

ЧОРНА НІНА

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1383-7769>e-mail: ninelleblack@ukr.net

ПОЛЯТИКІНА ЮЛІЯ

Сумський національний аграрний університет

e-mail: polyatichina.yulya@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРЧОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕЗГЛУТЕНОВОГО БОРОШНА З ЗЕРНОВИХ ТА ПСЕВДОЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР

Целиакія є хронічним аутоімунним захворюванням, яке характеризується запаленням та пошкодженням слизової оболонки тонкого кишечника через негативну імунну реакцію на глютен, білкову фракцію, що міститься в пшениці, та у незначних кількостях у ячмені та житі. Люди з целиакією не можуть споживати ці білки, оскільки це призводить до порушення всмоктування поживних речовин і, в кінцевому підсумку, до розвитку харчового дисбалансу та ряду супутніх захворювань, таких як анемія, остеопороз та інші. Одним із головних методів лікування є безглютенова дієта, яка є єдиною ефективною терапією. Однак така дієта має певні обмеження з точки зору харчової, технологічної та сенсорної якості продуктів, що її складають.

Зважаючи на обмеження, пов'язані з безглютеновою дієтою, багато досліджень спрямовані на поліпшення харчових властивостей безглютенових продуктів, зокрема хлібобулочних та кондитерських виробів. Важливим напрямком є використання альтернативних видів борошна, багатих на поживні речовини, до них відносять зернові та псевдозернові культури. Використання такої сировини дозволяє не лише збагатити дієту хворих на целиакію, але й забезпечує широкий вибір продуктів, що робить її більш різноманітною і корисною.

При складанні безглютенової дієти важливо враховувати, що різні види борошна можуть мати різний вміст поживних речовин, таких як білки, жири, вуглеводи, клітковина, мікроелементи та амінокислоти.

Загалом, різноманітні безглютенові види борошна з зернових та псевдозернових культур та їх використання надає великий потенціал для збагачення дієти людей з целиакією. Використання цих альтернативних видів борошна в харчовій промисловості не лише допомагає покращити харчову цінність безглютенових продуктів, але й сприяє розвитку економічно вигідних рішень, таких як використання побічних продуктів харчової промисловості і забезпечення продовольчої безпеки в країнах, що розвиваються.

Відповідно, майбутні дослідження варто зосередити на вдосконаленні технологій переробки безглютенової сировини для збереження її поживної цінності та покращення органолептичних властивостей готових виробів, що забезпечить людей з целиакією високоякісними та корисними продуктами.

Таким чином, пошук нових альтернативних джерел безглютенового борошна та удосконалення технологій виробництва безглютенової продукції є важливим аспектом для покращення здоров'я людей з целиакією та забезпечення різноманітності та балансу в їхній дієті.

Ключові слова: борошно, амінокислоти, білки, целиакія, безглютенові види борошна, борошняні кондитерські вироби, хліб.

CHORNA NINA

State Biotechnological University

POLIATYKINA YULIYA

Sumy National Agrarian University

STUDY OF THE NUTRITIONAL PROPERTIES OF GLUTEN-FREE FLOUR FROM CEREAL AND PSEUDO-CEREAL CULTURES

Celiac disease is a chronic autoimmune disease characterized by inflammation and damage to the lining of the small intestine due to a negative immune response to gluten, a protein fraction found in wheat, barley, rye, and oats. People with celiac disease cannot properly digest these proteins, which leads to impaired absorption of nutrients and, ultimately, to the development of nutritional imbalances and several related diseases, such as anemia, osteoporosis, and others. One of the main treatment methods is a gluten-free diet, which is the only effective therapy. However, such a diet has certain limitations regarding the nutritional, technological, and sensory quality of the products that make it up.

Given the limitations associated with a gluten-free diet, many studies have focused on improving the nutritional properties of gluten-free products, particularly bakery and confectionery products. Important aspects include the use of alternative types of flour rich in nutrients, such as a variety of cereals and pseudo-cereals. They allow not only to enrich the diet of patients with celiac disease, but also provide a wider selection of products, which makes the diet more varied and useful.

