

«ЗАТВЕРДЖУЮ»:
Директор Інституту ботаніки
ім. М.Г. Холодного НАН України
чл.-кор. НАН України С.Л. Мосякін



» травня 2021 р.

ВИТЯГ
з протоколу № 6
розширеного засідання відділу фітогормонології
Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
від 19 травня 2021 р.

Присутні: д.б.н., професор Косаківська І.В., д.б.н. Веденичова Н.П., д.б.н. Козеко Л.Є., д.б.н., професор Колупаєв Ю.Є., д.б.н. Карпець Ю.В., к.б.н. Васюк В.А., к.б.н. Шевченко Г.В., к.б.н. Щербатюк М.М., аспірант Шкляревський М.А.

Слухали: доповідь аспіранта кафедри ботаніки і фізіології рослин Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва Шкляревського Максима Анатолійовича «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів» – апробація дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 – Біологія.

Тема дисертації «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів» затверджена за засіданні вченої ради факультету захисту рослин Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва 12 жовтня 2018 р. (протокол № 7).

УХВАЛИЛИ:

Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дисертаційної роботи Шкляревського Максима

Анатолійовича «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів».

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дисертаційної роботи

аспіранта кафедри ботаніки і фізіології рослин Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва

Шклярєвського Максима Анатолійовича

«Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань Біологія за спеціальністю 091 – Біологія

1. Актуальність теми. До фундаментальних завдань сучасної біології належить дослідження закономірностей функціонування систем регуляції і сигналіngu рослин, важливим компонентом яких є фітогормони. Реалізація їхньої дії відбувається за участі низки сигнальних посередників й визначається тісними взаємозв'язками між усіма складовими цієї надскладної мережі, яка контролює ріст, розвиток й пристосування рослин до дії різноманітних чинників навколишнього середовища.

Поряд з іонами кальцію і активними формами кисню (АФК) до посередників з потужним сигнальним потенціалом відносять газотрансмітери – невеликі за розміром газоподібні молекули, що синтезуються ферментними системами і здатні досить легко проникати через мембрани. Ключовими газотрансмітерами вважаються оксид азоту (NO), сірководень (H₂S) і монооксид вуглецю (CO). Для рослинних клітин відносно детально досліджена лише роль NO як сигнального посередника.

Водночас відомості стосовно ролі монооксиду вуглецю в регуляції функцій рослинного організму поки що дуже фрагментарні. Зокрема, дотепер були відсутні дані про вплив CO на теплостійкість інтактних рослин. Відкритим є питання про роль інших компонентів сигнальної мережі в реалізації стрес-протекторної дії монооксиду вуглецю.

Функціональні зв'язки між фітогормонами і газотрансмітерами, ймовірно, полягають не лише у залученні останніх в передачу в генетичний апарат гормональних сигналів. Є також окремі дані, що опосередковано вказують на роль специфічних білкових компонентів гормонального сигналіngu (зокрема, ключових білків жасмонатного сигналіngu COI1

ЛН1/МУС 2) в регуляторні процеси, пов'язані з дією газотрансмітерів. Однак спеціальних досліджень ролі жасмонатного сигналіngu в прояві стрес-протекторної дії на рослини газотрансмітерів дотепер не проводилося.

Дослідження, спрямовані на з'ясування ролі функціональних зав'язків газотрансмітерів між собою та з іншими сигнальними посередниками і стресовими фітогормонами у регуляції адаптивних процесів у рослин важливі як для нових фундаментальних знань у галузі стресології, так і для вирішення практичних завдань підвищення стійкості рослин фізіологічно активними речовинами та їх композиціями.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження виконувалися в межах двох науково-дослідних тем кафедри ботаніки і фізіології рослин Харківського національного аграрного університету ім. В.В.Докучаєва – «Роль сигнальних посередників і сполук з гормональною активністю у формуванні адаптивних реакцій рослин на абіотичні стресори» (№ держреєстрації 0117U002427; Згідно з наказом Міністерство освіти і науки України № 198 від 10.02.2017) та «Механізми індукування компонентів стрес-протекторної системи рослин» (2016-2020 рр.) (№ держреєстрації 0117U002514), а також гранту за програмою «Grants for Multidisciplinary research teams 2020 of Ministry of Foreign Affairs of the Czech Republic. Direction curator – Czech University of Life Science, Prague» (проєкту Czech Republic Development Cooperation «Платформа AgriSciences для розвитку науки у вищих навчальних закладах України»).

3. Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше встановлено ефект індукування розвитку теплостійкості інтактних рослин (проростків пшениці) дією донора монооксиду вуглецю (геміну) і досліджено участь АФК, іонів кальцію та оксиду азоту в реалізації стрес-протекторних ефектів СО. Встановлено, що найбільш раннім ефектом, який відбувається за впливу донора СО на клітини коренів проростків, є кальційзалежне зростання вмісту NO, асоційоване зі збільшенням активності нітратредуктази. Подальшим сигнальним ефектом СО є зростання вмісту пероксиду водню в клітинах коренів, пов'язане з підвищенням активності позаклітинної пероксидази.

Показано участь сірководню як сигнального посередника у реалізації стрес-протекторних ефектів саліцилової кислоти на клітини коренів пшениці за впливу гіпертермії. Доведено причинно-наслідковий зв'язок між зростанням вмісту H₂S і підвищенням активності антиоксидантних ферментів

(СОД, каталази, гваяколпероксидази) в коренях проростків пшениці за дії саліцилової кислоти.

Вперше досліджено комбінований вплив стресового фітогормону 24-ЕБЛ і донора сигнальної молекули NO нітропрусиду натрію (НПН) на теплостійкість проростків пшениці і стан їх антиоксидантної системи. Встановлено, що посилення стрес-протекторної дії 24-ЕБЛ при використанні в комбінації з донором NO у низьких концентраціях зумовлено стабілізацією про-/антиоксидантної рівноваги у клітинах.

З використанням мутантів арабідопсису *coil* і *jin1* вперше експериментально доведено, що ключові білки жасмонатного сигналіngu залучені в реалізацію протекторної дії донорів сірководню, оксиду азоту та монооксиду вуглецю за умов сольового стресу.

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Дисертаційне дослідження розширює фундаментальні знання про механізми функціональної взаємодії між сигнальними посередниками-газотрансмітерами та окремими стресовими фітогормонами. Отримані результати можуть стати теоретичним підґрунтям для розробки нових методів підвищення стійкості рослин пшениці до несприятливих чинників навколишнього середовища, зокрема, високих температур і засолення. Практичний інтерес становить передусім комбіноване застосування саліцилової кислоти і донорів сірководню, а також брасиностероїдів і донорів оксиду азоту, яке дозволяє посилити стрес-протекторний вплив екзогенних фітогормонів на рослини.

Істотно модифіковано протокол вирощування рослин арабідопсису у малооб'ємній водній культурі з метою її використання для вивчення стрес-протекторної дії фізіологічно активних речовин, що може бути цінним для фундаментальних досліджень та практичного скринінгу біологічної активності природних і синтетичних сполук різної природи.

При виконанні роботи біотичні норми не були порушені.

5. Використання результатів роботи. Результати дисертаційної роботи використовуються у ХНАУ ім. В.В. Докучаєва при проведенні досліджень у галузі фізіології стійкості рослин, зокрема, вони використані при написанні колективної монографії “Hydrogen sulfide and Plant Acclimation to Abiotic Stresses”, що підготовлена до друку у видавництві Springer. Також

результати досліджень використовуються при викладанні загальних і спеціальних курсів з фізіології і біохімії рослин в ХНАУ ім. В.В. Докучаєва і ХНУ ім. В.Н. Каразіна.

