



УДК 581.1:502.521

Ольга Миколаївна Зубровська, Віталій Миколайович Гришко
**ЗМІНИ СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ЛІПІДІВ КУТИКУЛИ *POPULUS ITALICA*
ТА *BETULA PENDULA* В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ**

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, м. Кривий Ріг, 50089, Україна
e-mail: piskovajaolga@rambler.ru

Досліджували вплив забруднення важкими металами на фізіолого-біохімічні зміни у листках *Populus italica* (Du Roi) Moench і *Betula pendula* Roth. Встановлено, що на різних етапах морфогенезу листка концентратором переважної більшості токсикантів виявилася *P. italica*. При цьому, рівень цинку в її листках був максимальним серед досліджуваних важких металів. Натомість *B. pendula* в своїх асиміляційних органах найбільше акумулювала кадмій, вміст якого був у 2 рази вищим, порівняно з *P. italica*. Забруднення важкими металами викликало підвищення інтенсифікації процесів ПОЛ у листках *B. pendula* майже в 3 рази, тоді як в асиміляційних органах *P. italica* – лише до 50%. З'ясовано, що в промислових умовах у складі поверхневих ліпідів кутикули листків *B. pendula* з'являлися стерини і вільні жирні кислоти, а у листках *P. italica* зростав вміст фосфоліпідів і дигліцеридів, тоді як тригліцериди не ідентифікувались.

Ключові слова: *Populus italica*, *Betula pendula*, важкі метали, ТБК-активні сполуки, поверхневі ліпіди, кутикула

Ольга Николаевна Зубровская, Виталий Николаевич Гришко
**ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЛИПИДОВ КУТИКУЛЫ
POPULUS ITALICA И *BETULA PENDULA* В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины
ул. Маршака, 50, г. Кривой Рог, 50089, Украина
e-mail: piskovajaolga@rambler.ru

Исследовали влияние загрязнения тяжелыми металлами на физиолого-биохимические изменения в листьях *Populus italica* (Du Roi) Moench и *Betula pendula* Roth. Установлено, что на разных этапах морфогенеза листа концентратором подавляющего большинства токсикантов оказался *P. italica*. При этом уровень цинка в его листьях был максимальным среди исследуемых тяжелых металлов. *B. pendula* в своих ассимиляционных органах больше всего аккумулировала кадмий, содержание которого было в 2 раза выше, по сравнению с *P. italica*. Загрязнение тяжелыми металлами вызывало повышение интенсивности процессов ПОЛ в листьях *B. pendula* почти в 3 раза, тогда как в ассимиляционных органах *P. italica* – лишь до 50%. Кроме того, установлено, что в промышленных условиях в составе поверхностных липидов кутикулы листьев *B. pendula* появлялись стеринны и свободные жирные кислоты, в листьях *P. italica* возрастало содержание фосфолипидов и диглицеридов, а триглицериды не идентифицировались.

Ключевые слова: *Populus italica*, *Betula pendula*, тяжелые металлы, ТБК-активные соединения, поверхностные липиды, кутикула

O. M. Zubrovskaya, V. M. Gryshko

CHANGES OF CUTICLE SURFACE LIPIDS OF *POPULUS ITALICA* AND *BETULA PENDULA* CAUSED BY POLLUTION

Kryvyi Rig Botanic Garden, National Academy of Sciences of Ukraine

Marshak St.50, Kryvyi Rig, 50089, Ukraine

e-mail: piskovajaolga@rambler.ru

Arboreal plants intensively accumulate heavy metals, resulting in a corresponding revocation level of physiological processes. The lipid components operate an important role in the formation of plant resistance. Therefore, it was very important to determine the characteristics of lipid peroxidation flow in leaves of arboreal plants, and changes in the composition of cuticle surface lipids at different levels of heavy metal accumulation.

Research objects were *Populus italica* (Du Roi) Moench and *Betula pendula* Roth. of second age group, growing on the industrial site PJSC 'Kryvyi Rig Factory of minium' (with strong contamination) and in the arboretum of Kryvyi Rig Botanic Garden, National Academy of Science of Ukraine (conventional control). Leaves were taken from the middle of the crown southwest exposure in phase of leaf full separation and 5-10 day of phase finishing point of their growth.

It was shown that *P. italica* maximally accumulated zinc, content of which was increased in the phase of leaf full separation and on 5-10 day of phase of leaf growth finishing point relative to the control to 12,6 and 23 times respectively. The accumulation level of heavy metals was typically less significant for assimilation organs of *B. pendula* compared to *P. italica*. Thus, the content of zinc and lead in the leaves during the study increased only in 2 times towards control. The leaves of *B. pendula*, unlike *P. italica*, more intensively accumulated cadmium in the phase of leaf full separation and on 5-10 day of phase finishing point of their growth (it was 6 and 15 times higher relative to control respectively). It was obviously connected to the fact that the surface texture of poplar leaves may cause intense sticking of dust particles containing heavy metals and penetration into the leaves.

The effect of heavy metals in both phases of leaf morphogenesis caused an increase in lipid peroxidation by 40-52% for *P. italica* and almost by 3 times for *B. pendula*. Furthermore, we marked special patterns for these species towards changes in the composition of the surface cuticle lipids in their leaves. In *P. italica* we marked decrease of heterogeneity in its composition (not identified triglycerides). In *B. pendula* we registered greater amount of low molecular weight components (sterols and free fatty acids). The leaves of *P. italica* were characterized by increased content of phospholipids and diglycerides, while its level was insignificantly decreased in *B. pendula*. Common specific feature of these species was increasing of sterol ester content in all the phases of leaves morphogenesis.

