

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

**КОМПЛЕКСНА ГІСТОЛОГО-БІОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ТОПНАМБУРУ ЗА ВПЛИВУ ІОНІВ КАДМІЮ**

Виконала: студентка II курсу, групи

Бх-2(М)

Спеціальності 091 Біологія та біохімія

(ОП Біохімія)

Ольга БУЛІЙ

Керівник: к.б.н., доц. Віктор ГУСАК

Рецензент: к.б.н., СНС Уляна

СТАМБУЛЬСЬКА

АНОТАЦІЯ

Булій О. А. “Комплексна гістолого-біохімічна характеристика топінамбуру за впливу іонів кадмію”

Дипломна робота на здобуття освітнього рівня магістра за спеціальністю 091 Біологія та біохімія, освітня програма “Біохімія”.

Дана робота присвячена вивченню гістологічних змін та біохімічних показників у рослині топінамбура (*Helianthus tuberosus* L.) під впливом різних концентрацій іонів кадмію у модельних умовах *in vitro*. *H. tuberosus* відомий як рослина-фіторемедіант, що має здатність до поглинання іонів металів із ґрунту з подальшою їхньою акумуляцією у пагонах та бульбах.

В експерименті було встановлено, що збільшення концентрації Cd^{2+} індукує підвищення вмісту поліфенольних сполук та флавоноїдів, що є захисною відповіддю на стрес. Хлорид кадмію у низькій концентрації 1 мг/л значимо стимулював вміст фотосинтетичних пігментів у листках, тоді як при застосуванні вищих доз було зафіксовано зниження концентрації каротиноїдів. Ці результати свідчать про розвиток фотосинтетичних та антиоксидантних адаптацій у рослинах топінамбура у відповідь на кадмієвий стрес. Крім того, результати гістологічного аналізу чітко продемонстрували порушення структури тканин листка при культивуванні топінамбура на поживному середовищі, що містило 2,5 та 5 мг/л хлориду кадмію.

Отримані дані підтверджують здатність *Helianthus tuberosus* L. до адаптації та мобілізації захисних механізмів при Cd-стресі, а також вказують на чутливість його тканинної структури до високих доз металу.

Ключові слова: іони металів, кадмій, топінамбур, фіторемедіація.

Bulii O. A. “Comprehensive histological and biochemical characteristics of Jerusalem artichoke under the influence of cadmium ions”

Master's thesis in the field of study 091 “Biology and Biochemistry,” educational program “Biochemistry.”

This work is devoted to the study of histological changes and biochemical indicators in the Jerusalem artichoke plant (*Helianthus tuberosus* L.) under the

influence of various concentrations of cadmium ions in model conditions *in vitro*. *H. tuberosus* is known as a phytoremediation plant that has the ability to absorb heavy metals from the soil and accumulate them in shoots and tubers.

The experiment showed that an increase in Cd^{2+} concentration induces an increase in the content of polyphenolic compounds and flavonoids, which is a protective response to stress. Cadmium chloride at a low concentration of 1 mg/l significantly stimulated the content of photosynthetic pigments in the leaves, while at higher doses, a decrease in carotenoid concentration was observed. These results indicate the development of photosynthetic and antioxidant adaptations in Jerusalem artichoke plants in response to cadmium stress. In addition, the results of histological analysis clearly demonstrated tissue structure damage in leaves when Jerusalem artichoke was cultivated on a nutrient medium containing 2.5 and 5 mg/L of cadmium chloride.

The data obtained confirm the ability of *Helianthus tuberosus* L. to adapt and mobilize defense mechanisms under Cd stress, and also indicate the sensitivity of its tissue structure to high doses of metal.

Keywords: heavy metals, cadmium, *Jerusalem artichoke* (*Helianthus tuberosus* L.), phytoremediation.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Факультет природничих наук
Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістра

на тему: **Особливості змін імунних та біохімічних маркерів у мишей за дії стресу різної інтенсивності та ліпополісахариду**

Студентки II курсу, групи БХ-2м
спеціальності 091 Біологія та біохімія
(ОПП Біохімія)

Оксана ВАСИЛИШИН

Керівник: к.б.н., доц. Олександра АБРАТ

Рецензент: доктор філософії, асистент
Олег ДЕМ'ЯНЧУК

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія та біохімія (ОПП Біохімія).

