

THE SCIENTIFIC APPROACHES TO SELECT A METHOD FOR BERRIES PRESERVATION WITH THE MINIMAL LOSSES OF VITAMIN COMPLEX

G. Simakhina

National University of Food Technologies

Key words:

*Antioxidant vitamins
Berry raw materials
Freezing
Cryoprotection
Biological value*

Article history:

Received 12.07.2024
Received in revised form
29.07.2024
Accepted 19.08.2024

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

Citation: Сімахіна Г. О.
(2024). Наукові підходи до
вибору способу консерву-
вання ягід з мінімальними
втратами вітамінного ком-
плексу. *Наукові праці
НУХТ*, 30(4), 176—188.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-4-15

ABSTRACT

Vitamins are the natural components of foods, which do not belong to pharmaceutical remedies. They can be used by human organism only in the composition of foodstuffs, as the specific compounds to prevent and treat the hypo and avitaminoses caused by the deficit of these micronutrients in diets. The norms of consumption of the certain vitamins are stated on the basis of scientific data inferred from studying this problem.

To overcome the vitamin deficit in diets for population, the great attention is now paid to berry raw materials that, during its growth and ripening, would accumulate the significant concentrations of valuable biologically active substances, primarily antioxidant vitamins. Therefore, the author of this article has researched the chokeberries, blackberries, raspberries, blueberries and viburnum in fresh, frozen and defrosted states. The berries were frozen under the cryoprotectant (10% water solution of sucrose with 1% lemon acid solution). After the 9-month storage period, the berries were defrosted by four different methods in order to define the most effective one. The changes of vitamin content and sensory characteristics were estimated in comparison with the respective indices of fresh raw materials.

There was confirmed that the defrostation methods can affect the sensory indices of the berries and the amount of cellular juice loss in the products. The most effective methods is to defrost the berries in the cooling chamber with the temperature of 0 °C and the duration of 30—33 minutes: the sturdiness of berry surface tissues was fully retained, due to which fact the cellular juice losses are absent. The frozen berries appeared to be the most reliable source of vitamins for a diet, — in particular, 50 g of berries can supply the human body with 24.85...65.7% of recommended daily intake of ascorbic acid, with 19...36.6% of β -carotene, and 156.4 to 332.2% of bioflavonoids (blueberries in priority).

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ВИБОРУ СПОСОБУ КОНСЕРВУВАННЯ ЯГІД З МІНІМАЛЬНИМИ ВТРАТАМИ ВІТАМІННОГО КОМПЛЕКСУ

Г. О. Сімахіна

Національний університет харчових технологій

Вітаміни — це природні компоненти їжі, які не належать до лікарських засобів. І саме в складі харчових продуктів і дієтичних добавок вітаміни використовуються організмом як специфічні сполуки для запобігання та лікування гіпотавітамінозів, викликаних дефіцитом цих мікронутрієнтів у харчових раціонах. На основі наукових даних з вивчення фізіологічної потреби встановлюються норми споживання того чи іншого вітаміну.

Для подолання вітамінного дефіциту в раціонах харчування населення найбільшого значення надається ягідній сировині, яка в процесі свого росту накопичує значні концентрації цінних біологічно активних речовин, передусім вітамінів-антиоксидантів. У статті досліджено ягоди аронії, ожини, малини, чорниці, калини у свіжому, замороженому та дефростованому станах. Ягоди заморожували під прикриттям кріопротектора (водний 10-відсотковий розчин сахарози разом з одновідсотковим розчином лимонної кислоти). Дефростацію заморожених ягід після 9-місячного зберігання проводили чотирма різними способами для визначення найбільш ефективного. Оцінювали зміни вітамінного складу та органолептичних характеристик заморожених ягід порівняно з відповідними показниками свіжої сировини.

Установлено, що способи дефростації заморожених ягід впливають на сенсорні показники та показник утрат клітинного соку отриманої продукції. Найбільш ефективним виявився спосіб дефростації ягід у холодильній камері при температурі 0 °С та тривалості 30—33 хв, повністю збережено міцність тканин поверхні ягід, унаслідок чого відсутні втрати клітинного соку. Заморожені ягоди виявилися надійним джерелом вітамінів для раціонів харчування — 50 г ягід забезпечують організм людини на 24,85...65,7% добової потреби в аскорбіновій кислоті, на 19...36,6% — у β-каротині, від 156,4 до 332,2% — у біофлавоноїдах (пріоритет за чорницями).

Ключові слова: вітаміни-антиоксиданти, ягідна сировина, заморожування, кріопротекція, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Для подолання вітамінного дефіциту в раціонах харчування населення найбільшого значення надається ягідній сировині, яка у процесі свого росту накопичує значні концентрації цінних біологічно активних речовин, передусім вітамінів-антиоксидантів (Becker et al., 2004). З огляду на біологічні та фізіологічні особливості ягоди неспроможні зберігати свою якість протягом тривалого часу, що потребує розроблення спеціальних технологій зберігання (Postharvest, 2023), за яких оптимальні терміни зберігання при відносній вологості повітря 90—95% для полуниць становлять 7—10 днів, для чорниць — 2—4 тижні, малини та ожини — 2—5 днів при 0 °С.

