Нотатки сучасної біології
Notes in Current Biology

УДК 630*17:582.475(477.81/.82) DOI: https://doi.org/10.29038/NCBio.24.1-9

Вміст пластидних пігментів у дерев сосни звичайної уражених сосновим вертуном в умовах Західного Полісся

Юлія Рибак, Марія Шепелюк

Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

Адреса для листування: Rybak.Julua@vnu.edu.ua

Отримано: 16.02.24; прийнято до друку: 15.05.24; опубліковано: 06.06.24

Резюме. Досліджено біосинтез пластидних пігментів у дерев *Pinus sylvestrys* L., які уражені *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., в умовах Західного Полісся. У хвої дерев слабкого і середнього ступеня ураження сумарний вміст хлорофілів і каротиноїдів виявився нижчим за контроль на 13,3…30,0 %. Дерева сильного ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* у порівнянні з контролем синтезують істотно меншу на 21,8...38,4 % кількість зелених і жовтих пігментів. Зниження вмісту зелених пігментів у дослідних дерев *Pinus sylvestrys* L. проходить в основному внаслідок пригнічення синтезу хлорофілу *a*, що впливає на особливості засвоєння рослинами спектрів сонячного світла. У дослідних варіантів слабкого та середнього ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.відношення хлорофілів *a*/*b* є близьким до контролю, а в особин сильного ступеня ураження зменшилось на 23,3...32,9 %. В ослаблених дерев *Pinus sylvestrys* L., співвідношення між кількістю зелених і жовтих пігментів виявилось близьким до контролю.

Ключові слова: *Pinus sylvestrys* L., *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., ураження, пластидні пігменти.

The pigments content in *Pinus sylvestris* L. affected by *Melampsora pinitorqua* in conditions of Western Polissya

Julia Rybak, Mariia Shepeliuk

Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

Correspondence: Rybak.Julua@vnu.edu.ua

Abstract. The biosynthesis of plastid pigments in *Pinus sylvestrys* L.was investigated in pine trees affected by *Melampsora pinitorqua* in the conditions of the Western Polissya. The total content of chlorophylls and carotenoids in the needles of trees with a mild and moderate degree of damage by *Melampsora pinitorqua* is 13,3…30,0 % lower than in the control. Trees severely affected by *Melampsora pinitorqua* synthesize 21.8...38.4 % less green and yellow pigments. A decrease in the content of green pigments in experimental pine trees is caused by chlorophyll *a*. It influences on absorption direct sunlight for the process of photosynthesis. The ratio of chlorophylls *a*/*b* is close to the control in experimental trees with a mild and moderate degree of disease damage and decreases by 23.3...32.9 % in trees with a severe degree of disease damage. In all affected trees, the ratio between the amount of green and yellow pigments is close to the control.

Key words: *Pinus sylvestrys* L., *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., disease damage, plastid pigments.

ВСТУП

Проблема погіршення санітарного стану хвойних лісів за останні роки привертає все більшу увагу вчених та громадськості. Однією з основних причин погіршення продуктивності соснових насаджень дослідники відмічають масове поширення грибкових захворювань [2, 5, 7].

Вирішення проблеми всихання хвойних насаджень залишається одним з найважливіших завдань лісового господарства. Для цього необхідна система діагностики виникнення фітохвороб та розробки ефективних заходів боротьби і обмеження їх поширення. Збудники захворювань впливають на всі життєві функції ураженої рослини і призводять до суттєвих змін у метаболізмі дерев. Реакція дерев на ураження фітопатогенами проявляється спочатку на фізіолого-біохімічному рівні ще задовго до зовнішнього прояву, а вже потім вона стає помітною на морфологічному рівні, що пов’язано зі

зміною росту пагонів і хвої та формуванням їх анатомічних елементів.

Серед біотичних чинників ослаблення соснових лісів важливе місце посідає сосновий вертун (*Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.), який зумовлює деформацію молодих пагонів дерев *Pinus sylvestrys* L. і відноситься до дуже небезпечних хвороб молодняків [8, 11]. Біологія та екологія грибкового захворювання вивчена досить детально. Водночас процеси життєдіяльності дерев сосни, уражених фітопатогенами, вивчені слабо. Є лише окремі роботи, в яких показано аспекти морфофізіологічних змін дерев *Pinus sylvestrys* L., уражених різноманітними збудниками.

