



УДК 581.19:633.1

DOI: <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2022-1-1-3>

Вплив передпосівної обробки насіння на вміст продуктів окислення ліпідів, вітамінів та активність антиоксидантних ензимів в зерні озимого жита

Антон Куриленко, Олена Кучменко

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Ніжин, Україна

Адреса для листування: kuchmeh@yahoo.com

Отримано: 23.02.22; прийнято до друку: 15.05.21; опубліковано: 30.06.22

Резюме. Матеріалом дослідження було насіння озимого жита (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин: вітамін Е (10^{-8} М), параоксibenзойна кислота (ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), убіхінон-10 (10^{-8} М) і $MgSO_4$ (0,001%), які використовували в таких поєднаннях – вітамін Е+ПОБК+метіонін, вітамін Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$, вітамін Е+убіхінон-10. В зерні озимого жита сорту Синтетик 38 та Забава вперше продемонстровано ефективність композицій вітамін Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$ та вітамін Е+убіхінон-10 щодо збільшення вмісту аскорбінової кислоти та каротиноїдів, зменшення активності каталази та аскорбатпероксидази та вмісту продуктів вільнорадикального окислення ліпідів. Найбільш ефективно в цьому плані продемонструвала композиція Е+ПОБК+метіонін+ $MgSO_4$.

Ключові слова: озиме жито, передпосівна обробка, вітамін Е, убіхінон-10, параоксibenзойна кислота, метіонін, $MgSO_4$, вітаміни, антиоксидантні ензими, продукти окислення ліпідів.

The influence of presowing treatment on the content of lipid oxidation products, vitamins and the activity of antioxidant enzymes in winter rye grain

Anton Kurylenko, Olena Kuchmenko

Nizhyn Gogol State University, Nizhyn, Ukraine

Correspondence: kuchmeh@yahoo.com

Abstract. Winter rye is a promising crop for the Polissya region of Ukraine, so the search for and development of effective and safe approaches to stimulate the growth and development of this crop is relevant. The material of the study was the seeds of winter rye (*Secale cereale* L.) varieties Synthetic 38 and Zabava, and compositions of metabolically active substances: vitamin E (10^{-8} M), peroxybenzoic acid (POBA) (0,001%), methionine (0,001%), ubiquinone-10 (10^{-8} M) and $MgSO_4$ (0,001%), which were used in the following compositions – vitamin E+POBA+methionine, vitamin E+POBA+methionine+ $MgSO_4$, vitamin E+ubiquinone-10. For the first time, presowing treatment of seeds with the studied compositions was performed and research was carried out on the content of products of free radical oxidation of lipids, antioxidant vitamins, and activity of antioxidant enzymes in the grain of winter rye varieties Syntetyk 38 and Zabava. The effectiveness of vitamin E+POBA+methionine+ $MgSO_4$ and vitamin E+ubiquinone-10 compositions in increasing the content of low-molecular-weight antioxidant vitamins (ascorbic acid and carotenoids), reducing the activity of antioxidant enzymes (catalase and ascorbate peroxidase) and the content of lipid free radical oxidation products was demonstrated in winter rye grains of the Sintetyk 38 and Zabava varieties. The vitamin E+POBA+methionine+ $MgSO_4$ composition demonstrated the most effectiveness in this regard. The demonstrated increase in the content of antioxidants in winter rye grain can increase the nutritional value of products made from this grain. In addition, the demonstrated changes in the activity of the components of the pro- and antioxidant systems may indicate that the grain is more deeply in a state of rest after presowing seed treatment with the studied compositions.

Keywords: winter rye, presowing treatment, vitamin E, ubiquinone-10, peroxybenzoic acid, methionine, $MgSO_4$, vitamins, antioxidant enzymes, lipid oxidation products.

ВСТУП

Озиме жито – одна з найпоширеніших зернових культур у більшості країн Європи, зокрема і в Україні, завдяки своїм біологічним особливостям, зокрема, високій адаптивній здатності, морозостійкості, меншій вимогливості до вологості тощо [1]. Зерно жита містить значну кількість компонентів з антиоксидантними властивостями, що також зумовлює позитивний вплив продуктів із зерна жита на організм людини [2; 3]. Зерно жита є важливим джерелом багатьох компонентів, таких як клітковина, алкілрезорциноли, фолати, токоли, фенольні кислоти, стероли тощо [4–6].

