

ЕТИЛЕН І ЖИРНІ КИСЛОТИ ЯК МАРКЕРИ СТРЕС-СТІЙКОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

С.В. АНДРЕЙЧЕНКО¹,

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології,

ORCID 0009-0004-8098-4237,

serhiy.andreychenko@e-u.edu.ua

Б.О. КУРЧІЙ¹,

*доктор біологічних наук, доцент кафедри екології та ландшафтного
дизайну,*

ORCID 0000-0002-1043-6014,

bogdan.kurchii@e-u.edu.ua

А.В. КЛЕПКО²,

*доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки
життєдіяльності,*

ORCID – 0000-0002-7061-453X,

alla.klepko@gmail.com

¹Європейський університет,

Бульвар академіка Вернадського, 16 В, 03115 Київ

*²Національний університет біоресурсів та природокористування
України, Героїв Оборони, 13, 03041, Київ*

Анотація. У аграрного сектора України існує ряд глобальних проблем, включаючи екологічні фактори, такі як зміна клімату, повені і посухи, які спричиняють пошкодження тканин рослин і значні втрати урожаю продовольчих культур. Суттєвою перешкодою розвитку аграрного господарства та продовольчої безпеки в Україні є біотичні фактори, зокрема патогенні бактерії, віруси та мікрогриби. Мікрогриби роду *Fusarium* є найбільш поширеними і агресивними збудниками фузаріозу зернових культур, особливо в пшениці. Ці перешкоди можна подолати впровадженням в агрономічну практику сортів пшениці, стійких до фузаріозу. Однак селекція пшениці на стійкість до фузаріозу шляхом традиційного багатовікового відбору є трудомісткою та дорогою. Тому пошук нових ефективних інструментів, які сприятимуть відбору рослин

із бажаними характеристиками на ранніх етапах селекційних програм, є актуальним завданням. В лабораторних дослідженнях використовували сорти пшениці різної стійкості до абіотичних і біотичних факторів в польових умовах: стійкі, середньостійкі і нестійкі. Етилен і жирні кислоти визначали газохроматографічними методами.

Виявлено закономірності синтезу етилену і жирних кислот різними за стійкістю до біотичних і абіотичних факторів сортами озимої пшениці. Стійкі сорти характеризуються суттєво більшим вмістом цих сполук в порівнянні із нестійкими. Аналогічна закономірність виявлена і по відношенню до вилягання рослин: чим більший вміст цих сполук, тим більша стійкість до вилягання. В даній статті викладено два методи оцінки стійкості озимої пшениці до абіотичних і біотичних стресів, які можуть бути імплементовані в програмах селекційного відбору.

Ключові слова: озима пшениця, фузаріоз, етилен, жирні кислоти.

Вступ.

Питання виживання людства в умовах глобальної зміни клімату – це також питання сталого розвитку, відображеного в Резолюції Генеральної Асамблеї ООН (13-та ціль) (ICCIRP, 2023). Однак, кліматичні зміни часто розглядаються як глобальні, надто абстрактні і складні для розуміння широким загалом населення країн. Тому наразі необхідні конкретні дії для вирішення даної проблеми: поширення інформації з акцентом на наукові знання та обізнаність широкого загалу населення про покрокові можливі наслідки глобальних змін для конкретних зон земної кулі. Сьогодні проблемами клімату займаються також й інші міжнародні організації, зокрема UNEP, UNESCO, WMO, IPCC, FAO. Саме для цього була створена "Міжнародна інформаційна програма щодо зміни клімату" (ICCIP) (SGBCL, 2023). Для географічного положення України актуальною є проблема заміни рослинного світу, перш за все деяких культивованих рослин, на більш стійкіші до значно підвищених тем-

ператур. Навіть забезпечення рослин водою і поживними речовинами не може гарантувати повного захисту рослинам, через це корисноцінна для споживання людиною і тваринами частина урожаю суттєво зменшується. Частково зараз це вирішується за рахунок поливу водою із свердловин підземними сольовими водами. Проте це таїть в собі негатив засолення ґрунтів в перспективі, що ще більше ускладнить аграрне виробництво.

