

УДК 547.455.6:547.458.2:663.9:664.165
DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.15>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ЦУКРУ НА РЕАКЦІЮ МАЙЯРА В МОДЕЛЬНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ГІДРОЛІЗАТОМ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ

Синенко Т.П. – аспірантка, асистентка кафедри технології та безпечності харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-5300-5142

Фролова Н.Е. – доктор технічних наук,
професор кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0002-5009-6026

Соколенко В.В. – старший викладач кафедри технології та безпечності харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-2049-7013

Губа С.О. – старший викладач кафедри технології та безпечності харчових продуктів
Сумського національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0002-0546-7940

Харчова промисловість, зокрема індустрія харчових добавок, у виробництві та розробці натуральних ароматизаторів і смакоароматичних добавок вдало використовує властивості продуктів реакції Майяра генерувати присні, бажані смаки та аромати. Характер утворених смакоароматичних речовин визначають реакційні амінокислоти і цукри. Змінюючи тип цукру, який вступає в реакцію з амінокислотою, щоразу можна отримувати нові смакоароматичні речовини. Таким чином, дослідження кінетики реакції Майяра і визначення залежності сенсорної характеристики кінцевих продуктів від типу використаного цукру в реакції – актуальне питання. Мета роботи – дослідити вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків. У роботі використовувалися такі цукри: D-ксилози, D-глюкози, D-фруктози, лактози. Реакційна здатність цукрів оцінювалася за характерними кінетичними параметрами реакції Майяра: зміна вмісту вільних аміногруп і редукуючих цукрів у зразках, забарвлення (потемніння), смаку й аромату. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільше зменшення вільних аміногруп відбувається у зразку з додаванням ксилози, як і зменшення самого цукру у разі реакції. Найбільше потемніння протягом 45 хв. нагрівання спостерігається в усіх зразках, що є характерним для реакції Майяра (відбувається утворення меланоїдинів). Результати сенсорної оцінки показали, що з додаванням ксилози до гідролізату сироваткових білків і нагріванні протягом 25–35 хв. в ароматі і смаку переважали дескриптори, подібні м'ясному і «умамі»; глюкози – солодкі, карамельні і подібні шоколадному; фруктози – карамельні і фруктові; лактози – карамельні. Отримані результати дослідження можуть бути використані у розробці натуральних ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

Ключові слова: молочна сироватка, сироваткові білки, редукуючі цукри, реакція Майяра, смакоароматичні речовини.

Syenko T.P., Frolova N.E., Sokolenko V.V., Huba S.O. Investigation of the influence of the sugar types in the model systems with whey protein hydrolysate on Maillard reaction

The food industry, in particular the food additive industry, in the production and development of natural flavors and flavoring additives, successfully uses the properties of the products

of the Maillard reaction to generate pleasant, desirable flavors and aromas. The nature of the resulting flavors determine the reactions between amino acids and sugar. By changing the type of sugar that reacts with the amino acid, it is once possible to obtain new flavoring substances. Thus, the study of the kinetics of the Maillard reaction and determining the dependence of the sensory characteristics of the final products on the type of sugar used in the reaction is an important issue. The purpose of the work is to investigation of the influence of the sugar types in the model systems with whey protein hydrolysate on Maillard reaction. The following sugars were used: D-xylose, D-glucose, D-fructose, lactose. The reactivity of sugars was assessed by the characteristic kinetic parameters of the Maillard reaction: change in the content of free amino groups and reducing sugars in the samples and change in color (darkening) and change in taste and aroma. As a result of the conducted researches it is established that the greatest reduction of free amino groups occurs in the sample with the addition of xylose, as well as the reduction of the sugar itself in the reaction. The greatest darkening within 45 min of heating is observed in all samples, which is characteristic of the Maillard reaction (melanoidins are formed). The results of the sensory evaluation showed that with the addition of xylose to the hydrolyzate of whey proteins and heating for 25–35 minutes in the aroma and taste dominated by descriptors similar to meat and “umami”; glucose – sweet, caramel and chocolate-like; fructose – caramel and fruit; lactose – caramel. The obtained research results can be used in the development of natural flavors and flavorings.

Key words: whey, whey proteins, reduction sugars, Maillard reaction, flavoring substances.

Вступ. Сучасні харчові технології важко уявити без використання харчових добавок, які дозволяють поліпшити сенсорні характеристики продукції та біологічну цінність, збільшити терміни зберігання і одночасно зменшити собівартість продукції за рахунок заміни (або імітації) дороговартісної сировини.

Властивості продуктів реакції Майяра, які здатні генерувати приємні, бажані смаки й аромати, в окремих випадках і колір, індустрія харчових добавок вдало використовує для створення технологічних (реакційних) ароматизаторів і підсилювачів смаку [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Реакція Майяра – це складна багатостадійна реакція, що у загальному має вигляд взаємодії карбонільної групи редуруючого (відновлювального) цукру з вільною аміногрупою білка або амінокислоти з утворенням проміжних та кінцевих продуктів реакції Майяра, які володіють ароматичними і смаковими характеристиками, а також мають властивість змінювати колір [2].

