

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТІСТА ІЗ СПЕЛЬТОВОГО БОРОШНА РІЗНОГО ПОМЕЛУ

*Писарець О.П., к.т.н. інженер-технолог,**ТОВ «Інтерстарч Україна»*

ORCID ID: 0000-0002-5286-1924

*Бєла Н.І., пр.фак.**Відділ хлібопекарного та борошномельно-круп'яного виробництва**Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID ID: 0000-0002-3024-9486

*Полонська Т.А., к.т.н., с.н.с.**Відділ хлібопекарного та борошномельно-круп'яного виробництва**Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна*

ORCID ID 0000-0002-9642-358X

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-16>

На сьогоднішній день хлібобулочні вироби є одними із ключових продуктів у раціоні харчування людини. Основною сировиною для виготовлення хлібобулочних виробів є пшеничне сортове борошно, дріжджі, сіль і вода. Спельтове борошно є цінною зерновою сировиною та за хімічним складом містить більше функціональних компонентів, а саме білків, в тому числі амінокислот, резистентного крохмалю, антиоксидантів, каротиноїдів, мінеральних речовин, вітамінів та жирів, та містить меншу кількість вуглеводів та моно-, дисукрів порівняно з пшеничним сортовим борошном. Мета проведених досліджень полягає у визначенні реологічних властивостей спельтового борошна різного помелу, а саме борошна вищого сорту та спельтового борошна цільозернового за допомогою приладу Mixolab, в режимі Mixolab Standard по протоколу «Chopin +». В результаті аналізу отримано криві міксограм та основні показники якості борошна: водопоглинальна здатність (ВПС), час утворення тіста, стабільність тіста, значення розрідження тіста, консистенція тіста під час нагрівання. Досліджено, що водопоглинальна здатність спельтового борошна цільозернового вища на 3,5% порівняно з пшеничним борошном вищого сорту. Час утворення тіста зі спельтового борошна вищого сорту і цільозернового збільшується в 2,5–3,5 рази порівняно з пшеничним. Також, спостерігається вище значення часу стабільності тіста зі спельтового борошна цільозернового. Консистенції тіста зі спельтового борошна, при його нагріванні від 30 °C до 60 °C, нижча в 1,7 і 1,4 рази порівняно з даним значенням для пшеничного борошна. Процес желатинізації загального крохмалю тіста зі спельтового борошна вищого сорту і цільозернового має на 20,3-21,5% нижче їх максимального значення гарячої в'язкості порівняно з пшеничним борошном. Спельтове борошно вищого сорту має низькі значення діастатичної активності. На етапі ретроградації крохмалю в тісті зі спельтовго борошна спостерігається нижчі значення кривих міксограм на 9,1-16,3% порівняно з пшеничним борошном, що позитивно впливає на тривалість збереження виробами свіжості.

Ключові слова: пшеничне борошно, спельтове борошно, тісто, реологічні властивості, Mixolab

RESEARCHING THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SPELT FLOUR DOUGH OF DIFFERENT GRINDING

Pisarets Olga, PhD, application technology,
Interstarch Ukraine LLC

ORCID 0000-0002-5286-1924

Bela Nataliia, Chief Specialist,

Department of Bakery and Flour-and-Cereals Production

Institute of Food Resources of NAAS

ORCID ID: 0000-0002-3024-9486

Polonska Tetiana, PhD in Engineering Sciences, Senior Researcher

Department of Bakery and Flour-and-Cereals Production

Institute of Food Resources of NAAS

ORCID ID 0000-0002-9642-358X

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-16>

Bakery products are the main products in the human diet for today. The main ingredients for the manufacture of bakery products are wheat flour, yeast, salt and water. Spelt flour is a valuable grain raw material and chemically contains more functional components, namely proteins, including amino acids, resistant starch, antioxidants, carotenoids, minerals, vitamins and fats, and contains fewer carbohydrates and mono-, disaccharides compared to wheat high-quality flour. Object of the research is determining the rheological properties of spelt flour of different grinding, namely high-grade flour and whole grain spelt flour using the Mixolab device, in the Mixolab Standard mode according to the "Chopin +" protocol. As a result, the curves of mixograms and the main indicators of flour quality were obtained: water absorption capacity (WAC), time of dough formation, stability of dough, thinning value of dough, dough's consistency during heating. It was found that the water absorption capacity of whole grain spelt flour is 3,5% higher than the water absorption capacity of high-grade wheat flour. The time of dough formation from high-grade spelt flour and wholemeal flour increases 2,5 – 3,5 times compared to wheat flour. Also, there is a higher value of the stability time of wholemeal spelt flour dough. The consistency of the dough from spelt flour heating from 30° C to 60° C, is lower by 1,7 and 1,4 times than for the wheat flour. The process of gelatinization of total starch dough from spelt flour of the high-grade and whole grain is 20,3-21,5% lower than their maximum value of hot viscosity of wheat flour. High-grade spelt flour has low values of diastatic activity. There are lower values of curved mixograms by 9,1-16,3% in the dough from spelt flour compared to wheat flour during the retrogradation of starch. It has a positive effect on the duration of freshness of the products.

