

На правах рукописи

Лух -

ЗАХАРОВА Любовь Александровна

**УСТОЙЧИВОСТЬ ВИДОВ РОДА *SALIX* L.
К АЭРОТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ
АТМОСФЕРЫ**

03.00.16 – «Экология»,
03.00.12 – «Физиология и биохимия растений»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Новосибирск-2005

Работа выполнена в лаборатории физиологии растений кафедры ботаники и экологии Новосибирского государственного педагогического университета.

Научный руководитель: доктор биологических наук, проф.
Бархтендова Людмила Алексеевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, с.н.с.
Игнатьев Лев Алексеевич,
кандидат биологических наук, с.н.с.
Карпова Евгения Алексеевна

Ведущая организация: Томский государственный университет

Защита состоится «15» марта 2005 года в 16³⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д 003.058.01 при
Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН по адресу:
ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск-90, 630090.
Факс: (383-2) 301-986.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Центрально-
го сибирского ботанического сада СО РАН.

Автореферат разослан «8» февраля 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Ершова Э.А.

2006-4
10596

2163191

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

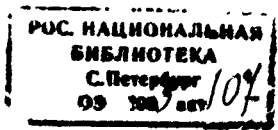
Актуальность темы. Городские растения подвержены хроническому воздействию поллютантов во все возрастающих дозах на фоне расширения их спектра вследствие увеличения количества и разнообразия сочетания загрязняющих веществ. Это приводит к нарушению обменных процессов (серного, азотного, фенольного), с чем связана повреждаемость растений (Барахтенова, 1996; Фуксман, 2002).

Большая часть древесных растений, используемых для озеленения г. Новосибирска, представлена интродуцентами, такими как клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) и др. (Встовская, 1985, 1986, 1987). Перспективными в этом отношении являются интродуцированные виды рода ива (*Salix* L.) – растения неприхотливые к почвам, быстрорастущие, легко размножающиеся вегетативно и прекрасно композиционно сочетающиеся с другими видами (Субоч, 1969; Коропочинский и др., 1990; Кулагин и др., 1997). Несмотря на это, доля ив в озеленении г. Новосибирска не превышает 5 % от общей площади зеленых насаждений.

Успешность интродукции зависит от экологической пластичности (ЭП) видов, так как их адаптация в экстремальных условиях идет в направлении расширения диапазона изменчивости физиолого-биохимических процессов. При этом адаптивные реакции, возникающие в ответ на действие факторов окружающей среды, характеризуют изменчивость обмена веществ и устойчивость растений в городских условиях. В этой связи представляет интерес изучение изменений интенсивности и направленности обменных процессов у аборигенных (*A*) и интродуцированных (*И*) видов рода *Salix*, обладающих различной ЭП и произрастающих в условиях г. Новосибирска, атмосфера которого загрязнена пылью, выхлопными газами автотранспорта, газообразными выбросами многих промышленных производств (SO_2 , NO_x , H_2S и т.д.) (Состояние ..., 2002).

Цель и задачи исследований. Цель – изучить влияние аэротехногенного загрязнения на состояние серного, азотного и фенольного обменов видов рода *Salix* в связи с их устойчивостью и ЭП.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучить изменения серного и азотного обменов *A* и *И* видов рода *Salix* в условиях аэротехногенного загрязнения среды; выявить изменения метаболизма фенольных соединений (ФС) *A* и *И* видов рода *Salix* в условиях аэротехногенного загрязнения среды; определить характер влияния изменений обмена веществ в условиях аэротехногенного загрязнения среды на устойчивость *A* и *И* видов рода *Salix*; выявить взаимосвязи устойчивости видов рода *Salix* к загрязнению среды с их ЭП.



Защищаемые положения: 1. Действие азротехногенного загрязнения среды на растения сопровождается изменением интенсивности и направленности серного и азотного обменных процессов, что согласуется с ЭП *A* и *И* видов рода *Salix*. В условиях азротехногенного загрязнения атмосферы направленность обмена веществ у видов рода *Salix* с высоким уровнем ЭП (*A*) изменяется в сторону интенсификации реакций азотного, а у видов с меньшим уровнем ЭП (*И*) – серного обмена.

2. Изменения обмена ФС в условиях азротехногенного загрязнения среды связаны с устойчивостью *A* и *И* видов рода *Salix*, в том числе и к влиянию биотических факторов.

Научная новизна работы. Изучен характер ответных реакций *A* и *И* видов рода *Salix* на действие азротехногенного загрязнения среды. Установлено, что интенсивность и направленность обменных процессов (азотного, серного, фенольного) зависят от уровня азротехногенной нагрузки и связаны с ЭП видов рода *Salix*. Виды с высоким уровнем ЭП (*A*) характеризуются изменением направленности обменных процессов в сторону интенсификации реакций азотного, а виды с меньшим уровнем ЭП (*И*) – серного обмена. Нарушения азотного обмена (ароматические аминокислоты) вызывают изменения состояния метаболизма ФС, что реализуется на уровне динамики их содержания и положительно коррелирует с устойчивостью растений к загрязнению, а также с повреждением от влияния биотических факторов.

