

УДК 665:664.3

Некрасов П.О., д.техн.н., професор, Гудзь О.М., Руднєва С.І., к.техн.н., доцент,
Некрасов О.П., к.техн.н., професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**КІНЕТИКА І ТЕРМОДИНАМІКА ФЕРМЕНТАТИВНОГО ПРОЦЕСУ
ВИРОБНИЦТВА ЖИРОВИХ СИСТЕМ З МІНІМАЛЬНИМ ВМІСТОМ
ТРАНС-ІЗОМЕРІВ**

Ключові слова: переетерифікація, ліпаза, математичне моделювання, метод комплексів, газорідинна хроматографія.

В теперішній час основними технологіями одержання твердих жирів у промисловості є методи часткової гідрогенізації та хімічної переетерифікації.

Процес гідрогенізації жирів протікає за участю водню і каталізатора (що, як правило, виробляється на основі нікелю) при температурі 180...240 °С. Основними недоліками вказаної технології є великі капітальні інвестиції, висока вартість водню, що використовується, застосування хімічного каталізатора, що призводить до утворення металевих мил, необхідність наступного відбілювання і дезодорації, а також утворення шкідливих для організму людини транс-ізомерів [1–7].

На відміну від гідрогенізації переетерифікацією можна змінити триацилгліцериновий склад жиру або суміші жирів, не змінюючи їх жирнокислотного складу. Поширеними каталізаторами даної реакції служать метилат натрію CH_3ONa , етилат натрію $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$ і гідроксид натрію NaOH у суміші з гліцерином. Недоліками цього процесу є відносно висока температура проведення реакції (до 120 °С), забруднення продуктів реакції каталізатором і утворення мил як побічних продуктів [8, 9].

Застосування ферментативної переетерифікації замість гідрогенізації та хімічної переетерифікації має цілий ряд переваг: м'які умови реакції, не потрібні наступні процеси відбілювання або промивання, є можливість регулювання ступеня перетворення, використовуються природні біокаталізатори, що не забруднюють навколишнє середовище, організація виробництва менш складна і більш дешева. Ще однією вагомою перевагою ферментативної переетерифікації є можливість отримання жирових систем з мінімальним вмістом транс-ізомерів, а також природним розподілом ацилів у молекулах ацилгліцеринів. Відомо, що у другій позиції в ацилгліцеридах, що містяться у природі, знаходяться переважно ацили ненасичених кислот. При вказаному способі отримання жирових систем цей природний розподіл залишається завдяки 1,3-специфічності ферменту, що використовується. Тому при травленні як натуральних, так і жирів, що отримано за допомогою ферментативної переетерифікації, з кишечника до крові потрапляють однакові складові жирових компонентів [10–13].

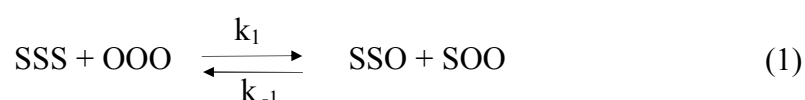
В даний час основними труднощами на шляху до широкого поширення цієї технології є наступні: усе ще відносно висока вартість використовуваного ферментного препарату; недостатня поінформованість і відсутність досвіду роботи з даною техноло-

гією на вітчизняних підприємствах. Крім того, недостатньо глибока, у порівнянні з традиційними способами, вивченість процесу, зокрема бракує системних досліджень кінетики зазначеного процесу.

Мета представленої роботи полягала в комплексному дослідженні та аналізі кінетики і термодінаміки ферментативної переестерифікації триацилгліцеринів, яку спрямовано на синтез жирових систем з мінімальним вмістом транс-ізомерів.

