

SPECIAL ASPECTS OF FREEZING BERRIES OF TENDER TEXTURE

G. Simakhina, S. Khalapsina

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<p><i>Freezing</i> <i>Phase transitions</i> <i>Strawberries</i> <i>Optimal conditions</i> <i>Defrostation</i> <i>Biological value</i> <i>Organoleptic indices</i></p>	<p>The most effective modern method to preserve the juicy plant products is their freezing. The fast freezing with the temperatures of $-30...-35^{\circ}\text{C}$ that was used in this work allowed obtaining the high-quality semi-products from strawberries, which kept their characteristics (texture, color, smell, taste, and biocomponent array) after 6 months of storage and further defrostation. Taking the cultivated strawberries for a basis, we proved and studied the optimal conditions of freezing raw material with tender texture, which provide the minimal losses of cellular juice by the final products in their thawing. These losses are the result of cryogenous physical factors harmful for a cell, depending on phase transition from water into ice and formation of ice crystals with definite structure. It is expedient to process the raw berries by solutions of efficient cryoprotectors before freezing and thereafter freeze them with receptacles for the formation of small-crystalline ice that would be minimally harmful for the material.</p>
<p>Article history: Received 16.04.2015 Received in revised form 17.03.2015 Accepted 24.04.2015</p>	
<p>Corresponding author: G. Simakhina E-mail: nphuht@ukr.net</p>	

ОСОБЛИВОСТІ ЗАМОРОЖУВАННЯ ЯГІД З НИЖНОЮ ТЕКСТУРОЮ

Г.О. Сімахіна, С.В. Халапсіна

Національний університет харчових технологій

Найбільш ефективний сучасний спосіб зберігання соковитої рослинної продукції — це її заморожування. Використане в даному дослідженні швидке заморожування при температурах $-30...-35^{\circ}\text{C}$ дало змогу отримати якісні напівфабрикати з ягід суниці, які після зберігання протягом 6 місяців і дефростації відзначаються цілісністю текстури, кольором, запахом, смаком і біокомпонентним складом вихідної сировини. На прикладі ягід садової суниці обґрунтовано та вивчено оптимальні умови заморожування матеріалу з ніжною текстурою, які забезпечують мінімальні втрати клітинного соку отриманих напівфабрикатів при дефростації. Ці втрати є результатом кріоушкоджуючих фізичних впливів на клітину, які залежать від фазового переходу води в лід і формування кристалів льоду певної структури. Для формування дрібнокристалічної структури льоду, яка відзначається мінімальними кріоушкодженнями, ягідну сировину з ніжною текстурою доцільно перед заморожуванням обробляти розчинами ефективних кріопротекторів і заморожувати разом із квітколожем.

Ключові слова: заморожування, фазові переходи, суниці, оптимальні умови, дефростація, біологічна цінність, органолептичні показники.

Постановка проблеми. За сучасними уявленнями медиків і фізіологів, здоровий раціон має включати 70...75 % продуктів рослинного походження, а решта — тваринного. У зв'язку з цим міжнародні організації з питань харчування встановили норму споживання овочів, фруктів та ягід від 400 до 600 г щодня. Загальновідомо, що саме ці дари природи є багатим джерелом вітамінів, мінеральних сполук, інших есенціальних компонентів. У них — усе необхідне для здоров'я: і клітковина, яка активує роботу шлунково-кишкового тракту, і ензими, які сприяють перетравлюванню нутрієнтів, і вітаміни, які забезпечують їх засвоєння. Їхня нестача здатна викликати істотні порушення у функціонуванні організму, в тому числі у здійсненні процесів асиміляції та дисиміляції біокомпонентів. Всесвітньовідомий швейцарський професор М. Бірхер-Беннер був переконаний у тому, що рослинна їжа віддає організмові енергію, отриману нею від Сонця.

Відомо також, що рослинна їжа відіграє ще одну, надзвичайно важливу роль у підтриманні стійкого гомеостазу організму — у збереженні лужної реакції у кислотнo-лужній рівновазі, тому кожному споживачеві необхідно отримувати достатню кількість рослинної їжі, а серед усього її розмаїття пріоритет належить продуктам із лужною реакцією — ягодам, овочам, фруктам.

