

УДК 637.344.8:577.15

Синенко Т. П.,

t.p.synenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-002-5300-5142,

Researcher ID AAD-1619-2021,

аспірант, асистент кафедри технології та безпечності харчових продуктів,

Сумський національний аграрний університет, м. Суми

Фролова Н. Е.,

frolovan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5009-6026,

Researcher ID D-7515-2019,

д.т.н., доц., професор кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ

Анотація. У статті розглянуто тенденції виробництва натуральних смакоароматичних добавок гастрономічного напрямку. Обґрунтовано доцільність використання сироваткових білків у смакоароматичних добавках. Метою статті є математичне моделювання процесу гідролізу сироваткових білків за критерієм максимального виходу вільних амінокислот у разі використання ферментного каталізатора. В експериментальних дослідженнях використовували комерційний концентрат сироваткових білків (КСБ-УФ-80) і лужну бактеріальну протеазу «Протолад». Оптимізацію параметрів ферментативного гідролізу проводили методом поверхонь відгуку, із застосуванням центрального композиційного рототабельного плану. Процес гідролізу сироваткових білків та отримання низькомолекулярних пептидів і амінокислот представлений у вигляді параметричної схеми. Визначено значущі технологічні параметри процесу ферментативного гідролізу сироваткових білків: концентрація ферментного препарату (F , %) та субстрату (S , %), рН середовища (рН), температура (t , °C) і тривалість процесу (τ , хв) гідролізу. Оптимізацію процесу проводили за вихідним параметром моделі – вміст азоту аміних груп (NAG, мг / 100 г). По результатам проведених експериментів і математичної обробки отриманих даних у вигляді рівнянь регресії було одержано модель процесу гідролізу сироваткових білків під дією ферментних препаратів. Регресійний аналіз даних показав всі вибрані фактори та їх взаємодії є значущими, рівень достовірності перевищує 95%. В результаті поетапного аналізу розробленої математичної моделі оптимізовано процес гідролізу сироваткових білків ферментним препаратом «Протолад». Встановлено, що найглибший ступень гідролізу відбувається за таких технологічних параметрів: концентрація ферменту $4 \pm 0,01\%$ і субстрату $18 \pm 0,5\%$, рН $7,7 \pm 0,1$ і температура середовища $57 \pm 2^\circ\text{C}$, тривалість процесу 75 хв.

Ключові слова: сироваткові білки, Протолад, ферментативний гідроліз, оптимізація, математичне моделювання.

Synenko T. P.,

t.p.synenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-002-5300-5142,

Researcher ID AAD-1619-2021,

Postgraduate Student, Assistant at the Department of Technologies and Safety of Food Products,

Sumy National Agrarian University, Sumy

Frolova N. E.,

frolovan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5009-6026,

Researcher ID D-7515-2019,

Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Technology of Restaurant and Ayurvedic Products,

National University of Food Technologies, Kyiv

MODELING AND OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF ENZYMATIC HYDROLYSIS OF WHEY PROTEINS

Abstract. The article considers the tendencies of production of natural flavoring additives of gastronomic direction. The expediency of using whey proteins in flavoring additives is substantiated. The purpose of the article is mathematical modeling of the process of hydrolysis of whey proteins by the criterion of maximum yield of free amino acids using an enzyme catalyst. In experimental studies using a commercial whey protein concentrate (WPC-80 UV) and alkaline bacterial protease "Protolad". Optimization of enzymatic hydrolysis parameters was performed by the method of response surfaces, using a central composite rotatable plan. The process of enzymatic hydrolysis of whey proteins and obtaining low molecular weight peptides and amino acids is presented in the form of a parametric scheme. Determined significant technological parameters of enzymatic hydrolysis of whey protein: concentration of enzyme preparation (F , %) and substrate (S , %), pH of the medium (pH), temperature (t , °C) and duration of the hydrolysis process (τ , min). The process is optimized for the initial parameters of the models – the nitrogen content of amine groups (NAG, mg /100 g). The results of the experiments and mathematical processing of the data in the form of regression equations were derived model of hydrolyzed whey protein under the action of enzymes. Regression analysis of the data showed all the selected factors and their interactions are significant, the level of reliability exceeds 95%. As a result of step-by-step analysis of the developed mathematical model, the process of hydrolysis of whey proteins by the enzyme preparation "Protolad" is optimized. It was established that the most profound degree of hydrolysis occurs following technological parameters: concentration of enzyme $4 \pm 0,01\%$ and substrate $18 \pm 0,5\%$, pH $7,7 \pm 0,1$ and ambient temperature 57 ± 2 °C, process duration 75 min.

