

Impact of climate change on vegetable crop diseases in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine

B. Mukha✉

Article info

Correspondence Author

B. Mukha

E-mail:

boryslav.mukha@pdaa.edu.uaPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda St., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Mukha, B. (2025). Impact of climate change on vegetable crop diseases in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), 75–80. doi: 10.31210/spi2025.28.02.12

The aim of this review is to provide a comprehensive analysis of the impact of global climate change on the phytosanitary status of vegetable crop agrocenoses in the context of agroecosystem transformation in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Based on long-term meteorological observations, a stable trend of climate aridization in the region has been identified, characterized by an increase in the mean annual temperature by 1.1 °C and a 5 % decrease in annual precipitation during 1991–2020 compared to previous periods. An increase in the frequency of drought conditions from 47 % to 61 % and greater thermal instability has been verified, manifesting in abrupt cold snaps (15.4 days/year) and extreme temperature fluctuations, particularly in spring. It was found that the prolongation of the growing season, the increase in accumulated effective temperatures, and the absence of stable winter chilling create conditions for: cultivating 2–3 harvests of vegetable crops; introducing overwintering vegetable crops in most regions of Ukraine; and producing ultra-early vegetable and melon crops and potatoes at reduced production costs. The review explores the mechanisms by which climate change affects the pathogenic complex of vegetable crops, including range expansion, shifts in epidemiological cycles, and increased aggressiveness of phytopathogens. The northward expansion of thermophilic pathogens (e.g., *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) has been recorded, and five new disease-causing agents have been identified in the region, including *Acidovorax citrulli* and *Tomato brown rugose fruit virus*. It has been established that the extended growing season enables the development of additional pathogen generations, while the coincidence of spring cold spells with summer hyperthermia and water deficit creates multistress conditions that suppress plant immunity. It is argued that climate change drives the transformation of phytopathosystems, promoting the emergence of new pathogen races with increased ecological plasticity and virulence. Given these findings, the Left-Bank Forest-Steppe should be considered a model testing ground for developing adaptive cultivation technologies and effective plant protection systems under a changing climate, which is vital for ensuring Ukraine's food security.

Keywords: climate aridization, pathogens, aggressiveness, immunity, growing season, thermal instability.

Вплив кліматичних змін на хвороби овочевих культур в умовах Лівобережного Лісостепу України

Б. Г. Муха

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Метою огляду є комплексний аналіз впливу глобальних кліматичних змін на фітосанітарний стан агроценозів овочевих культур у контексті трансформації агроєкосистем Лівобережного Лісостепу України. На основі багаторічних метеорологічних спостережень встановлено стійку тенденцію до аридизації клімату регіону, що характеризується елевацією середньорічної температури на 1,1 °C та зниженням річної кількості опадів на 5 % протягом 1991–2020 рр. порівняно з попередніми періодами. Верифіковано зростання частоти виникнення посушливих умов з 47 % до 61 % та збільшення температурної нестабільності, що проявляється у вигляді різких похолодань (15,4 днів/рік) та екстремальних температурних флуктуацій, особливо у весняний період. Визначено, що подовження вегетаційного періоду, зростання суми ефективних температур та нестача стійкого зимового охолодження створюють передумови для: вирощування 2–3 врожаїв овочевих культур; впровадження озимих овочевих культур у більшість регіонів України; отримання надранньої продукції овочевих культур зі зниженими витратами на її виробництво. Досліджено механізми впливу кліматичних трансформацій на патогенний комплекс овочевих культур, зокрема модифікацію ареалів поширення, зміну епідеміологічних циклів і підвищення шкодочинності фітопатогенів. Виявлено експансію теплолюбних патогенів (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) у північному напрямку й ідентифіковано 5 нових для регіону збудників хвороб, серед яких *Acidovorax citrulli* та *Tomato brown rugose fruit virus*. Встановлено, що пролонгація вегетаційного періоду створює умови для формування додаткових генерацій збудників, а коінциденція весняних похолодань із літніми періодами гіпертермії та гідродefіциту формує мультистресові умови, що супресують імунну систему рослин. Обґрунтовано, що кліматичні зміни детермінують трансформацію фітопатосистем, сприяючи формуванню нових рас патогенів із підвищеною екологічною пластичністю та вірулентністю. Враховуючи вищезазначене, Лівобережний Лісостеп доцільно використовувати як модельний полігон для розробки адаптивних технологій вирощування й ефективних систем захисту рослин в умовах мінливого клімату, що має ключове значення для забезпечення продовольчої безпеки України.

