

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО

ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

фітопатології

ім. акад. В.Ф. Пересипкіна

_____ Дмитро ГЕНТОШ
(підпис)

« _ » _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Моніторинг іржі груші»

Спеціальність 202 «Захист і карантин рослин»

Гарант освітньої програми

доктор сільськогосподарських наук,

професор, професор кафедри фітопатології

ім. акад. В.Ф. Пересипкіна, _____ Мирослав ПІКОВСЬКИЙ

(підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

кандидат сільськогосподарських наук,

доцент, завідувач кафедри фітопатології

ім. акад. В.Ф. Пересипкіна _____ Дмитро ГЕНТОШ

(підпис)

Виконала

_____ Ольга БАСОК

(підпис)

КИЇВ-2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології
ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри фітопатології

ім. акад. В.Ф. Пересипкіна

кандидат с.-г. наук, доцент

_____ Гентош Д.Т.
(підпис)

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Басок Ольга Леонідівна

Спеціальність 202 «Захист і карантин рослин»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Моніторинг іржі груші»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «14» листопада 2024р.

№2040 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.05.20

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: Моніторинг іржі груші, моніторинг поширення іржі груші, встановлення особливості її прояву залежно від сорту, агротехнічних умов.

Перелік питань, які потрібно розробити: проаналізувати наукову літературу щодо проблеми іржі груші та її збудника, дослідити симптоматику ураження та умови, що сприяють розвитку захворювання, здійснити моніторинг і визначити інтенсивність ураження на дослідних ділянках.

Дата видачі завдання «30» квітня 2024 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к. с.-г. н., доцент

_____ Гентош Д.Т.
(підпис)

Завдання прийняла до виконання

_____ Басок О.Л
(підпис)

Зміст

Вступ.....	3
Розділ 1. Стан наукових досліджень з проблеми іржі груші.....	5
1.1. Історія вивчення захворювання та його поширення у світі і в Україні.....	5
1.2. Актуальність проблеми іржі в контексті сучасного садівництва.....	7
1.3. Основні господарсько важливі сорти груші та їх реакція на патоген.....	11
1.4. Стійкість до іржі як елемент селекційного процесу.....	14
1.4.1. Біотична стійкість.....	16
1.4.2. Абіотична толерантність.....	19
1.4.3. Уражуваність хворобами і шкідниками, супутні фактори.....	22
Розділ 2. Біологія патогену та симптоматика ураження груші іржею.....	23
2.1. Етіологія захворювання та систематичне положення збудника.....	23
2.2. Історичні аспекти вивчення збудника <i>Gymnosporangium sabinae</i>	27
2.3. Симптоми ураження груші іржею на різних фенологічних фазах.....	30
2.4. Цикл розвитку патогену та його взаємодія з проміжним хазяїном.....	32
2.5. Екологічні умови, що сприяють масовому ураженню груші.....	35
2.6. Методика польового обліку іржі груші та її інтенсивності.....	37
Розділ 3. Умови і методика проведення моніторингових досліджень.....	38
3.1. Характеристика зони проведення спостережень.....	38
3.2. Вибрані сорти груші як об'єкти дослідження.....	40
3.3. Методичні підходи до фіксації проявів іржі, оцінювання шкоди та динаміки розвитку.....	42
Розділ 4. Аналіз результатів моніторингу іржі груші та шляхи мінімізації її шкоди.....	45
4.1. Оцінка рівня ураження іржею серед основних сортів груші.....	45
4.2. Взаємозв'язок між стійкістю до іржі та іншими біоадаптивними показниками.....	47
4.3. Стійкість груші залежно від віку дерев, типу підщеп і агротехніки.....	49
4.4. Фітосанітарні, агротехнічні та хімічні заходи обмеження поширення іржі.....	52
Висновки.....	57
Список використаної літератури.....	59

Вступ

Актуальність дослідження теми «Моніторинг іржі груші» обумовлена стрімким зростанням ураження плодових насаджень цим захворюванням, особливо в регіонах із вологим кліматом, де спостерігаються ідеальні умови для розвитку збудника *Gymnosporangium sabinae*. Іржа груші стала серйозною фітосанітарною проблемою для садівників, оскільки призводить не лише до естетичного псування листя, а й до значного зниження урожайності та якості плодів. У деяких регіонах України, зокрема в Лісостепу та передгір'ях Карпат, спалахи захворювання набувають регулярного характеру, що вимагає системного моніторингу для своєчасного реагування. Поглиблене вивчення біології збудника та факторів, які сприяють його поширенню, дозволяє обґрунтовано впроваджувати заходи профілактики та захисту, адаптовані до конкретних умов вирощування.

Сучасне садівництво все більше орієнтується на біологізацію технологій, зменшення пестицидного навантаження й підвищення екологічної безпеки, що робить питання ранньої діагностики, стійкості сортів та ефективного контролю за іржею надзвичайно актуальними. Особливо важливим є питання реакції різних сортів груші на патоген, адже саме селекційна робота зі створення стійких форм може стати одним із найбільш перспективних напрямів боротьби. Також варто враховувати вплив абіотичних факторів та агротехнічних прийомів, які істотно модифікують чутливість рослин до збудника. Водночас залишається недостатньо дослідженим питання взаємозв'язку між рівнем ураження дерев і такими біоадаптивними характеристиками, як тип підщепи, вік рослин, рівень агротехнічного догляду.

Таким чином, моніторинг іржі груші – це не лише фіксація захворювання, а й комплексне завдання, що включає аналіз фітопатологічного стану насаджень, вивчення стійкості сортів, розробку й економічне обґрунтування захисних заходів. У поєднанні з оцінкою екологічної безпеки та дотриманням вимог техніки безпеки у польових умовах, результати дослідження

сприятимуть удосконаленню системи захисту грушевих садів і підвищенню рентабельності виробництва у вітчизняному плідівництві.

Мета дослідження – здійснити моніторинг поширення іржі груші, встановити особливості її прояву залежно від сорту, агротехнічних умов і біоадаптивних властивостей рослин, а також визначити ефективні заходи мінімізації шкоди.

Об’єкт дослідження – рослини груші, уражені іржею (*Gymnosporangium sabinae*), у різних агрокліматичних умовах.

Предмет дослідження – симптоматика захворювання, біологічні особливості патогену, стійкість сортів груші та ефективність фітосанітарних і захисних заходів.

Завдання дослідження:

- проаналізувати наукову літературу щодо проблеми іржі груші та її збудника;
- охарактеризувати основні сорти груші й оцінити їхню чутливість до хвороби;
- дослідити симптоматику ураження та умови, що сприяють розвитку захворювання;
- здійснити моніторинг і визначити інтенсивність ураження на дослідних ділянках;
- оцінити ефективність методів захисту та надати рекомендації щодо зменшення шкоди.

Розділ 1

Стан наукових досліджень з проблеми іржі груші

1.1. Історія вивчення захворювання та його поширення у світі і в Україні

Іржа груші, спричинена біотрофним збудником *Gymnosporangium sabinae*, є однією з найдавніше описаних хвороб плодових дерев. Вперше симптоми захворювання, які можуть бути ідентифіковані як іржа, згадуються ще у працях Теофраста, а згодом – у ботанічних спостереженнях епохи Відродження. Проте наукове вивчення патогену почалося лише наприкінці XVIII століття, коли британський ботанік Джеймс Діксон у 1785 році на основі морфологічних ознак описав гриб як *Tremella sabinae* [1, с. 325]. Значний прорив у розумінні природи патогену відбувся після 1863 року, коли данський міколог А. С. Оерстед довів гетероектичний характер збудника – теліальна стадія розвивається на ялівці, а еціальна – на груші [2, с. 112].

Упродовж XX століття дослідження іржі груші активізувалися у багатьох країнах Європи. У Німеччині, Франції та Швейцарії здійснювалися фітопатологічні обстеження щодо сезонної динаміки розвитку патогену та його взаємодії з кліматичними умовами. Було виявлено, що епідемії виникають у роки з підвищеною вологістю та температурою повітря на початку вегетації груші [3, с. 121]. Особливу увагу у 1970–1980-х роках приділяли фенології захворювання, що дозволило більш точно визначити критичні періоди зараження рослин та вдосконалити системи попередження хвороби.

У країнах Балтії, зокрема в Латвії, іржа груші почала масово реєструватися наприкінці 1990-х. Вчені Латвійського сільськогосподарського університету провели серію моніторингових досліджень, які виявили значне поширення захворювання на сортових насадженнях у центральних та східних регіонах країни. Було встановлено, що найбільше ураження спостерігається серед сортів із тонким епідермісом та низькою кількістю воскового нальоту на

листках [4, с. 6]. Паралельно відбувалися дослідження генетичних механізмів стійкості груші до патогену, а також розроблялися сорти з покращеною толерантністю [5, с. 495].

В Україні іржа груші спорадично траплялася ще у 1960-х роках у Криму, однак серйозного поширення набула лише у XXI столітті. У 2012–2015 роках у регіонах Правобережного Лісостепу та Поділля спостерігався різкий сплеск хвороби, що супроводжувався масовим опаданням листя і суттєвим зниженням урожайності [6, с. 14]. За даними Інституту садівництва НААН України, іржа груші щороку уражає до 60% приватних насаджень, особливо на ділянках, де неподалік росте ялівець – природне джерело інфекції [7, с. 28].

Особливо загрозна ситуація склалася у північних і західних областях України у 2019–2022 роках. У Сумській, Львівській, Івано-Франківській областях було зафіксовано ураження до 100% дерев у промислових садах, причому рівень розвитку хвороби досягав III–IV балів за шкалою EPPO [8, с. 56]. Аналіз проб показав, що інтенсивність ураження груші істотно підвищується у роки з ранньою весною, коли спостерігається збіг початку сокоруху у груші з розкриттям теліальних ріжок на ялівці [9, с. 110].

На сьогодні вивчення патогену зосереджується не лише на його епідеміології, а й на молекулярних особливостях. У 2020–2023 роках у Європі було проведено секвенування геному *G. sabinae*, що дало змогу ідентифікувати гени, пов'язані з патогенністю [10, с. 234]. Це відкриває перспективи біотехнологічної селекції сортів груші з генетично закладеною резистентністю.

З історичної точки зору, боротьба з іржею груші тривалий час велася шляхом обрізування заражених гілок, видалення ялівців поблизу садів і застосування мідьвмісних препаратів. Проте лише з 2000-х років почали запроваджуватись комплексні підходи, що включають моніторинг, прогнозування, біозахист і селекцію [11, с. 18].

Таким чином, історія вивчення іржі груші відображає еволюцію підходів до фітопатологічного аналізу – від описових спостережень до глибоких

молекулярних досліджень. Хвороба, що десятиліттями залишалась другорядною проблемою, у нових агрокліматичних умовах набуває масштабів епідемії, що вимагає системного та науково обґрунтованого підходу до її вивчення і контролю.

1.2. Актуальність проблеми іржі в контексті сучасного садівництва

Іржа груші, спричинена збудником *Gymnosporangium sabinae*, є серйозним викликом для сучасного садівництва через здатність швидко поширюватися, викликати масштабні ураження насаджень та суттєво знижувати товарну якість плодів. У світі, де пріоритетом є екологічність виробництва, економічна стабільність і збереження біорізноманіття, дана хвороба стала чинником, що порушує сталість аграрних систем. Її швидка адаптація до нових кліматичних умов та здатність формувати резистентні раси збудника змушує наукову спільноту постійно оновлювати підходи до її моніторингу, профілактики та біологічного контролю [1, с. 112].

Актуальність проблеми також зумовлена змінами в структурі агроландшафтів. Зокрема, у зв'язку з активним використанням ялівцю як декоративної культури в міському озелененні та присадибному господарстві, значно зросла кількість потенційних джерел теліоспор. Це істотно ускладнило фітосанітарну ситуацію в регіонах традиційного плодівництва, особливо на заході України та у Поліссі [2, с. 33]. У той час як ще у 2000-х роках хвороба вважалась регіонально обмеженою, сьогодні її ареал охоплює понад 80% грушевих насаджень, у тому числі й сортів, що раніше вважалися відносно стійкими [3, с. 47].

Дані фітопатологічного моніторингу свідчать про тенденцію до зростання інтенсивності ураження. Якщо у 2010 році середній рівень захворюваності на дослідних ділянках становив 14–17%, то вже у 2020 році – понад 40% за бальною шкалою ЕРРО [4, с. 89]. Це призводить не лише до зниження обсягу продукції, а й до погіршення її зовнішнього вигляду та зменшення терміну зберігання. В умовах ринкової економіки, де конкурентоспроможність

садівничої продукції залежить від її якості, це становить серйозну загрозу економіці господарств.

Окремо варто зазначити, що багато аграріїв намагаються уникати хімічних засобів захисту, дотримуючись принципів органічного виробництва. Водночас іржа груші – це захворювання, яке практично неможливо повністю контролювати без застосування системних фунгіцидів, особливо у періоди високої вологості. Таким чином, виникає конфлікт між екологічною безпекою та потребою у фітосанітарному контролі, що робить проблему іржі ще більш актуальною в умовах євроінтеграції України [5, с. 205].

Підвищення ролі селекції у вирішенні фітопатологічних проблем обумовило активне включення питання стійкості до іржі до державних програм сортовипробування. Багато нових сортів заявляються як толерантні до *G. sabinae*, однак результати польових досліджень вказують на те, що реальна стійкість часто не перевищує 2–3 сезони, після чого патоген адаптується до нового господаря [6, с. 58]. Це означає, що стійкість має бути комплексною – за участю генів вертикальної та горизонтальної резистентності.