Плодоовочева сировина має сезонний характер вирощування і через велику кількість води (до 95 %) не підлягає тривалому зберіганню, тому технологи й переробники сільськогосподарської продукції використовують різні методи консервування, аби максимально повно зберегти її цілющі властивості впродовж тривалого зберігання. Так, за результатами наших досліджень [1], втрати вітаміну С при так званому швидкому заморожуванні у більшості видів досліджених ягід не перевищують 7...8 %. Для порівняння: при традиційних високотемпературних способах сушіння фруктово-ягідна сировина втрачає аскорбінову кислоту майже повністю. Проведені нами попередні дослідження показали, що ягоди суниці, які заморозили відразу після збирання, містили через 6 місяців зберігання при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ утричі більше аскорбінової кислоти, ніж вирощені у теплицях.

Слід зазначити також, що в процесі кулінарного приготування замороженої продукції втрати вітамінів, вітаміноподібних сполук та інших нутрієнтів значно менші, ніж при використанні свіжих матеріалів, оскільки заморожені плоди та овочі не потрібно мити, очищати від шкірки, різати тощо, тому тривалість оброблення заморожених продуктів у 5...6 разів менша. Разом з тим, під впливом низьких температур значна частина біокомпонентів напівфабрикатів переходить із зв'язаного стану у вільний, що підвищує ефективність їх засвоєння живим організмом.

У більшості випадків заморожену продукцію, отриману відповідно до раціональних технологічних режимів, можна зберігати без погіршення її якості протягом 12 місяців. Результати наших досліджень показали, що температура зберігання $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ забезпечує гарантовану якість продукції протягом одного місяця, а при $-4...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ — протягом тижня.

Результати власних досліджень і досліджень інших авторів показали, що найбільш придатними до заморожування з культурних ягід є чорна та червона смородина, малина, суниця садова, агрус, вишня, а з дикорослих — кизил, чорниця, лохина, журавлина, брусниця й лісові суниця [1, 2]. Серед ягідних культур, у тому числі дикорослих, суниця, полуниця, малина мають найбільшу питому вагу і відзначаються надзвичайно високою біологічною цінністю: вони містять найбільше заліза (до 2 мг / 100 г), аскорбінової кислоти не менше, ніж у цитрусових (до 100 мг / 100 г), досить високі як для рослинних культур концентрації кальцію (до 60 мг / 100 г), а за вмістом клітковини переважають усі традиційні плоди, ягоди, фрукти (від 4 до 5,7 мг / 100 г) [3].

З давніх часів суниця служили людям не лише як смачний продукт, а й прекрасні ліки. Уже за декілька століть до нашої ери були відомі цілющі властивості плодів, листя, квіток і насіння суниць, тому і вважали їх майже універсальним засобом від усіх хвороб. І лісові, і культурні суниця містять легкозасвоювані цукри (глюкозу та фруктозу), що дозволяє відразу ж віднести їх до дієтичних продуктів, особливо корисних у харчуванні дітей і людей похилого віку. Органічних кислот (лимонної, яблучної, саліцилової, хінної) у цих ягодах менше, ніж цукрів. Багаті суниця на вітаміни С, В₁, В₂, РР, фолієву кислоту, каротиноїди. Цілющих властивостей надає їм і значний вміст мікроелементів, що беруть участь у процесах кровотворення — заліза, міді, кобальту, марганцю. А за концентрацією кальцію суниця посідають перше місце серед фруктів і ягід. Ще одним критерієм віднесення ягід суниць до категорії дієтичного й лікувального харчування є наявність у них значних кількостей пектинових речовин і клітковини — ніжної й водночас досить ефективної у впливові на моторику й секреторну функцію органів травлення, виведенні «шкідливого» холестерину. Як і для інших плодово-ягідних культур, спостерігається виявлена багатьма дослідниками закономірність — ягоди диких суниць значно багатші на біологічно активні речовини, ніж садових.