Ключові слова: аридизація клімату, патогени, шкодочинність, імунітет, вегетаційний період, температурна нестабільність.**Бібліографічний опис для цитування:** Муха Б. Г. Вплив кліматичних змін на хвороби овочевих культур в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 75–80.

Глобальні кліматичні зміни становлять одну з найактуальніших проблем сучасності, що чинить безпосередній вплив на сільськогосподарське виробництво в усьому світі [1, 2]. Для України, як аграрної держави з розвиненим сектором овочівництва, адаптація до змінених кліматичних умов набуває критичного значення [3, 4]. Проблематика забезпечення овочевих культур вологою досягла критичної актуальності не лише для зони Степу та південного Лісостепу, але й поширилася практично на всі ґрунтово-кліматичні регіони України [5].

Минулі десятиліття характеризуються істотними змінами кліматичних параметрів, що призводить до порушення усталених агроєкологічних умов культивування сільськогосподарських культур [6, 7]. Овочеві культури, які відзначаються підвищеною чутливістю до змін абіотичних чинників середовища внаслідок високого вмісту води в тканинах та інтенсивного метаболізму, виявляють особливу вразливість до таких змін [8]. Це проявляється не лише у зниженні врожайності та погіршенні якісних характеристик продукції [9], але й у модифікації характеру та інтенсивності прояву хвороб.

Характерною особливістю овочевих культур є їхня висока вимогливість до умов гідратації, температурного режиму та збалансованого мінерального живлення [10]. Варіативність будь-якого з цих факторів може спричинити порушення метаболічних процесів у рослинних організмах, пригнічення їхньої імунної системи [11] та, як наслідок, підвищення сприйнятливості до фітопатогенів. Паралельно кліматичні зміни впливають на біологію та екологію власне збудників хвороб, модифікуючи їхню вірулентність, ареали розповсюдження та здатність до перезимівлі [12].

Вірусні інфекції є одним із ключових лімітуючих чинників ефективного вирощування сільськогосподарських культур. Частота їхнього виявлення серед культурних рослин демонструє тенденцію до зростання, що корелює з адаптацією патогенів до сучасних агротехнологій, підвищенням температурного фону, активізацією векторів вірусної трансмісії, а також глобалізаційними процесами, зокрема міжрегіональною торгівлею насіннєвим і садивним матеріалом. Згідно з актуальними таксономічними даними Міжнародного комітету з таксономії вірусів, на сьогодні ідентифіковано понад тисячу вірусів, що інфікують рослини, з них приблизно 300 – овочеві культури. Зазначені патології можуть спричиняти редукацію врожайності в діапазоні 45–80 %, що становить значну загрозу для аграрного виробництва [13].

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), кліматичні трансформації в Україні матимуть суттєвий вплив на ведення сільського господарства, зокрема овочівництва. Прогностичні моделі ґрунтуються на результатах аналізу кліматичних тенденцій за 132-річний період спостережень. Передбачається, що до 2030 року відбудеться реструктуризація посівних площ овочевих культур, зокрема за рахунок транзиції до пізньостиглих, більш продуктивних сортів традиційних овочів [14].

Одним із пріоритетних ризиків є прогресуючий дефіцит вологи [15], який, згідно з прогнозами, негативно вплине на продуктивність картоплі та цукрового буряку, особливо в агроєкологічних умовах Степу. Водночас прогнозується експансія ареалу культивування таких термофільних культур, як баклажани, томати та солодкий перець. Окрему загрозу становить прогнозована експансія ареалів шкідливих організмів, збудників хвороб і карантинних об'єктів, збільшення їхньої популяційної щільності та кількості генерацій протягом вегетаційного періоду [14].

