

РЕЗИСТЕНТНИЙ КРОХМАЛЬ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

*Хомічак Л. М.¹, д.т.н, професор, член-кореспондент НААН,
заступник директора з науково-організаційної роботи,
<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>*

*Кузнєцова І. В.¹, д.с.-г.н., с.н.с.,
заст. зав. відділу технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів,
<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>*

*Пазюк В. М.², д.т.н., с.н.с.,
<http://orcid.org/0000-0002-4955-1941>*

*Касамара А. С.¹, пров. інженер
<https://orcid.org/0000-0002-3557-6021>*

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

²Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-17>

Предмет дослідження. Моніторинг виробництва резистентного крохмалю у світі та вплив його застосування на якість хліба. Останнім часом все більше уваги приділяється здоровому харчуванню людей з урахуванням особливостей організму, стресових ситуацій та ритму життя. Неправильне харчування призводить до розвитку ожиріння, цукрового діабету, панкреатиту, а також може викликати страждання від «прихованого голоду». Зниження споживання вуглеводів у раціоні сприяло розвитку напряму застосування у виробництві харчових продуктів так званого стійкого або резистентного крохмалю як низьковуглеводного інгредієнту.

Мета. Моніторинг досліджень щодо властивостей резистентного крохмалю (РК) як функціонального інгредієнту харчових продуктів та його впливу на якість харчових продуктів на прикладі хліба. **Методи та методика.** Застосовано аналітичний метод. **Результати.** Для отримання резистентного крохмалю застосовують різні методи оброблення його нативної структури: фізичні, хімічні, ферментативні та генетичні. Стійкий крохмаль природним чином зустрічається у ряді сільськогосподарських продуктів і в трьох формах. RS1 переважає в насінні, бобах, а також в необробленому або мінімально переробленому цілісному зерні. RS2 перетравлюється дуже повільно і зазвичай міститься в картоплі, кукурудзі, недозрілих бананах та борошні. RS3 стає стійким тільки тоді, коли частини крохмального ланцюга розширюються, а потім скорочуються під час приготування або обробки їжі. Картопля, хліб і деякі злаки (до прикладу, кукурудзяні пластівці) є звичайними джерелами RS3. RS4 не зустрічається в природі й утворюється в результаті хімічної або термічної обробки, має як розчинні, так і нерозчинні властивості. РК використовують у виробництві хлібобулочних і молочних продуктів, різних закусках, пластівцях для сніданку, пастах, локиніні, кондитерських виробів, м'ясних продуктах і напоях, а також у фармацевтичній промисловості і як альтернативу антибіотикам у прикормі курчат і поросят. Показано вплив комерційних продуктів резистентного крохмалю на якість хліба залежно від складових основи борошняної суміші. **Сфера застосування результатів.** Харчова промисловість, а саме крохмале-паточна галузь.

Ключові слова: крохмаль, резистентний крохмаль, хліб, харчові волокна, продукт, якість

RESISTANT STARCH IN THE FOOD INDUSTRY

Liubomyr Khomichak¹, D-r of Sc., Engineering, Professor,
Corresponding Member of NAAS, Deputy Director for Research and Organizational Work
<http://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Inha Kuznietsova¹, D-r of Sc., Agriculture, Senior Researcher,
deputy head Department of Sugar Technology, sugar products and ingredients
<http://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Vadim Paziuk², D-r of Sciences, Engineering, Senior Researcher
<http://orcid.org/0000-0002-4955-1941>

Alina Kasamara¹, Leading Specialist,
<http://orcid.org/0000-0002-3557-6021>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institute of Technical Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-17>

Subject of research. Monitoring the production of resistant starch in the world but influence of his application is on quality of bread. Recently, more and more attention has been paid to the healthy nutrition of people, taking into account the characteristics of the body, stressful situations and the rhythm of life. Improper nutrition leads to the development of obesity, diabetes, pancreatitis, and can also cause suffering from "hidden hunger." The decrease in the consumption of carbohydrates in the diet contributed to the development of the direction of the use of the so-called "resistant or resistant" starch as a low-carbohydrate ingredient in the production of food products. **Purpose.** Monitor research on the properties of resistant starch (RS) as a functional ingredient of food products but to his influence on quality of food products for example bread. **Methods.** Analytical method. **Results.** The obtain resistant starch, various methods of processing its native structure are used: physical, chemical, enzymatic, and genetic. Resistant starch occurs naturally in a number of agricultural products and in three forms. RS1 predominates in seeds, beans, and unprocessed or minimally processed whole grains. RS2 digested very slowly and usually found in potatoes, corn, unripe bananas and flour. RS3 only becomes stable when parts of the starch chain are extend and then shorten during cooking or food processing. Potatoes, bread, and some cereals (such as cornflakes) are common sources of RS3. RS4 does not occur in nature and formed as result of chemical or thermal processing, and has both soluble and insoluble properties. RK is used in the production of bakery and dairy products, various snacks, breakfast cereals, pasta, noodles, confectionery, meat products and beverages, as well as in the pharmaceutical industry and as an alternative to antibiotics in the feeding of chickens and piglets. The influence of commercial products of resistant starch on the quality of bread depending on the components of the base of the flour mixture shown. **Scope of research results.** Food retail industry, namely starch and molasses industry.

