

ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕТАННИХ ДЕСЕРТІВ

Запропоновано класифікацію молочних дисперсних систем, реологічні моделі для моделювання консистенції і прилади її вимірювання. Досліджено вплив желатину, карагенану, пектину та ксантанової камеді на реологічні характеристики сметанних десертів безпосередньо при виготовленні в діапазоні температур 20...60 °С та після 6...12 год. структурування.

Ключові слова: стабілізатори структури, молочні продукти, реологія.

Використання стабілізаторів структури (або структуроутворювачів) у харчових технологіях дає змогу формувати текстуровані продукти нових видів. Такі технології є новими. В процесі їх розроблення виникають складнощі добору стабілізаторів структури до кожної групи продуктів, які забезпечили б потрібну консистенцію [9].

На кафедрі технології молока і молочних продуктів НУХТ розроблено сметанні десерти (СД), що структуровані різними стабілізаторами. Ці стабілізатори добирали такими, щоб збагатити продукт корисними речовинами, щоб харчова добавка мала природне походження і стабілізувала кисломолочну основу в разі можливого теплового оброблення та надавала продукту заданої консистенції. В результаті проведених аналітичних досліджень вибір був зупинений на основних структуроутворювачах, які пропонуються сьогодні ринком для десертів: желатин, карагенан, пектин і ксантанова камедь [8].

Мета досліджень – визначити вплив стабілізаторів структури на консистенцію сметанних десертів.

Структурно-механічні властивості молочних продуктів є однією з основних складових оцінки якості [3]. Їх потрібно знати, щоб вибрати оптимальні режи-

The classification dairy disperser of systems, rheological of model for modeling a consistence and devices for of measurement is offered. The influence gelatin, garrageenan, pectin and xantan gum on of the rheological characteristic sour cream of desserts is direct at preparation in a range of temperatures 20...60°C and after 6-12 hours.

Key words: stabilizers of structure, dairy products, rheological characteristic.

ми перероблення сировини і отримати високоякісні готові вироби, розробити раціональні конструкції технологічного обладнання. Для сировини, напівфабрикатів і готових виробів структура продукту залежить від багатьох факторів: температури, вологості, тривалості й інтенсивності механічного і теплового оброблення, засобів і термінів зберігання, виду упаковки, способів транспортування і багатьох інших причин. У літературних джерелах для одного і того ж продукту можна натрапити на різні за значенням характеристики, які визначають його структуру. Основними причинами відмінності числових значень цих характеристик є недотримання умов досліджень, застосування різних методик і приладів. Враховуючи це, доцільно замість широкого спектра структурно-механічних характеристик визначати реологічні, основними з яких є в'язкість, пружність, пластичність [5].

Слід мати на увазі, що коли немає можливості дотримуватись однакових умов вимірювання реологічних характеристик, відомості про них подають разом з інформацією, яким методом, за яких умов і на яких приладах отримано результати. Такий підхід складний, об'єктивно малоприматний для широкого практичного застосування [3, 4]. Особливо це стосується випадку, коли йдеться про визначення скла-

дової якості продукту — консистенції, на приладах, принцип вимірювання та конструкція яких різні і, відповідно, реологічні коефіцієнти розраховують, використовуючи різні математичні моделі [11, 12].

Знання законів, за якими змінюються реологічні властивості, дає змогу впливати на структуру і якість молочних продуктів, вносячи в них різні добавки, регулюючи режими і способи механічного, термічного, електричного оброблення, використовуючи різноманітні біохімічні препарати та технологічні методи впливу на сировину, напівфабрикат і готовий продукт [1, 6, 10]. У табл. 1 подано класифікацію харчових дисперсних систем за консистенцією, основні прилади для її визначення та реологічні моделі у вигляді математичних рівнянь, які описують процес деформування системи під дією зовнішнього навантаження.

До реологічних характеристик, які найчастіше вживають при визначенні якості та які є найчутливішими до змінення технологічних факторів виробництва, належать в'язкість і граничне напруження зсуву. Для їх вимірювання можна використовувати пенетрометри, ротаційні віскозиметри, конічні пластометри та інші прилади, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Реологічні моделі різних за консистенцією харчових систем