У контексті зазначених процесів Лівобережний Лісостеп України набуває статусу своєрідного модельного полігону для дослідження впливу кліматичних змін на фітосанітарний стан агроценозів [16]. Регіон характеризується транзитивними кліматичними умовами між лісостеповою та степовою зонами, що зумовлює його підвищену чутливість до проявів кліматичних трансформацій [17]. З огляду на це, дослідження впливу кліматичних змін на розвиток та поширення хвороб овочевих культур у даному регіоні має не лише теоретичне, але й вагомe прикладне значення для розробки адаптивних технологій культивування та ефективних систем захисту рослин.

Кліматичні зміни як чинник посилення фітопатологічного навантаження на овочеві культури

Кліматичні трансформації інтенсифікують екологічні ризики для агроєкосистем, зокрема сприяють експансії фітопатогенів у нові географічні регіони, розширенню спектру чутливих рослин-господарів та підвищенню їх вірулентності [18].

Одним із ключових наслідків кліматичних модифікацій є пролонгація вегетаційного періоду, що формує оптимальні умови для інтенсифікації розвитку фітопатогенних організмів. Така пролонгація, документально зафіксована, зокрема, у регіонах із помірним кліматичним режимом, забезпечує можливість багатьом збудникам хвороб реалізувати не два-три, а чотири-п'ять онтогенетичних циклів протягом сезону, що призводить до акумуляції інфекційного потенціалу в агроценозах [19, 20].

Крім того, спостерігається десинхронізація фенологічних фаз онтогенезу рослин і патогенів. Підвищення середньодобових температурних показників і темпоральне зміщення настання фенологічних фаз можуть детермінувати як редукацію, так і ескалацію ризику інфікування, залежно від таксономічної приналежності патогену [21]. Наприклад, окремі патогени, що перезимовують у ґрунті або рослинних рештках, за умов тепліших зимових періодів ініціюють активний розвиток раніше, ніж рослинний організм досягає фенофаз із підвищеною резистентністю, що підвищує ймовірність раннього інфікування.

Іншим критичним фактором є вплив кліматично індукованого стресу на імунну систему рослинних організмів. Експериментально встановлено, що експозиція високих температур (>30 °C), гідродефіциту, а також різкі добові амплітуди температури

й вологості інгібують фотосинтетичну активність, дестабілізують водний баланс і супресують захисні механізми рослин. Це детермінує редукцію біосинтезу фітоалексинів, фенольних сполук та інших компонентів неспецифічного імунітету [22, 23]. Додатково, абіотичний стрес стимулює формування мікропошкоджень у тканинах, що функціонують як вхідні ворота для інфекційних агентів, зокрема збудників бактеріозів, що верифіковано підвищеною частотою інфекційних уражень в умовах польових експериментів [24].

Агрокліматичні трансформації в Лівобережному Лісостепу

Аналіз довготривалих метеорологічних спостережень демонструє стійку трансформацію кліматичних умов Лівобережного Лісостепу України у напрямку аридизації, що характеризується елевацією температури повітря при синхронній інтенсифікації посушливості. Емпіричні дослідження верифікують стабільну тенденцію до зростання середньорічної температури повітря в Лісостепу України. Зокрема, протягом періоду 1991–2020 рр. середньорічна температура в регіоні зазнала елевації на 1,1 °C порівняно з попередніми хронологічними періодами, тоді як річна кількість атмосферних опадів редукувалась на 5 %. В умовах сучасних кліматичних модифікацій спостерігається зростання частоти виникнення сильно- та середньопосушливих умов упродовж вегетаційного періоду: з 47 % у 1961–1990 роках до 61 % у 1991–2020 роках. Водночас ймовірність забезпечення оптимального рівня гідратації знизилась удвічі [25].

