

Сравнително въздействие на почвено и листното торене с желязо и цинк върху съдържанието на феноли, антиоксидантната активност и хранителните влакнини при пшеницата (*Triticum aestivum* L.)

Мария Менкиноска^{1*}, Александра Ангелеска², Живка Горанова³,
Ристо Узунов², Татяна Блажевска⁴, Ангелина Средовска Божинов⁵

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

²Университет „Св. Кирил и Методий“ в Скопие, Факултет по ветеринарна
медицина – Скопие, Република Северна Македония

³Институт по консервиране и качество на храните, Отдел „Хранителни
технологии“, бул. „Васил Априлов“ 154, 4000 Пловдив, България
Селскостопанска академия, 1373, София, България

⁴Университет „Св. Климент Охридски“, Факултет по технологични и
технически науки, ул. „Димитър Влахов“ б/н, 1400 Велес, Р. С. Македония

⁵Международен балкански университет, Факултет по дентална медицина, ул.
„Македонско-косовска бригада“ б/н, 1000 Скопие, Северна Македония

Comparative Effects of Soil and Foliar Iron and Zinc Fertilization on Phenolic Content, Antioxidant Activity and Dietary Fiber in Wheat (*Triticum aestivum* L.)

Marija Menkinoska^{1*}, Aleksandra Angeleska², Zhivka Goranova³,
Risto Uzunov², Tatjana Blazhevskaa⁴, Angelina Sredovska Bozhinov⁵

¹Faculty of Technology, Goce Delcev University, Goce Delcev 89, 2000 Stip, North
Macedonia

²Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Veterinary Medicine - Skopje,
Republic of North Macedonia

³Institute of Food Preservation and Quality, 1 Department of Food Technology, 54
Vasil Aprilov Blvd, 4000 Plovdiv, Bulgaria
Agricultural Academy of Bulgaria, 1373 Sofia, Bulgaria

⁴University “St. Climent Ohridski” Faculty of Technology and Technical Sciences
“Dimitar Vlahov” str. bb, 1400 Veles, R.N. Macedonia

⁵International Balkan University, Faculty of Dental Medicine Makedonsko-Kosovska
Brigada bb 1000, Skopje/North Macedonia

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

РЕЗЮМЕ

Агрономическото приложение на торове с желязо (Fe) и цинк (Zn) в хелатна форма представлява подход за модифициране на състава на пшеничното зърно. В това изследване са определени съдържанието на общи фенолни съединения (TP), антиоксидантният капацитет (CUPRAC) и суровите влакнини в зърното и брашното на два македонски сорта пшеница, третирани чрез почвено, почвено и листно, както и листно приложение наторове съдържащи Fe и Zn. Сортите мека пшеница (*Triticum aestivum* L.) „Треска“ и „Радика“ са отглеждани при еднакви полски условия.

В пробите от цели зърна съдържанието на общи феноли (TP) варира от 0.92 до 1.29 mg GAE g⁻¹ DW при сорт „Треска“ и от 0.94 до 1.23 mg GAE g⁻¹ DW при сорт „Радика“. Най-високата стойност на TP при „Треска“ е установена при почвено приложение на Fe (1.29 mg GAE g⁻¹ DW), докато при „Радика“ – при комбинирано почвено и листно приложение на Zn (1.23 mg GAE g⁻¹ DW). В пробите от брашно TP варира от 0.76 до 0.92 mg GAE g⁻¹ DW при „Треска“ и от 0.83 до 1.04 mg GAE g⁻¹ DW при „Радика“. Стойностите на антиоксидантния капацитет, определен по метода CUPRAC, в пробите от цяло зърно варират от 3.32 до 5.48 mmol TE g⁻¹ сухо вещество при сорта „Треска“ и от 3.82 до 5.07 mmol TE g⁻¹ сухо вещество при сорта „Радика“. В пробите от брашно стойностите варират съответно от 1.8 до 2.2 mmol TE g⁻¹ DW при „Треска“ и от 1.75 до 2.25 mmol TE g⁻¹ DW при „Радика“. Съдържанието на сурови влакнини в цялото зърно варира от 2.49 до 3.44% при „Треска“ и от 2.25 до 3.43% при „Радика“, докато в брашното то е съответно от 0.70 до 1.07% и от 0.58 до 1.38%. Приложението на хелатни

SUMMARY

The agronomic application of Fe and Zn-chelate fertilizers represents an approach for modifying wheat grain composition.

In this study, total phenolic compounds (TP), antioxidant capacity (CUPRAC) and crude fiber were determined in grain and flour of two Macedonian wheat varieties treated by soil, soil+foliar and foliar application of Fe and Zn fertilizers.

The bread wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) “Treska” and “Radika” were grown under the same field conditions.

In whole grain samples, TP content ranged from 0.92 to 1.29 mg GAE g⁻¹ DW in “Treska” and from 0.94 to 1.23 mg GAE g⁻¹ DW in “Radika”.

The highest TP value in “Treska” was obtained under soil Fe application (1.29 mg GAE g⁻¹ DW), while in “Radika” under combined soil+foliar Zn treatment (1.23 mg GAE g⁻¹ DW). In flour samples TP ranged from 0.76 to 0.92 mg GAE g⁻¹ DW in “Treska” and from 0.83 to 1.04 mg GAE g⁻¹ DW in “Radika”.

CUPRAC values in whole grain varied from 3.32 to 5.48 mmol TE g⁻¹ DW in “Treska” and from 3.82 to 5.07 mmol TE g⁻¹ DW in “Radika”. In flour samples values ranged from 1.8 to 2.2 mmol TE g⁻¹ DW in “Treska” and from 1.75 to 2.25 mmol TE g⁻¹ DW in “Radika”.

Crude fiber content in whole grain ranged from 2.49 to 3.44% in “Treska” and from 2.25 to 3.43% in “Radika”, while in flour it ranged from 0.70 to 1.07% and from 0.58 to 1.38%, respectively.

Fe- and Zn-chelate fertilizers influenced

торове, съдържащи желязо и цинк оказват влияние върху съдържанието на общи феноли, антиоксидантния капацитет и разпределението на влакнините в пшеничното зърно и брашно.

Ключови думи: пшеница, биофортификация, торене с желязо, торене с цинк, фенолно съдържание, антиоксидантна активност.