Ягоди — це продукція сезонного характеру, і для ефективного використання упродовж року їх консервують. Найбільш досконалим є спосіб заморожування (Черевко, & Людвік, 2018), тому попит на заморожені напівфабрикати у світі постійно зростає (Галат, 2021), їхній товарообіг щорічно збільшується на 4—6% (Frozen fruit, 2018; Світовий попит, 2019), приваблюючи споживачів високою біологічною цінністю, належними органолептичними показниками (Goyal et al., 2000), які практично не відрізняються від свіжої сировини (Rickman et al., 2007) навіть при тривалому зберіганні (Poiana et al., 2010).

Зважаючи на важливість ягідної сировини як вітамінного компонента харчових раціонів, зрозумілою є зацікавленість науковців у подальших дослідженнях біологічної цінності ягід, ефективних способів їх зберігання, консервування із застосуванням таких методів, які забезпечують мінімальні втрати вітамінів у процесах технологічного перероблення й зберігання. Тому напрям, обраний у пропонованій статті, є актуальним, багатоплановим, а отримані результати додають нову інформацію про вітамінні комплекси ягідної сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливе місце серед рослинної сировини посідають культивовані і дикорослі ягоди, які набувають дедалі більшого значення в оздоровчому, профілактичному, дієтичному харчуванні (Козярін, 2009), передусім в екстремальних умовах життєдіяльності (Сімахіна та ін., 2021). Ягоди є постачальниками речовин вторинного синтезу — поліфенолів, ароматичних сполук, летких кислот, які формують їхній аромат, запах і смак (Sandell et al., 2012). Вважається, що антиоксидантні речовини різної хімічної природи (біофлавоноїди, каротиноїди тощо), які містяться у продуктах у різних концентраціях (Togor et al., 2006; Ishiguro et al., 2007) здатні протистояти експансії вільнорадикальних процесів. Під час уживання таких продуктів вищезгадані речовини допомагають уникати накопичення вільних радикалів у клітинах (Backer et al., 2004). На відміну від синтетичних фармацевтичних засобів, антиоксиданти біологічного походження легко та органічно залучаються до обмінних процесів в організмі, що, своєю чергою, не викликає небажаних побічних ефектів (Gundesli et al., 2019).

Водночас ягоди є найбільш складним об'єктом для заморожування, зважаючи на високий вміст у їхньому складі води (до 90%), надзвичайно ніжну покривну тканину, низьку стійкість при зберіганні. Це вимагає пошуку інноваційних рішень при розробленні технологій заморожування ягідних культур (Павлюк та ін., 2013). Однією з найбільш перспективних інновацій є поєднання штучного холоду з використанням сполук-кріопротекторів (Neri et al., 2020). Лише останнім часом цей напрям став предметом досліджень у галузях харчових технологій. Наукові розробки з кріобіології можна адаптувати до процесів заморожування ягідної сировини (Сімахіна та ін., 2019) і мінімізувати втрати найбільш лабільного компонента (аскорбінової кислоти) до 5—7%. Це відбувається за рахунок того, що в оброблених водними розчинами кріопротекторів ягодах істотно гальмується розвиток поза- та внутрішньоклітинного кристалоутворення, яке є основним руйнівним чинником клітин і тканин заморожуваних об'єктів (Neri et al., 2020).

Предметом досліджень більшості авторів є заморожування культивованих ягід: вишень (Осокіна, & Василюшина, 2015), полуниць (Одарченко та ін., 2020), суниць (Заморська, 2017). Тому актуальним залишається напрям вивчення біологічної цінності дикорослих ягід, зважаючи на їхню здатність ефективніше продукувати

в процесі вегетації вітаміни, а також на той факт, що такого збалансованого кількісного вмісту есенціальних нутрієнтів не мають жодні інші рослинні джерела. Способи заморожування дикорослих ягід і умови їх зберігання необхідно орієнтувати на те, щоб отримана продукція після тривалого зберігання практично не відрізнялася за якісними і сенсорними показниками від свіжої сировини та виконувала свою роль багатого джерела вітамінів у харчуванні населення в міжсезонний для збору ягід період. Одним із реальних шляхів позитивного вирішення таких завдань є попереднє оброблення ягід перед заморожуванням водними розчинами кріопротекторів. За цим напрямом у літературі поки що є лише поодинокі статті (Neri et al., 2020), тому актуальними є дослідження впливу кріопротекції на ступінь збереження вітамінів, сенсорних характеристик ягід на етапах заморожування, зберігання та дефростації.

Мета статті: дослідити динаміку вмісту вітамінів-антиоксидантів при заморожуванні, зберіганні та дефростації ягід з використанням науково обґрунтованих способів і дати характеристику їхньої вітамінної цінності та сенсорних показників порівняно зі свіжою сировиною, оскільки саме цей показник є одним із найважливіших із точки зору споживачів.