Відбувається суттєва редукція агрокліматичного потенціалу території внаслідок інтенсифікації повторюваності несприятливих метеорологічних явищ та екстремумів. Спостерігається чітко виражена меридіональна транслокація агрокліматичних зон – Лівобережний Лісостеп за своїми характеристиками поступово конвергує до традиційних степових умов. Трансформація гідротермічного режиму детермінує глибоку реструктуризацію агроландшафтів та сільськогосподарських угідь. При цьому пролонгація вегетаційного періоду формує передумови для культивування більш термофільних культур та сортів, але синхронно підвищує ризики розвитку та дисемінації шкідливих організмів.

Результати багаторічних спостережень безпосередньо у Полтавській області [26] верифікують значну температурну нестабільність. Встановлено, що в середньому за рік фіксується 15,4 днів із різкими похолоданнями, коли температура повітря знижується більш ніж на 4 °C порівняно з середньодобовими показниками. При цьому 5,7 днів характеризуються дуже сильними холодowymi зниженнями температури, а протягом 0,55 днів фіксуються надзвичайно сильні похолодання з екстремальними відхиленнями від кліматичної норми.

Сезонний розподіл холодowych стресів демонструє підвищену частоту їх прояву у весняний період, що синхронізується з фазою активної вегетації більшості сільськогосподарських культур. Протягом весни в середньому спостерігається 3,3 дні з різкими

похолоданнями, 1,3 дні з дуже сильними холодowymi зниженнями температури та 0,06 днів з надзвичайно сильними холодowymi стресами. Особливе занепокоєння викликає концентрація температурних аномалій у критичні фази онтогенезу сільськогосподарських культур – проростання, бутонізацію та ініціацію цвітіння, коли рослинні організми характеризуються підвищеною сенситивністю до температурного фактору.

Температурна варіабельність у весняний період має комплексний негативний вплив на фізіологічні процеси в рослинах та продуктивність агроценозів. Різкі похолодання в період активної вегетації призводять до дестабілізації нормального перебігу фенологічних фаз розвитку культурних рослин, редукції енергії їх росту та асиміляційної здатності фотосинтетичного апарату. Особливо критичними є холодowi стреси під час цвітіння, оскільки вони індукують порушення процесів запилення та запліднення, що маніфестується у зниженні зав'язуваності плодів та формуванні неповноцінного насіння. Низькотемпературний стрес підвищує сприйнятливості рослин до фітопатогенів через супресію механізмів імунної відповіді та порушення інтегритету покривних тканин.

В умовах сучасних кліматичних трансформацій спостерігається тенденція до коінциденції весняних похолодань із літніми періодами гіпертермії та гідродефіциту, що формує мультистресові умови для агроценозів. Така послідовність стресових факторів має кумулятивний негативний ефект, який значно перевищує адитивну суму окремих стресів і може призводити до суттєвої редукції потенціалу продуктивності навіть високоврожайних сортів та гібридів.

Варто також акцентувати увагу на тому, що пролонгація вегетаційного періоду, зростання суми ефективних температур і відсутність стабільної кліматичної зими формують потенційні умови для [5]:

- можливості культивування 2–3 врожаїв овочевих культур у Степовій та Лісостеповій зонах;
- імплементації озимих овочевих культур у виробництво практично в усіх регіонах країни;
- отримання надральної продукції овочевих, баштанних культур і картоплі з редукованими витратами на її виробництво.

Однак такі кліматичні модифікації, попри певні агрономічні переваги, супроводжуються істотними ризиками. Пролонгація вегетаційного періоду, термічна елевація та збільшення кількості стресових явищ формують оптимальні умови не лише для рослинних організмів, а й для фітопатогенних агентів.

Кліматично зумовлені зміни у поширенні та шкодочинності фітопатогенів

Одним із найбільш репрезентативних наслідків кліматичних трансформацій є модифікація ареалів розповсюдження фітопатогенів та виникнення "нових" захворювань у географічних регіонах, де раніше вони не характеризувались економічною значущістю. Експліцитним прикладом слугує східний фузаріоз томата, етіологічним агентом якого є *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (раса 3) [27],

що попередньо домінував переважно в південних регіонах України, а в даний час регулярно діагностується в агрогосподарствах Лівобережного Лісостепу.