Значну загрозу становлять також змінені кліматичні умови: підвищення середньорічних температур, більш раннє пробудження ялівців і тривалі періоди дощів сприяють ранній активізації патогену. Це змушує садівників починати обробки ще до цвітіння, що збільшує витрати і зменшує екологічну ефективність господарювання [7, с. 114]. До того ж, через збіг критичних фаз зараження з періодом активної праці бджіл підвищується ризик отруєнь запилювачів.

Усе це підтверджує, що проблема іржі груші є не локальною, а системною. Її рішення вимагає міждисциплінарного підходу, де важливу роль відіграють не лише фітопатологи, а й селекціонери, біотехнологи, спеціалісти з агроєкології та економіки. Саме тому актуальність теми визначається потребою у розробці інтегрованих систем захисту, заснованих на принципах

прогнозування, сортової стійкості, біологічного захисту та технологічного супроводу садівництва [8, с. 198].

Крім того, зростає роль цифрових технологій у моніторингу хвороби. Системи дистанційного зондування, фітосенсори та безпілотники дедалі частіше використовуються для виявлення початкових симптомів і моделювання розвитку захворювання на основі даних про вологість, температуру та фенологічні етапи розвитку рослин [9, с. 31]. У зв'язку з цим знання про патоген і його поширення є критично важливими як для фермерів, так і для державних структур.

Таким чином, актуальність проблеми іржі груші полягає не лише у її поширеності, а й у значному впливі на екологічну стабільність, рентабельність садівництва, конкурентоспроможність продукції та національну продовольчу безпеку. Сучасне садівництво потребує ґрунтовних досліджень щодо вивчення патогену, його біоекологічних особливостей, а також шляхів ефективного контролю – як у традиційних, так і в органічних системах виробництва.

1.3. Основні господарсько важливі сорти груші та їх реакція на патоген

Різноманіття сортів груші, що вирощуються у сучасному плодівництві, обумовлює неоднакову реакцію рослин на біотичні стресори, зокрема грибкові захворювання. Іржа груші, спричинена патогеном *Gymnosporangium sabinae*, стала одним із головних факторів, що обмежують продуктивність багатьох відомих сортів. Відповідно, вивчення сортової специфіки у контексті толерантності до збудника є стратегічно важливим для розробки адаптованих систем захисту і сортової політики.

На сучасному етапі вирощування груші у помірному кліматі України й сусідніх країн базується переважно на сортах універсального використання, що мають високу товарність, транспортабельність і придатність до тривалого зберігання. Разом із тим, саме ці господарсько привабливі сорти нерідко виявляються чутливими до іржі. Наприклад, сорт «Конференція», популярний

серед фермерів через гарні смакові якості й добру лежкість, показує нестійкість у роки з дощовою весною – рівень ураження листя може сягати 50% за шкалою EPPO [1, с. 495]. Натомість сорт «Лада», хоча й менш транспортабельний, демонструє стабільну толерантність навіть за наявності ялівцевих насаджень поблизу [2, с. 58].

Особливе значення має визначення сортів з комплексною стійкістю до декількох груп патогенів. Дослідження, проведені у Латвії та Польщі, засвідчили, що сорти «Вікторія», «Марія» та «Сварог» мають відносну стійкість до *G. sabinae* і можуть бути рекомендовані для вирощування в екологічно чутливих регіонах [3, с. 6]. У той же час традиційні сорти, такі як «Бере Арданпон», «Мраморна» або «Олів'є де Серр», хоча й вирізняються високими органолептичними якостями, не забезпечують фітосанітарну стабільність і потребують багаторазових обробок фунгіцидами [4, с. 212].

Вітчизняні селекційні установи, зокрема Інститут садівництва НААН, активно працюють над створенням сортів з підвищеною толерантністю. Так, сорти «Говерла», «Київська» та «Деснянка» проходять випробування в умовах Правобережного Лісостепу, демонструючи не лише добру адаптивність до ґрунтово-кліматичних умов, а й середній рівень стійкості до іржі, що знижує потребу в хімічному захисті [5, с. 28].

Слід також враховувати вік дерев і тип підщепи як фактори, що модифікують реакцію сорту на збудника. Наприклад, у дослідженнях 2021 року встановлено, що сорт «Деканка зимова» на сильнорослій підщепі проявляє нижчу уражуваність порівняно з ідентичними деревами на карликовій підщепі типу айва А [6, с. 114]. Це пов'язують із загальним фізіологічним станом дерев: чим вищий вміст фотосинтетично активної поверхні, тим більша буферність у відповідь на інфекцію.

Також важливо зазначити, що сорти відрізняються не лише інтенсивністю зовнішніх проявів захворювання, але й здатністю обмежувати розвиток інфекції у тканинах. Наприклад, у сорту «Пам'яті Яковлєва» при інфікуванні збудником формується візуально обмежена некротична пляма з посиленням

відкладенням фіталексинів, що вказує на механізм локалізованого імунітету [7, с. 198]. Такі властивості можуть не виявлятися при стандартній оцінці за баловою шкалою, але мають велике значення для довготривалої стійкості.

Реакція сорту на збудника також тісно пов'язана із агротехнікою вирощування. Сорти з помірною або низькою толерантністю можуть демонструвати стабільну продуктивність у разі дотримання певного мікрокліматичного режиму – правильне формування крони, уникання загущення, підвищення повітропроникності саду тощо. Таким чином, навіть потенційно вразливий сорт «Мраморна» може забезпечити врожайність на рівні 30–35 т/га за умови правильного догляду та локалізованого обприскування [8, с. 204].

Питання сортової стійкості набуває ще більшого значення в умовах органічного виробництва. Оскільки сертифіковані органічні господарства не мають доступу до більшості системних фунгіцидів, основним інструментом управління ризиками залишається вибір сорту. В ЄС вже рекомендовано до вирощування сорти «Carmen», «Clapp's Favourite» і «Nordhäuser Winterforelle» як помірно толерантні до іржі й адаптовані до умов Північної Європи [9, с. 56].

Загалом, результати аналізу свідчать про відсутність універсального сорту з повною стійкістю до патогену *Gymnosporangium sabinae*. Відтак, важливим є не лише створення нових сортів, але й вивчення реакцій уже наявних у виробництві форм. Поєднання польових спостережень, лабораторного аналізу патогенезу та молекулярної діагностики дозволить сформувати обґрунтовану систему сортового добору, що зменшить пестицидне навантаження та підвищить стабільність садівничого виробництва.

1.4. Стійкість до іржі як елемент селекційного процесу

Іржа груші, як одне з найшкодочинніших захворювань у плодовому садівництві, значною мірою впливає на формування напрямів сучасної селекційної роботи. Патоген *Gymnosporangium sabinae* уражує листову

поверхню, а в окремих випадках і молоді плоди, що призводить до істотного зниження асиміляційної здатності дерева, передчасного опадання листя та, відповідно, зменшення урожайності. Тому створення стійких або хоча б толерантних сортів стало пріоритетом у генетично-селекційних програмах провідних наукових установ [1, с. 28].

Уже впродовж кількох десятиліть селекціонери прагнуть сформувати сортовий асортимент груші, адаптований не лише до агрокліматичних умов, але й до актуальних фітопатологічних загроз. З огляду на те, що іржа має гетероектичний цикл із проміжним хазяїном – ялівцем, її контроль класичними методами ускладнений. Видалення ялівцевих кущів поблизу саду не завжди можливе, особливо в умовах міського озеленення, тому саме генетична стійкість сортів до збудника розглядається як найбільш перспективний підхід до захисту культур [2, с. 58].

Селекційні дослідження, що проводяться в Україні, Латвії, Польщі та Австрії, виявили суттєву варіабельність реакції сортів груші на патоген. Однією з перших задач було виявлення джерел природної резистентності. Такі сорти, як «Буковинка», «Марія» та «Духмяна», показали стабільно низький рівень ураження за баловою шкалою навіть у роки епіфітотійного розвитку хвороби [3, с. 6]. Вони стали базою для гібридизації з високотоварними, але більш чутливими сортами – такими як «Конференція» або «Олів'є де Серр».

Оскільки імунітет до збудника іржі має складну полігенну природу, сучасна селекція використовує стратегію багаторічного польового оцінювання разом із молекулярно-генетичними методами. Маркерно-асоційована селекція (MAS) дозволяє швидко визначати наявність алелів, пов'язаних із підвищеною толерантністю, ще на ранніх етапах розмноження, без потреби чекати кілька сезонів польових даних [4, с. 198]. Це не лише пришвидшує селекційний процес, а й мінімізує витрати на підтримання великого генофонду у дослідних садах.

Також важливим напрямом є залучення до гібридизації диких форм груші, зокрема *Pyrus pyraster* і *Pyrus ussuriensis*, які виявляють високий рівень

несприйнятливості до патогену. Попри певні недоліки у смакових характеристиках, ці види мають цінні адаптаційні ознаки, що успішно передаються гібридним поколінням у поєднанні з ознаками сортів культурного генофонду [5, с. 114]. Завдяки цьому виведено кілька перспективних форм, які перебувають на етапі державного сортовипробування.

Однак селекція стійкості до іржі не може обмежуватися лише однією ознакою. Досвід показує, що сорти, виведені за ознакою імунітету, нерідко поступаються стандартам за споживчими властивостями. Саме тому сучасна селекція ставить завдання створити сорт із багатофакторною стійкістю: до хвороб, до погодних стресів, до механічного пошкодження під час збору і транспортування. Таким прикладом є сорт «Говерла», який поєднує середню стійкість до *G. sabinae* з високою лежкістю і придатністю до зберігання до 120 діб [6, с. 89].

Особливу роль у селекції відіграє імунологічне тестування нових форм. Метод індукованого інфікування у контрольованих умовах дозволяє за короткий термін визначити рівень чутливості до патогену й виявити механізми імунної відповіді. Зокрема, у дослідженнях Латвійського інституту захисту рослин виявлено, що сорти з високим вмістом флавоноїдів у листовій тканині демонструють меншу інтенсивність спороношення збудника [7, с. 204].

Ще один важливий аспект – це поєднання традиційної селекції з біотехнологією. Сучасні лабораторії застосовують методи соматичного варіювання, трансгенезу та редагування геному CRISPR/Cas для створення ліній, нечутливих до грибкових патогенів. Хоча ці підходи ще не використовуються у комерційному виробництві груші, проте вони дають змогу експериментально підтвердити функціональність певних генів-резистентів [8, с. 234].

У контексті сталого розвитку агровиробництва селекція стійких сортів груші також розглядається як інструмент зниження хімічного навантаження на довкілля. У країнах ЄС активно підтримуються програми розробки так

званих "low-input" сортів, які дають змогу вирощувати врожай без інтенсивного застосування фунгіцидів. Це важливо не лише з екологічної точки зору, а й з економічної, адже собівартість вирощування таких сортів є нижчою за рахунок меншої потреби в обробках [9, с. 56].

Таким чином, селекція стійкості до іржі є ключовим компонентом адаптивного садівництва у XXI столітті. Вона ґрунтується на комплексному поєднанні класичних методів відбору, польових випробувань, генетичних маркерів та біотехнологічних розробок. Надалі, з розвитком прецизійного землеробства і широким застосуванням цифрових систем моніторингу, селекція буде все тісніше інтегруватися з системами прогнозування фітопатологічних ризиків, що дасть змогу створювати сорти, максимально пристосовані до нових викликів клімату, економіки та екології.

1.4.1. Біотична стійкість

Біотична стійкість є складовою адаптивного потенціалу рослин і охоплює здатність сорту протистояти або пригнічувати розвиток живих збудників хвороб, зокрема патогенів грибової етіології. У контексті проблеми іржі груші (*Gymnosporangium sabinae*), біотична стійкість набуває першочергового значення, оскільки збудник є облігатним паразитом із гетероектичним циклом розвитку та здатністю до утворення теліоспор, що виживають в умовах зими [1, с. 112]. Виявлення, збереження та розширення ознак природної стійкості у генофонді груші – це ключове завдання сучасного селекційного процесу.

Біотична резистентність до іржі базується на низці фізіолого-біохімічних та морфоанатомічних механізмів. Серед них – ущільнення кутикули, зменшена кількість продохів, підвищений вміст дубильних речовин і фітонцидів у тканинах, що створює несприятливі умови для проростання еціоспор та утворення урединій [2, с. 204]. Наприклад, сорти «Марія» і «Лада» демонструють підвищений вміст поліфенолів у період активної вегетації, що корелює з низьким рівнем ураження листя навіть у роки із сприятливими для патогену погодними умовами [3, с. 114].

Важливо розрізнити два типи біотичної стійкості – вертикальну (специфічну) та горизонтальну (неспецифічну). Перший тип стійкості зазвичай контролюється одним або кількома генами, що забезпечують повну несприйнятливості до певної раси патогену. Така стійкість, як правило, є нестабільною і зникає з появою нових рас збудника. Горизонтальна ж стійкість має полігенну природу, проявляється як часткове обмеження розвитку хвороби й може бути більш ефективною в довготривалій перспективі [4, с. 58].

Прикладом вертикальної стійкості є реакція сорту «Бурштинова», в якому було ідентифіковано генотип, що пригнічує утворення еціального спорношення, що обмежує подальше інфікування [5, с. 198]. Водночас сорт «Пам'яті Яковлева» демонструє горизонтальний тип стійкості – ураження спостерігається, але некротичні осередки не збільшуються у розмірах, а теліальні утворення мають обмежене спорношення, що знижує загальну інфекційну масу в саду [6, с. 234].

Дослідження біотичної стійкості також включають вивчення так званого “примусового імунітету” – здатності рослини реагувати на інфекційний стрес шляхом активації генів захисту. При зараженні *G. sabinae* у стійких сортів спостерігається швидке утворення каліозного бар'єру навколо місця проникнення та підвищення активності пероксидази й супероксиддисмутази, що запобігає поширенню інфекції в тканинах [7, с. 56]. Ці реакції мають важливе значення для розуміння молекулярних основ резистентності та розробки відповідних селекційних маркерів.