Матеріали і методи. Для дослідження вітамінної цінності та сенсорних характеристик свіжих і заморожених дикорослих ягід використали доступну та дешеву сировину: калину (*Viburnum opulus L.*), ожину (*Rubus caesius L.*), малину (*Rubus idaeus L.*), чорницю (*Vaccinium myrtillis L.*), аронію чорноплідну (*Aronia melanocarpa L.*) (рис. 1). Калина поширена у Європі, Північній і Центральній Азії (Ersoy et al., 2019). Використовується у традиційній кухні різних народів (Polka et al., 2019) як джерело аскорбінової кислоти і фенольних сполук (Saltan et al., 2016). Малина визнана споживачами як смачна й корисна ягода, багата на біофлавоноїди та каротиноїди (Ponder et al., 2019), що виконують роль антиоксидантів у складі харчових продуктів. Використовується у консервній промисловості для виробництва джемів, варення, желе тощо. Ягоди ожини містять вітаміни-антиоксиданти, пектинові речовини, мінеральні елементи, є природним протизапальним засобом, використовується у дієтичному харчуванні, в тому числі для профілактики діабету (Krzepilko et al., 2021). Ягоди чорниці входять до сфери функціонального харчування, відомі сьогодні як суперфуди завдяки високому вмістові біофлавоноїдів, зокрема антоціанів (Neamtu et al., 2020). Важливим джерелом біологічно активних сполук є аронія чорноплідна (Borowska et al., 2016), завдяки чому вона широко застосовується у харчовій та фармацевтичній промисловості (Любич та ін., 2022). Ягоди зібрано у 2023 році.

Критерії вибору ягід для досліджень ґрунтуються на показниках їхньої вітамінної цінності (вміст аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, β -каротину), кореляції між вмістом аскорбінової кислоти та біофлавоноїдів, наявності природних кріопротекторів (моно- та дицукрів), які посилюють стабілізацію внутрішньоклітинних структур ягід при заморожуванні, здатності біокомпонентів ягід до холодової адаптації, структурній міцності покривних тканин ягід, мінімальної розбіжності сенсорних показників свіжих і заморожених ягід.

Для попереднього оброблення ягід (перед заморожуванням) застосували водний розчин суміші сахарози і лимонної кислоти, який, за даними (Сімахіна та ін., 2019), виявив найбільшу ефективність.

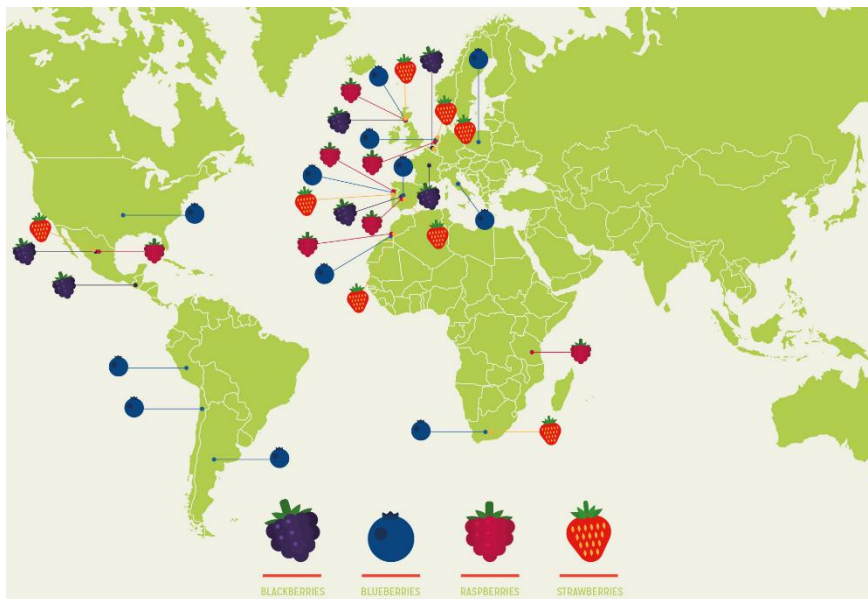


Рис. 1. Країни походження ягід досліджуваних зразків
(<https://www.angussoftfruits.co.uk/what-we-do/growing/>)

Для приготування 1 л водного розчину кріопротектора з масовою часткою сахарози 10% та масовою часткою лимонної кислоти 1% додаємо до суміші із 100 г кристалічної сахарози і 10 г кристалічної лимонної кислоти при температурі 18—22 °С 890 мл дистильованої води (густина води 1 г/мл), ретельно перемішуємо до повного розчинення компонентів.

У широкодонну ємність насилаємо одним шаром зразки досліджуваних ягід і заливаємо їх отриманим розчином кріопротектора, щоб повністю покрити ягоди. Ягоди, які настоюються в розчині кріопротектора протягом 60 хв при температурі 18—22 °С, періодично перемішуємо для рівномірного оброблення їхньої поверхні. Кожен наступний зразок ягід обробляємо свіжою порцією кріопротектора.