ВЪВЕДЕНИЕ

Пшеницата (*Triticum aestivum* L.) е една от най-важните зърнено-житни култури в световен мащаб и представлява основен хранителен продукт в много страни. Храните на зърнена основа са главен източник на енергия, протеини, витамини от група В и минерали за голяма част от световното население (Angeleska et al., 2021). В Република Северна Македония производството на пшеница се влияе от благоприятни географски условия и климат, съчетаващ континентални и средиземноморски характеристики, които подпомагат стабилния добив на зърнени култури. Същевременно факторите на околната среда, и по-специално тези, свързани с почвените характеристики, могат да окажат съществено влияние върху качеството и безопасността на културата (Angeleska et al., 2023).

В този контекст наличието на контаминанти като микотоксини в продуктите на зърнена основа представлява сериозен проблем за безопасността на храните. Това изисква прилагането на надеждни и чувствителни аналитични методи за тяхното откриване и количествено определяне (Stojanovska-Dimzoska et al., 2022), като по този начин се подчертава значението на задълбочената оценка на качеството на зърнените култури. Успоредно с аспектите на безопасността и качеството, все по-голямо внимание се

TP content, antioxidant capacity and fiber distribution in wheat grain and flour.

Keywords: wheat, biofortification, iron fertilization, zinc fertilization, phenolic content, antioxidant activity

INTRODUCTION

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereal crops worldwide and represents a staple food in many countries.

Cereal-based foods are a major source of energy, protein, B vitamins, and minerals for a large part of the global population (Angeleska et al., 2021).

In the Republic of North Macedonia, wheat production is influenced by favorable geographical conditions and a climate that combines continental and Mediterranean characteristics, which support stable cereal production.

In addition, environmental factors may also affect wheat quality and safety, particularly through soil-related influences (Angeleska et al., 2023).

In this context, the presence of contaminants such as mycotoxins in cereal-based products represents a significant food safety concern, requiring the application of reliable and sensitive analytical methods for their detection (Stojanovska-Dimzoska et al., 2022), thereby emphasizing the importance of detailed evaluation of cereal quality.

In parallel with aspects of safety and quality, increasing attention is also being paid to the nutritional composition of wheat.

обръща и на хранителния състав на пшеницата. Освен че е основен източник на въглехидрати и белтъчини пшеничното зърно, съдържа също минерални вещества и биоактивни съединения, които определят неговата хранителна стойност и качество (Shewry et al., 2015).

През последните години научните изследвания са насочени не само към повишаване на добива и безопасността на храните, но и към подобряване състава и качеството на зърното. Дефицитът на желязо (Fe) и цинк (Zn) остава сред най-разпространените проблеми, свързани с недостига на микроелементи в световен мащаб, особено в региони, където храненето е базирано предимно на зърнени култури (Cakmak and Kutman, 2018; Bouis et al., 2019). Тъй като пшеницата се консумира ежедневно в значителни количества, повишаването на концентрацията на микроелементи в нейното зърно чрез прилагане на агрономически практики представлява ефективен и практически приложим подход за подобряване на хранителната й стойност.

Агрономическата биофортификация (обогащаване) чрез почвено и/или листно торене се проучва широко като метод за повишаване на концентрациите на Fe и Zn в пшеничното зърно (Wani et al., 2022; Zou et al., 2012; Garg et al., 2018). Подобни резултати се съобщават и в предходни изследвания, при които торенето с желязни хелати оказва значително влияние върху качествените параметри на пшеницата (Menkinoska et al., 2014). Съвременните проучвания също така показват, че обезпечаването с микроелементи може да повлияе на физиологичните процеси, свързани с вторичния метаболизъм и синтеза на фенолни съединения (Khan et al., 2023; Şimon et al., 2026).

Wheat grain, besides being a major source of carbohydrates and proteins, also contains minerals and bioactive compounds that determine its nutritional quality (Shewry et al., 2015).

In recent years, research has focused not only on yield and food safety, but also on grain composition and quality.

Iron (Fe) and zinc (Zn) deficiencies remain among the most widespread micronutrient problems globally, particularly in regions where cereal-based diets dominate (Cakmak and Kutman, 2018; Bouis et al., 2019).

Since wheat is consumed daily in large quantities, improving its micronutrient concentration through agronomic practices represents a practical approach for enhancing its nutritional value.

Agronomic biofortification through soil and/or foliar fertilization has been widely investigated as a method for increasing Fe and Zn concentrations in wheat grain (Wani et al., 2022; Zou et al., 2012; Garg et al., 2018).

Similar results have been reported in previous studies, where Fe-chelate fertilization significantly affected wheat quality parameters (Menkinoska et al., 2014).

Recent studies also indicate that micronutrient supply may influence physiological processes related to secondary metabolism and the synthesis of phenolic compounds (Khan et al., 2023; Şimon et al., 2026).

Фенолните съединения са локализирани основно във външните слоеве на зърното и допринасят за неговия антиоксидантен капацитет, като натрупването им зависи от генотипа и условията на околната среда (Žilić et al., 2012). По време на технологичната преработка, и по-специално при смилането, значителна част от външните слоеве на зърното се отстранява, което води до промени в съдържанието на феноли и диетични влакнини (влакнини/фибри) в бялото брашно (Hemery et al., 2010; Brewer et al., 2024). Поради това оценката ефекта от различните схеми на торене трябва да обхваща както проби от цялото зърно, така и отделните фракции получени след преработката му в брашно..

В условията на местното производство информацията относно влиянието на торенето с Fe и Zn върху съдържанието на фенолни съединения, антиоксидантния капацитет и разпределението на влакнините в различните фракции на зърното все още е ограничена. Поради това настоящото изследване има за цел да оцени реакцията на два сорта пшеница към различни варианти на торене с Fe и Zn.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

1. Растителен материал и опитна постановка

Опитът беше изведен с два сорта мека (хлебна) пшеница (*Triticum aestivum* L.) – Треска и Радика, които спадат към групата на висококачествените хлебни пшеници. Изследването е част от по-мощно проучване, насочено към оценка на влиянието на торенето с микроелементи върху качеството на пшеницата.

Полският опит беше заложен в Опитното поле „Долно Лисиче“ към Земеделския институт в Скопие по

Phenolic compounds are mainly located in the outer grain layers and contribute to antioxidant capacity, while their accumulation depends on genotype and environmental conditions (Žilić et al., 2012).

During technological processing, especially milling, a substantial portion of the outer grain layers is removed, leading to changes in phenolic content and dietary fiber in white flour (Hemery et al., 2010; Brewer et al., 2024).

Therefore, evaluation of fertilization treatments should include both whole grain and flour fractions.

Under local production conditions, information regarding the influence of Fe and Zn fertilization on phenolic content, antioxidant capacity and fiber distribution in different grain fractions is still limited.

Therefore, this study aimed to evaluate the response of two wheat varieties to different fertilization treatments with Fe and Zn.

