

Г. Б. ГУЛЯЄВА, І. П. ТОКОВЕНКО, В. П. ПАТИКА

Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАНУ
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ МСП, Д03680

ЗМІНИ У ФОТОСИНТЕТИЧНОМУ АПАРАТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ДІЇ МІКОПЛАЗМИ *A. LAIDLAWII*

Наведено результати досліджень стану фотосинтетичного апарату рослин озимої пшениці сорту Смуглянка й динаміки індукційних змін флуоресценції хлорофілу за дії штучного інфікування *Acholeplasma laidlawii* шт. 118. Встановлено, що разом із інгібуванням росту пагонів рослин озимої пшениці, уражених ахолеплазмою та зменшенням площі листків, знижується вміст в них хлорофілу *a* і *b* при зростанні вмісту каротиноїдів, пригнічується активність термінальних оксидаз – каталази й пероксидази в листових пластинках. Показано поступове наростання процесів деградації пулу акцепторів хінонової природи ФСII, що беруть участь у лінійному транспорті електронів за збільшення пулу Qb-невідновлювальних комплексів, які в ньому участі не беруть. Встановлено суттєве зниження відносної кількості квантів світла, що залучаються у процесі темної фіксації вуглецю.

Ключові слова: *Acholeplasma laidlawii*, фітомікоплазмоз, *Triticum aestivum* L., озима пшениця, хлорофіл, флуоресценція хлорофілу

Важливим напрямком для вирішення проблеми захисту рослин від фітопатогенних мікроорганізмів при збереженні балансу складових агроєкосистем має дослідження фізіолого-біохімічних особливостей взаємодії фітопатогенних мікроорганізмів і рослин в системі хазяїн-фітопатоген і сорт-патоген-агрофітоценоз [1, 18]. Зокрема, заслуговує уваги розробка ранньої діагностики впливу фітопатогенних факторів на рослину і визначення механізмів дії фітоімунітету, що може дати важливу інформацію для з'ясування напрямків до створення новітніх технологій захисту рослин, блокування дії фітопатогенних факторів.

Існуючі методологічні підходи до ідентифікації певних видів патогенних мікроорганізмів складні і трудомісткі й передбачають порушення цілісності рослинного організму, а також ускладнюють моніторинг і розтягують його у часі [18]. Зокрема, є складною рання діагностика фітомікоплазмозів. Ураження цими патогенами важко контролювати й діагностувати на ранніх етапах розвитку, оскільки мікоплазмози передаються комахами-переносниками й захворювання набуває характерних ознак лише з часом. Разом із тим, фітомікоплазмози здатні практично знищити урожай озимої пшениці, знижуючи його до 90 % [2, 12].

Серед інструментарію сучасних перспективних і експресивних діагностичних методів можна виділити біофізичний метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) [3, 5, 8, 9, 25]. Серед основних його переваг – можливість діагностики нативних рослин в реальному часі. В значній кількості наукових робіт метод ІФХ застосовується дослідниками для визначення впливу різних чинників: гербіцидів [3, 6], біоморфологічних чинників [7, 8], стресових факторів [6, 13], зокрема температурного стресу [6, 10, 21], антропогенного забруднення [13, 14], фітопатогенних мікроорганізмів [19] на рослинний організм крізь призму функціональної активності фотосинтетичного апарату. Теоретичним підґрунтям до такого використання є визначений тісний зворотній зв'язок між інтенсивністю флуоресценції хлорофілу й фотосинтетичними реакціями [3].

Тому метою нашого дослідження було з'ясування дії фітопатогенних мікроорганізмів на рослини *T. aestivum* L., зокрема збудників жовто-зеленої карликовості пшениці – молюктивів виду *A. laidlawii*, а також можливості ранньої діагностики цього патогенезу із застосуванням біофізичного методу індукції флуоресценції хлорофілу.

Матеріал і методи досліджень

Дослідні рослини вирощували у модельному лабораторному досліді. Як тест-рослини в модельній системі використовували озиму м'яку пшеницю *T. aestivum* L. сорту Смуглянка. Насіння пшениці пророщували у термостаті при температурі 25⁰С. Із загальної маси відбирали проростки 1-1,5 см

довжиною й інфікували їх методом Клемента (субепідермальна ін'єкція) розчином із вмістом *A. laidlawii* шт. 118, яка одержана з Української колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Проростки саджали в попередньо підготовлені пластикові стаканчики, заповнені ґрунтом «Універсальний», що містить торф, пісок, дерново-підзолистий ґрунт із зольністю 25-35% й вмістом поживних макроелементів (в мг/100 г): азоту – 20-35; фосфору – 30-65; калію – 20-35, кальцію 25-75 та мікроелементів (Zn, Mn, B, Cu). Кислотність суміші: рН 5,5-6,5 й вологість 45-60%.

