



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КЛІТИННОЇ БІОЛОГІЇ ТА ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Особливості біогенезу продихового апарату у пшениці

Спеціальність 091 «Біологія»
Галузь знань 09 «Біологія»

Римар Юлія Юріївна

Науковий керівник д.б.н. Моргун Богдан Володимирович

Київ – 2025

Пшениця – одна з основних зернових культур

Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є одним з життєво важливих компонентів забезпечення продовольчої безпеки і залишається однією з найбільш вирощуваних зернових культур у світі (SOFI, 2018).



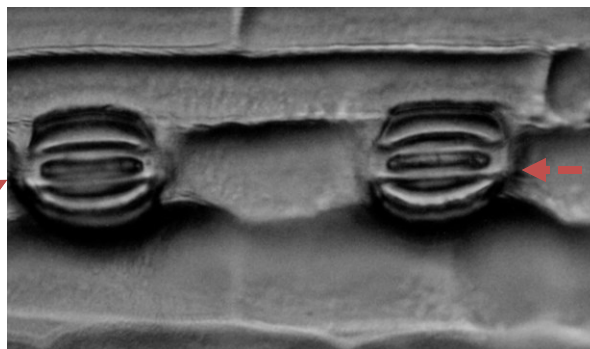
Посуха є одним з ключових чинників зниження врожайності й якості зерна пшениці в Україні та в інших частинах світу.

90% від загальної втрати

води рослиною –

випаровування через **продихи**

(Hetherington and Woodward, 2003)



Гени біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2*, *MUTE*

EPF1/EPF2
пептиди

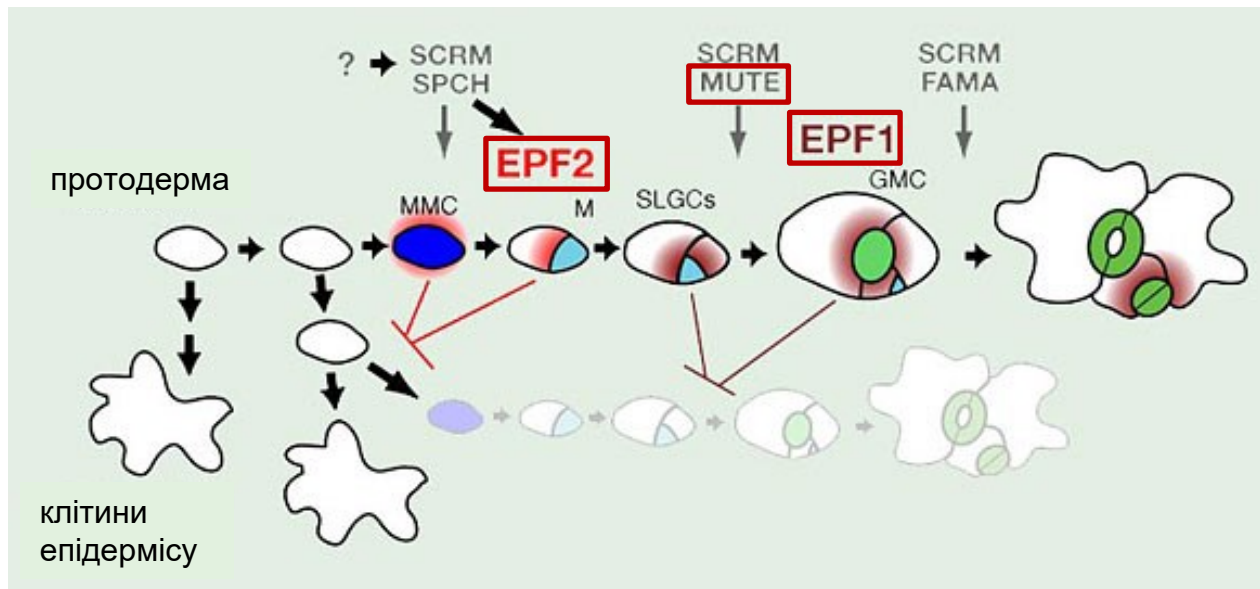
Паттерн
продихів

Контроль
асиметричного
поділу клітин

MUTE
транскрипційний
фактор

Перехід від
проліферації до
диференціації

Контроль
біогенезу
продихів



MMC – меристемоїдна
материнська клітина;
M – меристемоїд;
SLGCs – клітини-попередники
продихового ряду;
GMC – материнська
замикаюча клітина (продих)

Мета і завдання дослідження

Мета: дослідити особливості морфології і фізіології продихового апарату пшениць та співставити їх з відмінностями нуклеотидних послідовностей генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE*.

Завдання:

1. Створити й охарактеризувати колекцію пшениці, споріднених видів та їх гібридів для вивчення продихового апарату.
2. Провести біоінформатичний аналіз генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE*, зокрема їх промоторної частини.
3. Розробити системи ДНК-маркерів для детекції поліморфізму в промоторах генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE*.
4. Провести скринінг колекцій пшениці, споріднених видів та їх гібридів за допомогою створених систем ДНК-маркерів на наявність поліморфізму.
5. Проаналізувати морфологію продихового апарату у сортів і селекційних ліній пшениці м'якої, а також споріднених видів.
6. Дослідити інтенсивність газообміну та вплив ґрунтової посухи на інтенсивність газообміну та фотосинтезу у рослин споріднених видів пшениці.
7. Встановити взаємозв'язки між морфологією, інтенсивністю газообміну і поліморфізмом нуклеотидних послідовностей генів біогенезу продихів.

Матеріали

Рослинний матеріал:



74 зразків пшениці,
споріднених видів та
міжвидових гібридів



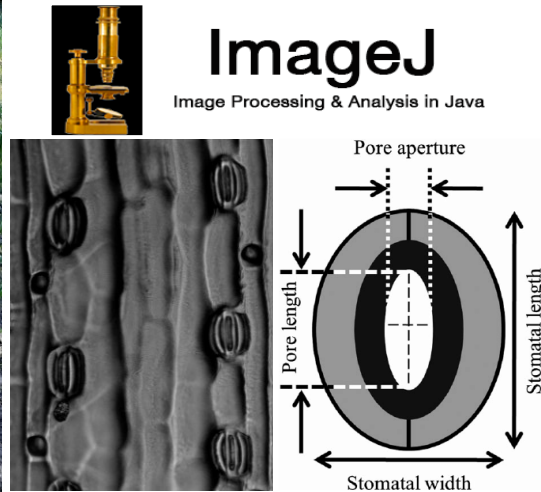
70 сортів української селекції

12 сортів та **3** селекційні лінії іноземної
селекції



74 сортів / селекційні лінії з
міжнародної колекції різного
походження

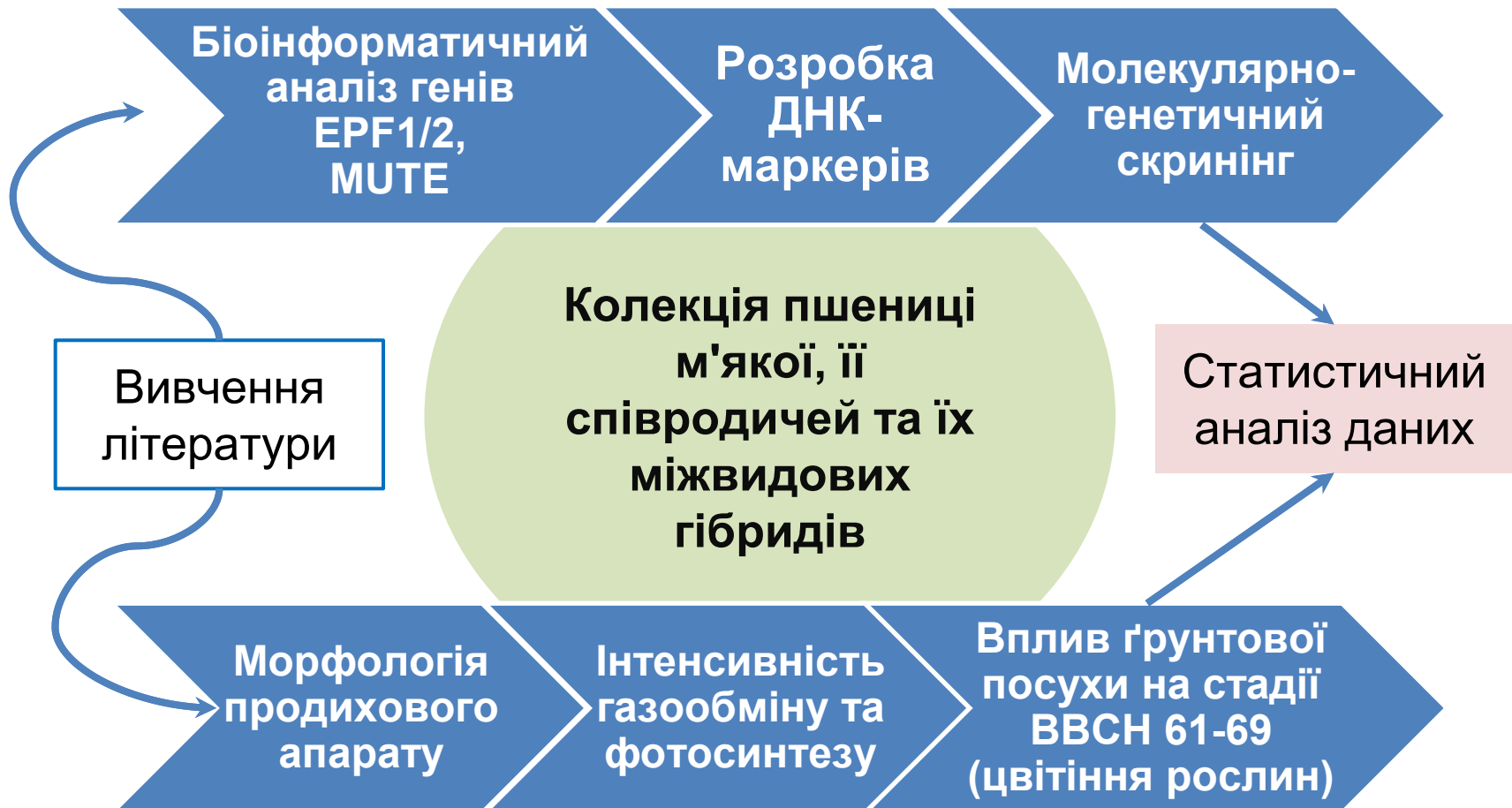
Методи



- Агрономічні методи вирощування у мікроділянковому досліді та польових умовах
- Мікроскопічне вивчення продихового апарату рослин
- Фізіологічні методи вивчення функціонування продихового апарату пшениці