Key words: starch, resistant starch, bread, dietary fibers, product, quality

Вступ. Останнім часом все більше уваги приділяється здоровому харчуванню людей з урахуванням особливостям організму, стресових ситуацій та ритму життя. Неправильне харчування призводить до розвитку ожиріння, цукрового діабету, панкреатиту, а також може викликати страждання від «прихованого голоду». Зниження споживання вуглеводів у раціоні сприяло розвитку наряду застосування у виробництві харчових продуктів так званого стійкого або резистентного крохмалю (RS/PK) як низьковуглеводного інгредієнта. РК – це джерело функціональних волокон, що відіграє важливу роль у фізіології травлення людського організму і вважається пребіотиком [1, 2]. Харчові продукти виготовлені із застосуванням РК мають низький глікемічний індекс (GI / ГІ) [3, 4]. Згідно з дослідженнями [5, 6], дотримання дієти з низьким ГІ знижує рівень захворювань на цукровий діабет та серцево-судинні захворювання. Крім того, РК позитивно впливає на функціонування травного тракту, його мікрофлору, рівень холестерину в крові, що знижує ризик розвитку раку кишечника і діабетичних захворювань [7-9]. Додавання РК до раціону харчування людини призводить до збільшення кількості лактобацил та

біфідобактерій [10-12]. Таким чином, РК є перспективною харчовою сировиною для створення продуктів лікувального та профілактичного призначення [13].

Мета. Моніторинг досліджень щодо властивостей резистентного крохмалю як функціонального інгредієнта харчових продуктів та його впливу на якість харчових продуктів на прикладі хліба.

Метод дослідження – аналітичний.

Предмет дослідження – моніторинг виробництва резистентного крохмалю у світі.

Результати. Крохмаль слугує основним компонентом більшості харчових продуктів рослинного походження і становить невід'ємну частину основних дієтичних продуктів людини. Залежно від швидкості та ступеня перетравлення, крохмалі класифікують на ті, що: швидко перетравлюється (RDS); повільно засвоюється (SDS) і стійкі (RS).

Резистентний крохмаль – це крохмаль, який здатний протистояти ферментативному гідролізу в шлунково-кишковому тракті людини, завдяки співвідношенню амілози й амілопектину, типу кристалічності, розміру гранул, взаємодії крохмалю з білком, утворенню комплексів «амілоза-ліпід», вмісту ретроградованого крохмалю [14]. За даними експертів European Commission, енергетична цінність РК становить 2 ккал/г, тоді як для крохмалів: пшеничного – 3,44 ккал/г, картопляного – 3,57 ккал/г, кукурудзяного – 3,81 ккал/г [15].

Резистентність крохмалю може бути підвищена (або знижена) шляхом його хімічної чи термічної модифікації. Так, утворення глікозидного зв'язку, відмінного від нормальних α -(1-4)- і α -(1-6)-зв'язків, при теплової обробці знижується його доступність до дії ферментів. Виробництво RS зазвичай досягається як термічним, так і ферментативним методами, а також з їх комбінацією, яка включає клейстеризацію та ретроградацію крохмалю. Крім того, усунення розгалужень амілопектину або зниження молекулярної маси можливе під дією ферментів або частковим кислотним гідролізом. Утворюється більша кількість лінійних ділянок крохмального полімеру або агрегації, що призводить до кристалізації структури та збільшує вихід ретроградного крохмалю. Ступінь видалення розгалуженої структури крохмалю має вплив на формування резистентності. Зокрема, лінійні фрагменти зі ступенем полімеризації (СП) 100-300 одиниць глюкози переважно одержують після видалення розгалужень крохмалю. RS має низьку резистентність, коли GE (DP) містить менше 100 одиниць глюкози, оскільки полімери недостатньо довгі, щоб утворювати ферментостійкі кристали. З іншого боку, лінійноланцюгові полімери з DP вище 300 одиниць глюкози не можуть ефективно вирівнюватися з утворенням стійких до ферментів кристалічної структури при недостатньому гідролізі крохмалю. Ступінь резистентності крохмалів становить для пшеничного – 8,2%, кукурудзяного – 10,9%, картопляного – 14,5%, тритикалевого – 15,1%, горохового високоамілозного – 35,0% [16]. Резистентний крохмаль недоступний для ферментації в тонкому кишечнику. Проте в товстому кишечнику та прямій кишці він стає доступним для ферментації присутнім мікроорганізмам і перетравлюється з утворенням коротколанцюгових жирних кислот, вуглекислоти, водню та метану [17]. Таким чином, вирішується проблема панкреатичних захворювань або «прихованого голоду» оскільки на відміну від інших типів харчових волокон, їх ферментація в товстому кишечнику збільшує гормони ситості (GLP-1 і PYY) на тривалий час.