Key words: Populus italica, Betula pendula, heavy metals, TBK-active products, surface lipids, cuticle.



Техногенне навантаження в зоні дії промислових підприємств обумовлюється здебільшого за рахунок пилових та газових викидів. Важкі метали, які містяться в пилових викидах, вважаються особливо токсичними і призводять до суттєвого забруднення довкілля (Гришко та ін., 2012). Їх накопичення, насамперед, призводить до істотних порушень фізіолого-біохімічних процесів у клітинах рослин, що проявляється в припиненні їх росту і прискорює процеси деградації фітоценозів санітарно-захисних зон підприємств (Глухов, 2006).

Деревні рослини з їх розвиненою контактуючою поверхнею інтенсивно акумулюють важкі метали, оскільки протягом всього життя «прив'язані» до локальної території і зазнають впливу двох середовищ: ґрунтового та повітряного (Коршиков, 1996). Вплив на рослини різноманітних стресових факторів призводить до відповідного відгуку на рівні фізіологічних процесів та активації гомеостатичних механізмів (Clemens, 2006). Важливу роль у підтриманні гомеостазу та формуванні стійкості рослин виконують ліпідні компоненти, як клітини, так і кутикули, вміст яких має значні коливання і насамперед визначається їх видовими особливостями (Гришко, Піскова, 2012). На кількісний і якісний склад ліпідів також впливають і зовнішні фактори. Тому актуальним на сьогодні є визначення особливостей перебігу пероксидного окиснення ліпідів у листках деревних рослин і зміни складу поверхневих ліпідів кутикули за різного рівня забруднення важкими металами, що і становило мету роботи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами досліджень були *Populus italica* (Du Roi) Moench і *Betula pendula* Roth. другої вікової групи, що ростуть на проммайданчику ЗАТ «Криворізький суриковий завод» (в зоні сильного забруднення) і в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (умовний контроль). Для аналізу відбирали листки з середини крони південно-західної експозиції у фазу повного відосблення листка та 5-10 добу фази завершення росту листка.

Вміст важких металів у рослинному матеріалі визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) за загальноприйнятими методами (Методические указания..., 1989). Визначення вмісту ТБК-активних продуктів проводили на спектрофотометрі СФ-2000 (Росія) за В.С. Камишніковим (2000), білку – за Ch.S. Greenberg (1982) за реакцією з бромфеноловим синім. Екстракцію поверхневих ліпідів з асиміляційних органів проводили за модифікованим методом Блайя і Дайера (Берзеніна та ін., 2002). Тонкошарову хроматографію поверхневих ліпідів проводили за М. Кейтсом (1975). Повторність у межах окремого варіанту дослідження складала 10 рослин, аналітична повторність 4-кратна. Статистична обробка експериментальних даних проводилася за загальноприйнятими методами параметричної статистики при 95% рівні значущості за Б.А. Доспеховим (1985).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Узагальнені розрахунки концентрації токсикантів у листках *P. italica* в умовах забруднення промисловими викидами (табл. 1) свідчать, що найбільше серед усіх досліджених поліютантів накопичувався цинк, який відноситься до класу високонебезпечних сполук і має переважно фоліарний шлях надходження у деревні рослини (Гиниятуллин, 2007). Так, у фазу повного відособлення листка і на 5-10 добу фази завершення росту листка його кількість перевищувала даний показник у інтактних рослин у 12,6 та 23 рази відповідно, що, ймовірно, пов'язане з його безбар'єрним надходженням до органів тополі (Копылова, 2012) та їх видовою специфічністю до акумуляції цинку (Ветчинникова, 2013). Концентрація плумбуму в асиміляційних органах *P. italica* збільшувалася порівняно з контролем від 2,9 до 8 разів у першу та другу фазу морфогенезу листка відповідно. Практично з такою ж інтенсивністю відбувалася акумуляція нікелю, що підтверджується перевищенням його вмісту за абсолютними значеннями до 5,8 разів порівняно з контрольними рослинами (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст деяких важких металів у листках деревних рослин (мкг/г сухої речовини)

Пробна ділянка	Цинк		Нікель		Плюмбум		Кадмій	
	M±m	Z _{рЛ}	M±m	Z _{рЛ}	M±m	Z _{рЛ}	M±m	Z _{рЛ}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Populus italica</i>								
Умовний контроль	<u>0,46±0,02</u> 0,45±0,00	—	<u>0,72±0,08</u> 0,69±0,01	—	<u>0,82±0,03</u> 1,42±0,05	—	<u>0,05±0,00</u> 0,06±0,00	—
Зона сильного забруднення	<u>5,77±0,09*</u> 10,44±0,15*	<u>12,62</u> 23,07	<u>2,73±0,06*</u> 4,03±0,11*	<u>3,77</u> 5,86	<u>2,36±0,07*</u> 11,64±0,10*	<u>2,87</u> 8,19	<u>0,25±0,01*</u> 0,55±0,02*	<u>4,99</u> 8,65
<i>Betula pendula</i>								
Умовний контроль	<u>0,39±0,03</u> 0,88±0,01	—	<u>0,93±0,04</u> 1,06±0,04	—	<u>0,70±0,00</u> 1,76±0,08	—	<u>0,08±0,00</u> 0,11±0,02	—
Зона сильного забруднення	<u>0,75±0,03*</u> 2,04±0,05*	<u>1,95</u> 2,32	<u>1,25±0,11*</u> 1,52±0,04*	<u>1,34</u> 1,43	<u>1,43±0,08*</u> 4,59±0,22*	<u>2,05</u> 2,62	<u>1,16±0,01*</u> 0,62±0,02*	<u>15,03</u> 5,79