Елевація середньорічних температурних показників детермінує експансію ареалів термофільних патогенів у північному напрямку. Так, протягом останнього десятиліття в Лівобережному Лісостепу зафіксовано стабільну дисемінацію збудника бактеріальної плямистості перцю *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, який раніше спричиняв економічно значущі втрати лише в південних областях України [28].

Паралельно спостерігається ескалація шкодо-чинності раніше другорядних патогенів. Наприклад, *Alternaria solani* (етіологічний агент альтернаріозу), що традиційно класифікувався як вторинна інфекція, асоційована з ослабленими рослинними організмами, в останні роки часто виступає в ролі первинного патогена, інфікуючого інтактні рослини томатів, картоплі, моркви та інших сільськогосподарських культур [29].

За результатами фітосанітарного моніторингу, впродовж останніх 10 років у Лівобережному Лісостепу України ідентифіковано щонайменше 5 нових для регіону етіологічних агентів хвороб овочевих культур, серед яких особливо небезпечними є *Acidovorax citrulli* – збудник бактеріального плодового некрозу гарбузових культур [30], та *Tomato brown rugose fruit virus* – вірус бурі зморшкуватості плодів томату [31].

Пролонгація вегетаційного періоду формує сприятливі умови для розвитку більшої кількості генерацій окремих патогенів [32]:

- *Pseudoperonospora cubensis* – збудник несправжньої борошнистої роси огірків здатен формувати додаткові онтогенетичні цикли, особливо в умовах контрастного температурного режиму (підвищені денні температури + знижені нічні показники);

- *Phytophthora infestans* – пролонгація періоду з оптимальними для розвитку фітофторозу температурними параметрами (15–22 °C) у весняний період при синхронному збереженні достатньої гідратації сприятиме більш ранній ініціації захворювання та ескалації його шкодо-чинності на помідорах.

Серед нових для регіону або раніше малопоширених патогенів доцільно акцентувати увагу на наступних:

- *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* – бактеріальний рак томатів потенційно здатен набути більшого поширення внаслідок підвищення температурних показників та інтенсифікації частоти травмування рослин через екстремальні метеорологічні явища [33];

- *Leveillula taurica* – борошниста роса пасльонових культур, що раніше характеризувалася лімітованим поширенням у регіоні, може трансформуватися в значущий патоген через посилення аридизації та елевацію температури [34].

Інтенсифікуються загрози від патогенів з модифікованими епідеміологічними циклами:

- *Colletotrichum* spp. – етіологічні агенти антракнозу різних овочевих культур здатні модифікувати свій життєвий цикл, активізуючись у

періоди різких температурних флуктуацій, особливо під час весняних холодних стресів, що індукують ослаблення рослинних організмів [35];

- *Sclerotinia sclerotiorum* – збудник білої гнилі може демонструвати нетипові спалахи розвитку в періоди різких транзицій від посушливих до вологих умов, що набуває характерності для досліджуваного регіону [36].

В умовах комбінації холодних стресів весняного періоду та гідродefіциту влітку особливо небезпечними стануть:

- *Verticillium dahliae* – збудник вертицильозного в'янення здатен суттєво підвищити свою шкодо-чинність через ослаблення рослин внаслідок абіотичних стресових факторів [37];

- *Pythium* spp. та *Rhizoctonia solani* – етіологічні агенти корневих та прикорневих гнилей, які активізуються при дестабілізації фізіологічних процесів у рослин внаслідок температурних стресів [38];

- *Erwinia carotovora* (*Pectobacterium carotovorum*) – можлива інтенсифікація частоти бактеріальних м'яких гнилей овочевих культур через температурні осциляції та підвищення частоти механічних пошкоджень рослин від екстремальних метеорологічних явищ [39].