Актуальність теми дослідження. Дослідження теми зумовлена значним поширенням посттравматичного стресового розладу (ПТСР) та інших стрес-асоційованих захворювань у сучасному світі. Перенесений сильний стрес викликає тривалі порушення роботи імунної системи, робить організм більш вразливим до інфекцій і змінює перебіг запальних процесів. Використання експериментальних моделей травматичного стресу (foot shock) окремо та в поєднанні з ліпополісахаридом (LPS), що імітує бактеріальну інфекцію, дозволяє з'ясувати механізми такої взаємодії та знайти нові підходи до профілактики й лікування стрес-індукованих імунopatологій.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – дослідити особливості змін гематологічних та біохімічних показників крові у мишей після впливу стресу методом foot shock різної інтенсивності та у поєднанні з ліпополісахаридом.

У роботі використовували біохімічні, імунологічні методи та методи математичної статистики. *Об'єктом дослідження* виступала імунна система мишей *Mus musculus* лінії C57Bl/6J. *Предметом дослідження* були зміни гематологічних та біохімічних показників плазми крові мишей за дії травматичного стресу (foot shock) різної інтенсивності окремо та в поєднанні з ліпополісахаридом (LPS).

Характеристика отриманих результатів. Встановлено, що гострий стрес (foot shock, 0,8 мА) викликає тривалі зміни нейтрофільної ланки імунітету без порушення загальних гематологічних показників. Попередній стрес посилює лейкоцитоз при дії LPS, спричиняє «зсув формули вліво» та знижує активність мієлопероксидази, модифікуючи запальну відповідь.

Робота складається зі вступу, трьох основних розділів («Огляд літератури», «Матеріали і методи досліджень», «Результати досліджень та їх обговорення»), висновків та списку використаних джерел. Загальна кількість сторінок – 63.

Кількість використаних джерел літератури – 122. Огляд літератури ілюстрований одним рисунком. Отримані результати представлені у вигляді графіків.

Ключові слова: посттравматичний стресовий розлад (ПТСР), foot shock, ліпополісахарид, імунна система, миші лінії *Mus musculus* лінії C57Bl/6J.

ABSTRACT

Master's Thesis for obtaining the second (master's) level of higher education in specialty 091 Biology and Biochemistry (Educational Program "Biochemistry").

Relevance of the research topic. The study of this topic is driven by the significant prevalence of post-traumatic stress disorder (PTSD) and other stress-associated diseases in the modern world. Severe stress causes long-term impairments in the functioning of the immune system, makes the body more vulnerable to infections, and alters the course of inflammatory processes. The use of experimental models of traumatic stress (foot shock) alone and in combination with lipopolysaccharide (LPS), which mimics bacterial infection, makes it possible to clarify the mechanisms of such interaction and to find new approaches to the prevention and treatment of stress-induced immunopathologies.

Aim and objectives of the study. The aim of the work was to investigate the features of changes in hematological and biochemical blood parameters in mice after exposure to foot-shock stress of varying intensity and in combination with lipopolysaccharide.

The work employed biochemical, immunological methods and methods of mathematical statistics. *The object of the study* was the immune system of *Mus musculus* mice of the C57Bl/6J line. *The subject of the study* was changes in hematological and biochemical parameters of blood plasma in mice under the influence of traumatic stress (foot shock) of varying intensity alone and in combination with lipopolysaccharide (LPS).

Characteristics of the obtained results. It has been established that acute stress (foot shock, 0,8 mA) causes long-term changes in the neutrophilic component of immunity without disturbing general hematological parameters. Prior stress enhances leukocytosis under the action of LPS, causes a “shift to the left” in the leukocyte formula, and reduces myeloperoxidase activity, thereby modifying the inflammatory response.