Key words: whey proteins, Protolad, enzymatic hydrolysis, optimization, mathematical modeling.

JEL Classification: L 66

DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-15>

Постановка проблеми. У сучасних трендах виробництва натуральних смакоароматичних добавок гастрономічного напрямку значне місце посідає використання білкових гідролізатів із вторинної сировини харчової промисловості [1]. Технологія таких добавок включає гідроліз білкових сполук із метою отримання вільних амінокислот та коротких пептидів, які становлять смакоароматичну основу гастрономічних продуктів.

Сутність ферментативної модифікації білкових сполук полягає в їх обробці протеолітичними ферментами з метою отримання низькомолекулярних білкових речовин. Ферментативний спосіб є інноваційним, дешевшим, безпечним та енергозберігаючим методом порівняно з кислотним. Гідроліз із використанням ферментних препаратів проходить у м'яких умовах (температура близька до 50–60°C), не потребує складного обладнання [2].

Механізм ферментативних реакцій складний, і ефективність протікання реакції залежить від правильності підбору ферментного препарату, умов середовища (температури і рН) тощо [3]. Для збільшення виходу цільових продуктів та оптимізації процесу гідролізу перспективним є використання математичного моделювання процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У технології смакоароматичних добавок актуальності набуває використання вторинної сировини харчової промисловості. М'яса, шкірка

ягід, фруктів та овочів, шкаралупа, відходи морепродуктів та м'яса, відпрацьовані зерна кави та какао-бобові містять значний запас попередників смаку та аромату [4; 5].

Вченими [6; 7] було досліджено та отримано рибну смакоароматичну добавку на основі гідролізату рибних білків, отриманих із побічних продуктів риби та морепродуктів із використанням ферментів.

Побічні продукти виробництва м'яса птиці та яловичі використовуються для отримання найкращих смакових та ароматичних речовин з апетитними, умами та м'ясистими дескрипторами [8]. Ступінь насиченості та чистоти смаку і аромату можна контролювати за допомогою підібраних комбінацій ферментів та послідовності їх використання, температури, рН та тривалості процесу гідролізу.

Вченими було розроблено смакоароматичний препарат на основі білкового шроту насіння півонії як побічного продукту при виробництві олії, з м'ясними, умами, карамельними і солоними характеристиками [9].

Серед побічних продуктів харчової промисловості значний інтерес для смакоароматичної галузі представляє молочна сироватка, зокрема сироваткові білки (СБ) [10]. Технологія отримання

мання СБ полягає в сепаруванні або центрифугуванні, мікрофільтрації, ультрафільтрації, концентруванні молочної сироватки та з подальшим сушінням [11].

Цінність СБ полягає в оптимальному наборі незамінних амінокислот. Розширення способів застосування СБ у продуктах особливо актуально в наш час, коли гостро відчувається нестача повноцінних білків у раціоні харчування населення [12].

Можливість утворення натуральних смакоароматичних добавок тісно пов'язано зі ступенем протеолізу білкових попередників. Більшість технологій, які включають етап гідролізу СБ розкрито науковцями [13–15]. Але кожна технологія протеолізу потребує оптимізації параметрів, залежно від ферментного препарату, який використовується, його специфічності, активності та оптимальних умов дії. Питання підбору та обґрунтування технологічних параметрів ферментативного гідролізу сироваткових білків залишається актуальним.

Постановка завдання. Метою роботи є математичне моделювання процесу гідролізу сироваткових білків за критерієм максимального виходу вільних амінокислот при використанні ферментного каталізатора.

Завданням роботи є визначення значущих технологічних параметрів процесу гідролізу сироваткових білків, зокрема концентрації ферментного препарату, значення рН, температури та тривалості протеолізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виконання завдання використовували концентрат сироваткових білків (КСБ-УФ-80) виробництва ТМ БіоС («ТехМолПром», Україна). КСБ-УФ-80 представляє дрібнодисперсний сухий порошок, за хімічним складом має такі показники: вміст жиру (2,6%), вуглеводів (1,2%), білку (80,3%).

Як ферментний препарат використовували лужну бактеріальну протеазу «Протолад» (ДП «Ензим», Україна), яку отримують шляхом спрямованої ферментації селекційного штаму *V. subtilis*.

Моделювання технології гідролізу сироваткових білків здійснювали на основі отриманих попередніх експериментальних результатів оптимальних діапазонів технологічних параметрів протеолізу, зокрема концентрації ферментного препарату та субстрату, рН середовища, температури і тривалості процесу гідролізу [16].