Схема досліду: 1. Контроль (неінфіковані рослини); 2. Інфікування: субепідермальна ін'єкція (метод Клемента) *A. laidlawii* шт. 118. Рослини вирощували до 19-ти добового віку.

Виміри довжини пагонів і розрахунок їх приросту проводили на 6-и, 11-и і 19-и добових рослинах. Пігментний склад листків визначали методом Арнона [24]. Фітотоксичний ефект розраховували за Лозановською [11]. Цитологічні спостереження здійснювали методом світлової мікроскопії за допомогою мікроскопа для біологічних досліджень Paralux PSB-1600x (Франція). Мікрофотографії мезофілу листків дослідних нативних рослин фіксували цифровою камерою Brassler MikrOkular-VGA 640x480 (Німеччина). Активність ферменту каталази визначали титриметричним методом і виражали у кількості O_2 , що утворюється в результаті дії ферменту за 1 хв на 1 г сирової речовини ($мл O_2 \cdot г^{-1} \cdot хв^{-1}$), а пероксидази – за методом Бояркіна і виражали в умовних одиницях на мг сирової ваги тканини [4].

Активність фотосинтетичної системи нативних рослин досліджували методом ІФХ за допомогою портативного приладу «Флоратест», який дає змогу проводити вимірювання у спектральному діапазоні в межах від 670 до 800 нм [6, 15]. Вимірювання ІФХ проводились після темної адаптації, що становила 20 хв. Отриманий масив цифрових даних обчислювали по варіантах і представляли у графічному вигляді. Розраховували відповідні критичні параметри ІФХ, що є відображенням змін у функціональних ланках фотосинтетичної системи [6, 9]. Для статистичної обробки даних використовували програму Statistica 8.0.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідженнями встановлено, що ураження ювенільних рослин озимої пшениці фітомікоплазмозом штучною субепідермальною ін'єкцією інгібує ріст пагонів у 86% рослин. При цьому у 14% рослин спостерігали виражені морфологічні деформації. Цитологічні дослідження мезофілу листків дослідних рослин озимої пшениці за допомогою світлового мікроскопу дозволили виявити в інфікованих ахолоплазмою тканинах листків патологічні включення, деформації судин та зміни кольору хлоропластів (рис. 1). Це закономірно, оскільки відомо, що в уражених ахолоплазмою листках пшениці поступово нарастають деструктивні зміни – відбувається руйнування хлорофілу й накопичення крохмалю [2, 12, 16].

За аналізом впливу патогенної фітомікоплазми на стан фотосинтетичного апарату рослин озимої пшениці виявлено суттєвий інгібуючий ефект, що проявлявся у пригніченні приросту пагонів на 31 % за добу й зниженні площі асиміляційної поверхні листків 19- добових уражених рослин на 27 %: з 36,6 $см^2$ на контролі до 26,7 $см^2$ у досліді. Співвідношення мас листки/корені за цих умов також суттєво знижувалося – на 32 %. Фітотоксичний ефект за довжиною пагонів складав майже 45 %, що свідчить про суттєвий шкодочинний вплив цього патогену на фотосинтетичний апарат рослин пшениці. Отримані дані цілком узгоджуються із попередніми дослідженнями, де зазначено, що за ураження фітопатогенною ахолоплазмою найбільш руйнівного впливу зазнають листки, хоча патоген локалізований в основному в судинах флоєми [2, 12, 16].

Дослідженнями пігментного складу листків показано, що фотосинтетичний апарат рослин на початкових етапах фітомікоплазмозового ураження характеризується певними адаптивними перебудовами: зниженням вмісту хл. а та хл. b і зростанням додаткових пігментів із захисною функцією - каротиноїдів (табл. 1). Каротиноїди, як відомо, є поліненасиченими сполуками терпенового ряду та входять до складу антенних комплексів і реакційних центрів, захищаючи фотосинтетичний апарат від фотоокиснення. Відомо також, що ефективність переносу сигналу збудження між молекулами хлорофілу досягає 100, а між молекулами каротину й хлорофілу – лише 40% [17].