- Моделювання умов ґрунтової посухи
- Вимірювання газообміну та фотосинтезу
- Молекулярно-генетичні методи
- Біоінформатичні методи
- Статистичні методи

Схема дослідження



Завдання 1. Створення і характеристика колекції пшениці її співродичей та їх гібридів

Видовий склад колекції:

- *T. aestivum* – 4 зразки,
- *T. durum* – 4 зразки,
- *T. spelta* – 12 зразків,
- *T. sphaerococcum* – 3 зразки,
- *T. dicoccum* – 25 зразків,
- *Secale* – 2 зразки,
- *T. ispahanicum* – 1 зразок,
- *T. sinskajae* – 1 зразок,
- *T. macha* – 1 зразок,
- *T. vavilovii* – 1 зразок,
- міжвидові гібриди – 16 зразків (серед них *Triticosecale* – 4 зразки)

T. aestivum, Подолянка



T. ispahanicum



Secale cereale,
Пам'яті Дерев'янка



T. macha



Triticosecale, Борислав



T. spelta, Baulaender



T. sphaerococcum,
Шарада



T. dicoccum, var. *serbicum*



Завдання 1. Оцінка стійкості зразків рослин колекції до збудників грибних хвороб

Найвища стійкість до збудників борошнистої роси та септоріозу листя серед **озимих злаків** притаманна рослинам:

які поєднують пшенично-житні геноми (ABR чи ABDR) та мають два субгеноми АВ (*T. durum*);

серед **ярих злакових** рослинам

T. dicoccum (геном АВ)

T. spelta var. *album* (геном ABD)



Triticosecale, Ілона



T. durum, Шулиндінка



T. aestivum, Вигадка

Висновки до завдання 1

Зібрана колекція пшениці, споріднених видів та міжвидових гібридів, включаючи унікальні зразки злаків. Колекція охарактеризована за морфологічними, агрономічними характеристиками і стійкістю до збудників грибних інфекцій. Цю колекцію зручно використовувати для аналізу продихового апарату і молекулярно-генетичного скринінгу алельних варіантів генів біогенезу продихів.

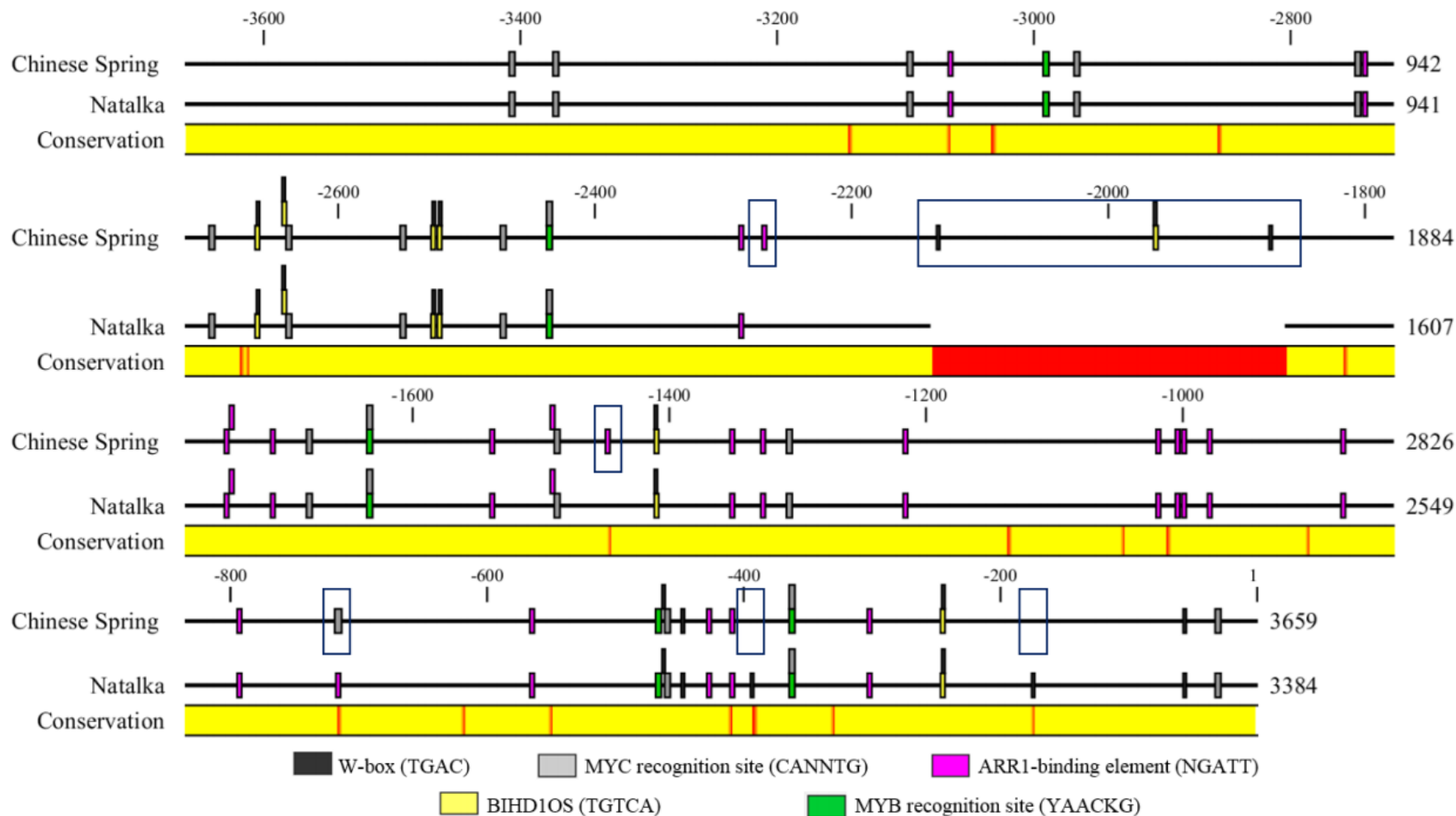
За оцінкою стійкості до збудників грибних захворювань найбільша стійкість до збудників борошнистої роси та септоріозу серед озимих злаків зібраної колекції детектується у зразках, що поєднують житньо-пшеничні геноми (ABR та ABDR), а також у зразках із а субгеномами АВ у пшениці твердої. Серед ярих зразків встановлено, що найбільша стійкість до збудників борошнистої роси та септоріозу детектується у зразках, що мають геноми АВ (*T. dicoccum*), а також зразки *T. spelta* var. *album* (геном ABD).

Публікації

1. Lisova H., Rymar Y., Morgun B. (2024) Wheat genome and resistance to powdery mildew and septoria leaf spot. *National Conference with International Participation 'Natural Sciences in the Dialogue of Generations'*, Chisinau, Moldova, September 12-13, 2024. P. 73.

2. Рymar Ю.Ю., Лісова Г.М., Проніна О.В., Сливка Л.В., Рябчун В.К., Моргун Б.В. (2023) Стійкість видів пшениці з різними геномами до збудників борошнистої роси та септоріозу листя. *Тези доповідей Міжнародної наукової конференції «Актуальні проблеми генетики, біотехнології та біохімії рослин»*. 19 жовтня 2023 р., СГІ–НЦНС НААН України. Одеса, С. 81–82

Завдання 2. Аналіз поліморфізму



Вирівнювання промоторної області *MUTE-A1* референтної послідовності Chinese Spring та ізолюваної послідовності сорту Наталка. Показано варіабельність послідовності та стрес-чутливих цис-елементів. Рамки вказують на різноманітний склад цис-елементів між двома послідовностями. Кольором позначено варіабельно-консервативні (від яскраво-червоного до жовтого) ділянки цих областей.

Висновки до завдання 2

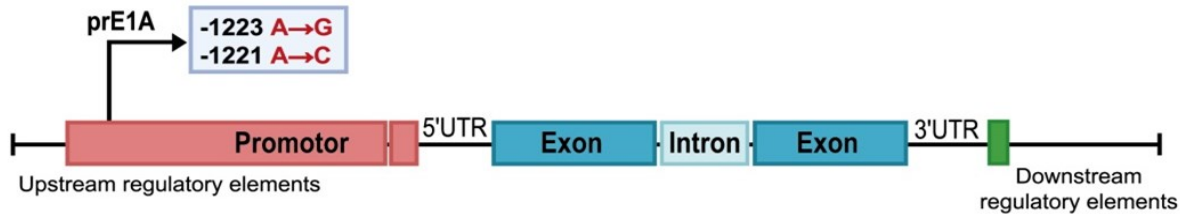
Виявлено численні одонуклеотидні заміни й інсерції/делеції. Встановлено, що більшість змін мають вплив на склад *цис*-регуляторних елементів. Найбільшу кількість відмінностей спостерігали у послідовностях *EPF1-D1*. Проте, між промоторними послідовностями генів *EPF2-A1*, *EPF2-D1* і *MUTE-B1* посухотолератного сорту Подолянка і посухочутливого сорту Наталка не було виявлено відмінностей.

Публікації

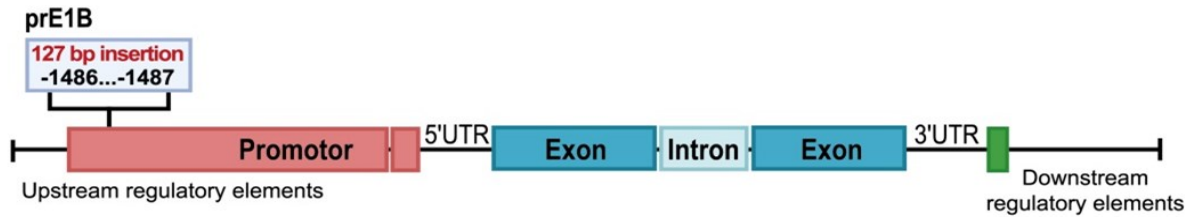
1. Lakhneko, O., Stepanenko, A., **Rymar, Y.**, Borysyuk, M., Morgun, B., (2024). Sequence comparison of MUTE promoters between two wheat cultivars revealed both conservative and diverged regions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13 (6). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9662> (Web of Science, Scopus, Q4.)
2. Lakhneko O., Stepanenko A., **Rymar Y.**, Borysyuk M., Morgun B. (2022) Variability of promoter regions of *MUTE* homeologous genes in bread wheat. *Book of reviewed from the 15th International Scientific Conference FOOD/BIO/TECH*, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, 5-6 October 2022, Nitra, Slovak Republic – p. 52.
3. **Римар Ю.**, Лакнеко О., Степаненко А., Борисюк М., Моргун Б. (2022) Аналіз промоторів генів *EPF1*, залучених в процес біогенезу продихів пшениці. *Матеріали Міжнародної науково–практична конференція «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети»*, 30 вересня 2022, Одеса, Україна – с. 183–184.

