



UDC 661.745+665.123]664.38

INTERRELATION OF CHANGES IN AMINO ACID COMPOSITION AND ACTIVE ACIDITY OF WHEY PROTEIN CONCENTRATE

Dmytro P. Antiushko

*Kyiv national university of trade and economics, 19, Kyoto Str., Kyiv, 02156, Ukraine**Received 24 February 2021; accepted 8 November 2021; available online 27 May 2022*

Abstract

Among the great variety of human organism's nutritional needs, one of the main is the ensuring of the supply of the required amount of protein, which will be properly digested. An important factor that determines the digestibility of the food substrate by the human body and the ability to ensure its proper acid-base balance and the duration of products' storage is their active acidity. The results of experimental studies of the relations of changes in amino acid composition, protein value and active acidity of whey protein concentrate during storage are presented in the article. In this high-protein product during 12 months of storage at intervals of 6 months, the studies of amino acid composition, score and biological value of the protein component. Also, the active acidity of this product 10 % solution was determined during every 3 months the experiment. As a result of the conducted researches the interrelations of amino acid composition and score changes the indexes of biological value of product's protein component, which was exposed to natural changes, in particular oxidation, during storage, and level of its active acidity were established. Based on the analyses results of the changes in the amino acid composition of the studied product and the active acidity level of its solution during storage, their interdependence was identified. It was also experimentally confirmed, that the amphoteric properties of the protein are due to the presence in the product of amino acids with different values of their electroneutrality and isoelectric points. The main amino acids that provide its alkaline properties are arginine, lysine and histidine; acidic - aspartic and glutamic acids. It was determined that the concentration of these amino acids in the product largely determines the level of its active acidity. The obtained results of the research indicate the importance of taking into account changes in the value of active acidity in assessing the quality of products with high protein content, which is especially important in the modelling, production and marketing of special foods.

Keywords: protein component of food products; amino acid composition and score; active acidity; redox properties; isoelectric point.

ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ЗМІН АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ ТА АКТИВНОЇ КИСЛОТНОСТІ КОНЦЕНТРАТУ БІЛКОВОГО МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

Дмитро П. Антюшко

Київський національний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, 02156, Україна

Анотація

Серед нутритивних потреб організму людини однією з основних є забезпечення необхідної кількості білка, що буде засвоєний. Важливим фактором, що визначає засвоюваність харчового субстрату організмом людини, здатність забезпечення належного кислотно-лужного балансу та тривалість зберігання продуктів, є їх активна кислотність. У статті представлені результати експериментальних досліджень залежностей змін амінокислотного складу, білкової цінності й активної кислотності концентрату білкового молочної сироватки при зберіганні. У даному високобілковому виробі упродовж 12 місяців зберігання з періодичністю 6 місяців проводили дослідження амінокислотного складу, скору та біологічної цінності білкової складової. Кожні 3 місяці визначали активну кислотність 10 %-ого розчину даного продукту. Були встановлені взаємозалежності змін амінокислотного складу та скору, показників біологічної цінності білкової складової продукту, що піддавався природнім змінам, зокрема окисненню, в процесі зберігання, і рівня його активної кислотності. За результатами аналізу змін амінокислотного складу дослідженого продукту та рівня активної кислотності його розчину в процесі зберігання визначено їх взаємозалежність. Експериментально підтверджено, що амфотерні властивості білка обумовлені наявністю в складі виробу амінокислот із різними значеннями електронейтральності і ізоелектричних точок. Основними амінокислотами, що забезпечують його лужні властивості є аргінін, лізин і гістидин; кислотні – аспарагінова і глутамінова кислоти. Визначено, що концентрація даних амінокислот у продукті значною мірою визначає рівень його активної кислотності. Отримані результати дослідження свідчать про важливість урахування змін значення показника активної кислотності для оцінки рівня якості продуктів із значним вмістом білкової складової.

Ключові слова: білкова складова харчових продуктів; амінокислотний склад і скор; активна кислотність; окисно-відновні властивості; ізоелектрична точка.

