результати аналізу за фактором умов року. Фотосинтетична активність

Наступним питанням, яке потребує розгляду, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки, для чого було виконано двофакторний аналіз з визначенням генотип-середовищної взаємодії.

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяла тільки одна складова (тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 74,69$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік не вплинув на мінливість фотосинтетичної активності листкової поверхні ( $F = 1,70$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,20$ ).

Загальна варіативність сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилася недостатньою для визначення взаємодії факторів сорт та рік ( $F = 1,29$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,29$ ). Встановлені достовірні межі мінливості ознаки фотосинтетичної активності листкової поверхні крони показали, що генетичний поліморфізм за цією ознакою мінімальний, варіативність навіть у випадку найменш стабільного генотипу Галле незначна. Ознака перспективна для генетичного поліпшення, вплив чинників зовнішнього середовища на її формування недостовірний. Продуктивні сорти Галле та Косфорд демонструють суттєво вищий рівень цього параметра.

Для визначення природи впливу окремих параметрів було виконано загальний дискримінантний аналіз, який встановив (табл. 4.3), що за мінливістю окремих показників залежно від сортових особливостей та за впливом на продуктивність виділилися такі параметри, як SPAD та ефективність використання сонячної радіації саме центральною частиною крони (освітленість-2). Такі дані частково узгоджуються з попередніми, ідентифікаційна сила за сортами залежно від спадкових потенцій наведена за результатами дискримінантного аналізу на рис. 4.9.

Таблиця 4.3

## Дискримінантний аналіз моделі фотосинтетичної активності

Змінні в моделі	Коефіцієнт Уїлкса $\lambda$	F-remove (3,50)	p-level
SPAD	0,038	5,64	0,046
Освітленість-1	0,017	1,64	0,292
Освітленість-2	0,032	4,62	0,049
Освітленість-3	0,012	0,73	0,575

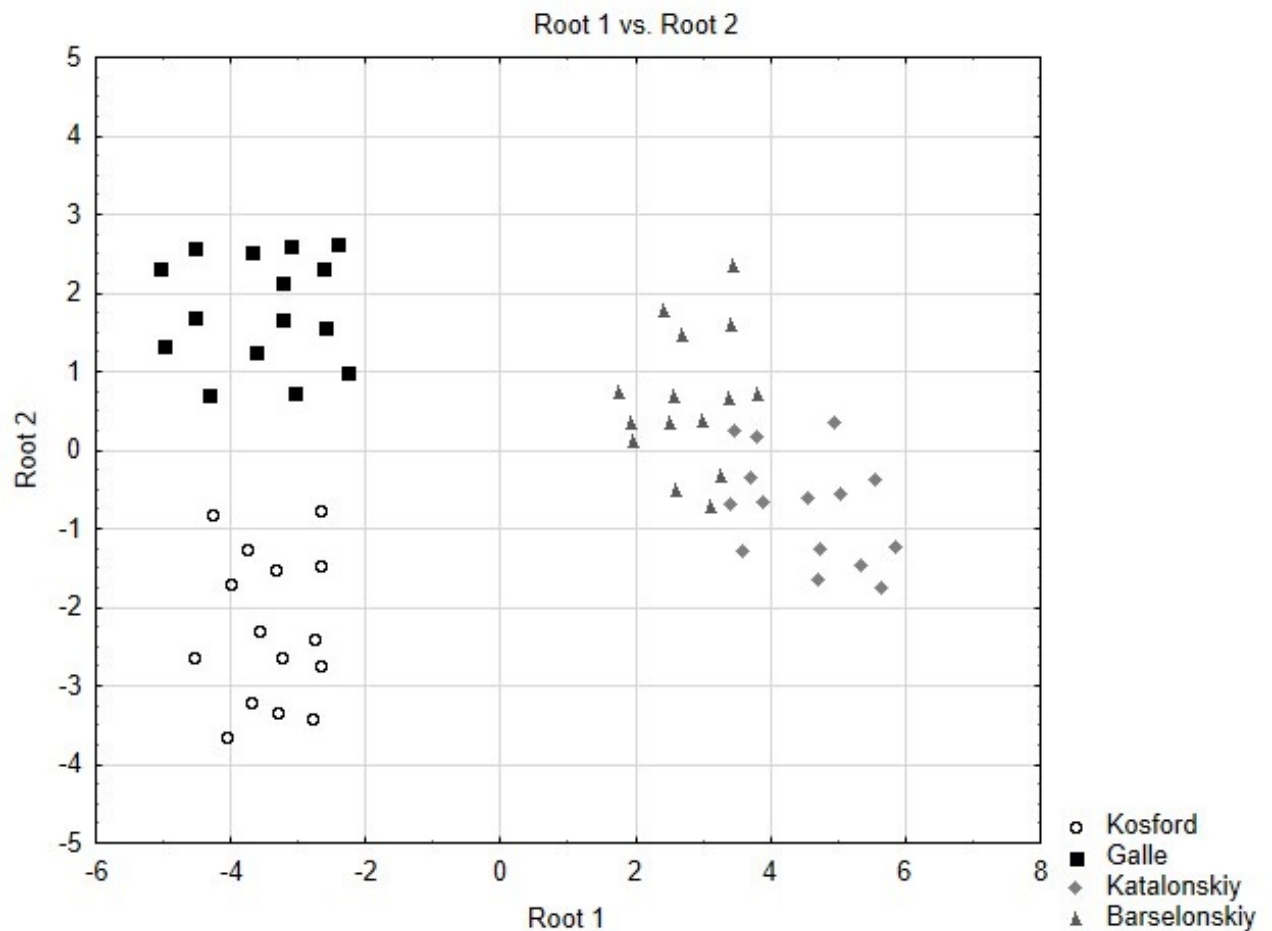


Рис. 4.9. Результати аналізу класифікації сортів у факторному просторі залежно від вивченого чинника

Залежно від впливу для формування продуктивності SPAD та ефективність у використанні світлового потоку для центральної частини крони повністю показали сортову диференціацію матеріалу. Усі інші параметри були відкинуті як недостовірні.

За результатами аналізу відмінностей за сортами в просторі коефіцієнтів канонічних функцій знаходимо, що за ефективністю використання надходження сонячної енергії сорти, які досліджували в польовому досліді, можна поділити на три групи (що демонструє в комплексі досліджених факторів принципово нову картину взаємодії чинника зовнішнього середовища зі спадковими потенціями суб'єкта дії). До першої групи належали менш врожайні сорти Каталонський та Барселонський, які в просторі канонічних функцій, тобто за мінливістю при дії досліджуваного фактора, статистично достовірно не відрізнялися один від одного. Наступні дві групи мінорні, тобто склалися з одного сорту: окремо виділилися сорти Косфорд та Галле. Тобто можна вважати, що за характеристиками у факторному просторі вони відрізняються за механізмами формування врожайності в цьому аспекті.

З якими конкретно відмінностями це пов'язано – встановити доволі важко, але можна припустити що, по-перше, це пов'язано з відмінностями у ознаці ефективності використання сонячної енергії центральною частиною крони, де сорт Галле показав суттєво більшу мінливість та був віднесений до середніх за варіативністю форм, тобто з можливою наявністю інших біотипів у його складі, які суттєво відрізняються за цією ознакою. По-друге, залишається можливість комплексного підпорогового впливу двох ознак, які не діяли вагомо за моделлю факторної взаємодії, але сумарно могли здійснити значущий вплив.

Підсумовуючи вищенаведені дані, можна сказати, що, з огляду на активність поглинання світлової енергії з акумуляцією її у підвищення врожайності, більш вдалим до вирощування в зоні інтродукції культури за можливостями ефективного використання сонячної радіації, активністю листового апарату крони у формуванні продуктивності та загальної фотосинтетичної активності листового апарату є сорти Галле та Косфорд

(переважно перший). Здатності до ефективного використання світлової енергії є повністю опосередкованими генетичними потенціями та вагомо не залежать від зовнішніх умов року випробування. Вирішальне значення має активність за цими показниками центральної частини крони, і надійним параметром, який пов'язаний з формуванням врожайності, є фотосинтетична активність листового покриву кущів фундука. Використання генотипу Барселонський для впровадження у виробничі насадження фундука в підзоні півночі Степу України є недоцільним, як, власне, і генотипу Каталонський, але через його сортові особливості все ж треба провести додаткове дослідження реалізації особливостей цього сорту в умовах Степу. Для моніторингу врожайності вирощуваних форм та визначення потенційної цінності сортів для вирощування в умовах регіону варто використовувати показники фотосинтетичної активності за SPAD та ефективності поглинання сонячної енергії центральною частиною крони.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Активність рослин фундука у використанні сонячної радіації навіть за умов високого рівня цього фактора вагомо впливає на формування продуктивності та залежить від генотипових потенцій кожного сорту. Сорти демонструють переважно дуже низький поліморфізм за цими ознаками.

2. Згідно з виконаним аналізом вагомо на врожайність фундука впливали такі досліджені параметри, як загальна фотосинтетична активність листового апарату та ефективність його ж у використанні світлового потоку в центральній частині крони. Ці ознаки були лише слабоваріативними.

3. Вищу активність і, таким чином, вищу потенційну продуктивність в умовах дослідження продемонстрували сорти Галле та Косфорд з незначними відмінностями між собою. Сорти Барселонський та Каталонський статистично значуще поступалися за всіма параметрами.

4. Доведена можливість використання вимірів фотосинтетичної активності за SPAD як моніторингового методу для первинної ідентифікації потенційно більш продуктивних форм серед сортів фундука.

Основні положення змісту цього розділу викладено в наукових працях:

1. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Формування продуктивності у фундука в залежності від активності фотосинтезу. *Аграрні інновації*. 2022. № 15. С. 53–58. Режим доступу: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.8>

2. Nazarenko M., Simchenko O. Activity of photosynthesis as factor for hazelnuts productivity. *Матеріали VI Міжнародної науково-прак. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур»* (м. Дніпро, 16–17 листоп. 2022 р.). Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 3-4.



## РОЗДІЛ 5

### **ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ ІНТРОДУКОВАНИХ СОРТІВ ФУНДУКУ ЯК ДЖЕРЕЛА ОТРИМАННЯ ЦІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УМОВАХ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТИПІВ МІНЛИВОСТІ**

#### **5.1. Аналіз вмісту та мінливість органогенних елементів у досліджуваних сортах фундука**

Забезпечення населення повноцінним харчуванням, особливо з урахуванням критично важливих елементів, є актуальною проблемою. Багато сільськогосподарських культур можуть бути обмеженими щодо забезпечення необхідної кількості в харчовому раціоні [65]. Одним із способів вирішення цієї проблеми може бути розширення біорізноманіття культур у виробництві або підвищення вмісту корисних елементів у вже вирощуваних культурах [66]. Наприклад, деякі сорти рослин можуть бути створені з метою збільшення вмісту певних речовин.

Це комплексна проблема, і її вирішення потребує комбінації наукових досліджень із селекції рослин, змін у сільському господарстві та впровадженні освітніх програм щодо збалансованого харчування [67, 68, 70].

Використання горіхів фундука як харчової добавки, яка стала постійним компонентом раціону в багатьох розвинених регіонах, вказує на підвищення усвідомлення про користь цього продукту для здоров'я. Цей тренд також свідчить про зміну способу харчування та підходу до здорового способу життя у сучасному світі [71]. Люди стають більш уважними до складу свого раціону та активно шукають здорові альтернативи для збалансованого харчування. Горіхи фундука містять багато корисних жирів, білка, вітамінів, мінералів та антиоксидантів, тому їх регулярне вживання має позитивний вплив на здоров'я [72].

Обсяги вирощування фундука як перспективної горіхоплідної культури постійно зростають, але поки що зростання на досягає теоретично обчисленої

межі для оптимальної структури споживання та еколого-географічного районування [71]. Також обсяги вирощування дуже залежать від якості продукції [102], причому критична картина в цій галузі переважно для країн, що розвиваються, де закупівельні ціни на вирощену продукцію доволі слабо, а іноді й зовсім не корелюють з якістю продукції, через що конкурентоспроможність цих країн на зовнішньому ринку та для переробної промисловості суттєво поступається країнам, що вирощують продукцію-аналоги [75, 79].

Збільшення ціни на фундук на 10-15% щорічно до 2035 року може бути віддзеркаленням зростаючого попиту на цей продукт через його корисні властивості та розширення споживчої бази як у розвинених, так і в країнах, що розвиваються [93]. Також подвоєння обсягів виробництва до 2035 року свідчить про значний потенціал для розвитку цієї галузі. Індикатори економічної ефективності вирощування фундука підтверджують, що це може бути перспективною інвестицією для фермерів та компаній, що займаються агробізнесом [81, 83, 131].

Важливо врахувати фактори, такі як зміни в кліматичних умовах, можливість конкуренції на ринку та можливі ризики для вирощування фундука, зокрема хвороби або шкідники [88, 89]. Проте загалом ці прогнози свідчать про потенційно вигідні можливості для тих, хто займається вирощуванням фундука [77, 78].

Зростаючі потреби країни в горіхах як у сировині для промисловості та як харчової добавки вказують на збільшення різноманітності споживання цього продукту. Горіхи, зокрема фундук, мають високу харчову цінність та корисні властивості, які знаходять широке застосування в кулінарії та харчовій промисловості [91]. За таких умов, розвиток галузі вирощування горіхів може виявитися дуже перспективним [101]. Крім того, використання горіхів у різних формах, як харчової добавки, може сприяти розширенню ринку для виробників горіхів та створенню нових можливостей для їх застосування [92].

Сучасні сорти, які мають підвищений вміст корисних елементів або покращені смакові якості, можуть зробити фундук більш привабливим для споживачів [100]. Світова практика підтверджує, що якщо продукт стає доступнішим і має підвищену якість, то його використання на практиці збільшується [94]. Це може відбутися через розвиток нових технологій обробки, покращення методів вирощування. Тому підвищення якості та доступності сучасних сортів горіхів фундука може сприяти їхньому широкому використанню в харчовій промисловості та харчовому раціоні споживачів [99].

Метою цього розділу наших досліджень було виявити харчову цінність за окремими необхідними для споживання людини критичними корисними макроелементами горіхів фундука, особливо в аспекті добраного біорізноманіття сортів, на основі яких виконали (з метою подальшого просування її для регіонального агроecологічного району) для вирішення питання з повноцінним харчуванням місцевого населення та інтенсифікації сільського господарства регіону за галуззю садівництва.

Кожен із сортів (Барселонський, Каталонський, Косфорд, Галле) тестувався нами на наявність корисних харчових речовин як етап дослідження щодо впровадження до промислових насаджень на Півночі Степу України (як зони нестабільного зволоження) та загальної інтродукції цієї горіхоплідної культури як якісно нового джерела стабільного постійного надходження цінного харчового продукту.

Математико-статистичний аналіз отриманих даних виконували поетапно, згідно зі схемою дослідження. Спочатку для порівняння вибірок та встановлення мінливості за окремими ознаками здійснили однофакторний аналіз за змінами за сортами і роками та попарне порівняння за тестом Т'юкі, потім комплексно за двофакторним аналізом за кожним елементом встановлювали ефект впливу взаємодії між чинниками та уточнювали вагомість фактора рік, яка іноді була вищою через наявність прихованої взаємодії та статистично достовірною. На останньому етапі для системи ознак застосовували модуль дискримінантного аналізу для виявлення значущості

окремих ознак в системі та впливу на онтогенез сортів (в усіх випадках для аналізу застосовували відповідні модулі програми Statistica 10.0) (додаток D).

Перед дослідженням зразки попередньо мінералізували з використанням системи мікрохвильового розкладання Multiwave GO Plus виробництва Anton Paar (Австрія), додаючи до наважки зразка 0,5 г 10 мл 65 %-ної азотної кислоти і 1 мл концентрованої соляної кислот (Sigma-Aldrich). Час розкладання (включаючи час охолодження) становив 45 хв за температури 185 °С.

Визначення вмісту мінеральних речовин виконували з використанням атомно-емісійного спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою Agilent 5110 за інтенсивністю емісії світла з характерними довжинами хвиль. Як стандарт використовували мультиелементний розчин виробництва Agilent.

Дані щодо вмісту основних органогенних елементів, цінних для харчування людини, за окремими сортами наведено в таблиці 5.1. Досліджували такі органогенні елементи, як кальцій, фосфор, сірка, магній, калій. Особливе значення має переважно підвищення за вмістом за такими елементами, як сірка та магній, яких в більш традиційних рослинних продуктах харчування не завжди вистачає.

Таблиця 5.1

**Вміст у ядрах фундука цінних макроелементів залежно від сорту  
( $\bar{x}=9, \pm SD$ ), г/кг**

Показники, що визначали	Барселонський	Галле	Косфорд	Каталонський
Кальцій	2,18±0,11 <sup>a</sup>	2,30±0,09 <sup>a</sup>	2,39±0,09 <sup>b</sup>	2,28±0,11 <sup>a</sup>
Фосфор	2,94±0,04 <sup>a</sup>	3,11±0,02 <sup>b</sup>	2,96±0,04 <sup>a</sup>	3,22±0,05 <sup>c</sup>
Сірка	1,56±0,05 <sup>a</sup>	1,70±0,04 <sup>b</sup>	1,79±0,04 <sup>c</sup>	1,63±0,03 <sup>a</sup>
Магній	1,51±0,07 <sup>a</sup>	1,60±0,05 <sup>a</sup>	1,81±0,06 <sup>b</sup>	1,58±0,05 <sup>a</sup>
Калій	5,81±0,15 <sup>a</sup>	6,12±0,14 <sup>b</sup>	6,57±0,15 <sup>c</sup>	6,18±0,13 <sup>b</sup>

Примітка: різниця статистично достовірна за  $P_{0,05}$  за результатами ANOVA факторного аналізу. Ряди мінливості в рядках.

Першим з досліджуваних елементів був кальцій, який, хоч і є досить поширеним, все ж таки зовсім не є зайвим, особливо для продукції рослинництва.

Кальцій має надзвичайно важливу роль у створенні та розвитку нових тканин рослин та суттєво інтенсифікує ріст та розвиток, органогенез сільськогосподарських рослин. Кальцій відповідає за структуру та спроможність до функціональності клітинних стінок у рослин. Він також має ключове значення для активації певних ферментних систем, входить до складу деяких коферментів та активує основний масив сигнальних шляхів, що координують частину клітинних процесів. Саме кальцій є ключовим до нормального постійного розвитку кореневої системи сільськогосподарської рослини. Кальцій також підвищує стійкість до абіотичних чинників зовнішнього середовища та збільшує поживну цінність сільськогосподарської рослини.

Кальцій потрібен для людського організму для здійснення усього спектру обмінних процесів через активацію ключових ферментних регуляторних систем. Він відіграє ключову роль у передачі нервових імпульсів, регуляції артеріального тиску та згортання плазми крові. Кальцій є основою кісткової тканини та зубів. Зі свого боку, кістки є найбільшим сховищем мінералів у людському організмі. Кальцій може допомогти відрегулювати кров'яний тиск, що є дуже важливим для профілактики серцево-судинних захворювань у людини.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.1), вміст кальцію у сортах фундука доволі високий – 2,2 – 2,4 г на 1000 г сухої речовини. Особливо відзначився сорт Косфорд, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння проведено через тест Т'юкі) ( $F = 10,11$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ).

Згідно з наведеними на рис. 5.1 графіками щодо мінливості ознаки вмісту кальцію за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався при жодних обставинах. Ознака таким чином належить до

низьковаріативних (відхилення від середньої не більше 5 %), але, якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним та вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Косфорд), а досліджені ліміти за мінливістю ознаки в рамках кожного з генотипів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те, що ці сорти не такі вже й нові, але є дуже стабільними формами, та переважає в їх складі один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за генетичною компонентою. Ураховуючи те що доволі часто сорти лісових горіхів є переважно сортопопуляціями, це спостереження, якщо підтвердиться щодо інших ознак, є доволі вагомим для розуміння основ мінливості при вирощуванні цієї культури.

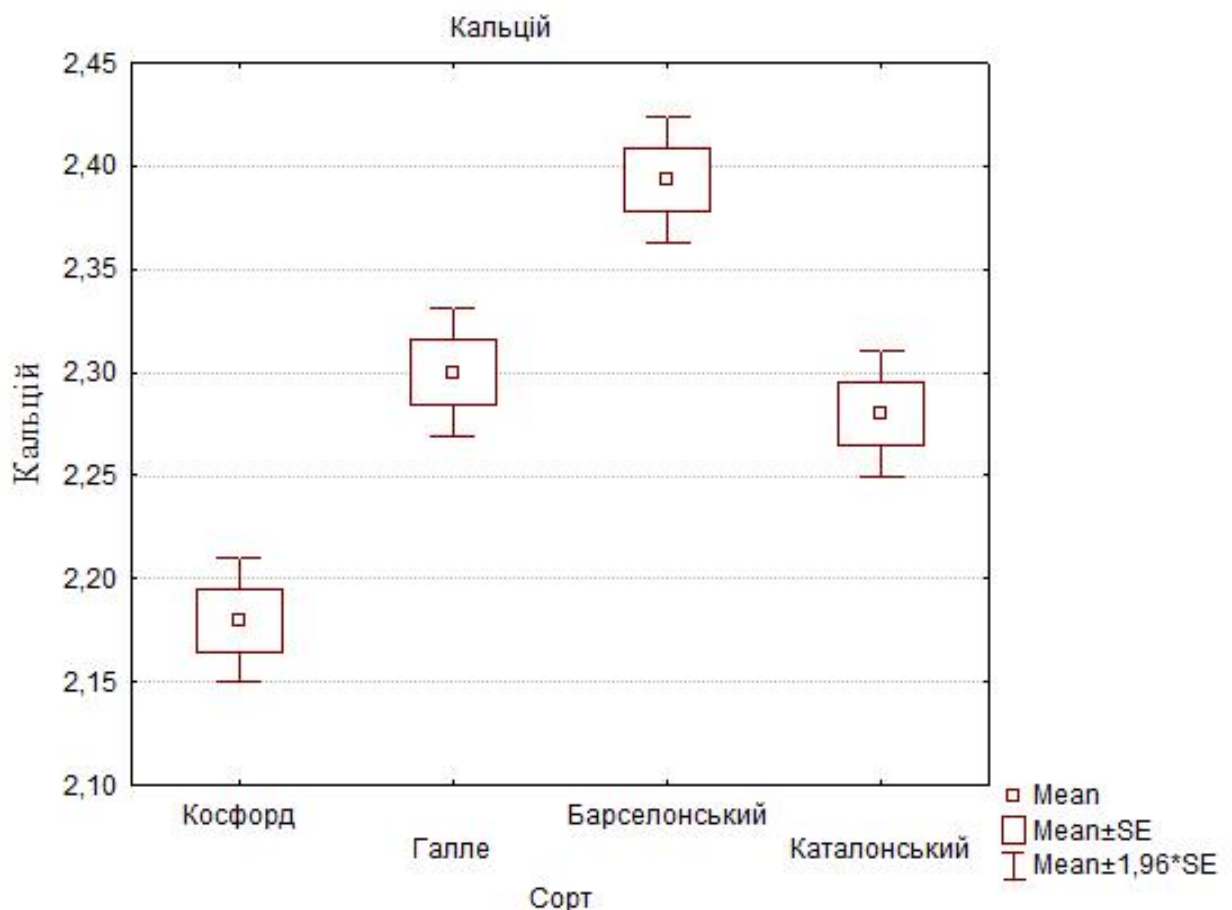


Рис. 5.1. Варіативність кальцію за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та їх змінних параметрів на прояв ознаки при формуванні фенотипу кущів

фундука також в рамках аналізу отриманих даних було виконано дослідження окремо мінливості за роками (залежно від зміну фактора впливу абіотичних чинників середовища). Слід сказати, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинникам у період дослідження та просто за роками: різниця за впливом за попарного порівняння була між 2020 та 2022 роками (попарне порівняння виконано з допомогою тесту Т'юкі) ( $F = 9,34$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P = 0,01$ ) (рис. 5.2).

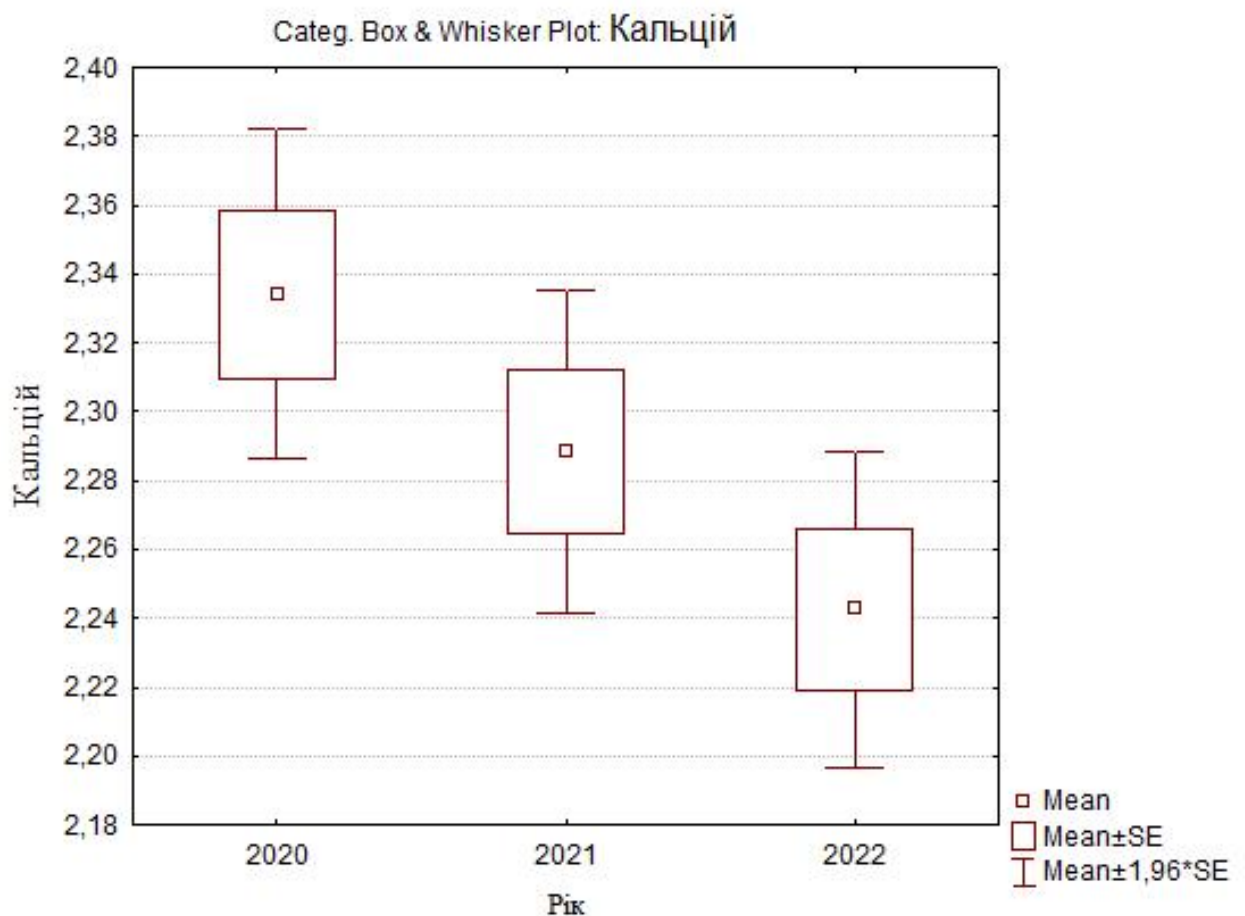


Рис. 5.2. Варіативність кальцію як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено в мінливості фактора. Попарне порівняння, виконане через тест Т'юкі, показало наявність статистично достовірної різниці за деякими роками випробування, але загалом воно має фрагментарне значення. Наступним питанням, яке потребує розгляду, є варіація

сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин не дуже високі, а от за роками спостерігається суттєва тенденція).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 82,65$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту кальцію набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 30,15$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативністю сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,11$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом кальцію (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним, але не дуже високоймовірним.

Наступним поживним елементом у дослідженні був фосфор, який також є доволі розповсюдженим елементом, але це жодним чином не зменшує його важливості, особливо для продукції рослинництва.

Фосфор є важливою поживною речовиною як компонент декількох ключових структурних сполук у сільськогосподарських рослинах, так і в складі ферментів для багатьох ключових біохімічних реакцій у рослинах. Фосфор особливо вагомий завдяки своїй ролі у вловлюванні та перетворенні сонячної енергії для фіксації на хімічному рівні для усіх процесів метаболізму в рослинах.

Фосфор є компонентом різних ферментів та білків. Він є важливим компонентом ДНК. Він також є компонентом РНК, сполуки, яка зчитує генетичний код ДНК, щоб побудувати білки та інші речовини, необхідні для



онтогенезу рослин, утворення насіння та успадкування генетичної інформації. Фосфор – компонент АТФ, «універсального енергоносія» клітин рослин.

Фосфор суттєво важливий для загального стану здоров'я та життєздатності всіх рослин. Встановлені специфічні фактори росту, які були пов'язані з додаванням фосфору в культуру, зокрема це стимулювання розвитку коренів, збільшення міцності стовбурів та стебел, поліпшення у формуванні квіток та утворенні насіння, більш рівномірне та раннє дозрівання врожаю, поліпшення якості врожаю та підвищення стійкості рослин до хвороб.

Фосфор бере активну участь у таких процесах, як поділ та ріст клітин організму. Він впливає на активність багатьох вітамінів. Фосфор необхідний і для кісток та зубів. В обміні речовин організму цей хімічний елемент теж незамінний: за його допомогою в людині утворюються білки та вуглеводи, він допомагає засвоюватися багатьом поживним речовинам. Особливу актуальність високий вміст фосфору має у зв'язку з його низьким вмістом у рослинній продукції, що може призвести до проблем у людей, які обмежено використовують або зовсім не використовують у раціоні продукти тваринного походження.

Згідно з дослідженням вмісту цього елемента в зразках (див. табл. 5.1), вміст фосфору у сортах фундука досить високий – 2,92 – 3,2 г на 1000 г сухої речовини. Особливо відзначився сорт Каталонський, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння здійснено через тест Т'юкі) ( $F = 11,17$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), наступним є сорт Галле ( $F = 7,16$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,02$ ); сорти Барселонський ( $F = 3,11$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,07$ ) та Косфорд ( $F = 3,06$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,07$ ) суттєво не відрізняються, вміст в них фосфору значно нижчий, ніж у перших двох.

Згідно з наведеними на рис. 5.3 графіками щодо мінливості ознаки вмісту фосфору за окремими сортами, параметр був доволі стабільним та суттєво не коливався в кожного із сортів, але ознака вже належить до середньоваріативних (відхилення від середнього 5 – 10 %, у нашому випадку коефіцієнт варіації на рівні 3 – 7 %, для сорту Каталонський низьковаріативна, для сорту Косфорд

суттєві коливання лімітуючих значень та вибірка доволі різномірною). Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Каталонський), та посередній за значенням сорт Галле, а досліджені ліміти за мінливості ознаки в рамках кожного з генотипів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти не такі вже й нові, але є доволі стабільними формами. Це не стосується сорту Косфорд, у якого прогнозується наявність додаткових біотипів, що буде уточнено в ході аналізу мінливості за роками. Тобто цей сорт не варто використовувати без попередніх досліджень з виявленням окремих біотипів як вихідний матеріал для селекції за цією ознакою.

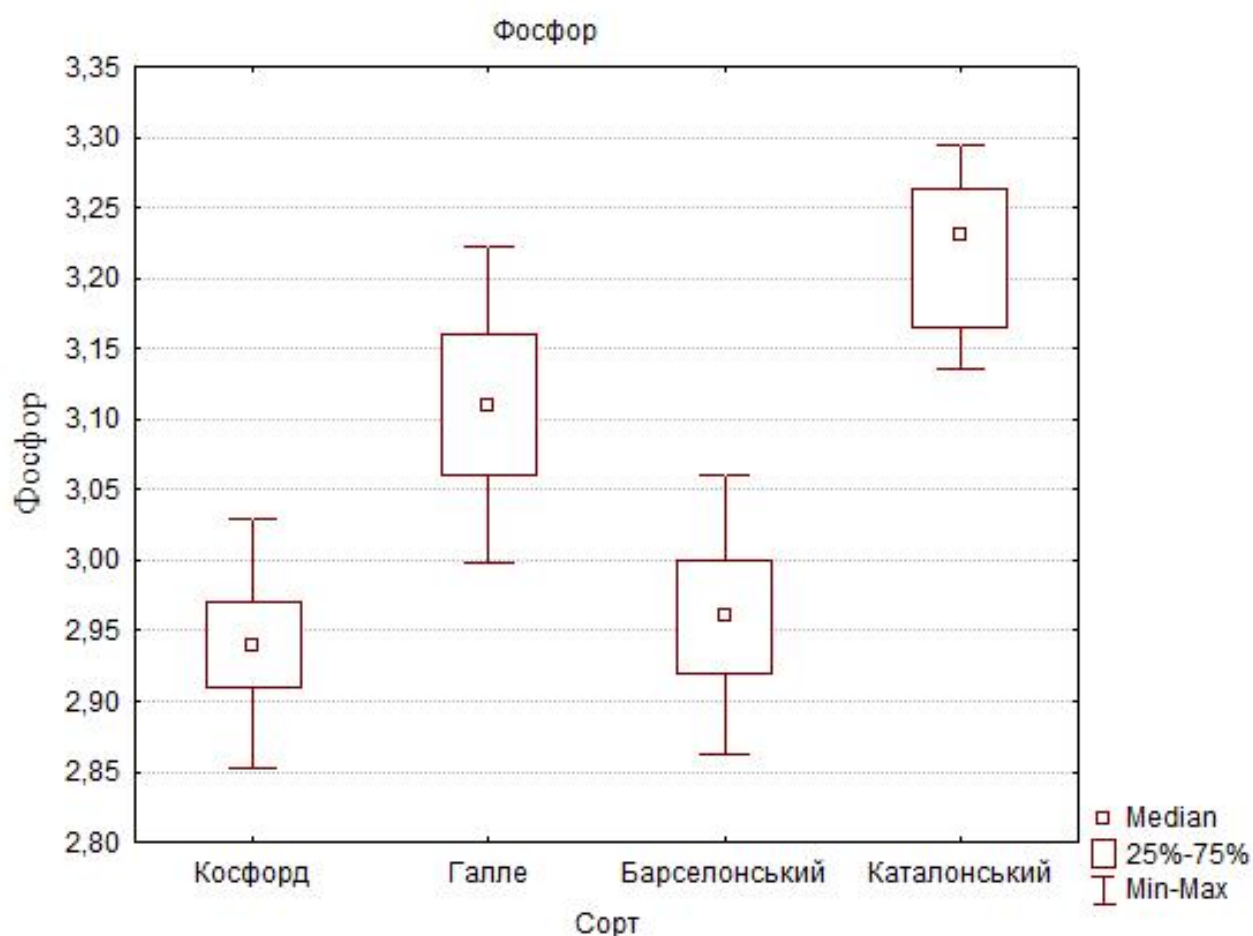


Рис. 5.3. Варіативність фосфору за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та їх параметрів мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження окремо мінливості за роками (залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища). Необхідно сказати, що загалом ознака продемонструвала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та просто за роками: різниця ніколи не була статистично достовірною (рис. 5.4).