Так, С. Ільїна [4] дуже спостережливо відзначила ще одну природну особливість їстівних рослинних матеріалів: що коротшим є життя рослини і що менший термін зберігання її плодів у свіжому вигляді, то більшу кількість її компонентів можна використати для зміцнення здоров'я та лікування хвороб. Ось і в даному випадку власний досвід роботи із суницею, результати досліджень інших авторів свідчать про те, що в цій рослині можна раціонально використати всі вегетативні частини: починаючи із коріння й закінчуючи ягодами, поверхня яких усіяна насінням, у якому сконцентровано максимальну кількість заліза.

Застосування сучасних способів заморожування надає можливість заготувати на весь рік цю чудодійну продукцію, яка віддаватиме при споживанні поглинену енергію Сонця і задовольнятиме нутрієнтні потреби найвибагливіших споживачів. Єдиним протипоказанням до вживання свіжих, заморожених, сушених ягід суниць є підвищена кислотність шлункового соку, ниркова та печінкова недостатність, алергія.

Ягоди суниць є дуже цінними для заморожування культурами. Однак на сьогодні суниця та інші подібні види ягід в Україні практично не заморожують, зважаючи на їхню досить ніжну текстуру, що потребує розроблення

спеціальних режимів консервування холодом. Вони повинні забезпечити мінімальне витікання соку при дефростації заморожених напівфабрикатів, оскільки при цьому втрачаються есенціальні біологічно активні речовини, а якість і органолептична оцінка різко знижуються.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні та вивченні оптимальних умов заморожування ягід з ніжною текстурою, які забезпечують мінімальні втрати клітинного соку отриманих напівфабрикатів при дефростації.

Виклад основних результатів дослідження. Поряд із дикорослими ягодами суниці, широко розповсюдженими на території України, успішно культивуються такі сорти, як Коралка, Саксонка, Комсомолка, Аеліта, Вікторія, Ананасна рожева, Делікатес, Рощинська, Луїза тощо. Дослідження проведено на сортах Коралка, Аеліта, Вікторія, Рощинська, які дають ягоди великого або середнього розміру, з красивим забарвленням, ароматною м'якоттю та ніжною текстурою. При проведенні досліджень використано стандартні методики визначення вмісту сухих речовин, основних біокомпонентів ягід, органолептичної оцінки.

Для проведення експериментів із заморожування ягоди сортували, проводили інспекцію, мили, підсушували у повітряному потоці. Потім заморожували розсипом у низькотемпературній морозильній камері у повітряному середовищі «шоковим» методом при температурі $-35...-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ та інтенсивному перемішуванні повітря до досягнення в центрі продукції температури $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Заморожені ягоди закладали в поліетиленові пакети з товщиною плівки $40...50\text{ }\mu\text{m}$ місткістю $0,5\text{ кг}$ з подальшою герметизацією термозварюванням. Ягоди зберігали в пакетах при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 6 місяців. Температуру замороженої продукції заміряли напівпровідниковим вимірювачем температури.

За отриманими результатами провели порівняльну характеристику основних груп біологічно активних речовин (БАР) ягід суниці до і після заморожування для визначення рівня їх можливих втрат. Імовірність розбіжності між сортами підтверджено на 5-відсотковому рівні значущості. Отримані дані наведено у табл. 1.

Аналіз табличних даних показує, що обрані для досліджень сорти суниць містять достатню кількість органічних кислот (у полуницях, наприклад, їх утричі менше), що надає продуктам поживної і біологічної цінності; цукрів; певну концентрацію аскорбінової кислоти і значні кількості клітковини. Усі досліджені сорти суниць містять вітаміну С більше, ніж цитрусові.

Заморожування дещо змінює вміст цукрів і клітковини, причому у тих сортах, де сума цукрів після заморожування зростає, вміст клітковини зменшується, що є логічним результатом процесів біотрансформації компонентів при заморожуванні. Вміст органічних кислот змінюється незначно.