Модельні суміші складались з тристеарину та триолеїну у мольному співвідношенні 1 : 1. Вказані триацилгліцерини є головними компонентами сировини, перспективної для виробництва жирових систем з мінімальним вмістом транс-ізомерів. Для утворення гомогенної суміші субстратів при всіх температурах дослідження було використано розчинник – ізооктан. Біокаталіз процесу здійснювався за допомогою ліполітичного препарату Novozym 40086 («Novozymes», Данія). Вказаний препарат є іммобілізованою на силікагелі sn-1,3-позиційно специфічною ліпазою *Rhizomucor miehei*. Кількість біокаталізатора – 10 % мас. по відношенню до маси субстратів. Процес проводили в двох паралелях при температурах 50 °C, 60 °C, 70 °C протягом 6 годин при постійному перемішуванні під шаром азоту. Через визначені проміжки часу відбирались проби, триацилгліцериновий склад яких аналізувався методом високотемпературної газорідинної хроматографії у відповідності із ISO/TS 17383:2014 [14]. Використовувався хроматограф HP 7890B (Agilent Technologies), оснащений полум'яно-іонізаційним детектором (ПІД). Колонка CP-TAP CB for triglycerides, капілярна; її геометричні параметри: довжина 25 м, 0,25 мм внутрішній діаметр, 0,10 мкм товщина нерухомої фази. Програма термостата колонок: 100 °C (1 хв.), 30 °C/хв. до 340 °C, 340 °C (31 хв.) Температура інжектора – 360 °C, температура детектора – 360 °C. Газ-носієй – гелій. Швидкість газу-носія 1,8 см³/хв. Обсяг проби, що вводився, – 1,0 мкл. Всі аналізи здійснювались у двох паралелях. Ідентифікацію піків та калібрування було виконано за стандартами Sigma-Aldrich.

Ферментативна переестерифікація триацилгліцеринів обумовлена одночасним перебігом трьох реакцій:



де k_1 , k_2 і k_3 є константами швидкостей прямих реакцій, і k_{-1} , k_{-2} , k_{-3} – відповідні величини для зворотних реакцій. У рівняннях прийняті наступні позначення триацилгліцеринів: SSS – тристеарин; OOO – триолеїн; SSO – триацилгліцерин, до складу якого входять два ацили стеаринової кислоти (S) та один ацил олеїнової кислоти (O); SOO –

триацилгліцерин, до складу якого входять один ацил стеаринової кислоти та два ацили олеїнової кислоти.

Для математичного моделювання процесу ферментативної переестерифікації було складено систему нелінійних диференціальних рівнянь (4), що описують зміну концентрацій вихідних субстратів і продуктів реакцій у часі.

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d[\text{SSS}]}{d\tau} &= -k_1[\text{SSS}][\text{OOO}] + k_{-1}[\text{SSO}][\text{SOO}] - k_3[\text{SOO}][\text{SSS}] + k_{-3}[\text{SSO}]^2 \\
 \frac{d[\text{SSO}]}{d\tau} &= k_1[\text{SSS}][\text{OOO}] - k_{-1}[\text{SSO}][\text{SOO}] - k_2[\text{SSO}][\text{OOO}] + k_{-2}[\text{SOO}]^2 + \\
 &+ 2k_3[\text{SOO}][\text{SSS}] - 2k_{-3}[\text{SSO}]^2 \\
 \frac{d[\text{SOO}]}{d\tau} &= k_1[\text{SSS}][\text{OOO}] - k_{-1}[\text{SSO}][\text{SOO}] + 2k_2[\text{SSO}][\text{OOO}] - 2k_{-2}[\text{SOO}]^2 \\
 &- k_3[\text{SOO}][\text{SSS}] + k_{-3}[\text{SSO}]^2 \\
 \frac{d[\text{OOO}]}{d\tau} &= -k_1[\text{SSS}][\text{OOO}] + k_{-1}[\text{SSO}][\text{SOO}] - k_2[\text{SSO}][\text{OOO}] + k_{-2}[\text{SOO}]^2
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Процес моделювання здійснювався в середовищі Mathcad 15 (Parametric Technology Corporation) і полягав в ідентифікації параметрів побудованої моделі з використанням методу оптимізації, у ході якої проводилася мінімізація помилок між експериментальними та модельними даними [15]. Загальну схему алгоритму представлено на рис. 1.