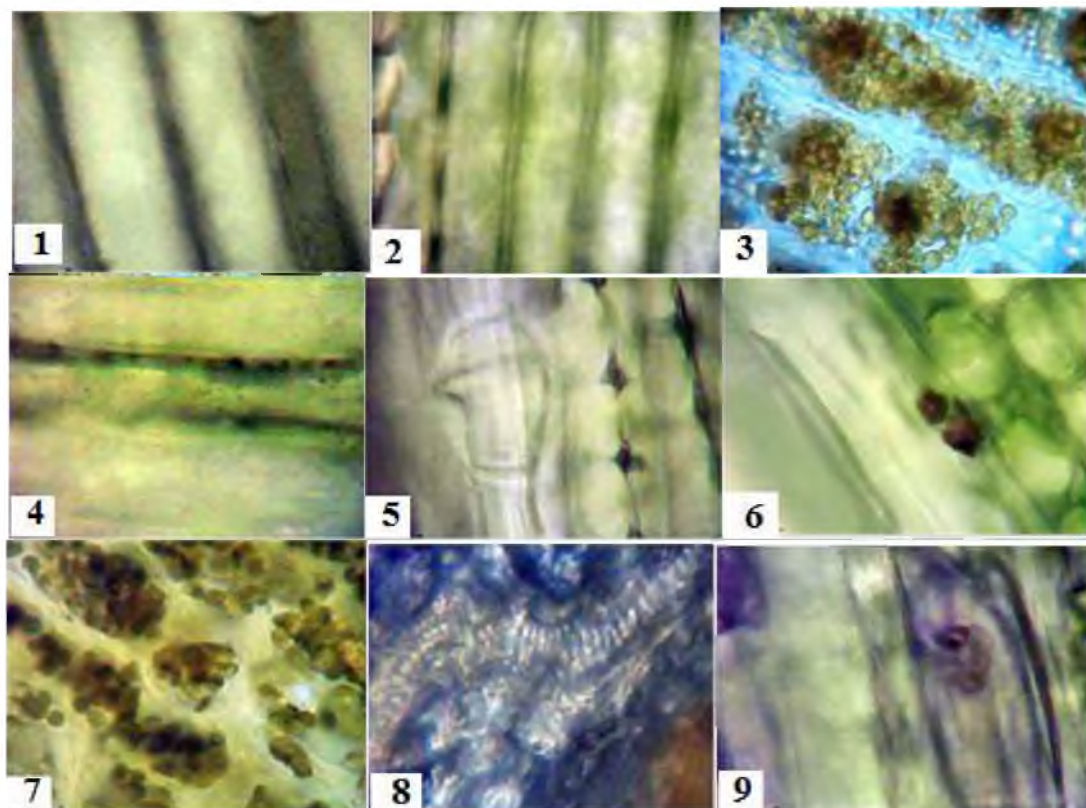


Рис.1 Мікрофотографії мезофілу нативних листків озимої пшениці: 1-3 – не інфіковані листки; 4-9 – листки уражені *A. laidalwii* *um.* 118 (1000x).

Отже, збільшення додаткових фотосинтетичних пігментів є адаптогенною реакцією в умовах конкуренції за асиміляти між рослиною хазяїном і фітопатогеном, яке сприяє підвищенню стійкості фотосинтетичного апарату до фотоокиснення, але знижує потенційну швидкість передачі сигналу збудження по пігментній матриці.

Таблиця 1

Вплив інфікування ахолеплазмою на стан фотосинтетичного апарату рослин озимої пшениці

Варіанти	Пігменти			
	Хл. а, мг/г	Хл. б, мг/г	Хл. а+б, мг/г	Каротиноїди, мг/г
Контроль	0,75±0,03	0,47±0,02	1,54±0,06	0,22±0,01
Інфікування *	0,66±0,03	0,33±0,01	1,24±0,05	0,33±0,01

Примітка: *— 7 доба від початку інфікування ахолеплазмою

Проявом захисних функцій рослинного організму є зростання активності термінальних оксидаз, що входять до складу антиоксидантної системи, зокрема, каталази і пероксидази. Їх синтез індукується у відповідь на підвищення вільних радикалів [4, 17].