*Corresponding author: e-mail: danten5150@gmail.com

Вступ

Загально визнаним є факт, що серед багатьох харчових потреб людини однією з основних є надходження необхідної кількості білка, який буде належним чином використаний організмом людини. У зв'язку з цим поширеним у сучасній практиці [1–5] стало створення та виведення на ринок нових харчових виробів підвищеної харчової та біологічної цінності із високим вмістом білкової складової. Варто відзначити, що одними із поширених інгредієнтів, які використовуються для виробництва таких продуктів, є білкові концентрати, у тому числі виготовлені з молочної сировини, зокрема сироватки [3; 4; 6–10]. Основним показником якості таких продуктів є збалансованість їх амінокислотного складу, що надасть змогу оцінити можливість їх використання організмом для повноцінного відновлення м'язової та кісткової тканин, забезпечення додаткової кількості пластичних ресурсів.

Важливим фактором, що впливає на засвоєність, у т. ч. за рахунок використання меншої кількості шлункового соку, більш швидкого перетравлювання і надходження в кров, на забезпечення нормального кислотно-лужного балансу організму та збереженості харчових продуктів, є їх активна кислотність. Аналіз досліджених джерел [11–13] свідчить, що з дієтологічної позиції оптимальним для підтримання процесів травлення, зокрема розщеплення харчових субстратів при взаємодії зі шлунковим соком і абсорбції поживних речовин стінками кишківника, є слабко кисле та близьке до нейтрального значення рН спожитих харчових продуктів. Це свідчить про здатність підтримки нормального кислотно-лужного балансу організмом, позитивний вплив на активність компонентів аміно- і нуклеїнових кислот при їх транспортуванні кров'ю до органів, тканин і клітин.

У той самий час необхідно відзначити, що α -амінокислоти, які формують білок за допомогою пептидних зв'язків, характеризуються досить різними функціональними властивостями, зокрема кислотно-лужними, будовою та полярністю радикалу [14–17]. Виходячи з положень [14; 17; 18] про наявність у складі кожної із α -амінокислот атома Гідрогену, зв'язаного з 4 замісниками (атом H^+ , карбоксильна група $COOH$, аміногрупа NH_2 і групи атомів бічного

ланцюга, де останній має основне значення), серед них виділяють:

- неполярні (гідрофобні);
- полярні, але незаряджені;
- полярні, позитивно заряджені за рН 6;
- полярні, негативно заряджені за рН 6.

Встановлено та загально відомо, що у кислому середовищі амінокислоти проявляють лужні властивості з константою дисоціації сполученої кислоти K_A ($\alpha-NH_2$) і мають позитивний заряд, а в лужному – кислотні, з відповідною K_A ($\alpha-COOH$) з негативним зарядом [14; 17; 18]. Цим, у свою чергу, обумовлена амфотерність білка.

Білкова компонента є основним фактором, за рахунок якого формується кислотність харчових субстратів, у яких вона міститься в значній кількості. У залежності від того, який саме буде склад α -амінокислот, значною мірою залежить активна кислотність таких виробів. За будь-яких змін у процесі технологічного виробництва, взаємодії з іншими речовинами та інгредієнтами, окиснення у процесі взаємодії з оточуючим середовищем тощо, відбувається порушення нативної структури білка, зміна його амінокислотного складу й компонентних зв'язків, а відповідно, й рівня активної кислотності. Це, у свою чергу, засвідчує актуальність проведення досліджень взаємопов'язаних змін амінокислотного складу та активної кислотності концентрату білкового молочної сироватки (КБМС), що є широко використовуваним інгредієнтом при виробництві багатьох продуктів підвищеної харчової та біологічної цінності.

Метою статті є аналіз і дослідження основних взаємозалежностей між змінами амінокислотного складу та активної кислотності розчину концентрату білкового молочної сироватки в процесі зберігання.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження був концентрат білковий молочної сироватки (КБМС) (виробництва компанії Agri-Mark, США), отриманий методом ультрафільтрації. Відповідно до специфікації виробника до складу КБМС входять (% у перерахунку на суху масу): білок – 80.3, вуглеводи – 9.5, жири – 6.0, зольні речовини – 3.3. Також відповідно до специфікації виробника, до складу КБМС входять вітаміни; ретинол – 200 МЕ/100 г, аскорбінова кислота – менше 0.5 мг/100 г, тіамін – 0.3 мг/100 г, рибофлавін – 1.2 мг/100 г, ніацин – 4.3 мг/100 г, піридоксин мг/100 г,

ціанокобаламін – 10 мкг/100 г, пантотенова кислота – 4.8 мг/100 г; мінеральні елементи: натрій – 0.60 %, калій – 0.35 %, кальцій – 0.63 %, фосфор – 0.38 %, магній – 0.06 %.

