



Н. Я. Левчик¹, Г. І. Скрипка¹, В. Ф. Левон¹, А. В. Любінська¹, О. В. Закрасов¹, Н. Є. Горбенко²

¹ Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка, НАН України, м. Київ, Україна

² Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ЗМІНА ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ РОСЛИН *PHLOX PANICULATA* L. ПІД ВПЛИВОМ ЗБУДНИКА БОРОШНИСТОЇ РОСИ В УМОВАХ НБС ІМЕНІ М. М. ГРИШКА НАН УКРАЇНИ

Ураження рослин збудником борошнистої роси (гриб *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz.), що негативно позначається на їх декоративності та фізіологічному стані, є серйозною проблемою квітникарства. Дослідження питань стійкості та декоративності рослин *Phlox paniculata* L. через вміст і співвідношення пігментів набули особливої актуальності, оскільки їх не досліджували в Україні та за її межами. У процесі встановлення вмісту фотосинтетичних пігментів (каротиноїдів та хлорофілів) використовували загальноприйняті вітчизняні методики М. М. Мусієнка. Визначено якісний склад і кількісний вміст фотосинтетичних пігментів, зокрема хл.а і хл.б та каротиноїдів у неуразених та уражених збудником борошнистої роси листках сортів рослин *Phlox paniculata* в умовах Лісостепу України. Встановлено тенденцію до істотного підвищення вмісту хлорофілів в уражених борошнистою россою рослин порівняно із неуразеними. Найстійкішими встановлено сорти 'Mohuchii', 'Katharine', 'Tenor'. Виявлено максимальний вміст хлорофілу *b* у сортів 'Katharine', 'Novinka', 'Rembrandt' та 'Holubka', що вказує на свідчить про стан рослин та пов'язаний із входженням рослин у фазу цвітіння. Оцінено вплив ураження рослин інфекцією на зниження показника співвідношення хл.а до хл.б та, на відміну, істотного збільшення показників відношення суми хлорофілів до каротиноїдів. Зроблено висновок, що високий рівень співвідношення вмісту хлорофілів до вмісту каротиноїдів є вагомим показником, який також свідчить про стресовий стан рослин після ураження. Максимальні показники співвідношення хлорофілів до каротиноїдів 89,19 зафіксовано в уражених рослин сорту 'Katharine', середні 14,42 – у сорту 'Rembrandt' та найнижчі показники 2,89 – у неуразених рослин сорту 'Holubka'. Охарактеризовано закономірності та запропоновано використання показника співвідношення хлорофілів до каротиноїдів у рослин *Phlox paniculata*, як маркера стійкості сортів.

Ключові слова: сорти; флокс волотистий; хлорофіли; каротиноїди; гриб *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz.

Вступ / Introduction

Підвищення естетичного вигляду і стійкості насаджень в умовах міських екосистем істотно залежить від збагачення фітоценозів новими видами рослин. У цьому аспекті сучасна стратегія інтродукції трав'яних багаторічників спрямована на впровадження у ландшафтне будівництво нових квітниково-декоративних рослин. Перспективними для озеленення є представники роду *Phlox* L., зокрема *Phlox paniculata* L. Декоративність цих рослин залежить не тільки від яскравості та тривалості цвітіння, а й від зовнішнього вигляду та ста-

ну листків. Стан асиміляційного апарату рослин, який характеризується вмістом, складом та індексом співвідношення фотосинтетичних пігментів у листках, є інформативним фізіологічним показником успішності інтродукції, акліматизації та стійкості *Phlox paniculata* до стресових факторів довкілля в умовах інтродукції [23, 38, 41].

Фотосинтез – це процес трансформації поглинутої рослиною електромагнітної енергії сонячного світла в хімічну енергію органічних сполук. Перший етап цієї трансформації, поглинання світла фоторецепторами, здійснюється за допомогою пігментів [8, 18]. Найваж-

Інформація про авторів:

Левчик Наталія Яківна, канд. біол. наук, наук. співробітник, відділ культурної флори. Email: levchuk.n@ukr.net;

<https://orcid.org/0000-0001-8668-8763>

Скрипка Ганна Іванівна, канд. біол. наук, наук. співробітник, відділ квітниково-декоративних рослин.

Email: anna_skripka@bigmir.net

Левон Володимир Федорович, канд. хім. наук, ст. науковий співробітник, відділ акліматизації плодівих культур.

Email: vflevon@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2652-9984>

Любінська Алла Василівна, пров. інженер, відділ алелопатії. Email: alla@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-1873-8252>

Закрасов Олександр Володимирович, канд. біол. наук, наук. співробітник, відділ алелопатії. Email: tombarry1977@gmail.com

Горбенко Наталія Євгенівна, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: nata.horbenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6053-6582>

Цитування за ДСТУ: Левчик Н. Я., Скрипка Г. І., Левон В. Ф., Любінська А. В., Закрасов О. В., Горбенко Н. Є. Зміна вмісту фотосинтетичних пігментів у листках рослин *Phlox paniculata* L. під впливом збудника борошнистої роси в умовах НБС імені М. М. Гришка НАН України. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 1. С. 27–33.

Citation APA: Levchuk, N. Ya., Skrypka, G. I., Levon, V. F., Liubinska, A. V., Zakrasov, O. V., & Horbenko, N. Ye. (2023). The change in content of photosynthetic pigments in the leaves of *Phlox paniculata* L. plants under the influence of the powdery mildew pathogen in M. M. Gryshko National botanical garden, NAS Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(1), 27–33. <https://doi.org/10.36930/40330104>

ливішу роль у перебігу процесів фотосинтезу відіграють зелені пігменти – хлорофіли [17, 22]. Що підтверджує визначення К. А. Тімірязєва про те, що хлорофілове зерно – той фокус, та точка у світовому просторі, де сонячний промінь, перетворюючись на хімічну енергію, стає джерелом усього життя на Землі [34].