Комплексний вплив аридизації клімату, зростання температурної нестабільності та інтенсифікація частоти посушливих умов формує оптимальне середовище для патогенів із підвищеною екологічною пластичністю та адаптивністю до стресових умов. Особливу загрозу становитиме посилення вірулентності та агресивності етіологічних агентів у відповідь на супресію резистентності рослин внаслідок абіотичних стресів, що потенційно може індукувати формування нових рас патогенів із модифікованими патогенними властивостями.

Висновки

Метою огляду є комплексний аналіз впливу глобальних кліматичних змін на фітосанітарний стан агроценозів овочевих культур у контексті трансформації агроєкосистем Лівобережного Лісостепу України. Проведений огляд засвідчив, що кліматичні трансформації останніх десятиліть у цьому регіоні мають чітко виражену аридизаційну спрямованість, що супроводжується підвищенням середньорічної температури, зменшенням кількості опадів, зростанням частоти посух і температурної нестабільності. Ці зміни суттєво впливають на агроєкологічні умови вирощування овочевих культур, зумовлюючи подовження вегетаційного періоду, можливість отримання кількох урожаїв і впровадження нових технологічних рішень у виробництво.

Разом з тим встановлено, що такі зміни провокують глибоку перебудову фітопатосистем, що проявляється в експансії теплолюбних патогенів, зміні ареалів і фенології збудників, збільшенні їх вірулентності та формуванні нових рас. Установлено тісний зв'язок між мультистресовими погодними умовами і зниженням імунного статусу рослин, що підвищує загальний фітопатогенний тиск на агроценози.

Перспективи подальших досліджень доцільно спрямувати на дослідження перспектив адаптації овочівництва до кліматичних викликів.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