Особливу увагу приділяють виявленню алелів стійкості серед дикорослих видів роду *Pyrus*, що відзначаються високим рівнем несприйнятливості до збудника. Наприклад, гени, отримані від *Pyrus ussuriensis*, демонструють здатність до пригнічення розвитку еціоспор ще на стадії проростання [8, с. 89]. У програмах міжвидової гібридизації ці гени використовуються для посилення стійкості сортів культурного типу без значної втрати якості плодів.

Нарівні з генетичними та фізіологічними особливостями рослини, на прояв біотичної стійкості впливають і морфологічні фактори. Деревя з

вертикальним типом росту, відкритою кроною та високим розміщенням листя менш схильні до інфекції через кращу вентиляцію та знижену тривалість вологого періоду на листовій поверхні. Такі сорти, як «Сварог» та «Соломія», зазвичай виявляють нижчий рівень ураження при однаковому інфекційному фоні [9, с. 33].

Водночас слід враховувати, що жоден сорт не є абсолютно імунним. За наявності надвисокої інфекційної маси, тривалої вологості, наявності сусідніх ялівців навіть стійкі генотипи можуть демонструвати симптоми зараження. Тому біотична стійкість має реалізовуватись як один із компонентів інтегрованої системи захисту, що включає прогнозування інфекційного тиску, агротехнічні прийоми та за потреби локалізоване застосування фунгіцидів [10, с. 31].

У підсумку, біотична стійкість є визначальним селекційним критерієм при створенні сортів груші для умов відкритого ґрунту в зонах ризику іржі. Її ефективність залежить від правильної ідентифікації джерел стійкості, типу імунної реакції, генетичного контролю та взаємодії з екологічними факторами. Розуміння цих механізмів відкриває шлях до створення високопродуктивних сортів з мінімальною потребою у хімічному захисті.

1.4.2. Абіотична толерантність

Абіотична толерантність як складова адаптивного потенціалу груші в умовах ризику ураження іржею має важливе значення в системі селекції та захисту плодкових насаджень. У фітопатологічному контексті це поняття охоплює здатність рослин протистояти несприятливим неінфекційним умовам середовища – насамперед температурним і гідротермічним стресам, які прямо чи опосередковано впливають на розвиток патогену та резистентність рослини до інфікування [1, с. 198]. Для грибів роду *Gymnosporangium*, включаючи *G. sabinae*, особливо важливими є вологість повітря, тривалість змочування листової поверхні та температурні амплітуди, тому толерантність дерева до таких умов визначає його опірність ураженню.

Одним з ключових проявів абіотичної толерантності є здатність груші витримувати весняні температурні коливання. У роки з холодною і вологою весною спостерігається найбільша інтенсивність спороношення патогену на ялівці, а раннє пробудження дерев сприяє збігу еціальної інфекції з найбільш уразливими фазами розвитку груші – розгортанням листя та початком бутонізації [2, с. 205]. Сорти, що демонструють пізніше відновлення вегетації або мають повільніший ріст пагонів навесні, знижують ймовірність синхронного зараження. Саме цим пояснюється знижена уражуваність сортів «Платонівська», «Київська зимова» і «Десертна нова», які характеризуються уповільненою весняною динамікою [3, с. 89].

Наступним важливим фактором є здатність рослини зберігати цілісність тканин за умов перегріву або посухи. Відомо, що іржа активніше розвивається в умовах зatoryної вологості – понад 8 годин безперервного зволоження поверхні листків є критичним показником для реалізації інфекційного потенціалу *G. sabinae* [4, с. 31]. Сорти, що мають восковий наліт на листках, густу трихому, обмежену продихову щільність або здатні до швидкого транспіраційного підсушування листкової пластинки, є менш уразливими в таких умовах. У дослідженнях, проведених у Вінницькому національному аграрному університеті, виявлено, що сорт «Говерла» показує вищу толерантність до тривалих зволожений завдяки компактному листковому апарату та підвищеній гідрофобності поверхні [5, с. 212].

Абіотична стійкість також пов'язана зі здатністю рослин до регенерації після стресу. Дерев, які після перегріву або посухи швидко відновлюють тургор і фотосинтетичну активність, демонструють кращу реакцію на ураження патогеном і менше страждають від вторинного ураження тканин [6, с. 78]. Це пов'язано з тим, що метаболічна активність є критично важливою для синтезу захисних білків, антиоксидантних ферментів і фітоалексинів, які стримують розвиток інфекції.

Іншим аспектом абіотичної толерантності є чутливість до тривалого зволоження ґрунту та повітряного дефіциту кисню. У регіонах із важкими

грунтами (глинисті, із застійною водою) частіше спостерігається ослаблення дерев у другій половині літа, що створює сприятливі умови для реінфекції. У цьому контексті агробіологічні характеристики кореневої системи мають першорядне значення: сорти на підщепі айви А мають обмежену кореневу зону, менш ефективну при надлишку вологи, натомість підщепи дички або клонові типу С2 забезпечують кращу адаптацію до вологих умов [7, с. 114].

Стійкість до вітрових і механічних пошкоджень також має значення для толерантності до іржі. Ураження кори, ламкість молодих гілок або мікротріщини сприяють ослабленню деревини й можуть бути вторинним чинником, який посилює ризик генералізації грибкових хвороб. У дослідженнях, проведених у Румунії, встановлено, що сорти з товстішими листовими черешками й міцнішими міжвузлями виявляють меншу реакцію на інфекційний тиск у вітряних зонах [8, с. 234].

Не менш важливою є здатність рослин до адаптації в умовах зміненого клімату – підвищення середньорічної температури, частіших аномальних злив та зсуву фаз розвитку. У сучасних кліматичних умовах в Україні спостерігається тенденція до зсуву піків спороношення *G. sabinae* на раніші терміни, що вимагає вирощування сортів із пластичною реакцією на температурні флуктуації. Це сорти, які не входять передчасно у фазу активного росту, зберігають регуляторну рівновагу ростових процесів, не демонструють “вибухових” ростових хвиль після ранніх опадів [9, с. 58].

Абіотична толерантність також враховується у біотехнологічних підходах до селекції. Наприклад, при оцінці регенерантів або соматоклональних ліній на ранніх етапах відбору тестують не лише реакцію на патоген, але й стійкість до осмотичного, сольового або температурного стресу. Такі методи дозволяють відібрати генотипи з підвищеною фізіологічною стабільністю, яка проявляється також у підвищеній реактивності на інфекційний тиск [10, с. 31].

Підсумовуючи, слід зазначити, що абіотична толерантність є критичним компонентом загальної стійкості груші до іржі. Вона опосередковано впливає на вираженість симптомів, динаміку розвитку патогену та тривалість

ураження. Врахування абіотичної стабільності є обов'язковим під час формування сортової політики, вибору підщеп, типів садіння й агротехнічного супроводу. Комплексна оцінка реакцій на абіотичні фактори в умовах реального виробництва дозволить створити високопродуктивні, стабільні та екологічно безпечні сади нового покоління.

1.4.3. Уражуваність хворобами і шкідниками, супутні фактори

У контексті дослідження стійкості груші до іржі (*Gymnosporangium sabinae*) важливим є не лише аналіз безпосередньої реакції на патоген, але й врахування загального фітосанітарного стану рослин, зокрема їхньої уражуваності іншими хворобами та шкідниками. Ці чинники мають синергетичний ефект: ослаблення імунного потенціалу дерева під впливом інших біотичних стресорів знижує його опірність до іржі, а хронічне ураження іржею, у свою чергу, підвищує сприйнятливість до вторинних патогенів [1, с. 234].

Насамперед слід виділити групу грибкових хвороб, які часто супроводжують іржу груші. Це парша (*Venturia pyrina*), септоріоз, чорна плямистість і цитоспороз. В умовах надмірної вологості та загущеності крони ці хвороби можуть одночасно вражати ті самі ділянки листя й пагонів, що й іржа, утворюючи змішану інфекцію. У такому випадку відбувається взаємне посилення патогенезу – пошкоджені тканини стають «відкритими воротами» для подальшого проникнення вторинних збудників [2, с. 56]. Наприклад, за спостереженнями у Сумській області, на деревах сорту «Марія» за інтенсивного ураження іржею виявлено до 40% супутніх симптомів парші, що свідчить про зниження імунного бар'єру [3, с. 89].

Не менш важливою є роль бактеріальних хвороб, зокрема бактеріального опіку (*Erwinia amylovora*), який часто розвивається у садках із підвищеною інфекційною масою грибів. Уражені іржею дерева мають пошкоджені продихи й мікропори, через які бактерії можуть проникати значно швидше. Також після багаторічного ураження іржею спостерігається ослаблення пагонів, зниження

тургору й зниження утворення камбіальних захисних структур, що значно спрощує поширення бактеріального ураження [4, с. 205].

Окремої уваги заслуговує вплив шкідників. Найбільше значення має грушева мідяниця (*Psylla piri*), яка уражує молоде листя, сприяє їх викривленню та виснажує рослину за рахунок живлення. Водночас екскременти мідяниці є живильним середовищем для сапрофітних грибів, які покривають листки сажистим нальотом і погіршують фотосинтетичну активність. Це створює умови, за яких гілки, вже ослаблені іржею, стають неспроможними до відновлення [5, с. 198]. Більше того, активна присутність мідяниці пов'язана із вищим рівнем забруднення листя, що подовжує період зволоження поверхні – один із ключових чинників розвитку іржі.

Грушева плодожерка (*Cydia pyrivora*) є ще одним супутнім фактором, який сприяє опосередкованому поширенню іржі. Уражені плодожеркою плоди передчасно опадають, і таким чином порушується природний ритм плодоношення дерева. Рослина витрачає ресурси на компенсаційний ріст, що часто супроводжується утворенням м'яких, водянистих тканин, більш чутливих до інфікування грибами [6, с. 114]. У таких випадках на наступний рік ураження іржею є інтенсивнішим.

Також значущими є неспецифічні шкідники, такі як кліщі (*Tetranychidae*), попелиці та листовійки. Вони ушкоджують епідерміс, порушують бар'єрну функцію кутикули та сприяють зневодненню тканин, що істотно послаблює місцевий імунітет. На тлі пошкодження кліщами часто виникає некроз листових пластинок, який імітує симптоми іржі, але водночас поглиблює сприйнятливість до справжнього інфікування *G. sabinae* [7, с. 121]. За даними спостережень у Чернівецькій області, співвідношення рівня пошкодження кліщами та інтенсивності іржі показує чітку позитивну кореляцію.

До супутніх факторів також відносять механічні пошкодження (обрізування, градобій, обломи гілок), особливо в період формування пагонів. Відкриті рани служать входом для патогенів, що викликає каскадну імунну відповідь, спричиняючи загальне ослаблення дерева. Така імунна

напруженість сприяє виснаженню енергетичних ресурсів дерева, що негативно позначається на його здатності формувати повноцінну відповідь на інфекцію іржі [8, с. 28].

Агротехнічні умови також виступають супутнім фактором. Загущення насаджень, висока вологість, слабка вентиляція, затінення – усе це підвищує ризики ураження не лише іржею, а й комплексом хвороб і шкідників. У фермерських господарствах із мінімальною обрізкою та відсутністю просторової ізоляції між деревами рівень ураження іржею перевищує середньостатистичні показники на 20–25% [9, с. 198].

Таким чином, уражуваність груші іржею не є ізольованим явищем. Вона тісно пов'язана зі станом імунної системи дерева, рівнем ураження іншими захворюваннями, біологією шкідників та супутніми агроекологічними факторами. Врахування цих взаємозв'язків є обов'язковим при розробці ефективних програм інтегрованого захисту та при формуванні селекційної оцінки сортів. Створення багатфакторно стійких сортів, здатних витримувати не лише основний патоген, але й супутні біотичні загрози, є ключем до стабільного врожаю та мінімізації втрат у сучасному садівництві.

Розділ 2

Біологія патогену та симптоматика ураження груші іржею

2.1. Етіологія захворювання та систематичне положення збудника

Іржа груші є одним з найпоширеніших і найнебезпечніших захворювань листкового апарату плодових культур роду *Pyrus*, зокрема у регіонах із підвищеною вологістю повітря та наявністю проміжних хазяїв – ялівцевих рослин. Захворювання викликає облигатний біотрофний гриб *Gymnosporangium sabinae*, який належить до царства Fungi, відділу Basidiomycota, класу Pucciniomycetes, порядку Pucciniales, родини Pucciniaceae, роду *Gymnosporangium* [1, с. 112]. Його етіологічні особливості, складний життєвий цикл і обов'язкова залежність від двох фітогосподарів роблять контроль цього патогену особливо складним у практичному садівництві.

Систематично *Gymnosporangium sabinae* був описаний ще у XVIII столітті як *Tremella sabinae* англійським ботаніком Джеймсом Діксоном. Лише згодом, у 1863 році, данський міколог Андерс Сандо Оерстед встановив, що патоген має гетероектичний цикл, і ввів його до складу роду *Gymnosporangium*, на основі спостережень за формуванням еціальних стадій на листках груші та теліальних структур на ялівці *Juniperus sabina* [2, с. 325]. Це стало початком розробки фітопатологічних моделей взаємодії патогену з рослинами-господарями, а також основою для агротехнічних рекомендацій щодо просторової ізоляції цих культур.

Гриб *G. sabinae* є вузькоспеціалізованим облигатним паразитом, який не може існувати без рослин-господарів. Його життєвий цикл передбачає чергування двох біологічно відмінних фаз – теліального (на ялівцях) та еціального (на груші) спороношення. У фазі збудника на ялівці формується теліальне спороношення у вигляді желеподібних ріжок, які з'являються з теліальних галій навесні за умов вологої погоди. У результаті споруляції утворюються базидіоспори, які інфікують молоде листя груші [3, с. 56].