Keywords: wheat flour, spelt flour, dough, rheological property, Mixolab

Постановка проблеми. На сьогоднішній день хлібобулочні вироби є одними із ключових продуктів у раціоні харчування людини. Основною сировиною для виготовлення хлібобулочних виробів є пшеничне сортове борошно, дріжджі, сіль і вода. Пшеничне сортове борошно виробляється з сучасних сортів голозерних пшениць, які, відповідно, характеризуються високими показниками врожайності, легкі в обробці та мають високі хлібопекарські властивості [1-3].

Хлібобулочні вироби виготовленні із сортового борошна мають недостатню кількість важливих для організму людини функціональних речовин. Отже, одним із напрямків вирішення проблеми підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів є розробка і впровадження нових виробів з підвищеною харчовою цінністю, за рахунок використання продуктів переробки нетрадиційної сировини, в тому числі зернової [1, 4].

Спельта та продукти її переробки привертають до себе увагу саме за рахунок кращої харчової цінності порівняно з традиційними сортами голозерних пшениць. В багатьох

країнах Європи значний інтерес до спельти обумовлений також її технологічними перевагами. Продукти переробки спельти набули поширення у застосуванні в якості зернових наповнювачів у молочній галузі, спортивному, дитячому харчуванні, зернових сніданках, пивоварінні [1, 5]. Спельтове борошно найбільш наближене за своїми хлібопекарськими властивостями до традиційного пшеничного борошна. Також, поживні складові спельтового борошна легше та швидше засвоюються організмом людини за рахунок вищого рівня їх розчинності. В спельтовому борошні, порівняно з пшеничним, міститься більша кількість білків, в тому числі амінокислот, резистентного крохмалю, антиоксидантів, каротиноїдів, мінеральних речовин, вітамінів та жирів, та менший вміст вуглеводів та моно-, дицукрів [4, 6]. Також до переваг спельти можна віднести те, що продукти її переробки є сировинною базою для створення «органічної» продукції. Це зумовлено тим, що спельта потребує тільки натуральних добрив, оскільки синтетичні добрива негативно впливають на її врожайність [7].

Наявність готових науково-обґрунтованих технологічних рішень дасть можливість полегшити впровадження нового асортименту виробів з продуктами переробки спельти, а саме спельтового борошна різного помелу на хлібопекарських підприємствах.

Мета статті полягає у визначенні за допомогою сучасних приладів реологічних властивостей спельтового борошна різного помелу, а саме борошна вищого сорту та спельтового борошна цілнозернового, та у встановленні доцільності застосування спельтового борошна в технології хлібобулочних виробів.

Матеріали та методи. Аналіз реологічних властивостей досліджуваних зразків борошна проводили на приладі Mixolab, в режимі Mixolab Standard по протоколу «Chopin +». Даний протокол призначений для контролю динаміки реологічної поведінки тіста в процесі замісу за характером зміни величини обертового моменту на приводі тістомісильної ємності і визначення наступних показників: водопоглинальна здатність борошна (ВПС), час утворення тіста, стабільність тіста і значення розрідження, а також консистенція тіста в процесі нагрівання [8].

Вимірювання підготовлених зразків проводилися при адаптивному зволоженні і постійної консистенції тесту, що відповідає моменту, що крутить Міксолаба 1,1 Н*м. Загальна маса тіста – 75 г. Розраховану наважку борошна з точністю $\pm 0,1$ г поміщають в прилад, який автоматично додає необхідну кількість води і починає процес замішування тіста. Стандартний аналіз тривав 45 хв, протягом яких, прилад знімає значення з шести параметрах при різних температурних режимах (етапи обертового моменту) [8].

