УДК 581.1:502.521

© 2012

**В. М. Гришко, О. М. Піскова**

# 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

*(Представлено академіком НАН України Д. М. Гродзинським)*

*В умовах промислового забруднення сполуками важких металів в обидві фази морфогенезу листка цинк, плюмбум та кадмій найінтенсивніше накопичуються фотосинтезуючими органами Populus italica, а нікель — Populus deltoides, тоді як Aesculus hippocastanum найменше акумулює зазначені елементи. Незважаючи на такий характер акумуляції, у P. italica встановлено найнижчий рівень процесів пероксидації, на відміну від P. deltoides, у якого він найвищий (зростав до 6 разів порівняно з контролем). За дії промислових викидів у P. italica виявлено збільшення кількості всіх компонентів поверхневих ліпідів кутикули, максимально для фосфоліпідів, дигліцеридів і ефірів стеринів — до 5%, тоді як у A. hippocastanum відзначено тенденцію щодо зниження вмісту дигліцеридів і стеринів. Лише у P. deltoides, на відміну від інших видів, в стресових умовах з'являються тригліцериди і зникають дигліцериди, що свідчить про певні порушення гідрофобності шару кутикули.*

У великих промислових центрах України концентрація виробництв на обмежених територіях біля джерел сировини та енергії, постійне нарощування їх виробничих потужностей здебільшого призводить до злиття локальних емісійних зон та формування стійкого регіонального поля забруднення хімічними токсичними сполуками, що насамперед впливає на рослинність. Забруднення довкілля в регіональних масштабах прискорює процеси деградації фітоценозів і трансформації флори, створює значні труднощі в озелененні територій і санітарно-захисних зон промислових виробництв [1]. Саме тому вивчення перебігу фізіолого-біохімічних процесів у рослинних організмах за дії стресорів є досить актуальним для з'ясування різноманітних механізмів адаптації рослин в умовах навколишнього середовища, що постійно змінюється.

Виходячи з вищесказаного, ми вважали доцільним дослідити особливості перебігу процесів пероксидного окиснення ліпідів, зміни вмісту та складу поверхневих ліпідів за різних темпів акумуляції цинку, нікелю, плюмбуму і кадмію в листках деревних рослин.

Об'єктами досліджень були тополя пірамідальна (*Populus italica* (Du Roi) Moench), тополя канадська (*Populus deltoides* Marsh.) та гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.) другої вікової групи, що зростають на проммайданчику ЗАТ "Криворізький суриковий завод" (у зоні сильного і слабкого забруднення) та у дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України, який прийнятий за умовний контроль. З п'яти дерев кожного виду відбиралися листки із середини крони південно-західної експозиції у фази повного відособлення листка та на 5–10-ту добу фази завершення росту листка.

Вміст полютантів у рослинному матеріалі визначали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) за загальноприйнятими методами [2]. Аналіз вмісту ТБК-активних продуктів проводили на спектрофотометрі СФ-2000 (Росія) за Камишніковим [3]. Вміст білка в гомогенатах обчислювали методом Грінберга за реакцією з бромфеноловим синім [4]. Екстракцію поверхневих ліпідів з асиміляційних органів здійснювали за модифікованим методом Блайя і Дайєра [5]. Тонкошарову хроматографію (ТШХ) поверхневих ліпідів проводили за методом Кейтса [6]. Повторність у межах окремого варіанту досліду становила 10 рослин, аналітична повторність 4-кратна. Статистичну обробку експериментальних даних виконували за загальноприйнятими методами параметричної статистики при 95%-му рівні значущості за Доспєховим [7].

