

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U002954

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 29-06-2026

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шахов Іван Валерійович

2. Ivan V. Shakhov

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0009-6378-9866

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 091

Назва наукової спеціальності: Біологія

Галузь / галузі знань: біологія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Біологія

Дата захисту: 23-06-2026

Спеціальність за освітою: біологія

Місце роботи здобувача: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України

Код за ЄДРПОУ: 00497176

Місцезнаходження: проспект Героїв Харькова, Харків, Харківський р-н., 61060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія аграрних наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 13343

Повне найменування юридичної особи: Державний біотехнологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 44234755

Місцезнаходження: вул. Алчевських, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Державний біотехнологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 44234755

Місцезнаходження: вул. Алчевських, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 34.31.15, 34.31.31, 34.31.37, 68.35.29

Тема дисертації:

1. Механізми стрес-протекторної дії β -аміномасляної кислоти на зернові злаки
2. Mechanisms of Stress-Protective Action of β -Aminobutyric Acid on Cereal Crops

Реферат/анотація:

1. Актуальність дисертаційної роботи зумовлена необхідністю впровадження кліматично оптимізованих агротехнологій, здатних підвищувати адаптаційний потенціал культурних рослин і сприяти вирішенню проблеми продовольчої безпеки. Важливим напрямом таких досліджень є застосування фізіологічно активних речовин нового покоління, зокрема β -аміномасляної кислоти (ГАМК), яка в рослинах виконує функції стресового метаболіту та сигнально-регуляторної молекули. Недостатньо з'ясованими залишаються її зв'язки з ключовими клітинними посередниками — активними формами кисню, іонами кальцію та нітроген оксидом. Метою дослідження було встановлення участі активних форм кисню, іонів Ca^{2+} та нітроген оксиду в реалізації впливу ГАМК на стійкість зернових злаків до абіотичних стресорів, процеси проростання зернівки і метаболічні реакції, чутливі до дії екзогенної ГАМК. Для досягнення мети досліджено вплив ГАМК на стійкість пшениці й тритикале до високої температури, осмотичного та сольового стресів; визначено роль АФО, кальцію та NO у розвитку індукованої ГАМК теплостійкості; оцінено функціонування антиоксидантної й осмопротекторної систем за модельної посухи та засолення; порівняно ефективність

праймінгу зернівок і фоліарної обробки; встановлено вплив ГАМК на проростання насіння за несприятливих умов і схожість старого насіння. Об'єктами дослідження були рослини та насіння пшениці м'якої (*Triticum aestivum*) і тритикале ($\times$ *Triticosecale*), сорти яких відрізнялися за стійкістю й адаптивними стратегіями. У роботі застосовували моделювання посухи за допомогою ПЕГ 6000, сольовий стрес із використанням NaCl, тепловий стрес, праймінг насіння і фоліарну обробку розчинами ГАМК. Для з'ясування сигнальних механізмів використовували скавенджери та інгібітори АФО, NO і кальцієвих сигналів. Визначали ростові характеристики, виживаність, водний статус, фотосинтетичні пігменти, активність антиоксидантних ферментів, накопичення проліну, вуглеводів, фенольних сполук, антоціанів, показники окиснювального стресу й активність амілази. Отримані результати засвідчили, що екзогенна ГАМК позитивно впливає на інтегральні показники стійкості зернових злаків до високої температури, посухи та засолення. Обробка ГАМК підвищувала виживаність проростків пшениці після потенційно летального теплового стресу, зменшувала пригнічення росту за осмотичного стресу та сприяла збереженню води у тканинах. У тритикале ГАМК послаблювала негативний вплив модельної посухи, сольового та комбінованого стресів, зменшувала генерацію активних форм кисню й накопичення малонового діальдегіду, підвищувала активність антиоксидантних ферментів, сприяла накопиченню проліну, фенольних сполук та антоціанів. Встановлено, що індуковане ГАМК підвищення теплостійкості проростків пшениці пов'язане із залученням АФО та іонів кальцію як сигнальних посередників. ГАМК спричиняла транзиторне зростання вмісту гідроген пероксиду з подальшим підвищенням активності супероксиддисмутази, каталази і гваяколпероксидази. Використання скавенджерів та інгібіторів підтвердило участь НАДФН-оксидази, кальцієвих каналів і позаклітинного кальцію. Дія ГАМК мала сортову специфіку: у чутливих до посухи сортів її протекторний вплив був виражений сильніше. Праймінг зернівок і фоліарна обробка рослин ГАМК пом'якшували рістінгівальну дію ґрунтової посухи, сприяли збереженню водного статусу та фотосинтетичних пігментів, стабілізували активність антиоксидантних ферментів і вміст осмолітів. Більш ефективним виявився праймінг насіння. Вперше встановлено, що стимулювання проростання насіння пшениці за умов осмотичного стресу під впливом ГАМК опосередковується нітроген оксидом і пов'язане зі змінами вуглеводного обміну, підвищенням активності амілази, накопиченням цукрів і фенольних сполук. Праймінг старого насіння пшениці й тритикале ГАМК істотно підвищував енергію проростання, схожість і ріст проростків. Це пояснюється зменшенням проявів окиснювального стресу, зниженням генерації супероксидного аніон-радикала, вмісту гідроген пероксиду та малонового діальдегіду, а також посиленням окремих компонентів антиоксидантної системи. Таким чином, доведено, що стрес-протекторна дія ГАМК пов'язана з регуляцією сигнальних процесів за участю АФО, іонів кальцію та нітроген оксиду, а також з активацією антиоксидантної й осмопротекторної систем рослин. Результати обґрунтовують доцільність використання ГАМК, особливо у формі праймінгу, для підвищення стресостійкості зернових культур і поліпшення посівних характеристик насіння.