Таблиця 1

Характеристика вибраних режимів випробування на приладі Миксолаб

Параметри процесу	Mixolab Standard
	Протокол «Chopin +»
Швидкість замісу	80 об/хв
Оптимальний обертовий момент	1,1 Н*м
Маса тіста	75 г
Температура резервуара	30 °C
Температура 1 ^й рівень	30 °C
Тривалість 1 ^й рівень	8 хвилин
Температура 2 ^й рівень	90 °C
1 ^й температурний градієнт	4 °C/хв
Тривалість 2 ^й рівень	7 хвилин
2 ^й температурний градієнт	– 4 °C/хв
Температура 3 ^й рівень	50 °C
Тривалість 3 ^й рівень	5 хвилин
Повний час аналізу	45 хвилин

Маса борошна і кількість води для замісу тіста визначали з урахуванням вологості борошна, в перерахунку на 14% води. Аналіз вологості зразків борошна проводився на інфрачервоному вологомірі [8].

Результати та обговорення. Дослідження реологічних параметрів тіста зі спельтового борошна різного помелу на приладі Mixolab по стандартному протоколу «Chopin +» показали (рис. 1, табл. 2) відмінності у водопоглинальній здатності борошна (ВПС), часу утворення тіста, його стабільності, значення розрідження, а також консистенції тіста під час нагрівання порівняно з пшеничним борошном вищого сорту [9].