The work consists of an introduction, three main sections – “Literature Review”, “Materials and Methods of Research”, “Research Results and Their Discussion”, conclusions, and a list of references. Total number of pages – 63. Number of literature

sources used – 122. The literature review is illustrated with 1 figure. The obtained results are presented in the form of graphs.

Keywords: post-traumatic stress disorder (PTSD), foot shock, lipopolysaccharide, immune system, *Mus musculus* mice of the C57Bl/6J line.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

**“ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ ТА АНАТОМІЇ У
КОРОТКОЖИВУЧИХ ЛІНІЙ МУХ”**

Виконав: студент II
курсу, групи Бх-2(м)
Спеціальності 091 Біологія та
біохімія (ОПП Біохімія)
Іван КОРНАТ
Керівник: к.б.н., проф.
Олег ЛУЩАК
Рецензент: к.б.н., доц.
Дмитро ГОСПОДАРЬОВ

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена вивченню особливостей метаболізму та анатомічних змін у короткоживучих ліній *Drosophila melanogaster*, отриманих шляхом довготривалої селекції на високобілковій дієті (HPD). Метою дослідження було дослідити вікові та фізіологічні зміни, що лежать в основі скорочення тривалості життя цих ліній, шляхом порівняння їх з контрольною лінією *w¹¹¹⁸*. У роботі використано комплекс біохімічних методів для оцінки вмісту глюкози (у гемолімфі та тілі), глікогену і тригліцеридів (ТАГ), а також метод мікрокомп'ютерної томографії (мікро-КТ) з подальшим зафарбовуванням внутрішніх органів (серця, мозку, вентрального нервового ланцюга, польотних м'язів).

Встановлено, що короткоживучі лінії не демонструють ознак порушення вуглеводного обміну (рівні глюкози та глікогену не відрізняються від контролю), проте характеризуються достовірно зниженим рівнем тригліцеридів порівняно з контрольною групою. Анатомічний аналіз виявив нетиповий для нормального старіння фенотип: замість очікуваної атрофії у дослідних ліній спостерігається патологічна гіпертрофія (збільшення об'єму) серця, м'язів та елементів нервової системи.

Ключові слова: *Drosophila melanogaster*, старіння, високобілкова дієта, метаболізм, мікро-КТ, гіпертрофія, тригліцериди, TOR-шлях.

ABSTRACT

This study is devoted to investigating the metabolic and anatomical changes in short-lived *Drosophila melanogaster* lines obtained through long-term selection on a high-protein diet (HPD). The aim of the study was to investigate the age-related and physiological changes underlying the reduction in the lifespan of these lines by comparing them with the control line w1118. The work uses a set of biochemical methods to assess the content of glucose (in haemolymph and body), glycogen and triglycerides (TAG), as well as micro-computed tomography (micro-CT) with subsequent staining of internal organs (heart, brain, ventral nerve cord, flight muscles).

It has been established that short-lived lines do not show signs of carbohydrate metabolism disorders (glucose and glycogen levels do not differ from the control), but are characterised by a significantly reduced level of triglycerides compared to the control group. Anatomical analysis revealed a phenotype atypical for normal ageing: instead of the expected atrophy, the experimental lines showed pathological hypertrophy (increased volume) of the heart, muscles and elements of the nervous system.

Keywords: *Drosophila melanogaster*, ageing, high-protein diet, metabolism, micro-CT, hypertrophy, triglycerides, TOR pathway.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

Комбінований вплив препарату магнію та дії електричного струму на розвиток симптомів ПТСР у мишей

Виконав: студент II курсу,

групи БХ-2м

Спеціальності 091 Біологія та біохімія
(ОПП Біохімія)

Михайло ЛИЛИК

Керівник: д.б.н., проф. Марія БАЙЛЯК

Рецензент: к.б.н., Ольга СТРІЛЬБИЦЬКА

Івано-Франківськ – 2025

АНОТАЦІЯ

Лилик М. В. Комбінований вплив препарату магнію та дії електричного струму на розвиток симптомів ПТСР у мишей.