Визначення вмісту важких металів в асиміляційних органах інтактних деревних рослин показало, що як у фазу повного відособлення листка, так і на 5–10-ту добу фази завершення росту листка плюмбум, який належить до групи дуже фітотоксичних металів [8], акумулювався найінтенсивніше (табл. 1). Його максимальний вміст (0,78 та 1,37 мкг/г сирої речовини відповідно) був зафіксований у листках *P. italica*, тоді як у листках *P. deltoides* найбільше акумулювався цинк. Натомість, у фотосинтезуючих органах *A. hippocastanum* зазначених вище елементів акумулювалось у 3–5,5 раза менше. До того ж зазначимо, що кількість кадмію в усіх видів була практично однаковою і коливалася в межах від 0,05 до 0,07 мкг/г сирої речовини в обидві фази морфогенезу листка. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що за умов контролю темпи транслокації важких металів у листки *A. hippocastanum* були найменшими з-поміж досліджених видів, що може розглядатись як його видоспецифічна особливість.

Узагальнені розрахунки концентрації токсикантів у листках деревних рослин в умовах забруднення промисловими викидами ЗАТ "Криворізький суриковий завод" (див. табл. 1) виявили, що найбільше серед усіх досліджених полютантів накопичувався цинк, який належить до класу високонебезпечних сполук [8]. Так, у фазу повного відособлення листка і на 5–10-ту добу фази завершення росту листка максимальна його кількість акумулювалася *P. italica* і в 13 та 23 рази відповідно перевищувала даний показник у інтактних рослин. Дещо нижчий вміст цинку (4,26 та 7,81 мкг/г сирої речовини на першому та другому етапі дослідження) спостерігався в асиміляційних органах *P. deltoides*, тоді як в листках *A. hippocastanum* його концентрація виявилася найнижчою, як і плюмбуму.

У тополь за сильного рівня забруднення досить інтенсивно відбувалась акумуляція нікелю, що підтверджується високими абсолютними значеннями його вмісту в обидві фази морфогенезу листка (див. табл. 1). Найбільший його рівень відмічено в листках *P. deltoides* — у 5 разів вище за відповідний показник у контрольних рослин. Принагідно зазначимо, що, на думку Крамера, 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 в клітині [9].

Серед вивчених видів у *P. italica* в умовах забруднення максимально інтенсивно акумулювався плюмбум, про що свідчить зростання у 3–5 разів його концентрації порівняно з інтактними рослинами у різні фази розвитку листка. До того ж, як видно з табл. 1, у листках цього виду найбільше концентрувався кадмій і цинк, що, ймовірно, пов'язано з ефектами синергізму між іонами кадмію, цинку та плюмбуму [1].

Відомо, що токсична дія більшості важких металів викликає розвиток оксидативного стресу і супроводжується різноманітними перебудовами метаболізму рослин, обумовленими як безпосереднім окисненням ліпідів мембран, так і накопиченням продуктів пероксидації,

*Таблиця 1.* Вміст деяких важких металів у листках деревних рослин, мкг/г сирої речовини