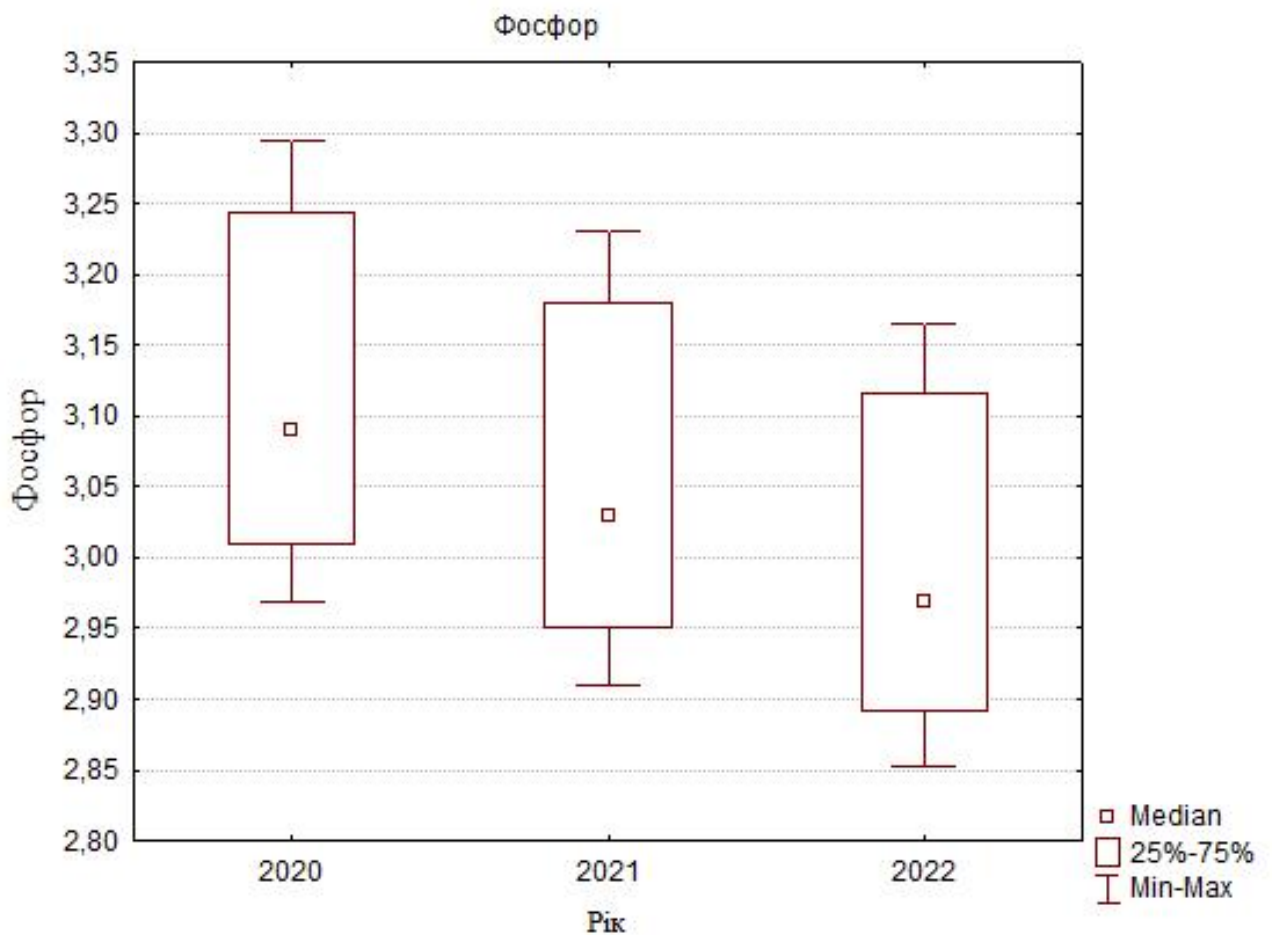


Рис. 5.4. Варіативність фосфору як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Водночас отримана картина свідчить про суттєву вищу варіативність (але в рамках медіаного відхилення, а не лімітуючих граничних значень) для

сукупності сортів, що є додатковим аргументом на користь часткової нестабільності сорту Косфорд за цією ознакою. Остаточо це може підтвердити проведення етапу двофакторного та дискримінантного аналізу.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період усе ж таки накопичилися відчутні зміни, що було встановлено за мінливістю фактора в ході двофакторного аналізу. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки деяка частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі високі, за роками також спостерігається суттєва тенденція).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним з високою вірогідністю ( $F = 118,78$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), водночас фактор рік вплинув на мінливість вмісту фосфору набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 33,85$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальна варіативність сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилася недостатньою для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,35$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом кальцію (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним, та прогнозується достатня кількість таких форм.

Таким чином, заявлена неоднорідність сорту Косфорд за ознакою вмісту фосфору жодним чином не пов'язана з особливостями впливу умов року, а формування фенотипу рослин сорту та, вочевидь, спостерігаємо деяку неоднорідність, пов'язану з більш широкою розмаїтістю саме генотипової компоненти. Інакше кажучи, наявний суттєвий, але наврядчи значний (інакше ефект був би більш вираженим) генетичний поліморфізм за цією ознакою.

Наступним з досліджуваних елементів була сірка, її вміст є нижчим, особливо для продукції рослинництва.

Сірка є важливим елементом в утворенні білків, ферментів, вітамінів та хлорофілу в рослинах. Вона має вирішальне значення для розвитку кореневої системи та активної асиміляції речовин, особливо в разі формування первинної зони поглинання. Синтез білка потребує великої кількості сірки, особливо для утворення в насінні олій, що є критично важливим для харчової цінності горіхоплідних. Також сірка є компонентом декількох амінокислот та вітамінів, виявлених у сільськогосподарських рослинах. Таким чином, сірка є важливим компонентом для поживної якості продуктів. Сірка також важлива для фотосинтезу та сприяє зимостійкості культур, тобто підвищує адаптивні властивості сортів фундука, саме низька зимостійкість була довгий час суттєвим лімітом у поширенні цієї культури та її інтродукції до нових регіонів країни.

Сірка відіграє ключову роль разом з кальцієм у процесі згортання плазми крові, захищає протоплазму клітин людини від шкідливих бактерій, є важливим елементом у синтезі колагену, тому благотворно впливає на стан шкіри, волосся та нігтів, уповільнює процеси старіння організму, має протизапальну дію. Також сірка є ключовим компонентом у синтезі деяких критично важливих білків та компонентом коферментної складової для деяких ензимних систем, які регулюють біохімію організму.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.1), вміст сірки у сортах фундука теж доволі високий – 1,5 – 1,8 г на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Косфорд, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 11,02$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), потім сорт Галле ( $F = 10,92$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), сорти Каталонський та Барселонський поступалися обом першим ( $F = 7,98$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P = 0,02$ ) і не мали різниці між собою ( $F = 4,12$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,07$ ).

Згідно з наведеними на рис. 5.5 графіками щодо мінливості ознаки вмісту сірки за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався при жодних обставинах, ознака таким чином є низьковаріативною (відхилення від середнього не більш ніж 5 %), але, якщо оцінити загальну варіативність, то знаходимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Косфорд), та проміжний за значенням сорт Галле.

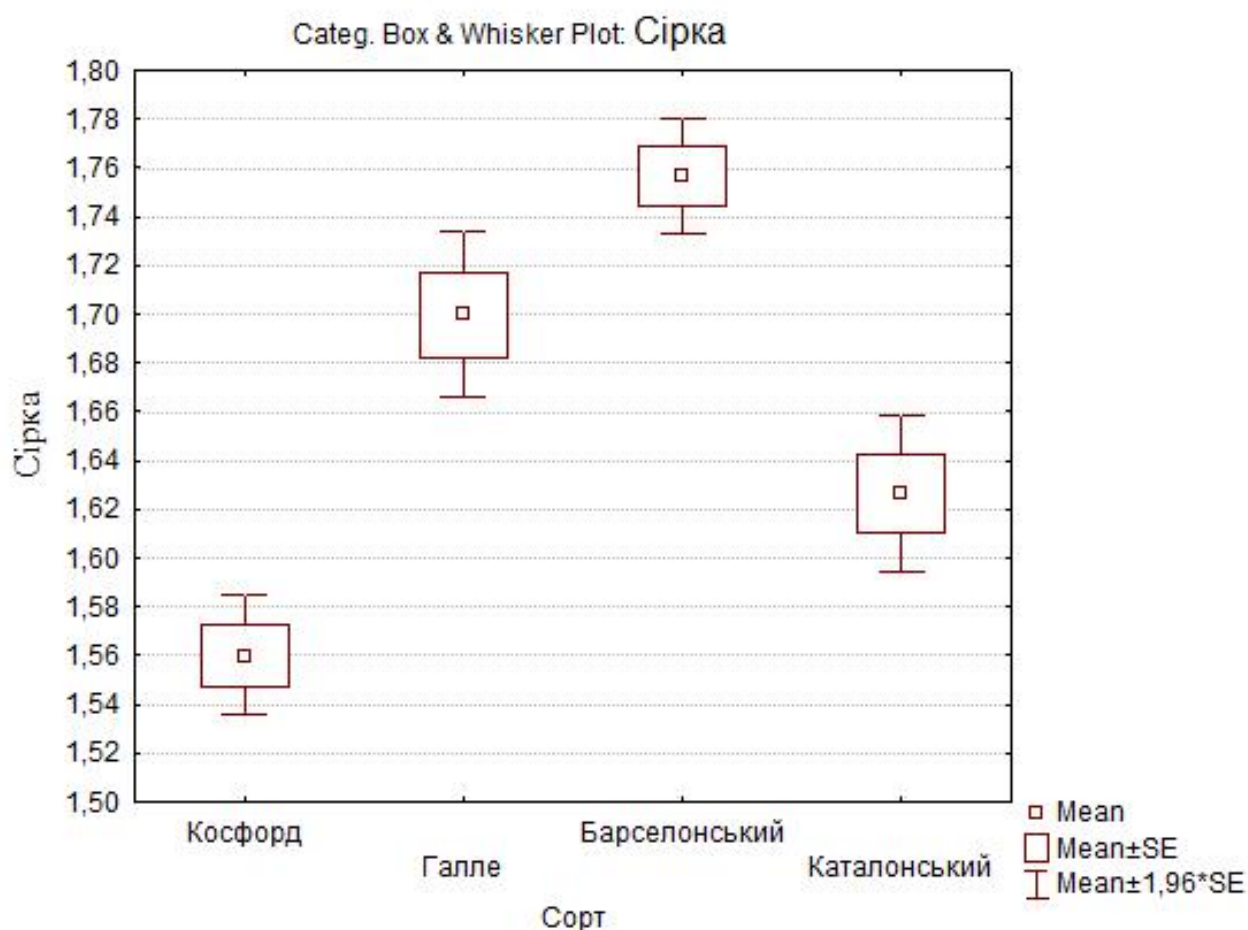


Рис. 5.5. Варіативність сірки за сортовою компонентою

Досліджені граничні значення за мінливістю параметра в рамках кожного із сортів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти загалом характеризуються низьким рівнем генетичного поліморфізму,

вони є досить стабільними. Серед представленої набору найменша варіація за ознакою спостерігалася для сорту Барселонський, найвища – у сортів Галле та Каталонський. Але загалом межі варіації ознаки суттєво нижче, ніж в інших макроелементах.

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та параметрів їх мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу кущів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було проведено дослідження окремо мінливості за роками ( залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища). Необхідно сказати, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження, суттєвої різниці за роками в рамках дослідження не зафіксовано (рис. 5.6).

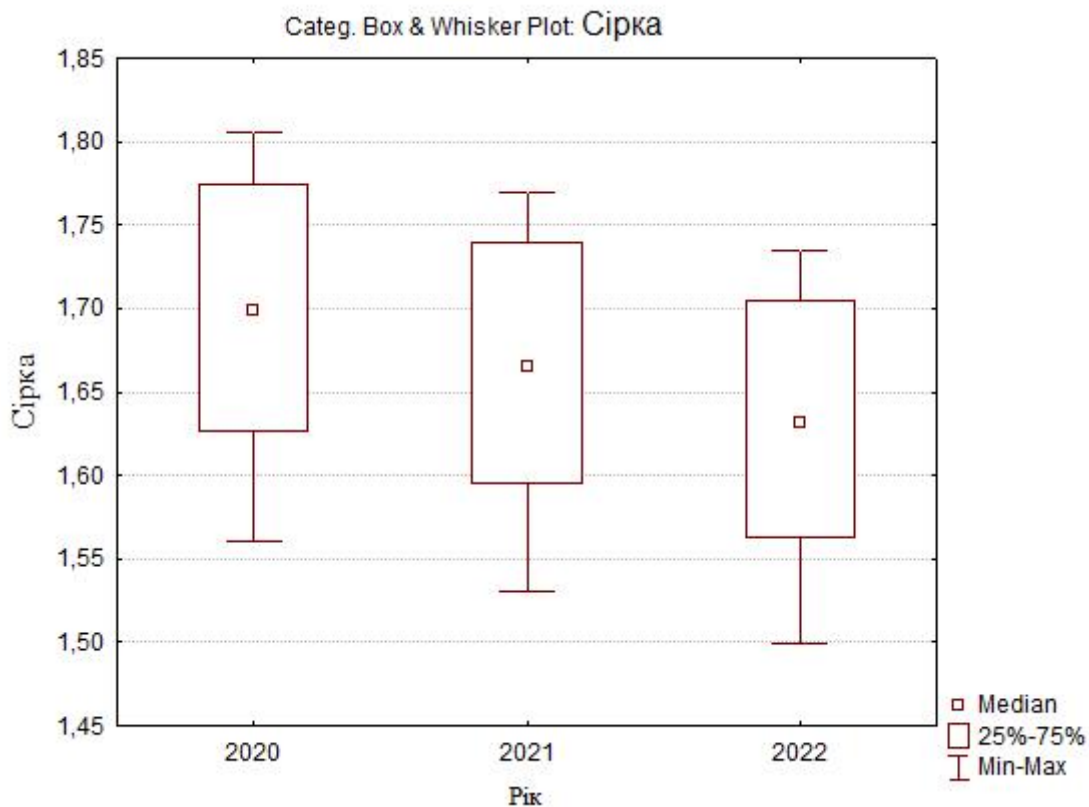


Рис. 5.6. Варіативність сірки як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Але потрібно зауважити, що 2022 рік був найменш сприятливим у реалізації цієї ознаки й загалом набір сортів характеризувався відносно меншою

контрастністю за цим параметром, ніж за попередніми ознаками. Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна переконатися, за трирічний період все ж таки накопичилися вагомі зміни, що було визначено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, показало наявність статистично достовірної різниці за деякими роками випробування, але загалом воно має фрагментарне значення. Наступним питанням, яке потрібно розглянути в ході дослідження, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин найнижчі з усіх раніше досліджених ознак).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 43,61$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту магнію набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 8,73$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,01$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ). Загалом мінливість вмісту сірки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більшим вмістом сірки (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним, але доволі посереднім.

Таким чином, з одного боку, ця ознака показує найвищу стабільність з усіх досліджених, з іншого – межі варіативності показують, що поліпшення за нею буде суттєво більш складним, ніж за іншими елементами. Тому розраховувати на фундук як джерело сірки для раціону можливо лише в рамках вже досягнутих меж варіативності (тобто використання при вирощуванні сорту Каталонський).



Магній відіграє важливу роль у житті рослини, насамперед за рахунок участі у фотосинтезі (кожна молекула хлорофілу містить до 6,7 % магнію), але також цей елемент задіяний у процесах активації ферментних систем, що регулюють такі важливі процеси, як дихання та синтез нуклеїнових кислот. Також магній є важливою складовою в метаболізмі фосфатів, має ключову роль у транспорті фосфатних з'єднань у рослинному організмі.

Не така суттєва, але важлива роль цього елемента у транспорті деяких вуглеводів. Ключовим моментом для горіхоплідних є наявність необхідного вмісту олій, підвищенню виробництва яких також сприяє саме магній.

Магній має значення для здоров'я, бере участь у більш ніж 300 біохімічних реакціях. Загалом в організмі людини міститься до 70 г магнію, 60 % від якого припадає на кістки, інші 40 % зосереджені у м'язах та тканинах. Магній позитивно впливає на ріст кісток, нормалізує серцевий ритм, знижує артеріальний тиск, регулює рівень цукру в крові, усуває судоми в м'язах, зменшує біль у суглобах. Магній, що діє в комплексі з кальцієм, може поліпшувати мінеральну щільність кісткових тканин.

Рослинних джерел магнію доволі багато, зокрема й серед горіхоплідних, але фундук є важливим додатковим варіантом для коректного балансу магнію в організмі, разом з кеш'ю та мигдалем. Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.1), вміст магнію в сортах фундука доволі високий – 1,5 – 1,8 г на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Косфорд, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння проведено через тест Т'юкі) ( $F = 9,16$ ;  $F_{\text{critical}} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ).

Згідно з даними, показаними на рис. 5.7, варіативність ознаки вмісту магнію за генотиповою мінливістю загалом незначна, ознака є низьковаріативною (тобто до 5 %), але, за рахунок добраного набору зразків деякі сорти здатні відрізнитися суттєво вищою кількістю цього елемента (вище згаданий сорт Косфорд), а межі мінливості в рамках кожного із сортів дозволяють зробити припущення, що загалом генна система, яка відповідає за

цю ознаку, перебуває в стабільному стані, домінує один біотип, що свідчить на користь високої гомозиготності сорту за цим параметром.

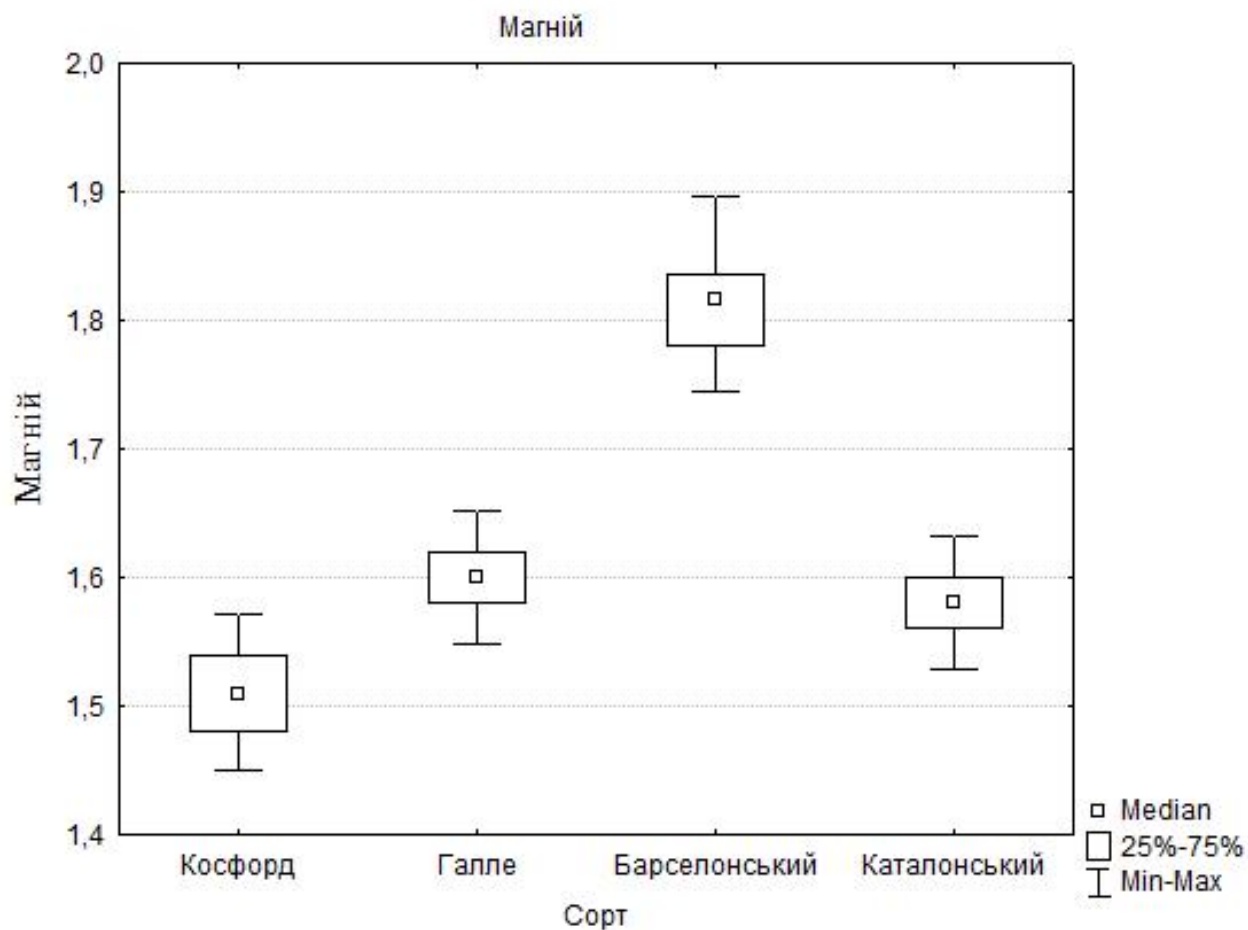


Рис. 5.7. Варіативність магнію за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу агроекологічних факторів на прояв ознаки також в рамках дослідження окремо було виконано аналіз мінливості за роками (залежно від зміни фактора кліматичних умов). Необхідно наголосити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цим фактором і просто за роками різниці за впливом не було (рис. 5.8).

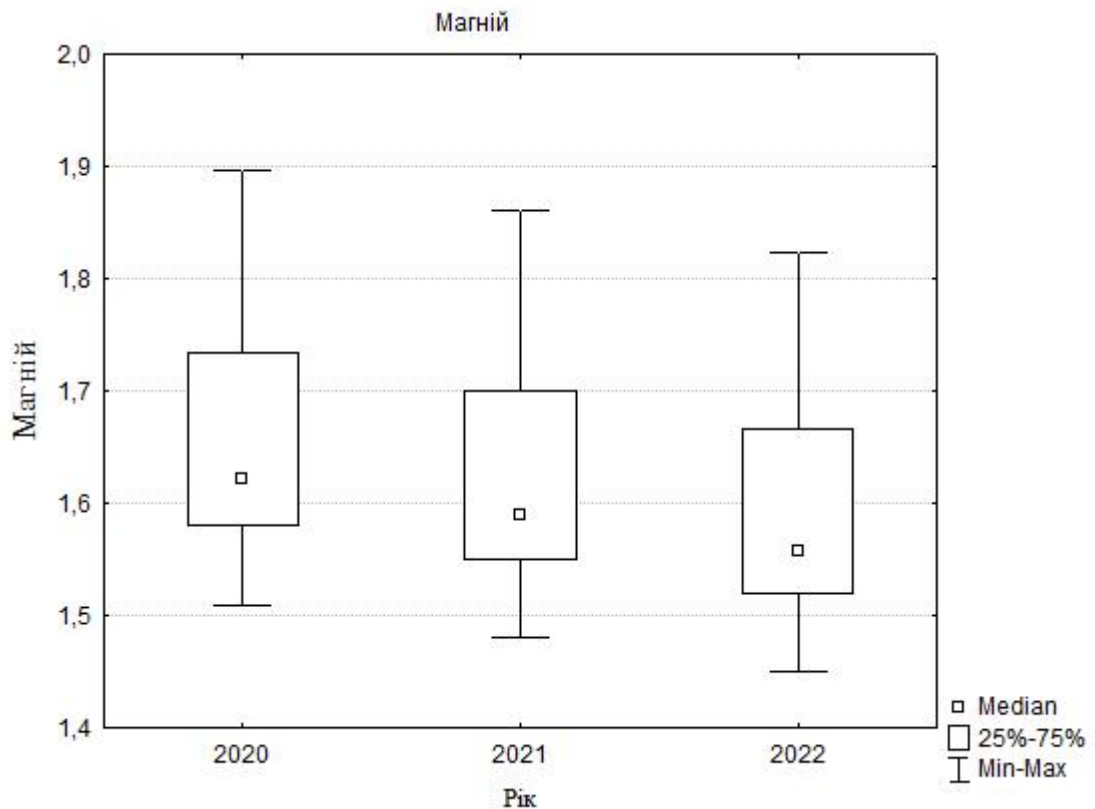


Рис. 5.8. Варіативність магнію як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Усі роки характеризуються доволі стабільними умовами, що вже було зазначено у відповідному розділі. Необхідно зауважити, що суттєве пом'якшення зимових умов та підвищення рівня зволоження стабілізувало сорти й за цими ознаками. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, показало відсутність статистично достовірної різниці за кроками випробування. Але, звичайно, не може не постати питання варіації сортів за роками, оскільки деяка частка індивідуальної реакції генотипу може бути приховано в загальній дисперсії культури (як бачимо, за роками межі варіативності окремих зразків дуже вагомі, і, на відміну від аналізу за сортовою компонентою, свідчать про суттєві відмінності в реакції окремих сортових компонентів агроценозу фундука).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася

суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним та високоймовірним ( $F = 179,40$ ;  $F_{\text{critical}} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту магнію набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 14,77$ ;  $F_{\text{critical}} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативністю сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,02$ ;  $F_{\text{critical}} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ).

Наступним етапом було дослідження вмісту калію. Як правило, цього макронутрієнта не бракує, але все ж таки ця речовина залишається вкрай важливою як для рослини, так і для сільськогосподарського виробництва загалом.

Калій підвищує врожайність та поліпшує якість сільськогосподарської продукції. Калій також підвищує здатність рослин протистояти хворобам, нападам комах, несприятливим умовам середовища. Він допомагає у розвитку сильної та здорової кореневої системи та збільшує ефективність поглинання та використання азоту та інших поживних речовин. Калій бере участь у активації понад шістдесяті ферментних систем у рослинній клітині та в синтезі білків, вітамінів, крохмалю та целюлози, що забезпечує нормальний метаболізм рослин, їх ріст та формування в них розвинених тканин.

Калій допомагає фотосинтезу, контролює відкриття та закриття продихів листя, які регулюють водний режим рослини. Він відіграє істотну роль у формуванні крохмалю та у виробництві та транспорті цукрів. Таким чином, калій становить особливу цінність для багатих на вуглеводи культур, поліпшує поживну цінність за рахунок збільшення вмісту білка і олії, а також вітаміна С і цукру. Підвищує стійкість до різних пошкоджень при зберіганні та транспортуванні, тим самим продовжуючи термін зберігання.

У людському організмі калій регулює водно-сольовий баланс і багато в чому відповідає за серцевий ритм. Приблизно 98 % цього мікроелемента міститься усередині клітин. Калій необхідний для нормальної роботи м'язової тканини (зокрема, м'язів серця). Також калій є складовою метаболізму магнію для людини.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.1), вміст калію у сортах фундука доволі високий 5,8 – 6,6 г на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Косфорд, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 8,43$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ). Значно поступався всім іншим сорт Барселонський ( $F = 6,34$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,03$ ).

Згідно з наведеними на рис. 5.9 графіками щодо мінливості ознаки вмісту калію за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався (найменше з усіх досліджених за будь-яких обставин), ознака таким чином належить до низьковаріативних (відхилення від середнього не більше ніж 5 %).

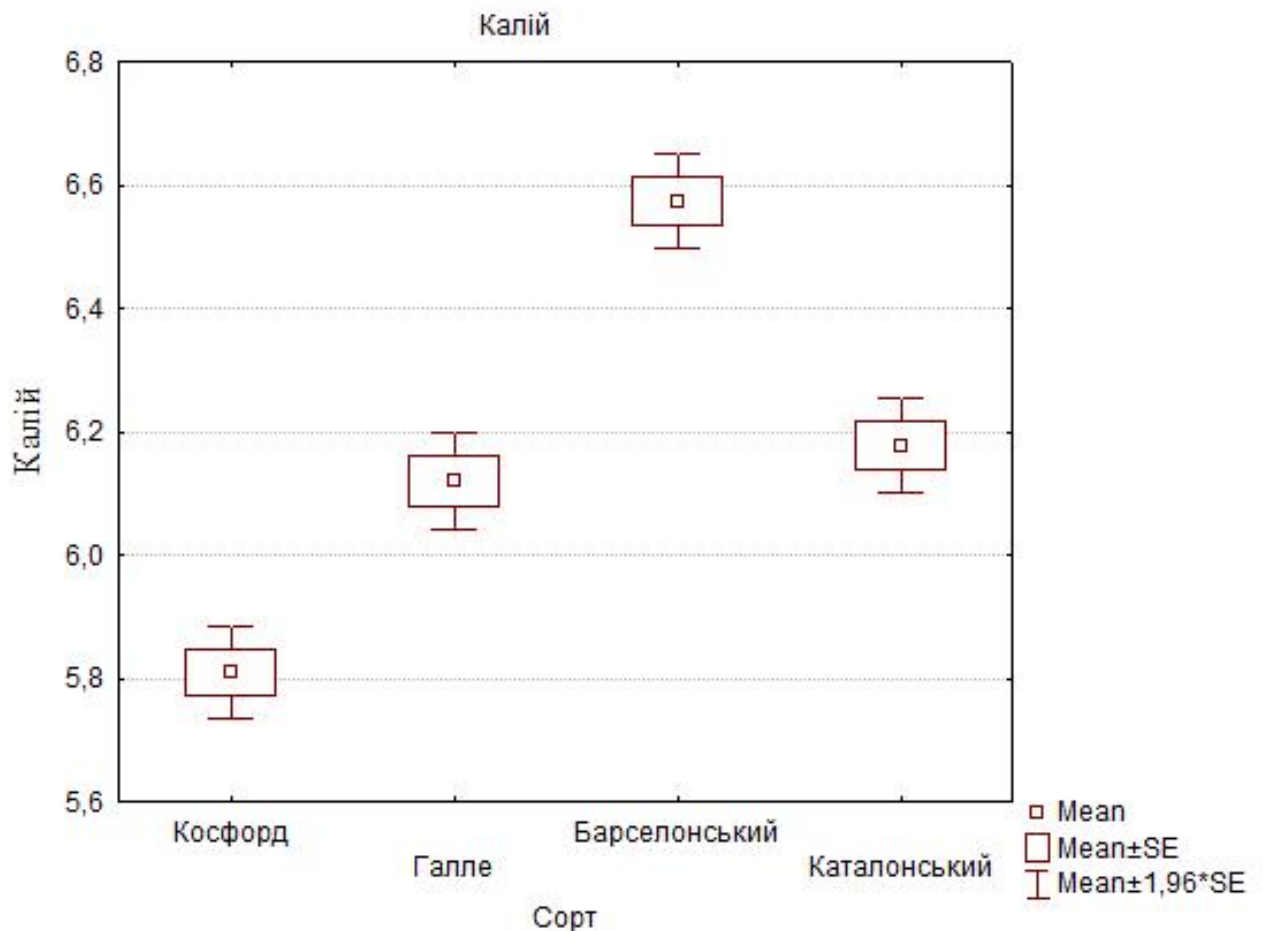


Рис. 5.9. Варіативність калію за сортовою компонентою

Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Косфорд). Досліджені межі мінливості ознаки в рамках кожного з генотипів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те, що хоч ці сорти не такі вже й нові, але є дуже стабільними за генетичними потенціями, та переважає в їх складі один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за генетичною компонентою.

Таким чином, у рамках сортової мінливості ознака є найбільш стабільною, але з високою варіативністю між сортами загалом.

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та варіювання його меж залежно від року на прояв ознаки вмісту калію при формуванні фенотипу сортів фундука також в рамках аналізу отриманих даних було виконано дослідження окремо мінливості за роками ( залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища) (рис. 5.10).

Слід зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та просто за роками, різниця за впливом при попарному порівнянні була недостовірною.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити в трирічному періоді, все ж таки накопичилися вагомі зміни, що було відображено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, не показало наявності статистично достовірної різниці за роками випробування. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі слабкі, а от за роками спостерігається дещо більш суттєва тенденція, хоча й не така значна як для інших ознак).

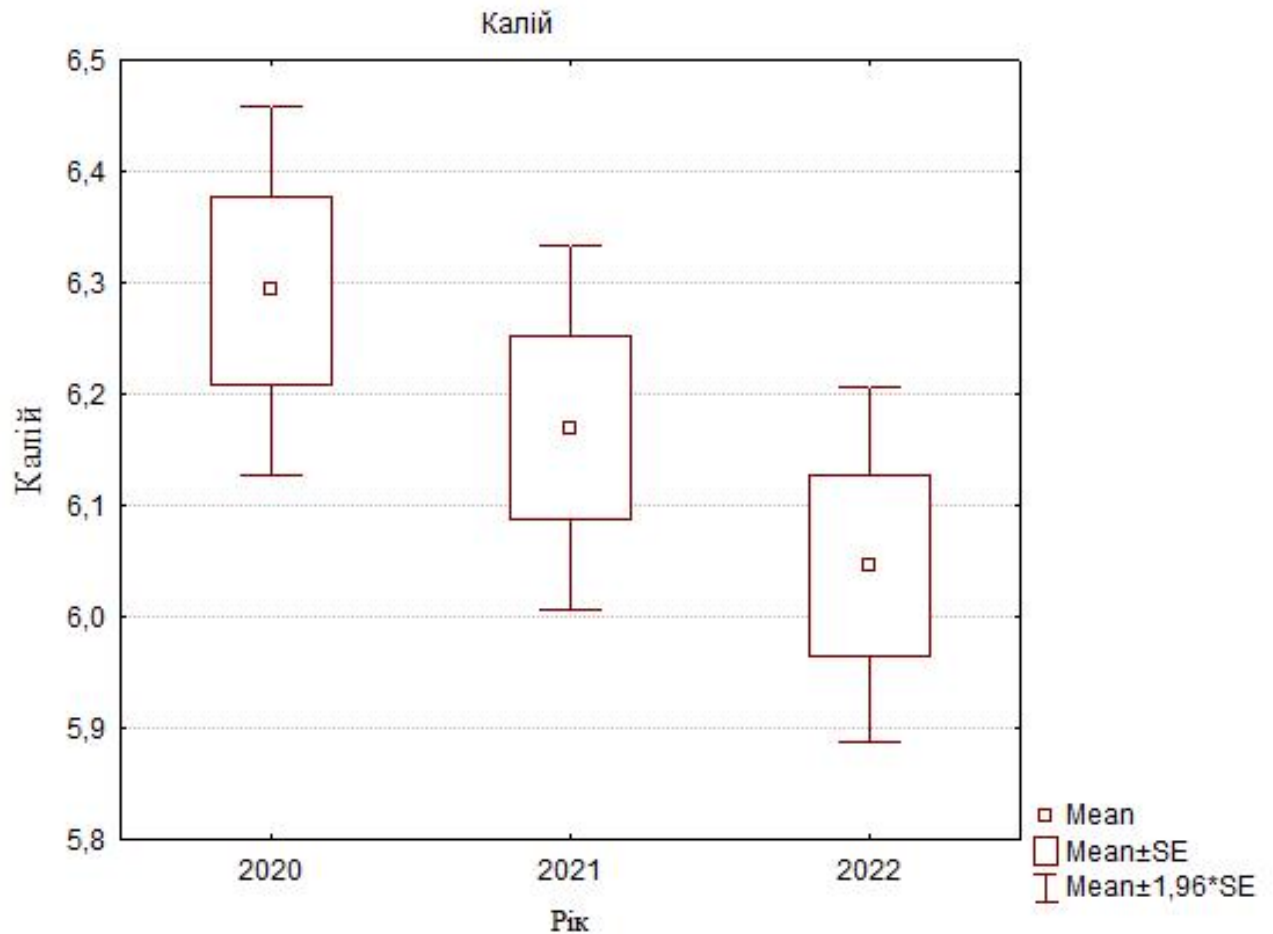


Рис. 5.10. Варіативність калію як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 290,70$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту магнію набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 60,10$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,01$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш

суттєвим вмістом кальцію (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним та цілком перспективним.

Для встановлення загальної сортової диференціації за групою ознак та остаточного виявлення впливу кожної з них було виконано дискримінантний аналіз (рис. 5.11, табл. 5.2 – за сортами та 5.3 – за роками випробування).

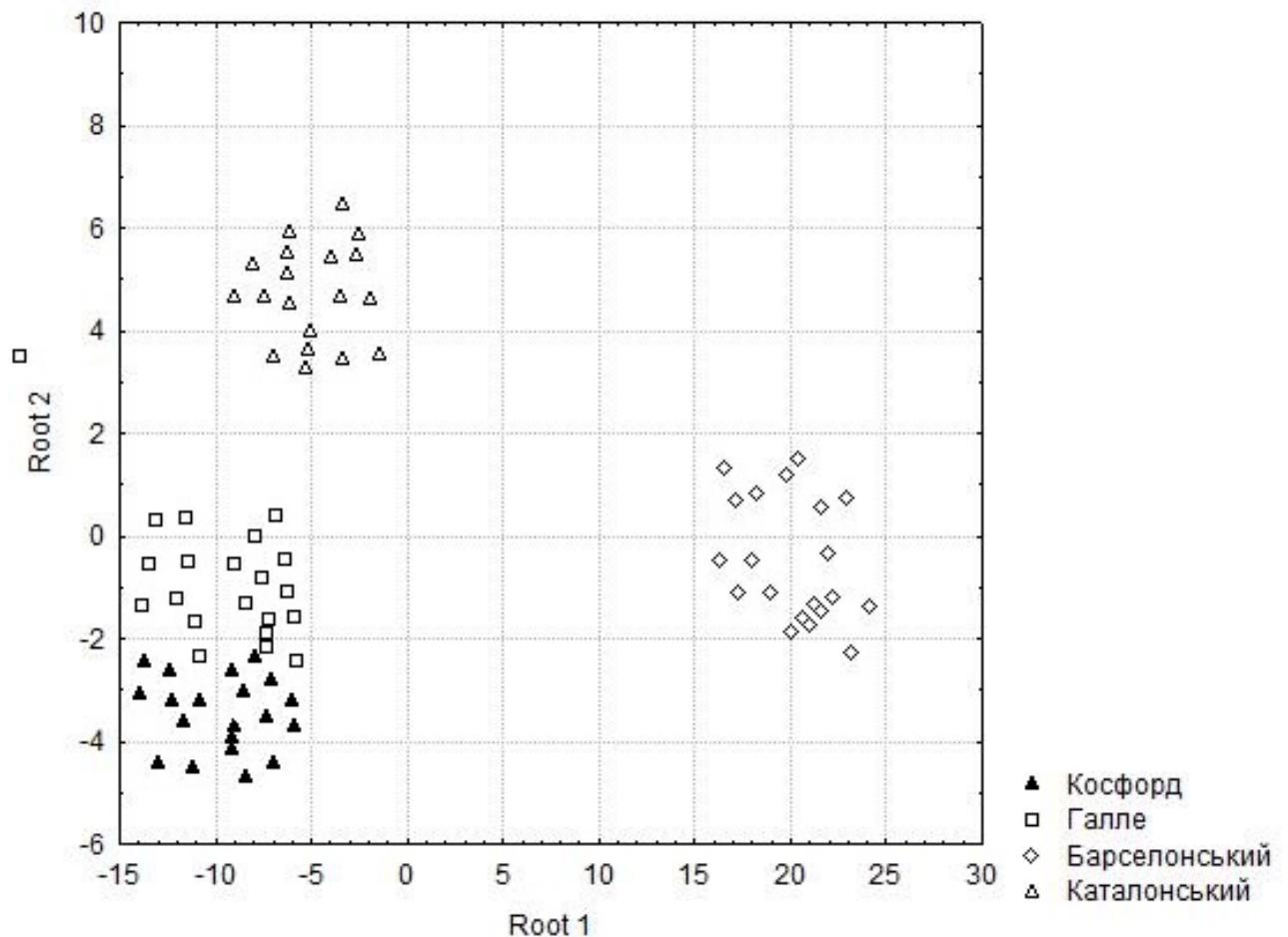


Рис. 5.11. Результати класифікації у факторному просторі канонічних функцій за належністю до кластеру сорту (2020 – 2022 рр.)

