

МОДИФІКОВАНИЙ ТОПІНАМБУР ЯК КОМПОНЕНТ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ

Антіпіна О.О., к.т.н., доцент, Озоліна С.О., к.х.н., доцент
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. Останнім часом джерела інформації все частіше звертаються до питання обмеження в складі їжі жирів та засвоюваної вуглеводної складової у зв'язку із збільшенням поширення населення з надлишковою вагою. Проте споживачі звикли до продуктів із солодким смаком, що є популярними серед різних верств населення. Шляхом до вирішення цієї проблеми є випуск харчових продуктів з додаванням інуліну – полісахариду, який може служити жирозамінником, структуроутворювачем і до того ж має пребіотичні властивості. Продукти гідролізу інуліну – фруктоолігосахариди і фруктоза – солодкі за смаком, мають очевидні переваги в порівнянні з сахарозою з точки зору нутриціології. Проте процес отримання інуліну, фруктоолігосахаридів і фруктози з цикорію або топінамбуру з подальшим додаванням їх до складу харчових продуктів суттєво впливає на рівень цін останніх.

Метою роботи було дослідження процесу обмеженого гідролізу інуліну, що міститься в складі топінамбуру, виключаючи процес його попереднього вилучення з сировини, з подальшим додаванням отриманого модифікованого топінамбуру до складу сиркових десертів.

Гідроліз інуліну проводили із застосуванням харчових кислот як каталізаторів: лимонної, винної, яблучної, які використовуються при виробництві харчових продуктів для підкислення харчових систем. Умови процесу були оптимізованими: значення рН середовища дорівнювало 3,0 і 3,5, температура 70 °C та 80 °C. Перебіг гідролізу контролювали, визначаючи вміст редуруючих речовин в рідкій фазі. Проте за допомогою цього показника важко зробити висновок про склад гідролізату інуліну. Окремою вимогою було збереження пребіотичних властивостей обробленого топінамбуру, які обумовлені присутністю інуліну і фруктоолігосахаридів. Дослідження молекулярно-масового розподілу продуктів гідролізу інуліну дозволяє обґрунтувати напрямки подальшого використання продукту. У випадку спрямування його переважно як підсолоджувача, доцільно використовувати зразок, де вміст компонентів з молярною масою до 2 кДа є найбільшим. Найкращим з цього погляду варіантом є використання продукту, отриманого при обробці топінамбуру лимонною кислотою протягом 45 хвилин при значенні рН середовища, що дорівнює 3. У випадку, коли пріоритетом є введення до складу харчової системи додаткового компонента, якому притаманні властивості жирозамінника та/або структуроутворювача, доцільним має бути запровадження умов гідролізу, коли масова частка вуглеводів з більшою молекулярною масою є більш значною. Зокрема, це обробка сировини при значенні рН середовища що дорівнює 3,5 протягом 15 хвилин.

Для підтвердження можливості створення продуктів оздоровчого спрямування з модифікованим топінамбуром обрали сиркові десерти, інгредієнти яких були частково замінені на пюре з оброблених бульб. Сенсорна оцінка сиркових десертів з додаванням 4 – 7 % модифікованого топінамбуру засвідчила високу якість отриманих продуктів. Додавання модифікованого топінамбуру до сиркового крему значно підвищує біологічну цінність продукту за рахунок внесення розчинних та нерозчинних харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин рослинної сировини та зниження загальної калорійності.

Ключові слова: топінамбур, інулін, гідроліз, оздоровчі продукти, функціональні властивості

Постановка проблеми. Безперечним пріоритетом кожної цивілізованої (прогресивної) держави є стан здоров'я населення. Останні десятиліття спостерігається погіршення цього показника, чому є декілька об'єктивних чинників, серед яких зміни кліматичних умов, екології навколишнього середовища, зміна способу і підвищення темпу життя, що супроводжується зростанням фізичного і психологічного навантаження тощо. Загально поширеним стає вживанням напівфабрикатів і готових продуктів, створених за сучасними технологіями, які широко використовують прийоми, що не відповідають поняттям про «здорове харчування», натомість, щоб їх продукція користувалась попитом, виробники використовують широкий спектр харчових добавок, які не містять біоактивних речовин і, відповідно, не підвищують біологічну цінність їжі, проте лише роблять її більш привабливою для споживача.

Джерела інформації останнім часом все частіше звертаються до питання обмеження в складі їжі жирів та вуглеводної складової у зв'язку із збільшенням поширення населення з надлишковою вагою [1, 2]. Проте споживачі звикли до продуктів із солодким смаком, що є популярними серед різних верств населення.

На сьогодні перелік харчових добавок, які за своїм призначенням є підсолоджувачами, доволі довгий. Вони сприяють суттєвому зниженню калорійності продуктів і можуть використовуватися хворими на діабет, але деякі з них залишають характерне відчуття післясмаку, а інші потребують додаткових досліджень, хоча їх використовують близько 40 країн світу. З комплексу цих причин, а також загальної упередженості до

вживання інгредієнтів синтетичного, неприродного походження, певна частина населення скептично відноситься до продуктів з їх включенням. Природний харчовий сировини рослинного походження, що характерна для нашого регіону, і яку ми традиційно вживаємо в складі їжі, притаманні моносахариди: глюкоза і фруктоза, а також дисахарид сахароза, джерелом яких є фрукти, ягоди та овочі. Іноді в їх складі присутні багатомісні спирти: ксилітол і сорбітол. При заміщенні сахарози в складі солодощів сорбітолом або ксилітолом продукти стають доступними для діабетиків, але суттєвого зниження калорійності не відбувається, оскільки спирти перетравлюються в шлунково-кишковому тракті, а їх солодкість доволі близька до такої сахарози. Заміщення сахарози фруктозою, солодкість якої перевершує цей показник для сахарози більше як в півтора рази, дозволяє знизити її кількість в складі продукту, і таким чином певною мірою знизити калорійність; при цьому значно знижується потреба в інсуліні. Проте добове споживання фруктози також має межу.

