

Динамічне моделювання процесу кристалізації води у морозиві

Н.М. Бреус, Л.Ю. Маноха, Г.Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

В процесі виробництва загартованого морозива для контролю його якості варто враховувати вміст вимороженої води та чинники, що впливають на цей показник. З цією метою досліджено динаміку виморожування води залежно від ряду чинників, а саме – технологічних етапів та хімічного складу продукту. Для розуміння механізму кристалоутворення в широкому діапазоні жирності морозива на молочній основі із зародками пшениці обрано модельні суміші з масовою часткою жиру у межах від 0 до 20 % та масовою часткою зернового компонента – від 0 до 5 %.

Для комплексного аналізу динаміки зміни вмісту вимороженої води в системі було побудовано багатофакторну авторегресійну модель першого порядку $Y=3.92+0.956Y_{t-1}$, де Y – вміст вимороженої води, а t – етапи технологічного процесу. Статистичні параметри даної моделі свідчать про доволі помітний вплив значень попереднього етапу: множинний $R=0.939$, R^2 (коефіцієнт детермінації)=0,894 на кожний наступний етап технологічного процесу. Значення коефіцієнта детермінації свідчить, що 89,4% загальної варіації результативної ознаки пояснюється варіацією факторної ознаки.

Графічні динамічні моделі виморожування води за окремими етапами технологічного процесу для морозива на молочній основі всіх груп (молочного, вершкового та пломбіру) наведено на рис. 1, а залежно від вмісту зародків пшениці – на рис. 2.

За основні етапи прийнято наступні:

- етап №1 – температура фризеравання і виходу м'якого морозива з фризера ($-6\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- етап №2 – порогова температура зберігання загартованого морозива ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- етап №3 – режим зберігання морозива тривалістю до 10 місяців ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- етап №4 – режим зберігання морозива тривалістю до 12 місяців ($-24\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- етап №5 – нижня межа загартування морозива безперервним способом ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- етап №6 – верхня межа загартування морозива безперервним способом ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

З рис. 1 чітко видно, що основна частина води виморожується під час етапу №1 (до 60 %) та етапу №2 (до 83 %). За етапів №3-6 процес кристалоутворення сповільнюється, досягаючи свого максимуму за верхньої межі загартування безперервним способом – 93...95 %. Таким чином, підтверджується найвагоміша роль процесу фризеравання, під час якого виморожується основна частина вільної води, вміст якої, в першу чергу, залежить від хімічного складу.

Відповідно до рис. 2 для морозива з високим вмістом жиру (вершкове та пломбір) характерна найменша кількість вимороженої води, яка коливається в

межах 43...54 % порівняно з морозивом молочним, для якого це значення досягає майже 60 %. Поясненням даного ефекту може бути значення енергії зв'язку між часточками дисперсійного середовища, що залежить від ряду чинників, у першу чергу від масової частки жиру у морозиві [1]. Враховуючи високий вміст води (68...72 %) для низькожирних видів морозива, кількість міцнозв'язаної води для морозива молочного порівняно з високожирними видами найменша (майже вдвічі), що і є причиною швидкого зародження кристалів льоду на початку фризеравання з подальшою тенденцією до зрощення в агломерати великих розмірів. Вирішенням цієї проблеми може бути або скорочення тривалості процесу фризеравання, або кореляція хімічного складу. Введення до складу морозива зародків пшениці, що містять фрагменти стінок рослинних клітин як центрів кристалізації, позитивно впливає на процес утворення кристалів льоду включно до етапу №3, забезпечуючи рівномірний розподіл по всій масі і таким чином, перешкоджаючи їх зрощенню між собою.

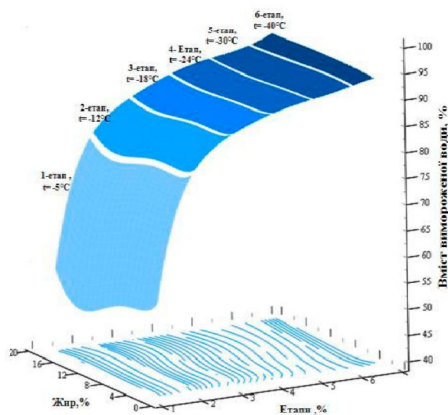


Рис. 1 – Графічні динамічні моделі виморожування води за окремими етапами технологічного процесу для морозива на молочній основі.

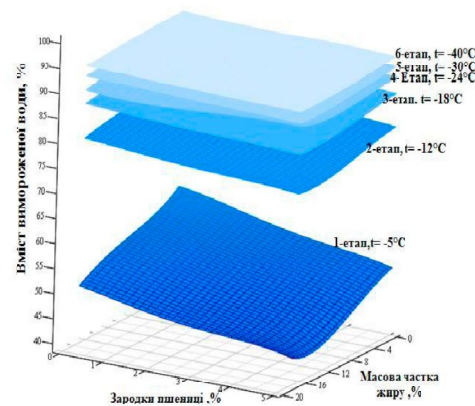


Рис. 2 – графічні динамічні моделі виморожування води за окремими етапами технологічного процесу, залежно від вмісту зародків пшениці у морозиві на молочній основі

Отже, за допомогою динамічного моделювання підтверджено найвагомішу роль процесу фризеравання, під час якого виморожується основна частина вільної води, вміст якої, в першу чергу, залежить від хімічного складу. Введення до складу морозива зародків пшениці, що містять фрагменти стінок рослинних клітин як центрів кристалізації, позитивно впливає на процес утворення кристалів льоду включно до температурної межі -18 °С.

Література

1. *Damodaran S.* Inhibition of Ice Crystal Growth in Ice Cream Mix by Gelatin Hydrolysate / S. Damodaran // *Journal of Agriculture Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 55, № 12. – P. 1918-1923.
2. *Мышкис А. Д.* Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с.
- Блехман И. И.* Прикладная математика: Предмет, логика, особенности подходов. С примерами из механики: Учебное пособие / И. И. Блехман, А. Д. Мышкис, Н. Г. Пановко – 3-е изд., испр. и доп. — М.: УРСС, 2006. — 376 с.