Для проведення ферментного гідролізу концентрат сироваткових білків розчиняли в питній воді і отримували розчини з масовою часткою сироваткових білків від 5 до 35% (з інтервалом 5). У підготовлених розчинах корегували рН середовища, додаючи 2н HCl або 1н NaOH, і підігрівали до температури гідролізу від 15 до 95°C. Вносили ферментний препарат «Протолад» від 1 до 6%. При постійному перемішуванні і підтримуванні зазначених температурних показників, проводили протеоліз протягом 2–3 годин.

Оптимізацію параметрів ферментативного гідролізу проводили методом поверхонь відгуку, із застосуванням центрального композиційного рототабельного плану.

Основними перемінними (незалежні фактори), які впливають на процес протеолізу, вибрано: концентрація ФП (F, %) та субстрату (S, %), рН середовища (pH), температура (t, °C) і тривалість процесу (τ, хв) гідролізу.

Як параметр оптимізації (вихідна змінна) використовували показник вмісту азоту аміних груп (NAG, мг / 100 г), який визначали за методом Серенсена (формольне титрування).

Процес ферментативного гідролізу сироваткових білків та отримання низькомолекулярних пептидів і амінокислот представлений у вигляді параметричної схеми (рис. 1).

Для математичного опису процесу було використано поліном другого порядку (1):

$$NAG = b_0 + b_1 \cdot F + b_{11} \cdot F^2 + b_2 \cdot S + b_{22} \cdot S^2 + b_3 \cdot \rho H + b_{33} \cdot \rho H^2 + b_4 \cdot t + b_{44} \cdot t^2 + b_5 \cdot \tau + b_{55} \cdot \tau^2 + b_{12} \cdot F \cdot S + b_{13} \cdot F \cdot \rho H + b_{13} \cdot F \cdot t + b_{15} \cdot F \cdot \tau + b_{23} \cdot S \cdot \rho H + b_{24} \cdot S \cdot t + b_{25} \cdot S \cdot \tau + b_{34} \cdot \rho H \cdot t + b_{35} \cdot \rho H \cdot \tau + b_{45} \cdot t \cdot \tau, \quad (1)$$

де NAG – вміст азоту аміних груп, мг/100 г;

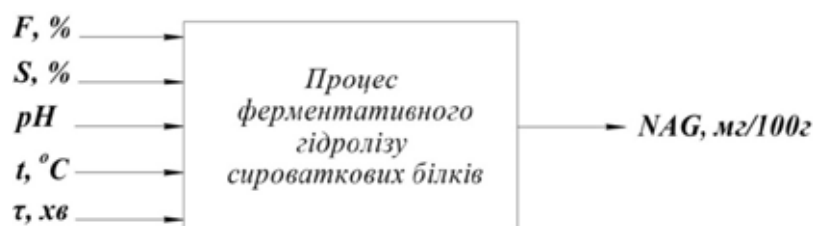


Рис. 1. Параметрична схема процесу ферментативного гідролізу сироваткових білків

F – концентрація ферменту, %;
 S – концентрація субстрату, %;
 pH – рН середовища, од. рН;
 t – температура, °С;
 τ – тривалість процесу, хв.,
 b_0 – константа;
 $b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_3, b_{33}, b_4, b_{44}, b_5, b_{55}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{23}, b_{24}, b_{25}, b_{34}, b_{35}, b_{45}$ – коефіцієнти елементів попілома.

Незалежні параметри (фактори) та їх рівні, вибрані на основі аналізу літератури та попередніх досліджень, представлені в кодованих та реальних значеннях у табл. 1.

Матриця планування та отримані експериментальні значення функції відгуку (середні значення трьох паралельних досліджень) представлені в табл. 2.

Опрацювання отриманих експериментальних результатів, наведених у табл. 2, здійснювали за допомогою комп'ютерної програми Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

Адекватність отриманих моделей перевірялась методом дисперсійного аналізу, результати якого представлені в табл. 3.