За інформацією Global Burden of Crop Loss (GBCL) project втрати урожаю в світовому виробництві становлять до 40% (Impacts of Europe's changing climate, 2008). Втрати від коливання температур (зниження і підвищення відносно оптимальних) досягають в різних регіонах Європи до 30%, що становить десятки Євро втрат (в тому числі і на страхування), до того ж за прогнозами ще в 2008 р. ці втрати в майбутньому будуть суттєво збільшуватись (Farber C. et al., 2019).

Отже, у аграрного сектора України існує ряд глобальних проблем, включаючи екологічні фактори, такі як зміна клімату, повені, посухи, які

спричиняють пошкодження тканин в рослинах і значні втрати їх зеленої маси. Розширення придатних для обробітку земель обмежене в ряді регіонів України. Інший напрямок – інтенсифікація посівів – послаблює здатність ґрунту у відновленні своєї родючості, що може спричинити значну втрату поживних речовин ґрунтами.

Додатковою перешкодою розвитку аграрного господарства та продовольчої безпеки як в Україні, так і в усьому світі є хвороби рослин, які зумовлені як біотичними, так і абіотичними стресами. Так, патогенні бактерії, віруси та гриби, а також шкідники та бур'яни є одними з біотичних стресорів, котрі спричиняють різні форми біотичних хвороб рослин, на які припадає 20–40% втрати продуктивності аграрного виробництва (Chen Y. et al., 2019).

Мікрогриб *Fusarium graminearum* Schwabe, є найбільш поширеним і агресивним збудником фузаріозу в зернових культурах, особливо у пшениці (Ajdanian L. et al., 2023). Повної видоспецифічної стійкості до фузаріозу в українських комерційно вирощуваних сортів пшениці немає. Крім того, зміна атмосферних умов відіграє вирішальну роль у процесі зараження. Високий ризик зараження рослин грибами роду *Fusarium* у Західній та Північній Україні, коли тепла та волога погода збігається із цвітінням пшениці та раннім наливом зерна. У таких екстремальних умовах хімічні і агротехнічні заходи боротьби стають малоефективними.

Природно, що ці проблеми можна подолати впровадженням в агрономічну практику сортів пшениці, стійких до фузаріозу. Однак селекція пшениці на стійкість до фузаріозу

шляхом традиційного багатовікового відбору в польових умовах є трудною та дорогою. Доступні методи, наприклад, картування локусів кількісних ознак, методи селекції *in vitro* з використанням аналізів відокремленого листа, є корисними інструментами для попереднього скринінгу стійкості рослин до ураження мікрогрибами роду *Fusarium*. Проте однією суттєвою перешкодою для стійкої пшениці до фузаріозу є те, що її можна оцінити лише на дорослих рослинах в польових умовах. Хоча аналізи, що описані вище, є корисними для вивчення багатьох аспектів, пов'язаних із стійкістю до фузаріозу, актуальним стає пошук нових більш оптимальних методів оцінки стійкості рослин до фузаріозу. Жирні кислоти відіграють важливу роль у функціонуванні мембранних структур. Також вони можуть проявляти і антиоксидантні властивості. Серед природних регуляторів росту є етилен, який також відіграє важливу роль у захисних реакціях рослин проти патогенів (Kryuchkova L.O. et al., 2006). На основі цих даних нами досліджено здатність до утворення етилену та жирнокислотний склад різних сортів рослин озимої пшениці.

Матеріали та методи досліджень

Досліди проводили з озимою пшеницею (*Triticum aestivum* L.) на сортах різної стійкості до фузаріозу (Kurchii V.M. et al., 2000): Колумбія і Смуглянка (стійкі), Київська 8 (середньо стійкий), Білоцерківська напівкарликова і Подолянка (сприйнятливі). Насіння озимої пшениці пророщували в стерильних умовах за відносної вологості повітря в серед-

ньому 60–70 % у темній камері при 23 °С. Через 4 дні вирощування рослин в темній камері, їх переносили у ростову камеру при 23 °С та світлового режиму, що складався з 14 годин світла, а 10 годин темряви. Середній потік фотонів від штучного освітлення в ростовій камері становив 140 мкмоль/м²/с (5000 люкс). Для вивчення виділення етилену використовували повністю розвинений перший листок молодих рослин озимої пшениці. Етилен визначали газовим хроматографом (Selmihrome, Україна), як описано раніше (Liljenberg S. et al., 1985). Жирноокислотний склад визначали в етіюльованих колеоптилях газовою хроматографією (Xiao R. et al., 2022), де перші листки були вищими за колеоптилі на 1–5 мм.

