

УДК 635.64:635.25:635.65 (470.44)

DOI: 10.37128/2707-5826-2024-4-12

**ОЦІНКА СТУПЕНЯ УРАЖЕННЯ
РОСЛИН ТОМАТІВ ФІТОФТОРОЗОМ
ЗА ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ
ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ
ХЛОРОФІЛУ**

О. ГУМЕНЮК, аспірант

Вінницький національний
аграрний університет

Стаття присвячена дослідженню питання діагностування ураження асиміляційної поверхні томатів фітофторозом на підставі детального аналізу діяльності фотосистеми рослин з позиції підходу до патогена як стресового фактору у реалізації фотохімічних варіантів сигнальної системи рослин.

У статті акцентовано увагу на особливість розвитку основних хвороб томатів з огляду на специфіку ростових і фізіологічних процесів рослин в умовах закритого ґрунту із зростаючими ризиками інтенсивності поширення інфекції та формування сприятливих умов у розвитку патогена за рахунок позитивних градієнтів температури, вологості та стану провітрюваності агроценозу.

Висвітлено результати дворічного циклу досліджень застосування портативного флуориметра «Флоратест» українського виробництва для пошуку взаємозв'язку між явищем флуоресценції хлорофілу та ступенем ураження листкового апарату рослин томатів шляхом вимірювань інтенсивності процесу на непорушених (не відділених листках) після їх тіньової адаптації протягом 10 хвилин з графічною фіксацією результатів за щосекундної фіксації процесу у 90 секундному інтервалі.

Було застосовано градаційну систему співставлення вимірювань із підбором листків різного ступеня пошкодження від 0% ураження (базовий контроль) до ураження на рівні 60% (гранична шкодочинність фітофтори для умов закритого ґрунту).

За результатами усереднених дворічних обліків встановлено достовірну чутливість методу для оцінки ступеня стрес-реакції листкового апарату томатів на початкових етапах зараження збудником фітофтори за рубіжного обліку параметрів на 3% рівневі ураження у співставленні до отриманих кривих флуоресценції хлорофілу на кривих Каутського, які було використано як абсолютний еталонний контроль у досліді.

Застосування базових параметрів кривої флуоресценції хлорофілу (початкова флуоресценція (F_0), флуоресценція зони плато (F_{pl}), максимальна флуоресценція F_m та флуоресценція стаціонарного рівня F_{st}) дозволило визначити градієнт-реакцію фотосистеми рослин томату на інтенсифікацію розвитку патогена в обліковій шкалі ураження та отримати індемичні криві флуоресценції хлорофілу для кожної облікової градації ступеня ураження.

За результатами оцінки похідних показників аналізу флуоресценції хлорофілу відповідно до положень європейського протоколу його примінення визначено основні тенденції реакції асиміляційної системи на проникнення та розвиток патогена фітофторозу. Відмічено, зниження основних ефективних фізіологічних фотохімічних процесів листкового апарату томату з огляду на зростання на 1% ступеня ураження із середнім градієнтом на рівні 1,35% на 1% ураження листка за загального підвищення ступеня гасіння фотосистеми рослин на 1,29%.

Ключові слова: *томати, флуоресценція хлорофілу, ураження, патоген, фотосистема рослин.*

Табл. 2. Рис. 3. Літ. 15.

Постановка проблеми. Хвороби томата є одним із вагомих обмежуючих факторів його вирощування [1]. За рахунок розвитку хвороб загальне зниження урожаю томатів може сягнути позначки у 70 і навіть 100% [2]. При цьому з переліку хвороб листя, стеблової та кореневої частин, плоду – найбільш

небезпечними є хвороби листкового апарату рослин, які часто не мають вузької облігатності та можуть легко переходити на генеративну частину та плоди [3]. Особливо ця проблема актуалізується за вирощування томатів у закритому ґрунті. Це пов'язано з відповідними умовами температури та вологості, що у багатьох випадках створює оптимальні умови для циклу біологічного розвитку збудників хвороб та створює передумови для інтенсифікації протікання захворювань та їх інтенсивного поширення [3]. У підсумку інтенсивність протікання захворювання часто в умовах закритого ґрунту для хвороб пов'язаних із листковим апаратом рослин томатів істотно вища, ніж це характерно для варіантів технологій вирощування на відкритому ґрунті [1].

З огляду на ці чинники, важливим і актуальним залишається своєчасна діагностика захворювань рослин томатів особливо на ранніх стадіях зараження, що дає можливість сформулювати ефективну тактику їх контролю та застосування відповідного арсеналу засобів захисту з огляду на тип теплиці, характер поливів та варіацію технологій вирощування культури з врахуванням видів зелених операцій та системи живлення [4]. Відмічається [5], що такий підхід дозволяє істотно обмежити швидкість поширення будь-якого захворювання в агрофітоценозі теплиці та істотно знизити ступінь ураження рослин [2].

