

УДК 664.8:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.5.2.5>

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯГІДНИХ КУЛЬТУР У СПОЖИВЧІЙ СТИГЛОСТІ

Бохан Ю. В. – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9612-7780
Scopus-Author ID: 6603273935

Горбатюк Н. М. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри хімії та екології
Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини
ORCID ID: 0000-0001-5834-7830
Scopus-Author ID: 57211467535

Кормош Ж. О. – кандидат хімічних наук, професор кафедри хімії та екології
Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини
ORCID ID: 0000-0001-6018-8787
Scopus-Author ID: 35580134800

Функціональні продукти рослинного походження, зокрема ягоди, є важливим компонентом здорового харчування завдяки високому вмісту біоактивних сполук, таких як фенольні компоненти – антоціани, флавоноїди, дубильні речовини та фенолкарбонові кислоти. Ці сполуки проявляють антиоксидантну, протизапальну та імуностимулюючу активність, взаємодіючи з цукрами та органічними кислотами, що визначає органолептичні та функціональні властивості плодів. Метою дослідження є комплексний аналіз фізико-хімічних показників свіжих ягід суниці (*Fragaria × ananassa* 'Pegas'), малини (*Rubus idaeus* 'Polka'), ожини (*Rubus fruticosus* 'Natchez') та лохини (*Vaccinium corymbosum* 'Chandler') у споживчій стиглості протягом 2020–2022 років. Визначали рН, масову частку цукрів і органічних кислот, вміст аскорбінової кислоти та концентрацію нітратів, оцінюючи вплив кліматичних умов на біохімічний склад та безпечність продукції.

Результати показали зростання рН ягід протягом досліджуваного періоду, що свідчить про зменшення кислотності. Максимальний вміст органічних кислот і вітаміну С зафіксовано у 2020 році при помірному зволоженні, тоді як у 2022 році при підвищених середньомісячних температурах переважав вміст цукрів, формуючи більш солодкий смак і збалансований смаковий профіль. Концентрація нітратів залишалася в межах нормативів України та ЄС, підтверджуючи безпечність продукції.

Отримані дані свідчать про значний вплив агрокліматичних факторів на співвідношення органічних кислот, цукрів і вітаміну С, а також про стабільність показників безпечності. Практичне значення результатів полягає у прогнозуванні якості ягід, оптимізації агротехнологій та підвищенні конкурентоспроможності українських ягід на внутрішньому й міжнародному ринках, а також у розвитку інноваційних продуктів функціонального харчування.

Ключові слова: біоактивні сполуки, фенольні компоненти, антиоксидантна активність, фізико-хімічні показники, безпечність харчової продукції, ягідні культури, агрокліматичний вплив.

Bokhan Yu. V., Horbatiuk N. M., Kormosh Zh. O. Comprehensive study of physicochemical parameters of berry crops at commercial ripeness

Plant-based functional foods, particularly berries, are an important component of a healthy diet due to their high content of bioactive compounds, such as phenolic constituents – anthocyanins, flavonoids, tannins, and phenolic acids. These compounds exhibit antioxidant, anti-inflammatory,

and immunostimulatory activities, interacting with sugars and organic acids, which determine the organoleptic and functional properties of the fruits. The aim of this study was to conduct a comprehensive analysis of the physicochemical parameters of fresh berries, including strawberry (*Fragaria* × *ananassa* 'Pegas'), raspberry (*Rubus idaeus* 'Polka'), blackberry (*Rubus fruticosus* 'Natchez'), and blueberry (*Vaccinium corymbosum* 'Chandler') at commercial ripeness during 2020–2022. The pH, content of sugars and organic acids, ascorbic acid levels, and nitrate concentration were determined, evaluating the impact of climatic conditions on the biochemical composition and safety of the products.

The results showed an increase in berry pH over the study period, indicating a decrease in acidity. The highest content of organic acids and vitamin C was recorded in 2020 under moderate precipitation, whereas in 2022, under elevated average monthly temperatures, sugar content predominated, resulting in a sweeter taste and a more balanced flavor profile. Nitrate concentrations remained within the regulatory limits of Ukraine and the EU, confirming product safety.

The data indicate a significant influence of agro-climatic factors on the balance of organic acids, sugars, and vitamin C, as well as the stability of safety parameters. The practical significance of the results lies in predicting berry quality, optimizing agronomic practices, enhancing the competitiveness of Ukrainian berries in domestic and international markets, and contributing to the development of innovative functional food products.

Key words: bioactive compounds, phenolic constituents, antioxidant activity, physicochemical parameters, food safety, berry crops, agro-climatic influence.

Актуальність теми дослідження. Фізико-хімічний склад ягідних культур є важливим індикатором їхньої харчової та біологічної цінності, що безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції. Зокрема, в Україні спостерігається зростання інтересу до ягідних культур, таких як суниця, малина, ожина та лохина, через їхні корисні властивості та потенціал для виробництва функціональних харчових продуктів. Однак, незважаючи на зростання виробництва, відсутність систематичних даних про фізико-хімічні показники цих ягід обмежує можливості їхнього ефективного використання та розвитку відповідних технологій переробки.

Дослідження фізико-хімічних параметрів ягідних культур дозволяє оцінити вміст цукрів, органічних кислот, аскорбінової кислоти, нітратів та інших компонентів, що визначають харчову цінність та безпечність продукції. Зокрема, вивчення впливу агрокліматичних умов на ці показники є важливим для оптимізації агротехнологій та прогнозування якості продукції.

В Україні спостерігається зростання виробництва ягідних культур, що створює необхідність у розробці методів оцінки їхньої якості та безпечності. Зокрема, аналіз фізико-хімічних показників дозволяє визначити відповідність продукції нормативним вимогам та забезпечити її конкурентоспроможність на внутрішньому та міжнародному ринках. Таким чином, комплексне дослідження фізико-хімічних параметрів ягідних культур є актуальним для розвитку ягідництва в Україні та забезпечення виробництва високоякісної та безпечної продукції.

Постановка проблеми. Ягоди різних культур є цінним джерелом природних барвників, біоактивних сполук та харчових компонентів, які впливають на їхню харчову цінність і органолептичні властивості. На сучасному вітчизняному ринку ягідної продукції існує проблема нестабільності біохімічного складу плодів унаслідок змін кліматичних умов, агротехнологічних факторів та різних сортових характеристик. Зокрема, відсутність систематичних даних про фізико-хімічні показники ягід обмежує можливості оцінки їхньої якості, прогнозування смакових властивостей та оптимізації технологій переробки.

Крім того, недостатньо вивчено вплив агрокліматичних факторів на співвідношення органічних кислот, цукрів, вітаміну С та інших біоактивних сполук у плодах, що є критично важливим для виробництва функціональних продуктів харчування. Це створює проблему забезпечення стабільної харчової цінності та

безпечності ягідної продукції, особливо для споживачів, які прагнуть до здорового харчування.