Виріб був упакований у пакет із полімерної плівки та металізованої фольги із застібкою Zip-Lock, що зупиняє доступ повітря. Продукт має дозвіл Державної служби безпечності харчових продуктів та захисту споживачів на використання в харчовій промисловості. Рекомендований виробником термін зберігання КБМС складає 12 міс. У зв'язку з цим у процесі проведення досліджень дана продукція зберігалася за нормальних умов (температура 20 ± 4 °С, відносна вологість повітря 60 ± 10 %, атмосферний тиск 760 ± 10 мм рт. ст.) і досліджувалася упродовж даного періоду.

Відбір та підготовку проб КБМС для досліджень проводили методом випадкової вибірки відповідно до ДСТУ ISO 707:2002 [19].

При проведенні досліджень вміст білка визначали за методом К'ельдаля [20]. Амінокислотний склад КБМС було досліджено шляхом використання методу рідинно-колоночної іонообмінної хроматографії [21–23] із використанням автоматичного аналізатора амінокислот AAA 400, виготовленого компанією Ingos-Laboratory Instruments (Чехія), після попереднього проведеного кислотного гідролізу. Розподіл амінокислот проводили на хроматографічній колонці, наповненій іонообмінною смолою Ostion LG FA. Дослідження амінокислотного складу проводили упродовж 1-го міс. зберігання (одразу після одержання КБМС), на 6-ий та 12-ий міс.

Амінокислотний скор незамінних амінокислот було розраховано за формулою [24]:

$$AC = \frac{A_i}{A_{i\text{ет.}}} * 100\% \quad (1)$$

де AC – амінокислотний скор;

A_i – вміст i -ої незамінної амінокислоти у дослідженому зразку, мг/1 г білка;

$A_{i\text{ет.}}$ – вміст i -ої незамінної амінокислоти в ідеальному білку, визначеному відповідно до рекомендацій експертного комітету ФАО/ВООЗ, мг/1 г білка [24].

Коефіцієнт відмінності амінокислотного скору розраховано за формулою [2; 25]:

$$KBAC = \sum \Delta BAC / n \quad (2)$$

де KBAC – коефіцієнт відмінності амінокислотного скору;

$\sum \Delta BAC$ – відношення амінокислотного скору для кожної незамінної амінокислоти (НАК) до амінокислотного скору незамінної амінокислоти, що є найменшим;

n – кількість незамінних амінокислот (8).

Біологічна цінність білкової складової досліджуваного зразка обрахована за формулою [2; 24; 25]:

$$БЦ = 100 - KBAC \quad (3),$$

де БЦ – біологічна цінність білкової складової продукту, %;

KBAC – коефіцієнт відмінності амінокислотного скору, %.

Коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу визначено за формулою [2; 24; 25]:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i * K_i)}{\sum A_{i\text{ет.}}} \quad (4),$$

де U – коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу білкової складової досліджуваного зразка;

A_i – вміст i -ої незамінної амінокислоти у дослідженому зразку, мг/1 г білка;

$A_{i\text{ет.}}$ – вміст i -ої незамінної амінокислоти в ідеальному білку, визначеному відповідно до рекомендацій експертного комітету ФАО/ВООЗ, мг/1 г білка [24];

K_i – коефіцієнт утилітарності i -ої незамінної амінокислоти, що визначається за формулою:

$$K_i = \frac{AC_{\text{мін}}}{AC_{i\text{ет.}}} \quad (5),$$

де $AC_{\text{мін}}$ – амінокислотний скор лімітуючої незамінної амінокислоти, %;

$AC_{i\text{ет.}}$ – амінокислотний скор i -ої незамінної амінокислоти, %.