Теоретическая значимость. Результаты работы позволяют полнее раскрыть механизмы толерантности растений к азротехногенному загрязнению среды и характеризуют взаимосвязи между устойчивостью и ЭП *A* и *И* видов рода *Salix*.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы для расширения ассортимента видов, рекомендуемых для озеленения г. Новосибирска и других городов, имеющих схожий характер загрязнения атмосферы.

Апробация работы. Основные результаты были представлены на XI съезде Русского ботанического общества (Новосибирск, 2003), VIII Международной экологической конференции «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2003), VII Международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2003).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения, списка литературы и приложения; изложена на 130 страницах печатного текста, включая 46 таблиц и 21 рисунок. Приложение содержит 59 страниц, в том числе 15 таблиц и 34 рисунка. Спи-

сок литературы включает 250 наименований, из них 37 – на иностранных языках.

ГЛАВА 1. Экологическая пластичность как основа устойчивости видов рода *Salix* к аэротехногенному загрязнению окружающей среды

На основе анализа литературных данных показано, что виды рода *Salix* характеризуются глубокой эколого-биологической неоднородностью, которая, наряду с высоким адаптивным потенциалом *A* и *И* видов, является основой их устойчивости к аэротехногенному загрязнению и определяет возможность использования ив в целях расширения ассортимента видов для озеленения городской среды, в том числе г. Новосибирска. Устойчивость древесных растений в условиях аэротехногенного загрязнения зависит от метаболической активности и определяется соотношением скорости поступления токсикантов во внутренние ткани и полноты их нейтрализации (включения в метаболизм без нарушения структуры и функций клеточных систем). Визуально действие поллютантов проявляется, преимущественно, в форме хлорозов и некрозов, что снижает общее жизненное состояние растений и, в конечном итоге, повышает их восприимчивость к действию биотических факторов среды (филлофагов и возбудителей заболеваний листьев).

Подчеркивается необходимость выявления взаимосвязи между устойчивостью растений к аэротехногенному загрязнению и ЭП *A* и *И* видов рода *Salix*.

ГЛАВА 2. Условия, объекты и методы исследований

Исследования проводились в 2000-2004 гг. и были организованы по общепринятой схеме, предполагающей определение профиля выбросов, локализацию зон воздействия поллютантов, выбор объектов изучения, осуществление наблюдений, получение и анализ результатов.

С учетом господствующего перемещения воздушных масс и уровня атмосферного промышленного загрязнения на территории г. Новосибирска был заложен экологический профиль (по значению индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) (Селегей, 1993)). В пределах экологического профиля были заложены 3 пробные площади ($10 \times 10 \text{ м}^2$) (последние характеризовали типичные элементарные ландшафты, компоненты которых в различной степени трансформированы под влиянием антропогенных нагрузок). Выделяли контрольную и 2 экспериментальные пробные площади. Контроль: Центральный сибирский ботанический сад (Советский район). Район с очень низким уровнем загрязнения атмосферы (ИЗА = 3). Эксперимент: 1) Низкий уровень загрязнения – ул. Выборная (Октябрьский район). Район с низким уровнем загрязнения атмосферы (ИЗА = 8).

2) Средний уровень загрязнения – ул. Большевикская (Октябрьский район). Район со средним уровнем загрязнения атмосферы (ИЗА = 15). На каждой из пробных площадей выбирали по 6 модельных дересвьев одного возраста, жизненное состояние которых определяли по характеристике состояния кроны, выделяя категории: здоровое, ослабленное, очень ослабленное и погибающее дерево (Алексеев, 1990; Уфимцева и др., 2000).

Дана сравнительная характеристика почв на каждой из пробных площадей, позволяющая судить о комплексе эдафических условий произрастания ивы. Средние пробы почв отбирали на глубине 0-15 см. В образцах, посредством полук количественного эмиссионного спектрального анализа (Кадянин, 1969), определяли содержание тяжелых металлов. Анализ полученных данных позволяет оценить уровень загрязнения почвы на всех пробных площадях как низкий.

В качестве объектов исследования были выбраны *A* виды Бореально-средиземноморского ареала: *S. alba* L. и *S. triandra* L.; *H* виды Маньчжурского ареала: *S. integra* Thunb. и *S. miyabeana* Seemen; а также *H* виды Среднесибирско-монгольского долинного западного ареала: *S. kochiana* Trautv. и *S. ledebouriana* Trautv. Подбор объектов осуществлялся с учетом следующих характеристик: ЭП, устойчивость к филофагам и возбудителям болезней листьев, декоративность. ЭП оценивали в баллах, принимая во внимание площадь естественных ареалов произрастания и пределы толерантности видов относительно основных экологических факторов – тепла и влаги. В качестве показателей первого использовали сумму среднесуточных температур воздуха выше 10°C, число дней с устойчивой среднесуточной температурой воздуха выше 5 и 10°C, длительность безморозного периода и средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха; второго (влаги) – годовое количество осадков в мм. Исследуемые виды по величине их ЭП располагаются в ряд: *S. triandra* > *S. alba* > *S. miyabeana* > *S. integra* > *S. ledebouriana* > *S. kochiana*; или: виды Бореально-средиземноморского ареала (*A*) > виды Маньчжурского ареала (*H*) > виды Среднесибирско-монгольского долинного западного ареала (*H*).