У результаті аналізу сортової варіанти можна зробити висновки про доволі близькі позиції за мінливістю ознак у сортів Косфорд та Галле, що свідчить про відносно однакові межі мінливості. Сорти Барселонський та Каталонський були суттєво відокремлені в просторі мінливості факторів підсумково та суттєву варіативність та вагомість таких ознак вмісту кальцію,



фосфору, магнію, калію, що свідчить про доволі високий потенціал сортів Косфорд та Галле за цими ознаками та загальні високі можливості у їх поліпшенні за вже існуючою варіативністю. Ознака вмісту сірки стабільна та найменш варіативна.

Таблиця 5.2

### Вагомість окремих чинників за сортами

Параметр	Wilks'	Partial	F (критичне - 5,77)	p-рівень
Кальцій	0,00	0,20	36,28	P < 0,01
Фосфор	0,00	0,28	24,35	P < 0,01
Сірка	0,00	0,63	5,41	P < 0,01
Магній	0,00	0,26	26,73	P < 0,01
Калій	0,00	0,27	25,37	P < 0,01

Класифікація за роками (див. табл. 5.3) показала варіативність усіх параметрів, але для побудови моделі канонічних функцій диференційної сили мінливості виявлялося недостатньо. Таким чином компонента зовнішнього середовища за класифікуючим впливом недостатньо контрастна, і ці результати можна не враховувати. Можливо більший період з більш контрастними умовами надасть іншу картину.

Таким чином, дійсно вагомим параметром фактор рік був лише для вмісту кальцію, переважно ознака формувалася за впливом генотипу. Зміни умов року могли привести до достовірної різниці за усіма ознаками, але їх вплив не був вирішальним та не виходив за межі значущості. Встановлено суттєвий генетичний поліморфізм сорту Косфорд за ознакою вміст фосфору. Суттєвою варіативністю, що виходить за межі низької, відзначилася ознака вмісту фосфору (але для трьох сортів з чотирьох). Більш перспективною для генетичного поліпшення в рамках виконаного дослідження мінливості сортів є

ознаки вмісту фосфору, калію та магнію, менше – кальцію. Межі варіативності та стабільність ознаки вмісту сірку доводять, що поліпшення цієї ознаки в рамках досліджених сортів є більш ускладненим.

Таблиця 5.3

### Вагомість окремих чинників за роками

Параметр	Критерій Уїлкса	Часткова	F (критичне - 10,58)	p-рівень
Кальцій	0,77	0,18	66,59	P < 0,01
Фосфор	0,51	0,27	39,41	P < 0,01
Сірка	0,55	0,25	43,51	P < 0,01
Магній	0,57	0,24	45,57	P < 0,01
Калій	0,24	0,56	11,37	P < 0,01

Загалом сорти відзначалися доволі високою генетично зумовленою стабільністю у прояві ознак вмісту основних органогенних елементів, що свідчить про їх перспективність у використанні для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектру природних умов. У той же час фактор кліматичних умов конкретного року впливав на це суттєво слабше, виявившись вагомим лише для вмісту калію. Усі інші органогенні елементи жодним чином від року вирощування не залежали. Робимо висновок про відносно низький поліморфізм досліджених сортів щодо цих ознак. Таким чином за результатами аналізу за вмістом цінних речовин відрізнялися: сорт Галле за вмістом сірки; сорт Косфорд – за вмістом калію, сірки, магнію, кальцію (усіх, крім фосфору); сорт Каталонський за вмістом лише фосфору. Можна вважати, що найбільш ефективним за композицією цінних речовин є сорт Косфорд. Найменш цікавим в дослідженні виявився сорт Барселонський. Тобто, за вмістом макронутрієнтів однозначно лідером був сорт Косфорд (крім фосфору), потім Галле.

## **5.2. Аналіз вмісту та мінливості мікроелементів у досліджуваних сортах фундука. Генотипова та середовищна варіанси**

Встановлено, що у фундука змінюється вміст мікроелементів відповідно до різниці за сортами, менше впливають відмінності у використанні добрив, способах вирощування та зрошення, складі ґрунту, кліматі й географічному регіоні. Отримані дані показують, що горіхи фундука мають дуже високу потенціальну поживність, а їх мікроелементна цінність у перерахунку на 100 г фундука становить більше, ніж щоденне споживання людини.

Результати демонструють, що щоденна потреба в Co, Pb, Mo, Al, Cd, Mn, Pb, Cr, Cu, B, Zn, Fe, Ni та Se для харчування людини може бути забезпечена при споживанні 100 г горіхів щодня. Але не для кожного сорту. Вживання фундука з фруктовими соками з особливо високим вмістом аскорбінової кислоти може бути корисними для посилення поглинання Fe. Крім того, фундук є хорошим джерелом для збагачення молочних продуктів Fe. Відповідно до добової потреби в мікроелементах 100 г фундука містить близько 50 % Fe і Cd, 41 % Mo, 32% Zn, 21% Se, 10% Cr, 5% B та 1% Ni. З іншого боку, Mn, Cu, As, Pb, Al, і Co при споживанні 100 г лісових горіхів вища, ніж відповідна добова потреба, але незначне перевищення цих елементів нетоксичне для здоров'я людини.

Важливо оцінити сорт фундука та умови вирощування з огляду на стандарт для здоров'я людини, тому в останні роки було опубліковано багато праць про біологічні функції мікроелементів у людському організмі та надходження їх від рослинної продукції.

Тривалий час вміст мікроелементів, які зазначені в табл. 5.4, привертав суттєво менше уваги, особливо для кобальту та молібдену, які, проте, є дуже цінними компонентами біологічно-активних речовин, що зрідка трапляються в належній кількості в раціоні харчування людини серед звичайних продуктів. Досліджували вміст таких речовин, як цинк, мідь, молібден, кобальт та марганець. Обрання саме таких об'єктів дослідження диктувалася напрямками з

поліпшення харчової якості згідно з програмою селекції з поліпшення (фундука ЄС.

Таблиця 5.4

**Ключові перспективні мікроелементи якості фундука ( $\bar{x} \pm SD$ ), мг/кг**

Показники, що визначали	Барселонський	Галле	Косфорд	Каталонський
Цинк	24,93±0,18 <sup>a</sup>	25,11±0,15 <sup>b</sup>	25,01±0,17 <sup>a</sup>	26,88±0,20 <sup>b</sup>
Мідь	8,21±0,08 <sup>a</sup>	7,98±0,09 <sup>b</sup>	7,65±0,12 <sup>c</sup>	8,00±0,07 <sup>b</sup>
Молібден	0,36±0,01 <sup>a</sup>	0,34±0,03 <sup>a</sup>	0,56±0,04 <sup>b</sup>	0,32±0,02 <sup>a</sup>
Кобальт	0,10±0,01 <sup>a</sup>	0,11±0,01 <sup>a</sup>	0,27±0,02 <sup>b</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>
Марганець	26,38±0,09 <sup>a</sup>	28,01±0,09 <sup>b</sup>	37,00±0,09 <sup>c</sup>	37,04±0,09 <sup>c</sup>

Примітка: різниця статистично достовірна за  $P_{0,05}$  за ANOVA. Ряди мінливості в рядках.

Першим з досліджуваних мікроелементів був цинк, який привертає все більше уваги в рамках європейської концепції забезпечення повноцінного харчування.

Для рослин фундука цинк необхідний для сприяння каталітичним процесам у багатьох ферментних системах, бере участь у вуглеводному, протеїновому обміні, засвоєнні та перетворенні азоту та фосфатів. Цинк безпосередньо є кофактором близько 350 ферментів. Бере участь у формуванні молекул хлорофілу, є складовою 40 ферментів, впливає на репродуктивні функції, впливає на метаболізм вуглеводів, протеїнів та фосфатів, бере участь у синтезі ДНК, рибосом та ауксинів. Цинк може посилювати активність ферментів каталази та пероксидази, а його нестача порушує процес вуглеводного обміну, через що в рослинах стає менше сахарози та крохмалю. Також через недостатність цинку в рослинах зменшується кількість фосфорорганічних сполук та уповільнюється утворення хлорофілу.

Цинк регулює рівень цукру та бере участь у секреції інсуліну. Доволі часто рекомендують добавки цинку в раціоні при схильності до дерматозів та в комплексній боротьбі при важких формах вугрової хвороби та кістозних акне. Стимулюючи вироблення колагену, цинк підвищує пружність шкірних

покривів. Також він відчутно впливає на деякі ферментні системи, що є ключовими для метаболізму людини.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.4, вміст цинку у сортах фундука переважно середній – 25 – 27 мг на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Каталонський, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 11,93$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ). Другим був сорт Галле, який значно поступався попередньому. Потім Барселонський та Косфорд, які були на одному рівні. Статистично достовірної різниці між цими трьома генотипами не зафіксовано ( $F = 2,23$ ;  $F_{0,05} = 3,12$ ;  $P = 0,07$ ).

На рис. 5.12 наведено графіки варіативності ознаки вмісту цинку за сортовою варіансою, параметр був доволі стабільним та межі мінливості за кожним сортом доволі вузькі, тобто ознака таким чином є низьковаріативною (відхилення від середнього не більше ніж 5 %). Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених генотипів був дуже контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Каталонський), а досліджені межі зміни ознаки в рамках кожного із сортів дають можливість зробити висновок, що ці сорти в дослідженні характеризуються високою стабільністю та, відповідно, низьким генетичним поліморфізмом, тобто сорт становить один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за спадковою компонентою. Необхідно врахувати, що доволі часто сорти горіхоплідних є близькими до популяцій за своїми генетичними потенціями, особливо старі сорти.

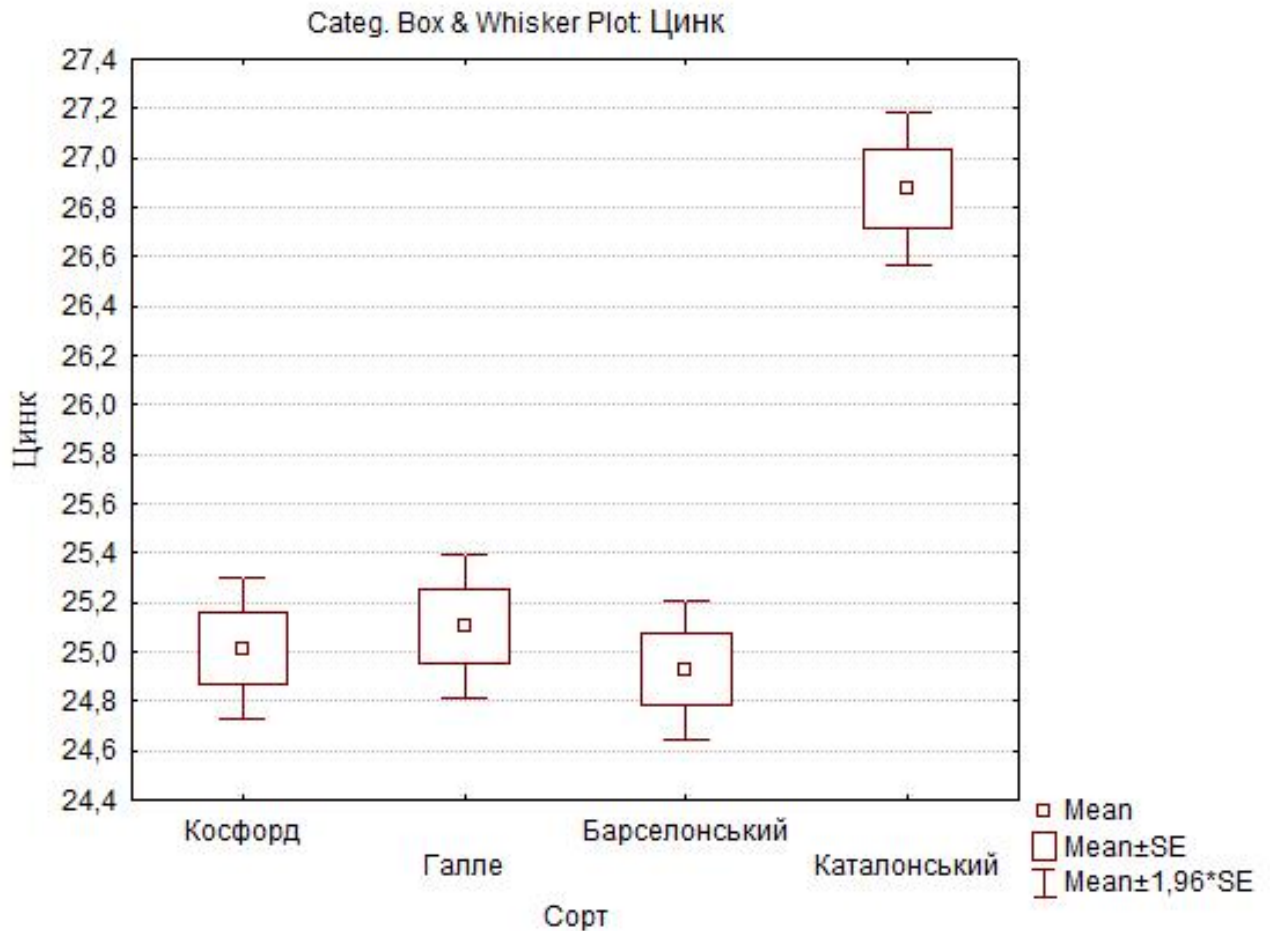


Рис. 5.12. Варіативність цинку за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зміни зовнішнього середовища за роками та зміни їх впливу на прояв ознаки при формуванні фенотипу окремих сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних було виконано дослідження окремо мінливості за роками (залежно від зміни фактора впливу кліматичних чинників середовища). Необхідно зауважити, що загалом ознака доволі широко варіювала в сукупності дат сортів фундука в період дослідження та просто за роками, Різниця за впливом при попарному порівнянні була достовірною між 2020 та 2022 роками (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 14,13$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P < 0,01$ ) (рис. 5.13).

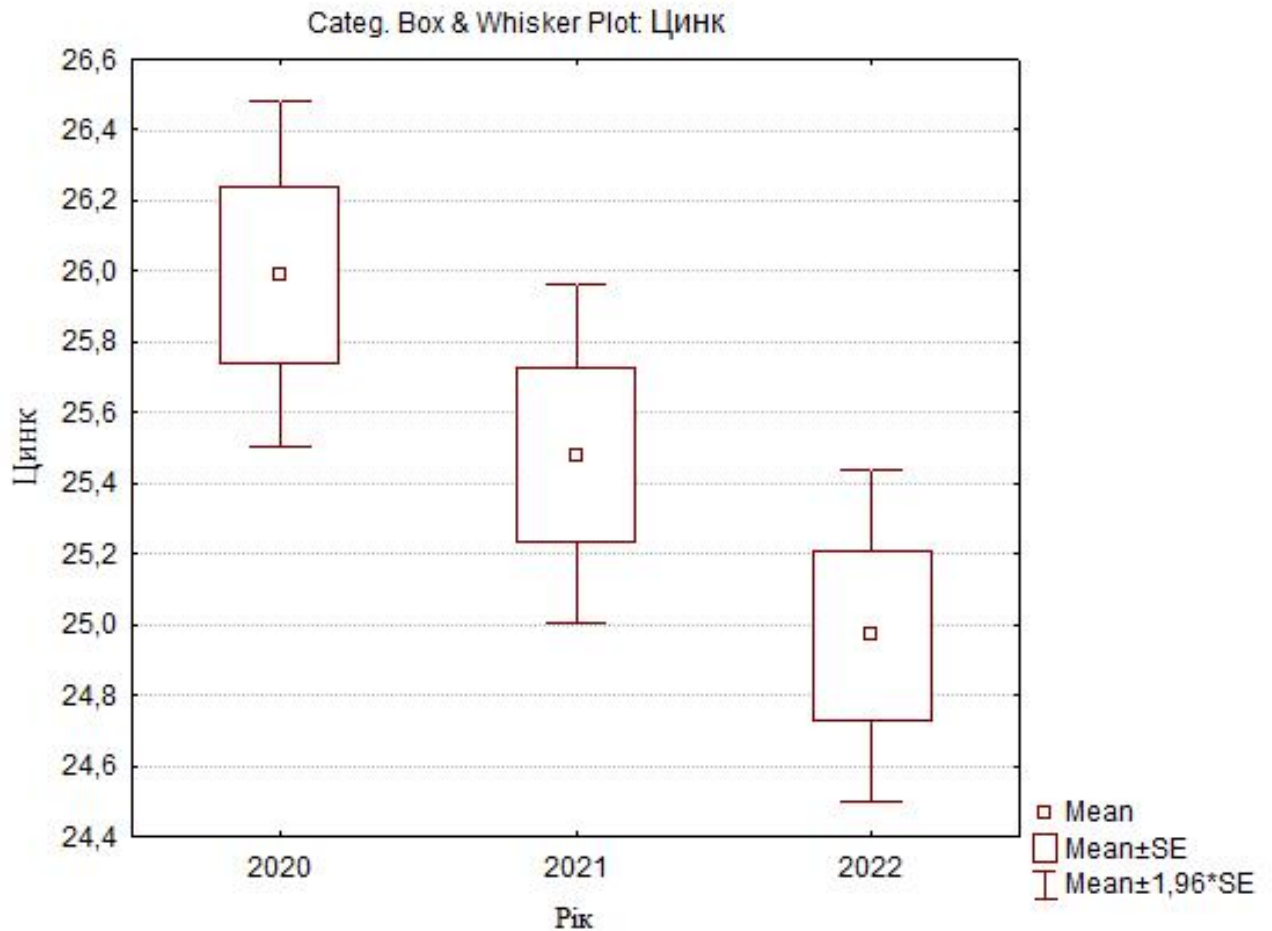


Рис. 5.13. Варіативність цинку як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Усі роки характеризуються доволі високою мінливістю саме з огляду на варіацію ознаки вмісту цинку. Як можна переконатися, за трирічний період усе таки накопичилися значущі зміни, що було відображено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, показало наявність статистично достовірної різниці за двома роками випробування, яка загалом має вагоме постійне значення. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі високі, за роками спостерігається суттєва тенденція).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 113,12$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту цинку набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 44,90$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Загальна варіативність сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилася достатньою для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 6,41$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,05$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом цинку (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним та доволі високо ймовірним. Також прояв ознаки буде залежати від еколого-географічного району.

Наступним поживним елементом у дослідженні була мідь, яка не є критично важливим елементом та джерел якої в принципі вистачає, але переважно не у продукції рослинництва. Тому це може бути важливим, особливо при деяких типах харчування.

Майже вся мідь рослини зосереджена в хлоропластах і тісно пов'язана із процесами фотосинтезу, стабілізуючи хлорофіл і оберігаючи його від руйнування. Мідь входить до складу мідьпротеїду; утворюючи окисний фермент, сприяє синтезу в рослинах залізовмісних ферментів. Позитивно впливає на синтез білків у рослинах, які забезпечують вологоутримуючу здатність рослинних тканин, внаслідок цього мідь як мікроелемент має значення для підвищення у рослин фундуку посухо- та морозостійкості та захисту від бактеріальних захворювань. Мідь бере участь у процесі фіксації азоту сільськогосподарськими рослинами, підвищує стійкість до вилягання.

Нестача міді викликає у рослин затримку росту та цвітіння, хлороз листя, втрату пружності клітин (в'янення рослин). Фундук разом з деякими капустяними належить до рослин, у яких є особлива фізіологічно зумовлена потреба у міді як важливій складовій метаболізму деяких корисних речовин.



Мідь наявна в системі антиоксидантного захисту організму, будучи кофактором фермента супероксиддисмутази, що бере участь у нейтралізації вільних радикалів. Цей біоелемент підвищує стійкість організму до деяких інфекцій, пов'язує мікробні токсини та посилює дію антибіотиків. Мідь сприяє утворенню гемоглобіну. Тому її нестача, як і нестача заліза, може призвести до анемії; покращує роботу імунної системи; необхідна для нормального функціонування нервової системи – вона є необхідною компонентою у складі мієлінових оболонок нервів.

Згідно з дослідженням вмісту цього елемента в зразках (див. табл. 5.4), вміст міді у сортах фундука високий – 7,6 – 8,2 мг на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Барселонський, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 17,14$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), наступними є сорти Каталонський та Галле ( $F = 8,99$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,01$ ), які не відрізнялися один від одного ( $F = 3,01$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,07$ ), потім зі значною різницею йде сорт Косфорд ( $F = 9,16$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,005$ ), у якого вміст міді суттєво нижчий, але потрібно зауважити, що його цілком достатньо для нормативу споживання 100 г горіхів на добу, оскільки необхідність у організму людини в міді не так вже й висока.

Згідно з наведеними на рис. 5.14 графіками щодо зміни лімітів та медіанної зони ознаки вмісту міді за задіяними в дослідженні сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався у кожного із сортів (на рівні попереднього вмісту цинку), ознака теж належить до слабоваріативних (відхилення від середнього до 5 %, у нашому випадку коефіцієнт варіації становить на рівні 3 – 74 % для усіх сортів, що були задіяні в дослідженні). Якщо оцінити загальну мінливість в рамках кожного окремого сорту, то бачимо, що набір досліджених сортів був дуже контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Барселонський) та посередні за значеннями сорти Каталонський та Галле, а досліджені межі за мінливістю

ознаки в рамках кожного із сортів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти не такі вже й нові, але є доволі стабільними формами. Це свідчить про те, що за цією ознакою ці генотипи представлені одним основним біотипом, який не варіює за роками.

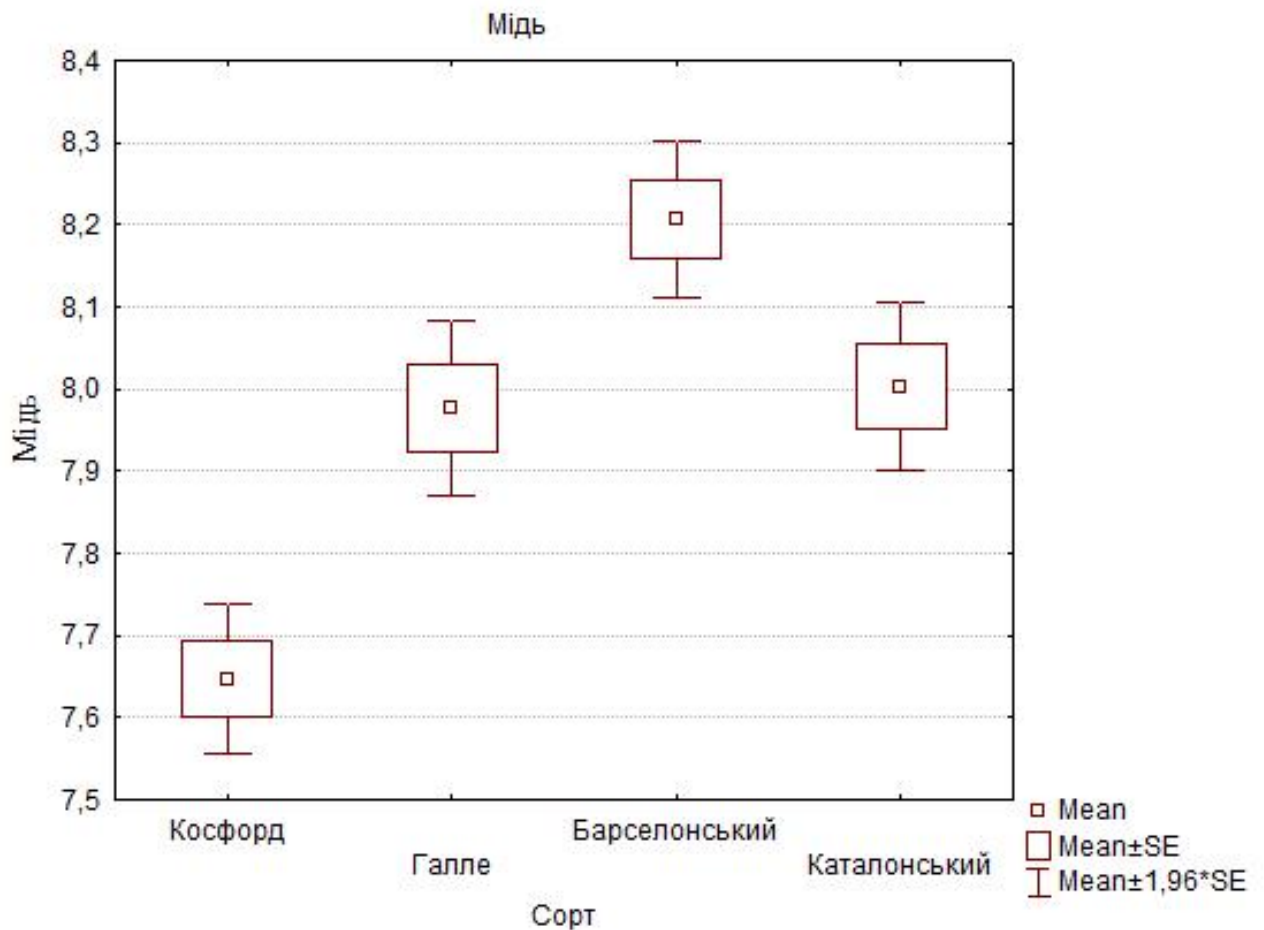


Рис. 5.14. Варіативність міді за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та їх параметрів мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження окремо мінливості за роками (залежності від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища). Потрібно сказати, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження і просто за роками різниця була статистично достовірною при попарному порівнянні між 2020 та

2022 роками (рис. 5.15). Водночас отримана картина свідчить про суттєво вищу варіативність, але в рамках медіаного відхилення, а не лімітуючих граничних значень для сукупності сортів загалом, що є додатковим аргументом на користь стабільності дослідженого набору сортів за цією ознакою. Остаточо це може показати проведення етапу двофакторного та дискримінантного аналізу.

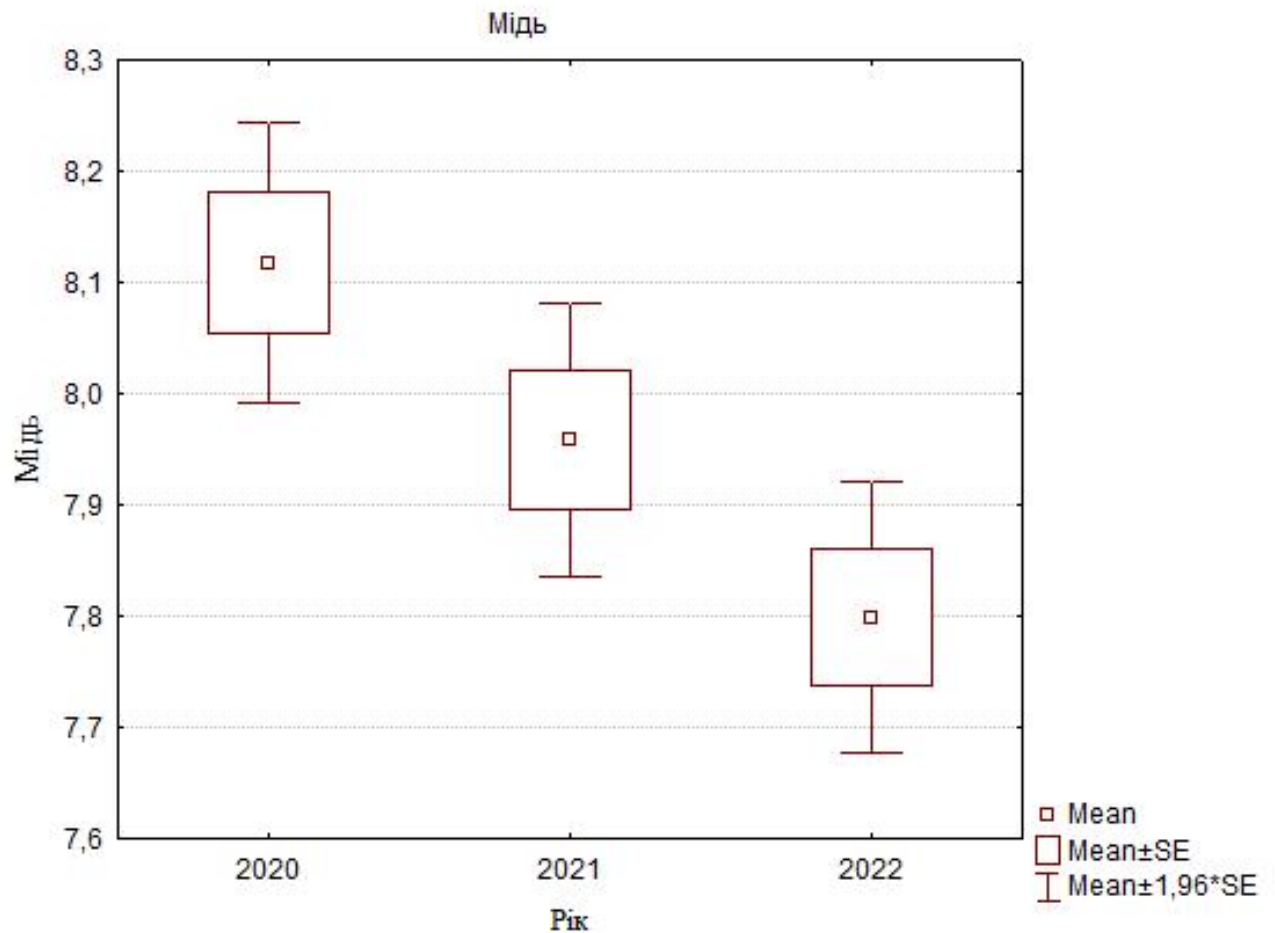


Рис. 5.15. Варіативність міді як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися відчутні зміни, що було відображено за мінливістю фактора при двофакторному аналізі. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від

загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі високі, за роками також спостерігається суттєва тенденція).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 96,57$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту міді набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 60,70$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось достатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 7,10$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,04$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом міді (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним, та прогнозується достатня кількість таких форм.

Таким чином, ознака є стабільною та переважно зумовлена генотиповою складовою варіанси. Також є вагомим вплив умов середовища на формування цієї ознаки. Це трапилося вже другий раз під час дослідження мікроелементів на відміну від макроскладових та може свідчити про суттєву різницю у генетичному контролі цих ознак.

Наступним з досліджуваних елементів був молібден, вміст якого є низьким, особливо у продукції рослинництва, і останнім часом він став привертати суттєву увагу.

Молібден мінімізує вміст нітратів у рослинній тканині, зменшуючи поглинання рослиною нітратного та збільшуючи поглинання нітритного азоту та включаючи його в такі азотовмісні сполуки, як білки. Молібден також відіграє важливу роль у використанні фосфору в рослинах. Без молібдену рослини можуть поглинати неорганічний фосфор, але вони повинні при цьому займатися перетворенням цього фосфору на органічну форму, яку можуть

використовувати, чому значно сприяють ферментні системи, які містять молібден як важливий кофактор. Фундук належить до рослин з високими потребами в цьому хімічному елементі.

Молібден виконує в організмі такі функції: сприяє метаболізму білків, жирів та вуглеводів; нормалізує статеву функцію; стимулює зростання (активує ферменти, необхідні для розвитку та зростання організму); входить до складу ферментів, необхідних для роботи організму; зміцнює зубну тканину (затримує фтор в організмі); прискорює розпад пуринів та виводить із організму сечову кислоту; важливий компонент тканинного дихання; бере участь у синтезі амінокислот; впливає на склад крові (допомагає виробляти гемоглобін); бере участь у синтезі вітаміну С, впливає на обмін вітамінів С, В<sub>12</sub> та Е; запобігає анемії (покращує засвоєння та утилізацію заліза); виступає як антитоксичний фактор (впливає на розпад сульфідів та алкоголю); впливає на кількісний та якісний склад мікрофлори кишечника. Його основна біохімічна роль полягає у прискоренні реакції окислення пуринових азотистих основ, що здійснюється за допомогою ксантиоксидази.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.4), вміст молібдену в сортах фундука теж доволі високий – 0,3 – 0,6 мг на 1000 г сухої речовини, особливо високий вміст молібдену у сорту Косфорд ( $F = 23,17$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння проведено через тест Т'юкі), потім ідуть сорти Галле, Каталонський та Барселонський, що значно йому поступалися ( $F = 12,18$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P < 0,01$ ) та не мали різниці між собою ( $F = 3,42$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,08$ ).

Згідно з наведеними на рис. 5.16 графіками щодо мінливості ознаки вмісту молібдену за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався при жодних обставинах, ознаку таким чином можна віднести до низьковаріативних (відхилення від середнього не більше 5 %), але, якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний

відрізнятися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Косфорд). Досліджені граничні значення за мінливістю параметра в рамках кожного із сортів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти загалом характеризуються низьким рівнем генетичного поліморфізму, вони є досить стабільними. Серед дослідженого набору найменша варіація за ознакою спостерігається в сорту Косфорд, потім іде Барселонський, найвища в сортів Галле та Каталонський. Але загалом межі варіації ознаки суттєво нижчі, ніж в інших макроелементів.

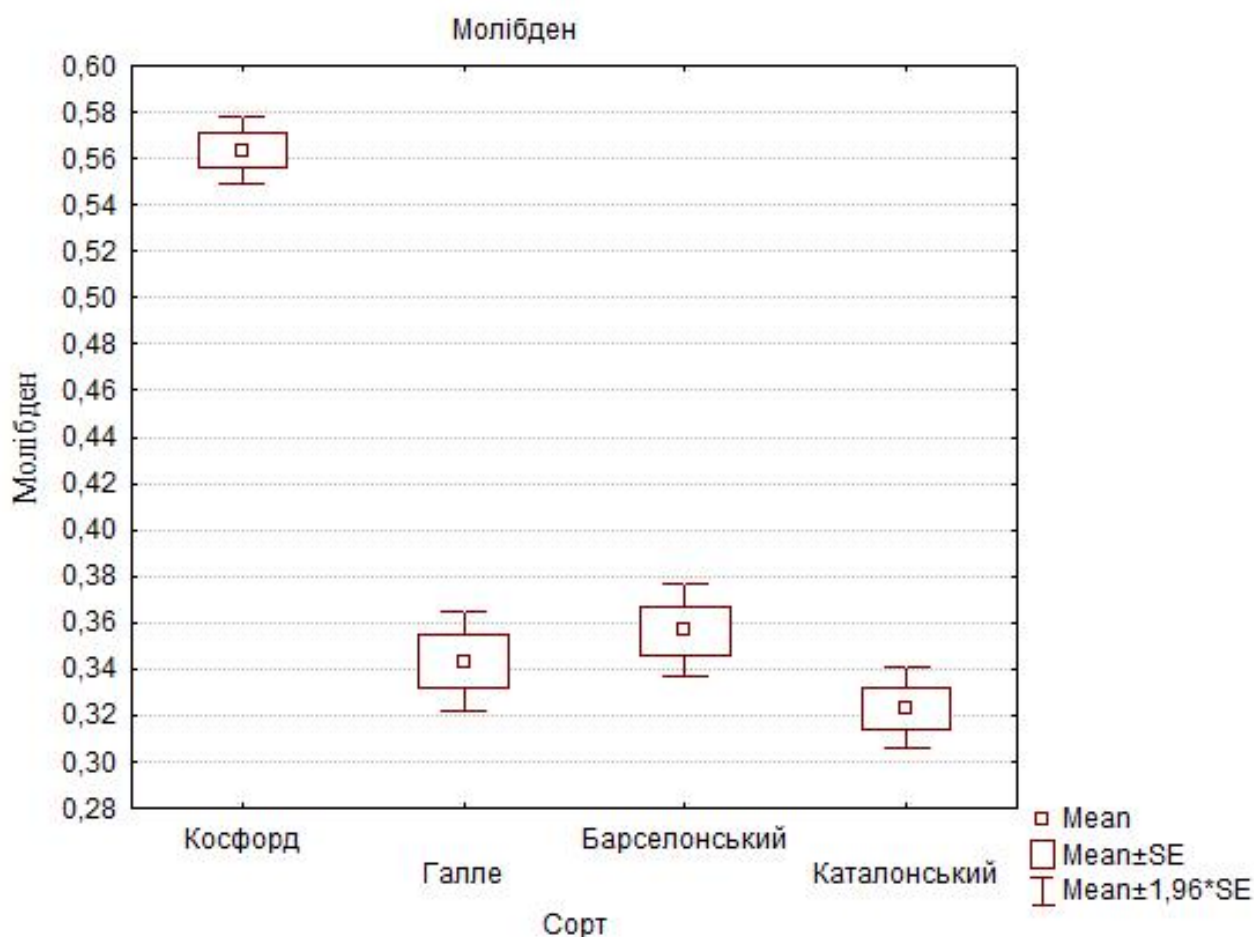


Рис. 5.16. Варіативність молибдену за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та параметрів їх мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу куців фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження

окремо мінливості за роками (залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища). Потрібно зауважити, що в цілому ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та суттєва різниця за роками не відмічена в рамках дослідження (рис. 5.17). Але необхідно наголосити, що 2022 рік був найменш сприятливим у реалізації цієї ознаки та в цілому набір сортів характеризувався відносно меншою контрастністю за цим параметром, ніж за попередніми ознаками.