З врахуванням вище сказаного, важливим є вибір способу діагностування ураження, який поряд із надійністю дозволяв робити це на початку появи ознак захворювання на фоні малопомітної симптоматики [5]. Це гарантувало б реалізацію очікуваної потенційної успішності заходів захисту та запровадження санітарно-захисних заходів, які б у підсумку сприяли б досягнення відповідних рівнів біологічної та технічної ефективності застосованих заходів захисту рослин [1].

У практиці фітопатології з цієї позиції ефективним є два традиційних підходи. Один із них передбачає постійний моніторинг за станом рослин з оціркою можливого ураження за органолептичною симптоматикою розвитку того чи іншого захворювання, інший – застосування ранніх методів виявлення на основі появи сигнальних речовин різної хімічної природи у клітинному соці рослини-хазяїна на підставі досить складного методу тканинної діагностики [4]. Перший із методів не завжди дозволяє забезпечити відповідну надійність, оскільки захворювання томатів мають відповідні приховані стадії від ураження до явних фенотипічних ознак реакції організму рослин на збудника хвороби, що дозволяє його ідентифікувати до часу, коли він уже перебуває в організмі рослини-хазяїна і його поширення в самій рослині є вже на стадії інтенсивного поширення [1]. Другий спосіб є досить дорогавартісним і потребує відповідного інноваційного лабораторного обладнання, використання якого сьогодні доступне тільки великотоварним тепличним господарствам, або ж науковим установам, які займаються проблематикою фітопатологічного контролю рослин в умовах закритого ґрунту [5]. Це все спонукало до пошуку методологічних альтернатив. Серед таких альтернатив в останніх 10 років вивчається можливість застосування методу індукції флуоресценції хлорофілу як індикативної системи будь-кого

порушення в діяльності фотосистеми рослин викликаного факторами біологічного, фізіологічного та механічного рівнів. Тобто від простого механічного пошкодження частини асиміляційної поверхні рослин, або ж порушення асиміляції за рахунок збудників хвороб різного джерела інфікування від бактеріального до вірусного [7]. Застосування цього методу тільки набирає популярності у фітопатологічних дослідженнях і є перспективним для апробації та дослідження для галузі овочівництва закритого ґрунту [8].

Разом із тим, слід зауважити, що серед хвороб томатів фітофтороз (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) є одним із найбільш поширених і одним із самих шкодочинних захворювань, яке проявляється за всіх варіантів технологій вирощування томатів як в умовах відкритого, так і в умовах закритого ґрунту із рівнем біологічної шкодочинності зниження урожайності в інтервалі 50–100% [1]. У багатьох випадках саме фітофтора є лімітуючим чинником тривалості плодоношення та якості зібраних плодів, урожайності одиниці площі теплиці та потреби у проведенні заміни ґрунтового субстрату теплиць, додаткових заходів дезінфекції приміщень тощо [2]. При цьому, умови режимів теплиць за вирощування томатів є сприятливими для розвитку даного захворювання та швидкого його поширення у межах штучних агроценозів томату закритого ґрунту особливо у варіантах біологізованих систем захисту з відповідним обмеженням застосування фунгіцидів класичних антифітофторозних препаратів хімічного походження.

З огляду на це, надійна критерійна діагностика ураження фітофторозом томатів на ранніх стадіях – запорука успішного і рентабельного пасльонованого овочівництва регіону. Саме це було одним із завдань досліджень у плані виконання дисертаційного дослідження вдосконалення системи біологічного захисту томата в умовах захищеного ґрунту Лісостепу правобережного України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначено, що умови закритого ґрунту є оптимальним біологічним середовищем для розвитку грибкових, бактеріальних та вірусних хвороб овочевих культур у тому числі і томатів [1] (рис. 1). Вказується на те, що успішність контролю фітофторозу в значній мірі визначається строками ідентифікація збудника. При цьому важливим є виявлення його на ранніх стадіях зараження [3].

Повідомляється, що фітофтора впливає на ефективність функціонування фотосистеми рослин за рахунок активного враження асиміляційної паренхіми, що обумовлює зниження інтенсивності як світлових, так і темнових реакцій фотосинтезу та реакції хлорофілу на фотохімічне збудження [5]. Встановлено істотне зниження ефективності функціонування асиміляційної поверхні рослин томатів за ураження поверхні листка вже на рівні 20% [4].

Доведено ефективність застосування методу індукції флуоресценції хлорофілу для ідентифікації стресового стану рослин у тому числі зумовленому реакцією на пошкодженнями шкідниками та ураження хворобами [7–11].



Рис. 1. Ознаки ураження листків томатів збудником фітофторозу (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) (власні фото автора).

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень

Підтверджено ефективність використання флуорометрії для ідентифікації наявності грибкової, бактеріальної та вірусної інфекції за рахунок аналізу кривих флуоресценції хлорофілу з огляду на стандартизовані протоколи аналізу кривих Каутського [8].

Таким чином, з огляду на вище викладені узагальнення є необхідність у вивченні можливостей застосування методу флуоресценції хлорофілу для ідентифікації ступеня ураження асиміляційного апарату томатів за їх вирощування у закритому ґрунті.