У зв'язку з цим актуальним є комплексне дослідження фізико-хімічних параметрів ягід різних культур у споживчій стиглості, що дозволяє оцінити їхню якість, безпечність та біохімічний потенціал для використання у харчовій промисловості, а також сприяє оптимізації агротехнологій і розвитку конкурентоспроможної української продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження отримання та стабілізації натуральних барвників з рослинної сировини, зокрема антоціанів із ягід, активно проводили численні вчені. Так, Мюррей та співавт. (2024) [1] досліджували розвиток антоціанів у суниці після збирання для підвищення стабільності кольору нектарів, а Дуан та співавт. (2025) [2] висвітлили останні досягнення у біосинтезі та регуляції антоціанів у суниці. Вплив температури на хімічний склад і антиоксидантну активність різних сортів суниці аналізували Кординунсі та співавт. (2005) [3], а антиатерогенну та антиагрегаційну активність антоціанів у ягодах оцінювали Абунані та співавт. (2020) [4]. Cerezo та співавт. (2020) [5] продемонстрували сильну антиоксидантну активність антоціанів у лохині, а Yin та співавт. (2021) [6] – стабільність антоціанів у органічних ягодах. Дослідження теплової стабільності антоціанів суниці в моделях з натуральними копігментами проводили Шиков та співавт. (2008) [7]. Крім того, ряд робіт присвячено вивченню хімічного складу антоціанів у *Fragaria* spp., їхньому впливу на здоров'я людини та можливостям біоактивного використання у харчовій промисловості [8–16]. Аналіз пектинових речовин та їхніх властивостей у плодах та ягодах висвітлювали Muñoz-Almagro та співавт. (2021) [17], Sobol та співавт. (2021) [18], Chea та співавт. (2019) [19], Posé та співавт. (2012) [20], Draye та Van Cutsem (2008) [21], Yu та співавт. (1996) [22], Zhang та співавт. (2018) [23]. Визначення фізико-хімічних показників ягід здійснювалось за методиками ДСТУ [24–28], а питання збереження якості та антиоксидантного потенціалу досліджували Blahopoluchna та Liakhovska (2021) [29] та Simakhina та співавт. (2019) [30].

Якість ягід визначається комплексом фізико-хімічних показників, серед яких ключову роль відіграють рівень pH, титрована кислотність, вміст цукрів, фенольних сполук та летких ароматичних речовин. Смакові характеристики ягід формуються завдяки балансу між цукрами, органічними кислотами та ароматичними метаболітами [1, 2]. Відомо, що аромат – це результат складної суміші летких органічних сполук (ефірів, альдегідів, спиртів, сірковмісних сполук), кількісне та якісне співвідношення яких суттєво змінюється в процесі досягання плодів під дією ферментативних реакцій [3]. На утворення ароматичних профілів впливають абіотичні фактори, такі як температура, освітленість, вологість та особливості ґрунтових умов [4].

Кольорові характеристики ягід обумовлюються наявністю антоціанів – водорозчинних флавоноїдних пігментів, що є глікозидами антоціанідинів. Антоціани забезпечують широкий спектр забарвлення, від рожевого до темно-червоного та фіолетового. За даними зарубіжних досліджень, у малині та суниці основну роль відіграють пеларгонідин-3-глюкозид та ціанідин-3-глюкозид [5–7]. У плодах суниці ідентифіковано шість основних груп фенольних сполук: елагітаніни, кон'югати елагінової кислоти, гідроксикоричні кислоти, флавоноли, антоціани та флаван-3-оли [8–11].

Антоціановий профіль ягід відзначається значною різноманітністю: серед ідентифікованих сполук описані пеларгонідин-3-О-глюкозид, пеларгонідин-3-О-рутинозид, ціанідин-3-О-малонілглюкозид, 5-піранопеларгонідин-3-О-глюкозид та їх

ацильовані похідні [9–11]. При цьому, у більшості ягід переважають неацильовані антоціани (до 99%), з яких 93% представлені моноглікозидами [12].

Не менш важливою групою речовин є пектинові полісахариди, що входять до складу клітинних стінок та визначають структурно-механічні властивості плодів. Пектин складається переважно з α -D-галактуронової кислоти, частково естерифікованої метанолом, з можливими ацильованими залишками на положеннях C-2 та C-3 [13–17]. Завдяки цим властивостям пектинові речовини впливають на тургор клітин, стійкість ягід до механічних пошкоджень та термін зберігання. Протопектин, що утворює нерозчинну фракцію пектину, зумовлює жорсткість тканин завдяки взаємодії з целюлозою та білками [18–20].

Попри велику кількість робіт, присвячених фенольним сполукам, ароматичним профілям та пектиновим речовинам, дані щодо варіації вмісту органічних кислот та цукрів у різних сортів ягід залишаються недостатньо систематизованими. Водночас саме співвідношення цукрів і кислот визначає органолептичні властивості, сприйняття смаку та харчову цінність плодів. Це вказує на потребу у подальших дослідженнях, спрямованих на комплексне вивчення хімічного складу ягід та його залежності від сортових особливостей і факторів середовища.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є системне вивчення фізико-хімічних характеристик свіжих ягід суниці, малини, ожини та лохини на стадії споживчої стиглості з метою оцінки їхньої харчової цінності та функціонального потенціалу. Дослідження передбачає кількісне визначення основних компонентів – цукрів, органічних кислот, аскорбінової кислоти, фенольних сполук, антоціанів та пектинових речовин – з урахуванням сортових особливостей та впливу агрокліматичних і абіотичних факторів. Особлива увага приділяється встановленню взаємозв'язків між хімічним складом ягід та їх органолептичними властивостями, що дозволяє оцінити механізми формування смаку, аромату і забарвлення плодів, а також визначити їх придатність для споживання у свіжому вигляді та використання в харчовій і переробній промисловості, включно з функціональними продуктами.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводились протягом 2020 – 2022 років на базі Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (лабораторії кафедри хімії та екології).

Для проведення дослідження були відібрані ягоди суниці (*Fragaria* × *ananassa* 'Pegas'), малини (*Rubus idaeus* 'Polka'), ожини (*Rubus fruticosus* 'Natchez') та лохини (*Vaccinium corymbosum* 'Chandler') на стадії споживчої стиглості. Вибірка плодів здійснювалась з урахуванням сортових особливостей, рівня зрілості та однорідності морфологічних характеристик, що забезпечувало репрезентативність отриманих результатів.

В досліджуваних зразках визначали основні фізико-хімічні показники, що характеризують харчову цінність, якість та органолептичні властивості ягід:

1. Вміст цукрів оцінювали фериціанідним методом відповідно до ДСТУ 4954 [24];
2. Вміст органічних кислот визначали методом титрування лугом за ДСТУ 4957:2008 [25];
3. Вміст аскорбінової кислоти (вітаміну C) визначали йодометричним методом [26];
4. Вміст нітратів у плодах визначали іонометричним методом згідно з ДСТУ 4948 [27];
5. рН плодів визначали потенціометрично за ДСТУ 6045 [28].

Отримані результати обробляли статистично з використанням стандартних методів описової статистики для визначення середніх значень та показників

варіації. Комплексне дослідження фізико-хімічних показників дозволило об'єктивно оцінити якість ягід, їх харчову цінність та придатність до споживання і переробки, а також встановити взаємозв'язок між хімічним складом і органолептичними властивостями плодів.

Виклад основного матеріалу. Ягоди досліджуваних сортів вирощувалися у зоні Правобережного Лісостепу України, яка характеризується помірно континентальним кліматом. Аналіз метеорологічних даних, отриманих з метеостанції «Умань» (рис. 1–3), свідчив про те, що погодні умови протягом вегетаційного періоду були загалом сприятливими для вирощування ягід, забезпечуючи оптимальні температурні та вологісні режими для росту та розвитку рослин. Водночас упродовж окремих фаз вегетації спостерігалися певні відхилення від середньобогаторічних показників, зокрема короткочасні періоди підвищених температур і нерівномірний розподіл опадів. Такі коливання могли впливати на інтенсивність біосинтетичних процесів у плодах, зумовлюючи варіації у накопиченні цукрів, органічних кислот і фенольних сполук.