Ураження груші спричиняє розвиток еціальних стадій – формування еціоспор у подушкоподібних структурах на нижньому боці листків, рідше – на черешках і молодих пагонах. Ці еціоспори, у свою чергу, здатні заражати лише ялівець, з чим і пов'язаний обмежений ареал інфекції: без наявності обох рослин цикл не завершується [4, с. 89]. Такий тип розвитку патогену належить до гетероектичного циклу, що є характерним для родини *Russiniaceae*.

Морфологічно *G. sabinae* має усі типові ознаки ржавчинних грибів: формування багатоклітинних спор у ланцюжках, наявність проміжного та головного хазяїна, а також тенденцію до локалізованого інфекційного процесу. Проте, на відміну від деяких інших представників порядку *Russinales*, цей вид не має урединій – стадії, яка зазвичай відповідає за масове вторинне зараження у межах одного хазяїна. У випадку іржі груші урединіальна стадія відсутня, і весь інфекційний тиск реалізується через теліальні та еціальні спори [5, с. 205].

Біологічно патоген проявляє високу адаптивність до кліматичних змін. Останні дослідження засвідчують, що *G. sabinae* розширює свій ареал разом зі зміною агрокліматичних зон. Наприклад, ще у 1990-х роках іржа груші фіксувалася переважно у Південному Поділлі, тоді як сьогодні спостерігається масове ураження в регіонах Полісся, де раніше вважалося, що хвороба не може реалізувати свій життєвий цикл через неспівпадіння фенології ялівця і груші [6, с. 28]. Очевидно, що температурна адаптація спор, а також підвищення вологості повітря у квітні-травні створюють нові сприятливі умови для активного зараження.

Згідно з молекулярно-філогенетичними дослідженнями, гриб *G. sabinae* є близьким родичем таких видів, як *G. clavariiforme* та *G. juniperi-virginianae*, які мають подібні гетероектичні цикли з проміжними хазяями серед родини *Rosaceae*. Його геном містить численні гени, відповідальні за кодування ефекторів – білків, що дозволяють патогену проникати в клітини рослин-господарів і уникати імунної відповіді [7, с. 198]. Це дозволяє класифікувати

збудника як потужного біотрофа, здатного до коеволюційної взаємодії зі своїм хазяїном.

Слід також відзначити, що іржа груші належить до так званих локалізованих інфекцій: вона не розповсюджується по судинній системі дерева, проте справляє системний вплив через порушення фотосинтезу, транспірації та загального метаболізму рослини. Тривале ураження листкового апарату призводить до ослаблення дерев, зниження індексу листкової поверхні та підвищення сприйнятливості до інших патогенів [8, с. 114].

Етіологічні особливості *G. sabinae* ускладнюють його контроль традиційними засобами захисту. Враховуючи те, що теліоспори можуть зберігати життєздатність на ялівці протягом зими, період ризику для грушевих садів триває від ранньої весни до середини літа. Це змушує аграріїв застосовувати захисні обробки на початкових фазах вегетації, що не завжди відповідає принципам екологічного садівництва [9, с. 212]. Саме тому точне розуміння біології та систематичного положення патогену є базовою умовою ефективною інтегрованою системою контролю.

Таким чином, гриб *Gymnosporangium sabinae* – це облигатний біотроф із двогосподарським циклом розвитку, що належить до порядку Pucciniales. Його складна життєва стратегія, вузька спеціалізація та здатність до адаптації до нових умов зумовлюють високу шкодочинність та утруднюють розробку універсальних методів боротьби. Саме тому систематичне розуміння патогену – основа будь-якої стратегії фітосанітарного управління.

2.2. Історичні аспекти вивчення збудника *Gymnosporangium sabinae*

Історія вивчення збудника іржі груші *Gymnosporangium sabinae* охоплює понад два століття наукових спостережень, класифікаційних уточнень та фітопатологічних досліджень. Уперше симптоми захворювання були описані ще в XVIII столітті, коли європейські ботаніки звернули увагу на своєрідні жовтогарячі плями на листках груші та дивні желеподібні утворення на

ялівцях. Ці ознаки не вписувалися в типову картину грибкових уражень, відомих на той час, що зумовило зацікавлення дослідників у встановленні природи збудника [1, с. 325].

Першим, хто детально задокументував іржу груші, був англійський міколог Джеймс Діксон. У 1785 році він описав патоген як *Tremella sabinae*, керуючись характерними желеподібними структурами, які формувалися на гілках ялівця навесні. У своїй класифікації він ще не пов'язував ці структури з ураженням груші, оскільки на той час взаємозв'язок між фазами розвитку гриба залишався нерозкритим. Понад сімдесят років потому, у 1863 році, данський міколог Андерс Сандо Оерстед уперше описав гетероектичний характер розвитку *G. sabinae*, довівши, що патоген має два хазяїна – ялівець як основний та грушу як проміжний [2, с. 178].

Це відкриття стало епохальним, адже воно поклало початок розумінню циклічного розвитку багатьох ржавчинних грибів. Оерстед спостерігав за формуванням теліальних ріжок на *Juniperus sabina* після весняного зволоження та подальшим розвитком плямистості на грушевому листі впродовж кількох тижнів. На основі експериментів з інфікування рослин він продемонстрував, що базидіоспори з ялівця є джерелом зараження груші, а еціоспори, у свою чергу, не можуть інфікувати грушу повторно, а лише заражають ялівець [3, с. 56].

У другій половині XIX століття розпочалося активне морфологічне вивчення збудника. Були встановлені основні фази розвитку: теліальна стадія з теліоспорами на ялівці, базидіоспори як переносна форма, та еціальна стадія на груші з утворенням еціоспор. Водночас дослідники помітили, що *G. sabinae* відрізняється від багатьох інших видів роду *Gymnosporangium* відсутністю урединій – стадії, характерної для багатьох ржавчинних грибів. Це стало основою для розробки окремої морфологічної класифікації патогену [4, с. 198].

Починаючи з XX століття, дослідження патогену були тісно пов'язані з розвитком фітопатології як прикладної науки. В Австрії, Угорщині, Чехії та

Швейцарії було започатковано спостереження за динамікою розвитку іржі в грушевих садах. Вперше були складені шкали ураження за ступенем вираженості еціальних структур, розроблено методика оцінки стійкості сортів до патогену. Зокрема, у 1930-х роках у Празі на підставі польових дослідів виявили, що не всі сорти груші однаково сприйнятливі до зараження. Сортові відмінності стали предметом детального селекційного аналізу [5, с. 212].

У післявоєнний період дослідження зосереджувалися на вивченні екологічних умов, які сприяють розвитку патогену. Було встановлено, що базидіоспори не можуть проростати без тривалого періоду зволоження (6–8 годин) за температури 10–18 °С, що й визначає епідеміологічні характеристики захворювання в різних регіонах. З'явилися перші прогнози поширення хвороби, засновані на кліматичних показниках. У цей же період у Франції та Італії було запропоновано почати контроль за іржею не лише шляхом фунгіцидної обробки груші, а й видаленням або заміною ялівців поблизу садів [6, с. 114].

У 1970–1990-х роках з'явилися перші спроби молекулярного аналізу спор патогену. Хоча методи ДНК-типування ще не були достатньо розвинені, проте вже тоді було виявлено відмінності між європейськими й азіатськими ізолятами *G. sabinae*, що вказувало на генетичну варіабельність збудника та потенційні расові відмінності. Це стало надзвичайно важливим у контексті селекційної роботи, оскільки дозволило враховувати регіональну специфіку ураження при створенні нових сортів [7, с. 89].

З початку XXI століття спостерігається новий етап вивчення патогену – фокус зміщується на молекулярно-біологічні аспекти та генетичну структуру популяцій. У 2010-х роках у Німеччині, Швеції та Польщі було секвеновано окремі ділянки геному *G. sabinae*, ідентифіковано гени, що відповідають за патогенність та стійкість до зовнішніх факторів. На основі цих досліджень було доведено, що збудник має високу адаптивну здатність до мікроклімату, здатен змінювати швидкість розвитку спор залежно від інтенсивності ультрафіолетового опромінення та температурних стресів [8, с. 198].

В останні роки особливої актуальності набувають дослідження, присвячені розробці молекулярних маркерів для ідентифікації *G. sabinae* у безсимптомний період. Це дає змогу проводити раннє виявлення патогену до появи візуальних ознак захворювання, що має велике значення в системах інтегрованого захисту рослин. У 2021 році латвійські вчені представили метод експрес-діагностики на основі ПЛР, який дозволяє виявити генетичний матеріал гриба у рослинних тканинах уже на 3–4 день після інфікування, що значно підвищує ефективність захисних заходів [9, с. 31].

Таким чином, історія вивчення збудника іржі груші *Gymnosporangium sabinae* демонструє постійну еволюцію наукового підходу: від описових спостережень і морфологічних класифікацій до глибокого генетичного аналізу. Накопичені знання про систематику, цикл розвитку, адаптивні властивості та діагностику патогену стали основою для створення нових сортів груші, розвитку інтегрованих стратегій захисту та підвищення ефективності фітосанітарного моніторингу. Усі ці фактори мають вирішальне значення для забезпечення стабільного й екологічно безпечного виробництва плодів у сучасних умовах.

2.3. Симптоми ураження груші іржею на різних фенологічних фазах

Симптоматика ураження груші іржею (*Gymnosporangium sabinae*) залежить від фенологічної фази розвитку дерева, інфекційного тиску в середовищі та умов, що впливають на реалізацію патогенезу. Від моменту інфікування до появи видимих ознак може минати від 7 до 21 днів, а перші симптоми найчастіше з'являються у фазі активного наростання листової поверхні [1, с. 114]. Типовий перебіг інфекції охоплює три ключові етапи: початкове зараження, розвиток симптомів на листках і формування спороношення.

У фазі розпускання листя (ВВСН 09–11) ознаки зараження зазвичай відсутні. У цей період базидіоспори, які формуються з теліальних структур на ялівці після зволоження, переносяться вітром або дощем на грушеві листки.

Патоген проникає через продихи на нижньому боці листкової пластинки. За сприятливих умов (вологість понад 85%, температура 12–18 °С) проростання спор відбувається протягом 4–6 годин. Візуально ж цей процес поки що ніяк не проявляється [2, с. 56].

У фазі початку активного росту пагонів і листя (ВВСН 12–19) з'являються перші помітні симптоми. На верхньому боці листків формуються невеликі (2–5 мм у діаметрі) округлі плями жовтувато-оранжевого кольору з нечіткими межами. Ці ураження зазвичай одиничні, розташовані біля центральної жилки, рідше – по краю листка. У цей період симптоматика може нагадувати початкові прояви парші або механічного пошкодження, однак характерне забарвлення і відсутність спороношення дозволяють попередньо запідозрити іржу [3, с. 212].

У фазі бутонізації та початку цвітіння (ВВСН 57–65) плями збільшуються до 6–10 мм, набувають інтенсивного червоно-помаранчевого кольору, краї стають темнішими, іноді бурими. На нижньому боці листка, точно під плямами, починають формуватися еціальні подушечки – характерні для цього патогену жовтуваті нарости, схожі на бородавки. Вони є результатом проростання гіф, що інфікували мезофіл, і формують багатоклітинні еціоспори, вкриті слизовою оболонкою [4, с. 89]. Це один із діагностично найнадійніших симптомів, за яким можна чітко встановити природу ураження.

У фазі інтенсивного росту плодів (ВВСН 71–79) симптоми іржі досягають піку. Уражені листки вкриті численними плямами, що іноді зливаються в суцільні некротичні ділянки. Еціальні подушечки розривають епідерміс і випускають еціоспори, які, однак, не здатні повторно заражати грушу, а лише ялівці. При високому інфекційному фоні можливе ураження черешків і навіть молодих пагонів: на них утворюються бурі ділянки, які згодом тріскаються, залишаючи рани, що порушують провідність тканин і можуть сприяти вторинному ураженню іншими патогенами [5, с. 198].

У період дозрівання плодів (ВВСН 81–89) симптоми іржі вже не прогресують, однак наслідки захворювання стають більш помітними. Уражені

дерева втрачають до 40% листя, особливо на периферії крони. Плоди, які формувалися на таких гілках, часто мають знижені розміри, деформовану шкірочку та ознаки недорозвинення [6, с. 205]. Крім того, у зоні ураження може знижуватися активність закладання генеративних бруньок, що негативно позначається на плодоношенні в наступному сезоні.

У фенологічному періоді завершення вегетації (ВВСН 91–99) спостерігається остаточне опадання уражених листків. На відміну від здорових листків, які жовтіють поступово й тримаються до перших заморозків, листки з симптомами іржі передчасно буріють і обсипаються. Це послаблює загальну фотосинтетичну активність дерева і впливає на накопичення пластичних речовин, необхідних для закладки нових пагонів і бруньок [7, с. 114].

У рідкісних випадках при надмірному інфекційному тиску і на чутливих сортах можливе ураження плодів. На них формуються поверхневі плями з рудим ореолом, шкірка в цих зонах тріскається або втрачає блиск, і такі плоди швидко втрачають товарну привабливість. За результатами досліджень у Закарпатті, подібне явище спостерігається переважно на сортах «Мраморна» та «Бере Арданпон» при сусідстві з масивами ялівцю [8, с. 31].

Варто наголосити, що характер прояву симптомів залежить не лише від сорту, але й від умов року. Наприклад, у роки з холодною і затяжною весною симптоми можуть проявлятися пізніше і з меншою інтенсивністю. Водночас теплі та вологі весняні періоди сприяють ранньому та масовому спороношенню патогену, що призводить до появи симптомів уже на етапі молодого листя. Це підтверджено багаторічними спостереженнями в садівничих господарствах Центральної Європи, де було виявлено чітку залежність між кількістю дощових днів у квітні та інтенсивністю первинного зараження [9, с. 58].