Примітка: Z_{рЛ} – показник внутрішньотканинного забруднення листків; * – статистично достовірна різниця відносно контролю при p < 0,05; в чисельнику – значення у фазу повного відособлення листка, у знаменнику – на 5-10 добу фази завершення росту листка

Зазначимо, що на думку У. Крамер (2000), одним з механізмів, який забезпечує високу толерантність рослин до нікелю, є вакуолярна локалізація



його комплексів з органічними кислотами, завдяки чому він вилучається з активного метаболізму клітини. До того ж, як видно з табл. 1, *P. italica* інтенсивно концентрує в листках ще й кадмій, що, ймовірно, пов'язане з ефектами синергізму між іонами кадмію, цинку та плюмбуму (Краємер, 2000).

Загалом слід зазначити, що для *P. italica* характерною була висока інтенсивність акумуляції переважної більшості сполук важких металів, тому вона була віднесена до видів з високим рівнем акумуляції токсикантів (Гришко та ін., 2012). Встановлене, вочевидь, пов'язане з тим, що текстура поверхні листків тополі, а саме опушеність та наявність на листовій поверхні смолистих речовин, сприяє більш інтенсивному налипанню пилових часток зі сполуками важких металів і, як наслідок, більшому фоліарному проникненню токсичних елементів до органів асиміляції (Гиниятуллин, 2007).

Як відмічають Л.В. Ветчиннікова зі співавт. (2013), в тканинах листків беріз певна вибірковість накопичення важких металів залежить від їх видової приналежності. Науковцями було встановлено, що найменший вміст важких металів з поміж досліджуваних видів беріз в умовах міста спостерігався у листках *B. pendula*.

За нашими даними для *B. pendula* в промислових умовах характерним було менш істотне, порівняно з *P. italica*, надходження переважної більшості важких металів до асиміляційних органів, що дало змогу віднести її до видів з низьким рівнем акумуляції токсикантів (Гришко В.М. та ін., 2012). Так, вміст цинку та плюмбуму в листках протягом всього періоду дослідження зростав лише у 2 рази відносно контролю. Акумуляція ж нікелю взагалі ледь суттєво перевищувала такі показники у інтактних рослин (табл. 1). Проте, на відміну від *P. italica*, для *B. pendula* характерним було максимально інтенсивне накопичення кадмію як у фазу повного відособлення листка, так і на 5-10 добу фази завершення його росту (у 15 і 6 разів відповідно більше, ніж у контролю). Подібна тенденція акумуляції кадмію в листках *B. pendula* спостерігалась у роботі Р.Х. Гініятуліна і А.Ю. Кулагіна (2009). Встановлене, ймовірно, пов'язане з антагоністичною дією цинку та кадмію, адже в найбільшій мірі антагонізм проявляється між елементами – хімічними аналогами, здатними конкурувати за одні ділянки поглинання іонів (Степанок, 2000).

Підсумовуючи зазначимо, що для деревних видів у промислових умовах нами була виявлена видоспецифічна закономірність акумуляції важких металів. Так, протягом всього дослідження переважну більшість токсикантів накопичував *P. italica*. При цьому, вміст цинку в його листках виявився максимальним серед досліджуваних важких металів. Натомість *B. pendula* в своїх асиміляційних органах найбільше концентрувала кадмій, рівень якого був у 2 рази вищим порівняно з *P. italica*.

Відомо, що токсична дія більшості важких металів викликає розвиток оксидативного стресу і супроводжується перебудовами метаболізму рослин,

обумовленими як безпосереднім окисненням ліпідів мембран, так і накопиченням продуктів пероксидації, особливо вторинних (Таран та ін., 2004). Кількість саме сполук тіобарбітурової кислоти (ТБК-активних метаболітів) вважається важливим показником ступеню впливу різних факторів на організм, що дозволяє оцінити функціональний стан рослин та їх неспецифічну адаптаційну здатність (Greenberg, Gaddock, 1982).

Аналіз вмісту продуктів пероксидації в асиміляційних органах деревних рослин в умовах контролю свідчить, що в обох видів у процесі розвитку і формування листової пластинки спостерігалось зростання рівня пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ). Найбільш інтенсивно процеси ПОЛ відбувались у листках *B. pendula* (табл. 2). Натомість у *P. italica* вміст ТБК-активних сполук зростав несуттєво. Це, скоріш за все, є свідченням видоспецифічності процесів вільнорадикального окиснення ліпідів, які супроводжують метаболізм рослин під час росту та розвитку органів асиміляції (Гришко та ін., 2012).