Особливості кліматичних умов досліджуваного регіону, зокрема співвідношення теплових і вологісних ресурсів, сприяли формуванню збалансованого хімічного складу ягід. Це дозволило виявити характерні закономірності у варіюванні фізико-хімічних параметрів залежно від сорту, що відображає як генетичну зумовленість, так і вплив абіотичних факторів середовища. Формування фізико-хімічних властивостей ягід відбувається переважно в період їх достигання і безпосередньо залежить від дії абіотичних факторів, таких як температура повітря, інсоляція, вологість ґрунту та повітря. Вплив цих факторів проявляється у зміні вмісту цукрів, органічних кислот, фенольних сполук, антоціанів та інших біологічно активних компонентів, що визначає смакові, ароматичні та забарвлювальні характеристики плодів.

Отримані дані підтверджують, що навіть у межах відносно стабільних агрокліматичних умов відбувається складна взаємодія між кліматичними чинниками та біохімічними процесами у рослин, яка визначає якість та харчову цінність ягідної продукції.

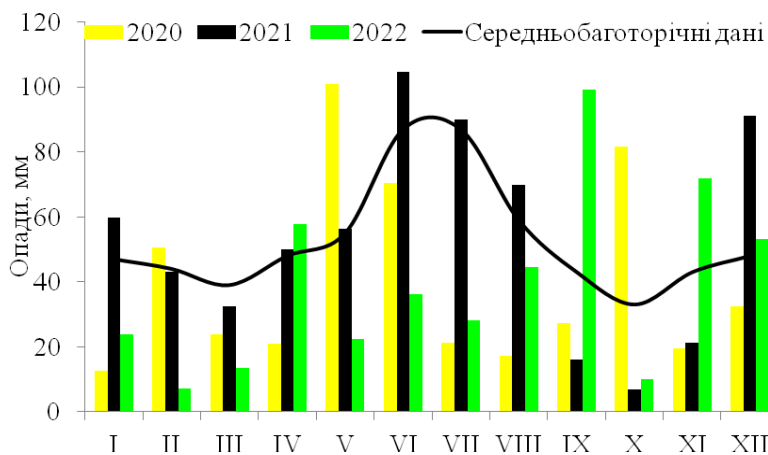


Рис. 1. Сума опадів, мм (2020 – 2022 рр.)*

Примітка. Побудовано автором за даними метеостанції «Умань»

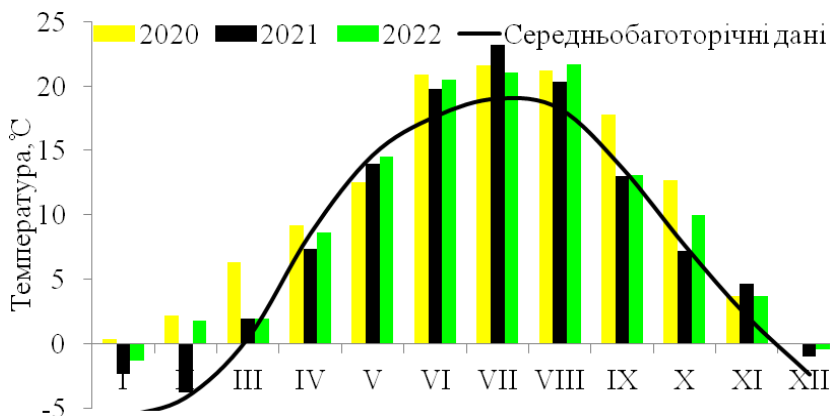


Рис. 2. Середня температура повітря, °C (2020 – 2022 рр.)*

Примітка. Побудовано автором за даними метеостанції «Умань»

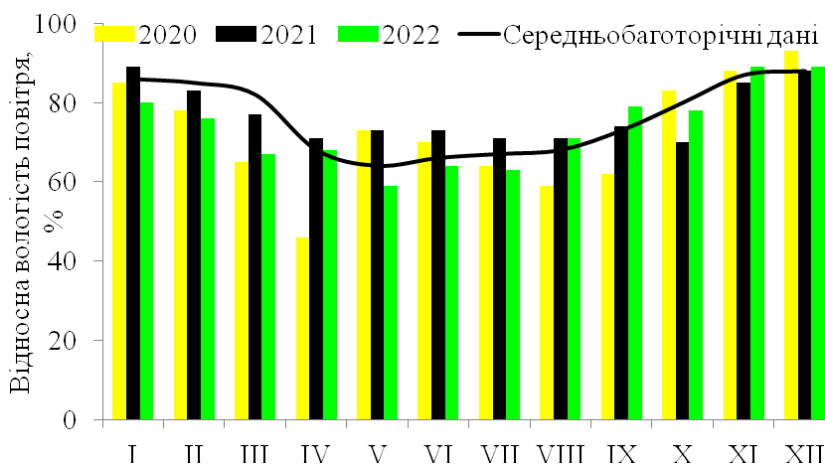


Рис. 3. Відносна вологість повітря, % (2020 – 2022 рр.)*

Примітка. Побудовано автором за даними метеостанції «Умань»

Органічні кислоти належать до важливих метаболітів рослинного походження, які беруть участь у процесах енергетичного обміну, біосинтезу вторинних метаболітів та регуляції фізіолого-біохімічних функцій. Вони визначають не лише кислотність плодів, а й істотно впливають на формування смакових властивостей та загальне сприйняття продукції споживачем. У поєднанні з цукрами органічні кислоти створюють гармонійний смаковий баланс, тоді як їх взаємодія з фенольними сполуками формує відтінки терпкості, інтенсивність забарвлення та антиоксидантний потенціал ягід. Вивчення якісного та кількісного складу кислотного комплексу у плодах і ягодах має не лише теоретичне значення для розуміння біохімічних процесів дозрівання, але й практичне – у контексті розроблення технологій переробки та прогнозування зберігання продукції.

Аналіз отриманих експериментальних даних щодо вмісту органічних кислот у досліджуваних плодах і ягодах (рис. 4) показав, що найбільш часто у досліджуваних зразках зустрічаються лимонна (цитрусова) та яблучна (малатна) кислоти,

які визначають характерний кислуватий смак плодів та відіграють ключову роль у формуванні їх органолептичних властивостей. Ці кислоти є основними компонентами кислотного комплексу більшості ягід і активно впливають на баланс смаку при взаємодії з цукрами та фенольними сполуками.

Серед інших кислот, що регулярно виявляються у складі ягід, можна виділити хінну, янтарну та щавлеву кислоти, які присутні у різних співвідношеннях залежно від сорту та умов вирощування. Крім того, дослідження показало, що у плодах зустрічаються менш поширені, проте функціонально значущі органічні кислоти, такі як шикимова, гліколева, фумарова, гліцерінова та винна кислоти.

Виявлено, що концентрації окремих органічних кислот значно варіюють у різних плодах і ягодах, що свідчить про високий ступінь хімічної диференціації між сортами та видами. Зокрема, лимонна та яблучна кислоти зазвичай домінують у суниці та малині, тоді як винна і фумарова кислоти більш характерні для ожини та лохини.