Завдання 3. Розробка систем ДНК-маркерів

EPF1-A1



EPF1-B1



□ Елімінація елементу CO₂-залежної транскрипційної активації

□ Утворення близько 60 додаткових регуляторних елементів

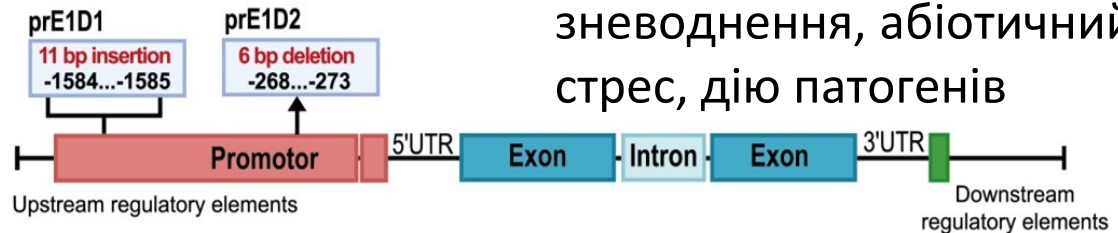
□ Вплив на транскрипційні фактори (утворення сайту зв'язування білків)

□ Елімінація ТАТА-боксу

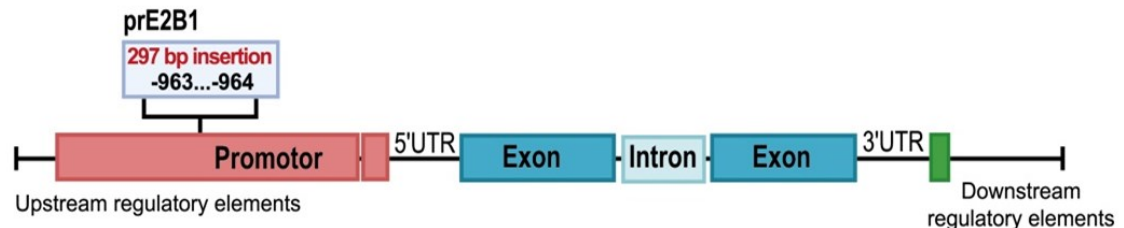
□ Вплив на **специфічні** мотиви світлозалежної експресії

□ Елементи відповіді на зневоднення, абіотичний стрес, дію патогенів

EPF1-D1



EPF2-B1



Висновки до завдання 3

Розроблені й апробовані 5 ДНК-маркерів (для гена *EPF1* – prE1A1, prE1B1, prE1D1, prE1D2; гена *EPF2* – prE2B1), які спрямовані на визначення поліморфізму в промоторних ділянках генів біогенезу продихів. Ці ДНК-маркери можуть використовуватися для молекулярно-генетичного виявлення алелів генів.

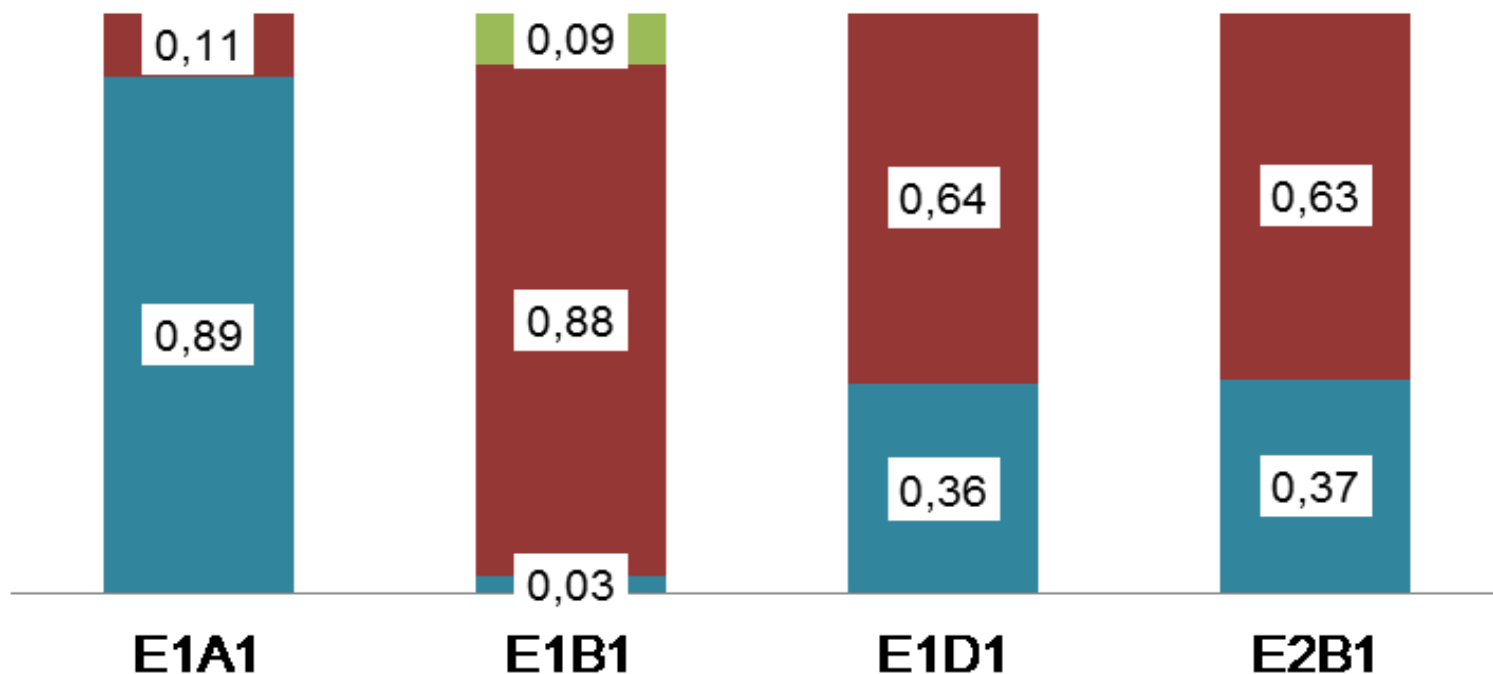
Публікації

1. **Римар Ю.**, Лахнеко О.Р. ДНК-маркери для детекції поліморфізму генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE* пшениці. *Біомедицина інженерія і технологія*. 2025. Т. 3, № 18, С. 1–17. <https://doi.org/10.20535/2025.18.333019>
2. Lakhneko O., Stepanenko A., **Rymar Yu.**, Yaroshko O., Velykozhon L., Morgun B. (2025). PCR analysis of stomata biogenesis genes in common wheat varieties. *«Біотехнологія XXI століття»: Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції*. (16 травня 2025 р., м. Київ) – Київ: КПІ ім. Сікорського, 2025. – с. 139–140.
3. **Rymar Yu.**, Lakhneko O., Stepanenko A., Morgun B. (2024) DNA markers to detect polymorphisms in stomatal biogenesis genes *EPF1* and *EPF2*. У: *10th International Meeting on Recent Advances in Plant Biotechnology*, 25–26 червня 2024 р., Kyiv, Ukraine. с. 37.
4. **Римар Ю.**, Лахнеко О., Степаненко А., Моргун Б. (2023) Оцінка поліморфізму в промоторній ділянці гена біогенеза продихів *EPF1*. *Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології»*, м. Львів, 26–28 квітня 2023 р., Львівський національний університет імені Івана Франка, С. 97–98.

Завдання 4. Скринінг колекцій пшениць ДНК-маркерами для оцінки розподілу алелей генів біогенезу продихів