When designing a gluten-free diet, it is important to consider that different types of flour can have different contents of nutrients, such as proteins, fats, carbohydrates, fiber, trace elements and amino acids.

In general, a variety of gluten-free flours from cereals and pseudocereals offer great potential to enrich the diet of people with celiac disease. The use of these alternative flours in the food industry not only helps to improve the nutritional value of gluten-free products but also contributes to the development of economically viable solutions, such as recovering food industry by-products and ensuring food security in developing countries.

However, it is important to consider certain disadvantages, particularly the low content of some trace elements, which may require additional enrichment of products or the use of other sources of these substances. Accordingly, future research should focus on improving the processing technologies of gluten-free products to preserve their nutritional value and improve organoleptic properties, which will provide high-quality and useful products for people with celiac disease.

Thus, finding new alternative sources of gluten-free flour and improving their production technology is an important aspect of improving the health of people with celiac disease and ensuring variety and balance in their diet.

Keywords: flour, amino acids, proteins, celiac disease, gluten-free types of flour, flour confectionery, bread.

Постановка проблеми

Целиакія є хронічним системним аутоімунним розладом у генетично схильних людей, який зумовлений дією глютену та спричиняє запалення слизової оболонки [1]. Целиакія характеризується аномальною імунною реакцією на групу злакових білків - проламінів, які містяться в пшениці, ячмені та житі. Целиакією хворіють близько 1% населення світу і кількість хворих на неї зростає, оскільки хвороба залишається не діагностованою. Основним способом лікування целиакії вважається дотримання безглютенової дієти протягом усього життя.

Відомо, що безглютенова дієта має багато обмежень з харчової, технологічної та сенсорної точок зору. Дослідження показали, що дотримання безглютенової дієти протягом усього життя може призводити до харчового дисбалансу у людей з целиакією. Ці недоліки зумовлені явищами мальабсорбції на кишковому рівні, а також одноманітністю дієти, яка включає в себе продукти на основі рису та кукурудзи [2,3]. Адже, безглютенові продукти, які споживають люди хворі на целиакію мають низький вміст білку, клітковини, заліза, вітамінів групи В і фолієвої кислоти, проте така дієта багата жирами та вуглеводами [4]. Це є основною причиною останніх досліджень, зосереджених на підвищення харчової цінності безглютенових продуктів, зокрема хлібних та борошняних кондитерських виробів, з використанням поживних речовин альтернативних видів борошна, а також досліджень ролі функціональних інгредієнтів (таких як гідроколоїди, білки або натуральні харчові добавки), які здатні покращувати фізико-хімічні, технологічні та сенсорні властивості безглютенових продуктів та кулінарних страв [4].

Також, останнім часом більше уваги приділяється безглютеновим зерновим та псевдозерновим культурам як альтернативі тим, які зазвичай використовуються у виробництві продуктів для хворих на целиакію. Багато з них рідко використовуються в харчовій промисловості, завдяки своїй стійкості до кліматичних умов та широкому культивуванню, вони відіграють значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки багатьох країнах, що розвиваються [5]. Тому використання різних видів борошна, що не містить глютену в хлібопекарській та кондитерській промисловості є актуальним напрямом у розробці нової безглютенової продукції підвищеної харчової цінності.

Аналіз досліджень та публікацій

Різновиди безглютенових видів борошна привертають увагу як сировина для підвищення поживної цінності безглютенових продуктів та полегшення монотонності безглютенової дієти.

Найбільш використовуваним борошном для отримання безглютенової випічки є рисове борошно, яке має нейтральний смак. Рис широко визнаний як гіпоалергенна крупа з високою харчовою цінністю [6]. Білки як білого, так і коричневого рису в основному складаються з фракції глютеніну, тоді як фракції альбуміну, глобуліну та гліадину містяться в невеликих кількостях. Як правило, рисове борошно змішують з іншим зерновим борошном для покращення функціональності та поживних властивостей кінцевих продуктів

Окрім рису, для отримання безглютенового борошна використовують різні злакові культури, наприклад, групу круп, які називають грубими злаками, до якої входять овес, сорго, просо та гречка, а також другорядні зернові культури, такі як кіноа і амарант. Крім відсутності глютену, дані культури мають високу харчову цінність та можуть впливати на споживчі характеристики виробів з них.