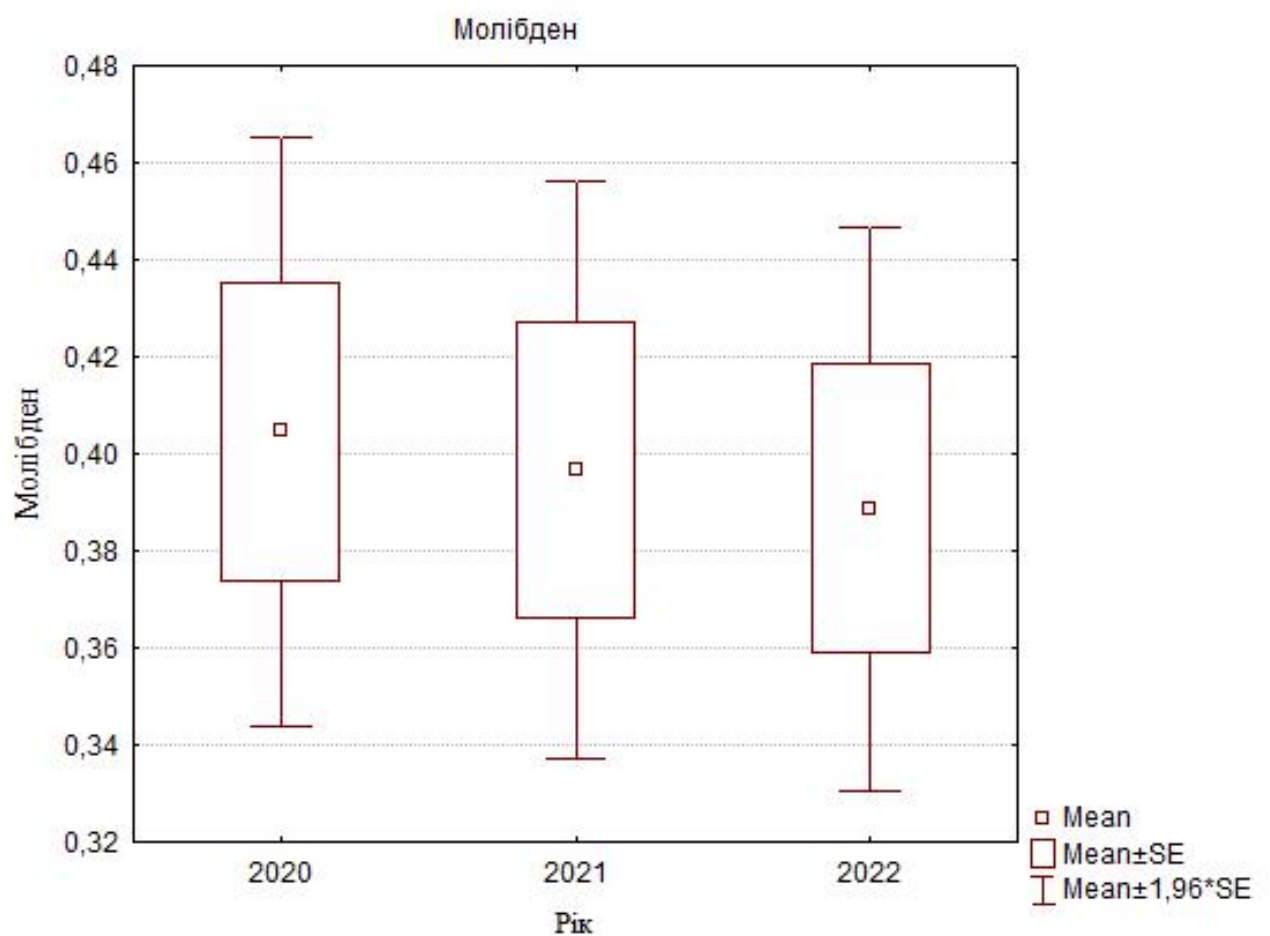


Рис. 5.17. Варіативність молибдену як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися вагомні зміни, що було відображено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане через тест Т'юкі, не показало наявності

статистично достовірної різниці за деякими роками випробування. Наступним питанням, яке потрібно розглянути в ході дослідження, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин найнижчі з усіх раніше досліджених ознак).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 109,13$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту молібдену набагато слабше та зовсім не суттєво достовірно ( $F = 0,73$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,49$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,015$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,95$ ). Загалом мінливість вмісту сірки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом молібдену (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є вкрай доцільним. Причому повністю фенотип буде формуватися без особливих коливань за роками лише сортовими особливостями фундука.

Таким чином, з одного боку, ця ознака демонструє найвищу стабільність з усіх досліджених, з іншого – межі варіативності показують, що поліпшення за нею буде зумовлено виключно генотиповою варіансою, що суттєво відрізняється від інших елементів. Тому розраховувати на фундук як джерело постійного вмісту молібдену для раціону повністю можливо в умовах нашого агроекологічного району. Також вміст молібдену повністю достатній навіть у разі використанні сортів з нижчими значеннями за умови споживання 100 г горіхів на день.

Кобальт бере участь в обміні речовин, сприяє фіксації атмосферного азоту, прискорює зростання, розвиток і підвищує продуктивність сільськогосподарських культур. Має властивість накопичуватися в пилку і



суттєво впливати на його проростання. Бере безпосередню участь в обміні ауксинів, допомагає розтягуватися клітинним оболонкам. Шляхом збільшення розміру клітин паренхіми листа допомагає стимулювати репродукцію клітин. Доведено вплив кобальту на проходження фотосинтезу завдяки підвищеній концентрації хлоропластів. Бере участь у зміні проникності плазмалеми, сприяє надходженню до клітин азоту. Активізує ферменти.

Наступним досліджували кобальт – один із мікроелементів, життєво важливих організму. Він входить до складу вітаміну В<sub>12</sub> (кобаламін). Кобальт задіяний при кровотворенні, у функціях нервової системи та печінки, ферментативних реакціях. Ключова функція – кровотворення. Воно буде відбуватися без збоїв лише за умови достатньої наявності кобальту та його взаємодії із залізом та міддю. Важливою особливістю цього унікального за своїми властивостями мікроелемента є його здатність до зниження рівня холестерину в крові та виведення його із судин.

Рослинних джерел кобальту доволі мало, переважно для рослинної продукції серед горіхоплідних, але фундук є важливим ресурсом для підвищення вмісту цього елемента, як і звичайний грецький горіх та мигдаль. Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.4), вміст кобальту в сортах фундука доволі високий – 0,1 – 0,3 мг на 1000 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Косфорд, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 22,33$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ). Інші три сорти мали значно нижчий вміст цього мікроелемента ( $F = 2,17$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,09$ ), але цілком достатній для добової потреби при споживанні 100 г горіхів.

Згідно з наведеними на рис. 5.18 даними, варіативність ознаки вмісту кобальту за генотиповою мінливістю найнижча з уже досліджених. Ознака належить до низьковаріативних (тобто сягає 5 %), але за рахунок добраного набору зразків деякі сорти здатні відрізнитися суттєво вищою кількістю цього елемента (вищезгаданий сорт Косфорд), а межі мінливості в рамках кожного сорту дозволяють зробити припущення, що загалом генна система, яка

відповідає за цю ознаку, перебуває в стабільному стані, домінує один біотип, що свідчить на користь високої гомозиготності сорту за цим параметром.

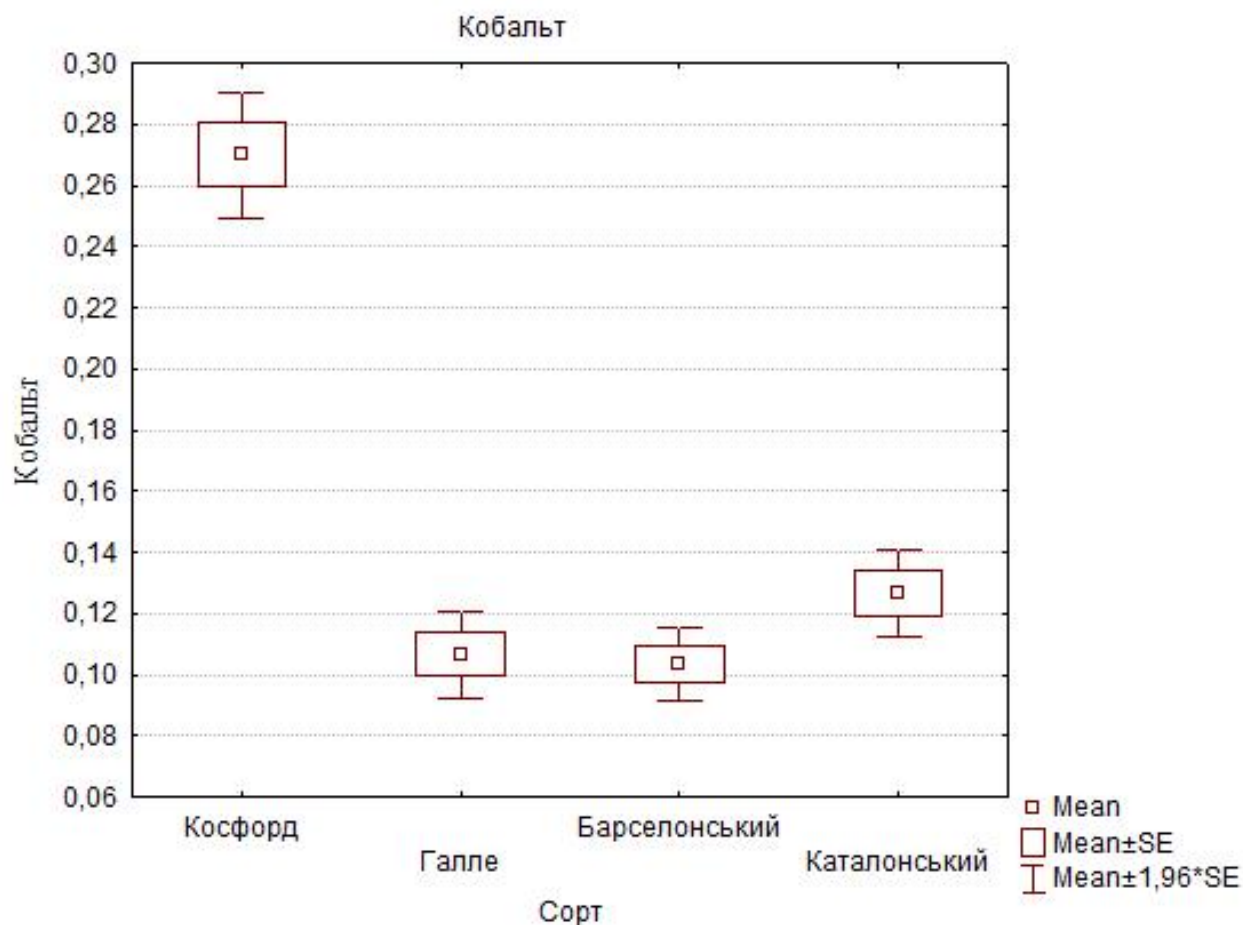


Рис. 5.18. Варіативність кобальту за сортовою компонентою

Для ефективності визначення агроекологічних факторів на прояв ознаки в рамках дослідження також було проаналізовано окремо мінливість за роками (залежно від зміни фактора кліматичних умов). Потрібно зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цим фактором: за роками різниці за впливом не спостерігається (рис. 5.19).

Усі роки характеризуються доволі стабільними умовами, що вже було зазначено у відповідному розділі. Потрібно наголосити, що суттєве пом'якшення зимових умов та підвищення рівня зволоження стабілізувало сорти й за цими ознаками.

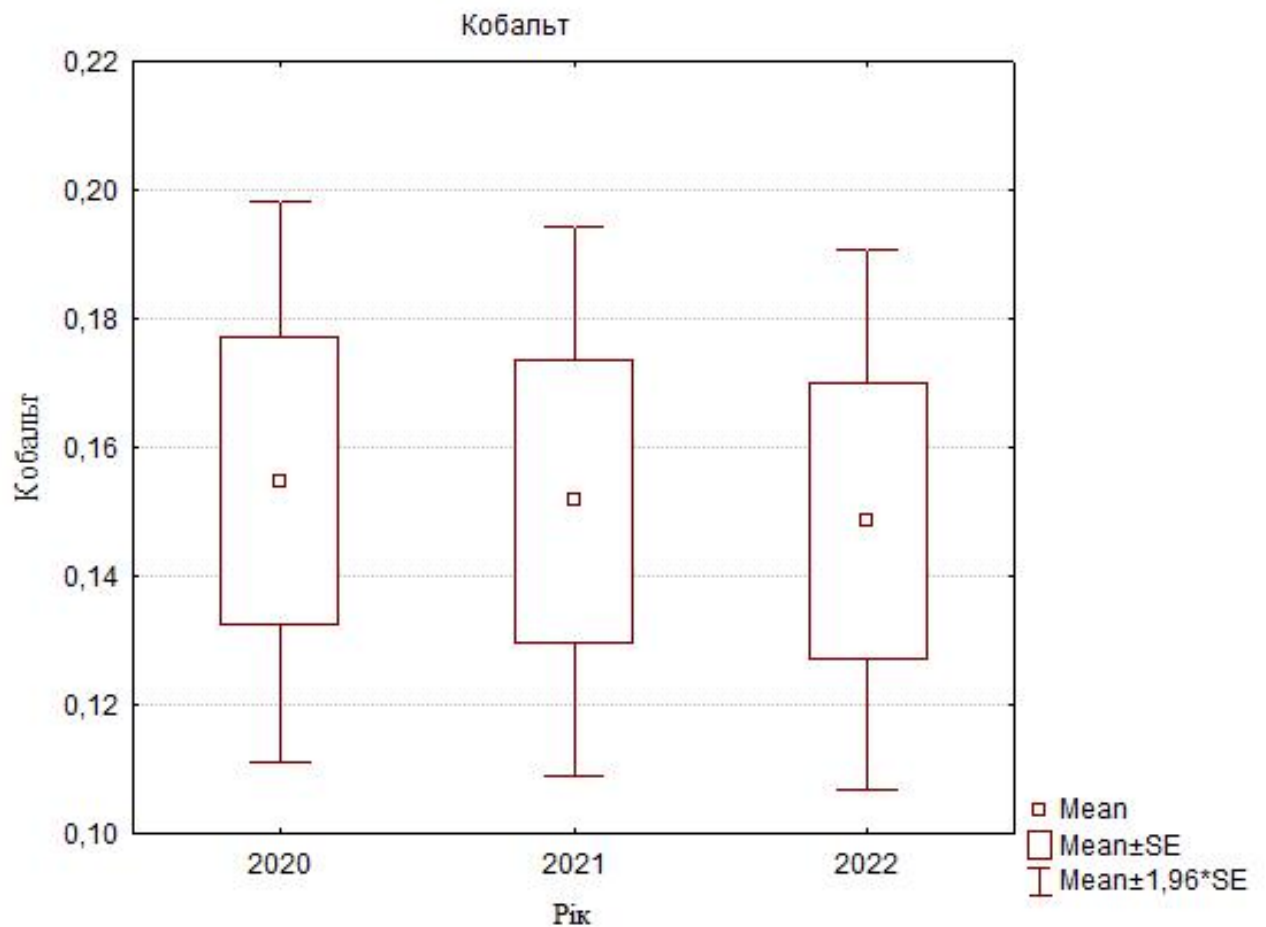


Рис. 5.19. Варіативність кобальту як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Попарне порівняння, виконане через тест Т'юкі, показало відсутність статистично достовірної різниці за кроками випробування. Але, звичайно, не може не постати питання варіації сортів за роками, оскільки деяка частка індивідуальної реакції генотипу може бути прихована в загальній дисперсії культури (як бачимо, за роками межі варіативності окремих зразків дуже вагомі, та, на відміну від аналізу за сортовою компонентою, свідчать про суттєві відмінності в реакції окремих сортових компонентів агроценозу фундука).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, як діяли обидві складові, тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним та високоїмовірним ( $F = 75,93$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту кобальту незначно ( $F = 0,14$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,86$ ).

Загальної мінливості сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,01$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,99$ ).

Таким чином, за загальними параметрами він нічим не відрізняється від попереднього макроелемента.

Наступним етапом було дослідження вмісту марганцю. Цього нутрієнта доволі часто бракує, і ця речовина залишається важливою як для рослини, так і для сільськогосподарського виробництва загалом.

Важлива роль марганцю пояснюється тим, що він є складником багатьох ферментів, які відповідають за дихання рослин, основою яких є молекула металу. Марганець бере участь в окиснювально-відновних процесах рослинних клітин та взаємодіє із залізом у ферментних системах. Він допомагає окисненню заліза, усуває його токсичність. Крім цього, марганець бере участь у синтезі вітаміну С і посилює накопичення цукру та білка. Марганець впливає на білковий обмін, він є одним з найважливіших компонентів для забезпечення високої якості, без якого навіть великий загальний обсяг врожаю не матиме відчутного значення. Відіграє важливу роль в утворенні хлорофілу, впливає на перетворення світла у хлоропластах. Його нестача проявляється у вигляді пожовтіння (утворення хлорозів) на листі. При нестачі марганцю значно страждає білковий та вуглеводний обмін, внаслідок чого зменшується якість та кількість врожаю.

Марганець необхідний для формування та функціонування опорно-рухового апарату, поділу клітин, ефективної роботи мозку (забезпечення нейрохімічних процесів у ЦНС). Він також є антиоксидантом. Він необхідний для формування кісткової тканини, синтезу білків, молекул АТФ і регуляції

клітинного метаболізму. Крім того, марганець відіграє роль кофактора одного з різновидів супероксиддисмутази (марганцевої), що нейтралізує вільні радикали, та ферментів глюконеогенезу.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 5.4), вміст марганцю у сортах фундука доволі високий – 26 – 37 мг на 1000 г сухої речовини, особливо необхідно відзначити сорти Косфорд та Каталонський, останній значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 14,22$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), які вагомо не відрізнялися один від одного ( $F = 1,71$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,11$ ). Потім йшов сорт Галле ( $F = 8,72$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,01$ ), значно поступався всім іншим сорт Барселонський ( $F = 8,87$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,01$ ).

Згідно з наведеними на рис. 5.20 графіками щодо мінливості ознаки вмісту марганцю за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався за будь-яких обставин. Ознака таким чином є низьковаріативною (відхилення від середнього не більше 5 %). Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати сорти, що здатні відрізнятися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведені сорти Косфорд та Каталонський).

Досліджені межі мінливості ознаки в рамках кожного з генотипів дають змогу зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти не такі вже й нові, вони є дуже стабільними за генетичними потенціями й у їх складі переважає один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за генетичною компонентою. Таким чином, у рамках сортової мінливості ознака є найбільш стабільною, з низькою варіативністю за сортами загалом.

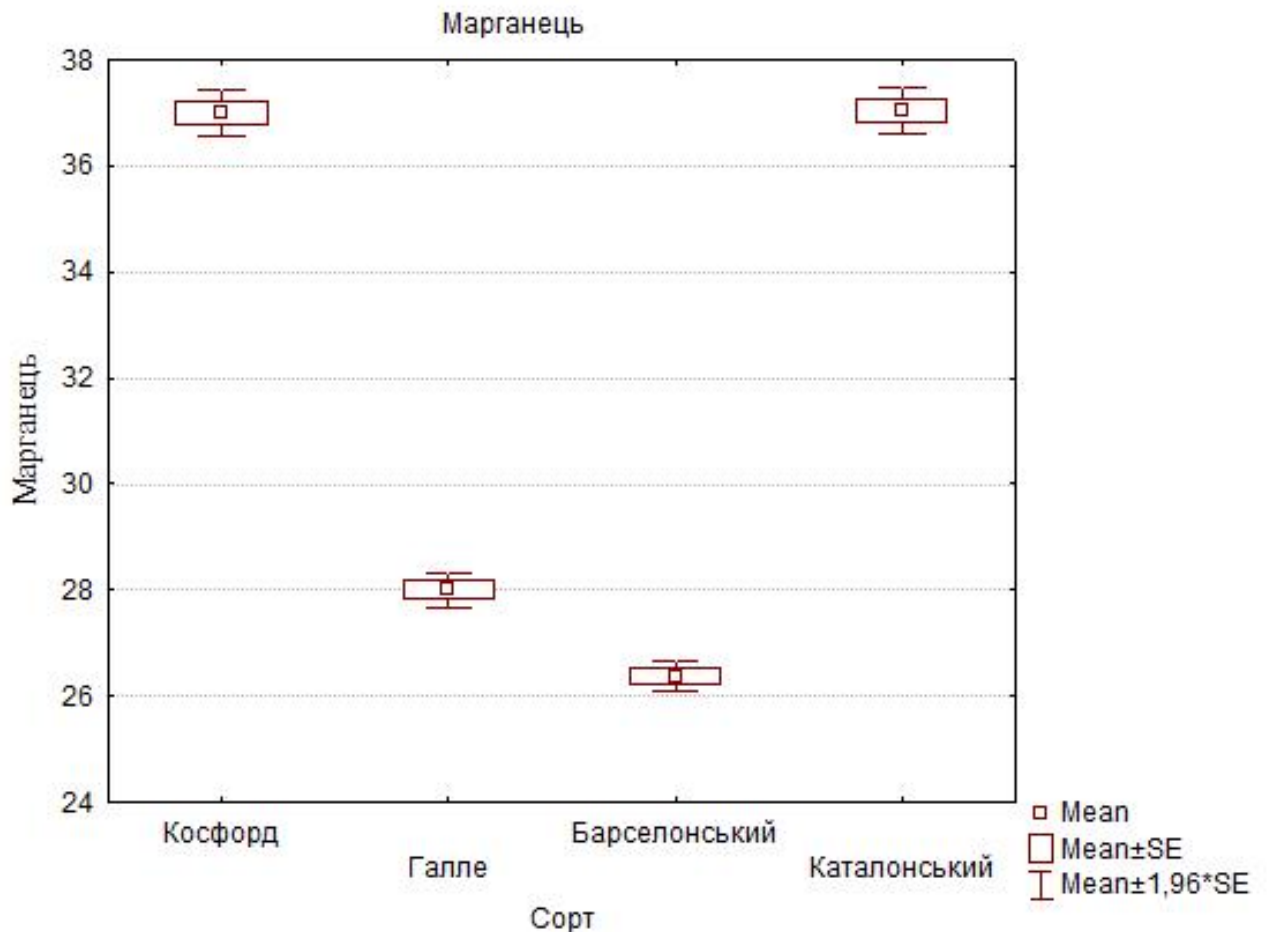


Рис. 5.20. Варіативність марганцю за сортовою компонентою

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та варіювання його меж залежно від року на прояв ознаки вмісту марганцю при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження окремо мінливості за роках (залежно від зміну фактора впливу абіотичних чинників середовища) (рис. 5.21).

Необхідно зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та окремо за роками, різниця за впливом при попарному порівнянні була недостовірною.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися значні зміни, що було підтверджено мінливістю фактора.

Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, не продемонструвало наявності статистично достовірної різниці за роками випробування.

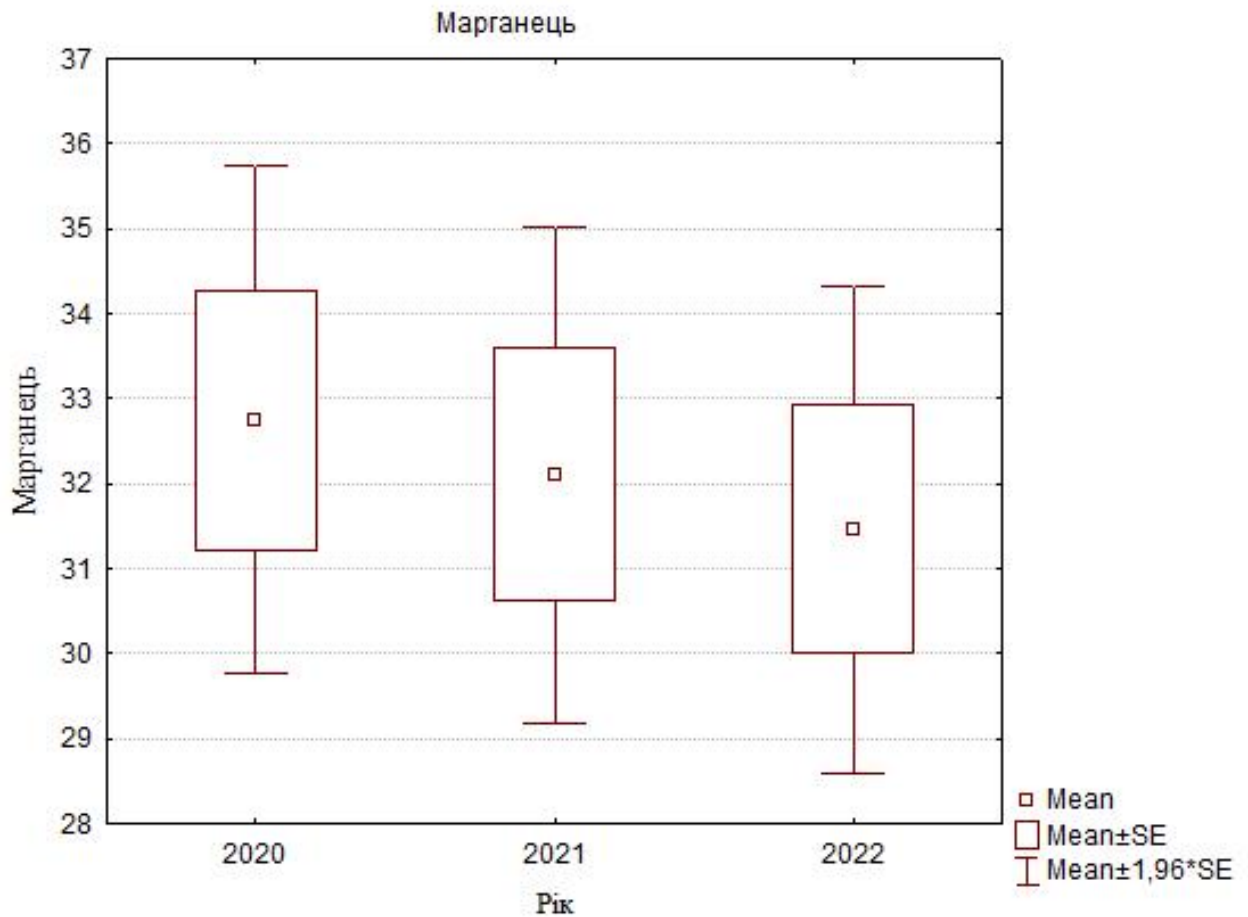


Рис. 5.21. Варіативність вмісту марганцю як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі слабкі, а от за роками спостерігається дещо більш суттєва тенденція, хоча й не така значна, як для інших ознак).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав можливість встановити, що діяли обидві складові, тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю

( $F = 321,7$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту марганцю набагато слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 54,4$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P < 0,01$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 6,60$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,05$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом марганцю (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним та цілком перспективним.

Для встановлення загальної сортової диференціації за групою ознак та остаточного виявлення впливу кожної з них був відповідно виконаний дискримінантний аналіз (рис. 5.22, табл. 5.5 – за сортами та табл. 5.6 – за роками випробування).

У результаті аналізу сортової варіанси можна зробити висновки про доволі близькі позиції за мінливістю ознак у сортів Барселонський та Галле, що свідчить про відносно однакові межі мінливості. Сорти Косфорд та Каталонський були суттєво відокремлені в просторі мінливості факторів підсумково та суттєву варіативність та вагомість таких ознак: вмісту цинку, міді, молібдену та марганцю, що свідчить про доволі високий потенціал сорту Косфорд за цими ознаками та загальні високі можливості у їх поліпшенні за вже існуючою варіативністю. Ознака вмісту кобальту стабільна та найменш варіативна і не потрапила до моделі.

Класифікація за роками (табл. 5.6) продемонструвала варіативність лише молібдену, але для побудови моделі канонічних функцій диференціюючої сили мінливості виявлялося недостатньо, таким чином компонента зовнішнього середовища за класифікаційним впливом недостатньо контрастна й ці результати можна не враховувати. Можливо, більший період з більш контрастними умовами надасть іншу картину.



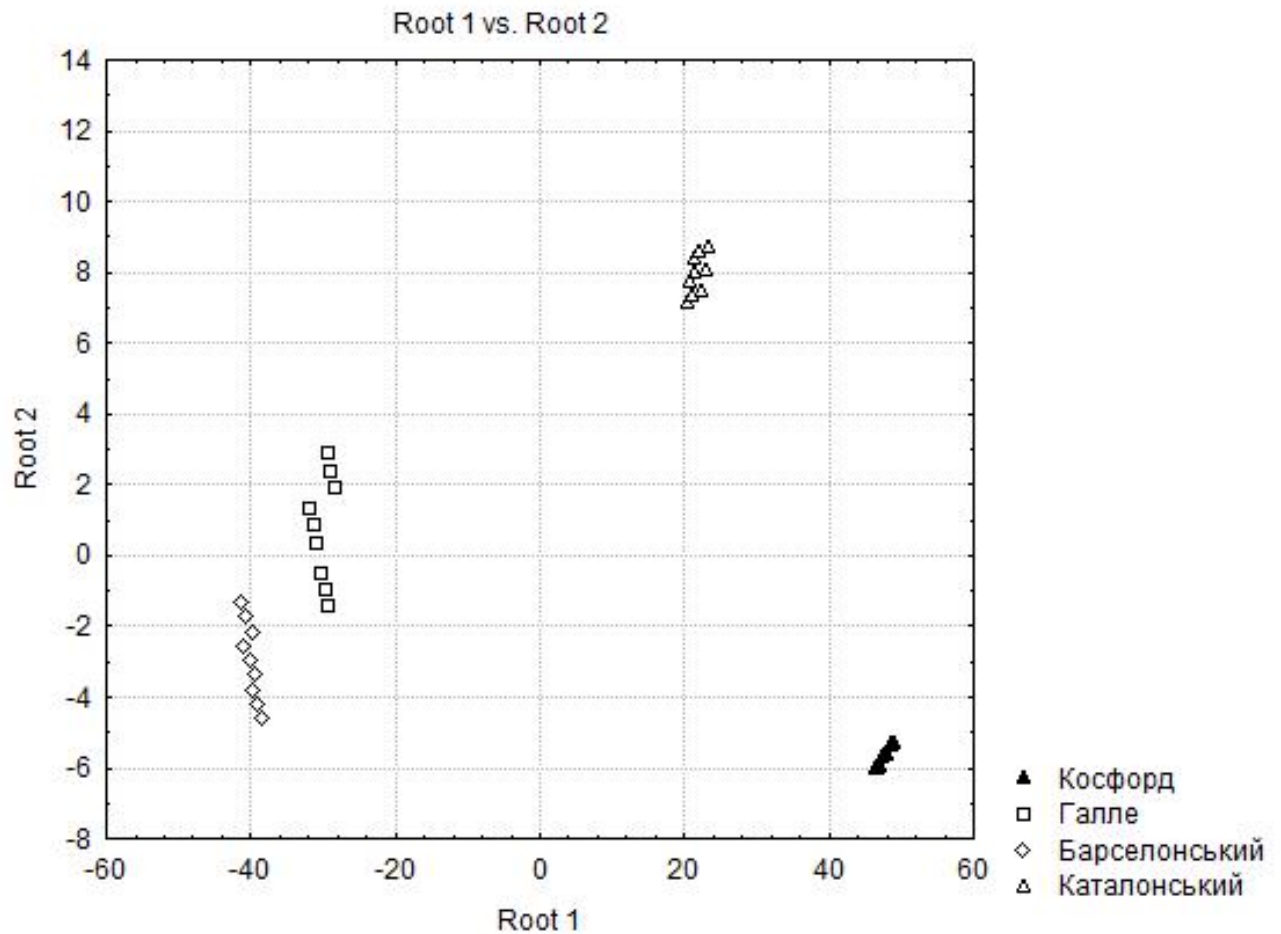


Рис. 5.22. Результати класифікації у факторному просторі канонічних функцій за належністю до кластеру сорту (2020 – 2022 рр.)

Таблиця 5.5

**Вагомість окремих чинників за сортами**

Параметр	Wilks'	Partial	F (критичне - 3,82)	p-рівень
Цинк	0,001	0,09	87,99	P < 0,01
Мідь	0,001	0,33	18,36	P < 0,01
Молібден	0,001	0,37	15,76	P < 0,01
Кобальт	0,014	0,85	1,61	P = 0,21
Марганець	0,001	0,011	94,05	P < 0,01

**Вагомість окремих чинників за роками**

Параметр	Критерій Уїлкса	Часткова	F (критичне - 10,58)	p-рівень
Цинк	0,33	0,82	3,18	P = 0,07
Мідь	0,30	0,89	1,70	P = 0,19
Молібден	0,35	0,79	13,85	P = 0,03
Кобальт	0,27	0,99	0,13	P = 0,87
Марганець	0,29	0,94	0,84	P = 0,43

Таким чином, ознаки вмісту цинку, міді та марганцю характеризуються суттєвої річною варіансою та суттєвим генотип-середовищним ефектом. Це дуже їх відрізняє від попередньо розглянутих ознак вмісту макроелементів, де значущою генотип-середовищна компонента не була ніколи, а середовищна переважно лише для вмісту калію як ознаки. Незважаючи на це, встановлені закономірності свідчать про високу стабільність сортів у прояві цієї ознаки та про перспективність її генетичного поліпшення.

Ознака вмісту кобальту та молібдену, зі свого боку, зовсім не залежала від ефектів середовища та була низьковаріативною, що вказує на високу успішність використання в рамках досліджених генетичних ресурсів цього набору сортів для поліпшення цієї властивості.

Тобто, дійсно вагомим фактором був сорт, переважно ознаки формувалися за впливом генотипу. Зміни умов року могли привести до достовірної різниці за частинної ознаки, але їхній вплив не був вирішальним та не виходив за межі значущості. Не встановлено суттєвого генетичного поліморфізму жодною ознакою. Суттєвою варіативністю, що виходить за межі низької, також не відзначалася жодна ознака. Більш перспективним для генетичного поліпшення в рамках виконаного дослідження мінливості сортів є ознаки вмісту молібдену та кобальту, інші мають менші перспективи, але все

ще високу вірогідність. Усі наведені ознаки були модельними за фактором сорт, крім кобальту, що свідчить про низьку загальну значущість цієї ознаки.

Загалом сорти відзначалися доволі високою генетично зумовленою стабільністю в прояві ознак вмісту основних мікроелементів, що свідчить про перспективність їх використання для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектра природних умов нашого агроекологічного району. У той же час фактор кліматичних умов конкретного року впливав на ці ознаки суттєво більше, важливою в деяких варіантах стає генотип-середовищна взаємодія. Можна зробити висновок про відносно низький поліморфізм досліджених сортів щодо ознак вмісту мікроелементів та можливості підвищення їх вмісту за рахунок оптимізації умов вирощування.

Таким чином, за комплексом цінних елементів, що були вивчені в рамках цього дослідження, більш вдалим є композиція властивостей у генотипу Косфорд, який поступався за вмістом міді та цинку. Наступне місце з більш вагомим вмістом цинку, міді та марганцю займав генотип Каталонський. Можна сказати, що ці два сорти доповнюють один одного.

Таким чином, більш повноцінним з огляду на високий вміст цінних елементів в комплексі був сорт Косфорд, а найменш цінним за цими параметрами виявився сорт Барселонський.

## **Висновки до розділу 5**

1. Усі досліджені ознаки вмісту макро- та мікроелементів можна віднести до низьковаріативних, крім вмісту фосфору. Причому на мінливість за цими ознаками переважно впливають генетичні потенції сорту, за винятком цинку та міді. Генотип-середовищна взаємодія не була значущою, фактор рік був значущим, але суттєво поступався за вагомістю впливу.

2. Усі задіяні сорти є константними стабільними формами за дослідженими ознаками вмісту елементів, за винятком сорту Косфорд за вмістом фосфору. Вони є гарним вихідним матеріалом та довели можливість отримання горіхів з високою фіксованою харчовою якістю з огляду на потреби

людського організму в розрахунку на споживання в раціоні 100 г фундука на добу.

3. Сорти відзначалися доволі високою генетично зумовленою стабільністю в прояві ознак вмісту основних елементів, що свідчить про їхню перспективність у використанні для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектра природних умов.

4. Більш перспективним для генетичного поліпшення в рамках виконаного дослідження мінливості сортів є ознаки вмісту молібдену та кобальту, потім вмісту фосфору, калію та магнію, марганцю, цинку та міді, але все ще з високою вірогідністю. Менш доцільним є робота з поліпшення вмісту кальцію для досліджуваних сортів фундука. Виконання досліджень з поліпшення вмісту сірки як ознаки не має достатньої перспективності.

5. За вмістом цінних макро- та мікроелементів виокремлюється сорт Косфорд (вміст кальцію, сірки, магнію, калію, молібдену, кобальту, марганцю).

Основні положення змісту цього розділу викладені в наукових працях:

1. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Сорти фундука як джерело отримання цінних харчових елементів в умовах Півночі Степу України. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 17. С. 197–201. Режим доступу до статті: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.28>

2. Simchenko O., Nazarenko M. Hazelnut varieties as a source of microelements under the conditions of the northern steppe of Ukraine. *Selection of agroecrops in the conditions of climate change: directions and priorities*: Collection of materials II International Scientific and Practical Conference. Odessa : Oldi+, 2023. P. 157–158.

## РОЗДІЛ 6

### ІНТРОДУКОВАНІ СОРТИ ФУНДУКА ЯК ДЖЕРЕЛО БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В УМОВАХ ПІВНОЧІ СТЕПУ УКРАЇНИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТИПІВ МІНЛИВОСТІ

Серед горіхів фундук (*Corylus avellana* L.) вважається чудовим протизапальним і гіполіпідемічним продуктом харчування, є другим за багатством джерелом корисних елементів серед горіхів [111], дуже багатий на вітамін Е та токофероли, фітостероли (головним чином  $\alpha$ -ситостерин), L-аргінін, поліфеноли, фолат та харчові волокна [103]. Серед фенольних сполук фундук містить галову кислоту, п-гідроксибензойну кислоту, епікатехін, кавову кислоту, синапінову кислоту та кверцетин та має найвище співвідношення ненасичених/насичених жирних кислот серед горіхів [107 – 109].