Дослідники патогенних плазмозів найбільш детально з'ясували біохімію деяких видів патогенних ахолеплазм тварин й виявили певний механізм дії цього патогену, викликаний окиснюваним стресом, за умов якого продукуються пероксидні аніони, що різко пригнічують каталазну активність клітини-хазяїна, а також активність супероксиддисмутази, індукуючи тим самим подальші метаболічні порушення [2, 20]. Про порушення рослинного метаболізму свідчить, зокрема, дослідження Скрипаля І. Г. із співав. [16], які встановили, що інфікування ахолеплазмою сприяє надмірному накопиченню позаклітинної фруктозо-1,6-бісфосфатази в листках, що спотворює механізм субстрат-ферментного регулювання.

Нашими дослідженнями встановлено зниження активності термінальних оксидаз– каталази й пероксидази у мезофілі листків озимої пшениці за ураження *A. laidalwii*, що може свідчити про існування вищеописаного механізму дії, який запускається окиснюваним стресом, що й викликає пригнічення специфічної стійкості рослинного організму (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив інфікування ахолеплазмою на активність термінальних оксидаз в листках озимої пшениці

Варіанти досліду	Ферментна активність	
	каталази (I.II.6), $\text{мл O}_2 \times \text{г}^{-1} \times \text{хв}^{-1}$	пероксидази (I.II.7), $\Delta D_{670} \text{ г}^{-1} \text{ с}^{-1}$
Контроль	4,70±0,18	3,58±0,14
Інфікування*	4,68±0,16	3,15±0,15

Примітка:*- 9 добові рослини (7 діб від початку інфікування)

Отже, дослідження впливу фітомікоплазми на метаболізм рослини-хазяїна показало наявність морфофізіологічних і біохімічних змін на ранніх етапах інфікування рослин, викликаних вбудовуванням патогену у донорно-акцепторну систему рослини, пригніченням специфічної стійкості, що підтримується активністю антиоксидантних ферментів, зниженням вмісту хлорофілу й підвищенням пігментів із захисною функцією - каротиноїдів.

Для подальших досліджень ми застосовували біофізичний метод ІФХ, фіксуючи дані портативним приладом вітчизняного виробництва «Флоратест»[15]. Дані ІФХ фіксували у листках нативних рослин, які представлені у вигляді типової кривої ІФХ (так званої кривої Каутського) [3, 6, 9].

На рис. 2 представлені усереднені криві ІФХ серії вимірів на 7-му, 8-му й 15-ту добу від початку інфікування. Порівняльний аналіз експериментальних даних показав поступове зростання рівня флуоресценції хлорофілу з 7-ї по 15-ту добу від початку інфікування, що є відображенням дії патогенної ахолеплазми на фотосинтетичний апарат рослин, причому найбільш відрізнялася від контролю частина кривої на спаді флуоресценції – від Fm до Ft на 15-ту добу інфікування.

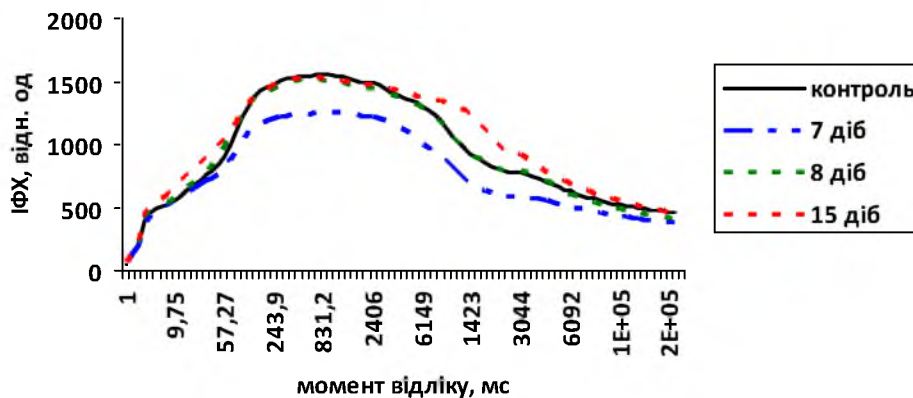


Рис. 2. Вплив інфікування ахолеплазмою рослин озимої пшениці на ІФХ

Розрахунки термінальних параметрів кривої ІФХ, які показані у табл. 3, дозволили визначити ланки фотосинтетичного апарату, що зазнали пошкоджуючого впливу патогену. Фонова флуоресценція в листках уражених рослин озимої пшениці з 7-ї по 15-ту добу інфікування знизилась до 8,3%, що свідчить про зменшення вмісту фотосинтезуючих пігментів та руйнування їх структури в листках й підтверджується вищеописаними даними аналізу вмісту хлорофілу (табл.3). $(F_p - F_0)/(F_m - F_0)$