Серед перспективних напрямів сучасних агротехнологій виділяють використання біологічних препаратів та стимуляторів росту, що мають комплексний вплив на ріст і розвиток [7; 8]. Одним із ефективних способів впливу на процеси росту та розвитку рослини, формуванню стійкості до різноманітних стресових факторів зовнішнього середовища, включаючи хімічні, фізичні та біологічні, є саме передпосівна обробка насіння препаратами біологічно активних речовин.

Метою дослідження є оцінка впливу передпосівної обробки насіння озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава композиціями метаболічно активних речовин на вміст продуктів перекисного окислення ліпідів, вітамінів та активність антиоксидантних ензимів в зерні озимого жита.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Матеріалом дослідження було насіння озимого жита (*Secale cereale* L.) сортів Синтетик 38 і Забава та композиції метаболічно активних речовин: вітамін Е (10^{-8} М), параоксibenзойна кислота (ПОБК) (0,001%), метіонін (0,001%), убіхінон-10 (10^{-8} М) і $MgSO_4$ (0,001%).

Сорт Синтетик 38 (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2006) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, зимостійкість вище середньої; має високий потенціал урожайності (максимальна врожайність – 79,8 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, довгий колос та високе стебло (115-120 см), вегетаційний період складає 282–305 діб.

Сорт Забава (заявник – Носівська селекційно-дослідна станція Чернігівського Інституту АПВ НААНУ, рік реєстрації – 2010) – зернового та кормового напрямку, озимий, стійкий до вилягання, засухи, осипання, має високий потенціал урожайності (44,5 ц/га), добре реагує на мінеральне живлення, високостійкий до грибкових захворювань, має крупне зерно, колос напівпохилий, середньої довжини, нецільний, висота рослини 115–120 см.

Польові досліді проводили на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського

державного університету імені Миколи Гоголя впродовж 2019–2021 років.

Схема досліджень передбачала 4 варіанти:

1. Контроль (необроблене насіння).
2. Насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксibenзойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) (ЕПМ).
3. Насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксibenзойна кислота (0,001%) + метіонін (0,001%) + $MgSO_4$ (0,001%) (ЕПММg).
4. Насіння, оброблене композицією речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (10^{-8} М) (EQ).

Після обробки композиціями метаболічно активних речовин насіння озимого жита висівали рядковим способом. Грунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний.

Для визначення вмісту загальних каротиноїдів проводили їх екстракцію 95% етанолом та подальше спектрофотометричне вимірювання при довжині хвилі 450 нм [9]. Вміст продуктів окислення ліпідів (ТБК-позитивних продуктів) визначали за накопиченням продуктів, що реагують з 2-тіобарбітуровою кислотою (ТБК) спектрофотометрично (довжина хвилі 532 нм) та розраховували з урахуванням коефіцієнта молярної екстинції $156 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [10]. Вміст аскорбінової кислоти визначали спектрофотометрично (довжина хвилі 265 нм) та розраховували з урахуванням коефіцієнта молярної екстинції $1,655 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [11]. Активність аскорбатпероксидази (ЕС 1.11.1.11) визначали спектрофотометрично (довжина хвилі 290 нм) та розраховували з урахуванням коефіцієнта молярної екстинції $2,8 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [12]. Активність каталази (ЕС 1.11.1.6) визначали спектрофотометрично (довжина хвилі 410 нм) та розраховували з урахуванням коефіцієнта молярної екстинції $22200 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [13].

Статистичну обробку матеріалу проводили із застосуванням методів математичної статистики шляхом використання стандартних вбудованих редакцій пакета спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel 2010. Для перевірки статистичних гіпотез використовували t-критерій Стьюдента. Числові дані представлені у формі середньої величини зі стандартною помилкою ($M \pm m$). Достовірними вважали відмінності за рівня значущості $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

За результатами досліджень встановлено, що вміст продуктів вільнорадикального окислення ліпідів в зерні озимого жита обох досліджуваних сортів знижується порівняно з контролем (табл. 1–2). Так, достовірне зниження ($p < 0,05$) в зерні озимого жита сорту Синтетик 38 спостерігається в групах передпосівної обробки насіння композиціями ЕПММg і EQ відповідно на 8% і 8%. В зерні озимого жита сорту Забава також у групах передпосівної обробки насіння композиціями ЕПММg і EQ вміст продуктів вільнорадикального окислення ліпідів достовірно знижується ($p < 0,05$) відповідно на 10% і 9%. При цьому спостерігаються зміни функціональної