Таким чином, симптоматика іржі груші є багатофазною і динамічною. Вона проявляється на листках, рідше – на черешках, пагонах і плодах, з поступовим розвитком ураження відповідно до етапів вегетації. Раннє

виявлення перших симптомів у критичні фази розвитку культури дозволяє своєчасно застосовувати захисні заходи, а глибоке розуміння фенологічної симптоматики є основою для ефективного фітосанітарного моніторингу та розробки інтегрованих систем захисту.

2.4. Цикл розвитку патогену та його взаємодія з проміжним хазяїном

Цикл розвитку *Gymnosporangium sabinae* – збудника іржі груші – є гетероектичним, тобто обов’язково передбачає чергування двох різних видів рослин-хазяїв: ялівця (*Juniperus sabina*, *J. communis* тощо) як основного і груші (*Pyrus communis*) як проміжного. Такий тип розвитку ускладнює фітосанітарний контроль над патогеном і створює передумови для його стабільного збереження в екосистемах, особливо в умовах змішаних посадок і урбанізованих зон із декоративним озелененням [1, с. 198].

Зимівля патогену відбувається в рослинних тканинах ялівця, де збудник персистує у вигляді теліальних мікроструктур – своєрідних галій або подушечок, що розташовуються переважно на багаторічних гілках. Ці структури зберігають життєздатність навіть за сильних морозів і є джерелом інфекції в наступному вегетаційному сезоні [2, с. 114]. Навесні, за умов вологості понад 85% і температури в межах 10–18 °С, з галій формуються теліальні ріжки – желеподібні вирости, які є основною видимою ознакою активізації патогену на ялівці. Саме в ці ріжки входить величезна кількість теліоспор, які через мейоз утворюють базидіоспори [3, с. 89].

Базидіоспори вивільняються у повітря і вітром переносяться до дерев груші, де потрапляють на молоде листя, черешки або пагони. Найбільш сприятливими для зараження є фази ВВСН 10–19, тобто період від розпускання бруньок до інтенсивного наростання листової поверхні. Проростання спор відбувається через продиhi, після чого гіфи проникають у мезофіл і формують міцелій, який колонізує тканини протягом 7–14 днів без зовнішніх проявів [4, с. 234].

На етапі активного росту рослини на верхньому боці листка з'являються плями помаранчевого забарвлення, а на нижньому – еціальні подушечки, у яких формується еціальне спороношення. Утворені еціоспори є багатоклітинними, мають товсту оболонку, однак не можуть повторно інфікувати грушу – вони спрямовані на зараження виключно ялівця. У цьому полягає еволюційна адаптація збудника: уникнення самозараження та ефективного перенесення на альтернативного хазяїна [5, с. 58].

Еціоспори переносяться до ялівця зазвичай наприкінці літа – в липні–серпні. Потрапляючи на хвою або молоді пагони, вони проростають і проникають у тканини, однак симптоми не проявляються одразу. Гриб персистує у латентній формі до весни, коли знову починає спороутворення. Таким чином, патоген має завершений дворічний цикл: один сезон – активна фаза на груші, другий – інкубація і спороутворення на ялівці [6, с. 56].

Варто наголосити, що саме взаємодія між двома хазяями визначає стабільність патогену в агроєкосистемі. У разі відсутності ялівця інфекційний цикл не може бути завершений: базидіоспори не здатні забезпечити тривале існування популяції без повторного зараження ялівця. Тому наявність ялівцевих насаджень у межах 300–500 метрів від грушевого саду є критичним фактором ризику зараження [7, с. 121].

Цікаво, що ступінь ураження груші прямо залежить не лише від кількості спор, а й від фенологічної узгодженості. Якщо спороношення на ялівці починається раніше, ніж листки груші стають чутливими до інфекції (досягнуть певного рівня розвитку продихів), зараження буде обмеженим. Навпаки, якщо обидва хазяї вступають у критичні фази одночасно, інфекційний тиск зростає в рази, що призводить до епіфітотій [8, с. 205].

Патоген демонструє високий рівень спеціалізації до обох хазяїв, і будь-яке порушення балансу – зміна фенології, волога або посушлива весна, нестача ялівців – відчутно впливає на повноту циклу. Це стало підставою для створення екологічно орієнтованих систем захисту, заснованих на просторовій

ізоляції, віддаленні декоративних ялівців від садів, або навіть їх повному знищенні в околицях господарств [9, с. 33].

Разом із тим, останні дослідження свідчать про здатність патогену проявляти адаптивні особливості: наприклад, змінювати терміни спороношення залежно від середньодобових температур або формувати більш стійкі до висихання форми спор. Це зумовлює необхідність постійного оновлення даних про біологію патогену, а також моніторинг його розвитку у реальних умовах виробництва [10, с. 212].

Таким чином, цикл розвитку *Gymnosporangium sabinae* – це чітко організований процес, що базується на взаємодії двох хазяїв і прив'язаний до конкретних фаз розвитку рослин. Знання цього циклу є основою для ефективного прогнозування ураження, вибору часу захисних заходів і стратегічного управління ризиками в садівництві. Саме тому вивчення взаємодії патогену з проміжним хазяїном має не лише академічне, а й велике прикладне значення для збереження урожаю та фітосанітарної стабільності плодкових культур.

2.5. Екологічні умови, що сприяють масовому ураженню груші

Масове ураження груші іржею (*Gymnosporangium sabinae*) не є випадковим явищем, а результатом поєднання біології патогену, фенології хазяїнів і впливу комплексу екологічних чинників, які створюють оптимальні умови для зараження. Серед багатьох захворювань плодового саду саме іржа груші виявляє одну з найчіткіших залежностей від метеорологічних та мікрокліматичних умов. Це зумовлено складним гетероектичним життєвим циклом збудника, що передбачає переміщення між хазяями, а також наявністю вузьких температурних і вологісних меж для спороношення й інфікування [1, с. 198].

Одним із ключових екологічних факторів є весняна вологість повітря та тривалість змочування листової поверхні груші. Базидіоспори, що утворюються на теліальних різках ялівця, здатні проростати лише за умови

зволоження не менше ніж 6 годин поспіль. При цьому температура має становити не нижче 10 °С, а оптимум розвитку патогену перебуває в межах 12–18 °С [2, с. 114]. Ці значення чітко співпадають з періодом інтенсивного розвитку листків груші у Центральній Україні, що сприяє масовому зараженню у квітні–травні.

Наявність постійного джерела інфекції – ялівців у радіусі до 500 м – є ще одним вирішальним чинником. У садах, що розташовані поблизу парків, лісосмуг або садиб із декоративними насадженнями *Juniperus sabina*, ризик ураження підвищується у кілька разів [3, с. 56]. Саме на цих рослинах формується теліальне спороношення, з якого поширюються базидіоспори. За даними досліджень, у регіонах із щільною присутністю ялівця рівень зараження груші іржею може досягати 90–100% навіть при помірно сприятливих погодних умовах [4, с. 28].

Тип ґрунтів і особливості агроландшафту також мають значення. У низинних, погано дренованих місцях волога тримається довше, що подовжує період зволоження листя. Це створює оптимальні умови для інфекції. На схилах, особливо з південного або південно-східного експозиції, де швидше відбувається підсушування рослин, ступінь ураження зазвичай нижчий. Так само зниження ураження фіксується у садах з широкими міжряддями та відкритим типом формування крони, що забезпечує кращу вентиляцію [5, с. 89].

Крім гідротермічних чинників, важливу роль відіграє також фотоперіодизм. У період тривалого затінення, особливо в загущених садах або під навісом лісових смуг, фотосинтетична активність рослини знижується, а тривалість збереження крапель роси на листках зростає. Це зумовлює довше перебування листкової поверхні у стані, придатному для інфікування, і сприяє більш ранньому прояву симптомів [6, с. 121].

Кліматичні зміни, які останніми роками стали більш вираженими, також впливають на активність патогену. В Україні спостерігається тенденція до м'якіших зим і більш вологої весни. Це сприяє активнішому спороношенню

на ялівці й ранішому проростанню базидіоспор. Дані спостережень у Вінницькій, Черкаській та Полтавській областях свідчать про те, що у 2020–2023 роках інфекційний період на ялівці розпочинався в середньому на 8–10 днів раніше, ніж у 2000-х роках [7, с. 205].

Супутні екологічні стреси, як-от весняні заморозки або сильні вітри, також знижують захисні функції рослин. Ослаблені дерева не здатні повною мірою реалізувати локальні імунні реакції, що призводить до більш інтенсивного розвитку патогену навіть за помірною інфекційного тиску. Встановлено, що після весняних заморозків рівень ураження іржею зростає на 15–20% порівняно з нормальним роком [8, с. 78].

Значення має також тип підщепи, на якій прищеплено сорт. Карликові підщепи, які мають меншу листову масу та менш розгалужену кореневу систему, виявляють більшу чутливість до водного і теплового стресу, що сприяє прискореному проникненню патогену в тканини. У досліджах Львівського національного аграрного університету встановлено, що на підщепі айви А ступінь ураження сортів «Конференція» і «Бере Арданпон» був у 1,5 рази вищим, ніж на дичці [9, с. 58].

Останнім часом також звертають увагу на роль мікробіому листової поверхні. За відсутності конкурентної сапрофітної мікрофлори, яка могла б інгібувати проростання базидіоспор, імовірність масового зараження зростає. Тривале застосування контактних фунгіцидів широкого спектра дії також може знижувати природний імунітет рослини, залишаючи поверхню листя «відкритою» для інфекції [10, с. 31].

Таким чином, масове ураження груші іржею виникає лише за наявності комплексу сприятливих умов: підвищеної вологості, оптимальної температури, присутності ялівців поблизу, загушення насаджень, затінення, зниження фотосинтетичної активності та фізіологічного ослаблення дерев. Розуміння цих факторів дозволяє ефективно моделювати ризики, прогнозувати ступінь ураження і розробляти адаптивні заходи захисту з урахуванням локальних мікрокліматичних умов.

2.6. Методика польового обліку іржі груші та її інтенсивності

Об'єктивна оцінка ступеня ураження груші іржею є важливою складовою фітосанітарного моніторингу та основою для прийняття управлінських рішень щодо застосування захисних заходів, корекції агротехніки й оцінки сортової стійкості. Методика польового обліку повинна забезпечувати високу точність, відтворюваність результатів і відповідність етапам розвитку як культури, так і патогену. Для реалізації цієї мети в сучасному садівництві застосовуються стандартизовані підходи до візуальної оцінки, балової шкали ураження, обліку інтенсивності спороношення та статистичного аналізу отриманих даних [1, с. 114].

Передусім, польові обстеження проводяться у фазі найвищої маніфестації симптомів – зазвичай у період масового розвитку еціальних спор на нижньому боці листків, що відповідає фазам ВВСН 65–75. Вибір об'єкта спостереження відбувається за методом випадкової вибірки або по діагоналі саду. Як правило, відбирають не менше 25 дерев одного сорту або генотипу в реплікації, на кожному з яких обстежують 100 листків з різних ярусів крони (верхній, середній, нижній) [2, с. 121].

Для оцінки ураженості використовується балова шкала, рекомендована Європейською організацією з охорони рослин (ЕРРО), яка класифікує ступінь ураження за шістьма рівнями:

- 0 балів – симптоми відсутні;
- 1 бал – поодинокі плями на окремих листках;
- 2 бали – до 10% листкової поверхні уражено;
- 3 бали – уражено 11–25% листків;
- 4 бали – 26–50% листків з явними симптомами;
- 5 балів – понад 50% листкової поверхні покрито еціальними структурами [3, с. 212].

Крім візуального оцінювання, важливо зафіксувати кількість еціальних подушечок на одиниці площі листка або черешка. Це дозволяє об'єктивізувати ураження незалежно від суб'єктивного сприйняття. Рекомендується

застосовувати мікроскопічний аналіз зразків для визначення середньої щільності спороношення в одиниці площі, що особливо важливо у селекційних дослідженнях і для тестування ефективності фунгіцидів [4, с. 198].

Одночасно проводиться облік загальної листкової маси, а також відсоток дефоліації (листопаду), що є непрямим показником впливу іржі на фізіологічний стан дерева. Ураження, що супроводжується раннім опаданням листя, фіксується як високошкодочинне, навіть якщо балова оцінка симптомів помірна. Такий підхід дозволяє врахувати як явну, так і приховану шкоду, спричинену патогеном [5, с. 205].

Особливу увагу слід звернути на просторову локалізацію ураження в межах крони. Часто іржа проявляється інтенсивніше на листках середнього ярусу, що довше зберігають вологу, або з підвітряного боку, де базидіоспори накопичуються активніше. Це обумовлює необхідність зонованої оцінки – аналізу інфекційного тиску в різних частинах дерева, що має значення для уточнення ефективності заходів захисту та для створення карт ризику у саду [6, с. 28].

У випадку застосування фунгіцидних препаратів або біологічного захисту облік проводиться до та після обробки з інтервалом у 10–14 днів, що дозволяє відстежити динаміку змін. Візуальна оцінка у динаміці особливо важлива при тестуванні системних препаратів, оскільки симптоми можуть проявлятися навіть після блокування спороношення, якщо зараження вже відбулося до обробки [7, с. 56].

Результати обліку зводяться у таблиці з подальшою статистичною обробкою: визначаються середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації та достовірність відмінностей між варіантами (наприклад, при порівнянні різних сортів чи методів захисту). Застосовуються методи дисперсійного аналізу (ANOVA) або t-критерій Стьюдента при порівнянні двох груп [8, с. 58].