Умови та методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2024 рр. в умовах ТОВ «ОВОЧЕВИЙ КОМБІНАТ СТАНИШІВКА» (Житомирська обл. Житомирський р-н с. Станишівка). Загальна площа теплиці 6 га. Томат вирощують в другому культуробороті на мінеральній ваті, використовують крапельний полив. Посадку розсади томату проведено 24 червня. Схема посадки 2,5 рослини на м². У дослідженнях використано гібрид Лілос.

Облік показників флуоресценції хлорофілу було проведено на варіантах ураження (відповідно до [5]) – без ознак ураження, початок ураження (3%), легка ступінь ураження (до 12 %), середня ступінь ураження (до 40%), висока ступінь ураження (до 60%) (рис. 2).

Для обліку показників індукції флуоресценції хлорофілу застосовано портативний флуорометр «Флоратест» з врахуванням стандартизованих методик його застосування [12–13] при експозиції вимірювання 3 хвилини із тривалістю фіксації 90 секунд (посекундна реєстрація). В обліку було використано 25 листків з кожної градації ураження при темновій адаптації листків 10 хвилин.

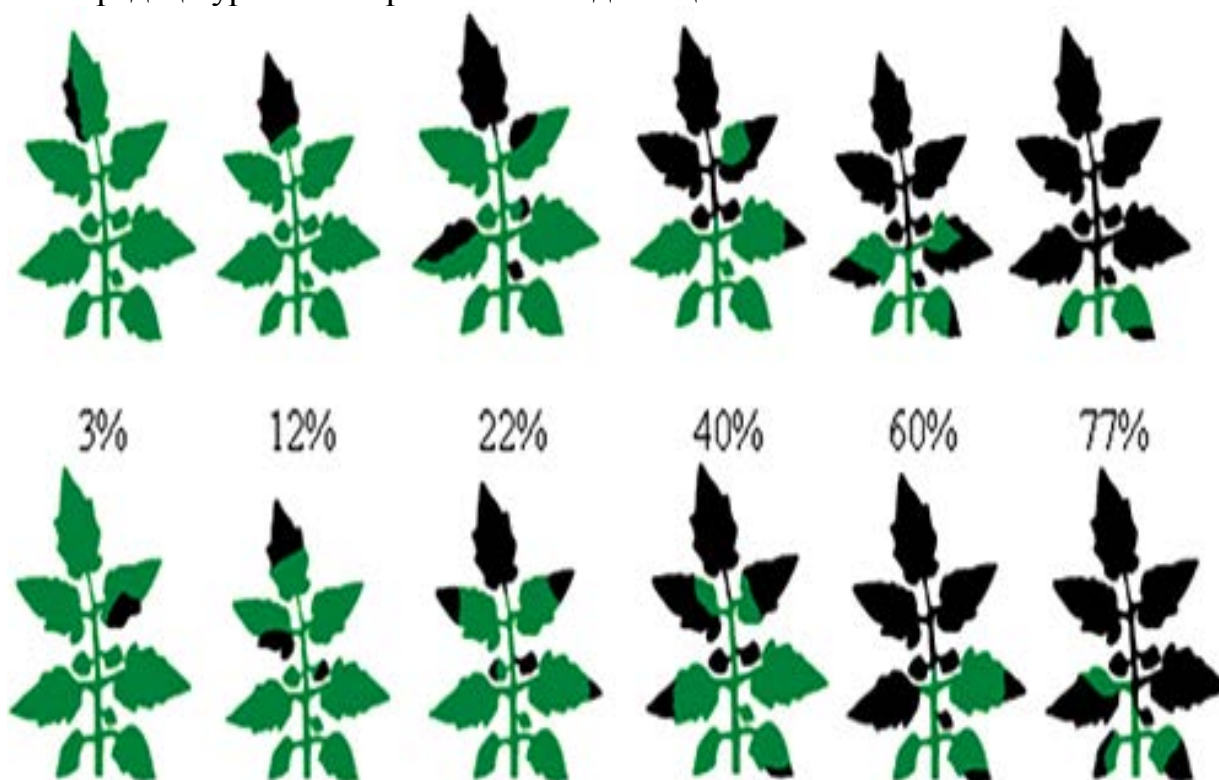


Рис. 2. Шкала яку було використано для визначення ступеня ураження листків томатів фітофторою (відповідно до [8]) (верхня та нижня позиція візуальна градація ураження у межах листка томатів)

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень

Обліковували базові показники кривої індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) [12, 14–15]: F_0 – початкова мінімальна флуоресценція, F_{pl} – значення показника флуоресценції для зони «плато», F_m – максимальна флуоресценція, F_{st} флуоресценція стаціонарного стану кривої.

Розрахунок похідних показників кривої флуоресценції хлорофілу проводили за показниками згрупованими у дослідженнях [14, 15]. Перелік цих показників представлено у таблиці 1.