активності антиоксидантної системи, як ферментної, так і неферментної ланки. Вміст аскорбінової кислоти (табл. 1–2) в зерні озимого жита зростає: в зерні сорту Синтетик 38 достовірно в групах ЕПММгі EQ відповідно на 11% і 10%, в зерні сорту Забава – в групі ЕПММг на 10% порівняно з контролем ($p < 0,05$). Вміст загальних каротиноїдів (табл. 1–

2) в зерні озимого жита також збільшується: в зерні сорту Синтетик 38 спостерігається достовірно збільшення у групах ЕПМ, ЕПММгі EQ відповідно на 7%, 39% і 7%, а в зерні сорту Забава – в групі ЕПММг на 25% порівняно з контролем ($p < 0,05$).

Таблиця 1

Вміст продуктів вільнорадикального окислення ліпідів, вітамінів та активність антиоксидантних ензимів в зерні озимого жита сорту Синтетик за передпосівної обробки композиціями метаболічно активних речовин, 2019–2021 рр.

| | Контроль | ЕПМ | ЕПММг | EQ |
|---|------------|-------------|-------------|-------------|
| ТБК-позитивні продукти, мкмоль/г сирової маси | 10,98±0,56 | 11,72±0,33 | 10,01±0,21* | 10,11±0,46* |
| Аскорбінова кислота, ммоль/г сирової маси | 9,85±0,31 | 10,04±0,29 | 10,90±0,50* | 10,84±0,15* |
| Активність аскорбатпероксидази, мкмольаскорбата/г сирової маси за хв. | 0,47±0,02 | 0,44±0,04 | 0,41±0,03* | 0,42±0,03* |
| Активність каталази, мккат/г сирової маси | 2,07±0,09 | 1,99±0,08 | 1,64±0,08* | 1,50±0,14* |
| Сумарні каротиноїди, мг/г сирової маси | 54,46±0,99 | 58,18±1,58* | 75,65±1,77* | 58,37±1,46* |

Примітки: * - достовірно порівняно з контролем, $p < 0,05$.

Активність антиоксидантних ензимів – каталази й аскорбатпероксидази, в зерні озимого жита обох сортів знижується (табл. 1–2). В зерні озимого жита сорту Синтетик 38 активність каталази достовірно знижується в групах передпосівної обробки композиціями ЕПММгі EQ відповідно на 21% і 28%,

а в зерні сорту Забава – в групі ЕПММг на 24% порівняно з контролем ($p < 0,05$). Активність аскорбатпероксидази в зерні озимого жита сорту Синтетик 38 достовірно знижується в групах ЕПММгі EQ відповідно на 13% і 11%, а в зерні сорту Забава – в групі EQ на 10% порівняно з контролем ($p < 0,05$).

Таблиця 2

Вміст продуктів вільнорадикального окислення ліпідів, вітамінів та активність антиоксидантних ензимів в зерні озимого жита сорту Забава за передпосівної обробки композиціями метаболічно активних речовин, 2019–2021 рр.

| | Контроль | ЕПМ | ЕПММг | EQ |
|---|------------|------------|-------------|------------|
| ТБК-позитивні продукти, мкмоль/г сирової маси | 9,07±0,32 | 8,73±0,44 | 8,18±0,44* | 8,22±0,44* |
| Аскорбінова кислота, ммоль/г сирової маси | 8,61±0,22 | 9,09±0,15 | 9,46±0,22* | 9,33±0,58 |
| Активність аскорбатпероксидази, мкмольаскорбата/г сирової маси за хв. | 0,58±0,02 | 0,55±0,02 | 0,52±0,04 | 0,52±0,03* |
| Активність каталази, мккат/г сирової маси | 1,36±0,13 | 1,38±0,12 | 1,03±0,19* | 1,15±0,09 |
| Сумарні каротиноїди, мг/г сирової маси | 32,45±1,92 | 34,75±3,30 | 40,64±1,84* | 36,80±1,93 |

Примітки: * - достовірно порівняно з контролем, $p < 0,05$.