Українські сорти пшениці м'якої

■ наявність поліморфізму ■ відсутність поліморфізму
■ гетерогенні зразки

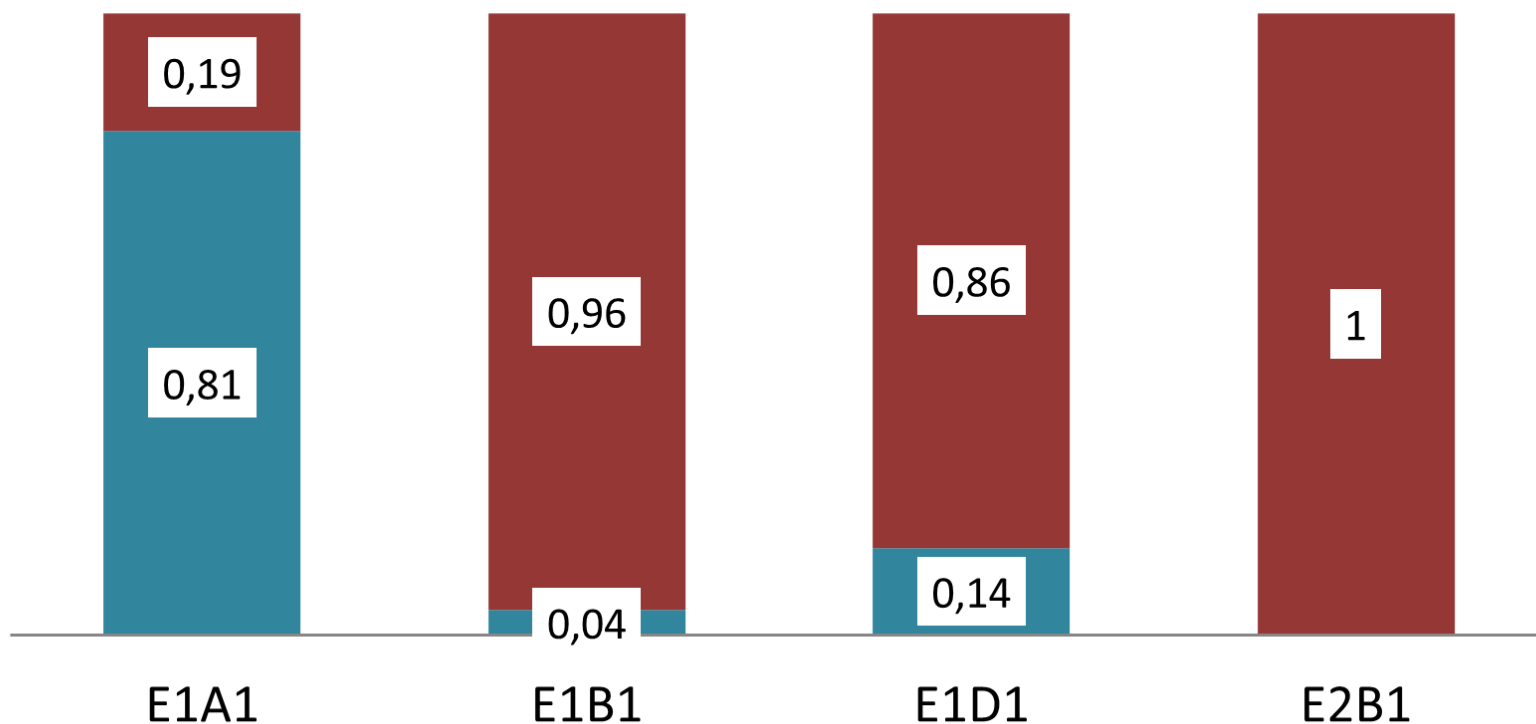


Завдання 4. Скринінг колекцій пшениць ДНК-маркерами для оцінки розподілу алелей генів біогенезу продихів

Міжнародна колекція CIMMYT

■ наявність поліморфізму

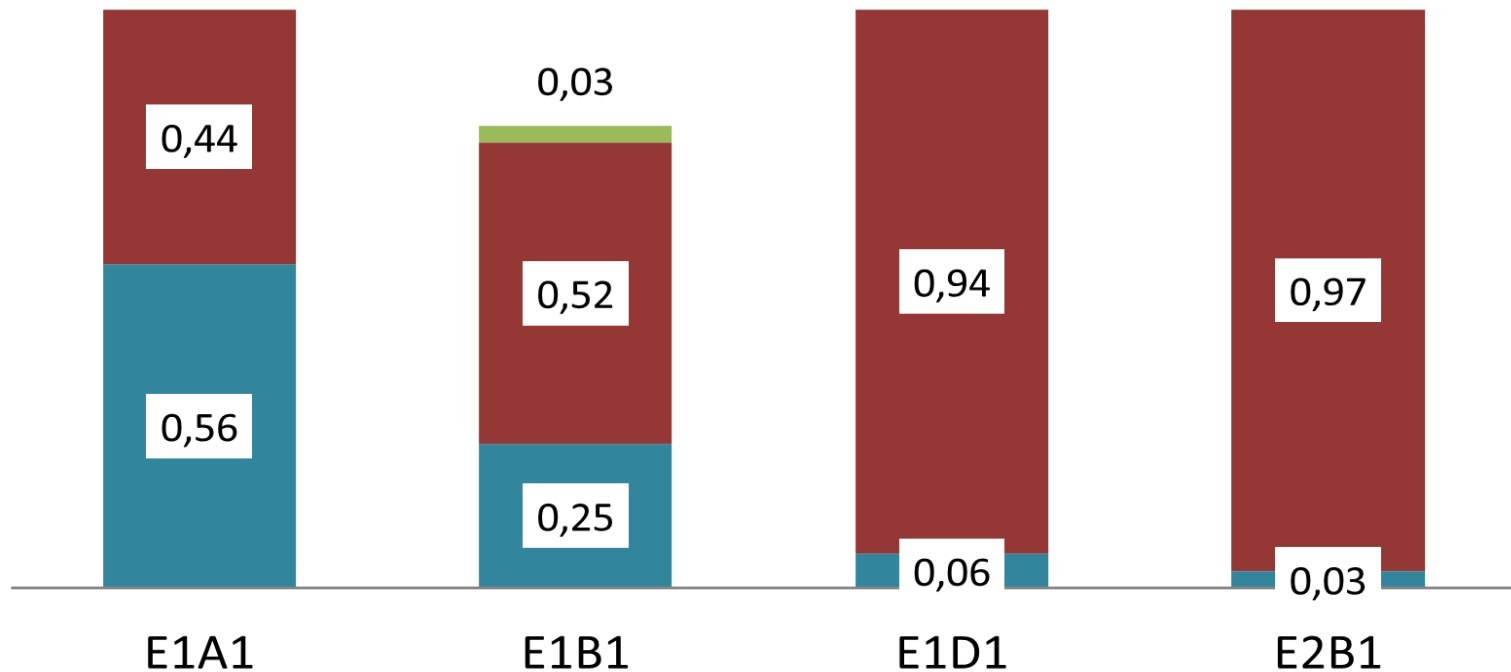
■ відсутність поліморфізму



Завдання 4. Скринінг колекцій пшениць ДНК-маркерами для оцінки розподілу алелей генів біогенезу продихів

Колекція співродичей пшениці та гібридів

■ наявність поліморфізму ■ відсутність поліморфізму
■ гетерогенні зразки



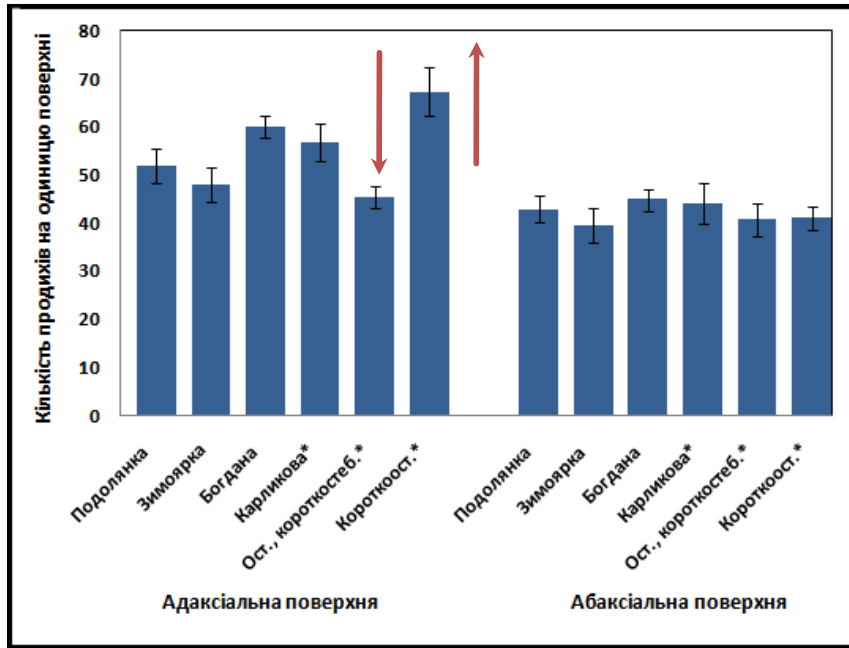
Висновки до завдання 4

Визначено частоти зустрічання поліморфних алелей у колекції злакових: найчастіше зустрічаються дві одонуклеотидні заміни A→G та A→C в промоторній ділянці гена *EPF1* з субгеному A. Частота цих замін є найвищою в українських сортів пшениці м'якої і складає 0,89; у колекції CIMMYT – 0,81; а серед співродичей пшениці та міжвидових гібридів – 0,56. Інсерція у промоторному регіоні гена *EPF2* з субгеному B найрідше детектується у диких співродичів пшениці та зовсім не виявляється у колекції CIMMYT. За частотою поширення поліморфних алелей (prE1A1, prE1B1, prE1D1, prE2B1) співродичі пшениці найбільше відрізняються від пшениці м'якої української й іноземної селекції.

Публікації

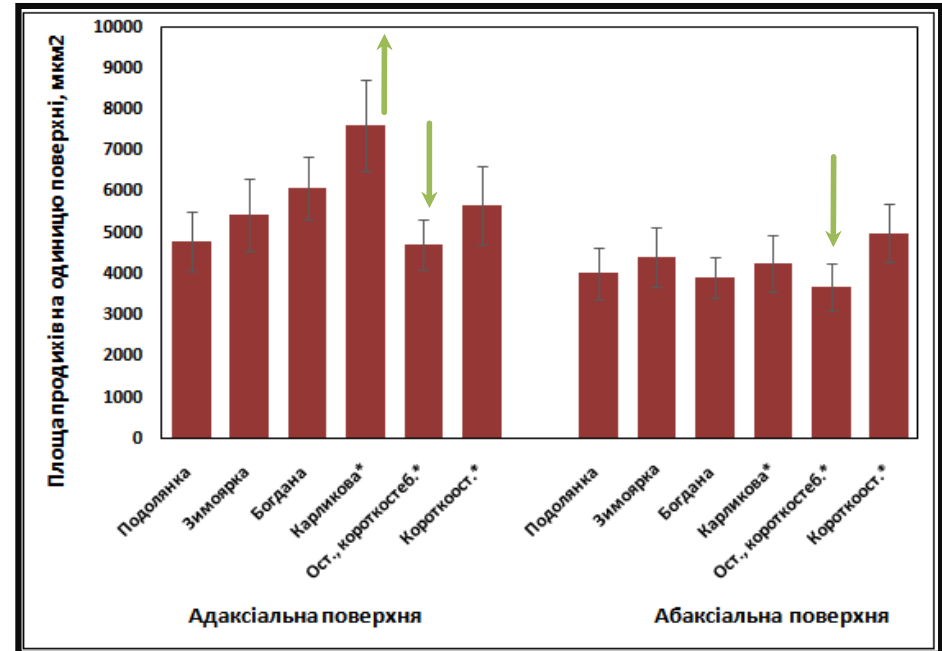
1. **Римар Ю.**, Лакнеко О.Р. ДНК-маркери для детекції поліморфізму генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE* пшениці. *Біомедична інженерія і технологія*. 2025. Т. 3, № 18, С. 1–17. <https://doi.org/10.20535/.2025.18.333019>
2. Lakhneko O., Stepanenko A., **Rymar Yu.**, Yaroshko O., Velykozhon L., Morgun B. (2025). PCR analysis of stomata biogenesis genes in common wheat varieties. «*Біотехнологія XXI століття*»: Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції. (16 травня 2025 р., м. Київ) – Київ: КПІ ім. Сікорського, 2025. – с. 139–140.
3. **Rymar Yu.**, Lakhneko O., Stepanenko A., Morgun B. (2024) DNA markers to detect polymorphisms in stomatal biogenesis genes *EPF1* and *EPF2*. У: *10th International Meeting on Recent Advances in Plant Biotechnology*, 25–26 червня 2024 р., Kyiv, Ukraine. с. 37.
4. **Римар Ю.**, Лакнеко О., Степаненко А., Моргун Б. (2023) Оцінка поліморфізму в промоторній ділянці гена біогенеза продихів *EPF1*. *Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології»*, м. Львів, 26–28 квітня 2023 р., Львівський національний університет імені Івана Франка, С. 97–98.

