

АНОТАЦІЯ

Іваночко М.В. Вплив препаратів броколі на антиоксидантні та енергетичні параметри мишей при споживанні кафетерійної їжі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія. – Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2026.

Дисертація присвячена вивченню впливу споживання препаратів броколі (*Brassica oleracea var. italica*) на розвиток спричинених кафетерійною їжею метаболічних порушень та оксидативного стресу у лабораторних мишей *Mus musculus*. Здатність броколі чи її сполук (зокрема ізотіоціанату сульфорафану) усувати порушення обміну речовин та супутні до них захворювання у модельних організмів та пацієнтів досліджувалася й раніше. Проте більшість цих робіт не стандартизовані та уніфіковані, і саме вплив препаратів паростків і проростків броколі на масу тіла, накопичення запасних ліпідів, гіперглікемію у крові, обмін речовин, оксидативний стрес і запалення вивчені недостатньо. Метою роботи було встановити вплив споживання препаратів броколі на обмін речовин і антиоксидантну систему у лабораторних мишей, які споживали кафетерійну їжу.

Робота складалася з чотирьох частин. У першій частині ми визначали вміст біологічно активних природних сполук у препаратах броколі. Для дослідження було обрано рослинний матеріал без насінини (паростки) і пророщене насіння (проростки) броколі сорту Калабресе. Спиртова екстракція забезпечувала більше вивільнення поліфенольних сполук і флавоноїдів, проте водна екстракція забезпечувала більшу антиоксидантну активність проростків броколі.

У другій частині роботи ми визначали вплив споживання паростків броколі та кафетерійної їжі на параметри тіла, показники крові, печінки і кори головного мозку десятимісячних самців мишей лінії C57BL/6J. Впродовж 14 тижнів миші були поділені на групи, які споживали: базову їжу, базову їжу з 5% вмістом паростків броколі, кафетерійну їжу та кафетерійну їжу з 5% вмістом паростків

броколі. Додавання паростків броколі до кафетерійної їжі не перешкоджало зростанню маси тіла мишей та накопиченню вісцерального жиру. Проте споживання кафетерійної їжі сприяло накопиченню триацилгліцеролів та вищому рівню карбонільних груп білків у печінці мишей, тоді як споживання кафетерійної чи базової їжі з паростками броколі знижувало відповідні показники. Це свідчить про вибірковий захисний вплив додавання паростків броколі проти накопичення ліпідів та оксидативного стресу. При споживанні паростків броколі активність глутатіон-S-трансферази та НАД(Ф)Н-хіноноксидоредуктази 1 у корі головного мозку мишей була вищою, що свідчило про покращену здатність знешкоджувати ксенобіотики та інші шкідливі сполуки.

У третій частині роботи ми вивчали вплив споживання кафетерійної їжі з різним вмістом проростків броколі, щоб встановити наявність залежних від дози ефектів на організм восьмимісячних самців лінії C57BL/6J. Миші були поділені на шість груп і впродовж 20 тижнів споживали: базову їжу, кафетерійну їжу, кафетерійну їжу з 2,5, 5 та 10% вмістом проростків броколі і базову їжу з 5% вмістом проростків броколі. Кількість спожитої їжі та рівень триацилгліцеролів у плазмі крові мишей знижувалися зі зростанням вмісту проростків броколі у кафетерійній їжі. Проте додавання проростків броколі не запобігало зростанню рівня глюкози в крові при споживанні кафетерійної їжі. Активність параоксонази була нижчою при споживанні кафетерійної їжі, а додавання проростків броколі до кафетерійної їжі нормалізувало цей показник, що також свідчило про позитивний вплив споживання броколі. Проростки броколі не викликали залежних від дози ефектів у корі головного мозку мишей, проте активність глутатіонредуктази, глюкозо-6-фосфатдегідрогенази та НАД(Ф)Н-хіноноксидоредуктази 1 була вищою при споживанні 10% проростків броколі у кафетерійній їжі та 5% проростків броколі у базовій їжі.