Таблиця 2. Вміст ТБК-активних продуктів у листках деревних рослин (10^{-6} М МДА/мг білку)

Моніторингова ділянка	Фаза повного відособлення листка		5-10 доба фази завершення росту листка	
	M±m	% до контролю	M±m	% до контролю
<i>Populus italica</i>				
Умовний контроль	2,64±0,04	—	2,94±0,23	—
Зона сильного забруднення	3,68±0,21*	139,2	4,48±0,17*	152,3
<i>Betula pendula</i>				
Умовний контроль	4,93±0,28	—	5,08±0,16	—
Зона сильного забруднення	12,74±0,24*	258,6	13,87±0,18*	273,1

Примітка. * – статистично достовірна різниця відносно контролю при $p < 0,05$

Представлені в табл. 2 результати свідчать, що підвищений вміст важких металів у листках за сильного забруднення індукує збільшення ТБК-активних продуктів. Проте інтенсивність їх утворення у більшості випадків залежала від рівня акумуляції полутантів. Так, для *P. italica* у фазу повного відособлення листка було характерне підвищення концентрації ТБК-активних сполук на 40%, а на 5-10 добу фази завершення росту листка – до 52% порівняно з інтактними рослинами. Натомість у листках *B. pendula* кількість вторинних продуктів ПОЛ була у 2,7 рази вищою відносно контрольних рослин, що, на нашу думку, певною мірою пояснюється досить значними темпами біологічної акумуляції



кадмію. Так, Т.Ю. Кузнецовою (2009) було показано, що при вирощуванні *B. pendula* на поживному середовищі з підвищеним вмістом кадмію в пагонах різко знижувалася частка дієнових і триєнових жирних кислот. Такі зміни розглядаються як один з показників негативного впливу кадмію на структуру і функції мембран хлоропластів і, відповідно, на фотосинтез у пагонах берези.

Зазначене вище вказує, що в умовах контролю як у фазу повного відособлення листка, так і на 5-10 добу фази завершення його росту, найінтенсивніше процеси ПОЛ відбувалися в листках *B. pendula*. В умовах забруднення вміст ТБК-активних продуктів в асиміляційних органах даного виду зростає майже в 3 рази, на відміну від *P. italica*, у якого концентрація вторинних продуктів ПОЛ перевищувала даний показник у контрольних рослин на 52%.

Тривалий вплив техногенних забруднювачів здатний викликати в рослинних клітинах не тільки токсичні ефекти, але й активувати пристосувальні фізіологічні, цитологічні і біохімічні реакції. У відповідь на несприятливі флуктуації абіотичних факторів у рослин відбуваються адаптаційні зміни в органах, які безпосередньо контактують з поллютантами, а саме у листках. Особливе значення в цьому аспекті має кутикула, яка на поверхні листка формує непроникний бар'єр для багатьох розчинних у воді чи повітрі молекул, захищає внутрішньоклітинне середовище рослин від ультрафіолетового опромінення і проникнення патогенних мікроорганізмів (Kunst, Samuels, 2003). Як правило, вона вкрита шаром суміші ліпідів, яку, на думку деяких дослідників, краще називати поверхневими (епікутикулярними) ліпідами, тому що до неї належать не тільки власне воски, але й етери стеринів, вуглеводні, альдегіди, спирти та ін. (Kunst, Samuels, 2003). Якщо аліфатична частина молекул поверхневих ліпідів виконує, як загально визнано, роль захисту від ультрафіолетового випромінювання, то різноманітність функціональних груп у складі поверхневого шару не знаходить пояснення (Jetter, Schaffer, 2001). Кількість кожного класу речовин та їх пропорції залежать від виду та органів рослини (Shtemenko et al., 2008). Тому дослідження процесу формування позаклітинного шару захисних сполук різних видів рослин є актуальним питанням екологічної та еволюційної фізіології рослин.

На розвиток кутикулярного покриву та його проникність суттєво впливають зовнішні умови, а також фаза онтогенезу листка (найбільшу проникність має кутикула молодих листків) (Вернигора, 2009). В умовах пристосування до факторів зовнішнього середовища відбувається певна трансформація складу поверхневих ліпідів, що може призводити до змін гідрофобності поверхневого шару кутикули (Таран та ін., 2006). Виходячи з цього, на нашу думку, вивчення вмісту і фракційного складу поверхневих ліпідів кутикули листків за дії важких металів дозволить поглибити уявлення

про механізми адаптації рослин в умовах техногенного забруднення навколишнього середовища.

Так, проведення тонкошарової хроматографії дозволило встановити, що суміш поверхневих ліпідів у листках обох видів контрольних деревних рослин представлена чотирма групами речовин, різних за полярністю. Це насамперед фосфоліпіди, дигліцериди, етери стеринів і тригліцериди. Отримані нами результати щодо різної гетерогенності поверхневих ліпідів листків потрібно аналізувати з урахуванням характерних особливостей цих сполук для кожного виду рослин (Антонюк, 2011).

При вивченні фракційного складу поверхневих ліпідів виявлено, що в листках інтактних рослин *P. italica* як у фазу повного відособлення листка, так і на 5-10 добу фази завершення росту листка (рис. 1), найбільше містилося тригліцеридів, дигліцеридів та етерів стеринів (від 14 до 21% від загального вмісту ліпідів). Натомість у *B. pendula* в умовному контролі на обох етапах дослідження з поміж виявлених фракцій ліпідів переважали фосфоліпіди та дигліцериди. Зазначене, ймовірно, обумовлено видовою специфічністю даних видів (Вернигора, 2009).