MATERIAL AND METHODS

1. Plant material and experimental design

The experiment was conducted on two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties, Treska and Radika, which belong to the group of high-quality bread wheat.

The experiment was conducted as part of a broader study investigating the effects of micronutrient fertilization on wheat quality.

The field experiment was carried out at the Agricultural Institute in Skopje, experimental field “Dolno Lisiche”, using

метода на латинския правоъгълник (рандомизиран блоков дизайн) в три повторения. площта на всяка опитната парцела е 30 m², а сеитбената норма – 600–650 кълняеми семена на m⁻². Всички варианти са отглеждани при еднакви агротехнически условия, като са приложени стандартни агротехнически практики..

В експеримента са включени седем варианта на торене: 1. Почвено внасяне на Fe, 2. Почвено + листно внасяне на Fe, 3. Листно внасяне на Fe, 4. Контрола (без торене с микроелементи), 5. Почвено внасяне на Zn, 6. Почвено + листно внасяне на Zn и 7. Листно внасяне на Zn.

2. Варианти на торене

Желязото и цинкът са приложени в хелатна форма (Fe-EDTA и Zn-EDTA). Почвеното внасяне е извършено преди сеитбата заедно с основното торене, докато листните третириания са проведени през различни фази от развитието на културата (вретене и изкласяване).

Основното торене включва внасяне на комбиниран тор NPK (9:15:15) в норма 200 kg ha⁻¹. Допълнителното азотно подхранване е извършено във фаза братене (160 kg ha⁻¹) и във фаза вретене (100 kg ha⁻¹). Листното подхранване с Fe и Zn е приложено в доза 1 kg ha⁻¹с помощта на гръбна пръскачка.

3. Характеристики на почвата

Агрохимичните характеристики на почвата в опитното поле (дълбочина 0–30 cm) са определени при еднакви агроекологични условия. Почвата е класифицирана като алувиална с алкална реакция. Основните химични показатели са: pH 8.1 (в H₂O), 6.68% CaCO₃, 3.34% хумус, 0.35% общ азот, 25.46 mg/100 g P₂O₅, 26.65 mg/100 g K₂O и 13.54 ppm усвояемо желязо (Fe).

4. Подготовка на пробите и смилане

Във фаза пълна зрялост

a randomized block design with three replications.

Plot size was 30 m², and sowing density was 600–650 viable seeds m⁻². Standard agronomic practices were applied uniformly to all treatments.

Seven fertilization treatments were applied: 1.Fe soil application, 2.Fe soil + foliar application, 3.Fe foliar application, 4.control (without micronutrient fertilization), 5.Zn soil application, 6.Zn soil + foliar application, and 7.Zn foliar application.

2. Fertilization treatments

Iron and zinc were applied in chelated form (Fe-EDTA and Zn-EDTA). Soil application was performed before sowing together with basal fertilization, while foliar treatments were applied at different growth stages (booting and heading).

Basal fertilization included NPK (9:15:15) at a rate of 200 kg ha⁻¹. Additional nitrogen was applied during tillering (160 kg ha⁻¹) and booting stage (100 kg ha⁻¹).

Foliar Fe and Zn were applied at a rate of 1 kg ha⁻¹ using a backpack sprayer.

3. Soil characteristics

Soil characteristics of the experimental field (0–30 cm depth) were determined under the same agro-ecological conditions. The soil was classified as alluvial with an alkaline reaction.

The main chemical properties were: pH 8.1 (H₂O), 6.68% CaCO₃, 3.34% humus, 0.35% total nitrogen, 25.46 mg/100 g P₂O₅, 26.65 mg/100 g K₂O and 13.54 ppm available Fe.

4. Sample preparation and milling

At full maturity, grain samples from

зърнените проби от всеки вариант бяха прибрани и почистени. Зърното беше смляно с помощта на лабораторна мелница (Brabender) за получаване на пълнозърнесто брашно и бяло брашно. Пробите са хомогенизирани и съхранявани до извършването на анализите.

5. Определяне на общото съдържание на феноли

Общото съдържание на феноли (TPC) е определено по метода на Фолин-Чокалтеу (Singleton et al., 1999). Абсорбцията беше измерена при дължина на вълната 760 nm, а резултатите са изразени като милиграм еквивалент на галова киселина на грам сухо вещество (mg GAE g⁻¹ DW).

6. Определяне на антиоксидантния капацитет (CUPRAC)

Антиоксидантният капацитет е оценен чрез метода CUPRAC (Apak et al., 2004). Абсорбцията беше измерена при 450 nm, а резултатите са изразени като ммол Тролокс еквивалент на грам сухо вещество (mmol TE g⁻¹ DW).

7. Определяне на сурови влакнини

Съдържанието на сурови влакнини е определено съгласно процедурите на AOAC (AOAC, 2016), базирани на киселинна и алкална деструкция. Резултатите са изразени като процент от сухото вещество.

8. Статистическа обработка на данните

Опитът е изведен в три повторения. Получените стойности представляват измерените данни от средни (композитни) зърнени проби за всеки вариант. Резултатите са анализирани чрез дескриптивна статистика, а за определяне на зависимостта между общото съдържание на феноли и антиоксидантния капацитет е приложен корелационен анализ на Пирсън.

each treatment were harvested and cleaned.

The grain samples were milled using a laboratory mill (Brabender) to obtain whole grain flour and white flour. The samples were homogenized and stored until analysis.

5. Determination of total phenolic content

Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin–Ciocalteu method (Singleton et al., 1999). Absorbance was measured at 760 nm, and results were expressed as mg gallic acid equivalents per g dry weight (mg GAE g⁻¹ DW).

6. Determination of antioxidant capacity (CUPRAC)

Antioxidant capacity was evaluated using the CUPRAC method (Apak et al., 2004).

Absorbance was measured at 450 nm, and results were expressed as mmol Trolox equivalents per g dry weight (mmol TE g⁻¹ DW).

7. Determination of crude fiber

Crude fiber content was determined according to AOAC procedures (AOAC, 2016) based on acid and alkaline digestion. Results were expressed as percentage of dry matter.

8. Data evaluation

The experiment was conducted in three replications. The obtained values represent measured data from composite grain samples of each treatment.

Results were evaluated using descriptive statistics, and Pearson correlation analysis was applied to assess the relationship between total phenolics and antioxidant capacity.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ ОБЩО СЪДЪРЖАНИЕ НА ФЕНОЛИ В ЦЯЛО ЗЪРНО И БЯЛО БРАШНО

Представените в Таблица резултати показват, че общото съдържание на феноли варира в зависимост от схемите на торене, както и между двата сорта пшеница.

