

Оптимізація складу
заквашувальної
композиції
для сирів сімейства
Паста Філата

Аспірантка 3-го року навчання

Клименко Оксана Григорівна

Науковий керівник д.т.н., професор

Ткаченко Наталія Андріївна



Скаморца



Проволоне



Сулугуні



Качіокавалл



Сири сімейства Паста Філата – це група сирів, які виготовляються за технологією витягування та формування сирного тіста в гарячому стані.

Моцарела



Особливості технології сирів сімейства Паста Філата

По перше це
ЧЕДДЕРИЗАЦІЯ –
процес витримки
сирного згустку до
певного рівня
кислотності,
зазвичай до
досягнення рН \approx 5,2–
5,4. Це важливо для
подальшого етапу
витягування тіста.

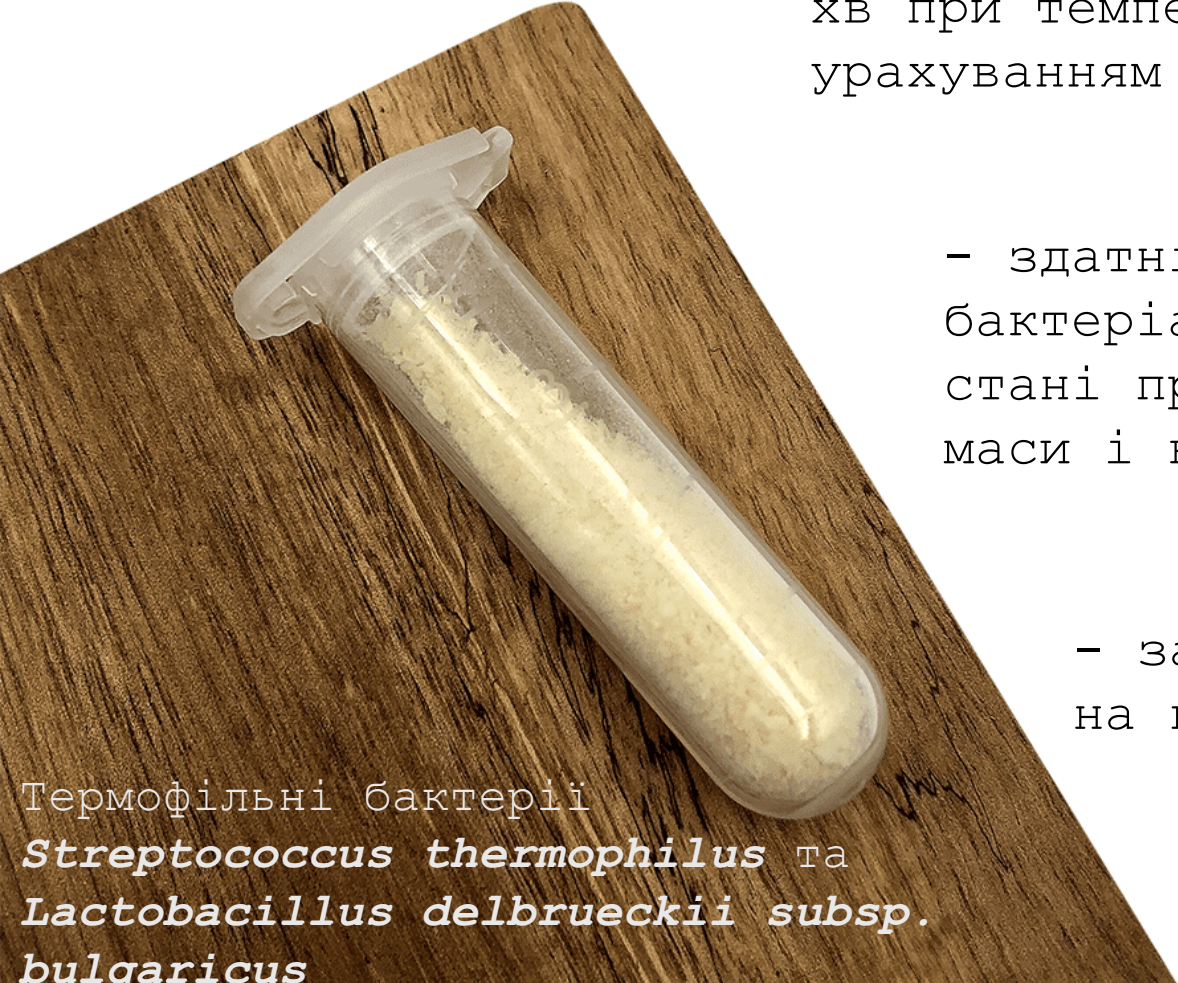
По друге це
**ТЕРМОПЛАСТИЧНЕ
ОБРОБЛЕННЯ СИРНОЇ
МАСИ** – нагрівання
сирного згустку у
гарячій воді
(температура 70–80
°C) та подальшого
витягування його в
еластичну масу під
час якого
відбувається зміна
структури білків.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ЗАКВАСКИ

- хороший ступінь виживання певної частини штамів при термомеханічному обробленні сирної маси протягом 15–20 хв при температурі 70–80 °С і рН 5,2–5,4. з урахуванням часу витримки для самопресування

- здатність накопичувати достатню кількість бактеріальної маси і зберігати її в активному стані при термомеханічному обробленні сирної маси і витримці для самопресування

- забезпечення активного молочнокислого бродіння на всіх етапах виробничого процесу



Термофільні бактерії
Streptococcus thermophilus та
Lactobacillus delbrueckii subsp.
bulgaricus

Для виробництва Сулугуні використовують закваски, що містять термофільні бактерії ***Streptococcus thermophilus*** та ***Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus***, які забезпечують рівномірне визрівання і формування структури сиру під час витяжного процесу.

Кислотність і

структура: Молочнокислі бактерії - *Streptococcus thermophilus* і *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* - відповідають за процес ферментації, під час якого відбувається розщеплення лактози з утворенням молочної кислоти.

Правильний рівень кислотності сприяє утворенню еластичної та пружної текстури, яка є характерною для сирів сімейства Паста Філата. Недостатня чи надмірна кислотність може призвести до небажаної текстури,

Смакові

якості: Комплекс мікроорганізмів у заквасці формує характерний смак і аромат сиру. Термофільні бактерії продукують різноманітні метаболіти, які збагачують смаковий профіль сиру.