Виклад основного матеріалу досліджень. Отримані результати у середньому за два роки досліджень підтвердили негативний вплив збудника фітофтори на функціонування фотосистеми асиміляційного апарату рослин томатів.

Таблиця 1

Розрахункові показники кривої флуоресценції хлорофілу на основі базових значень кривої (подано згідно досліджень) [14, 15]

| Індекси кривої ІФХ | Формули для визначення |
|---|--|
| Зростання флуоресценції | $dF_{pl} = F_{pl} - F_0$ |
| Максимальна змінна флуоресценція | $F_v = F_m - F_0$ |
| Індекс впливу екзогенних та ендогенних факторів | $\frac{dF_{pl}}{F_v}$ |
| Фотохімічна (квантова) ефективність (EP) | $EP = \frac{F_v}{F_m}$ |
| Фотохімічне гасіння (Q_{ue}) | $Q_{ue} = \frac{F_0}{F_v}$ |
| Водний потенціал листка (L_{wp}) | $L_{wp} = \frac{F_m}{F_0}$ |
| Індекс життєздатності рослин (RF_d) | $RF_d = \frac{F_m - F_{st}}{F_{st}}$ |
| Індикатор ендогенних (стресових) факторів (K_{ef}) | $K_{ef} = \frac{F_{st}}{F_m}$ |
| Величина фотохімічного гасіння флуоресценції (QP) | $QP = \frac{F_m - F_{st}}{F_m - F_0}$ |
| Індекс ефективності первинних реакцій фотосинтезу (K_{ppp}) | $K_{ppp} = \frac{F_v}{F_0}$ |
| Коефіцієнт згасання флуоресценції (K_{fd}) | $K_{fd} = \frac{F_m}{F_{st}}$ |
| Відносна зміна флуоресценції в момент часу t (V_t) | $V_t = \frac{F_{st} - F_0}{F_m - F_0}$ |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень

При цьому окрім загальних органолептичних ознак, яким супроводжується процес інфікування та відповідної втрати овочевої продуктивності рослин, що є предметом окремого вивчення в межах дослідження за вирощування томату у закритому ґрунті, встановлено зростаючу редуційну реакцію фотосистеми і томатів на зростання ступеня ураження листкового апарату в інтервалі 0–60% (рис. 3).

Виходячи із закономірностей складових кривої Каутського [15] встановлено, що зростання пошкодженості змінює всі основні базові показники як початкової флуоресценції так і стаціонарного її рівня за зниження загальної амплітуди кривої в ординатному положенні. При цьому встановлено що на початкових етапах ураження (3%) спостерігався зворотний загальний ефект змін кривої флуоресценції хлорофілу у співставленні до варіанту за повної відсутності ознак ураження (0%). Такий характер пояснюється відміченим у ряді досліджень сигнальним варіантом реакції на інвазію [8, 10] що зумовила зростання інтенсивності флуоресценції за початковим її значенням (F_0) та за показником флуоресценції зони плато F_{pl} на 5,3 відносних одиниць еталона флуоресценції на 1% додаткового ураження. Зростання показника максимальної флуоресценції було відмічено у значенні 37,3 відносних