Для более детального изучения физиолого-биохимических механизмов устойчивости видов рода *Salix* к действию приоритетных азротехногенных поллютантов г. Новосибирска (SO₂) была осуществлена искусственная фумигация облиственных побегов ивы с растений, произрастающих на контрольной площади. В токе воздуха, с использованием стеклянной камеры объемом 125 л, моделировали загрязнение атмосферы SO₂ концентрацией 0,5; 1; 1,5 и 2 ПДК (0,25; 0,5; 0,75 и 2 мг/м³ соответственно). Для фумигации брали побеги текущего года, средней части кроны, южной экспозиции, на стадии начала пожелтения (конец авг. - начало сент.). О визуальных повреждениях листьев судили по потере тургора, площади

хлорозов и некрозов (%), а также наличию объединенных, скелетированных и свернутых листьев, налету грибницы.

Для сравнительных экологических и физиолого-биохимических исследований использовали характеристики состояния растений, произрастающих в условиях с различным уровнем азротехногенного загрязнения. В первом случае учитывали уровень ЭП, категорию жизненного состояния деревьев; во втором – содержание в тканях листьев азотистых, серных и ФС. Анализ материала проводили на базе кафедры ботаники и экологии НГПУ, а также лабораторий институтов СО РАСХН и ЦСБС СО РАН. Содержание серы (общая - Соб, органическая - Sorг, неорганическая - Sn, белковая - Sb, органическая, не входящая в состав белка - Sorг-б, низкомолекулярных белков - Снмб, высокомолекулярных белков - Свмб) определяли спектрофотометрически (Мочалова, 1975), азота (общий - Nоб, белковый - Nб, небелковый - Nнб) – по методу Кьельдаля (Ермаков и др., 1987), аминокислот (гидрофильные - Агфи, гидрофобные - Агфо) – на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА-339 (Финляндия) (Скуковский, 1996), сумму флавонолов – спектрофотометрически (Ермаков и др., 1987), содержание растворимых фенолов, дубильных веществ, суммы катехинов и лейкоантоцианов – по методике, разработанной в лаборатории биохимии растений ЦСБС СО РАН (Кукушкина и др., 2003).

Биологическая повторность равнялась 6, аналитическая – 5. Результаты статистически обработаны (Плохинский, 1970).

ГЛАВА 3. Влияние азротехногенного загрязнения на повреждаемость и обмен веществ видов рода *Salix*

Поверхность листовой пластинки и ствола деревьев, произрастающих в условиях загрязнения атмосферы г Новосибирска, покрыты слоем техногенной пыли, что является одной из причин появления хлорозов и некрозов листьев. На фоне повышения уровня азротехногенной нагрузки как у *A*, так и у *И* видов площадь повреждения листьев возрастает ($r = +0,90$ и $+0,92$ соответственно) (рис. 1), что ведет к преждевременной дефолиации и, как следствие, снижает густоту кроны деревьев. Оценка состояния кроны деревьев, произрастающих в различных условиях, позволила сделать заключение о жизненном состоянии растений на каждой из площадей: контроль – здоровое, район с низким уровнем загрязнения – ослабленное, со средним – сильно ослабленное.

Изменение жизненного состояния деревьев связано с динамикой оводненности листьев. Последняя на фоне повышения ИЗА у *S alba* (*A*) незначительно возрастает (на 2-3 % сырой массы), в то время, как у *S ledebouriana* (*И*) – достоверно снижается ($r = -0,88$), что отрицательно коррелирует с площадью повреждения листьев ($r = -0,86$) (см. рис. 1).

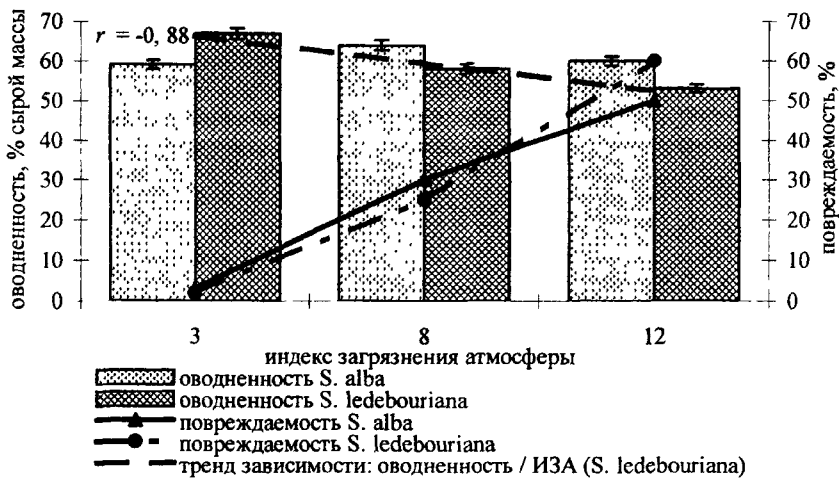


Рис. 1. Динамика оводненности и повреждаемости листьев видов рода *Salix*, произрастающих в условиях г. Новосибирска