Більш привабливим є використання інуліну, який не перетравлюється ферментними системами шлунку і тонкого кишечника, а розщеплюється лише в товстій кишці, де служить поживним середовищем для біфідобактерій і лактобактерій, тобто є пребіотиком [3, 4]. Тому виробництво продуктів «здорового харчування», збагачених інуліном, які придатні для повсякденного вживання та доступні для широких верств населення, є актуальним.

Аналіз літературних джерел. Інูลіни – це група природних полісахаридів, які синтезуються багатьма видами рослин. Вони відомі як фруктани. Інулін використовується рослинами переважно як засіб зберігання енергії і зазвичай зустрічається в коренях або кореневищах. Він є традиційним компонентом раціону людини. Зокрема інулін міститься в складі цибулі, цибулі-порей, бананів, часнику, пшениці, жита, ячменю. Він присутній також в коренях цикорію, топінамбура, жоржини, кульбаби тощо.

Природний інулін являє собою неоднорідну суміш фруктозних полімерів. Він складається з ланцюгів з термінуємими глюкопіранозними залишками і повторюваними фруктофуранозними, які пов'язані β -(2 $\rightarrow$ 1) зв'язками. Ступінь полімеризації стандартного інуліну знаходиться в межах 60. Переважна більшість авторів розглядають фракції зі ступенем полімеризації 10 і нижче як фруктоолігосахариди, і називають інуліном лише більш довголанцюгові молекули [5, 6].

У вищих рослинах описано п'ять типів фруктанів з різною структурою: фруктани інулінового типу (1-кестоза), фруктани леванового типу (6-кестоза), фруктани інулінової неосерії (неокестоза), левани змішаного типу та фруктани леванової неосерії [5-7]. Структури фруктанів є по суті лінійними; однак, в інуліні може відбуватися низький ступінь розгалуження через зв'язки β -(2 $\rightarrow$ 6). У деяких випадках кінцева молекула глюкози може бути відсутня, тому спостерігається відносна поведінка.

Інулін є унікальним, оскільки його каркас не містить цукрового кільця і по суті являє собою поліетиле-ноксид [8]. Це призводить до більшої свободи руху та, отже, до більшої гнучкості молекули. Крім того, інулін побудований переважно з фуранозних груп, які є більш гнучкими, ніж піранозні кільця. За думкою дослідників [9] це вказує на те, що в розчині спіральна конформація можлива для олігофруктози зі ступенем полімеризації 5. Однак така конформація була б неможливою для інулінів з вищою молекулярною масою через стеричні перешкоди.

Фізико-хімічні властивості інуліну обумовлені будовою і розміром його молекул [8, 9]. Енергія активації процесу гідролізу сахарози становила 107 кДж/моль, для коротколанцюгових молекул інуліну з ступенем полімеризації до 18 була близька до такої і становила 108,5 кДж/моль. Для інуліну зі ступенем полімеризації 30 енергія активації була меншою і дорівнювала 80,5 кДж/моль. На думку авторів це обумовлено різною конформацією молекул у розчині.

Щодо здатності інуліну до гелеутворення, то цей процес базується на взаємодіях, що відбуваються між розчиненими ланцюгами інуліну. Однак гелі інуліну також можуть містити нерозчинені мікрокристали. Інูลіни з високою молекулярною масою є кращими гелеутворювачами, ніж їхні аналоги з нижчою молекулярною масою [9].

Через наявність зв'язків β -(2 $\rightarrow$ 1) в молекулі інуліну, він не перетравлюється ферментами в аліментарній системі людини, що обумовлює такі його функціональні властивості: знижена калорійність, позитивний вплив на організм людини як харчового волокна, пребіотичні ефекти [4]. Олігофруктоза має 35% солодкості сахарози, а її підсолоджуючий профіль схожий на цукор. Інулін лише злегка солодкуватий на смак. Без кольору і запаху, він мало впливає на сенсорні характеристики харчових продуктів. При ретельному перемішуванні з рідиною інулін утворює гель, який має білу кремову структуру, що схожа на жир [10, 11]. Як пребіотик полісахарид стимулює ріст існуючих штамів корисних бактерій у товстій кишці, що покращує всмоктування важливих мінеральних компонентів, таких як кальцій та магній, а також синтез вітамінів групи В. Підтримуючи життєдіяльність біфідофлори, він перешкоджає розмноженню сальмонел і колібактерій. Включення інуліну до раціону знижувало вміст ліпідів у крові та печінці дослідних тварин [4]. Інулін виявляє імуномодулювальну, протипухлинну та протизапальну активність. Інуліновмісні продукти позитивно впливають на регуляцію обміну речовин при цукровому діабеті, атеросклерозі, ожирінні [12-15].

Виходячи із зазначених функціональних властивостей, інулін широко застосовується в харчовій промисловості. Здебільшого його використовують як замітник цукру та жиру, а також як пребіотик в складі таких молочних продуктів як сир, молоко, йогурт, морозиво, його додають до складу хліба, печива, м'ясних продуктів, напоїв [9, 16-20].

Інулін можна повністю гідролізувати до фруктози, яка широко використовується як підсолоджувач замість сахарози в оздоровчих харчових продуктах та напоях. Суттєвою перевагою фруктози є різниця в глікемічному індексі: для сахарози він дорівнює 65, тоді як для фруктози лише 23. До того ж, солодкість фруктози на 100 – 150 % вища, ніж у сахарози. Це робить фруктозу найсприятливішим підсолоджувачем для пацієнтів з діабетом або ожирінням.

В роботі [19] розглянуто процес гідролізу інуліну цикорію. Визначено умови, що дозволяють отримати сироп із вмістом 75 – 77 % фруктози і 13 – 15 % олігофруктози, який пропонується для додавання до харчових продуктів і напоїв. За результатами досліджень [20] встановлено, що інулін і олігофруктоза, що додані до складу соку, тривалий час зберігаються, не піддаючись гідролізу.