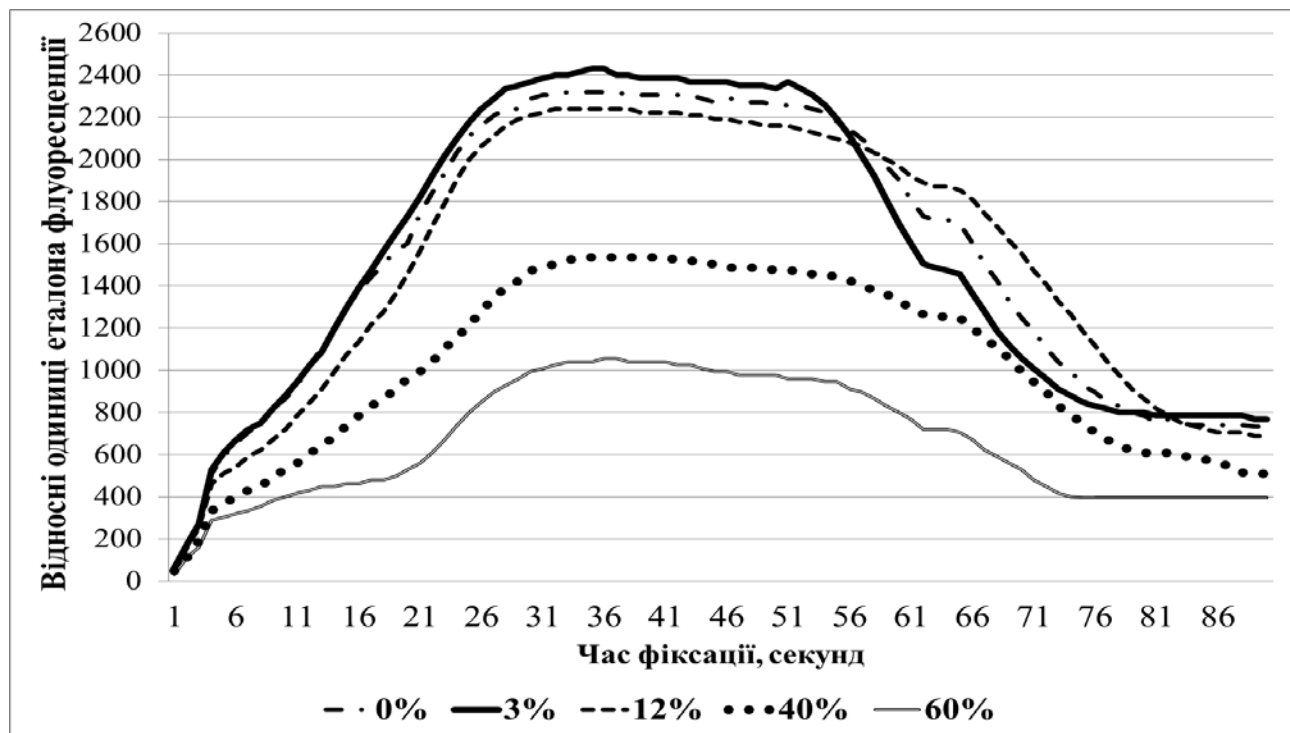


Рис. 3. Крива флуоресценції хлорофілу листків томату сорту Лілос залежно від ступеня їх ураження фітофторою, 2023–2024 р.

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень

одиниць еталона флуоресценції на 1% додаткового ураження, а аналогічний показник для періоду стаціонарної флуоресценції склав 12 відносних одиниць еталона флуоресценції. При цьому змінився динамізм самої кривої на відрізку $F_m - F_{st}$ із зростанням площі кривої над даним відрізком на 8,9%. На підставі цього (та з врахуванням [7]) явище індукції флуоресценції хлорофілу має істотну чутливість для ідентифікації ураження на початкових його етапах в силу визначених відмінностей характерних для нормального стану листкового апарату томатів. За загального зростання ординатного положення кривої флуоресценції хлорофілу розрахунок похідних показників дозволив оцінити певну специфічність початкових стрес-реакцій рослин томату на ініціацію зараження листків (табл. 2).

Так, відмічено підвищення фотохімічної ефективності фотосистеми на 1,5% за зростання оводненості листка (L_{wp}) на 1,7%. При цьому досягнуто зниження рівня фотохімічного гасіння на 2,1% на фоні зростання ефективності первинних реакцій фотосинтезу на 2,1% та зростання зміни флуоресценції за період часу (V_t) на 3,6%. Цікаво що індекс життєздатності листка (RF_d) залишився беззмінним. Тобто у томатів за початкового ураження листків фітофторою формується процес захисної фотохімічної реакції величину і амплітуду якого можна віднести до оцінки стійкості генотипи, що потребує додаткового вивчення та узагальнення.

Подальше зростання відсотка ураження листка зумовило зворотні процеси. Відмічено послідовне зменшення базових показників кривої флуоресценції хлорофілу у співставленні 3% ураження та послідуєчих його дослідних градацій.

Таблиця 2

Основні та похідні показники кривої флуоресценції хлорофілу залежно від ступеня ураження листків томатів сорту Лілос, 2023–2024 р., відносні одиниці еталона флуоресценції

| Ступінь ураження листя, % | F ₀ | F _{pl} | F _m | F _{st} | dF _{pl} | F _v | dF _{pl} /F _v | EP |
|---------------------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------|
| 0 | 512 | 656 | 2320 | 732 | 144 | 1808 | 0,080 | 0,779 |
| 3 | 528 | 672 | 2432 | 768 | 144 | 1904 | 0,076 | 0,783 |
| 12 | 498 | 544 | 2240 | 688 | 46 | 1742 | 0,026 | 0,778 |
| 40 | 400 | 425 | 1536 | 508 | 25 | 1136 | 0,022 | 0,740 |
| 60 | 356 | 371 | 1056 | 398 | 15 | 700 | 0,021 | 0,663 |
| D | L _{wp} | Q _{ue} | RF _d | K _{ef} | QP | K _{ppp} | K _{fd} | V _t |
| 0 | 4,53 | 0,283 | 0,684 | 0,316 | 0,878 | 3,531 | 3,169 | 0,122 |
| 3 | 4,61 | 0,277 | 0,684 | 0,316 | 0,874 | 3,606 | 3,167 | 0,126 |
| 12 | 4,50 | 0,286 | 0,693 | 0,307 | 0,891 | 3,498 | 3,256 | 0,109 |
| 40 | 3,84 | 0,352 | 0,669 | 0,331 | 0,905 | 2,840 | 3,024 | 0,095 |
| 60 | 2,97 | 0,509 | 0,623 | 0,377 | 0,940 | 1,966 | 2,653 | 0,060 |
| HP ₀₅ | F ₀ | A 4,33; B 3,22 C 3,22; D 5,08; AB 6,41; AC 6,41; AD 9,73; BC 5,08; BD 7,71; CD 7,71; ABC 9,73; ABD 14,29; ACD 14,24; BCD 11,44; ABCD 20,74 | | | | | | |
| | F _{pl} | A 4,56; B 3,48; C 3,48; D 5,46; AB 6,98; AC 6,98; AD 10,42; BC 5,46; BD 8,27; CD 8,27; ABC 10,42; ABD 15,27; ACD 15,27; BCD 12,23; ABCD 22,13 | | | | | | |
| | F _m | A 16,27; B 13,02; C 13,02; D 19,00; AB 23,58; AC 23,58; AD 32,93; BC 19,00; BD 27,45; CD 27,45; ABC 33,93; ABD 48,57; ACD 48,57; BCD 39,40; ABCD 69,26 | | | | | | |
| | F _{st} | A 2,50; B 1,74; C 1,74; D 3,13; AB 4,19; AC 4,19; AD 6,59; BC 3,13; BD 5,09; CD 5,09; ABC 6,59; ABD 9,98; ACD 9,98; BCD 7,86; ABCD 14,78 | | | | | | |