Вміст хлорофілу в рослинах є важливим фізіологічним параметром, який характеризує потенційну потужність фотосинтетичного апарату, реакцію рослин на дію стресових факторів і має тісний зв'язок із продуктивністю [2, 5, 21]. У клітинах вищих рослин містяться та виконують основну функцію у світловій фазі фотосинтезу хлорофіли *a* і *b* [32]. Проте основним пігментом, без якого не може відбутися фотосинтез у зелених рослин, є хлорофіл *a* [22]. Вміст хлорофілу *a* в листку приблизно втричі більший, ніж хлорофілу *b* [17, 22].

Каротиноїди – це жиророзчинні пігменти, найпоширеніші в рослинному світі жовтого, помаранчевого та червоного кольорів з різноманітними функціями [14, 19]. Головні функції каротиноїдів полягають у поглинанні світла як додаткові пігменти, захищенні молекул хлорофілу від незворотного фотоокислення, гасіння активних радикалів, участь у фототропізмі [18]. Наголошено на певній участі каротиноїдів у статевому процесі. Зокрема, мікроспорогенез тісно пов'язаний з метаболізмом каротиноїдів [35, 39, 40]. Досліджено, що каротиноїди виконують захисну функцію, оберігаючи різні органічні речовини, насамперед молекули хлорофілу, від руйнування на світлі у процесі фотоокислення [22].

Відомо, що із збільшенням вмісту хлорофілу в клітині підвищується інтенсивність фотосинтезу. Окрім цього, під час вегетаційного періоду, впродовж інтенсивного росту листків, інтенсивність фотосинтезу збільшується паралельно із нагромадженням розчинних цукрів [9, 18].

Важливо зазначити, що функціональний стан рослин, ступінь їх пристосованості до природно-кліматичних умов інтродукції можна впевнено оцінити, дослідивши фотосинтетичний апарат. Пігменти тісно пов'язані з білками і ліпідами, що визначає стійкість рослин до несприятливих умов середовища [4, 12, 13]. Загалом співвідношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* є важливим показником, що характеризує зв'язок між рослиною та навколишнім середовищем.

Окрім цього, помічено, що забарвлені органи рослин стійкі до хвороб. Це пояснюють тим, що під час пошкодження тканин патогеном відбувається процес розпаду пігментів антоціанів з утворенням токсичного для мікроорганізмів антоціанідіна. Глюкозида також захищають клітину внаслідок швидкого нагромадження в ній у разі пошкодження токсичної похідної – аглюкона (ціанід, феноли), що є потужною ферментною отрутою [14, 15].

Важливо враховувати, що на рівень та співвідношення пігментів можуть впливати як абіотичні, так і біотичні фактори. Зокрема, серйозною проблемою у квітникарстві є ураження популярних декоративних рослин хворобою *Phlox paniculata* збудником борошнистої роси *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz., який зафіксовано на території України ще у 1969 р., і сьогодні стрімко поширюється у всіх регіонах культури флокса. Ураження негативно позначається на декоративності та фізіологічному стані рослин, внаслідок чого листки втрачають зелене забарвлення, стають плямистими,

тьмяними, засихають та опадають. Хворі рослини при цьому погано розвиваються, знижують інтенсивність цвітіння, нерідко засихають до закінчення вегетації, стають особливо вразливими, втрачають морозостійкість та продуктивність [16, 27].

Підвищення рівня загазованості повітря у містах, ущільнення ґрунту, зміна мікроклімату істотно знижують стійкість рослин та сприяють посиленню розвитку патогенів, поширенню збудників із інших районів, виникненню нових рас збудників, внаслідок чого, зокрема за останні 15 років, поширення борошнистої роси флоксів досягло масштабу епіфітотії. Тому вирощування рослин потребує системи профілактичних і винищувальних заходів, які охоплюють комплекс біологічних, хімічних та карантинних заходів, спрямованих на профілактику та захист декоративних рослин [28].

Селекціонери щорічно виводять сорти *Phlox paniculata*, стійкі до борошнистої роси, окрім цього, встановлюють толерантність у вже наявних сортів. Проте це не вирішує проблеми, оскільки всі сорти різняться за стійкістю, а кількість хвороб також може змінюватися з року в рік залежно від умов навколишнього середовища. Внаслідок сприятливих умов для розвитку хвороби (висока температура, висока вологість, погана циркуляція повітря між рослинами), борошниста роса поширюється дуже швидко. У такому разі знадобляться фунгіциди [6].

Ми провели певні попередні дослідження й отримали результати. Зокрема, внаслідок оцінювання дев'яти досліджених сортів ('Rembrandt', 'Katharine', 'Mohuchii', 'Fiosin', 'Holubka', 'Panianka', 'Poliarnyi', 'Tenor', 'Novinka') за ступенем ураження збудником борошнистої роси відповідно до Методики державного сортовипробування [33] за 5-бальною системою виділено сорти з різним ступенем стійкості: стійкі (0-1 бал) 'Tenor', 'Panianka', 'Mohuchii', 'Katharine'; середньостійкі (2-3 бали) 'Holubka', 'Rembrandt', нестійкі (4-5 балів) 'Poliarnyi', 'Fiosin' та 'Novinka' [31].