В цялото зърно на сорт Треска най-висока стойност на фенолни съединения е отчетена при вариант 1 (1.2935 mg GAE g⁻¹ DW), докато контролата и няколко други варианта показват сходни нива. При този сорт третиранията, базирани на Fe, като цяло са базирани с по-високи стойности. За разлика от него, сорт Радика показва най-високо съдържание на феноли в цялото зърно при почвено внасяне на Zn (вариант 5), превишавайки контролата. Тези резултати показват, че двата генотипа реагират по различен начин на едни и същи третирания с микроелементи.

RESULTS AND DISCUSSION TOTAL PHENOLIC CONTENT IN WHOLE GRAIN AND WHITE FLOUR

The results presented in Table 1 show that total phenolic content varied among fertilization treatments and between the two wheat varieties.

In whole grain of Treska, the highest phenolic value was recorded in variant 1 (1.2935 mg GAE g⁻¹ DW), while the control and several other treatments showed similar levels.

Fe-based treatments were generally associated with higher values in this variety. In contrast, Radika showed the highest whole grain phenolic content under soil Zn application (variant 5), exceeding the control. These results indicate that the two genotypes responded differently to the same micronutrient treatments.

Table 1. Общо съдържание на феноли (mg GAE/g⁻¹ DW) в цяло зърно и бяло брашно от сортове пшеница Треска и Радика при различни варианти на торене

Table 1. Total phenolic content (mg GAE/g⁻¹ DW) in whole grain and white flour of wheat varieties Treska and Radika under different fertilization treatments

Общо съдържание на феноли (mg GAE/g ⁻¹ DW) / Total phenolic (mg GAE/g ⁻¹ DW)				
Вариант / Variant	Цяло зърно / Whole grain		Бяло брашно / White flour	
	Треска / Treska	Радика / Radika	Треска / Treska	Радика / Radika
1	1.2935	1.0371	0.7962	0.8936
2	0.9923	0.9385	0.7564	0.8333
3	0.9231	0.9333	0.8910	0.8859
4	0.9295	1.0333	0.8154	0.8538
5	0.9974	1.2308	0.8654	0.9038
6	1.1218	0.9628	0.8179	0.8641
7	1.0089	1.0526	0.9231	1.0423

Генотипно обусловената вариабилност при натрупването на фенолни съединения е широко документирана при меката пшеница.

Genotype-related variability in phenolic accumulation has been widely reported in bread wheat. Sardella et al. (2023) emphasize that genetic

Sardella et al. (2023) подчертават, че генетичният произход играе доминираща роля, докато факторите на околната среда и агротехниката допринасят за по-малки вариации. Подобни ефекти от торенето върху състава на зърното се съобщават в литературата (Cakmak and Kutman, 2018).

Общото съдържание на феноли е по-високо в цялото зърно, отколкото в бялото брашно и при двата сорта. Това намаление след смилането е свързано с локализцията на фенолните съединения във външните слоеве на зърното, особено във фракциите на триците и алеуроновия слой (Hemery et al., 2010; Žilić et al., 2012). В бялото брашно на сорт Радика като цяло са установени по-високи стойности на феноли в сравнение с Треска при повечето варианти, като най-висока стойност е отчетена при вариант 7 (1.0423 mg GAE g⁻¹ DW). Това показва наличие на разлики между сортовете по отношение на запазването на фенолните съединения след смилане, което е посочено и при други видове пшеница и зърнени фракции (Suchowilska et al., 2020; Khalid et al., 2023).

АНТИОКСИДАНТЕН КАПАЦИТЕТ (CUPRAC)

Антиоксидантният капацитет, определен чрез метода CUPRAC, показва вариабилност в зависимост от вариантите на торене и между двата сорта пшеница (Таблица 2).

При цялото зърно на сорт Треска най-висока антиоксидантна стойност е отчетена при вариант 1 (5.4816 mmol TE g⁻¹ DW), следван от вариант 3, докато най-ниска стойност е установена във вариант 4.. В сравнение с контролата, вариантите 1 и 3 показват по-висок антиоксидантен капацитет, индикира положителен отговор при торене с желязо, какъвто се съобщава и в предходни

background plays a dominant role, while environmental and agronomic factors contribute to smaller variations.

Similar effects of fertilization on grain composition have also been reported (Cakmak and Kutman, 2018).

Total phenolic content was higher in whole grain than in white flour in both varieties. This reduction after milling is related to the localization of phenolic compounds in the outer grain layers, especially in bran and aleurone fractions (Hemery et al., 2010; Žilić et al., 2012).

In white flour, Radika generally showed higher phenolic values compared to Treska across most treatments, with variant 7 having the highest value (1.0423 mg GAE g⁻¹ DW).

This indicates differences between the varieties in the retention of phenolic compounds after milling, which has also been reported in different wheat species and grain fractions (Suchowilska et al., 2020; Khalid et al., 2023).

ANTIOXIDANT CAPACITY (CUPRAC)

Antioxidant capacity determined by the CUPRAC method showed variation among fertilization treatments and between the two wheat varieties (Table 2).

In whole grain of Treska, the highest antioxidant value was recorded in variant 1 (5.4816 mmol TE g⁻¹ DW), followed by variant 3, while variant 4 showed the lowest value.

Compared to the control, variants 1 and 3 showed higher antioxidant capacity, indicating a positive response under Fe fertilization, which has also been reported in previous studies (Menkinoska et al.,

проучвания (Menkinoska et al., 2014).

При сорт Радика най-високата стойност в цяло зърно е отчетена при вариант 7 (5.0744 mmol TE g⁻¹ DW), следван от вариант 1. Вариант 5 също запазва сравнително висок антиоксидантен капацитет. Варианти 2 и 4 са с по-ниски стойности в сравнение с контролата. При сравнение на двата генотипа, Треска показва малко по-високи максимални стойности, докато Радика показва по-стабилни нива на антиоксиданти при отделните варианти.

Антиоксидантната активност при пшеницата до голяма степен е свързана с нейните фенолни съединения, по-специално с феруловата киселина, която е доминиращата фенолна киселина в пшеничното зърно (Leváková and Lacko-Bartošová, 2017).

2014).

In Radika, the highest whole grain value was recorded in variant 7 (5.0744 mmol TE g⁻¹ DW), followed by variant 1. Variant 5 also maintained relatively high antioxidant capacity.

Variants 2 and 4 were lower compared to the control. When comparing the two genotypes, Treska showed slightly higher maximum values, while Radika showed more stable antioxidant levels across treatments.

Antioxidant activity in wheat is largely associated with its phenolic compounds, particularly ferulic acid, which is the predominant phenolic acid in wheat grain (Leváková and Lacko-Bartošová, 2017).