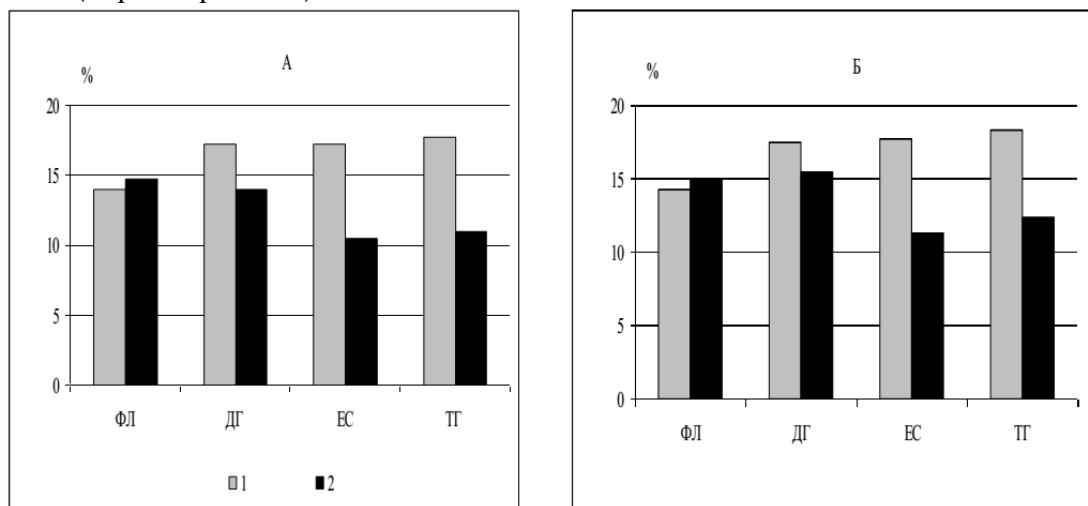


Рис. 1. Уміст основних фракцій поверхневих ліпідів в асиміляційних органах контрольних деревних рослин у фазу повного відособлення листка (А) та на 5-10 добу фази завершення росту листка (Б), % від загальної суми: 1 - *Populus italica*, 2 - *Betula pendula*, ФЛ - фосфоліпіди, ДГ - дигліцериди, ЕС - етери стеринів, ТГ - тригліцериди.

При порівнянні епікутикулярних восків у листках деревних рослин, зібраних в умовах промислового забруднення (рис. 2), виявлені такі загальні закономірності: зменшення гетерогенності суміші на користь двох-трьох компонентів (наприклад, у *P. italica* не ідентифікуються тригліцериди) та зсув якісних характеристик суміші в бік більш низькомолекулярних компонентів (у

B. pendula з'являються фракції стеринів і вільних жирних кислот). На думку деяких вчених (Kunst, Samuels, 2003), при адаптації до хімічного забруднення рослини обирають найбільш раціональні шляхи біосинтезу захисних сполук у напрямку збільшення їх гідрофобності.

В умовах промислового забруднення в обидві фази морфогенезу листка у *P. italica* виявлено збільшення вмісту фосфоліпідів більш ніж на 7% і дигліцеридів на 5% (рис. 2). В листках *B. Pendula*, у фазу повного відособлення листка і на 5-10 добу фази завершення його росту, кількість вищевказаних фракцій ліпідів несуттєво знижувалась.

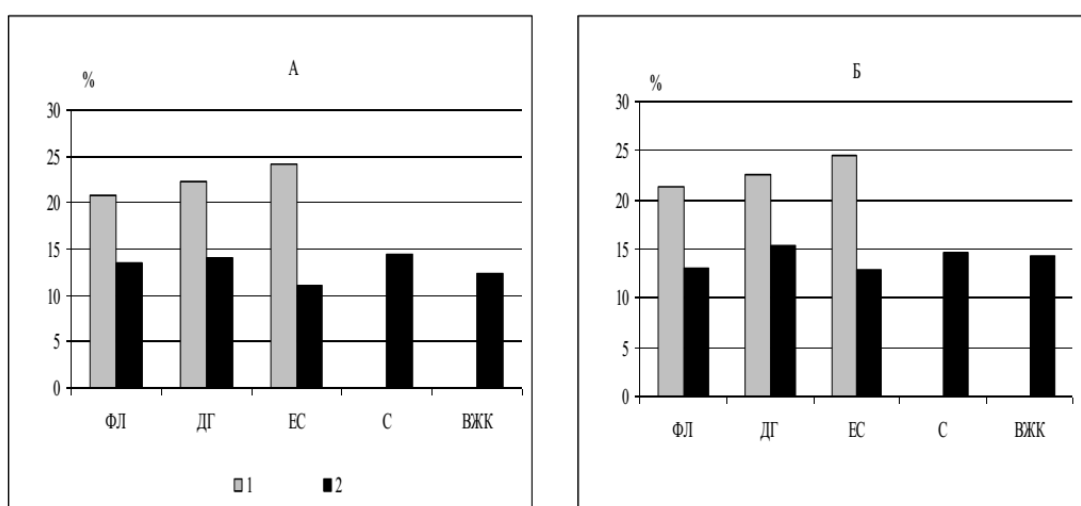


Рис. 2. Уміст основних фракцій поверхневих ліпідів в асиміляційних органах деревних рослин зони сильного забруднення ЗАТ «Криворізький суриковий завод» у фазу повного відособлення листка (А) та на 5-10 добу фази завершення росту листка (Б) в % від загальної суми: 1 – *Populus italica*, 2 – *Betula pendula*, ФЛ – фосфоліпідів, ДГ – дигліцеридів, ЕС – етери стеринів, С – стерини, ВЖК – вільні жирні кислоти.