Окрім цього, під час вегетації рослин визначили ефективність функціонування пігментного комплексу хлоропластів листків рослин 11 сортів *Phlox paniculata* колекційного фонду Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України методом фотоіндукції флуоресценції на приладі "Флоратест" [4]. За отриманими результатами найвищою адаптивністю до умов вирощування характеризується сорт 'Panianka', найменшою – рослини сорту 'Mohuchii' [29, 30].

Важливо зазначити, що відповідних публікацій із висвітлення питань стійкості рослин *Phlox paniculata* до збудника борошнистої роси у зв'язку із вмістом та співвідношенням пігментів, не виявлено ні в наукових виданнях України, ані за кордоном. Тому дослідження в цьому напрямі набули особливої актуальності, значущості та необхідності.

Об'єкт дослідження – нові та старі сорти вітчизняної й іноземної селекції колекційного фонду Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України з різним ступенем ураження збудником борошнистої роси (гриб *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz.).

Предмет дослідження – кількісний вміст хл.а, хл.в і каротиноїдів, а також їх співвідношення у уражених та неуражених рослин.

Мета роботи – дослідити вміст фотосинтетичних пігментів у листках уражених та неуражених збудни-

ком борошнистої роси (гриб *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz.) рослин *Phlox paniculata* L. в умовах Лісостепу України та їх вплив на стійкість рослин.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- визначити кількісний вміст хлорофілу *a*, вміст хлорофілу *b*, вміст каротиноїдів;
- встановити співвідношення фотосинтетичних пігментів;
- виявити тенденції у зміні показників фотосинтетичних пігментів та ступеня ураження рослин сортів *Phlox paniculata* борошнистою россою;
- серед досліджуваних сортів *Phlox paniculata* виявити найстійкіші, охарактеризувати тенденції динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів та встановити маркерні показники стійких сортів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема із зараженням рослин борошнистою россою має цілком міжнародний характер. Зокрема, у роботі [3] автори повідомляють про істотні ураження збудником *Golovinomyces magnicellulatus* та проблемну ситуацію із промисловими насадженнями рослин *Phlox paniculata* у США, які були уражені в 2019 р. на 50-80 %. Для уражених рослин характерні хлороз, старіння листя та наявність латки з білого борошнистого грибка на поверхнях молодих і старих листків, а також стебел. Засобами боротьби із збудником були оброблення рослин фунгіцидами та відбір стійких до збудника *G.magnicellulatus* сортів [3].

У роботі [10] запропоновано низку практичних заходів для зменшення інфікування рослин *Phlox paniculata* мільдью. Сюди входять: розрідження посадок для збільшення циркуляції повітря між рослинами; висаджування рослин на відкритому сонці; скасування або скорочення зовнішнього зрошення; скорочення перезимівлі спор збудника шляхом видалення восени зараженого листя і стебел. Фунгіциди або садові олії та мило також можна застосувати в боротьбі з грибом. Дослідження в Корнельському університеті встановили, що суміш 1 ст.л. харчової соди та 1 ч.л. легкої садової олії або інсектицидного мила на 3,8 л води, нанесеної щотижня на рослини, допомагає боротися з борошнистою россою [10].

У роботі [26] зазначено, що хворобу борошнистої роси на рослинах *Phlox paniculata*, спричинену збудником *Golovinomyces magnicellulatus*, вперше було зафіксовано в Кореї у 2003 році. Результати проведеного аналізу підтвердили 100 % спорідненості *G.magnicellulatus* із збудником, поширеним у Північній Америці, Європі та Японії [26].

У роботі [11] автор повідомляє, що високі норми внесення азотних добрив можуть бути фактором, що сприяє розвитку борошнистої роси на рослинах *Phlox paniculata*, а ще високий рівень азоту спричиняє тяжкості перебігу хвороби борошнистої роси порівняно із контрольними рослинами. Запропоновано вирощування рослин за мінімальних стресових умов, що полягають у найкращому типі середовища, оптимальних умовах зрошення, частоти та норми добрив. Дослідник апробував оброблення рослин хімічними сполуками, похідними триазолу в ролі фунгіцидів і регуляторів росту. Показано, що саме триазолі зменшують тяжкість перебігу деяких захворювань рослин *Phlox paniculata*, проте не призводять до повного позбавлення від них [11].

Досягнуті успіхи в біотехнологічних експериментах особливостей перебігу хвороби борошнистої роси *Phlox paniculata* в умовах *in vitro* повідомляють, що опти-

мальним середовищем для нижчого пошкодження листка патогенами є 1/2 MS із додаванням 0,01 % фунгіциду бензімідазолу, впродовж трьох тижнів. Використання 18-денних культур призвело до більшої кількості більших колоній грибів із високим споруутворенням порівняно із культурами 1-4- та 22-денного віку. Адаксіальна сторона листків третього вузла підтримувала більший ріст грибів порівняно з адаксіальною стороною листків першого та п'ятого вузлів [7].

Отже, згідно з наведеними публікаціями, наукову роботу з вивчення та подолання інфікування хворобою борошнистої роси на рослинах *Phlox paniculata* проводити, вона має міжнародний характер, отримано та запропоновано низку методів боротьби, проте проблема залишається актуальною та невирішеною.

Матеріали та методи дослідження. Вміст фотосинтетичних пігментів (вміст хлорофілу *a*, хлорофілу *b* та загальну кількість каротиноїдів) у рослинному матеріалі визначали за методикою М. М. Мусієнка [22] спектрофотометрично на обладнанні "Spekol 11" (Carlzeiss / Jena, Німеччина). Для лабораторних аналізів згідно з методикою відбирали листки рослин *Phlox paniculata* колекції відділу квітничково-декоративних рослин, що ростуть на ділянці відкритого ґрунту, у фазі бутонізації та цвітіння.