Таблица 2. Антиоксидантен капацитет (CUPRAC, mmol TE g⁻¹ DW) в цяло зърно и бяло брашно от сортове пшеница Треска и Радика при различни варианти на торене

Table 2. Antioxidant capacity (CUPRAC, mmol TE g⁻¹ DW) in whole grain and white flour of wheat varieties Treska and Radika under different fertilization treatments

Капацитет за редуциране на медни йони като мярка за антиоксидантна способност (mmol TE g ⁻¹ DW) CUPRAC (mmol TE g ⁻¹ DW)				
Вариант / Variant	Цяло зърно / Whole grain		Бяло брашно / White flour	
	Треска / Treska	Радика / Radika	Треска / Treska	Радика / Radika
1	5.4816	4.5543	2.1044	1.7964
2	4.5783	3.8152	1.7861	1.8375
3	5.1086	4.0137	2.1831	1.7451
4	3.3191	3.9795	1.9025	1.9880
5	4.0274	4.3422	2.1967	2.2481
6	4.6775	3.9384	2.1728	1.8888
7	4.5133	5.0744	2.0941	2.2378

Получените стойности за CUPRAC попадат в диапазона, за европейската мека пшеница, където антиоксидантният капацитет се влияе основно от генотипа и условията на околната среда (Marcotuli et al., 2025; Di Silvestro et al., 2017). Подобна вариабилност при различни

The obtained CUPRAC values fall within the range reported for European bread wheat, where antioxidant capacity is mainly influenced by genotype and environmental conditions (Marcotuli et al., 2025; Di Silvestro et al., 2017).

агротехнически практики на торене е докладвана и в предходни изследвания (Hidalgo and Brandolini, 2017).

При бялото брашно антиоксидантният капацитет намалява и при двата сорта в сравнение с цялото зърно, което потвърждава ефекта от смилането. При брашното от сорт Треска най-висока стойност показва вариант 5, докато при брашното от сорт Радика по-високи стойности имат варианти 5 и 7. Радика като цяло запазва малко по-високи нива на антиоксиданти в брашното в сравнение с Треска, особено при комбинираните или листните третириания.

Тези разлики между цялото зърно и брашното съответстват на литературните данни, според които антиоксидантните съединения са концентрирани предимно във външните слоеве на зърното, които частично се отстраняват при смилането (Tomé-Sánchez et al., 2021; Sharma and Bhaskar, 2021).

Въпреки че общите феноли допринасят значително за антиоксидантния капацитет, стойностите не са пропорционални при различните варианти. Това предполага, че антиоксидантният потенциал се влияе не само от общото съдържание на феноли, но и от разликите във фенолния състав и взаимодействията в самата зърнена матрица (Leváková and Lacko-Bartošová, 2017).

Получените стойности за CUPRAC попадат в горния диапазон, съобщаван за меката пшеница, което може да се дължи на сортовите различия и на приложените варианти на торене с микроелементи (Marcotuli et al., 2025; Di Silvestro et al., 2017).

СУРОВИ ВЛАКНИНИ

Съдържанието на сурови влакнини показва ясни разлики между цялото зърно и бялото брашно и при

Similar variability under different fertilization practices has also been reported (Hidalgo and Brandolini, 2017).

In white flour, antioxidant capacity decreased in both varieties compared to whole grain, confirming the effect of milling.

In Treska flour, variant 5 showed the highest value, while in Radika flour variants 5 and 7 had higher values.

Radika generally maintained slightly higher antioxidant levels in flour compared to Treska, especially under combined or foliar treatments.

These differences between whole grain and flour are consistent with literature data showing that antioxidant compounds are mainly concentrated in the outer grain layers, which are partially removed during milling (Tomé-Sánchez et al., 2021; Sharma and Bhaskar, 2021).

Although total phenolics contribute significantly to antioxidant capacity, the values were not proportional across treatments.

This suggests that antioxidant potential is influenced not only by total phenolic content, but also by differences in phenolic composition and interactions within the grain matrix (Leváková and Lacko-Bartošová, 2017).

The obtained CUPRAC values fall within the upper range reported for bread wheat, which may be attributed to genotype differences and the applied micronutrient fertilization treatments (Marcotuli et al., 2025; Di Silvestro et al., 2017).

DIETARY FIBER

Dietary fiber content showed clear differences between whole grain and white flour in both varieties (Table 3),

двата сорта (Таблица 3), което потвърждава структурното разпределение на влакнините в рамките на пшеничното зърно.

При цялото зърно на сорт Треска стойностите на влакнините варират от 2.49% до 3.44%, като варианти 1, 3 и 5 показват най-високи нива (3.44%), докато при вариант 7 е установена най-ниска стойност (2.49%). Контролният вариант се намира в повисокия диапазон на измерените стойности..

При цялото зърно на сорт Радика съдържанието на влакнини варира от 2.25% до 3.43%. Най-висока стойност е отчетена при вариант 7 (3.43%), докато вариант 2 показва най-ниско ниво (2.25%). В сравнение с Треска, Радика показва по-голяма вариабилност между отделните третирания, особено при торенето с Zn.

confirming the structural distribution of fiber within the wheat kernel.

In whole grain of Treska, fiber values ranged from 2.49% to 3.44%, with variants 1, 3 and 5 showing the highest levels (3.44%), while variant 7 showed the lowest value (2.49%).

The control was within the higher range of the measured values.

In Radika whole grain, fiber content ranged from 2.25% to 3.43%. The highest value was recorded in variant 7 (3.43%), whereas variant 2 showed the lowest level (2.25%). Compared to Treska, Radika showed greater variation among treatments, especially under Zn fertilization.

Table 3. Съдържание на сурови влакнини (%) в цяло зърно и бяло брашно от сортове пшеница Треска и Радика при различни варианти на торене
Table 3. Dietary fiber content (%) in whole grain and white flour of wheat varieties Treska and Radika under different fertilization treatments

Сурови влакнини , % /Dietary fiber%				
Вариант / Variant	Цяло зърно / Whole grain		Бяло брашно / White flour	
	Треска / Treska	Радика / Radika	Треска / Treska	Радика / Radika
1	3.44	3.18	1.07	0.91
2	3.12	2.25	0.92	0.58
3	3.44	2.94	1.02	0.85
4	2.98	2.71	0.89	0.74
5	3.44	3.02	1.05	0.88
6	3.22	3.12	0.98	0.93
7	2.49	3.43	0.70	1.38

Съдържанието на влакнини намалява в бялото брашно и при двата сорта. При брашното от сорт Треска стойностите варират от 0.70% до 1.07%, докато при брашното от сорт

Fiber content decreased in white flour in both varieties.