Після оброблення кріопротекторами ягоди осушували від зайвої вологості і заморожували у швидкоморозильній камері розсипом при температурі -34 °С протягом 25 хв, що відповідає параметрам швидкого заморожування (Zlabur et al., 2021). Процес триває до досягнення в центрі ягід температури -18 ± 1 °С.

Заморожені ягоди фасували у 500-грамові пакети з термопластичних полімерних матеріалів, придатних для низькотемпературного зберігання продукції (-18 °С), дотримуючись вимог цілісності і герметичності упаковки. Тару із замороженими ягодами упаковували в коробки з тришарового гофрованого картону масою 6 кг і зберігали у холодильній камері протягом 12 місяців (максимальний термін) за температури -18 °С і відносної вологості не більше ніж 95%. При підготовці ягід до дослідження проводили дефростацію.

Дефростацію проводили кількома способами: повітряним способом за темпе-

ратури 18—22 °C і 37—42 °C, об'ємним способом у мікрохвильовій печі та в холодильній камері при 0 °C.



Рис. 2. Пакетована суміш заморожених ягід (малина, чорниця, ожина), 500 г

Розморожування тривало до досягнення рекомендованої температури споживання дефростованих ягід — 5 °C. Тривалість розморожування залежить від величини ягід, структури їхніх тканин, щільності м'якоті тощо. У середньому витрати часу становили при дефростації ягід повітряним способом за температури 18—20 °C — 130—135 хв, за температури 37—42 °C — 45—50 хв; при дефростації у мікрохвильовій печі — 3—5 хв, у холодильній камері — 30—33 хв.

Втрати клітинного соку при дефростації визначали в процентах за відносною зміною маси зразка заморожених ягід до і після дефростації.

Аскорбінову кислоту визначали титриметричним методом, заснованим на екстрагуванні аскорбінової кислоти з дослідного зразка за допомогою розчину кислоти (хлороводневої, метафосфорної або суміші оцтової та метафосфорної кислот) із подальшим візуальним або потенціометричним титруванням із розчином 2,6-дихлорфенолфеноляту натрію (Majidi et al., 2016).

Вміст біофлавоноїдів визначали за загальновідомою методикою з використанням реактиву Folin-Ciocalteu (Viña et al., 2006) спектрофотометричним методом. Вміст бета-каротину визначали загальновідомим методом, який базується на екстрагуванні каротину за допомогою органічних розчинників (гексан), та вимірювали оптичну густину розчину на спектрофотометрі при довжині хвилі 450 нм (Juntachote et al., 2005).

За органолептичними показниками та якісним складом заморожена продукція повинна найменшою мірою відрізнятися від свіжих ягід (власне, це і є основним критерієм досконалості технології заморожування).

Статистичний аналіз було проведено шляхом послідовного регресивного аналізу із застосуванням програм Microsoft Excel XP і Origin Pro8 для обчислення кореляційних коефіцієнтів (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 2003).

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження розпочали з визначення кількісного вмісту аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, β -каротину у свіжих (мг/100 г свіжих ягід) і заморожених (мг/100 г заморожених) ягодах після їх зберігання протягом 3 і 9 місяців. Результати представлено в таблицях 1—4.

Отже, досліджені ягоди є природними багатими джерелами аскорбінової кислоти та біофлавоноїдів (Nagendran et al., 2006; Yang et al., 2009). Це свідчить про

необхідність їх широкого використання у виробництві оздоровчих продуктів і напівфабрикатів.

Таблиця 1. Вміст β -каротину у свіжих і заморожених ягодах після тривалого зберігання, мг/100 г

Вид ягід	Свіжі ягоди	Після заморожування	Після зберігання, місяці	
			3	9
Аронія	3,76	3,76	3,70	3,66
Калина	2,05	2,05	1,99	1,97
Ожина	3,27	3,22	3,18	3,10
Малина	2,18	2,16	2,12	2,04
Чорниця	1,94	1,91	1,84	1,80
Чорниця (контроль без кріопротекторів)	1,94	1,69	1,27	1,06

Таблиця 2. Вміст аскорбінової кислоти у свіжих і заморожених ягодах після тривалого зберігання, мг/100 г

Вид ягід	Свіжі ягоди	Після заморожування	Після зберігання, місяці	
			3	9
Аронія	139,5	138,0	136,4	131,4
Калина	59,7	58,2	57,8	55,76
Ожина	75,9	75,8	74,6	71,2
Малина	55,4	54,6	54,0	49,3
Чорниця	57,3	56,2	55,8	51,15
Чорниця (контроль без кріопротекторів)	57,3	55,0	41,6	16,4

Таблиця 3. Вміст біофлавоноїдів у свіжих і заморожених ягодах після тривалого зберігання, мг/100 г