Дипломна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія та біохімія (освітня програма Біохімія).

У роботі досліджено комбінований вплив препарату Mg-B6 та електричного струму на розвиток симптомів посттравматичного стресового розладу (ПТСР) у самців мишей лінії C57BL/6J. Модель ПТСР, індукована шоком високої інтенсивності, ефективно відтворює симптоми розладу, що підтверджується підвищенням завмирань в тесті аверсивного контексту. Поведінкові тести (відкрите поле, сплеш-тест, піднесений плюс-лабіринт, світло-темний ящик) показали посилення тривожності та зниження дослідницької активності у групі «стрес+Mg-B6», порівняно з контролем та стресовою групою без Mg-B6.

Біохімічний аналіз виявив відсутність змін в активності параоксонази та підвищення активності мієлопероксидази у крові у групах з Mg-B6, що може вказувати на активацію запальних процесів. Загалом, результати свідчать про те, що вплив електричного струму ефективно моделює симптоми ПТСР у мишей, а препарат Mg-B6 не виявляє очікуваного коригуючого ефекту, навпаки, посилюючи деякі прояви тривожності та поведінкових дисфункцій.

Ключові слова: ПТСР, Mg-B6, поведінкові тести, мієлопероксидаза, миші.

Lylyk M. V. Combined effect of magnesium preparation and electric current on the development of PTSD symptoms in mice.

Master's Thesis for obtaining the second (master's) level of higher education in the specialty 091 Biology and Biochemistry (Educational Program Biochemistry).

The study investigated the combined effect of magnesium and electric current on the development of post-traumatic stress disorder (PTSD) symptoms in male C57BL/6J mice. The PTSD model induced by high-intensity shock effectively reproduces the disorder's symptoms, as confirmed by increased freezing in the aversive context.

Behavioral tests (open field, splash test, elevated plus maze, light-dark box) showed enhanced anxiety and reduced exploratory activity in the "stress+Mg-B6" group compared to the control group and stress group without magnesium. Biochemical analysis revealed no changes in paraoxonase activity and increased myeloperoxidase activity in groups with magnesium, which may indicate activation of inflammatory processes. Overall, the results suggest that electric current effectively models PTSD symptoms in mice, while the magnesium preparation does not show the expected corrective effect; instead, it enhances some manifestations of anxiety and behavioral dysfunctions.

Keywords: PTSD, magnesium, behavioral tests, myeloperoxidase, mice.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

**Метаболічні показники у мозку мишей з експериментально
індукованим ПТСР**

Виконала: студентка II курсу, групи БХ-2м

Спеціальності 091 Біологія та біохімія

(ОПП Біохімія)

Анна ОХОВИЧ

Керівник: д.б.н., проф. Марія БАЙЛЯК

Рецензент: к.б.н. Ольга СТРІЛЬБИЦЬКА

АНОТАЦІЯ

Охович А.Р. Метаболічні показники у мозку мишей з експериментально індукованим ПТСР.

Дипломна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія та біохімія (ОПП Біохімія).

Дипломна робота присвячена дослідженню статевозалежних відмінностей у поведінкових та молекулярних реакціях на стрес у мишей після дії електричного струму (футшоку) різної інтенсивності. Актуальність теми зумовлена необхідністю глибшого розуміння механізмів стресової відповіді, що має значення для моделювання посттравматичного стресового розладу (ПТСР) та інших стрес-асоційованих патологій. Особлива увага приділялася оцінці поведінкових показників у тестах на тривожність та пам'ять, а також аналізу змін у системі антиоксидантного захисту й експресії генів, пов'язаних зі стрес-реакцією, метаболізмом і нейрозапаленням.