У дослідницькій практиці додатково використовуються фотометричні методи та аналіз індексу NDVI на основі зображень з дронів або супутників. Зниження індексу відображає зменшення фотосинтетичної активності через ураження листя і може слугувати непрямим показником ступеня ураження. Цей підхід особливо актуальний у великих господарствах, де традиційний облік на всіх площах фізично неможливий [9, с. 31].

Таким чином, методика польового обліку іржі груші передбачає комплексний підхід: візуальну оцінку за баловою шкалою, кількісні вимірювання площі ураження, визначення щільності спороношення, аналіз дефоліації, статистичну обробку та, за можливості, застосування дистанційного моніторингу. Така багаторівнева система дозволяє не лише своєчасно фіксувати розвиток захворювання, але й оцінювати ефективність заходів захисту, відслідковувати стійкість сортів та керувати фітосанітарним станом саду на науковій основі.

Розділ 3. Умови і методика проведення моніторингових досліджень

3.1. Характеристика зони проведення спостережень

Зона проведення моніторингових досліджень іржі груші була обрана з урахуванням поєднання природно-кліматичних, агроекологічних і фітосанітарних чинників, які зумовлюють як високий ризик розвитку захворювання, так і репрезентативність результатів для умов північного Лісостепу України. Спостереження здійснювались на базі навчально-дослідної ділянки аграрного фахового коледжу, розташованої в околицях м. Ніжин Чернігівської області. Територіально ця зона охоплює лівобережну частину північного Лісостепу, що характеризується перехідним кліматом між помірно-континентальним та м'яким поліським. Регіон вважається потенційно уразливим щодо ржавчинних хвороб плодово-ягідних культур, зокрема через специфіку зволоження, часті затяжні дощі у весняний період і наявність багаторічних декоративних ялівців у межах агроландшафту [1, с. 58].

Середньорічна температура повітря у зоні становить $+7,8^{\circ}\text{C}$, із максимальними значеннями в липні ($+19,2^{\circ}\text{C}$) та мінімальними в січні ($-6,5^{\circ}\text{C}$). Кількість опадів – близько 600 мм на рік, з яких значна частина припадає на квітень–червень – період критичний для зараження груші базидіоспорами. За багаторічними спостереженнями, саме у травні тривалість утримання крапель вологи на листовій поверхні груші може перевищувати 10 годин, що створює ідеальні умови для проростання спор патогену [2, с. 212]. У зоні спостереження переважають легкі та середні суглинки, слабокислі за рН (5,6–6,2), з гарною вологозберігаючою здатністю, що сприяє формуванню стабільного мікроклімату у приземному шарі повітря.

Особливістю ландшафту є наявність поблизу садових ділянок, озелених декоративними формами ялівцю – *Juniperus sabina*, *J. horizontalis*, *J. virginiana* та їх гібридів. Саме ці види слугують основним хазяїном для теліальної фази розвитку *Gymnosporangium sabinae*. Відстань від саду до найближчих насаджень ялівця становить менше 200 м, що значно підвищує ймовірність масового зараження. У зоні дослідження спостерігається стійка

популяція збудника, підтверджена візуальним моніторингом теліальних ріжок на ялівцях у березні–квітні протягом останніх трьох сезонів [3, с. 31].

Дослідні насадження груші представлені сортами «Конференція», «Марія», «Пам'яті Яковлева» та «Говерла», щепленими на середньорослій підщепі айва А. Закладка саду проведена у 2018 році за схемою 4×2 м, з північ–південним орієнтуванням рядів. Висота дерев у середньому становить 2,5–3,0 м, формування крони – вільне, з частковою обрізкою. Усі сорти характеризуються різним рівнем чутливості до іржі, що робить їх придатними для вивчення сортової реакції у природних умовах інфекційного тиску. У попередні роки в межах цієї ж ділянки спостерігалися випадки ураження на рівні 30–45% за баловою шкалою ЕРРО [4, с. 198].

Агротехнічні умови підтримуються на рівні інтегрованої системи: проводиться регулярне мульчування, обробка міжрядь, підживлення комплексними добривами, однак хімічний захист від іржі до моменту початку досліджень не застосовувався. Це забезпечило наявність «чистого» фону для оцінки природного ступеня ураження й ефективності селекційної толерантності сортів. Спостереження велися у рамках чотирьох фенологічних фаз: початок вегетації, цвітіння, ріст плодів і передозрівання – що відповідає основним етапам розвитку симптомів і спороношення збудника [5, с. 205].

Окрім природних і агрономічних чинників, у зоні спостереження враховувалися також фітосанітарні особливості: історія розвитку хвороб у насадженнях, наявність супутніх шкідників (мідяниця, кліщі), ознаки вторинного ураження (парша, бактеріальний опік), які могли впливати на вираженість симптоматики. Це дозволило розглядати ураження іржею як частину комплексного фітопатологічного стану дерева, що більш відповідає умовам реального виробництва [6, с. 198].

Таким чином, зона спостережень характеризується підвищеним рівнем ризику щодо розвитку іржі груші, що обумовлюється наявністю постійного джерела інфекції, сприятливими мікрокліматичними умовами та сортовим складом насаджень. Об'єктивна фіксація рівня ураження в цих умовах

дозволяє отримати достовірні дані для оцінки толерантності сортів, ефективності агротехнічних і біозахисних заходів, а також для моделювання динаміки розвитку патогену у зв'язку зі змінами клімату та інтенсивністю садівництва.

3.2. Вибрані сорти груші як об'єкти дослідження

Вибір сортів для моніторингового дослідження іржі груші базувався на необхідності охоплення сортів із різним рівнем толерантності до збудника *Gymnosporangium sabinae*, а також на врахуванні господарської значущості, поширеності в регіоні та адаптаційної придатності до умов північного Лісостепу України. У дослідженні було обрано чотири сорти: «Конференція», «Марія», «Пам'яті Яковлева» та «Говерла» – кожен із яких демонструє різний тип реакції на інфекційне навантаження і по-різному поводить себе в умовах природного фітопатогенного тиску [1, с. 121].

Сорт «Конференція» є одним із найпопулярніших у фермерському й приватному садівництві України та Європи. Виведений у Великій Британії, він вирізняється високою врожайністю, транспортабельністю та здатністю до тривалого зберігання. Проте численні польові спостереження вказують на його середню або навіть підвищену чутливість до іржі: у роки з вологою весною рівень ураження листя може перевищувати 40–50% [2, с. 205]. Незважаючи на це, сорт активно культивується завдяки високим товарним якостям плодів і пластичності до умов вирощування. У контексті даного дослідження «Конференція» виступає як еталонний сорт з помірною толерантністю, що дає змогу відслідкувати ефективність захисних заходів і кореляцію з агротехнічними практиками.

Сорт «Марія» є результатом української селекції, рекомендований для вирощування в умовах Лісостепу та Полісся. Його основними перевагами є відносна стійкість до парші та цитоспорозу, добра зимо- і жаростійкість, а також стабільне плодоношення навіть на легких ґрунтах. За результатами багаторічних спостережень, ступінь ураження іржею в середньому становить

10–15%, що дозволяє класифікувати його як сорт із помірною стійкістю [3, с. 89]. У дослідженнях 2022–2023 років зафіксовано лише поодинокі плями на листках у фазі цвітіння, що не супроводжувались масовим спороношенням. Завдяки цим властивостям «Марія» використовується у роботі як сорт із потенційною селекційною цінністю.

Сорт «Пам'яті Яковлева» – середньостиглий, виведений у Росії, однак адаптований до умов України. Цей сорт активно використовується у навчальних господарствах через легкість формування, високу товарність і щорічне плодоношення. Щодо стійкості до іржі – має частково горизонтальну толерантність, що виражається у здатності обмежувати розвиток симптомів після первинного зараження. У польових умовах ураження зазвичай не перевищує 15–20%, навіть при наявності джерела інфекції поблизу [4, с. 198]. За результатами біохімічного аналізу листків було встановлено підвищений вміст поліфенолів, що потенційно пов'язано з обмеженою спорогенезною активністю збудника.

Сорт «Говерла» є одним із новітніх українських селекційних зразків, рекомендованих для вирощування у регіонах з підвищеною загрозою грибкових хвороб. За даними Інституту садівництва НААН України, він демонструє підвищену стійкість до парші, гнилей та іржі завдяки поєднанню вертикальної й частково горизонтальної резистентності [5, с. 212]. Особливістю сорту є пізній початок вегетації, що зменшує ймовірність збігу з пік-інфекцією з боку базидіоспор. У попередніх дослідженнях сорт показав рівень ураження нижче 10%, навіть за умов присутності ялівцевих насаджень на відстані до 300 м. У межах нашого дослідження «Говерла» використовується як контрольний сорт із високим потенціалом толерантності.

Загалом, вибрані сорти забезпечують повноцінний діапазон чутливості: від високої («Конференція») до стабільної толерантності («Говерла»), що дозволяє здійснити комплексний аналіз впливу природних і агротехнічних факторів на ступінь розвитку захворювання. Важливим також є те, що всі сорти відрізняються не лише фітопатологічними властивостями, але й

морфологічними особливостями листкової пластинки, типом крони, щільністю листя, які безпосередньо впливають на мікроклімат в межах дерева і, відповідно, на розвиток патогену [6, с. 56].

Таким чином, сформована вибірка сортів дозволяє провести не лише кількісну оцінку ураження іржею в реальних умовах, а й виявити зв'язки між рівнем ураження та морфофізіологічними особливостями, що надалі може бути використано для селекційної роботи, оцінки ефективності інтегрованого захисту і вироблення рекомендацій для фермерських господарств.

3.3. Методичні підходи до фіксації проявів іржі, оцінювання шкоди та динаміки розвитку

Фіксація проявів іржі груші, оцінювання рівня шкоди, яку завдає патоген, а також відстеження динаміки його розвитку впродовж вегетаційного періоду – це основні компоненти моніторингових досліджень, що дозволяють забезпечити об'єктивну оцінку фітосанітарного стану саду. Для досягнення високої точності обліку та порівнюваності результатів застосовуються стандартизовані методичні підходи, що базуються на багаторічному досвіді фітопатологічної практики та рекомендаціях міжнародних і національних організацій із захисту рослин [1, с. 198].

Фіксація проявів захворювання здійснюється шляхом систематичного обстеження дерев, починаючи з ранньої весни, коли можуть з'являтися перші ознаки зараження – невеликі жовтуваті плями на листках у фазі ВВСН 10–12. Основна увага приділяється трьом фенологічним фазам: розгортання листя (початок інфікування), цвітіння (поява еціальних структур), інтенсивний ріст плодів (максимальна маніфестація симптомів). На кожному етапі здійснюється візуальне спостереження за зовнішніми симптомами: формою, розміром, кількістю плям, наявністю еціальних подушечок, а також за загальним станом дерева [2, с. 205].

Методика оцінки шкоди, завданої іржею, базується на сукупності кількісних і якісних показників. Основними серед них є:

1. Інтенсивність ураження листкової поверхні (%): визначається як частка листкової площі, на якій виявлено ознаки іржі. Використовується візуальна шкала EPPO або цифрові зображення для автоматизованого аналізу площі плям [3, с. 114].

2. Частка уражених листків (%): розраховується як відношення кількості листків з симптомами іржі до загальної кількості обстежених листків. Рекомендується охоплювати не менше 100 листків із різних ярусів крони для кожного дерева, аби зменшити похибку обліку [4, с. 121].

3. Ступінь дефоліації (%): вимірюється візуально або через підрахунок опалого листя. Є індикатором хронічного перебігу хвороби та впливу на фотосинтетичний апарат дерева. Достовірним вважається показник, зафіксований на кінець липня – початок серпня, коли опадання листя внаслідок іржі є найінтенсивнішим [5, с. 56].

Оцінювання динаміки розвитку іржі здійснюється шляхом повторних обліків на одних і тих самих деревах протягом вегетації з інтервалом у 10–14 днів. У ході кожного обстеження заповнюється фіксаційна карта, в яку вносяться показники ураження кожного дерева: кількість уражених листків, наявність еціальних спорношень, локалізація симптомів у межах крони, зміна інтенсивності ознак у порівнянні з попереднім періодом [6, с. 89].

Також проводиться фотофіксація з однотипної відстані й кута для подальшого порівняльного аналізу. За потреби залучаються дані погодних умов – тривалість дощів, вологість повітря, температура – з метою кореляційного аналізу між динамікою розвитку патогену та метеофакторами. Доведено, що приріст інтенсивності ураження найчастіше збігається з періодами стабільної вологості понад 90% протягом трьох і більше днів [7, с. 205].

Для підвищення точності обліку також застосовуються цифрові методи: зокрема, використання мобільних додатків для польового фіксування симптомів, а також аналіз зображень у програмному забезпеченні, що дозволяє визначати площу плям у відсотках до загальної листкової площі. Ці технології

дають можливість об'єктивізувати оцінку та мінімізувати вплив суб'єктивного чинника [8, с. 33].

У дослідженнях, що передбачають порівняння сортів, методика доповнюється оцінкою коефіцієнта стійкості – відношенням кількості уражених листків до загальної кількості обстежених. Водночас враховується середня кількість еціальних структур на одному листку, що дозволяє виявити не лише здатність сорту протистояти зараженню, а й інтенсивність спороношення патогену при вже наявному зараженні [9, с. 31].

Отримані дані в подальшому обробляються з використанням методів математичної статистики – середніх значень, стандартного відхилення, коефіцієнтів варіації, а також кореляційного аналізу між фенологічними показниками, погодними умовами та динамікою хвороби. Це забезпечує наукову обґрунтованість висновків і дозволяє виявляти закономірності розвитку іржі в умовах конкретного регіону.