| Консистенція | Вид дисперсної системи | Реологічні моделі | Прилади для вимірювання реологічних характеристик | Режими деформування |
|----------------|--|--|--|--|
| Рідка | Добре текуча рідина | $\tau = K_0 \dot{\gamma}^n$ $\tau = \tau_0 + K_0 \dot{\gamma}^n$ | Віскозиметри: капілярні, ротаційні, кулькові, проточні, вібраційні, маятникові | $\tau(t) = \text{const}$ $\tau(t) = a_0 + a_1 t$ |
| Перехідна | Концентрована, самостійно текуча маса | $\tau = \mu \dot{\gamma}$ $\tau = \tau_0 + \eta_{пл} \dot{\gamma}$ | Зсувометри, пластометри, пенетрометри, прилади стискування | $\tau(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$ $\dot{\gamma}(t) = \text{const}$ $\dot{\gamma}(t) = b_0 + b_1 t$ |
| | Концентрована, самостійно не текуча маса. Примусовий плин відбувається без розриву суцільності потоку продукту | $\tau = c\dot{\gamma} + \mu\dot{\gamma}$ $\dot{\gamma} + \frac{c}{\mu + \mu_1} \tau = \frac{c\dot{\gamma}_0}{\mu + \mu_1} + \dot{\gamma}$ $\tau = \frac{c\mu}{\mu + \mu_1} \dot{\gamma}$ | | $\dot{\gamma}(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$ $\dot{\gamma}(t) = b_0 e^{at}$ |
| Твердо-подібна | Система кліткової будови, концентрована, не текуча маса. Розривається суцільність потоку продукту в разі примусового плину | $\tau = c\dot{\gamma}^m + \mu\dot{\gamma} = m\dot{\gamma} + \mu\dot{\gamma} + c\dot{\gamma} = \tau(t)$ | Зсувометри, пластометри, пенетрометри, прилади стискування і розтягування, датчики деформації, тензодатчики, п'езокварцеві акселерометри | |

Примітка: τ — напруження; τ_0 — граничне напруження зсуву (границя плину); μ_e — ефективна в'язкість; $\eta_{пл}$ — пластична в'язкість; K_0, K_0, c, μ, μ_1 — реологічні характеристики; m — зведена маса; $\dot{\gamma}$ — відносна деформація зсуву;

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial \gamma}{\partial t}; \ddot{\gamma} = \frac{\partial^2 \gamma}{\partial t^2}; a_0, a_1, a_2 — коефіцієнти, які визначають характер змін напруження і деформації в часі t.$$

Значна кількість молочних продуктів належить до добре текучих рідин (рідка консистенція) і концентрованих самостійно повільно текучих мас (перехідна консистенція). Приладами вимірювання реологічних характеристик таких дисперсних систем є віскозиметри. Вони бувають капілярні, ротаційні, кулькові, проточні, вібраційні, маятникові [11].

Найбільшого поширення набули ротаційні віскозиметри з коаксіальними і конічними циліндра-

ми. При аналізі консистенції молочних десертів використовують в основному віскозиметри з коаксіальними циліндрами. Є два види віскозиметрів. В першому дослідний матеріал розміщується у зазорі між двома циліндрами, один з яких приводиться в рівномірний обертальний рух, а другий закріплений на пружині і зв'язаний з вимірювальною системою. В'язкість оброблюють за частотою обертання першого циліндра і кутом повороту другого циліндра відносно його початкового положення. Цей метод застосовують переважно для дослідження добре текучих рідин.

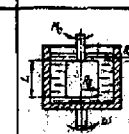
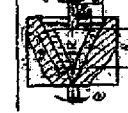
У другому варіанті зовнішній циліндр нерухомий, внутрішній приводиться в обертальний рух за допомогою падаючого вантажу або електродвигуна через силувимірювальну систему. Рівняння для розрахунку основних реологічних характеристик, в'язкості й граничного напруження зсуву наведені в табл. 2.

Досліджували модельні зразки СД з додаванням різних стабілізаторів структури у кількості, %: пектин, карагенан, желатин — 1, ксантанова камедь — 0,4. Оскільки технологія розроблених термізованих СД передбачає теплову обробку кисломолочної суміші за наявності стабілізатора, реологічні характеристики визначали при температурі 20...60 °С. Згідно з наведеною класифікацією (табл. 1) отримані десерти в цьому діапазоні температур слід зарахувати до перехідної консистенції — концентрованих самостійно повільно текучих дисперсних систем. Виходячи з цього і був обраний ротаційний віскозиметр „Reotest-2” [2].

Вимірювальний вузол цього приладу складається з ротора і стакана (циліндр у циліндрі). Продукт розміщують у зазорі між циліндрами, в якому під дією обертання ротора відбувається зсув одного прошарку відносно другого. Принцип вимірювання полягає у визначенні реологічних характеристик за частотою обертання ротора (градієнтом частоти) і силою опору його обертанню.