Вміст хлорофілів і каротиноїдів визначали в рослинному екстракті диметилсульфоксиду (ДМСО) за методикою [37]. Визначали оптичну густину (*A*) екстракту за довжин хвиль, які відповідають максимумам поглинання хлорофілів *a* і *b* $\lambda = 665$ нм $\lambda = 649$ нм. Для визначення суми каротиноїдів *A* екстракту вимірювали за $\lambda = 480$ нм. Для розрахунків використовували такі формули:

$$C_{\text{хл.а}} = 12,19 \cdot A_{665} - 3,45 \cdot A_{649}; \quad (1)$$

$$C_{\text{хл.б}} = 21,99 \cdot A_{649} - 5,32 \cdot A_{665}; \quad (2)$$

$$C_{\text{кар.}} = (1000 \cdot A_{480} - 2,14 \cdot C_{\text{хл.а}} - 70,16 \cdot C_{\text{хл.б}}) / 220. \quad (3)$$

Дослідження здійснювали впродовж трьох років. Кількість повторень у досліді – 3, точність методу – 2,5-4 %, рівень достовірності – 95 %. Статистично оброблені дані відображаються на гістограмах як середні арифметичні та їх стандартні помилки. Для розрахунків використовували IBM Statistics 26.0.0.1 – це програмна платформа статистичного аналізу з набором функцій, які допомагають організаціям отримувати цінну інформацію з даних. Пропонує широкий спектр аналітичних функцій, включаючи розширену підготовку даних, описову статистику, метод лінійної регресії та функції створення візуальних графіків і звітів.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Унаслідок лабораторних досліджень найбільше хлорофілу *a* встановлено в уражених рослин: $5,96^{+0,11}$ мг/г сорту 'Novinka' та $5,73^{+0,50}$ мг/г сорту 'Holubka' (рис. 1), найменшу – у неуражених рослин: $2,44^{+0,09}$ мг/г сорту 'Mohuchii' та $2,96^{+0,09}$ мг/г сорту 'Tenor'. Спостерігається тенденція до істотного збільшення кількості хлорофілу в уражених рослин порівняно із неураженими. Так, підвищення для хлорофілу *a* змінюється в межах від 11,11 до 42,90 %. Найбільше зростання хлорофілу *a* в уражених зразках відзначено у сортів 'Holubka' (42,9 %), 'Mohuchii' (36,5 %) та 'Novinka' (15,9 %). Винятком є сорти 'Fiosin' та 'Rembrandt', вміст хлорофілу *a* яких неістотно, але зменшився.

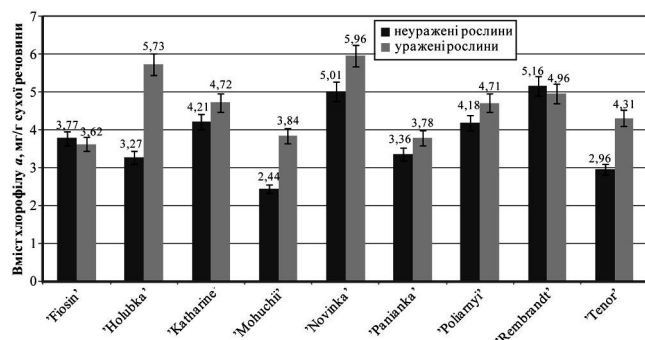


Рис. 1. Вміст хлорофілу *a* в уражених та неуражених збудником борошнистої роси рослин *Phlox paniculata* (мг/г сухої речовини) / The content of chlorophyll *a* in plants *Phlox paniculata* affected and unaffected by the pathogen of powdery mildew (mg/g dry matter)

Найбільшу кількість хлорофілу *b* $6,19 \pm 0,66$ мг/г встановлено в уражених рослин сорту 'Katharine' та $6,11 \pm 0,52$ мг/г сорту 'Novinka' (рис. 2). Найменшу кількість хлорофілу *b* $1,55 \pm 0,75$ мг/г встановлено у неуражених рослин сорту 'Mohuchii' та $2,35 \pm 0,52$ мг/г у сорту 'Tenor'. Варто зазначити, що підвищення кількісного вмісту хлорофілу *b* є ознакою стресового стану рослин. Відомо, що цвітіння є стресовим етапом у житті рослин, яке потребує багато енергетичних затрат та призводить до їх певного виснаження. Найбільше зростання вмісту хлорофілу *b* (на 54,8 %) зафіксовано у сорту 'Mohuchii', дещо нижче (на 51,7 %) – у сорту 'Katharine' і на 50,9 % – у сорту 'Holubka'.

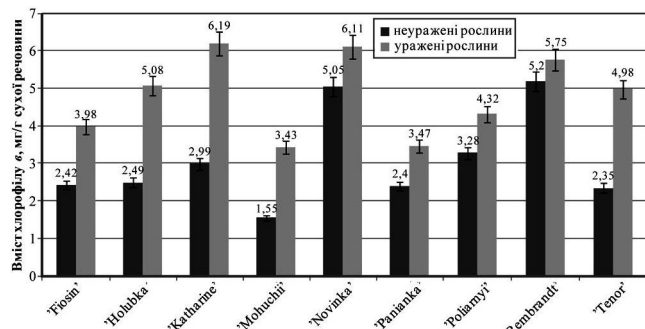


Рис. 2. Вміст хлорофілу *b* в уражених та неуражених збудником борошнистої роси рослин *Phlox paniculata* (мг/г сухої речовини) / The content of chlorophyll *b* in plants *Phlox paniculata* affected and unaffected by the pathogen of powdery mildew (mg/g dry matter)