| Пробна ділянка | Zn | | Ni | | Pb | | Cd | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M \pm m$ | $t_{st}$ | $M \pm m$ | $t_{st}$ | $M \pm m$ | $t_{st}$ | $M \pm m$ | $t_{st}$ |
| | | | | *Populus italica* | | | | |
| Умовний контроль | $\frac{0{,}45 \pm 0{,}009}{0{,}46 \pm 0{,}01}$ | — | $\frac{0{,}69 \pm 0{,}004}{0{,}71 \pm 0{,}005}$ | — | $\frac{0{,}78 \pm 0{,}02}{1{,}37 \pm 0{,}03}$ | — | $\frac{0{,}05 \pm 0{,}01}{0{,}05 \pm 0{,}001}$ | — |
| Зона слабкого забруднення | $\frac{1{,}57 \pm 0{,}09}{4{,}29 \pm 0{,}05}$ | $\frac{12{,}8}{83{,}2}$ | $\frac{0{,}92 \pm 0{,}01}{1{,}32 \pm 0{,}01}$ | $\frac{2{,}5}{53{,}8}$ | $\frac{1{,}06 \pm 0{,}03}{5{,}33 \pm 0{,}04}$ | $\frac{6{,}0}{65{,}0}$ | $\frac{0{,}09 \pm 0{,}004}{0{,}18 \pm 0{,}002}$ | $\frac{10{,}5}{42{,}5}$ |
| Зона сильного забруднення | $\frac{5{,}77 \pm 0{,}09}{10{,}44 \pm 0{,}15}$ | $\frac{56{,}1}{65{,}1}$ | $\frac{2{,}73 \pm 0{,}06}{4{,}03 \pm 0{,}11}$ | $\frac{19{,}8}{31{,}2}$ | $\frac{2{,}36 \pm 0{,}07}{11{,}64 \pm 0{,}10}$ | $\frac{21{,}7}{90{,}6}$ | $\frac{0{,}25 \pm 0{,}01}{0{,}55 \pm 0{,}02}$ | $\frac{33{,}2}{30{,}8}$ |
| | | | | *Populus deltoides* | | | | |
| Умовний контроль | $\frac{0{,}65 \pm 0{,}15}{1{,}79 \pm 0{,}04}$ | — | $\frac{0{,}61 \pm 0{,}06}{1{,}23 \pm 0{,}005}$ | — | $\frac{0{,}72 \pm 0{,}01}{0{,}99 \pm 0{,}09}$ | — | $\frac{0{,}05 \pm 0{,}004}{0{,}07 \pm 0{,}001}$ | — |
| Зона слабкого забруднення | $\frac{1{,}30 \pm 0{,}44}{3{,}21 \pm 0{,}14}$ | $\frac{1{,}4}{10{,}1}$ | $\frac{0{,}85 \pm 0{,}18}{3{,}39 \pm 0{,}06}$ | $\frac{1{,}3}{35{,}3}$ | $\frac{0{,}96 \pm 0{,}11}{1{,}54 \pm 0{,}01}$ | $\frac{2{,}2}{6{,}0}$ | $\frac{0{,}06 \pm 0{,}02}{0{,}11 \pm 0{,}002}$ | $\frac{0{,}5}{9{,}0}$ |
| Зона сильного забруднення | $\frac{4{,}26 \pm 2{,}84}{7{,}81 \pm 0{,}03}$ | $\frac{1{,}3}{123{,}3}$ | $\frac{3{,}04 \pm 0{,}57}{6{,}93 \pm 0{,}09}$ | $\frac{4{,}3}{65{,}4}$ | $\frac{1{,}57 \pm 0{,}05}{2{,}38 \pm 0{,}04}$ | $\frac{17{,}1}{13{,}7}$ | $\frac{0{,}10 \pm 0{,}02}{0{,}23 \pm 0{,}01}$ | $\frac{2{,}1}{14{,}4}$ |
| | | | | *Aesculus hippocastanum* | | | | |
| Умовний контроль | $\frac{0{,}18 \pm 0{,}01}{0{,}26 \pm 0{,}01}$ | — | $\frac{0{,}05 \pm 0{,}005}{0{,}31 \pm 0{,}01}$ | — | $\frac{0{,}43 \pm 0{,}03}{1{,}14 \pm 0{,}15}$ | — | $\frac{0{,}04 \pm 0{,}003}{0{,}06 \pm 0{,}001}$ | — |
| Зона сильного забруднення | $\frac{0{,}36 \pm 0{,}02}{1{,}21 \pm 0{,}07}$ | $\frac{6{,}7}{13{,}8}$ | $\frac{1{,}10 \pm 0{,}09}{2{,}08 \pm 0{,}01}$ | $\frac{11{,}2}{134{,}9}$ | $\frac{0{,}93 \pm 0{,}02}{2{,}24 \pm 0{,}03}$ | $\frac{17{,}1}{6{,}8}$ | $\frac{0{,}16 \pm 0{,}02}{0{,}37 \pm 0{,}001}$ | $\frac{5{,}8}{75{,}6}$ |

Примітка. У чисельнику — фаза повного відособлення листка, у знаменнику — 5–10-та доба фази завершення росту листка.