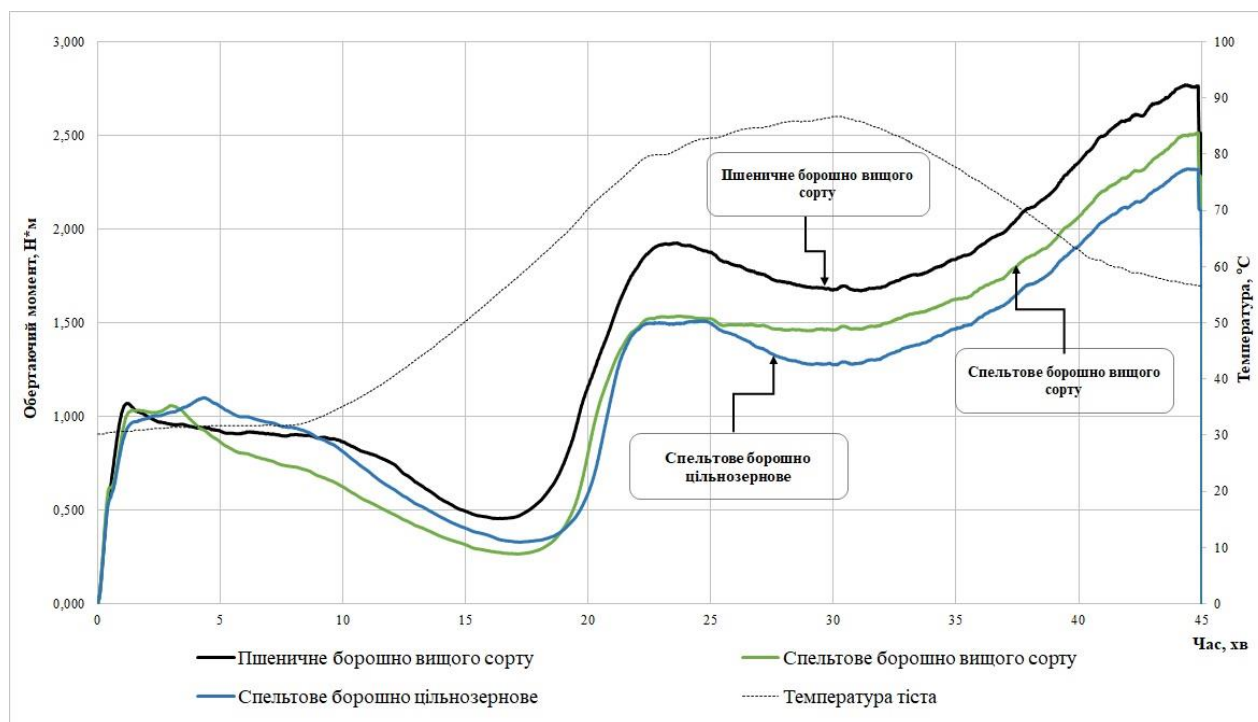


Рис. 1. Мікрограми досліджуваних зразків борошна

Перший етап визначення реологічних параметрів тіста починається з початкового змішування (8 хв), під час цього відбувається гідратація борошняних сполук. Так, водопоглинальна здатність спельтового і пшеничного борошна вищого сорту має невелику різницю, що складає 0,6 %. Водопоглинальна здатність спельтового борошна цілнозернового вища на 3,5% порівняно з пшеничним борошном вищого сорту, очевидно за рахунок більшого вмісту в борошні оболонкових частин зерна. Час утворення тіста зі спельтового борошна вищого сорту і цілнозернового збільшується в 2,5–3,5 рази порівняно з пшеничним сортовим борошном. Також спостерігається вище значення часу стабільності тіста зі спельтового борошна цілнозернового. Це свідчить про кращу якість білкової частини борошна, а саме стійкості борошна до механічного впливу.

На другому етапі відбувається ослаблення білкових речовин тіста. Дане ослаблення, є наслідком впливу механічної напруги зсуву під час підвищення температури тіста. Зменшення обертального моменту пов'язано з дестабілізацією і розгортанням нативної білкової структури. Підвищення температури тіста приводить до денатурації білка з виділенням великої кількості води. Більш того, в температурному інтервалі другої стадії, протеолітичні ферменти мають оптимальну активність, яка представлена на кривій мікрограми похилою α .

Таблиця 2

Ключові показання міксограмм

Показання	Пшеничне борошно вищого сорту			Спельтове борошно вищого сорту (Зоря Україна)			Спельтове борошно цільозернове (Зоря Україна)		
	Діапа-зон	Серед-нє	±SD	Діапа-зон	Серед-нє	±SD	Діапа-зон	Серед-нє	±SD
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВПЗ (%)	56,5	56,500	0,0000	55,9	55,900	0,0000	60,0	60,000	0,0000
Час замішування тіста (хв)	1,20-1,25	1,233	0,0289	2,97-3,32	3,060	0,1082	4,32-4,42	4,357	0,0551
Час стабільності тіста (хв)	3,17-4,10	3,790	0,5369	3,06-3,32	3,153	0,1447	5,57-6,02	5,740	0,2443
Відносна еластичність тіста [Амплітуда (обертальний момент, Н*м)]	0,039-0,059	0,049	0,0100	0,041-0,051	0,045	0,0053	0,045-0,055	0,049	0,0053
Етапи обертального моменту (Н*м):									
C1: початкова максимальна консистенція	1,059-1,099	1,072	0,0237	1,062-1,065	1,063	0,0017	1,095-1,110	1,103	0,0075
CS: обертальний момент в кінці часу витримки при 30 °C	0,893-0,913	0,901	0,0104	0,724-0,738	0,730	0,0074	0,933-0,945	0,939	0,0060
C1- C2	0,608-0,638	0,618		0,797-0,800	0,798		0,766-0,781	0,0,775	
C2: мінімальне значення обертального моменту, отриманого при проходженні тіста механічних і теплових навантажень	0,449-0,461	0,454	0,0064	0,264-0,265	0,265	0,0006	0,326-0,329	0,0,328	0,0017

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CS- C2	0,444-0,452	0,448		0,460-0,473	0,465		0,607-0,616	0,611	
C3: максимальний обертальний момент, який створюється під час стадії нагріву	1,914-1,954	1,929	0,0216	1,531-1,547	1,538	0,0081	1,509-1,518	1,514	0,0046
C3- C2	1,463-1,493	1,476		1,266-1,282	1,274		1,180-1,192	1,186	
C4: мінімальний обертальний момент після періоду нагріву	1,650-1,680	1,668	0,0161	1,400-1,466	1,443	0,0370	1,270-1,272	1,271	0,0012
C3- C4	0,240-0,279	0,261		0,071-0,131	0,096		0,239-0,246	0,243	
C5: обертальний момент, отриманий після охолодження до 50 °C	2,456-2,594	2,504	0,0780	2,244-2,294	2,275	0,0273	2,073-2,117	2,097	0,0223
C5- C4	0,776-0,919	0,836		0,826-0,844	0,833		0,801-0,845	0,826	
Похила α: швидкість ослаблення білкової сітки в наслідок протеолізу між кінцем періоду 30 °C і C2 (Н* _м / хв)	-0,080-0,122	-0,102	0,0211	-0,066-0,064	-0,065	0,0012	-0,088-0,076	-0,084	0,0053
Похила β: швидкість желатинізації – нахил кривої між C2 і C3 (Н* _м / хв)	0,362-0,442	0,399	0,0404	0,394-0,530	0,475	0,0715	0,576-0,620	0,599	0,0220
Похила γ: стабільність при заварюванні – нахил кривої між C3 і C4 (Н* _м / хв)	-0,040-0,066	-0,055	0,0133	-0,018-0,004	-0,009	0,0076	-0,082-0,062	-0,071	0,0101