Як відомо, RS поділяється на п'ять класів:

RS1 – являє собою групу фізично недоступного крохмалю в цілому або частково подрібненому насінні через відсутність у шлунково-кишковому тракті ферментів, що руйнують клітинну стінку [18];

RS2 – крохмаль, який захищений від перетравлення завдяки компактній будові або структурі (як у необробленій картоплі, зеленому банані і нативному кукурудзяному крохмалі з високим вмістом амілози (HAMS)), складається з кристалів амілопектину сирої гранули нативного крохмалю [19];

RS3 – (ретроградований крохмаль) може бути отриманий желатинізацією (тобто шляхом руйнування структури гранул при нагріванні з надлишком води) та ретроградацією (тобто повільною перекристалізацією молекул крохмалю при охолодженні або зневодненні) під час обробки харчових продуктів [20];

RS4 – (хімічно модифікований крохмаль) може бути отриманий етерифікацією, етерифікацією та зшиванням, RS4 не розщеплюється травними ферментами [18];

RS5 – (амілозо-ліпідний комплекс) може утворюватися, якщо аліфатична частина ліпиду входить до структури амілозної спіралі, утворюючи амілозо-ліпідні комплекси, що внаслідок чого необхідна вища температура для желатинізації, тоді як полярна група ліпідів знаходиться зовні [21]. Молекули амілози, особливо у присутності ліпідів, також можуть переплітатись з молекулою амілопектину для збереження цілісності гранул крохмалю під час нагрівання та розриву [22].

Для отримання резистентного крохмалю застосовують різні методи оброблення його нативної структури. Зокрема, існує 4 основних шляхи:

1. Фізичний – основним процесом є температурні цикли, що призводить до реорганізації лінійних ланцюгів з утворенням структури стійкої до гідролізу травними ферментами [23];

2. Хімічний – модифікація гранул крохмалю шляхом лінеаризації, ацетилювання, фосфолування, окиснення, гідроксипропілювання, етерифікації і комбінацій цих обробок [23].

3. Ферментативний – направлений на руйнування амілопектинових зв'язків α -1-6-пулулазною і ізоамілазою, що змінює структуру крохмалю в процесі ретроградації. Інші ферменти, такі як α - і β -амілаза, використовуються для гідролізу аморфних областей крохмалю з утворенням щільно упакованої кристалічної структури [24, 25];

4. Генетичний – виведення сортів сільськогосподарської сировини з високим вмістом амілози і крупними крохмальними гранулами.

Структурні особливості резистентного крохмалю за видами наведені (табл. 1).

Таблиця 1

Структурні особливості резистентного крохмалю

Вид	Структура
RS1	непошкоджені тканини рослин
	харчові матриці високої щільності
	обмежений крохмаль в безперервному шарі певних білків
RS2	гранули крохмалю із зовнішньою оболонкою високої щільності
RS3	ретроградована амілоза
	оброблена амілоза високої щільності
	ретроградований амілопектин
RS4	хімічно заміщені крохмалі
	хімічно зшиті крохмалі
RS5	аморфні амілозо-ліпідні комплекси (форма I)
	кристалічні амілозо-ліпідні комплекси (форма II)

Стійкий крохмаль природним чином зустрічається у ряді сільськогосподарських продуктів у трьох формах. RS1 переважає в насінні, бобах, а також в необробленому або мінімально переробленому цілісному зерні. У RS1 молекули крохмалю упаковані в щільні гранули і мають велику частину непошкоджених клітинних стінок, створюючи фізичний бар'єр для доступу ферменту амілази. RS2 містить багато амілози, упакований в щільні гранули але не желатинізований, тому крохмаль не руйнується і не поглинає воду. Тому RS2 перетравлюється дуже повільно. Зазвичай міститься в картоплі, кукурудзі, недозрілих бананах та борошні. RS3 стає стійким тільки тоді, коли частини

крохмального ланцюга розширюються, а потім скорочуються під час приготування або обробки їжі. Це ще один вид крохмалю з високим умістом амілози, яка утворюється під час приготування в процесі желатинізації крохмалю. Проте при охолодженні такого крохмалю, амілоза конденсується і стає неперетравлюваною. Картопля, хліб і деякі злаки (до прикладу, кукурудзяні пластівці) слугують звичайними джерелами RS3. RS4 не зустрічається в природі й утворюється в результаті хімічної або термічної обробки, має як розчинні, так і нерозчинні властивості [26].