Завдання 5. Морфологічні особливості продихового апарату

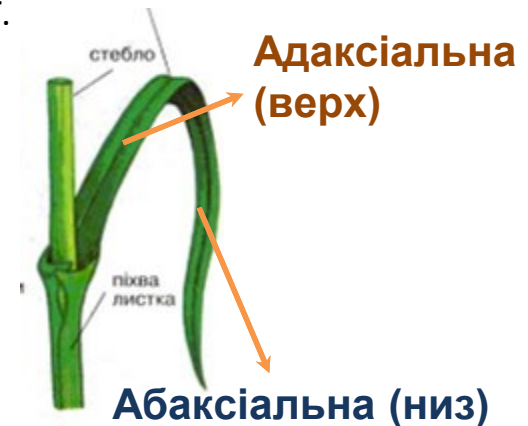


Діаграма кількості продихів на квадратний міліметр листової пластини для сортів та селекційних ліній пшениці м'якої.

Встановлено відмінності за морфологічними параметрами продихів у трьох досліджуваних селекційних ліній, які походять з Північної Америки. **Найсуттєвіша відмінність притаманна лінії «Остиста, короткостеблова».**

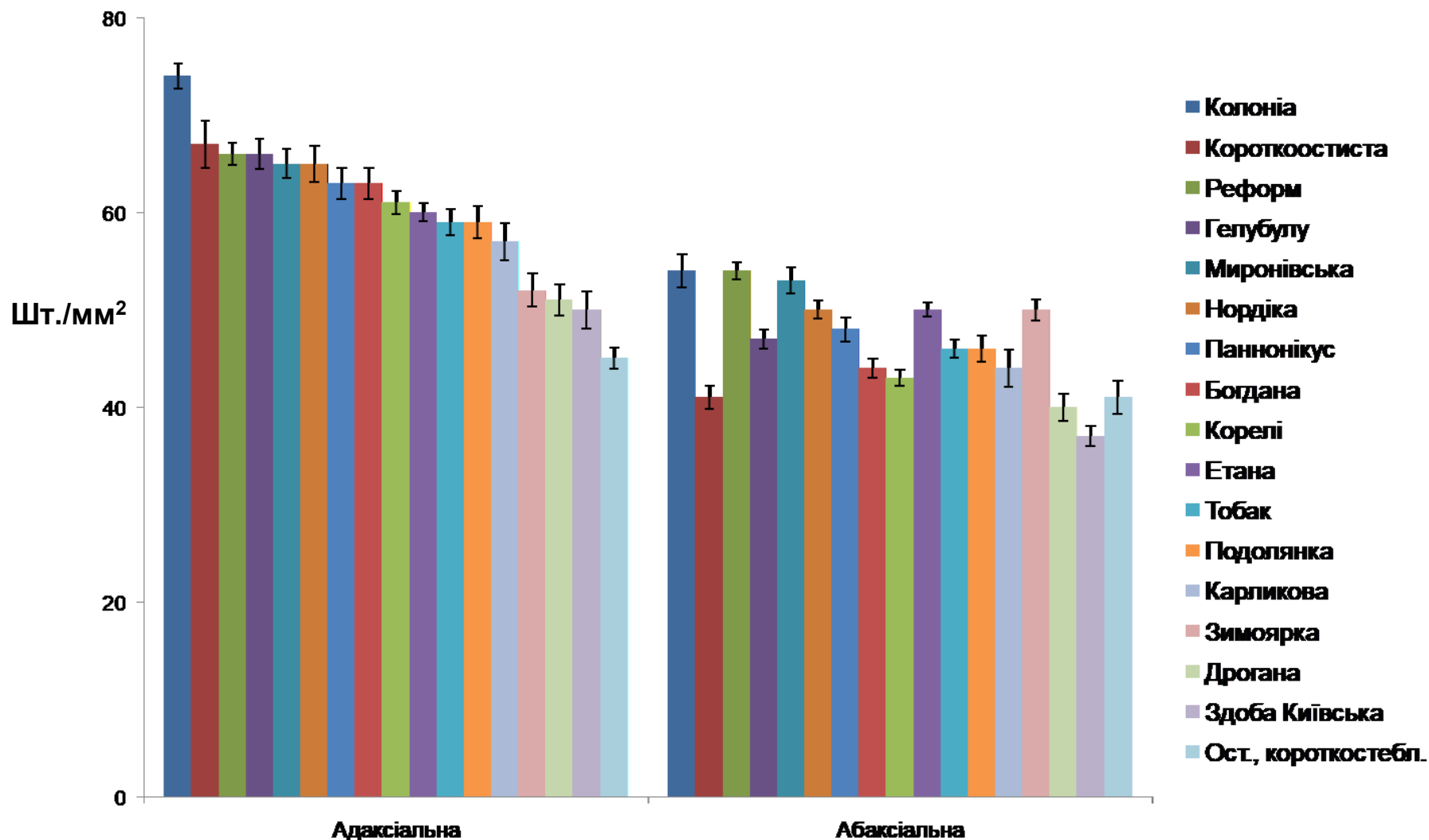


Діаграма величин сумарної площі продихових щілин на квадратний міліметр листа для сортів та селекційних ліній пшениці м'якої.



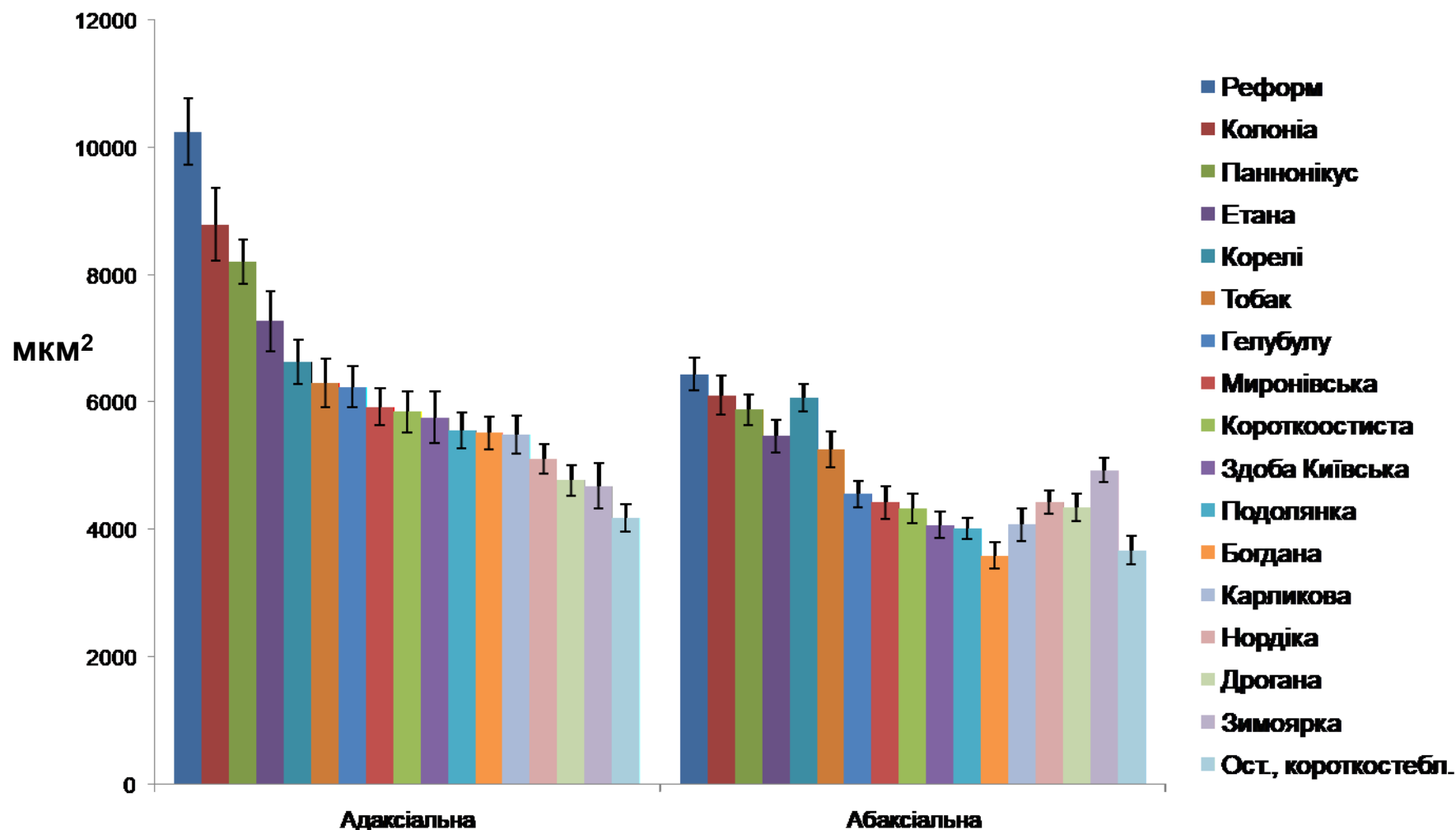
Загальна кількість продихів для сортів пшениці м'якої української та іноземної селекції