Овес містить значну кількість β -глюканів, які є компонентами, що мають властивості, характерні для водорозчинних харчових волокон і використовується як інгредієнт у функціональних стравах [7]. Окрім цього, деякі науковці зазначають про високу частку фракції 7S-глобуліну в білках вівса [8].

Кіноа містить високоякісні білки зі збалансованим вмістом амінокислот [9] і високим вмістом вітаміну Е, що забезпечує високу стабільність ліпідів кіноа під час зберігання. Білки кіноа складаються з фракції глобуліну 11S (37,0%), фракції альбуміну 2S (35,0%), тоді як фракція проламіну складає орієнтовно 0,5–7,0% [10].

Амарант також є джерелом високоякісних білків, містить значну кількість метіоніну, цистеїну та лізину [11]. В зернах амаранту розподіл білкових фракцій більш наближений до бобових, ніж до зернових, а засвоюваність білків є значно вищою у порівнянні з бобовими [11]. Білки в основному утворюються з альбумінів і глобулінів (50–60%).

Гречка містить збалансований амінокислотний склад і значну кількість флавоноїдів, а також кверцетин, який має високу антиоксидантну активність. Основними білковими фракціями, що містяться в гречці, є глобуліни (до 50%) і альбуміни (близько 25%) [12].

Сорго багате на поліфеноли та фітостероли [13], білкові фракції сорго в основному складаються з кафірінів.

Просо містить високий рівень білка та клітковини. Основними білковими фракціями проса є проламіни (до 60% від загального вмісту білка) і глютеліни, які багаті незамінними амінокислотами. Просо відноситься до джерел білка з хорошим потенціалом для заміни білків тваринного походження в різних видах продуктів. Також білки проса виявляють біоактивні ефекти, які є перспективними для ефективного лікування різних хронічних захворювань людини [14].

Безглютенова альтернативна сировина, яка досліджувалася в даній роботі, включає такі зернові як рис, овес, просо, гречка і псевдозернові (кіноа, амарант, сорго). Ці культури в основному споживають у вигляді борошна, яке можна додавати до таких страв, як супи, йогурт, хліб, борошняні кондитерські вироби та інші продукти на основі злаків; тим не менш, при переробці зерна втрачаються деякі його поживні речовини, а також реалізація цих продуктів на українському ринку все ще досить обмежена.

Формулювання цілей статті

Тому метою даної роботи є визначення харчової та біологічної цінності борошна із зернових культур та псевдозлаків, що використовуються у виробництві безглютенової продукції, їхнього складу та впливу на продукти, в рецептуру яких вони входять.

Виклад основного матеріалу

Для отримання безглютенових хлібобулочних, кондитерських, кулінарних виробів високої якості необхідно враховувати харчову цінність безглютенового борошна, яке використовується для їх виробництва. На сьогоднішній день оцінка поживних характеристик альтернативних безглютенових видів борошна є досить обмежена. Тому у таблиці 1 проведений аналіз хімічного складу борошна, отриманого з досліджуваних культур зернових та псевдозлаків, які реалізуються на українському ринку.