Дані, які наведені в табл. 3, дають змогу зробити висновок, що модель адекватно описує фак-

Таблиця 1

Область постановки експерименту

Кодовані значення параметрів	Реальні значення параметрів				
	Концентрація фермента, %	Концентрація субстрату, %	рН середовища, од. рН	Температура, °С	Тривалість, хв
	F	S	pH	t	τ
-1,86	1,00	1,00	4,00	20,00	30,00
-1	2,16	6,94	5,85	36,20	64,70
0	3,50	20,00	8,00	55,00	105,00
+1	4,84	23,06	10,15	73,80	145,30
+1,86	6,00	35,00	12,00	90,00	180,00

Таблиця 2

Матриця планування експерименту та функція відгуку

№ дослідю	F	S	pH	t	τ	Вміст азоту аміних груп, (NAG), мг / 100 г
1	1	1	-1	1	1	98,18
2	1	-1	1	1	1	66,88
3	-1	1	1	1	-1	82,69
4	1	1	1	-1	-1	70,10
5	1	1	-1	-1	-1	72,45
6	1	-1	-1	-1	1	70,86
7	-1	-1	-1	1	-1	59,41
8	-1	-1	1	-1	1	71,56
9	-1	1	-1	1	1	92,62
10	1	-1	1	1	-1	74,05
11	-1	1	1	-1	1	92,25
12	-1	-1	-1	-1	-1	52,79
13	-1,86	0	0	0	0	79,05
14	1,86	0	0	0	0	108,02
15	0	-1,86	0	0	0	66,76
16	0	1,86	0	0	0	100,83
17	0	0	-1,86	0	0	66,75
18	0	0	1,86	0	0	77,77
19	0	0	0	-1,86	0	74,15
20	0	0	0	1,86	0	72,69
21	0	0	0	0	-1,86	98,75
22	0	0	0	0	1,86	121,38
23	0	0	0	0	0	96,38
24	0	0	0	0	0	96,35

Дисперсійний аналіз моделі гідролізу сироваткових білків

Фактор	Сума квадратів, SS	Ступінь свободи, df	Середнє значення квадрата, MS	F-критерій	Рівень значущості, p
(1) F (L)	340,784	1	340,784	9413,62	0,000002
F (K)	11,260	1	11,260	311,03	0,000397
(2) S (L)	1489,543	1	1489,543	41146,33	0,000000
S (K)	279,292	1	279,292	7715,00	0,000003
(3) pH (L)	236,819	1	236,819	6541,76	0,000004
pH (K)	861,201	1	861,201	23789,33	0,000001
(4) t (L)	145,687	1	145,687	4024,38	0,000009
t (K)	779,903	1	779,903	21543,61	0,000001
(5) τ (L)	8,032	1	8,032	221,86	0,000657
τ (K)	283,401	1	283,401	7828,50	0,000003
1L · 2L	82,885	1	82,885	2289,58	0,000020
1L · 3L	26,334	1	26,334	727,43	0,000112
1L · 4L	119,979	1	119,979	3314,24	0,000012
1L · 5L	164,331	1	164,331	4539,40	0,000007
2L · 3L	214,683	1	214,683	5930,29	0,000005
2L · 4L	242,413	1	242,413	6696,29	0,000004
2L · 5L	284,908	1	284,908	7870,13	0,000003
3L · 4L	87,627	1	87,627	2420,57	0,000018
3L · 5L	132,553	1	132,553	3661,57	0,000010
4L · 5L	248,577	1	248,577	6866,54	0,000004
Похибка	0,109	3	0,036		
Загальна сума квадратів	6515,586	23			
Коефіцієнт достовірності апроксимації	R²=0,999				