Технології ароматизаторів і смакоароматичних добавок, що ґрунтуються на реакції Майяра, є складними реакційними системами, які забезпечують аромат і смак, що характерний для термічно оброблених продуктів, таких як м'ясо, хліб, шоколад, кава, карамель, попкорн тощо.

Більшість наукових розробок описують отримання м'ясних ароматизаторів у модельних реакційних системах, таких як: цистеїн та/або тіамін і рибоза [3–5]. У разі взаємодії цистеїну, метіоніну і рибози отримано ароматизатор із запахом, подібним до вареної і смаженої яловичини [6].

У роботах [7; 8] здійснено поєднання амінокислот і редуруючих цукрів у разі термічної обробки і охарактеризовано утворенні смакоароматичні сполуки. Наприклад, карамельні аромати і смаки утворюються у разі поєднання проліну або серину з дисахаридом (мальтозою або лактозою); аромат попкорну – у разі взаємодії проліну з глюкозою або фруктозою; шоколадні – утворює лейцин або треонін з глюкозою; фруктові нотки отримуються у азі поєднання фенілаланіну з глюкозою або фруктозою.

У роботі [9] встановлено, що у разі поєднання цистеїну і глюкози утворюються аромати, які описуються як «бісквітні» та «горіхові», у разі зміни цукру на ксилозу утворюються характерні «м'ясні» аромати і смаки. Автори іншої роботи [10]

стверджують, що тип цукру має незначний вплив на сенсорні характеристики. Розбіжність окремих результатів досліджень підкреслює складність моделювання реакції Майяра з метою отримання необхідного аромату і смаку.

Більшість проаналізованих технологій смакоароматичних добавок показують взаємодію однієї чи двох амінокислот з цукром («модельні системи») [3–11]. І навпаки, науковим досягненням стало використання білкових гідролізатів сировини рослинного, тваринного чи мікробного походження як системи вільних амінокислот і пептидів.

У роботі [12] досліджено виробництво смакоароматичної добавки на основі гідролізату лляного білка із «м'ясним» ароматом і смаком.

У роботі [13] розроблено технологію ароматизатору на основі горохового білка та гуміарабіку із характеристиками аромату, подібними до смаженого м'яса.

Перспективним є використання вторинної сировини харчової промисловості в отриманні смакоароматичних речовин. Меляса, шкірка ягід, фруктів та овочів, шкаралупа, відходи морепродуктів та м'яса, відпрацьовані зерна кави та какао-бобів містять значний резерв попередників смаку та аромату [14].

Вченими [15] досліджено отримання смакоароматичної добавки на основі білкового шроту насіння півонії (вторсировина у виробництві олії із насіння півонії). В результаті отримано добавку із «м'ясними», «умами», «карамельними» і «солоними» характеристиками смаку й аромату.

Утилізація харчових відходів для більшості виробників є проблемою, тому переробка вторсировини з метою отримання смакоароматичних сполук без суттєвих затрат набуває актуальності. У цьому випадку цінним продуктом є молочна сироватка, а саме її білкові компоненти.

Згідно з інформаційними джерелами [16], нативна молочна сироватка містить від 0,6 до 1,2% білків. Сироваткові білки є повноцінними, багаті дефіцитними незамінними амінокислотами, зокрема високим вмістом лізину, триптофану, метіоніну, треоніну. Зважаючи на те, що вміст сухих речовин у різних видах молочної сироватки становить не більше 6,5–6,6%, то переробка сироватки насамперед вимагає згущення або концентрування її компонентів. Сироваткові білки з різним вмістом білка 30–95% використовуються в харчовій промисловості у вигляді концентратів [17].

Постановка проблеми. Складність реакції Майяра полягає в одночасному впливі таких параметрів технології, як температура, рН, тривалість і активність води [18; 19]. Характер утворених смакоароматичних речовин визначають реакційні амінокислоти і цукри. Відомо, що в реакції Майяра реакційноздатні лише редуруючі цукри, і альдози більш активні з амінокислотами, ніж кетози [20]. Змінюючи тип цукру, який вступає в реакцію з амінокислотою, щоразу можна отримувати нові смакоароматичні речовини. Таким чином, дослідження кінетики реакції Майяра і визначення залежності сенсорної характеристики кінцевих продуктів від типу використаного цукру в реакції – актуальне питання.

Мета роботи – дослідити вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженнях використовувалися концентрат сироваткових білків (КСБ-80), отриманий ультрафільтрацією з масовою часткою білка 80%, придбаний у ТОВ «Техмолпром» (Україна), ферментний препарат протолад – бактеріальна лужна протеаза, що отримана із селекційних штамів *Bacillus subtilis*, виробництва ДП «Ензим» (Україна). Цукри: D-ксилоза, D-глюкоза, D-фруктоза, лактоза придбані у ТОВ «Хімпромресурси-ЛД» (Україна).