Термінальні параметри індукції флуоресценції хлорофілу

Варіанти	Параметри флуоресценції хлорофілу			
	F_0	$(F_m - F_0)/F_m$	$(F_{pl} - F_0)/(F_m - F_0)$	$(F_m - F_t)/F_t$
7 доба від початку інфікування				
Контроль	403,0±19,9	0,73±0,03	0,64±0,02	0,66±0,03
Інфікування	405,0±20,2	0,70±0,02	0,75±0,03	0,52±0,01
8-ма доба від початку інфікування				
Контроль	403,0±20,0	0,72±0,03	0,64±0,02	0,88±0,04
Інфікування	371,0±18,6	0,73±0,03	0,60±0,02	0,88±0,04
15-та доба від початку інфікування				
Контроль	481,6±24,1	0,69±0,03	0,48±0,01	0,76±0,03
Інфікування	441,6±22,0	0,71±0,03	0,54±0,01	1,03±0,04

Розрахунки потенційної ефективності фотохімії ФСII, що визначалися за формулою $(F_m - F_0)/F_m$ показали тенденцію до зниження цього значення на початкових етапах ураження й поступовому зростанні, але не суттєвому, на більш пізніх етапах – до 15-ї доби інфікування – на 4,3%. Однак, фактична ефективність ФСII визначається її якісним або функціональним складом, оскільки частина світло-збираючої антени складається із переносників, що не приймають участь у лінійному транспорті електронів – так званих Qb-невідновлювальних комплексів, частка яких зростає при стресі [3, 9, 22, 23].

Розраховавши їх кількість за наступною формулою $(F_{pl} - F_0)/(F_m - F_0)$, виявили зниження кількості цих комплексів на 8-му добу та суттєве зростання їх присутності у інфікованих рослин на 15-ту добу інфікування – на 12,5% порівняно з контролем. Разом з тим, визначення найбільш цікавого для нас показника на відрізку кривої ІФХ, що корелює з інтенсивністю темної фіксації вуглецю показало, що на початкових етапах, які співпадали із інтенсифікацією біосинтезних процесів (7-8 доба) цей показник зменшувався й до 15-ї доби інфікування зростав найбільш суттєво – на 36%, що свідчить про збільшення непродуктивного використання квантів світла, тобто зниження продуктивності фотосинтезу.

Висновки

Отже, дослідження впливу фітомікоплазми на метаболізм рослини-хазяїна показало наявність морфофізіологічних і біохімічних змін на ранніх етапах інфікування рослин, викликаних вбудовуванням патогену у донорно-акцепторну систему рослини і порушенням субстрат-ферментного регулювання метаболізму, пригніченням специфічної стійкості, яка підтримується активністю антиоксидантних ферментів, зниженням вмісту хлорофілу й підвищенням вмісту пігментів із захисною функцією – каротиноїдів. Крім того, встановлено зниження ефективності залучення фотосинтетично активної радіації у процесі фотосинтезу листовим апаратом інфікованих ахлеплазмию рослин, що відбувалося за рахунок зменшення вмісту хлорофілу і руйнування його структури в листках, скорочення антени СЗК та зростання за дослідний період частки Qb-невідновлювальних комплексів, що не приймають участь у лінійному транспорті електронів (на 12,5%). Аналіз кривої ІФХ на відрізку, що корелює із інтенсивністю темної фіксації вуглецю показав, що на початкових етапах, які співпадали із інтенсифікацією біосинтезних процесів цей показник зменшувався й до 15-ї доби інфікування зростав найбільш суттєво – на 36 %, що свідчить про зниження ефективності залучення енергії світла у процесах асиміляції CO_2 .