Таблиця 1

Вміст поживних речовин та амінокислот у різних видів безглютенового борошна

Компонент	Вид борошна						
	Рисове	Вівсяне	Гречане	Борошно із проса	Амарантове	Соргове	Кіноа
Білки, г	6,8	12,3	12,3	11,2	9,65	10,43	14,0
Жири, г	1,2	6,7	3,5	4,0	6,93	3,61	5,6
Клітковина, г	2,3	6,2	7,2	3,4	2,89	2,84	7,9
Вуглеводи, г	75,5	65,5	65,7	72,0	55,6	74,5	65,5
Зола, г	0,8	1,5	2,5	1,2	2,81	3,38	2,5
Замінні амінокислоти, г							
агрінін	7,5	4,0	6,8	4,5	2,88	0,57	7,2
аланін	6,0	3,3	4,0	5,0	0,74	0,66	4,8
гістидин	2,0	2,0	2,9	2,0	2,23	0,17	2,2
гліцин	4,5	3,5	4,1	4,0	2,05	0,22	4,6
пролін	4,0	10,5	3,2	3,5	1,84	0,66	3,8
серин	4,5	5,0	4,1	4,0	1,34	0,29	4,2
Незамінні амінокислоти, г							
валін	6,0	4,1	6,5	5,5	1,24	0,34	4,8
лейцин+ізолейцин	6,5	3,8	4,7	8,5	2,24	1,54	6,8
лізин	3,5	3,1	5,9	2,4	1,12	0,17	5,1
метіонін	3,0	1,5	1,6	2,1	0,43	0,12	2,2
треонін	4,0	3,1	4,8	3,3	0,27	0,15	3,7
тирозин	2,0	3,3	3,1	3,7	1,42	0,23	3,8
фенілаланін	5,0	4,1	4,9	2,5	0,70	0,39	4,6
Вміст мікроелементів, мг/100г							
Калій	76,9	122,0	577,0	250,0	465,80	363,87	285,3
Кальцій	10,0	18,0	41,0	35,5	146,50	220,87	50,0
Магній	25,3	16,0	251,0	125,4	263,9	165,87	154,3
Фосфор	95,2	350,0	337,0	289,9	3,49	32,15	258,3

Результати представлені в таблиці свідчать, що борошно із зерна досліджуваних культур характеризується високим вмістом білку. Особливого значення набуває борошно із зернових - вівсяне та гречане; із псевдозернових – борошно кіноа, вміст білку в якому становить 14,0 г/100г продукту. За вмістом жирів переважає амарантове борошно (6,9 г) у порівнянні із іншими видами борошна, також амарантове борошно містить не значну кількість вуглеводів, що ймовірно свідчить про те, що при його додаванні до хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів вміст вуглеводів у готових виробах буде нижчий.

За вмістом клітковини переважає борошно гречане (7,2г) та борошно кіноа (7,9г). Це свідчить про те, при споживанні даних видів борошна у людей хворих на целиацію нормалізується робота шлунково-кишкового тракту, а також клітковина сприяє зниженню рівня холестерину в крові.

Високий рівень лейцину та ізолейцину в гречаному, борошні з кіноа та сорговому борошні сприяє підтримці м'язової маси та сили. У гречаному борошні лейцин та ізолейцин знаходяться в оптимальних кількостях (6,9 г і 8,5 г відповідно).

Щодо вмісту амінокислот у різних видах борошна зазначимо, що високий вміст лізину в гречаному борошні (5,9 г) та кіноа (5,1 г) робить їх джерелом цієї амінокислоти, яка у інших злакових культурах містить у менших кількостях. Високий вміст фенілаланіну в борошні з кіноа та сорговому борошні (4,6 г і 5,5 г) є важливим фактором для підтримки когнітивних функцій організму. Високий вміст проліну в вівсяному борошні (5,0 г) і серину (4,0 г) в гречаному борошні та борошні кіноа сприяє підтримці здоров'я шкіри і травної системи у людей з целиацією. Аргінін та гліцин необхідні для забезпечення кровообігу та обміну

речовин в організмі, також дані амінокислоти сприяють загальній регенерації тканин. Гречане борошно містить багато аргініну (6,8 г), що допомагає при загоєнні ран.

Рисове, просяне та борошно кіноа, місять метіонін, який приймає участь у метаболічних процесах та забезпечує нормальне функціонування клітин.