Промислове виробництво інуліну тривалий час майже виключно використовувало коріння цикорію як сировину і було зосереджене в Нідерландах та Бельгії [21]. На сьогодні цикорій та топінамбур є двома найпоширенішими джерелами для виробництва інуліну в промислових масштабах. Топінамбур як джерело інуліну в порівнянні з цикорієм має конкурентні переваги, оскільки він є економічно вигідною культурою: це низькі витрати на вирощування, висока врожайність, широка адаптація до кліматичних і ґрунтових умов, висока стійкість до шкідників і хвороб рослин.

Типовий процес виробництва інуліну включає такі основні етапи. Подрібнену сировину обробляють гарячою водою, при цьому до екстракту переходять вуглеводи, а також деякі супутні речовини. Екстракт очищають за допомогою відбілювання, адсорбції на активованому вугіллі або іонного обміну. При цьому зазвичай розчин інуліну відокремлюють від низькомолекулярних вуглеводів, що присутні в сировині. Очищені розчини концентрують і сушать, отримуючи чисті порошки інуліну і фруктоолігосахаридів. Для підвищення ефективності виробництва інуліну проводились експерименти щодо оптимізації умов його екстракції, використання прямої та непрямої ультразвукової екстракції, мікрохвильової екстракції.

Незважаючи на всі зусилля з вдосконалення процесів виділення інуліну з сировини, отримати якісний продукт доволі важко, а введення його до складу харчових продуктів суттєво впливає на їх ціну [9]. Застосування інуліну в харчовій промисловості та виробництві напоїв зростає як у країнах, де виробляється цей інгредієнт, так і в тих країнах, які повинні його імпортувати, що ще більшою мірою впливає на збільшення вартості продуктів. Це підштовхнуло дослідників до розроблення технологій отримання харчових продуктів з додаванням власне топінамбуру. Тим більше, що таким чином зберігається потенціал сировини, яка є джерелом багатьох цінних для організму людини інгредієнтів [17, 22].

В огляді [17] наведено всебічну характеристику хімічного складу топінамбуру. Зокрема зазначено, що сухі речовини складають 24,6 %, серед яких 21, 3 % – це вуглеводи, масова частка полісахариду інуліну сягає 72,2 % від їх загальної кількості. Визначено вміст та надано характеристику білкових, мінеральних речовин, вітамінів, фенольних сполук тощо. Підкреслено високий вміст вітамінів В₁ і В₂, калію, заліза, присутність селену, який сполучений з органічними молекулами, що сприяє його засвоєнню.

Використання топінамбуру в складі харчових продуктів зазвичай здійснюється у вигляді порошку або пюре. Зокрема, в низці робіт вітчизняних авторів розглянуто можливості використання топінамбуру в технології борошняних виробів [23, 24].

Так, показано [23], що часткова заміна пшеничного борошна на пюре з топінамбуру при виробництві здобного булочного виробу приводить не тільки до зменшення кількості сирової клейковини, але й до зміни її якості, а також до скорочення тривалості бродіння тіста. Автори рекомендують виробництво здобного булочного виробу підвищеної біологічної цінності з додаванням пюре топінамбуру.

Виконаний комплекс досліджень [24] дозволяє вважати, що використання порошку топінамбуру в технології хлібобулочних виробів в якості харчової добавки доцільне і ефективне. Він позитивно впливає на хід технологічного процесу, інтенсифікуючи бродіння, покращує якість хлібобулочних виробів, надає їм функціональної направленості, а також подовжує терміни збереження свіжості.

Доведено можливість використовувати напівфабрикату з топінамбура і кизилу в технології самбуків, що дозволило зменшити використання традиційних структуроутворювачів і одночасно збагатити готовий продукт біоактивними речовинами доданої рослинної сировини [25].

Окремим напрямком є розробка ферментованих продуктів на основі топінамбуру [26, 27]. Розроблено технологію комплексної переробки бульб топінамбура, що дозволяє розширити асортимент продуктів оздоровчого спрямування на його основі. Запропоновано переробляти бульби на цукати, ферментований сік та овочеву пасту. Всі ці продукти за результатами дегустаційних проб мали високі органолептичні якості.

Таким чином, вклюдження топінамбуру до складу харчових продуктів має очевидні переваги: продукт збагачується комплексом різноманітних, корисних для організму біоактивних речовин, що містяться в його складі. Це розповсюджена регіональна сировина. Між тим, слід зауважити наступне. Переважаючою кількісно і цінною з точки зору нутриціології складовою є інулін і супутні фруктоолігосахариди. Проте під час бродіння саме ці складові зазнають перетворень. Окрім того, наприклад, випікання хлібобулочних виробів передбачає застосування високих температур, що створює умови для взаємодії низькомолекулярних вуглеводів з білковою складовою сировини. І за таких умов збереження всього комплексу біоактивних речовин сировини є доволі проблематичним.

Метою даного дослідження було розроблення умов обмеженого гідролізу інуліну, що міститься в топінамбурі, без його попереднього вилучення з сировини, з подальшим додаванням отриманого модифікованого продукту до складу сиркових десертів як цукрозамінника, жирозамінника, структуроутворювача, який до того ж має пребіотичні властивості.

Методи дослідження. При аналізі хімічного складу топінамбуру застосовували класичні методи біохімічного дослідження: масову частку Нітрогену визначали за методом К'ельдаля, жиру – методом Сокслета, мінеральних речовин – прожарюванням, вміст фруктози і інуліну – реакцією з резорцином, пектинових речовин – кальцій-пектатним методом, клітковини – із застосування суміші оцтової і нітратної кислот, редукуючих речовин – за Бертрамом, загальних вуглеводів – антроновим методом, молекулярно-масовий розподіл вуглеводів – хроматографією на колонках із сефадексом G-15 і G-25.

Результати дослідження.

