

Хранителни характеристики на желязо-биофортифицирана мека пшеница и брашно

Мария Менкиноска^{1*}, Ангелина Средовска Божинов², Татяна Блажевска³, Живка Горанова⁴, Дарко Андроников¹, Ацо Яневски¹

¹ Университет „Гоце Делчев“, Технологичен факултет, ул. „Гоце Делчев“ 89, 2000 Щип, Република Северна Македония

² Международен балкански университет, Факултет по дентална медицина, бул. „Македоно-Косовска бригада“ б.б., 1000 Скопие/Северна Македония

³ Университет „Св. Климент Охридски“, Факултет по технологии и технически науки, ул. „Димитър Влахов“ б.б., 1400 Велес, Република Северна Македония

⁴ Институт по консервиране и качество на храните - Пловдив, бул. „Васил Априлов“ № 154, 4003 Пловдив, Селскостопанска академия, България

Nutritional Characteristics of Iron - Biofortified Soft Wheat and Flour

Marija Menkinoska¹, Angelina Sredovska Bozhinov², Tatjana Blazhevaska³, Zhivka Goranova⁴, Darko Andronikov¹, Aco Janevski¹

¹ Goce Delcev University Faculty of Technology, str. Goce Delcev 89, 2000, Republic of North Macedonia.

² International Balkan University, Faculty of Dental Medicine Makedonsko-Kosovska Brigada bb 1000, Skopje/North Macedonia

³ University “St. Climent Ohridski” Faculty of Technology and Technical Sciences “Dimitar Vlahov” str. bb, 1400 Veles, R.N. Macedonia

⁴ Agricultural Academy, Department of Food Technology, Institute of Food Preservation and Quality, 154 Vasil Aprilov Blvd, 4000 Plovdiv, Bulgaria

E-mail: marija.menkinoska@ugd.edu.mk

Original scientific article

РЕЗЮМЕ

Биофортификацията цели да направи културите по-хранителни още по време на тяхното отглеждане, вместо да се добавят хранителни вещества при преработката им в храни. Определени са съдържанието на пепел, мокър глутен, протеин, мазнини и концентрация на желязо

SUMMARY

Biofortification aims to make crops more nutritious as they grow rather than adding nutrients when processing them into foods.

The content of ash, wet gluten, protein, fat, and Fe concentration of Macedonian wheat variety “Radika”, treated with Fe-

(Fe) в македонския сорт пшеница „Радика“, третиран с торове на основата на Fe-хелати чрез почвено, почвено-фолиарно и само фолиарно приложение. В пробите от цялото зърно съдържанието на пепел е в диапазона (2.06%-2.15%), мокър глютен (33-36), а концентрацията на Fe (49.5 mg/kg-65.9 mg/kg) се увеличава. По-ниски стойности в зърното се наблюдават при мазнините (1.12%-1.46%) и протеините (12.25-13%). След третирането с Fe торове, стойностите на всички анализирани параметри във фуражните проби се увеличават: пепел (0.57%-0.59%), мокър глютен (34-38), мазнини (1.0%-2.16%), протеин (11.9-12.9) и концентрация на Fe (38.9 mg/kg-43.6 mg/kg). Агрономическата биофортификация с Fe-EDTA торове, приложени по различни начини, влияе и подобрява хранителните характеристики на меката пшеница и брашното. Тези изводи могат да имат важно значение за развитието на доказателства за хранителна ефективност и усвояване на хранителни вещества от биофортифицирани култури, първо чрез модели, а след това и чрез директни изследвания при хора в контролирани експерименти.

Ключови

думи:

биофортифицирана култура, почвено-фолиарно приложение, Fe-EDTA

УВОД

Световната здравна криза по време на пандемията от COVID-19 измести фокуса на населението по света към хранителното качество на храната, особено на микроелементите, които са от съществено значение за укрепване на имунната функция (Bhardwaj et al., 2022). Адекватният прием на микроелементи е критичен за поддържане на общото здраве и предотвратяване на заболявания през целия живот. Тези хранителни вещества подпомагат и влияят на

chelates fertilizers by soil, soil-foliar and foliar application were determined. In whole wheat grain samples, the content of ash was in range (2.06%-2.15%), wet gluten (33-36), and Fe concentration (49.5 mg/kg-65.9 mg/kg) were increased. Lower values in wheat grain show a percentage of fat (1.12%-1.46%) and protein content (12.25-13%).

After the Fe fertilizers treatment values of all analyzed parameters in flour samples were increased.

The content was in range-ash (0.57%-0.59%), wet gluten (34-38), fat (1.0%-2.16%) protein(11.9-12.9), and Fe's concentration (38.9 mg/kg-43.6 mg/kg). Agronomic biofortification with Fe-EDTA fertilizers applied in different ways has influenced and also improved the nutritional characteristics of soft wheat and flour.

These conclusions may have an important role in developing evidence of nutritional efficacy, on absorption of nutrients from bio-fortification crops, first by using models, then by direct study in humans in controlled experiments.

Keywords: Biofortification crop, Soil-foliar application, Fe-EDTA

INTRODUCTION

The global health crisis during the COVID-19 pandemic has shifted the focus of populations worldwide toward the nutritional quality of food, particularly micronutrients, which are essential for strengthening immune function (Bhardwaj et al., 2022).

Adequate intake of micronutrients is critical for maintaining overall health and preventing diseases throughout life. These nutrients support and influence every stage of the immune response.

всеки етап от имунния отговор. Недостигът на микроелементи може да наруши както вродения, така и адаптивния имунитет, което води до имунно потискане и, следователно, до по-висока податливост към инфекции (Gorji and Ghadiri, 2021). Докато пълноценните храни трябва да останат основен източник на микроелементи, понякога е необходим прием на добавки, особено в случаи на дефицит. Както недостатъчният, така и прекомерният прием на микроелементи може да повлияе отрицателно на здравето. Често срещаните дефицити включват витамин А, фолат, йод, желязо и цинк. Хранителните вещества от растителен произход са от съществено значение за човешкото хранене и общото здраве (Roberts and Mattoo, 2019). Стратегии като фортификация и биофортификация са ефективни методи за справяне с дефицита на микроелементи и подобряване на хранителните резултати (Espinosa-Salas and Gonzalez-Arias, 2023).