1. *Агроекологія: навч. посібник* / [О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін.]; за ред. Н.А. Серебрякова. — К.: Вища освіта, 2006. — 671 с.
2. *Борхсениус С.Н.* Микоплазмы: молекулярная и клеточная биология, патогенность, диагностика / С.Н. Борхсениус, О.А. Чернова. — Л.: Наука, 1989. — 156 с.

3. *Брайон О.В.* Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою індукції флуоресценції хлорофілу: Методичні вказівки для студентів біологічного факультету/ О.В. Брайон, Д.Ю. Корнєєв, О.О. Снегур, О.І. Китаєв.— К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2000. — 15 с.
4. *Воскресенская О.Л.* Большой практикум по биоэкологии. ч. 1: учеб. пособие / Воскресенская О.Л. — Йошкар-Ола, Мар. гос. ун-т., 2006.— 107 с.
5. *Гаевский Н.А.* Использование переменной и замедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н.А. Гаевский, В.Н. Моргун // Физиология растений. — 1993. — Т. 40, № 4. — С. 136—145.
6. *Груша В.М.* Інформаційні технології для дослідження індукції флуоресценції хлорофілу / В.М. Груша // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. — 2014. — № 13. — С. 109—116.
7. *Иващенко Ю.В.* Некоторые биоморфологические особенности сортов персика, определяющие их фотосинтетическую продуктивность / Иващенко Ю.В. // Черноморск. бот. ж. — 2012. — Т. 8, № 4. — С. 370—378.
8. *Карапетян Н.В.* Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений / Н. В. Карапетян, Н.Г. Бухов // Физиология растений. — 1986. — Т. 33, № 5. — С. 1013—1026.
9. *Корнєєв Д.Ю.* Інформаційні можливості методу індукції флуоресценції хлорофилла / Д.Ю. Корнєєв. — К.: Альтерпрес, 2002. — 191 с.
10. *Кочубей С.М.* Динамика изменений функциональной активности фотосинтетического аппарата растений гороха, вызываемых высокотемпературным стрессом / С.М. Кочубей, В.В. Шевченко, О. Ю. Бондаренко, И.Д. Панас // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. — 2013. — № 6. — С. 152—156.
11. *Лозановская И.Н.* Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. Учебник для ВУЗов / И.Н. Лозановская, Л.К. Орлов, Л.К. Садовникова. — М.: Высш. шк., 1998. — 287 с.
12. *Мухамедшина Н.Е.* Фитопатогенность и адаптация к неблагоприятным условиям роста *Acholeplasma laidlawii* PG8 : автореф. дисс. канд.биол. наук.: спец. 03.00.12 – физиология и биохимия растений, 03.00.07 - микробиология / Н.Е. Мухамедшина. — Казань: Казанский ин-т биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН, 2006. — 24 с.
13. *Нестеренко Т.В.* Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям / Т. В. Нестеренко, А. А. Тихомиров, В. Н. Шихов // Журнал общей биологии. — 2007. — Т. 68, № 6. — С. 444—458.
14. *Олексійченко Н.О.* Особливості індукції флуоресценції хлорофілу в листках деревних рослин в умовах урбанізованого середовища / [Н.О. Олексійченко, О.І. Китаєв, М.О. Совакова та ін.] // Біоресурси і природокористування: науковий журнал. — 2013. — Том Т. 5, № 5/6. — С. 107—112.
15. *Портативний флуорометр «Флоростет»:* настанова з експлуатації. — Інститут Кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2013. — 24 с.
16. *Скрипаль І.Г.* Спосіб одержання позаклітинної фруктозо-1,6-бісфосфатази – основного фактора патогенності фітоплазм (на моделі збудника блідо-зеленої карликовості зернових культур) /І.Г. Скрипаль, П.П. Токовенко, Л.П. Малиновська // Мікробіол. журн. — 2004. — Т. 66, № 3. — С. 89—97.
17. *Якушкина Н.И.* Физиология растений. Он-лайн энциклопедия [Электронный ресурс] / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко, 2010-2013. — режим доступа к журналу: fizrast.ru (<http://fizrast.ru/fotosintez/etapy/fotofizika.html>).
18. *Фундаментальная фитопатология* / под ред. Ю.Т. Дьякова. — М.: Красанд, 2012. — 512 с.
19. *Чернюк О.С.* Вплив вірусу смугастої мозаїки пшениці на параметри індукованої флуоресценції рослин *Triticum aestivum* / [О.С. Чернюк, А.Л. Бойко, Д.Ю. Корнєєв, П.М. Маменко] // Биополимеры и клетка, 1999. — Т. 15, № 5. — С. 445—448.
20. Allen R.G. Oxygen-reactive species and antioxidant responses during development: the metabolic paradox of cellular differentiation / R.G. Allen // Proc. Soc. Exp. Biol. Med. — 1991. — Vol. 196. — P. 117—129.
21. Berry J. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants / J. Berry, O. Bjorkman // Ann. Rev. Plant Physiol. – Inc. Palo Alto. — California, USA. — 1980. — № 31. — P. 491—543.
22. Black M.T. Heterogeneity in chloroplast photosystem II / M.N. Black, T.H. Brearley, P. Horton // Photosynth. Res. — 1986. — Vol. 6, № 2. — P. 193—207.
23. Fromme P. Functional implications on the mechanism of function of photosystem II including water oxidation based on the structure of photosystem II / P. Fromme [et. al.] // Phylos. Trans. R. Soc. Lond. Biol. Sci. — 2002. — Vol. 357. — P. 1337—1345.
24. Hisox J.D. The method for the extraction of chlorofill from leaf tissue whithout maceration / J.D. Hisox, R.J. Israelstam // Can. J. Bot. — 1979. — Vol. 57, № 12. — P. 1332—1334.
25. Mellis A. Dynamics of photosynthesis membrane composition and function / A. Mellis // Biochim. et. biophys. Acta. — 1991. — № 1. — P. 87—106.