Отримані дані підтвердили результати попередніх досліджень: втрати аскорбінової кислоти при заморожуванні складають від 3,7% (сорт Рощинська) до 7,2% (сорт Аеліта). Максимальна частка втрат вітаміну С припадає на ягоди сорту Аеліта. Це не випадково. Відповідно до наведеного у табл. 1 біокомпонентного складу, цей сорт містить найменше цукрів, які є природними кріопротекторами і підвищують здатність матеріалів до холодових адаптацій при заморожуванні. Згідно з отриманими даними, вміст органічних кислот у

5...6 разів менший, ніж цукрів; така комбінація створює особливий смаковий букет, посилений ефірними оліями, ароматичними сполуками тощо.

Таблиця 1. Хімічний склад ягід суниці свіжої і швидкозамороженої

Сорт	Вміст, %							
	Сума цукрів		Сума кислот (за яблучною)		Клітковина		Аскорбінова кислота, мг / 100 г	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Коралка	7,4	7,7	1,2	1,1	3,5	3,1	60,2	56,1
Аеліта	6,8	6,2	1,1	0,9	4,0	4,0	64,0	59,4
Вікторія	8,1	8,3	1,0	1,1	4,2	3,8	68,8	65,0
Рошинська	8,0	8,7	1,5	1,3	3,8	3,2	70,4	67,8

Примітка. 1 — свіжі ягоди суниць; 2 — заморожені ягоди.

Уже зазначалося, що для ягід з ніжною текстурою необхідним є розроблення спеціальних технологій заморожування, за яких текстура не ушкоджується і при дефростації сік або не витікає, або втрачається у незначних кількостях. Ніжна текстура ягід суниці і подібних видів зумовлена будовою самих ягід. Так, на поздовжньому розрізі ягоди суниці чітко видно ендосперм і зародковий мішок, тобто потовщене квітколоже з насінням [5]. Ендосперм складається з великих, щільно розташованих полігональних клітин. Внутрішня частина кожної клітини заповнена великими зернятами полісахаридів, а в клітинах ендосперму містяться кристали сахарози. Паренхіма як головна частина м'якоти ягоди складається з довгих великих клітин, у ній трапляються радіально розміщені прозенхімні клітини, менші за розмірами, розташовані щільніше. Зважаючи на таку складну структуру ягід суниць, при заморожуванні необхідно досягти мінімальної деформації паренхімних і прозенхімних клітин, запобігти розриву клітинних оболонок, що надасть можливість при дефростації уникнути витікання клітинного соку, а з ним і цінних сполук.

Другою особливістю структури ягід суниць є наявність у них потовщеного квітколожа. Попередні дослідження показали, що очищена перед заморожуванням від квітколожа ягода після дефростації має значно нижчі якісні та органолептичні показники, ніж неочищена, тому наступний етап дослідження присвячено вивченню динаміки величин втрат соку дефростованих ягід суниці відразу після заморожування і після зберігання.

Результати досліджень, отриманих у кріобіології та кріомедицині, свідчать про те, що достатнього захисту клітин біологічних об'єктів при заморожуванні можна досягти використанням кріопротекторів [6].

Згідно з літературними даними, для низькотемпературного консервування різних біологічних об'єктів використовують різноманітні за своєю природою і складом композиції кріопротекторів, що містять власне кріопротектори (гліцерин, диметилсульфоксид, сахароза, глюкоза, фруктоза, розчини солей тощо) та інші сполуки, біокатіони, метаболіти та інгібітори метаболізму, які надають можливість покращувати стан фізіологічних і метаболічних систем клітин, що піддаються заморожуванню й відігріванню.

На підставі виконаних попередніх досліджень було підібрано оптимальні концентрації кріопротекторів та їх композиції. Дослідні зразки попередньо

обробляли розчинами кріопротекторів протягом 60 хв при температурі 20...25 °С, а контрольний зразок заморожували без оброблення. Швидкозаморожені ягоди зберігали протягом 6 місяців, відбираючи проби через 1, 3, 6 місяців і аналізуючи їх на величину втрат соку при дефростації. Дефростацію проводили при температурі 37...40 °С на водяній бані впродовж 50...60 хв.

У табл. 2 наведено результати досліджень величини втрат соку ягід суниці, заморожених під захисною дією різних кріопротекторів разом із квітколожем, і різних термінів зберігання.