6. Особистий внесок здобувача. Дисертантом самостійно опрацьовано джерела літератури, освоєно відповідні методи досліджень та проведено всі необхідні експерименти. Отримані результати інтерпретовані, узагальнені і підготовлені до публікації за участю наукового керівника. Частина експериментів проведена спільно зі співробітниками кафедри ботаніки та фізіології рослин ХНАУ ім. В.В.Докучаєва д.б.н. Ю.Є. Колупаєвим, к.б.н. Т.О. Ястреб і Г.А. Луговою, к.с.-г.н. М.В. Швиденком. Експерименти з вивчення участі компонентів жасмонатного сигналіngu у реалізації стрес-протекторної дії газотрансмітерів проводилися спільно з чл.-кор. НАН України О.П. Дмитрієвим (Інститут клітинної біології і генетичної інженерії НАН України). Частка особистої участі становить понад 70%.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Шклярєвського М.А. є результатом самостійних досліджень і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані результати та ідеї інших авторів мають відповідні посилання.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації у роботах, опублікованих автором, із зазначенням особистого внеску здобувача. За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 8 статей у фахових виданнях України та інших країн, з них 3 у журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS, а також 5 публікації у матеріалах і тезах конференцій. Матеріали, опубліковані у співавторстві, мають пропорційний внесок здобувача. Права співавторів не порушено.

**Статті у наукових виданнях, що індексовані
у наукометричній базі даних Scopus:**

1. **Shkliarevskiy, M. A.**, Karpets, Yu. V., Kolupaev, Yu. E., Lugovaya, A. A., & Dmitriev, A. P. (2020). Calcium-Dependent Changes in Cellular Redox Homeostasis and Heat Resistance of Wheat Plantlets under Influence of Hemin (Carbon Monoxide Donor). *Cytology and Genetics*, 54(6), 522–530. (Особистий внесок дисертанта: проведенні експериментів, обробка та інтерпретація результатів, участь у підготовці тексту статті)

2. Karpets, Yu. V., **Shkliarevskiy, M. A.**, Khripach, V. A., & Kolupaev, Yu. E. (2020). State of enzymatic antioxidative system and heat resistance of wheat plantlets treated by combination of 24-epibrassinolide and NO donor. *Cereal Research Communications*, 49, 207–216. DOI: 10.1007/s42976-020-00090-5 (Особистий внесок дисертанта: участь у проведенні експериментів, обробці результатів, підготовці тексту статті)

3. Yastreba, T.O., Kolupaev, Y.E., **Shkliarevskiy, M.A.**, Dyachenko, A.I., Dmitriev, A.P. Involvement of Jasmonate Signaling Components in Salt Stress-Induced Stomatal Closure in *Arabidopsis thaliana*. *Cytology and Genetics*, 2020, 54(4), P. 318-323.. (Особистий внесок дисертанта: участь у проведенні експериментів, обробка результатів)

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. **Шклярєвський, М.А.**, Карпець, Ю.В., Лугова, Г.А., & Горєлова, О.І. (2019). Комбінована дія нітропрусиду натрію та 24-епібрасиноліду на редокс-гомеостаз і теплостійкість проростків пшениці. *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*, 2(47), 71–81. (Особистий внесок дисертанта: участь у проведенні експериментів, обробці та інтерпретації результатів, підготовці тексту статті)

5. **Шклярєвський, М. А.**, Тарабан, Д. А., Павлов, Ю. П., & Карпець, Ю. В. (2019). Індукування неспецифічної стійкості сіянців сосни звичайної дією 24-епібрасиноліду. *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*, 3(48), 75–86. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, обробка та інтерпретація результатів, участь у підготовці тексту статті)

6. **Шклярєвський, М. А.**, Колупаєв, Ю. Є., Карпець, Ю. В., Швиденко, М. В., & Дмитрієв, О. П. (2020). Вплив донора монооксиду вуглецю (СО) на теплостійкість проростків пшениці та генерацію ними активних форм кисню.

Доповіді Національної академії наук України, 8, 73–80. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, обробка результатів, участь в їх інтерпретації та підготовці тексту статті)

7. Ястреб, Т. О., **Шкляревський, М. А.**, Колупаєв, Ю. Є., Карпець, Ю. В., & Дяченко, А. І. (2021). *Arabidopsis thaliana* у водній культурі як модельний об'єкт для досліджень фізіологічних ефектів сигнальних посередників і стресових фітогормонів. *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*, 1(52), 89–97. (Особистий внесок дисертанта: участь у проведенні експериментів, обробці та інтерпретації результатів)