Консистенції тіста зі спельтового борошна вищого сорту і цілнозернового, при його нагріванні від 30°C до 60°C, в середньому в 1,7 і 1,4 рази нижче даного показника для пшеничного борошна вищого сорту. В цілому, це говорить про дестабілізацію і піддатливість тіста впливу механічних навантажень при підвищенні температури. Різниця між моментом C_5 і C_2 , яка вказує на термічне послаблення, у тісті зі спельтового борошна цілнозернового на 31,4% більша порівняно з тістом зі спельтового борошна вищого сорту. Значення похилої α – швидкості послаблення білкової сітки внаслідок протеолізу, для спельтовго борошна менша на 17,7-36,0% порівняно з пшеничним сортовим борошном.

Подальші зміни білка при нагріванні тіста незначні, а зміни обертового моменту на останніх трьох етапах аналізу на приладі Міксолаб регулюються зміною фізико-хімічних властивостей крохмалю. На третьому етапі, під час нагрівання тіста, роль білків переходить на другий план, шляхом віддачі води крохмалю: вода, доступна з термічно денатурованих білків (в зв'язку з розривом водневих і слабких фізичних зв'язків клейковини) призводить до желатинізації крохмалю. А саме, на цій стадії гранули крохмалю поглинають воду, набухають, а ланцюги амілози виходять з гранул в водну міжзернову фазу, що призводить до збільшення консистенції тіста і, отже, збільшення обертового моменту. На цьому етапі встановлено, що процес желатинізації загального крохмалю в тісті зі спельтового борошна вищого сорту і цілнозернового відбувається на 1-3°C вище, ніж у пшеничному сортовому борошні, і на 20,3-21,5% нижче їх максимальна гаряча в'язкість. Ступінь желатинізації крохмалю визначається похилою β і показує вищі значення у спельтовому борошні порівняно з пшеничним сортовим.

На четвертому етапі консистенція тіста зменшується в результаті фізичного руйнування гранул крохмалю (відбувається розрив хімічних зв'язків вуглеводного комплексу) через механічну напругу зсуву і температурного впливу. Швидкість зниження консистенції визначається похилою γ . На цьому етапі в'язкість тіста зі спельтового борошна на 13,5-23,8% менша порівняно з пшеничним борошном, що пов'язано з меншою в'язкістю в гарячому стані. Різниця між C_3 і C_4 (діастатична активність) в спельтовому борошні вищого сорту нижча на 63,4% порівно з пшеничним, і на 60,6% нижча порівняно зі спельтовим борошном цілнозерновим.

На п'ятому етапі міксограм (зниження температури з 90 до 50°C), яка характеризується ретроградацією крохмалю (ступінь кристалізації крохмалю: чим він нижчий, тим повільніше буде черствіти кінцева продукція). На цьому етапі в тісті зі спельтовго борошна спостерігається нижчі значення кривих мікограм на 9,1-16,3% порівняно з пшеничним борошном, що позитивно впливає на затримання процесу черствіння готових виробів. Різниця між значеннями C_5 і C_4 в тісті зі спельтовго борошна має незначні відмінності від даного значень для тіста з пшеничного борошна.

Висновки. Враховуючи те, що спельтове борошно вищого сорту та цілнозернове є цінною функціональною сировиною в технології хлібобулочних виробів, але має значні відмінності за реологічними властивостями від традиційного пшеничного сортового борошна. А саме, тісто зі спельтового борошна потребує більше час для замішування та має кращу стабільність, але при нагріванні тісто послаблюється і більше розріджується. Також консистенція тісто зі спельтового борошна порівняно з пшеничним сортовим має меншу в'язкість в гарячому стані. Вироби зі спельтовго борошна будуть довше зберігати свіжість. За кривими мікограм спельтове борошно вищого сорту та цілнозернове має нижчі хлібопекарські властивості, тому потребує забезпечення певних технологічних заходів для покращення якості готових виробів зі спельтового борошна.