Таблиця 2. Залежність втрат клітинного соку ягід суниці з квітколожем при заморожуванні і дефростації від виду кріопротектора, %

Вид кріопротектора	Терміни зберігання, міс.			
	0	1	3	6
Контроль	10,7	11,3	11,0	11,4
Гліцерин, 10%	6,1	6,4	6,6	6,2
Гліцерин, 10% + глюкоза, 10%	3,2	3,6	3,7	3,7
Глюкоза, 10%	6,8	7,1	7,5	6,6
Сахароза, 10%	5,4	5,6	5,4	5,5
Сахароза, 10% + CaCl ₂ , 2%	5,0	5,2	5,7	6,4
Сахароза, 10% + лимонна кислота, 1%	4,6	4,9	5,2	4,4

Аналіз даних, наведених у табл. 2, показує, що максимальна величина втрат клітинного соку спостерігається відразу після заморожування сировини, і для ягід, необроблених кріопротекторами, складає 10,7 %; у процесі зберігання навіть протягом 6 місяців втрати клітинного соку після дефростації залишаються практично на рівні, що був виявлений відразу при дефростації швидкозаморожених ягід. Використання ефективних кріопротекторів дає змогу зменшити втрати клітинного соку при розморожуванні в 2...3 рази.

Порівняння втрат клітинного соку при дефростації швидкозаморожених ягід через 6 місяців їх зберігання показує, що від'ємна температура зберігання (-18 °С) також відіграє роль захисного чинника, який дає змогу підтримувати цілісність тих клітин, що залишились незруйнованими після заморожування. Із досліджених кріопротекторів найбільш ефективними виявились такі суміші: гліцерин (10 %) + глюкоза (10 %); сахароза (10 %) + лимонна кислота (1 %); сахароза (10 %) + CaCl₂ (2 %). Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень авторів [7].

Аналогічні дослідження виконано з ягодами суниці, очищеними від квітколожа. Результати наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Залежність втрат клітинного соку ягід суниці без квітколожа при заморожуванні і дефростації від виду кріопротектора, %

Вид кріопротектора	Терміни зберігання, міс.			
	0	1	3	6
1	2	3	4	5
Контроль	22,6	23,1	23,4	22,3
Гліцерин, 10%	12,4	12,7	12,7	12,1
Гліцерин, 10% + глюкоза, 10%	7,7	8,0	7,9	8,3
Глюкоза, 10%	10,5	10,9	10,9	10,0

1	2	3	4	5
Сахароза, 10%	8,2	8,2	8,6	8,8
Сахароза, 10% + CaCl ₂ , 2%	8,0	8,5	8,3	8,3
Сахароза, 10% + лимонна кислота, 1%	7,9	8,4	8,0	8,2

Порівняння даних табл. 2 і 3 свідчить про те, що ягоди суниці з квітколожем, заморожені з використанням кріопротекторів або без них, краще зберігають свою якість, ніж очищені від квітколожа. При дефростації з таких ягід менше витікає соку, оскільки при очищенні ягід у місцях відриву квітколожа частина м'якоті оголюється і цілісність клітин порушується. Це сприяє швидшому перебігові біохімічних процесів у заморожених ягодах навіть при низьких температурах зберігання, що, врешті-решт, призводить до зниження якості заморожених напівфабрикатів та їхніх органолептичних показників.

Висновки

Рационально організоване виробництво замороженої плодовоовочевої продукції, в тому числі дикорослої, надає можливість не лише забезпечити населення високовітамінними матеріалами, а й сформувані корисні для здоров'я харчові звички та уподобання, значною мірою реалізувати один із основних принципів здорового харчування — індивідуалізоване харчування, що загалом забезпечує нормальну роботу всіх функцій організму і найсприятливішу чітку взаємодію їх між собою. У зимово-весняний період заморожені плодово-овочеві напівфабрикати мають більшу біологічну цінність, ніж свіжа продукція, вирощена в цей час у парникових умовах, і значно безпечніші з точки зору вмісту шкідливих сполук.