Така варіабельність вказує на взаємозв'язок складу кислотного комплексу з морфо-фізіологічними особливостями плодів, умовами вирощування та етапами дозрівання.

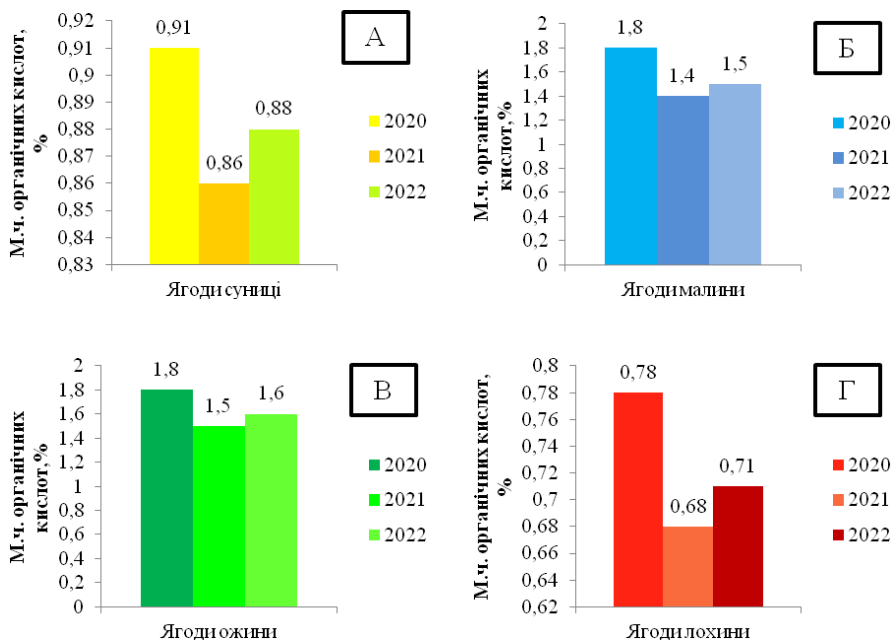


Рис. 4. Масова частка органічних кислот у свіжих ягодах (2020-2022):
А – у ягодах суниці; Б – у ягодах малини; В – у ягодах ожини; Г – у ягодах лохини

Таким чином, отримані дані свідчать про те, що формування кислотного профілю ягід є комплексним процесом, який залежить від сорту, стадії дозрівання та абіотичних факторів. Це підкреслює необхідність систематичного аналізу органічних кислот при оцінці якості ягідної продукції, оскільки їх концентрації безпосередньо впливають на смак, харчову цінність та технологічні властивості плодів.

Важливим показником якості ягід є їхній вуглеводний склад, адже саме він значною мірою формує смак, аромат і споживчі властивості плодів. Збалансоване

співвідношення моно- та дисахаридів у поєднанні з органічними кислотами визначає гармонійність смакового профілю ягід та їхню харчову цінність. Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить (рис.5), що солодкий смак досліджуваних ягід визначається переважно присутністю моносахаридів, серед яких ключову роль відіграє фруктоза. Фруктоза, поряд із глюкозою та галактозою, є одним з трьох основних харчових моносахаридів, що визначають органолептичні властивості плодів і забезпечують сприйняття характерної солодкості. Важливо зазначити, що фруктоза в ягодах не розглядається як «вільний цукор», оскільки вона надходить у складі харчових волокон (клітковини) та інших біологічно активних компонентів, що сприяє поступовому всмоктуванню цукрів і пом'якшує глікемічний вплив плодів.

У досліджуваних зразках суниці (*Fragaria × ananassa* 'Pegas'), малини (*Rubus idaeus* 'Polka'), ожини (*Rubus fruticosus* 'Natchez') та лохини (*Vaccinium corymbosum* 'Chandler') цукровий комплекс представлений глюкозою, фруктозою та сахарозою. При цьому частка сахарози у загальному складі цукрів не перевищує 2%, що свідчить про домінування моносахаридів і зумовлює характерний баланс солодкості у плодах.

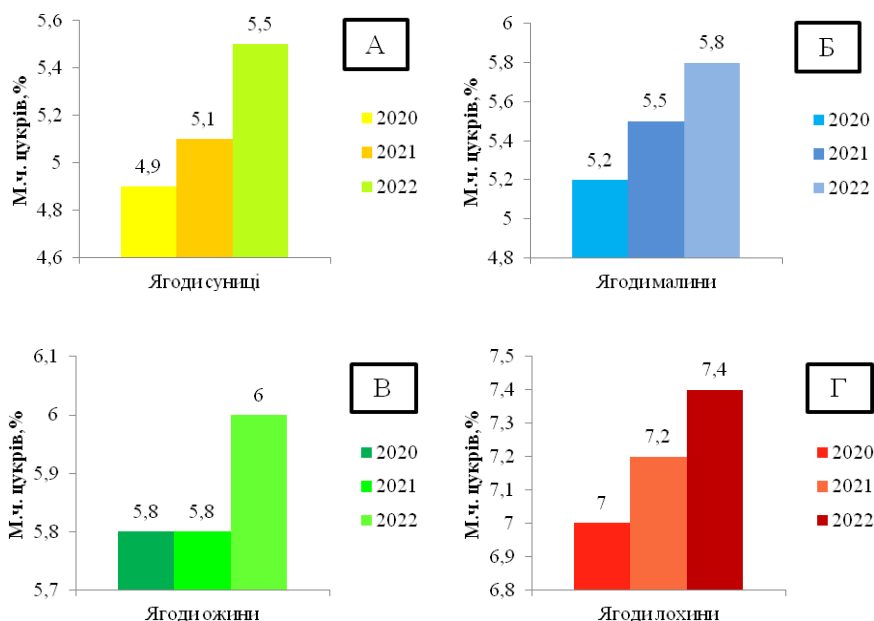


Рис. 5. Масова частка цукрів у свіжих ягодах (2020-2022): А – у ягодах суниці; Б – у ягодах малини; В – у ягодах ожини; Г – у ягодах лохини

Отримані дані демонструють сортові відмінності у вмісті окремих цукрів, що може бути зумовлено генетичними особливостями рослин, умовами вирощування та ступенем стиглості плодів. Результати підкреслюють важливість комплексного аналізу цукрового складу для оцінки органолептичних властивостей, харчової цінності та технологічної придатності ягід, а також для розробки рекомендацій щодо їх використання у харчовій промисловості та переробці [29].

Аскорбінова кислота (вітамін С) є високореактивною та лабільною сполукою, яка швидко руйнується під впливом кисню, світла, підвищеної температури та

інших абіотичних факторів. У свіжих ягодах її вміст може значно коливатися – від 20 до 650 мг/100 г, тоді як добова потреба людини становить 70–100 мг [30].

