

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Шадріної Руслани Юріївни «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 091 – Біологія

Публічна презентація наукових результатів дисертації Шадріної Руслани Юріївни «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу» та її обговорення відбулися 24 червня 2024 р. на розширеному засіданні відділу клітинної біології та біотехнології Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки Національної академії наук України». У результаті проведеної презентації та обговорення дисертації присутні на засіданні відділу дійшли таких висновків:

**Науковий рівень дисертації відповідає діючим вимогам до атестації здобувачів ступеня доктора філософії, а саме вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 із змінами, а саме:**

**щодо пунктів 6 і 7** – дисертація подана у вигляді спеціально підготовленого рукопису, написаного державною мовою, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною особисто здобувачем. Дисертація відзначається єдністю змісту, має встановлену вимогами структуру: анотацію, вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел, додаток та містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень для виконання завдання, що має значення в галузі біологія, а саме – адаптації рослин за умов зміненої гравітації.

**Дисертація виконана на актуальну тему.** Мікрогравітація – це унікальний стресовий фактор, який впливає на рослини різними шляхами, включаючи зміну їхнього росту та розвитку. Знання про те, як рослини адаптуються до умов зміненої гравітації, є надзвичайно важливими для забезпечення довготривалих космічних місій. Дослідження аутофагії у *Arabidopsis thaliana* під впливом мікрогравітації з акцентом на ролі

мікротрубочок є актуальними і надають нові знання про особливості фізіологічних та молекулярних процесів, які відбуваються у рослин за стресових умов. Експерименти з використанням кліноостатування показують, що мікрогравітація впливає на клітинний метаболізм, рівень експресії генів та функціонування складових цитоскелету, що має вагоме значення для розробки інноваційних підходів до вирощування рослин в умовах космічного польоту, а у подальшому – для отримання продуктів харчування в умовах зміненої гравітації.

Дисертаційна робота виконана у рамках бюджетної тематики відділу клітинної біології та біотехнології ДУ «ІХБГ НАН України»: «Дослідження відповіді рослин на дію абіотичних та біотичних чинників на клітинному та генетичному рівнях для покращення їх адаптивних властивостей до несприятливого впливу змін кліматичних умов» (2017–2021 рр., номер ДР 0117U000909) та проекту «Розробка концепції регуляції розвитку та стресостійкості рослин для їх адаптації до умов космічних польотів шляхом залучення клітинно-біологічних ресурсів» цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень (2018–2022 рр., номер ДР 01118U003742), що підтверджує актуальність та цінність її напрацювання.

**Результати дослідження дисертанта мають наукову новизну.** Встановлено, що кліноостатування (режим обертання 4 об/хв) індукує процеси розвитку аутофагії в клітинах кореня *A. thaliana* за участю мікротрубочок. Встановлено роль оксиду азоту у відповіді рослин на кліноостатування за участі донора NO нітропрусиду натрію та скавенджера (сРТІО). Визначено концентрацію ендогенного оксиду азоту та внутрішньотканинну локалізацію у клітинах кореня *A. thaliana* у відповідь на умови мікрогравітації. Показано, що обробка насіння *A. thaliana* нітропрусидом натрію стимулює зміни росту коренів та призводить до підвищення стійкості рослин до кліноостатування. Проаналізовано профілі експресії генів білка АТG8, та встановлено, що мікрогравітація індукує підвищення рівня експресії генів *AtATG8* *A. thaliana* на різних часових проміжках. Виявлено спільну експресію генів  $\alpha$ -тубуліну та білка АТG8, що може слугувати підтвердженням участі цих генів у реалізації аутофагії, індукованої мікрогравітацією. Вперше отримано профілі експресії генів  $\beta$ -тубуліну в процесі розвитку стрес-індукованої аутофагії за умов кліноостатування. Проведено порівняльний аналіз рівнів експресії всіх досліджуваних генів та встановлено спільну експресію *AtATG8b*, *AtATG8f*, та *AtTUA2*, *AtTUA3*, та *AtTUB2* та *AtTUB3*, що вказує на специфічність залучення

зазначених генів у реалізацію адаптивної відповіді клітин на вплив мікрогравітації.

**Результати дисертації мають практичну цінність**, яка полягає в тому, що отримані результати слугуватимуть підґрунтям для розробки підходів до підвищення адаптації рослин під час їх вирощування в умовах космічного польоту. Одержані наукові дані є важливими для подальшого вивчення клітинних механізмів залучення різних ізотипів білка ATG8 та їх взаємодії з іншими клітинними компонентами у розвитку аутофагії за умов мікрогравітації. Використання ефективних донорів та скавенджерів NO дозволить додатково дослідити роль оксиду азоту в опосередкуванні дії такого стресу як мікрогравітація. Отримані результати можуть використовуватись для вирішення проблем, пов'язаних з вирощуванням рослин в закритих системах життєзабезпечення під час довготривалих космічних місій.