Встановлено, що дія електричного стресу спричиняє статевоспецифічні відмінності у фізіологічній та молекулярній відповіді. Самки виявляли вищу чутливість до стресу, що проявлялося більш вираженими поведінковими змінами, активацією мітохондріальних антиоксидантних шляхів та посиленням експресії генів, пов'язаних із запальною та глюкокортикоїдною відповіддю (*IL6*, *PGC1A*, *FKBP5*, *SGK1*). У самців, навпаки, спостерігалися переважно компенсаторні зміни в антиоксидантній системі без суттєвого розвитку оксидативного стресу. Отримані результати свідчать про відмінні механізми нейробиологічної адаптації до стресу у самців і самок та підкреслюють необхідність урахування статевих факторів при вивченні стресових і нейродегенеративних процесів.

Ключові слова: ПТСР, електричний струм, футшок, миша, мозок, статеві відмінності, поведінка, оксидативний стрес, антиоксидантна система, ПЛР.

ANNOTATION

Okhovych A.R. Metabolic parameters in the brain of mice with experimentally induced PTSD.

Master's Thesis for obtaining the second (master's) level of higher education in the specialty 091 Biology and biochemistry (Educational Program Biochemistry).

The master's thesis is devoted to the study of sex-dependent differences in behavioral and molecular responses to stress in mice exposed to electrical footshock of varying intensities. The relevance of this work lies in the need for a deeper understanding of the mechanisms of the stress response, which is essential for modeling post-traumatic stress disorder (PTSD) and other stress-related pathologies. Particular attention was paid to the assessment of behavioral parameters in anxiety and memory tests, as well as to the analysis of changes in the antioxidant defense system and the expression of genes associated with stress response, metabolism, and neuroinflammation.

The study revealed that exposure to electrical stress induces sex-specific differences in physiological and molecular responses. Female mice exhibited higher stress sensitivity, manifested by more pronounced behavioral alterations, activation of mitochondrial antioxidant pathways, and upregulation of genes involved in inflammatory and glucocorticoid responses (*IL6*, *PGC1A*, *FKBP5*, *SGK1*). In contrast, male mice showed predominantly compensatory changes in the antioxidant system without significant oxidative stress development. These findings indicate distinct mechanisms of neurobiological adaptation to stress in males and females and emphasize the importance of considering sex as a biological variable in studies of stress-related and neurodegenerative processes.

Keywords: PTSD, electric footshock, mouse, brain, sex differences, behavior, oxidative stress, antioxidant system, PCR.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

**ПОВЕДІНКА ТА БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ У МОЗКУ МИШЕЙ ЗА
КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ ЗАПАЛЕННЯ ТА ПТСР**

Виконала: студентка II курсу, групи

БХ-2м

Спеціальності 091 Біологія та
біохімія (ОПП Біохімія)

Анастасія ТКАЧИК

Керівник: д.б.н., проф. Марія
БАЙЛЯК

Рецензент: доктор філософії,
асистент Олег ДЕМ'ЯНЧУК

Івано-Франківськ – 2025

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія та біохімія (ОПП Біохімія).

Посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) є складним психічним розладом, що розвивається у відповідь на вплив травматичних подій і супроводжується довготривалими змінами емоційної, когнітивної та поведінкової діяльності. Відомо, що ПТСР асоціюється з порушенням функцій центральної нервової, ендокринної й імунної систем, а також із розвитком нейрозапалення. Імунні механізми та процеси оксидативного стресу відіграють ключову роль у формуванні та підтримці патологічних змін у мозку за умов стресових чинників, що зумовлює необхідність комплексного вивчення їх взаємозв'язку. Особливий науковий інтерес становить дослідження комбінованого впливу запалення та ПТСР, оскільки в реальних умовах ці фактори часто діють одночасно, підсилюючи негативний вплив один одного.

Метою нашого дослідження було оцінити особливості поведінкових змін, стан антиоксидантної системи й експресію молекулярних маркерів у мозку мишей за умов одночасного впливу запалення й посттравматичного стресового розладу, індукованого електричним струмом. У ході експерименту запальний процес у тварин індукували внутрішньочеревинним введенням ліпополісахариду (ЛПС), після чого моделювали стресову реакцію за допомогою ударів електричним струмом з метою оцінки взаємодії цих факторів і їхнього впливу на розвиток ПТСР-подібної поведінки.