Відповідно до добової потреби у вітамінах вважається, що фундук забезпечує потребу в харчових волокнах повністю, вітамінів А на 67 %, Е на 84 %, С на 54 % та РР на 48 %. Ці результати показують, що фундук є багатим джерелом багатьох важливих речовин, зокрема джерелом мікроелементів, необхідних для харчування та здоров'я людини [110].

Фундук є здоровою їжею, оскільки він є швидким джерелом енергії та легким джерелом рослинного білка. Він поліпшує здоров'я серця завдяки вмісту омега-3 жирних кислот [163]. Також знижує ризик виникнення раку, оскільки містить вітамін Е, який допомагає захистити клітини від різних типів клітинних пошкоджень, які можуть призвести до цього захворювання. Щоденна рекомендація – до 1,5 унцій (56,7 грамів) фундука.

Фундук багатий поживними речовинами й має високий вміст білків, жирів, вітамінів і мінералів. Олія фундука знижує рівень холестерину в крові, а також контролює побічні ефекти гіпертонії [165]. Окрім багатого мінерального вмісту, ядра лісового горіха є одним із цінних джерел необхідних вітамінів, таких як вітаміни В1, В6, ніацин і  $\alpha$ -токоферол, який, як активна форма вітаміну Е, допомагає знизити ризик деяких хронічних захворювань, таких як хвороби

серця, діабет 2-го типу, гіпертензія і рак, також він може боротися з деякими негативними наслідками, пов'язаними зі старінням.  $\alpha$ -токоферол допомагає уникнути зниження когнітивних функцій і хвороби Альцгеймера [166]. Харчова цінність фундука здебільшого пов'язана із сортом, екологічним середовищем та використанням у переробній промисловості [167].

Виконано комплексний біохімічний аналіз за такими ознаками, як вміст насичених жирних кислот (НЖК), харчових волокон, вітамінів А, Е, С та РР (різними біохімічними методами), що продемонстрував такі результати (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Результати комплексного біохімічного аналізу ( $\bar{x}=9$ ,  $\pm SD$ ) на 100 г**

Параметри, од	Барселонський	Галле	Косфорд	Каталонський
Насичені жирні кислоти, г	4,32 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	4,53 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	4,61 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	4,41 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>
Харчові волокна, г	5,73 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	5,89 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>	5,69 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	5,60 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>
Вітамін А, мкг	2,13 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	2,55 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	2,17 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	2,07 $\pm$ 0,12 <sup>a</sup>
Вітамін Е, мг	20,17 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>	20,96 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	22,45 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	22,10 $\pm$ 0,17 <sup>c</sup>
Вітамін С, мг	1,39 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	1,73 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	1,45 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	1,61 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>
Вітамін РР, мг	2,04 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	2,08 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	2,07 $\pm$ 0,21 <sup>a</sup>	2,06 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>

Примітка: різниця статистично достовірна за  $P_{0,05}$  Ряди мінливості в рядках.

Першим з досліджуваних параметрів був вміст насичених жирних кислот, який привертає все більше уваги в рамках європейської концепції забезпечення повноцінного харчування. Баланс між насиченими та ненасиченими жирними кислотами, їх співвідношення та склад за окремими компонентами є питаннями, які постійно розглядаються з позиції харчової цінності горіхів того чи іншого сорту.

Насичені жирні кислоти відіграють важливу роль у протопласті; вони беруть участь в адсорбційних процесах та регулюванні проникності цитоплазми для речовин, що надходять у клітину. Тільки в присутності насичених жирних кислот та деяких інших речовин (навіть у незначних кількостях порівняно з

білками) можлива підтримка структури протопласту, необхідного для життя клітини. Також НЖК беруть участь у синтезі ряду біохімічно-активних сполук, нормалізації життєвих циклів. Є необхідним елементом клітинних мембран, запасним джерелом енергії, компонентом захисної оболонки для рослинного організму.

Насичені жирні кислоти є найбагатшим джерелом енергії для людини. Це незамінний компонент у будові клітинних мембран, а також учасник важливого процесу синтезу гормонів. Тільки завдяки наявності насичених жирних кислот відбувається успішне засвоєння вітамінів А, D, Е, К та багатьох мікроелементів. Правильне вживання насичених жирних кислот сприяє поліпшенню потенції, регулює та нормалізує статеві цикли. Оптимальне вживання продовжує та поліпшує роботу внутрішніх органів. НЖК є необхідним компонентом для людського організму при вживанні їх у балансі з ненасиченими.

Згідно з результатами нашого дослідження (табл. 6.1), вміст насичених жирних кислот у сортах фундука переважно високий – 4,3 – 4,6 мг на 100 г сухої речовини, особливо відзначилися сорти Галле та Косфорд, між якими не було статистично достовірної різниці ( $F = 2,07$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P = 0,08$ ). Вони значно переважали всі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 17,19$ ;  $F_{0,05} = 4,82$ ;  $P < 0,01$ ). Потім йдуть сорти Барселонський та Каталонський, які були на одному рівні. Статистично достовірної різниці між цими двома генотипами не було ( $F = 2,01$ ;  $F_{0,05} = 3,12$ ;  $P = 0,07$ ) (додаток Е).

На рис. 6.1 показано графіки варіативності ознаки вмісту насичених жирних кислот за мінливістю параметра по генотипах. Параметр був доволі стабільним, і межі мінливості за кожним сортом досить вузькі, тобто ознаку таким чином можна віднести до низьковаріативних (відхилення від середнього не більше ніж 5 %), крім сорту Галле, який за цим показником був середньоваріативним (коефіцієнт варіації 8 %). Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених генотипів був дуже контрастним.

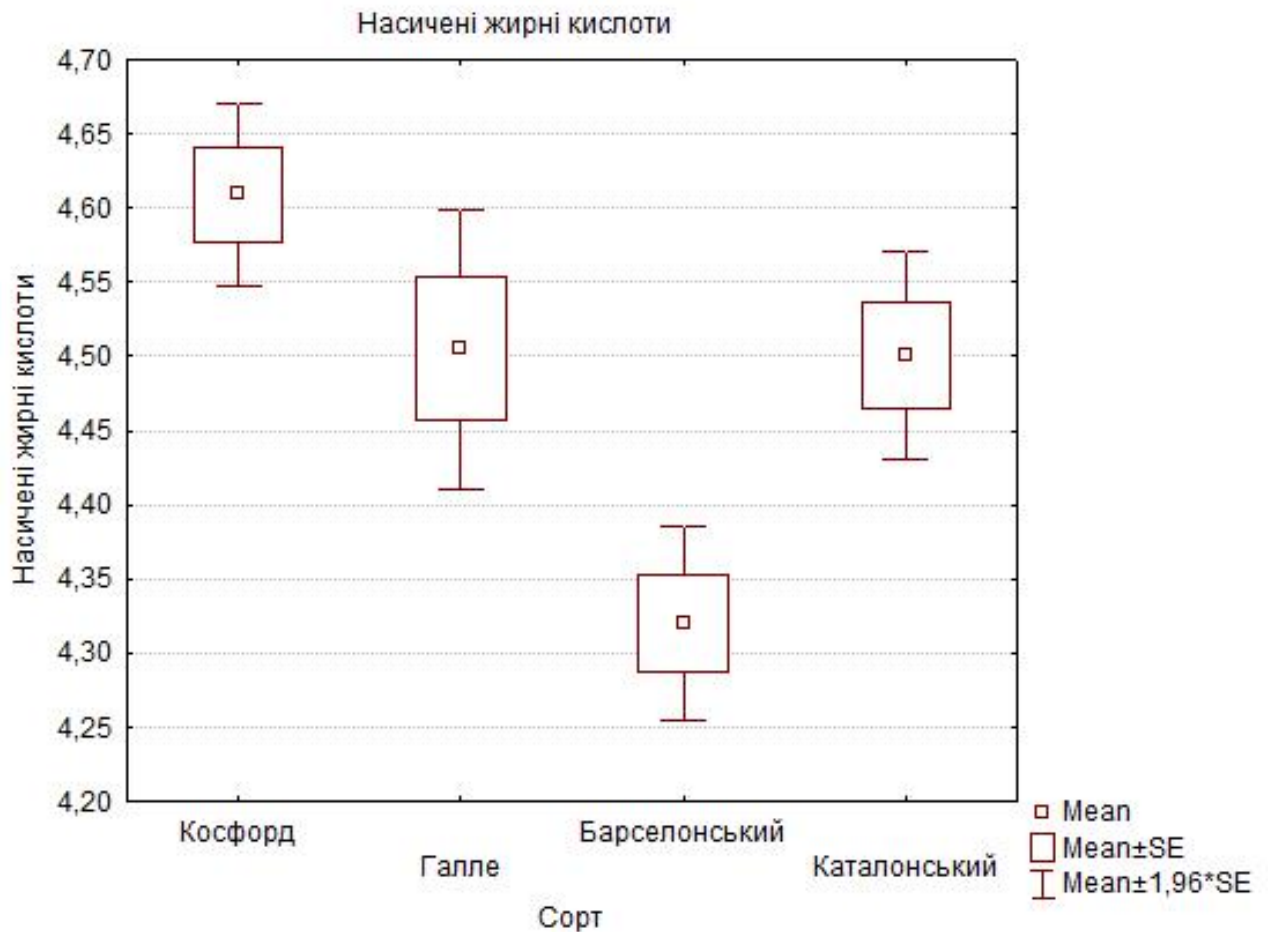


Рис. 6.1. Варіативність вмісту насичених жирних кислот за сортовою компонентою

Вдалося ідентифікувати два сорти, здатні відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого параметра (вищенаведені сорти Косфорд та Галле), а досліджені межі зміни ознаки в рамках кожного із сортів дозволяють зробити висновок, що три сорти (Косфорд, Барселонський та Каталонський) у дослідженні характеризуються високою стабільністю та, відповідно, низьким генетичним поліморфізмом, тобто сорт становив один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за спадковою компонентою.

Сорт Галле, вочевидь, є більш складним з позиції біотипового компонента й демонструє суттєво вищий ступінь генетичного поліморфізму,



тобто є більш складним для роботи з поліпшення цієї ознаки, але водночас більше є об'єктом внутрішньосортового добору.

Для ефективності визначення впливу факторів зміни зовнішнього середовища за роками та зміни їх впливу на прояв ознаки при формуванні фенотипу окремих сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних було виконано дослідження окремо мінливості за роками (залежно від зміни фактора впливу кліматичних чинників середовища). Слід зауважити, що загалом ознака доволі широко варіювала протягом періоду дослідження, але окремо за роками при попарному порівнянні різниця не була достовірною навіть за найбільш віддаленими у факторному просторі датами (попарне порівняння проведено через тест Т'юкі) ( $F = 2,17$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P = 0,07$ ) (рис. 6.2).

Усі роки характеризуються доволі високою мінливістю саме з огляду на варіацію ознаки вмісту насичених жирних кислот, крім 2020-го, де вона була посередньою. Як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено за варіативністю умов за роками. Попарне порівняння, виконане через тест Т'юкі, продемонструвало відсутність статистично достовірної різниці за роками випробування. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії(?), оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі високі, за роками спостерігається деяка інша тенденція – в умовах 2022 року, хоч медіанні зони й пересікаються, рік був менш сприятливим для ознаки).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяла тільки одна складова, тобто реакція окремих сортів на умови року не виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 10,05$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P = 0,003$ ), тоді як фактор рік не вплинув на мінливість вмісту насичених жирних кислот ( $F = 2,22$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,06$ ).

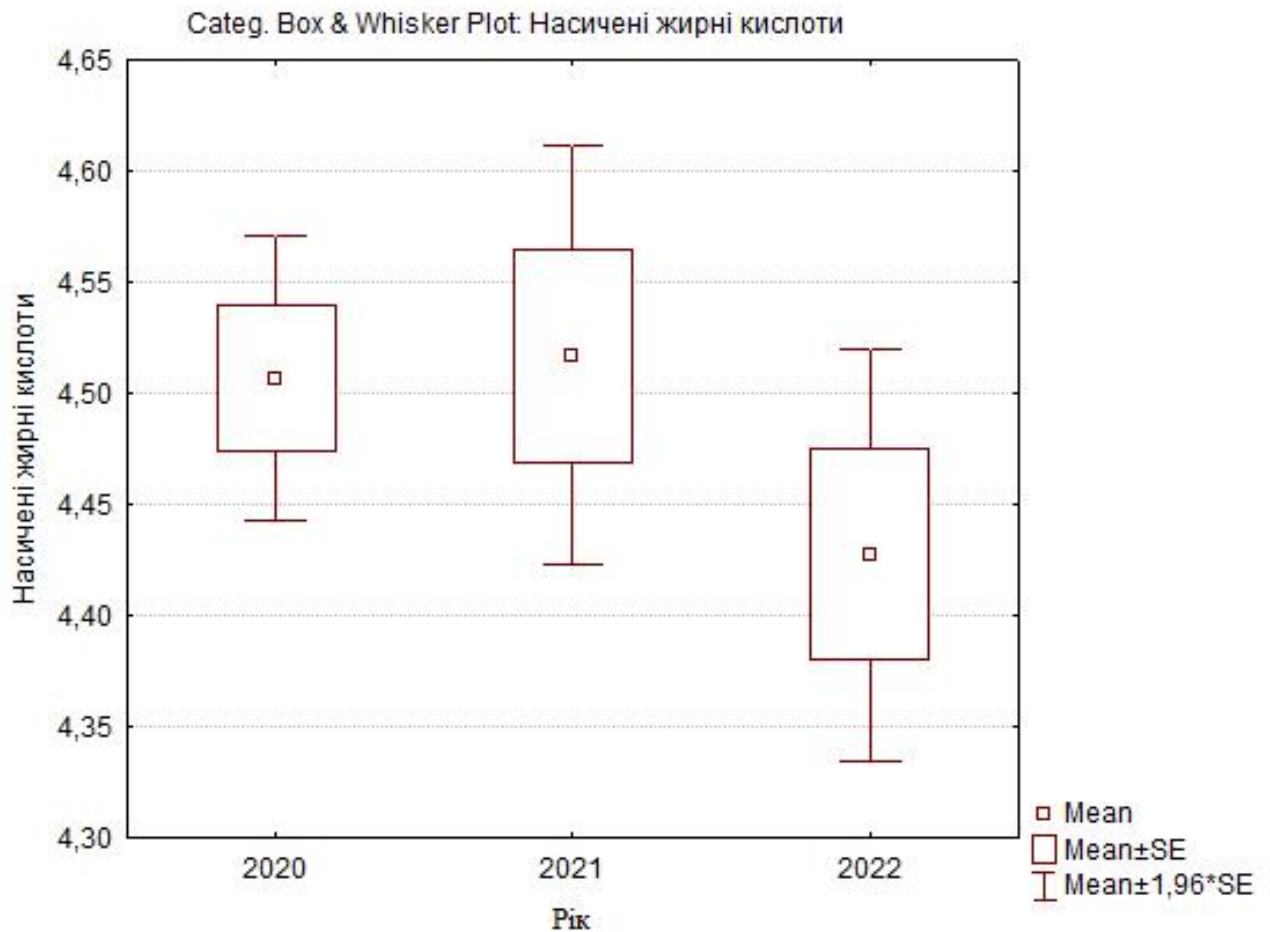


Рис. 6.2. Варіативність вмісту насичених жирних кислот як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Загальна варіативність сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилася недостатньою для визначення взаємодії факторів сорт та рік ( $F = 0,54$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,77$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більшим вмістом насичених жирних кислот (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним та доволі високоймовірним. Зумовлена ця ознака в наших дослідках була лише генотипово, причому сорт Галле демонструє високий рівень генетичного поліморфізму та необхідний відповідний внутрішньосортний добір для більшої гомогенізації матеріалу.

Наступним поживним елементом у дослідженні були харчові волокна, які є необхідною та дуже цінною складовою, особливо з огляду на сучасні

уявлення щодо повноцінного харчування. Основним джерелом цього продукту є продукція рослинництва, переважно садівництва, і фундук зокрема.

Волокна в рослинній клітині відповідають за механічні та скелетні функції. Є складовою частиною клітинних стінок та мембран, мають структурну роль для рослинного організму загалом. Підвищують стійкість до вилягання.

Нестача харчових волокон призводить до зниження опірності організму людини до дії несприятливих факторів довкілля. Зниження рухової активності (гіподинамія), яка часто зустрічається в сучасній людині, зі свого боку, призводить до погіршення моторної функції кишечника. Поєднання таких факторів є причиною багатьох проблем, пов'язаних із травною системою. Харчові волокна нормалізують роботу травної системи. Нерозчинні волокна збільшують обсяг калових мас, стимулюючи роботу кишечника і сприяючи його очищенню. Під впливом харчових волокон у шлунку сповільнюється перехід їжі зі шлунку в кишечник, що створює відчуття ситості та обмежує вживання висококалорійної їжі, сприяючи схудненню. Крім того, їжа багата на харчові волокна, як правило, менш калорійна, містить багато вітамінів і мінералів.

Згідно з дослідженням вмісту цього елемента в зразках (див.табл. 6.1), вміст харчових волокон у сортах фундука високий – 5,7 – 5,9 г на 100 г сухої речовини, особливо відзначився сорт Галле, який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 10,99$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,01$ ). Між іншими трьома сортами – Косфорд, Барселонський та Каталонський – суттєвої різниці не було ( $F = 4,78$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,06$ ), у них вміст харчових волокон був суттєво нижчим. Потрібно наголосити, що загальний вміст харчових волокон цілком достатній як для нормативу споживання 100 г горіхів на добу, оскільки необхідність у них не настільки висока. Тобто отримана продукція відповідає вимогам до дієтичного харчування.

Згідно з наведеними на рис. 6.3 графіками за змінами меж варіативності та медіанної зони ознаки вмісту харчових волокон параметр був відносно стабільним та суттєво коливався для кожного із сортів; ознака теж належить до середньоваріативних (у нашому випадку коефіцієнт варіації на рівні 6 – 8 % для усіх сортів, що були задіяні в дослідженні).

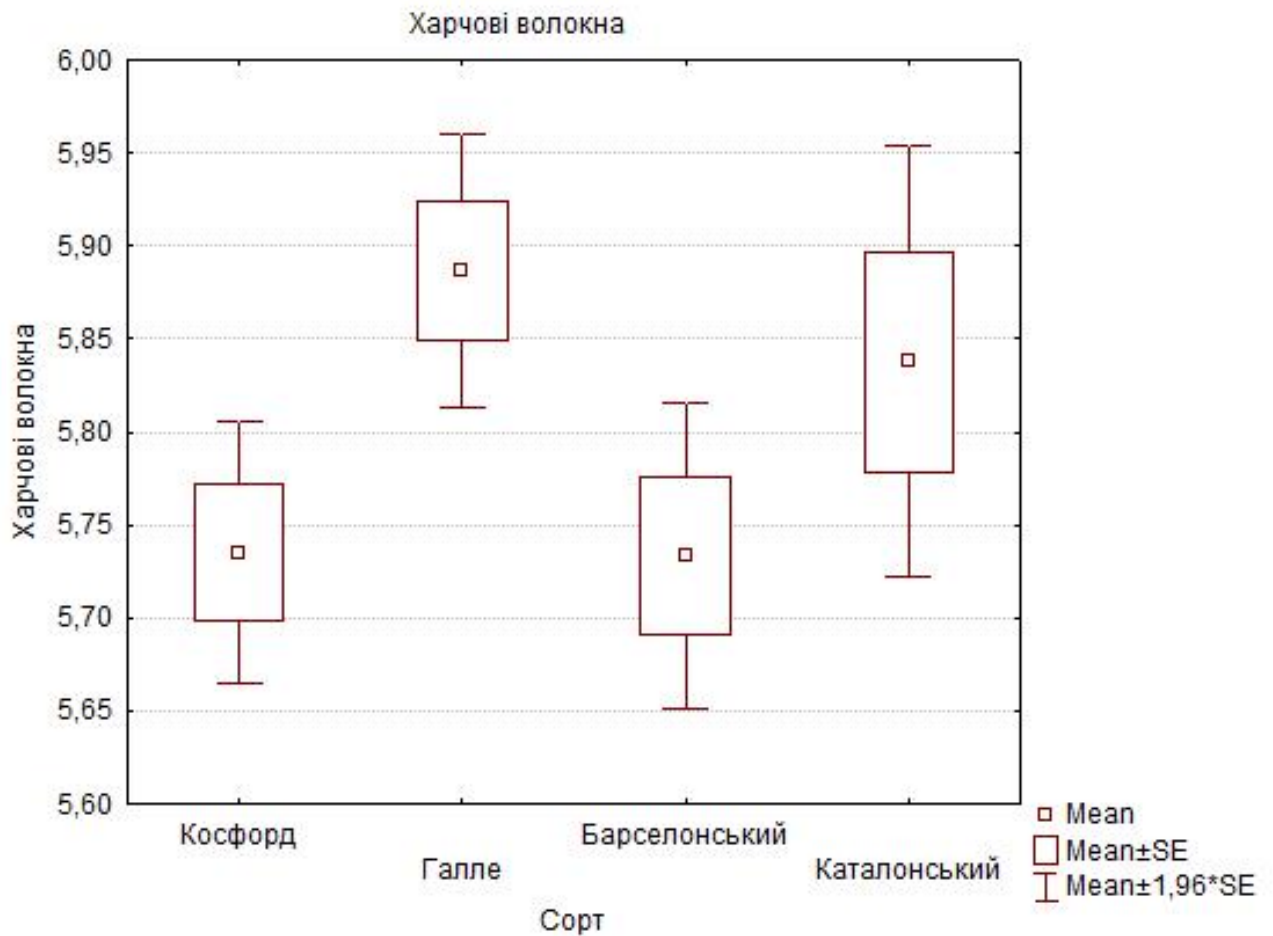


Рис. 6.3. Варіативність вмісту харчових волокон за сортовою компонентою

Якщо оцінити загальну мінливість в рамках кожного окремого сорту, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Галле), а досліджені межі за мінливістю ознаки в рамках кожного із сортів дозволяють зробити висновок,

що досліджені сорти представлені не одним біотипом за цією ознакою. Тобто досліджені генотипи характеризуються високим ступенем генетично зумовленого поліморфізму.

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та їх параметрів мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було досліджено мінливість окремо за роками (залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища). Слід зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками у період дослідження та окремо за роками, різниця була статистично достовірною за попарного порівняння між 2020 та 2022 роками (рис. 6.4).

Водночас отримана картина свідчить про суттєво вищу варіативність (але в рамках медіанного відхилення, а не лімітуючих граничних значень для сукупності сортів загалом, що є аргументом на користь стабільності дослідженого набору сортів за цією ознакою). Остаточо це може підтвердити виконання етапу двофакторного та дискримінантного аналізу.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна побачити, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено за мінливістю фактора при двофакторному аналізі. Наступним питанням, яке потребує розгляду, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі високі, за роками також спостерігається суттєва тенденція).

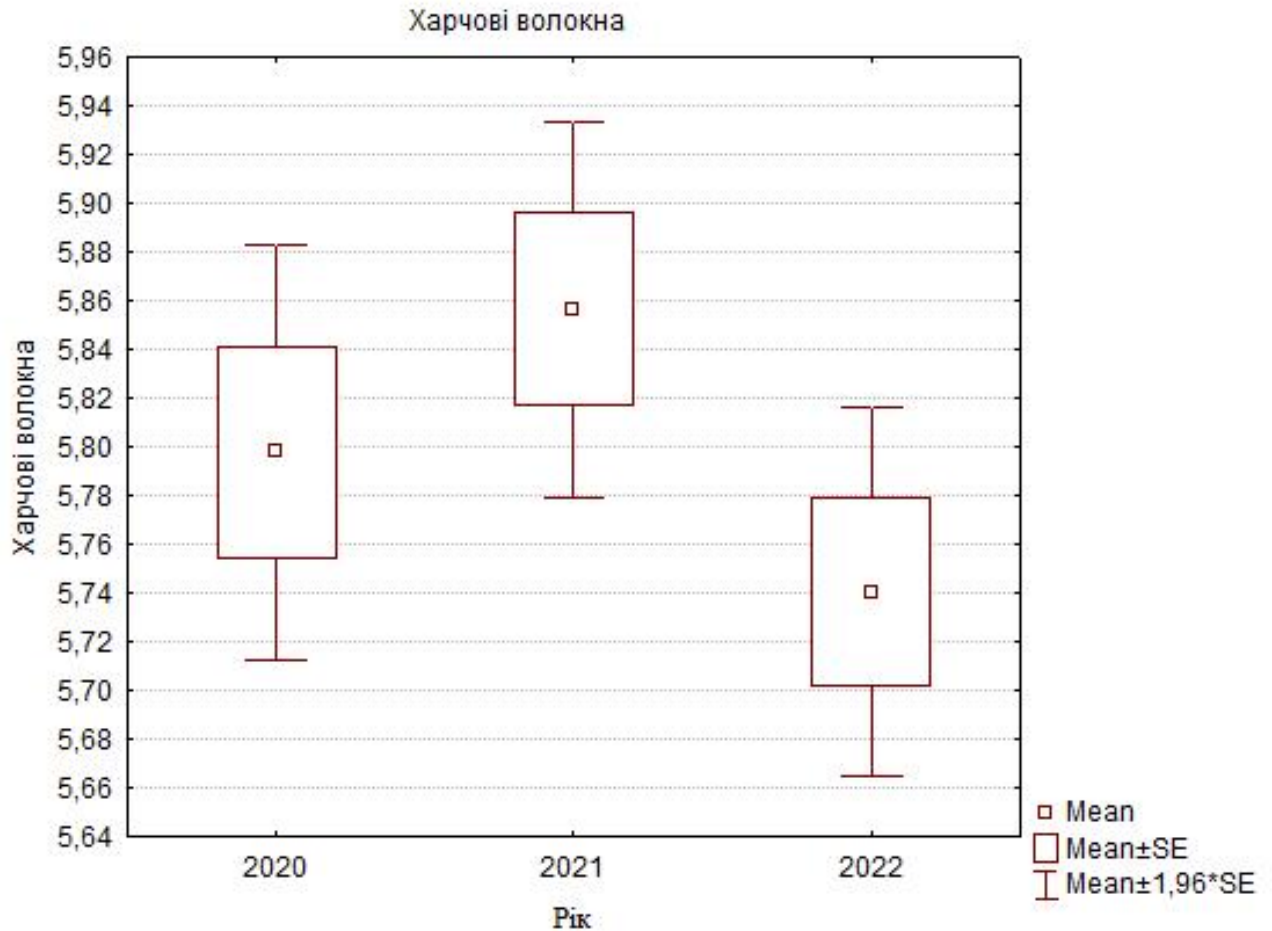


Рис. 6.4. Варіативність вмісту харчових волокон як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дозволив встановити, що діяли обидві складові, тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 16,20$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту харчових волокон слабше, але теж суттєво достовірно ( $F = 8,71$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,02$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось достатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 7,10$ ;  $F_{0,05} = 9,70$ ;  $P = 0,001$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більшим вмістом харчових волокон (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою є доцільним і прогнозується достатня кількість таких форм).

Таким чином, ознака є стабільною, зумовлена переважно генотиповою складовою варіанси. Також є вагомим вплив умов середовища на формування цієї ознаки. Але більш вагомим є генотип-середовищна взаємодія, що ще раз свідчить про зміну в біотипових складових у сортів залежно від умов року та про загальну, генетично зумовлену нестабільність цієї ознаки. Тобто вміст харчових волокон є нестабільною складовою в рамках дослідженого набору сортів та потрібна додаткова робота з поліпшення генотипів. Використання їх як вихідного матеріалу ускладнено.

Наступною з досліджуваних ознак був вміст вітаміну А, який відносять до критично потрібних для нормальної життєдіяльності людини. Високий його вміст є необхідною передумовою високої харчової цінності продукції.

Вітамін А в рослин зміцнює імунітет, допомагає їм протистояти грибку та шкідникам, є гарним стимулятором для слабких та хворих рослин, а також допомагає «прокинутися» після періоду зимового спокою. Вітамін А відіграє велику роль у перетворенні мінеральних речовин у рослинах, особливо у метаболізмі деяких мікроелементів.

Вітамін А необхідний формування кісткової системи, зубів, він стимулює зростання нових клітин і уповільнює процеси старіння. Ретинол благотворно впливає на зір, він дуже важливий для фоторецепції, необхідний для синтезу зорового пігменту. Покращує репродуктивну функцію. Зміцнює імунну систему та захищає від хвороб. Має омолоджувальну дію.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 6.1), вміст вітаміну А в сортах фундука теж доволі високий – 2,1 – 2,6 мкг на 100 г сухої речовини. Вміст молібдену був набагато кращим у сорту Галле ( $F = 7,56$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,02$ ), який значно переважав усі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння проведено через тест Т'юкі), потім сорти Галле, Каталонський та Барселонський, що значно йому поступалися ( $F = 9,12$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ;  $P = 0,01$ ) та не мали різниці між собою ( $F = 1,17$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,09$ ).

Згідно з наведеними на рис. 6.5 графіками мінливості ознаки вмісту вітаміну А за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не

коливався при жодних обставинах; ознака таким чином є низьковаріативною (відхилення від середнього не більше ніж 5 %). Якщо оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати один сорт, здатний відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведений сорт Галле).

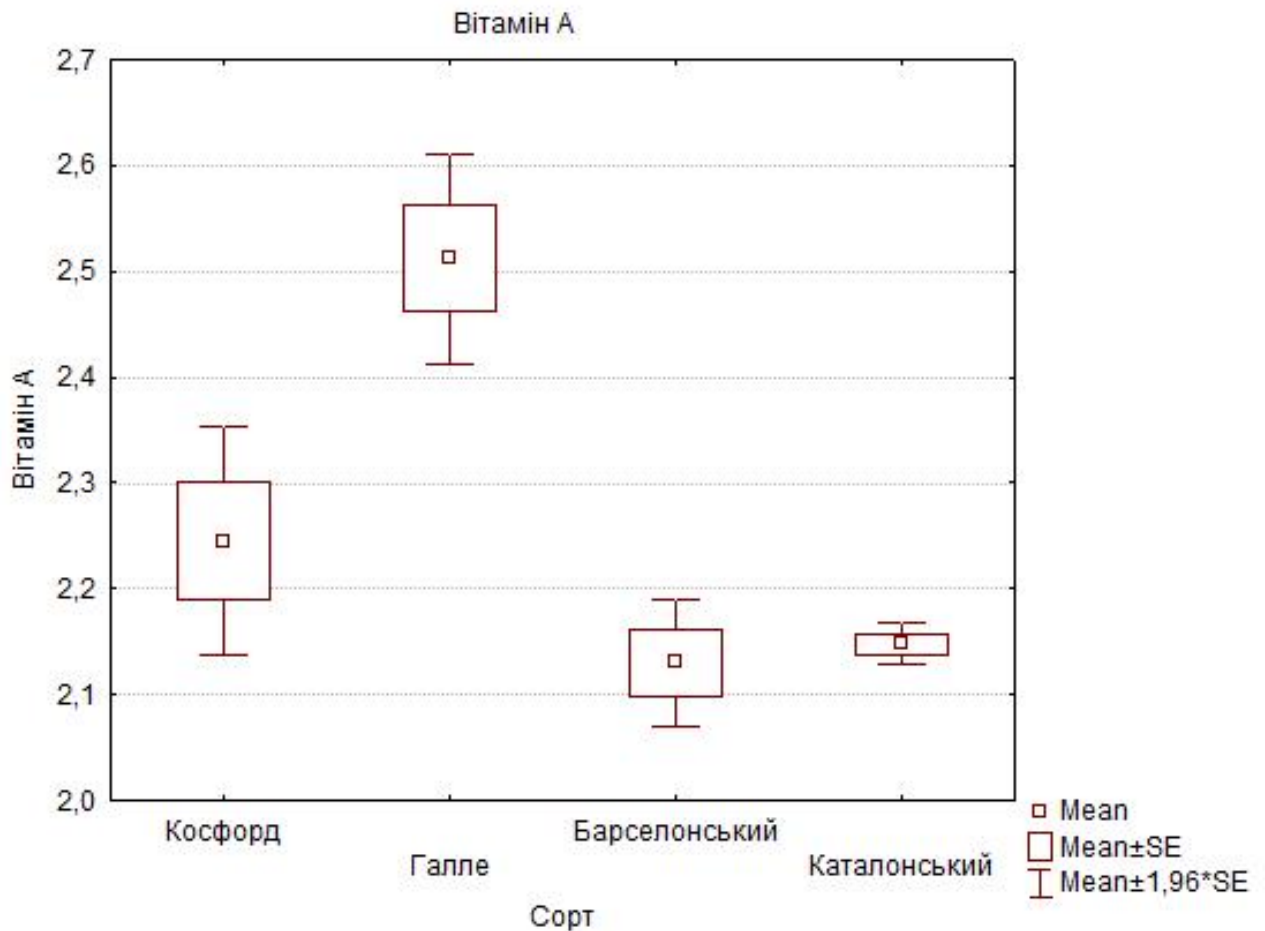


Рис. 6.5. Варіативність вітаміну А за сортовою компонентою

Досліджені граничні значення за мінливістю параметра в рамках кожного із сортів дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти загалом характеризуються низьким рівнем генетичного поліморфізму та є досить стабільними. Серед описаного набору найменша варіація за ознакою у сорту Каталонський, потім Барселонський, найвища у сортів Косфорд та Галле. Але в цілому межі варіації ознаки суттєво нижче, ніж в у попередніх.



Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та параметрів їх мінливості на прояв ознаки при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження мінливості окремо за роками (залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища) (рис. 6. 6).

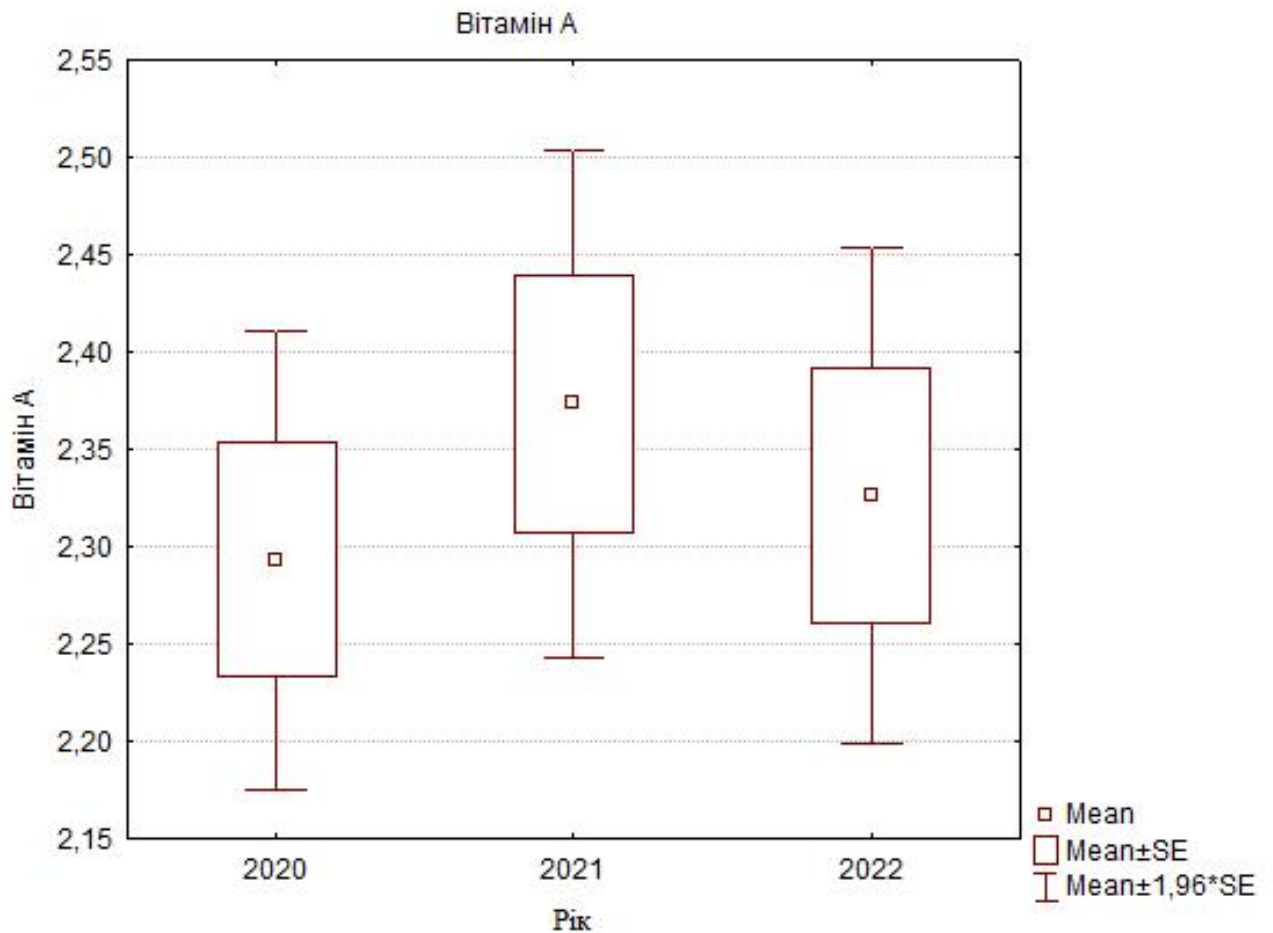


Рис. 6.6. Варіативність вітаміну А як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Потрібно зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження і суттєва різниця за роками не відмічена в рамках дослідження. Але слід зауважити, що 2020 рік був найменш сприятливим у реалізації цієї ознаки та в цілому набір сортів характеризувався

відносно меншою контрастністю за даним параметром ніж за попередніми ознаками.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна переконатися, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане через тест Т'юкі, не показало наявності статистично достовірної різниці за деякими роками випробування. Наступним питанням, яке потрібно розглянути в ході дослідження, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, за роками межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин найнижчі з усіх раніше досліджених ознак).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою). Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 18,51$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту магнію набагато слабше та зовсім не суттєво достовірно ( $F = 1,31$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,28$ ).