**Оформлення дисертації** відповідає діючим вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40. Робота виконана в науковому стилі, її зміст викладено в логічній послідовності розв'язування завдань дослідження.

**Структура й обсяг дисертації відповідають вимогам виконаної освітньо-наукової програми.** Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, узагальнення результатів дослідження, висновків, списку використаних джерел, додатку. Робота викладена на 148 сторінках тексту. Дисертація містить 27 рисунків, додаток. Список використаних джерел містить 236 найменувань.

**Наукові результати дисертації опубліковані у повному обсязі, апробація результатів є достатньою**, отже вимоги пунктів 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 із змінами виконані.

За темою дисертації опубліковано 12 робіт, зокрема, стаття у науковому фаховому виданні України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus/Web of Science, серед них одна – у видавці **Q1**, 8 тез доповідей наукових міжнародних та вітчизняних конференцій.

В опублікованих працях здобувача повністю відображені сутність та зміст отриманих результатів дослідження та їхня наукова новизна. Результати дослідження доповідались і отримали позитивну оцінку на вітчизняних та

міжнародних науково-практичних конференціях. З огляду на зазначене апробація результатів дисертаційної роботи є достатньою.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті:

1. Yemets A, **Shadrina R**, Blume R, Plokhovska S, Blume Y. Autophagy formation, microtubule disorientation, and alteration of ATG8 and tubulin gene expression under simulated microgravity in *Arabidopsis thaliana*. npj Microgravity. 2024 Mar 18;10(1):1–16. doi: 10.1038/s41526-024-00381-9. (Особистий внесок – проведення молекулярно-біологічного аналізу, лазерної та конфокальної мікроскопії, узагальнення результатів, підготовка матеріалів для публікації). (Scopus/WoS, **Q1**, IF -5.1).
2. Yemets AI, Plokhovska SH, **Shadrina RYu**, Kravets OA, Blume YaB. Elucidation of cellular mechanisms of autophagy involvement in plant adaptation to microgravity conditions. Space Sci. & Technol. 2023;29(2):22–31. <https://doi.org/10.15407/knit2023.02.022> (Особистий внесок – приймала участь в проведенні експериментальних досліджень, аналізі результатів та підготовці статті). (Scopus/WoS, **Q4**).
3. Plokhovska SH, **Shadrina RYu**, Kravets OA, Yemets AI, Blume YaB. The Role of Nitric Oxide in the *Arabidopsis thaliana* Response to Simulated Microgravity and the Involvement of Autophagy in This Process. Cytol Genet. 2022 Jun 1;56(3):244–52. doi: 10.3103/S0095452722030100. (Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів, формування матеріалів для публікації). (Scopus/WoS, **Q4**, IF – 0.5).
4. **Шадріна РЮ**, Ємець АІ, Блом ЯБ. Розвиток аутофагії як адаптивної відповіді рослин *Arabidopsis thaliana* на умови мікрогравітації. Фактори експериментальної еволюції організмів: зб. наук. пр. 2019 Серпень 30;25:327–32. doi:10.7124/FEEO.v25.1186. (Особистий внесок – участь у виконанні всіх експериментів, обробці даних та написанні статті).

### Тези:

5. **Shadrina RYu**, Arslan SH, Yemets AI. Development of autophagy on simulated microgravity in plants and the role of microtubules in this process. В: Наукове видання під загальною редакцією Блома ЯБ. Тези доп. IV конференція

- молодих учених «Біологія рослин та біотехнологія»; 2024 трав. 16-18; Київ, Україна. Київ: 2024. С. 14
6. Plokhovska SH, Kravets OA, **Shadrina RYu**, Yemets AI, Blume YaB. Crosstalk between nitric oxide and melatonin signalling molecules in *Arabidopsis* under simulated microgravity. В: Наукове видання під загальною редакцією Соколова ВМ. Тези доп. Міжнародна наукова інтернет-конференція «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи»; 2022 жовт. 26; Одеса, Україна. 2022. С. 144-145.
  7. Blume YaB, Plokhovska SH, **Shadrina RYu**, Kravets OA, Yemets AI. The role of nitric oxide in *Arabidopsis thaliana* response to simulated microgravity and the participation of autophagy in the mediation of this process. In: Manolis KG, editor. Abstracts. 44th COSPAR Sci. Assembly; 2022 Jul 16-24; Athens, Greece. 2022. P. 2902.
  8. **Шадрина РЮ**, Плоховська СГ, Горюнова ІІ, Кравець ОА, Ємець АІ, Блюм ЯБ. Розвиток стрес-індукованої автофагії у відповіді рослин на умови мікрогравітації та радіаційне опромінення. В: Ульянченко ОВ, редактор. Тези доп. Міжнародна науково-практична конференція «Стрес і адаптація рослин»; 2021 лют. 25-26; Харків, Україна. Вісник ХНАУ: Серія Біологія. 2021. С. 71.
  9. **Shadrina RYu**, Horiunova II, Yemets AI. Changes in atg8 and tua gene expression during autophagy induced by microgravity condition in *Arabidopsis thaliana*. В: Наукове видання під загальною редакцією Отченашко ВВ. Тези доп. ІХ Всеукраїнська науково-практична онлайн-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Біотехнологія: звершення та надії»; 2021 трав. 20-21; Київ, Україна. 2021. С. 96.
  10. **Shadrina RYu**, Horiunova II, Yemets AI. Transcriptome analysis of atg8 and tua genes involved in process of autophagy induced by microgravity stress. In: Scientific publication under the general editorship by Skrypnyk NV. Abstr. XVIII International conference of students and young scientists «Shevchenkivska vesna: bioscience advances»; 2020 May 2; Kyiv, Ukraine. 2020. P. 140.
  11. **Shadrina R**, Yemets A, Blume Y. Autophagy development in *Arabidopsis thaliana* under microgravity. Plant Biology (PB19) & Plant Synthetic Biology Major Symposium organized by ASPB (American Society of Plant Biologists); 2019 Aug; San Jose, CA, USA. 2019. P. 297.