Вид ягід	Свіжі ягоди	Після заморожування	Після зберігання, місяці	
			3	9
Аронія	990,0	990,0	990,0	990,0
Калина	785,0	785,0	784,3	782,9
Ожина	898,0	896,0	896,0	894,0
Малина	846,0	844,0	842,0	840,7
Чорниця	1654,0	1652,0	1648,2	1644,4
Чорниця (контроль без кріопротекторів)	1654,0	1638,8	1622,4	1601,7

Таблиця 4. Втрати вітамінів у заморожених ягодах після 9 місяців зберігання, % до вмісту у свіжих ягодах

Вид ягід	Втрати вітамінів, %		
	β -каротин	аскорбінова кислота	біофлавоноїди
Аронія	2,7	5,8	0
Калина	3,8	6,6	2,6
Ожина	5,2	6,2	4,4
Малина	6,4	11,0	6,3
Чорниця	7,2	11,6	5,8
Чорниця (контроль без кріопротекторів)	45,4	71,0	31,6

Аналіз даних, представлених у таблицях, показав, що щойно заморожені ягоди, попередньо оброблені кріопротекторами, майже не втратили вітамінів, або ці втрати незначні (1—2%). Навіть через 9 місяців зберігання ягід при -18°C максимальні втрати β -каротину щодо свіжих ягід склали 7,2% у чорниці, максимальні втрати біофлавоноїдів — 6,3% у чорниці. Ягоди чорниці і малини мають дещо більші втрати аскорбінової кислоти (11,6% і 11%), якщо порівняти з іншими ягодами. Це підтверджує статус аскорбінової кислоти як найбільш лабільної сполуки до будь-яких зовнішніх впливів, а заодно пояснюється тим, що чорниця і малина мають ніжнішу покривну тканину, ніж інші ягоди, яка менш стійка до впливу низьких температур. Зокрема, частина клітин утратить свою цілісність, цитоплазматична оболонка розривається, призводячи до безпосереднього контакту вітамінів, які містяться усередині клітини, з оксидоредуктазами, передусім з аскорбатоксидазою, яка й спричинює руйнування певної кількості молекул аскорбінової кислоти.

Результати можна оцінити належним чином, зіставивши їх з даними, отриманими при заморожуванні ягід традиційним способом — без кріопротекторів. Ці дані представлено в табл. 4 у порівняльному дослідженні втрат вітамінів ягодами чорниці, замороженими із застосуванням кріопротекторів і за традиційною технологією. Зіставлення отриманих даних є досить переконливим доказом ефективності технологій заморожування із застосуванням кріопротекторів: утрати β -каротину за цією технологією склали 7,2% до його вмісту у свіжих ягодах чорниці, а за традиційною — 45,4%; відповідно, втрати аскорбінової кислоти склали 11,6% заморожених за традиційною технологією, пояснюються тим, що при повільному заморожуванні формуються великі кристали льоду у клітинах і міжклітинному просторі, які руйнують мембрани клітин і субклітинні структури. Внаслідок цього оксидоредуктази отримують доступ до біологічно активних речовин, зосереджених у клітинах, та ініціюють біохімічні процеси окислення вітамінів, призводячи до їх втрат.

Для отримання порівняльної характеристики свіжих ягід і ягід, заморожених під прикриттям кріопротекторів, провели бальне оцінювання їх органолептичних показників на прикладі ягід ожини. Результати наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Бальна оцінка органолептичних показників свіжих і заморожених ягід ожини після 9 місяців зберігання

Показники	Коефіцієнт вагомості	Бали	Характеристика	
			свіжі ягоди	заморожені ягоди
Зовнішній вигляд	0,35	5	Чисті, свіжі, без дефектів та мікробіологічних ушкоджень, однорідні, тургор пружний	Ягоди однорідні, рівномірно заморожені, з сизуватим нальотом, тургор пружний, не ушкоджений, зі збереженою формою
Смак	0,2	5	Властивий певному видові, відсутній сторонній присмак; солодкий	Властивий певному видові, без стороннього смаку, ідентичний натуральним свіжим ягодам, солодкий

Продовження таблиці 5

Колір	0,1	5	Характерний для даного виду зрілого матеріалу, інтенсивний, насичений	Відповідає знімній зрілості свіжих ягід, відсутні відхилення від природного кольору; інтенсивність кольору дещо вища за рахунок синтезу антоціанів як реакції ягід на холодострес
Стан поверхні	0,2	5	Чиста, без дефектів та ушкоджень шкідниками, без тріщин і плям, глянцева або матова	Чиста, дещо зволожена, з природним тургором, неущо-дженою покривною тканиною, без втрат клітинного соку
Аромат	0,15	5	Відсутність стороннього запаху, аромат тонкий, властивий ягодам ожини, насичений, яскраво виражений	Властивий свіжим ягодам; інтенсивніший щодо природного запаху за рахунок синтезу ароматоутворюючих сполук при холодостресі, що надає ягодам додаткових позитивних якостей
Висновок			Вищий гатунок	Вищий гатунок, придатні до тривалого зберігання

Оскільки зовнішній вигляд вважається комплексним показником, який включає форму, величину, ступінь зрілості, свіжість, колір тощо (Poiana et al., 2010), то ми надали йому максимальної величини коефіцієнта вагомості — 0,35. Варто зауважити, що в разі невідповідності ягід за зовнішнім виглядом установленим вимогам застосування інших критеріїв оцінки вважається недоцільним.

Результати показали, що ягоди ожини, обрані для досліджень за науково обґрунтованими критеріями, заморожені з використанням криопротекторів, за всіма показниками органолептики отримали максимальні 5 балів, підтвердили свій статус надійного джерела вітамінів у міжсезонний період до нового врожаю і практично не відрізняються від показників свіжої ожини.

Перед використанням заморожених ягід необхідно провести їх дефростацію. Заморожені ягоди, які зберігали протягом 9 місяців за температури -18°C і відносний вологості не більш ніж 95%, дефростували різними способами. Досконалість процесу дефростації оцінюємо за ступенем збереження структурної міцності поверхні ягід (сенсорна характеристика) і, як результат, утратами клітинного соку та біокомпонентів ягід, розчинених у ньому. Порівняльну характеристику різних способів дефростації наведено у табл. 6.

Таблиця 6. Оцінка способів дефростації заморожених ягід

Спосіб дефростації	Температура дефростації, $^{\circ}\text{C}$	Тривалість дефростації, хв	Втрати клітинного соку, %	Сенсорні показники за 5-бальною шкалою	
				Стан поверхні	Колір
Повітряний	18—22	130—135	19,8	4,1	3,7
Повітряний	37—42	45—55	11,2	4,5	4,2

Продовження таблиці 6

Мікрохвильова піч (потужність 400 Вт)	50—55	3—5	2,6	5	4,8
Холодильна камера	0	30—33	0	5	5

За отриманими даними, найбільш результативними є способи дефростації заморожених ягід у холодильній камері (температура 0 °С, тривалість 30—33 хв) та у мікрохвильовій печі (температура 50—55 °С, тривалість 3—5 хв, потужність 400 Вт). За таких параметрів повністю збережено структурну міцність тканин ягід (стан поверхні оцінено у 5 балів, а колір — у 4,8—5 балів), що запобігає втратам клітинного соку і розчиненням у ньому біокомпонентам (втрати клітинного соку — 0 та 2,6%, відповідно). Найгірші показники отримано при дефростації ягід на повітрі (температура 18—22 °С, тривалість 130—135 хв), при цьому втрати клітинного соку досягли 19,8%, частина ягід деформована, і на їхній поверхні з'явилися тріщини — бальна оцінка 4,1, а колір ягід оцінено у 3,7 бала.

Ягоди посідають важливе місце серед рослинної сировини, зважаючи на їхній статус натуральних вітаміноносіїв, для яких характерні різноманітні оздоровчі, профілактичні, лікувальні властивості. Збалансованість і кількісний вміст основних вітамінів такий, якого немає в інших видах рослинної сировини. Тому на даному етапі досліджень розрахунковим методом з'ясували здатність заморожених ягід забезпечити певну частину добової потреби організму людини в аскорбіновій кислоті, біофлавоноїдах, β-каротині. Відповідно до Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії (2017), добова потреба в аскорбіновій кислоті становить 100 мг, у біофлавоноїдах — 250 мг, у β-каротині — 5 мг.

Згідно з розрахунками, 50 г заморожених ягід забезпечують достатньо високий рівень добової потреби людини у вітамінах. Для досліджених ягід ця частка із забезпечення аскорбіновою кислотою перебуває в діапазоні від 24,7% (малина) до 65,7% (аронія), біофлавоноїдами — від 156,4% (калина) до 332,8% (чорниця), β-каротином — від 18% (чорниця) до 36,6% (аронія). Для всіх ягід частка забезпечення добової потреби організму в біофлавоноїдах переважає 100%, однак це не становить небезпеки і не призводить до передозування, оскільки біофлавоноїди належать до водорозчинних сполук і досить швидко виводяться з організму, тобто не мають кумулятивної здатності.

У європейських країнах перелік вітамінів і добова потреба в них дещо інша (The Nutrition Source, 2023), наприклад, аскорбінової кислоти жінкам необхідно 70 мг, чоловікам — 80 мг; β-каротин у переліку не зазначено, а лише вітамін А. Також не регламентується вміст біофлавоноїдів, хоча на сьогодні їх визнано досить потужними біоантиоксидантами.

Висновки

Дикорослі ягоди є цінним джерелом вітамінів-антиоксидантів завдяки наявності в них значних концентрацій аскорбінової кислоти, біофлавоноїдів, β-каротину.