Результати дослідження та їх обговорення.

Різні сорти озимої пшениці мають у достатній кількості власні регулятори росту, які забезпечують їх ріст, продуктивність і стійкість до біотичних і абіотичних стресів. Проте роль природних регуляторів росту рослин

у процесах стійкості до абіотичних і біотичних факторів потребує подальших досліджень.

Встановлено, що найбільшу кількість етилену виділяли листки сортів Колумбія і Київська 8, тоді як Подолянка і Білоцерківська напівкарликова – найменшу його кількість (Табл. 1). Виявлено зв'язок між синтезом етилену і стійкістю рослин до вилягання. Так, найбільш стійкі до вилягання сорти Колумбія і Смуглянка синтезували найбільшу кількість етилену, тоді як сорт Подолянка (схильна до вилягання) – найменшу. Середньостійкий сорт Київська 8 займав проміжне місце.

Жирноокислотний склад рослин відіграє важливу роль у стійкості до абіотичних і біотичних стресів (Lim G.H. et al., 2017; Timmusk S., et al., 2020). [11-12]. Сумарна кількість жирних кислот у стійких сортів Колумбія і Смуглянка виявилась значно вищою, ніж у нестійких Подолянки і Білоцерківської напівкарликової (Табл. 2).

На сьогодні загально визнано, що фактори зовнішнього середовища впливають як на вірулентність па-

1. Синтез етилену зеленими листками 2-тижневих рослин озимої пшениці

Назва сорту	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ
Колумбія	13,8±0,18	152±8	12,6±0,20	219±12	13,2±0,39	181±9	14,6±0,17	131±7
Смуглянка	14,9±0,16	161±11	14,2±0,35	201±19	14,2±0,30	200±20	15,1±0,27	91±6
Київська 8	14,6±0,17	99±8	14,5±0,25	81±6	14,6±0,28	50±4	18,1±0,45	54±5
Подолянка	20,1±0,23	13±6	14,6±0,33	36±5	16,6±0,81	41±6	15,9±0,61	16±4
Білоцерківська напівкарликова	15,1±0,19	16±3	15,2±0,45	41±5	14,8±0,36	36±4	16,7±0,38	24±4

Примітка: нл – нанолітри, г – грам, СМ – суха маса

2. Вміст жирних кислот в колеоптилях озимої пшениці

Назва сорту	Висота клоп-тилю, мм	Вміст жирних кислот, мг/г сирової маси								
		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0	C24:0	Су-марно
Колумбія	39,9±1,3	176±8	7,4±0,25	16,3±0,8	212±11	95±5	2,4	2,9	0,6	512,9
Смуглянка	46,2±2,2	180±12	7,7±0,35	16,8±1,3	216±13	85±9	2,3	3,1	0,6	511,5
Київська 8	57,4±2,4	162±7	7,2±0,38	16,0±0,9	177±9	84±7	2,3	2,4	0,4	451,3
Подольнка	57,9±2,3	141±7	6,5±0,38	12,6±0,7	177±10	73±4	0,5	0,9	0,4	411,9
Білцерківська напикарликоса	51,2±2,2	88±0,21	6,9±0,6	7,1±0,4	125±5	59±5	0,3	0,4	0,3	287,0

тогенів, так і на механізми стійкості рослин. Зміни в концентрації CO₂, температурі та доступності води можуть мати позитивний, нейтральний або негативний вплив на розповсюдження патогенів залежно від оптимуму навколишнього середовища для патогенної системи. Отже, існує потреба у дослідженнях взаємодії рослин і патогенів у поточному та майбутньому екологічному контексті. Для розуміння всього комплексу таких проблем необхідні дані довгострокового моніторингу фізіологічного стану рослин та їх мікробіомного оточення.