особливо вторинних [10, 11]. Кількість саме сполук тіобарбітурової кислоти (ТБК-активних метаболітів) вважається важливим показником ступеня впливу різних факторів на організм, що дає можливість оцінити функціональний стан рослин та їх неспецифічну адаптаційну здатність [4].

За даними аналізу вмісту продуктів пероксидації в асиміляційних органах контрольних деревних рослин, у всіх досліджених видів у процесі розвитку і формування листкової пластинки відбувалася інтенсифікація пероксидного окиснення ліпідів. Так, якщо у листках *A. hippocastanum* і *P. italica* рівень ТБК-активних сполук зростав неістотно, то у *P. deltoides* — на 45% (табл. 2). Встановлене, найімовірніше, є свідченням видоспецифічності процесів вільнорадикального окиснення ліпідів, які супроводжують метаболізм рослин під час росту та розвитку асиміляційних органів.

Наведені в табл. 2 результати свідчать про те, що підвищений вміст важких металів в органах асиміляції рослин зони сильного забруднення індукує збільшення ТБК-активних продуктів. Проте інтенсивність їх утворення в більшості випадків залежала від рівня акумуляції полютантів. Так, у *P. italica* концентрація ТБК-активних сполук підвищувалася на 40% у фазу повного відособлення листка та до 52% на 5–10-ту добу фази завершення росту листка порівняно з інтактними рослинами. Необхідно відзначити, що на обох етапах морфогенезу листка у *P. deltoides* в зоні сильного забруднення збільшення вмісту ТБК-активних сполук відбувалося найістотніше з-поміж досліджених видів і у 4,7–6 разів перевищувало даний показник у контролі. Різна активація процесів пероксидного окиснення ліпідів у тополь, найімовірніше, пояснюється видоспецифічністю функціонування антиоксидантних систем, яка була нами встановлена раніше [12].

В умовах забруднення вміст вторинних продуктів пероксидації у *A. hippocastanum* за меншої, на відміну від тополь, акумуляції важких металів протягом всього періоду досліджень зростав у 2,7 раза. Встановлений факт свідчить про те, що навіть незначний вміст токсичних речовин у листках даного виду викликає досить відчутний стресовий відгук.

У відповідь на несприятливі флуктуації абіотичних факторів у рослин відбуваються адаптаційні зміни в органах, які безпосередньо контактують з полютантами, 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 внутріш-

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

| Моніторингова ділянка | Фаза повного відособлення листка | | 5–10-та доба фази завершення росту листка | |
|---|---|---|---|---|
| | $M \pm m$ | % до контролю | $M \pm m$ | % до контролю |
| | *Populus italica* | | | |
| Умовний контроль | $2{,}64 \pm 0{,}04$ | — | $2{,}94 \pm 0{,}23$ | — |
| Зона слабкого забруднення | $3{,}10 \pm 0{,}23$ | 117,3 | $3{,}35 \pm 0{,}32$ | 114,1 |
| Зона сильного забруднення | $3{,}68 \pm 0{,}21^*$ | 139,2 | $4{,}48 \pm 0{,}17^*$ | 152,3 |
| | *Populus deltoides* | | | |
| Умовний контроль | $1{,}20 \pm 0{,}10$ | — | $1{,}86 \pm 0{,}12$ | — |
| Зона слабкого забруднення | $4{,}74 \pm 0{,}21^*$ | 393,7 | $6{,}64 \pm 0{,}25^*$ | 356,6 |
| Зона сильного забруднення | $7{,}33 \pm 0{,}28^*$ | 608,7 | $8{,}76 \pm 0{,}67^*$ | 470,1 |
| | *Aesculus hippocastanum* | | | |
| Умовний контроль | $2{,}47 \pm 0{,}05$ | — | $2{,}51 \pm 0{,}25$ | — |
| Зона сильного забруднення | $6{,}27 \pm 0{,}20^*$ | 253,8 | $6{,}80 \pm 0{,}04^*$ | 270,4 |

*Різниця статистично вірогідна відносно контролю, $p < 0{,}05$.