Увеличение оводненности листьев у *S. alba* (А) сопровождается повышением содержания Noб ($r = +0,76$) и Nб ($r = +0,82$); уменьшение оводненности листьев у *S. ledebouriana* (И) – снижением содержания Noб ($r = -0,72$) и Nб ($r = -0,69$). Увеличение ИЗА ведет к повышению содержания Noб ($r = +0,60$) и Nб ($r = +0,62$) в листьях *S. alba* (А); а также возрастанию содержания Nнб ($r = +0,83$) и снижению содержания Noб ($r = -0,54$) и Nб ($r = -0,58$) в листьях *S. ledebouriana* (И).

По мере ослабления жизненного состояния дерева величина соотношения $\text{Noб}/\text{Nб}$ у *S. alba* (А) убывает ($r = -0,62$), $\text{Nб}/\text{Nнб}$ – возрастает ($r = +0,71$); в то время, как у *S. ledebouriana* (И) величина соотношения $\text{Noб}/\text{Nб}$ – возрастает ($r = +0,64$), а $\text{Nб}/\text{Nнб}$ – достоверно не изменяется.

Состояние азотного обмена в целом отражает динамика содержания аминокислот. Увеличение количества ароматических аминокислот, уменьшение содержания оксиаминокислот и моноаминодикарбоновых кислот сопровождается повышением площади повреждения листовой поверхности у *S. alba* (А); у *S. ledebouriana* (И) аналогичные визуальные изменения связаны с уменьшением содержания оксиаминокислот, алифатических, ароматических, диаминомонокарбоновых и гетероциклических аминокислот, а также увеличением содержания моноаминодикарбоновых и иминокислот. Направленность азотного обмена у *S. alba* (А) изменяется в сторону повышения гидрофобности, а у *S. ledebouriana* (И) – гидрофильности коллоидов протоплазмы, о чем можно судить по динамике ве-

личины соотношения $Agfi/Agfo$ (табл. 1). Величина соотношения $Agfi/Agfo$ у *S. alba* (А) при низком ИЗА повышается, при высоком – падает ниже уровня контроля; у *S. ledebouriana* (И) величина данного показателя увеличивается с возрастанием ИЗА, что во многом связано с изменением содержания иминокислоты пролина.

Т а б л и ц а 1

Динамика величины соотношения $Agfi/Agfo$ листьев видов рода *Salix*, произрастающих в условиях г. Новосибирска

Вид	ИЗА		
	3	8	15
<i>S. alba</i>	1,67	1,85	1,57
<i>S. ledebouriana</i>	1,43	1,70	1,90

Изменение оводненности листьев у И в условиях аэротехногенного загрязнения сказывается на состоянии серного обмена, а именно: интенсивности транслокации Sob по растению и, как следствие, уровне ее накопления в листьях ($r = -0,87$), что объясняет более высокое содержание Sob у *S. ledebouriana* по сравнению с *S. alba*. Так, содержание Sob в тканях листьев у *S. ledebouriana* в условиях с низким ИЗА на 50 % выше, чем у *S. alba*; в условиях со средним уровнем загрязнения атмосферы – на 10 %.

Действие аэротехногенного загрязнения сопровождается ассимиляцией серосодержащих поллютантов, с чем связано перераспределение различных форм серы, что отражается на величине соотношений $Sn/Sopg$, $Sn/S6$ (табл. 2). Первая ($Sn/Sopg$) на фоне повышения ИЗА у *S. alba* (А) варьирует в пределах 0,27-0,32, у *S. ledebouriana* (И) уменьшается от 1,11 до 0,45 за счет снижения доли Sn и повышения доли $Sopg$ в среднем на 20,9 %. Это свидетельствует о достаточно высокой лабильности серного обмена у И и его стабильности у А. Величина соотношения $Sn/S6$ по мере возрастания ИЗА убывает: у *S. alba* (А) – от 55,4 до 1,7; у *S. ledebouriana* (И) – от 68,4 до 1,6. Данные изменения обусловлены уменьшением содержания Sn и увеличением содержания $S6$ у обоих видов.

Т а б л и ц а 2

Соотношение различных форм серы листьев видов рода *Salix*, произрастающих в условиях г. Новосибирска

Соотношение	Вид	ИЗА		
		3	8	15
$Sn/Sopg$	<i>S. alba</i>	0,31	0,27	0,32
	<i>S. ledebouriana</i>	1,11	0,45	0,48
$Sn/S6$	<i>S. alba</i>	55,40	5,30	1,70
	<i>S. ledebouriana</i>	68,36	1,67	1,63

Изменения серного и азотного обменов тесно сопряжены, о чем свидетельствует выявленная корреляционная зависимость между содержанием в тканях листа N6 и S6, которая у *S. ledebouriana* имеет обратный характер ($r = -0,95$), у *S. alba* – прямой ($r = +0,83$).