На відміну від хлорофілів, вміст каротиноїдів може значно зменшуватись, як у сорту 'Katharine' (на 93,7 %), так і залишатись на тому ж рівні, як у сорту 'Holubka', або ж істотно підвищуватись, як у сорту 'Mohuchii' (на 38,2 %), та у сорту 'Novinka' (на 28,8 %) (рис. 3). Відзначено, що високий рівень цього пігменту може бути як у неуражених, так і уражених рослин. Зокрема, максимальний рівень $2,00 \pm 0,12$ мг/г виявлено в уражених рослин сорту 'Holubka', дещо нижчий ($1,89 \pm 0,40$ мг/г) – у неуражених рослин сорту 'Katharine' та $1,83 \pm 0,22$ мг/г – в уражених рослин сорту 'Poliarnyi'. Окрім цього, для одних сортів у разі ураження характерне підвищення вмісту каротиноїдів, а для інших навпаки – зниження. Наприклад, для деяких сортів характерне істотне підвищення від 13,66 ('Poliarnyi') до 38,15 % ('Mohuchii'). У сорту 'Tenor' підвищення було неістотним (6,38 %). Для сортів 'Katharine' (93,0 %), 'Fiosin' (37 %), 'Panianka' (25,85 %) характерне істотне зниження вмісту каротиноїдів, для сорту 'Rembrandt' – неістотне (10 %).

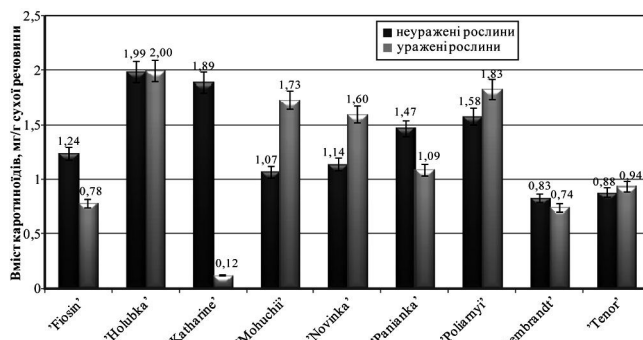


Рис. 3. Вміст каротиноїдів в уражених та неуражених збудником борошнистої роси рослин *Phlox paniculata* (мг/г сухої речовини) / The carotenoid content in plants *Phlox paniculata* affected and unaffected by the pathogen of powdery mildew (mg/g dry matter)

Максимальне співвідношення хлорофілів *a/b* встановлено у неуражених рослин сортів 'Mohuchii' (1,57), 'Fiosin' (1,56) (таблиця). Мінімальне співвідношення хлорофілів *a/b* встановлено у неуражених сортів 'Rembrandt' (0,99) та 'Novinka' (0,99). Максимальне співвідношення в уражених рослин встановлено у сорту 'Holubka' (1,13), дещо нижче – у сорту 'Mohuchii' (1,12), мінімальне співвідношення – у сортів 'Katharine' (0,76) та 'Rembrandt' (0,86) і 'Tenor' (0,86). Внаслідок зараження рослин спостерігається тенденція до зменшення показників співвідношення хлорофілів *a/b* в уражених рослинах порівняно із неураженими. Наприклад, у сорту 'Fiosin' це зниження відбулося на 41,67 %, у сорту 'Tenor' – на 31,7 %, а у сорту 'Rembrandt' відбулось неістотне зниження – на 13,13 %.

Таблиця. Співвідношення фотосинтетичних пігментів в уражених та неуражених збудником борошнистої роси рослин *Phlox paniculata* / The ratio of photosynthetic pigments in plants *Phlox paniculata* affected and unaffected by the pathogen of powdery mildew

Сорт	Співвідношення фотосинтетичних пігментів					
	неуражені рослини			уражені рослини		
	<i>a/b</i>	<i>a+b</i> , мг/г	<i>a+b</i> /кар.	<i>a/b</i>	<i>a+b</i>	<i>a+b</i> /кар.
'Fiosin'	1,56	6,19	5,00	0,91	7,60	9,77
'Holubka'	1,31	5,77	2,89	1,13	10,81	5,41
'Katharine'	1,40	7,20	3,81	0,76	10,92	89,19
'Mohuchii'	1,57	3,99	3,74	1,12	7,27	4,21
'Novinka'	0,99	10,06	8,85	0,98	12,06	7,54
'Panianka'	1,40	5,76	3,92	1,09	7,25	6,66
'Poliarnyi'	1,28	7,46	4,71	1,09	9,03	4,95
'Rembrandt'	0,99	10,37	12,52	0,86	10,72	14,42
'Tenor'	1,26	5,32	6,06	0,86	9,29	9,90

Стосовно наступного показника співвідношення вмісту хлорофілів до вмісту каротиноїдів, який є вагомим показником у фізіології рослин та свідчить про стресовий стан рослин, також спостерігається тенденція до його зростання внаслідок ураження рослин борошнистою роскою. Зокрема, максимальні показники цього співвідношення у фазу цвітіння виявлено в уражених рослинах сортів 'Katharine' 89,19 (порівняно із неураженими 3,81), 'Rembrandt' 14,42 (порівняно із неураженими 12,52), 'Fiosin' 9,77 (порівняно із неураженими 5,00). Співвідношення між сумарним вмістом хлорофілів і каротиноїдами у середньому в досліді становить 2,80–6,44, що характеризує їх як рослин, більш адаптованих для широкого діапазону рівня освітленості. Отже, виявлена закономірність приводить до висновку, що в разі ураження рослин *Phlox paniculata* збудником борош-

нистої роси показники співвідношення суми хлорофілів до каротиноїдів істотно зростають.