Коефіцієнт порівнюваної надлишковості амінокислотного складу було розраховано за формулою [25; 26]:

$$\sigma_c = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - AC_{\text{мін}} * A_{i\text{ет.}})}{AC_{\text{мін}}} \quad (6),$$

де A_i – вміст i -ої незамінної амінокислоти у дослідженому зразку, мг/1 г білка;

$AC_{\text{мін}}$ – амінокислотний скор лімітуючої незамінної амінокислоти, % у перерахунку на 1;

$A_{i\text{ет.}}$ – вміст i -ої незамінної амінокислоти в ідеальному білку, визначеному відповідно до рекомендацій експертного комітету ФАО/ВООЗ [24], мг/1 г білка.

Активну кислотність 10 %-го розчину КБМС у дистильованій воді досліджено потенціометричним методом [27] із використанням мембранного рН-метра Ulab MP 511 (Китай). Дослідження активної кислотності проводили на 1-, 3-, 6-, 9-, 12-ий міс.

У ході проведенні досліджень було використано п'ятикратну повторюваність дослідів. Математико-статистичну обробку

результатів здійснювали з використанням EOM і програмного забезпечення MS Excel. Визначено, що достовірність отриманих результатів перевищує 95 %.

Результати досліджень

Зважаючи на специфіку нутрієнтного складу КБМС, у першу чергу було досліджено вміст білка та динаміку його змін упродовж визначеного терміну зберігання (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка змін вмісту білка КБМС при зберіганні, г/100 г сухої маси

Table 1

The dynamics of protein content's changes in whey protein concentrate during storage, g / 100 g dry weight

$P \geq 0.95$; $n = 5$

Показник	Вміст при зберіганні, г/100 г сухої маси		
	на початку зберігання (1-ий міс.)	6 міс.	12 міс.
Вміст білка	79.8±3,3	78.9±3.1	77.4±3.2

Одержані дані, наведені в табл. 1, свідчать, що вміст білка в КБМС на початку зберігання відповідає даним, встановленим у технічній документації на нього. Упродовж рекомендованого терміну зберігання він зменшувався несуттєво (на 0.9 і 2.4 г на 6-ий і 12-ий міс. відповідно), більш суттєву зміну вмісту білка встановлено на 18-ий місяць зберігання (на 6.5 % відносно вихідного

значення). У той самий час, усі встановлені втрати білка знаходяться в межах похибки.

Для встановлення змін амінокислотного складу білка КБМС було проведено його дослідження на початку зберігання (1-ий місяць) і наприкінці 6-го, 12-го та 18-го міс. Відомості про динаміку змін амінокислотного складу КБМС представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Динаміка змін амінокислотного складу КБМС при зберіганні, мг/1 г білка

Table 2

The dynamics of changes in the amino acid composition of whey protein concentrate during storage, mg / 1 g of protein

Назва амінокислоти	Вміст амінокислот, мг/1 г білка		
	на початку зберігання (1-ий міс.)	6 міс.	12 міс.
<i>Незамінні амінокислоти</i>			
Валін	54.3± 2.1	55.6±2.3	58.4±2.7
Ізолейцин	63.1±3.1	66.4±3.1	70.5±3.7
Лейцин	104.4±4.3	109.7±5.1	121.7±4.8
Лізин	92.4±3.7	86.7±3.8	75.4±3.4
Метіонін	19.2±0.8	16.8±0.5	13.8±0.5
Треонін	63.6±3.0	58.5±2.7	57.2±2.2
Триптофан	20.4±0.8	21.3±0.7	20.6±0.7
Фенілаланін	32.2±1.2	33.8±1.7	35.4±1.9
Усього	449.6±19.0	448.8±19.9	454.0±19.9
<i>Умовно незамінні амінокислоти</i>			
Тирозин	24.2±1.2	26.8±1.1	28.8±2.2
Цистеїн	15.3±0.7	14.3±0.6	12.9±0.6
Усього	39.5±1.9	41.1±1.7	41.7±2.9
<i>Замінні амінокислоти</i>			
Аланін	47.8±1.7	49.4±1.9	55.6±2.4
Аргінін	23.7±0.6	19.9±0.8	15.1±0.5
Аспарагінова кислота	103.8±3.1	102.6±4.4	100.3±4.3
Глутамінова кислота	178.4±6.1	169.6±6.8	130.8±5.7
Гліцин	21.9±0.7	20.8±0.8	20.2±0.9
Гістидин	17.2±0.4	15.1±0.7	9.2±0.3
Орнітин		<i>Сліди</i>	
Пролін	63.2±1.7	62.1±2.9	66.7±3.1
Серин	52.5±2.3	52.1±2.6	62.4±2.5
Усього	508.5±16.6	491.6±20.9	460.3±19.7