Изменчивость обменных процессов растений в условиях аэротехногенного загрязнения зависит от фоновое содержания в тканях различных метаболитов. Так, *S. ledebouriana* (И) по сравнению с *S. alba* (А) характеризуется меньшим фоном Sob и S6, а также большим фоном Nob и N6, что отражается на величине соотношений Nob/Sob, N6/S6 и, как следствие, обуславливает направленность ответных реакций в условиях городской среды. По мере повышения ИЗА величина соотношения Nob/Sob у обоих видов увеличивается, N6/S6 – снижается. Отмеченные изменения обуславливают возрастание повреждаемости растений, о чем свидетельствует корреляционная зависимость между площадью хлорозов листьев и величиной соотношений Nob/Sob, N6/S6, которая в первом случае имеет прямой характер ($r_{S\ alba} = +0,84$; $r_{S\ ledebouriana} = +0,90$), во втором – обратный ($r_{S\ alba} = -0,98$; $r_{S\ ledebouriana} = -0,78$).

ГЛАВА 4. Влияние аэротехногенного загрязнения на динамику веществ фенольной природы видов рода *Salix* в связи с их устойчивостью

Фоновое содержание ФС у *S. ledebouriana* превосходит такое у *S. alba*: содержание растворимых фенолов – на 76 %, дубильных веществ – в 3, катехинов и лейкоантоцианов – в 34, свободных катехинов – в 19, олигомерных катехинов – в 31, флавонолов – в 3,6 раза.

Изменение содержания дубильных веществ, катехинов, лейкоантоцианов, флавонолов и их суммы у исследуемых видов в условиях аэротехногенного загрязнения зависит от содержания суммы ароматических аминокислот (рис. 2), величина которого у *S. alba* возрастает на 35-57 %, а у *S. ledebouriana* убывает на 22-25 % относительно фона, что положительно коррелирует с содержанием вышеуказанных ФС. Величина последнего в условиях г. Новосибирска с различным ИЗА отражается на устойчивости видов рода *Salix* к действию биотических факторов, о чем свидетельствует выявленная отрицательная корреляционная зависимость между содержанием суммы ФС и площадью повреждения листовой поверхности филлофагами и возбудителями болезней ($r_{S\ alba} = -0,57$; $r_{S\ ledebouriana} = -0,95$) (см. рис. 2).

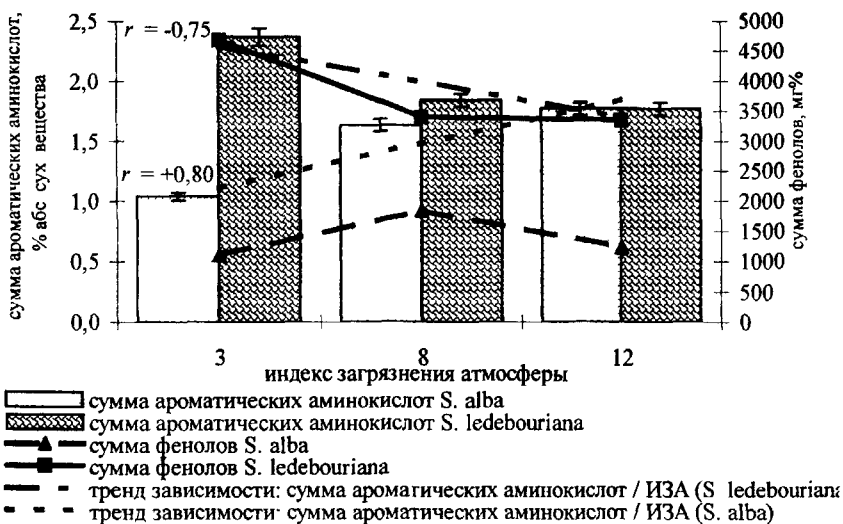


Рис. 2. Динамика содержания суммы аминокислот и суммы ФС листьев видов рода *Salix*, произрастающих в условиях г. Новосибирска

ГЛАВА 5. Повреждаемость и динамика азотного и серного обменов видов рода *Salix* в условиях действия низких доз SO_2

Наиболее значимым критерием повреждаемости листьев *A* и *И* видов рода *Salix* в условиях действия SO_2 является потеря тургора, поскольку хлорозы и некрозы единичны. На фоне повышения дозы действующего SO_2 потери тургора усугубляются, о чем свидетельствует положительная корреляционная зависимость (табл. 3).