А. Б. Гуляева, И. П. Токовенко, В. Ф. Патыка

Институт микробиологии и вирусологии имени Д.К. Заболотного НАН Украины

ИЗМЕНЕНИЯ В ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОМ АППАРАТЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МИКОПЛАЗМЫ A. LAIDLAWI

Приведены результаты исследований состояния фотосинтетического аппарата растений озимой пшеницы сорта Смуглянка и динамики индукционных изменений флуоресценции хлорофилла при искусственном инфицировании *Acholeplasma laidlawii* шт. 118. Установлено, что вместе с ингибированием роста побегов растений озимой пшеницы, пораженных ахолеплазмой и уменьшением площади листьев, снижается содержание в них хлорофилла *a* и *b* при увеличении содержания каротиноидов. Также установлено подавление активности терминальных оксидаз - каталазы и пероксидазы в листовых пластинках. Анализ динамики индукционных изменений флуоресценции хлорофилла в листьях инфицированных растений показал постепенное нарастание процессов деградации пула акцепторов хиноновой природы ФС II, принимающих участие в линейном транспорте электронов при увеличении пула Qb-невосстанавливающих комплексов, которые не принимают в нем участия. Установлено существенное снижение относительного количества квантов света, привлекаемого в процессах темновой фиксации углерода.

Ключевые слова: *Acholeplasma laidlawii*, фитомикоплазмоз, *Triticum aestivum* L., озимая пшеница, хлорофилл, флуоресценция хлорофилла

A. B. Gulaeva, I. P. Tokovenko, V. P. Patyka

Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

CHANGE IN THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS WINTER WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF ACHOLEPLASMA LAIDLAWI STRAIN 118

The results of research on the state of the plants photosynthetic apparatus of winter wheat varieties Smuglyanka and dynamic of changes in chlorophyll fluorescence induction by artificial infection *Acholeplasma laidlawii* strain 118 obtained. It has been established that with the inhibition of shoot growth of winter wheat plants infected *A. laidlawii* leaf area and the content of chlorophyll *a* and *b* reduced but the content of carotenoids increase. The suppression of terminal oxidases - catalase and peroxidase in leaf also found. Study of the dynamic of changes of chlorophyll fluorescence induction in leaves of infected plants showed a gradual increase in degradation processes acceptor quinone pool nature of photosystem II, participating in a linear increase in the transport of electrons at the pool of non-renewable Qb-complexes that do not take part in it. A substantial decrease in the relative amount of light quanta, hired in the dark carbon fixation processes.

Keywords: *Acholeplasma laidlawii*, phytopathogenical mycoplasmas, *Triticum aestivum* L., winter wheat, chlorophyll, chlorophyll fluorescence

Рекомендує до друку

Надійшла 14.12.2014

В. В. Грубінко