Одним з найбільш інформативних показників, який характеризує стан фотосинтетичного апарату дерев *Pinus sylvestrys* L. є вміст хлорофілів та каротиноїдів. За даними М. І. Бойка [1] було встановлено, що у хворих дерев спостерігалось зниження вмісту хлорофілів і каротиноїдів на 27…39 %, а вміст зелених пігментів постійно змінюється залежно від віку хвої і ступеня ураження сосни кореневою гниллю. О. В. Кудінова [3] навпаки відмічала збільшення вмісту зелених і жовтих пігментів в інфікованих кореневою губкою проростків сосни та зниження співвідношення хлорофілів і каротиноїдів, що пов'язано зі збільшенням концентрації жовтих пігментів. На основі отриманих даних І. А. Чемерис, С. І. Ключко [9] вказали, що соснові деревостани, які перебувають під впливом стресових чинників міського середовища характеризуються зменшенням співвідношення хлорофілів *a/b*, збільшенням суми хлорофілів щодо каротиноїдів, пригніченням фотохімічної активності хлорофілу ізольованих хлоропластів. Але водночас у дерев встановлено підвищення вмісту фотосинтетичних пігментів, що є ознакою розвитку компенсаційних механізмів і формування адаптивної специфічної реакції. Досліджуючи хвою *Pinus sylvestrys* L. в Українських Карпатах, О. О. Погрібний [6] зробив висновок, що в умовах вологих суборів (В3) реліктова *Pinus sylvestrys* L. синтезує найбільшу кількість пластидних пігментіув, а тому її продуктивність в таких лісорослинних умовах є найвищою. Відношення хлорофілу а до хлорофілу b коливається у межах 3,669 (В3)…4,728 (А3) і вказує на те, що дослідження пігментів проводили на здорових деревах.

Вивчення фізіолого-біохімічних показників дерев у процесі розвитку хвороби дозволить виявити найбільш характерні ознаки, користуючись якими можна було б робити висновки про їх фізіологічний стан, а також про ступінь пошкодження деревних рослин. Об'єктивна оцінка поточного фізіологічного стану та вивчення стійкості дерев сосни звичайної до різноманітних патологічних процесів необхідні для прогнозування появи нових осередків захворювань та виявлення меж вже існуючих.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Об'єктом нашого дослідження служили молоді лісові культури сосни звичайної *Pinus silvestris* L., уражені сосновим вертуном (*Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.). У Волинській та Рівненській областях було закладено 5 дослідних ділянок в свіжих соснових борах і дубово-соснових суборах.

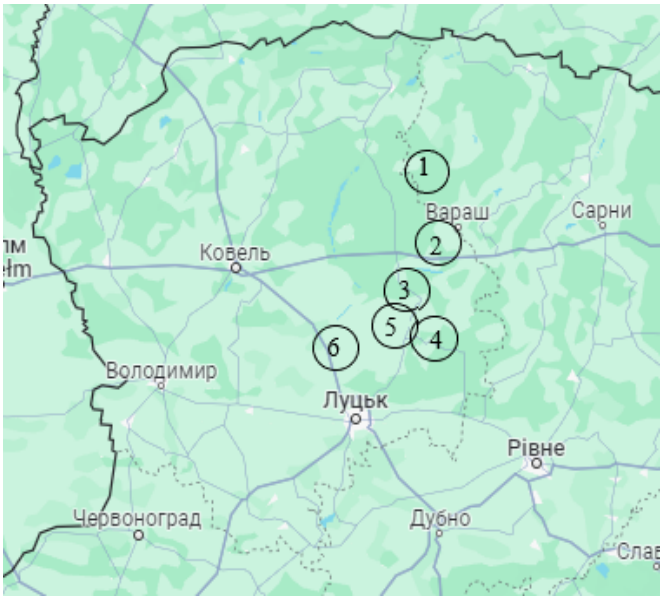

Рис. 1. *Схема розміщення пробних площ*

Для проведення дослідження вмісту пластидних пігментів на кожній ділянці за загальноприйнятими методиками буловідібрано по 10–12 уражених *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.і 10–12 здорових (контрольних) дерев *Pinus sylvestrys* L.. Насадження представлені молодими 5…10-річними деревами сосни. Густота дерев на них становить 3675…7200 шт./га, в тому числі *Pinus sylvestrys* L. 3175…7025 шт./га. Середня висота дерев на пробних площах коливається в межах 1,3…4,0 м, а діаметра – 1,5…4,0 см.