8. Колупаєв, Ю.Є., Бесчасный, С.П., **Шкляревский, М.А.**, & Карпец, Ю.В. (2020). Монооксид углерода (CO) у растений: участие в клеточном сигналинге и адаптивных реакциях. *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*, 2(50), 35–53. (Особистий внесок дисертанта: аналіз і узагальнення даних літератури, участь у підготовці тексту статті)

Матеріали конференцій:

9. **Shkliarevskiy, M. A.**, Karpets, Yu. V., Kolupaev, Yu. E., Lugova, G. A., & Bessonova, V. P. (2020). Nitric oxide as mediator in induction of heat resistance of wheat seedlings by donor of carbon monoxide hemine. *Сучасні проблеми генетики, біотехнології і біохімії сільськогосподарських рослин. Тези доповідей Міжнародної наукової конференції (Одеса, Україна, 21 жовтня 2020 р.)* (С. 136–137). Одеса: СГІ–НЦНС.

10. **Shkliarevskiy, M. A.**, Kolupaev, Yu. E., Yastreba, T. O., Karpets, Yu. V., & Dmitriev, A. P. (2021). Participation of the jasmonate signaling transcription factor JIN1/MYC2 in implementing protective effects of NO, H₂S, and CO on Arabidopsis plants under salt stress. *Plants stress and adaptation. Proceedings of the International scientific conference (Kharkiv, Ukraine, February 25-26, 2021)* (pp. 24–25). Kharkiv: KhNAU.

11. **Шкляревский, М. А.**, Карпец, Ю. В., Швиденко, Н. В., & Колупаєв, Ю. Е. (2020). Сероводород как возможный посредник индуцирования теплоустойчивости проростков пшеницы экзогенной салициловой кислотой. *Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем. Тезисы докладов Международной научной конференции (Минск, Беларусь, 17–19 июня 2020 г.)* (С. 100). Минск: БГУ.

12. Kolupaev, Yu. E., Karpets, Yu. E., **Shkliarevskiy, M. A.**, & Svidenko, M. V. (2019). Nitric oxide, synthesized by nitrate reductase, as participant of transduction of hydrogen sulphide signal at induction of heat resistance of wheat

plantlets. *Proceedings of 6th Ukrainian Congress for Cell Biology with international representation* (Yaremche, Ukraine, June 18-21, 2019) (P. 126). Lviv: IFNMU.

13. Kolupaev, Yu. E., Karpets, Yu. V., **Shkliarevskiy, M. A.**, Yemets, A. I., & Blume, Ya. B. (2021). Gasotransmitters and plant adaptation to hyperthermia. *Plants stress and adaptation. Proceedings of the International scientific conference* (Kharkiv, Ukraine, February 25-26, 2021) (pp. 14–15). Kharkiv: KhNAU.

8. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень.
Наукові положення дисертації добре обґрунтовані. Матеріали, що складають основу виконаної роботи, за обсягом отриманих експериментальних даних, методичним рівнем досліджень, теоретичними узагальненнями, що впливають з їх аналізу та обговорення, забезпечують високий рівень їх обґрунтованості і достовірності, підтверджують зроблені автором висновки.

9. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

Дисертаційна робота Шкляревського М.А. «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів» повністю відповідає спеціальності 091 – Біологія, оскільки у ній одержано нові наукові і практично цінні результати, що належать до сучасних напрямів фізіології і біохімії рослин.

2. Констатувати, що дисертаційна робота Шкляревського М.А. «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, наукової і практичною цінністю одержаних результатів, змістом та оформленням відповідає вимогам пп. 9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р., № 167, та відповідає напряму наукового дослідження Освітньо-наукової програми Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва зі спеціальності 091 – Біологія.

3. Рекомендувати дисертацію Шкляревського М.А. «Функціональна взаємодія фітогормонів і газотрансмітерів при адаптації рослин до абіотичних стресорів» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 091 – Біологія.

Рецензенти:

пров. наук. співробітник
відділу фітогормонології
Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного
НАН України докт. біол. наук



Н.П. Веденичова

ст. наук. співробітник
відділу фітогормонології
Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного
НАН України канд. біол. наук



В.А. Васюк

Головуюча на засіданні
Завідувач відділу фітогормонології
Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного
НАН України докт. біол. наук, професор



І.В. Косаківська