Термін зберігання свіжих ягід не перевищує 15 діб, тому їх заморожують і зберігають за температури -18°C . Удосконалена технологія заморожування передбачає поєднання штучного холоду з використанням кріопротекторів, які захищають поверхню ягід і їхню клітинну структуру від ушкоджуючого впливу кристалами льоду, запобігаючи втратам клітинного соку при дефростації і вітамінів, що входять до його складу.

Досліджені зразки ягід, заморожені під прикриттям кріопротектора, навіть через 9 місяців зберігання за оптимальних умов майже не відрізняються за якісними показниками від свіжої сировини: за вмістом β -каротину (втрати для різних видів ягід склали від 2,7 до 7,2%), аскорбінової кислоти (втрати від 5,8 до 11,6%), біофлавоноїдів (втрати від 0 до 6,3%), а за сенсорними показниками оцінені в 5 балів за 5-бальною шкалою. Втрати вітамінів у ягодах, заморожених традиційним способом без застосування кріопротекторів, склали 45,4% за вмістом β -каротину, 71% за вмістом аскорбінової кислоти, 31,6% за вмістом біофлавоноїдів, відповідно до цих показників у свіжій сировині.

Найефективнішим способом дефростації є розморожування ягід у холодильній камері при 0°C і тривалості 30—33 хв 50 г заморожених ягід, залежно від їх виду, забезпечують добові потреби організму людини у β -каротині на 19—36,6%, в аскорбінової кислоти — на 24,7—65,7%, у біофлавоноїдах — на 156,4—332,8%.

Пошук нових сировинних джерел високої біологічної цінності, вдосконалення способів їх заморожування та зберігання є актуальним перспективним напрямом становлення індустрії оздоровчих продуктів, що повністю відповідає харчовим потребам людини і тенденціям розвитку світового ринку.

Література

Галат, Г. М. (2021). Світовий ринок ягід: сучасні тенденції та перспективи для України. *Ефективна економіка*, 2. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021>.

Заморська, І. Л. (2017). Якість і кріорезистентність заморожених ягід суниці за попередньої обробки в розчинах зі структуроутримуючими властивостями. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 2(26), 129—136. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1108557>.

Козярін, І. П. (2009). Дієтопрофілактика в умовах радіоактивного забруднення довкілля. *Фітотерапія в Україні*, 314, 49152.

Любич, В. В., Чернега, А. О., Євчук, Я. В. (2022). Формування якості ягід і варення різних сортів аронії чорноплідної. *Агробіологія*, 1, 122—128. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-122-128>.

Одарченко, Д. М., Соколова, Є. Б., Ковалевська, Н. С. (2020). Дослідження хімічного складу різних сортів полуниці до та після заморожування. *Науково-виробничий журнал «Вісник Уманського національного університету садівництва»*, 1, 98—103. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-27-02>.

Осокіна, Н. М., Василюшина, О. В. (2015). Якість плодів вишні за різних способів заморожування. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 21(3), 203—208.

Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В., Соколова, Л. М. (2012). Інновації в технології зберігання та переробки плодовоовочевої сировини. *Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: тези доп. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* 14—16 листопада 2012 р. Харків: ХДУХТ. 107—110.

Світовий попит на заморожені продукти продовжує зростати. URL: <http://www.lol.org.ua/rus/showart.php?id=114914> (дата звернення 12.07.2024).

Сімахіна, Г. О., Камінська, С. В., Науменко, Р. Ю. (2019). Нові підходи до характеристики та оцінки органолептичних показників свіжих і заморожених плодів та ягід. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*, 30(1). 72—78.

Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В., Камінська, С. В. (2021). Особливості харчування в екстремальних умовах життєдіяльності. *Grail of Science. International Scientific Journal*, 11, 141—146. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.026>.

Черевко, Л., Людвік, Ю. (2018). Ефективність вирощування ягідних культур і переробки продукції шляхом заморожування. *Аграрна економіка*, 11(3—4), 82—86. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.1>.

Becker, E. M., Nissen, L. R., Skibsted, L. H. (2004). Antioxidant evaluation protocols: food quality or health effects. *Eur. Food Res. and Technol.*, 219(6), 561—571. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1012-4>.

Borowska, S., Brzóska, M. M. (2016). Chokeberries (*Aronia melanocarpa*) and their products as a possible means for the prevention and treatment of noncommunicable diseases and unfavorable health effects due to exposure to xenobiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 12221, 10.1111/1541-4337.12221.

Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., Bohn, S. K., Dragland, S., Sampson, L., Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(1), 10.1186/1475-2891-9-3.

Ersoy, N., Ercisli, S., Gundogdu, M. (2017). Evaluation of European cranberry bush (*Viburnum opulus* L.) genotypes for agro-morphological, biochemical and bioactive characteristics in Turkey, *Folia Hort.*, 29, 181—188. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0017>.

Frozen fruit (2018). Frozen fruit market in the EU: Germany remains the largest importer. URL: <https://www.freshplaza.com/article/9020192/frozen-fruit-market-in-the-eu-germany-remains-the-largest-importer> (access date 05.01.2024).