Биофортификацията на културите, която се фокусира върху увеличаване на бионаличността на основни хранителни вещества в ядливите части на културата, може да играе критична роля в предотвратяването на дефицита на микроелементи. Независимо дали чрез агрономически или генетични методи, биофортификацията може да бъде приложена на сравнително ниска цена, значително по-ниска от потенциалните рискове, породени от глад и недохранване. Това прави биофортификацията ефективно и устойчиво решение за справяне с хранителните предизвикателства в световен мащаб (Garg et al, 2021). От друга страна, важно е да се признае, че пшеницата, жизненоважна зърнена култура и основна храна в много развиващи се страни, играе решаваща роля в световното потребление

A deficiency in micronutrients can impair both innate and adaptive immunity, leading to immune suppression and, consequently, a higher susceptibility to infections (Gorji and Ghadiri, 2021). While whole foods should remain the primary source of micronutrients, supplementation is sometimes necessary, particularly in cases of deficiency.

Both insufficient and excessive intake of micronutrients can negatively affect health. Common deficiencies include vitamin A, folate, iodine, iron, and zinc. Plant-derived nutrients are essential for human nutrition and overall health (Roberts and Mattoo, 2019).

Strategies such as fortification and biofortification are effective methods to address micronutrient deficiencies and improve nutritional outcomes (Espinosa-Salas and Gonzalez-Arias, 2023).

Biofortification of crops, which focuses on increasing the bioavailability of essential nutrients in the edible parts of the crop, can play a critical role in preventing micronutrient deficiencies. Whether through agronomic or genetic methods, biofortification can be implemented at a relatively low cost, significantly lower than the potential risks posed by hunger and malnutrition.

This makes biofortification an effective and sustainable solution to address nutritional challenges globally (Garg et al, 2021).

On the other hand, it is important to recognize that wheat, a vital cereal crop, and staple food in many developing nations, plays a crucial role in global consumption (Erenstein et al., 2022). While a small portion of wheat is

(Erenstein et al., 2022). Докато малка част от пшеницата се консумира като пълнозърнеста, по-голямата част от нея се преработва чрез смилане за производство на различни продукти, включително брашно, люспи и трици (Menkinoska et al., 2017).

Зърнените култури са ядивни зърна, които включват зародиш, ендосперм и трици. Тези основни храни могат да се съхраняват продължително време с минимална загуба на хранителното им съдържание. Като основен източник както на макро-, така и на микроелементи, зърнените култури са богати на въглехидрати, протеини, диетични фибри, витамини и минерали (Poole et al., 2020). Съдържанието на хранителни вещества в зърнените култури варира в зависимост от вида на културата и методите, използвани за обработка и готвене. В сравнение с ендосперма, обвивката на семето съдържа по-висока концентрация на хранителни вещества. Следователно процесът на смилане, използван за производство на рафинирано брашно, води до намаляване на тези основни хранителни вещества (Oghbaei and Prakash, 2016; Garg et al., 2021).

Определянето на съдържанието на ключови съставки като протеини, пепел, мокър глютен, липиди и други в хранителните продукти е от решаващо значение, тъй като тези компоненти присъстват както в суровините, така и в крайните продукти. Разбирането на физическите и химическите свойства на пшеницата и брашното е от съществено значение за оценка на качеството и вида на брашното, получено след процеса на смилане (Menkinoska et al., 2017).

Основната цел на това проучване беше да се оцени потенциалът на агрономическата биофортификация чрез почвено, листно и почвено + листно приложение на Fe-EDTA хелатни торове за

consumed as a whole grain; however, most of it is processed through milling to produce various products, including flour, flakes, and bran (Menkinoska et al., 2017).

Cereal grains are the edible grains of grasses, which include the germ, endosperm, and bran. These essential foods can be stored for extended periods with minimal loss of their nutritional content.

As a primary source of both macronutrients and micronutrients, cereal grains are rich in carbohydrates, proteins, dietary fiber, vitamins, and minerals (Poole et al., 2020).

The nutrient content in cereal crops varies depending on the type of crop and the methods used for processing and cooking. Compared to the endosperm, the seed coating contains a higher concentration of nutrients. Therefore, the milling process used to produce refined flour results in a reduction of these essential nutrients (Oghbaei and Prakash, 2016; Garg et al., 2021).

Determining the content of key ingredients such as protein, ash, wet gluten, lipids, and others in food products is crucial because these components are present both in the raw materials and the final products.

Understanding the physical and chemical properties of wheat and flour is essential for assessing the quality and type of flour produced after the milling process (Menkinoska et al., 2017).

The main aim of this study was to evaluate the potential of agronomic biofortification through soil, foliar, and soil + foliar applications of Fe-EDTA chelate fertilizers to enhance the Fe concentration in the edible part of wheat.

повишаване на концентрацията на Fe в ядливата част на пшеницата. По-конкретно, проучването имаше за цел да: определи концентрациите на протеини, пепел, мокър глутен, липиди и Fe както в пшеницата, така и в брашното, и да оцени как ефективността на агрономическата биофортификация варира с различни методи на приложение на Fe-EDTA хелатни торове (Menkinoska et al., 2017). Ако експериментът демонстрира значителен ефект от агрономическата биофортификация върху концентрацията на Fe в зърното, особено в брашното, тогава тази интервенция би могла да служи като рентабилна стратегия за подпомагане на облекчаването на дефицита на желязо сред населението в Северна Македония.

Specifically, the study aimed to: determine the protein, ash, wet gluten, lipid, and Fe concentrations in both wheat and flour and assess how the effectiveness of agronomic biofortification varies with different application methods of Fe-EDTA chelate fertilizers (Menkinoska et al., 2017).