Рис. 2. *Дерева Pinus sylvestrys L., уражені Melampsora pinitorqua*

Ідентифікацію грибкових захворювань проводили за допомогою довідкової літератури [10]. Для рослин, уражених *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., використано градацію ступенів їх ураження: слабкий – центральний пагін здоровий, не більше 10 % бічних пагонів хворі; середній – на центральному пагоні є виразки або викривлення, до 25 % бічних пагонів уражені хворобою; сильний – центральний і бічні пагони уражались протягом багатьох років, рослини мають кущисту форму.

Вміст пластидних пігментів визначили за спектрофотометричними методом [4]. Подрібнену хвою (70...100 мг) розтирали до однорідної маси і екстрагували 80 % розчином ацетону. Екстракт фільтрували через фільтр Шотта. Оптичну густину отриманих витяжок визначали при довжині хвилі 440,5, 649 і 665 нм на СФ-256 УВИ. Концентрацію хлорофілів (С) розраховували за формулами Вернона: C_a=11,63*D_{665}−2,39*D_{649} (мг/л), C_b=20,11*D_{649}−5,18*D_{665} (мг/л), C_{a+b}=6,45*D_{665}+17,72*D_{649} (мг/л), а каротиноїдів − за Хольм-Веттштейна $C_{кар.}$=4,695*$D_{440.5}$−0,268*(C_a+C_b), мг/л. Вміст пігментів (А) в рослинному матеріалі розраховували на абсолютно суху масу за формулою:

$$A = \frac{C \cdot V}{P \cdot 1000} \cdot K, \qquad (1)$$

де: А − вміст пігментів, мг/г абс. сух маси; V − об'єм витяжки пігментів, мл (25 мл); Р − наважка рослинного матеріалу, г (0,1 г); С − концентрація пігментів, мг/л; К − коефіцієнт усихання хвої.

Для дослідження хвою відбирали з однорічних пагонів верхньої частини південної сторони крони дерев у другій половині вересня..

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Стійкість рослин до несприятливих чинників, в тому числі і до ураження фітохворобами, значною мірою залежить від функціонування їх асиміляційного апарату, показником стану якого є вміст пластидних пігментів. За період проведення досліджень у дерев сосни різного ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.виявлено певні закономірності у біосинтезі пластидних пігментів. Так, вміст хлорофілів у хвої контрольних дерев *Pinus sylvestrys* L., уражених *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., становить 2,103...2,860 мг/г абс. сух. маси, а концентрація каротиноїдів коливається у межах 0,369...0,555 мг/г абс. сух. маси (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст пластидних пігментів у хвої *Pinus sylvestrys* L., ураженої *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.

Показники	Вміст пластидних пігментів, мг/г абс. сух. маси			
	M±m	V,%	M±m	V,%
1	2	3	4	5
Дослідні дерева характеризуються слабким та середнім ступенем ураження				
	Пробна площа 1		Пробна площа 2	
Хлорофіл *a*	1,736±0,027 1,364±0,034	4,9 7,8	2,078±0,065 1,466±0,038	9,9 8,3
Хлорофіл *b*	0,574±0,032 0,453±0,019	17,4 13,0	0,782±0,023 0,561±0,013	9,4 7,5
a+*b*	2,310±0,052 1,817±0,027	7,1 4,7	2,860±0,081 2,028±0,041	8,9 6,4

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5
Каротиноїди	0,387±0,012 0,287±0,007	9,9 7,6	0,433±0,010 0,303±0,007	7,5 7,6
a/*b*	3,10±0,16 3,07±0,17	16,4 17,0	2,67±0,07 2,63±0,09	8,7 11,1
(*a*+*b*)/*карот.*	6,00±0,16 6,36±0,18	8,5 8,7	6,61±0,09 6,70±0,16	4,1 7,4
Дослідні дерева характеризуються сильним ступенем ураження				
	Пробна площа 3		Пробна площа 4	
Хлорофіл *a*	2,018±0,064 1,104±0,038	10,0 10,8	1,748±0,061 1,059±0,029	11,1 8,8
Хлорофіл *b*	0,693±0,023 0,566±0,016	10,5 8,9	0,355±0,019 0,280±0,012	16,5 13,1
a+*b*	2,711±0,080 1,669±0,045	9,3 8,5	2,103±0,073 1,339±0,038	11,0 8,9
Каротиноїди	0,410±0,016 0,263±0,007	12,2 8,7	0,369±0,018 0,241±0,006	15,3 8,5
a/*b*	2,92±0,08 1,96±0,07	9,0 11,3	4,99±0,21 3,83±0,14	13,3 11,7
(*a*+*b*)/*карот.*	6,64±0,13 6,35±0,12	6,1 6,1	5,76±0,19 5,59±0,20	10,6 11,2
	Пробна площа 5			
Хлорофіл *a*	1,792±0,048 1,249±0,026	8,5 6,6		
Хлорофіл *b*	0,778±0,018 0,762±0,022	7,4 9,2		
a+*b*	2,570±0,053 2,011±0,034	6,5 5,4		
Каротиноїди	0,555±0,017 0,440±0,009	9,6 6,2		
a/*b*	2,32±0,08 1,65±0,06	10,8 11,1		
(*a*+*b*)/*карот.*	4,67±0,13 4,58±0,05	8,6 3,4		