Прогнозується, що збитки, спричинені фузаріозом у пшениці, ймовірно, зростуть із підвищенням температури та більшим вмістом вуглекислого газу в атмосфері, спричиненими зміною клімату (Miedaner T., Juroszek P., 2021; Hay W.T. et al., 2022; Wilson W. et al., 2018).

Протягом останніх десятиліть агрохімікати успішно контролювали хвороби рослин і зменшували масові втрати врожаю. Однак їх надмірне та неправильне використання призвело до появи резистентності у патогенів, забруднення навколишнього середовища та накопичення шкідливих хімікатів у нецільових організмах.

В цьому зв'язку загальновідомо, що накопичення агрохімічних речовин є потенційною загрозою для біорізноманіття та може загрожувати здоров'ю людей і тварин через харчовий ланцюг.

До того ж, використання фунгіцидів та наявних технологій, які застосовуються як традиційні засоби боротьби з фузаріозом, збільшують витрати на виробництво і не дають реального позитивного ефекту від урожаю зерна (UN's The 2030 SD). Тому найефективніші та безпечні для навколишнього середовища стратегії мають поєднувати в собі відповідні агрономічні методи з підвищеною стійкістю культивованих рослин.

Для досягнення стійкого аграрного виробництва терміново потрібні альтернативні екологічно чисті методи боротьби з хворобами рослин. У Порядку денному сталого розвитку на період до 2030 року ООН накреслила підходи для досягнення продовольчої безпеки шляхом розвитку адаптації культур до змін навколишнього середовища, оптимізації ефективності використання ресурсів за допомогою точного землеробства, зменшення розриву врожайності, спричиненого топографічними, біофізичними чи соціально-економічними обмеження-

ми, а також впровадженням ефективних методів зберігання та переробки харчових продуктів для зменшення відходів.

Висновки і перспективи.

В результаті досліджень встановлено, що найбільшу кількість етилену продукує листя найбільш стійких до вилягання сортів пшениці – Колумбії та Смуглянки. В той же час листя схильних до вилягання сортів пшениці, зокрема Подолянки, виділяло найменшу кількість етилену у виборці з 5-ти досліджених сортів.

Крім цього, показано, що жирно кислотний склад рослин у великій мірі визначає їх здатність протистояти абіотичним та біотичним стресам. Через те, сумарна кількість жирних кислот у стійких до вилягання сортів озимої пшениці Колумбія і Смуглянка була значно вище, ніж у нестійких сортів – Подолянка і Білоруська напівкарликова.

На основі отриманих даних запропоновано фізіолого-біохімічні методи дослідження, що можуть доповнити розробку ефективних стратегій, заснованих на екологічних ноу-хау, для боротьби зі збудниками фузаріозу та підтримки стійких аграрних систем, та які можуть бути імplementовані в програмах селекційного відбору.

References

1. International Climate Change Information and Research Programme (IC CIRP). (<https://www.haw-hamburg.de/en/ftz-nk/programmes/iccirp>)
2. Stakeholders say Global Burden of Crop Loss would help direct future agricultural policy and practice. (<https://croploss.org/news-blogs/can-artificial-intelligence-really-help-solve-global-crop-loss/>)
3. Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment // Joint EEA-JRC-WHO report. 2008. 251p. (http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4)
4. Farber C., Mahnke M., Sanchez L., Kurouski D. (2019). Advanced spectroscopic techniques for plant disease diagnostics. A review. *Trends Anal. Chem.*, 118, pp. 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.022>
5. Chen Y., Kistler H.C., Ma Z. (2019). Fusarium graminearum trichothecene mycotoxins: biosynthesis, regulation, and management. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 57, pp. 15–39. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100318>
6. Ajdarian L., Babaei M., Arouiee H., Nemat H., Astatkie T., Lajayer B.A. (2023). Role of ethylene in regulating physiological and molecular aspects of plants under abiotic stress. In: A Sharma et al. (Eds) *The Role of Growth Regulators and Phytohormones in Overcoming Environmental Stress* (pp. 113-135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98332-7.00009-3>
7. Kryuchkova L.O., Makoveychuk T.I., Yavorska V.K., Kurchii B.A. (2006). Salicylic acid content in the leaves of winter wheat seedlings of different resistance to phytopathogenes. *Fiziologia i Biokhimiya Kulturnykh Rastenii*, 38(1), pp. 45-52
8. Kurchii V.M., Kurchii B.A. (2000). Decomposition of acetylcholine with ethylene formation in vitro. Possible free radical mechanism of acetylcholine action. *Ukr. Biokhim. Zhurnal*, 72, pp. 69–72.
9. Liljenberg C., Kates M. (1985). Changes in lipid composition of oat root membranes as a function of water-deficit stress. *Can. J. Biochem. Cell Biol.*, 63(2), pp. 77–84. <https://doi.org/10.1139/o85-01>
10. Xiao R., Zou Y., Guo X., Li H., Lu H. (2022). Fatty acid desaturases (FADs) modulate multiple lipid metabolism pathways to im-

- prove plant resistance. *Mol. Biol. Rep.* 49, pp. 9997–10011. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07568-x>
11. Lim G.H., Singhal R., Kachroo A, Kachroo P. (2017). Fatty acid- and lipid-mediated signaling in plant defense. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 55, pp. 505–536. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035406>
12. Timmusk S., Nevo E., Ayele F., Noe S., Niinemets Ü. (2020) Fighting Fusarium pathogens in the era of climate change: a conceptual approach. *Pathogens* 28(9):419. <https://doi.org/10.3390/pathogens9060419>
13. Miedaner T., Juroszek P. (2021). Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theor. Appl. Genet.* 134(6), pp. 1771–1785. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03807-0>
14. Hay W.T., Anderson J.A., McCormick S.P., Hojilla-Evangelista M.P., Selling G.W., Utt K.D., Bowman M.J., Doll K.M., Ascherl K.L., Berhow M.A., Vaughan M.M. (2022). Fusarium head blight resistance exacerbates nutritional loss of wheat grain at elevated CO₂. *Sci. Rep.*, 12(1), pp. 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03890-9>
15. Wilson W., Dahl B., Nganje W. (2018). Economic costs of Fusarium head blight, scab and deoxynivalenol. *World Mycotoxin J.*, 11(2), pp. 291–302. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2204>
16. UN's The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
-

Andreychenko S., Kurchii B., Klepko A. (2024).

ETHYLENE AND FATTY ACIDS AS MARKERS OF STRESS RESISTANCE IN WINTER WHEAT.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 84-90.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48305>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.007](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.007)

Abstract. There is a number of global problems in the agricultural sector of Ukraine, including environmental factors such as climate change, floods and droughts, which cause damage to plant tissues and significant losses of food crops. A significant obstacle to the development of agriculture and food security in Ukraine are biotic factors, in particular pathogenic bacteria, viruses and microfungi. Fusarium is the most widespread and aggressive pathogen to grain crops, especially to wheat. These obstacles can be overcome by introducing wheat varieties resistant to Fusarium into agronomic practice. However, selection of resistant wheat to fusariosis along the path of traditional centuries-old selection is a laborious and expensive road. Therefore, the search for new effective tools that will facilitate the selection of plants with desirable characteristics at the early stages of breeding programs is an urgent task. **Methods.** Wheat varieties of different resistance to abiotic and biotic factors in field conditions were used in laboratory studies: resistant, semi-resistant and non-resistant. Ethylene and fatty acids were determined by gas chromatographic methods. **The results.** Patterns of ethylene and fatty acid synthesis in winter wheat varieties with different resistance to biotic and abiotic factors were revealed. Resistant varieties are characterized by a significantly higher content of these compounds compared to non-resistant varieties. A similar regularity was found in relation to the lodging of plants: the higher the content of these compounds, the greater the resistance to lodging. **Conclusions and perspectives.** This article describes two methods of assessing the resistance of winter wheat to abiotic and biotic stresses, which can be implemented in breeding programs.

Key words: winter wheat, fusarium, ethylene, fatty acids.