Але загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось достатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 6,87$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,02$ ). Загалом мінливість вмісту вітаміну за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більш суттєвим вмістом речовини (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним. Причому повністю фенотип буде формуватися без особливих коливань за роками лише сортовими особливостями фундука.

Таким чином, з одного боку, ця ознака показує найвищу стабільність з усіх досліджених, з іншого – межі варіативності демонструють, що поліпшення за нею буде зумовлено виключно генотиповою мінливістю, на яку здатні впливати навіть мікрочвариції кліматичних умов за роками. Тому повністю можливо розраховувати на фундук як джерело постійного вмісту вітаміну А для

раціону в умовах нашого агроекологічного району. Також вміст вітаміну А повністю достатній навіть при використанні сортів з нижчими значеннями за умови споживання 100 г горіхів на день в рамках вищезазначених потреб людського раціону.

Вітамін Е впливає на згортання крові, допомагаючи запобігати утворенню тромбів, поліпшує еластичність великих і дрібних судин, а також уповільнює утворення бляшок холестерину. З іншого боку, цей вітамін життєво необхідний для нормальної роботи репродуктивної системи. Основна функція вітаміну Е пов'язана з його антиоксидантними властивостями: він захищає мембрани клітин, білки, жири та ДНК, уловлюючи вільні радикали й не даючи їм поширюватися в організмі.

У рослинах вітамін Е забезпечує контроль процесів тканинного дихання, окисного фосфорилування, обміну та функціонування убихінона Q. Вітамін Е є регулятором росту та розвитку рослин, індукує стійкість до вірусних патогенів. Фізіологічні функції альфа-токоферолу в біомембранах та біоенергетичних процесах визначаються за його антиоксидантними властивостями, що дозволяють інгібувати процеси перекисного окиснення ліпідів. Встановлено, зокрема, що вітамін Е може впливати на функціонування клітинного ядра та мітохондрій і брати участь в обміні вторинних месенджерів, які задіяні в передачі зовнішнього сигналу в клітині. Важливу роль у механізмах неантиоксидантної дії токоферолу та визначенні специфічності його ефектів відіграє взаємодія з токоферолзв'язуючими білками.

Рослинних джерел вітаміну Е доволі небагато, суттєву роль відіграють горіхоплідні, тому фундук є важливим ресурсом для підвищення вмісту цього елемента, як і звичайний грецький горіх та кеш'ю. Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 6.1), вміст вітаміну Е у сортах фундука доволі високий – 20 – 22 мг на 100 г сухої речовини, особливо можна виокремити сорти Косфорд ( $F = 14,17$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), потім Каталонський ( $F = 10,22$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), які значно переважали всі інші сорти за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі). Інші два

сорти мали значно нижчий вміст цього вітаміну ( $F = 2,09$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,09$ ), але цілком достатній для добової потреби при споживанні 100 г горіхів.

Згідно з наведеними на рис. 6.7 даними варіативність ознаки вмісту вітаміну Е за генотиповою мінливістю найнижча з уже досліджених. Її відносять до низьковаріативних (тобто до 5 %), але, за рахунок добраного набору зразків деякі сорти здатні відрізнятися суттєво вищою кількістю цього елементу (вище згадані сорти Косфорд та Каталонський), а межі мінливості в рамках кожного із сортів дають можливість зробити припущення, що загалом генна система, яка відповідає за цю ознаку, перебуває в стабільному стані, домінує один біотип, що свідчить на користь високої гомозиготності сорту за цим параметром.

Для ефективності визначення агроекологічних факторів на прояв ознаки в рамках дослідження також було виконано аналіз окремо мінливості за роками (залежно від зміну фактора кліматичних умов). Необхідно наголосити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цим фактором, але окремо за роками різниці за впливом не було (рис. 6.8).

Усі роки характеризуються доволі стабільними умовами, що вже було зазначено у відповідному розділі. Необхідно вказати, що суттєве пом'якшення зимових умов та підвищення рівня зволоження стабілізувало сорти й за цими ознаками. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, показало відсутність статистично достовірної різниці за кроками випробування. Але, звичайно, не може не постати питання варіації сортів за роками, оскільки деяка частка індивідуальної реакції генотипу може бути прихована в загальній дисперсії культури (як бачимо, за роками межі варіативності окремих зразків дуже вагомі, та, на відміну від аналізу за сортовою компонентою, свідчать про суттєві відмінності у реакції окремих сортових компонентів агроценозу).

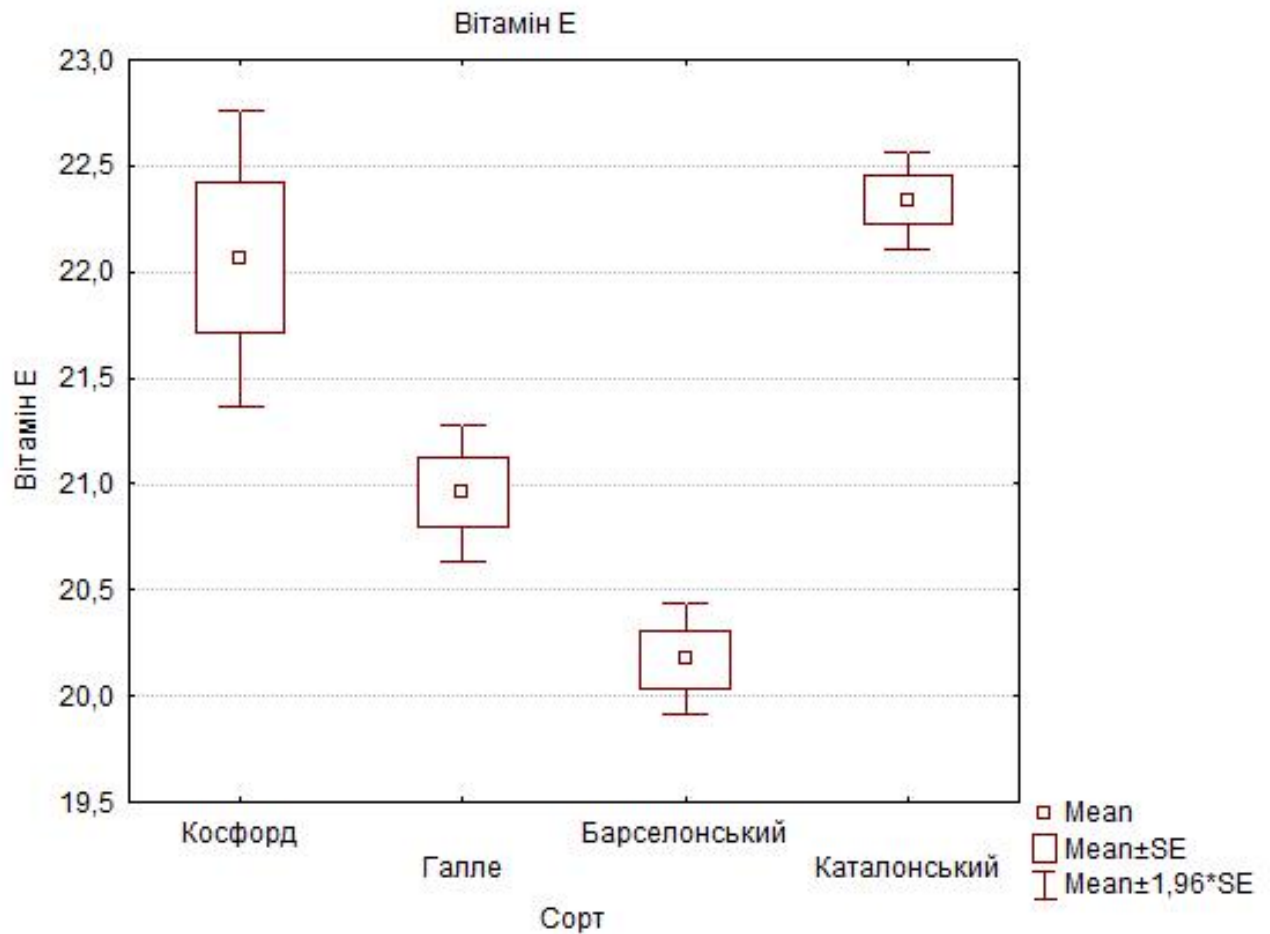


Рис. 6.7. Варіативність вітаміну Е за сортовою компонентою

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, як діяли обидві складові (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним та високоймовірним ( $F = 28,96$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту вітаміну Е незначно ( $F = 2,00$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,10$ ).

Загальної мінливості сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 2,45$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,07$ ).

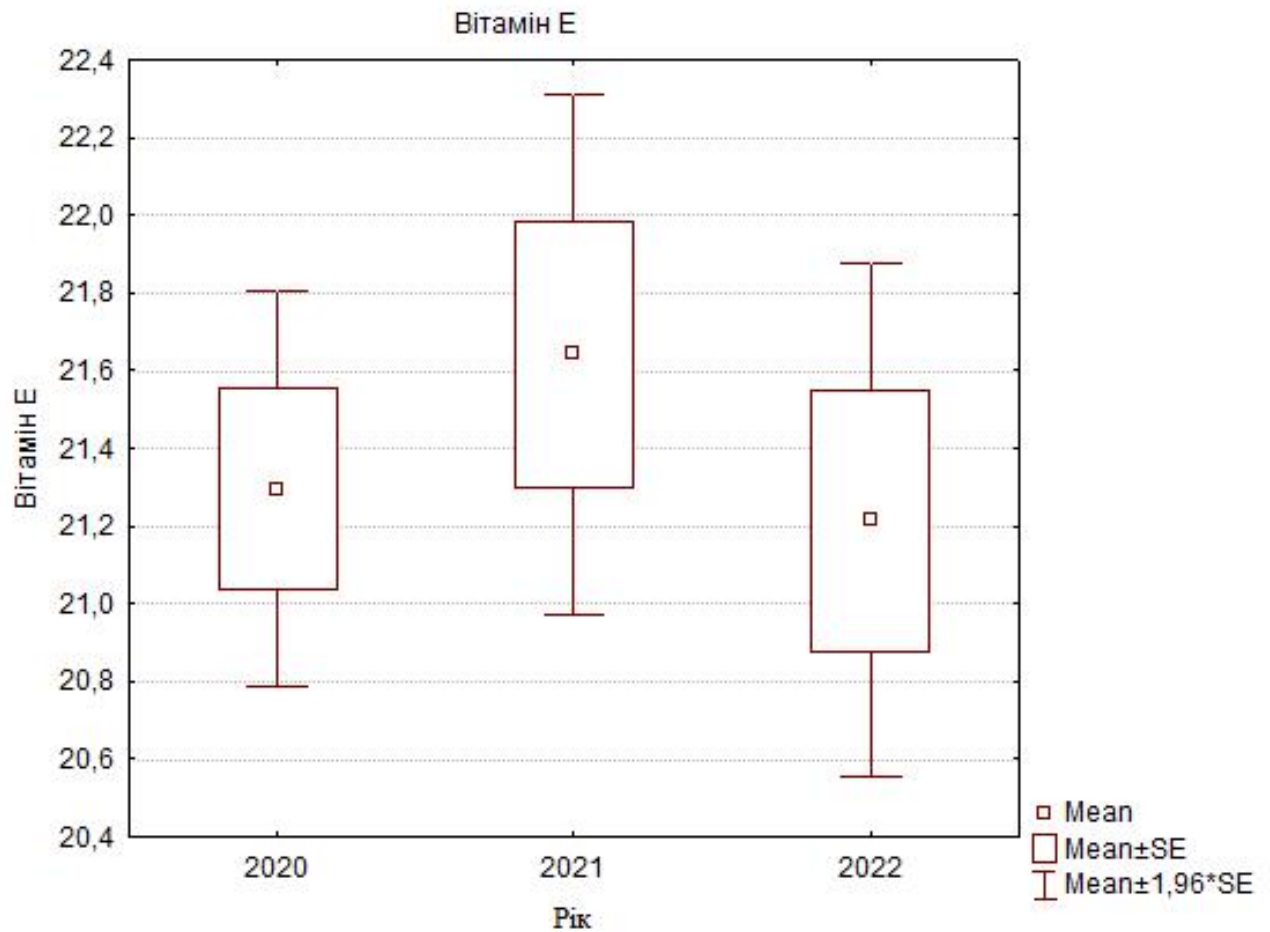


Рис. 6.8. Варіативність вітаміну Е як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Таким чином, ця ознака зумовлена виключно генотипом та не залежить від середовищної компоненти. Сорти продемонстрували повну стабільність за цією ознакою та незалежність від досліджуваного середовища, що робить їх задовільним вихідним матеріалом для поліпшення ознаки та характеризує відсутність генетичного поліморфізму.

Наступним етапом було дослідження вмісту вітаміну С. Цього нутрієнта доволі часто бракує, але він є важливим як для рослин, так і для сільськогосподарського виробництва загалом.

Вітамін С зміцнює імунну систему людини, оберігаючи її від бактерій та від вірусів, регулює обмін речовин, впливає на синтез гормонів, регулює процеси кровотворення та контролює проникність капілярів, прискорює

регенерацію ран, бере участь у синтезі колагену, що необхідно для зростання клітин тканин, хрящів. Вітамін С сприятливо впливає на стан ясен, зубів, кісткової тканини, також контролює стан судин, зміцнює їх. Відіграє важливу роль у швидкому загоєнні ран та порізів, підвищує імунітет, зменшує прояви симптомів грипу та застуди.

Аскорбінова кислота (або вітамін С) вважається стимулятором формування щільних, важких суцвіть та плодів. Крім того, виявляє властивості антиоксиданту, захищаючи як рослину, так і компоненти живильного середовища від згубного окисного впливу вільних радикалів та інших речовин. Вітамін С (або аскорбінова кислота) допомагає рослині чинити опір різним захворюванням. Також вітамін С допоможе в боротьбі з хлорозом.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 6.1), вміст вітаміну С у сортах фундука доволі високий – 1,4 – 1,7 мг на 100 г сухої речовини, особливо відзначилися сорти Галле та Каталонський, які значно переважали всі інші за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) ( $F = 16,33$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P < 0,01$ ), вагомо не відрізняючись один від одного ( $F = 1,56$ ;  $F_{0,05} = 5,01$ ;  $P = 0,11$ ).

Згідно з наведеними на рис. 6.9 графіками щодо мінливості ознаки вмісту вітаміну С за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався: продемонстрував найнижчий результат з усіх досліджених за будь-яких обставин. Ознака таким чином належить до низьковаріативних (відхилення від середнього не більше ніж 5 %). Якщо ж оцінити загальну варіативність, то бачимо, що набір досліджених сортів був доволі контрастним, але вдалося ідентифікувати два сорти, здатні відрізнитися суттєво вищим вмістом цього важливого елемента (вищенаведені сорти Галле та Каталонський).

Досліджені межі мінливості ознаки в рамках кожного з генотипів дають змогу зробити висновок, що, незважаючи на те що ці сорти не такі вже й нові, вони є дуже стабільними за генетичними потенціями й у їх складі переважає один основний біотип, без суттєвої варіативності саме за генетичною

компонентою. Таким чином у рамках сортової мінливості ознака є найбільш стабільною, з низькою варіативністю за сортами загалом.

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та варіювання його меж залежно від року на прояв ознаки вмісту вітаміну С при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження мінливості окремо за роками (залежно від зміни фактора впливу абіотичних чинників середовища) (рис. 6.10).

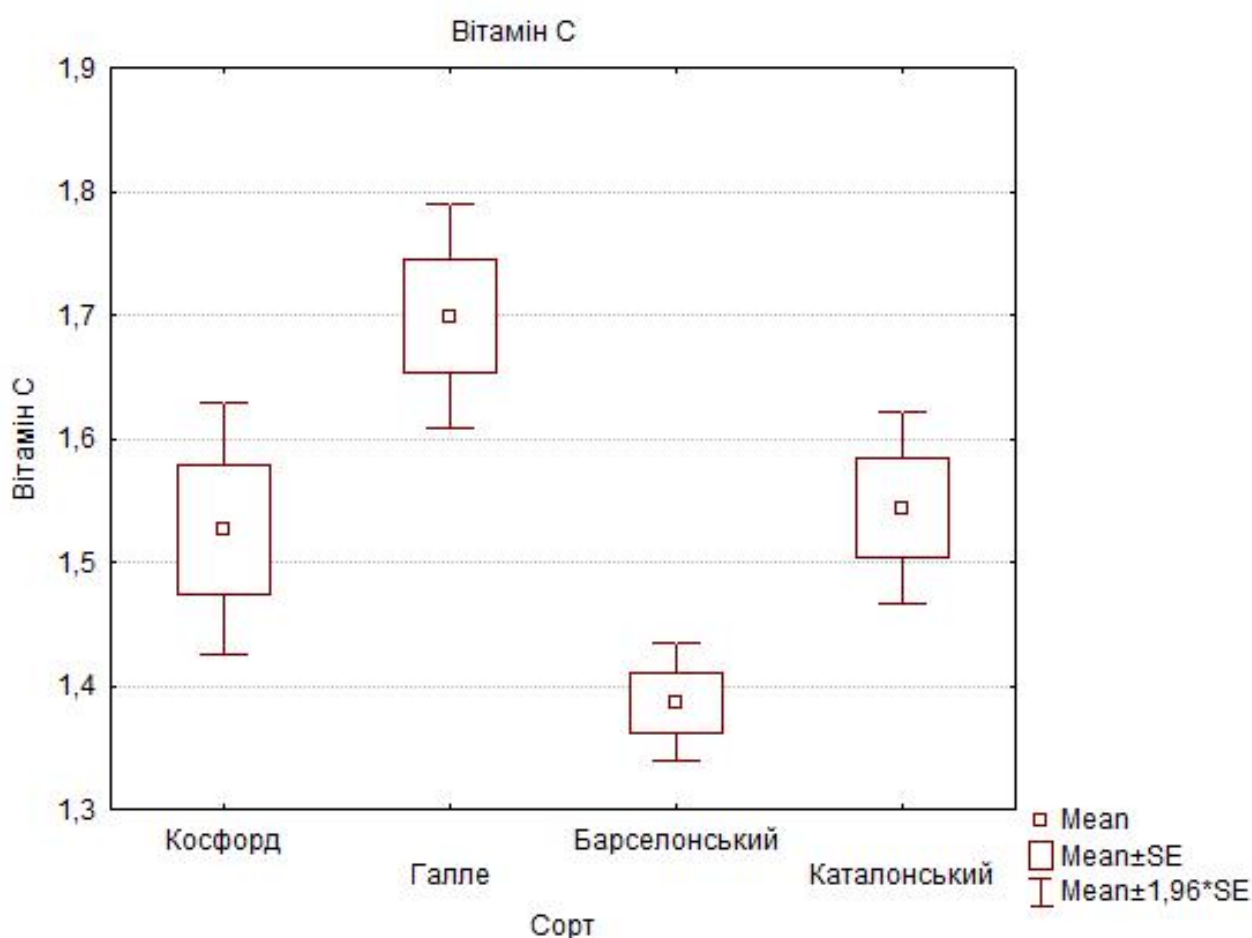


Рис. 6.9. Варіативність вітаміну С за сортовою компонентою

Необхідно наголосити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та окремо за роками, різниця за впливом за попарного порівняння була недостовірною.



Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна переконатися, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, не показало наявності статистично достовірної різниці за роками випробування. Наступним питанням, яке потребує розгляду, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі слабкі, а от за роками спостерігається більш суттєва тенденція, хоча й не така значна як для інших ознак).

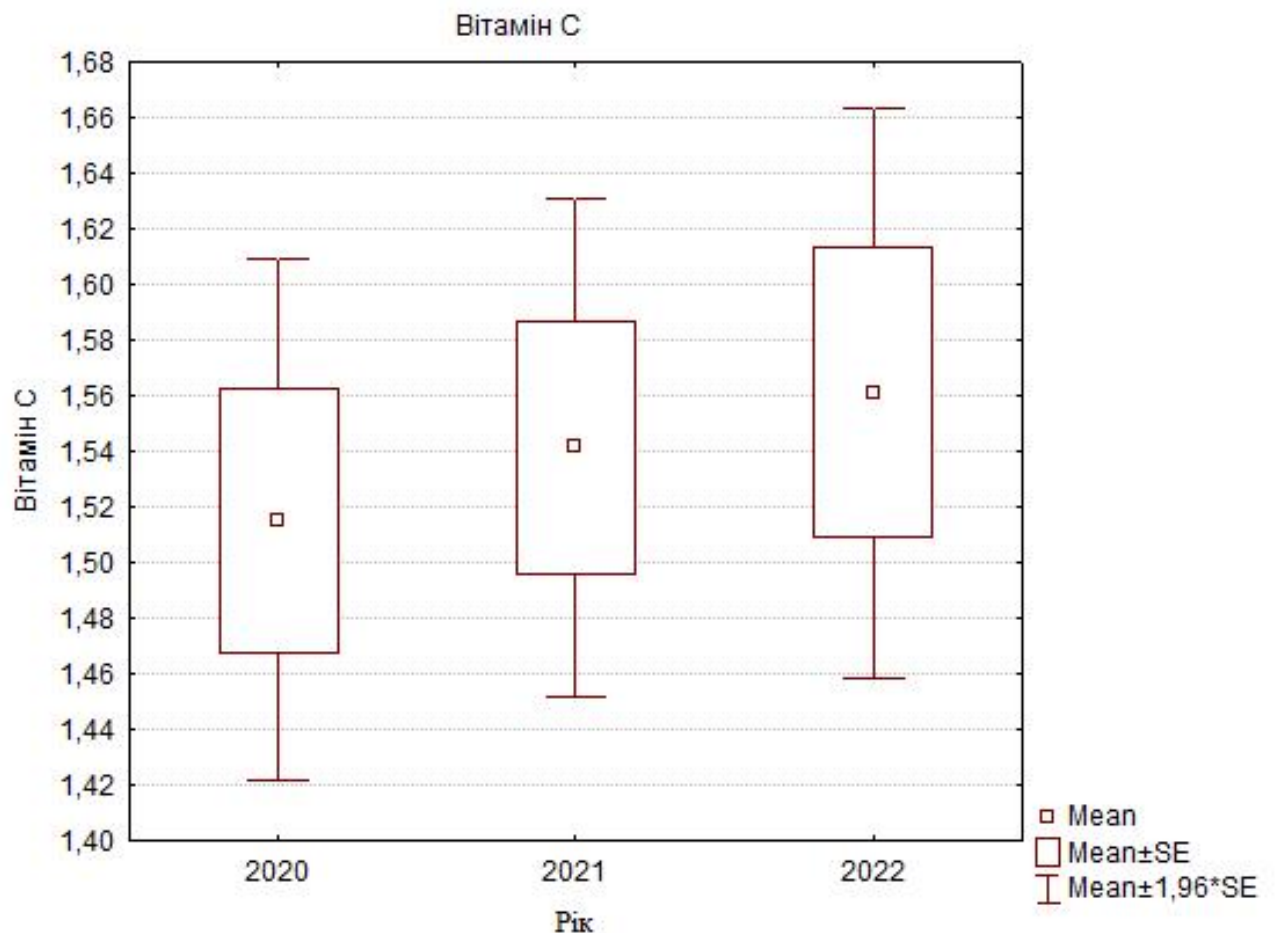


Рис. 6.10. Варіативність вмісту вітаміну С як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що діяли обидві складові, тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася суттєвою. Вплив фактора сорт був сильним і з високою вірогідністю ( $F = 10,68$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P < 0,01$ ), тоді як фактор рік вплинув на мінливість вмісту магнію набагато слабше, недостовірно ( $F = 0,46$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,63$ ).

Загальної варіативності сортів через однорідність реакції генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 1,96$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,11$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більшим вмістом вітаміну С (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є доцільним та цілком перспективним. Залежить ознака виключно від генотипу, інших суттєвих впливів не знайдено.

Наступним етапом було дослідження вмісту вітаміну РР. Цього нутрієнта доволі часто бракує, і цей елемент залишається важливим як для рослини, так і для сільськогосподарського виробництва загалом.

Вітамін РР є дуже важливим, він бере участь у багатьох окиснювально-відновних реакціях, утворенні ферментів і обміні ліпідів та вуглеводів у живих клітинах, підходить для реанімації рослин, стимулює імунну систему рослин, допомагає врятувати ослаблені та хворі рослинні організми, допомагає «розбудити» репродуктивні функції рослини.

Вітамін РР має лікувальний вплив на шкіру, оновлюючи клітини та насичуючи корисними речовинами глибокі шари тканин. Він ефективний при вікових змінах шкіри, оскільки збільшує синтез колагену. Входить до складу ферментів окисно-відновних реакцій, впливає на обмін вуглеводів, ліпідів, білків, знижує вміст глюкози в крові, поліпшує функціональний стан ЦНС, печінки та шлунку, бере участь у репаративних процесах шкіри.

Згідно з результатами нашого дослідження (див. табл. 6.1), вміст вітаміну РР у сортах фундука доволі високий – 2 – 2,1 мг на 100 г сухої речовини. Загальна варіативність ознаки між сортами була невисокою, за результатами факторного аналізу (попарне порівняння виконано через тест Т'юкі) усі сорти

були приблизно на одному рівні, не було жодної статистично достовірної відмінності між ними.

Згідно з наведеними на рис. 6.11 графіками щодо мінливості ознаки вмісту вітаміну РР за окремими сортами, параметр був дуже стабільним та суттєво не коливався, продемонструвавши найнижчі показники з усіх досліджених за будь-яких обставин. Ознака, таким чином, належить до низьковаріативних (відхилення від середнього не перевищує 5 %). Жодної контрастності між наведеними в дослідженні сортами не було, якщо не урахувати приблизно вдвічі більшої мінливості за ознакою сорту Барселонський за роками, але в межах слабкої мінливості ознаки.

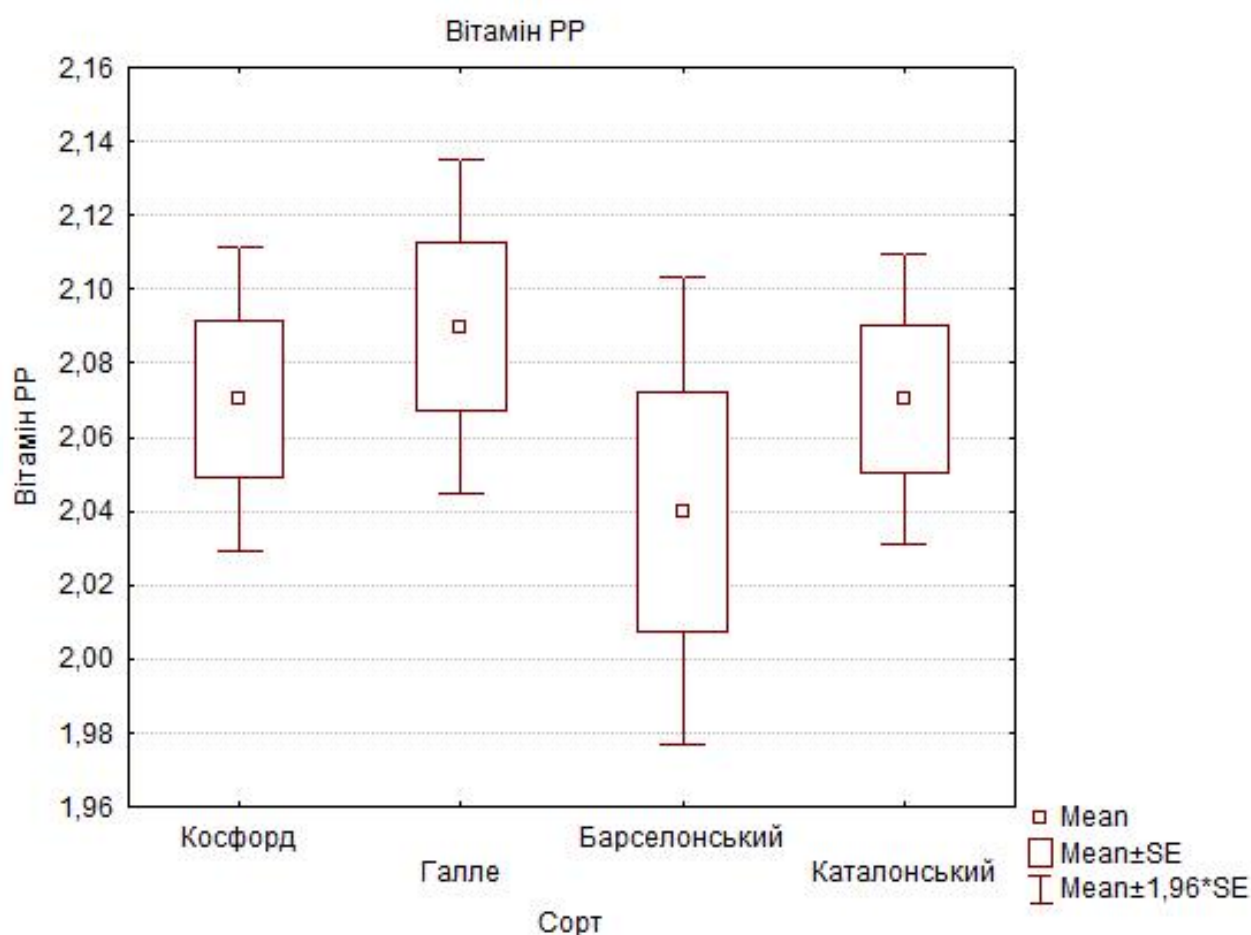


Рис. 6.11. Варіативність вітаміну РР за сортовою компонентою

Досліджені межі мінливості ознаки в рамках кожного з генотипів дають можливість зробити висновок, що генетичний поліморфізм цих сортів невисокий.

Для ефективності визначення впливу факторів зовнішнього середовища та варіювання його меж залежно від року на прояв ознаки вмісту вітаміну РР з урахуванням вищої варіації сорту Барселонський при формуванні фенотипу сортів фундука в рамках аналізу отриманих даних також було виконано дослідження мінливості окремо за роками (залежно від зміни фактору впливу абіотичних чинників середовища) (рис. 6.12).

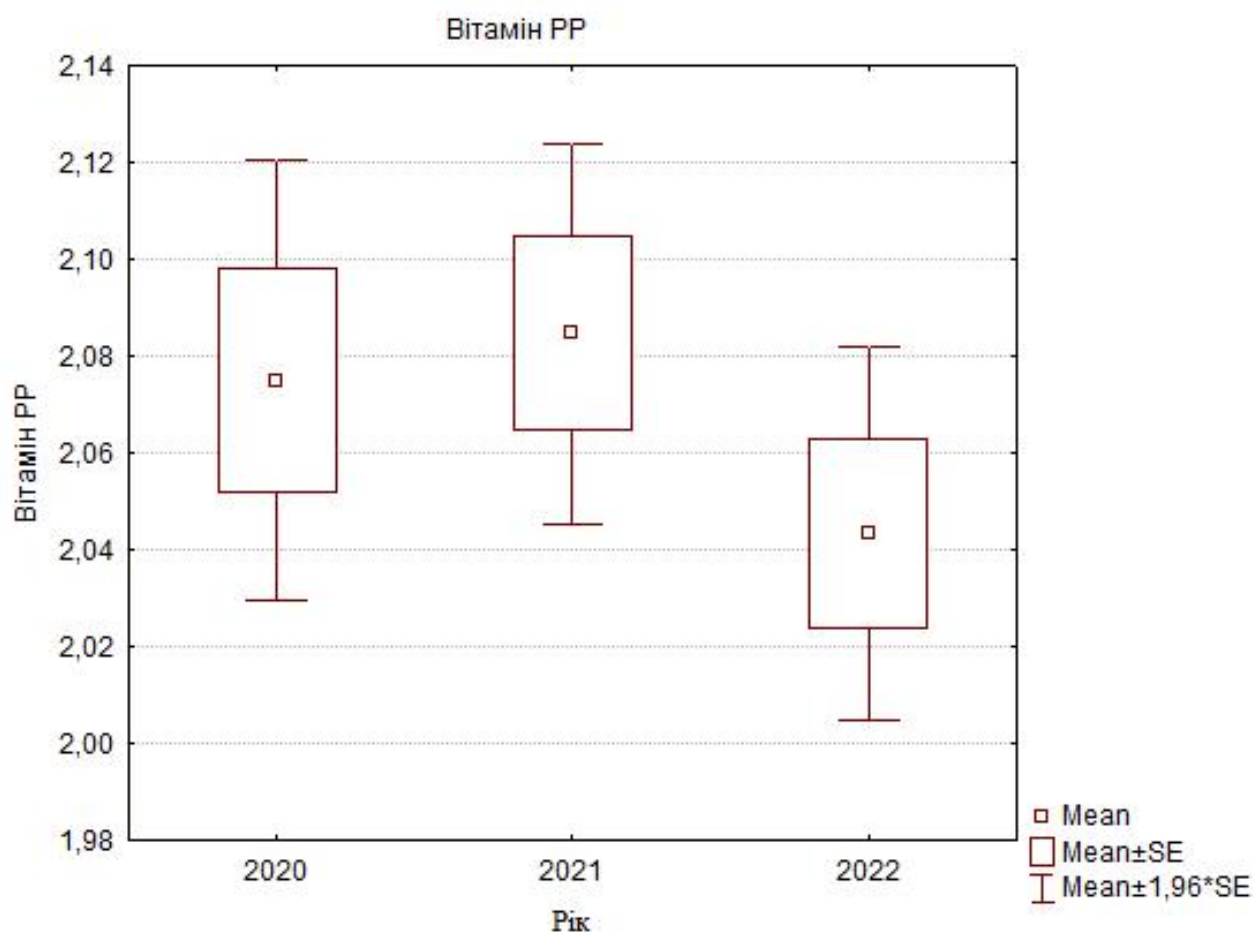


Рис. 6.12. Варіативність вмісту вітаміну РР як ознаки за впливом умов років випробування (2020 – 2022 рр.)

Необхідно зауважити, що загалом ознака показала стабільний прояв за цими чинниками в період дослідження та окремо за роками, різниця за впливом за попарного порівняння була недостовірною.

Усі роки характеризуються доволі слабкою мінливістю за кліматичними умовами, але, як можна персвідчитися, за трирічний період все ж таки накопичилися значущі зміни, що було відображено за мінливістю фактора. Попарне порівняння, виконане з допомогою тесту Т'юкі, не продемонструвало наявності статистично достовірної різниці за роками випробування. Наступним питанням, яке потрібно розглянути, є варіація сортів за роками та сортами у взаємодії, оскільки певна частка від загальної реакції генотипу при формуванні фенотипу може бути прихована в загальній дисперсії ознаки (як бачимо, межі варіативності в рамках року та в загальній популяції рослин доволі слабкі, а от за роками спостерігається дещо більш суттєва тенденція (можливо, гіршим є 2022 рік), хоча й не така значна, як для інших ознак).

Двофакторний аналіз через модуль ANOVA дав змогу встановити, що не діяла жодна зі складових (тобто реакція окремих сортів на умови року виявилася несуттєвою). Вплив фактора сорт є статистично недостовірним ( $F = 0,63$ ;  $F_{0,05} = 3,24$ ;  $P = 0,60$ ), фактор рік теж вплинув на мінливість вмісту вітаміну РР недостовірно ( $F = 0,92$ ;  $F_{0,05} = 2,24$ ;  $P = 0,41$ ).

Загальної варіативності сортів через однорідність реакції трьох генотипів виявилось недостатньо для визначення взаємодії факторів сорт та рік як достовірної ( $F = 0,47$ ;  $F_{0,05} = 6,24$ ;  $P = 0,82$ ). Загалом мінливість цієї ознаки за сортовою компонентою свідчить про те, що добір форм (та їх наявність) з більшим вмістом вітаміну С (тобто генетичне поліпшення за цією ознакою) є безперспективним.

Для встановлення загальної сортової диференціації за групою ознак та остаточного виявлення впливу кожної з них був відповідно виконаний дискримінантний аналіз (рис. 6.13, табл. 6.2 – за сортами та рис. 6.14, табл. 6.3 – за роками випробування).

У результаті аналізу сортової варіанси можна зробити висновки про доволі близькі позиції за мінливістю ознак у сортів Косфорд та Каталонський, що свідчить про відносно однакові межі мінливості. Сорти Галле та Барселонський були відокремлені в просторі мінливості факторів сумарно та показали суттєву варіативність та вагомість ознак вмісту насичених жирних кислот, харчових волокон, вітамінів А, Е та С, що свідчить про доволі високий потенціал сорту Галле за цими ознаками та загальні високі можливості у їх поліпшенні за вже існуючою варіативністю, крім ознаки вмісту РР, яка стабільна, найменш варіативна та не потрапила до моделі.