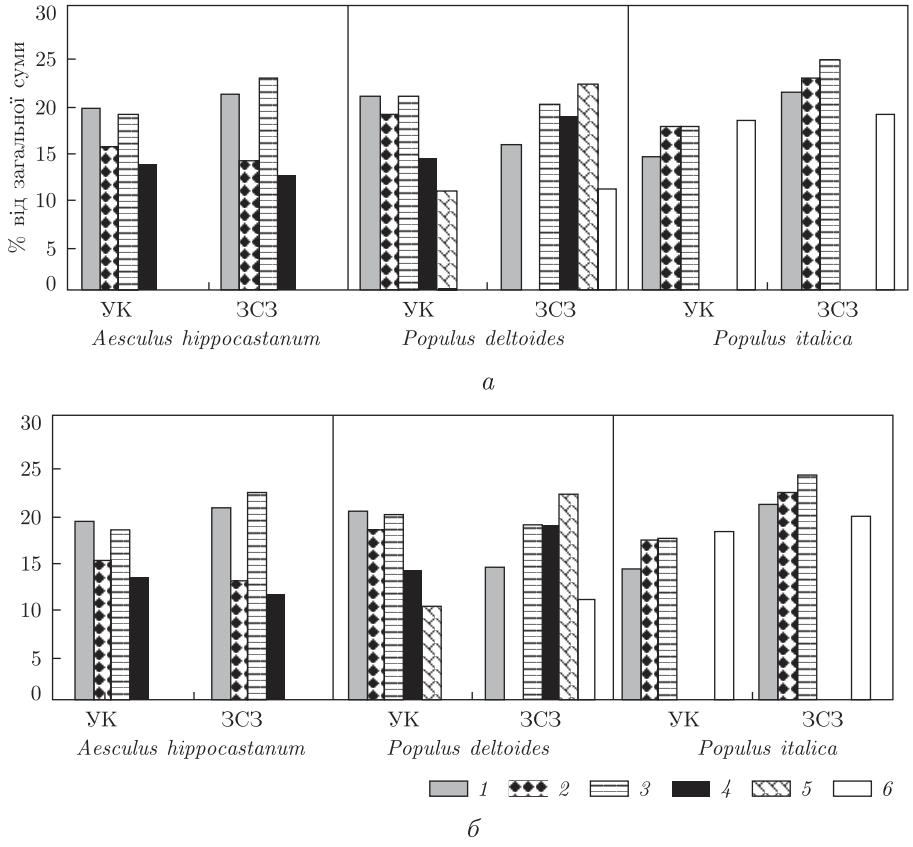


Рис. 1. Кількісний вміст основних фракцій поверхневих ліпідів в асиміляційних органах контрольних деревних рослин у фазу повного відособлення листка (*а*) та на 5–10-ту добу фази завершення росту листка (*б*), % від загальної суми (УК — умовний контроль, ЗСЗ — зона сильного забруднення): *1* — фосфоліпіди; *2* — дигліцериди; *3* — етери стеринів; *4* — стерини; *5* — вільні; жирні кислоти; *6* — тригліцериди

ньоклітинне середовище рослин від ультрафіолетового опромінення і проникнення патогенних мікроорганізмів [13]. Кутикула складається переважно з восків, насичених оксикислот жирного ряду і суберину. Як правило, вона вкрита шаром суміші ліпідів, яку, на думку деяких дослідників, краще називати поверхневими ліпідами, тому що до неї належать не тільки власне воски, але й етери стеринів, вуглеводні, альдегіди, спирти тощо [14]. В умовах пристосування до факторів зовнішнього середовища відбувається певна трансформація складу поверхневих ліпідів, що може призводити до змін гідрофобності поверхневого шару кутикули [5, 13]. Тому вивчення вмісту і фракційного складу поверхневих ліпідів кутикули листків за дії важких металів дозволить поглибити наші уявлення про механізми адаптації рослин в умовах техногенного забруднення навколишнього середовища.