If the experiment demonstrates a significant effect of agronomic biofortification on the concentration of Fe in grain, particularly in flour, then this intervention could serve as a cost-effective strategy to help alleviate iron deficiency among the population in North Macedonia.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Материали

Растителен материал

Проучването използва сорт мека пшеница „Радика“ (*Triticum aestivum*), известен с високото си хлебопекарно качество и адаптивност към пролетна и есенна сеитба.

Местоположение и експериментална постановка

Експериментът е проведен в Аграрния институт в Скопие, на опитното поле „Долно Лисиче“. Той е следвал дизайн на рандомизирани блокове с четири варианта, всеки от които е повторен три пъти върху парцели от 30 m². Приложена е стандартна почвена подготовка, а сеитбата е извършена ръчно с 600-650 жизнеспособни зърна/m² (Menkinoska et al., 2014).

Варианти на приложение на торове

Вариант 1 – Fe, приложено в почвата

Вариант 2 – Fe, приложено в почвата и листно

MATERIAL AND METHODS

Plant Material

The study used the "Radika" soft wheat variety (*Triticum aestivum*), known for its high bread-making quality and adaptability to spring and autumn sowing.

Location and Experimental Setup

The experiment was conducted at the Agricultural Institute in Skopje, on the "Dolno Lisiche" test field. It followed a randomized block design with four variants, each repeated three times on 30 m² plots. Standard soil preparation was applied, and sowing was done manually with 600-650 viable grains/m² (Menkinoska et al., 2014).

Fertilizer Application Variants

Variant 1 – Fe applied in soil

Variant 2 – Fe applied in soil and foliar

Вариант 3 – Fe, приложено като листно пръскане

Вариант 4 – Контрола (без торене)

Основни характеристики на торовете

Yara Vera™ Amidas е висококачествен гранулиран тор, съдържащ азот (главно като карбамид) и водоразтворима сяра (като сулфат). Съотношението азот към сяра е 7:1. Fe EDTA хелат се използва за листно хранене (Menkinoska et al., 2017). Листното торене е приложено с помощта на гръбна пръскачка с 3 литра разтвор рано сутрин (Menkinoska et al., 2017). Графикът за приложение на торове за фазите на растеж на пшеницата е представен в Таблица 1.

Variant 3 – Fe applied as foliar spray

Variant 4 – Control (no fertilization)

Basic Characteristics of Fertilizers

Yara Vera™ Amidas is a high-quality granular fertilizer containing nitrogen (mainly as urea) and water-soluble sulfur (as sulfate). The nitrogen-to-sulfur ratio is 7:1. Fe EDTA chelate is used for foliar nutrition (Menkinoska et al., 2017).

Foliar fertilization was applied using a dorsal sprinkler with 3 liters of solution in the early morning (Menkinoska et al., 2017). The fertilizer Application Schedule for Wheat Growth Stages is presented in Table 1.

Таблица 1. Схема на торене за фазите на растеж на пшеницата
Table 1. Fertilizer application schedule for wheat growth stages

Фаза на растеж Growth Stage	Тор и доза на приложение Fertilizer & Application Rate	Варианти Variants
Прорастване/Germination	NPK (9:15:15) – 200 kg/ha	1, 2, 3, 4
	Fe EDTA – 10 kg/ha (почвено приложение)/(soil application)	1, 2
Братене/Tillering	Yara Vera Amidas – 160 kg/ha	1, 2, 3, 4
Изкласяване/Booting	Yara Vera Amidas – 100 kg/ha	1, 2, 3, 4
	Fe EDTA – 1 kg/ha (листно)/(foliar)	2, 3
Изкласяване и Цъфтеж/Heading and Flowering	Fe EDTA – 1 kg/ha (листно)/(foliar)	2, 3
Цъфтеж /Flowering	Fe EDTA – 1 kg/ha (листно)/(foliar)	2, 3

Методи

Определяне на съдържание на пепел

Съдържанието на пепел е измерено по метода ААСС 08–01 (ААСС, 2024). Проби от брашно (3–5 g) са изгоряни в муфелна пещ при 550°C за 7 часа, докато се получи светло сива пепел или до постоянно тегло. След охлаждане, пробите са претеглени, за да се изчисли

Methods

Ash Content Determination

Ash content was measured using AACC method 08–01 (AACC, 2024). Flour samples (3–5 g) were incinerated in a muffle furnace at 550°C for 7 hours until light gray ash or constant weight was obtained.

After cooling, the samples were weighed to calculate ash content.

съдържанието на пепел.

Определяне на общ азот

Общият азот в растителния материал е определен по микрометода на Келдал (Menkinoska et al., 2017). Пробата е разградена, като азотът е превърнат в амоняк, който е дестилиран и титруван (AACC, 2024).

Определяне на съдържание на протеин

Съдържанието на протеин е изчислено чрез умножаване на общия азот по 5.7 и е изразено в процент (Menkinoska et al., 2017).

Определяне на съдържание на липиди

Съдържанието на липиди е определено по метода на екстракция на Сокслет с диетилов етер (AACC, 2024).

Определяне на съдържание на мокър глютен

Съдържанието на мокър глютен е анализирано съгласно стандартите на Codex Alimentarius, 2019.

Анализ на желязо в зърно и брашно

Съдържанието на желязо е измерено с атомен абсорбционен спектрометър „Thermo“. Проба от пшеница/брашно от 0.5 g е разложена със 7 ml HNO₃ и 2 ml H₂O₂, оставена за една нощ, след което е загрявана, докато органичното вещество бъде отстранено. Разтворът е филтриран, разреден до 25 ml с дестилирана вода и анализиран с помощта на калибриран спектрометър (Menkinoska et al., 2014).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Съдържание на минерали в зърно и брашно (съдържание на пепел)

Зърнените култури, включително

Total Nitrogen Determination

Total nitrogen in plant material was determined using the Kjeldahl micro-method (Menkinoska et al., 2017). The sample was digested, converting nitrogen to ammonia, which was distilled and titrated (AACC, 2024).

Protein Content Determination

Protein content was calculated by multiplying total nitrogen by 5.7 and expressed as a percentage (Menkinoska et al., 2017).

Lipid Content Determination

Lipid content was determined using the Soxhlet extraction method with diethyl ether (AACC, 2024).