Примітки: *В чисельнику – контроль дерева, в знаменнику – дослід.*

У хвої *Pinus sylvestrys* L. слабкого і середнього ступеня ураження сумарний вміст хлорофілів коливався в межах 1,817...2,028 мг/г абс. сух. маси, а каротиноїдів − 0,287...0,303 мг/г абс. сух. маси, що виявилось нижчим за контроль відповідно на 21,3...29,1 % і 25,8…30,0 % – див. табл. 1. Дерева сосни сильного ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.синтезують, зазвичай, меншу кількість зелених і жовтих пігментів. Так, сума хлорофілів у хвої дорівнювала 1,339...2,011 мг/г абс. сух. маси, а каротиноїдів − 0,241...0,440 мг/г абс. сух. маси, що відповідно на 21,8...38,4 % і 20,7...35,9 % нижче контролю.

У пігментному фонді дерев сосни в усіх варіантах переважає хлорофіл *a*. Його концентрація в однорічній хвої контрольних рослин змінювалась в межах 1,736...2,078 мг/г абс. сух. маси. У дерев слабкого та середнього ступеня ураження сосновим вертуном цей показник виявився нижчим за контроль на 21,4…29,5 %, а сильного ступеня – на 30,3…45,3 %. Вміст хлорофілу *b* в однорічній хвої контрольних дерев *Pinus sylvestrys* L. становить 0,355…0,778 мг/г абс. сух. маси. У сильно уражених рослин він знизився на 2,1…21,1 %. У варіантів слабкого та середнього ступеня ураження виявлено більш значне зниження хлорофілу *b* на 21,1…28,3 %.

Було встановлено, що концентрація хлорофілу *a* в однорічній хвої контрольних дерев сосни у період проведення досліджень перевищувала вміст хлорофілу *b* в 2,32...4,99 рази. У дослідних варіантів слабкого та середнього ступеня ураження відношення хлорофілів *a*/*b* було близьким до контролю і знижувалось не більше як на 2 %. У однорічній хвої дерев сильного ступеня ураження воно виявилось на 23,3...32,9 % вищим від контролю.

Відношення вмісту суми хлорофілів (*a*+*b*) до кількості каротиноїдів у *Pinus sylvestrys* L. на контрольній ділянці протягом періоду спостереження становило 4,67...6,64. У дослідних дерев співвідношення між кількістю зелених і жовтих пігментів було близьким до контролю, хоча можна вказати деякі особливості. Так, у однорічній хвої сосни слабкого та середнього ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.спостерігалось невелике зрос-

тання цього показника на 1,5…6,1 % ($t_ф$=1,54...0,54; t_{05}=2,26) у порівнянні з контролем. У дерев сильного ураження він виявився на 1,8...4,4 % ($t_ф$=0,61...1,66) нижчим за контроль.

Досліджуючи індивідуальний аспект біотинтезу пластидних пігментів у хвої дерев *Pinus sylvestrys* L., нами було встановлено, що мінливість вмісту зелених та жовтих пігментів у листяному апараті контрольних рослин є слабкою та середньою, в той час як у дослідних вона виявилась лише слабкою. Так, у здорових дерев коефіцієнт варіації вмісту хлорофілів становив 6,5…11,0 %, а каротиноїдів – 7,5…15,3 %. В уражених рослин його значення відповідно дорівнювали 4,7…8,9 і 6,2…8,7 %. Причому, зв'язку між ступенем ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.і величиною мінливості *Pinus sylvestrys* L. за вмістом зелених і жовтих пігментів серед дослідних варіантів не встановлено.