Goyal, R. K., Verma, L. R., Joshi, V. K. (2000). *Nutritive value of fruits, vegetables, and their products in postharvest technology of fruits and vegetables*. Indus Publishing, New Delhi.

Gundesli, M. A., Korkmaz, N., Okatan, V. (2019). Polyphenol content and antioxidant capacity of berries: A review. *International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences*, 3(2), 350—361, <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.12.p1261>.

Ishiguro, K., Yahara, S., Yoshimoto, M. (2007). Changes in polyphenolic content and radicalscavenging activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during storage at optimal and low temperatures, *J. Agr. and Food Chem.*, 55(26), 10773—10778. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072256v>.

Juntachote, T., Berghofer, E. (2005). Antioxidative properties and stability of ethanolic extracts of Holy basil and Galangal. *Food Chem.*, 92(2), 193—202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.044>.

Krzepilko, A., Prazak, R., Swiecilo, A. (2017). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds, *Molecules*, 26(2). <https://doi.org/10.3390/molecules26020327>.

Majidi, M., Y-ALQubury, H. (2016). Determination of Vitamin C (ascorbic acid) Contents in various fruit and vegetable by UV-spectrophotometry and titration methods, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(4), 2972—2974, <http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v15.2.1144>.

Nagendran, B., Kalyana, S., Samir, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agriindustrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses, *Food Chemistry*, 99(1), 191—203.

Neamțu, A.-A., Szoke-Kovacs, R., Mihok, E., Georgescu, C., Turcus, V., Olah, N. K., Mathe, E. (2020). Bilberry (*Vaccinium myrtillis* L.) extracts comparative analysis regarding their phytonutrient profiles, antioxidant capacity along with the In Vivo rescue effects tested on a *Drosophila melanogaster* high-sugar diet model. *Folia Horticulturae*, 32(1), 79—85. <https://doi.org/10.3390/antiox9111067>.

Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant activity on frozen plant foods: Effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage, *Foods*, 9(1886), 1—35. <https://doi.org/10.3390/foods9121886>.

Noormets, M., Karp, K., Starast, M., Leis, L., Muru, K. (2006). The influence of freezing on the content of ascorbic acid in *Vaccinium* species berries. *Acta Hort.*, 715, 539—544. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.715.83>.

Poiana, M., Moigradean, D., Raba, D., Alda, L.-M., Popa, M. (2010). The effect of long-term frozen storage on the nutraceutical compounds, antioxidant properties and color indices of different kinds of berries. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1), 54—58.

Polka, D., Podśędek, A., Koziołkewicz, M. (2019). Comparison of chemical composition and antioxidant capacity of fruit, flower and bark of *Viburnum opulus*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 436—442. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00759-1>.

Ponder, Hallmann, (2019). Phenolics and carotenoid contents in the leaves of different organic and conventional raspberry (*Rubus ideaus* L.) cultivars and their In Vivo activity. *Antioxidants*, 8(10), 458. <https://doi.org/10.3390/antiox8100458>.

Postharvest, (2023). Postharvest handling and storage of berries. URL: <https://www.ontario.ca/page/postharvest-handling-and-storage-berries> (access date 09.03.2024).

Rickman, J. C., Barrett, D. M., Bruhn, C. M. (2007). Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds, *Journal of Sci Food Agric.*, 87, 930—944. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2825>.

Saltan, G., Süntar, I., Ozbilgin, S., Ilhan, M., Demirel, M., Oz, B., Akkol, E. (2016). *Viburnum opulus* L.: a remedy for the treatment of endometriosis demonstrated by rat model of surgically-induced endometriosis. *J. Ethnopharmacol.*, 193, 450—455. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.029>.

Sandell, M., Laaksonen, O., Lunden, S. (2012). Flavour properties and chemistry of berries, *Berries: Properties, Consumption and Nutrition*. University of Turku. Nova Science Publisher.

Simakhina, G., Naumenko, N., Bazhay-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>.

The Nutrition Source (2023). The Nutrition Source. URL: <https://hsph.harvard.edu/nutritionsource/vitamins> (access date 10.03.2024).

Toor, R. K., Savage, G. P. (2006). Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.*, 99(4), 724—727. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.049>.

Viña, S. Z., Chaves, A. R. (2006). Antioxidant response in minimally processed celery during refrigerated storage. *Food Chem.*, 94(1), 68—74. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.051>.

Yang, B., Haltunen, T., Raimo, O., Price, K., Kallio, H. (2009). Flavonol glycosides in wild and cultivated berries of three major subspecies of *Hippophae rhamnoides* and changes during harvesting period, *Food Chemistry*, 115(2), 657—664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.073>.

Zlabur, J. S., Mikulec, N., Dozdor, L., Duralija, B., Galic, A., & Voca, S. (2021). Preservation of Biologically Active Compounds and Nutritional Potential of Quick-Frozen Berry Fruits of the Genus. *Rubus. Processes*, 9(1940), 1—19. <https://doi.org/10.3390/pr9111940>.