Отримання гідролізату сироваткових білків. Гідролізат сироваткових білків отримували згідно з розробленою нами технологією [21; 22]. 20 г концентрату сироваткових білків і 4 г ферментного препарату протолад (співвідношення субстрат:фермент як 4,5:1) змішували в дистильованій воді, рН доводили до $7,7 \pm 0,1$ за допомогою 2Н NaOH. Суміш поміщали в термостатну водяну баню, обладнану системою безперервного перемішування. Ферментний гідроліз проводили протягом 75 хв. за температури $57 \pm 2^\circ\text{C}$. Відтак процес гідролізу зупиняли нагріванням зразка до температури 95°C протягом 5–7 хв. і охолоджували в крижаній бані до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$. Отриманий гідролізат фільтрували, отриманий супернатант за необхідності зберігали в холодильній камері.

Отримання продуктів реакції Майяра. У склянці об'ємом 100 см^3 змішували 50 см^3 гідролізату сироваткових білків (вміст вільних аміногруп $47,35\text{ мг}$) і $0,2\text{ г}$ одного із чотирьох цукрів (D-ксилоза, D-глюкоза, D-фруктоза, лактоза). Доводили рН до $7,4 \pm 0,01$ за допомогою 2Н NaOH. Суміш нагрівали в термостатній масляній ванні з магнітним перемішуванням за температури $120 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 15–45 хв. Відтак зразки негайно охолоджували в крижаній ванні до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$ і за необхідності зберігали в холодильній камері. У випадку сенсорної оцінки зразки охолоджували до температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і проводили аналіз.

Як контрольний зразок використовували гідролізат сироваткових білків без додавання цукру термічно обробленого за температури $120 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 15–45 хв.

У досліджуваних зразках визначали вміст редуруючих цукрів за методом Бертрана, зміну забарвлення (потемніння) – оптичну щільність спектрофотометричним методом у разі довжини променя 420 нм (A_{420}), вміст вільних аміногруп (амінокислот) методом формольного титрування, сенсорний аналіз проводили описовим (deskriptivним) методом.

Виклад основного матеріалу. Згідно з даними [2; 18; 20], початкова стадія реакції Майяра починається з конденсації карбонільної групи відновного цукру з вільною аміногрупою білка або амінокислоти. При цьому утворюються нестабільні речовини (альдегідамін, основи Шиффа, глюкозиламін (або фруктозималін)), далі відбувається утворення стійких сполук Амадорі (або Хейнса). Речовини, які утворені на початковій стадії, не володіють зовнішніми проявами: без зміни кольору, смаку і запаху. При цьому відбувається значне зменшення кількості вільних амінокислот. Під час другої (проміжної стадії) відбувається зневоднення і фрагментація цукрів, деградація Штрекера (розпад амінокислот). У результаті зазначених реакцій утворюються речовини, легкі ароматичні сполуки (альдегіди, піразини, піридини), які володіють смаковими і ароматичними характеристиками. Також утворені проміжні продукти реакції Майяра дають перші ознаки зміни кольору. Під час заключної стадії реакції відбувається конденсація проміжних продуктів реакції з утворенням меланоїдинів, які формують потемніння сумішей (від темно-коричневого до чорного). Водночас відбувається зміна смакових і ароматичних характеристик попередньо утворених (проміжних) речовин, вони стають інтенсивнішими або змінюються в гірший бік – з'являються неприємні смаки і аромати, такі як горілі, гіркі, затхлі тощо.

У роботі вплив типу цукрів на реакцію і його реакційну здатність оцінювали за характерними кінетичними параметрами реакції Майяра: зміна забарвлення (потемніння), смаку і аромату, зниження концентрації вільних аміногруп і редуруючих цукрів. Зазначені параметри фіксувалися через 5, 15, 25, 35 і 45 хв. нагрівання в таких зразках: гідролізат сироваткових білків без додавання цукру (контрольний зразок – ГСБ) і з внесенням D-ксилози (ГСБ+ксилоза), D-глюкози (ГСБ+глюкоза), D-фруктози (ГСБ+фруктоза), лактози (ГСБ+лактоза).

Результати дослідження вмісту вільних аміногруп у зразках протягом 45 хв. нагрівання представлено на рис. 1.

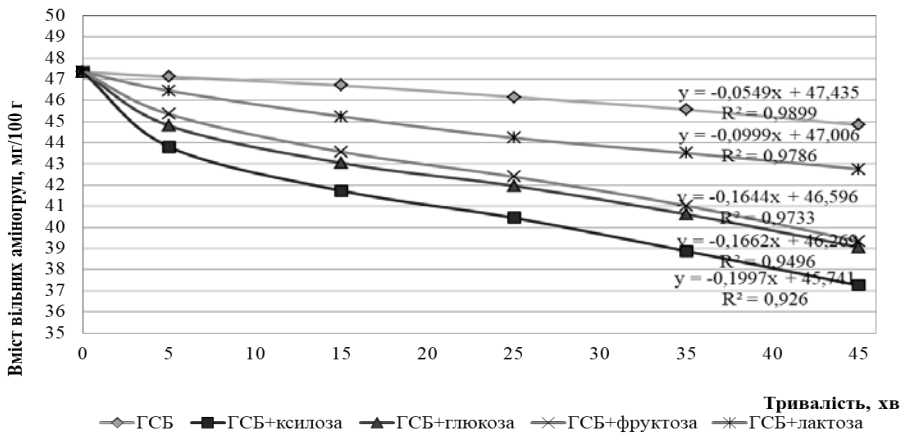


Рис. 1. Залежність вмісту вільних аміногруп у зразках від тривалості нагрівання

Представлені результати (рис. 1) показують, що вміст вільних амінокислот зменшується в усіх зразках протягом 45 хв. нагрівання суміші.