ОБГОВОРЕННЯ

На характеристики зерна значним чином можуть впливати різноманітні агропідходи [14]. Зокрема, стимулятори росту здатні сприяти збільшенню біомаси, оптимізувати зростання рослин, скорочувати вегетаційний період, активізувати фотосинтетичні процеси тощо [14; 15]. В цій роботі

досліджуємо композиції метаболічно активних сполук, які є природними метаболітами. В наших дослідженнях продемонстровано, що передпосівна обробка насіння озимого жита композиціями ЕПМ, ЕПММгі EQ призводить до зниження активності ферментів антиоксидантного захисту, зростання вмісту вітамінів-антиоксидантів та зниження вмісту продуктів вільнорадикального окислення ліпідів в зерні

озимого жита сортів Синтетик 38 і Забава. Вміст ТБК-позитивних продуктів є індикатором ліпідної пероксидації. Нагромадження ТБК-позитивних продуктів може призводити до надмірного окислення ліпідів мембран. В той же час спостерігаємо зміни функціональної активності ензимної та неензимної ланок антиоксидантної системи. В антиоксидантному захисті важливу роль відіграють низькомолекулярні сполуки, зокрема аскорбінова кислота, яка здатна нейтралізувати пероксид водню як прямо, так і в реакції, що каталізується аскорбатпероксидазою, а крім того, брати участь у нейтралізації інших активних форм кисню. Каротиноїди також є достатньо потужними гасниками активних форм кисню [16]. В нашому експерименті передпосівна обробка насіння озимого жита обох сортів композиціями метаболічно активних речовин призводить до зростання вмісту аскорбінової кислоти та загальних каротиноїдів у зерні.

Існує кілька ензимних систем у клітинах, які каталізують перетворення пероксиду водню. Це насамперед каталаза та аскорбатпероксидаза. В наших дослідженнях продемонстровано зниження активності цих ензимів у всіх дослідних групах. Аскорбатпероксидаза є важливим компонентом ензимної ланки антиоксидантної системи рослин; вона здатна знешкоджувати H_2O_2 та є високоафінною до аскорбату.

Під час аналізу отриманих результатів привертає увагу обернена залежність між величинами показників вмісту продуктів вільно радикального окислення ліпідів та вмістом аскорбінової кислоти, загальних каротиноїдів та активності аскорбатпероксидази і каталази.

Знаходження зернівок у стані спокою є важливим пристосувальним механізмом збереження виду. В реалізації процесу формування стану спокою беруть участь спеціалізовані системи, які здатні забезпечити виживання зернівок. При цьому життєздатність зернівок підтримується за рахунок активності компонентів антиоксидантної системи. Зокрема, фермент пероксидаза бере участь не тільки у підтриманні життєздатності зернівок у стані спокою, а й надзвичайно важливий при їх проростанні. В зернівках у стані спокою пероксидаза каталізує реакції оксидантного й пероксидазного окислення різних сполук. При цьому продуктом реакції є вода, яка необхідна зернівкам у стані спокою для забезпечення зародку водою. Водночас зростання активності пероксидази здатне бути ініціатором процесу проростання насіння.

Треба відзначити, що ефекти цих композицій метаболічно активних речовин є маловивченими. Продемонстровані ефекти досліджуваних композицій можуть бути зумовлені ефектами окремих компонентів, їхньою взаємодією, а також способом обробки рослин. Оскільки застосовували саме передпосівну обробку насіння, то продемонстровані ефекти можуть визначатися впливом досліджуваних сполук на метаболізм насінини. Кожна з досліджуваних метаболічно активних речовин (параоксibenзойна кислота, метіонін, вітамін Е, убихіон-10 та

сіль магнію сульфату) має свої властивості та здатна впливати на обмінні процеси в рослинному організмі та, відповідно, і на характеристики зерна [17; 18].