Ферментативні процеси:

ферменти, які виділяють бактерії, прискорюють протеоліз. Якщо ферментативна активність недостатня, сир може мати занадто щільну текстуру і «невиражений» смак.

Невідповідний склад заквашувальних культур може призвести до порушення смакових, текстурних і мікробіологічних показників продукту.

Мікробіологічна

стабільність: Конкуренція між корисними бактеріями закваски та потенційно шкідливою мікрофлорою дозволяє уникнути розвитку патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів

Регулювання процесу

термомеханічного оброблення: Мікрофлора повинна створювати таку структуру білків, яка дозволить сирній масі легко піддаватися витяжці, формуючи гладку, еластичну текстуру.

Використання пробіотичних культур *Lactobacillus acidophilus* у складі закваски для сирів сімейства Паста Філата може мати позитивний вплив як на функціональні, так і на сенсорні характеристики сиру, оскільки ця культура є сильним кислотоутворювачем.

Додавання пробіотичних бактерій *Lactobacillus acidophilus* у закваску вимагає дотримання кількох умов:

1. Сумісність пробіотика з основними бактеріями закваски. Пробиотичні штами повинні бути сумісні з традиційними молочнокислими бактеріями (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*). Важливо уникати конкуренції між культурами, яка може вплинути на процес ферментації.

1. Вплив на кислотність та структуру. Пробиотики не повинні змінювати критичні параметри сиру, зокрема кислотність та здатність сирної маси до витягування. *Lactobacillus acidophilus* не змінює процес формування згустку і може бути успішно використаний у заквасках для пробіотичних сирів Паста Філата.

1. Дозування пробіотиків. Оптимальна концентрація пробіотичних бактерій визначається кількістю, необхідною для забезпечення їх життєздатності до моменту вживання продукту. Дослідження показують, що необхідна концентрація – близько 10^6 - 10^8 КУО/г готового продукту.

Збереження пробіотичної активності протягом зберігання. Пробиотичні бактерії повинні зберігати свою життєздатність протягом всього терміну придатності сиру

Мета експериментальних досліджень

- **вибір** штаму *Lactobacillus acidophilus* для виробництва пробіотичного сиру Сулугуні та **оптимізації складу** заквашувальної композиції із традиційних молочнокислих бактерій, які використовують для цього сиру (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* + *Streptococcus thermophilus* у співвідношенні 1 : 1) та обраного штаму *Lactobacillus acidophilus*.

Перший етап експерименту
полягав у **оцінці**
біологічно активних
штамів пробіотичних
культур *Lactobacillus*
acidophilus La-5 та
Lactobacillus acidophilus
LA 02 у складі
бакконцентратів FD DVS
La-5 («Chr. Hansen»,
Данія) та LYOBAC
LACID («GRUPPO MOFIN



бути нормальними представниками ШКТ

бути непатогенними й нетоксигенними,

бути метаболічно активними, мати здатність до адгезії,

синтезувати бактерицидні речовини, запобігати розвитку патогенних мікроорганізмів

бути безпечними при використанні в продуктах і клініці, здійснювати чітко виражений і підтверджений клінічними дослідженнями позитивний вплив на здоров'я людини або тварин

Критеріями відбору пробіотичних культур *Lactobacillus acidophilus* для виробництва ферментованих пробіотичних молочних продуктів, зокрема, пробіотичних сирів, стали їх біологічна й антагоністична активність, здатність забезпечити прогнозований оздоровчий вплив на організм людини, та прийнятні технологічні параметри, здатні забезпечити високі

Оцінка штамів пробіотичних культур *Lactobacillus acidophilus* La-5 та *Lactobacillus acidophilus* LA 02

LA 02

Таблиця «Стійкість монокультур *Lactobacillus acidophilus* до інгібіторів росту»

Бакконцентрат <i>L. acidophilus</i>	Ротація БК <i>L. acidophilus</i>	Виробник	Стійкість культур до інгібітора			
			pH=3,0 од	40 % жовчі	0,3 % фенолу	4,5 % NaCl
FD DVS La-5	La-5	«Chr. Hansen», Данія	+	+	+	+
LYOBAC LAC-ID	LA 02	«GRUPPO MOFIN ALCE», Італія	+	+	+	+

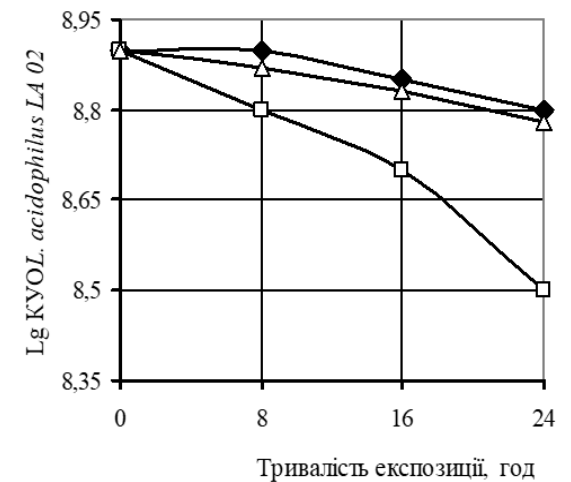
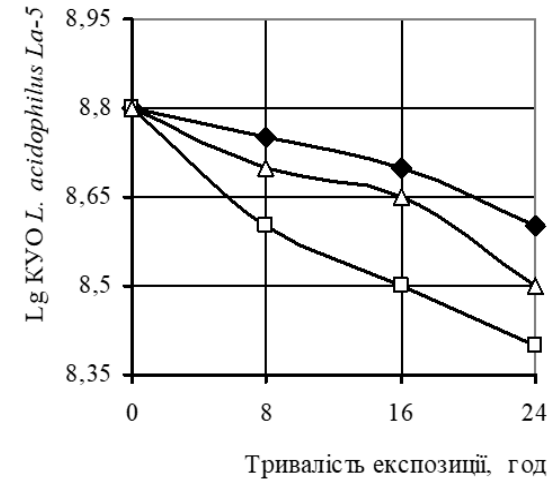
Примітка. «+» – культура стійка до інгібітора; «-» – культура не стійка до інгібітора

Таблиця «Антагоністична активність монокультур *L. acidophilus*»

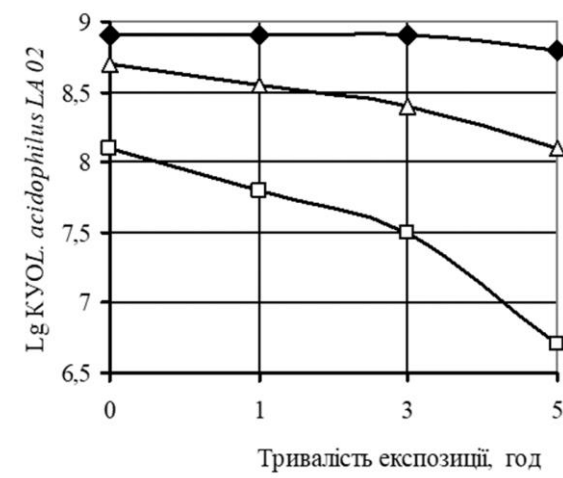
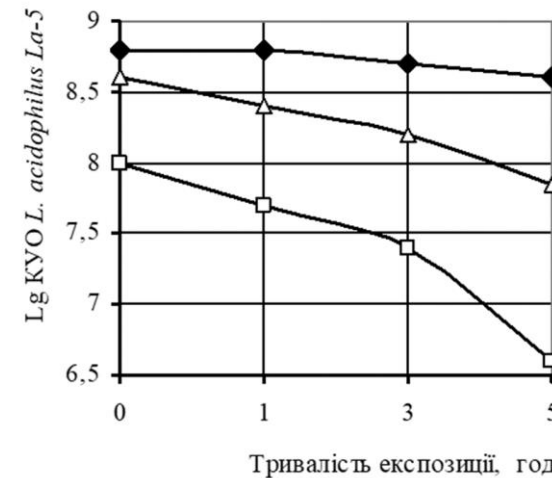
Вибраний штам-пробіотик	Розмір зони пригнічення росту, мм, для тест-культури		
	<i>E. coli</i>	<i>St. aureus</i>	<i>Bac. subtilis</i>
<i>L. acidophilus</i> La-5	15,5	11,0	24,0
<i>L. acidophilus</i> LA 02	17,0	12,5	22,6

Таблиця «Технологічні властивості монокультур *L. acidophilus*»

Вибраний штам-пробіотик	Тривалість сквашування молока, год	Титрована кислотність згустку, °T	В'язкість, с	ВУЗ згустку, %	Кількість життєздатних клітин <i>L. acidophilus</i> КУО/см ³
<i>L. acidophilus</i> La-5	6,5±0,5	73,0±2,0	71,0±2,0	90,0±1,0	(8,0±0,2) × 10 ⁸
<i>L. acidophilus</i> LA 02	5,5±0,5	78,0±2,5	66,0±2,5	84,0±1,5	(9,0±0,3) × 10 ⁸



Залежність кількості життєздатних клітин *L. acidophilus* від тривалості експозиції у присутності молочної кислоти (МК)



Залежність кількості життєздатних клітин *L. acidophilus* від тривалості експозиції у присутності хлороводневої кислоти (НСІ)



ВИСНОВКИ

Визначено, що обидва досліджені штами *L. acidophilus* мають прийнятні технологічні властивості, що дозволяє рекомендувати їх для виробництва ферментованих пробіотичних молочних продуктів. Зокрема, штам *L. acidophilus* La-5 доцільно використовувати як для виробництва ферментованих пробіотичних білкових продуктів (у т.ч. сирів), так і для ферментованих ацидофільних напоїв; тоді як штам *L. acidophilus* LA 02 – для виробництва ферментованих білкових продуктів (у т.ч. сирів). З огляду на високу енергію кислотоутворення культури *L. acidophilus* LA 02 у технологіях цільових пробіотичних сирів рекомендовано застосовувати пробіотичну культуру *L. acidophilus* La-5 у складі бакконцентрату безпосереднього внесення *FD DVS La-5*

Другий етап експериментальних досліджень полягав у **оптимізації складу** заквашувальної композиції із традиційних молочнокислих бактерій *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* + *Streptococcus thermophilus* у співвідношенні 1 : 1 та обраного штамму *Lactobacillus acidophilus La-5*.

Оптимізацію складу заквашувальної композиції виконували з використанням методології поверхні відклику. Ця методологія дозволяє змодельовувати вплив різних чинників на якісні характеристики готового продукту та оптимізувати їх.

Моделювання та обробку експериментальних даних виконували у середовищі програмного пакета Statistica 10 (StatSoft, Inc., USA).

Експериментальний план передбачав варіювання концентрацій змішаних культур *Streptococcus thermophilus* + *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* у межах $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ КУО/см³ та *Lactobacillus acidophilus La-5* у тих самих межах.

Для отримання згустку із застосуванням складених заквашувальних композицій молоко з масовою часткою жиру 2,6 % пастеризували при температурі 72 °С 20 сек., охолоджували до температури ферментації 37±1°С, вносили змішані культури *S. thermophilus* + *L. bulgaricus* та культуру *L. acidophilus La-5* у необхідних кількостях. Ферментацію сумішей здійснювали при температурі (37±1) °С – оптимальній температурі для розвитку ацидофільної палички – до досягнення ізоелектричного стану білків молока (pH=4,6).

Для моделювання й оптимізації логарифму десяткового концентрації життєздатних клітин лактобактерій у 1 см³ згустку (LgCзк), титрованої кислотності згустку (ТК, °Т), синерезису (С, %), вартості комплексу заквасок (ВЗ, грн.) та комплексного показника якості (КПЯ) було обрано функцію відклику, яка має вигляд полінома другого ступеню:

$$LgCзк = b_0 + b_1 \cdot LgC\check{y}к + b_{11} \cdot LgC\check{y}к^2 + b_2 \cdot LgCla + b_{22} \cdot LgCla^2 + b_{12} \cdot LgC\check{y}к \cdot LgCla$$

$$C = b_0 + b_1 \cdot LgC\check{y}к + b_{11} \cdot LgC\check{y}к^2 + b_2 \cdot LgCla + b_{22} \cdot LgCla^2 + b_{12} \cdot Lg\check{y}к \cdot LgCla$$

$$ТК = b_0 + b_1 \cdot LgC\check{y}к + b_{11} \cdot LgC\check{y}к^2 + b_2 \cdot LgCla + b_{22} \cdot LgCla^2 + b_{12} \cdot LgC\check{y}к \cdot LgCla$$