У випадку кип'ятіння гідролізату сироваткових білків без цукру (контрольний зразок – ГСБ) відбувається незначне зменшення концентрації вільних аміногруп, на 5,3% від вхідного значення. Результати інших зразків показали, що додавання цукру до суміші призводить до постійного зменшення вмісту вільних аміногруп. Так, у разі внесення цукру ксилози (зразок ГСБ+ксилоза) після 45 хв. нагрівання концентрація аміногруп зменшується на 21,3%, глюкози (зразок ГСБ+глюкоза) – на 17,5%, фруктози (ГСБ+фруктоза) – на 16,9%, лактози (ГСБ+лактоза) – на 9,7%.

Згідно з отриманими нами результатами, реакційна здатність цукрів у реакції Майяра щодо зменшення вільних аміногруп збільшується в наступному порядку: лактоза < фруктоза < глюкоза < ксилоза. Отримані нами результати підтверджуються роботами [20; 24], в яких показано, що додавання ксилози і глюкози до модельних систем призводить до найбільшого зменшення амінокислот.

Згідно з кінетикою реакції Майяра, зміна вмісту амінокислот (аміногруп) і редукуючих цукрів має пропорційний характер, оскільки вони є основними об'єктами реакції і реагують між собою упродовж реакції. Результати дослідження зміни вмісту цукрів у зразках відображено на рис. 2.

Згідно з отриманими даними (рис. 2), значне зменшення цукру протягом досліджуваного часу реакції спостерігалось в зразку ГСБ+ксилоза, ГСБ+фруктоза і ГСБ+глюкоза на 65,62%, 53,13% і 46,88% відповідно. І незначне зниження цукру спостерігалось в зразку ГСБ+лактоза на 37,5%.

Отримані результати (рис. 1–2) підтверджують, що концентрація вільних амінокислот (аміногруп) і редукуючих цукрів зменшується одночасно. Це доведено за допомогою аналітично-математичного методу, здійснено розрахунки коефіцієнтів кореляції (R_2) у разі визначення вмісту аміногруп і редукуючих цукрів для кожного зразка (рис. 1–2). Відповідно до отриманих даних R_2 для ГСБ+ксилоза має значення 0,926 і 0,905, для ГСБ+глюкоза – 0,949 і 0,922, для ГСБ+фруктоза – 0,973 і 0,926, для ГСБ+лактоза – 0,979 і 0,993.

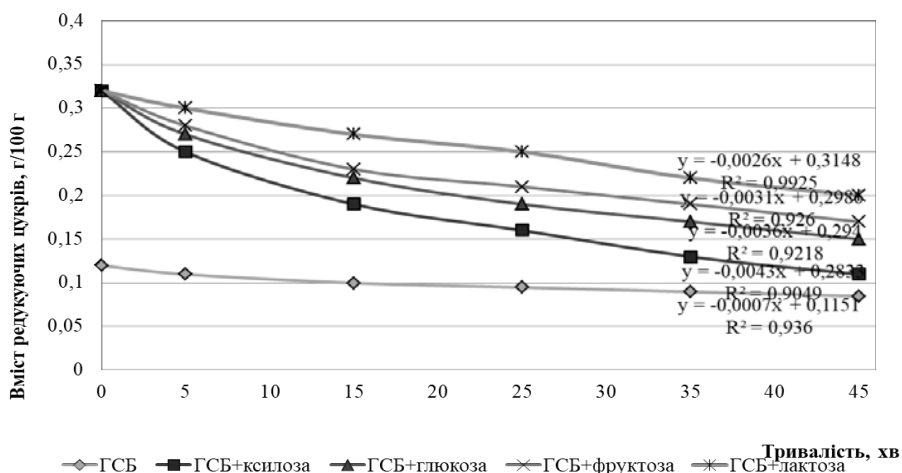


Рис. 2. Залежність вмісту цукрів у зразках від тривалості нагрівання

Дослідження органолептичних показників суміші дозволяє у загальному вигляді визначити, на якій стадії знаходиться реакція Майяра. Оскільки найбільше потемніння відбувається на кінцевій стадії, тоді як на початковій не відбувається зміни забарвлення, а в проміжній стадії – потемніння незначне, натомість з'являється аромат і смак.

Отримані результати оптичної щільності зразків у разі 420 нм представлено на рис. 3.