Для досліджень використовували топінамбур врожаю 2024 р., вирощений в Одеському регіоні. Хімічний склад бульб свіжого топінамбуру представлений в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад бульб топінамбуру

Показник	Вміст, %
Волога,	75,3
Моносахариди + олігосахариди	3,9
Інулін	15,4
Пектин	1,0
Клітковина	1,2
Білок	2,2
Жир	0,1
Мінеральні сполуки	0,7

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників [17, 22]. Провідною складовою сировини є вуглеводи. Серед них переважає інулін, доволі високий вміст моносахаридів і олігосахаридів – носіїв солодкого смаку. Сировина практично не містить жиру і характеризується доволі низьким вмістом білка.

Для реалізації мети роботи, спочатку було досліджено вплив деяких факторів на процес гідролізу інуліну безпосередньо, в складі сировини, виключаючи стадію його попереднього вилучення.

Відомо, що інулін виявляє властивості жирозамінника, завдяки стійкості до дії травних ферментів суттєво знижує калорійність продуктів, натомість він практично немає солодкого смаку. З іншого боку, фруктоолігосахаридам притаманний солодкий смак, хоча вони мають доволі низький коефіцієнт солодкості, який зазвичай коливається близько 30-35 %. Профіль їх солодкості близький до сахарози [19, 20]. Оскільки олігофруктоза має низький коефіцієнт солодкості, її використовують у комбінаціях з інтенсивними підсолоджувачами або фруктозою. При цьому вона маскує неприємний післясмак інтенсивних підсолоджувачів і різку солодкість фруктози, покращує смакові відчуття і надає харчовим продуктам м'який, однорідний смак [20].

В дослідях встановлено [28-30], що для здорової людини добові норми споживання становлять: для інуліну – 10 г, фруктоолігосахаридів – 5 г відповідно. Найбільш прийнятним з точки зору накопичення продуктів ферментації – коротколанцюгових жирних кислот (молочної, оцтової, масляної) – був зразок, що містив як інулін, так і фруктоолігосахариди.

Таким чином, для отримання продукту, який би був жирозамінником, цукрозамінником і відповідав рекомендаціям медико-біологічних досліджень щодо пребіотичних властивостей, необхідно провести обмежений гідроліз інуліну.

Відомо, що розчини хлоридної кислоти є ефективним каталізатором процесу гідролізу полісахаридів. Проте в разі її використання виникає необхідність в подальшому позбутися кислоти як інгредієнта харчової системи, окрім того, її висока агресивність і летючість зумовлює додаткові проблеми. Між тим, оскільки інулін побудований із залишків D-фруктофуранози, він піддається гідролізу в м'якіших – в порівнянні з переважною більшістю рослинних полісахаридів – умовах. Тобто можливо використання як каталізаторів процесу розщеплення інуліну органічних кислот, які значно поступаються за значеннями показника сталої кислотності pK_a в порівнянні з неорганічними, навіть ортофосфатною кислотою.

Натомість, обираючи органічну кислоту як каталізатор реакції розщеплення інуліну, треба враховувати, що харчові кислоти беруть участь в формуванні смаку продукту. Це треба заздалегідь брати до уваги при прогнозуванні подальшого використання отриманої харчової системи. Зокрема, таким чином не розглядали можливості гідролізу інуліну з використанням оцтової кислоти у зв'язку з її летючістю при підвищенні температури, а також створення характерного післясмакового відчуття.

До того ж харчові гідроксиациди – лимонна, яблучна, винна є сильнішими за оцтову – константи їх дисоціації становлять відповідно: $pK_{a1}=7,1 \cdot 10^{-4}$, $pK_{a1}=3,9 \cdot 10^{-4}$, $pK_{a1}=1,04 \cdot 10^{-3}$ в порівнянні з $pK_{a1}=1,76 \cdot 10^{-5}$ для оцтової кислоти.

Процес гідролізу подрібненої сировини проводили при температурах 70 °C і 80 °C, при значеннях pH середовища 3,0 і 3,5, враховуючи результати проведених раніше досліджень [12, 19, 20]. Хід процесу контролювали за накопиченням редукуючих речовин в рідкій фазі (табл. 2).

Згідно отриманих результатів, загальна динаміка процесу мало відрізнялась при використанні різних кислот. Концентрація редукуючих речовин закономірно зростала швидше при підвищенні температури реакційного середовища. Процес повного розщеплення полімерів і олігомерів на мономери тривав близько 2

годин при обробці сировини при температурі 70 °С і рН = 3,5, і скорочувався до 90 хвилин при підвищенні температури і зниженні і зниженні рН середовища. Отримані результати дозволили оцінити граничний термін термообробки.

Але в таких випадках в складі гідролізату домінує фруктоза і відсутні фруктан і фруктоолігомери, яким притаманні пребіотичні властивості.

Таблиця 2

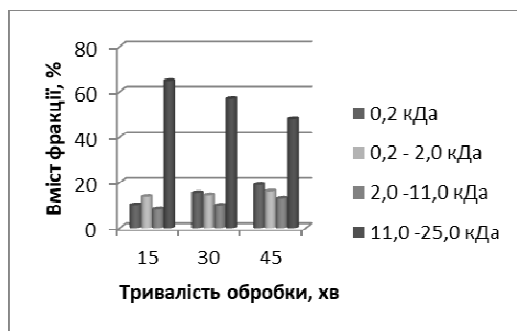
Динаміка накопичення редукуючих речовин при кислотній обробці топінамбуру, %