У четвертій частині роботи ми визначали вплив споживання кафетерійної їжі та проростків броколі на параметри тіла, показники крові, печінки і кори головного мозку восьмимісячних самців лінії C57BL/6J. Впродовж 16 тижнів мишей годували базовою їжею, базовою їжею з 5% проростками броколі,

кафетерійною їжею та кафетерійною їжею з 5% проростками броколі. Проростки броколі не протидіяли зростанню маси тіла та вісцерального жиру у мишей, які споживали кафетерійну їжу. Проте споживання кафетерійної їжі з проростками броколі сприяло зниженню накопичення триацилгліцеролів та глікогену у печінці мишей. Це свідчить про здатність проростків броколі протидіяти накопиченню запасних сполук у печінці мишей внаслідок споживання кафетерійної їжі та порушення обміну речовин. Додавання проростків броколі до кафетерійної їжі усувало зростання активності гліколітичних ферментів, що розглядається як протидія розвитку ожиріння. При споживанні проростків броколі активність глутатіонпероксидази та глутатіон-S-трансферази була вищою у печінці мишей, що свідчить про їх сприятливий вплив на антиоксидантний захист і знешкодження ксенобіотиків. При споживанні кафетерійної їжі ми встановили вищі рівні відносної транскрипції іРНК факторів запалення, а при споживанні проростків броколі – вищі рівні регуляторів обміну вуглеводів і білків знешкодження ксенобіотиків у печінці мишей. Кафетерійна їжа негативно вплинула на функціонування антиоксидантних та допоміжних ферментів у корі головного мозку мишей – їх активність була нижчою порівняно з групою базової їжі, а споживання проростків броколі разом з кафетерійною їжею не усувало цієї проблеми.

Як загальний підсумок, можна сказати, що препарати броколі знижували окремі маркери оксидативного стресу та ожиріння у мишей. Додавання препаратів броколі сприяло покращенню вибіркового параметрів антиоксидантної системи, протизапальним процесам та регуляції обміну речовин у мишей при споживанні кафетерійної їжі.

Ключові слова: антиоксидантний захист, біологічно активні природні речовини, вуглеводи, кафетерійна їжа, ліпіди, метаболічні порушення, миші, мозок, ожиріння, оксидативний стрес, печінка, паростки броколі, проростки броколі, сульфорафан, функціональна їжа.

ABSTRACT

Ivanochko M.V. Influence of broccoli preparations on antioxidant and energetic parameters of cafeteria diet-fed mice. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 091 Biology – Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2026.

This dissertation is devoted to the study of the effect of the consumption of broccoli preparations (*Brassica oleracea var. italica*) on the development of cafeteria diet-induced metabolic disorders and oxidative stress in laboratory mice, *Mus musculus*. The ability of broccoli or its compounds (e.g., isothiocyanate sulforaphane) to attenuate the metabolic disorders and related diseases in model organisms and patients has been studied before. However, most of these studies are not standardised and unified, and the effect of broccoli preparations (green sprouts and sprouted seeds) on body mass, lipid accumulation, blood hyperglycaemia, metabolism, oxidative stress, and inflammation in obesity is not well investigated. This study aimed to determine the effect of consuming broccoli preparations on the metabolism and the antioxidant system in laboratory mice that consumed cafeteria diet.

The study consisted of four parts. In the first part, the content of biologically active natural compounds in broccoli preparations was determined. For the study, seedless green sprouts and sprouted seeds of Calabrese broccoli were selected. Ethanol extracts had greater release of polyphenolic compounds and flavonoids, but water extraction resulted in greater antioxidant activity of broccoli sprouts.

In the second part of the study, we determined the effect of broccoli green sprouts and cafeteria diet consumption on body, blood, liver, and cerebral cortex parameters in ten-month-old male C57BL/6J mice. For 14 weeks, the mice were divided into groups and fed the basal diet, the basal diet with 5% broccoli green sprouts, the cafeteria diet, and the cafeteria diet with 5% broccoli green sprouts. The addition of broccoli green sprouts did not prevent mice from gaining body mass and accumulating visceral adipose tissue. However, consumption of a cafeteria diet promoted the accumulation of

triacylglycerols and higher levels of protein carbonyl groups in the liver of mice, whereas consumption of cafeteria or basal diet with broccoli green sprouts decreased these parameters. This indicates the selective protective effect of broccoli sprouts against lipid accumulation and oxidative stress. The activity of glutathione S-transferase and NAD(P)H-quinone oxidoreductase 1 in the cerebral cortex of mice was higher in mice fed broccoli green sprouts, indicating an improved ability to detoxify xenobiotics and other harmful compounds.