Необхідно відмітити, що в картоплі міститься г РК на 100 г: сирій – 13,5, варений – 1,8, варений та охолоджений – 5,0, запечений – 3,6, чипсах – 3,5, пюре – 0. Водночас як у вареному бататі (дика картопля) міститься 1,8 г РК на 100 г, вареному та охолоджену бататі – 5,0 г РК на 100 г [27]. Частина крохмалю відновлює структуру – якщо приготувати картоплю й остудити (рис. 1), частина крохмалю набуває резистентної форми у вигляді ретроградованого.

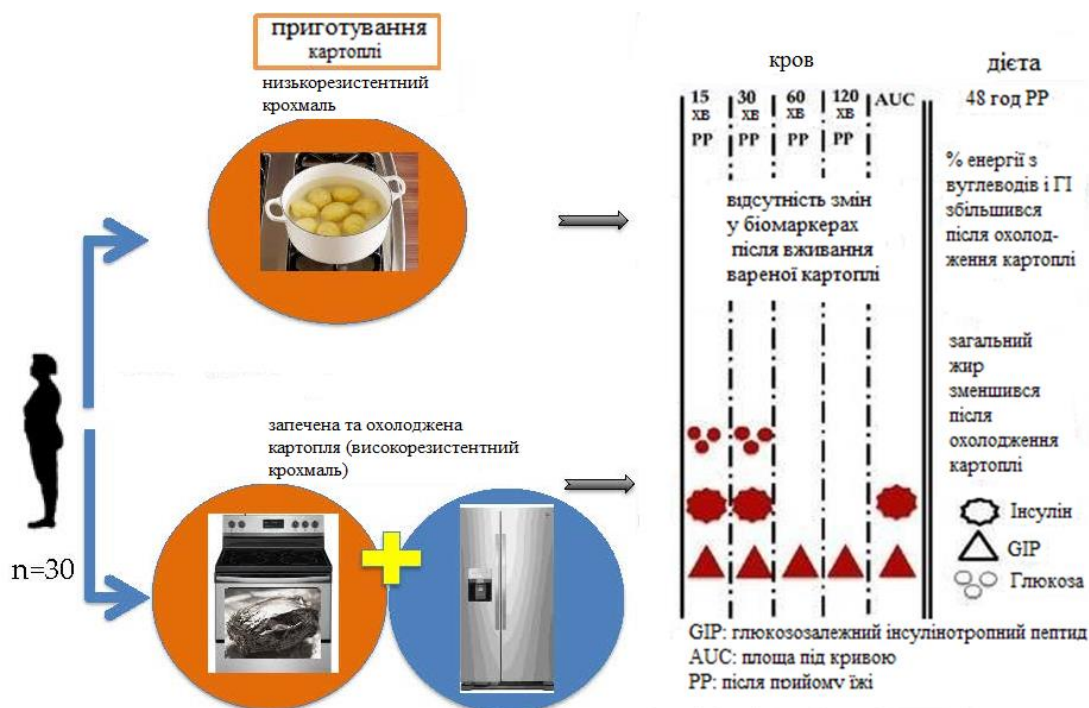


Рис. 1. Засвоювання крохмалю в картоплі залежно від способу приготування [27]

Дослідженнями вчених показано [27], що резистентний крохмаль поліпшує постпрандіальну глікемію і чутливість до інсуліну у дорослих з метаболічним синдромом. Кількість РК, що міститься в картоплі, варіює залежно від способу приготування і температури подачі страви. Зокрема, через 15 і 30 хвилин після споживання охолодженої картоплі спостерігали значне зниження глюкози (4,8% і 9,2%), інсуліну (25,8% і 22,6%) і глюкозозалежного інсулінотропного пептиду (GIP) (41,1% і 37,6%), відповідно. Через 48 год після споживання охолодженої картоплі спостерігали вищий вуглеводний і глікемічний індекс, ніж після споживання вареної картоплі. Це дослідження демонструє, що споживання охолодженої картоплі з високим вмістом РК може позитивно вплинути на глікемічну відповідь у жінок з підвищеним рівнем глюкози та інсуліну [27].