ВИСНОВКИ

У роботі вперше досліджено вплив композицій метаболічно активних речовин, а саме вітаміну Е, убихіону, параоксibenзойної кислоти, метіоніну та $MgSO_4$ на вміст продуктів вільнорадикального окислення ліпідів, вітамінів-антиоксидантів та активність антиоксидантних ензимів у зерні озимого жита сортів Синтетик 38 та Забава. В зерні озимого жита сорту Синтетик 38 та Забава продемонстровано ефективність композицій ЕПММg та EQ щодо збільшення вмісту низькомолекулярних вітамінів-антиоксидантів (аскорбінової кислоти та каротиноїдів), зменшення активності антиоксидантних ензимів (каталази та аскорбатпероксидази) та вмісту продуктів вільнорадикального окислення ліпідів. Найбільш ефективно в цьому плані продемонструвала композиція ЕПММg. Продемонстроване зростання вмісту антиоксидантів в зерні озимого жита може збільшувати харчову цінність продуктів, вироблених із цього зерна. Крім того, продемонстровані зміни активності компонентів про- і антиоксидантної систем можуть засвідчувати, що зерно за передпосівної обробки насіння досліджуваними композиціями знаходиться більш глибоко в стані спокою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kunah, O. M.; Pakhomov, O. Y.; Zymarioeva, A. A.; Demchuk, N. I.; Skupskiy, R. M.; Bezuhla, L. S.; Vladyka, Y. P. Agroecological and agroecological aspects of the rye (*Secale cereale* L.) yields spatial variation within Polesia and Foreststeppe zones of Ukraine: the useage of the geographically weighted principal components analysis. *Biosystems Diversity*. 2018, 26(4), pp 276–285.
2. Kulichova, K.; Sokol, J.; Nemecek, P.; Maliarova, M.; Maliar, T.; Havlentova, M.; Kraic, J. Phenolic compounds and biological activities of rye (*Secalecereale* L.) grains. *Open Chem*. 2019, 17, pp 988–999.
3. Dynkowska, W.M. Rye (*Secalecereale* L.) phenolic compounds as health-related factors. *Plant breeding and seed science*. 2019, 79, p 9–24.
4. Linina, A.; Augspole, I.; Romanova, I.; Kuzel, S. Winter rye (*Secale cereale* L.) antioxidant capacity, total phenolic content and quality indices. *Agronomy Research*. 2020, 18(S3), pp 1751–1759.
5. Gumul, D.; Berski, W. The polyphenol profile and antioxidant potential of irradiated rye grains. *International Journal of Food Science*. 2021, article ID 8870754, 7 pages.
6. Kaur, P.; Sandhu, K. S.; Bangar, S. P.; Purewal, S. S.; Kaur, M.; Ilyas, R. A.; Asyraf, M.R.M.; Razman, M. R. Unraveling the bioactive profile, antioxidant and DNA damage protection potential of rye (*Secale cereale*) flour. *Antioxidant*. 2021, 10, pp 1214–1228.
7. Jiang, K.; Asami, T. Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2018, 82(8), pp 1265–1300.
8. Horobets, M.; Chaika, T.; Krykunova, V. Influence of growth stimulants on the ontogenesis of spring barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Colloquium-journal*. 2021, 7(94), pp 41–42.
9. Sumanta, N.; Haque, C. I.; Nishika, J.; Suprakash, R. Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Res. J. Chem. Sci*. 2014, 4, pp 63–69.
10. Hasanuzzaman, M.; Nahar, K.; Alam, M.; Fujita, M. Exogenous nitric oxide alleviates high temperature induced oxidative stress

- in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by modulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Aust. J. Crop Sci.* 2012, 6, pp 1314–1323.
11. Alam, M.; Nahar, K.; Hasanuzzaman, M.; Fujita, M. Exogenous jasmonic acid modulates the physiology, antioxidant defense and glyoxalase systems in imparting drought stress tolerance in different Brassica species. *Plant Biotechnol.* 2014, 8, pp 279–293.
 12. Nakano, Y.; Asada, K. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 1981, 22, pp 867–880.
 13. Aebi, H. Catalasein Vitro. *Methods Enzymol.* 1984, 105, pp 121–126.
 14. Yakhin, O. I.; Lubyantsev, A. A.; Yakhin, I. A.; Brown, P. H. Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science.* 2017, 7, p 2049.
 15. Короткова, І. В.; Горобець, М. В.; Чайка, Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярового. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021, 2, с 20–30.
 16. Wang, X.; Liu, H.; Yu, F.; Hu, B.; Jia, Y.; Sha, H.; Zhao, H. Differential activity of the antioxidant defence system and alterations in the accumulation of osmolyte and reactive oxygen species under drought stress and recovery in rice (*Oryza sativa* L.) tillering. *Sci. Rep.* 2019, 9, p 8543.
 17. Куриленко, А. О.; Куриленко, О. В.; Кучменко, О. Б.; Гавій, В. М. Вплив передпосівної обробки насіння композиціями метаболічно активних речовин на морфометричні показники озимого жита в умовах півдня Полісся України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія».* 2021, 4, с 25–32.
 18. Skrypnik, L.; Maslennikov, P.; Novikova, A.; Kozhikin, M. Effect of Crude Oil on Growth, Oxidative Stress and Response of Antioxidative System of Two Rye (*Secale cereale* L.) Varieties. *Plants.* 2021, 10(1), p 157.