У дослідженні використовували тваринну модель – 5-6-місячних самок мишей лінії C57BL/6J. Тварин було поділено на чотири групи: 1 – контрольну, 2 – з введенням ліпополісахариду (ЛПС), 3 – з експозицією ударами електричним струмом (УС) та 4 – комбіновану групу (ЛПС+УС).

Поведінкові зміни тварин оцінювали за допомогою наступних тестів: відкритого поля – для визначення рівня загальної рухової активності та тривожності, піднесеного плюс-лабіринту – для оцінки емоційного стану й

аверсивного контексту – для аналізу когнітивних функцій і реакцій пам'яті на удари електричним струмом.

Біохімічні дослідження включали визначення вмісту пероксидів ліпідів у різних структурах мозку мишей (корі великих півкуль, гіпоталамусі та гіпокампі), а також активностей антиоксидантних ферментів: каталази, глутатіонпероксидази, глутатіонредуктази, НАД(Ф)Н-хінонооксидоредуктази 1 (НХО1) і глутатіон-S-трансферази. Для з'ясування молекулярних механізмів використовували метод полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) в реальному часі, який дозволив визначити рівень транскрипції генів, пов'язаних із запаленням, психологічним стресом, метаболічною та детоксикаційною відповіддю.

Дослідження показало, що комбінований вплив стресу та системного запалення викликає найбільш виражені ПТСР-подібні поведінкові порушення та стійкий умовний страх у мишей. Біохімічні аналізи виявили нижчий рівень пероксидів ліпідів у гіпокампі та пригнічення активності НХО1, що свідчить про порушення Nrf2-залежної антиоксидантної відповіді. На транскрипційному рівні зафіксовано активацію глюкокортикоїдного шляху (підвищення рівня мРНК *SGK1*, зниження рівня мРНК *FKBP5*) й індукцію запальних хемокінів (*CCL2*, *CXCL2*). Загалом поєднання стресу електричним струмом й запалення формує більш виражений ПТСР-подібний фенотип, ніж дія кожного фактору окремо.

Ключові слова: посттравматичний стресовий розлад (ПТСР), травматичні події, ліпополісахарид (ЛПС), запалення, миші, поведінкові тести, оксидативний стрес, антиоксидантна система, мозок, експресія генів.

ANNOTATION

Thesis for the second (master's) degree of higher education in the specialty 091 Biology and Biochemistry (Educational Program Biochemistry).

Post-traumatic stress disorder (PTSD) is a complex mental disorder that develops in response to the impact of traumatic events and is accompanied by long-term changes in emotional, cognitive and behavioral activity. It is known that PTSD is

associated with impaired functions of the central nervous, endocrine and immune systems, as well as with the development of neuroinflammation. Immune mechanisms and oxidative stress processes play a key role in the formation and maintenance of pathological changes in the brain under stressful conditions, which necessitates the comprehensive study of their relationship. Of particular scientific interest is the study of the combined effect of inflammation and PTSD, since in real conditions these factors often act simultaneously, amplifying each other's negative effects.

The aim of our study was to assess the features of behavioral changes, the state of the antioxidant system, and the expression of molecular markers in the brain of mice under the conditions of simultaneous exposure to inflammation and post-traumatic stress disorder induced by electrical shock. During the experiment, the inflammatory process in animals was induced by intraperitoneal administration of lipopolysaccharide (LPS), after which the stress response was simulated using electrical shock (procedure «foot shock») in order to assess the interaction of these factors and their impact on the development of PTSD-like behavior.

The study used an animal model – 5-6-month-old female mice of the C57BL/6J line. The animals were divided into four groups: 1 – control, 2 – with the administration of lipopolysaccharide (LPS), 3 – with exposure to electric shocks (FS) and 4 – a combined group (LPS+FS).

Behavioral changes in animals were assessed using the following tests: open field – to determine the level of general motor activity and anxiety, elevated plus maze – to assess the emotional state, and aversive context – to analyze cognitive functions and memory reactions to stressful stimuli.