Серед ягідних культур, у тому числі дикорослих, суниці, поряд із полуницями та малиною, мають найбільшу питому вагу і відзначаються високою біологічною цінністю, тому розроблення оптимальних умов заморожування ягід суниці надає можливість отримати високовітамінні напівфабрикати, придатні для вживання впродовж року. Особливостями технології заморожування ягід суниці та інших видів з ніжною текстурою є, по-перше, доцільність попереднього їх оброблення природними кріопротекторами, передусім моно- та дисахаридами, у комбінації з гліцирином, лимонною кислотою та CaCl₂ і, по-друге, заморожування ягід разом із квітколожем.

Ягоди втрачають найбільше клітинного соку безпосередньо після заморожування, а подальше зберігання при низьких температурах не поглиблює цей процес. Використання кріопротекторів дає змогу значно нівелювати структурно-фізичні зміни рослинних тканин при заморожуванні і в реально доступних межах зберігати структуру і функціональну цілісність більшості клітин у процесах заморожування-відігрівання.

При заморожуванні ягід, у тому числі дикорослих, можна готувати суміші в будь-якому асортименті або заморожувати окремі види ягід. За потреби ягоди дефростують при температурі 37...40 °С протягом 50...60 хв, а потім використовують для приготування смачних, апетитних високовітамінних десертів, коктейлів, кисломолочних продуктів, соків і напоїв, для оздоблення кондитерських виробів. Їх можна застосовувати як напівфабрикати для виготовлення варення, джемів, компотів, фруктового морозива, шербетів, пломбірив тощо.

Література

1. *Сімахіна Г.О.* Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів: монографія / Г.О. Сімахіна, Н.В. Науменко. — К.: Видавництво «Сталь», 2011. — 363 с.
2. *Одарченко Д.М.* Товарознавча характеристика заморожених фруктових начинок у процесі тривалого зберігання / Д.М. Одарченко, А.В. Євтушенко // Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць / редкол.: О.І. Черевко (відп. ред.) та ін.; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. — Харків, 2008. — Вип. 2 (8). — С. 338—344.
3. *Формаюз В.И.* Энциклопедия пищевых лекарственных растений: культурные и дикорастущие растения в практической медицине / В.И. Формаюз. — К.: Изд-во А.С.К., 2003. — 792 с.
4. *Ильина С.И.* Двенадцать месяцев здоровья: в 2-х т. — Т.1 / С.И. Ильина. — К.: Логос, 1998. — 320 с.
5. *Серебряков И.Г.* Морфология и анатомия растений [Электронный ресурс] / И.Г. Серебряков. — Режим доступа: <http://www.botanik-learn.ru/botanika-3>.
6. *Пушкар Н.С.* Низкотемпературная кристаллизация в биологических системах / Н.С. Пушкар, А.М. Белоус и др. — К.: Наукова думка, 1997. — 238 с.
7. *Доценко Н.В.* Комплекс криозащиты растительного сырья при холодильном консервировании: дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук: 05.18.13 / Н.В. Доценко. — Одесса, 1998. — 186 с.

ОСОБЕННОСТИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЯГОД С НЕЖНОЙ ТЕКСТУРОЙ

Г.А. Симахина, С.В. Халапсина

Национальный университет пищевых технологий

Самый эффективный способ хранения сочной растительной продукции — ее замораживание. Использованное в данном исследовании быстрое замораживание при температурах $-30...-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволило получить качественные полуфабрикаты из ягод земляники, отличающиеся целостностью текстуры, цветом, запахом, вкусом и биокомпонентным составом исходного сырья даже после хранения в течение 6 месяцев и дефростации. На примере ягод садовой земляники обоснованы и изучены оптимальные условия замораживания материала с нежной текстурой, которые обеспечивают минимальные потери клеточного сока полученных продуктов при дефростации. Эти потери являются результатом криоповреждающих физических воздействий на клетку, зависящих от фазового перехода воды в лед и формирования кристаллов льда определенной структуры. Для формирования мелкокристаллической структуры льда, отличающейся минимальными криоповреждениями, ягодное сырье с нежной текстурой целесообразно перед замораживанием обрабатывать растворами эффективных криопротекторов и замораживать вместе с цветоложем.

Ключевые слова: замораживание, фазовые переходы, земляника, оптимальные условия, дефростация, биологическая ценность, органолептические показатели.