Згідно з результатами вивчення фракційного складу поверхневих ліпідів (рис. 1), у листках усіх видів контрольних рослин як у фазу повного відособлення листка, так і на 5–10-ту добу фази завершення росту листка найбільше містилося фосфоліпідів, дигліцеридів та етерів стеринів (від 14 до 21% загального вмісту ліпідів). Кількість інших фракцій варіювала від 10 до 14% загального вмісту ліпідів. Також треба зазначити, що фракція вільних жирних кислот була ідентифікована лише в листках *P. deltoides*, а тригліцеридів — у *P. italica*, що, ймовірно, обумовлено видовою специфічністю їх біосинтезу (рис. 2).

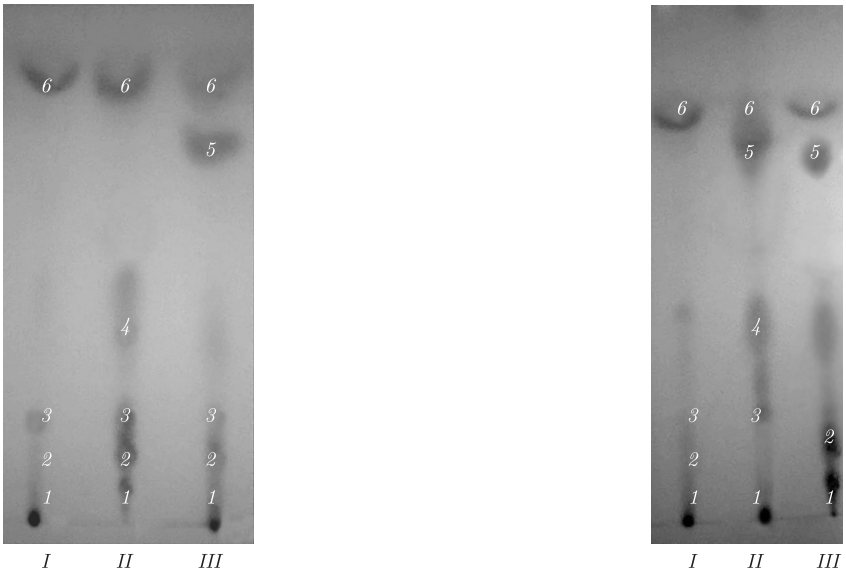


Рис. 2. Тонкошарова хроматограма компонентного складу поверхневих ліпідів у листках у фазу повного відособлення листка: *а* — умовний контроль; *б* — зона сильного забруднення Криворізького сурикового заводу; *I* — *Aesculus hippocastanum*; *II* — *Populus deltoides*; *III* — *Populus italica*; *1* — фосфоліпіди; *2* — дигліцериди; *3* — стерини; *4* — вільні жирні кислоти; *5* — тригліцериди; *6* — етери стеринів