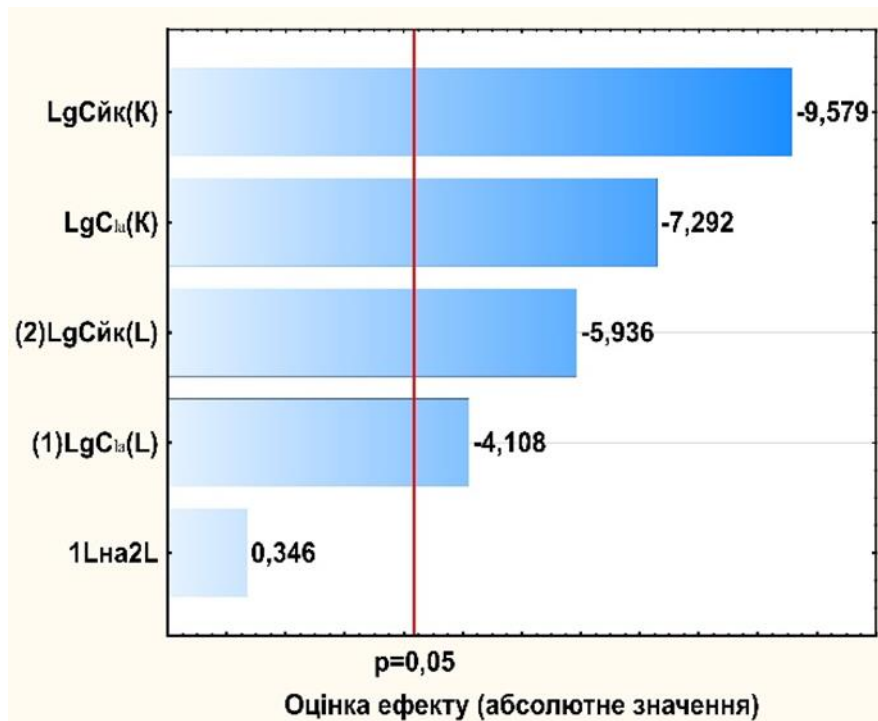
$$ВЗ = b_0 + b_1 \cdot LgC\check{y}к + b_{11} \cdot LgC\check{y}к^2 + b_2 \cdot LgCla + b_{22} \cdot LgCla^2 + b_{12} \cdot LgC\check{y}к \cdot LgCla$$

Таблиця «Матриця планування та функції відклику»

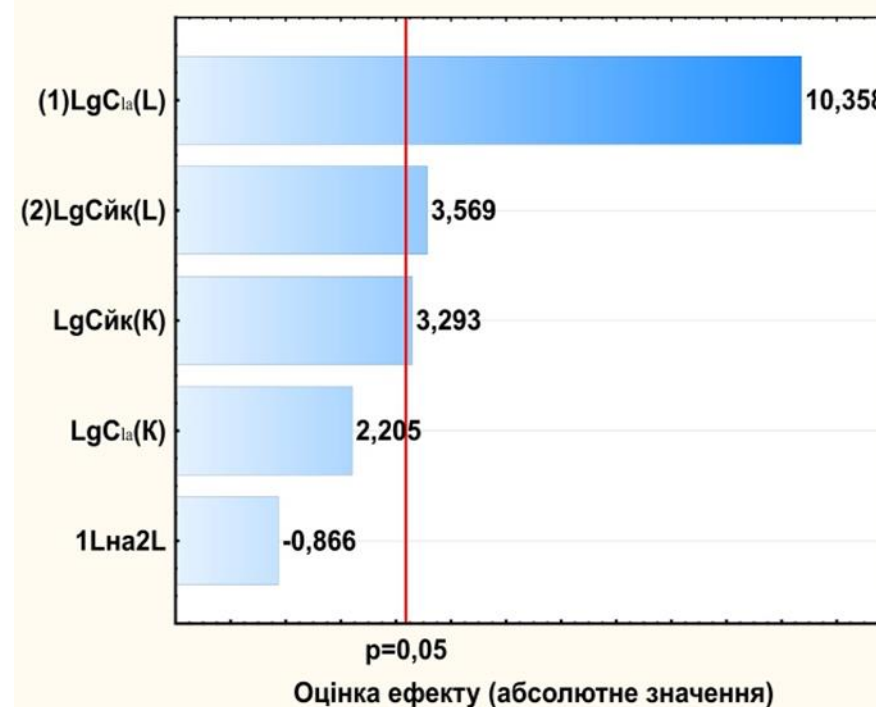
№ з/п	Логарифм десятковий вихідної концентрації життєздатних клітин йо гуртових культур у 1 см ³ заквашуваної молочної суміші, <i>LgC_{йк}</i>		Логарифм десятковий вихідної концентрації життєздатних клітин ацидофільних паличок у 1 см ³ заквашуваної молочної суміші, <i>LgC_{ла}</i>		Логарифм десятковий концентрації життєздат-них клітин заквашу-вальної композиції у 1 см ³ згустку (<i>LgC_{зк}</i>)	Синерезис згустку (C), %	Вартість заквашу-вальних культур (<i>B3</i>), %	Титро-вана кислот-ність згустку (<i>TK</i>), °Т
	Кодований рівень	–	Кодований рівень	–				
1	0	5,50	0	5,50	9,50	53,00	141,30	78,50
2	0	5,50	0	5,50	9,25	54,00	454,90	76,50
3	0	5,50	0	5,50	9,25	55,00	487,10	78,00
4	0	5,50	0	5,50	9,04	55,50	800,70	79,50
5	0	5,50	-√2	5,00	9,40	52,50	273,40	76,00
6	+1	5,85	-1	5,15	9,25	56,00	718,00	78,50
7	+√2	6,00	0	5,50	9,40	54,00	291,80	77,50
8	+1	5,85	+1	5,85	9,04	55,00	695,00	77,50
9	0	5,50	+√2	6,00	9,60	54,00	471,00	79,00
10	-1	5,15	+1	5,85	9,70	54,00	471,00	79,00
11	-√2	5,00	0	5,50	9,60	53,50	471,00	79,00
12	-1	5,50	-1	5,15	9,70	53,50	471,00	79,50