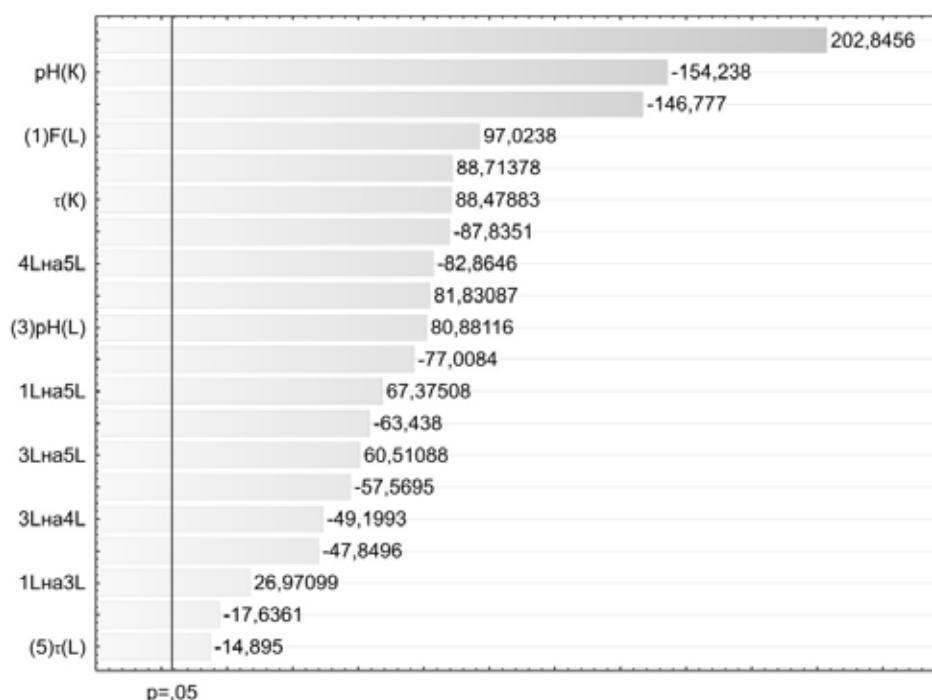


Рис. 2. Діаграма Парето для ферментативного гідролізу сироваткових білків

торний простір експериментів та спостерігається високий ступінь зв'язку між вхідними параметрами та відкликом.

Для оцінки значущості окремих параметрів (факторів) розглянемо карту Парето (рис. 2) (L – лінійний ефект, Q – квадратичний ефект).

Аналіз діаграм (рис. 2) вказує на те, що всі коефіцієнти регресії та всі взаємодії факторів є значущими, тому що їх рівень достовірності перевищує 95%.

За результатами проведених експериментів і математичної обробки отриманих даних було одержано моделі процесу гідролізу сироваткових білків під дією ФП у вигляді рівнянь регресії (2):

$$\begin{aligned}
 NAG = & -129,76 + 16,046 \cdot F - 0,44 \cdot F^2 + \\
 & 2,622 \cdot S - 0,056 \cdot S^2 + 33,439 \cdot \rho H - 1,5 \cdot \rho H^2 + \\
 & 4,027 \cdot t - 0,019 \cdot t^2 - b_{2,04} \cdot \tau + 0,002 \cdot \tau^2 - 0,659 \cdot \\
 & F \cdot S + 0,905 \cdot F \cdot \rho H - 0,344 \cdot F \cdot t + 0,168 \cdot F \cdot \tau - \\
 & 0,661 \cdot S \cdot \rho H + 0,077 \cdot S \cdot t + 0,039 \cdot S \cdot \tau - 0,164 \cdot \\
 & \rho H \cdot t + 0,105 \cdot \rho H \cdot \tau - 0,01 \cdot t \cdot \tau. \quad (2)
 \end{aligned}$$