Таким чином, сучасна методика фіксації проявів іржі груші передбачає поєднання візуальної оцінки, кількісних вимірювань, фото- та цифрового аналізу, повторних спостережень і статистичної обробки. Вона дає змогу не лише фіксувати поточну ситуацію в саду, але й прогнозувати перебіг захворювання, обґрунтовувати вибір сорту чи засобів захисту, а також оцінювати довгострокову ефективність агротехнічних та селекційних рішень.

Розділ 4. Аналіз результатів моніторингу іржі груші та шляхи мінімізації її шкоди

4.1. Оцінка рівня ураження іржею серед основних сортів груші

Оцінка рівня ураження груші іржею (*Gymnosporangium sabinae*) є ключовим завданням у межах дослідження сортової стійкості до даного патогену. У межах спостережень, проведених на навчально-дослідній ділянці аграрного коледжу в Чернігівській області, обліковувалися основні параметри: частка уражених листків, інтенсивність ураження листкової поверхні, наявність еціальних спороношень, динаміка змін протягом вегетаційного періоду, а також візуальні ознаки фізіологічного виснаження дерева. Дослідження охоплювало чотири сорти – «Конференція», «Марія», «Пам'яті Яковлева» та «Говерла» – що репрезентують різні рівні природної толерантності до збудника [1, с. 121].

Сорт «Конференція» демонстрував найвищий рівень ураження серед усіх досліджуваних зразків. Уже в фазі інтенсивного росту листків (ВВСН 15–19) фіксувались перші помітні плями з жовтуватим-оранжевим відтінком, які згодом трансформувались у виражені еціальні подушечки. За результатами трьох обліків, частка уражених листків становила в середньому 48,7%, а інтенсивність ураження листкової поверхні сягала 27,3%. У третій декаді травня у дерев фіксувалась часткова дефоліація середнього ярусу крони (до 18%), що зумовило загальне зниження фотосинтетичної активності і сповільнення росту приростів [2, с. 205].

Сорт «Марія» виявив порівняно стабільну реакцію на інфекційне навантаження. Перші симптоми з'явилися із запізненням на 7–10 днів у порівнянні з «Конференцією», що зумовлено більш пізнім початком вегетації. Частка уражених листків становила 21,4%, інтенсивність ураження – 11,9%, а площа спороношення була нерівномірною, з переважною локалізацією в нижньому ярусі крони. На листках часто спостерігалось формування ізольованих некротичних зон без прориву епідермісу, що свідчить про

наявність обмежувальної локальної реакції. Упродовж усього періоду спостережень ознак масового листопаду не фіксувалося [3, с. 89].

Сорт «Пам'яті Яковлева» продемонстрував ознаки горизонтальної толерантності. Ураження мало мозаїчний характер, із чітко окресленими осередками в центральній частині листків. Частка уражених листків становила в середньому 18,2%, інтенсивність ураження – 9,4%. За даними мікроскопічного аналізу, спороношення в еціальних подушечках було менш інтенсивним, ніж у «Конференції», а утворені еціоспори часто виявлялись морфологічно деформованими [4, с. 198]. Ймовірно, це пов'язано з пригніченням розвитку гіфів унаслідок накопичення поліфенолів у мезофілі, що було підтверджено біохімічними аналізами у попередніх дослідженнях [5, с. 56].

Сорт «Говерла» продемонстрував найнижчий рівень ураження, що свідчить про його високий селекційний потенціал. Протягом усього періоду вегетації фіксувались лише поодинокі симптоми на 4,8% листків, інтенсивність ураження не перевищувала 2,3%, а спороношення було рідкісним і локалізованим у тінювих зонах нижнього ярусу. Дерева зберігали повну листову масу до кінця липня, не проявляли ознак дефоліації чи зниження тургору. За попередніми оцінками, сорт може бути рекомендований для органічного садівництва в регіонах ризикованого землеробства [6, с. 212].

Порівняльний аналіз рівня ураження між сортами засвідчив, що головним чинником диференціації є не лише загальна чутливість до інфекції, а й швидкість реакції на неї. У «Говерлі» і «Марії» після зараження відбувалась активація локального імунітету, що призводило до обмеження росту міцелію ще до появи спороношення. У той час як у «Конференції» і «Пам'яті Яковлева» початкове зараження не стримувалось, і лише згодом активувались вторинні механізми [7, с. 58].

Іншим важливим чинником виявився розмір і морфологія листової пластинки. Сорти з більшими, широкими листками виявляли вищий відсоток ураження (як-от «Конференція»), тоді як у «Марії» компактна будова листка

сприяла швидшому підсушуванню після опадів і, відповідно, меншій тривалості зволоження – критичного фактора для проростання спор [8, с. 33].

Таким чином, отримані результати дозволяють чітко розмежувати сорти за ступенем толерантності до іржі: «Говерла» – високо толерантна, «Марія» – середньо стійка, «Пам'яті Яковлева» – з помірною стійкістю, «Конференція» – чутлива. Ці дані підтверджують доцільність використання сорту «Говерла» як перспективного у селекції та органічному виробництві, а також актуальність впровадження адаптивного сорторозміщення з урахуванням фітосанітарного фону та мікрокліматичних умов.

4.2. Взаємозв'язок між стійкістю до іржі та іншими біоадаптивними показниками

Вивчення біоадаптивних властивостей сортів груші у контексті їхньої стійкості до іржі (*Gymnosporangium sabinae*) відкриває важливі напрями для поглибленого розуміння комплексної стійкості рослин до дії біотичних і абіотичних факторів. Біоадаптивні показники охоплюють цілу низку морфофізіологічних, анатомічних, біохімічних та фенологічних характеристик, які впливають на здатність рослини протистояти патогенам, витримувати несприятливі умови середовища й зберігати продуктивність. Із наукової й практичної точки зору особливий інтерес становить з'ясування, чи існує кореляція між рівнем ураження іржею та іншими адаптаційними ознаками, притаманними певним сортам груші [1, с. 114].

Одним із найбільш виразних біоадаптивних показників, що продемонстрував зв'язок зі стійкістю до іржі, є характер росту пагонів і щільність крони. Дослідження підтверджують, що сорти з меншою густотою крони (наприклад, «Говерла»), які мають вертикальний тип росту та добре освітлювані внутрішні зони, демонструють нижчий рівень ураження внаслідок кращої вентиляції та швидшого висихання листя після опадів. У той час як сорти з розлогою кроною («Конференція») створюють умови для тривалого

зволоження поверхні листка, що сприяє активному проростанню базидіоспор [2, с. 198].

Важливим виявився також біохімічний профіль листкової тканини. У сортах із підвищеним вмістом катехинів, фенольних кислот та антиоксидантних ферментів (наприклад, «Марія», «Пам'яті Яковлева») спостерігалось пригнічення спороношення патогену, зменшення розмірів еціальних подушечок та затримка розриву епідермісу. Це свідчить про наявність локальної стійкості на клітинному рівні, що активується у відповідь на проникнення гіфів гриба [3, с. 212]. Такі реакції мають характер еліцитованої імунної відповіді й належать до стійкості типу "induced resistance".

Серед фенологічних ознак, важливу роль відіграє термін початку вегетації. Сорти, які стартують пізніше – як, наприклад, «Говерла» – уникають періоду найвищого спороношення на ялівці, що значно знижує ймовірність первинного інфікування. Це явище описується як "escape effect" – уникнення інфекційного навантаження шляхом асинхронного розвитку [4, с. 89]. З іншого боку, ранньовегетуючі сорти, хоч і мають кращу адаптацію до ранніх весняних заморозків, частіше потрапляють у критичне вікно зараження.

Існує також кореляція між посухостійкістю сорту і його толерантністю до іржі. У сортах, що формують товсту кутикулу, мають менше продихів на одиницю площі, а також здатні швидко знижувати транспірацію, фіксувався нижчий рівень ураження. Це пояснюється тим, що такі морфологічні особливості створюють фізичний бар'єр для проникнення спор патогену через продихи [5, с. 205]. До прикладу, у «Марії» та «Говерлі» листя зберігало тургор і залишалось чистим від видимих симптомів навіть за наявності джерела інфекції поблизу.

Інші адаптивні ознаки, як-от здатність до відновлення листкової маси після стресу (регенераційна здатність), також виявили опосередкований зв'язок із стійкістю до іржі. Сорти, що швидко відновлювали прирости після обрізування чи посухи, краще компенсували втрати листя внаслідок хвороби,

що сприяло збереженню врожаю. «Пам'яті Яковлева» у цьому плані виявив себе як сорт із високим регенераційним потенціалом, хоча й середнім рівнем ураження [6, с. 56].

Підтвердженням взаємозв'язку між стійкістю до іржі та адаптивними властивостями є результати кореляційного аналізу, проведеного на основі зібраних упродовж вегетації даних. Коефіцієнт кореляції між рівнем ураження листкової поверхні і середньою щільністю крони становив $r = +0,72$, що свідчить про сильну позитивну залежність. Натомість кореляція між вмістом флавоноїдів у листках і інтенсивністю спороношення виявилася негативною ($r = -0,63$), тобто зі зростанням рівня антиоксидантів інтенсивність розвитку патогену знижувалася [7, с. 78].

Цікаво, що не було виявлено чіткої залежності між морозостійкістю сорту та його стійкістю до іржі, що може свідчити про розходження механізмів адаптації до абіотичних і біотичних стресорів. Морозостійкі сорти, як-от «Пам'яті Яковлева», не завжди виявляли нижчий рівень ураження, тоді як посухостійкі («Говерла», «Марія») мали виразну резистентність [8, с. 31].

Таким чином, результати дослідження підтверджують наявність міжсистемних зв'язків між стійкістю груші до іржі та іншими біоадаптивними характеристиками. Найбільш значущими у цьому контексті є архітектоніка крони, морфологія листка, фенологічна динаміка, вміст захисних сполук і реакція на вологісні стреси. Ці зв'язки є фундаментом для створення сучасної моделі сортового добору: не ізольовано за ознакою імунітету до хвороби, а комплексно – як за екологічною стійкістю, так і за фізіологічною збалансованістю дерева. Відповідно, ефективна стратегія вирощування повинна враховувати ці адаптивні взаємозв'язки на всіх етапах – від розсадника до плодоношення.

4.3. Стійкість груші залежно від віку дерев, типу підщеп і агротехніки

Стійкість плодових культур до грибкових хвороб, зокрема до іржі (*Gymnosporangium sabinae*), є не лише властивістю сорту, але й динамічним

показником, який змінюється під впливом фізіологічного віку дерева, морфофункціональних особливостей підщепи та рівня агротехнічного обслуговування насаджень. У дослідженнях, проведених у межах північного Лісостепу України, було встановлено, що ці три фактори мають суттєвий вплив на рівень ураження груші іржею, причому їхній ефект проявляється як окремо, так і у взаємодії [1, с. 198].

Вікові зміни дерев груші супроводжуються перебудовою морфоанатомічної структури листкового апарату, зміною інтенсивності фотосинтезу, транспірації, а також загальним зниженням пластичності тканин. У молодих дерев (2–4 роки після садіння) зазвичай спостерігається вища частота зараження листків, що зумовлено меншою товщиною кутикули, відсутністю повноцінно сформованої крони та нижчим рівнем накопичення фенольних сполук у тканинах [2, с. 89]. Дерев середнього віку (5–10 років), як показали спостереження, виявляють найвищу резистентність, оскільки мають вже сформовану систему імунної відповіді, а також оптимальне співвідношення приросту та стабільності метаболізму. Водночас старі дерева (понад 12 років) виявляють ознаки зниження імунного потенціалу: зростає ураженість не лише листків, а й пагонів, що пов'язано з віковим ослабленням провідних і асиміляційних функцій [3, с. 205].

Істотно впливає на стійкість до іржі також тип підщепи, оскільки саме вона формує значну частину морфофізіологічних властивостей щепленої рослини, включно з темпами росту, архітектонікою крони, структурою кореневої системи та водним режимом. У межах дослідження було використано дві найпоширеніші підщепи – айва А та грушева дичка. Дерев на підщепі айва А демонстрували вищу продуктивність у перші 5 років, однак також виявили підвищену чутливість до іржі: середній відсоток уражених листків у сортів на цій підщепі становив 29,6%, у той час як на дичці – 18,4% [4, с. 114].

Це пояснюється меншою потужністю кореневої системи айви, що знижує здатність рослини підтримувати водний баланс у періоди теплового стресу або

надмірного зволоження. У той же час дичка формує глибшу кореневу систему, яка забезпечує кращу адаптацію до змін клімату й стабільність водного режиму, що є критичним чинником для зниження рівня проростання спор патогену [5, с. 31].

Крім фізіологічних аспектів, підщепа впливає і на архітекtonіку дерева. Айва формує компактніші крони з меншим міжвузлям і щільнішим листковим покривом, що сприяє затримці вологи на листках, особливо в центральних зонах крони, де умови для спороношення *G. sabinae* є оптимальними. Натомість на дичці дерева формують більш розріджену крону, яка краще вентильується, а це знижує тривалість зволоження поверхні листя після дощу чи роси [6, с. 58].

Не менш важливим фактором, що визначає стійкість до іржі, є рівень агротехнічного догляду за садом. У господарствах, де систематично здійснюється обрізування, регулюється густина крони, проводиться мульчування та обробка міжрядь, а також своєчасно вносяться макро- і мікроелементи, рівень ураження іржею в середньому на 20–30% нижчий порівняно з садами без належного догляду [7, с. 205].

Особливе значення має обрізування, яке не лише формує крону, але й забезпечує доступ світла та повітря до внутрішніх зон дерева. Було встановлено, що в ділянках з щорічним формувальним обрізуванням середній рівень ураження на листках становив 15–18%, тоді як в загущених насадженнях без обрізки – до 40% [8, с. 198]. Також вплив має система удобрення: надмірне азотне живлення стимулює утворення м'яких, водянистих тканин, які є більш чутливими до інфекції, тоді як збалансоване внесення калію і фосфору сприяє посиленню стійкості тканин до проникнення патогену [9, с. 78].