1. Adamenko, T. (2007). Klimatychni umovy Ukrainy ta mozhlyvi naslidky poteplinnia klimatu. *Ahronom*, 1, 8–11. [in Ukrainian]
2. Moldavan, L., Pimenowa, O., Wasilewski, M., & Wasilewska, N. (2023). Sustainable development of agriculture of Ukraine in the context of climate change. *Sustainability*, 15 (13), 10517. <https://doi.org/10.3390/su151310517>
3. Chaika, T. O., & Yasnolob, I. O. (2017). Vyroshchuvannya ovochiv za orhanichnymy standartamy. *Importozaminni tekhnologii vyroshchuvannya, zberihannya i pererobky produktiv sadivnytstva ta roslynytsva : Materialy III mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Uman: Sochinskyi M. M. [in Ukrainian]
4. Pysarenko, V. M., Pysarenko, P. V., Pysarenko, V. V., Gorb, O. O., & Chaika, T. O. (2019). Droughts in the context of climate changes in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 134–146. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.18>
5. Shatkovskiy, A., Zhuravlov, O., Cherevychnyi, Yu., Shcherbatiuk, M., & Fedorchenko, O. (2024). Ovochivnytstvo v umovakh zminy klimatu: novi vykyky, problemy, mozhlyvosti... *Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vykyky dlia ahrarnoi nauky ta osvity : Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Kyiv: Naukovomethodychnyi tsentr VFPO [in Ukrainian]
6. Adamenko, T. I. (2022). *Zmina klimatu ta adaptatsiia vyrobnykiv soi v Ukraini*. Kyiv: Dunaiska soia [in Ukrainian]
7. Tryhub, O. V., Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., & Chaika, T. O. (2022). Vplyv pryrodno-klimatychnykh umov na urozhainist i adaptyvni hrechky. In T. O. Chaika (Red.), *Ekolohoorientovani pidkhody vidnovlennia tekhnohenko zabrudnennykh terytorii i stvorennia stalnykh ekosystem : kolektyvna monohrafiia*. (s. 159–165). Poltava: Astraia [in Ukrainian]
8. Schmid, C., Sharma, S., Stark, T. D., Günzkofer, D., Hofmann, T. F., Ulrich, D., Dunemann, F., Nothnagel, T., & Dawid, C. (2021). Influence of the abiotic stress conditions, waterlogging and drought, on the bitter sensometabolome as well as agronomical traits of six genotypes of *Daucus carota*. *Foods*, 10 (7), 1607. <https://doi.org/10.3390/foods10071607>
9. Manzoor, A., Bashir, M. A., Naveed, M. S., Cheema, K. L., & Cardarelli, M. (2021). Role of different abiotic factors in inducing pre-harvest physiological disorders in radish (*Raphanus sativus*). *Plants*, 10 (10), 2003. <https://doi.org/10.3390/plants10102003>
10. Velyka, H. (2025). Ukraina mozhe zalyshytys bez borschchu: yak do tsoho prychetna zmina klimatu. Retrieved from: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ukraina-mozhe-zalishitis-bez-borschhu-yak-do-cogo-prychetna-zmina-klimatu> [in Ukrainian]
11. Abdelal, K., Alsubeie, M. S., Hafez, Y., Emeran, A., Moghanm, F., Okasha, S., Omara, R., Basahi, M. A., Darwish, D. B. E., Ibrahim, M. F. M., El-Yazied, A. A., Rashwan, E. A., Elkelish, A., Mady, M. A., & Ibraheem, F. (2022). Physiological and biochemical changes in vegetable and field crops under drought, salinity and weeds stresses: control strategies and management. *Agriculture*, 12 (12), 2084. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122084>
12. Klimat zminiue pravyla hry dlia roslyn. (2025). *Vegetable.com.ua*. Retrieved from: <https://vegetable.com.ua/vplyv-klimatichnix-zmin-na-shkidnykiv-i-x-vorobi-roslyn/> [in Ukrainian]
13. Tsvihun, V. O., Sus, N. P., Pylypchuk, T. V., & Botsula, O. I. (2022). Monitorynh virusnykh khvorob, shcho urazhaiut ovochevi kultury na terytorii Ukrainy. *Selektsiia, henetyka ta tekhnologii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur : Materialy X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Tsentralne [in Ukrainian]
14. Doslidzhenno, yak zminy klimatu vplynut na vyroshchuvannya s/h kultur v Ukraini. (2018). *SuperAgronom.com*. Retrieved from: <https://superagronom.com/news/5976-doslidzhenno-yak-zmini-klimatu-vplynut-na-viroshchuvannya-s-g-kultur-v-ukrayini> [in Ukrainian]
15. Polevoy, A., Ovcharuk, V., Volvach, O., Kushchenko, L., & Tolmachova, A. (2021). Agroclimate assessment of vegetation drought period in the extremely insufficient low water content in the Black sea zone. *Ecological Sciences*, 6, 158–165. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39-27>
16. Kyrychenko, O. S., & Radina, V. D. (2020). Naslidky zminy klimatu v Lisostepu Ukrainy. *Piati Sumski naukovy heohrafichni chytannia: Materialy Vseukrainskoi naukovo konferentsii*. Sumy [in Ukrainian]
17. Bulgakov, V., Holovach, I., Demydenko, O., & Trokhaniak, O. (2024). Study of moisture conditions of chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*, 4, 135–137.
18. Scientific review of the impact of climate change on plant pests. (2021). <https://doi.org/10.4060/cb4769en>
19. Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 489–509. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
20. Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60 (1), 2–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
21. Bebber, D. P., Ramotowski, M. A. T., & Gurr, S. J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, 3, 985–988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
22. Atkinson, N. J., & Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany*, 63 (10), 3523–3543. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers100>
23. Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203 (1), 32–43. <https://doi.org/10.1111/nph.12797>
24. Foyer, C. H., & Noctor, G. (2016). Stress-induced redox signalling: what's in pROSpect? *Plant, Cell & Environment*, 39 (5), 951–964. <https://doi.org/10.1111/pce.12621>
25. Tararico, Yu. O., Saidak, R. V., Olepir, R. V., Soroka, Yu. V., & Vitvitskiy, S. V. (2021). Bioproductive capacity of typical chernozem in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine under favorable humid conditions. *Land Reclamation and Water Management*, 2, 87–100. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-304>
26. Balabukh, V. O., Malyska, L. V., Dovhal, H. P., Yahodynets, S. M., & Lavrynenko, O. M. (2024). Changes in the frequency of sharp cold snaps in spring during the XXI century in Ukraine and their impact on agricultural production. *Agricultural Science and Practice*, 11 (3), 3–22. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.03.003>
27. Zhou, J., Zhang, X., Qu, Z., Zhang, C., Wang, F., Gao, T., Yao, Y., & Liang, J. (2024). Progress in research on prevention and control of crop fungal diseases in the context of climate change. *Agriculture*, 14 (7), 1108. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071108>
28. Lytvynchuk, O. O., & Honcharenko, M. V. (2015). Bakterialni khvoroby pertsii ovochevoho (Sapsicum annum). *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 1, 30–33. [in Ukrainian]
29. Schmey, T., Tominello-Ramirez, C. S., Brune, C., & Stam, R. (2024). *Alternaria* diseases on potato and tomato. *Molecular Plant Pathology*, 25 (3), e13435. <https://doi.org/10.1111/mpp.13435>
30. Korotkyi zvit shchodo provedenoho analizu fitosanitarnoho ryzyku (AFR) shkidlyvoho orhanizmu *Acidovorax citrulli*. (2018). *Derzhprodspozhyvsluzhba*. Retrieved from: <https://dpss.gov.ua/storage/app/sites> [in Ukrainian]
31. Zvit shchodo analizu stupeniu fitosanitarnoho ryzyku (AFR) shkidlyvoho orhanizmu *Tomato brown rugose fruit virus* (rid *Tobamovirus* – ToBRFV). (2021). *Derzhprodspozhyvsluzhba*. Retrieved from: <https://dpss.gov.ua/storage/app/sites/12> [in Ukrainian]
32. Horiainova, V. V., Stankevych, S. V., Batova, O. M., Zhukova, L. V. (2023). *Zahalna fitopatolohiia : navchalnyi posibnyk*. Zhytomir: Ruta [in Ukrainian]
33. Hvozdiak, R. I., Moroz, S. M., Iakovleva, L. M., & Chernenko, Ie. P. (2009). Etiolohiia masovykh khvorob tomativ u hospodarstvakh Ukrainy. *Mikrobiolohichni Zhurnal*, 71 (5), 33–40. [in Ukrainian]
34. Aegerter, B. J., Stoddard, C. S., Miyao, E. M., Le Strange, M., & Turini, T. A. (2015). Impact of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on yield and fruit quality of processing tomatoes in California. *ISHS Acta Horticulturae 1081: XIII International Symposium on Processing Tomato*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1081.17>