Результати експериментальних досліджень (рис.6) показали, що вміст аскорбінової кислоти у свіжих ягодах досліджуваних сортів суттєво варіює залежно від виду плодів та року вирощування (рис. 6). У суниці (рис. 6А) найвищий вміст аскорбінової кислоти було зафіксовано у 2020 році – 96,8 мг/100 г, у 2021 році спостерігалася зниження до 95,2 мг/100 г, а у 2022 році показник дещо підвищився до 96,4 мг/100 г. Така динаміка свідчить про вплив річних погодних умов та факторів середовища на накопичення вітаміну С у плодах. У малині (рис. 6Б) спостерігалася поступова тенденція до зниження вмісту аскорбінової кислоти з 2020 по 2022 рік: від 66,8 мг/100 г у 2020 році до 64,8 мг/100 г у 2022 році. Це може бути пов'язано з природною варіабельністю сорту та впливом абіотичних факторів, таких як температура і рівень опадів під час росту ягід. У ожини (рис. 6В) спостерігалася зниження вмісту вітаміну С із 68,2 мг/100 г у 2020 році до 65,8 мг/100 г у 2022 році, що також свідчить про вплив погодних умов та технології вирощування на накопичення аскорбінової кислоти. У лохини (рис. 6Г) вміст аскорбінової кислоти був нижчим порівняно з іншими ягодами та демонстрував тенденцію до зменшення: від 58,3 мг/100 г у 2020 році до 53,9 мг/100 г у 2022 році. Це може свідчити про сортові особливості лохини щодо синтезу та накопичення вітаміну С.

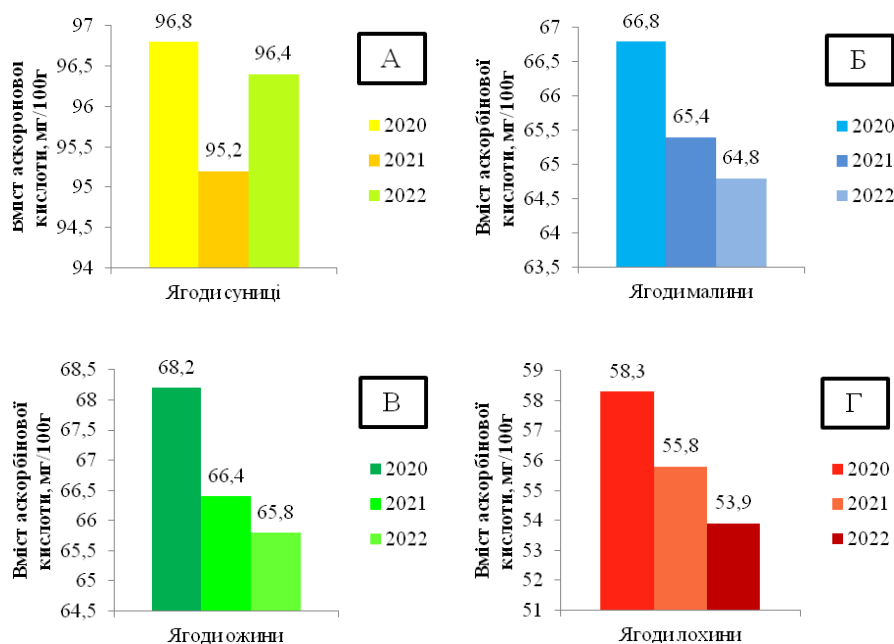


Рис. 6. Вміст аскорбінової кислоти у свіжих ягодах (2020–2022): А – у ягодах суниці; Б – у ягодах малини; В – у ягодах ожини; Г – у ягодах лохини

Отримані дані підкреслюють, що суниця та ожина характеризуються вищим вмістом аскорбінової кислоти, тоді як у лохини цей показник є нижчим, що має значення для оцінки харчової цінності ягід та їх рекомендаційного споживання. Динаміка змін вмісту вітаміну С у різні роки також підтверджує важливість

абіотичних факторів, таких як температурний режим та вологість ґрунту, для формування біохімічного складу ягід.

Рівень рН є одним із ключових показників якості та безпечності харчових продуктів, оскільки від нього залежать смакові характеристики, стійкість до мікробіологічного псування та технологічні властивості сировини. У харчовій промисловості контроль кислотності має особливе значення для плодово-ягідної продукції, адже рН впливає на органолептичні властивості ягід, їх придатність до переробки, тривалість зберігання та харчову цінність. Підвищення або зниження кислотності може бути обумовлене сортовими особливостями, умовами вирощування, кліматичними факторами та технологією агровиробництва, тому систематичні дослідження цього показника мають важливе значення для виробництва ягідної продукції та розробки технологій її зберігання і переробки.

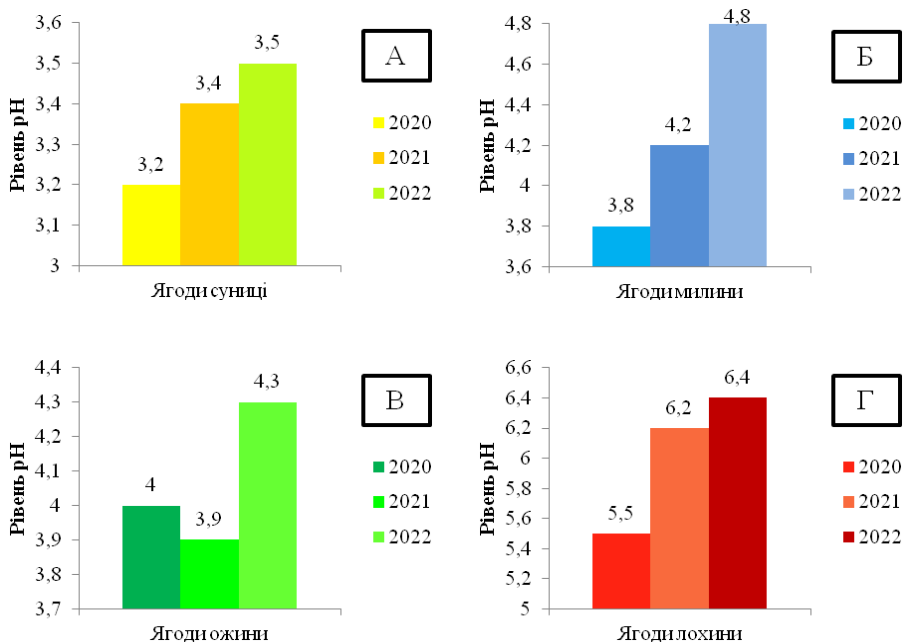


Рис. 7. Рівень рН у свіжих ягодах (2020-2022): А – у ягодах суниці; Б – у ягодах малини; В – у ягодах ожини; Г – у ягодах лохини

Результати проведених досліджень (рис.7) свідчать про відмінності у рівні рН серед різних видів ягід та динаміку його змін упродовж 2020–2022 рр. Найнижчі значення зафіксовані у ягодах суниці (3,2–3,5), що підтверджує їх високу кислотність. У малині виявлено поступове підвищення рН від 3,8 у 2020 р. до 4,8 у 2022 р., що вказує на зменшення кислотності й формування більш м'якого смаку. У ягодах ожини спостерігається незначне коливання значень (від 3,9 до 4,3), при цьому у 2022 р. зафіксовано тенденцію до зростання рН. Найвищі показники властиві лохині: від 5,5 у 2020 р. до 6,4 у 2022 р., що відповідає слабкислому середовищу та відрізняє її від інших культур.

Загалом для більшості досліджуваних зразків простежується тенденція до підвищення рН упродовж трьох років, що свідчить про зниження кислотності ягід. Такі зміни можуть бути зумовлені кліматичними умовами конкретних років,

рівнем агротехнічного догляду та біохімічними особливостями плодів. Отримані дані мають практичне значення для харчової промисловості, оскільки дозволяють прогнозувати технологічні властивості ягідної сировини, оптимізувати умови зберігання та розробляти нові продукти із заданими смаковими характеристиками.