У процесі пристосування рослин до факторів зовнішнього середовища відбувається біосинтез нових ліпідних компонентів, які впливають на зміну гідрофобності шару кутикули (Новицкая и др., 2000). Так, для позаклітинного шару асиміляційних органів *B. pendula* при забрудненні характерною була наявність стеринів та вільних жирних кислот, у той час як у контрольних рослин ця група сполук не виявлена. Ймовірно, пул вільних жирних кислот може поповнюватися за рахунок гідролізу фосфоліпідів і дигліцеридів або посилення в клітинах деструктивних процесів (Kunst, Samuels, 2003), зокрема інтенсифікації ПОЛ. Поява стеринів серед компонентів поверхневих ліпідів в умовах забруднення може свідчити про пошкодження захисного шару кутикули, адже стерини – регулятори, що забезпечує агрегатний стан

поверхневих ліпідів кутикули (Gulz et al. 1992). Зміни рівня саме фосфоліпідів, дигліцеридів, вільних жирних кислот і стеринів під впливом промислового забруднення можуть свідчити про стан систем реагування деревних рослин на дію відповідних екологічних чинників (Jetter, Schaffer, 2001).

Характерною особливістю для обох видів деревних рослин у зоні сильного забруднення було зростання майже на 7% вмісту етерів стеринів як у фазу повного відособлення листка, так і на 5-10 добу завершення його росту (рис. 2). Встановлене можна розглядати як адаптаційну реакцію рослин на забруднення, адже синтез та перетворення етерів стеринів відіграє певну роль в регулюванні проникності мембран під час фізіологічних змін, подібних до старіння, та дії стресорів, зокрема озону (Tomlinson, Rich, 1970), засолення (López-Pérez et. al., 2009), важких металів (Hernandez, Cooke, 1997) та ін. Виявлені зміни вмісту та складу стеринів та їх етерів у листках деревних рослин у зоні дії промислового забруднення можуть бути надалі використані для біоіндикації екологічного стану навколишнього середовища у промислових регіонах.

ВИСНОВКИ

В умовах забруднення нами була виявлена видоспецифічна закономірність акумуляції важких металів деревними рослинами. Встановлено, що протягом всього періоду дослідження концентратором переважної більшості токсикантів виявилася *P. italica*. До того ж у її листках максимально інтенсивно серед досліджених важких металів накопичувався цинк (у 12,6 та 23 рази більше контролю відповідно у першу та другу фази розвитку листка). Натомість *B. pendula* в своїх асиміляційних органах найбільше акумулювала кадмій, вміст якого перевищував у 2 рази показники *P. italica*. Відносно неспецифічної відповіді рослинного організму на дію важких металів було з'ясовано, що найбільш інтенсивно процеси ПОЛ відбувалися в листках *B. pendula*. Рівень ТБК-активних продуктів в асиміляційних органах даного виду зростав майже в 3 рази порівняно з контролем, на відміну від *P. italica*, у якого кількість вторинних продуктів ПОЛ збільшувалась на 50%.

Проаналізувавши вміст епікутикулярних ліпідів, з'ясували, що в умовах промислового забруднення в обидві фази морфогенезу листка для *P. italica* (виду з високим рівнем акумуляції більшості важких металів), характерним було зростання вмісту фосфоліпідів (більш ніж на 7%) і дигліцеридів (до 5%), тоді як тригліцериди взагалі не ідентифікувались. У складі поверхневих ліпідів *B. pendula* (виду з низьким рівнем акумуляції важких металів) спостерігалась поява стеринів і вільних жирних кислот, тоді як у інтактних рослин їх не було виявлено, що свідчить про певні порушення гідрофобності шару кутикули.

Робота була виконана за проектом № 36-1 «Транслокація важких металів і фтору в системі "грунт-рослина" та підвищення стійкості рослин за дії абіотичних факторів» цільової комплексної міждисциплінарної програми ISSN 2225-5486 (Print), ISSN 2226-9010 (Online). Біологічний вісник МДПУ. 2014. №2



наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку, раціонального природокористування та збереження навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Антонюк Т.М. Фенольні та ліпідні компоненти різних за акліматизаційною здатністю видів роду *Rhododendron* L.: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спеціальність 03.00.12 «Фізіологія рослин» / Т.М. Антонюк. – К., 2011. – 18 с.

Берзеніна О.В. Методи дослідження поверхневих ліпідів рослин / О.В. Берзеніна, Н.І. Штеменко, В.М. Шепеленко // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2002. – Вип. 10, Т. 1. – С. 104-108.

Вернигора Е.Г. Эпидермальные структуры интродуцируемых растений в условиях климата южного Приморья: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: специальность 03.00.32 «Биологические ресурсы» / Е.Г. Вернигора. – Владивосток, 2009. – 19 с.

Ветчинникова Л.В. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера / Л.В. Ветчинникова, Т.Ю. Кузнецова, А.Ф. Титов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013, № 3. – С. 68–73.

Гиниятуллин Р.Х. Биоконсервация металлов в надземных органах тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения / Р.Х. Гиниятуллин / Вестн. Мос. гос. ун-та леса. Лес. вестн. – 2007. – № 1. – С. 53-56.

Гиниятуллин Р.Х. Экологическая роль березы повислой в ограничении циркуляции металлов в условиях техногенного загрязнения / Р.Х. Гиниятуллин, А.Ю. Кулагин // Известия самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 1. – С. 223-227.

Глухов О.З. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі / О.З. Глухов, А.І. Сафонов, Н.А. Хижняк. – Донецьк: Норд-Пресс, 2006. – 360 с.

Гришко В.М. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека / [В.М. Гришко, Д.В. Сищиков, О.М. Піскова, О.В. Данильчук, Н.В. Машталер]. – Донецьк: «Донбас», 2012. – 303 с.