Таблица 3
Коэффициенты корреляции (r) между концентрацией действующего SO_2 и потерей тургора листьев видов рода *Salix* с различной ЭП

ЭП	Вид	r
Высокая	<i>S. alba</i>	+0,78
	<i>S. triandra</i>	+0,83
Средняя	<i>S. integra</i>	+0,98
	<i>S. miyabeana</i>	+0,74
Низкая	<i>S. kochiana</i>	+0,98
	<i>S. ledebouriana</i>	+0,95

Согласно результатам дисперсионного анализа, на величину потерь тургора листьев видов рода *Salix* высокое влияние оказывает суммарное действие дозы SO_2 и ЭП видов ($\eta^2_x = 0,800$). Доля последнего составляет $\approx 64\%$ от суммарного факториального влияния.

Величина потерь тургора связана с состоянием серного и азотного обменов: чем выше фоновое содержание So_b , No_b , $N6$ и ниже фон $S6$, тем потери тургора листьев видов рода *Salix* меньше. В результате фумигации SO_2 экзогенная сера более интенсивно включается в состав органических соединений у *И*. При этом основную долю Sop_r как у *A*, так и у *И* составляет Sop_r-6 , доля $S6$ невелика.

Согласно результатам дисперсионного анализа, в условиях фумигации SO_2 динамики величин соотношений Sn/Sop_r , $Sn/S6$ зависят от суммарного действия дозы SO_2 и ЭП видов (табл. 4). На динамику величины соотношения Sn/Sop_r высокое влияние оказывает суммарное действие сочетания градаций дозы SO_2 и уровня ЭП видов (63 % от суммарного факториального влияния), а на величину соотношения $Sn/S6$ – частное действие указанных факторов (34 и 42 % от суммарного факториального влияния).

Т а б л и ц а 4

Влияние дозы действующего SO_2 (фактор *A*) и ЭП видов рода *Salix* (фактор *B*) на величину соотношений Sn/Sop_r (числ.), $Sn/S6$ (знамен.)

Вид влияния	Сила влияния	Ошибка репрезентативности показателя силы влияния	Показатель достоверности влияния	F_{α}
Влияние фактора <i>A</i>	$\frac{0,103}{0,257}$	$\frac{0,020}{0,032}$	$\frac{5,150}{8,031}$	{2,5-3,6-5,2}
Влияние фактора <i>B</i>	$\frac{0,247}{0,317}$	$\frac{0,029}{0,040}$	$\frac{8,517}{7,925}$	{2,4-3,3-4,7}
Влияние сочетаний градаций обоих факторов (<i>AB</i>)	$\frac{0,600}{0,188}$	$\frac{0,010}{0,159}$	$\frac{60,000}{1,182}$	{1,7-2,2-2,9}
Суммарное действие обоих факторов (<i>x</i>)	$\frac{0,950}{0,762}$	$\frac{0,020}{0,132}$	$\frac{39,600}{5,772}$	{1,6-2,0-2,6}
Действие случайных факторов (<i>z</i>)	$\frac{0,050}{0,238}$	-	-	-

Величина соотношений $No_b/N6$, $N6/N6_b$ также достоверно зависит от суммарного действия концентрации SO_2 и уровня ЭП видов (табл. 5). При

этом основная доля суммарного факториального влияния приходится на сочетание градаций обоих факторов (57 и 35 % соответственно).

Т а б л и ц а 5

Влияние дозы действующего SO_2 (фактор A) и ЭП видов рода *Salix* (фактор B) на величину соотношений $No6/N6$ (числ.), $N6/Nн6$ (знамен.)

Вид влияния	Сила влияния	Ошибка репрезентивности показателя силы влияния	Показатель достоверности влияния	$F_{ст}$
Влияние фактора A	$\frac{0,098}{0,292}$	$\frac{0,020}{0,030}$	$\frac{4,900}{9,733}$	{2,5-3,6-5,2}
Влияние фактора B	$\frac{0,315}{0,308}$	$\frac{0,050}{0,060}$	$\frac{6,300}{5,133}$	{2,4-3,3-4,7}
Влияние сочетаний градаций обоих факторов (AB)	$\frac{0,540}{0,320}$	$\frac{0,090}{0,066}$	$\frac{6,000}{4,849}$	{1,7-2,2-2,9}
Суммарное действие обоих факторов (x)	$\frac{0,953}{0,920}$	$\frac{0,020}{0,041}$	$\frac{47,650}{22,439}$	{1,6-2,0-2,6}
Действие случайных факторов (z)	$\frac{0,047}{0,080}$	-	-	-

Величина соотношений $No6/Sob$ и $N6/S6$ достоверно ($\beta = 0,999$) зависит от суммарного действия SO_2 и уровня ЭП видов ($\eta^2_x = 0,908$ и $0,930$ соответственно), наибольшая доля которого приходится на частное влияние ЭП (68 и 56% соответственно). Кроме того, величина соотношения $No6/Sob$ положительно коррелирует с дозой действующего SO_2 и отрицательно – с повреждаемостью растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что изменчивость состояния метаболизма связана с такой характеристикой как «ЭП» вида. Показателем последней является способность вида существовать в условиях различных по напряженности природных экологических факторов (длительность безморозного периода, годовое количество осадков и т.д.). Вполне вероятно, что уровень ЭП вида и устойчивость растений в неблагоприятных условиях тесно взаимосвязаны, что приобретает особое значение в городской среде, где, наряду с природными факторами, значительное воздействие на растительный организм оказывает антропогенное загрязнение атмосферы, которое существенно влияет на экологический и физиолого-биохимический статус рас-

тения, поскольку уровень техногенного загрязнения почвы на всех экспериментальных площадках в пределах заложенного экологического профиля невысок.