Wet Gluten Determination

Wet gluten content was analyzed following Codex Alimentarius standards, 2019.

Iron Analysis in Grain and Flour

Iron content was measured using a Thermo atomic absorption spectrometer. A 0.5 g wheat/flour sample was digested with 7 ml HNO₃ and 2 ml H₂O₂, left overnight, then heated until the organic matter was removed.

The solution was filtered, diluted to 25 ml with distilled water, and analyzed using a calibrated spectrometer (Menkinoska et al., 2014).

RESULTS AND DISCUSSION

Mineral Content in Grain and Flour (Ash Content)

Cereals, including wheat, rice, and

пшеница, ориз и царевица, съставляват основна част от световната диета и са богати източници на основни витамини и минерали, необходими за човешкото здраве (Papageorgiou and Skendi, 2018). Пълнозърнестите храни, по-специално, съдържат значителни количества витамини А, В-комплекс (В1, В2, В3, В5, В6, В9), Е и К, въпреки че им липсват съществени количества витамини В12, С и D (Garg et al., 2021).

Обработката и смилането на зърнените култури значително влияят на техния витаминен и минерален състав, тъй като рафинирането често отстранява богатите на хранителни вещества части на зърното, което води до намалено съдържание на микроелементи в крайния продукт (Ragaei et al., 2014; Oghbaei and Prakash, 2016). Минералното съдържание на пшеницата, често измервано като съдържание на пепел, е показател за разпределението на анатомичните компоненти на зърното в брашното (Garg et al., 2021).

corn, form a staple part of the global diet and are rich sources of essential vitamins and minerals necessary for human health (Papageorgiou and Skendi, 2018).

Whole grain cereals, in particular, contain significant amounts of vitamins A, B-complex (B1, B2, B3, B5, B6, B9), E, and K, though they lack substantial amounts of vitamins B12, C, and D (Garg et al., 2021).

The processing and milling of cereals significantly impact their vitamin and mineral composition, as refining often removes nutrient-dense parts of the grain, leading to reduced micronutrient content in the final product (Ragaei et al., 2014; Oghbaei and Prakash, 2016).

The mineral content of wheat, often measured as ash content, is an indicator of the distribution of anatomical grain components in flour (Garg et al., 2021).

Таблица 2. Съдържание на пепел в зърно и брашно, сравнено с контролната група

Table 2. Ash content in grain and flour compared to the control group

Вариант Variant	Съдържание на пепел в зърното, % Ash content in grain, %	Индекс спрямо контролата Index of control	Съдържание на пепел в брашното, % Ash content in flour, %	Индекс спрямо контролата Index of control
1	2.15	147.26	0.57	107.55
2	1.98	135.61	0.59	111.32
3	2.06	141.09	0.57	107.55
4	1.46	100.00	0.53	100.00

Представените в Таблица 2 резултати показват някои вариации в съдържанието на пепел в резултат на

The results presented in Table 2 show some variations in ash content as a result of different applications of Fe

различни приложения на Fe EDTA.

В зърното съдържанието на пепел се е увеличило с 47.26% във вариант 1, с 35.61% във вариант 2 и с 41.09% във вариант 3, в сравнение с контролата (вариант 4). Най-високо съдържание на пепел е наблюдавано при варианта с почвено приложение на Fe.

Подобно, в брашното съдържанието на пепел се е увеличило със 7.55% във варианти 1 и 3 и с 11.32% във вариант 2, спрямо контролата. Най-високо съдържание на пепел в брашното е отчетено при варианта, където Fe е приложено както почвено, така и листно. Проучвания са показали, че приложението на Fe EDTA почвено+листно подобрява усвояването и задържането на минерали в структурата на зърното, което предполага неговата ефективност за подобряване на минералното съдържание (Cakmak et al., 2010; Menkinoska et al., 2017).

Минералният състав на брашното, индикиран от съдържанието на пепел, е повлиян предимно от два фактора: вида на зърнената култура и процеса на смилане (Bodor et al., 2024). При пшеницата общото съдържание на пепел варира от 1.5% до 2%, докато съдържанието на пепел в ендосперма е много по-ниско – 0.35%. Тъй като ендоспермът съставлява около 80% от пшеничното зърно, по-високото съдържание на пепел в компонентите извън ендосперма – като перикарпа, алейроновия слой и зародиша – определя общото съдържание на пепел в пшеницата (Eeckhout et al., 2013).

Качествени свойства на зърно и брашно

Съдържание на мокър глютен

Съдържанието на мокър глютен е важен показател за качеството на

EDTA.

In the grain, ash content increased by 47.26% in variant 1, 35.61% in variant 2, and 41.09% in variant 3, compared to the control (variant 4).

The highest ash content was observed in the Fe soil application variant.

Similarly, in flour, ash content increased by 7.55% in variants 1 and 3 and by 11.32% in variant 2, relative to the control.

The highest ash content in flour was recorded in the variant where Fe was applied through both soil and foliar methods. Studies have shown that the application of Fe EDTA soil+foliar enhances the uptake and retention of minerals within the grain structure, suggesting its effectiveness in improving mineral content (Cakmak et al., 2010; Menkinoska et al., 2017).

The mineral composition of flour, indicated by its ash content, is primarily influenced by two factors: the type of cereal and the milling process (Bodor et al., 2024).

In wheat, the total ash content ranges from 1.5% to 2%, while the ash content of the endosperm is much lower at 0.35%.

Since the endosperm makes up about 80% of the wheat grain, the higher ash content in the non-endosperm components—such as the pericarp, aleurone, and germ—determines the overall ash content of wheat (Eeckhout et al., 2013).

Quality properties of grain and flour

Content of Wet Gluten

Wet gluten content is an important quality indicator for flour, as it reflects the

брашното, тъй като отразява концентрацията на глютенобразуващи протеини, особено глутенин и глиадин. Глутенът играе решаваща роля в хлебопроизводството, влияейки върху свойствата на тестото при месене и печене (Bodor et al., 2024). Брашна с високо съдържание на мокър глутен (над 34%) са високо ценени, тъй като могат да подобрят свойствата на брашна с по-ниско качество (Ionescu and Stoenescu, 2010).

concentration of gluten-forming proteins, particularly glutenins and gliadins. Gluten plays a crucial role in bread-making, influencing dough mixing and baking properties (Bodor et al., 2024).