Кількість продихів



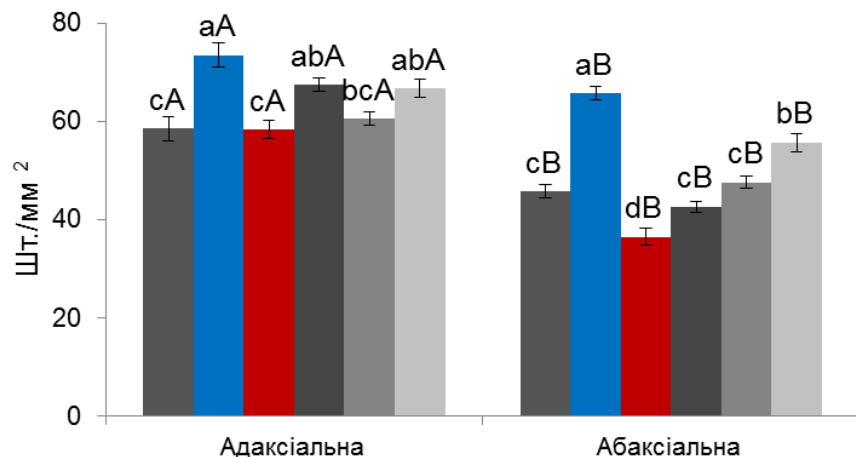
Сумарна площа продихових щілин на квадратний міліметр листка для сортів та селекційних ліній пшениці м'якої української та іноземної селекції

Загальна площа продихових щілин на поверхні листка

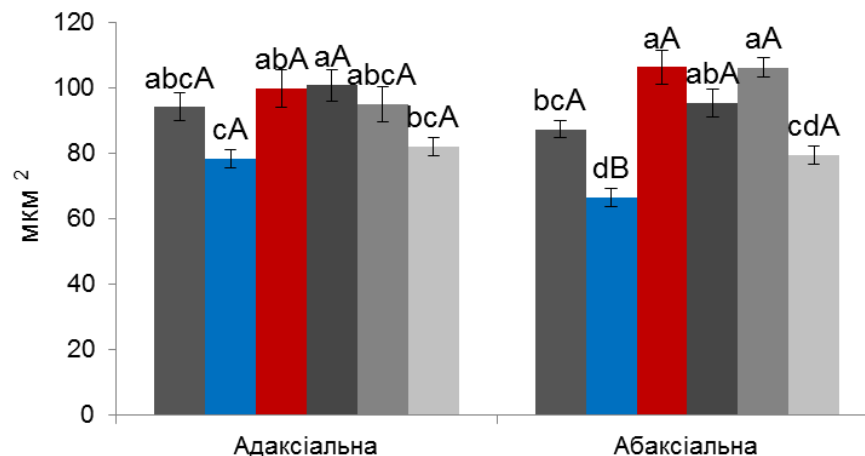


Завдання 5. Морфологічні особливості продихового апарату інших злакових

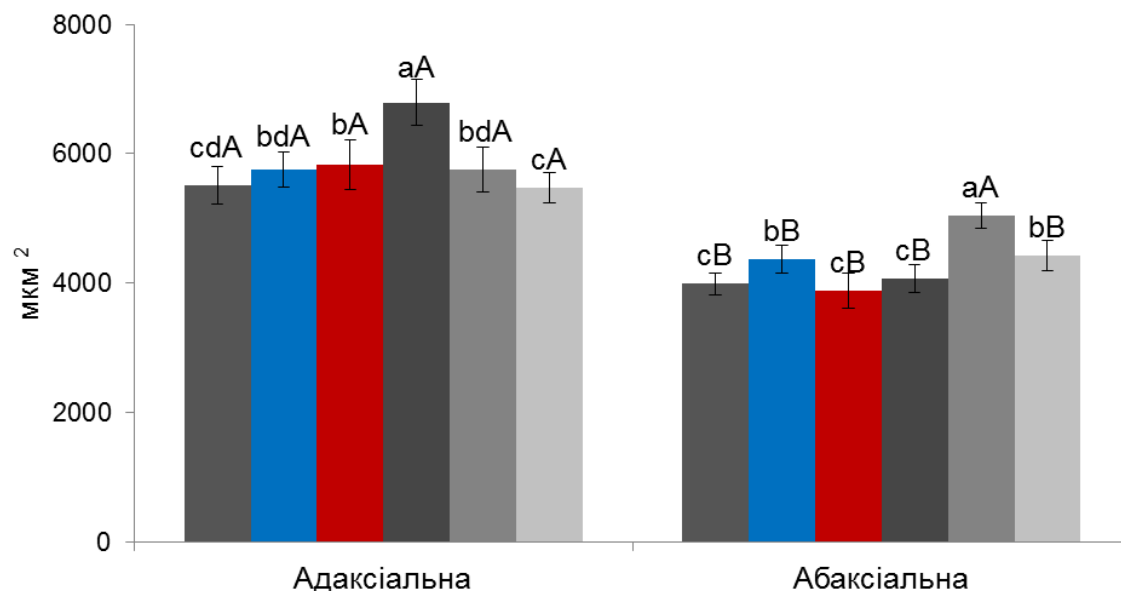
Кількість продихів



Площа продихової щілини



Загальна площа продихових щілин на поверхні листка



- *T. aestivum* 'Подолянка'
- *T. dicoccum* var. *aeruginosum*
- *T. sinskajae*
- *T. spelta* var. *album*
- *T. sphaerococcum*, 'Донор Київський'
- *T. sphaerococcum*, 'Л 322-15'

достовірні відмінності: A,B – між поверхнями листка, a,b,c – між зразками

Висновки до завдання 5

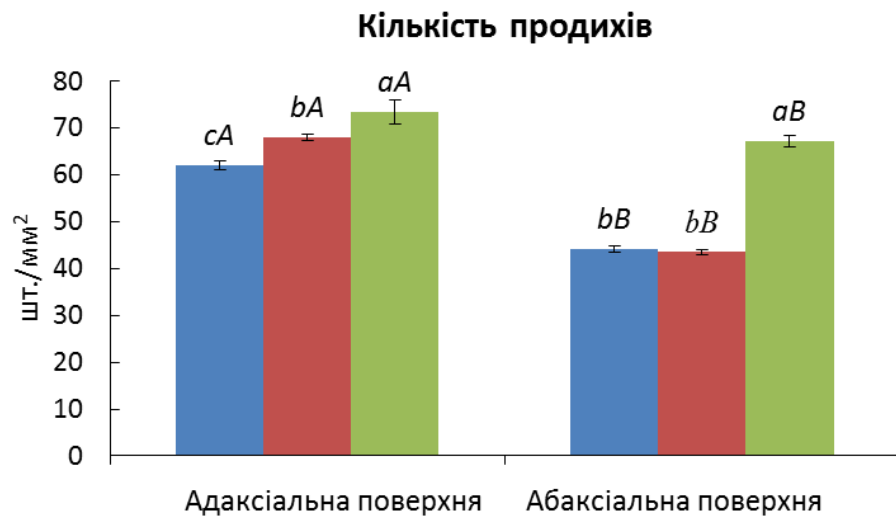
Вперше виміряно морфологічні параметри продихового апарату в рослин *T. sinskajae*, *T. dicocum* та *T. sphaerococum*. Уточнено морфологічні параметри продихового апарату пшениці озимої – знайдено морфологічно відмінні генотипи.

Встановлено, що три досліджувані селекційні лінії, які походять з Північної Америки: «Карликова», «Остиста, короткостеблова» та «Короткоостиста», суттєво відрізняються за одним із параметрів продихового апарату: «Короткоостиста» – за більшою кількістю продихів на адаксіальній поверхні листка; «Карликова» – зростанням сумарної площі продихових щілин на одиницю площі поверхні листової пластинки на адаксіальній стороні; а «Остиста, короткостеблова» – має меншу сумарну площу продихових щілин на абаксіальній стороні й одночасно проявляє тенденцію до зниження сумарної площі продихів абаксіальної поверхні листка. Серед досліджуваних іноземних сортів рослин пшениці м'якої знайдено контрастні генотипи за кількістю продихів і загальною площею продихових щілин на одиницю площі поверхні листка. Максимальна кількість продихів як на адаксіальній так і на абаксіальній поверхні мали рослини сорту 'Колонія'. Рослини сорту 'Реформ' мали максимальну загальну площу продихових щілин на одиницю площі адаксіальної та абаксіальної поверхні листка.

Публікації

1. **Римар Ю.Ю.**, Проніна О.В., Дуплій В.П., Моргун Б.В. Особливості морфології продихового апарату пшениці м'якої. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2023. Т. 32, С. 120–124, <https://doi.org/10.7124/FEEO.v32.1547>
2. **Римар Ю.Ю.**, Проніна О.В., Моргун Б.В. (2023) Характеристика морфологічних параметрів продихів селекційних ліній пшениці м'якої. *Матеріали XVI конференції молодих вчених «Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів»*. 12 травня 2023 р., ІФРГ НАН України, Київ, С. 50–52.
3. **Римар Ю.Ю.**, Проніна О.В., Лахнеко О.Р., Степаненко А.І., Моргун Б.В. (2022) Морфологія продихового апарату пшениці шарозерної сорту Донор Київський. *Матеріали Міжнародної наукової конференції з нагоди 125-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка ВАСГНІЛ Бориса Павловича Соколова*, 15–16 вересня 2022 р., Дніпро – с. 23–24.