Діаграма Парето для

логарифму десятичного концентрації
заквашувальних культур



синерезису згустку



$$LgCзк = -80,875 + 19,008 \cdot LgCйк - 1,759 \cdot LgCйк^2 + 14,494 \cdot LgCla - 1,339 \cdot LgCla^2$$

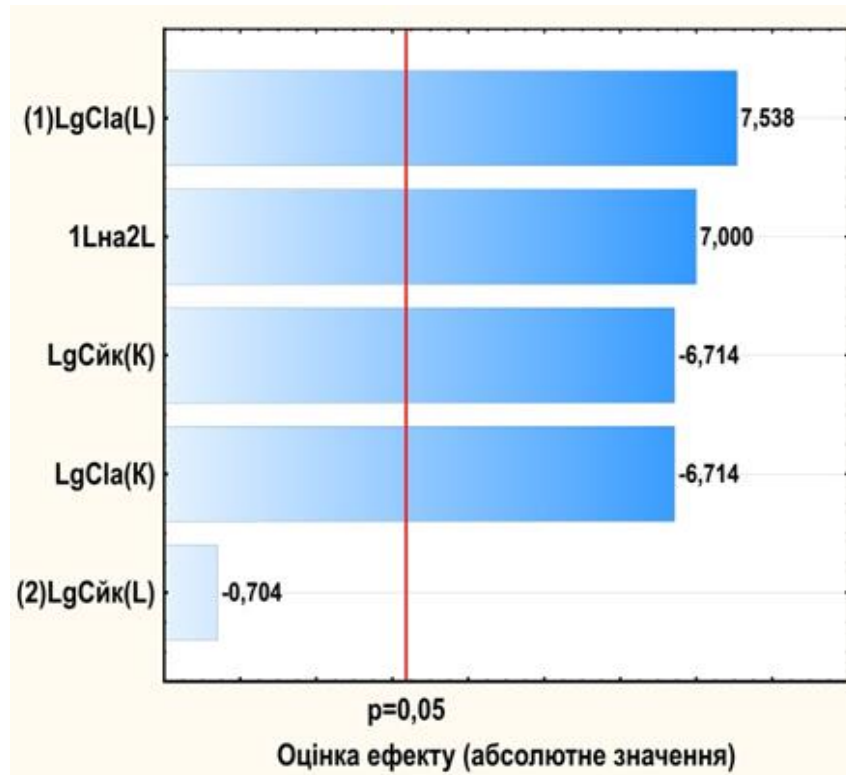
$$C = 110,392 - 27,569 \cdot LgCйк + 2,600 \cdot LgCйк^2 + 3,005 \cdot LgCla$$

де LgCйк – логарифм десятичний вихідної концентрації йогуртових культур життєздатних клітин у 1 см³ заквашуваної молочної суміші;

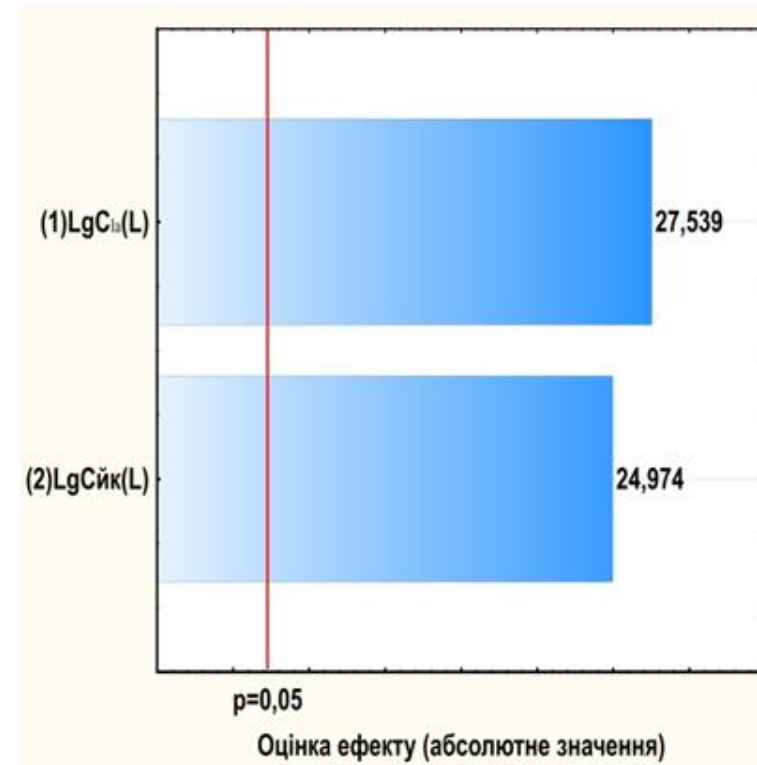
LgCla – логарифм десятичний вихідної концентрації життєздатних клітин ацидофільної палички у 1 см³ заквашуваної молочної суміші

Діаграма Парето для

титрованої кислотності



вартості заквасок



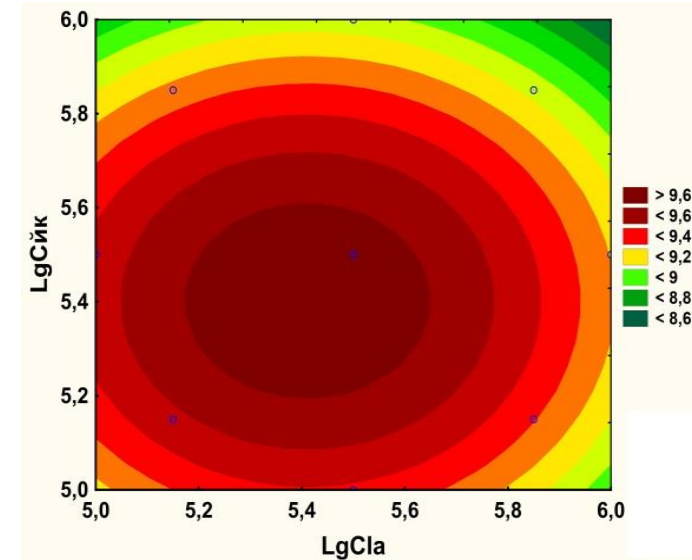
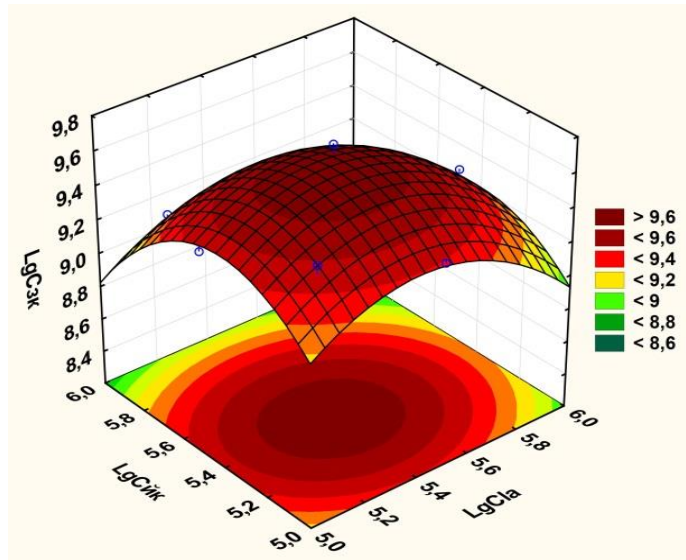
$$TK = 38,925 - 4,099 \cdot LgCйк^2 + 12,869 \cdot LgCla - 5,080 \cdot LgCla^2 + 8,164 \cdot LgCйк \cdot LgCla$$

$$B3 = -4440,480 + 425,37 \cdot LgCйк + 469,050 \cdot LgCla$$

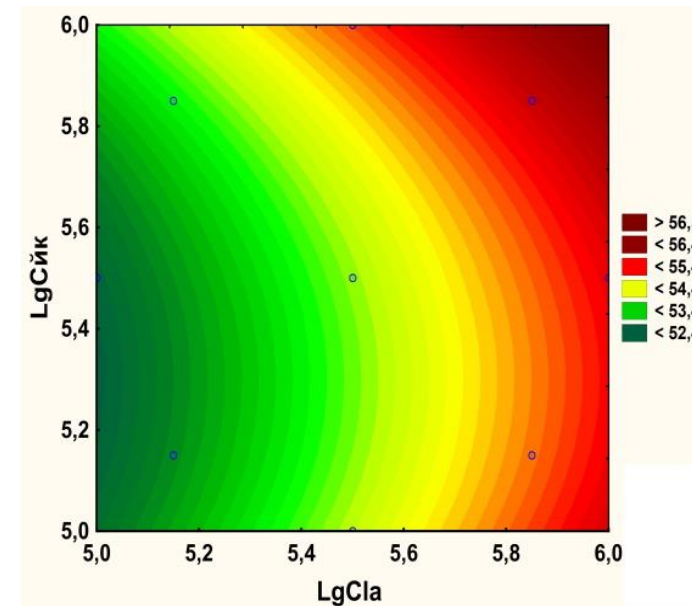
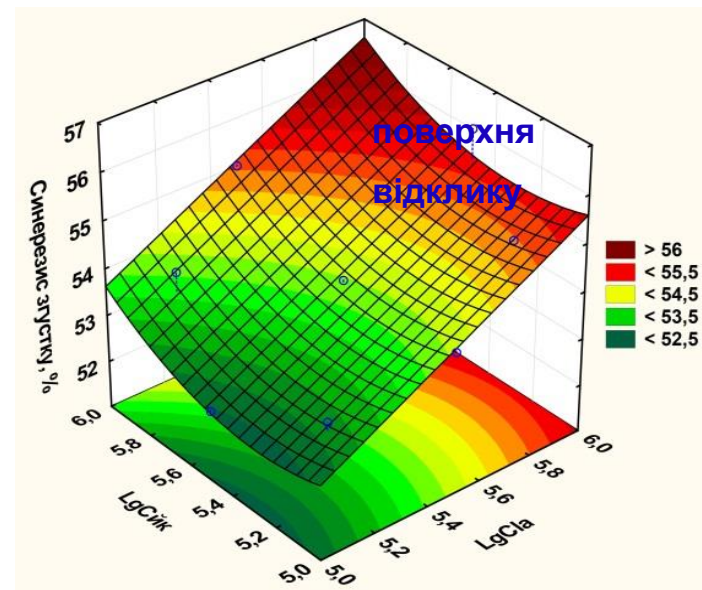
де $LgCйк$ – логарифм десятковий вихідної концентрації йогуртових культур життєздатних клітин у 1 см^3 заквашуваної молочної суміші;

$LgCla$ – логарифм десятковий вихідної концентрації життєздатних клітин ацидофільної палички у 1 см^3 заквашуваної молочної суміші

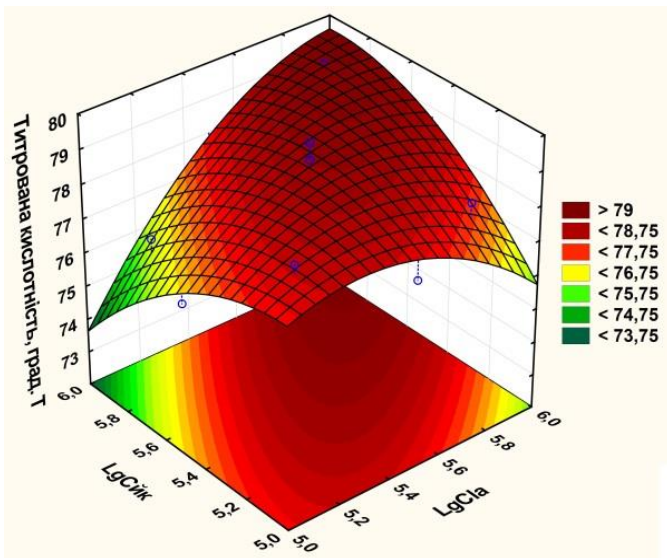
Залежність логарифму десяткової концентрації заквашувальних культур від LgC_{La} та $LgC_{\dot{y}k}$



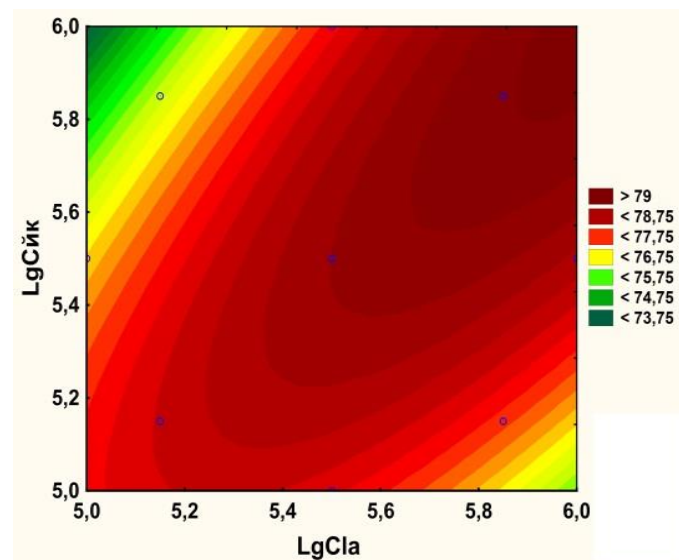
Залежність синерезису згустку від LgC_{La} та $LgC_{\dot{y}k}$



Залежність титрованої кислотності від $LgCl_a$ та $LgC_{iйк}$

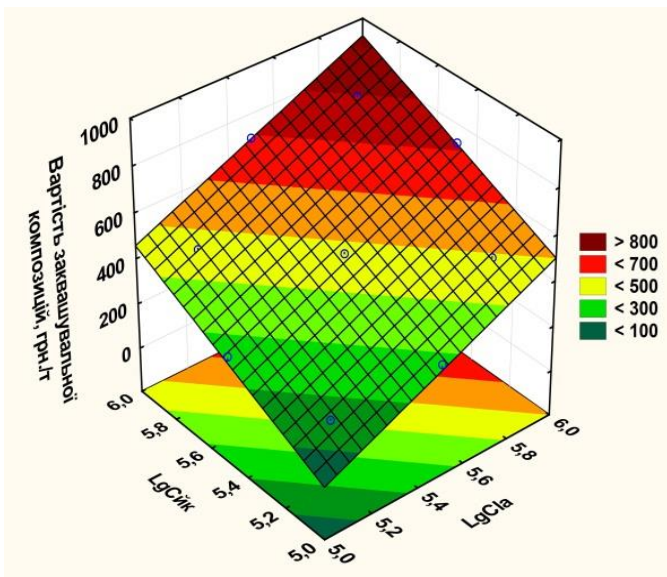


поверхня
відклику

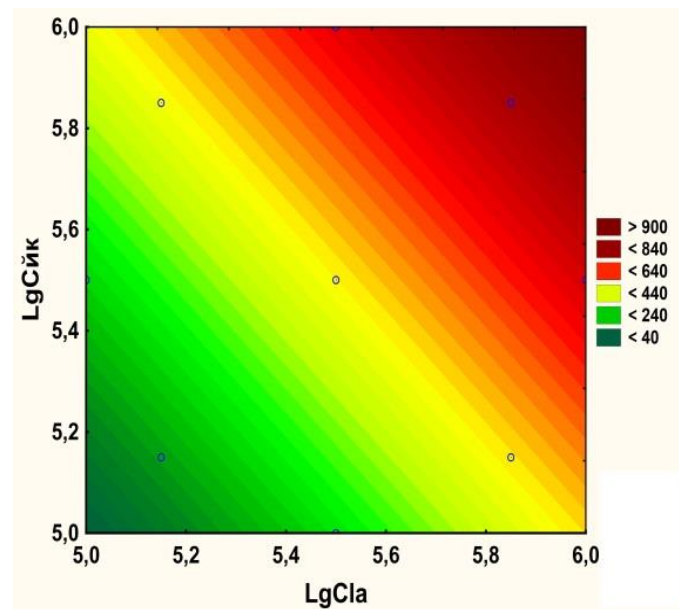


контурний
графік

Залежність вартості заквашувальної композиції від від $LgCl_a$ та $LgC_{iйк}$



поверхня
відклику



контурний
графік

Комплексний показник якості

$$КПЯ = M_1 \cdot LgCзк_{вм} + M_2 \cdot C_{вм} + M_3 \cdot ТК_{вм} + M_4 \cdot В_{вм}$$

де - M_1, M_2, M_3, M_4 - коефіцієнти вагомості одиничних показників - десятичного концентрації життєздатних клітин заквашувальних культур у 1 см³ згустку ($LgCзк$), синерезису ($C, \%$), титрованої кислотності згустку ($ТК, \text{°Т}$) та вартості заквашувальної композиції відповідно. При цьому:

$$\sum_{i=1}^4 M_i = 1,0$$

$$M_1=0,5; M_2=0,1; M_3=0,2; M_4=0,2$$

Для максимізації максимальних значень одиничних показників

де y - відмасштабовані дані; x - вихідні дані, наведені в таблиці; x_{\min} та x_{\max} - мінімальне та максимальне значення вихідних даних; y_{\min} та y_{\max} - мінімальне та максимальне значення нового діапазону (1 та 10 відповідно)

$$y = \frac{(y_{\max} - y_{\min}) \cdot (x - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} + y_{\min}$$

Для мінімізації максимальних значень одиничних показників

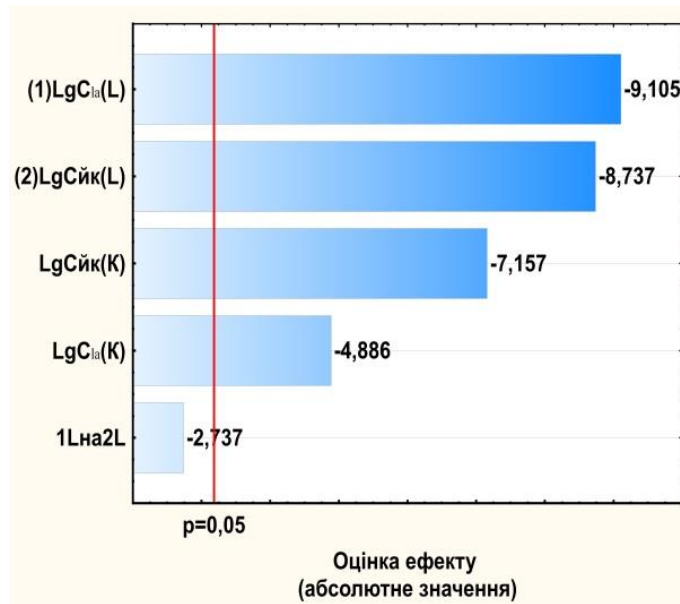
де y - відмасштабовані дані; x - вихідні дані, наведені в таблиці; x_{\min} та x_{\max} - мінімальне та максимальне значення вихідних даних; y_{\min} та y_{\max} - мінімальне та максимальне значення нового діапазону (1 та 10 відповідно)

$$y = y_{\max} - \frac{(y_{\max} - y_{\min}) \cdot (x - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}}$$