Джерело: сформовано автором на основі власних досліджень

Так послідовна динаміка показника початкової флуоресценції (F₀) у виразі зниження відносних одиниць флуоресценції на 1% зростання ураження мало наступний вигляд 3,33–3,50–2,20. Для показника флуоресценції зони плато (F_{pl}) 14,22–4,25–2,70. Для максимальної флуоресценції (F_m) 21,33–25,14–24,0 та для рівня стаціонарної флуоресценції 8,89–6,43–5,50. Тобто максимальна редукція стосувалась саме показника максимальної флуоресценції що негативно відобразилось на загальній ефективності фотосистеми листка та виражених супутніх реакціях взаємодії патогена та асиміляційної паренхімної тканини у виразі стрес-реакцій відповідного рівня. Зокрема, відмічено у середньому за два роки оцінок зниження на 1% зростання ураження листка фотохімічної ефективності фотосистеми (EP) листка на 0,2%, водного потенціалу листка (L_{wp}) на 2,9%, індексу життєздатності рослини (RF_d) на 0,1%, ефективність первинних реакцій фотосинтезу (K_{ppp}) на 3,2%, швидкості зміни фотохімічних реакцій на 0,32% на фоні загального зростання ефектів фотохімічного гасіння у середньому на 0,43%.

При цьому динаміка спаду мала найбільший індекс співвідносної динаміки саме в інтервалі ураження 13–40% та істотно нижче значення в інтервалі 40–60%. На підставі чого можна стверджувати що поріг ушкодження у значенні 40% є критичним для рослин томатів сорту Лілос з позиції впливу на реалізацію

фізіологічних асиміляційних фотохімічних перетворень необхідних для ростових процесів та формування плодів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Таким чином, отримані результати дають підстави рекомендувати до застосування метод флуоресценції хлорофілу для оцінки ступеня ураження асиміляційної поверхні томатів та прогнозованих наслідків такого ураження а також на можливість його застосування у системі ранньої діагностики фізіологічного стану рослин томатів з можливою оцінкою нормальності та відхилення від стану фізіологічної сталості рослин.

Перспективами подальших досліджень є з'ясування і конкретизація реакцій у зміні діяльності фотосистеми рослин томату за надраннього ураження асиміляційної поверхні, що буде цінним напрацюванням у розробці прогностичних систем захисту томатів від хвороб в умовах закритого ґрунту.

Список використаної літератури

1. Пінчук Н.В., Вергелес П.М., Коваленко Т.М., Окрушко С.Є. Загальна фітопатологія: Навч. посіб. Вінниця, 2018. 272 с.
2. Кулешов А.В., Білик М.О., Довган С.В. Фітосанітарний моніторинг і прогноз: навч. посіб. [2–ге вид.] Харків: Espada, 2011. 509 с.
3. Голячук Ю.С., Лісовий М.П. Життєвий цикл гриба *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Збудник фітофторозу в умовах Західного Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2009. № 10. С. 12–15.
4. Годлевська О.О., Залоїло І.А., Кожем'яко Я.В., Посудін Ю.І. Застосування портативного флуориметра для оцінювання резистентності рослин до біотичних факторів. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. Вип. 161. С. 217–225.
5. Ivanov A.A., Ukladov E.O., Golubeva T.S. *Phytophthora infestans*: An Overview of Methods and Attempts to Combat Late Blight. *Fungi*. 2021. Vol. 7. P. 1071. DOI: 10.3390/jof7121071.
6. Stevenson W.R., Jones J.P., Stall R.E., Zitter T.A. Bacterial rot and *Phytophthora*. Compendium of Tomato Diseases. *American Phytopathological Society Press*, St. Paul, 73. URL : [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1744936](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1744936).
7. Park B., Wi S, Chung H, Lee H. Chlorophyll Fluorescence Imaging for Environmental Stress Diagnosis in Crops. *Sensors*. 2024. Vol. 24 (5). P. 1442. DOI: 10.3390/s24051442.
8. De Oliveira Dias F., Magalhães Valente D.S., Oliveira C.T., Dariva F.D., Copati M.G.F., Nick C. Remote sensing and machine learning techniques for high throughput phenotyping of late blight-resistant tomato plants in open field trials. *International Journal of Remote Sensing*. 2023. Vol. 44 (6). P. 1900–1921. DOI: 10.1080/01431161.2023.2192878.
9. Suárez J.C., Vanegas J.I., Contreras A.T., Anzola J.A., Urban M.O., Rao I.M. Chlorophyll Fluorescence Imaging as a Tool for Evaluating Disease Resistance