Базуючись на проведених результатах дослідження амінокислотного складу КБМС упродовж періоду зберігання встановлено, що відносно початкового значення найбільше змінювався загальний вміст в 1 г білка незамінних амінокислот метіоніну (зменшився на 12.5 %, 28.1 % на 6- і 12-ий міс. відповідно) та лізину (зменшився на 6.2 %, 18.4 % на 6- і 12-ий міс. відповідно), замінних амінокислот аргініну (зменшився на 16.0 % і 36.2 % на 6- і 12-ий міс. відповідно) та гістидину (зменшився на 12.2 % і 46.5 % на 6- і 12-ий міс. відповідно).

Сталу тенденцію до підвищення концентрації в 1 г білка мали незамінні амінокислоти валін (на 2.3 % і 7.0 % на 6- і 12-ий міс. відповідно), ізолейцин (на 5.0 % і 10.5 % на 6- і 12-ий міс. відповідно), лейцин (на 4.8 %, 8.5 % на 6- і 12-ий міс. відповідно), фенілаланін (на 4.7 % і 10.0 % на 6- і 12-ий міс. відповідно), умовно незамінна тирозин (на 9.7 % і 16.0 % на 6- і 12-ий міс. відповідно) і замінна аланін (на 3.2 % і 9.1 % на 6-, 12-ий міс. відповідно). Варто також відзначити, що для інших амінокислот коливання вмісту в 1 г білка упродовж терміну досліджень не мало значного характеру.

Провідним методом, що використовується для оцінки цінності білка, є дослідження його

амінокислотного скору відповідно до рекомендацій профільного комітету ФАО/ВООЗ [24]. Також у зв'язку з тим, що визначення амінокислотного скору не дає можливості повною мірою охарактеризувати зміни амінокислотного складу КБМС упродовж зберігання, було проведено дослідження біологічну цінність (БЦ) представленого білка, коефіцієнтів відмінності амінокислотного скору (КВАС), утилітарності та порівнюваної надлишковості аміно-кислотного складу білкової складової КМБС (табл. 3).

На основі проведеного дослідження змін амінокислотного скору встановлено, що на початку зберігання домінуючою незамінною амінокислотою був триптофан (20.4 %), а лімітуючими – фенілаланін і тирозин (94 %). Також варто відзначити, що триптофан залишався домінуючою незамінною амінокислотою упродовж усіх 12 міс. зберігання (амінокислотний скор підвищився на 9 % на 6-ий і 2 % і 2 % на 12-ий міс. відповідно початкового значення), а лімітуючими на 6-ий і 12-ий міс. стали метіонін і цистеїн, амінокислотний скор яких зменшився на 10 % на 6-ий і 22.3 % на 12-ий міс.

Таблиця 3

Дослідження змін показників біологічної цінності амінокислотного складу КБМС при зберіганні

Table 3

The research of changes in the biological value of the whey protein concentrate amino acid composition during storage