2. The relevance of the dissertation is determined by the need to introduce climate-optimized agrotechnologies capable of increasing the adaptive potential of cultivated plants and contributing to the solution of global food security problems. An important direction of such research is the use of new-generation physiologically active substances, in particular γ -aminobutyric acid (GABA), which performs the functions of a stress metabolite and a signal-regulatory molecule in plants. Its relationships with key cellular mediators — reactive oxygen species, calcium ions, and nitric oxide — remain insufficiently clarified. The purpose of the study was to establish the involvement of reactive oxygen species, Ca^{2+} ions, and nitric oxide in the realization of the effect of GABA on the resistance of cereal crops to abiotic stressors, the germination processes of grains, and metabolic reactions sensitive to exogenous GABA. To achieve this purpose, the effect of GABA on the resistance of wheat and triticale to high temperature, osmotic stress, and salt stress was investigated; the role of ROS, calcium, and NO in the development of GABA-induced heat resistance was determined; the functioning of antioxidant and osmoprotective systems under model drought and salinity was evaluated; the effectiveness of grain priming and foliar treatment was compared; and the effect of GABA on seed germination under adverse conditions and on the germination capacity of aged seeds was established. The objects of the study were plants and seeds of bread wheat (*Triticum*

aestivum) and triticale ($\times$ Triticosecale), the varieties of which differed in resistance and adaptive strategies. The study used drought modeling with PEG 6000, salt stress induced by NaCl, heat stress, seed priming, and foliar treatment with GABA solutions. To clarify the signaling mechanisms, scavengers and inhibitors of ROS, NO, and calcium signals were applied. Growth characteristics, survival rate, water status, photosynthetic pigments, antioxidant enzyme activity, accumulation of proline, carbohydrates, phenolic compounds, anthocyanins, oxidative stress indicators, and amylase activity were determined. The results obtained showed that exogenous GABA had a positive effect on integral indicators of cereal crop resistance to high temperature, drought, and salinity. GABA treatment increased the survival rate of wheat seedlings after potentially lethal heat stress, reduced growth inhibition under osmotic stress, and promoted water retention in tissues. In triticale, GABA alleviated the negative effects of model drought, salt stress, and their combined action, reduced the generation of reactive oxygen species and the accumulation of malondialdehyde, increased the activity of antioxidant enzymes, and promoted the accumulation of proline, phenolic compounds, and anthocyanins. It was established that the GABA-induced increase in heat resistance of wheat seedlings is associated with the involvement of ROS and calcium ions as signaling mediators. GABA caused a transient increase in hydrogen peroxide content followed by an increase in the activity of superoxide dismutase, catalase, and guaiacol peroxidase. The use of scavengers and inhibitors confirmed the involvement of NADPH oxidase, calcium channels, and extracellular calcium. The effect of GABA showed varietal specificity: its protective effect was more pronounced in drought-sensitive varieties. Grain priming and foliar treatment of wheat plants with GABA mitigated the growth-inhibiting effect of soil drought, contributed to the preservation of water status and photosynthetic pigments, and stabilized the activity of antioxidant enzymes and the content of osmolytes. Seed priming proved to be more effective. For the first time, it was established that the stimulation of wheat seed germination under osmotic stress by GABA is mediated by nitric oxide and is associated with changes in carbohydrate metabolism, increased amylase activity, and the accumulation of sugars and phenolic compounds. Priming aged wheat and triticale seeds with GABA significantly increased germination energy, seed germination capacity, and seedling growth. This can be explained by the reduction of oxidative stress manifestations, a decrease in the generation of superoxide anion radicals, hydrogen peroxide and malondialdehyde content, as well as the enhancement of individual components of the antioxidant system. Thus, it has been proven that the stress-protective effect of GABA is associated with the regulation of signaling processes involving ROS, calcium ions, and nitric oxide, as well as with the activation of antioxidant and osmoprotective systems in plants. The results substantiate the feasibility of using GABA, especially in the form of seed priming, to increase the stress resistance of cereal crops and improve the sowing qualities of seeds.