РК використовують у виробництві хлібобулочних і молочних продуктах, різних закусках, пластівцях для сніданку, пастах, локшині, кондитерських виробів, м'ясних продуктах і напоях, а також у фармацевтичній промисловості і як альтернативу антибіотикам в прикормі курчат і поросят [28]. Відмічене значення резистентного крохмалю в профілактиці колатерального раку, ризик захворювання якого зростає при вживанні м'ясних виробів, отриманих з червоних видів м'яса [29]. РК може

застосовуватись як заміник жиру в рецептурі ковбасних виробів [30]. Окрім цього, РК поліпшує структуру, текстуру і колір продукції [31]. Зокрема, при термічній обробці, збільшує термін зберігання виробу при температурі +4°C та знижує калорійність в 4,3 раза [32].

Комерційні препарати РК є дрібнодисперсними порошками білого кольору зі слабким запахом. Такі характеристики дають їм перевагу перед харчовими волокнами, що традиційно використовуються в харчовій промисловості, які не завжди мають приємні смакові та текстурні властивості. Крім того, резистентні крохмалі мають низьку калорійність і тому можуть бути використані для створення продуктів із низьким умістом жиру та цукру. Смакові характеристики в сукупності з низьким ГІ збільшують перспективність використання таких РК у рецептурах харчових продуктів для людей, які страждають на цукровий діабет і ожиріння.

РК переважно виробляється наступними виробниками: National Starch (США), Tate & Lyle (США), Cargill (США), Ingredients Inc. (США), Gum Technology Corp. (США), Functional matt (Фінляндія), Realife (Туреччина), тощо. Проте попит на такі види крохмалю зростає через його високу поживну здатність. За аналізом літературних даних [3, 33] представлено характеристику основних видів РК, що нині виробляються в світі і застосовуються у виробництві хліба (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив РК на якість хліба

РК	Резистентність РК, %*	Застосування в рецептурі хліба сумісно з*	Вплив на якість продукту
1	2	3	4
НА кукурудзяний крохмаль, Hi-Maize 260, Ingredion	60 IDF (58,4 TDF)	Пшеничним борошном (4,5% TDF) 6,6% bb, db 9,5% bb, db 17,0% bb, db 26,6% bb, db	Підвищена твердість; зменшення когезії, тургору, об'єму (при рівні 30%), якості комірок у крихах та розрахункового GI; утворення світлішої скоринки
НА кукурудзяний крохмаль, Hi-Maize 260, Ingredion	60 RS	Пшеничним борошном 1,2% 3,9% 5,9% 11,1%	Зменшений об'єм, підвищена твердість (на рівні 15%), легша скоринка
НА аміло-кукурудзяний крохмаль N-400, Roquette	40 TDF	Суміш борошна GF (кукурудзяний крохмаль, рисове борошно, крохмаль тапіоковий) 1,2% bb, db 4,4% bb, db 7,6-9,2% bb, db	Знижений GI <i>in vitro</i> (RS3 > RS2)
НА кукурудзяний крохмаль, Hi-Maize 260, Ingredion	56 TDF	Жовте кукурудзяне борошно 4,3% bb, db 12,0% bb, db	Питомий об'єм і текстура не змінилися, зниження щільності клітин, аналогічна сенсорна оцінка, фракція SDS збільшена, EGI зменшилося від 85 до 71

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
НА кукурудзяний крохмаль, Hi-Maize 260, Ingredion	56 TDF	Біле кукурудзяне борошно 5,5% 11,3%	Специфічний об'єм і текстура без змін
ХА кукурудзяний крохмаль, HYLONVII, Ingredion	53 RS2	Пшеничним борошном 1,2% 4,1% 8,1% 10,1%	Зменшений об'єм на 30%, збільшено твердість на 30%, світла скоринка
НА кукурудзяний крохмаль, Novelose330, Ingredion	46.5 RS3	Пшеничним борошном 1,2% bb, db 4,7% bb, db 9,7% bb, db 12,7% bb, db	Зменшений об'єм на 30%, збільшено твердість на 30%, світла корка за 20% і 30%, світліша скоринка
НА кукурудзяний крохмаль CrystaLean, SunOpta ingredients	45 RS3	Пшеничним борошном 1,2% bb, db 4,4% bb, db 8,3% bb, db 12,4% bb, db	Збільшено об'єм на 30% і твердість на 30%, світліша корка
НА кукурудзяний крохмаль Hi-Maize 260, Ingredion	RS > 60	Кукурудзяний крохмаль, картопляний крохмаль (4:1) ^c 2,1% bb 3,9% bb 4,7% bb 5,0% bb	Збільшено об'єм на 30% та твердість на 20%, знижена міцність (48 год)
Крохмаль тапіоки, ActiStar 11700, Cargill	RS3 > 50	Кукурудзяний крохмаль картопляний крохмаль (4:1 суміш) ^d 2,1% bb 2,5% bb 2,8% bb 3,0% bb	Зменшений об'єм і твердість на 20%, міцність (48 год)
НА пшеничне борошно, Okumoto	6.7 TDF	Пшеничним борошном (3.4% TDF) 0.9% bb, db 1.6% bb, db 2.6% bb, db 3.0% bb, db	Зменшений об'єм і твердість, вищий рівень стійкості на 10% та резистентності
Крохмаль зеленого банану, Natural Evolution	42.2 RS2	Кукурудзяний крохмаль (0,8% RS): рисове борошно (0,1% RS) (1:1 суміш) 1,5% cb – 0,3% ct, db 1,7% cb – 5,7% ct, db 1,9% cb – 0,7% ct, db	Збільшений об'єм, зменшена твердість, темніший колір скоринки, покращене сенсорне сприйняття (за смаком нагадує банан), підвищена частка SDS у крихах з нативним та екструдованим бананом