35. Chakraborty, A., & Ray, P. (2021). Mycoherbicides for the noxious meddlesome: Can *Colletotrichum* be a budding candidate? *Frontiers in Microbiology*, 12, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.754048>
36. Cohen, S. D. (2023). Estimating the climate niche of *Sclerotinia sclerotiorum* using maximum entropy modeling. *Journal of Fungi*, 9 (9), 892. <https://doi.org/10.3390/jof9090892>
37. Cherlinka, V. (2024). *Verticillium wilt*: how to identify, prevent, and treat. *EOS Data Analytics*. Retrieved from: <https://eos.com/blog/verticillium-wilt/>
38. Shchetyna, S. (2023). Phytopathogenic complex structure of radish under open-ground cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Balanced Nature Using*, 4, 145–154. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.296367>
39. Khvoroby morkvy, buriaku, kapusty u skhovyshchakh. (2024). *Holovne Upravlinnia Derzhprodspozhyvsluzhby v Chernihivskii oblasti*. Retrieved from: <https://dpssc.gov.ua/fitosanitariia-kontrol-u-sferi-nasinnystva-ta-rozsadnytstva/aktualna-informatsiia/3406/khvoroby-morkvy-buriaku-kapusty-u-skhovyshchakh.html> [in Ukrainian]

ORCID

B. Mukha 

<https://orcid.org/0009-0008-6190-6398>



2025 Mukha B. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.