

RESEARCH IN RHEOLOGICAL PARAMETERS OF KEFIR

A. Popova, O. Podobiy, O. Miroshnycov, N. Stetcenko
National University of Food Technologies

Key words:

Kefir
Structural and mechanical
characteristics
Rheological parameters
Viscosity
Dynamic ability to flow

Article history:

Received 01.12.2012
Received in revised form
05.12.2012
Accepted 16.01.2013

Corresponding author:

E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

It is established that all investigated kefir are the structured systems with clearly defined supermolecular coagulate structure. They are characterized by durability and plasticity.

It is shown that durability of kefir structure is defined by type of microorganisms, in particular a kefir fungus or lactic bacteria which are included into its structure at the identical content of fat.

It is established that the way of kefir preparation (thermostatic or tank) influences the size of dynamic ability to flow.

It is shown that rheological assessment of kefir quality is more exact and objective than organoleptic assessment.

It is planned to develop guidelines on this technique usage for kefir quality assessment.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЕФІРУ

А.В. Попова, О.В. Подобій, О.М. Мірошников, Н.О. Стеценко
Національний університет харчових технологій

Встановлено, що всі досліджувані кефіри відносяться до структурованих систем з чітко вираженою надмолекулярною коагуляційною структурою, для яких характерна міцність та пластичність.

Ключові слова: кефір, структурно-механічні характеристики, реологічні параметри, в'язкість, динамічна межа здатності до течії.

Кисломолочні продукти в дієтичному відношенні цінніші за молоко. Дієтичні та лікувальні властивості цих продуктів пояснюються сприятливою дією на організм людини пробіотичних мікроорганізмів і речовин, що утворюються внаслідок біохімічних процесів, які протікають при сквашуванні молока.

Кефір — це кисломолочний напій, продукт змішаного молочнокислого та спиртового бродіння, який виробляють шляхом сквашування молока кефірними грибами, симбіотичною кефірною закваскою або заквашувальним препаратом [1]. Мікроорганізми, що містяться в кефірі, продукують молочну кислоту, яка є основою його виробництва. Основними видами кисломолочних бактерій, які використовують в сучасних технологіях є: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacterium delbrückii*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus lactis* тощо. Ці бактерії також можуть використовуватись у суміші.

При виробництві кефіру молоко може бути сквашено кефірними заквасками. Кефірні закваски — складний природний симбіоз, до якого входять: мезофільні молочнокислі стрептококи, ароматотвірні стрептококи, молочнокислі палички, дріжджі, оцтові бактерії.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

На сьогоднішній день в Україні впроваджуються новітні технології, спрямовані на удосконалення і оновлення рецептури кисломолочних продуктів, підвищення їх дієтичних і лікувальних властивостей, розроблення продуктів з новими функціональними властивостями.

Під час сквашування різними способами проходить розмноження мікрофлори кефірної закваски, наростає кислотність, коагулює казеїн та утворюється згусток. Після закінчення сквашування продукт охолоджують. Згусток кефіру насичується вуглекислою, у всіх дієтичних продуктів змінюється стан білкових речовин, в основному казеїну, збільшується його водозв'язуюча здатність, зменшується кількість вільної вологи, і згусток ущільнюється та набуває необхідної міцності.

Кефір виготовляють резервуарним і термостатним способами [1, 2].

В основі резервуарного способу лежить сквашування нормалізованої суміші з додаванням сухого молока в резервуарах. Для кефіру, виготовленого резервуарним способом, притаманна рідка консистенція. Це зумовлено тим, що за такого способу виробництва наростання кислотності та утворення згустку відбувається при періодичному перемішуванні, і тільки після досягнення необхідного рівня кислотності продукцію розливають в споживчу тару і відправляють в холодильні камери для дозрівання.

Термостатний спосіб полягає у сквашуванні нормалізованої, гомогенізованої, пастеризованої суміші молока в тарі в термостатній камері. Продукти, що виробляються термостатним способом, мають непорушений згусток.

В Україні представлено велику кількість кефіру різних торгових марок. Користь цього кисломолочного продукту викликає значний попит на нього. Останнім часом якість кефіру все менше задовольняє його споживачів, тому дуже важливою є правильна та об'єктивна її оцінка.

Якість кисломолочних продуктів визначається якістю вихідної сировини, органолептичними властивостями, їх структурою і консистенцією. В останні роки розробляються способи об'єктивної оцінки консистенції та інших показників якості молочних продуктів за допомогою фізико-хімічних методів [3, 4]. Для оцінки якості кефіру використовують в основному органолептичну оцінку консистенції та його хімічний склад [5, 6]. Органолептична оцінка (яка базується на визначенні якості продукції за допомогою органів відчуття людини: зору, дотику, смаку) не завжди являється об'єктивною, оскільки вона залежить від фізіологічних і психологічних чинників.

Консистенція молочних продуктів визначається, в першу чергу, типом структури та механічними властивостями. Тому саме структурно-механічні характеристики молочних продуктів являються найбільш чутливими та перспективними для її оцінки. Об'єктивну оцінку консистенції можуть дати лише реологічні характеристики [3, 7]. Така оцінка має основну перевагу над органолептичними методами: вона чутлива до змін не лише у хімічному складі молочних продуктів, але і у технологічному режимі їх виробництва. Аналіз літературних даних показав на відсутність наукових досліджень в цьому напрямку.

Метою роботи було дослідження структурно-механічних характеристик кефіру різних торгових марок та встановлення їх залежності від складу та технології одержання продукту.

Основні завдання роботи:

- визначення динамічної в'язкості та напруги зсуву кефіру різних торгових марок;
- побудова кривих течії та кривих в'язкості кефіру різних торгових марок;
- порівняння реологічних параметрів кефіру з різним вмістом жиру в межах однієї марки;
- порівняння реологічних параметрів кефіру різних торгових марок з однаковим вмістом жиру.

В роботі було досліджено кефіри таких торгових марок: «Слов'яночка», «Галичина», «Простоквашино» та «Яготинський». Вибір кефіру зумовлено групою мікроорганізмів, які використовують для сквашування кефіру та способом проведення сквашування. Інформацію про досліджувані кефіри наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Способи отримання кефіру

Марка кефіру	Тип мікроорганізмів	Спосіб отримання
«Слов'яночка»	Кефірна закваска	Термостатний
«Галичина»	Культура молочнокислих бактерій	Резервуарний
«Простоквашино»	Кефірна закваска	Резервуарний
«Яготинський»	Кефірна закваска	резервуарний

Реологічні характеристики кефіру визначали на віскозиметрі типу «Reotest-2» при різних градієнтах деформації. Методика проведення дослідження полягала в наступному. Відбирали 20 – 30 см³ досліджуваного кефіру, перемішували і витримували 20–30 хв при кімнатній температурі. За умови сталого напруження зсуву внутрішньому циліндру надавали певну сталу швидкість деформації (їх дванадцять), при цьому зовнішній циліндр залишався нерухомим.

Реєстрували швидкість обертання рухомого циліндра за допомогою потенціометра. Швидкість обертання циліндра пропорційна швидкості деформації досліджуваної системи.

Далі розраховували напругу зсуву P , яке виникає в системі, за рівнянням:

$$P = z \cdot \alpha \quad (1)$$

де Z — стала внутрішнього циліндра (наведена в паспорті приладу, для циліндра S_2 $Z = 7,59$ Па); α — показання шкали на індикаторному приладі (потенціометрі).

За значеннями напруги зсуву P і градієнта деформації $\dot{\epsilon}$ (його значення для кожної з 12 значень швидкостей обертання брали із паспортних даних) розраховували динамічну в'язкість η за рівнянням Ньютона:

$$\eta = \frac{P}{\dot{\epsilon}} \quad (2)$$

де η — динамічна в'язкість, Па·с; P — напруга зсуву, Па; $\dot{\epsilon}$ — швидкість зсуву, с⁻¹.

За отриманими експериментальними даними для кожного досліджуваного кефіру було побудовано реологічні криві в'язкості (рис. 1, 2, 3), тобто криві, що описують залежність зміни в'язкості системи від наданого навантаження.

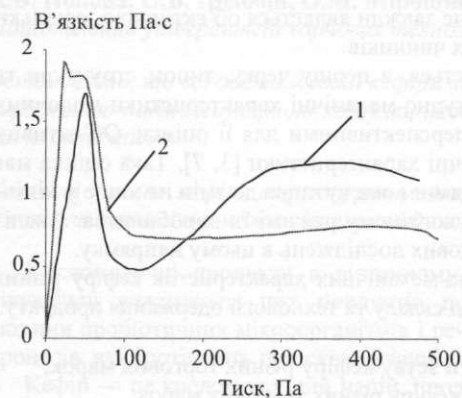


Рис. 1. Реологічні криві в'язкості кефіру торгової марки «Слов'яночка» з різним вмістом жиру:
1 — 1%; 2 — 2,5%

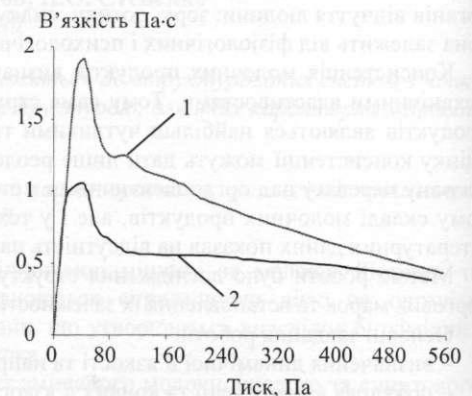


Рис. 2. Реологічні криві в'язкості кефіру торгової марки «Галичина» з різним вмістом жиру:
1 — 0,05%; 2 — 2,5%

Отримані результати ми використали для визначення наступних структурно-механічних параметрів: η_0 — найбільша в'язкість системи, що відповідає практично незруйнованій структурі, P_m — напруга практично зруйнованої надмолекулярної структури, η_m —

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

найменше значення в'язкості, що відповідає практично зруйнованій структурі, різниця $\eta_0 - \eta_m$, яка є величиною аномалії в'язкості, що характеризує міцність структури.

Аналіз реологічних кривих в'язкості, наведених на рис. 1, 2, 3 показав, що всі кефіри при малих градієнтах деформації поведуть себе, як аномальні рідини, а при збільшенні навантаження — як ньютонівські.

Аналіз побудованих кривих в'язкості для кефіру марки «Слов'яночка» (рис. 1) показав, що величина аномалії в'язкості для нього збільшується на 0,71 Па·с при збільшенні вмісту жиру від 1 % до 2,5 %; для кефіру марки «Галичина» (рис. 2) ця величина зменшується на 0,71 Па·с при збільшенні концентрації жиру від 0,05 % до 2,5 %; та для кефіру «Простоквашино» (рис. 3) зменшується на 0,58 Па·с при збільшенні концентрації жиру від 2,5 % до 3,2 % відповідно.

Кефіри марки «Слов'яночка» (рис. 1) відрізняються від кефіру двох інших торгових марок тим, що їх одержують термостатним способом (див. табл. 1). Отже, можна припустити, що спосіб отримання кефіру визначає характер зміни міцності системи при збільшенні в ній концентрації жиру.

Оскільки найбільший попит серед населення має кефір з концентрацією жиру 2,5 %, тому ми порівняли кефіри різних торгових марок із заданим вмістом жиру. Величина аномалії в'язкості для досліджуваного кефіру різних торгових марок наведена на рис. 4.

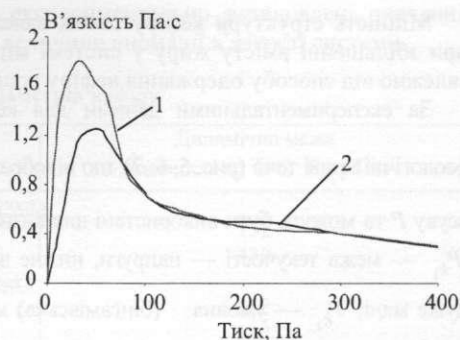


Рис. 3. Реологічні криві в'язкості кефіру торгової марки «Простоквашино» з різним вмістом жиру: 1 — 2,5 %; 2 — 3,2 %

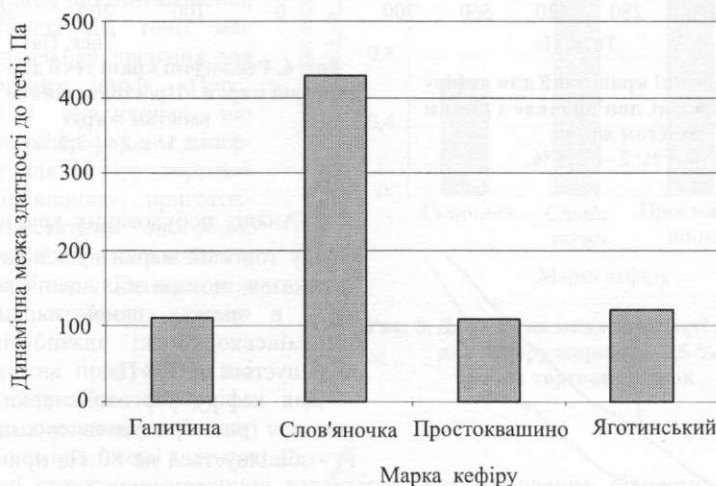


Рис. 4. Величина аномалії в'язкості кефіру жирністю 2,5 % різних торгових марок

Слід зазначити, що міцність структури кефіру торгової марки «Галичина» майже вдвічі менша за міцність іншого досліджуваного кефіру. Даний факт можна пояснити тим, що лише при сквашуванні цього кефіру не використовують кефірний грибок, тобто він містить виключно молочнокислі бактерії, і не містить дріжджів.

Отже, можна припустити, що тип мікроорганізмів, які входять до складу кефіру, визначає міцність його структури, на що вказує величина аномалії в'язкості.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Міцність структури кефіру також залежить від концентрації жиру. Встановлено, що при збільшенні вмісту жиру у системі міцність може збільшуватись або зменшуватись, залежно від способу одержання кефіру досліджуваної торгової марки.

За експериментальними даними для кефіру різних торгових марок було побудовано реологічні криві течії (рис. 5, 6, 7), що відображають залежність швидкості течії $\frac{d\epsilon}{dt}$ від напруги зсуву P та можуть бути використані для визначення багатьох реологічних параметрів. Зокрема: P_{k_1} — межа текучості — напруги, нижче від якого відсутні пластичні деформації, або вони дуже малі; P_{k_2} — умовна (бінгамівська) межа здатності до течії, що характеризує міцність системи; P_m — гранична напруга зсуву; $\frac{P_{k_1}}{P_{k_2}}$ — відношення, яке характеризує міцність структурних зв'язків, що утворюються у системі [3].

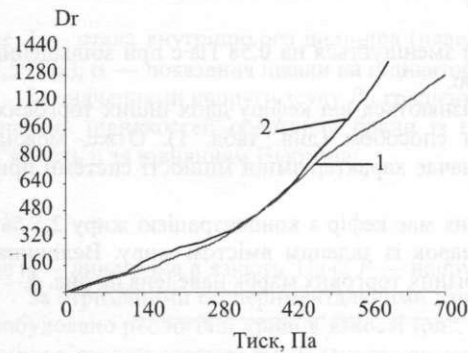


Рис. 5. Реологічні криві течії для кефіру торгової марки «Слов'яночка» з різним вмістом жиру:
1 — 1%; 2 — 2,5%

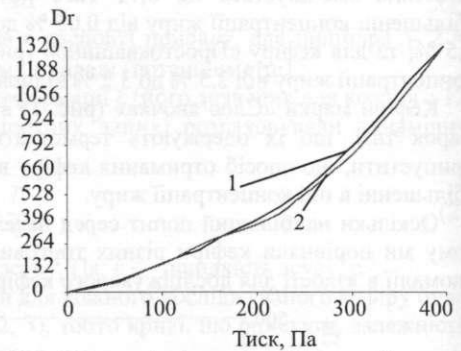


Рис. 6. Реологічні криві течії для кефіру торгової марки «Простоквашино» з різним вмістом жиру:
1 — 2,5%; 2 — 3,2%