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
Борошно із зеленого подорожника, Chiquita	50.1 RS2	Рисове борошно: GF пшеничний крохмаль (1:1 суміш) 1,1% bb, db 2,3% bb, db	Збільшений об'єм і твердість, легкіша скоринка, оптимізований вміст води, тривалість випікання й температури для заміни 30%.

*SDS – повільно засвоюваний крохмаль; IDF – не розчинні харчові волокна; TDF – загальна кількість харчових волокон; GI – глікемічний індекс; GF – без глютену; HA – високоамілозний; bb – хлібна основа; cb – крихти; ct – основа скоринки; db – суха основа

Таким чином, резистентні крохмалі виступають перспективним інгредієнтом у виробництві хліба, який спроможний поліпшити якість готового продукту та забезпечити необхідні функціональні властивості для людського організму.

Висновки. Показано перспективність використання резистентного крохмалю у виробництві харчових продуктів. Представлено характеристику основних видів РК, що виробляється нині у світі. Розглянуто методи оброблення нативної структури крохмалю для підвищення його резистентності. Обґрунтовано механізм перетворення крохмалю в картоплі під час приготування та представлено його резистентність залежно від способу приготування. Показано вплив комерційних продуктів резистентного крохмалю на якість хліба залежно від складових основи борошняної суміші.

Бібліографія

1. Annison G., Topping D. L. Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. *Annual Review of Nutrition*. 1994. 14: P. 297-320.
2. Silvester K. R., Englyst H. N., Cummings J. H. Ileal recovery of starch from whole diets containing resistant starch measured in vitro and fermentation of ileal effluent. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1995. 62. P. 403-411.
3. Liljeberg-Elmstahl H. Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2002. 56. P. 500-505.
4. Willett W., Manson J., Liu S. Glycemic index, glycemic load and risk of type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002. 76. P. 274-280.
5. Bjorck I., Liljeberg H., Östman E. Low glycaemic index foods. *British Journal of Nutrition*. 2000. 83. P. 149-155.
6. Behall K. M., Howe J. C. Effect of long-term consumption of amylose vs amylopectin starch on metabolic variables in human subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1995. 61. P. 334-340.
7. Umu O. C., Frank J. A., Fangel J. U., Oostindjer M., da Silva C. S., Bolhuis E. J., Bosch G., Willats W. G., Pope P. B., Diep D. B. Resistant starch diet induces change in the swine microbiome and a predominance of beneficial bacterial populations. *Microbiome*. 2015. P. 3-16.
8. Young W., Roy N. C., Lee J., Lawley B., Otter D., Henderson G., McCann M. J., Tannock G. W. Changes in bowel microbiota induced by feeding weanlings resistant starch stimulate transcriptomic and physiological responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012. 78. P. 6656-6664.
9. Jyoshna, E. Hymavathi Dr. T. V. Review of studies on effect of resistant starch supplementation on glucose and insulin. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry UGC Approved*. 2017. 6 (3). P. 55-58.
10. Fuentes-Zaragoza E., Sanchez-Zapata E., Sendra E., Salsas E., Navarro C., Fernandes-Lopez J., Peter-Alvares A. Resistant starch as probiotic: A review. *Starch-Starke*. 2011. 63. P. 406-415.
11. Slavin J., *Nutrients*. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. 2013. 5 (4). P. 1417-1435.
12. Zaman S. A., Sarbini S. R. The potential of resistant starch as a prebiotic. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2015. P. 1-7.
13. Nissar J., Ahad T., Naik H. R., Hussain S. Z. Resistant Starch – Chemistry and Nutritional properties. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 2017. 2 (6). P. 95-108.