Кислота	Тривалість обробки, хв.							
	15	30	45	60	75	90	105	120
рН 3,5, 80 °С								
Лимонна	9,0	15,0	34,1	52,4	69,8	82,9	92,1	94,4
Яблучна	7,5	10,7	33,1	55,0	72,2	88,3	93,2	96,0
Винна	8,2	14,1	30,5	53,2	73,3	90,1	93,1	94,6
рН 3,0, 80 °С								
Лимонна	10,3	22,7	45,0	65,7	85,3	97,1	95,3	94,2
Яблучна	8,9	21,0	44,2	66,3	80,2	96,2	92,7	92,0
Винна	8,7	20,1	44,7	64,1	85,0	97,0	95,0	94,1
рН 3,5, 70 °С								
Лимонна	5,5	11,0	22,7	37,3	51,9	69,6	88,9	97,1
Яблучна	5,7	12,1	24,3	35,4	53,2	72,3	89,4	95,3
Винна	5,9	10,5	23,8	34,8	53,1	71,2	90,0	97,2
рН 3,0, 70 °С								
Лимонна	9,2	15,3	31,1	49,2	64,4	80,6	90,5	95,0
Яблучна	6,8	13,7	27,7	53,0	62,5	82,3	90,8	94,6
Винна	6,2	12,5	28,4	51,1	65,0	84,3	91,2	94,8

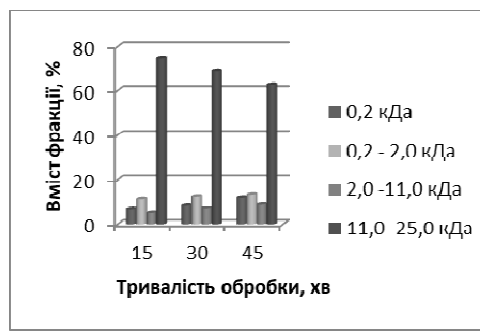
Проте в жодному випадку немає повного збігу між кількістю редукуючих речовин і загальним вмістом розчинних вуглеводів в харчовій системі. Це може бути обумовлено реакцією Майяра – взаємодією редукуючих вуглеводів з аміногрупами білків та амінокислот, хоча в кислому середовищі такі процеси пригнічуються.

Слід зазначити, що у вихідній сировині містяться вуглеводи, що представлені моносахаридами, олігосахаридами і полісахаридами. Спостерігаючи за ходом процесу гідролізу, контролювали накопичення редукуючих речовин, проте олігомерні сполуки – продукти часткового розщеплення інуліну можуть бути двох типів: ті, що мають залишок глюкози і, таким чином, не містять залишку фруктози з вільним глікозидним гідроксилом, тобто нередукуючі вуглеводи, а також навпаки – олігомерні структури, які утворилися внаслідок відщеплення термінального залишку глюкози і є редукуючими [8]. Тому для більш повної, об'єктивної оцінки результатів було досліджено молекулярно-масовий розподіл водорозчинних вуглеводів при обробці сировини лимонною кислотою, яка зазвичай використовується в складі десертів.

Результати аналізу молекулярно-масового розподілу продуктів розщеплення інуліну дозволили отримати більш об'єктивну інформацію (рис.1). Це є важливим при визначенні напрямків подальшого використання продукту. У випадку спрямування його як підсолоджувача, за допомогою якого можна частково замінити сахарозу, наприклад, в складі солодких десертів, доцільно використовувати зразок, де вміст компонентів з молярною масою до 2 кДа є найбільшим. Вони являють собою суміш моносахаридів і олігосахаридів, ступінь полімеризації яких знаходиться в межах від 2 до 10 кДа.



а) рН = 3,0



б) рН = 3,5

Рис.1 – Молекулярно-масовий розподіл вуглеводів в гідролізатах

Найкращим з цього погляду варіантом є використання продукту, отриманого при обробці топінамбуру лимонною кислотою протягом 45 хвилин при значенні середовища $\text{pH} = 3$. Вміст низькомолекулярних вуглеводів з молярною масою в межах 2 кДа в цьому випадку становить 35 %. При збільшенні терміну обробки суттєво прискорюються процеси розщеплення олігосахаридів, яким притаманні пребіотичні властивості, до моносахаридів, що не є метою даного дослідження.

В проміжок часу в межах 45 хвилин при значенні pH середовища 3,5 зниження масової частки фракцій з більшими молекулярними масами (понад 11 кДа) відбувається повільно. Частково продукти їх розщеплення поповнюють фракції з молярними масами від 2 до 11 кДа. Помітним стає збільшення фракції моносахаридів, а також фракції з молярною масою від 0,2 до 2 кДа, яка являє собою суміш олігосахаридів, переважно вона містить так звані фруктоолігосахариди. Звертає на себе увагу той факт, що на початку процесу переважають процеси розщеплення фракцій з меншою молекулярною масою. Вважають [8, 14], що в цьому процесі важливу роль відіграє напрямок перебігу реакції гідролізу – можливість атаки нередукуючих фруктофуранозних залишків, вміст яких збільшується із зменшенням довжини ланцюга. При зниженні значення pH середовища з 3,5 до 3,0 активізується розщеплення фракцій з більшою молекулярною масою.

Переважає більшість інуліну складає фракцію з молекулярною масою 11 – 25 кДа. Відомо, що молекули інуліну здатні утворювати певні структури в розчинах, завдяки чому він відіграє роль жирозамінника та структуроутворюючого агенту. З цих позицій більш прийнятним буде використання зразка, який піддавали найменш тривалій обробки, тобто 15 хвилин при $\text{pH} = 3,5$. Саме цей зразок характеризується найбільшим вмістом високомолекулярної фракції.

Для підтвердження можливості створення продуктів оздоровчого спрямування з модифікованим топінамбуром обрали сиркові десерти, інгредієнти яких були частково замінені на пюре з оброблених бульб. Основою для дослідження був взятий крем сировий 5 % жиру виробництва ТОВ «Гормолзавод», м. Одеса. В дослідних зразках було зменшено кількість цукру та жиру, використовуючи модифікований топінамбур в якості підсолоджувача та жирозамінника у кількості 4 – 7 %. Рецептури наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Рецептура сиркових десертів

Інгредієнт, г	Зразки				
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Сир кисломолочний	500	500	500	500	500
Вершки 40 % жирності	60	50	45	40	30
Цукор	25	10	15	15	15
Стабілізатор	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Топінамбур модифікований	–	25	25	30	40

До складу зразків № 1 і № 2 додавали пюре топінамбуру, обробленого протягом 45 хвилин при $\text{pH} = 3$ із значним вмістом низькомолекулярної фракції цукрів. До зразків № 3 і № 4 вносили пюре після обробки протягом 15 хвилин при $\text{pH} = 3,5$, в якому домінували високомолекулярні фракції.