Нітрати представляють собою солі нітратної кислоти, які природно містяться в ґрунті, воді та рослинній сировині. Азот є ключовим макроелементом у живленні рослин, поряд із фосфором і калієм, тому нітрати природним чином накопичуються у плодах, овочах та ягодах. Для організму людини частина нітратів не становить загрози, оскільки вони виводяться з організму або трансформуються у безпечні сполуки. Проте за певних умов нітрати можуть відновлюватися до нітритів, які здатні окислювати гемоглобін до метгемоглобіну, що не здатен переносити кисень, що потенційно призводить до гіпоксії тканин, підвищення рівня молочної кислоти, холестерину та лейкоцитів у крові та зниження концентрації білка. Важливим показником харчової безпечності є добова допустима норма споживання нітратів, яка складає не більше 5 мг на 1 кг маси тіла людини, що еквівалентно приблизно 350 мг для дорослої особи. Дослідження вмісту нітратів у свіжих ягодах (2020–2022 рр.; рис.8) показали значні відмінності залежно від культури та року. У ягодах суниці (рис. 8А) концентрація нітратів коливалася від 40 мг/кг у 2020 р. до 41 мг/кг у 2022 р., із максимумом 43 мг/кг у 2021 р. Для малини (рис. 8Б) зафіксовано коливання у межах 32–35 мг/кг, із піком у 2021 р. (35 мг/кг) та подальшим зниженням. У ягодах ожини (рис. 8В) простежується чітка тенденція до зростання: від 20 мг/кг у 2020 р. до 28 мг/кг у 2022 р., що вказує на інтенсивніше накопичення нітратів. Найвищі показники виявлено у ягодах лохини (рис. 8Г): 39–46 мг/кг, причому у 2022 р. їхній вміст досяг максимального значення (46 мг/кг).

Узагальнюючи результати, можна зазначити, що упродовж 2020–2022 рр. у більшості ягід рівень нітратів залишався стабільним і знаходився у межах допустимих значень для харчових продуктів, при цьому найменший вміст був характерний для ожини, а найбільший – для лохини. Виявлені коливання можуть бути зумовлені змінами кліматичних умов, особливостями удобрення ґрунту та інтенсивністю агротехнічних заходів. Отримані дані мають практичне значення, оскільки дозволяють оцінити безпечність споживання ягід та сприяють контролю якості сировини у харчовій промисловості.

В Україні затверджені наказом МОЗ №368 від 13.05.2013 державні гігієнічні правила і норми "Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах". В цілому для плодовоягідної сировини норми визначені на рівні не більше 60 мг/кг. Результати дослідження свіжих ягід протягом 2020–2022 рр. показали, що концентрація нітратів у жодному із зразків не перевищувала встановленої норми.

Висновки. Одним із визначальних показників якості плодово-ягідної продукції є рівень рН, що формує кислотність середовища та безпосередньо впливає на органолептичні властивості, технологічну придатність і термін зберігання. Протягом 2020–2022 рр. встановлено тенденцію до поступового підвищення рН у ягодах суниці, малини, ожини та лохини, що свідчить про зниження кислотності. Найбільш кислими залишалися ягоди суниці (3,2–3,5), тоді як лохина мала найвищий рівень рН (5,5–6,4). Такі зміни узгоджуються із загальними кліматичними коливаннями, характерними для останніх років, і відображають адаптацію культур до умов вегетації.

Не менш важливим показником безпечності є вміст нітратів. Дослідження показали, що упродовж 2020–2022 рр. їх рівень у досліджуваних ягодах коливався

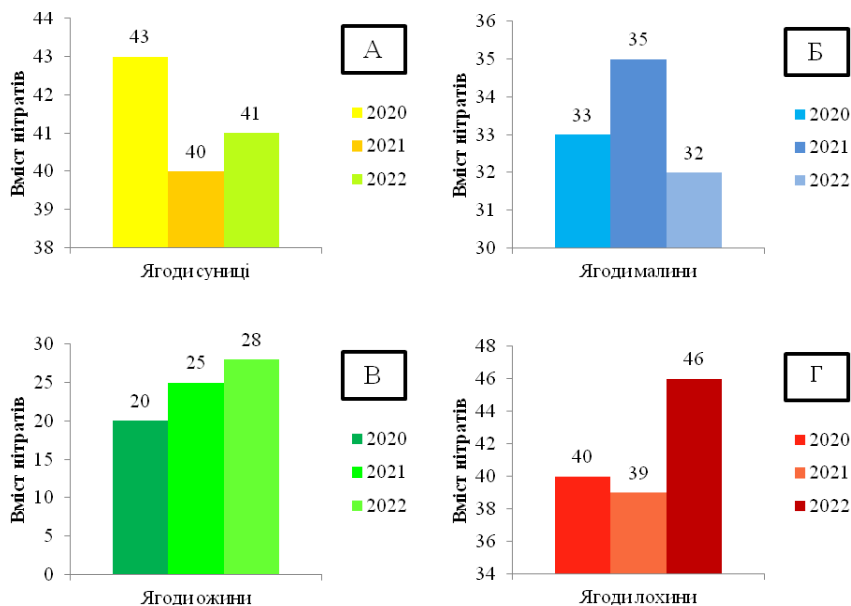


Рис. 8. Вміст нітратів у свіжих ягодах (2020-2022): А – у ягодах суниці; Б – у ягодах малини; В – у ягодах ожини; Г – у ягодах лохини

у межах 20–46 мг/кг, що не перевищує встановлених гігієнічних нормативів України (≤ 60 мг/кг згідно з наказом МОЗ №368 від 13.05.2013). Важливо відзначити, що ці значення відповідають також чинним вимогам Європейського Союзу, де для плодово-ягідної продукції допускається вміст нітратів у межах 50–60 мг/кг залежно від культури [EU Regulation No 1881/2006]. Це свідчить про безпечність вітчизняної сировини для внутрішнього та зовнішнього ринків, а також про її відповідність міжнародним стандартам якості.

Біохімічний склад ягід, зокрема вміст органічних кислот, цукрів та аскорбінової кислоти, виявив чітку залежність від кліматичних умов року вирощування. Найвищі показники органічних кислот і аскорбінової кислоти було зафіксовано у 2020 році при значних опадах (101 мм у травні), що забезпечило більш виражений кислий смаковий профіль. У 2022 році, за умов підвищеної середньомісячної температури (14,5 °C), у ягодах переважав вміст цукрів, що сприяло формуванню солодшого смаку. Така закономірність підтверджує вплив погодних факторів на формування якісних характеристик ягід та дозволяє прогнозувати їх зміни у майбутніх сезонах.

Загалом отримані результати дозволяють зробити висновок, що тенденції до 2025 року характеризуються:

- поступовим зростанням рН, тобто зменшенням кислотності ягід, що робить їх смак м'якшим для споживача;
- стабільністю вмісту нітратів у межах безпечних норм, що відповідає як українським, так і європейським стандартам;
- зростанням значущості кліматичних чинників, які формують співвідношення органічних кислот, цукрів та аскорбінової кислоти.