Незамінні амінокислоти	Шкала ФАО/ВООЗ [24]	на початку зберігання (1-ий міс.)			6 міс.			12 міс.			
		мг/1 г білка	скор, %	Коеф-т утилітарн.	мг/1 г білка	скор, %	Коеф-т утилітарн.	мг/1 г білка	скор, %	Коеф-т утилітарн.	
Валін	50	54.3	108.6	0.87	55.6	111.2	0.80	58.4	116.8	0.65	
Ізолейцин	40	63.1	157.6	0.60	66.4	166.0	0.53	70.5	176.3	0.43	
Лейцин	70	104.4	149.1	0.63	109.7	156.7	0.57	121.7	173.9	0.44	
Лізин	55	92.4	168.0	0.56	86.7	157.6	0.56	75.4	137.1	0.56	
Метіонін+ цистеїн	35	34.5	98.6	0.95	31.1	88.6	1.00	26.7	76.3	1.00	
Треонін	40	63.6	159.0	0.59	58.5	146.3	0.61	57.2	143.0	0.53	
Триптофан	10	20.4	204.0	0.46	21.3	213.0	0.42	20.6	206.0	0.37	
Фенілаланін + тирозин	60	56.4	94.0	1.00	60.6	101.0	0.88	64.2	107.0	0.71	
Сума	-	489.1	-	-	489.9	-	-	494.7	-	-	
Коефіцієнт відмінності амінокислотного скору (КВАС). %				48.36			53.95			65.75	
Біологічна цінність (БЦ) білкової складової, %				51.64			46.05			34.25	
Коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу, од.				0.94			0.89			0.76	
Коефіцієнт порівнюваної надлишковості амінокислотного складу, од.				1.60			1.93			2.88	

У ході проведених досліджень визначено також, що коефіцієнт відмінності амінокислотного скору (КВАС) упродовж зберігання мав тенденцію до сталого підвищення (на 5.59 і 17.39 % на 6-ий і 12-ий міс. відповідно). Проаналізовано, що біологічна цінність білкової складової КБМС також знижувалася у процесі зберігання (на 5.59 % і 17.42 % на 6-ий і 12-ий міс. відповідно). Також досліджено, що упродовж

зберігання коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу знижувався (на 5.3 % і 19.1 % на 6-ий і 12-ий міс. відповідно), а коефіцієнт порівнюваної надлишковості амінокислотного складу зростав (на 17.1 % і 80.0 % на 6-ий і 12-ий міс. відповідно).

При визначенні динаміки змін активної кислотності 10 %-го розчину КБМС було одержано дані, наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Динаміка змін активної кислотності 10 %-го розчину КБМС при зберіганні, од. рН

Table 4

The dynamics of changes in active acidity of 10% solution of whey protein concentrate during storage, units pH

 $P \geq 0.95; n = 5$

Термін зберігання, міс.	1	3	6	9	12
Активна кислотність, од. рН	6.21	6.17	6.12	6.06	5.98

Аналіз одержаних даних дає можливість резюмувати, що упродовж перших 12 місяців рівень активної кислотності знижувався доволі повільно: упродовж перших 3 міс. – на 0.6 %, з 3-го по 6-ий – на 0.8 %, з 6-го по 9-ий – на 1.0 %, з 9-го по 12-ий – на 1.3 %. Це пов'язується з поступовим окисненням продукту та слабким гідролізом білків.

Виходячи з проведених досліджень змін амінокислотного складу білкової складової КБМС та його активної кислотності упродовж процесу зберігання, було відмічено, що дані показники безпосередньо пов'язані та є взаємозалежними. У той же час, необхідно відзначити, що на значення активної кислотності розчину КБМС також, хоч і не так значно, впливають і інші компоненти, що містяться у його складі, зокрема аскорбінової та пантотенової кислот, лактози, а також інших вітамінів і мінеральних елементів

Аналізуючи взаємодію амінокислотного складу та активної кислотності високобілкових продуктів, необхідно відзначити, що у першу чергу, це пояснюється особливостями хімічного складу та будови амінокислот, їх окисно-відновлювальними властивостями, зокрема значеннями констант дисоціації груп COOH і NH_3^+ , і, як результат, значеннями їх ізоелектричних точок.

Досліджуючи специфіку змін амінокислотного складу при зберіганні, необхідно відзначити, що дуже різко зменшувався вміст незамінної амінокислоти метіоніну. Це пояснюється тим, що, незважаючи на доволі нейтральне значення ізоелектричної точки (5.74) [23–25], він, як і цистеїн (відповідне значення 5.07) [23; 24], містять у своєму складі Сірку, яка дуже швидко окиснюється, викликаючи їх розпад.

Значними кількісними втратами при зберігання КБМС характеризувалися також двоосновні амінокислоти лізин, аргінін і гістидин (значення ізоелектричної точки 9.74, 10.76 і 7.60 відповідно) [28–30]. Це пов'язується з їх лужними властивостями та зарядженістю бічних радикалів, а саме окисним дезамінуванням і окисненням при зниженні активної кислотності.