of Common Bean Lines in the Western Amazon Region of Colombia. *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11 (10). 1371 p. DOI: 10.3390/plants11101371.

10. Rolfe S.A., Scholes J.D. Chlorophyll fluorescence imaging of plant–pathogen interactions. *Protoplasma*. 2010. Vol. 247. P. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0203-z>.

11. Baghbani F., Lotfi R., Moharramnejad S. Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *European Journal of Plant Pathology*. 2019. Vol. 154, Issue 2. P. 337–346. DOI: 10.1007/s10658-018-01659-x.

12. Ковирьова О.В. Методи обробки вимірів кривих індукції флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2014. № 13. С. 117–124.

13. Портативний флуорометр «Флоратест» (настанова з експлуатації). Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України. 2011. 27 с.

14. Цицюра Я.Г., Томчук О.М. Індикація системи живлення ріпаку озимого за показниками індукції флуоресценції хлорофілу. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 110–117. DOI: 10.32848/agrар.innov.2023.21.17.

15. Brestic M., Zivcak M. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in plants: protocols and applications. In: Rout G.R., Das A.B. (eds.) *Molecular stress physiology of plants*. Springer Dordrecht, 2013. P. 87–131. DOI: 10.1007/978-81-322-0807-5_4.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Pinchuk N.V., Verheles P.M., Kovalenko T.M., Okrushko S.Ie. (2018). *Zahalna fitopatolohiia [General phytopathology]*: Navch. posib. Vinnytsia. [in Ukrainian].

2. Kuleshov A.V., Bilyk M.O., Dovhan S.V. (2011). *Fitosanitarnyi monitorynh i prohnoz: navch. Posib [Phytosanitary monitoring and forecasting: a manual]*. [2–he vyd.] Kharkiv: Espada. [in Ukrainian].

3. Holiachuk Yu.S., Lisovyi M.P. (2009). *Zhyttievyyi tsykl hryba Phytophthora infestans (Mont) de Bary. Zbudnyk fitoftorozy v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Life cycle of the fungus Phytophthora infestans (Mont) de Bary. The causative agent of late blight in the Western Forest-Steppe of Ukraine]*. *Karantyn i zakhyst roslyn – Quarantine and plant protection*. № 10. 12–15 [in Ukrainian].

4. Hodlevska O.O., Zaloilo I.A., Kozhemiako Ya.V., Posudin Yu.I. (2011). *Zastosuvannya portatyvnoho fluorymetra dlia otsiniuvannya rezystentnosti roslyn do biotychnykh faktoriv [Application of a portable fluorometer for evaluation of plant resistance to biotic factors]*. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine*. Issue 161. 217–225. [in Ukrainian].

5. Ivanov A.A., Ukladov E.O., Golubeva T.S. (2021). *Phytophthora infestans: An Overview of Methods and Attempts to Combat Late Blight*. *Fungi*. Vol. 7.

P. 1071. DOI: 10.3390/jof7121071 [in English].

6. Stevenson W.R., Jones J.P., Stall R.E., Zitter T.A. (1991). Bacterial rot and Phytophthora. Compendium of Tomato Diseases. *American Phytopathological Society Press*, St. Paul, 73. URL : [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1744936](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1744936). [in English].

7. Park B, Wi S, Chung H, Lee H. (2024). Chlorophyll Fluorescence Imaging for Environmental Stress Diagnosis in Crops. *Sensors*. Vol. 24 (5). P. 1442. DOI: 10.3390/s24051442. [in English].

8. De Oliveira Dias F., Magalhães Valente D.S., Oliveira C.T., Dariva F.D., Copati M. G.F., Nick C. (2023). Remote sensing and machine learning techniques for high throughput phenotyping of late blight-resistant tomato plants in open field trials. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 44 (6). P. 1900–1921. DOI: 10.1080/01431161.2023.2192878 [in English].

9. Suárez J.C., Vanegas J.I., Contreras A.T., Anzola J.A., Urban M.O., Beebe S.E., Rao I.M. (2022). Chlorophyll Fluorescence Imaging as a Tool for Evaluating Disease Resistance of Common Bean Lines in the Western Amazon Region of Colombia. *Plants (Basel)*. Vol. 11 (10). P. 1371. DOI: 10.3390/plants11101371 [in English].