In Treska flour, values ranged from 0.70% to 1.07%, while in Radika flour

Радика те са в диапазона от 0.58% до 1.38%, като отново най-висока стойност е отчетена при вариант 7.. Като цяло сортът Радика поддържа по-високи нива на влакнини в бялото брашно в сравнение с Треска,, което показва сортово влияние върху разпределението на влакнините след смилане.

По-високото съдържание на влакнини в цялото зърно в сравнение с бялото брашно е в съответствие с предходни проучвания, които показват, че фракциите на хранителните влакнини, по-специално арабиноксиланите и целулозата, са концентрирани във външните слоеве на зърното (Shewry and Hey, 2015; Suchowilska et al., 2020; Marcotuli et al., 2022).

Въпреки че абсолютните стойности са по-ниски поради методологични разлики, относителното разпределение между цялото зърно и брашното е в съответствие с предходно докладвани данни.

Генотипно обусловени разлики в състава и разпределението на влакнините също се съобщават в литературата (Marcotuli et al., 2025). По-високото съдържание на влакнини в брашното от сорт Радика може да е свързано по-скоро със сортовите характеристики, отколкото с директен ефект от торенето.

Въпреки че торенето с микроелементи не е свързано пряко с промени в състава на влакнините, някои проучвания предполагат, че минералното хранене може да повлияе на метаболизма на клетъчната стена по време на развитието на зърното (Marcotuli et al., 2022). В настоящото изследване се наблюдава само умерена вариационност между отделните варианти, като генотипът се откроява като основен фактор, определящ разпределението на влакнините.

they ranged from 0.58% to 1.38%, with variant 7 again showing the highest value.

Radika generally maintained higher fiber levels in white flour compared to Treska, indicating varietal influence on fiber distribution after milling.

The higher fiber content in whole grain compared to white flour is consistent with previous studies showing that fiber fractions, particularly arabinoxylans and cellulose, are concentrated in the outer grain layers (Shewry and Hey, 2015; Suchowilska et al., 2020; Marcotuli et al., 2022).

Although absolute values were lower due to methodological differences, the relative distribution between whole grain and flour was consistent with previously reported data.

Genotype-dependent differences in fiber composition and distribution have also been reported (Marcotuli et al., 2025). The slightly higher fiber retention in Radika flour under certain treatments may therefore be related to varietal characteristics rather than a direct fertilization effect.

Although micronutrient fertilization is not directly associated with changes in fiber composition, some studies suggest that mineral nutrition may influence cell wall metabolism during grain development (Marcotuli et al., 2022).

In this study, only moderate variation among treatments was observed, while genotype appeared to be the main factor affecting fiber distribution.

ВЗАИМООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ОБЩИ ФЕНОЛИ И АНТИОКСИДАНТЕН КАПАЦИТЕТ

Връзката между общото съдържание на феноли и антиоксидантния капацитет е представена на Фигура 1. Установена е положителна корелация ($r = 0.764$), което показва, че по-високото съдържание на фенолни съединения като цяло се свързва с по-висок антиоксидантен капацитет.

Пробите с по-високо съдържание на феноли в цялото зърно, по-специално при варианти 1 и 5 в зависимост от генотипа, също показват по-високи стойности за CUPRAC. Въпреки това, зависимостта не е пропорционална във всички случаи, което предполага, че антиоксидантният капацитет се влияе от комбинирания ефект на няколко компонента на зърното.

Подобни корелации между общите феноли и антиоксидантната активност са съобщавани при меката пшеница (Menga et al., 2023; Eliášová et al., 2017). Тези проучвания показват, че фенолните съединения имат съществен принос към вариационността на антиоксидантната активност. В допълнение към общите феноли, фактори като фракциите на свързаните феноли и взаимодействията в зърнената матрица също влияят върху антиоксидантния капацитет (Adom and Liu, 2002; Beta et al., 2005). Допълнително е установено, че зърнената фракция и преработката влияят върху силата на тази зависимост (Hemery et al., 2007).

В проучванията върху агрономическото биофортификация се съобщава, че торенето с микроелементи може да бъде свързано с промени в съдържанието на феноли и антиоксидантната активност, въпреки че генотипът остава основният определящ фактор

RELATIONSHIP BETWEEN TOTAL PHENOLICS AND ANTIOXIDANT CAPACITY

The relationship between total phenolic content and antioxidant capacity is presented in Figure 1.

A positive correlation was observed ($r = 0.764$), indicating that higher phenolic content was generally associated with higher antioxidant capacity.

Samples with higher phenolic content in whole grain, particularly in variants 1 and 5 depending on genotype, also showed higher CUPRAC values.

However, the relationship was not proportional in all cases, suggesting that antioxidant capacity is influenced by the combined effect of several grain components.

Similar correlations between total phenolics and antioxidant activity have been reported in bread wheat (Menga et al., 2023; Eliášová et al., 2017). These studies indicate that phenolic compounds contribute significantly to antioxidant variability.

In addition to total phenolics, factors such as bound phenolic fractions and interactions within the grain matrix also influence antioxidant capacity (Adom and Liu, 2002; Beta et al., 2005). Furthermore, grain fraction and processing have been shown to affect the strength of this relationship (Hemery et al., 2007).

In studies on agronomic biofortification, it has been reported that micronutrient fertilization may be associated with changes in phenolic content and antioxidant activity, although genotype remains the main factor (Anim et al., 2025; Velu et al., 2018; Kovačević Babić et al., 2024).

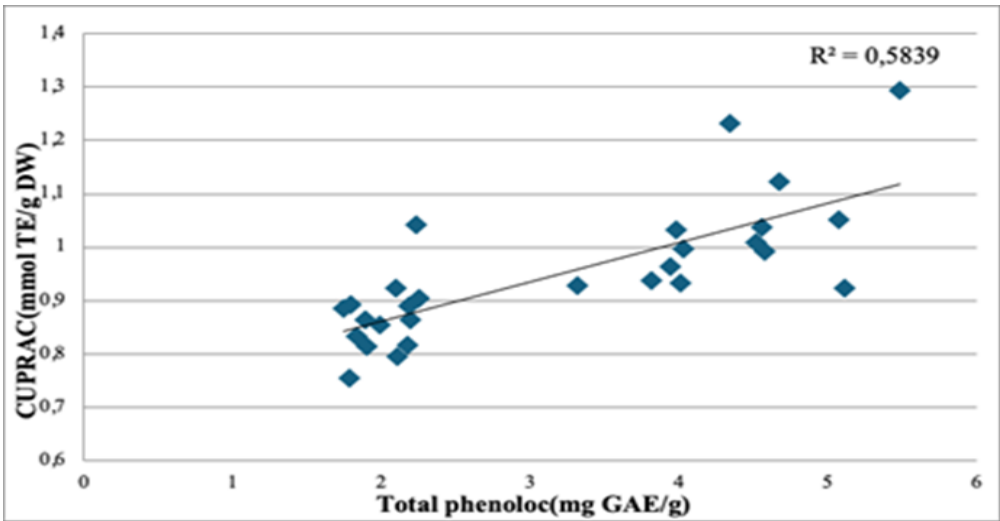
(Anim et al., 2025; Velu et al., 2018; Kovačević Babić et al., 2024).