14. Leszczynski W. Department of Food Storage and Technology. Wroclaw, Poland. 13/54. 2004. P. 37-50.
15. Lockyer S. and Nugent A. P. Health effects of resistant starch. Nutrition Bulletin. 2017. 42 (1). P. 10-41.
16. Leszczynski W. Resistant starch – classification, structure, production. Pol J Food Nutr. Sci. 2004. 54. P. 37-50.
17. Pomeranz Y., Sievert D. Purified resistant starch products and their preparation. 1990. WO 9015147. Univ of Washington.
18. Khoozani A. A., Birch J., Bekhit E. D. A Resistant Starch Preparation Methods. Reference Module in Food Science. 2018. <https://doi.org/10.1016/b978-0-080-10596-5.22491-8>.
19. Shi Y.-C., Jeffcoat R. Structural Features of Resistant Starch. Advanced Dietary Fibre Technology. 2009. P. 430-439.
20. Sharma A., Yadav B. S. Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications. Food Reviews International, Ritika. 2008. 24 (2). P. 193-234.
21. Lau E., Zhou W., Henry C. J. Effect of fat type in baked bread on amylose-lipid complex formation and glycaemic response. British Journal of Nutrition. 2016. 115 (12). P. 2122-2129.
22. Goderis B., Putseys J. A., Gommers C. J., Bosmans G. M., Delcour J. A. The Structure and Thermal Stability of Amylose-Lipid Complexes: A Case Study on Amylose-Glycerol Monostearate. Crystal Growth & Design. 2016. 14 (7). P. 3221-3233.
23. Sarawong C., Schoenlechner R., Sekiguchi K., Berghofer E., Ng P. K.W. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. Food Chemistry. 2014. 143. P. 33-39.
24. Reddy C. K., Suriya M., Haripriya S. Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*. L) starch by enzymatic method. Carbohydrate Polymers. 2013. 95 (1). P. 220-226.
25. Cai L., Shi Y.-C. Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches. Carbohydrate Polymers. 2010. 79 (4). P. 1117-1123.
26. Zhen Ma, Xinzhong Hu, Joyce I. Boye. Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: A review. International Journal of Food Science and Nutrition. 2018. P. 276-297.
27. У жінок із підвищеним рівнем глюкози та інсуліну споживання охолодженої картоплі знижує рівень глюкози, інсуліну та глюкозозалежного інсулінотропного пептиду порівняно зі споживанням теплої картоплі. Ел. ресурс: <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/9/2066>.
28. Shi Y.-C., Maningat C. C. Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefits. Wiley. 2013. 287 p.
29. Talukder S. Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2015. V. 55. № 7. P. 1005-1011. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>.
30. Felisberto M. H. F., Galvao M. T. E. L., Picone C. S. F., Cunha R. L., Pollonio M. A. R. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions. LWT. 2015. V. 60. № 1. P. 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.004>.
31. Sanz T., Salvador A., Fiszman S. M. Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. Food Hydrocolloids. 2008. V. 22. № 4. P. 543-549. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.018>.
32. Sarteshnizi A. R., Hosseini H., Khosroshahi N. K., Shahraz F., Khaneghah A. M., Kamran M., Komeili R., Chiavaro E. Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. Food Technology and Biotechnology. 2017. V. 55. № 4. P. 475-482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.
33. Liljeberg H., Bjorck I. Bioavailability of starch in bread products. Postprandial glucose and insulin response in healthy subjects *in vitro* resistant starch content. European Journal of Clinical Nutrition. 1994. 48. P. 151-163.

References

1. Annison, G., Topping, D. L. (1994). Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. Annual Review of Nutrition, 14. P. 297-320.
2. Silvester, K. R., Englyst, H. N., Cummings J. H. (1995). Ileal recovery of starch from whole diets containing resistant starch measured *in vitro* and fermentation of ileal effluent. The American Journal of Clinical Nutrition, 62. P. 403-411.