10. Rolfe S.A., Scholes J.D. (2010). Chlorophyll fluorescence imaging of plant–pathogen interactions. *Protoplasma*. Vol. 247. P. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0203-z> [in English].

11. Baghbani F., Lotfi R., Moharramnejad S. (2019). Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *European Journal of Plant Pathology*. Vol. 154. P. 337–346. DOI: 10.1007/s10658-018-01659-x [in English].

12. Kovyrova O.V. (2014). Metody obrobky vymiriv kryvykh induktsii fluorestsentsii khlorofilu [*Methods for processing measurements of chlorophyll fluorescence induction curves*]. *Kompiuterni zasoby, merezhi ta systemy – Computer facilities, networks and systems*. № 13. 117–124. [in Ukrainian].

13. Portatyvnyi fluorometr «Floratest» (nastanova z ekspluatatsii) (2011). [*Portable fluorometer “Floratest” (instruction manual)*]. Instytut kibernetiky imeni V. M. Hlushkova NAN Ukrainy. [in Ukrainian].

14. Tsytsiura Ya.H., Tomchuk O.M. (2023). Indykatsiia systemy zhyvlennia ripaku ozymoho za pokaznykamy induktsii fluorestsentsii khlorofilu [*Indication of winter rape nutrition system by chlorophyll fluorescence induction*]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*. № 21. 110–118. DOI: 10.32848/agrar.innov.21.17 [in Ukrainian].

15. Brestic M., Zivcak M. (2013). PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in plants: protocols and applications. In: Rout G. R., Das A. B. (eds.) *Molecular stress physiology of plants*. Springer Dordrecht. P. 87–131. DOI: 10.1007/978-81-322-0807-5_4 [in English].

ANNOTATION
**ASSESSMENT OF THE DEGREE OF DAMAGE OF TOMATO PLANTS BY LATE
BLIGHT USING THE METHOD OF INDUCTION OF CHLOROPHYLL
FLUORESCENCE**

The article is devoted to the study of the issue of diagnosing the damage to the assimilation surface of tomatoes by late blight based on a detailed analysis of the activity of the plant photosystem from the standpoint of the approach to the pathogen as a stress factor in the implementation of photochemical variants of the plant signaling system. The article focuses on the peculiarities of the development of major tomato diseases in view of the specificity of plant growth and physiological processes in closed ground conditions with increasing risks of the intensity of infection and the formation of favorable conditions for the development of the pathogen due to positive gradients of temperature, humidity and ventilation of the agroecosystem. The results of a two-year cycle of research on the use of a portable fluorometer "Floratest" of Ukrainian production to find the relationship between the phenomenon of chlorophyll fluorescence and the degree of damage to the leaf apparatus of tomato plants by measuring the intensity of the process on undisturbed (undetached) leaves after their shadow adaptation for 10 minutes with graphical recording of the results at a second-by-second fixation of the process in a 90-second interval are presented.

A graded system of comparison of measurements was used with the selection of leaves of different degrees of damage from 0% damage (baseline control) to 60% damage (the maximum damage of late blight for closed ground conditions).

According to the results of the averaged two-year records, a reliable sensitivity of the method for assessing the degree of stress response of the tomato leaf apparatus at the initial stages of infection with the late blight pathogen at the milestone parameter record for 3% level of damage was established in comparison with the obtained chlorophyll fluorescence curves on Kautsky curves, which were used as an absolute reference control in the experiment.

Application of the basic parameters of the chlorophyll fluorescence curve (initial fluorescence (F_0), plateau zone fluorescence (F_{pi}), maximum fluorescence F_m and steady-state fluorescence F_{st}) made it possible to determine the gradient response of the tomato plant photosystem to the intensification of pathogen development in the accounting scale of damage and to obtain index curves of chlorophyll fluorescence for each accounting gradation of damage.

Based on the results of the evaluation of derivative indicators of chlorophyll fluorescence analysis in accordance with the provisions of the European protocol for its application, the main trends in the reaction of the assimilation system to the penetration and development of the late blight pathogen were determined. It was noted that the main effective physiological photochemical processes of the tomato leaf apparatus decreased due to an increase in the degree of damage by 1% with an average gradient of 1.35% per 1% of leaf damage with a general increase in the degree of quenching of the plant photosystem by 1.29%.

Keywords: *tomatoes, chlorophyll fluorescence, lesion, pathogen, plant photosystem.*

Table 2. Fig. 3. Lit. 15.

Інформація про авторів

Гуменюк Олександр – аспірант кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин Вінницького національного аграрного університету. (Адреса: 21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 5/42, e-mail: gav2@bio-group.net, 0687134199).

Oleksandr Gumeniuk – PhD student at the Department of Botany, Genetics and Plant Protection of the Vinnitsia National Academy of Sciences. (21008, Vinnitsia, 5/42 Soniachna St., e-mail: gav2@bio-group.net, 0687134199).