Обговорення результатів дослідження. Результати наших досліджень цілком перегукуються із дослідженнями [20], в яких автори виявляли вплив пероноспорозу та борошнистої роси на листковий газообмін виноградної лози (*Vitis vinifera* L.). Результати їх досліджень показали, що борошниста та пероноспорозна роса знижували швидкість асиміляції не тільки через зменшення площі зеленого листа (видимі ураження), але й через зниження міжклітинної концентрації CO₂ і фотосинтетичного пігменту [20].

У роботі [24] автори повідомляють про істотне зниження швидкості фотосинтезу, пошкодження його фотохімічних реакцій внаслідок окислювального сплеску, деградацію хлорофілу та закриття продихів внаслідок ураження виноградної лози *Vitis vinifera* борошнистою росою, що спричиняється збудником *Plasmopara viticola* [24].

У роботі [28] автори зафіксували, що борошниста роса *Peronospora plantaginis* зумовила значне зниження вмісту хлорофілу у рослин. Причому втрата хл.а була істотною, ніж хл.в, окрім цього, швидкість фотосинтезу та провідність продихів у хворих листках також знижена порівняно із здоровими [28].

У роботі [36] автор з колегами встановив, що борошниста роса *Oidium heveae* Steinm – одна із найважливіших хвороб листків каучуконосного дерева *Hevea brasiliensis*, призводить до збільшення вмісту проліну та зниження вмісту хлорофілу (оскільки зниження хл.в нижче, ніж хл.а, тому співвідношення хл.а/в зменшувалося). Інфекція борошнистою росою вплинула на структуру та функцію мітохондрій сильніше, спричинивши цілісність мітохондріальних мембран майже на 80 %, ніж у хлоропластах, що призвело до загибелі листа [36].

У роботі [1] автори запропонували альтернативний спосіб боротьби із борошнистою росою, спричиненою збудником *Erysiphe heraclei* DC на селері *Apium graveolens* L. var. Dulce (Mill.) Pers. Засоби біоконтролю на основі *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., *Serratia marcescens* та *Pseudomonas fluorescens*, застосовувані у польових умовах, продемонстрували високу ефективність у зниженні тяжкості інфікування та пригніченні борошнистої роси на рослині селери. Водночас значно покращилися показники росту та врожайності, а також істотно підвищилась концентрація пігментів листа, активність захисних ферментів, (пероксидаза і поліфенолоксидаза), а також загальний вміст фенолу [1]. Тому перевага методу біоконтролю безперечна і полягає в екологічно безпечній альтернативі захисту рослин від борошнистої роси.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше досліджено вміст і співвідношення пігментів дев'яти сортів *Phlox paniculata* L. в разі ураження збудником борошнистої роси *Erysiphe cichoracearum* в умовах Лісостепу України.

Практична значущість результатів дослідження – отримані дані є цінними для наукових комплексних робіт із таксонами виду, для фітопатологічних досліджень декоративно-квітникових культур, селекційних робіт,

для ефективності заходів проєктування та робіт у садово-парковому господарстві.

Висновок / Conclusions

У процесі досліджень встановлено кількісний і якісний вміст пігментів у сортів *Phlox paniculata* L., виявлено причинно-наслідкові зв'язки між динамікою вмісту пігментів, ступенем зараження та стійкістю рослин до захворювання, спричиненого збудником борошнистої роси.

- Встановлено, що ураження рослини сортів *Phlox paniculata* збудником борошнистої роси призводить до зміни як якісного, так і кількісного вмісту пігментів у листках рослин.
- Виявлено, що рівень хл.а в уражених рослин *Phlox paniculata* істотно зростає, порівняно із неураженими в межах від 11,11 до 42,90 %, за винятком сортів 'Fiosin' та 'Rembrandt'.
- Визначено, що вміст хл.в істотно підвищується у всіх без винятку сортів *Phlox paniculata* внаслідок зараження борошнистою росою. Найбільше зростання – на 54,8 % – зафіксовано у сорту 'Mohuchii', дещо нижче – на 51,7 % – у сорту 'Katharine' і на 50,9 % – у сорту 'Holubka'. Спостерігається загальна тенденція до істотного збільшення кількості хлорофілів в уражених рослин порівняно із неураженими.
- На відміну від хлорофілів, вміст каротиноїдів внаслідок зараження борошнистою росою може значно зменшуватись, як у сорту 'Katharine' (на 93,7 %), так і залишатись на тому ж рівні, як у сорту 'Holubka', або ж істотно підвищуватись, як у сорту 'Mohuchii' (на 38,2 %), та у сорту 'Novinka' (на 28,8 %).
- Високі показники співвідношення вмісту хлорофілів до вмісту каротиноїдів свідчить про стресовий стан рослин. Максимальні показники цього співвідношення 89,19 зафіксовано в уражених рослин сорту 'Katharine', 14,42 – сорту 'Rembrandt' та мінімальні показники 2,89 – у неуражених рослин сорту 'Holubka'. За співвідношенням пігментів у максимальному стресі перебувають уражені сорти 'Katharine', 'Rembrandt', 'Tenor' та 'Fiosin'.