Зниження вмісту аспарагінової та глутамінової кислоти (ізоелектричні точки 2.77 і 3.22 відповідно) [28; 29] упродовж усього терміну пов'язується з їх декарбонізацією та взаємоперетворенням.

Підвищення концентрації валіну, ізолейцину, лейцину, фенілаланіну, аланіну (ізоелектричні точки 5.96, 6.02, 6.04, 5.48, 6.00 відповідно) [28; 29] упродовж усього терміну зберігання КБМС пов'язується зі зниженням вмісту інших амінокислот, що є наслідком слабкої участі в окисно-відновних процесах. Водночас припускається незначний їх розпад у результаті природнього окиснення. Незначні зміни вмісту треоніну, триптофану, проліну та сирина (ізоелектричні точки 6.16, 5.89, 6.30, 5.68) [28; 29] також пояснюються їх незначною участю в окисно-відновних процесах упродовж періоду дослідження і диференціацією концентрації амінокислот, що брали участь у процесах дезамінування та декарбонізації.

Висновки

На основі проведеного дослідження змін амінокислотного складу високобілкового продукту на прикладі КБМС, та активної кислотності його розчину у процесі зберігання проаналізовано та досліджено їх основні взаємозалежності. Встановлено, що

основними амінокислотами білка, які забезпечують його амфотерність, є аргінін, лізин і гістидин – за рахунок лужних властивостей, аспарагінова та глутамінова кислоти – кислотних властивостей.

Визначено, що кількісна концентрація даних амінокислот КБМС значною мірою визначає рівень їх активної кислотності.

Перспективами подальших досліджень є встановлення основних залежностей, у т. ч. математичних, між вмістом основних амінокислот і рівнем активної кислотності високобілкових продуктів, що дасть змогу удосконалити критерії моделювання амінокислотного складу спеціальних харчових продуктів, зокрема дієтичних, для спеціальних медичних цілей, розробити методологічні принципи оцінки біологічної цінності білкової складової високобілкових виробів, заснованих на використанні відомостей про значення активної кислотності.