Таблиця 2

Розрахункові рівняння реологічних характеристик для ротаційних і конічних віскозиметрів

| Тип сприймального елемента | Вимірювальні поверхні | Ефективна в'язкість | Швидкість зсуву | Напруження зсуву |
|----------------------------|--|---|---|--|
| Циліндр — циліндр |  | $\eta = \frac{M_c(R_2^2 - R_1^2)}{2\omega R_1^2 R_2^2 L g}$ | $\dot{\gamma} = \frac{2\omega R_1^2 R_2^2}{r^2(R_1^2 + R_2^2)}$ | $\tau = \frac{M_c}{2\pi L r^2} g$ |
| Конус — конус |  | $\eta = \frac{M_c h (R_2 - R_1)}{2\omega^2 R_1 R_2 g}$ | $\dot{\gamma} = \omega \frac{2h}{R_2 - R_1}$ | $\tau = \frac{M_c h \omega}{2\pi R_1^2} g$ |

Примітка: M_c — момент опору на сприймальному циліндрі; R_2 — радіус зовнішнього циліндра; R_1 — радіус сприймального циліндра; L — глибина занурення сприймального циліндра в робочому зазорі; ω — кутова швидкість обертання зовнішнього циліндра; g — прискорення вільного падіння; r — радіус прошарку, в якому визначають швидкість і напруження зсуву; S — довжина тірної конуса; R_1 — радіус основи сприймального конуса; α — кут біля вершини конуса; h — висота конуса; R_2 — радіус.

Для того щоб визначити залежність напруження зсуву від швидкості деформації, вимірювання починали при низьких показниках швидкості деформації. Потім її збільшували, підвищуючи частоту

обертання вимірювального циліндра. Потрібну частоту обертання ротора задавали за допомогою перемикачів приводу.

Показання приладу переводили в напруження зсуву, Па, при даній швидкості деформації за формулою

$$\tau = k \alpha, \quad (1)$$

де k — константа циліндра, Па/одиниці шкали приладу; α — показання приладу.

При обробленні експериментальних даних і побудові графіків використано програму символічної комп'ютерної математики „Maple”. Експериментально отримані залежності напруження зсуву Z , Па, від температури Y , °С, і швидкості деформації X , s^{-1} , для різних десертів наведено на *рис. 1* — *рис. 4*.

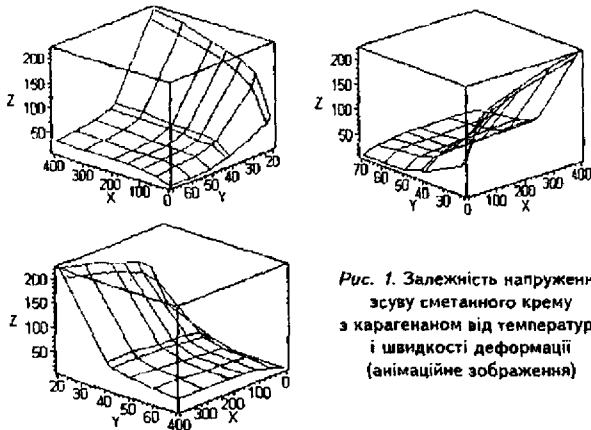


Рис. 1. Залежність напруження зсуву сметанного крему з карагеном від температури і швидкості деформації (анімаційне зображення)

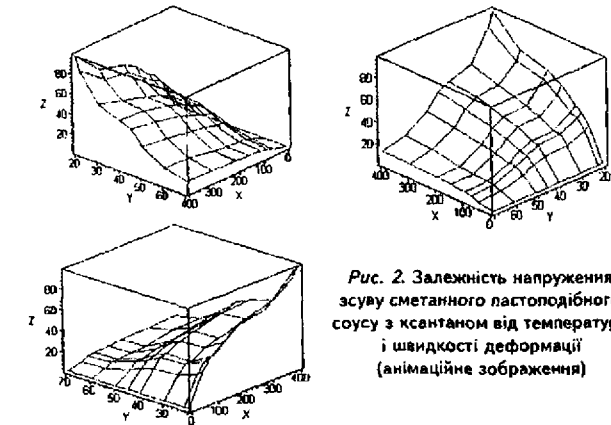


Рис. 2. Залежність напруження зсуву сметанного пастоподібного соусу з ксантаном від температури і швидкості деформації (анімаційне зображення)

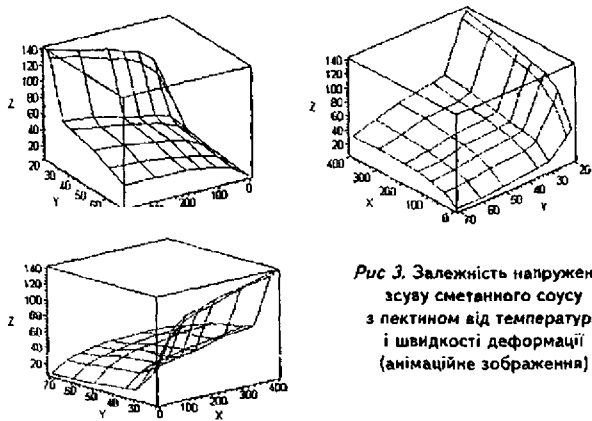


Рис. 3. Залежність напруження зсуву сметанного соусу з пектином від температури і швидкості деформації (анімаційне зображення)

Аналіз експериментальних даних свідчить, що різні стабілізатори структури по-різному впливають на напруження зсуву СД. Найбільше значення напруження зсуву досягається в разі використання караге-

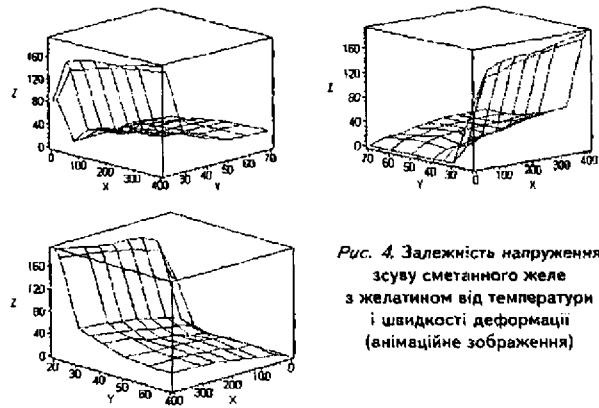


Рис. 4. Залежність напруження зсуву сметанного желе з желатином від температури і швидкості деформації (анімаційне зображення)

нану, причому різке збільшення починається при зниженні температури до 35 °С.

При охолодженні СД нижче ніж 20 °С зв'язки між елементами утвореної структури стають міцнішими завдяки поступовому збільшенню в'язкості розчинника, що сприяє зміцненню структури в цілому. Після повного структуроутворення (6...12 год після охолодження) СД утворювали концентровану самостійно не текучу масу, тому важливо було дослідити її в'язкі властивості, не руйнуючи повністю утвореної структури, а тільки деформуючи її. У цьому разі найбільшого поширення набули методи пенетрації і реологічного зондування.

Під пенетрацією, або зондуванням, розуміють метод дослідження консистенції напівтвердих, структурованих продуктів, для чого визначають закономірності опору дисперсної системи проникненню інденторів. Як індентори використовують конус, кулю, піраміду, голку, циліндр, які мають визначені розміри, масу, поверхню.

Ми використали метод зондування [12], який дає змогу визначити умовний показник ефективної в'язкості при найменшому руйнуванні цілісності середовища за допомогою універсального вимірювального приладу „Instron-1122”. Принцип вимірювання цього приладу базується на зануренні в дослідний продукт індентора із заданою (постійною) швидкістю на глибину, більшу за його висоту. Дослідження проводили при температурі (8 ± 2) °С. Використовували спосіб при дослідженні з постійною швидкістю занурення, фіксуючи зусилля, яке є функцією глибини занурення. Обрано було кулькоподібний індентор.

Умовний показник ефективної в'язкості розраховували за формулою Стокса

$$\mu = \frac{P}{6 \nu r \dot{\gamma}}, \quad (2)$$

де μ — умовний показник ефективної в'язкості речовини, Па·с; P — лобовий опір, який реєструється самописним приладом, Н; ν — швидкість занурення кульки, м/с; r — радіус кульки, м.

Формула (2) справедлива тоді, коли рухоме кулькоподібне тіло стикається тільки з лобовим опором і опором тертя середовища, яке ковзає по поверхні, причому середовище не руйнується, а тільки деформується як пластична маса, що можливо тільки в разі дуже повільного руху тіла.

Якщо швидкість руху тіла перевищить деяку межу, то цілісність середовища, що прилягає до кульки, руйнується і характер процесу деформування ускладнюється — починають з'являтися не тільки сили

тертя, а й інерційні сили мас, виведених із стану рівноваги. Стокс установив, що впливом цих сил можна нехтувати тоді, коли під час руху тіла критерій Рейнольдса менше ніж 1, тобто:

$$Re = \frac{vr}{\eta} < 1 \quad (3)$$

Згідно з цією умовою обирали діаметр кульки і швидкість її руху. Саме така методика дає змогу виміряти значення в'язкості структурованих продуктів, не руйнуючи утвореної структури.