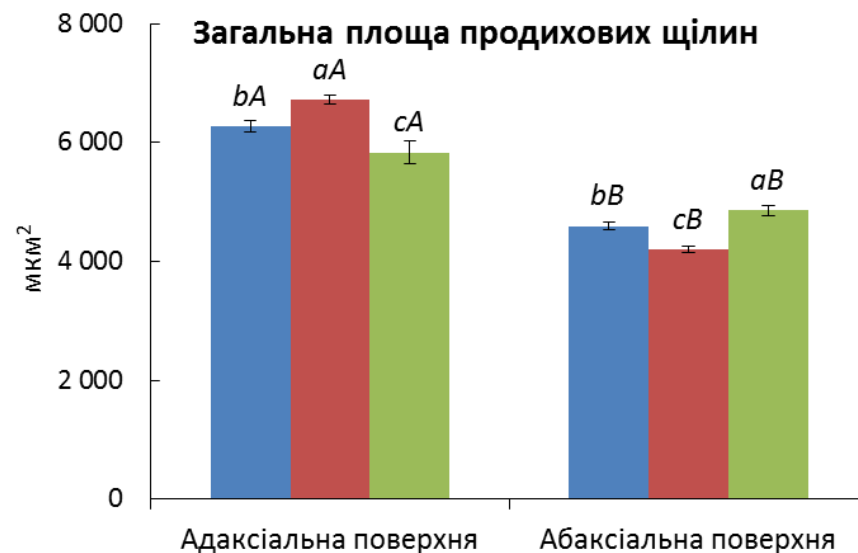
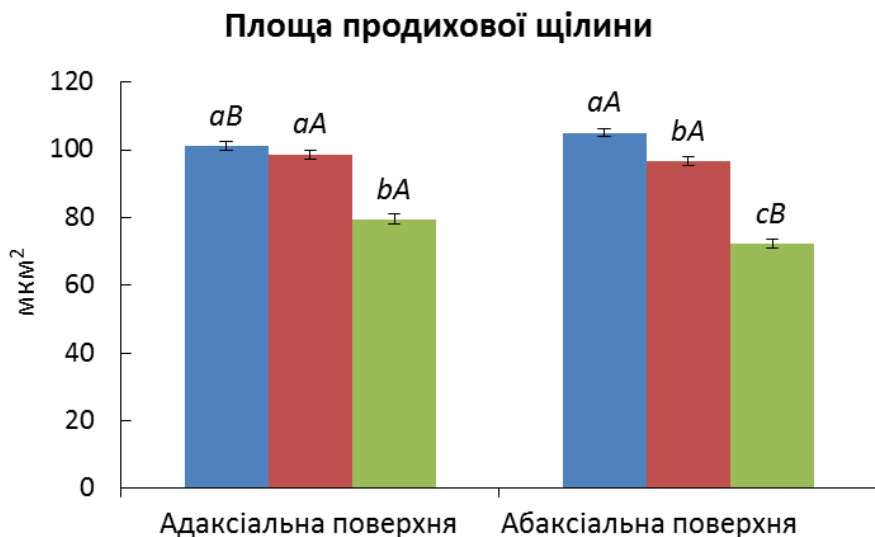
Завдання 6. Особливості морфологічних ознак продихового апарату злаків роду *Triticum*



■ *T. aestivum* 'Зимоярка'

■ *T. dicoccum* var. *aeruginosum*

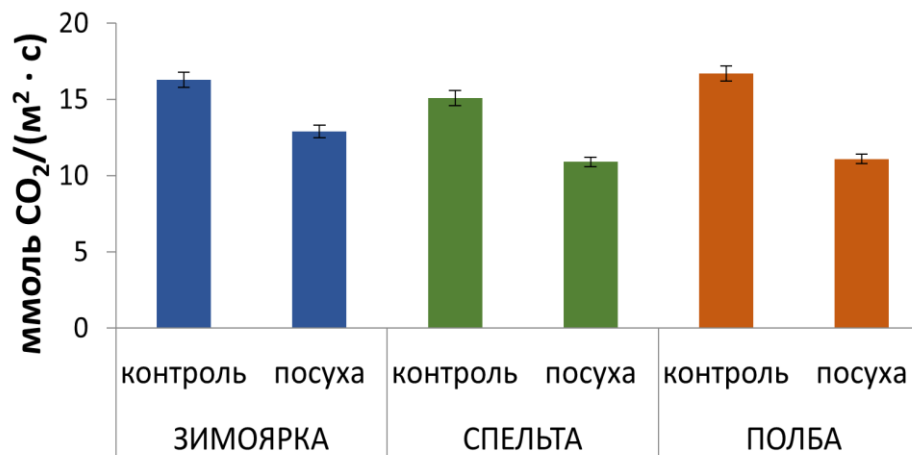
■ *T. spelta* var. *album*



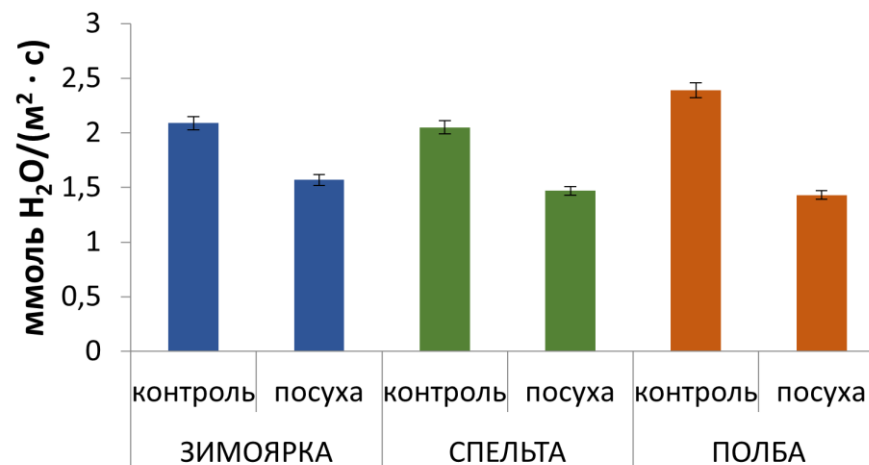
A, B – достовірні відмінності між поверхнями листка
a, b, c – достовірні відмінності між зразками

Завдання 6. Вплив посухи на інтенсивність газообміну листків ярих злаків

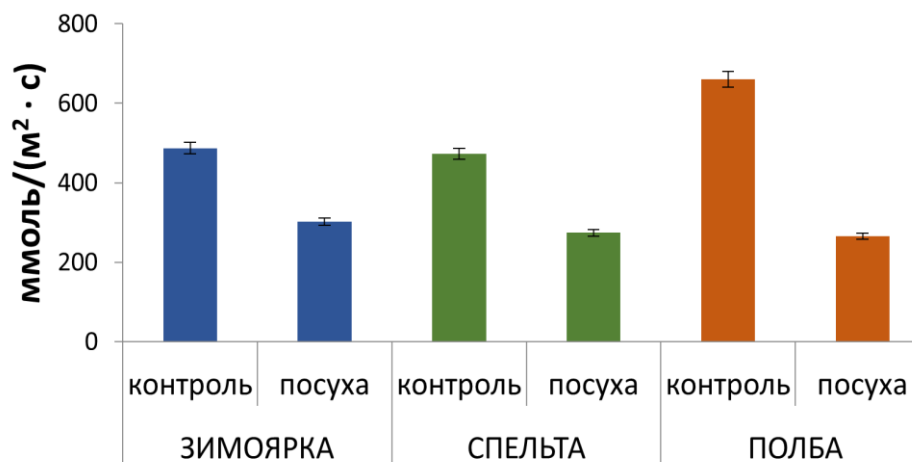
ФОТОСИНТЕЗ



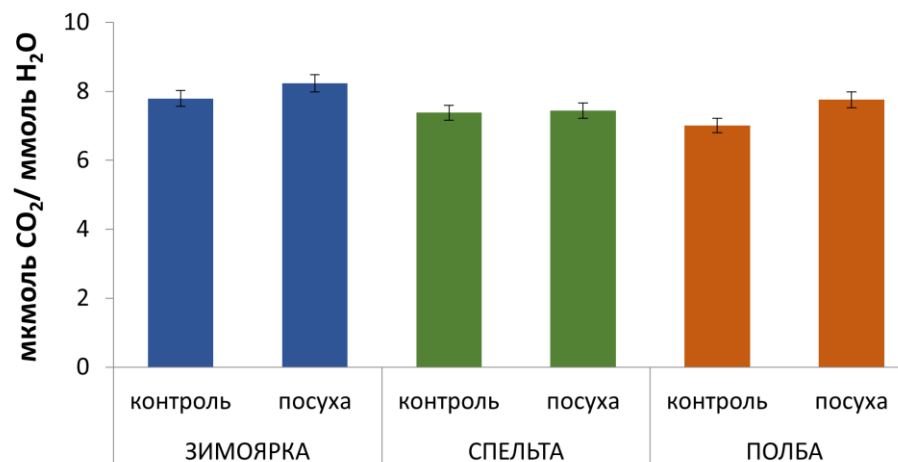
ТРАНСПІРАЦІЯ



ПРОДИХОВА ПРОВІДНІСТЬ



WUEi



Взаємозв'язок між характеристиками продихового апарату і газообміном і зерною продуктивністю

Показник	Кількість продихів	Довжина замикальних клітин	Площа продихової щілини	Сумарна площа продихів	Фото-синтез	Транспірація	Продихова провідність	WUEi	Фото-дихання
Довжина замикальних клітин	-0,874								
Площа продихової щілини	-0,962	0,973							
Сумарна площа продихів	0,818	-0,436	-0,630						
Фотосинтез	0,724	-0,298	-0,509	0,989					
Транспірація	0,996	-0,829	-0,935	0,864	0,781				
Продихова провідність	0,999	-0,852	-0,950	0,842	0,753	0,999			
WUEi	-0,824	0,995	0,947	-0,348	-0,206	-0,772	-0,799		
Фотодихання	-0,999	0,849	0,947	-0,846	-0,758	-0,999	-1,000	0,795	
Маса зерна з рослини	-0,992	0,805	0,920	-0,884	-0,806	-0,999	-0,996	0,745	0,997

 Позитивна кореляція
  Негативна кореляція

Взаємозв'язок між характеристиками продихового апарату і газообміном та зернової продуктивності при ґрунтовій посузі

Показник	Фото-синтез	Транспірація	Продихова провідність	WUEi	Фото-дихання	Маса зерна з рослини
Кількість продихів	-0,823	-0,972	-0,981	0,834	0,999	0,980
Довжина замикальних клітин	0,995	0,964	0,952	-0,461	-0,849	-0,761
Площа продихової щілини	0,946	0,999	0,997	-0,652	-0,947	-0,889

Коефіцієнти лінійної кореляції Пірсона між характеристиками продихового апарату абаксіальної поверхні листка і показниками CO₂- і H₂O-газообміну та зернової продуктивності підданих посузі рослин відносно контрольних у генотипів ярої пшениці.

 Позитивна кореляція
  Негативна кореляція

Висновки до завдання 6

Визначено фізіологічні параметри транспірації та фотосинтезу для різних видів роду *Triticum* за умов оптимального поливу і ґрунтової посухи. Встановлено, що більша кількість продихів на одиницю площі листка у *T. dicossum* сприяє підвищенню продихової провідності й інтенсивності транспірації та дещо меншій ефективності використання води при фотосинтезі за умов високої інтенсивності світла й оптимального поливу. Разом з тим, більші розміри замикаючих клітин у *T. spelta* та *T. aestivum* негативно корелюють з інтенсивністю газообміну за оптимальних умов. За дії короточасної ґрунтової посухи більша кількість менших за розмірами продихів у *T. dicossum* асоціюється зі значним зниженням продихової провідності, але підвищенням ефективності використання води й інтенсивності фотодихання, які є важливими компонентами адаптації до умов обмеженого вологозабезпечення.