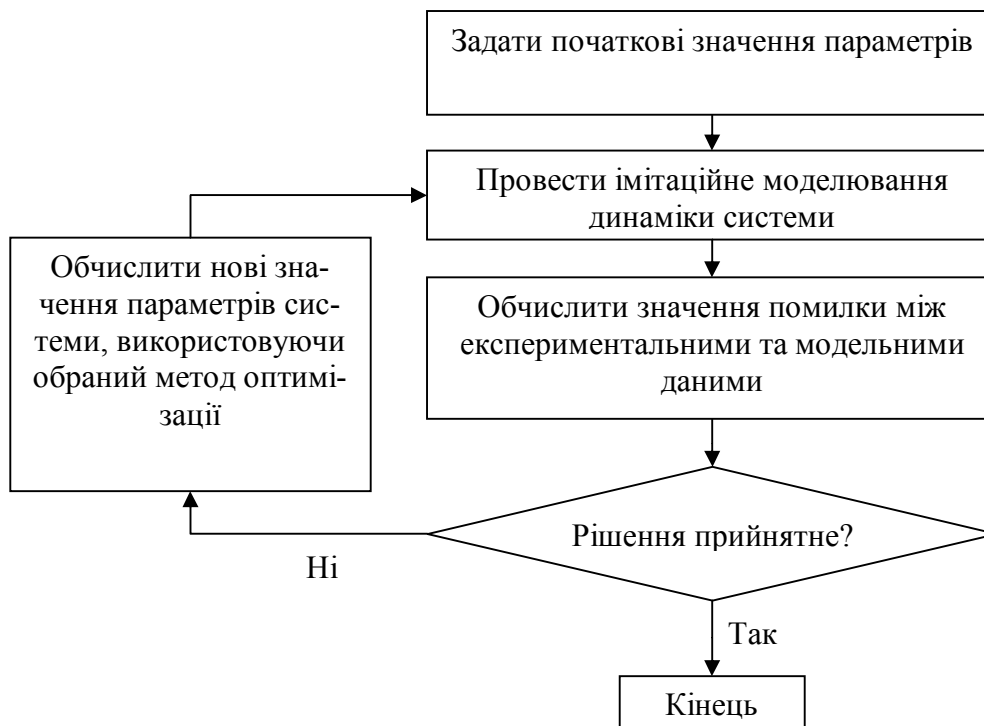


Рисунок 1 – Загальна схема алгоритму ідентифікації параметрів

У якості чисельної процедури моделювання диференціальних рівнянь було використано метод Рунге-Кутта зі змінним кроком четвертого порядку точності. Отримані за допомогою зазначеного методу дані використовувалися для обчислення цільової функції $J(k)$, яка фактично становила помилку між експериментальними та модельними даними, і мала такий вигляд:

$$J(k) = \sum_{i=0}^m \|x_i - \bar{x}(t_i, x^0, k)\|^2, \quad (5)$$

де x_i – значення вектора станів системи, отримані експериментальним шляхом у момент часу t_i ; $\bar{x}(t_i, x^0, k)$ – значення вектора станів системи, обчислені з використанням обраної процедури імітаційного моделювання в момент часу t_i з початковими умовами $x^0 = x_0 = \bar{x}(t_0, x^0, k)$; k – вектор параметрів системи; m – кількість наборів експериментальних даних.

Для оптимізації застосовувався алгоритм випадкового багатомірного пошуку – метод комплексів.

Як критерій закінчення ітерацій було використано наступну умову:

$$\frac{1}{z} \sqrt{\sum_{i=1}^z (J(k)_i - J(k)_c)^2} \leq \varepsilon, \quad (6)$$

де $J(k)_c$ – значення функції, що мінімізується, в центрі комплексу; z – кількість вершин гіперсфери; ε – точність рішення ($\varepsilon=10^{-3}$).

За допомогою програми, розробленої згідно представленому на рис. 1 алгоритму, було виконано обробку експериментальних даних і визначено чисельні значення констант швидкостей прямих і зворотних реакцій, які протікають у процесі переетерифікації триацилгліцеринів, а також їх констант рівноваги (відповідно табл. 1 та 2) при температурах 50 °С, 60 °С та 70 °С.