Наблюдаваната корелация съответства на съобщаваните по-рано резултати.

В обобщение резултатите потвърждават, че фенолните съединения играят ключова роля при определянето на антиоксидантния капацитет при пшеницата, като същевременно показват, че антиоксидантният потенциал зависи от цялостния състав на зърното, а не от единичен показател.

The observed correlation is consistent with previously reported results.

Overall, the results confirm that phenolic compounds play a key role in determining antioxidant capacity in wheat, while indicating that antioxidant potential depends on overall grain composition rather than a single parameter.



Фиг. 1. Пиърсънова корелация (Pearson correlation) между общото съдържание на феноли и антиоксидантния капацитет (CUPRAC).

Fig. 1. Pearson correlation between total phenolic content and antioxidant capacity (CUPRAC)

ИЗВОДИ

Торенето с минерални вещества оказва влияние върху общото съдържание на феноли, антиоксидантния капацитет и сурови влакнини и при двата сорта пшеница. Реакцията се различава между сортовете Треска и Радика, което подчертава силното влияние на генотипа върху биохимичните характеристики на зърното и брашното.

CONCLUSIONS

Micronutrient fertilization influenced total phenolic content, antioxidant capacity and dietary fiber in both wheat varieties.

The response differed between Treska and Radika, showing the strong effect of genotype on the biochemical characteristics of grain and flour.

Пробите от цяло зърно показват по-високо съдържание на феноли и по-висок антиоксидантен капацитет в сравнение с бялото брашно, което демонстрира ефекта от смилането върху разпределението на биологично активните съединения. Сорт Радика като цяло запазва по-високи нива на фенолни съединения и антиоксидантен капацитет в бялото брашно.

Относително високите стойности на антиоксидантна активност, установени в настоящото изследване, показват потенциала на микроелементното торене за подобряване на функционалното качество на пшеницата при специфични агроекологични условия.

Установена е положителна корелация между общите феноли и антиоксидантния капацитет, което подкрепя ролята на фенолните съединения при определянето на антиоксидантния потенциал на пшеницата.

Получените резултати показват, че комбинирането на подходящи стратегии за торене с правилен подбор на сортовете може да подобри качеството на зърното, особено при алкални почвени условия..

Whole grain samples showed higher phenolic content and antioxidant capacity compared to white flour, demonstrating the effect of milling on the distribution of bioactive compounds. Radika generally retained higher levels of phenolic compounds and antioxidant capacity in white flour.

The relatively high antioxidant values observed in this study indicate the potential of micronutrient fertilization to enhance the functional quality of wheat under specific agro-ecological conditions.

A positive correlation between total phenolics and antioxidant capacity was observed, supporting the role of phenolic compounds in determining antioxidant potential in wheat.

The results suggest that combining appropriate fertilization strategies with varietal selection can improve grain quality, particularly under alkaline soil conditions.

ЛИТЕРАТИРА / REFERENCES

1. **Adom, K. K. and R. H. Liu,** 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (21), 6182–6187. <https://doi.org/10.1021/jf0205099>
2. **Andersson, A. A. M., L. Dimberg, P. Åman and R. Landberg,** 2014. Recent findings on certain bioactive components in whole grain wheat and rye. *Journal of Cereal Science*, 59 (3), 294–311. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.003>
3. **Angeleska, A., R. Crceva Nikolovska, E. Dimitrieska Stojkovik, B. Dimzoska Stojanovska, R. Uzunov and S. Georgievski,** 2023. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural soil and transfer in wheat in the region of North Macedonia. *Agrofor International Journal*, 8 (3), 96–105
4. **Angeleska, A., R. Uzunov, R. Crceva-Nikolovska, E. Dimitrieska-Stojkovikj, K. Blagoevska and B. Stojanovska-Dimzoska,** 2021. Analysis of wheat production in the Republic of North Macedonia from 2016–2019. *Ekonomika poljoprivrede*, 68 (3), 675–686. <https://doi.org/10.5937/ekoPolj2103675A>
5. **Anim, A. O., H. E. Lutterodt, C. W. Ofori, I. Oduro-Boateng, J. A. Bonsu, G. M. Ankar-Brewoo, L. N. E. Aduku, C. Apprey and R. A. Annan,** 2025. The

impact of agricultural practices on food composition: A systematic review. *Journal of Food Composition and Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108388>

6. **AOAC**, 2016. Official Methods of Analysis (20th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC

7. **Apak, R., K. Güçlü, M. Ozyürek and S. E. Karademir**, 2004. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (26), 7970–7981. <https://doi.org/10.1021/jf048741x>

8. **Beta, T., S. Nam, J. E. Dexter and H. D. Sapiirstein**, 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chemistry*, 82 (4), 390–393. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0390>

9. **Bouis, H. E., A. Saltzman, E. Birol, D. Wiesmann and J. V. Meenakshi**, 2019. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Global Food Security*, 23, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.02.005>

10. **Brewer, L. R., J. Kubola, S. Siriamornpun and Y.-C. Shi**, 2024. Distribution of antioxidants and phenolic compounds in flour milling fractions from hard red winter wheat. *Grain and Oil Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2024.04.001>

11. **Cakmak, I. and U. B. Kutman**, 2018. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69, 172–180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>

12. **Di Silvestro, R., A. Di Loreto, S. Bosi, V. Bregola, I. Marotti, S. Benedettelli, A. Segura-Carretero and G. Dinelli**, 2017. Environment and genotype effects on antioxidant properties of organically grown wheat varieties: A 3-year study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 641–649. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7782>

13. **Eliášová, M., and L. Paznocht**, 2017. Total phenolic content and antioxidant activity of tritordeum, wheat and barley. *Agronomy Research*, 15 (2), 1287–1294

14. **Garg, M., N. Sharma, S. Sharma, P. Kapoor, A. Kumar, V. Chunduri and P. Arora**, 2018. Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and Transgenic Approaches Are Improving Lives of Millions of People around the World. *Frontiers in Nutrition*, 5 (12). <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>