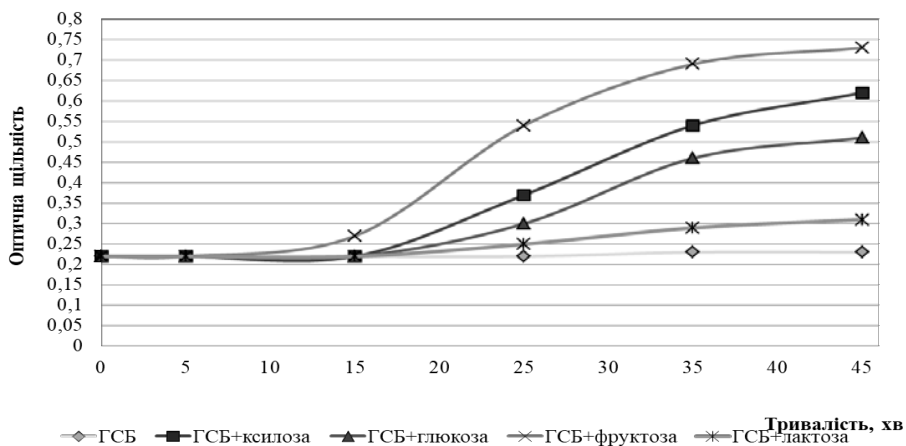


Рис. 3. Зміна інтенсивності забарвлення в зразках від тривалості нагрівання (при A_{420})

Отримані результати (рис. 1) показують, що в контрольному зразку (ГСБ) протягом 45 хв. нагрівання потемніння було мінімальне. Незначне потемніння через 25 хв. призвело до внесення до суміші лактози (зразок ГСБ+лактоза),

а також глюкози (зразок ГСБ+глюкоза). Під час наступного нагрівання потемніння поступово посилювалося. У випадку внесення ксилози (зразок ГСБ+к-силоза) помітне потемніння виникало через 35 хв. Найбільш візуально темне забарвлення через 25 хв. спостерігалось у разі використання фруктози порівняно з іншими цукрами. Згідно з інформаційними джерелами [18], більш висока інтенсивність забарвлення є показником кінцевої стадії реакції Майяра.

У дослідних умовах встановлено, що реакційна здатність цукрів до зміни забарвлення збільшується в такому порядку: лактоза < фруктоза < глюкоза < ксилоза. Отримані результати узгоджуються з результатами роботи [23], згідно з якими альдози більш реакційноздатні, ніж кетози, а пентози, ніж гексози.

Згідно з інформаційними джерелами [11; 25], тип цукру впливає на ароматичні і смакові характеристики кінцевих продуктів реакції Майяра. Результати сенсорного аналізу зразків представлено у вигляді профілограм (рис. 4 а–г).

Результати сенсорної оцінки (рис. 4) показали значні відмінності в ароматичних і смакових дескрипторах, які залежать від типу цукру і тривалості нагрівання.

В усіх зразках протягом 15 хв. у смаку і ароматі були характерними для гідролізату сироваткових білків: сироватковий аромат, солонуватий на смак з присмаком гіркоти і «умами» (смак білкових речовин, характерний для глютамінової кислоти або глютамату).

Під час нагрівання протягом 25 хв. у зразку ГСБ+к-силоза (рис. 4 в) смак і аромат був подібний до м'ясного і «умами». У зразках ГСБ+лактоза, ГСБ+глюкоза і ГСБ+фруктоза переважали подібний до карамельного запах і солодкий смак. Відзначено, що у зразку ГСБ+глюкоза присутні дескриптори, подібні до шоколадного, а в зразку ГСБ+фруктоза – подібні до фруктових ароматів. У разі проведення нагрівання понад 35 хв. (рис. 4 г–г) у зразках, окрім ГСБ+лактоза, виникає горілий аромат і гіркота у смаку.

Отримані результати підтверджуються даними [25], згідно з якими сенсорні характеристики продуктів реакції Майяра залежать від типу цукру.