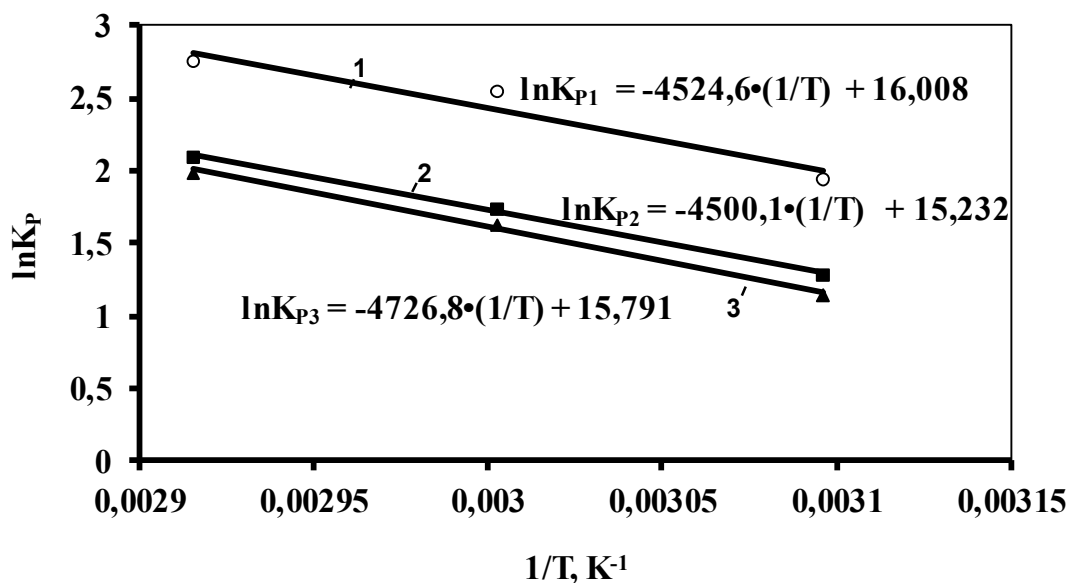
Таблиця 1 – Константи швидкостей (моль·ч⁻¹·год⁻¹)

Реакція	Значення констант швидкостей при різних температурах					
	50 °С		60 °С		70 °С	
	Пряма	Зворотна	Пряма	Зворотна	Пряма	Зворотна
$SSS + OOO \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} SSO + SOO$	0,0549	0,0079	0,1124	0,0088	0,1504	0,0096
$SSO + OOO \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} 2SOO$	0,0315	0,0087	0,0584	0,0102	0,0913	0,0112
$SOO + SSS \xrightleftharpoons[k_{-3}]{k_3} 2SSO$	0,0285	0,0091	0,0535	0,0105	0,0881	0,0120

Таблиця 2 – Константи рівноваги (K_p)

Реакція	Значення констант рівноваги при різних температурах		
	50 °C	60 °C	70 °C
$SSS + OOO \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} SSO + SOO$	6,95	12,77	15,67
$SSO + OOO \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} 2SOO$	3,62	5,73	8,15
$SOO + SSS \xrightleftharpoons[k_{-3}]{k_3} 2SSO$	3,13	5,10	7,34

Дані, представлені у табл. 1 і 2, дали можливість розрахувати термодинамічні параметри реакцій переетерифікації триацилгліцеринів при вказаних температурах. Для цього в напівлогарифмічних координатах були побудовані залежності $\ln K_p = f(1/T)$ (рис. 2).



- 1 – залежність $\ln K_{p1} = f(1/T)$ для реакції $SSS + OOO \rightleftharpoons SSO + SOO$;
- 2 – залежність $\ln K_{p2} = f(1/T)$ для реакції $SSO + OOO \rightleftharpoons 2SOO$;
- 3 – залежність $\ln K_{p3} = f(1/T)$ для реакції $SOO + SSS \rightleftharpoons 2SSO$.