Аналізуючи вміст мікроелементів, слід відзначити високий вміст калію у борошні з проса (465,8 мг) і амарантовому борошні (363,9 мг), який допомагає підтримувати нормальний рівень електролітів, стимулює роботу серця та сприяє нормалізації кров'яного тиску. Високий вміст кальцію у амарантовому борошні (146,5 мг) сприяє підтримці здоров'я кісток і зубів. Цей мікроелемент є важливим для осіб з целиакією, як антифактор виникнення остеопорозу через порушення всмоктування кальцію в кишечнику.

В свою чергу, високий вміст магнію у гречаному борошні (230 мг) і амарантовому борошні (263,9 мг) сприяє регуляції нервової діяльності та забезпечує енергетичний обмін, що важливо для підтримки загального здоров'я. Присутність фосфору (особливо в кіноа, вівсяному та гречаному борошні) сприяє відновленню клітин і підтримці нормальної роботи нервової системи.

Тому, для людей з целиакією перевагою є використання борошна з кіноа, гречки та амаранту у складі безглютенових дієт, що є важливим напрямом розширення асортименту страв, оскільки вони забезпечують високий вміст необхідних амінокислот, мікроелементів та клітковини.

Висновки

Целиакія відноситься до захворювань, які вимагають строгого дотримання безглютенової дієти для контролю симптомів. Однак, такі дієти можуть спричинити харчовий дисбаланс, оскільки безглютенові продукти часто мають обмежений вміст білків, клітковини, вітамінів і мінералів. Для вирішення цієї проблеми пропонується використання альтернативних зернових і псевдозернових культур, таких як рис, овес, гречка, кіноа, амарант, сорго та просо, що мають високу харчову цінність і можуть покращити поживні властивості безглютенових продуктів.

Зокрема, борошно з гречки, кіноа та амаранту має високий вміст білка, клітковини, незамінних амінокислот (зокрема лейцину, лізину, фенілаланіну) і мікроелементів (калій, магній, кальцій), що робить ці продукти корисними для людей з целиакією, допомагаючи підтримувати здоров'я шкіри, травної системи, м'язів і кісток. Водночас варто зазначити, що деякі види борошна мають низький вміст метіоніну та кальцію, що потребує додаткових джерел цих нутрієнтів у раціоні.

Отже, вживання борошна з зазначених альтернативних культур є перспективним напрямком для покращення харчового балансу у харчуванні людей з целиакією, а також для зниження монотонності їхнього раціону, а їх поєднання з іншою сировиною дозволить оптимізувати раціон для досягнення позитивного результату.

Література

1. Nasr, I.; Nasr, I.; Al Shekeili, L.; Al Wahshi, H.A.; Nasr, M.H.; Ciclitira, P.J. (2016). Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *Integr. Food Nutr. Metab.* 3, 336–340.
2. Vici, G.; Belli, L.; Biondi, M.; Polzonetti, V. (2016). Gluten-free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clin. Nutr.*, 35, 1236–1241.
3. Gobetti, M.; Pontonio, E.; Filannino, P.; Rizzello, C.G.; De Angelis, M.; Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Res. Int.*, 110, 22–32.
4. Kulai, T.; Rashid, M. (2014). Assessment of nutritional adequacy of packaged gluten-free food products. *Can. J. Diet. Pract. Res.*, 75, 186–190.
5. Cheng, A. (2018). Review: Shaping a sustainable food future by rediscovering long-forgotten ancient grains. *Plant Sci.* 269, 136–142.
6. Badiu, E.; Aprodu, I.; Banu, I. (2014). Trends in the development of gluten-free bakery products. *Annals Univ. Dunarea De Jos Galati Fasc. VI-Food Technol.* 38, 21–36.
7. Niu, Q.; Pu, Y.; Li, X.; Ma, Z.; Hu, X. (2017). Solvent Retention Capacities of Oat Flour. *Int. J. Mol. Sci.*, 18, 590.
8. Yue, J.; Gu, Z.; Zhu, Z.; Yi, J.; Ohm, J.B.; Chen, B.; Rao, J. (2021). Impact of defatting treatment and oat varieties on structural, functional properties, and aromatic profile of oat protein. *Food Hydrocoll.* 112, 106368.
9. Agrawal, R.S. (2018). Quinoa—Supergrain of the future: A Review. *Pharma Innov* 7, 249–251.
10. Dakhili, S.; Abdolalizadeh, L.; Hosseini, S.M.; Shojaee-Aliabadi, S.; Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure, and functional properties. *Food Chem* 299, 125161.
11. Narwade, S.; Pinto, S. (2018). Amaranth—A Functional Food. *Concepts Dairy Vet. Sci.* 1, 000112.
12. Torbica, A.; Hadnađev, M.; Hadnađev, T.D. (2012). Rice and buckwheat flour characterization and its relation to cookie quality. *Food Res. Int.* 48, 277–283.
13. Fu, J.; Zhang, Y.; Hu, Y.; Zhao, G.; Tang, Y.; Zou, L. (2020). Concise review: Coarse cereals exert multiple beneficial effects on human health. *Food Chem.* 325, 126761.
14. Sachdev, N.; Goomer, S.; Singh, L.R. (2021). Foxtail millet: A potential crop to meet future demand for alternative sustainable protein. *J. Sci. Food Agr.* 101, 831–842.