15. **Hemery, Y., X. Rouau, V. Lullien-Pellerin, C. Barron and J. Abecassis**, 2007. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46 (3), 327–347. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.008>

16. **Hemery, Y. M., N. M. Anson, R. Havenaar, G. R. M. M. Haenen, M. W. J. Noort and X. Rouau**, 2010. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. *Food Research International*, 43 (5), 1429–1438. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.013>

17. **Hidalgo, A. and A. Brandolini**, 2017. Nitrogen fertilisation effects on technological parameters and carotenoid, tocol and phenolic acid content of einkorn. *Journal of Cereal Science*, 73, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.11.002>

18. **Khalid, A., A. Hameed and M. F. Tahir**, 2023. Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1053196. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>

19. **Khan, M. R., M. S. Akram, J. F. Moonmoon, M. M. A. Tarafder, M. H.**

- Rahman, S. Das, J. Skalicka, M. Skalicky and A. Hossain**, 2023. Soil and foliar zinc application techniques influence the productivity, zinc concentration, and protein content in the grains of bread wheat varieties. *Acta Agrobotanica*, 76, 1–13. <https://doi.org/10.5586/aa/173425>
- 20. Kovačević Babić, M., D. Horvat, D. Novoselović, F. Horvat and K. Dvojkočić**, 2024. Phenolic acids accumulation and their antioxidant potential in wheat cultivars under the reduced and optimal nitrogen levels. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 16 (2), 209–217. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2024.16.2.03>
- 21. Leváková, L. and M. Lacko-Bartošová**, 2017. Phenolic acids and antioxidant activity of wheat species: A review. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 63 (3), 92–101. <https://doi.org/10.1515/agri-2017-0009>
- 22. Marcotuli, I., P. Colasuonno, Y. S. Y. Hsieh, G. B. Fincher and A. Gadaleta**, 2022. Non-starch polysaccharides in durum wheat: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23 (3), 1260. <https://doi.org/10.3390/ijms23031260>
- 23. Marcotuli, I., F. Vurro, A. Mores, A. Pasqualone, P. Colasuonno, P. Cabas-Lühhmann, A. R. Schwember and A. Gadaleta**, 2025. Genetic Study of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity Traits in Tetraploid Wheat via Genome-Wide Association Mapping. *Antioxidants*, 14 (9), 1048. <https://doi.org/10.3390/antiox14091048>
- 24. Menkinoska, M., I. Gjorgoski, S. Manasievska-Simic, V. Pavlova and Z. Popeska**, 2013. The influence of Fe-chelates fertilizers on the soft wheat's quality. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3 (4), 80–88.
- 25. Menga, V., V. Giovanniello, M. Savino, A. Gallo, S. A. Colecchia, V. De Simone, S. Zingale and D. B. M. Ficco**, 2023. Comparative analysis of qualitative and bioactive compounds of whole and refined flours in durum wheat grains. *Plants*, 12 (6), 1350. <https://doi.org/10.3390/plants12061350>
- 26. Rehman, A., M. Farooq, M. Naveed, A. Nawaz and B. Shahzad**, 2023. Agronomic biofortification of wheat with micronutrients: Effects on yield and grain quality. *Agronomy*, 13, 1–15.
- 27. Sardella, C., B. Burešová, Z. Kotíková, P. Martinek, R. Meloni, L. Paznocht, F. Vanara and M. Blandino**, 2023. Influence of agronomic practices on the antioxidant compounds of pigmented wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02592>
- 28. Sharma, M. and P. Bhaskar**, 2021. Phenolic compounds in whole-grains of wheat: A review. *Trends in Applied Biology and Chemistry Journal*. <https://doi.org/10.52679/tabcj.2021.0003>
- 29. Shewry, P. R. and S. J. Hey**, 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4 (3), 178–202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>
- 30. Singleton, V. L., R. Orthofer and R. M. Lamuela-Raventós**, 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- 31. Stamatovska, V., T. Kalevska, M. Menkinoska, G. Nakov, Z. Uzunoska and L. Mitkova**, 2017. Correlations between quality of flour T-500 characteristics and bread volume. *Food and Environment Safety*, 15 (1), 46–54.
- 32. Suchowilska, E., T. Bieńkowska, K. Stuper-Szablewska and M. Wiwart**, 2020. Concentrations of phenolic acids, flavonoids and carotenoids. *Agriculture*, 10 (12), 591. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120591>

33. Şimon, A., O. A. Ceclan, F. Cheţan, A. Popa, M. Bărdaş, L. Şopterean and A.-M. Vălean, 2026. Influence of preceding crops and fertilization strategies on wheat performance. *Nitrogen*, 7 (1), 21. <https://doi.org/10.3390/nitrogen7010021>
34. Šimić, G., A. Lalić, D. Horvat, M. Viljevac Vuletić, K. Dvojković, M. Jukić, J. Lukinac and I. Abičić, 2025. Genotypic, environmental, and processing effects on phenolic content. *Plants*, 14 (11), 1664. <https://doi.org/10.3390/plants14111664>
35. Tomé-Sánchez, I., A. B. Martín-Diana, E. Peñas, J. Frias, D. Rico, I. Jiménez-Pulido and C. Martínez-Villaluenga, 2021. Bioprocessed Wheat Ingredients. *Frontiers in Plant Science*, 12, 790898. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.790898>
36. Velu, G., I. Ortiz-Monasterio, I. Cakmak, Y. Hao and R. P. Singh, 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *Journal of Cereal Science*, 59 (3), 365–372.
37. Velu, G., R. P. Singh, J. Huerta-Espino, R. J. Peña and B. Arun, 2018. Genetic improvement of grain zinc and iron concentrations in wheat. *Field Crops Research*, 125, 61–70.
38. Wani, S. H., K. Gaikwad, A. Razzaq, K. Samantara, M. Kumar and V. Govindan, 2022. Improving Zinc and Iron Biofortification in Wheat through Genomics Approaches. *Molecular Biology Reports*, 49 (8), 8007–8023. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07326-z>
39. Zilić, S., A. Serpen, G. Akıllıoğlu, V. Gökmen and J. Vančetović, 2012. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (5), 1224–1231. <https://doi.org/10.1021/jf204367z>
40. Zou, C., Y. Zhang, A. Rashid, H. Ram, E. Savasli, R. Z. Arisoy, I. Ortiz-Monasterio, S. Simunji, Z. Wang, V. Sohu, M. Hassan, Y. Kaya, O. Onder, O. Lungu and I. Cakmak, 2012. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries. *Plant and Soil*, 361 (1), 119–130.