Flours with high wet gluten content (above 34%) are highly valued, as they can improve the properties of lower-quality flours (Ionescu and Stoenescu, 2010).

Таблица 3. Съдържание на мокър глутен в зърно и брашно, сравнено с контролната група

Table 3. Content of wet gluten in grain and flour compared to the control group

Вариант Variant	Мокър глутен в зърното Wet gluten in grain	Индекс спрямо контролата Index of control	Мокър глутен в брашното Wet gluten in flour	Индекс спрямо контролата Index of control
1	34	113.33	36	124.13
2	36	120.00	38	131.03
3	33	110.00	34	117.24
4	30	100	29	100

Въз основа на анализа на качеството в Таблица 3, съдържанието на мокър глутен в зърното се е увеличило с 13.33% във вариант 1, с 20.0% във вариант 2 и с 10.0% във вариант 3, в сравнение с вариант 4. В брашното увеличението е още по-изразено, като вариант 1 показва увеличение от 24.13%, вариант 2 – 31.03%, а вариант 3 – 17.24% спрямо вариант 4. Най-високо съдържание на мокър глутен както в зърното, така и в брашното е установено при вариант 2, където Fe е приложено чрез почвено и листно третиране, в сравнение с контролата.

Based on the quality analysis in Table 3, the wet gluten content in the grain increased by 13.33% in variant 1, 20.0% in variant 2, and 10.0% in variant 3 compared to variant 4.

In flour, the increase was even more pronounced, with variant 1 showing a 24.13% rise, variant 2 a 31.03% rise, and variant 3 a 17.24% rise relative to variant 4. The highest wet gluten content in both grain and flour was found in variant 2, where Fe was applied through both soil and foliar treatments, compared to the control.

Сравнението на съдържанието на мокър глутен между зърното и брашното показва, че брашното постоянно има по-високи абсолютни

A comparison of wet gluten content between grain and flour shows that flour consistently has higher absolute values across all variants.

стойности във всички варианти. Нашите резултати показват, че приложеното торене играе основна роля при определяне на съдържанието на мокър глютен. Това е особено очевидно във вариант 2, където почвеното + листно третиране с Fe води до най-високи стойности на мокър глютен както в зърното, така и в брашното, в сравнение с контролата.

Съдържание на протеини в зърно и брашно

Качеството на пшеницата се влияе от фактори като генотип, условия на околната среда, агротехнически практики и тяхното взаимодействие, като торовете играят решаваща роля за определяне качеството на пшеницата (Plessis et al., 2013).

Our results suggest that the fertilizer applied plays a major role in determining wet gluten content.

This is particularly evident in variant 2, where the Fe soil + foliar treatment resulted in the highest wet gluten values in both grain and flour, compared to the control.

Protein content in grain and flour

The quality of wheat is influenced by factors such as genotype, environmental conditions, cultivation practices, and their interactions, with fertilizers playing a crucial role in determining wheat quality (Plessis et al., 2013).

Таблица 4. Съдържание на протеини в зърно и брашно, сравнено с контролната група

Table 4. Protein content in grain and flour compared to the control group

Вариант Variant	Протеин в зърното, % Protein in grain, %	Индекс спрямо контролата Index of control	Протеин в брашното, % Protein in flour, %	Индекс спрямо контролата Index of control
1	13.00	98.34	12.42	108.47
2	12.17	92.06	12.90	112.66
3	12.25	92.67	11.89	103.84
4	13.22	100.00	11.45	100.00

Резултатите в Таблица 4 показват леко намаляване на съдържанието на суров протеин в зърното при всички варианти. По-конкретно, съдържанието на протеин спада с 1.66% във вариант 1, 7.94% във вариант 2 и 7.33% във вариант 3 в сравнение с контролата. За разлика от това, всички варианти показват увеличение на съдържанието на суров протеин в брашното, като вариант 1 нараства с 8.47%, вариант 2 с 12.66% и вариант 3 с 3.84% спрямо

The results in Table 4 show a slight decrease in raw protein content in grain across all variants. Specifically, protein content dropped by 1.66% in variant 1, 7.94% in variant 2, and 7.33% in variant 3 compared to the control.

In contrast, all variants showed an increase in raw protein content in flour, with variant 1 rising by 8.47%, variant 2 by 12.66%, and variant 3 by 3.84% relative to the control.

контролата. Най-висок процент протеин в брашното е установен във вариант 2, където Fe е приложено чрез почвено и листно третиране.

Нашите открития предполагат, че източниците на желязо значително влияят върху съдържанието на протеин в зърното, като най-високата концентрация на протеин в брашното е резултат от комбинираното почвено и листно приложение на железен хелатен тор. Тези резултати съответстват с проучването на Dapkekar et al., (2020), което съобщава за положителни корелации между концентрацията на Zn в зърното, концентрацията на Fe в зърното и съдържанието на протеин. В допълнение, проучване на Shahbazi and Nematollahi, (2019) е установовено, че торенето с желязо, особено чрез листно приложение, повишава съдържанието на протеин в пшеничните зърна, подкрепяйки нашите наблюдения. Освен това, Ram et al., (2024) също подчертават благоприятните ефекти на торенето с желязо и цинк върху хранителното качество на пшеницата, включително съдържанието на протеин както в зърното, така и в брашното.

Вариацията в процентното съдържание на протеин сред различните източници на желязо може да се дължи на повишената наличност на желязо, което образува металоорганични комплекси (Srivastav et al., 2020). Тези комплекси постепенно освобождават хранителни вещества, подобрявайки наличността на азот, образуването на хлорофил и асимилацията на азот, което води до по-високо съдържание на протеин. Тези открития са в съответствие с тези на Malav et al., (2019), които подчертават ролята на желязото в синтеза на хлорофил и асимилацията на азот, като и двете допринасят за повишени нива на протеин.