В умовах промислового забруднення в обидві фази морфогенезу листка вміст фосфоліпідів у *P. deltoides* знижувався до 6% відносно контролю, тоді як у *P. italica* і *A. hippocastanum* спостерігалась тенденція щодо його збільшення (див. рис. 1). Вміст дигліцеридів у листках останнього зменшувався порівняно з інтактними рослинами, тоді як у *P. italica* зростав до 5%, а у *P. deltoides* дигліцериди не виявлені (див. рис. 2). Вплив промислового забруднення призводив до зниження вмісту стеринів у *A. hippocastanum* на відміну від *P. deltoides,* в органах асиміляції якого він, навпаки, зростав. У *P. deltoides* зниження вмісту фосфоліпідів супроводжувалось підвищенням у 2 рази кількості вільних жирних кислот (див. рис. 1). Пул вільних жирних кислот може поповнюватися за рахунок гідролізу фосфоліпідів і дигліцеридів, або посилення в клітинах деструктивних процесів і процесів пероксидації в результаті впливу токсикантів. І навпаки, збільшення вмісту фосфоліпідів або дигліцеридів може відбуватись за рахунок зменшення вмісту вільних жирних кислот [15]. Зміна рівня саме фосфоліпідів, дигліцеридів, вільних жирних кислот і стеринів під впливом промислового забруднення може свідчити про стан систем реагування деревних рослин на дію відповідних екологічних чинників.

У процесі пристосування рослин до факторів зовнішнього середовища відбувається біосинтез нових ліпідних компонентів, які впливають на зміну гідрофобності шару кутикули. Наприклад, у складі поверхневих ліпідів у *P. deltoides* ідентифікуються тригліцериди. На нашу думку, утворення тригліцеридів відбувалося за рахунок зменшення кількості дигліцеридів, які розглядаються як субстрати для синтезу більш складних сполук [13]. Характерною особливістю у *A. hippocastanum* і *P. italica* за умов підвищеної акумуляції важких металів було збільшення до 7% в обидві фази морфогенезу листка вмісту ефірів стеринів, що можна розглядати як адаптаційну реакцію рослин до забруднення, адже саме вони обумовлюють в'язкість кутикули [14].

На закінчення зазначимо, що серед досліджених деревних рослин в умовах промислового забруднення в обидві фази морфогенезу листка цинк, плюмбум та кадмій найінтенсивніше накопичуються фотосинтезуючими органами *P. italica*, а нікель — *P. deltoides*, тоді як *A. hippocastanum* найменше акумулював зазначені елементи. Незважаючи на такий характер акумуляції, у *P. italica* встановлено найнижчий рівень процесів пероксидації, на відміну від *P. deltoides*, у якого він найвищий (зростав до 6 разів порівняно з контролем). За дії промислових викидів у *P. italica* виявлено збільшення кількості всіх компонентів поверхневих ліпідів кутикули, серед яких фосфоліпідів, дигліцеридів і етерів стеринів до 5%, тоді як у *A. hippocastanum* відмічено тенденцію щодо зниження вмісту дигліцеридів і стеринів. Лише у *P. deltoides*, на відміну від інших видів, в стресових умовах з'являються тригліцериди і зникають дигліцериди, що свідчить про певні порушення гідрофобності шару кутикули.

*Робота виконана за проектом № 36–11 "Транслокація важких металів і фтору в системі "грунт–рослина" та підвищення стійкості рослин за дії абіотичних факторів" цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України.*