Гришко В.М. Процеси пероксидного окиснення ліпідів та зміни кількісного і якісного складу поверхневих ліпідів у *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Populus deltoides* Marsh. та *Aesculus hippocastanum* L. за різного рівня забруднення важкими металами / В.М. Гришко, О.М. Піскова // Доповіді Національної академії наук України. – 2012. – № 8. – С. 123-130.

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Камышников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике: в 2 т. / В.С. Камышников. – Минск: Беларусь, 2000. – Т. 2. – 207 с.

- Кейтс М. Техника липидологии / М. Кейтс; [пер. с англ. В.А. Вавера]. – М.: Мир, 1975. – 156 с.
- Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / И.И. Коршиков. – К.: Наук. думка, 1996. – 238 с.
- Копылова Л.В. Накопление тяжелых металлов в древесных растениях на урбанизированных территориях восточного Забайкалья: автореф. диссертации на соискание уч. степени канд. биол. наук: специальность 03.02.08 «Экология» / Л.В. Копылова. – Улан-Уде., 2012. – 23 с.
- Кузнецова Т.Ю. Влияние тяжелых металлов на некоторые физиолого-биохимические показатели растений рода *Betula* L.: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: специальность 03.00.04. «Биохимия» / Т.Ю. Кузнецова. – Петрозаводск, 2009. – 20 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: Б.и., 1989. – 62 с.
- Мокров И.В. Биоиндикационное значение флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в рекреационных зонах крупного промышленного центра и на особо охраняемой природной территории (на примере Нижегородской области): автореф. дис. На соискание уч. степени канд. биол. наук: специальность 03.00.16 «Экология» / И.В. Мокров. – Н. Новгород, 2005. – 24 с.
- Новицкая Г.В. Липидный состав листьев в связи с холодостойкостью растений томатов / Г.В. Новицкая, Т.А. Суворова, Т.И. Трунова // Физиология растений. – 2000. – Т. 47. – С. 829-835.
- Степанок В.В. Влияние сочетания соединений тяжелых металлов на урожай сельскохозяйственных культур и поступление тяжелых металлов в растения / В.В. Степанок // Агрехимия. – 2000. – № 1. – С. 74-80.
- Таран Н.Ю. Ліпіди рослин: Наукове видання / Н.Ю. Таран, О.І. Косик, О.А. Оканенко, Л.М. Бацманова. – К.: Ленвіт, 2006. – 104 с.: іл. – Бібліогр.: С. 85-103.
- Таран Н.Ю. Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля / Н.Ю. Таран, О.А. Оканенко, Л.М. Бацманова, М.М. Мусієнко // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Вып. 36, № 1. – С. 3-14.
- López-Pérez L. Changes in plasma membrane lipids, aquaporins and proton pump of broccoli roots, as an adaptation mechanism to salinity / L. López-Pérez, M. Del C. Martínez-Ballesta, Ch. Maurel, M. Carvajal // Phytochemistry. – 2009. – V. 70. – P. 492-500.
- Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants / S. Clemens // Biochimie. – 2006. – V. 88. – P. 1707-1719.
- Greenberg Ch.S. Rapid single step membrane proteine assay / Greenberg Ch.S., Gaddock Rh.R. // Clin. Chem. – 1982. – V. 28, № 7. – P. 1726-1728.



- Gulz P.-G. Pflanzliche epicuticularischen Lipiden / P.-G. Gulz, R.B.N. Prasad, E. Muller // Zeitschrift für Naturforschung. C, Journal of biosciences. – 1992. – V. 20. – P. 68-71.
- Hernandez L.E. Modification of the root plasma membrane lipid composition of cadmium-treated *Pisum sativum* / L.E. Hernandez, D.T. Cooke. // Journal of Experimental Botany. – 1997. – V. 48, № 312. – P. 1375-1381.
- Jetter R. Chemical Composition of the *Prunus laurocerasus* Leaf Surface. Dynamic Changes of the Epicuticular Wax Film during Leaf Development / R. Jetter, S. Schaffer // Plant Physiology. – 2001. – V. 126. – P. 1725–1737.
- Kraemer U. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi species* / U. Kraemer, I.J. Pickering, R.C. Prince, I. Raskin, D.E. Salt // Plant Physiol. – 2000. – V. 122, № 4. – P. 1343-1353.
- Kunst L. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax / L. Kunst, A.L. Samuels // Prog. Lipid Res., 2003. – V. 42. – P. 51-80.
- Shtemenko N.I. Liposomal forms of rhenium cluster compounds: enhancement of biological activity / N.I. Shtemenko, O.V. Berzenina, D.E. Yegorova, A.V. Shtemenko // Chemistry and biodiversity. – 2008. – V. 5. – P. 1660-1667.
- Tomlinson H. Lipid peroxidation, a result of injury in bean leaves exposed to ozone / H. Tomlinson, S. Rich // Phytopathology. – 1970. – V. 60. – P. 1531-1532.

REFERENCES

- Antonyuk, T.M. (2011). Phododendron L. species with various potential of acclimatization and their phenol and lipid components. Thesis of doctoral dissertation. Kiev.
- Berzenina, O.V., Shtemenko, N.I., Shepelenko, V.M. (2002). Research methods for plant surface lipids. Bulletin of Dnepropetrovsk University. Biology. Ecology. 10(1), 104-108.
- Vernigora, Ye.G. (2009). Epidermal structure of introduced plants in the south Primorye climatic conditions. Thesis of Doctoral Dissertation. Vladivostok.