Державний реєстраційний номер ДіР: 0123U100486, 0124U000126, 0123U100582

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Не застосовується

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- 1. Kolupaev Yu.E., Shakhov I.V., Kokorev A.I., Kryvoruchko L., Yastreb T.O. Gamma-aminobutyric acid modulates antioxidant and osmoprotective systems in seedlings of *Triticum aestivum* cultivars differing in drought tolerance // Ukrainian Biochemical Journal., 2023. 95 №5. P. 85-97.
<https://doi.org/10.15407/ubj95.05.085>
- 2. Kolupaev Yu.E., Shakhov I.V., Kokorev A.I., Dyachenko A.I., Dmitriev A.P. The Role of Reactive Oxygen Species and Calcium Ions in Implementing the Stress-Protective Effect of γ -Aminobutyric Acid on Wheat Seedlings Under Heat Stress Conditions // Cytology and Genetics. 2024. 58, №2. P. 81-91.

<https://doi.org/10.3103/S0095452724020063>

- 3. Shakhov I.V., Kokorev A.I., Yasterb T.O., Dmitriev A.P., Kolupaev Yu.E. Increasing germination and antioxidant activity of aged wheat and triticale grains by priming with gamma-aminobutyric acid // Ukrainian Botanical Journal. 2024. 81, №4. P. 290-304. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj81.04.290>
- 4. Kolupaev Yu.E., Shakhov I.V., Kokorev A.I., Relina L.I., Dyachenko A.I., Dmitriev A.P. Gamma-aminobutyric acid induction of triticale protective systems under drought, salt stress or a combination of the two // Turkish Journal of Botany. 2024. 48, №5. P. 235-248. <https://doi.org/10.55730/1300-008X.2812>
- 5. Shakhov I.V., Relina L.I., Pyshchalenko M.A., Kolupaev Yu.E. Activation of wheat seed germination under drought and salt stresses by γ -aminobutyric acid priming: Relationship with changes in ROS generation and osmolyte content // Notulae Scientia Biologicae. 2025. 17, №2. 12366. <https://doi.org/10.55779/nsb17212366>
- 6. Shakhov I.V., Yastreb T.O., Sakhno T.V., Kolupaev Yu.E. Involvement of Nitric Oxide in γ -Aminobutyric Acid-Induced Cellular Mechanisms of Wheat Seedling Adaptation to Water Deficit // Cytology and Genetics. 2025. 59, №6. P. 580-595. <https://doi.org/10.3103/S0095452725060106>
- 7. Колупаєв Ю.Є., Шахов І.В., Кокорев О.І., Праймування насіння донорами газотрансмітерів і сполуками з гормональною активністю: ростові та стрес-протекторні ефекти // Фізіологія рослин та генетика. 2023. 55, №2. С. 119-141. <https://doi.org/10.15407/frg2023.02.119>
- 8. Колупаєв Ю.Є., Шахов І.В., Кокорев О.І., Дмитрієв О.П. Стрес- протекторний вплив гамма-аміномасляної кислоти на проростки пшениці за умов гіпертермії: роль активних форм кисню і антиоксидантної системи // Актуальні проблеми генетики, біотехнології та біохімії рослин: тези доповідей Міжнародної наукової конференції, присвяченої 140 річчю з дня народження академіка Андрія Сапегіна (1883–1946), ботаніка, цитолога, генетика, селекціонера (19 жовтня 2023 р. / СГІ-НЦНС. – м. Одеса, Україна): Одеса, 2023. С. 65-66.
- 9. Kolupaev Yu.E., Shakhov I.V., Yastreb T.O., Kokorev A.I., Dmitriev A.P. Priming with gamma-aminobutyric acid alleviates oxidative stress during germination of aged wheat and triticale seeds // 10th International Meeting on Recent Advances in Plant Biotechnology (5-25 June, 2024 Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2024. P. 28.
- 10. Шахов І.В., Кокорев О.І., Колупаєв Ю.Є. Активація дією гамма- аміномасляної кислоти антиоксидантної системи та накопичення первинних і вторинних метаболітів у проростків тритикале за умов сольового стресу // Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства (Івано- Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024). – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. С. 49.