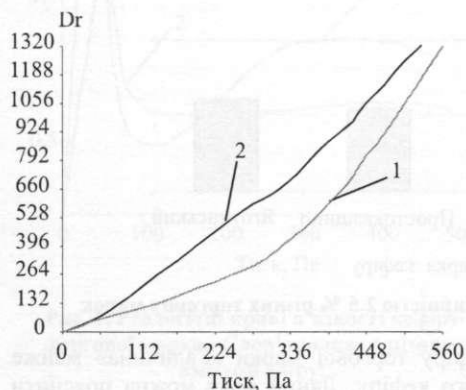


Рис. 7. Реологічні криві течії для кефіру торгової марки «Галичина» з різним вмістом жиру:
1 — 2,5%; 2 — 0,05%

Аналіз побудованих кривих течії для кефіру торгової марки «Слов'яночка» (рис. 5) показав, що при збільшенні концентрації жиру в зразках даної марки величина бінгамівської межі здатності до течії збільшується на 278 Па.

Для кефіру торгової марки «Простоквашино» (рис. 6) встановлено, що величина P_{k_2} збільшується на 80 Па при підвищенні концентрації жиру.

Проаналізувавши експериментальні криві течії для кефіру торгової марки «Галичина», було показано, що лише в межах цієї марки умовна бінгамівська межа міцності зменшується на 140 Па (рис. 7) при збільшенні вмісту жиру.

Для порівняння структурно-механічних характеристик кефіру досліджуваних тор-

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

гових марок (табл. 2) ми використовували експериментально встановлені значення величини динамічної межі здатності до течії та величини аномалії в'язкості системи.

Таблиця 2. Аналіз досліджених реологічних параметрів кефіру

Вміст жиру, %	Величина аномалії в'язкості $\eta_0 - \eta_m$, Па·с	Динамічна межа здатності до течії P_{K_2} , Па
1	0,76	152
2,5	1,47	430
0,05	1,38	252
2,5	0,67	112
2,5	1,48	110
3,2	0,9	170
2,5	1,38	122

Проведений аналіз реологічних параметрів кефіру показав, що зміну цих параметрів можна пояснити наступним чином: якщо до складу кефіру не входять дріжджі, а входять лише кисломолочні бактерії, то при збільшенні концентрації жиру динамічна межа здатності до течії буде зменшуватись (марка «Галичина»), а при використанні дріжджів (марки «Простоквашино» та «Слов'яночка») — збільшуватись.

Було порівняно (рис. 8) величини динамічної межі здатності до течії кефіру різних торгових марок з концентрацією жиру 2,5 %. Показано, що бінгамівська межа здатності до течії має приблизно однакове значення для кефіру торгових марок «Простоквашино» і «Галичина», що приготовлені резервуарним способом. Проте для кефіру торгової марки «Слов'яночка», приготовленого термостатним способом, цей реологічний параметр майже в 4,5 рази має більше значення, ніж для інших, отриманих резервуарним способом.

Отже, можна припустити, що спосіб приготування кефіру з однаковим вмістом жиру визначає величину динамічної межі здатності до течії.

Визначені структурно-механічні характеристики дозволяють віднести досліджувані кефіри до структурованих систем з чітко вираженою коагуляційною структурою.

Висновки

Встановлено, що всі досліджувані кефіри відносяться до структурованих систем з чітко вираженою надмолекулярною коагуляційною структурою, для яких характерна міцність та пластичність.

Показано, що за умови однакового вмісту жиру, міцність структури кефіру визначається типом мікроорганізмів, що входять до його складу.

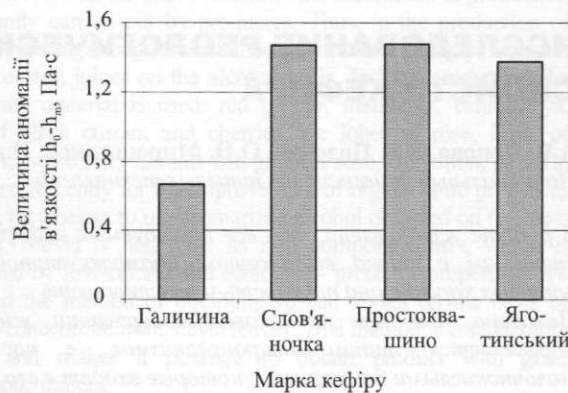


Рис. 8. Динамічна межа здатності до течії для кефіру жирністю 2,5 % різних торгових марок