

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КРІОПРОТЕКЦІЇ ПЛОДІВ ТА ЯГІД ПЕРЕД ЗАМОРОЖУВАННЯМ

Найбільш ефективним, глибоким і вагомим підходом до вдосконалення технології заморожування рослинного матеріалу є його первинне оброблення розчинами органічних і мінеральних сполук – кріопротекторів, які запобігають ушкодженню клітин і структур біологічних об'єктів при впливі низьких температур, при зберіганні та дефростації, завдяки чому забезпечується мінімальні втрати клітинного соку при дефростації, що означає вищу харчову і біологічну цінність готового продукту, його смак, аромат, консистенцію та колір.

Результати літературних даних та власних експериментальних досліджень переконливо свідчать про те, що мінімізація втрат аскорбінової кислоти при заморожуванні та зберіганні ягід можна досягти саме за допомогою методів кріопротекції.

Цей напрям дуже мало досліджений у роботах і вітчизняних, і зарубіжних науковців, тому його розвиток і встановлення певних закономірностей максимального збереження аскорбінової кислоти, в тому числі за допомогою методів математичного моделювання, є актуальним як для теорії, так і для практичного вдосконалення технологій заморожування. Це і є метою даної роботи.

Математичне моделювання дозволяє проаналізувати поведінку об'єкта з різними значеннями фізичних величин і технічних параметрів, а також отримати характеристики і показники, які складно визначити експериментально. Залежно від прийнятих положень при складанні моделі один і той же процес можна описати різними математичними моделями і отримати різний ступінь точності. Математичне моделювання розглядається як узагальнення фізичного способу розширеного кодування фізичних величин. Це дає можливість додатково спростити практичні завдання, пов'язані з пошуком оптимальних технологічних режимів, які знижують витрати на виробництво необхідної якості, визначають конструкції складових машин і обладнання, а також забезпечують стабільність процесу у встановленому оптимальному режимі [1].

Використання математичної моделі дозволяє розв'язати практичні задачі: знайти оптимальні параметри технологічного процесу, щоб досягти виробництво продукту найвищої якості. В нашому випадку підібрати оптимальну тривалість оброблення, створити комбінований кріопротектор, який забезпечить максимальне збереження вітаміну С при заморожуванні, а також прогноз зміни вмісту вітаміну С від зовнішніх чинників – зміни концентрації кріопротектора та тривалості оброблення ягід.

Математичне моделювання є основним сучасним методом системного дослідження. Як правило, концептуальна модель об'єкта дослідження включає проектування, формалізацію і перетворення її на математичну або комп'ютерну модель, методологію аналізу і роботи, а також подальше вивчення моделі, отриманої за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Використання методів моделювання дозволяє отримати більш точну інформацію про поведінку і характеристику досліджуваних систем і процесів, ніж при їх безпосередньому вивченні, витрачаючи при цьому менше коштів та часу [2].

Не випадково елементи математичного моделювання використовуються з часу виникнення точних наук, а деякі розрахункові методи, показники та критерії називаються іменами таких корифеїв, як Ньютон і Ейлер. Наступним етапом розвитку цієї системи був кінець 40-50-х років ХХ століття, принаймні з двох причин. Першою з них є поява комп'ютерів. Це допомогло вченим зменшити величезний обсяг обчислювальної роботи. Друга – реалізація національних програм у СРСР і США для створення ядерного ракетного щита, яка не могла бути здійснена звичайними засобами. Математичне моделювання також слугувало цій меті: ядерні вибухи і ракетно-супутниковий політ спочатку спрогнозував

комп'ютер з використанням математичних моделей, які пізніше були застосовані на практиці.

Таким чином, використання математичного моделювання в даному конкретному напрямі сприятиме розвитку та застосуванню нових ефективних методів заморожування, основним призначенням яких є збереження у цільовому продукті максимальної концентрації аскорбінової кислоти як найбільш лабільного складника усіх плодів та ягід.

Розроблена нами технологія заморожування ягід з кріопротекторами допускає цілеспрямовану зміну всіх найбільш суттєвих вхідних факторів (тривалість обробки ягід кріопротекторами та підбір комбінованого кріопротектора) [3]. Тому для побудови математичної моделі нашого об'єкта ми застосовували повний факторний експеримент, тобто здійснили процедуру вибору числа і умов проведення досліджень, необхідних і достатніх для отримання математичної моделі процесу заморожування біооб'єктів. При цьому ми прагнули до мінімізації числа дослідів, одночасно варіюючи всі змінні, які визначають процес; обирали чітку стратегію, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів [4].