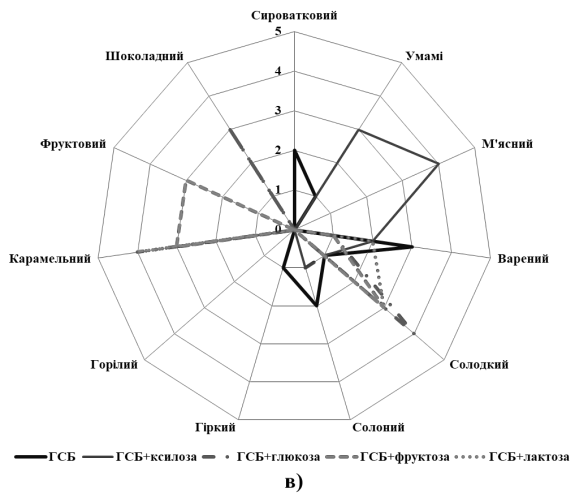
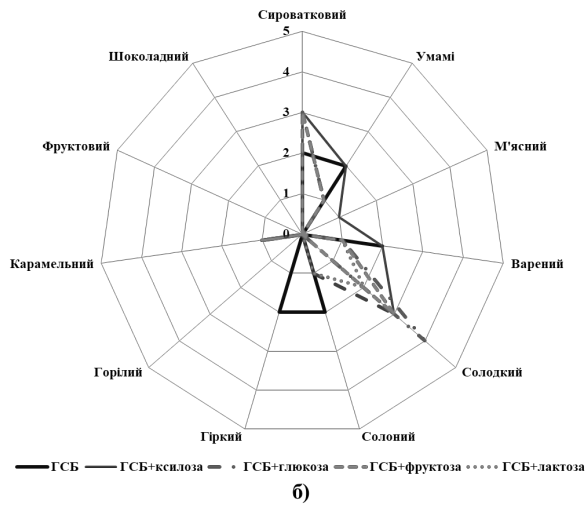
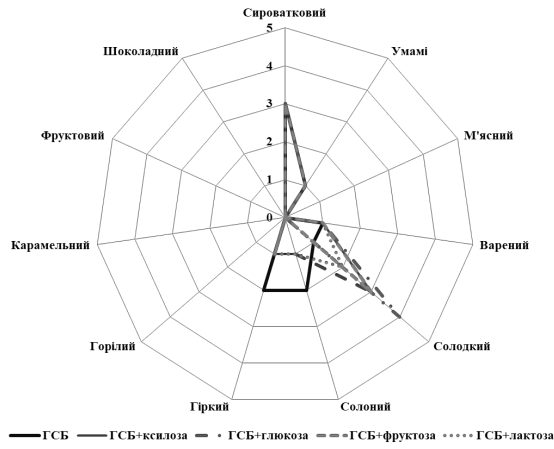
Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено вплив типу цукру на реакцію Майяра в модельних системах із гідролізатом сироваткових білків.

Визначено, що найбільше зменшення вільних аміногруп відбувається у зразку з додаванням ксилози, як і зменшення самого цукру під час реакції. Найбільше потемніння протягом 45 хв. нагрівання спостерігається в зразку із внесенням фруктози.

Встановлено, що найбільш помітне потемніння протягом 25 хв. виникає в зразку із додаванням фруктози. Однак внесення всіх досліджуваних цукрів протягом 45 хв. призводить до зміни забарвлення, що є характерним для реакції Майяра (відбувається утворення меланоїдинів).

Результати сенсорної оцінки показали, що з додаванням ксилози до гідролізату сироваткових білків і нагрівання протягом 25–35 хв. в ароматі і смаку переважали дескриптори, подібні до м'ясного і «умами»; глюкози – солодкі, карамельні і подібні до шоколадного; фруктози – карамельні і фруктові; лактози – карамельні.

Отримані результати дослідження можуть бути використані у розробці натуральних ароматизаторів та смакоароматичних добавок.



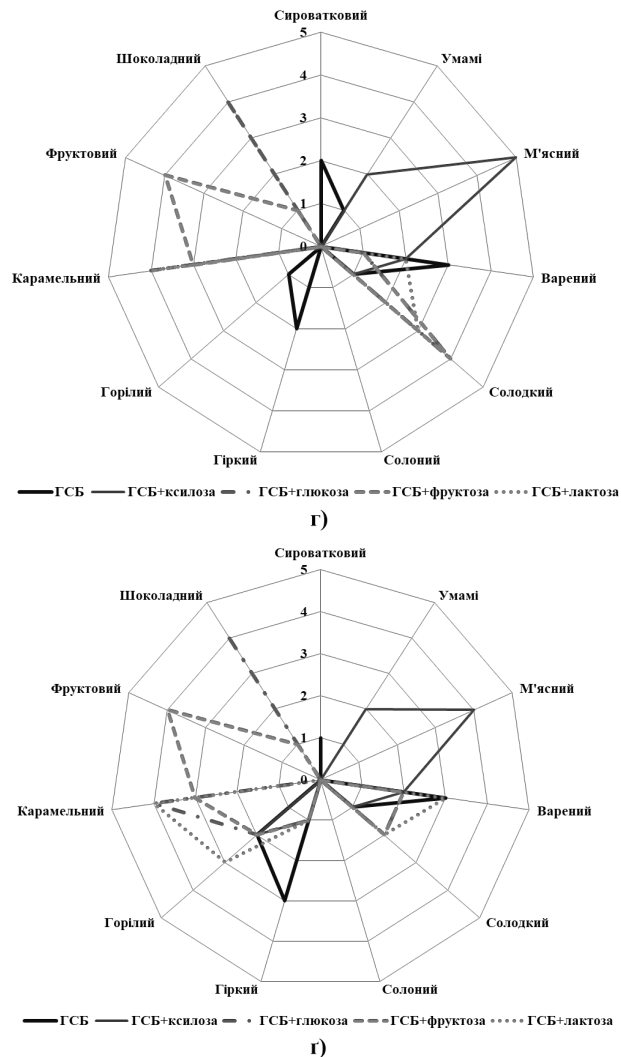


Рис. 4. Вплив типу цукру на аромат і смак продуктів реакції Майяра залежно від тривалості нагрівання: а) 5 хв.; б) 15 хв.; в) 25 хв.; г) 35 хв.; р) 45 хв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Yeretzian C., Blank I. Palzer S. Process flavourings. In: Flavourings. Production, composition, applications, regulations. Weinheim, Germany : Wiley-VCH, 2007. Pp. 549–572.
2. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования. *Современная наука и инновации*. 2014. № 4 (8). С. 22–32.
3. Meat flavor compositions : patent 3519437 US : A23 1/22. No. 614,036 ; application filed 06.02.1967, publication 07.07.1970.
4. Cerny C., Brifod M. Effect of pH on the Maillard reaction of xylose, cysteine, and thiamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007. No. 55(4). P. 1552–1556. DOI: 10.1021/jf062874w.