Фактичний сумарний вміст зелених пігментів у хвої контрольних дерев, які зростають в умовах ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., становить 1,190...2,257 мг/г абс. сух. маси, а каротиноїдів – 0,210...0,446 мг/г абс. сух. маси. У рослин середнього ступеня захворювання ці показники відповідно знаходяться в межах 1,993...3,331 і 0,328...0,481 мг/г абс. сух. маси, і в сильно уражених – 1,786...3,182 і 0,314...0,670 мг/г абс. сух. маси.

Встановлено сезонні зміни у накопиченні пластидних пігментів деревами сосни, ураженими *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.. Концентрація хлорофілів і каротиноїдів, як в уражених, так і в контрольних дерев, протягом червня–вересня зростає, досягаючи максимальних значень в кінці вегетаційного періоду. При цьому контрольні дерева істотно перевищують дослідні за вмістом хлорофілів на 15,0…45,0 % і каротиноїдів на 13,3…35,4 %.

ВИСНОВКИ

Враховуючи проведені дослідження, можемо вказати, що дерева *Pinus sylvestrys* L. сильного ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.синтезують істотно меншу кількість зелених і жовтих пігментів у порівнянні з контролем.

У хвої дерев слабкого і середнього ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr. сумарний вміст хлорофілів і каротиноїдів виявився нижчим за контроль на 13,3…30,0 %. Дерева сильного ступеня інфікування у порівнянні з контролем синтезують на 21,8...38,4 % меншу кількість зелених і жовтих пігментів.

Зниження вмісту зелених пігментів у дослідних дерев *Pinus sylvestrys* L. проходить в основному внаслідок пригнічення синтезу хлорофілу *a*, що впливає на особливості засвоєння рослинами спектрів сонячного світла.

У дослідних варіантів слабкого та середнього ступеня ураження *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr.відношення хлорофілів *a*/*b* є близьким до контролю, а в особин сильного ступеня ураження зменшилось на 23,3...32,9 %.

В дерев, ослаблених *Melampsora pinitorqua* (Br.) Rostr., співвідношення між кількістю зелених і жовтих пігментів виявилось близьким до контролю. Лише в дерев сильного ступеня ураження відношення (*a*+*b*)/*c* знижується на 10,5…22,0 %.

Отримані результати показують, що дерева *Pinus sylvestrys* L. реагують на ураження грибковими патогенами зміною біосинтезу пластидних пігментів. Ці показники доцільно використовувати для діагностики розвитку фітохвороб у деревостанах, відбору стійких форм деревних рослин до впливу фітопатогеннів та успадкування цих ознак їх потомством для створення біологічно стійких насаджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко М. І. Фізіолого-біохімічні особливості системи *Pinus sylvestris* L. – *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. і перспективи практичного використання екзометаболітів деяких дереворуйнівних грибів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. біол. наук : 03.00.12 ; 03.00.24. Київ, 1996. 51 с.
2. Бородавка В. О., Гетьманчук А. І., Кичилюк О. В. Патологічні явища у всихаючих соснових насадженнях Волинського Полісся. *Вісник НУБіП України.* 2016. Випуск 238. С. 102–118.
3. Кудінова О. В., Бойко М. І. Вміст пігментів та органічного вуглецю в інфікованих кореневою губкою проростках *Pinus sylvestris* L. *Український ботанічний журнал*. 2005. № 1. С. 115–121.
4. Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
5. Нейко І. С. Стан та причини дигресії лісів Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ*. 2009. Випуск 19.4. С. 37–43.
6. Погрібний О.О., Заячук В.Я. Сосна звичайна в лісах Українських Карпат. Косів: Писаний Камінь, 2017. 192 с.
7. Стасевич Л. І. Харамбура Я. Й. Хвороби та комахи-фітофаги сосни звичайної у західному регіоні України. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2003. Вип. 33. С. 42–46.
8. Тихоненко Ю. Я. Гриби роду *Melampsora* Cast. в Україні. *Український ботанічний журнал*. 2010. Т. 67, № 6. С. 906–915.
9. Чемерис І. А., Ключка С. І. Вміст фотосинтетичних пігментів у хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в умовах заповідних об'єктів міста Черкаси. Scientific Bulletin of UNFU. 2021. № 31(4). С. 15–21. https://doi. org/10.36930/40310402
10. Шевченко С. В., Цилюрик А. В. Лісова фітопатологія : підручник для студентів вищого навчального закладу. Київ : Вища школа, 1986. 384 с.
11. Martinsson O. The influence of pine twist rust (*Melampsora pinitorqua*) on growth and development of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *European Journal of Forest Pathology*. 1985. Volume 15, Issue 2. p. 103-110. https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1985.tb00873.x