Кількість внесеного модифікованого топінамбура відповідає рекомендаціям, які ґрунтуються на дослідженнях щодо толерантності організму відносно інуліну і фруктоолігосахаридів [14, 15].

Для оцінки якості сиркових десертів проводили сенсорний аналіз органолептичних показників, регламентованих нормативною документацією. Опис органолептичних показників представлений у табл. 4.

Таблиця 4

Органолептичні показники сиркових десертів

Показник	Зразки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Зовнішній вигляд і консистенція	однорідна, ніжна	однорідна, ніжна	однорідна, щільна	однорідна, щільна
Колір	жовтуватий, з карамельним відтінком	жовтуватий, з карамельним відтінком	світло коричневий, рівномірний за всією масою	світло коричневий, рівномірний за всією масою
Смак і аромат	кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів	кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів	кисломолочний, з легким присмаком топінамбуру	кисломолочний, з присмаком топінамбуру; зменшена солодкість

Очевидно, що додавання пюре топінамбуру не впливає інтенсивно на загальні сенсорні властивості продукту, злегка забарвлюючи його та надаючи присмак рослинної добавки. Разом з тим, додавання модифікованого топінамбуру до сирового крему значно підвищує біологічну цінність продукту за рахунок вне-

сення розчинних та нерозчинних харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин рослинної сировини та зниження загальної калорійності. Олігосахариди, що утворилися при частковому гідролізі інуліну внаслідок кислотної обробки, позитивно впливають на життєдіяльність корисної мікрофлори кишківника людини.

Висновки. Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про доцільність отримання модифікованого кислотною обробкою топінамбуру, з подальшим використанням його в складі продуктів, призначених для «здорового харчування». Він поєднує властивості цукрозамінника, жирозамінника, структуроутворювача і пребіотику, має низьку калорійність. Запропонований спосіб підготовки топінамбуру є простим і може бути реалізований, зокрема, безпосередньо в закладах санаторно-курортного харчування.

Визначено параметри обробки топінамбуру залежно від напрямку його використання при створенні оздоровчих продуктів. При внесенні модифікованого топінамбуру як підсолоджувача, обробку органічними кислотами доцільно проводити при $\text{pH} = 3$ протягом 45 хв., вміст низькомолекулярних фракцій вуглеводів, що утворилися при розщепленні інуліну, був при цьому найбільшим. У випадку, якщо використовувати добавку, в першу чергу, як жирозамінник та структуроутворювач, обробка має бути мінімальною: 15 хв. при $\text{pH} = 3,5$, при цьому зберігається найбільший вміст високомолекулярних фракцій – продуктів гідролізу інуліну.

References

1. Rak. S.O. (2019). Neinfektsiina epidemiia tsukrovoho diabetu. *Medsestrynstvo*, (3), 42–44. <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2019.3.10682>
2. Tsytoyskyi M. N. (2017). Statystychnyi, klinichnyi ta morfolohichnyi aspekty vplyvu tsukrovoho diabetu na stan sertsevo-sudynnoi systemy. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Seriya «Medytsyna»*, 55(1), 168–177.
3. Shao T., Yu Q. et al. (2020). Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperglycaemia in high-fat-diet-induced diabetes mice through the intestinal microflora improvement. *British Journal of Nutrition*, 123(3), 308–318. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114519002332>
4. Marcel R.B. (2007). Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients12. *The Journal of Nutrition*, 137(1), 2493S–2502S.
5. Rubel I.A., Iraporda C. et al. (2021). [Inulin from Jerusalem artichoke \(Helianthus tuberosus L.\): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient](#). *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 26, 100281
6. Van Arkel J., Sévenier R. et al. (2013). Tailormade fructan synthesis in plants: A review. *Carbohydrate Polymer*, 93, 48–56.
7. Apolinário A.C., de Lima Damasceno B.P.C. et al. (2014). Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, 101, 368–378. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.09.081
8. Barclay T., Ginic-Markovica M. et al. (2012). Analysis of the hydrolysis of inulin using real time 1H NMR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 352, 117–125. doi:10.1016/j.carres.2012.03.001
9. Mensink M.A., Frijlink H. W. et al. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130, 405–419.
10. Bach, V., Jensen, S. et al. (2013). The effect of culinary preparation on carbohydrate composition, texture and sensory quality of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 54(1), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.003>
11. Meyer D., Bayarri S. et al. (2011). Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, 25, 1881–1890.
12. González-Herrera, S. M., Herrera, R. R. et al. (2015). Inulin in food products: Prebiotic and functional ingredient. *British Food Journal*, 117, 371–387.
13. Ahmed, W., & Rashid, S. (2019). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(1), 1–13. doi: 10.1080/10408398.2017.1355775
14. Cooper P. D., Barclay T. G. et al. (2013). The polysaccharide inulin is characterized by an extensive series of periodic isoforms with varying biological actions. *Glycobiology*, 23, 1164–1174.
15. Liu J., Willför S. et al. (2015). A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 5(1), 31–61. doi: 10.1016/j.bcdf.2014.12.001. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.12.001>
16. Karimi R., Azizi M. H. et al. (2015). Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. *Carbohydrate Polymers*, 119, 85–100.
17. Shariati M.A., Khan M.U. et al. (2021). Topinambur (the Jerusalem Artichoke): nutritional value and its application in food products: an updated treatise. *J. Microbiol Biotechnology Food Science*, 10(6), e4737. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4737>
18. Vlasenko V.V., Kryvoruk V.M. (2017). Vplyv inulinu z topinamburu na yakist boroshnianskykh kulinarnykh vyrobiv. *Naukovyi visnyk LNUVMB im. S.Z. Hzhyskoho. Seriya Kharchovi tekhnologii*, 80(19), 135–139. doi: 10.15421/nvlvet8028.