References

- [1] Dietary protein quality evaluation in human nutrition. <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf>
- [2] Nezdoliy, A., Antiushko, D. (2015). [Marketing researches of products with functional direction target consumer audience]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 11 (77); 26–30. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51073>
- [3] Rogov, I.A., Antipova, L.V., Dynchenko, N.I. (2007). [Chemistry of food]. Moscow, Russian Federation: KolosS (in Russian).
- [4] Pritulska, N.V., Antiushko, D.P., Motuzka, Y.M. (2012). [The current state and trends in the market of products for human nutritional support] *Food science and technology*. 4, 106–108. (in Ukrainian).
- [5] Development of specialized food products for nutrition of sportsmen. <http://www.jcreview.com/fulltext/197-1584793631.pdf>
- [6] Deeth, H.C., Bansal, N. (2018). [Whey proteins]. Cambridge, USA: Academic Press.
- [7] Kassem, J. (2015). Future Challenges of Whey Proteins. *International journal of dairy science*. 10(4), 139–159. <https://doi.org/10.3923/ijds.2015.139.159>
- [8] Whey protein concentrate commodity fact sheet. <https://www.usaid.gov/what-we-do/agriculture-and-food-security/food-assistance/resources/whey-protein-concentrate>
- [9] Kurchenko, V.P., Halavach, T.N., Cherviakovsky, E.M., Simonenko, S.V., Kharitonov, V.D. (2011). [Whey protein partial hydrolysates for specialized and infant nutrition]. *Russian Agricultural Sciences*. 37, 90–93. <https://doi.org/10.3103/S1068367411010125>
- [10] Utilities and effluent treatment reducing the negative impact of the dairy industry on the environment. <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/whey>
- [11] Frassetto, L., Banerjee, T., Powe, N., Sebastian, A. (2018). [Acid balance, dietary acid load and bone effects – a controversial subject]. *Nutrients*. 10(4), 517–526. <https://doi.org/10.3390/nu10040517>
- [12] Passey, C. (2017). [Reducing the dietary acid load: how a more alkaline diet benefits patients with chronic kidney disease]. *Journal of renal nutrition*. 27(3), 151–160. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2016.11.006>
- [13] Antiushko, D. (2020). [Evaluation of gerodietetic product's for enteral nutrition protein value] *Journal of chemistry and technologies*. 2020; №28 (2); 161-167. <https://doi.org/10.15421/082017>
- [14] Criss, L., Morgan, O. (2018). *Biochemistry of proteins*. New-York, USA: UC-publishing.
- [15] Perez-Riverol, Y., Audain, E., Millan, A., Ramos, Y., Sanchez, A., Vizcaíno, J., Wang R., Müller, M., Machado, YJ., Betancourt, L., González, L., Padrón, G., Besada, V. (2012). Isoelectric point optimization using peptide descriptors and support vector machines. *J Proteomics*. 75(7), 2269–2274. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.01.029>
- [16] Brestensky, M., Nitrayova, S., Patras, P., Nitray, J. (2019). [Dietary requirements for proteins and amino acids in human nutrition]. *Current Nutrition & Food Science*. 15(7), 638–645. <https://doi.org/10.2174/1573401314666180507123506>
- [17] Panja, A.S., Bandopadhyay, B., Nag, A., Maiti, S. (2018). [Protein secondary structure determination (PSSD): a new and simple approach]. *Current Proteomics*. 16(3), 246–253. <https://doi.org/10.2174/1570164615666180911113251>
- [18] Smirnov, V.A., Klimochkin, Ju. N. (2007). [Amino acids and peptides]. Samara, Russian Federation: Samara state technical university (in Russian).
- [19] State standard of Ukraine. (2004). [Milk and dairy products. Guidelines for sampling]. (DSTU ISO 707:2002 (ISO 707:1997, IDT). Kyiv, Ukraine: Derzhspozhivstandart Ukraini (in Ukrainian).
- [20] ISO 8968-1:2014 [IDF 20-1:2014]. Milk and milk products – Determination of nitrogen content – Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8968:-1:ed-2:v1:en>
- [21] Separation and determination of the amino acids by ion exchange column chromatography applying post-column derivatization. <https://core.ac.uk/download/pdf/233610052.pdf>
- [22] Karlsson, E., Hirsh, I. (2011). [Ion exchange chromatography]. *Methods Biochem Anal*. 54, 93–133. <https://doi.org/10.1002/9780470939932.ch4>
- [23] Ion-Exchange Chromatography: Basic Principles and Application. https://link.springer.com/protocol/10.1007%2F978-1-4939-6412-3_11
- [24] Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation (1985). <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- [25] Almeida, C.C., Alvares, T.S., Costa, M.P., Conte-Junior, C.A. (2016). Protein and Amino Acid Profiles of Different Whey Protein Supplements. *J Diet Suppl*. 13(3), 313–323. <https://doi.org/10.3109/19390211.2015.1036187>
- [26] Minorova, A.V., Rudakova, T.V., Krushelnitska, N.L., Narizhny, S.A. (2020). [Biological value of dry milk multicomponent mixtures]. *Food resources*, 14, 125–136. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-13>
- [27] State standard of Ukraine. (2003). [Water quality. Determination of pH]. (DSTU 4077-2001). Kyiv,

- Ukraine: Derzhavnij komitet Ukraïni z pitan' tehničnogo reguljuvannja ta spozhivchoï politiki (in Ukrainian).
- [28] Bunkute, E., Cummins, Ch., Crofts, F., Bunce, G., Nabney, I., Flower, D. (2015). [PIP-DB: the protein isoelectric point database]. *Bioinformatics*. 31(2), 295–296. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu637>
- [29] Audain, E., Ramos, Y., Hermjakob, H., Flower, D., Perez-Rivero, Y. (2016). [Accurate estimation of isoelectric point of protein and peptide based on amino acid sequences]. *Bioinformatics*. 32(6), 821–827. <https://dx.doi.org/10.1093%2Fbioinformatics%2Fbtv674>
- [30] Overview of the Isoelectric Point (pI), <https://www.news-medical.net/life-sciences/Overview-of-the-Isoelectric-Point.aspx>