The highest protein percentage in flour was found in variant 2, where Fe was applied through both soil and foliar treatments.

Our findings suggest that iron sources significantly impacted protein content in grain, with the highest protein concentration in flour resulting from the combined soil and foliar application of iron chelate fertilizer.

These results align with the study by Dapkekar et al., (2020), which reported positive correlations between grain Zn concentration, grain Fe concentration, and protein content.

Additionally, a 2019 study by Shahbazi and Nematollahi, (2019) found that iron fertilization, particularly through foliar application, enhanced protein content in wheat grains, supporting our observations.

Furthermore, Ram et al., (2024) also highlighted the beneficial effects of iron and zinc fertilization on the nutritional quality of wheat, including protein content in both grain and flour.

The variation in protein percentage among different iron sources may be attributed to the enhanced availability of iron, which forms organometallic complexes (Srivastav et al., 2020).

These complexes release nutrients gradually, improving nitrogen availability, chlorophyll formation, and nitrogen assimilation, leading to higher protein content. These findings are in line with those of Malav et al., (2019), who emphasized iron's role in chlorophyll synthesis and nitrogen assimilation, both of which contribute to increased protein levels.

Съдържание на липиди

Въпреки че липидите съставляват едва около 2.5–3% от общото пшенично зърно, те са от решаващо значение за хранителното качество и стабилността при съхранение на брашното и продуктите на пшенична основа. Липидите взаимодействат с глутеновите протеини и нишестето, влияейки върху функционалността на тестото и цялостните хлебопекарни свойства (Pareyt et al., 2011; Mandrioli et al., 2024).

Съдържанието на липиди в пшеничното зърно и брашното се влияе от различни фактори, включително прилагането на желязни торове. Проучвания са показали, че торенето с желязо може да повлияе на липидния състав, като по този начин се отрази на хранителното качество и стабилността при съхранение на пшеничните продукти. Например, проучване на Ilyas et al., (2023) изследва ефектите от торенето с желязо и цинк върху хранителното качество на пшеничното зърно и брашното, подчертавайки ролята на управлението на микроелементите за качеството на пшеницата.

Lipid content

Although lipids constitute only about 2.5–3% of the total wheat kernel, they are crucial for the nutritional quality and storage stability of flour and wheat-based products.

Lipids interact with gluten proteins and starch, impacting dough functionality and overall baking performance (Pareyt et al., 2011; Mandrioli et al., 2024).

The lipid content in wheat grain and flour is influenced by various factors, including the application of iron fertilizers. Studies have shown that iron fertilization can affect lipid composition, thereby impacting the nutritional quality and storage stability of wheat products.

For instance, a study by Ilyas et al., (2023) examined the effects of iron and zinc fertilization on the nutritional quality of wheat grain and flour, highlighting the role of micronutrient management in wheat quality.

Таблица 5. Съдържание на липиди в зърно и брашно, сравнено с контролната група

Table 5. Lipid content in grain and flour compared to the control group

Вариант Variant	Липиди в зърното, % Lipid in grain, %	Индекс спрямо контролата Index of control	Липиди в брашното, % Lipid in flour, %	Индекс спрямо контролата Index of control
1	1.42	93.42	1.00	103.09
2	1.12	73.68	1.09	112.37
3	1.46	96.05	1.16	122.68
4	1.52	100.00	0.97	100.00

В нашите проучвания, представени в Таблица 5, се вижда, че всички варианти показват по-нисък

In our findings, presented in Table 5 show that all variants exhibited a lower lipid percentage in wheat grain compared

процент липиди в пшеничното зърно в сравнение с контролата. По-конкретно, съдържанието на липиди намалява с 6.58% във вариант 1, 26.52% във вариант 2 и 3.95% във вариант 3. За разлика от това, съдържанието на липиди в брашното показва обратна тенденция, като всички варианти демонстрират по-високи проценти липиди от контролата. Съдържанието на липиди се увеличава с 3.09% във вариант 1, 12.37% във вариант 2 и 22.68% във вариант 3. Най-високото съдържание на мазнини в брашното е свързано с листното приложение.

Тези резултати предполагат, че методът на приложение на желязо значително влияе върху съдържанието на липиди в пшеничното зърно и брашното. Докато почвеното приложение на желязо може да намали съдържанието на липиди в зърното, то изглежда подобрява съдържанието на липиди в брашното. Това откритие е в съответствие с проучването на Jalal, et al., (2020), което съобщава, че торенето с желязо може положително да повлияе на хранителното качество на пшеничните продукти.

Следователно, оптимизирането на стратегиите за торене с желязо е от решаващо значение за подобряване на хранителното качество на пшеницата и нейните производни продукти.

Концентрация на желязо в пшеница и брашно

Резултатите от анализа на съдържанието на Fe в пшеница и брашно, както е показано в Таблица 6, разкриват, че прилагането на Fe хелатни торове значително увеличава концентрацията на желязо в пшеничното зърно. По-конкретно, съдържанието на желязо нараства с 41.83% във вариант 1, 34.38% във вариант 2 и 88.82% във вариант 3 в сравнение с вариант 4, като най-високата концентрация на Fe е

to the control. Specifically, lipid content decreased by 6.58% in variant 1, 26.52% in variant 2, and 3.95% in variant 3.

In contrast, the lipid content in flour showed an opposite trend, with all variants displaying higher lipid percentages than the control.

Lipid content increased by 3.09% in variant 1, 12.37% in variant 2, and 22.68% in variant 3. The highest fat content in flour was associated with foliar application.

These results suggest that the method of iron application significantly influences lipid content in wheat grain and flour.

While soil application of iron may reduce lipid content in grain, it appears to enhance lipid content in flour.

This finding aligns with the study by Jalal et al., 2020, which reported that iron fertilization can positively affect the nutritional quality of wheat products.

Therefore, optimizing iron fertilization strategies is crucial for improving the nutritional quality of wheat and its derived products.

Concentration of iron in wheat and flour

The results of the Fe content analysis in wheat and flour, as shown in Table 6, reveal that the application of Fe chelate fertilizers significantly increases iron concentration in wheat grain.