In the third part of the experiment, we studied the effect of consumption of a cafeteria diet with different content of broccoli sprouts to determine the presence of dose-dependent effects on the organism of eight-month-old male C57BL/6J mice. For 20 weeks, mice were divided into six groups: basal diet, cafeteria diet, cafeteria diet with 2.5, 5, 10% of broccoli sprouts, and basal diet with 5% of broccoli sprouts. Feed intake and triacylglycerol level in blood plasma were decreased as the broccoli sprout content was increased in a cafeteria diet. However, the addition of broccoli sprouts did not prevent an increase in blood glucose level in cafeteria diet-fed groups. Paraoxonase activity was lower in the cafeteria diet group and the addition of broccoli sprouts normalised this parameter, indicating a positive effect of broccoli consumption. Broccoli sprouts did not cause dose-dependent effects in the cerebral cortex of mice, but the activity of glutathione reductase, glucose-6-phosphate dehydrogenase, and NAD(P)H-quinone oxidoreductase 1 was higher in mice fed 10% broccoli sprouts in a cafeteria diet and 5% broccoli sprouts in the basal diet.

In the fourth part of the experiment, we determined the effect of the consumption of a cafeteria diet and broccoli sprouts on the body, blood, liver, and cerebral cortex parameters of eight-month-old male C57BL/6J mice. For 16 weeks, mice were fed a basal diet, a basal diet with 5% broccoli sprouts, a cafeteria diet, and a cafeteria diet with 5% broccoli sprouts. Broccoli sprouts were not able to eliminate the mass gain and adiposity development in mice fed a cafeteria diet. However, consumption of a cafeteria diet with broccoli sprouts contributed to the lower accumulation of triacylglycerols and glycogen in the liver of mice. This indicates the ability of broccoli sprouts to counteract the accumulation of reserve compounds in the liver of mice due to the consumption of a

cafeteria diet and metabolic disorders. The addition of broccoli sprouts to the cafeteria diet eliminated the increase in glycolytic enzyme activity, which is considered to counteract the development of obesity. In broccoli sprouts-fed groups, the activity of glutathione peroxidase and glutathione S-transferase was higher in the liver of mice, indicating a beneficial effect on antioxidant protection and xenobiotic detoxification. We determined a higher level of the relative transcript of inflammatory factors in cafeteria diet-fed groups, and broccoli sprout consumption caused the higher level of carbohydrate metabolism regulators and xenobiotic detoxification proteins in the liver of mice. Cafeteria diet negatively affected the functioning of antioxidant and auxiliary enzymes in the cerebral cortex of mice, as their activity was lower compared to the basal diet group, and the addition of broccoli sprouts did not eliminate this problem.

As a general conclusion, broccoli preparations decreased certain markers of oxidative stress and obesity in mice. Supplementation with broccoli preparations promoted selective parameters of the antioxidant system, anti-inflammatory processes, and metabolic regulation in cafeteria diet-fed mice.

Key words: antioxidant defence, biologically active natural substances, brain, broccoli microgreen, broccoli sprouts, cafeteria diet, carbohydrates, functional food, lipids, liver, metabolic disorders, mice, obesity, oxidative stress, sulforaphane.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, що входять до науково-метричної бази даних Scopus:

1. Ivanochko M., Bayliak M., Lushchak V. Potential of isothiocyanate sulforaphane from broccoli to combat obesity and type 2 diabetes: involvement of NRF2 regulatory pathway. *Ukrainian Biochemical Journal*. 2024. 96: 6. Q4

DOI: <https://doi.org/10.15407/ubj96.06.017>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/85213384541?origin=resultslist>

2. Ivanochko M., Fediv K., Shvadchak V., Bayliak M., Lushchak V. Nutritional analysis of aqueous and ethanol broccoli sprout extracts. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 2025. Q2

DOI: <https://doi.org/10.1007/s13562-025-00974-9>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/105003850390?origin=resultslist>

3. Ivanochko M., Dmytriv T., Yatskiv I., Bayliak M., Lushchak V. Metabolic effects of broccoli sprouts in mice with cafeteria diet-induced obesity. *Ukrainian Biochemical Journal*. 2025. 97: 6. Q4

DOI: <https://doi.org/10.15407/ubj97.06.065>

URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/105026672297?origin=resultslist>

Статті у наукових фахових виданнях України категорії Б:

4. Ivanochko M., Demianchuk O., Bayliak M., Lushchak V. Consumption of broccoli sprouts increased the activity of glutathione-dependent antioxidant enzymes in murine liver. *Biotechnologia Acta*. 2023. 16: 2. P. 26-29.

DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech16.02.026>

URL: <https://biotechnology.kiev.ua/index.php/en/journal-archive-en/2023-en/2023-no2-en/consumption-of-broccoli-sprouts-increased-the-activity-of-glutathione-dependent-antioxidant-enzymes-in-murine-liver-m-v-ivanochko-o-i-demianchuk-m-m-bayliak-v-i-lushchak>

5. Derkachov V., Ivanochko M., Bayliak M. The effect of broccoli sprouts on oxidative stress markers in mice fed with cafeteria diet. *Biotechnologia Acta*. 2023. 16: 2. P. 18-20.

DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech16.02.018>

URL: <https://biotechnology.kiev.ua/index.php/en/journal-archive-en/2023-en/2023-no2-en/the-effect-of-broccoli-sprouts-on-oxidative-stress-markers-in-mice-fed-with-cafeteria-diet-vp-derkachov-mv-ivanochko-mm-bayliak>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Іваночко М.В. Проростки броколі сповільнюють розвиток ожиріння у мишей на кафетерійній дієті // *92-а науково-практична конференція студентів та молодих вчених із міжнародною участю «Інновації в медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 23-25 березня 2023). – С. 165.

URL: <https://surl.li/xanofy>

7. Лабич І., Іваночко М. Паростки броколі не коригують експериментально індуковане ожиріння у мишей. // *92-а науково-практична конференція студентів та молодих вчених із міжнародною участю «Інновації в медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 23-25 березня 2023). – С. 16.

URL: <https://surl.li/xanofy>

8. Деркачов В., Березовський В., Іваночко М., Байляк М. Вплив паростків броколі на поведінку мишей та на маркери запалення // *III міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Проблеми та досягнення сучасної біотехнології»* (м. Харків, 24 березня 2023 р.). – С. 163-164.

URL: https://biotech.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2024/02/tezy_iii_konferentsii_kafedry_biotekhnolohii_nfau_.pdf

9. Іваночко М., Лушак В. Вплив споживання кафетерійної дієти та паростків броколі на біохімічні показники крові мишей // *III міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Проблеми та досягнення сучасної біотехнології»* (м. Харків, 24 березня 2023 р.). – С. 184-186.

URL: https://biotech.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2024/02/tezy_iii_konferentsii_kafedry_biotekhnolohii_nfau_.pdf

10. Ткачик А., Балацький В., Іваночко М., Байляк М. Біохімічні показники крові мишей за споживання кафетерійної дієти та проростків броколі // *III міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Проблеми та досягнення сучасної біотехнології»* (м. Харків, 24 березня 2023 р.). – С. 374-376.

URL: https://biotech.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2024/02/tezy_iii_konferentsii_kafedry_biotekhnolohii_nfau_.pdf

11. Іваночко М., Лушак В. Антиоксидантні властивості екстрактів паростків та проростків броколі // *X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні досягнення фармацевтичної технології»* (м. Харків, 10-11 травня 2023). – С. 180-181.

URL: <https://tfp.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2023/05/zbirnik-konferencija-tfp-2023.pdf>

12. Іваночко М., Дем'янчук О., Лушак В. Споживання проростків броколі збільшує активність глутатіон-залежних ферментів у печінці мишей // *Шоста міжнародна конференція молодих учених «Харківський Природничий Форум»* (м. Харків, 18-19 травня 2023). – С. 422-424.

URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/909ba3b5-ca28-4195-9abc-4892d466753c/content>

13. Васишин О., Іваночко М. Модуляція окремих гематологічних показників за умови споживання «кафетерійної дієти» та проростків броколі // *93а науково-практична конференція студентів та молодих вчених з міжнародною участю «Інновації у медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 28-30 березня 2024). – С. 62.

URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1NrIhc3s3dzW0gz4JjyXvb4bq8og1BD47>

14. Іваночко М., Байляк М. Проростки броколі запобігають зростанню активності ферментів катаболізму глюкози та фруктози у печінці мишей на тлі кафетерійної їжі // *93а науково-практична конференція студентів та молодих вчених з міжнародною участю «Інновації у медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 28-30 березня 2024). – С. 64.

URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1NrIhc3s3dzW0gz4JjyXvb4bq8og1BD47>

15. Іваночко М., Байляк М., Лушак В. Проростки броколі не запобігають збільшенню вмісту глікогену та триацилгліцеролів у печінці мишей при споживанні кафетерійної їжі // *XX Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології»* (м. Львів, 18-20 квітня 2024 р.). – С. 59-60.

URL: https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/04/Zbirnyk-Molod-i-postup-biologii-2024_.pdf

16. Іваночко М., Байляк М. Паростки броколі не коригують розвиток ожиріння у мишей при споживанні кафетерійної їжі // *94а науково-практична конференція студентів та молодих вчених з міжнародною участю «Інновації у медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 27-29 березня 2025). – С. 48.

URL: <https://surl.li/ykbfre>

17. Яцків І., Лабич І., Іваночко М. Вплив споживання паростків броколі і кафетерійної їжі на гематологічні та деякі біохімічні показники крові мишей // *94а науково-практична конференція студентів та молодих вчених з міжнародною участю «Інновації у медицині та фармації»* (м. Івано-Франківськ, 27-29 березня 2025). – С. 53.

URL: <https://surl.li/ykbfre>

18. Іваночко М., Байляк М., Луцзяк В. Споживання паростків броколі запобігає збільшенню вмісту триацилгліцеридів у печінці, але не маси тіла мишей за споживання кафетерійної їжі // *XXI Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології»* (м. Львів, 28 квітня – 1 травня 2025 р.). – С. 63-65.

URL: <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/06/pimb-tezi-2025-A5.pdf>

19. Яцків І., Іваночко М., Байляк М. Паростки броколі стимулюють антиоксидантний захист і детоксикаційні процеси у мозку мишей за споживання кафетерійної їжі // *XXI Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології»* (м. Львів, 28 квітня – 1 травня 2025 р.). – С. 79-80.

URL: <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/06/pimb-tezi-2025-A5.pdf>

20. Ivanochko M., Yatskiv I., Bayliak M., Lushchak V. Consumption of broccoli sprouts with cafeteria diet modulates activities of glutathione-related enzymes in the murine brain // *XXIII Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених* (м. Львів, 15-16 травня 2025 р.). – С. 42.

URL: https://aminbiol.com.ua/images/Journal/2025/2/AB_2025_27_2.pdf

21. Ivanochko M., Yatskiv I., Bayliak M., Lushchak V. Consumption of a cafeteria diet with green broccoli sprouts affects xenobiotic detoxification rather than oxidative stress markers in murine liver // *XIX All-Ukrainian Conference of Young Scientists* (м. Київ, 20-21 травня 2025 р.). – С. 33.

URL: https://kbb.cnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/28/2026/03/zbirnyk_tez_khikh_vseukrainskoi_konferentsii_molodykh_vchenykh_imbh_2025.pdf

22. Yatskiv I., Ivanochko M., Bayliak M., Lushchak V. Green broccoli sprouts decrease hepatic triacylglycerol level but do not prevent adipose tissue accumulation in mice on a cafeteria diet // *XIX All-Ukrainian Conference of Young Scientists* (м. Київ, 20-21 травня 2025 р.). – С. 14.

URL: https://kbb.cnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/28/2026/03/zbirnyk_tez_khikh_vseukrainskoi_konferentsii_molodykh_vchenykh_imbh_2025.pdf

23. Ivanochko M., Yatskiv I., Bayliak M., Lushchak V. Addition of broccoli sprouts does not eliminate cafeteria diet-induced suppression of antioxidant enzyme activity in murine brain // Школа-воркшоп «Сучасні методи в нейронауках» (м. Київ, 28–29 жовтня 2025 р.). – С. 8.

URL: <https://fz.kiev.ua/index.php?list1=414>

24. Іваночко М., Господарьов Д., Луцшак В. Вплив споживання проростків броколі на маркери запалення та детоксикацію ксенобіотиків у печінці мишей, які споживали кафетерійну їжу // Матеріали XX Міжнародної наукової конференції «Чаргафські читання» (м. Чернівці, 27 – 30 жовтня 2025 р.). – С. 179.

URL: <https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/13087/CHARGAFF%20READINGS-2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>