5. Flavouring substances and their preparation : patent 836694 GB : A23 L27/215. application filed 07.04.1955, publication 09.06.1960.
 6. Process for the manufacture of meat flavors : patent 3761287 US : A23 L27/215. application filed 23.12.1970, publication 25.09.1973.
 7. van Boekel MA. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*. 2006. No. 24(2). P. 230–233. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.004
 8. Kerler J., Winkel C., Davidek T. Basic chemistry and process conditions for reaction flavours with particular focus on Maillard-type reactions. In *Food flavour technology / eds. A.J. Taylor, R.S.T. Linforth*. 2010. P. 51–58. DOI: 10.1002/9781444317770.ch3.
 9. Ames J.M., Guy R.C.E., Kipping G.J. Effect of pH and temperature on the formation of volatile compounds in cystein/reducing sugar/starch mixtures during extrusion cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001. No. 49/4. P. 1885–1894. DOI: 10.1021/jf0012547.
 10. Aroma characteristics of extruded wheat flour and wheat starch containing added cystein and reducing sugar / Bredie W.L.P. et al. *Journal of Cereal Science*. 1996. No. 25. P. 57–63. DOI: 10.1006/jcsc.1996.0074/pdf.
 11. Mottram D.S. The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods. In: *Flavours and fragrances / eds. Berger R.G. Berlin, Heidelberg : Springer*, 2007. P. 269–284. DOI: 10.1007/978-3-540-49339-6_12.
 12. Enzymatic hydrolysis of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein and sensory characterization of Maillard reaction products / Wei C.K. et al. *Food Chemistry*. 2018, 263, 186–193. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.04.120.
 13. Zha F., Yang Z., Rao J., Chen B. Gum arabic-mediated synthesis of glycopea protein hydrolysate via Maillard reaction improves solubility, flavor profile, and functionality of plant protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. No. 67(36). P. 10195–10206. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b04099.
 14. De Oliveira Felipi L., de Oliveira A.M., Lemos Bicas J. Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. No. 26. P. 141–153. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.02.005.
 15. Shang Y.-F., Cao H., Wei C.-K. Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal Food Process Preserv.* 2020. 44:e14341. DOI: 10.1111/jfpp.14341.
 16. Cheese whey processing: integrated biorefinery concepts and emerging food applications / I.K. Lappa et al. *Foods*. 2019. No. 8. P. 347. DOI: 10.3390/foods8080347.
 17. Храпцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. Санкт-Петербург : Профессия, 2011. 804 с.
 18. van Boekel M.A.J.S. Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Nahrung*, 2001. No. 45. P. 150–159. DOI: 10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9.
 19. Simplified kinetic scheme of flavour formation by the Maillard reaction / Jousse F. et al. *Journal of Food Science*. 2006. No. 67. P. 2534–2542. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772.x.
 20. Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity / Laroque D. et al. *Food Chemistry*. 2008. No. 111(4). P. 1032–1042. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.05.033.
 21. Синенко Т.П., Фролова Н.Е. Ферментативний гідроліз сироваткових білків молока. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. № 1 (105). С. 79–86. DOI: 10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10.
 22. Синенко Т.П., Фролова Н.Е. Моделювання та оптимізація процесу ферментативного гідролізу сироваткових білків. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2021. № 25. С. 111–119. DOI: 10.36477/2522-1221-2021-25-15.
-

23. Martins S.I.F.S., Jongen W.M.F., van Boekel M.A.J.S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*. 2000. No. 11. P. 364–373. DOI: 10.1016/S0924-2244(01)00022-X.

24. Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах / Почичкая И.М. и др. *Вопросы питания*. 2018. № 5. С. 95–101. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10058.

25. Wong K.H., Abdul Aziz S., Mohamed S. Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*. 2008. No. 43. P. 1512–1519. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01445.x.

REFERENCES:

1. Yeretzyan, C., Blank, I., & Palzer, S. (2007). Process flavourings. *Flavourings. Production, composition, applications, regulations*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

2. Khachatryan, E.Ye., Gvasaliya, T.S., & Yakimenko, T.P. (2014). Dvesti sostavlyayushchikh reaktiv melanoidinobrazovaniya [Two hundred components of the melanoidin formation reaction]. *Sovremennaya nauka i innovatsii – Modern science and innovation*, 4 (8), 22–32 [in Russian].

3. Giacino, C. (1970). Meat flavor compositions. Patent US 3519437. Retrieved January 25, 2022 from: <https://patents.google.com/patent/US3519437A/en?q=US3519437>.