Vetchinnikova, L.V., Kuznetsova, T.Yu., Titov, A.F. (2013). Accumulation pattern of heavy metals in leaves of tree plants in North urban area. Transactions of Karelia Scientific Center. 3, 68–73.

Giniyatullin, R.Kh. (2007). Biological conservation of the metals in surface vegetative organs of balsam poplar under industrial pollution. Bulletin of Moscow State Forest Institute. 1, 53-56.

Giniyatullin, R.Kh., Kulagin, A.Yu. (2009). Ecological role of drooping birch in the limitation of metal circulation under industrial pollution. Transactions of Samara Scientific Center. 11 (1), 223-227.

Glukhov, O.Z., Safonov, A.I., Khizhnyak, N.A. (2006). Phytoindication of metal pressure in industrial-transformed environment. Donetsk: Nord-Press.

Gryshko, V.M., Syshchykov, D.V., Piskova, O.M., Danyl'chuk, O.V., Mashtaler, N.M. (2012). Heavy metals: inflow into the soils, plant translocation and ecological hazards. Donetsk: Donbas.

Gryshko, V.M., Piskova, O.M. (2012). Lipid peroxide oxidation and changes in quantity and quality of surface lipids of *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Populus deltoides* Marsh. and *Aesculus hippocastanum* L. at various level of heavy metals pollution. Reports of National Academy of Sciences of Ukraine. 8, 123-130.

Dospikhov, B.A. (1985). Field experiment methodic with statistical processing. Moscow: Agropromizdat.



- Kamyshnikov, V.S. (2000). Reference on clinic and treatment laboratory diagnostics. Minsk: Belarus.
- Keyts, M. (1975). Lipidology technique. Moscow: Mir.
- Korshykov, I.I. (1996). Plant adaptation to the industrial pollution. Kiev: Naukova dumka.
- Kopylova, L.V. (2012). Heavy metals accumulation in tree plants in urban area of Eastern Trans-Baikal. Thesis of Doctoral Dissertation. Ulan-Ude.
- Kuznetsova, T.Yu. (2009). Impact of heavy metals on some physiological and biochemical characteristics of genera *Betula* L. Thesis of Doctoral Dissertation. Petrozavodsk.
- Determination of heavy metals in agriculture soils and plant cultivation products. Manual. (1989). Moscow.
- Mokrov, I.V. (2005). Fluctuated asymmetry of leaves of drooping birch (*Betula pendula* Roth.) and its bioindication importance in the recreational area of large industrial city and on protected areas (the case of Nizhegorodskaya oblast). Thesis of Doctoral dissertation. Nizhniy Novgorod.
- Novitskaya, G.V., Suvorova, T.A., Trunova, T.I. (2000). Leaf lipid composition and cold tolerance of tomatoes. *Plant physiology*. 47, 829-835.
- Stepanok, V.V. (2000). Combined influence and inflow pattern of heavy metals on agriculture crops. *Agrochemistry*. 1, 74-80.

- Taran, N.Yu., Kosyk, O.I., Okanenکو, O.A., Batsmanova, L.M. (2006). Plant lipids. Kiev: Lenvit.
- Taran, N.Yu., Okanenکو, O.A., Batsmanova, L.M., Musienko, M.M. (2004). Secondary oxide stress as plant common adaptation towards negative environment. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*. 36(1), 3-14.
- López-Pérez, L., Martínez-Ballesta, M. Del C., Maurel, Ch., Carvajal, M. (2009). Changes in plasma membrane lipids, aquaporins and proton pump of broccoli roots, as an adaptation mechanism to salinity. *Phytochemistry*. 70, 492–500.
- Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 88, 1707-1719.
- Greenberg, Ch.S. Gaddock, Rh.R. (1982). Rapid single step membrane proteine assay. 28 (7), 1726-1728.
- Gulz, P.-G., Prasad, R.B.N., Muller, E. (1992). Pflanzliche epicuticularischen Lipiden. *Zeitschrift für Naturforschung. C, Journal of biosciences*. 20, 68-71.
- Hernandez, L.E., Cooke, D.T. (1997). Modification of the root plasma membrane lipid composition of cadmiumtreated *Pisum sativum*. *Journal of Experimental Botany*. 48 (312), 1375-1381.
- Jetter, R., Schaffer, S. (2001). Chemical Composition of the *Prunus laurocerasus* Leaf Surface. Dynamic Changes of the Epicuticular Wax Film during Leaf Development. *Plant Physiology*. 126, 1725–1737.



- Kraemer, U., Pickering, I.J., Prince, R.C., Raskin, I., Salt, D.E. (2000). Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi species*. *Plant Physiol.* 122 (4), 1343-1353.
- Kunst, L., Samuels, A.L. (2003). Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Prog. Lipid Res.* 42, 51-80.
- Shtemenko, N.I., Berzenina, O.V., Yegorova, D.E., Shtemenko, A.V. (2008). Liposomal forms of rhenium cluster compounds: enhancement of biological activity. *Chemistry and Biodiversity.* 5, 1660-1667.
- Tomlinson, H., Rich, S. (1970). Lipid peroxidation, a result of injury in bean leaves exposed to ozone. *Phytopathology.* 60, 1531-1532.

Поступила в редакцію 02.08.2014

Как цитировать:

Зубровська, О.М., Гришко, В.М. (2014). Зміни складу поверхневих ліпідів кутикули *Populus italica* та *Betula pendula* в умовах забруднення. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 4 (2), 142-158.

crossref <http://dx.doi.org/10.7905/bbmsspu.v4i2.889>

© Зубровська, Гришко, 2014

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).