Уже зазначали, що метою заморожування плодово-ягідної сировини є максимальне збереження цінних її біокомпонентів, передусім вітаміну С. Тому параметром оптимізації ми обираємо показник вмісту аскорбінової кислоти у свіжій та замороженій сировині, оскільки саме він свідчить про досконалість розробленої технології. На збереження вмісту аскорбінової кислоти у заморожених напівфабрикатах найбільш істотний позитивний вплив справляє попереднє оброблення плодів та ягід розчинами кріопротекторів, їхній склад, тривалість оброблення.

Розглянемо ефективність попереднього оброблення плодово-ягідної сировини (на прикладі ягід чорної смородини).

Для перевірки достовірності отриманих результатів складаємо математичні моделі та побудову плану фактичного експерименту.

Ми здійснили трифакторний експеримент для визначення умов попереднього оброблення ягід комбінованим кріопротектором – сумішшю глюкози і лимонної кислоти.

На основі результатів попередніх досліджень прийняли вміст лимонної кислоти від 0,5 до 1,5%, оскільки збільшення концентрації негативно впливало на органолептичні показники заморожених ягід. При трифакторному експерименті в якості змінних виступають такі показники:

$x_1(C_1)$ – вміст глюкози, %;

$x_2(C_2)$ – вміст лимонної кислоти, %;

$x_3(t)$ – тривалість оброблення, хв.

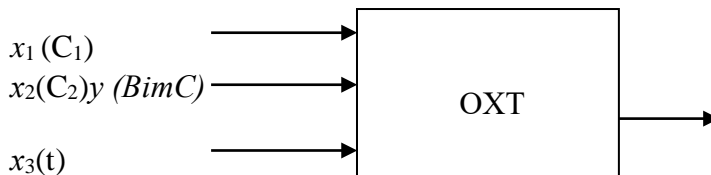
$y(BimC)$ – вміст вітаміну С в ягодах чорної смородини.

У загальному вигляді функцію можна представити так:

$$y = f(x_1, x_2, x_3)$$

(1)

Загальна схема математичної моделі має вигляд:



Залежність вхідних параметрів від вихідної функції є лінійною, виходячи з цього, складаємо рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ — коефіцієнти регресії.

Для проведення дослідів складаємо спеціальні матриці планування експерименту з указаним їх числом та межами зміни факторів. Матриця представляє собою перелік варіантів, взятих в даній серії дослідів. У безвимірному виразі верхній рівень буде позначений (+1), а нижній (-1).

У таблиці 1 наведено матрицю трифакторного експерименту з факторами та параметром оптимізації (вмістом вітаміну С) в ягодах чорної смородини.

Таблиця 1 – Матриця трифакторного експерименту

№ п/п	Фактори			Параметр оптимізації (вміст вітаміну С)			
	C ₁ , %	C ₂ , %	t, хв	y ₁	y ₂	y ₃	Уср.
1	10	0,5	10	145,4	150,6	132,2	142,7
2	20	1,5	10	162,2	146,8	164,6	157,9
3	10	1,5	60	158,8	166,4	149,5	158,2
4	20	0,5	60	196,6	182,1	190,4	189,7
5	10	0,5	60	146,6	150,8	154,4	150,6
6	20	1,5	60	237,4	240,1	246,8	241,4
7	10	1,5	10	158,8	150,2	160,4	156,5
8	20	0,5	10	155,5	158,8	142,6	152,3

Література

1. Марценюк О.С., Мисюра Т.Г., Попова Н.В. Особливості моделювання складних технологічних систем у харчових технологіях. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Том 24, № 3. С. 122–131.
2. Семенова І.Ю. Математичні моделі МСС: навчальний посібник. Київ: Київський нац. ун-т ім. Т. Г. Шевченка, 2014. 82 с.
3. Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Особливості заморожування ягід з ніжною текстурою. *Наукові праці НУХТ*. 2015. Т. 21, №4. С. 198–205.
4. Бодров В.С., Зав'ялов В.Л., Мисюра Т.Г. Математико-статистичні методи досліджень: Курс лекцій. Київ: НУХТ, 2007. 106 с.