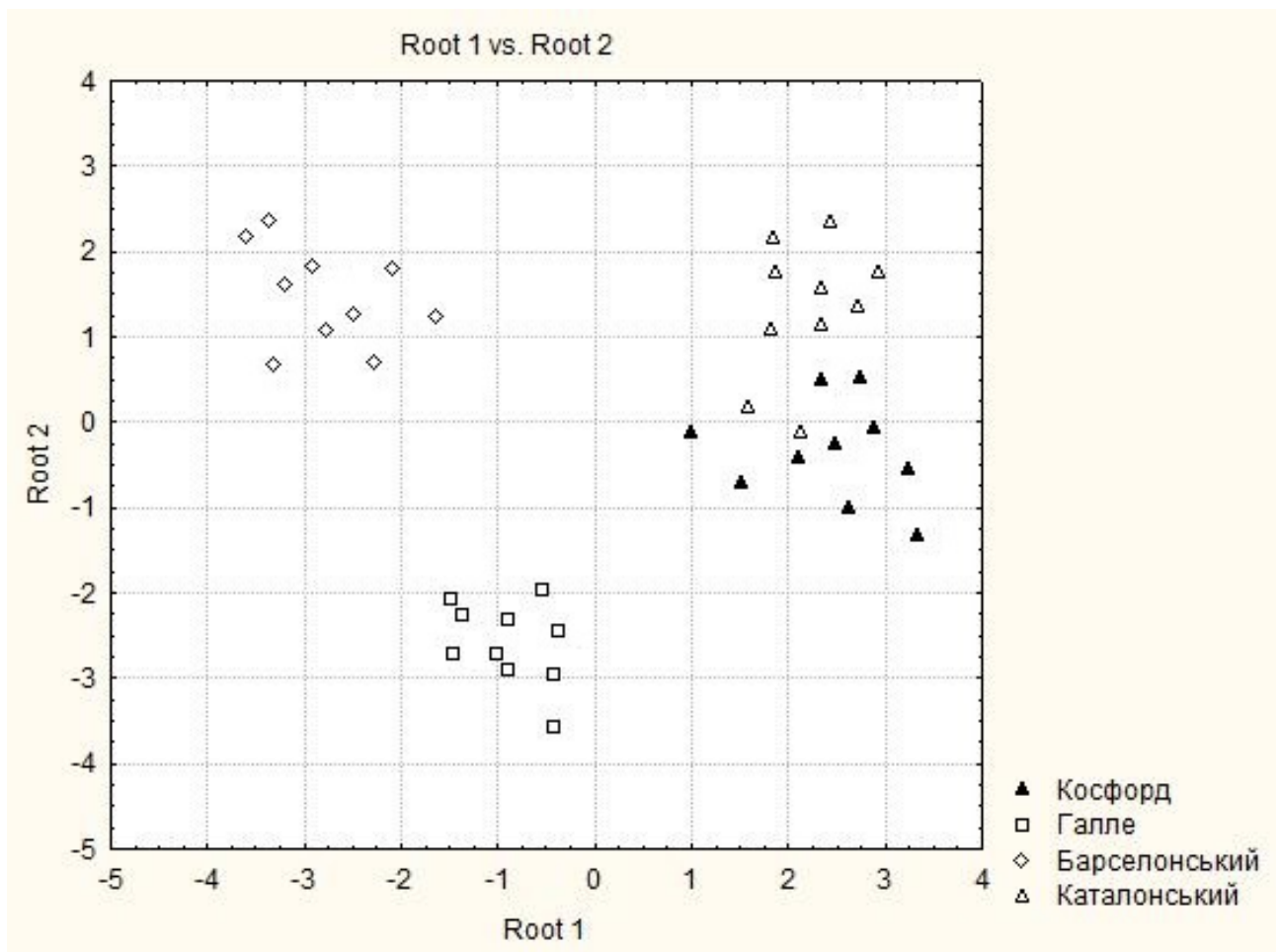


Рис. 6.13. Результати класифікації у факторному просторі канонічних функцій за належністю до кластеру сорту (2020 – 2022 рр.)

**Вагомість окремих чинників за сортами**

Параметр	Wilks'	Partial	F (критичне - 3,82)	p-рівень
Насичені жирні кислоти	0,05	0,61	5,66	0,01
Харчові волокна	0,05	0,62	5,38	0,01
Вітамін А	0,05	0,57	6,73	0,01
Вітамін Е	0,07	0,42	12,37	0,01
Вітамін С	0,05	0,62	5,43	0,01
Вітамін РР	0,04	0,64	3,81	0,07

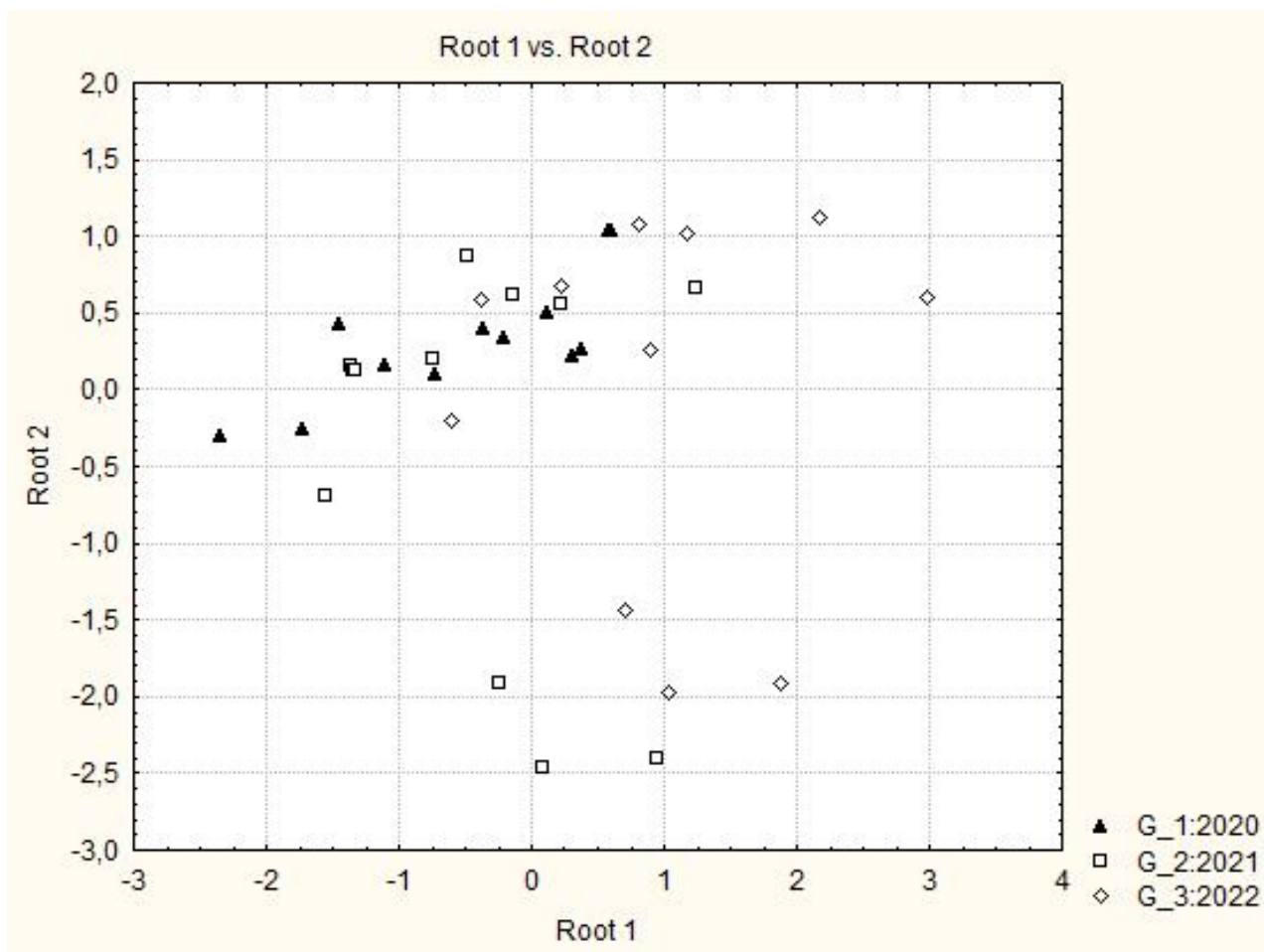


Рис. 6.14. Результати класифікації у факторному просторі канонічних функцій за належністю до кластеру рік (2020 – 2022 рр.)

Класифікація за роками (рис. 6.14 та табл. 6.3) не показала варіативність жодної ознаки, але при побудові моделі канонічних функцій диференціюючої сили мінливості виявлялося недостатньо, таким чином компонента зовнішнього середовища за класифікуючим впливом недостатньо контрастна й ці результати можна не враховувати. Можливо, більший період з більш контрастними умовами продемонструє іншу картину.

Результати дискримінантного аналізу ще раз показали, що, незважаючи навіть на виявлену деяку варіацію за роками для частини речовин, визначає всі заявлені ознаки насамперед сорт. Ознаки стабільно та з високим рівнем залежать лише від цієї компоненти варіативності. На відміну від попереднього аналізу варіативності макро- та мікроелементів, варіабельності зразків вистачило для диференціації за роками, але вона не була статистично значущою. Переважно вона пояснена у факторному аналізі не безпосередньо середовищною дією, а генотип-середовищною взаємодією.

Таблиця 6.3

#### Вагомість окремих чинників по роках

Параметр	Критерій Уїлкса	Часткова	F (критичне - 10,58)	p-рівень
Насичені жирні кислоти	0,71	0,90	1,49	0,24
Харчові волокна	0,69	0,92	1,06	0,35
Вітамін А	0,66	0,96	0,47	0,62
Вітамін Е	0,68	0,94	0,82	0,44
Вітамін С	0,75	0,86	2,27	0,12
Вітамін РР	0,69	0,92	1,09	0,34



Таким чином, можна зробити такі висновки: показники технологічної якості горіхової продукції (вміст насичених жирних кислот та вміст харчових волокон) варіюють значно сильніше ніж раніше вивчені показники вмісту макро- та мікроелементів і характеризуються суттєво вищими значенням генетичного поліморфізму серед вивчених сортів, особливо за другим показником. Незважаючи на те що виділено сорт Галле з високими показниками за обома ознаками (за першою Галле та Косфорд), досліджений матеріал не є перспективним як вихідний для поліпшення цієї ознаки, а вагомий середовищний ефект показує, що наведені результати щодо мінливості потребують додаткових досліджень. При впровадженні у виробничі насадження в умовах деяких контрастних років встановлені закономірності щодо більш високого вмісту можуть не спрацювати. Тому ці рекомендації за сортами не можна вважати остаточними.

Ознаки вмісту вітамінів А, Е та С залежать переважно тільки від сорту, залежність від дії середовища проявляється лише в одному варіанті через генотип-середовищний ефект (вітамін А). Усі ознаки (та вміст вітаміну РР) можна віднести до слабоваріативних (відносна мінливість до 5 %), цим вони й відрізняються від попередньої групи. Не встановлено суттєвого генетичного поліморфізму за жодною ознакою, за ознакою вмісту вітаміну РР взагалі були відсутні будь-які достовірні різниці за сортами та роками.

Ознаки вмісту вітамінів А, Е та С можна віднести до перспективних з позиції генетичного поліпшення для цього набору сортів. Ознака вміст вітаміну РР за варіативністю є безперспективною. Більш цінним є сорт Галле з огляду на результати комплексного біохімічного аналізу. На другому місці сорт Косфорд за двома показниками (насичені жирні кислоти та вітамін Е) та сорт Каталонський (за високим вмістом вітаміну Е та вітаміну С). Усі досліджені ознаки були модельними за фактором сорт, що свідчить про низьку загальну значущість конкретної ознаки.

Таким чином, за вмістом цінних речовин за усіма біохімічними показниками виокремився сорт Косфорд (вміст кальцію, сірки, магнію, калію,

молібдену, кобальту, марганцю, насичених жирних кислот та вітаміну Е, але з достовірно нижчим вмістом міді порівняно з всіма іншими сортами), другим є сорт Галле (вміст сірки, цинку, насичених жирних кислот, харчових волокон, вітамінів А та С), потім іде сорт Каталонський (вміст фосфору, цинку, марганцю, вітаміну С) і комплексно найгіршим є сорт Барселонський (високий вміст міді та вітаміну С). Жоден сорт не забезпечує повної харчової повноцінності. Варто рекомендувати вирощування сортів Косфорд та Галле у комплексі. Вирощування сорту Каталонський з огляду на формування високого рівня харчової цінності фундука є до кінця не обґрунтованим, вирощування сорту Барселонський недоцільне.

### **Висновки до розділу 6**

1. Досліджені ознаки вмісту біологічно-активних речовин переважно варіюють слабо, крім вмісту харчових волокон, для яких може бути характерною посередня варіація. У більшості випадків на мінливість за цими ознаками впливають генетичні потенції сорту, доволі часто вагомим є генотип-середовищна взаємодія. Фактор рік переважно не був значущим і суттєво поступався за вагомістю у впливі.

2. Усі досліджені сорти є константними стабільними формами за дослідженими ознаками вмісту елементів та є гарним вихідним матеріалом; довели можливість отримання горіхів з високою фіксованою харчовою якістю з огляду на потреби людського організму в розрахунку на споживання 100 г на добу в раціоні.

3. Сорти відзначалися доволі високою генетично зумовленою стабільністю у прояві ознак вмісту корисних речовин, що свідчить про їх перспективність у використанні для отримання продукції фіксованої якості за широкого спектру природних умов.

4. Більш перспективними для генетичного поліпшення в рамках виконаного дослідження мінливості сортів є ознаки вмісту насичених жирних кислот та харчових волокон, вмісту вітамінів А, Е та С. Безперспективним в

дослідженому наборі сортів є генетичне поліпшення за ознакою вміст вітаміну РР, який фактично не варіював.

5. Більш цінним за дослідженими в розділі показниками є сорт Галле, за загальним же за вмістом цінних речовин за усіма біохімічними аналізами на обох етапах дослідження в комплексі відзначилися сорти Косфорд та Галле, які рекомендуються до вирощування в комплексі для отримання продукції високої фіксованої якості.

Основні положення змісту цього розділу викладені в наукових працях:

1. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Сорти фундуку як джерело отримання цінних харчових елементів в умовах півночі степу України. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 17. С. 197–201. Режим доступу: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.28>

2. Simchenko O., Nazarenko M. Hazelnut varieties as a source of microelements under the conditions of the northern steppe of Ukraine. *Selection of agroecops in the conditions of climate change: directions and priorities*: Collection of materials II International Scientific and Practical Conference. Odessa : Oldi+, 2023. P. 157–158.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні показано можливості створення продуктивних та якісних стабільних агроценозів фундука в умовах зони нестійкого зволоження при просуванні нових культур на глобальний південь у рамках стратегії використання змін клімату у зв'язку із суттєвим пом'якшенням умов вирощування. Висвітлено проблематику високої прихованої гетезиготності сортів традиційної селекції та показано шляхи ідентифікації відповідних форм.

1. Показано, що в екологічно-контрастних умовах у сортів фундука відбувається суттєве прискорення у розвитку на користь фаз з формуванням репродуктивних органів (уже на перший рік вирощування) та відмічається формування до 5-6 суцвіть на кожну плодоносну гілку вже на другий рік вирощування.

2. Статистично достовірно впливають на врожайність як ознаку такі біометричні параметри, як об'єм крони, площа поверхні листя (морфометрія кущів фундука); товщина шкаралупи, середня маса одного горіха, маса сухих горіхів (100 шт.) (ознаки морфометрії горіха); урожайність з дерева, вихід з ядра.

3. Ідентифіковано два принципово різні механізми формування врожайності на рівні впливу ознак через поліпшення лінійно-вагових характеристик окремих горіхів (сорт Галле, Каталонський, Барселонський) та за рахунок виходу більшої кількості горіхів (сорт Косфорд). Такі сорти здатні взаємодоповнювати один одного за умов вирощування в комплексі.

5. За врожайними параметрами рекомендується до використання сорт Галле в комплексі із сортом Косфорд. Такі посадки за рахунок агроекологічної варіативності здатні суттєво підвищити сталість сформованого агроценозу виробничих насаджень фундука.

6. Сорт Барселонський демонструє суттєвий поліморфізм та має неоднорідний біотиповий склад, він менш придатний до використання у

виробничих насадженнях. Те саме, хоча й меншою мірою, стосується сорту Каталонський.

8. На врожайність фундука статистично достовірно впливали такі параметри, як загальна фотосинтетична активність листкового апарату та ефективність у використанні світлового потоку в центральній частині крони. Ці ознаки були вищими у більш врожайних сортів.

9. Сорти за ознаками вмісту цінних речовин та елементів здебільшого належать до константних форм. Переважно на мінливість за цими ознаками впливають генетичні потенції сорту. Більшість таких ознак є перспективними для поліпшення, крім вмісту сірки та вітаміну РР.

10. За вмістом цінних макро- та мікроелементів виокремився сорт Косфорд (вміст кальцію, сірки, магнію, калію, молібдену, кобальту, марганцю, насичених жирних кислот та вітаміну Е, але з достовірно нижчим вмістом міді порівняно зі всіма іншими сортами), другим є сорт Галле (вміст сірки, цинку, насичених жирних кислот, харчових волокон, вітамінів А та С). Жоден сорт не забезпечує харчової повноцінності повністю, але в комплексі відзначилися сорти Косфорд та Галле, які рекомендуються до вирощування для отримання продукції високої фіксованої якості.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для впровадження використання як вихідного матеріалу, так і для прямого формування перспективних продуктивних та стабільних агроценозів фундука високої фіксованої харчової якості рекомендовано використовувати сорти Галле та Косфорд у комплексі.

2. У разі створення виробничих насаджень фундука в зоні Степу України варто звертати увагу на суттєве прискорення переходу до репродуктивних фаз у розвитку онтогенезу, що може бути суттєвим недоліком для впровадження ранньостиглих форм.

3. Для сортів Каталонський та Барселонський варто провести заходи з внутрішньосортового добору за окремими біотипами згідно з виявленим дуже високим ступенем генетично зумовленого поліморфізму за господарсько-цінними ознаками.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрієнко М. В. Вирощування фундука в Україні. *Садівництво*. 1994. Вип. 43. С. 3–5.
2. Андрійчук В. Ефективність діяльності аграрних підприємств: теорія, методика, аналіз: [монографія]. Київ : КНЕУ, 2006. 292 с.
3. Бадалов П. П. Віддалена гібридизація в селекції фундука на зимостійкість. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 1990. Вип. 81. С. 7–9.
4. Балабак О. А. Порівняльна характеристика перебігу фенологічних фаз внутрішньовидових таксонів роду *Corylus L.* в умовах Правобережного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2015. № 11 (753). С. 38–40.
5. Балабак О. А. Агротехнічні заходи прискореного вирощування садивного матеріалу сортів і форм фундука (*Corylus domestica Kosenko et Opalko*) методом зеленого живцювання. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 7 (56). С. 45–51.
6. Еколого-біологічні особливості росту, розвитку та розмноження фундука (*Corylus domestica Kosenko et Opalko*). *Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства* : IV Міжвузівська науково-практ. конф., м. Умань, 16–17 жовтня 2014 року : тези доповідей. Умань, 2014. С. 54–55.
7. Балабак О. А. Створення та добір сортименту фундука (*Corylus domestica Kosenko et Opalko*) для промислових насаджень в Україні. *Гетерозис: досягнення та проблеми* : Міжнародна наук. конф., м. Умань, 18–20 березня 2015 року: тези доповідей. Умань, 2015. С. 10–11.
8. Балабак О. А., Любич В. В. Біологічна цінність білка фундука залежно від сорту. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2016. № 2. С. 52–55.
9. Балабак О. А., Любич В. В. Продуктивність фундука залежно від сорту. *Таврійський науковий вісник*. 2016. Вип. 95. С. 20–24.

10. Балабак О. А. Продуктивність фундука залежно від формування конструкцій насаджень. *Агробіологія* : збірник наукових праць Білоцерківського національного аграрного університету. 2016. Вип. 1 (124). С. 92–96.
11. Балабак О. А., Любич В. В. Технологічна якість олії фундука різних сортів. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 89. Ч. 1. С. 63–69.
12. Балабак О. А., Любич В. В. Урожайність та якість горіхів фундука залежно від сорту. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 88. Ч. 1. С. 139–145.
13. Балабак О. А., Балабак А. В. Вплив конструкції насаджень на освітленість крони та урожайність фундука (*Corylus domestica* Kosenko et Oralko). *Збалансоване природокористування*. 2016. № 4. С. 52–55.
14. Балабак О. А., Балабак А. В. Стійкість сортів фундука (*Corylus domestica* Kos. et Oral.) до факторів довкілля. *Ефективність використання екологічного аграрного виробництва* : Міжнародна науково-практ. конф., м. Київ, 2–3 листоп. 2017 р. : тези доповідей. Київ, 2017. С. 225–227.
15. Балабак О. А. Наукові основи культивування рослин роду *Corylus* L. у Правобержному Лісостепу України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.01 / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019. 50 с.
16. Білоус В. І. Лісова селекція : підручник для ВНЗ. Умань : Уманське видавничо-поліграф. підприємство, 2003. 534 с.
17. Бублик М. О. Основні завдання щодо координації та методики наукових досліджень у садівництві. *Садівництво* : Міжвід. тематич. наук. зб. Київ : Нора-прінт, 2000. С. 5–17.
18. Бублик М. О., Моргун О. В., Шевчук Н. В. Вплив погодних факторів північного Лісостепу на продуктивність сортів ліщини. *Садівництво*. 2001. 53. С. 320–330.



19. Бублик М. О., Моргун О. В., Шевчук Н. В. Моделювання продуктивності ліщини великоплідної на основі погодних факторів. *Вісник аграрної науки*. 2005. 2. С. 21–25.
20. Бублик М. О. Інтегральна оцінка придатності регіону за погодними факторами для вирощування плодових порід. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 6. С. 31–33.
21. Гайда Ю. І., Яцик Р. М., Марчук О. О., Парпан В. І. Основні етапи реалізації процесу збереження та використання лісових генетичних ресурсів в Україні. *Науковий вісник НЛТУ України* : зб. науково-техн. пр. 2008. № 18 (10). С. 33-41.
22. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть / за ред. В. В. Моргуна та ін. Київ : Логос, 2001. Т. 3. 480 с.
23. Генсірук С. А., Бондар В. С. Лісові ресурси України, їх охорона та використання. Київ : Наук. думка, 1973. 408 с.
24. Гордієнко М. І. Ліщина звичайна. *Лісівничий журнал*. 1993. № 4. С.19–20.
25. Горошко М. П., Миклуш С. І., Хомюк П. Г. Практикум з лісової біометрії : навчальне видання. Львів : УкрДЛТУ, 1999. 108 с.
26. Грицаєнко А. О. Плодівництво. Київ : Урожай, 2000. 290 с.
27. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник. Київ : Знання, 2007. 422 с.
28. ДСТУ 4780:2007. Садивний матеріал горіхоплідних культур. Технічні умови. Вид-во офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 16 с.
29. Екологічна безпека Вінниччини: монографія / за заг. ред. О. В. Мудрака. Вінниця : Міська друкарня, 2008. 456 с.
30. Кірмікчій П. Плодоношення *Corylus* в умовах Північного Лісостепу України та розмноження її цінних форм і сортів. *Вісник Київського ун-ту*. Серія: Інтродукція та збереження рослинного різноманіття. 2009. Вип. 18. С. 21–25.

31. Кондратенко П. В., Бублик М. О. Методика проведення польових досліджень з плодовими культурами. Київ : Аграр. наука, 1996. 95 с.
32. Кондратенко П. В. Продуктивність маточника вегетативних підщеп яблуні залежно від способів його закладання. *Садівництво*. 1997. Вип. 45. С. 54–60.
33. Копитко П. Г. Удобрення плодових і ягідних культур : навчальний посібник / П. Г. Копитко. Київ : Вища школа, 2001. 204 с.
34. Кондратенко П. В. Розвиток галузі садівництва в умовах реформування агропромислового комплексу. *Вісник аграрних наук*. 2001. № 9. С. 5–8.
35. Колчанова О. В. Результати приживлюваності сортів фундука під час зеленого живцювання у теплицях із туманним зрошенням в умовах Вінниччини. *Науковий вісник НЛТУ України* : зб. науково-техн. пр. 2018. № 28 (3). С 30–33.
36. Колчанова О. В., Лось С. А. Методичні аспекти вивчення формового різноманіття ліщин на прикладі сортів фундука української селекції. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. № 133. С. 10–19.
37. Колчанова О. В., Лось С. А. Мінливість морфологічних ознак сережок сортів фундука української селекції. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2014. № 125. С. 115–120.
38. Косенко І. С. Філогенез роду ліщини (*Corylus* L.). *Інтродукція рослин*. 1999. № 2. С. 68–72.
39. Косенко І. С. Ліщини в Україні / [за ред. М. А. Кохна]. Київ : Академперіодика, 2002. 266 с.
40. Косенко І. С. Минуле і сучасне поширення видів *Corylus* в Україні. *Інтродукція рослин*. 1999. № 3/4. С. 38–43.
41. Косенко І. С. Філогенез роду ліщини (*Corylus* L.). *Інтродукція рослин*. 1999. № 2. С. 68–72.
42. Косенко І. С. Ліщини в Україні. Київ : Академперіодика, 2002. 236 с.

43. Косенко І. С., Опалко А. І., Опалко О. А. Фундук: прикладна генетика, селекція, технологія розмноження і виробництва: навчальний посібник / за ред. І. С. Косенка. Київ : Наук. думка, 2008. 256 с.
44. Косенко І. С. Мобілізація генетичних ресурсів роду *Corylus L.* у Національному дендрологічному парку «Софіївка» НАН України. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія Нова»*. 2012. Том. 14. С. 156–160.
45. Косенко І. С., Опалко А. І., Балабак О. А. Селекція фундука (*Corylus domestica* Kosenko et Opalko) в НДП «Софіївка». *Селекційно-генетична наука і освіта* : Міжнародна наук. конф., м. Умань, 16–18 березня 2016 року : тези доповіді. Умань, 2016. С. 165–169.
46. Косенко І. С., Опалко А. І., Балабак О. А., Шульга С. М. Використання генетичної колекції *Corylus SPP.* НДП «Софіївка» для селекції фундука *Corylus domestica* KOS. et OPAL. *Автохтонні та інтродуковані рослини*. 2016. 12. С. 120–136.
47. Кучер А. О. Вивчити і підібрати цінні сорти і форми горіха грецького і фундука. *Звіт Мліївського НДІ садівництва Лісостепу України ім. Л. П. Симиренка*. Мліїв, 1991.
48. Кучерявий В. П. Екологія. Львів : Світ, 2001. 500 с.
49. Лавров В. В., Фурдичко О. І. Лісова галузь України у контексті збалансованого розвитку: теоретико-методологічні, нормативно-правові та організаційні аспекти. Київ : Основа, 2009. 424 с.
50. Лісові генетичні ресурси у контексті збереження біорізноманіття Вінниччини : [монографія] / Нейко І. С. [та ін.] ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. Вінниця : ТВОРИ, 2022. 499 с.
51. Лісові генетичні ресурси та їх збереження на Тернопільщині / Ю. І. Гайда та ін. Тернопіль : Підручники і посібники, 2008. 288 с.
52. Лісові генетичні ресурси та селекційно-насінницькі об'єкти Львівщини / Яцик Р.М. та ін. Івано-Франківськ : УкрНДІгірліс, 2006. 312 с.
53. Лісові культури / Гордієнко М. І., Гузь М. М., Дебринюк Ю. М., Маурер В. М. Львів : Камула, 2005. 608 с.

54. Лядська І. В., Циліорик О. І., Іжболдін О. О., Пащенко Н. О. Особливості формування врожайності в сучасних сортів горіху грецького в умовах зони нестійкого зволоження. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 19. С. 175–179.
55. Моргун О. В., Бублик М. О. Урожайність і якість плодів фундука в умовах Лісостепу України. *Садівництво*. 2004. Вип. 55. С. 63–71.
56. Моргун О. В. Господарсько-біологічна оцінка нових сортів фундука в умовах північного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.07 «Плодівництво» / УААН, Ін-т садівництва. Київ, 2005. 20 с.
57. Моргун О. В. Розмноження фундука в умовах Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 6. С. 50–53.
58. Моргун О. В. Культура фундука (*Corylus L.*) у Лісостепу України. *Садівництво*. 2008. Вип. 61. С. 102–115.
59. Моргун О. В. Морозостійкість сортів фундука (*Corylus L.*) в умовах Лісостепу України. *Садівництво*. 2009. Вип. 62. С. 256–263.
60. Моргун О. В. Ефективність різних способів розмноження сортів фундука (*Corylus maxima Mill.*) в умовах Лісостепу України. *Садівництво*. 2011. Вип. 64. С. 69–80.
61. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища шк., 1994. 334 с.
62. Мудрак О. В., Мудрак Г. В. Особливості збереження біорізноманіття Поділля: теорія і практика : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2013. 320 с.
63. Наукові основи та складові галузевої програми розвитку горіхівництва в Україні. Київ : Логос, 2011. 100 с.
64. Нейко І. С. Еколого-генетичні засади популяційного та індивідуального відбору основних лісотвірних порід Правобережного Лісостепу України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 03.00.16 Нац. акад. аграр. наук України, Ін-т агроекології і природокористування. Київ, 2019. 43 с.

65. Основи харчування : підручник / М. І. Кручаниця, І. С. Миронюк, Н. В. Розумикова, В. В. Кручаниця, В. В. Брич, В. П. Кіш. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 252 с.
66. Павленко Ф. А. Українські сорти фундука. Київ, 1992. 10 с.
67. Пахно В. Концепція розвитку горіхівництва в Україні. URL : <http://ukrnuts.org/ru/articles-andnews/articles/konczepcz%D1%96ya.html>.
68. Пахно А., Паутов Ю. Фундук *Corylus maxima*. Дніпропетровськ, 2012. 84 с.
69. Проблеми моніторингу у садівництві / [за ред. д-ра біол. наук. проф. А. М. Силаєвої]. Київ : Аграрна наука, 2003. С. 344.
70. Ріхтер А. А., Колесніков В. А. Горіхоплідні культури. Сімферополь : Криміздат, 1952. 31 с.
71. Сатіна Г. М., Олещенко Ф. Г., Кошлакова Н. М., Косенко І. С., Опалко А. І., Балабак О. А., Тарасенко Г. А., Опанасенко М. Є., Чернобай І. Г., Трикоз Н. М. Наукові основи та складові Галузевої програми розвитку горіхівництва в Україні. Київ, 2011. 100 с.
72. Сатіна Г. М., Мазур К. В. Основні проблеми та перспективи розвитку ринку фундука в Україні. *Економіка АПК*. 2019. № 11. С. 35–41.
73. Селекція плодкових і овочевих культур [Практикум : навч. посібник] / А. І. Опалко [та ін.]. Київ : Наук. світ, 2004. 307 с.
74. Сікура Й. Й., Капустян В. В. Інтродукція рослин (її значення для розвитку цивілізацій, ботанічної науки та збереження різноманіття рослинного світу). Київ : Фітосоціоцентр, 2003. 280 с.
75. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Сорти фундуку як джерело отримання цінних харчових елементів в умовах півночі степу України. *Аграрні інновації*. 2023. Вип. 17. С. 197–201.
76. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Формування продуктивності у фундука в залежності від активності фотосинтезу. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 53–58.

77. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Півночі степу України. *Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження*: кол. моногр. ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : ПП «Астрая», 2021. С. 150–160.

78. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Північного Степу України. *Розвиток сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності* : матеріали I Міжнар. науково-практ. конф. (Полтава, 5 трав. 2021 р.). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. С. 78–80.

79. Слюсарчук В. Є. Щодо історії, сучасного стану та перспективи розведення фундуку в Україні. *Генетичні ресурси для адаптивного рослинництва: мобілізація, інвентаризація, збереження, використання*: тези доп. Міжнар. науково-практ. конф. (Оброшино, 29 червня – 1 липня 2005 р.). Оброшино, 2005. С. 180–181.

80. Слюсарчук В. Є. Біорізноманіття ліщини та фундука: збереження та збагачення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006. Вип. 16.6. С. 11–18.

81. Слюсарчук В. Є. Світова тенденція збільшення виробництва фундука та можливості України щодо власного горіхівництва. *Матер. Міжнар. ювіл. конф., присвяч. 75-річчю із дня заснування УкрНДІЛГА «Ліс, наука, суспільство» (30–31 березня 2005 р., м. Харків)*. Харків : УкрНДІЛГА, 2005. С. 130–131.

82. Слюсарчук В. Є. Догляд за кущами на плантаціях фундука в умовах України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 1991. Вип. 82. С.77–78.

83. Соломаха В. А. та ін. Збереження біорізноманіття у зв'язку із сільськогосподарською діяльністю. Київ : Урожай, 2005. 123 с.

84. Фізіологія сільськогосподарських рослин з основами біохімії / М. М. Макрушин, Є. М. Макрушина, Н. В. Петерсон, В. С. Цибулько ; за ред. М. М. Макрушина. Київ : Урожай, 1995. 352 с.

85. Фурдичко О. І., Стадник А. П. Основи управління агроландшафтами України. Київ : Аграрна наука, 2012. 384 с.
86. Цилюрик О. І., Лядська І. В., Пащенко Н. О., Позняк В. В. Харчова цінність окремих сортів фундука при вирощуванні в зоні Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. Вип. 131. С. 246–252.
87. Цилюрик О. І., Іжболдін О. О., Гуленко О. І., Пащенко Н. О. Врожайні якості сортів фундука в зоні нестійкого зволоження. *Таврійський науковий вісник*. 2023. Вип. 133. С. 173–178. Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.23>
88. Яновський Ю. П. та ін. Інтегрований захист плодкових насаджень : навч. посібн. / [за ред. Ю. П. Яновського]. Київ : «Фенікс», 2015. 648 с.
89. Яремко Н. О. Посухостійкість сортів фундука (*Corylus maxima* L.) в маточнику в умовах Правобережного Лісостепу України. *Садівництво*. 2015. 69. С. 167–176.
90. Яремко Н. О. Вплив позакореневого підживлення на біометричні показники відсадків фундука (*Corylus maxima* Mill.), вирощених у маточнику вегетативного розмноження вертикальним способом. *Садівництво*. 2015. № 70. С. 115–122.
91. Achim G. Investigations of different methods of propagation for hazelnut in Romania. *Acta Horticulture*. Vol. 445. 1997. P. 449–458.
92. Alasalvar C., Fereidoon Shahidi, Joana S. Amaral, Beatriz P. P. Oliveira Compositional characteristics and health effects of hazelnut (*Corylus avellana* L.): An overview. *Tree nuts: Composition, phytochemicals, and health effects* / [eds.: Cesarettin Alasalvar and Fereidoon Shahidi]. Boca Raton : CRC Press, 2009. P. 185–214.
93. Alasalvar C. Shahidi F., Liyanapathirana C.M., Ohshima T. Turkish tumbul hazelnut (*Corylus avellana* L.). 1. Compositional characteristics. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. Vol. 51, 13. P. 3790–3796.
94. An N., Turp M.T., Türkeş M., Kurnaz M.L. Mid-term impact of climate change on hazelnut yield. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. P. 159.

95. Angelova-Romova M. Phospholipids content and composition of hazelnut and walnut cultivars grown in Bulgaria / Maria Angelova-Romova [et al.]. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2013. Vol. 66, № 12. P. 1689–1694.
96. Aydemirm B., Yılgin Y. Investigation of torrefaction and combustion behavior of hazelnut shell. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*. 2022. Vol. 12(1). P. 51–65.
97. Bacchetta L., Rovira M., Tronci C., Aramini M., Drogoudi P., Silva A., Solar A., Avanzato D., Botta R., Valentini N. Boccacci P. A multidisciplinary approach to enhance the conservation and use of hazelnut *Corylus avellana* L. genetic resources. *Genetic Resources Crop Evolution*. 2015. Vol. 62. P. 649–663.
98. Balabak O. The winter hardiness of the varieties and forms of filbert (*Corylus domestica* Kosenko et Opalko), planted in Ukraine. *Eureka: Life Sciences*. 2016. № 5. P. 25–31.
99. Balabak O. Environmental features of culture hazelnut and content of wheat in horizons depending from variety. *Danish Scientific Journal (DSJ)*. 2017. № 4. P. 4–8.
100. Baldwin B. Hazelnut variety assessment for South-Eastern Australia. NSW 2800, 2003. 40 p.
101. Baldwin B. The Effects of Site and Seasonal Conditions on Nut Yield and Kernel Quality of Hazelnut Genotypes Grown in Australia. *Acta Horticulture*. 2009. Vol. 845. P. 83–88.
102. Banyal S. K., Thakur A., Nanak D. N. The politics of nature. In: Ghosh, S.N., Verma, M.K., Thakur A. Temperate fruit crop breeding: domestication to cultivar development Part I. Jaya Publishing, New Delhi, 2021. P. 291–310.
103. von Bennowitz E., Ramírez C., Muñoz D., Cazanga-Solar R., Losak T., Alba-Mejía J.E., Maureira-Butler I. Fenología, sincronización polínica y características frutales de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cv. "Tonda de gifoni" en tres localidades de Chile central. *Rev. De La Fac. De Cienc. Agrarias. Univ. Nac. De Cuyo*. 2019. Vol. 51. P. 55–67.