References

1. Ahmed, H. F. A., Seleiman, M. F., Al-Saif, A. M., Alshiekheid, M. A., Battaglia, M. L., & Taha, R. S. (2021). Biological Control of Celery Powdery Mildew Disease Caused by *Erysiphe heraclei* DC In Vitro and In Vivo Conditions. *Plants*, 10 (11), 23–42. <https://doi.org/10.3390/plants10112342>
2. Aliokhina, N. D., Balnokin, Yu. V., Gavrilenko, V. F., et al. (2005). The Plant Physiology. Moscow: Akademia. [In Russian].
3. Baysal-Gurell, F., Farinas, C., Hand, F. P., & Avin, F. A. (2020). First Report of Powdery Mildew of Phlox Caused by *Golovomyces magnicellulatus* in Tennessee. *Plant Disease*, 104(8), 2294. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-19-2498-PDN>
4. Borysiuk, B. V., & Demyanchuk, L. S. (2012). The dependence of chlorophyll content on the level of mineral nutrition of hop plants. *Bulletin of ZhNAU*, 2, 108–113. [In Ukrainian].
5. Brayon, O. V., Kornieev, D. Yu., Sniegur, O. O., & Kytaiev, O. V. (2000). The instrumental study of the photosynthetic apparatus by studying the induction of chlorophyll fluorescence. Kyiv: KDU. [In Ukrainian].
6. Creswell, T. (2020). Garden Phlox. Retrieved from: <https://ag.purdue.edu/btny/ppdl/Pages/POTW2020/POTW07062020.aspx>. [In English].
7. Farinas, C., Jourdan, P., Paul, P. A., & Peduto Hand, F. (2019). Development and Evaluation of Laboratory Bioassays to Study Powdery Mildew Pathogens of Phlox In Vitro. *Plant Disease*, 103, 1536–1543. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0031-RE>
8. Green, N., Stout, W., & Taylor, D. (1990). The Biology. Vol. 3. Moscow: Mir. [In Russian].
9. Gubbenet, E. R. (1951). The Plant and Chlorophyll. Moscow: AS of the USSR, 159–184. [In Russian].
10. Hawke, R. G. (2011). A Comparative Study of *Phlox paniculata* Cultivars. *Plant Evaluation Notes*. Chicago Botanical Garden, 1–10. [In English].

11. Hill, S. N. (2004). Phlox paniculata Blue Boy and Rudbeckia hirta Indian Summer: Cultural Guidelines for Greenhouse Growth and Powdery Mildew Control. (20587) [Masters Thesis, The Virginia Polytechnic Institute and State University, Fac. of Agric., Dept. Hort.]. Retrieved from: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/34985>. [In English].
12. Karapetyan, N. V. (1986). The variable chlorophyll fluorescence as an indicator of the physiological state of plants. *Plant physiology*, 33(5), 1013–1026. [In Russian].
13. Korniev, D. Yu. (2002). The information possibilities of the chlorophyll fluorescence induction method. Kyiv: Alterpress. [In Russian].
14. Kosulina, L. G., Lutsenko, E. K., & Aksionova, V. A. (2011). The physiology of plant resistance to adverse environmental factors. Rostov-on-Don: SFU. [In Russian].
15. Kurenkova, S. V. (1998). The pigment system of cultivated plants in the subzone of the middle taiga of the European Northeast. Ekaterinburg: UBRAS. [In Russian].
16. Levchyk, N. Ya., Skrypka G. I., Levon, V. F., Liubinska, A. V., & Horbenko, N. Ye. (2018). The content of flavonoids in Phlox paniculata L. plants in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(3), 38–42. <https://doi.org/10.15421/40280308>
17. Makrushyn, M. M., Makrushyna, E. M., Peterson, M. V., & Melnykov M. M. (2006). The Plant Physiology. Vinnytsia: Nova Knyha. [In Ukrainian].
18. Malinovskiy, V. I. (2004). The Plant Physiology. Vladivostok: FESU. [In Russian].
19. Medvedev, S. S. (2004). The Plant Physiology. Saint Petersburg: SPU. [In Russian].
20. Moriondo, M., Orlandini, S., Giuntoli, A., & Bindi, M. (2005). The Effect of Downy and Powdery Mildew on Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Leaf Gas Exchange. *Journal of Phytopathology*, 153(6), 350–357. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.00984.x>
21. Musienko, M. M. (2001). The Plant Physiology. Kyiv: Fitosotziotzentr. [In Ukrainian].
22. Musienko, M. M., Parshikova T. V., & Slavniy, P. S. (2001). The spectrophotometric methods in the practice of physiology, biochemistry and ecology of plants. Kyiv: Fitosotziotzentr. [In Ukrainian].
23. Mysyak, R. I. (2011). The photosynthetic activity of shrub pigments under conditions of different insolation. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(16), 319–323. [In Ukrainian].
24. Nogueira Júnior, A. F., Tränkner, M., Ribeiro, R. V., von Tiedemann, A., & Amorim, L. (2020). Photosynthetic Cost Associated With Induced Defense to Plasmopara viticola in Grapevine. *Frontiers in Plant Science*, 11, 235. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00235>
25. Nychyporovych, A. O. (1980). The photosynthesis and growth in plant evolution and productivity. *Plant Physiology*, 27 (5), 917–941 [In Russian].
26. Park, M.-J., Park, J.-H., Lee, S.-G., & Shin, H.-D. (2010). First Confirmed Report on Powdery Mildew of Phlox paniculata Caused by Golovinomyces magnicellulatus in Korea. *Plant Pathology Journal*, 26(3), 295. <https://doi.org/10.5423/PPJ.2010.26.3.295>
27. Pinchuk, N. V., Kovalenko, T. M., & Vergeles, P. M. (2020). Garden and park phytopathology: Textbook. Vinnytsia: VNAU. [In Ukrainian].
28. Saravanan, R., Mandal, K., Gutam, S., Samanta, J. N., & Kumar, V. S. (2010). Changes in photosynthesis related parameters in isabgol (*Plantago ovata*) under downy mildew infection. *Journal of Plant Physiology*, 15(4) (N. S.), 399–403. [In English].
29. Skrypka, G. I. (2018). The resistance of Phlox paniculata L. plants to powdery mildew (*Erysiphe cichoracearum* DC. f. phlogis Jacz.) in the Forest-Steppe of Ukraine. Abstracts of the XVI International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Shevchenko Spring: achievements of biological science. BioScience Advances", Kyiv: Palyvoda, 234–235. [In Ukrainian].
30. Skrypka, G., Kytaev, O., & Kryvoshapka V. (2017). The diagnosis of the functional state of plants of Phlox paniculata L. by induction of fluorescence of chlorophyll of leaves. Materials of the IV international scientific-practical conference "Ecology and nature management in the system of optimization of relations between nature and society", Ternopil: Krok, 102–104. [In Ukrainian].
31. Skrypka, G., Kytaev, O., & Kryvoshapka V. (2017). The functional diagnostics of plants of Phlox paniculata L. varieties by photoinduction of chlorophyll fluorescence of leaves. Materials of the international conference of young scientists "Current issues of botany and ecology", Lutsk: Vezha-Druk, 56. [In Ukrainian].
32. Sytnyk, K. M., & Einor, L. O. (1973). The Green leaf life. Kyiv: Naukova dumka. [In Ukrainian].
33. The methodology for state variety testing of agricultural crops (1968). Ornamental cultures. Ed.6 [In Russian].
34. Timiryazev, K. A. (2018). The Plant life. Moscow: IzdatelstvoYurayt. [In Russian].
35. Tsinger, N. V., & Poddubnaya-Arnoldi, V. A. (1956). On the physiological role of carotenoids in the generative cells of higher plants. Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 106 (I), 157–159. [In Russian].
36. Wang, L.-F., Wang, M., & Zhang, Y. (2014). Effects of powdery mildew infection on chloroplast and mitochondrial functions in rubber tree. *Tropical Plant Pathology*, 39(3), 242–250. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000300008>
37. Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
38. Yakovlev, A. P., Shobanova, I. A., Bozhko, L. A., & Bulavko, G. I. (2008). The influence of residual amounts of deicing materials on physiological and biochemical parameters of woody-shrub plants. Materials of the III International Scientific Conference. Xenobiotics and Living Systems. Minsk: BSU, 172–174. [In Russian].
39. Yakushkina, N. I. (1980). The Plant Physiology. Moscow: Prosveshcheniye. [In Russian].
40. Zhukovskiy, P. M. (1949). The relationship of the generative function of plants with carotenoids. Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 66 (5), 965–968. [In Russian].
41. Zlobin, Yu. A. (2009). The population ecology of plants: current status, growth points. Sumy: Universitetskaya kniga. [In Russian].