4. Cerny, C., & Brifod, M. (2007). Effect of pH on the Maillard reaction of xylose, cysteine, and thiamin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4), 1552–1556. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf062874w>.

5. National Center for Biotechnology Information (2022). Flavouring substances and their preparation. Patent GB-836694-A. Retrieved January 25, 2022 from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/GB-836694-A>.

6. Tsukagoshi, T., Kosuda, M., & Shingai H. (1973). Process for the manufacture of meat flavors. Patent US 3761287. Retrieved January 25, 2022 from: <https://patents.google.com/patent/US5981014A>.

7. van Boekel, MA. (2006). Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*, 24(2), 230–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.004>.

8. Kerler, J., Winkel, C., & Davidek, T. (2010). Basic chemistry and process conditions for reaction flavours with particular focus on Maillard-type reactions. *Food flavour technology* (eds. A.J. Taylor, & R.S.T. Linforth). Blackwell Publishing Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444317770.ch3>.

9. Ames, J.M., Guy, R.C.E., & Kipping, G.J. (2001). Effect of pH and temperature on the formation of volatile compounds in cystein/reducing sugar/starch mixtures during extrusion cooking, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49/4, 1885–1894. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0012547>.

10. Bredie, W.L.P., Hassell, G.M., Guy, R.C.E., & Mottram, D.S. (1997). Aroma characteristics of extruded wheat flour and wheat starch containing added cysteine and reducing sugars. *Journal of Cereal Science*, 25, 57–63. Retrieved from: <http://www.idealibrary.com/links/doi/10.1006/jcrs.1996.0074/pdf>.

11. Mottram, D.S. (2007). The Maillard reaction: source of flavour in thermally processed foods. *Flavours and Fragrances*. Springer, Berlin, Heidelberg (eds Berger R.G.). Berlin, Heidelberg: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-49339-6_12.

12. Wei, C.K., Thakur, K., Liu, D.H., Zhang, J.G., & Wei, Z.J. (2018). Enzymatic hydrolysis of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) protein and sensory characterization of Maillard reaction products. *Food chemistry*, 263, 186–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.120>.

13. Zha, F., Yang, Z., Rao, J., & Chen, B. (2019). Gum arabic-mediated synthesis of glyco-pea protein hydrolysate via Maillard reaction improves solubility, flavor profile,

and functionality of plant protein. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(36), 10195–10206. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04099>.

14. De Oliveira Felipi, L., de Oliveira, A.M., & Lemos Bicas, J. (2017). Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 141–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.005>.

15. Shang, Y.-F., Cao, H., & Wei, C.-K. (2020). Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal Food Process Preserv*, 44:e14341. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14341>.

16. Lappa, I.K., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., Koulougliotis, D., Eriotou, E., & Kopsahelis, N. (2019). Cheese whey processing: integrated biorefinery concepts and emerging food applications. *Foods*, 8, 347. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8080347>.

17. Khrantsov A.G. (2011). *Fenomen molochnoy syvorotki [The phenomenon of whey]*. St. Petersburg: Profession [in Russian].

18. van Boekel, M.A.J.S. (2001). Kinetic aspects of the Maillard reaction: a critical review. *Nahrung*, 45, 150–159. DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010601\)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010601)45:3<150::AID-FOOD150>3.0.CO;2-9).

19. Jousse, F., Jongen, T., Agterof, W., Russell, S., & Braat, P. (2002). Simplified Kinetic Scheme of Flavor Formation by the Maillard Reaction. *Journal of Food Science*, 67, 2534–2542. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772.x>.

20. Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Vouland, É., Dufossé, L., & Guérarda, F. (2008). Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. *Food Chemistry*, 111(4), 1032–1042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.033>.

21. Synenko, T.P., & Frolova, N.E. (2020). Fermentatyvnyy hidroliz syrovatkovykh bilkiv moloka [Enzymatic hydrolysis of whey proteins of milk]. *Visnyk ahrarnoyi nauky Prychornomor'ya – Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 1 (105), 79–86. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1\(105\)-10](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-1(105)-10) [in Ukrainian].

22. Synenko, T.P., & Frolova, N.E. (2021). Modelyuvannya ta optymizatsiya protsesu fermentyvnogo hidrolizu syrovatkovykh bilkiv [Modeling and optimization of the process of enzymatic hydrolysis of whey proteins]. *Visnyk L'vivs'koho torhovel'no-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 25, 111–119. DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-15> [in Ukrainian].

23. Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., & van Boekel, M.A.J.S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11, 364–373. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X).

24. Pochitskaya, I.M., Roslyakov, Yu.F., Litvyak, V.V., Komarova, N.V., & Yudenko, A.N. (2018). Issledovaniye vliyaniya reaktsii melanoidinobrazovaniya na sodержaniye aminokislot v model'nykh pishchevykh sistemakh [Investigation of the influence of the melanoidin formation reaction on the content of amino acids in model food systems]. *Voprosy pitaniia – Problems of Nutrition*, 87 (5), 95–101. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10058> [in Russian].

25. Wong, K.H., Abdul Aziz, S. & Mohamed, S. (2008). Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 1512–1519. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01445.x>.