Biochemical studies included the determination of levels of lipid peroxides in various brain structures (cerebral cortex, hypothalamus and hippocampus) of mice, as well as the activity of antioxidant enzymes: catalase, glutathione peroxidase, glutathione reductase, NAD(P)H-quinone oxidoreductase 1 (NQO1) and glutathione-S-transferase. To elucidate the molecular mechanisms of these changes, we used real-time polymerase chain reaction (RT-PCR), which allowed us to determine the level of

transcription of genes associated with inflammation, psychological stress, metabolic and detoxification response.

The study showed that the combined effect of stress and systemic inflammation causes the most pronounced PTSD-like behavioral disorders and persistent conditioned fear in mice. Biochemical analyses revealed a decrease in lipid peroxides in the hippocampus, along with inhibition of NQO1 activity, indicating a disruption of the Nrf2-dependent antioxidant response. At the transcriptional level, activation of the glucocorticoid pathway (increased *SGK1* mRNA level, decreased *FKBP5* mRNA level) and induction of inflammatory chemokines (*CCL2*, *CXCL2*) were recorded. In general, the combination of stress and inflammation forms a more pronounced PTSD-like phenotype than the action of each factor separately.

Keywords: PTSD, traumatic events, LPS, inflammation, mice, behavioral tests, oxidative stress, antioxidant system, brain, gene expression.

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра біохімії та біотехнології

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього рівня магістр

на тему:

**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ ТА ІОННОГО
ГОМЕОСТАЗУ ТОПІНАМБУРА В УМОВАХ КАДМІЙ-ІНДУКОВАНОГО
СТРЕСУ**

Виконав: студент II курсу,

групи Бх-2 (М)

Спеціальності 091 Біологія та біохімія
(ОП Біохімія)

Дмитро ШЕБУНЧАК

Керівник: к.б.н., доц. Віктор ГУСАК

Рецензент: к.б.н., Уляна

СТАМБУЛЬСЬКА

АНОТАЦІЯ

Шебунчак Д. С. “Взаємозв’язок антиоксидантного захисту та іонного гомеостазу у топінамбура в умовах кадмій-індукованого стресу”

Дипломна робота на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 091 Біологія та біохімія, освітня програма Біохімія.

У цій роботі було досліджено біохімічні показники рослини топінамбура (*Helianthus tuberosus* L.) – відомого фітоекстрактора – у відповідь на вплив різних концентрацій іонів кадмію (Cd^{2+}) в умовах *in vitro*. Метою було оцінити ступінь токсичності металу та механізми адаптації рослини. Встановлено, що високі рівні кадмію індукують значний оксидативний стрес у клітинах, що призводить до порушення функціонування антиоксидантної системи та виражається у зниженні активності відповідних ферментів.

Отримані результати підтверджують значний негативний вплив важких металів на фізіологічні процеси рослин, але водночас підкреслюють потенціал *Helianthus tuberosus* L. як інструмента біоремедіації для очищення забруднених ґрунтів.

Ключові слова: іони металів, окисно-відносна система рослин, топінамбур, фіторемедіація.

Shebunchak D. S. “The interrelation of antioxidant defence and ionic homeostasis in Jerusalem artichoke under cadmium-induced stress”

Master’s Thesis for the attainment of the second (master’s) level of higher education in the specialty 091 Biology and Biochemistry, educational program Biochemistry.

This study investigated the biochemical parameters of *Jerusalem artichoke* (*Helianthus tuberosus* L.) – a well-known phytoextractor – in response to varying concentrations of cadmium ions (Cd^{2+}) under *in vitro* conditions. The aim was to assess the degree of metal toxicity and the plant’s adaptive mechanisms. It was found that elevated cadmium levels induce significant oxidative stress in plant cells, leading to disruption of the antioxidant system and manifested by decreased activity of related enzymes.

The obtained results confirm the pronounced negative impact of heavy metals on plant physiological processes, while simultaneously highlighting the potential of *Helianthus tuberosus* L. as a tool for bioremediation of contaminated soils.

Keywords: heavy metals, plant redox system, *Jerusalem artichoke*, phytoremediation.