3. Liljeberg-Elmstahl, H. (2002). Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56. P. 500-505.
4. Willett, W., Manson, J., Liu, S. (2002). Glycemic index, glycemic load and risk of type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 76. P. 274-280.
5. Bjorck, I., Liljeberg, H., Östman, E. (2000). Low glycaemic index foods. *British Journal of Nutrition*. 83. P. 149-155.
6. Behall, K. M., Howe, J. C. (1995). Effect of long-term consumption of amylose vs amylopectin starch on metabolic variables in human subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61. P. 334-340.
7. Umu, O. C. Frank, J. A., Fangel, J. U., Oostindjer, M., Da Silva, C. S., Bolhuis, E. J., Bosch, G., Willats, W. G., Pope, P. B., Diep, D. B. (2015). Resistant starch diet induces change in the swine microbiome and a predominance of beneficial bacterial populations. *Microbiome*. P. 3-16.
8. Young, W. Roy, N. C., Lee, J., Lawley, B., Otter, D., Henderson, G., McCann, M. J., Tannock, W. (2012). Changes in bowel microbiota induced by feeding weanlings resistant starch stimulate transcriptomic and physiological responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 78. P. 6656-6664.
9. Jyoshna, E. Hymavathi, Dr. T. V. (2017). Review of studies on effect of resistant starch supplementation on glucose and insulin. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry UGC Approved*. 6 (3). P. 55-58.
10. Fuentes-Zaragoza, E. Sanchez-Zapata, E., Sendra, E., Saysas, E., Navarro, C., Fernandes-Lopez, J., Peter-Alvares, A. (2011). Resistant starch as probiotic: A review. *Starch-Starke*. 63. P. 406-415.
11. Slavin, J. (2013). *Nutrients. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits*. 5(4). P. 1417-1435.
12. Zaman, S. A., Sarbini, S. R. (2015). The potential of resistant starch as a prebiotic. *Critical Reviews in Biotechnology*. P. 1-7.
13. Nissar, J., Ahad, T., Naik, H. R., Hussain, S. Z. (2017). Resistant Starch – Chemistry and Nutritional properties. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 2 (6). P. 95-108.
14. Leszczynski, W. (2004). Department of Food Storage and Technology. Wroclaw, Poland. 13/54. P. 37-50.
15. Lockyer, S., Nugent, A. P. (2017). Health effects of resistant starch. *Nutrition Bulletin*. 42 (1). P. 10-41.
16. Leszczynski, W. (2004). Resistant starch – classification, structure, production. *Pol J Food Nutr Sci*. 54: P. 37-50.
17. Pomeranz, Y., Sievert, D. (1990). Purified resistant starch products and their preparation. WO 9015147. Univ of Washington.
18. Khoozani, A. A., Birch, J., Bekhit, E. D. (2018). A Resistant Starch Preparation Methods. Reference Module in Food Science. <https://doi.org/10.1016/b978-0-080-10596-5.22491-8>.
19. Shi, Y.-C., Jeffcoat, R. (2009). Structural Features of Resistant Starch. *Advanced Dietary Fibre Technology*. P. 430-439.
20. Sharma, A., Yadav, B. S. (2008). Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications. *Food Reviews International, Ritika*. 24 (2). P. 193-234.
21. Lau, E., Zhou, W., Henry, C. J. (2016). Effect of fat type in baked bread on amylose-lipid complex formation and glycaemic response. *British Journal of Nutrition*. 115 (12). P. 2122-2129.
22. Goderis, B., Putseys, J. A., Gommers, C. J., Bosmans, G. M., Delcour, J. A. (2014). The Structure and Thermal Stability of Amylose-Lipid Complexes: A Case Study on Amylose-Glycerol Monostearate. *Crystal Growth & Design*. 14 (7). P. 3221-3233.
23. Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*. 143. P. 33-39.
24. Reddy, C. K., Suriya, M., Haripriya, S. (2013). Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*. L) starch by enzymatic method. *Carbohydrate Polymers*. 95 (1). P. 220-226.
25. Cai, L., Shi, Y.-C. (2010). Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers*. 79 (4). P. 1117-1123.

26. Zhen, Ma, Xinzhong, Hu, Joyce, I. Boye. (2018). Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: A review. *International Journal of Food Science and Nutrition*. P. 276-297.

27. Okholodzhena kartoplia znyzhuie riven hliukozy, insulinu i hliukozozalezhnogo insulinotropnoho peptydu pislia yizhi porivniano z varenoi kartopleiu u zhinok z pidvyshchenym rivnem hliukozy i insulinu [Chilled potatoes lower postprandial glucose, insulin, and glucose-dependent insulinotropic peptide compared with boiled potatoes in women with elevated glucose and insulin levels]. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/9/2066> [in Ukrainian].

28. Shi, Y.-C., Maningat, C. C. (2013). *Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefits*. Willey. 287 P.

29. Talukder, S. (2015). Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. V. 55. № 7. P. 1005-1011. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>.

30. Felisberto, M. H. F., Galvao, S.F., Picone, R. L., Cunha, M. A. R. (2015). PollonioEffect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions. *LWT*. V. 60. № 1. P. 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.004>.

31. Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S. M. (2008). Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. *Food Hydrocolloids*. V. 22. № 4. P. 543-549. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.018>.

32. Sarteshnizi, A. R., Hosseini, H., Khosroshahi, N. K., Shahraz, F., Khaneghah, A. M., Kamran, M., Komeili, R., Chiavaro, E. (2017). Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. *Food Technology and Biotechnology*. V. 55. № 4. P. 475-482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.

33. Liljeberg, H., Bjorck, I. (1994). Bioavailability of starch in bread products. Postprandial glucose and insulin response in healthy subjects *in vitro* resistant starch content. *European Journal of Clinical Nutrition* 48. P. 151-163.