- 11. Колупаєв Ю.Є., Шахов І.В., Ястреб Т.О., Тарабан Д.А., Маренич М.М. NO-залежне індукування γ -аміномасляною кислотою проростання зернівок пшениці за умов осмотичного стресу // Біотехнологія, генетика та біохімія сільськогосподарських рослин: тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції (30 вересня 2025 р. / СГІ- НЦНС. – м. Одеса, Україна): Одеса, 2025. С. 56-57.
- 12. Шахов І.В., Ястреб Т.О., Тарабан Д.А., Обозний О.І., Колупаєв Ю.Є. Порівняння впливу праймінгу насіння і фоліарної обробки рослин пшениці γ -аміномасляною кислотою на функціонування стрес-протекторних систем за умов ґрунтової посухи // Біотехнологія, генетика та біохімія сільськогосподарських рослин: тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції (30 вересня 2025 р. / СГІ- НЦНС. – м. Одеса, Україна): Одеса, 2025. С. 85-86.
- 13. Шахов І.В. Праймінг насіння γ -аміномасляною кислотою індукує розвиток солестійкості пшениці на ранніх фазах онтогенезу // Теоретичні засади інноваційного розвитку рослинництва: тези Міжнародної науково- практичної інтернет-конференції, присвяченій 120-ій річниці від дня народження професора, члена-кореспондента АН УРСР Іллі Михайловича Полякова (20 жовтня 2025 р., м. Харків) / НААН, Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків, 2025. С. 152-156.

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0123U100486, 0124U000126, 0123U100582

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Колупаєв Юрій Євгенович

2. Yuriy Kolupaev

Кваліфікація: д.б.н., професор, 03.00.12

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-7151-906X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України

Код за ЄДРПОУ: 00497176

Місцезнаходження: проспект Героїв Харькова, Харків, Харківський р-н., 61060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія аграрних наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Козеко Людмила Євгенівна

2. Liudmyla Kozeko

Кваліфікація: д. б. н., с.н.с., 03.00.11

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417199

Місцезнаходження: вул. Терещенківська, Київ, 01601, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Стасик Олег Остапович

2. Oleh O. Stasyk

Кваліфікація: д.б.н., с.н.с., 03.00.12

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417242

Місцезнаходження: вул. Васильківська, Київ, 03022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кияк Наталія Ярославівна

2. Nataliia Y. Kyiak

Кваліфікація: д. б. н., старший науковий співробітник, 03.00.12

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8965-9060

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут екології Карпат Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05540066

Місцезнаходження: вул. Козельницька, Львів, 79026, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Рожков Роман Вікторович

2. Roman V. Rozhkov

Кваліфікація: к. б. н., доц., 03.00.15

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Державний біотехнологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 44234755

Місцезнаходження: вул. Алчевських, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради

Шевченко Микола Вікторович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні

Шевченко Микола Вікторович

Відповідальний за підготовку
облікових документів

Міненко Софія Іванівна

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна