



Рослинництво, кормовиробництво

УДК 633.16:632:581.2

© 2023

ЕНДОФІТНА МІКРОФЛОРА ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО В ЗОНІ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

О.І. Борзих¹, Л.М. Голосна²,
О.В. Шевчук³, О.Г. Афанасьева⁴, Д.С. Зленко⁵

¹доктор сільськогосподарських наук, академік НААН

²⁻⁴кандидати сільськогосподарських наук

Інститут захисту рослин НААН

вул. Васильківська, 33, Київ, 03022, Україна

e-mail: ¹plant_prot@ukr.net, ²lgolosna16@gmail.com, ³phytoppi@ukr.net, ⁴o.afanasieva@ukr.net,
⁵zlenkod99@gmail.com;

ORCID: ¹0000-0002-9802-5622, ²0000-0002-6276-8256,

³0000-0003-0954-1922, ⁴0000-0002-2724-2080, ⁵0009-0007-1450-5308

Надійшла 21.09.2023

Мета. Визначити рівень інфікування зерна ячменю озимого ендоефітною мікрофлорою, ідентифікувати виділені види грибів та частоту їх трапляння в роки досліджень. **Методи.** Використовували лабораторні методи досліджень: виділення та ідентифікацію ендоефітної мікрофлори насіння з використанням живильного середовища. Проаналізовано 67 зразків урожаю ячменю озимого з різних частин лісостепової зони України за 2017–2021 рр. **Результати.** Упродовж періоду досліджень виділено гриби, що належать до 11 родів. Внутрішнє інфікування зерна ячменю озимого варіювало в межах 11–100% залежно від року та місця відбору зразка. Найчастіше спостерігалось ураження грибами роду *Alternaria* (100% проаналізованих зразків). Гриби роду *Fusarium* займали 2-ге місце серед грибів за частотою виявлення. Найвищий рівень ураження збудниками фузаріозу спостерігався в Західному Лісостепу в 2019 р., Правобережному Лісостепу — 2021 р. Патоген *Vipolaris sorokiniana* частіше ізолювали зі зразків, відібраних у Західному Лісостепу України, де їх частка в комплексі досягала 5,5%, у Правобережному Лісостепу вона не перевищувала 0,5%. Значно рідше траплялися представники родів *Episoccum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Helminthosporium*, *Sordaria* і *Stemfillium*. У деяких зразках насіння відзначали досить високий розвиток бактеріозів. Установлено негативну кореляцію між питомою часткою грибів родів *Fusarium* та *Alternaria*. **Висновки.** У комплексі ендоефітної мікрофлори насіння ячменю озимого домінували гриби родів *Alternaria* і *Fusarium*. За частотою виявлення фузаріоз — на 2-му місці. Наявність у популяції інших видів грибів була значно нижчою. Оскільки домінувальні види є продуцентами мікотоксинів,

слід проводити систематичний моніторинг ендоефітної мікофлори зерна ячменю озимого та ухвалювати рішення про його використання з урахуванням фітопатологічної оцінки.

Ключові слова: комплекс мікроміцетів, рівень ураження, частота траплення, *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202311-02>

За посівними площами ячмінь серед зернових культур в Україні займає 2-ге місце після пшениці. В Україні на початок 2023 р. було зареєстровано та рекомендовано для вирощування 268 сортів цієї культури, зокрема 173 сорти ячменю ярого, 83 — озимого та 2 дворучки. Із них сорти вітчизняної селекції становлять 52% [1].

Насіння ячменю поділяють за призначенням для продовольчих потреб, виробництва солоду в спиртовиробництві, кормових цілей та для пивоваріння. До кожної з цих груп вимоги до якості насіння можуть бути різними. Так, у насінні 1–3 класів допускається до 1% фузаріозних зерен, тоді як у насінні, призначеному для пивоваріння, їх не має бути. Також регламентується кількість мікотоксинів, які продукуються грибами з родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* тощо [2].

Тому вивчення інфікування зерна ячменю збудниками хвороб є важливою складовою у визначенні його безпечності для людей і тварин. Поверхнева стерилізація зерен перед виділенням грибів є ключовим фактором для отримання об'єктивних результатів. Аналіз нестерилізованого насіння дає інший спектр видів грибів [3, 4].

Контамінація грибами та мікотоксинами зернової продукції є світовою проблемою. Залежно від континенту, країни, зони та технології вирощування ячменю виділена з насіння епіфітна мікрофлора має значні відмінності [5–9]. Недостатня увага приділяється аналізу саме озимої форми цієї культури, яка має більш тривалий період вегетації.

Мета досліджень — визначити рівень інфікування зерна ячменю озимого ендоефітною мікрофлорою, ідентифікувати виділені гриби та частоту їх траплення в роки досліджень.

Методика досліджень. Упродовж 2017–2021 рр. аналізували насіння ячменю озимого

з різних частин лісостепової зони — Правобережного (Київська, Хмельницька, Житомирська обл.) та Західного Лісостепу (Львівська, Тернопільська обл.). За цей період було проаналізовано 67 зразків. Визначали рівень внутрішнього ураження дослідних зразків фітопатогенними грибами та бактеріями. Після попереднього промивання проточною водою насіння стерилізували й розкладали на картопляно-глюкозному живильному середовищі [10]. Ідентифікацію видів грибів здійснювали на 7–14-й день за морфологічними характеристиками колоній і конідій відповідних видів збудників. За результатами визначали внутрішнє інфікування насіння ячменю озимого. Рівень ураження розраховували як співвідношення кількості зерен, з яких був виділений рід (вид), до загальної кількості аналізованих зерен:

$$P = (k/K) \cdot 100, \quad (1)$$

де k — кількість зерен, з яких було виділено певний рід чи вид, K — загальна кількість аналізованих зерен.

Частоту ізоляції (IF, %) розраховували за формулою:

$$IF = (m/M) \cdot 100, \quad (2)$$

де m — кількість зразків, з яких було виділено певний рід чи вид, M — загальна кількість зразків.

Також визначали частку виділених родів (видів) у комплексі ендоефітної мікрофлори:

$$RD (\%) = (n/N) \cdot 100, \quad (3)$$

де n — кількість виділених ізолятів певного роду чи виду, N — загальна кількість ізолятів.

Результати досліджень. Аналіз насіння зразків ячменю озимого виявив високе варіювання контамінації насіння за роками досліджень і залежно від місця відбору зразка. У роки досліджень середній рівень

інфікування становив 66,2%. Найвищий рівень зараження спостерігався в 2019 р. в Західному і Правобережному Лісостепу — 93,6 і 97,8% із варіюванням 77–100% (таблиця). Найнижчий рівень інфікування насіння був у Західному Лісостепу в 2020 р. — 36,1%, у Правобережному Лісостепу в 2018 р. — 49,6%. Слід зазначити, що в 2019 р. часто на одному інфікованому зерні одночасно виявляли кілька видів грибів.

Загалом було виділено гриби 11 родів. Серед ендофітної мікофлори насіння ячменю озимого найчастіше виявляли гриби роду *Alternaria* Nees, які були в усіх досліджуваних зразках. Їх частка в зерні в роки досліджень становила 11–76%. Найвищий рівень контамінації спостерігався в Західному Лісостепу в 2018 р., Правобережному — у 2019 р.

Також відзначали наявність грибів роду *Fusarium* Link (до 81%) залежно від зразка, зони та року досліджень. Найвищий рівень інфікування фузаріозом був у 2019 р. в зразках із зони Західного Лісостепу (29,9%) та в 2021 р. в Правобережному Лісостепу (33,4%). В інші роки частота виявлення представників цього роду була значно нижчою. Так, у 2017 р. збудників цього роду було виявлено лише в 1 зразку з Правобережного та в половині зразків із Західного Лісостепу. Водночас у 2018–2021 р., навіть за низького рівня ураження,

грибів роду *Fusarium* виділяли з переважної більшості зразків (80–100%).

Збудника темно-бурої плямистості листа ячменю *Bipolaris sorokiniana* Shoem. у Західному Лісостепу не виділили лише в 2020 р. В інші роки він траплявся на 0,5–3,6% насінин. У Правобережному Лісостепу цей патоген був на зерні в 2018 і 2021 р. за низького рівня наявності (0,2–0,4%).

Крім цього, було виявлено гриби з родів *Cladosporium* Link, *Epicoccum* Link, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Helminthosporium* Link, *Mucor* Fresen. та міцелій грибів, які не сформували спороносіння. Також виявляли поодинокі представників родів *Sordaria* Ces. & De Not. і *Stemfillium* Wallr. Їх наявність була значно нижчою порівняно з грибами родів *Fusarium* та *Alternaria* і в сумі становила 0,6–8,0%.

Частка зерен, уражених бактеріальною інфекцією, становила 3,3–13,8%.

Найвищу частоту ізоляції відзначено в грибів роду *Alternaria* — вони траплялися в кожному з проаналізованих зразків у Західному і Правобережному Лісостепу. Грибів роду *Fusarium* виявляли в 50–100% зразків із Західного Лісостепу і 25–100% — Правобережного. Найнижчу частоту виявлення фіксували в 2019 р. — 50 та 25% відповідно. В інші роки вона була в межах 80–100%. З решти грибів високою частотою ізоляції (у середньому

Результати фітопатологічного аналізу зерна ячменю озимого (2017–2021 рр.)

Рік	Зона	Кількість зразків	Загальне ураження, %	У тому числі, %				
				<i>Alternaria</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	бактеріальна інфекція	інші види
2017	ЗП*	8	54,1±3,6	33,1±4,9	2,6±1,6	3,0±2,2	11,0±2,3	4,4±1,7
	ПЛ*	4	50,4±3,8	35,8±5,8	0,3±0,3	0,0	7,8±2,5	6,5±2,1
2018	ЗП	4	73,9±7,5	55,3±5,0	9,3±2,3	0,5±0,3	6,3±4,3	2,5±1,0
	ПЛ	5	49,6±3,3	25,8±4,7	2,8±0,7	0,2±0,2	13,8±1,7	7,6±3,2
2019	ЗП	14	93,6±2,4	48,4±4,0	29,9±7,6	3,6±1,3	5,8±1,3	5,9±1,5
	ПЛ	4	97,8±0,9	68,0±3,8	10,5±2,1	0,0	11,3±1,7	8,0±3,0
2020	ЗП	13	36,1±4,8	26,2±2,8	6,0±2,0	0,0	3,3±1,4	0,6±0,3
	ПЛ	6	64,1±6,1	37,8±7,6	5,3±1,0	0,0	13,8±3,7	7,2±2,0
2021	ЗП	4	73,6±8,3	48,0±3,7	8,8±3,4	2,3±1,3	6,5±0,9	8,0±0,7
	ПЛ	5	83,0±3,9	30,6±6,3	33,4±4,7	0,4±0,2	11,6±1,3	7,0±1,5

*ЗП — Західний Лісостеп; ПЛ — Правобережний Лісостеп.

44,2%) характеризувалися гриби роду *Epicoccum*. Вони не були виявлені лише в 2018 р. у зразках, відібраних у Західному Лісостепу. Вид *Bipolaris sorokiniana* було виділено в середньому з 26,7% зразків. Він траплявся в усі роки досліджень, крім 2020 р. Наявність бактеріальної мікрофлори відзначали щороку в переважній більшості зразків (63,2–100%).

Різноманіття мікрофлори в насінні ячменю озимого в роки досліджень показано на

рис. 1, 2. У зоні Західного Лісостепу найвищою частка альтернативних грибів була у 2018 та 2020 р. — 74,9 і 72,6%, найнижчою — у 2019 р. (51,7%). У Правобережному Лісостепу гриби роду *Alternaria* також переважали в комплексі ендосфитної мікрофлори. Їх частка в 2017–2020 рр. становила 52–71,2%, лише в 2021 р. частка грибів цього роду була 36,9%, поступаючись збудникам фузаріозу.

Частка грибів роду *Fusarium* у Західному Лісостепу в роки досліджень варіювала від

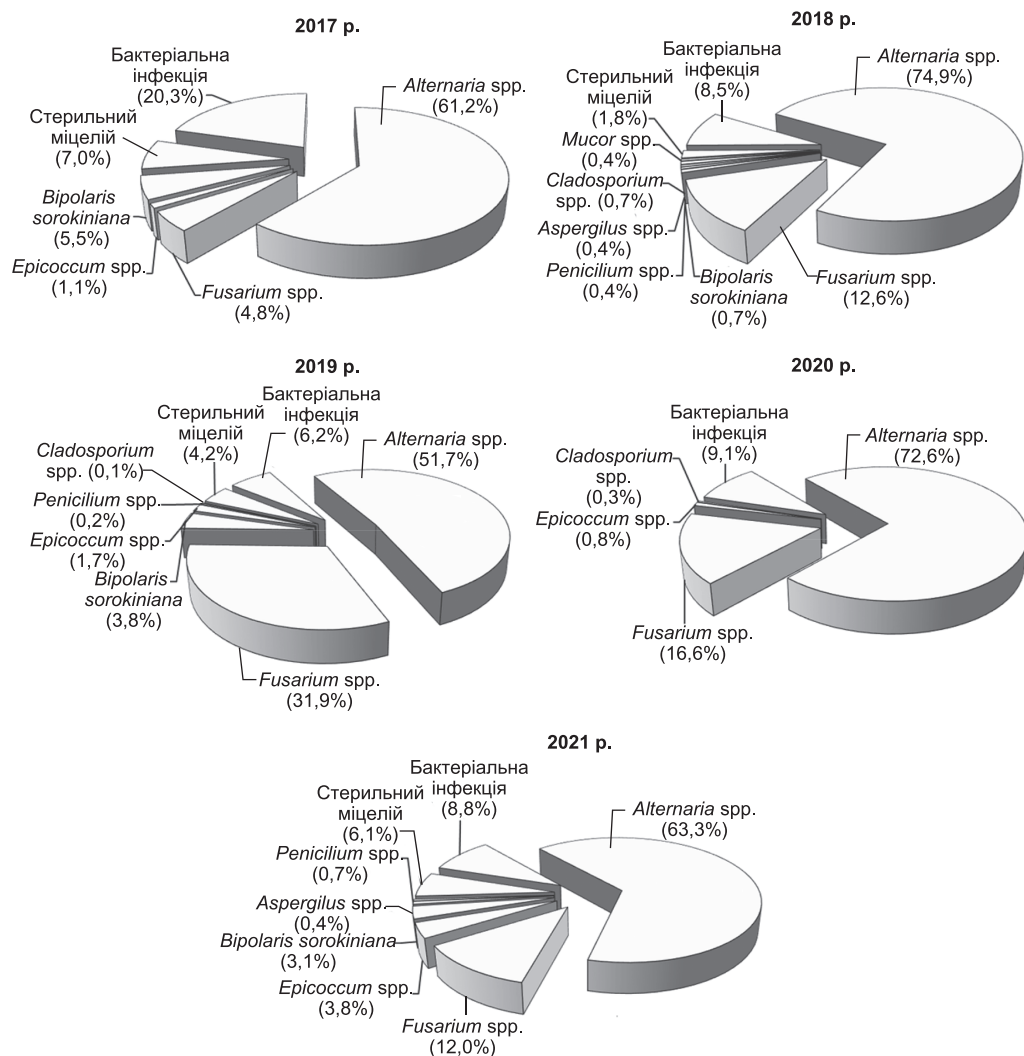


Рис. 1. Ендосфитна мікрофлора насіння ячменю озимого в зоні Західного Лісостепу (2017–2021 рр.)

4,8% (2017 р.) до 31,9% (2019 р.) із середнім значенням 13,6%. Серед грибної інфекції у 2017 р. цей рід поступився збудникам альтернаріозу і темно-бурої плямистості, у 2018–2021 рр. — був на 2-му місці після *Alternaria* spp.

У зоні Правобережного Лісостепу частка фузарієвих грибів у комплексі ендофітної мікрофлори зерна ячменю озимого в середньому за роки досліджень становила 13,1%. При цьому спостерігалася

значно більше варіювання порівняно із Західним Лісостепом — від 0,6% у 2017 р. до 40,2% — у 2021 р.

Частка збудника темно-бурої плямистості листя ячменю *B. sorokiniana* в роки його виявлення була в межах 0,7–5,5% у Західному Лісостепу і 0,4–0,5% — Правобережному. Частка видів грибів з родів *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Helminthosporium* у комплексі в середньому не перевищувала 2%.

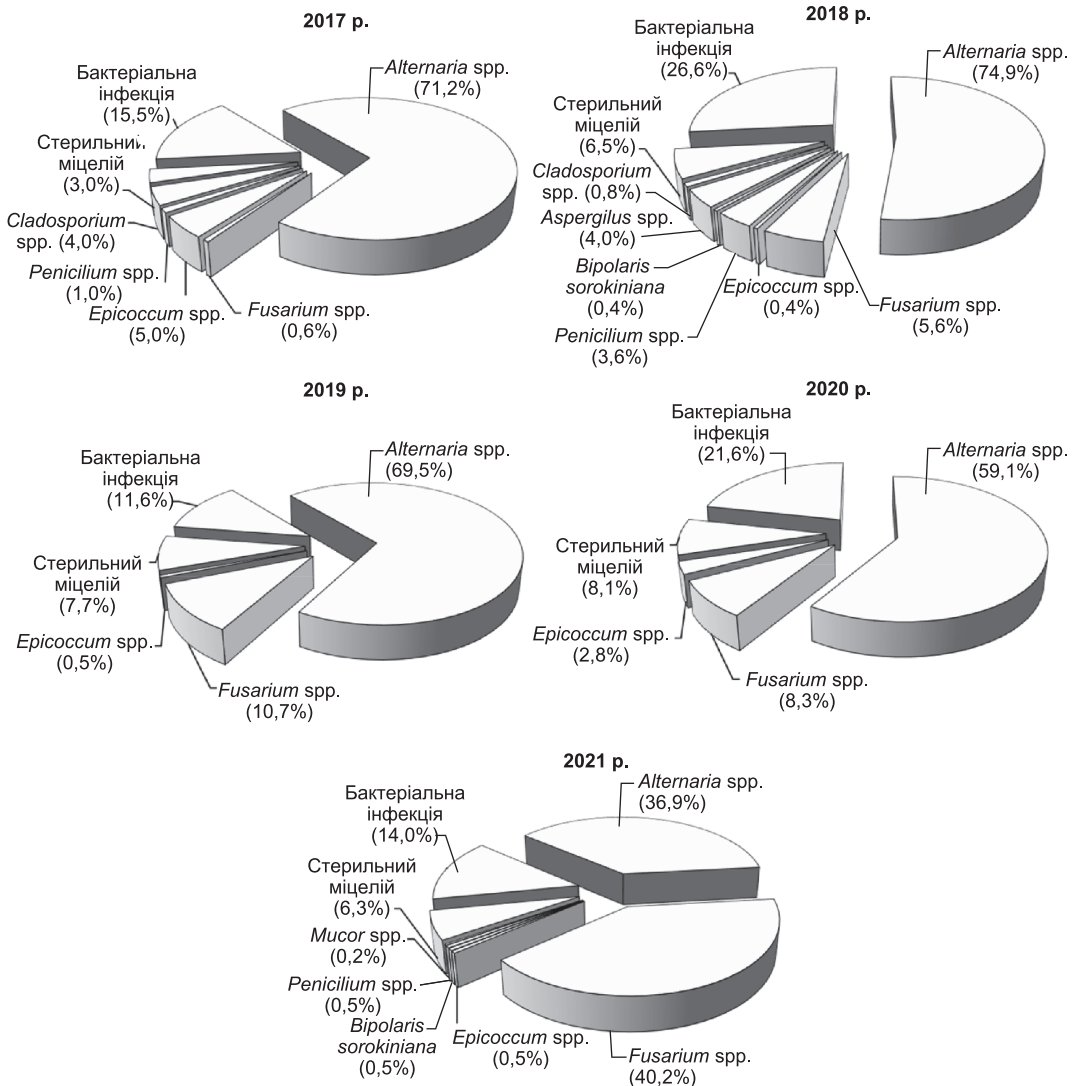


Рис. 2. Ендофітна мікрофлора насіння ячменю озимого в зоні Правобережного Лісостепу (2017–2021 рр.)

Частка бактеріальної інфекції в Правобережному Лісостепу була вищою, ніж у Західному.

Отже, в усіх випадках у комплексі ендофітної мікрофлори зерна ячменю озимого переважали гриби роду *Alternaria*. Подібну закономірність відзначали вчені [7, 11–14].

У Лісостепу України серед ендофітної мікрофлори ячменю ярого домінували патогени, що належать до родів *Fusarium*, *Drechslera*, *Alternaria*, *Bipolaris* [5, 6, 15, 16]. Меншою частотою трапляння характеризувалися види: *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma* spp. [16].

Відзначено, що зі збільшенням у популяції грибів роду *Fusarium* знижується частота виявлення видів роду *Alternaria*. Це було добре помітно на насінні зі зразків із Західного Лісостепу в 2019 р., який характеризувався рясними тривалими дощовими періодами за помірної температури повітря під час цвітіння та дозрівання зернових. Склалися сприятливі умови для інфікування колоса та розвитку грибів роду *Fusarium* усередині зернівки. Інфікування альтернарієвими грибами відбувається пізніше, концентруються вони в оболонці насіння, на відміну від фузарієвих грибів, які за значного ступеня розвитку зазвичай інфікують зародок. При ураженні однієї зернівки одночасно видами з обох родів

фузарієві гриби або стримують ріст альтернарієвих, або з однієї зернівки виростає кілька колоній обох представників. Проведеним кореляційним аналізом доведено наявність зворотного зв'язку між показниками часток родів *Fusarium* та *Alternaria* в комплексі ендофітної мікрофлори з коефіцієнтом кореляції $r = -0,5866$ ($p < 0,01$). Такі результати підтверджуються в працях учених [17, 18], які відзначають негативну кореляцію між траплянням родів *Fusarium* spp. і *Alternaria* spp. у посівах зернових колосових культур, що пояснюється погодними умовами вегетаційного періоду.

Виділені види грибів можуть продукувати небезпечні для людини сполуки. Майже всі види *Fusarium* синтезують токсичні вторинні метаболіти, відомі як мікотоксини: фумонізину, трихотецини, зераленон [19].

Паразитичні види роду *Alternaria* часто виділяють токсини різної хімічної природи: ліпідоподібні речовини, циклічні поліпептиди тощо. Усього відомо понад 70 фітотоксинів, які синтезують альтернарієві гриби. Деякі види здатні синтезувати кілька токсичних речовин одночасно [20–22]. Частина з них є токсичними для людини, зокрема альтернаріол та його монометиловий ефір, алтеротоксин-II [23–26].

Тому ураженню зерна ячменю грибами цих родів слід приділяти особливу увагу.

Висновки

У комплексі ендофітної мікрофлори насіння ячменю озимого домінують гриби роду *Alternaria*. За частотою виявлення фузаріоз займає 2-ге місце. Зі збільшенням у популяції грибів роду *Fusarium* частка альтернарієвих грибів знижується.

Наявність у популяції інших видів гри-

бів була незначною. Виявлено види з родів *Cladosporium*, *Epicoosum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Bipolaris*, *Helminthosporium*.

Результати проведених досліджень свідчать про необхідність щорічного моніторингу ендофітної мікрофлори насіння ячменю озимого.

Borzykh O.¹, Holosna L.², Shevchuk O.³, Afanasieva O.⁴, Zlenko D.⁵

Institute of Plant Protection of the NAAS, 33 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine; email: ¹plant_prot@ukr.net, ²lgolosna16@gmail.com, ³phytoppi@ukr.net, ⁴o.afanasieva@ukr.net, ⁵zlenkod99@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-9802-5622, ²0000-0002-6276-8256, ³0000-0003-0954-1922, ⁴0000-0002-2724-2080, ⁵0009-0007-1450-5308

Endophytic microflora of winter barley grain in the Forest-Steppe zone of Ukraine

Goal. To determine the level of infection of winter barley grain with endophytic microflora, to identify the isolated species of fungi and their frequency of occurrence during the years of research. **Methods.** The following laboratory research methods were used: isolation and identification of endophytic seed microflora using a nutrient medium. 67 samples of the

winter barley harvest from different parts of the Forest-Steppe zone of Ukraine for 2017–2021 were analyzed. **Results.** During the research period, fungi belonging to 11 genera were isolated. Internal infection of winter barley grain varied in the range of 11–100% depending on the year and place of sampling. The most frequently observed lesions were *Alternaria* fungi (100% of analyzed samples). Fungi of the genus *Fusarium* took the 2nd place in terms of detection frequency. The highest level of damage by fusarium pathogens was observed in the Western Forest Steppe in 2019, and in the Right Bank Forest Steppe in 2021. The pathogen *Bipolaris sorokiniana* was more often isolated from samples collected in the Western Forest Steppe of Ukraine, where their share in the complex reached 5.5%, in the Right Bank Forest Steppe it did not exceed 0.5%. Representatives of the genera *Epicoccum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Helminthosporium*, *Sordaria*, and *Stemfillium*

occurred much less often. In some seed samples, a rather high development of bacteriosis was noted. A negative correlation was established between the specific proportion of *Fusarium* and *Alternaria* fungi. **Conclusions.** The complex of endophytic microflora of winter barley seeds was dominated by fungi of the genera *Alternaria* and *Fusarium*. According to the frequency of detection, fusariosis was in the 2nd place. The presence of other mushroom species in the population was much lower. Since the dominant species are the producers of mycotoxins, systematic monitoring of the endophytic mycoflora of winter barley grain should be carried out and decisions about its use should be made taking into account the phytopathological assessment.

Key words: complex of micromycetes, level of damage, frequency of occurrence, *Alternaria* spp., *Fusarium* spp.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovnisnyk202311-02>

Бібліографія

1. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2022 рік. Київ, 2022. 547 с.

2. Ячмінь. Технічні умови. ДСТУ-3769-98. [Чинний від 1998-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. 18 с.

3. Sahu P.K., Tilgam J., Mishra S. et al. Surface sterilization for isolation of endophytes: Ensuring what (not) to grow. *J. Basic Microbiol.* 2022. V. 62. № 6. P. 647–668. doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.202100462>

4. Kumar R., Gupta A., Srivastava S. et al. Diagnosis and Detection of Seed-Borne Fungal Phytopathogens. *Seed-Borne Diseases of Agricultural Crops: Detection, Diagnosis & Management*. Kumar, R., Gupta, A. (eds). Singapore: Springer, 2020. doi: [10.1007/978-981-32-9046-4_5](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9046-4_5)

5. Горщар О.А. Основні збудники пліснявіння та їх фітотоксична дія на проростаюче насіння ячменю ярого. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН України*. 2013. № 4. С. 70–73.

6. Сабадин В.Я. Насіннєва інфекція зерна ячменю ярого. *Агробіологія*. 2013. № 10. С. 137–141.

7. Bretträger M., Becker T., Gastl M. Screening of Mycotoxigenic Fungi in Barley and Barley Malt (*Hordeum vulgare* L.) Using Real-Time PCR — A Comparison between Molecular Diagnostic and Culture Technique. *Foods*. 2022. V. 11. № 8. 1149. doi: [10.3390/foods11081149](https://doi.org/10.3390/foods11081149)

8. Chen W., Turkington T., Lévesque C. et al. Geography and agronomical practices drive diversification of the epiphytic mycoflora associated with barley and its malt end product in western Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. V. 226. P. 43–55. doi: [10.1016/j.agee.2016.03.030](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.030)

9. Kaur M., Bowman J.P., Stewart D.C., Evans D.E. The fungal community structure of barley malts from diverse geographical regions correlates with malt quality parameters. *International J. of Food Microbiology*, 2015. V. 215. P. 71–78. doi: [10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.019](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.019)

10. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. ДСТУ 4138-2002. [Чинний від 2004-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 170 с.

11. Pekarškas J., Sinkevičienė J. Influence of Biological Preparation on Viability, Germination Power and Fungal Contamination of Organic Winter Barley Grain: *Proceedings of the 5th international scientific conference, «Rural development 2011: Environmental Problems in Current Agricultural Technologies Innovations and Sustainability»* (Kaunas, 24–25 November, 2011). Kaunas: Akademiija, 2011. V. 5. № 2. P. 206–210.

12. Castañares E., da Cruz Cabral L., Dinolfo M. I. et al. *Alternaria* in malting barley: Characterization and distribution in relation with climatic conditions and barley cultivars. *International J. of Food Microbiology*. 2021. V. 357, 109367. doi: [10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109367](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109367)

13. Beccari G., Senatore M.T., Tini F. et al. Fungal community, *Fusarium* head blight complex and secondary metabolites associated with malting barley grains harvested in Umbria, central Italy. *International j. of food microbiology*. 2018. V. 273. P. 33–42. doi: [10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.005](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.005)

14. Roháčik T., Hudec K. Fungal Infection of Malt Barley Kernels in Slovak Republic. *Plant Protect. Sci.* 2007. V. 43. № 3. P. 86–93.

15. Сабадин В.Я. Видовий склад збудників хвороб насіння ячменю ярого в центральному

Лісостепу України. *Сучасні проблеми ведення сільського господарства та підготовки фахівців аграрного профілю*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (Біла Церква, 15 лютого 2018 р.). Біла Церква, 2018. С. 25–26.

16. Мосійчук І.І., Безноско І.В. Патогенна мікобіота насіння ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.). *Екологічна безпека та збалансоване природо-користування в агропромисловому виробництві*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 7–8 липня 2022 р.). Київ, 2022. С. 243–247.

17. Jevtić R., Župunski V., Lalošević M., Živanov S. T. Colonization of winter wheat grain with *Fusarium* and *Alternaria* species and influence on pest control management. *J. Gen Plant Pathol.* 2019. V. 85. P. 273–281. doi: 10.1007/s10327-019-00844-y

18. Mykhalska L., Zozulia O., Hrytsev O. et al. Distribution of species of *Fusarium* and *Alternaria* genera on cereals in Ukraine. *Biosystems Diversity.* 2019. V. 27. № 2. P. 186–191. doi: 10.15421/011925

19. Perincherry L., Lalak-Kańczugowska J., Stępień Ł. *Fusarium*-Produced Mycotoxins in Plant-Pathogen Interactions. *Toxins.* 2019. V. 11. № 11. 664. doi: 10.3390/toxins11110664

20. Zwickel T., Kahl S.M., Rychlik M., Müller M.E.H. Chemotaxonomy of mycotoxigenic small-spored

Alternaria fungi — do mult toxin mixtures act as an indicator for species differentiation? *Front. Microbiol.* 2018. V. 9. 1368. doi: 10.3389/fmicb.2018.01368

21. Meena M., Gupta S.K., Swapnil P. et al. *Alternaria* toxins: potential virulence factors and genes related to pathogenesis. *Front. Microbiol.* 2017. V. 8. 1451. doi: 10.3389/fmicb.2017.01451

22. Aichinger G., Favero G., Warth B., Marko D. *Alternaria* toxins—Still emerging?. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2021. V. 20. № 5. P. 4390–4406. doi: 10.1111/1541-4337.12803

23. Hessel-Pras S., Kieshauer J., Roenn G. et al. In vitro characterization of hepatic toxicity of *Alternaria* toxins. *Mycotoxin Res.* 2019. V. 35. № 2. P. 157–168. doi: 10.1007/s12550-018-0339-9

24. Escrivá L., Oueslati S., Font G., Manyes L. *Alternaria* Mycotoxins in Food and Feed: An Overview. *J. of Food Quality.* 2017. V. 2017. 1569748. doi: 10.1155/2017/1569748

25. Solfrizzo M. Recent advances on *Alternaria* mycotoxins. *Current Opinion in Food Science.* 2017. V. 17. № 10. P. 57–61. doi: 10.1016/j.cofs.2017.09.012

26. Meng J., Li R., Huang Q. et al. Survey and toxigenic abilities of *Aspergillus*, *Fusarium*, and *Alternaria* fungi from wheat and paddy grains in Shanghai, China. *Front. Plant Sci.* 2023. V. 14. 1202738. doi: 10.3389/fpls.2023.1202738