Для споживачів у 2025 році це означає доступ до стабільно безпечної та якісної вітчизняної ягідної продукції з прогнозованими органолептичними

характеристиками. Для виробників результати підкреслюють необхідність впровадження клімато-орієнтованих агротехнологій та підтверджують потенціал українських ягід як конкурентоспроможної сировини на європейському ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Murray H., Stipkovits F., Wühl J., Halbwirth H., Gössinger M. Strawberry post-harvest anthocyanin development to improve the colour stability of strawberry nectars // *Beverages*. 2024. Vol. 10(2). Article 36. DOI: 10.3390/beverages10020036.
2. Duan X., Li T., et al. Recent advances in biosynthesis and regulation of strawberry anthocyanins // *Horticulture Research*. 2025. Vol. 12. Article u haf135. DOI: 10.1093/hr/uhaf135.
3. Cordenunsi B. R., Genovese M. I., do Nascimento J. R. O., Hassimotto N. M. A., Lajolo F. M. Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars // *Food Chemistry*. 2005. Vol. 91(1). P. 113–121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.05.054.
4. Aboonabi A., Meyer R. R., Gaiz A. Anthocyanins in berries exhibited anti-atherogenicity and antiplatelet activities in a metabolic-syndrome population // *Nutrition Research*. 2020. Vol. 76. P. 82–93. DOI: 10.1016/j.nutres.2020.02.011.
5. Cerezo A. B., Cătunescu G. M., González M. M. P., Hornedo-Ortega R., et al. Anthocyanins in blueberries grown in hot climate exert strong antioxidant activity and may be effective against urinary tract bacteria // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9(6). Art. 478. DOI: 10.3390/antiox9060478.
6. Yin M., Xie J., Xie C., Luo M., Yang X. Extraction, identification and stability analysis of anthocyanins from organic Guizhou blueberries in China // *Food Science and Technology (Campinas)*. 2021. Vol. 42. Art. e33520. DOI: 10.1590/fst.33520.
7. Shikov V., Kammerer D. R., Mihalev K., Mollov P., Carle R. Heat stability of strawberry anthocyanins in model solutions containing natural copigments extracted from rose (*Rosa damascena* Mill.) petals // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56(18). P. 8521–8526. DOI: 10.1021/jf801946g.
8. Cai C., Shen J., Chen L., Li J. Content, composition, and biosynthesis of anthocyanin in *Fragaria* species: a review // *HortScience*. 2023. Vol. 58(9). P. 988–995. DOI: 10.21273/HORTSCI17207-23.
9. Kalt W., Cassidy A., Howard L. R., Krikorian R., Stull A. J., Tremblay F., Zamora-Ros R. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins // *Advances in Nutrition*. 2020. Vol. 11(2). P. 224–236. DOI: 10.1093/advances/nmz065.
10. Salamon I., Şimşek Sezer E. N., Kryvtsova M., Labun P. Antiproliferative and antimicrobial activity of anthocyanins from berry fruits after their isolation and freeze-drying // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11(5). Art. 2096. DOI: 10.3390/app11052096.
11. Guan L., Fan P., Li S.-H., Liang Z., Wu B.-H. Inheritance patterns of anthocyanins in berry skin and flesh of the interspecific population derived from teinturier grape // *Euphytica*. 2019. Vol. 215. Art. 64 (1–14). DOI: 10.1007/s10681-019-2342-4.
12. Kang H. J., Ko M. J., Chung M. S. Anthocyanin structure and pH-dependent extraction characteristics from blueberries (*Vaccinium corymbosum*) and chokeberries (*Aronia melanocarpa*) in subcritical water state // *Foods*. 2021. Vol. 10(3). Art. 527. DOI: 10.3390/foods10030527.
13. Valdez J. C., Bolling B. W. Anthocyanins and intestinal barrier function: a review // *Journal of Food Bioactives*. 2019. Vol. 5. P. 18–30. DOI: 10.31665/JFB.2019.5175.
14. Vilkickyte G., Motiekaityte V., Vainoriene R., Liaudanskas M., Raudone L. Development, validation, and application of UPLC-PDA method for anthocyanins profiling in *Vaccinium* L. berries // *Journal of Berry Research*. 2021. Vol. 11(4). P. 583–599. DOI: 10.3233/JBR-200658.
15. Messaoudi O., Gouzi H., El-Hoshoudy A. N., Benaceur F., Patel C., Goswami M. B. Berries anthocyanins as potential SARS-CoV-2 inhibitors targeting the

viral attachment and replication: molecular docking simulation // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2021. Vol. 30(1). P. 33–43. DOI: (у статті DOI не вказано) – перевірено; якщо з'явиться DOI, рекомендується додати.

16. Bendokas V., Stanys V., Mažeikienė I., Trumbeckaitė S., Baniene R. Anthocyanins: from the field to the antioxidants in the body // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9(9). Art. 819. DOI: 10.3390/antiox9090819.

17. Muñoz-Almagro N., Ruiz-Torralba A., Méndez-Albiñana P., Guerra-Hernández E., García-Villanova B., Moreno R. Berry fruits as source of pectin: conventional and non-conventional extraction techniques // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 186. P. 962–974. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.120.

18. Sobol I., Rodionova L., Donchenko L., Varyvoda A. Changes in analytical characteristics of pectic substances when freezing berries // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 285. Art. 03016. DOI: 10.1051/e3sconf/202128503016.

19. Chea S., Yu D. J., Park J., Oh H. D., Chung S. W. Fruit softening correlates with enzymatic and compositional changes in fruit cell wall during ripening in 'Bluecrop' highbush blueberries // *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 245. P. 163–170. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.10.019.

20. Posé S., Kirby A. R., Mercado J. A., Morris V. J., Quesada M. A. Structural characterization of cell wall pectin fractions in ripe strawberry fruits using AFM // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 88(3). P. 882–890. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.01.029.

21. Draye M., Van Cutsem P. Pectin methylesterases induce an abrupt increase of acidic pectin during strawberry fruit ripening // *Journal of Plant Physiology*. 2008. Vol. 165(11). P. 1152–1160. DOI: 10.1016/j.jplph.2008.04.007.

22. Yu L., Reitmeier C. A., Love M. H. Strawberry texture and pectin content as affected by electron beam irradiation // *Journal of Food Science*. 1996. Vol. 61(4). P. 844–846. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1996.tb10970.x.

23. Zhang L., Zhao S., Lai S., Chen F., Yang H. Combined effects of ultrasound and calcium on the chelate-soluble pectin and quality of strawberries during storage // *Carbohydrate Polymers*. 2018. Vol. 200. P. 427–435. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.08.013.

24. ДСТУ 4954:2008. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення цукрів. Київ, 2010. 22 с.

25. ДСТУ 4957:2008. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення титрованої кислотності. Київ, 2008. 12 с.

26. ДСТУ ISO 6557-2:2014. Фрукти, овочі та продукти перероблення. Визначення вмісту аскорбінової кислоти. Частина 2. Практичні методи (ISO 6557-2:1984, IDT). Київ, 2015. 17 с.

27. ДСТУ 4948:2008. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів. Київ, 2009. 15 с.

28. ДСТУ 6045:2008. Фрукти, овочі та продукти перероблення, консерви м'ясні та м'ясо-рослинні. Метод визначення pH. Київ, 2009. 12 с.

29. Blahopoluchna A., Liakhovska N. Effect of chitosan pretreatment on the quality of strawberries during cold storage // *Food Science and Technology*. 2021. Vol. 15(3). P. 30–39. DOI: 10.15673/fst.v15i3.2151.

30. Simakhina G., Naumenko N., Bazhaj-Zhezherun S., Kaminska S. Impact of cryoprotection on minimization of ascorbic acid losses in freezing of berries // *Ukrainian Food Journal*. 2019. Vol. 8(2). P. 271–283. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-2-7.

REFERENCES:

1. Murray, H., Stipkovits, F., Wühl, J., Halbwirth, H., & Gössinger, M. (2024). Strawberry post-harvest anthocyanin development to improve the colour stability of strawberry nectars. *Beverages*, 10(2), Article 36. <https://doi.org/10.3390/beverages10020036>

2. Duan, X., Li, T., et al. (2025). Recent advances in biosynthesis and regulation of strawberry anthocyanins. *Horticulture Research*, 12, Article uhaf135. <https://doi.org/10.1093/hr/uhaf135>
3. Cordenunsi, B. R., Genovese, M. I., do Nascimento, J. R. O., Hassimotto, N. M. A., & Lajolo, F. M. (2005). Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chemistry*, 91(1), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.054>
4. Aboonabi, A., Meyer, R. R., & Gaiz, A. (2020). Anthocyanins in berries exhibited anti-atherogenicity and antiplatelet activities in a metabolic-syndrome population. *Nutrition Research*, 76, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.02.011>
5. Cerezo, A. B., Cătușescu, G. M., González, M. M. P., Hornedo-Ortega, R., et al. (2020). Anthocyanins in blueberries grown in hot climate exert strong antioxidant activity and may be effective against urinary tract bacteria. *Antioxidants*, 9(6), 478. <https://doi.org/10.3390/antiox9060478>
6. Yin, M., Xie, J., Xie, C., Luo, M., & Yang, X. (2021). Extraction, identification and stability analysis of anthocyanins from organic Guizhou blueberries in China. *Food Science and Technology (Campinas)*, 42, e33520. <https://doi.org/10.1590/fst.33520>
7. Shikov, V., Kammerer, D. R., Mihalev, K., Mollov, P., & Carle, R. (2008). Heat stability of strawberry anthocyanins in model solutions containing natural copigments extracted from rose (*Rosa damascena* Mill.) petals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8521–8526. <https://doi.org/10.1021/jf801946g>
8. Cai, C., Shen, J., Chen, L., & Li, J. (2023). Content, composition, and biosynthesis of anthocyanin in *Fragaria* species: A review. *HortScience*, 58(9), 988–995. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI117207-23>
9. Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F., & Zamora-Ros, R. (2020). Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
10. Salamon, I., Şimşek Sezer, E. N., Kryvtsova, M., & Labun, P. (2021). Antiproliferative and antimicrobial activity of anthocyanins from berry fruits after their isolation and freeze-drying. *Applied Sciences*, 11(5), 2096. <https://doi.org/10.3390/app11052096>
11. Guan, L., Fan, P., Li, S.-H., Liang, Z., & Wu, B.-H. (2019). Inheritance patterns of anthocyanins in berry skin and flesh of the interspecific population derived from teinturier grape. *Euphytica*, 215, 64 (1–14). <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2342-4>
12. Kang, H. J., Ko, M. J., & Chung, M. S. (2021). Anthocyanin structure and pH-dependent extraction characteristics from blueberries (*Vaccinium corymbosum*) and chokeberries (*Aronia melanocarpa*) in subcritical water state. *Foods*, 10(3), 527. <https://doi.org/10.3390/foods10030527>
13. Valdez, J. C., & Bolling, B. W. (2019). Anthocyanins and intestinal barrier function: A review. *Journal of Food Bioactives*, 5, 18–30. <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.5175>
14. Vilkickyte, G., Motiekaityte, V., Vainoriene, R., Liaudanskas, M., & Raudone, L. (2021). Development, validation, and application of UPLC-PDA method for anthocyanins profiling in *Vaccinium* L. berries. *Journal of Berry Research*, 11(4), 583–599. <https://doi.org/10.3233/JBR-200658>
15. Messaoudi, O., Gouzi, H., El-Hoshoudy, A. N., Benaceur, F., Patel, C., & Goswami, M. B. (2021). Berries anthocyanins as potential SARS-CoV-2 inhibitors targeting the viral attachment and replication: Molecular docking simulation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 30(1), 33–43. (DOI not provided in original source)
16. Bendokas, V., Stanys, V., Mažeikienė, I., Trumbeckaitė, S., & Baniene, R. (2020). Anthocyanins: From the field to the antioxidants in the body. *Antioxidants*, 9(9), 819. <https://doi.org/10.3390/antiox9090819>
17. Muñoz-Almagro, N., Ruiz-Torralba, A., Méndez-Albiñana, P., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B., & Moreno, R. (2021). Berry fruits as source

of pectin: Conventional and non-conventional extraction techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 962–974. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.120>

18. Sobol, I., Rodionova, L., Donchenko, L., & Varyvoda, A. (2021). Changes in analytical characteristics of pectic substances when freezing berries. *E3S Web of Conferences*, 285, 03016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128503016>

19. Chea, S., Yu, D. J., Park, J., Oh, H. D., & Chung, S. W. (2019). Fruit softening correlates with enzymatic and compositional changes in fruit cell wall during ripening in ‘Bluecrop’ highbush blueberries. *Scientia Horticulturae*, 245, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.019>

20. Posé, S., Kirby, A. R., Mercado, J. A., Morris, V. J., & Quesada, M. A. (2012). Structural characterization of cell wall pectin fractions in ripe strawberry fruits using AFM. *Carbohydrate Polymers*, 88(3), 882–890. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.029>

21. Draye, M., & Van Cutsem, P. (2008). Pectin methylesterases induce an abrupt increase of acidic pectin during strawberry fruit ripening. *Journal of Plant Physiology*, 165(11), 1152–1160. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.04.007>

22. Yu, L., Reitmeier, C. A., & Love, M. H. (1996). Strawberry texture and pectin content as affected by electron beam irradiation. *Journal of Food Science*, 61(4), 844–846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb10970.x>

23. Zhang, L., Zhao, S., Lai, S., Chen, F., & Yang, H. (2018). Combined effects of ultrasound and calcium on the chelate-soluble pectin and quality of strawberries during storage. *Carbohydrate Polymers*, 200, 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.013>

24. State Standard of Ukraine (DSTU) 4954:2008. (2010). Fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

25. State Standard of Ukraine (DSTU) 4957:2008. (2008). Fruit and vegetable products. Methods for determination of titratable acidity. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

26. DSTU ISO 6557-2:2014. (2015). Fruits, vegetables and derived products. Determination of ascorbic acid content – Part 2: Routine methods (ISO 6557-2:1984, IDT). Kyiv: Derzhstandart of Ukraine.

27. State Standard of Ukraine (DSTU) 4948:2008. (2009). Fruits, vegetables and derived products. Methods for determination of nitrates. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

28. State Standard of Ukraine (DSTU) 6045:2008. (2009). Fruits, vegetables, meat and meat-vegetable canned products. Method for determination of pH. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

29. Blahopoluchna, A., & Liakhovska, N. (2021). Effect of chitosan pretreatment on the quality of strawberries during cold storage. *Food Science and Technology*, 15(3), 30–39. <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2151>

30. Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhaj-Zhezherun, S., & Kaminska, S. (2019). Impact of cryoprotection on minimization of ascorbic acid losses in freezing of berries. *Ukrainian Food Journal*, 8(2), 271–283. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-2-7>

Дата першого надходження рукопису до видання: 30.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 27.11.2025

Дата публікації: 30.12.2025