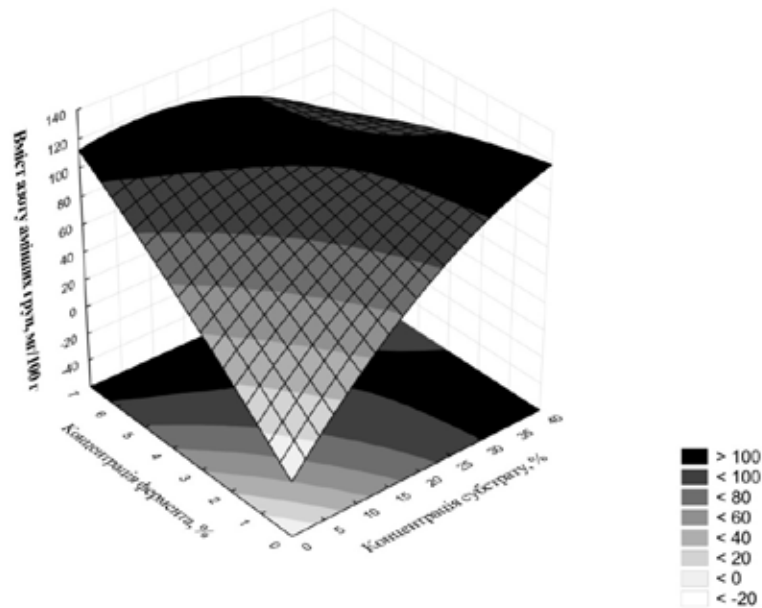


Рис. 3. Залежність ступеня гідролізу від концентрації ферменту та субстрату

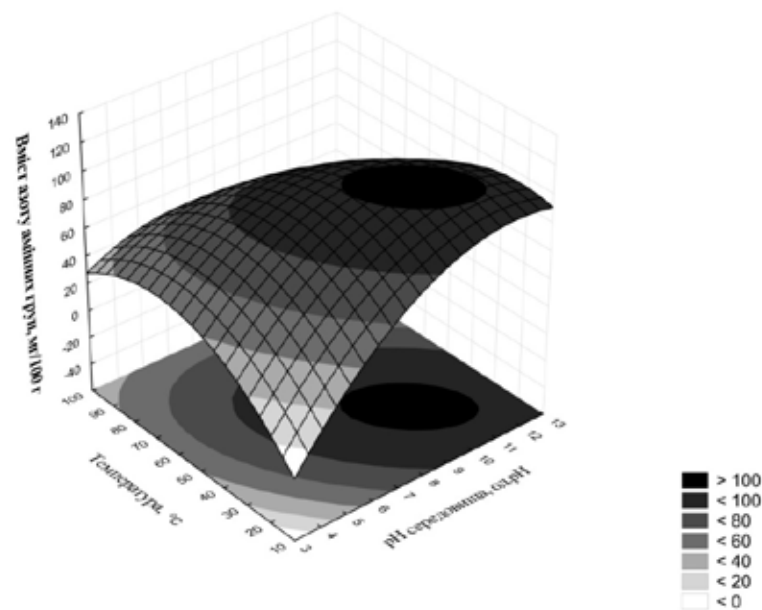


Рис. 4. Залежність ступеня гідролізу від температури та рН середовища

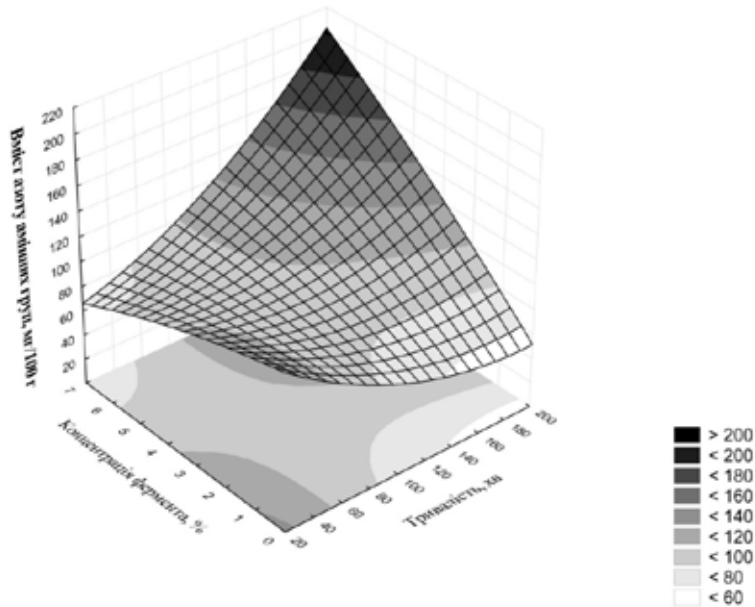


Рис. 5. Залежність ступеня гідролізу від вмісту ферменту та часу реакції

Наочний вигляд функції відклику, що описуються отриманим рівняннями, а також характер впливу умов проведення гідролізу сироваткових білків на вміст азоту аміних груп (NAG) представлено на рис. 3-4. Наведені на вказаних рисунках поверхні відклику відображають залежність ступеня гідролізу від двох перемінних, при цьому інші три параметри зафіксовано в оптимальних значеннях.

Перший етап математичного моделювання передбачає визначення раціонального співвідношення концентрації субстрату і ферментного препарату (рис. 3). Протеоліз проводили при значенні рН 8,0; температурі 55°C і тривалості процесу 105 хв.

Згідно з графічними даними, представленими на рис. 3, найбільший вміст азоту аміних груп у гідролізаті можна отримати при концентрації ензиму не більше 4,5%. Збільшення вмісту азоту аміних груп триває до моменту, доки весь субстрат не вступить у взаємодію із ферментом. Подальше збільшення концентрації ферменту є не раціональним і не впливає на гідроліз.

У результаті аналізу наведеної залежності як раціональної концентрації субстрату вибираємо 18% і ферментного препарату 4%.

Наступним етапом досліджень стало визначення оптимального значень температури та рН реакційного середовища, що впливає на активність ферментного препарату. Аналіз залежності виходу цільових продуктів від температури і рН пов'язаний двома аспектами: інактивацією фер-

ментів та швидкістю гідролізу. Швидкість реакції зі збільшенням температури зростає до певної межі, поки не відбувається термічна інактивація ферменту.

На рис. 4 зображено залежності вмісту азоту аміних груп від температури та рН середовища. Протеоліз проводили при сталих значеннях концентрації ферменту 4% і субстрату 18%, тривалості процесу 105 хв.

Як видно з графічних даних, наведених на рис. 4, максимальна активність ферментного препарату і збільшення азоту аміних груп спостерігається в лужному середовищі при рН 7,7 і при температурі процесу 57°C.