19. Popova I.V., Maiboroda O.I., Zinchenko N.Yu., Klymenko N.O. (2018). Hidroliz inulinu za dopomohoiu lymonnoi kysloty dlia oderzhannia fruktozo-olihosakharydnykh produktiv kharchovoi promyslovosti. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, (3), 90-95.
20. Luhovska O.A. (2019). Doslidzhennia stupeniu hidrolizu inulinu ta olihofruktozy v napoiakh. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky*, 30(69), 162–165.
21. Apolinário, A. C., de Lima Damasceno, B. P. G. et al. (2014). Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, 101, 368–378.
22. Barta J., Pátkai Gy. (2007). Chemical composition and storability of Jerusalem artichoke tubers. *Acta Alimentaria*, 36(2), 257–267. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.36.2007.2.13>
23. Khomych H.P., Tkach N.I., Yu. H. ta in. (2021). Vykorystannia topinamburu u tekhnologii boroshnianskykh vyrobiv. *Naukovyi visnyk LNUVMB im. S.Z. Gzhytskoho. Serii: Kharchovi tekhnologii*, 23(95), 13–19.
24. Korkach H.V., Lebedenko T.Ye. ta in. (2009). Vplyv poroshku topinambura na yakist khlibobulochnykh vyrobiv. *Naukovi pratsi ONAKhT*, 36(1), 137–140.
25. Hnitsevykh V. A., Vasyliieva O. O. (2015). Obgruntuvannia parametriv vyrobnytstva zbyvnykh desertiv na osnovi napivfabrykatu z topinambura ta kyzylu. *Naukovyi visnyk Poltavskoho un-tu ekonomiky i torhivli*, 73(1), 11–17.
26. Bilenska, I., Lazarenko, N. et al. (2019). Comprehensive processing of Jerusalem artichoke tubers into functional products. *Food Science and Technology*, 13(4), 15–22. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1559>
27. Stankevych H.M., Bilenska I.R., Bulancha N.A. (2011). Optymizatsiia retseptur sokiv ta past na osnovi fermentovanoho topinambura. *Kharchova nauka i tekhnologii*, 32(4), 86–90. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnt_2011_4_32.
28. Bonnema A.L., Kolberg L.W. et al. (2010). Gastrointestinal Tolerance of Chicory Inulin Products. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(6), 865-868.
29. Stewart M.L., Derek A. et al. (2008). Fructooligosaccharides exhibit more rapid fermentation than long-chain inulin in an in vitro fermentation system. *Nutrition Research*, 28(5), 329–334.
30. Yvan Vandenplas Y., Zakharova I. et al. (2015). Oligosaccharides in infant formula: more evidence to validate the role of prebiotics. *British Journal of Nutrition*, 113(9), 1339–1344. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114515000823>

MODIFIED TOPINAMBUR AS A COMPONENT OF HEALTHY PRODUCTS

**Antipina O., Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Ozolina S. Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof.
Odesa National University of Technology, Odesa**

Abstract. Recently, sources of information have increasingly addressed the issue of limiting the composition of fats and digestible carbohydrates in food due to the increase in the overweight population. However, consumers have become accustomed to sweet-tasting products that are popular among different segments of the population. The way to solve this problem is to produce food products with the addition of inulin - a polysaccharide that can serve as a fat substitute, a structure-forming agent and also has prebiotic properties. The products of inulin hydrolysis - fructooligosaccharides and fructose - are sweet in taste and have obvious advantages compared to sucrose from the point of view of nutrition. However, the process of obtaining inulin, fructooligosaccharides and fructose from chicory or Jerusalem artichoke with their subsequent addition to the composition of food products significantly affects the price level of the latter.

The aim of the work was to study the process of limited hydrolysis of inulin contained in Jerusalem artichoke, excluding the process of its preliminary extraction from the raw material, with the subsequent addition of the resulting modified Jerusalem artichoke to the composition of curd desserts.

Inulin hydrolysis was carried out using food acids as catalysts: citric, tartaric, malic, which are used in the production of food products for acidification of food systems. The process conditions were gentle: the pH value of the medium was 3.0 and 3.5, the temperature was 70 °C and 80 °C. The course of inulin hydrolysis was controlled by determining the content of reducing substances in the liquid phase. However, using this indicator it is difficult to draw a conclusion about the composition of the hydrolysate. A separate requirement was to preserve the prebiotic properties of the processed Jerusalem artichoke, which are due to the presence of inulin and fructooligosaccharides. Therefore, the results of the study of the molecular weight distribution of hydrolysis products are more informative. This allows us to substantiate the directions of further use of the product. In the case of its use primarily as a sweetener, with which it is possible to partially replace sucrose, for example, in the composition of sweet desserts, it is advisable to use a sample where the content of the components with a molar mass of up to 2 kDa is the largest. The best option from this point of view is to use the product obtained by treating Jerusalem artichoke with citric acid for 45 minutes at a pH value of the medium equal to 3. In the case when the priority is to introduce an additional com-

ponent into the food system, which has the properties of a fat substitute and/or a structure-forming agent, it should be advisable to introduce a shorter hydrolysis, when the mass fraction of carbohydrates with a higher molecular weight is more significant. In particular, this is the processing of raw materials at a pH value of the medium equal to 3.5 for 15 minutes.