Specifically, iron content rose by 41.83% in variant 1, 34.38% in variant 2, and 88.82% in variant 3 compared to variant 4, with the highest Fe concentration observed in variant 3, which received foliar fertilizer application.

наблюдавана във вариант 3, който е получил листно приложение на тор. Подобно, брашното показва забележимо увеличение на съдържанието на Fe, като вариант 1 показва увеличение от 60.29%, вариант 2 – 43.01% и вариант 3 – 56.98% в сравнение с вариант 4. Най-високата концентрация на Fe в брашното е регистрирана във вариант 1, където торът е приложен в почвата.

През последните десетилетия агрономическата биофортификация, по-специално ферти-фортификацията, се очерта като ефективен метод за повишаване на нивата на микроелементи, като Zn и Fe, в пшеничните култури.

Similarly, flour exhibited a notable increase in Fe content, with variant 1 showing a 60.29% rise, variant 2 a 43.01% increase, and variant 3 a 56.98% increase compared to variant 4.

The highest Fe concentration in flour was recorded in variant 1, where fertilizer was applied to the soil.

In recent decades, agronomic biofortification, particularly ferti-fortification, has emerged as an effective method for enhancing the levels of micronutrients, such as Zn and Fe, in wheat crops.

Таблица 6. Концентрация на желязо в пшеница и брашно, сравнено с контролната група

Table 6. Iron concentration in wheat and flour compared to the control group

Вариант Variant	Fe в зърното, mg/kg Fe in grain, mg/kg	Индекс спрямо контролата Index of control	Fe в брашното, mg/kg Fe in flour, mg/kg	Индекс спрямо контролата Index of control
1	49.5	141.83	43.6	160.29
2	46.9	134.38	38.9	143.01
3	65.9	188.82	42.7	156.98
4	34.9	100.00	27.2	100.00

Този подход е привлякъл значително внимание поради своята ефективност и бързина при повишаване на съдържанието на Zn и Fe в пшеничните зърна. Нашите резултати съответстват на откритията от няколко проучвания, които са потвърдили ефективността на агрономическата биофортификация за увеличаване на нивата на Zn и Fe в пшеничното зърно (Dapkekara et al., 2020). Подобно, резултатите на Mirbolook et al., (2021) подкрепят нашите открития, особено положителната корелация между прилагането на различни Fe източници чрез листно третиране и повишеното съдържание на Fe в пшеничното зърно. В допълнение, Niyigaba et al., (2019) потвърждават, че листното приложение на Fe и Zn води до значителни подобрения в добива на зърно, съдържанието на протеини и концентрациите както на желязо, така и на цинк. Този обем от изследвания подчертава потенциала на агрономическата биофортификация като мощен инструмент за подобряване на микроелементния профил на пшеничните култури.

ИЗВОДИ

Чрез агрономическа биофортификация, използваща почвено, листно и почвено + листно приложение на Fe хелатни торове, бяха направени следните заключения:

- Най-високо съдържание на пепел в зърното е наблюдавано при варианта с почвено приложено Fe, докато най-високо съдържание на пепел в брашното е установено при варианта с комбинирано почвено + листно приложение на Fe.

- Най-високо съдържание на мокър глютен както в зърното, така и в брашното е установено във вариант 2, който е получил почвено + листно третиране с Fe, подчертавайки

This approach has gained significant attention due to its efficiency and speed in boosting the Zn and Fe content in wheat grains.

Our results align with the findings of several studies, which have confirmed the effectiveness of agronomic biofortification in increasing Zn and Fe levels in wheat grain (Dapkekara et al., 2020).

Similarly, the results of Mirbolook et al., (2021) support our findings, particularly the positive correlation between the application of various Fe sources via foliar treatment and the increased Fe content in wheat grain.

Additionally, Niyigaba et al., (2019) confirmed that foliar application of Fe and Zn led to significant improvements in grain yield, protein content, and the concentrations of both iron and zinc.

This body of research underscores the potential of agronomic biofortification as a powerful tool for improving the micronutrient profile of wheat crops.

CONCLUSIONS

Through agronomic biofortification using soil, foliar, and soil + foliar applications of Fe chelate fertilizers, the following conclusions were determined:

- The highest ash content in grain was observed in the variant with Fe applied to the soil, while the highest ash content in flour was found in the variant with both soil + foliar Fe application.

- The highest wet gluten content in both grain and flour was found in variant 2, which received the soil + foliar Fe treatment, highlighting the impact of the fertilizer used.

влиянieto на използвания тор.

- Процентното съдържание на суров протеин в зърното намалява при всички варианти, но съдържанието на протеин в брашното е най-високо във вариант 2, който е получил почвено + листно третиране с Fe.

- Най-ниско съдържание на липиди в зърното е наблюдавано при листното приложение, докато най-високо съдържание на липиди в брашното е резултат от листното приложение.

- Най-висока концентрация на Fe в зърното е установена във вариант 3, който е получил листно приложение, докато най-висока концентрация на Fe в брашното е наблюдавана във вариант 1, който е получил почвено приложение.

- The percentage of raw protein in grain decreased across all variants, but the protein content in flour was highest in variant 2, which received Fe soil + foliar treatment.

- The lowest lipid content in grain was observed with foliar application, while the highest lipid content in flour resulted from foliar application.