У процесі наступного математичного моделювання було визначено раціональне значення тривалості процесу гідролізу сироваткових білків (рис. 5). Протеоліз проводили при сталих значеннях концентрації субстрату 18%, рН 7,7 і температурі 57°C.

Згідно з графічними даними, представлених на рис. 6, при оптимальних значеннях рН, температурі та концентрації субстрату найвищий ступінь гідролізу (вміст азоту аміних груп становить більше 120 мг / 100 г) досягається через 160 хв. Але після 75–80 хв. накопичення азоту аміних груп спостерігається незначним. Раціональним є тривалість процесу 75 хв. – вихід азоту аміних груп становить 94,7 мг / 100 г.

З рис. 3-5 видно, що значення рН і температури реакційного середовища, концентрації ферментів і субстрату, а також тривалості процесу

впливає на розроблену модель. Процес оптимізації та пошук оптимальних співвідношень можна здійснювати за всіма діапазонами числових осей.

Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. На основі аналітичних та експериментальних досліджень розроблена математична модель ферментативного гідролізу сироваткових білків та визначені основні значущі параметри процесу.

Розроблені та оптимізовані параметри протеолізу сироваткових білків ферментним препаратом «Протолад», які забезпечують отримання найвищого вмісту азоту аміних груп, а отже, найглибшого ступеня гідролізу: концентрація ферменту $4 \pm 0,01\%$ і субстрату $18 \pm 0,5\%$, рН $7,7 \pm 0,1$ і температура середовища $57 \pm 2^\circ\text{C}$, тривалість процесу 75 хв.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ayseli M.T., Ayseli Y.I. Flavors of the future: health benefits of flavor precursors and volatile compounds in plant foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. № 48. P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.005>.

2. Wouters A.G.B., Rombouts I., Fierens E., Brijs K., Delcour J.A. Relevance of the functional properties of enzymatic plant protein hydrolysates in food systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. № 15(4). P. 786–800. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12209>.

3. Nandy S.K. Bioprocess technology governs enzyme use and production in industrial Biotechnology: An Overview. *Enzyme Engineering*. 2016. № 5. P. 1–5. <https://doi.org/10.4172/2329-6674.1000144>.

4. De Oliveira Felipi L., de Oliveira A. M., Lemos Bicas J. Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. № 26. P. 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.005>.

5. Naumenko K., Petrusha O., Frolova N., Fedorenko O. Quality assessment of extracts from unconventional plant raw materials. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 4(10). P. 49–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47685>.

6. Мухин В., Новиков В. Белковые гидролизаты из отходов переработки морепродуктов. *Птицеводство*. 2002. № 2. С. 21–23.

7. Murna M., Novi S., Fahrizal Z.. Production of protein hydrolysates from fish by-product prepared by enzymatic hydrolysis. *International Journal of the Bioflux Society*. 2012. № 5(1). P. 36–39.

8. Song S., Li S., Fan L., Hayat K., Xiao Z., Chen L. A novel method of beef bone protein extraction by lipase-pretreatment and its application in the Maillard reaction. *Food Chemistry*. 2016. № 208. P. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.062>.

9. Shang Y., Cao H., Wei C., Thakur K., Liao A., Huang J., Wei Z. Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14341>.

10. De Castro R.J.S., Domingues M.A.F., Ohara A., Okuro P.K., Santos J.G., Brexo R.P., Sato H.H. Whey protein as a key component in food systems: physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*. 2017. № 14. P. 17–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>.

11. Храпцов А.Г. Белковые продукты из молочной сыворотки. *Переработка молока*. 2011. № 1. С. 18–21.

12. Гордиенко Л.А., Евдокимов И.А., Куликова И.К. Использование концентрата сывороточных белков при производстве кисломолочных напитков. *Молочное дело*. 2011. № 3. С. 17.

13. Ghosh B.C., Prasad L.N., Saha N.P. Enzymatic hydrolysis of whey and its analysis. *Journal of food science and technology*. 2017. № 54. P. 1476–1483. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-017-2574-z>.

14. Mota M.V.T., Ferreira I.M.P.L.V.O., Oliveira M.B.P., Rocha C., Teixeira J.A., Torres D., Gonçalves M.P. Enzymatic Hydrolysis of Whey Protein Concentrates: Peptide HPLC Profiles. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*. 2004. № 27(16). P. 2625–2639. <http://dx.doi.org/10.1081/jlc-200028429>.