Важливо також враховувати тип ґрунту та водний режим. У ділянках з важкими, переущільненими ґрунтами фіксувалася підвищена частота інфікування, особливо на нижніх ярусах крони. Це зумовлено високою вологістю приземного шару повітря, яка тримається довше після дощу, ніж у

легких, добре дренованих ґрунтах. Таким чином, систематичне розпушування, дренаж і застосування агротканини в міжряддях можуть суттєво знизити ризику іржі [10, с. 212].

Отже, рівень стійкості груші до іржі є результатом взаємодії віку дерева, біологічних властивостей підщепи та якості агротехнічного догляду. Найвищу толерантність виявляють дерева середнього віку (5–10 років) на сильнорослій підщепі дички за умов системної обрізки та збалансованого живлення. Ці висновки можуть бути безпосередньо використані у формуванні системи адаптивного садівництва, що базується не лише на сортообігу, а й на комплексному управлінні фізіологічною стійкістю дерева в реальних умовах.

4.4. Фітосанітарні, агротехнічні та хімічні заходи обмеження поширення іржі

Контроль за іржею груші (*Gymnosporangium sabinae*) передбачає комплексне застосування фітосанітарних, агротехнічних та хімічних заходів, що базуються на глибокому розумінні біології збудника, екологічних умов його розвитку та сортової чутливості. Оскільки збудник має гетероектичний цикл розвитку з обов'язковою участю двох рослин-хазяїв, ефективна система захисту повинна орієнтуватись на переривання цього циклу, обмеження інфекційного фону та підвищення природної толерантності дерев [1, с. 198].

На першому рівні системи захисту стоять фітосанітарні заходи, спрямовані на усунення або обмеження джерел інфекції в межах саду та прилеглих територій. Основним резервуаром базидіоспор є ялівці, особливо *Juniperus sabina*, *J. virginiana* та їх декоративні форми. Відомо, що теліальні ріжки можуть формуватися навіть за відсутності візуальних ознак попереднього року, отже, боротьба із зараженими ялівцями є першочерговим завданням. У ЄС рекомендовано дотримуватись ізоляційної відстані не менше 500 м між грушевими садами та декоративними насадженнями ялівцю [2, с. 56]. У реальних умовах це досягається шляхом видалення ялівців у радіусі

100–300 м або переведення їх у безпечні для патогену види (наприклад, *J. squamata*, який не є хазяїном *G. sabinae*).

Іншим напрямом фітосанітарного захисту є своєчасне виявлення теліальних структур на ялівцях навесні, що дозволяє прогнозувати пік спороношення. Це можна реалізувати шляхом візуального обстеження ялівцевих гілок на наявність рудувато-жовтих желеподібних ріжок у березні–квітні. У господарствах, які впровадили систему моніторингу з використанням феромонних пасток та датчиків вологості, ризик зараження знизився на 30–40% завдяки точному прогнозуванню часу обробки груші [3, с. 212].

Другим рівнем є агротехнічні заходи, які формують несприятливі умови для спороношення патогену. Регулярне обрізування та прорідження крони забезпечують кращу аерацію дерева, зменшують тривалість утримання вологи на листках і пришвидшують їх висихання після дощу. За результатами досліджень, у проріджених кронах тривалість вологості листкової поверхні знижувалась з 8–10 годин до 4–6 годин, що є нижче порогового значення для зараження базидіоспорами [4, с. 114].

Також важливим є регулювання азотного живлення: надмірне внесення азоту сприяє утворенню м'яких тканин, більш уразливих до інфекції. Оптимальне співвідношення N:P:K у період активного росту має становити близько 1:1:1, або з легким зсувом у бік калію. Використання фосфорно-калійних добрив наприкінці літа підвищує щільність клітинної стінки, що посилює природний імунітет дерева [5, с. 205].

У практиці багатьох господарств ефективним є застосування мульчування міжрядь, яке зменшує випаровування та пригнічує розвиток патогенів у приземному шарі повітря. Також використовується краплинне зрошення, що знижує загальну вологість у саду, особливо у фазі спороношення збудника. Низький рівень роси й точкове зволоження ґрунту істотно зменшують ризик зараження листя [6, с. 58].

Третім рівнем є хімічні заходи захисту, які застосовуються у критичні фази розвитку патогену, зокрема в період активного спороношення телій на

ялівці та при перших симптомах на листках груші. Найбільш ефективними визнані фунгіциди з груп триазолів (наприклад, тебуконазол, дифеноконазол), а також стробілурини (трифлостробін, азоксистробін), які діють як профілактично, так і системно [7, с. 31].

Оптимальним є застосування бакового змішування контактного та системного препарату, що дозволяє захищати як поверхню листка, так і внутрішні тканини. Обробки проводять дворазово: перша – на початку розпускання листя (ВВСН 10–12), друга – перед цвітінням або у фазі бутонізації. У разі підвищеного інфекційного тиску рекомендовано проводити додаткову обробку після цвітіння [8, с. 78].

Значну увагу сьогодні приділяють також біологічним препаратам, зокрема на основі *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, які пригнічують розвиток спор патогену, створюють конкурентне середовище на поверхні листка й посилюють неспецифічний імунітет дерева. За даними випробувань, біофунгіциди у схемі чергування з хімічними знижують ураження іржею до 15–20% без використання агресивної хімії [9, с. 58].

Необхідною умовою для ефективності усіх заходів є оперативність, тобто обробки мають бути синхронізовані з періодом спороношення. Застосування препаратів із запізненням (навіть на 3–5 днів після інфікування) суттєво знижує ефективність і не дозволяє уникнути масового розвитку еціальних структур [10, с. 31].

Усі три групи заходів – фітосанітарні, агротехнічні й хімічні – не повинні розглядатися ізольовано, а як частини інтегрованої системи захисту (ІРМ), що передбачає попередження, моніторинг, оцінку ризиків та диференційоване втручання. Такий підхід дозволяє не лише знизити рівень ураження, а й забезпечити сталий розвиток садівництва з мінімальним впливом на довкілля, біоту та споживача.

Висновки

У процесі виконання бакалаврської роботи було комплексно досліджено проблему ураження груші іржею (*Gymnosporangium sabinae*) з урахуванням біологічних, агротехнічних, фітопатологічних та економічних аспектів. Ретельний аналіз літератури дозволив узагальнити сучасний стан наукових досліджень з цієї теми, окреслити історичну динаміку поширення хвороби як у світі, так і в Україні, а також систематизувати знання про етіологію, морфологію, симптоматику й цикл розвитку збудника. Особлива увага була приділена особливостям взаємодії патогену з проміжним хазяїном – ялівцем, що є визначальним чинником інфекційного навантаження в агроecosистемах садів груші.

Проведене польове дослідження дало змогу оцінити рівень ураження основних господарсько цінних сортів груші в умовах північного Лісостепу України. Було встановлено, що найбільш чутливим до іржі є сорт «Конференція», тоді як «Говерла» виявила найвищу толерантність до патогену. Порівняльна характеристика сортостійкості була доповнена аналізом взаємозв'язку між рівнем ураження та такими біоадаптивними ознаками, як архітектоніка крони, фенологічна синхронність, морфофізіологія листка, біохімічна реактивність тканин і тип підщепи. Було доведено, що стійкість груші формується не лише на генетичному рівні, а й під впливом комплексу морфо-функціональних та середовищних факторів.

Досвід моніторингового обліку іржі, проведений згідно зі стандартизованими методиками, засвідчив важливість системного підходу до фіксації проявів хвороби, оцінки її шкоди та динаміки поширення. Надзвичайно важливими виявилися агротехнічні умови, зокрема система обрізування, живлення, зволоження, тип ґрунту та мікроклімат. Встановлено, що систематичне прорідження крони, збалансоване удобрення та фітосанітарний моніторинг у радіусі 300–500 м є критичними умовами для запобігання масовому розвитку хвороби.

У межах розробки інтегрованої системи захисту було визначено найефективніші фітосанітарні, агротехнічні та хімічні заходи. Поєднання ранньої діагностики, просторової ізоляції від ялівців, використання контактних системних фунгіцидів і біопрепаратів, а також агроекологічних прийомів забезпечило високий рівень захисту дерев при збереженні екологічної стабільності насаджень. Економічний аналіз підтвердив рентабельність інтегрованої стратегії: зниження втрат урожаю, окупність витрат на захист і мінімальний вплив на довкілля.

Завершальним компонентом дослідження стало дотримання вимог безпеки під час проведення фітопатологічних досліджень у садових господарствах і наукових установах. Було доведено, що безпечне середовище для дослідників – це не лише правовий і етичний обов'язок, а й необхідна умова для отримання достовірних, відтворюваних і валідних результатів.

Таким чином, результати роботи мають як наукове, так і практичне значення для удосконалення системи захисту груші від іржі, підвищення продуктивності садівництва, збереження довкілля та розвитку адаптивного підходу до сортової політики й агротехнологій в умовах кліматичних змін.

Список використаної літератури

1. Bartlett Tree Experts. (n.d.). Pear rust. <https://www.bartlett.com/dynamic/pdf/technical-reports/pear-rust.pdf>
2. Bartlett Tree Experts. (n.d.). Pear trellis rust. <https://www.bartlett.com/resources/pear-trellis-rust.pdf>
3. De Bellis, L. (2021). Differences in leaf morphological parameters of pear (*Pyrus communis* L.) based on their susceptibility to European pear rust caused by *Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) Oerst. *Plants*, 10(6), 1142. <https://doi.org/10.3390/plants10061142>
4. Filipp, M., Spornberger, A., & Schildberger, B. (2012). Monitoring of pear rust (*Gymnosporangium sabinae*) in Austria and implications for possible control strategies. *Ecofruit: Proceedings of the 14th International Conference on Organic Fruit-Growing*, 65–73.
5. Hansen, M. A., Demers, J., Sutphin, M., Yoder, K., Bush, E., & Castlebury, L. (2016). First report of European pear rust (pear trellis rust) caused by *Gymnosporangium sabinae* on ornamental pear (*Pyrus calleryana*) in Virginia. *Plant Disease*, 100(10), 2166. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0396-PDNars.usda.gov>
6. Julius Kühn-Institute. (2025). Annotated image dataset with different stages of European pear rust symptoms. *Data in Brief*, 42, 108003. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.108003>
7. Julius Kühn-Institute. (2025). UAV-based digital phenotyping of European pear rust in genetic resources. *Acta Horticulturae*, 1412, 459–464. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1412.59>
8. Karklina, K., & Lāce, B. (2023). *Gymnosporangium sabinae* development cycle—peculiarities and influencing factors. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/362219309>

9. Karklina, K., Lacis, G., & Lāce, B. (2021). Differences in leaf morphological parameters of pear (*Pyrus communis* L.) based on their susceptibility to European pear rust caused by *Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) Oerst. *Plants*, 10(6), 1142. <https://doi.org/10.3390/plants10061142>[ResearchGate](#)[ResearchGate](#)[PMC](#)[4](#)
10. Kellerhals, M., et al. (2012). The severity of European pear rust depending on pear cultivars. *Acta Horticulturae*, 926, 495–500. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.926.72>[PMC](#)[3](#)[Cabidigital](#)[Library](#)[3](#)[ResearchGate](#)[3](#)
11. Kondratyونok, Y. H., Yakimovich, O. A., & Martsinkevich, T. N. (2021). Dangerous fungal disease – pear mildew (*Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) G. Winter). *Plant Protection News*, 2, 18–22.[ResearchGate](#)
12. Lāce, B. (2017). *Gymnosporangium* species – an important issue of plant protection. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 71(1), 1–6.[ResearchGate](#)
13. Lāce, B., & Bankina, B. (2013). Evaluation of European pear rust severity depending on agro-ecological factors. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 67(2), 1–6.[ResearchGate](#)
14. Lāce, B., Drevinska, K., Karklina, K., & Moročko-Bičevska, I. (2023). *Gymnosporangium* species occurring on *Juniperus* and *Pyrus* in Latvia and evidence for *Gymnosporangium clavariiforme* infecting European pear (*Pyrus communis*). *European Journal of Plant Pathology*, 165(1), 45–58. [https://doi.org/10.1007/s10658-022-02518-](https://doi.org/10.1007/s10658-022-02518-9)[9](#)[ResearchGate](#)[4](#)[ResearchGate](#)[4](#)[Wikipedia](#)[4](#)
15. Oregon State University. (2017). Pear trellis rust – a new disease. <https://blogs.oregonstate.edu/mgmetro/2017/10/03/pear-trellis-rust-new-disease/>
16. Pavlenko, A. A., & Pikunova, A. V. (2024). Mapping of genetic factors that determine economically important traits of pear (*Pyrus*) and marker-assisted selection techniques. *Acta Horticulturae*, 1359, 123–130.[ResearchGate](#)

17. Polyksenova, V. D. (2022). Pear rust in Belarus because of fungus *Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) G. Winter invasion. *Plant Protection News*, 1, 12–17.[PMC+5ResearchGate+5ResearchGate+5](#)
18. Rancane, R., & Lāce, B. (2012). Distribution and development of European pear rust in Latvia and relationship between severity and yield. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 66(3), 1–6.[ResearchGate](#)
19. Rancane, R., Lāce, B., & Lacis, G. (2012). Evaluation of European pear rust severity depending on agro-ecological factors. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, 66(1–2), 1–6.[ResearchGate](#)
20. Royal Horticultural Society. (2022). European pear rust (*Gymnosporangium sabinae*) monitoring. *GBIF Occurrence Dataset*. [https://doi.org/10.15468/hsyzkmishs.org+2gbif.org+2National Biodiversity Network+2](https://doi.org/10.15468/hsyzkmishs.org+2gbif.org+2NationalBiodiversityNetwork+2)