104. Beyhan Ö. Effect of altitude on fatty acid composition in Turkish hazelnut (*Coryllus avellana* L.) varieties. *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10 (71). P. 16064–16068.
105. Bodaghabadi M. B., Faskhodi A. A., Salehi M. H., Hosseinifard S. J., Heydari M. Soil suitability analysis and evaluation of pistachio orchard farming, using canonical multivariate analysis. *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 246. P. 528–534.
106. Bregaglio S., Orlando F., Forni E., De Gregorio, T., Falzoi S., Boni C., Pisetta M., Confalonieri R. Development and evaluation of new modelling solutions to simulate hazelnut (*Coryllus avellana* L.) growth and development. *Ecological Modelling*. 2016. Vol. 329, P. 86–99.
107. Cabo S., Aires A., Carvalho R., Vilela A., Pascual-Seva N., Silva A. P., Gonçalves B. Kaolin, Ascophyllum nodosum and salicylic acid mitigate effects of summer stress improving hazelnut quality. *Journal Science Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101. P. 459–475.
108. Calà E., Fracchia A., Robotti E., Gulino F., Gullo F., Oddone M., Massacane M., Cordone G., Aceto M. On the traceability of the hazelnut production chain by means of trace elements. *Molecules*. 2022. Vol. 27, 3854. doi: 10.3390/molecules27123854
109. Campa N. A., Rodríguez M. R, Suárez V. B., Ferreira J. J. Variation of morphological, agronomic and chemical composition traits of local hazelnuts collected in northern Spain. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12, 659510. doi: 10.3389/fpls.2021.659510
110. Cacka J., Sanguankeo P. Calcium Influence on Hazelnut Quality and Yields in Oregon. *Acta Horticulture*. 2014. Vol. 1052. P. 187–193.
111. Cincera I., Frioni T., Ughini V., Poni S., Farinelli D., Tombesi S. Intra-specific variability of stomatal sensitivity to vapour pressure deficit in *Coryllus avellana* L.: A candidate factor influencing different adaptability to different climates? *Journal of Plant Physiology*. 2019. Vol. 232. P. 241–247.

112. Crane-Droesch A. Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture. *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13, 114003.
113. Črepinšek Z., Stampar F., Kajfež-Bogataj L., Solar A. The response of *Corylus avellana* L. phenology to rising temperature in north-eastern Slovenia. *International Journal of Biometeorology*. 2011. Vol. 56. P. 681–694.
114. Črepinšek Z., Štampar F., Kajfež-Bogataj L., Solar A., The response of *Corylus avellana* L. phenology to rising temperature in north-eastern Slovenia. *International Journal of Biometeorology*. 2012. Vol. 56. P. 681–694.
115. Crescimanno F. Research on mineral nutrition of filbert trees (*Corylus avellana*) – changes in N, P, K, Ca and Mg. *Abstracts XXth International Horticultural Congress, Sydney – Australia*. 1978.
116. Cristofori V., Pica A.L., Silvestri C., Bizzarri S. Phenology and yield evaluation of hazelnut cultivars in Latium region. *Acta Horticulturae*. 2018. Vol. 1226. P. 123–130.
117. Damiano C. Micropropagation of hazelnut (*Corylus avellana*). *Acta Horticulture*. 2005. Vol. 686. P. 221–226.
118. Di Lena B., Curci G., Vergni L., Farinelli D. Climatic suitability of different areas in Abruzzo, central Italy, for the cultivation of hazelnut. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8. P. 580. doi: 10.3390/horticulturae8070580
119. Erbaş N., Çınarer G., Kılıç K. Classification of hazelnuts according to their quality using deep learning algorithms. *Czech Journal Food Science*. 2022. Vol. 40. P. 240–248
120. Erdogan V., Mehlenbacher S.A. Incompatibility in wild *Corylus* species. *Proc. of the Vth Inter. Cong. on hazelnut (Corvallis, Oregon, August 27-31, 2000)*: *Acta Hort*. 2001. Vol. 556. P. 163–169.
121. Erdogan V., Shawn A. Mehlenbacher Phylogenetic relationships of *Corylus* species (Betulaceae) based on nuclear ribosomal DNA ITS region and chloroplast matK gene sequences. *Systematic botany*. 2000. Vol. 25, № 4. P. 727–737.

122. Farinelli D., Luciani E., Villa F., Manzo A. Tombesi S. First selection of non-suckering rootstocks for hazelnut cultivars. *Acta Horticulture*. 2022. Vol.1346. P. 699–708.
123. FAOSTAT Crops and Livestock Products. 2021. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 10 February 2023).
124. FAOSTAT. Food Balance. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#search/Hazelnuts%2C%20with%20shell> (accessed on 4 March 2022).
125. Fideghelli C., De Salvador F. World Hazelnut Situation and Perspectives. *Acta Horticulture*. 2009. Vol. 845. P. 39–52
126. Freitas T.R., Santos J.A., Silva A.P., Fraga, H. Influence of climate change on chestnut trees: A review. *Plants*. 2021. Vol. 10, 1463.
127. Janick J. Horticultural science. San Francisco : W. H. Freeman and Co., 1979. 608 p.
128. Jenderek M., Serimian J., Postman J., Hummer K., Yeater K. Yield and nut characteristics of hazelnut genotypes grown in San Joaquin Valley, California. *Crop Science*. 2022. Vol. 62, 3. P. 1188–1199.
129. Jha P., Materia S., Zizzi G., Costa-Saura J.M., Trabucco A., Evans J., Bregaglio S. Climate change impacts on phenology and yield of hazelnut in Australia. *Agricultural Systems*. 2020. Vol. 186, 102982. doi: 10.1016/j.agsy.2020.102982
130. Germain E. The reproduction of hazelnut (*Corylus avellana* L.): A review. *Acta Horticulturae*. 2022. Vol. 351. P. 195–209.
131. Gonçalves B., Silva A., Bacelar E., Correia C., Santos A., Ferreira H., Moutinho-Pereira J. Effect of Training System on Hazelnut (*Corylus avellana*) Physiology. *Acta Horticulture*. 2009. Vol. 845. P. 239–244.
132. Gönenc S., Tanrıvermiş H., Bülbül M. Economic assessment of hazelnut production and the importance of supply management approaches in Turkey. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*. 2006. Vol. 107. P. 19–32

133. Gonkiewicz A. Szkolkarze, sadownicy i rolnicy. *Szkolkarstwo*. 2000. № 6. S. 19–21.
134. Gonzalez-Sanchez A., Frausto-Solis J., Ojeda-Bustamante W. Predictive ability of machine learning methods for massive crop yield prediction. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2014. Vol. 12. P. 313–328.
135. Guiné R.P.F., Correia P. Hazelnut: a valuable resource. *International Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 6. P. 67–72.
136. Giulia T., Vallauri G., Pavese V., Valentini N., Ruffa P., Botta R., Marinoni D.T. Identification of the hazelnut cultivar in raw kernels and in semi-processed and processed products. *European Food Research and Technology*. 2022. Vol. 248. P. 2431–2440.
137. Hand C. Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* shoot cultures. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2014. Vol. 119. P. 427–439.
138. Hasegawa T., Fujimori S., Havlík P., Valin H., Bodirsky B.L., Doelman J.C., Fellmann T., Kyle P., Koopman J. F., Lotze-Campen H. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature climate change*. 2018. Vol. 8. P. 699–703.
139. Holzworth D. P., Snow V., Janssen S., Athanasiadis I. N., Donatelli M., Hoogenboom G., White J. W., Thorburn P. Agricultural production systems modelling and software: current status and future prospects. *Environmental Modelling & Software*. 2015. Vol. 72. P. 276–286.
140. Hryniewicz-Sudnik J., Sękowski B., Wilczkiewicz M. Rozmnażanie drzew i krzewów liściastych. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001. 636 s.
141. Hummer K. Hazelnut Genetic Resources at the Corvallis. *USDA Germplasm Repository Fifth International Congress on Hazelnut*, 2000, August 27–31. 2000. P. 27.
142. İrdem C. Effects of temperature and precipitation on hazelnut yield in Turkey. *Turkish J. Geographical Sci.* 2021. Vol. 19. P. 242–262.

143. Khaki S., Wang L., Archontoulis S.V. A cnn-rnn framework for crop yield prediction. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 10, 1750.
144. Khavari M., Fatahi R., Zamani Z. Salicylic acid and kaolin effects on pomological, physiological, and phytochemical characters of hazelnut (*Corylus avellana*) at warm summer condition. *Science Reports*. 2021. Vol. 11, 4568.
145. Kizilkaya R., Dumbadze G., Gülser C., Jgenti L. Impact of NPK fertilization on hazelnut yield and soil chemical-microbiological properties of hazelnut orchards in Western Georgia. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2022. Vol. 11, 3. P. 206–215.
146. Kosenko I. S., Opalko A. I., Balabak O. A., Opalko O. A., Balabak A. V. Hazelnut breeding in the National Dendrological Park «Sofiyivka» of the NAS of Ukraine. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2017. Т. 13. № 3. С. 245–251.
147. Kosenko I. S., Opalko A. I., Balabak O. A., Opalko O. A., Balabak A. V. Hazelnut (*Corylus Domestica* KOS. et OPAL.) research and breeding at National Dendrological Park «Sofiyivka» of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine. *Temperate horticulture for sustainable development and environment: ecological aspects*. 2018. Ch. 13. P. 237–267.
148. Krol K., Gantner M., Piotrowska A. Morphological traits, kernel composition and sensory evaluation of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars grown in Poland. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, 703. doi: 10.3390/agronomy9110703
149. Luciani E., Palliotti A., Tombesi S., Gardi T., Micheli M., Berrios J.G., Farinelli D. Mitigation of multiple summer stresses on hazelnut (*Corylus avellana* L.): Effects of the new arbuscular mycorrhiza *Glomus iranicum tenuihypharum* sp. nova. *Science Horticulture*. 2019. Vol. 257, 108659.
150. Luciani E., Palliotti A., Frioni T., Tombesi S., Villa F., Zadra C., Farinelli D. Kaolin treatments on Tonda Giffoni hazelnut (*Corylus avellana* L.) for the control of heat stress damages. *Science Horticulture*. 2020. Vol. 263, 109097.
151. Mehlenbacher S.A. Hazelnuts (*Corylus*). *Acta Horticulture*. 1991. Vol. 290. P. 791–838.

152. Mehlenbacher S.A. Revised dominance hierarchy for S-alleles in *Corylus avellana* L. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997. Vol. 94. P. 360–366.
153. Mehlenbacher S.A. Geographic distribution of incompatibility alleles in cultivars and selections of European hazelnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2014. Vol. 139, 2. P. 191–212.
154. Mehlenbacher S.A., Molnar T. Hazelnut breeding. *Plant Breeding Reviews*. 2021. Vol. 62(3). P. 9–141.
155. Miletić R., Mitrović V., Rakićević M., Blagojević M., Karaklajić-Stajić Ž. The study of populations of hazelnut c. *Avelana* L. and Turkish hazelnut *C. Colurna* L. and their selection. *Genetika*. 2007. Vol. 39, № 1. P. 13–22.
156. Milošević T. Milošević N. Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis. *Acta Scientiarum Polonorum: Hortorum Cultus*. 2017. Vol. 16. P. 49–61.
157. Molnar T. J. *Corylus*. Wild crop relatives: genomic and breeding resources. *Forest trees* / [ed. Chittaranjan Kole]. Berlin; Heidelberg: Springer, 2011. P. 15–48.
158. Nazarenko M., Simchenko O. Activity of photosynthesis as factor for hazelnuts productivity. *Матеріали VI Міжнародної науково-практ. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур»* (м. Дніпро, 16–17 листопада 2022 р.). Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 3–4.
159. Nazarenko M., Simchenko O. Diversity of hazelnut varieties and changes in plant development during introduction in the semi-arid zone. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31 (3). P. 313–318.
160. Nepal A., Tashi S., Chhetri R., Dorji T., Dorji U. Sapkota S. Impacts of climate change on hazelnut (*Corylus avellane* L.) cultivation in Bhutan. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 5 (2). P. 1445–1455.
161. Nera E., Paas W., Reidsma P., Paolini G., Antonioli F., Severini S. Assessing the Resilience and Sustainability of a Hazelnut Farming System in Central

Italy with a Participatory Approach. *Sustainability*. 2020. 12, 343. doi: 10.3390/su12010343

162. Newell F. A., Mason M. E., Matlock R. S. Precursors of typical and atypical roasted peanut flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1967. Vol. 15. P. 767–772.

163. Özkutlu F., Doğru Y. Z., Özenç N., Yazici G., Turan M., Akçay F. The importance of Turkish hazelnut trace and heavy metal contents for human nutrition. *J. Soil Sci.* 2011. Vol. 2, 1. P.303–319.

164. Orlandi F., Ranfa A., Ruga L., Fornaciari M. Hazelnut phenological phases and environmental effects in two central Italy areas. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2019. Vol. 75 (3). P. 137–143.

165. Ozturk S.C., Ozturk S.E., Celik I., Stampar F., Veberic R., Doganlar S., Solar A., Frary A. Molecular genetic diversity and association mapping of nut and kernel traits in Slovenian hazelnut (*Corylus avellana*) germplasm. *Tree Genetics & Genomes*. 2017. Vol. 13. P. 1–16.

166. Pantelidis G., Mavromatis T., Drogoudi P. Consecutive wet days may impede fruit quality of peach and nectarine and cause fruit drop. *Science Horticulture*. 2021. Vol. 282, 110011.

167. Pei-Chun Li., A. K. Skvortsov. Betulaceae: *Corylus*. Flora of China : [in 25 v.] / [Ed. Wu Zheng-yi & P. H. Raven] – Beijing & St. Louis : Science Press & Missouri Botanical Garden, 1999. V. 4: Araucariaceae – Taxodiaceae. P. 286–289.

168. Piskornik Z., Wyzgolik G., Piskornik M. Flowering of Hazelnut Cultivars from Different Regions under the Climatic Conditions of Southern Poland. *Acta Horticulture*. 2000. Vol. 556. P. 529–536.

169. Portarena S., Gavrichkova O., Brugnoli E., Battistelli A., Proietti S., Moscatello S., Famiani F., Tombesi S., Zadra C., Farinelli, D. Carbon allocation strategies and water uptake in young grafted and own-rooted hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Tree Physiology*. 2022. Vol. 42. P. 939–957.

170. Raparelli E., Lolletti, D. Research, Innovation and Development on *Corylus avellana* through the Bibliometric Approach. *International Journal of Fruit Science*. Vol. 20 (39). 2020. P. 1–17.
171. Rapiti E. Bioeconomic approach to hazelnut crop's assessment. *Circular Economy and Sustainability*. 2021. Vol. 1, P.1271–1280.
172. Reed C. A., Davidson J. The nut trees of North America. New York : The Devin-Adair Company, 1958. 404 p.
173. Retounard D. Rozmnażanie 250 roślin przez sadzonki. Warszawa : «Wydawca Delta», 2005. 320 s.
174. Rezaei F. Evaluation of fatty acid content and nutritional properties of selected native and imported hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties grown. *Iran Journal of applied botany and food quality*. 2014. Vol. 87. P. 104–107.
175. Richardson D. G. The health benefit of eating hazelnuts: implications for bloodlipid profiles, coronary heart disease, and cancer risks. *Acta Horticulturae*. 1996. Vol. 445. P. 295–300.
176. Rodríguez A., Pérez-López D., Centeno, A., Ruiz-Ramos M. Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agriculture Systems*. 2021. Vol. 186, 102961.
177. Romero-Aroca A., Rovira M., Cristofori V., Silvestri C. Hazelnut kernel size and industrial aptitude. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. 1115. doi: 10.3390/agriculture11111115
178. Shi D. Effects of culture media and plant growth regulators on micropropagation of willow (*Salix matsudana* 'Golden Spiral') and hazelnut (*Corylus colurna* 'Te Terra Red'). 2014. Access mode: <http://digitalcommons.unl.edu/agronhortdiss>.
179. Silvestri C., Bacchetta L., Bellincontro A., Cristofori V. Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: An overview. *Journal of Science Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101. P. 27–43.



180. Simchenko O., Nazarenko M., Izhboldin O. Productivity of hazelnut varieties under steppe climatic conditions. *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи*. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантелєєва та М. М. Родігіна (м. Харків, 20–21 жовтня 2022 р.). Харків : 2022. С. 234-235.

181. Simchenko O., Nazarenko M. Hazelnut varieties as a source of microelements under the conditions of the northern steppe of Ukraine. *Selection of agroecotypes in the conditions of climate change: directions and priorities*: Collection of materials II International Scientific and Practical Conference. Odessa : Oldi+, 2023. P. 157–158.

182. Stachowski P., Jagosz B., Rolbiecki S., Rolbiecki R. Predictive capacity of precipitation data to estimate the water needs of fruit plants in water deficit areas. *Atmosphere*. 2021. Vol.12, 550.

183. Taghavi T., Rahemi A., Dale A., Galic D., Kelly J. Hazelnut floral phenology in southern Ontario. *Can. J. Plant Sci.* 2021. Vol. 101. P. 803–817.

184. Taghavi T., Rahemi A., Suarez E. Development of a uniform phenology scale (BBCH) in hazelnuts. *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 296. 110837. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110837.

185. Tercan E., Dengiz O., Özkan B., Dereli M.A., Öztekin Y.B. Geographic information system–assisted site quality assessment for hazelnut cultivation using multi-criteria decision analysis in the Black Sea region, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 35908–35933.

186. Thompson M. M. Incompatibility alleles in *Corylus avellana* L. Cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 1979. Vol. 55, № 1. P. 29–33.

187. Thompson M. Hazelnut culture in Oregon. *USA Tree Crops Journal*. 1981. Vol. 6. P. 20–32.

188. Thomson G. E., T. D. Deering. Effect of cytokinin type and concentration on in vitro shoot proliferation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2011. Vol. 39 (3). P. 209–213.
189. Tombesi A. Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut. *III International Congress on Hazelnut*. 1992. Vol. 351. P. 247–256.
190. Tombesi A., Rosati, A. Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle. *Acta Horticulture*. 1997. Vol. 445. P. 269–278.
191. Tous J. Hazelnut Production in Spain. *Acta Horticulture*. 2005. Vol. 686. Vol. 659–664.
192. Ustaoglu B., Karaca M. The Effects of Climate Change on Spatiotemporal Changes of Hazelnut (*Corylus avellana*) Cultivation Areas in the Black Sea Region, Turkey. *Applied and Ecology Environment Research*. 2014. Vol. 12. P. 309–324.
193. Valentini N., Moraglio S.T., Rolle L., Tavella L., Botta R. Nut and kernel growth and shell hardening in eighteen hazelnut cultivars (*Corylus avellana* L.). *Horticulturae Science*. 2015. Vol. 42. P. 149–158.
194. Valeriano T., Fischer K., Ginaldi F., Giustarini L., Castello G. Bregaglio S. Rotten hazelnuts prediction via simulation modeling—A case study on the turkish hazelnut sector. *Frontier in Plant Science*. 2022. Vol. 13, 766493. doi: 10.3389/fpls.2022.766493
195. Vinci A., Traini C., Farinelli D., Brigante R. Assessment of the geometrical characteristics of hazelnut intensive orchard by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Proceedings of the 2022 IEEE Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)*, Perugia, Italy, 3–5 November 2022. P. 218–222.
196. Vinci A, Di Lena B, Portarena S, Farinelli D. Trend Analysis of Different Climate Parameters and Watering Requirements for Hazelnut in Central Italy Related to Climate Change. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9, 5. 593. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050593>

197. Vinci A., Brigante R., Traini C., Farinelli D. Geometrical Characterization of Hazelnut Trees in an Intensive Orchard by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Precision Agriculture Applications. *Remote Sens.* 2023. Vol 15, 541.
198. Vinci A., Traini C., Portarena S., Farinelli D. Assessment of the Midseason Crop Coefficient for the Evaluation of the Water Demand of Young, Grafted Hazelnut Trees in High-Density Orchards. *Water.* 2023. Vol. 15, 1683.
199. Villarroel M. Characterization of Chilean hazelnut sweet cookies. *Plant Foods for Human Nutrition.* 1993. Vol. 43. P. 279–285.
200. Wani I.A., Ayoub A., Bhat N.A., Dar A.H. Gull, A. Hazelnut. In: Nayik, G.A., Gull A. Antioxidants in vegetables and nuts - properties and health benefits. Springer, Singapore, 2020. P. 559–572.
201. Whitcher I. N., Jun Wen. Phylogeny and biogeography of *Corylus* (Betulaceae): Inferences from ITS sequences. *Systematic botany.* 2001. Vol. 26, № 2. P. 283–298.
202. Xu Y. X., M. A. Hanna, S.J. Josiah. Hybrid hazelnut oil characteristics and its potential oleochemical application. *Industrial Crops and Products.* 2007. Vol. 26. P. 69–76.
203. Yao Q., Mehlenbacher S.A. Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. *Plant Breeding.* 2008. Vol. 119. P. 369–381.
204. Yıldız-Turp G., Meltem Serdaroğlu. Partial substitution of beef fat with hazelnut oil in emulsion type sausages: Effects on chemical, physical and sensorial quality. *Journal of food technology.* 2012. Vol. 10, № 2. P. 32–38.
205. Yoo K.-O., Jun Wen. Phylogeny of *Carpinus* and subfamily Coryloideae (Betulaceae) based on chloroplast and nuclear ribosomal sequence data. *Plant systematics and evolution.* 2007. Vol. 267, № 1–4. P. 25–35.

## **ДОДАТКИ**

**Додаток А**  
**СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Статті в наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:**

1. Nazarenko M., Simchenko O. Diversity of hazelnut varieties and changes in plant development during introduction in the semi-arid zone. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31 (3). P. 313–318. Режим доступу DOI: 10.15421/012336 (Scopus) *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*.

**Статті в наукових фахових виданнях України:**

2. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Сорти фундуку як джерело отримання цінних харчових елементів в умовах півночі степу України. *Аграрні інновації*. 2023. Вип.17. С. 197–201. Режим доступу: <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2023.17.28> *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*

3. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Формування продуктивності у фундуку в залежності від активності фотосинтезу. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 53–58. Режим доступу: <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2022.15.8> *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*

**Розділи колективних монографій:**

4. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Півночі степу України. *Стійкий розвиток сільських територій у контексті реалізації державної екологічної політики та енергозбереження* : кол. моногр. ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : ПП «Астрая», 2021. С. 150–160. *(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті)*

**Тези наукових доповідей:**

5. Сімченко О. О., Назаренко М. М. Агроекологічні аспекти вирощування сучасних сортів фундуку в умовах Північного Степу України. *Розвиток*

сільських територій на засадах екологічності, енергонезалежності й енергоефективності : матеріали I Міжнар. науково-практ. конф. (Полтава, 5 травн. 2021). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. С. 78–80. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті).

6. Simchenko O., Nazarenko M., Izhboldin O. Productivity of hazelnut varieties under steppe climatic conditionsю *Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи*. Матеріали Міжнародної науково-практ. конф., присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних вчених-фітопатологів докторів біологічних наук, професорів В. К. Пантелєєва та М. М. Родігіна (м. Харків, 20–21 жовтня 2022 р.). Харків, 2022. С. 234–235. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, підготовка та написання статті).

7. Nazarenko M., Simchenko O. Activity of photosynthesis as factor for hazelnuts productivity. *Матеріали VI Міжнародної науково-практ. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур»* (м. Дніпро, 16–17 листопада 2022 р.). Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 3–4. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті).

8. Simchenko O., Nazarenko M. Hazelnut varieties as a source of microelements under the conditions of the northern steppe of Ukraine. *Selection of agro crops in the conditions of climate change: directions and priorities: Collection of materials II International Scientific and Practical Conference*. Odessa : Oldi+, 2023. P. 157-158. (Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень, підготовка та написання статті).

**Додаток В.1**  
**Результати попарного порівняння для фактора сорт.**  
**Верхня третина крони**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,668937	0,972265	0,000870
Галле {2}	0,668937		0,408320	0,000186
Барселонський {3}	0,972265	0,408320		0,002572
Каталонський {4}	0,000870	0,000186	0,002572	

**Результати попарного порівняння для фактора рік.**  
**Верхня третина крони**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,917833	0,711616
2021 {2}	0,917833		0,917833
2022 {3}	0,711616	0,917833	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Верхня третина крони**

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	5,782750E+07	3	1,927583E+07	8,84	0,000398
Рік	2,085061E+06	2	1,042531E+06	0,47	0,625617
Сорт*Рік	3,469650E+04	6	5,782750E+03	0,36	0,795317
Error	5,231137E+07	24	2,179640E+06		
Total	5,782750E+07	3	1,927583E+07	8,844	0,000398

**Додаток В.2**  
**Результати попарного порівняння для фактора сорт.**  
**Центральна частина крони**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,044804	0,948113	0,970467
Галле {2}	0,044804		0,140371	0,015566
Барселонський {3}	0,948113	0,140371		0,758795
Каталонський {4}	0,970467	0,015566	0,758795	

**Результати попарного порівняння для фактора рік.**  
**Центральна частина крони**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,945793	0,800954
2021 {2}	0,945793		0,945793
2022 {3}	0,800954	0,945793	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Центральна частина крони**

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	2,497000E+07	3	8,323333E+06	4,0828	0,034456
Рік	1,104246E+06	2	5,521230E+05	0,2045	0,816465
Сорт*Рік	1,498200E+04	6	2,497000E+03	0,0129	0,986465
Error	6,479886E+07	24	2,699952E+06		
Total	2,497000E+07	3	8,323333E+06	3,0828	0,046456



**Додаток В.3**  
**Результати попарного порівняння для фактора сорт.**  
**Нижня третина крони**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,921066	0,012646	0,017319
Галле {2}	0,921066		0,056735	0,074681
Барселонський {3}	0,012646	0,056735		0,999329
Каталонський {4}	0,017319	0,074681	0,999329	

**Результати попарного порівняння для фактора рік.**  
**Нижня третина крони**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,916821	0,708535
2021 {2}	0,916821		0,916821
2022 {3}	0,708535	0,916821	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Нижня третина крони**

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	5420000	3	1806667	4,458	0,012623
Рік	290400	2	145200	0,358	0,702536
Сорт*Рік	3252	6	542	0,01	0,970253
Error	9725832	24	405243		
Total	5420000	3	1806667	4,458	0,012623

#### Додаток В.4

##### Результати попарного порівняння для фактора сорт. SPAD

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,967221	0,000165	0,000165
Галле {2}	0,967221		0,000165	0,000165
Барселонський {3}	0,000165	0,000165		0,278959
Каталонський {4}	0,000165	0,000165	0,278959	

##### Результати попарного порівняння для фактора рік. SPAD

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,803254	0,988360
2021 {2}	0,803254		0,878213
2022 {3}	0,988360	0,878213	

##### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. SPAD

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	899,77	3	299,92	74,69	0,000000
Рік	13,67	2	6,84	1,70	0,203535
Сорт*Рік	31,18	6	5,20	1,29	0,297441
Error	96,37	24	4,02		
Total	899,77	3	299,92	74,69	0,000000

### Додаток С.1

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст кальцію

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000190	0,000165	0,000574
Галле {2}	0,000190		0,001144	0,802347
Барселонський {3}	0,000165	0,001144		0,000229
Каталонський {4}	0,000574	0,802347	0,000229	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст кальцію

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,377236	0,028296
2021 {2}	0,377236		0,377236
2022 {3}	0,028296	0,377236	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст кальцію

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	3	0,2067	0,0689	82,7	0,000000
Рік	2	0,0503	0,0251	30,2	0,000000
Сорт*Рік	6	0,0001	0,0000	0,15	0,999993
Error	24	0,0200	0,0008		
Total	35	0,2770			

### Додаток С.2

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст фосфору

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000171	0,900983	0,000165
Галле {2}	0,000171		0,000223	0,003520
Барселонський {3}	0,900983	0,000223		0,000165
Каталонський {4}	0,000165	0,003520	0,000165	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст фосфору

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,454841	0,053547
2021 {2}	0,454841		0,454841
2022 {3}	0,053547	0,454841	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст фосфору

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,4723	3	0,1574	118,8	0,000000
Рік	0,0897	2	0,0449	33,9	0,000000
Сорт*Рік	0,0001	6	0,0000	0,35	0,999978
Error	0,0318	24	0,0013		
Total	0,4723	3	0,1574	118,8	0,000000

### Додаток С.3

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст сірки

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000165	0,000165	0,016100
Галле {2}	0,000165		0,049997	0,007204
Барселонський {3}	0,000165	0,049997		0,000167
Каталонський {4}	0,016100	0,007204	0,000167	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст сірки

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,604264	0,146717
2021 {2}	0,604264		0,604264
2022 {3}	0,146717	0,604264	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст сірки

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,19848	3	0,06616	43,61	0,000000
Рік	0,02648	2	0,01324	8,73	0,001418
Сорт*Рік	0,00005	6	0,01	0,01	0,999999
Error	0,03641	24	0,00152		
Total	0,19848	3	0,06616	43,61	0,000000

#### Додаток С.4

##### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст магнію

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000252	0,000165	0,002517
Галле {2}	0,000252		0,000165	0,681538
Барселонський й {3}	0,000165	0,000165		0,000165
Каталонський {4}	0,002517	0,681538	0,000165	

##### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст магнію

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,788988	0,396094
2021 {2}	0,788988		0,788988
2022 {3}	0,396094	0,788988	

##### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст магнію

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	0,46208	3	0,15403	179,4	0,000000
Рік	0,02538	2	0,01269	14,8	0,000066
Сорт*Рік	0,00012	6	0,00002	0,0	0,999927
Error	0,02061	24	0,00086		

### Додаток С.5

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст калію

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000179	0,000165	0,000165
Галле {2}	0,000179		0,000165	0,735640
Барселонський {3}	0,000165	0,000165		0,000165
Каталонський {4}	0,000165	0,735640	0,000165	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст калію

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,550443	0,104783
2021 {2}	0,550443		0,550443
2022 {3}	0,104783	0,550443	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст калію

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	0,46208	3	0,15403	179,4	0,000000
Рік	0,02538	2	0,01269	14,8	0,000066
Сорт*Рік	0,00012	6	0,00002	0,01	0,999927
Error	0,02061	24	0,00086		

### Додаток D.1

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст цинку

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,970634	0,976266	0,000165
Галле {2}	0,970634		0,828511	0,000165
Барселонський {3}	0,976266	0,828511		0,000165
Каталонський {4}	0,000165	0,000165	0,000165	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст цинку

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,316732	0,015838
2021 {2}	0,316732		0,316732
2022 {3}	0,015838	0,316732	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст цинку

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	23,53	3	7,84	113,1	0,000000
Рік	6,23	2	3,12	44,9	0,000000
Сорт*Рік	2,11	6	1,14	6,4	0,048536
Error	0,17	24	0,01		



**Додаток D.2****Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст міді**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000458	0,000165	0,000257
Галле {2}	0,000458		0,014415	0,981780
Барселонський й {3}	0,000165	0,014415		0,035614
Каталонський {4}	0,000257	0,981780	0,035614	

**Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст міді**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,189721	0,003195
2021 {2}	0,189721		0,189721
2022 {3}	0,003195	0,189721	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст міді**

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	1,450	3	0,483	96,5	0,000000
Рік	0,608	2	0,304	60,7	0,000000
Сорт*Рік	0,121	6	0,052	7,1	0,041788
Error	0,120	24	0,005		

### Додаток D.3

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст молібдену

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000165	0,000165	0,000165
Галле {2}	0,000165		0,759215	0,462856
Барселонський {3}	0,000165	0,759215		0,085854
Каталонський {4}	0,000165	0,462856	0,085854	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст молібдену

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,981365	0,927412
2021 {2}	0,981365		0,981365
2022 {3}	0,927412	0,981365	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст молібдену

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	0,338400	3	0,112800	109,132	0,000000
Рік	0,001511	2	0,000755	0,731	0,491982
Сорт*Рік	0,000090	6	0,000015	0,15	0,951283
Error	0,024807	24	0,001034		

#### Додаток D.4

##### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст кобальту

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000165	0,000165	0,000165
Галле {2}	0,000165		0,990885	0,303470
Барселонський {3}	0,000165	0,990885		0,184275
Каталонський {4}	0,000165	0,303470	0,184275	

##### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст кобальту

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,994783	0,979058
2021 {2}	0,994783		0,994783
2022 {3}	0,979058	0,994783	

##### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст кобальту

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	0,170900	3	0,056967	75,935	0,000000
Рік	0,000221	2	0,000110	0,147	0,863913
Сорт*Рік	0,000046	6	0,000008	0,010	0,999994
Error	0,018005	24	0,000750		

**Додаток D.5****Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст марганцю**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,000165	0,000165	0,998528
Галле {2}	0,000165		0,000168	0,000165
Барселонський {3}	0,000165	0,000168		0,000165
Каталонський {4}	0,998528	0,000165	0,000165	

**Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст марганцю**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,950424	0,816605
2021 {2}	0,950424		0,950424
2022 {3}	0,816605	0,950424	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст марганцю**

	SS	Degr. of	MS	F	p
Сорт	881,62	3	293,87	321,7	0,000000
Рік	9,90	2	4,95	54,4	0,000000
Сорт*Рік	2,99	6	1,94	6,6	0,004458
Error	0,22	24	0,01		

**Додаток Е.1**  
**Результати попарного порівняння для фактора сорт.**  
**Вміст насичених жирних кислот**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,225468	0,000190	0,198407
Галле {2}	0,225468		0,008036	0,999872
Барселонський {3}	0,000190	0,008036		0,009680
Каталонський {4}	0,198407	0,999872	0,009680	

**Результати попарного порівняння для фактора рік.**  
**Вміст насичених жирних кислот**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,984357	0,409732
2021 {2}	0,984357		0,322228
2022 {3}	0,409732	0,322228	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст насичених жирних кислот**

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,3894	3	0,1298	10,05	0,000178
Рік	0,0574	2	0,0287	2,22	0,060064
Сорт*Рік	0,0421	6	0,0070	0,54	0,770141
Error	0,3099	24	0,0129		
Total	0,3894	3	0,1298	10,05	0,000178

**Додаток Е.2**  
**Результати попарного порівняння для фактора сорт.**  
**Вміст харчових волокон**

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,018590	0,999990	0,380220
Галле {2}	0,018590		0,012413	0,166992
Барселонський {3}	0,999990	0,012413		0,363562
Каталонський {4}	0,380220	0,016992	0,363562	

**Результати попарного порівняння для фактора рік.**  
**Вміст харчових волокон**

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,569026	0,013254
2021 {2}	0,569026		0,123448
2022 {3}	0,013254	0,893448	

**Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст харчових волокон**

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,158	3	0,053	16,2	0,002883
Рік	0,081	2	0,040	8,7	0,018494
Сорт*Рік	0,290	6	0,048	9,7	0,000870
Error	0,205	24	0,009		
Total	0,158	3	0,053	6,2	0,002883

### Додаток Е.3

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст вітаміну А

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,007061	0,438969	0,075478
Галле {2}	0,007061		0,000251	0,0154473
Барселонський {3}	0,438969	0,000251		0,001808
Каталонський {4}	0,075478	0,014473	0,001808	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст вітаміну А

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,653076	0,929103
2021 {2}	0,653076		0,862351
2022 {3}	0,929103	0,862351	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст вітаміну А

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,8263	3	0,2754	18,51	0,000002
Рік	0,0388	2	0,0194	1,31	0,289719
Сорт*Рік	0,4345	6	0,0724	6,87	0,042212
Error	0,3572	24	0,0149		
Total	0,8263	3	0,2754	18,51	0,000002

#### Додаток Е.4

##### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст вітаміну Е

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,005251	0,000167	0,810664
Галле {2}	0,005251		0,065848	0,000581
Барселонський {3}	0,000167	0,065848		0,000165
Каталонський {4}	0,810664	0,000581	0,000165	

##### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст вітаміну Е

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,715209	0,982797
2021 {2}	0,715209		0,605539
2022 {3}	0,982797	0,605539	

##### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст вітаміну Е

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	27,15	3	9,05	28,96	0,000000
Рік	1,25	2	0,62	2,00	0,101895
Сорт*Рік	4,60	6	0,77	2,45	0,074127
Error	7,50	24	0,31		
Total	27,15	3	9,05	28,96	0,000000



### Додаток Е.5

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст вітаміну С

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,031698	0,104063	0,991996
Галле {2}	0,031698		0,000205	0,060421
Барселонський {3}	0,104063	0,000205		0,057021
Каталонський {4}	0,991996	0,060421	0,057021	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст вітаміну С

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,923188	0,784982
2021 {2}	0,923188		0,956619
2022 {3}	0,784982	0,956619	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст вітаміну С

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,44148	3	0,14716	10,680	0,000119
Рік	0,01263	2	0,00632	0,458	0,637755
Сорт*Рік	0,16203	6	0,02701	1,960	0,111770
Error	0,33069	24	0,01378		
Total	0,44148	3	0,14716	10,680	0,000119

### Додаток Е.6

#### Результати попарного порівняння для фактора сорт. Вміст вітаміну РР

	{1}	{2}	{3}	{4}
Косфорд {1}		0,941803	0,819114	1,000000
Галле {2}	0,941803		0,486303	0,943008
Барселонський {3}	0,819114	0,486303		0,816958
Каталонський {4}	1,000000	0,943008	0,816958	

#### Результати попарного порівняння для фактора рік. Вміст вітаміну РР

	{1}	{2}	{3}
2020 {1}		0,942771	0,543223
2021 {2}	0,942771		0,357314
2022 {3}	0,543223	0,357314	

#### Результати факторного аналізу для визначення ефектів генотип-середовище. Вміст вітаміну РР

	Degr. of	SS	MS	F	p
Сорт	0,0115	3	0,0038	0,63	0,602184
Рік	0,0112	2	0,0056	0,92	0,412227
Сорт*Рік	0,0171	6	0,0028	0,47	0,824773
Error	0,1459	24	0,0061		
Total	0,0115	3	0,0038	0,63	0,602184