1. *Гладков Е. А.* Влияние комплексного взаимодействия тяжелых металлов на растения мегаполисов // Экология. – 2007. – № 1. – С. 71–74.
2. *Методические* указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Москва, 1989. – 62 с.
3. *Камышников В. С.* Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике: В 2 т. – Минск: Беларусь, 2000. – Т. 2. – С. 207.
4. *Greenberg Ch. S., Gaddock Rh. R.* Rapid single step membrane proteine assay // Clin. Chem. – 1982. – **28**, No 7. – P. 1726–1728.
5. *Берзеніна О. В., Штеменко Н. І., Шепеленко В. М.* Методи дослідження поверхневих ліпідів рослин // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2002. – **1**, вип. 10. – С. 104–108.
6. *Кейтс М.* Техника липидологии / Пер. с англ. – Москва: Мир, 1975. – 156 с.
7. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. *Ганиятуллин Р. Х.* Биоконсервация металлов в надземних органах тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения // Вестн. Мос. гос. ун-та леса. Лес. вестн. – 2007. – № 1. – С. 53–56.
9. *Kraemer U., Pickering I. J., Prince R. C. et al.* Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi species* // Plant Physiol. – 2000. – **122**, No 4. – P. 1343–1353.
10. *Таран Н. Ю., Оканенко О. А., Бацманова Л. М., Мусієнко М. М.* Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля // Физиология и биохимия культ. растений. – 2004. – Вип. 36, № 1. – С. 3–14.
11. *Гришко В. М., Демура Т. А.* Інтенсивність акумуляції кадмію і нікелю та рівень їх фітотоксичності за сумісної дії на проростки кукурудзи // Доп. НАН України. – 2008. – № 5. – С. 120–122.
12. *Гришко В. Н., Данильчук А. В.* Содержание тяжелых металлов и продуктов перекисного окисления липидов у тополей в условиях загрязнения // Інтродукція рослин. – 2004. – № 2. – С. 54–59.
13. *Hoffmann-Benning S., Kende H.* Cuticle biosynthesis in rapidly growing internodes of deepwater rice // Plant Physiol. – 1994. – **104**, No 2. – P. 719–723.
14. *Kunst L., Samuels A. L.* Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax // Prog. Lipid Res. – 2003. – No 42. – P. 51–80.
15. *Духовский П., Юкнис Р., Бразайтите И., Жукаускайте Л.* Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. – 2003. – **50**, № 2. – С. 165–173.

*Криворізький ботанічний сад НАН України* *Надійшло до редакції 22.12.2011*

**В. Н. Гришко, О. Н. Писковая**

## Процессы пероксидного окисления липидов и изменения количественного и качественного состава поверхностных липидов у *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Populus deltoides* Marsh. и *Aesculus hippocastanum* L. при разном уровне загрязнения тяжелыми металлами

*В условиях промышленного загрязнения соединениями тяжелых металлов в обе фазы морфогенеза листа цинк, свинец и кадмий интенсивнее всего накапливаются фотосинтезирующими органами Populus italica, а никель — Populus deltoides, тогда как Aesculus hippocastanum менее всего аккумулирует отмеченные элементы. Несмотря на указанный характер аккумуляции, у P. italica установлен самый низкий уровень процессов пероксидации, в отличие от P. deltoides, у которого он наивысший (возрастал до 6 раз в сравнении с контролем). Под действием промышленных выбросов у P. italica обнаружено увеличение количества всех компонентов поверхностных липидов кутикулы, максимальное для фосфолипидов, диглицеридов и эфиров стеринов — до 5%, тогда как у A. hippocastanum отмечена тенденция относительно снижения содержания диглицеридов и стеринов. Лишь у P. deltoides, в отличие от других видов, в стрессовых условиях появляются триглицериды и исчезают диглицериды, что свидетельствует об определенных нарушениях гидрофобности слоя кутикулы.*

**V. M. Gryshko, O. M. Piskova**

## Processes of lipids peroxidation and change of the quantitative and qualitative compositions of superficial lipids at *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Populus deltoides* Marsh. and *Aesculus hippocastanum* L. at different levels of contaminations by heavy metals

*Under conditions of the industrial contamination by heavy metals compounds for both phases of leaf morphogenesis, zinc, lead, and cadmium are more intensively accumulated by the P. italica photosynthetic organs, and nickel — by P. deltoides, while A. hippocastanum least accumulates the noted elements. In spite of the indicated character of accumulation, we observed the lowest level of peroxidation processes at P. italica, unlike P. deltoides, at which it was the greatest (increased by 6 times relative to control). Under the action of industrial contamination, we found out an increase of the amount of all components of superficial lipids of cuticle at P. italica, maximal for phospholipids, diglycerides and sterins ethers — to 5%, while we observed the tendency to a decline of diglycerides and sterins at A. hippocastanum. Only at P. deltoides unlike other species under stress conditions, triglycerides appear, and diglycerides disappear, which testifies to certain violations of the hydrophobicity of cuticles.*