Бібліографія

1. Padulosi S., Hammer K., Heller J. Hulled wheats. Rome, Italy: Proceedings of the first International Workshop on Hulled Wheats, 21-22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy, 1996. P. 203-211 (International Plant Genetic Resources Institute). (Promoting the conservation and use

of underutilized and neglected crops; iss. 4).

2. Campbell K.G. Spelt: agronomy, genetics and breeding: review. *Plant Breeding*. 1997. № 15. P. 187-213.

3. Жигунов Д.О., Волошенко О.С., Хоренжий Н.В. Порівняльне дослідження показників якості цільнозернового пшеничного та спельтового борошна вітчизняного виробництва. Зернові продукти і комбікорми. 2018. Т. 18. № 3. С. 15-20.

4. Дробот В.І., Михонік Л.А., Семенова А.Б., Фалендиш Н.О. Борошно стародавніх пшениць, продукти переробки круп'яних культур та шроти у технології хліба: монографія. Київ: ПрофКниг, 2018. С. 5–74.

5. Bonafaccia G., Galli V., Francisci R., Mair V., Skrabanja V., Kreft I. Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*. 2000. № 68. P. 437-441.

6. Suchowilska E., Wiwart M., Kandler W., Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. *Plant, Soil and Environment*. 2012. №58 (3). P. 141–147.

7. Твердохліб О.В., Голік О.В., Нінієва А.К., Богуславський Р.Л. Спельта і полба в органічному землеробстві. Посібник українського хлібороба. 2013. С. 154–155.

8. Dubat A., Rosell C.M., Gallagher E. Mixolab: A new approach to rheology [ur.]. Minnesota, USA: AACC Internacional, Incorporated. 2013. p. 3-13

9. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. Georgia Frakolaki, Virginia Giannou, Evangelos Topakas, Constantina Tzia. *Journal of Cereal Science*. № 79. P. 50-56.

References

1. Padulosi S., Hammer K., Heller J. (1996) Hulled wheats. Rome: Proceedings of the first International Workshop on Hulled Wheats, 21-22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy, P. 203-211. (International Plant Genetic Resources Institute). (Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops; iss. 4).

2. Campbell K.G. Spelt: agronomy, genetics and breeding: review. *Plant Breeding*. 1997. № 15. P. 187-213.

3. Zhyhunov D.O., Voloshenko O.S., Khorenghy N.V. (2018) Porivnialne doslidzhennia pokaznykiv yakosti tsilnozernovoho pshenychnoho ta speltovoho boroshna vitchyznianoho vyrobnytstva. [Comparative study of the quality indices of the whole grain wheat and spelta flour of the domestic production] *Grain Products and Mixed Fodder's*, 18 (3), P. 15-20. [in Ukrainian]

4. Drobot, V.I., L.A. Mykhonik, A.B. Semenova and N.O. Falendysh. (2018) Boroshno starodavnikh pshenyts, produkty pererobky krupianykh kultur ta shroty u tekhnolohii khliba: monohr [Flour of ancient wheat, cereal grains processing and bread crumbs: monograph]. Kyiv, ProfBook, P. 5-74 [in Ukrainian].

5. Bonafaccia, G., Galli, V., Francisci, R., Mair, V., Skrabanja, V., & Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*, 68(4), P. 437–441. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00215-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00215-0).

6. Suchowilska E., Wiwart M., Kandler W., Krska R. (2012) A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. *Plant, Soil and Environment*. 58 (3). P. 141–147.

7. Tverdokhlib O.V., Holik O.V., Niniieva A.K., Bohuslavskiy R.L. (2013) Spelta i polba v orhanichnomu zemlerobstvi. Posibnyk ukrainskoho khliboroba [Spelt and polb in organic farming. The guide of Ukrainian grain growers], P. 154-155. [in Ukrainian].

8. Dubat A., Rosell C.M., Gallagher E. (2013) Mixolab: A new approach to rheology [ur.], Minnesota, USA: AACC Internacional, Incorporated, P. 3-13.

9. Frakolaki, G., Giannou, V., Topakas, E., & Tzia, C. (2018) Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 79, P. 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.023>.