References

1. Nasr, I.; Nasr, I.; Al Shekeili, L.; Al Wahshi, H.A.; Nasr, M.H.; Ciclitira, P.J. (2016). Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *Integr. Food Nutr. Metab.* 3, 336–340.
2. Vici, G.; Belli, L.; Biondi, M.; Polzonetti, V. (2016). Gluten-free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clin. Nutr.*, 35, 1236–1241.
3. Gobetti, M.; Pontonio, E.; Filannino, P.; Rizzello, C.G.; De Angelis, M.; Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Res. Int.*, 110, 22–32.
4. Kulai, T.; Rashid, M. (2014). Assessment of nutritional adequacy of packaged gluten-free food products. *Can. J. Diet. Pract. Res.*, 75, 186–190.
5. Cheng, A. (2018). Review: Shaping a sustainable food future by rediscovering long-forgotten ancient grains. *Plant Sci.* 269, 136–142.
6. Badiu, E.; Aprodu, I.; Banu, I. (2014). Trends in the development of gluten-free bakery products. *Nnals Univ. Dunarea De Jos Galati Fasc. VI-Food Technol.* 38, 21–36.
7. Niu, Q.; Pu, Y.; Li, X.; Ma, Z.; Hu, X. (2017). Solvent Retention Capacities of Oat Flour. *Int. J. Mol. Sci.*, 18, 590.
8. Yue, J.; Gu, Z.; Zhu, Z.; Yi, J.; Ohm, J.B.; Chen, B.; Rao, J. (2021). Impact of defatting treatment and oat varieties on structural, functional properties, and aromatic profile of oat protein. *Food Hydrocoll.* 112, 106368.
9. Agrawal, R.S. (2018). Quinoa—Supergrain of the future: A Review. *Pharma Innov* 7, 249–251.
10. Dakhili, S.; Abdolalizadeh, L.; Hosseini, S.M.; Shojae-Aliabadi, S.; Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure, and functional properties. *Food Chem* 299, 125161.
11. Narwade, S.; Pinto, S. (2018). Amaranth—A Functional Food. *Concepts Dairy Vet. Sci.* 1, 000112.
12. Torbica, A.; Hadnadev, M.; Hadnadev, T.D. (2012). Rice and buckwheat flour characterization and its relation to cookie quality. *Food Res. Int.* 48, 277–283.
13. Fu, J.; Zhang, Y.; Hu, Y.; Zhao, G.; Tang, Y.; Zou, L. (2020). Concise review: Coarse cereals exert multiple beneficial effects on human health. *Food Chem.* 325, 126761.
14. Sachdev, N.; Goomer, S.; Singh, L.R. (2021). Foxtail millet: A potential crop to meet future demand for alternative sustainable protein. *J. Sci. Food Agr.* 101, 831–842.