Публікації

1. Римар Ю.Ю., Проніна О.В., Кірзій Д.А., Дуплій В.П., Моргун Б.В., Стасик О.О. Характеристика продихового апарату прапорцевого листка у зв'язку з інтенсивністю газобміну і посухостійкістю у споріднених видів ярої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 57 (1), 64–82. <https://doi.org/10.15407/frg2025.01.064>

Завдання 7. Взаємозв'язок поліморфізму алелей генів з морфологією продихового апарату

Поліморфний локус	Кількість продихів	Довжина замикаючої клітини	Ширина замикаючої клітини	Довжина продихової щілини	Ширина продихової щілини	Загальна площа продихових щілин
E1.1	7,06e-01	4,25e-01	9,74e-01	5,62e-04	2,98e-09	4,54e-10
E1.2	9,16e-04	4,20e-02	8,41e-07	5,40e-06	2,54e-15	1,05e-18
E1.3	4,97e-09	1,21e-10	6,12e-01	4,27e-09	1,39e-04	8,69e-10
E1.4	1,86e-03	8,21e-01	5,10e-01	3,83e-02	5,30e-06	2,00e-06
E1.5	1,07e-07	1,06e-06	1,70e-02	6,40e-01	4,27e-05	9,09e-04
E2.1	7,56e-05	1,07e-02	2,88e-01	8,16e-01	1,82e-01	3,16e-01
M1	1,33e-01	9,50e-05	6,00e-01	9,84e-03	1,92e-01	8,53e-01
E1.6	6,67e-01	1,49e-01	6,39e-01	1,67e-02	5,58e-08	2,55e-08
E1.7	1,39e-06	1,30e-14	6,03e-07	7,24e-13	4,58e-03	1,87e-06
E1.8	1,26e-09	2,68e-27	1,45e-01	1,58e-12	6,27e-07	2,76e-01
E2.2	5,08e-20	2,84e-27	1,92e-01	1,91e-10	4,12e-07	1,87e-01

Примітка: світло-сірим – дані значущості при $p < 0,05$; сірим – при $p < 0,01$; темно-сірим – $p < 0,001$.

Висновки до завдання

Вперше показана кореляція між відмінностями досліджених нуклеотидних послідовностей генів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE* і морфологією продихів у пшениці.

Виявлена кореляція між генетичними змінами та морфологією продихового апарату стає підґрунтям для подальших досліджень особливостей біогенезу продихового апарату з використанням сучасних, інноваційних біотехнологічних підходів.

Публікації

1. Stepanenko A., Lakhneko O., **Rymar Yu.**, Morgun B., Borysyuk M. (2024) Modulation of leaf surface features for improved wheat drought tolerance. *10th International Meeting on Recent Advances in Plant Biotechnology*. Kyiv, Ukraine, 25-26 June, 2024, P. 26.
2. Stepanenko A., Lakhneko O., **Rymar Yu.**, Morgun B., Borisjuk N. (2023) Leaf surface features, composition of cuticle and frequency of stomata, affect drought tolerance in wheat. *У: Translational Research in Crops*, 22–23 червня 2023 р., Ghent, Belgium.

ВИСНОВКИ

1. Для аналізу продихового апарату і молекулярно-генетичного скринінгу алельних варіантів генів біогенезу продихів зібрано колекцію (214 зразків) пшениці, споріднених видів та міжвидових гібридів, включаючи унікальні зразки злаків. Зібрання охарактеризоване за морфологічними, агрономічними характеристиками і стійкістю до збудників грибних інфекцій.
2. Встановлено, що найвища стійкість до збудників борошнистої роси та септоріозу листя серед озимих злаків притаманна рослинам, які поєднують житньо-пшеничні геноми (ABR чи ABDR), та з двома субгеномами AB (*T. durum*); серед ярих злакових найвища стійкість притаманна *T. dicoccum* (геном AB) та *T. spelta* var. *album* (геном ABD).
3. Вперше вивченню нуклеотидні послідовності й анотовано поліморфні та консервативні локуси у промоторних ділянках генів біогенезу продихів пшениці м'якої. У нуклеотидних послідовностях промоторів генів *EPF1*, *EPF2* і *MUTE* виявлено численні одонуклеотидні заміни й інсерції/делеції, більшість з яких мають вплив на *цис*-регуляторні елементи. Найбільшу кількість відмінностей спостерігали у промоторі гена *EPF1* з субгеному D. Проте, між нуклеотидними послідовностями промоторів генів *EPF2-A1*, *EPF2-D1* і *MUTE-B1* посухотолератного сорту 'Подольнка' і посухочутливого сорту 'Наталка' не було виявлено відмінностей.
4. Вперше розроблено й апробовано 5 ДНК-маркерів й оптимізовано параметри ПЛР для визначення поліморфізму в промоторних ділянках генів *EPF1* та *EPF2* (prE1A1, prE1B1, prE1D1, prE1D2, prE2B1). Визначено частоти зустрічання поліморфних алелей у колекції злакових: найчастіше зустрічаються дві одонуклеотидні заміни A→G та A→C в промоторній ділянці гена *EPF1* з субгеному A. Частота цих замін є найвищою в українських сортів пшениці м'якої і складає 0,89; у колекції CIMMYT – 0,81; а серед співродичей пшениці та міжвидових гібридів – 0,56. Інсерція у промоторному регіоні гена *EPF2* з субгеному B найрідше детектується у диких співродичів пшениці та зовсім не виявляється у колекції CIMMYT. За частотою поширення поліморфних алелей (prE1A1, prE1B1, prE1D1, prE2B1) співродичі пшениці найбільше відрізняються від пшениці м'якої української й іноземної селекції.

ВИСНОВКИ (продовження)

5. Вперше виміряно морфологічні параметри продихового апарату в рослин *T. sinskajae*, *T. dicoccum* та *T. sphaerococcum*. Уточнено морфологічні параметри продихового апарату пшениці озимої – знайдено морфологічно відмінні генотипи.

Встановлено, що три досліджувані селекційні лінії, які походять з Північної Америки: «Карликова», «Остиста, короткостеблова» та «Короткоостиста», суттєво відрізняються за одним із параметрів продихового апарату: «Короткоостиста» – за більшою кількістю продихів на адаксіальній поверхні листка; «Карликова» – зростанням сумарної площі продихових щілин на одиницю площі поверхні листової пластинки на адаксіальній стороні; а «Остиста, короткостеблова» – має меншу сумарну площу продихових щілин на абаксіальній стороні й одночасно проявляє тенденцію до зниження сумарної площі продихів абаксіальної поверхні листка.

Серед досліджуваних іноземних сортів рослин пшениці м'якої знайдено контрастні генотипи за кількістю продихів і загальною площею продихових щілин на одиницю площі поверхні листка. Максимальна кількість продихів як на адаксіальній так і на абаксіальній поверхні мали рослини сорту 'Колонія'. Рослини сорту 'Реформ' мали максимальну загальну площу продихових щілин на одиницю площі адаксіальної та абаксіальної поверхні листка.

Серед проаналізованих видів роду *Triticum* найбільше вирізняються рослини *T. sinskajae* та *T. dicoccum*, особливо за кількістю продихів на одиницю площі поверхні листка. У рослин виду *T. sinskajae* кількість продихів на одиницю площі поверхні листка є найменшою, а у *T. dicoccum* – найбільшою.

6. Визначено фізіологічні параметри транспірації та фотосинтезу для різних видів роду *Triticum* за умов оптимального поливу і ґрунтової посухи. Встановлено, що більша кількість продихів на одиницю площі листка у *T. dicoccum* сприяє підвищенню продихової провідності й інтенсивності транспірації та дещо меншій ефективності використання води при фотосинтезі за умов високої інтенсивності світла й оптимального поливу. Разом з тим, більші розміри замикаючих клітин у *T. spelta* та *T. aestivum* негативно корелюють з інтенсивністю газообміну за оптимальних умов. За дії короточасної ґрунтової посухи більша кількість менших за розмірами продихів у *T. dicoccum* асоціюється зі значним зниженням продихової провідності, але підвищенням ефективності використання води й інтенсивності фотодихання, які є важливими компонентами адаптації до умов обмеженого вологозабезпечення.

7. Вперше показана кореляція між відмінностями досліджених нуклеотидних послідовностей генів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE* і морфологією продихів у пшениці.

Публікації

Статті в зарубіжних періодичних наукових виданнях:

1. Lakhneko, O., Stepanenko, A., **Rymar, Y.**, Borysyuk, M., Morgun, B., (2024). Sequence comparison of MUTE promoters between two wheat cultivars revealed both conservative and diverged regions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13 (6). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9662> (Web of Science, Scopus, Q4.)

Статті у фахових виданнях України:

2. **Римар Ю.**, Лахнеко О.Р. (2025). ДНК-маркери для детекції поліморфізму генів біогенезу продихів *EPF1*, *EPF2* та *MUTE* пшениці. *Біомедична інженерія і технологія*, 3 (18), 1–17. <https://doi.org/10.20535/.2025.18.333019>

3. **Римар Ю.Ю.**, Проніна О.В., Кірзій Д.А., Дуплій В.П., Моргун Б.В., Стасик О.О. (2025). Характеристика продихового апарату прапорцевого листка у зв'язку з інтенсивністю газобміну і посухостійкістю у споріднених видів ярої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 57 (1), 64–82. <https://doi.org/10.15407/frg2025.01.064>

4. **Римар Ю.Ю.**, Проніна О.В., Дуплій В.П., Моргун Б.В. (2023). Особливості морфології продихового апарату пшениці м'якої. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 32, 120–124, <https://doi.org/10.7124/FEEO.v32.1547>

11 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях

Вдячність

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

- Лахнеко О.Р.
- Степаненко А.І.
- Борисюк М.В.
- Банникова М.О.
- Проніна О.В.
- Великожон Л.Г.
- Дуплій В. П.

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

- Стасик О.О.
- Дубровна О.В.,
- Сливка Л.В.

Інститут захисту рослин НААН України

- Лісова Г.М.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