15. Severin S., Xia W.S. Enzymatic hydrolysis of whey proteins by two different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates. *Journal of Food Biochemistry*. 2006. № 30. P. 77–97. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4514.2005.00048.x>.

16. Синенко Т.П., Фролова Н.Е. Ферментативний гідроліз сироваткових білків молока. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. № 1. С. 79–86. [http://dx.doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1\(105\)-10](http://dx.doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10).

REFERENCES:

1. Ayseli, M.T., Ayseli, Y.I., 2016. Flavors of the future: health benefits of flavor precursors and volatile compounds in plant foods. *Trends in Food Science & Technology*, no. 48, pp. 69–77. doi: 10.1016/j.tifs.2015.11.005.

2. Wouters, A.G.B., Rombouts, I., Fierens, E., Brijs, K., Delcourhttps, J.A., 2016. Relevance of the functional properties of enzymatic plant protein hydrolysates in food systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, no. 15(4), pp. 786–800. doi: 10.1111/1541-4337.12209.
3. Nandy, S.K., 2016. Bioprocess technology governs enzyme use and production in industrial Biotechnology: An Overview. *Enzyme Engineering*, no. 5, pp. 1–5. doi: 10.4172/2329-6674.1000144.
4. De Oliveira Felipi, L., de Oliveira, A.M., Lemos Bicas, J., 2017. Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, no. 26, pp. 141–153. doi: 10.1016/j.tifs.2017.02.005.
- Naumenko, K., Petrusha, O., Frolova, N., Fedorenko, O., 2015. Quality assessment of extracts from unconventional plant raw materials. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, no. 4(10), pp. i49–54. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47685.
5. Muhin, V., Novikov, V. 2002. Belkovye gidrolizaty iz othodov pererabotki moreproduktov [Protein hydrolysates from seafood processing wastes]. *Poultry*, no. 2, pp. 21–23.
6. Murna, M., Novi, S., Fahrizal, Z., 2012. Production of protein hydrolysates from fish by-product prepared by enzymatic hydrolysis. *International Journal of the Bioflux Society*, no. 5(1), pp. 36–39.
7. Song, S., Li, S., Fan, L., Hayat, K., Xiao, Z., Chen, L., 2016. A novel method of beef bone protein extraction by lipase-pretreatment and its application in the Maillard reaction. *Food Chemistry*, no. 208, pp. 81–88. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.03.062.
8. Shang, Y., Cao, H., Wei, C., Thakur, K., Liao, A., Huang, J., Wei, Z., 2019. Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal of Food Processing and Preservation*,. doi: 10.1111/jfpp.14341.
9. De Castro, R.J.S., Domingues, M.A.F., Ohara, A., Okuro, P.K., Santos, J.G., Brexo, R.P., Sato, H.H., 2017. Whey protein as a key component in food systems: physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, no. 14, pp. 17–29. doi:10.1016/j.foostr.2017.05.004.
10. Hramcov, A.G., 2011. Belkovye produkty iz molochnoj syvorotki [Protein products from milk whey]. *Pererabotka moloka*, no. 1, pp. 18–21.
11. Gordienko, L.A., Evdokimov, I.A., Kulikova, I.K., 2011. Ispol'zovanie koncentrata syvoro-tochnyh belkov pri proizvodstve kislomolochnyh napitkov [Use of whey protein concentrate in the production of fermented milk drinks]. *Molochnoe delo*, no.3, pp. 17.
12. Ghosh, B.C., Prasad, L.N., Saha, N.P., 2017. Enzymatic hydrolysis of whey and its analysis. *Journal of food science and technology*, no. 54, pp. 1476–1483. doi:10.1007/s13197-017-2574-z.
13. Mota, M.V.T., Ferreira, I.M.P.L.V.O., Oliveira, M.B.P., Rocha, C., Teixeira, J.A., Torres, D., Gonçalves, M.P., 2004. Enzymatic Hydrolysis of Whey Protein Concentrates: Peptide HPLC Profiles. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, no. 27(16), pp. 2625–2639. doi:10.1081/jlc-200028429.
14. Severin, S., Xia, W.S., 2006. Enzymatic hydrolysis of whey proteins by two different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates. *Journal of Food Biochemistry*, no. 30, pp. 77–97. doi: 10.1111/j.1745-4514.2005.00048.x.
15. Synenko, T.P., Frolova, N.E., 2020. Fermentatyvnyi hidroliz syrovatkovykh bilkiv moloka [Enzymatic hydrolysis of whey proteins of milk]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia*, no. 1, pp. 79–86. doi: 10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10.

Стаття надійшла до редакції 14 січня 2021 року