Спираючись на результати експериментальних досліджень та використавши відповідну математичну модель, визначено умовний показник в'язкості СД залежно від виду очікуваної консистенції (рис. 5).

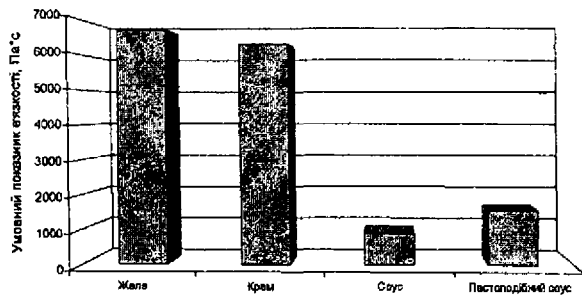


Рис. 5. Ефективна в'язкість сметанних десертів

Враховуючи, що за значенням напруження зсуву та ефективної в'язкості роблять висновок про консистенцію продукту, отримані залежності дають змогу вибирати потрібний стабілізатор структури для отримання певної текстури СД.

Висновки. Консистенція продукту є однією з основних характеристик якості. Її доцільно визначати на основі дослідження реологічних характеристик продукту, основними з яких є напруження зсуву, включаючи граничне, і в'язкість. Залежно від виду дисперсної системи використовують різні прилади вимірювання значень цих характеристик. Для текучих рідин і концентрованих дисперсних систем слід використовувати віскозиметри різних конструкцій.

Використання карагенану, желатину, пектину і ксантанової камеді при виробництві СД по-різному впливає на консистенцію продукту. З підвищенням температури для всіх структуроутворювачів різко зменшується напруження зсуву, продукт стає більш текучим і його можна класифікувати за цим значенням:

| $\tau \cdot 10^{-4}$, Па | Стан консистенції при кімнатній температурі |
|---------------------------|--|
| 50...80 | Добре текучий |
| 80...120 | Текучий |
| 120...150 | Дуже м'який, повільно текучий |
| 150...200 | Практично не тече, кремopodobний, утворює желеподобну масу |

ЛІТЕРАТУРА

1. Скорченко Т.А., Касьянова Н.О. Вплив виду структуроутворювача на реологічні властивості кисломолочних десертів // 70-та наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті”, 20–21 квіт. 2004 р.: Матеріали. — К.: НУХТ, 2004.
2. Скорченко Т.А., Пененко Н.О. Дослідження реологічних властивостей кисломолочних десертів на

основі сметани // Шоста міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”, 19–21 жовт. 2000 р.: Матеріали. — К.: УДУХТ, 2000.

3. Гуць В.С., Скорченко Т.А., Гребельник О.Г. Визначення загального комплексного показника якості молочних десертів // Мол. пром-сть. — 2004. — № 2 (11). — С. 24 — 26.

4. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. — М.: Пищ. пром-сть, 1979. — 383 с.

5. Гуць В.С. Прикладна реологія та інтенсифікація процесів харчових виробництв: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12./УДУХТ. — К., 1999. — 36 с.

6. Измайлова В.Н., Ребиндер П.А. Структурообразование в белковых системах. — М.: Наука, 1974. — 268 с.

7. Касьянова Н.О., Скорченко Т.А. Дослідження реологічних властивостей кисломолочних десертів з натуральними соками // Мол. пром-сть. — 2004. — № 1 (10). — С. 20, 21.

8. Касьянова Н.О., Скорченко Т.А. Обґрунтування технологічних параметрів виробництва кисломолочних десертів на основі сметани // Мол. пром-сть. — 2004. — № 4 (13) — С. 22 — 25.

9. Касьянова Н.О., Скорченко Т.А., Троцкий М.А. Перспективы использования полисахаридных пищевых добавок // Молочное дело. — 2003. — № 2. — С. 28, 29.

10. Рогов И.А., Горбатов А.В., Свищев В.Я. Дисперсные системы мясных и молочных продуктов. — М.: Агропромиздат, 1990. — 320 с.

11. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справ. / Под ред. Ю.А. Мачихина. — М.: Агропромиздат, 1990. — 271 с.

12. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин и др.; Под ред. А.В. Горбатова. — М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. — 296 с.

Надійшла до редколегії 7.04.05 р.