12. **Шадріна РЮ, Ємець АІ, Блюм ЯБ.** Дослідження морфологічних ознак аутофагії в коренях *Arabidopsis thaliana* в умовах зміненої гравітації. В: Сибірний АА, редактор. Тези доп. 6-й з'їзд Українського товариства клітинної біології; 2019 черв. 18-21; Яремче, Україна. 2019. С. 155.

**Апробація результатів дисертації.** Результати наукового пошуку здобувачки обговорювались на вітчизняних та міжнародних науково-практичних конференціях: 6-му з'їзді Українського товариства клітинної біології (18–21 червня 2019, Яремче, Україна); Міжнародному симпозиумі «Plant Biology» (3–7 серпня 2019, Сан Хосе, США); XVIII Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Шевченківська весна: досягнення біологічної науки» (2 травня 2020, Київ, Україна); IX Всеукраїнській науково-практичній онлайн – конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Біотехнологія: звершення та падії» (20–21 травня 2021, Київ, Україна); Міжнародній науково-практичній конференції «Стрес і адаптація рослин» (25-26 лютого 2021, Харків, Україна); 44-й Генеральній науковій Асамблеї COSPAR (16-24 липня 2022, Афіни, Греція); Міжнародній науковій інтернет-конференції «Селекція, генетика та біотехнологія сільськогосподарських рослин: досягнення, інновації та перспективи» (26 жовтня 2022, Одеса, Україна); IV-й Конференції молодих учених «Біологія рослин та біотехнологія» (16-18 травня 2024 р. Київ, Україна).

Дисертаційна робота Шадріної Руслани Юріївни на тему «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу» **виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності.** Усі результати, представлені на захист, були отримані самостійно та відображені в опублікованих працях. У співавторських роботах використано лише ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових досліджень. Особистий внесок аспірантки в колективні наукові роботи зазначено у списку праць здобувачки, що наведено вище.

Робота виконана з дотриманням біоетичних принципів (протокол № 2 засідання комісії з питань біоетики ДУ «ІХБГ НАН України» від 28 червня 2024 року.).

**Загальний висновок.** Дисертація Шадріної Р.Ю. являє собою закінчену науково-дослідну роботу, яка спрямована на рішення актуального завдання щодо з'ясування ролі аутофагії та мікротрубочок за впливу мікрогравітації на модельну рослину *Arabidopsis thaliana*, а також участі NO в забезпеченні відповіді рослин на дію цього стресового фактору. Проведені

дослідження характеризують Шадріну Р.Ю. як кваліфікованого та зрілого наукового працівника, здатного проводити теоретичні та практичні дослідження в галузі біології на високому рівні. Дисертація володіє методологією наукового пошуку, має широкий науковий кругозір.

Подана дисертаційна робота «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу» Шадріної Р.Ю. відповідає спеціальності 091 – Біологія, вимогам до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової вченої рада закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 із змінами, та може бути представлена до публічного захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

**Рішенням розширеного засідання відділу клітинної біології та біотехнології (протокол № 8 від 24.06. 2024 р.) УХВАЛИЛИ:**

**Затвердити** Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів дисертації Шадріної Руслани Юріївни «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 091 – Біологія.

**Рекомендувати** дисертацію Шадріної Р.Ю. «Роль аутофагії у відповіді *Arabidopsis thaliana* на вплив мікрогравітації та участь мікротрубочок в опосередкуванні цього процесу» до публічного захисту у разовій спеціалізованій вченій раді в галузі знань 09 – Біологія зі спеціальності – 091 Біологія після її утворення рішенням вченої ради ДУ «ІХБГ НАН України» та введення в дію відповідного наказу.

Головуючий на засіданні,  
заст. завідувача відділом клітинної  
біології і біотехнології  
ДУ «ІХБГ НАН України»,  
канд. біол. наук, ст. наук. сп.



Віталій КОРХОВИЙ

08.07.2024 р.