- The highest Fe concentration in grain was found in variant 3, which received foliar application, while the highest Fe concentration in flour was observed in variant 1, which received soil application.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. **AACC International**, 2024. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*
<https://www.cerealsgrains.org/resources/methods/Pages/default.aspx>
2. **AACC International**, 2024. *Nitrogen Determination Method*. [Online]. Available at:
<https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/46Nitrogen.aspx>
3. **Bhardwaj, A. K., S. Chejara, K. Malik, R. Kumar, A. Kumar and R. K. Yadav**, 2022. Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1055278.
4. **Bodor, K., J. Szilágyi, B. Salamon, O. Szakács and Z. Bodor**, 2024. Physical-chemical analysis of different types of flours available in the Romanian market. *Scientific Reports*, 14, 881.
5. **Cakmak, I., W. Pfeiffer and B. McClafferty**, 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*, 87, 10-20.
6. **Codex Alimentarius**, 2019. *Standard for Wheat Flour CXS 152-1985*.
7. **Dapkekar, A., P. Deshpande, M. D. Oak, K. M. Paknikar and J. M. Rajwade**, 2020. Getting more micronutrients from wheat and barley through agronomic biofortification. In: *Wheat and Barley Grain Biofortification*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Elsevier, 53-99.
8. **Eeckhout, M., S. Landschoot, N. Deschuyffeleer, S. De-Laethauwer and G. Haesaert**, 2013. Guidelines for prevention and control of mold growth and mycotoxin production in cereals. *ANNEX I TO D8.1. Report Guidelines On Prevention Measures*, 1-38.
9. **Erenstein, O., M. Jaleta, K. A. Mottaleb, K. Sonder, J. Donovan and H. J. Braun**, 2022. Global trends in wheat production, consumption and trade. In: Reynolds, M.P., Braun, H.J. (eds) *Wheat Improvement*, Springer, 47-66.
10. **Espinosa-Salas, S. and M. Gonzalez-Arias**, 2023. *Nutrition: Micronutrient*

Intake and Interventions. Bookshelf ID: NBK597352.

11. **Garg, M., A. Sharma, S. Vats, V. Tiwari, A. Kumari, V. Mishra and M. Krishania**, 2021. Vitamins in cereals: A critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement. *Frontiers in Nutrition*, 8, 586815.
12. **Gorji, A. and M. K. Ghadiri**, 2021. Potential roles of micronutrient deficiency and immune system dysfunction in the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. *Nutrition*, 82, 111047.
13. **Ilyas, M., M. J. Khan, Z. Murad, S. Z. Satti and A. Ullah**, 2023. Biofortification of iron in wheat varieties using different methods of application. *Gesunde Pflanzen*, 75, 2177–2185.
14. **Ionescu, V. and G. Stoenescu**, 2010. Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *Food Technology*, 34, pp.44–48.
15. **Jalal, A., S. Shah, M. C. Minhoto Teixeira Filho, A. Khan, T. Shah, M. Ilyas and P. A. Leonel Rosa**, 2020. Agro-biofortification of zinc and iron in wheat grains. *Gesunde Pflanzen*, 72, 227–236.
16. **Malav, J. K., N. N. Salvi, J. K. Patel, J. R. Jat, S. Kumar, R. P. Pavaya, B. T. Patel and V. R. Patel**, 2019. Effect of iron and zinc enriched FYM on growth, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) in salt affected soils of gujarat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8 (6), 2960–2969.
17. **Mandrioli, M., G. M. Poggi, G. Cai, C. Faleri, M. Maccaferri, R. Tuberosa, I. Aloisi, T. G. Toschi and S. Corneti**, 2024. Lipids and fatty acid composition reveal differences between durum wheat landraces and modern cultivars. *Plants*, 13 (13), 1817.
18. **Menkinoska, M., I. Gjorgoski, S. Manasievska-Simic, V. Pavlova, Z. Popeska, V. Stanoev, T. Blazevska, H. Poposka, N. Gjorgovska and V. Levkov**, 2014. Influence of Fe-chelates on the soft wheat's quality. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 80-88.
19. **Menkinoska, M., V. Stanoev, V. Pavlova, T. Blazevska, V. Stamatovska and N. Gjorgovska**, 2017. Determination of some physical-chemical properties of biofortification soft wheat and flour of the varieties "Treska". *Journal of Engineering and Processing Management*, 9 (1), 33–35.
20. **Mirbolook, A., M. H. Rasouli-Sadaghiani, E. Sepehr, A. Lakzian and M. Hakimi**, 2021. Fortification of bread wheat with iron through soil and foliar application of iron-organic-complexes. *Journal of Plant Nutrition*, 44 (10), 1386–1403.
21. **Niyigaba, E., A. Twizerimana, I. Mugenzi, W. A. Ngnadong, Y. P. Ye, B. M. Wu and J. B. Hai**, 2019. Winter wheat grain quality, zinc and iron concentration affected by a combined foliar spray of zinc and iron fertilizers. *Agronomy*, 9 (5), 250.
22. **Oghbaei, M. and J. Prakash**, 2016. Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. *Cogent Food and Agriculture*, 2 (1), 1136015.
23. **Papageorgiou, M. and A. Skendi**, 2018. Introduction to Cereal Processing and By-Products. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*, Woodhead Publishing Elsevier, 1–25.
24. **Pareyt, B., S. M. Finnie, J. A. Putseys and J. A. Delcour**, 2011. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54 (3), 266–279.
25. **Plessis, A., C. Ravel, J. Bordes, F. Balfourier and P. Martre**, 2013. Association study of wheat grain protein composition reveals that gliadin and glutenin

composition are trans-regulated by different chromosome regions. *Journal of Experimental Botany*, 64 (12), 3627–3644.

26. Poole, N., J. Donovan and O. Erenstein, 2020. Viewpoint: Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. *Food Policy*, 16, 101976.

27. Ragae, S., K. Seetharaman and E. S. M. Abdel-Aal, 2014. The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (7), 837–849.

28. Ram, S., V. K. Malik, V. Gupta, S. Narwal, M. Sirohi, Ankush, V. Pandey, O. P. Gupta, A. K. Misra and G. Singh, 2024. Impact of foliar application of iron and zinc fertilizers on grain iron, zinc, and protein contents in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Nutrition*, 11, 1378937.

29. Roberts, D. P. and A. K. Mattoo, 2019. Sustainable crop production systems and human nutrition. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 72.

30. Shahbazi, F. and A. Nematollahi, 2019. Influences of phosphorus and foliar iron fertilization rate on the quality parameters of whole wheat grain. *Food Science and Nutrition*, 7 (2), 442–448.

31. Srivastav, P., C. B. B. Rao, T. R. Prakash and S. A. Hussain, 2020. Effect of agronomic biofortification of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars with iron on growth parameters and quality. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (5), 395–397.