To confirm the possibility of creating health-promoting products with modified Jerusalem artichoke, curd desserts were chosen, the ingredients of which were partially replaced with puree from processed tubers. Sensory evaluation of curd desserts with the addition of 4-7% modified Jerusalem artichoke confirmed the high quality of the resulting products. Adding Jerusalem artichoke puree to curd cream significantly increases the biological value of the product by introducing soluble and insoluble dietary fibers, vitamins, minerals of plant raw materials and reducing the total calorie content.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, hydrolysis, health products, functional properties

Список використаної літератури

1. Рак. С.О. Неінфекційна епідемія цукрового діабету. *Медсестринство*. 2019. № 3. С. 42–44. <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2019.3.10682>
2. Цитовський М. Н. Статистичний, клінічний та морфологічний аспекти впливу цукрового діабету на стан серцево-судинної системи. *Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія «Медицина»*. 2017. Т. 55. № 1. С. 168–177.
3. Shao T., Yu Q. et al. Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperglycaemia in high-fat-diet-induced diabetes mice through the intestinal microflora improvement. *British Journal of Nutrition*. 2020. V. 123, I. 3, № 14 February. P. 308 – 318. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114519002332>
4. Marcel R.B. Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients12. *The Journal of Nutrition*. 2007. V. 137. I. 1. November. P. 2493S-2502S
5. Rubel I.A., Iraporda C. et al. [Inulin from Jerusalem artichoke \(Helianthus tuberosus L.\): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient](#). *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2021. V. 26, November, 100281
6. Van Arkel J., Sévenier R. et al. Tailormade fructan synthesis in plants: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2013. V. 93. P.48–56.
7. Apolinário A.C., de Lima Damasceno B.P.C. et al. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*. 2014. V. 101, January, P. 368-378. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.09.081
8. Barclaya T., Ginic-Markovica M. et al. Analysis of the hydrolysis of inulin using real time 1H NMR spectroscopy. *Carbohydrate Research*. 2012. V. 352. May. P. 117–125. doi:10.1016/j.carres.2012.03.001
9. Mensinka M.A., Frijlinka H. W. et al. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 2015. V. 130. P. 405–419
10. Bach, V., Jensen, S. et al. The effect of culinary preparation on carbohydrate composition, texture and sensory quality of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 2013. V. 54. I. 1. P. 165-170. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.003>
11. Meyer D., Bayarri S. et al. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*. 2011. V. 25. P. 1881–1890.
12. González-Herrera, S. M., Herrera, R. R. et al. Inulin in food products: Prebiotic and functional ingredient. *British Food Journal*. 2015. V. 117, 371–387.
13. Ahmed, W., & Rashid, S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. V. 59. I. 1, P.1–13. doi: 10.1080/10408398.2017.1355775
14. Cooper P. D., Barclay T. G. et al. The polysaccharide inulin is characterized by an extensive series of periodic isoforms with varying biological actions. *Glycobiology*. 2013. V. 23. P. 1164–1174/
15. Liu J., Willför S. et al. A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2015. V. 5. I. 1. P. 31– 61 doi: 10.1016/j.bcdf.2014.12.001. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.12.001>
16. Karimi R., Azizi M. H. et al. Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2015. V. 119. P. 85–100.
17. Shariati M.A., Khan M.U. et al. Topinambur (the Jerusalem Artichoke): nutritional value and its application in food products: an updated treatise. *J. Microbiol Biotechnology Food Science*. 2021. V. 10. I. 6. P. e4737. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4737>
18. Власенко В.В., Криворук В.М. Вплив інуліну з топінамбуру на якість борошняних кулінарних виробів. *Науковий вісник ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького. Серія Харчові технології*. 2017. Т. 80. № 19. С. 135–139. doi: 10.15421/nvlvet8028.
19. Попова І.В., Майборода О.І., Зінченко Н.Ю., Клименко Н.О. Гідроліз інуліну за допомогою лимонної кислоти для одержання фруктозо-олігосахаридних продуктів харчової промисловості. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2018. № 3. P. 90–95.

20. Луговська О.А. Дослідження ступеню гідролізу інуліну та олігофруктози в напоях. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Том 30 (69). Ч. 2. № 2. С. 162–165.
21. Apolinário, A. C., de Lima Damasceno, B. P. G. et al. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*. 2014. V 101. P. 368–378.
22. Barta J., Pátkai Gy. Chemical composition and storability of Jerusalem artichoke tubers. *Acta Alimentaria*. 2007. V. 36. I. 2. May. P. 257–267. DOI: <https://doi.org/10.1556/aalim.36.2007.2.13>
23. Хомич Г.П., Ткач Н.І., Ю. Г. та ін. Використання топінамбуру у технології борошняних виробів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2021. Т. 23. № 95, С. 13-19.
24. Коркач Г.В., Лебеденко Т.Є. та ін. Вплив порошку топінамбура на якість хлібобулочних виробів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2009. Вип. 36. Том 1. С. 137–140.
25. Гніцевич В. А., Васильєва О. О. Обґрунтування параметрів виробництва збивних десертів на основі напівфабрикату з топінамбура та кизилу. *Науковий вісник Полтавського ун-ту економіки і торгівлі*. 2015. Т. 73. № 1. С 11–17.
26. Bilenka, I., Lazarenko, N. et al. Comprehensive processing of Jerusalem artichoke tubers into functional products. *Food Science and Technology*. 2019. V 13. I. 4. С. 18–22. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1559>
27. Станкевич Г.М., Біленька І.Р., Буланча Н.А. Оптимізація рецептур соків та паст на основі ферментованого топінамбура. *Харчова наука і технологія*. 2011. Т. 32. №. 4. С. 86–90. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnt_2011_4_32
28. Bonnema A.L., Kolberg L.W. et al. Gastrointestinal Tolerance of Chicory Inulin Products. *Journal of the American Dietetic Association*. 2010. V. 110. I. 6. June. P. 865–868.
29. Stewart M.L., Derek A. et al. Fructooligosaccharides exhibit more rapid fermentation than long-chain inulin in an in vitro fermentation system. *Nutrition Research*. 2008. V. 28. I. 5. May. P. 329-334.
30. Yvan Vandenplas Y., Zakharova I. et al. Oligosaccharides in infant formula: more evidence to validate the role of prebiotics. *British Journal of Nutrition*. 2015. V. 113. I. 9. May. P. 1339 – 1344. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114515000823>

Отримано в редакцію 24.07.2025
Прийнято до друку 02.09.2025

Received 24.07.2025
Approved 02.09.2025