Рисунок 2 – Залежність логарифмів констант рівноваги від зворотних значень температури

Залежності, що приведені на рис. 2, для кожної реакції підпорядковуються рівнянням прямих ліній з відповідними кутовими коефіцієнтами. Це дозволило розрахувати термодинамічні характеристики ферментативного процесу, а саме ΔH , ΔG та ΔS .

$$\Delta H = -tg\alpha \cdot R, \quad (7)$$

де $tg\alpha$ – кутовий коефіцієнт, R – універсальна газова стала, Дж/(моль·К).

Енергію Гіббса ΔG та ентропію ΔS в інтервалі температур 50–70 °С (323–343К) визначали за формулами (8) та (9) відповідно:

$$\Delta G = -RT \ln K, \quad (8)$$

де K – константа рівноваги при відповідній температурі T .

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T}. \quad (9)$$

Величину енергії активації для прямих та зворотних реакцій в області оптимальних значень температурних режимів процесу 60–70 °С (333–343К) розраховували за формулою:

$$E_{акт} = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}, \quad (10)$$

де k_{T_1} та k_{T_2} – константи швидкості при температурах T_1 та T_2 .

Чисельні значення термодинамічних характеристик досліджуваних реакцій та їх енергій активації представлено в табл. 3 та 4 відповідно.

Таблиця 3 – Термодинамічні характеристики

Реакція	ΔH , кДж/ моль	ΔG , кДж/моль			ΔS , кДж/(моль·К)		
		50 °С	60 °С	70 °С	50 °С	60 °С	70 °С
$SSS + OOO \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} SSO + SOO$	37,62	-5,21	-7,05	-7,85	0,13	0,13	0,13
$SSO + OOO \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} 2SOO$	37,42	-3,45	-4,83	-5,98	0,13	0,13	0,13
$SOO + SSS \xrightleftharpoons[k_{-3}]{k_3} 2SSO$	25,80	-3,06	-4,51	-5,68	0,09	0,09	0,09

Аналіз даних, наведених в табл. 3 і 4, дозволяє зробити висновок, що усі реакції є ендотермічними, тобто протікають із поглинанням тепла. Про це свідчать позитивні значення теплового ефекту ΔH і перевага чисельних значень енергії активації в прямому напрямку над відповідними величинами для зворотних. Зі зростанням температури для приведених реакцій значення ΔG зменшується, тобто тим переважніше реакції йдуть у бік утворення продуктів. Крім того, друга і третя реакції більш утрудненні у зрівнянні з першою, оскільки при всіх температурах спостерігається наступне співвідношення $\Delta G_1 < \Delta G_2 < \Delta G_3$.

Таблиця 4– Енергія активації (кДж/моль)

Реакція	Пряма	Зворотна
$SSS + OOO \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} SSO + SOO$	27,66	8,26
$SSO + OOO \xrightleftharpoons[k_{-2}]{k_2} 2SOO$	42,43	8,88
$SOO + SSS \xrightleftharpoons[k_{-3}]{k_3} 2SSO$	47,37	12,68

Висновки

1. Розроблено математичну модель та встановлено основні закономірності кінетики ферментативної переетерифікації триацилгліцеринів під дією ферментного препарату Novozym 40086.
2. Визначено константи швидкостей прямих і зворотних реакцій, що протікають у реакційних системах, а також константи рівноваги кожної з них.
3. На основі отриманих даних розраховано термодинамічні параметри та зроблено висновки про внесок кожної з реакцій в загальний процес у цілому.
4. Отримані результати слугуватимуть науковим підґрунтям для встановлення технологічних параметрів виробництва жирових систем з мінімальним вмістом транс-ізомерів.

Література

1. Shahidi F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th Edition / F. Shahidi. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005. – 3616 pp.
2. Dijkstra A.J. Trans fatty acids / A.J. Dijkstra, R. J. Hamilton, W. Hamm. – Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 2008. – 256 pp.
3. Booker C.S. Trans fatty acids and cardiovascular health: Translation of the evidence base / C. S. Booker, J. I. Mann // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. – 2008. – Vol. 18. – №6. – P. 448–456.
4. Kavanagh K. Neonatal and fetal exposure to trans-fatty acids retards early growth and adiposity while adversely affecting glucose in mice / K. Kavanagh, S. Sajadian, K. A. Jenkins // Nutrition Research. – 2010. – Vol. 30. – №6. – P. 418–426.
5. Phivilay A. High dietary consumption of trans fatty acids decreases brain docosahexaenoic acid but does not alter amyloid-[beta] and tau pathologies in the 3xTg-AD model of Alzheimer's disease / A. Phivilay, C. Julien, C. Tremblay // Neuroscience. – 2009. – Vol. 159. – №1. – P. 296–307.
6. Kummerow F. A. Trans fatty acids in hydrogenated fat inhibited the synthesis of the polyunsaturated fatty acids in the phospholipid of arterial / F. A. Kummerow, Q. Zhou, M. M. Mahfouz // Life Sciences. – 2004. – Vol. 74. – Issue 22. – P. 2707–2723.

7. Youngjoo Kwon. Effect of trans–fatty acids on lipid metabolism: Mechanisms for their adverse health effects / Kwon Youngjoo // *Food Reviews International*. – 2016. – Vol. 32. – Issue 3. – P. 323–339.
8. O'Brien R.D. Fat and oils: formulating and processing for applications, 3rd ed./ R. D. O'Brien. – Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 2009. – 745 pp.
9. Casas A. Catalyst removal after the chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate / A. Casas, Á. Pérez, M. Ramos // *Organic Process Research & Development*. – 2017. – Vol. 21. – No. 9. – P. 1253–1258.
10. Holm H. The evolution of enzymatic interesterification in the oils and fats industry / Holm H., Cowan D. // *European Journal Of Lipid Science And Technology*. – 2008. – Vol. 110. – No. 8. – P. 679–691.
11. Sikorski Z. E. Chemical, biological and functional properties of food lipids / Z. E. Sikorski, A. Kołakowska. – Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 512 pp.
12. Moffatt R. J. Lipid metabolism and health (1st ed.) / R. J. Moffatt, B. A. Stamford. – Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, 2006. – 366 pp.
13. Akoh C.C. Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology (4th ed.) / C. C. Akoh. – Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2017. – 1029 pp.
14. ISO/TS 17383:2014. Determination of the triacylglycerol composition of fats and oils – Determination by capillary gas chromatography. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2014. – 13 pp.
15. Korobov V. Chemical kinetics with Mathcad and Maple / Korobov V., Ochkov V. – Springer-Verlag Wien, 2011. – 344 p.

Bibliography (transliterated)

1. Shahidi F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 6th Edition / F. Shahidi. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005. – 3616 pp.
2. Dijkstra A.J. Trans fatty acids / A.J. Dijkstra, R. J. Hamilton, W. Hamm. – Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 2008. – 256 pp.
3. Booker C.S. Trans fatty acids and cardiovascular health: Translation of the evidence base / C. S. Booker, J. I. Mann // *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. – 2008. – Vol. 18. – №6. – P. 448–456.
4. Kavanagh K. Neonatal and fetal exposure to trans–fatty acids retards early growth and adiposity while adversely affecting glucose in mice / K. Kavanagh, S. Sajadian, K. A. Jenkins // *Nutrition Research*. – 2010. – Vol. 30. – №6. – P. 418–426.
5. Phivilay A. High dietary consumption of trans fatty acids decreases brain docosahexaenoic acid but does not alter amyloid–[beta] and tau pathologies in the 3xTg–AD model of Alzheimer's disease / A. Phivilay, C. Julien, C. Tremblay // *Neuroscience*. – 2009. – Vol. 159. – №1. – P. 296–307.
6. Kummerow F.A. Trans fatty acids in hydrogenated fat inhibited the synthesis of the polyunsaturated fatty acids in the phospholipid of arterial / F. A. Kummerow, Q. Zhou, M. M. Mahfouz // *Life Sciences*. – 2004. – Vol. 74. – Issue 22. – P. 2707–2723.

7. Youngjoo Kwon. Effect of trans–fatty acids on lipid metabolism: Mechanisms for their adverse health effects / Kwon Youngjoo // Food Reviews International. – 2016. – Vol. 32. – Issue 3. – P. 323–339.
8. O'Brien R. D. Fat and oils: formulating and processing for applications, 3rd ed./ R. D. O'Brien. – Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 2009. – 745 pp.
9. Casas A. Catalyst removal after the chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate / A. Casas, Á. Pérez, M. Ramos // Organic Process Research & Development. – 2017. – Vol. 21. – No. 9. – P. 1253-1258.
10. Holm H. The evolution of enzymatic interesterification in the oils and fats industry / Holm H., Cowan D. // European Journal Of Lipid Science And Technology. – 2008. – Vol. 110. – No. 8. – P. 679-691.
11. Sikorski Z. E. Chemical, biological and functional properties of food lipids / Z. E. Sikorski, A. Kołakowska. – Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. – 512 pp.
12. Moffatt R. J. Lipid metabolism and health (1st ed.) / R. J. Moffatt, B. A. Stamford. – Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, 2006. – 366 pp.
13. Akoh C.C. Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology (4th ed.) / C. C. Akoh. – Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2017. – 1029 pp.
14. ISO/TS 17383:2014. Determination of the triacylglycerol composition of fats and oils - Determination by capillary gas chromatography. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2014. – 13 pp.
15. Korobov V. Chemical kinetics with Mathcad and Maple / Korobov V., Ochkov V. – Springer-Verlag Wien, 2011. – 344 p.

УДК 665:664.3

Некрасов П.О., Гудзь О.М., Руднева С.І., Некрасов О.П.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

КІНЕТИКА І ТЕРМОДИНАМІКА ФЕРМЕНТАТИВНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЖИРОВИХ СИСТЕМ З МІНІМАЛЬНИМ ВМІСТОМ ТРАНС-ІЗОМЕРІВ

В роботі виконано математичне моделювання кінетики ферментативної переетерифікації триацилгліцеринів під дією ферментного препарату Novozym 40086 («Novozymes», Данія). Визначено константи швидкостей прямих і зворотних реакцій, а також їх константи рівноваги. Розраховано термодинамічні параметри і зроблено висновок про внесок кожної з реакцій у загальний процес. Отримані результати є основою для визначення технологічних параметрів виробництва жиркових систем з мінімальним вмістом транс-ізомерів.

Ключові слова: переетерифікація, ліпаза, математичне моделювання, метод комплексів, газорідинна хроматографія.

УДК 665:664.3

Некрасов П.А., Гудзь О.Н., Руднева С.І., Некрасов А.П.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

**КИНЕТИКА И ТЕРМОДИНАМИКА ФЕРМЕНТАТИВНОГО ПРОЦЕССА
ПРОИЗВОДСТВА ЖИРОВЫХ СИСТЕМ С МИНИМАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ
ТРАНС-ИЗОМЕРОВ**

В работе выполнено математическое моделирование кинетики ферментативной переэтерификации триацилглицеринов под действием ферментного препарата Novozym 40086 («Novozymes», Дания). Определены константы скоростей прямых и обратных реакций, а также их константы равновесия. Рассчитаны термодинамические параметры и сделан вывод о вкладе каждой из реакций в общий процесс. Полученные результаты являются основой для определения технологических параметров производства жировых систем с минимальным содержанием транс-изомеров.

Ключевые слова: переэтерификация, липаза, математическое моделирование, метод комплексов, газожидкостная хроматография.

Nekrasov P.O., Gudz O.M., Rudneva S.I., Nekrasov O.P.

**KINETICS AND THERMODYNAMICS OF THE ENZYMATIC PROCESS OF
PRODUCTION OF FATTY SYSTEMS WITH MINIMUM TRANS-ISOMERS
CONTENT**

Mathematical modeling of the kinetics of the enzymatic interesterification of triacylglycerols under the action of the enzyme preparation Novozym 40086 (Novozymes, Denmark) has been performed in the work. The rate constants of direct and inverse reactions, as well as their equilibrium constants, have been determined. Thermodynamic parameters have been calculated and a conclusion has been made on the contribution of each of the reactions to the overall process. The results obtained are the basis for determining the technological parameters of the production of fatty systems with a minimum content of trans-isomers.

Key words: interesterification, lipase, mathematical modeling, method of complexes, gas-liquid chromatography.