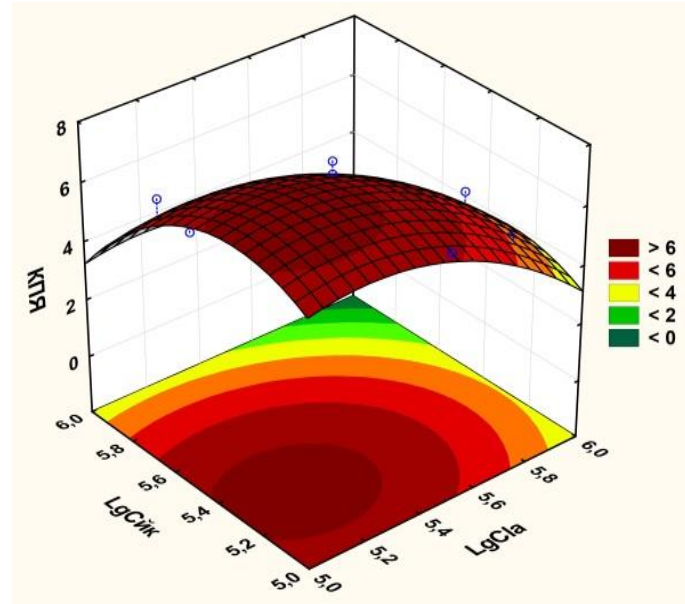
**Таблиця – Відмасштабовані значення одиничних показників та
розраховані значення комплексного показника якості**

№ з/п	Логарифм десятковий концентрації життєздатних клітин заквашувальних культур у 1 см³ згустку відмасштабований ($LgC_{зк_{ем}}$)	Синерезис згустку відмасштабований ($C_{ем}$)	Титрована кислотність згустку відмасштабована ($TK_{ем}$)	Вартість заквашувальних культур відмасштабована ($B_{з_{ем}}$)	Комплексний показник якості (КПЯ)
1	7,27	2,29	4,00	10,00	6,66
2	3,86	4,86	10,00	5,72	5,56
3	3,86	7,43	5,50	5,28	4,83
4	1,00	8,71	1,00	1,00	1,77
5	5,91	1,00	10,00	8,20	6,69
6	3,86	10,00	4,00	2,13	4,16
7	5,91	4,86	7,00	7,95	6,43
8	1,00	7,43	7,00	2,44	3,13
9	8,64	4,86	2,50	5,50	6,40
10	10,00	4,86	2,50	5,50	7,09
11	8,64	3,57	2,50	5,50	6,28
12	10,00	3,57	1,00	5,50	6,66

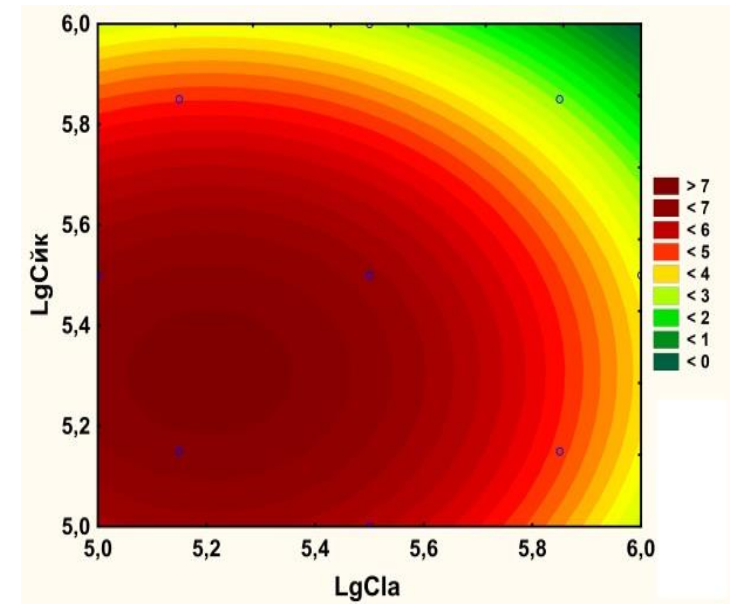
Діаграма Парето для КПЯ



Залежність КПЯ від LgCia та LgCйк



поверхня відклику



контурний графік

$$КПЯ = -372,223 + 86,344 \cdot LgCйк - 8,135 \cdot LgCйк^2 + 57,817 \cdot LgCia - 5,553 \cdot LgCia^2$$

де LgCйк – логарифм десятковий вихідної концентрації йогуртових культур життєздатних клітин у 1 см³ заквашуваної молочної суміші;
 LgCia – логарифм десятковий вихідної концентрації життєздатних клітин ацидофільної палички у 1 см³ заквашуваної молочної суміші

ВИСНОВКИ

- Максимальне значення КПА у ферментованих згустках відзначаємо при вихідних концентраціях йогуртових культур та ацидофільних паличок $3,7 \times 10^5$ та $2,5 \times 10^5$ КУО/см³. Тому таке співвідношення змішаних культур *S.tetmophilus* + *L.bulgaricus* та пробіотичної культури *L.acidophilus* у складі заквашувальної композиції для виробництва сирів сімейства Паста Філата з пробіотичними властивостями є оптимальним.
- За вказаного співвідношення культур кількість життєздатних клітин молочнокислих бактерій (у т.ч. *L. acidophilus*) у ферментованому згустку складає $6,61 \times 10^9$ КУО/см³, синерезис – 53,1 %, титрована кислотність згустку – 78,4 °Т , а вартість заквашувальної композиції з оптимальним співвідношенням культур складає 306,27 грн.
- Ферментовані згустки із вмістом *L. acidophilus* La-5 $6,61 \times 10^9$ КУО/см³ мають високі пробіотичні властивості, що дає підстави припустити, що сири, вироблені із застосуванням заквашувальної композиції з оптимальним співвідношенням молочнокислих

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

ОНТУ, Одеса 2024