Одним из наиболее лабильных обменных процессов является метаболизм серы, что обусловлено способностью последней образовывать соединения с различной валентностью, обладающие высокой реакционной способностью (Барахтенова и др., 1998). Интенсивность и направленность реакций серного обмена характеризуют динамики таких показателей, как $Sn/Sopг$ и $Sn/Sб$, позволяющие судить об интенсивности включения серо-содержащих поллютантов в органические, в том числе белковые, соединения. Согласно результатам проведенного дисперсионного анализа, величины указанных соотношений достоверно зависят от суммарного влияния уровня аэротехногенной нагрузки и ЭП видов. На $Sn/Sopг$ видов рода *Salix* в условиях г. Новосибирска наибольшее влияние оказывает ЭП видов (56 % от суммарного факториального действия) (табл. 6), а в модельном эксперименте – сочетание градаций обоих факторов (см. табл. 4): в условиях контроля, 0,5 и 2 ПДК SO_2 виды с меньшим уровнем ЭП (*И*) характеризуются более высокой величиной указанного соотношения, а в условиях 1 и 1,5 ПДК SO_2 – наоборот.

Т а б л и ц а 6
Влияние уровня загрязнения атмосферы г. Новосибирска (фактор *A*) и ЭП видов рода *Salix* (фактор *B*) на величину соотношений $Sn/Sopг$ (числ.), $Sn/Sб$ (знамен.)

Вид влияния	Сила влияния	Ошибка репрезентативности показателя силы влияния	Показатель достоверности влияния	F_{α}
Влияние фактора <i>A</i>	<u>0,247</u> 0,972	<u>0,059</u> 0,215	<u>4,000</u> 4,521	{2,5-3,6-5,2}
Влияние фактора <i>B</i>	<u>0,529</u> 0,003	<u>0,098</u> 0,107	<u>5,398</u> 0,028	{2,4-3,3-4,7}
Влияние сочетаний градаций обоих факторов (<i>AB</i>)	<u>0,165</u> 0,015	<u>0,095</u> 0,215	<u>1,737</u> 0,069	{1,7-2,2-2,9}
Суммарное действие обоих факторов (<i>x</i>)	<u>0,941</u> 0,990	<u>0,090</u> 0,107	<u>10,456</u> 9,252	{1,6-2,0-2,6}
Действие случайных факторов (<i>z</i>)	<u>0,059</u> 0,010	-	-	-

Величина соотношения S_n/S_b видов рода *Salix* в условиях г. Новосибирска (см. табл. 6) зависит от уровня аэротехногенной нагрузки (98 % суммарного факториального влияния), а в модельном эксперименте (см. табл. 4) – как от дозы SO_2 , так и от ЭП видов. На фоне повышения загрязнения величина указанного соотношения снижается у всех видов, однако у видов с высоким уровнем ЭП она всегда выше, чем у видов со средним и низким уровнями ЭП.

Величины соотношений $N_об/N_б$ и $N_б/N_нб$ как в условиях загрязнения атмосферы г. Новосибирска, так и в условиях фумигации побегов SO_2 , зависят от суммарного действия уровня техногенной нагрузки и ЭП видов (табл. 7, см. табл. 5). На величину соотношения $N_об/N_б$ как в первом, так и во втором случаях, высокое влияние оказывает действие сочетаний градаций обоих факторов (90 и 57 % от суммарного факториального влияния соответственно): в условиях контроля и низкого уровня загрязнения атмосферы г. Новосибирска у видов с более высокой ЭП величина соотношения $N_об/N_б$ выше, а в условиях среднего уровня загрязнения атмосферы и фумигации побегов 0,5-2 ПДК SO_2 – ниже. Однако в условиях г. Новосибирска на данный результативный признак ($N_об/N_б$) высокое влияние оказывают случайные факторы, не организованные в изучаемом дисперсионном комплексе ($\eta_z^2 = 0,500$) (см. табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Влияние уровня загрязнения атмосферы г. Новосибирска (фактор *A*) и ЭП видов рода *Salix* (фактор *B*) на величину соотношений $N_об/N_б$ (числ.), $N_б/N_нб$ (знамен.)