N. Ya. Levchyk¹, G. I. Skrypka¹, V. F. Levon¹, A. V. Liubinska¹, O. V. Zakrasov¹, N. Ye. Horbenko²

¹ M. M. Gryshko National Botanical Garden, NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

THE CHANGE IN CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE LEAVES OF *PHLOX PANICULATA* L. PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF THE POWDERY MILDEW PATHOGEN IN M. M. GRYSHKO NATIONAL BOTANICAL GARDEN, NAS UKRAINE

Plants damage by powdery mildew (*Erysiphe cichoracearum* DC. f. phlogis Jacz.), which adversely affects their decorative and physiological state, is a serious problem in floriculture. The studies of the stability and decorativeness of *Phlox paniculata* L. plants in connection with the content and ratio of pigments have become particularly relevant and necessary as they have not been studied in Ukraine and abroad. Therefore, the aim of our work was to investigate the content of photosynthetic pigments in the leaves of plants affected by powdery mildew of *Phlox paniculata* L. in the Forest-Steppe of Ukraine and their impact on plant stability. The objects of research were new and old varieties of domestic and foreign selection of the collection fund of M. M. Gryshko National

Botanical Garden of NAS of Ukraine with varying degrees of powdery mildew. In the process of determining the content of photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoids), generally accepted domestic methods by M. M. Musienko were used. Plants of *Phlox paniculata* varieties in the Forest-Steppe of Ukraine are very vulnerable to the pathogen of powdery mildew, which is manifested in changes in the qualitative composition and quantitative content of pigments in plant leaves. The quantitative content and qualitative composition of photosynthetic pigments, in particular chlorophylls a and b and carotenoids in the affected and unaffected by powdery mildew pathogen leaves of plant varieties *Phlox paniculata* in the Forest-Steppe of Ukraine have been determined. There is a tendency to significantly increase the content of chlorophyll in powdery mildew affected plants compared to unaffected ones. The most resistant varieties were Mohuchii, Katharine, and Tenor. The highest content of chlorophyll b was found in plants of Katharine, Novinka, Rembrandt, and Holubka varieties, which indicates that plants are under stress and may be related to the preparation of plants for flowering. The effect of fungal infection on plants to reduce the ratio of chlorophyll a to b and, in contrast, a significant increase in the ratio of chlorophyll to carotenoids has been assessed. Thus, we may draw the conclusion that a high level of the ratio of chlorophyll to carotenoids is an important indicator, which also shows that the plants are under stress due to damage. The highest ratio of chlorophyll to carotenoids 89.19 was recorded in affected plants of variety Katharine, average 14.42 – variety Rembrandt, and the lowest values in unaffected plants 2.89 – variety Holubka respectively. The regularities are characterized, and the use of the ratio of photosynthetic pigments in *Phlox paniculata* plants as a marker of variety stability is proposed.

Keywords: cultivars; panicle *Phlox*; chlorophylls; carotenoids; fungus *Erysiphe cichoracearum* DC. f. *phlogis* Jacz.