Вид влияния	Сила влияния	Ошибка репрезентативности показателя силы влияния	Показатель достоверности влияния	F_{α}
Влияние фактора <i>A</i>	<u>0,002</u> 0,746	<u>0,090</u> 0,020	<u>0,022</u> 37,300	{2,5-3,6-5,2}
Влияние фактора <i>B</i>	<u>0,003</u> 0,002	<u>0,045</u> 0,001	<u>0,067</u> 2,000	{2,4-3,3-4,7}
Влияние сочетаний градаций обоих факторов (<i>AB</i>)	<u>0,450</u> 0,237	<u>0,091</u> 0,020	<u>4,945</u> 11,850	{1,7-2,2-2,9}
Суммарное действие обоих факторов (<i>x</i>)	<u>0,500</u> 0,985	<u>0,046</u> 0,018	<u>10,870</u> 54,722	{1,6-2,0-2,6}
Действие случайных факторов (<i>z</i>)	<u>0,500</u> 0,011	-	-	-

Динамика величины соотношения $N6/Nн6$ в условиях фумигации побегов SO_2 зависит от действия сочетания градаций обоих факторов и частного влияния ЭП видов (35 и 34 % от суммарного факториального влияния соответственно) (см. табл. 5), а в условиях г. Новосибирска – от частного действия уровня аэротехногенной нагрузки (76 % от суммарного факториального влияния) (см. табл. 7). Величина соотношения $N6/Nн6$ в модельном эксперименте у видов с более высоким уровнем ЭП выше, независимо от дозы действующего SO_2 ; а в условиях г. Новосибирска, на фоне повышения ИЗА, у вида с низкой ЭП достоверно не изменяется, а у вида с высокой ЭП – возрастает ($r = +0,71$).

Изменения азотного и серного обменов тесно взаимосвязаны, что отражают динамики соотношений $No6/Sо6$, $N6/S6$, величины которых достоверно зависят от суммарного факториального действия уровня аэротехногенной нагрузки и ЭП видов как в условиях г. Новосибирска, так и при фумигации SO_2 . В первом случае основная доля от суммарного факториального влияния приходится на частное влияние уровня аэротехногенной нагрузки ($\approx 85\%$), во втором - ЭП видов ($\approx 60\%$).

Растения, ослабленные действием поллютантов, являются более чувствительными к действию фитопатогенов, что связано с состоянием метаболизма ФС, динамика содержания которых зависит от изменчивости первичного (аминокислотного) обмена. Согласно результатам дисперсионного анализа (табл. 8), повреждаемость видов рода *Salix* филлофагами и возбудителями болезней листвы в условиях г. Новосибирска достоверно зависит от ЭП видов и содержания суммы ФС.

Т а б л и ц а 8

Влияние уровня ЭП (фактор *A*) и содержания суммы дубильных веществ, катехинов, лейкоантоцианов, флавонолов (фактор *B*) на повреждаемость листьев видов рода *Salix* в условиях г. Новосибирска

Вид влияния	Сила влияния	Ошибка репрезентативности показателя силы влияния	Показатель достоверности влияния	$F_{ст}$
1	2	3	4	5
Влияние фактора <i>A</i>	0,029	0,030	0,967	{4,0-7,2-12,3}
Влияние фактора <i>B</i>	0,487	0,016	30,437	{4,8-9,7-18,6}
Влияние сочетаний градаций обоих факторов (<i>AB</i>)	0,395	0,016	24,687	{4,0-7,2-12,3}

1	2	3	4	5
Суммарное действие обоих факторов (x)	0,911	0,030	30,367	{4,8-9,7-18,6}
Действие случайных факторов (z)	0,089	-	-	-

Анализ полученных результатов показывает взаимосвязи между состоянием серного, азотного и фенольного обменов в условиях аэротехногенного загрязнения, а также уровнем ЭП *A* и *И* видов рода *Salix*. Кроме того, состояние метаболизма ФС видов, различающихся по ЭП, коррелирует с повреждаемостью растений филофагами и возбудителями болезней листьев.

ВЫВОДЫ

1. Изменение интенсивности и направленности обменных процессов видов рода *Salix* в условиях загрязнения окружающей среды зависит от суммарного действия факторов, определяющих состояние растений: уровня аэротехногенной нагрузки и ЭП видов, что подтверждается результатами дисперсионного анализа.
2. В условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы направленность первичного обмена веществ у видов рода *Salix* с высоким уровнем ЭП (*A*) изменяется в сторону интенсификации реакций азотного, а у видов с меньшим уровнем ЭП (*И*) – серного обмена, о чем можно судить по динамике величин соотношения основных форм азота и серы ($N_{об}/N_6$, $N_6/N_{нб}$, $S_{опr}/S_н$, $S_{опr}/S_6$).
3. Динамика содержания ароматических аминокислот в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы связана с изменением содержания основных групп ФС: у видов с высокой ЭП (*A*) – в сторону повышения, у видов с низкой ЭП (*И*) – уменьшения.
4. Изменения содержания соединений фенольной природы отражается на устойчивости растений в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы, в том числе к действию филофагов и возбудителей болезней листьев, что связано с ЭП видов рода *Salix* и подтверждается результатами дисперсионного анализа.
5. Изменения серного и азотного обменов обуславливают повреждаемость растений в условиях аэротехногенного загрязнения и связаны с ЭП *A* и *И* видов рода *Salix*, что подтверждается результатами корреляционного и дисперсионного анализов.
6. Выявлены взаимосвязи между состоянием первичного и вторичного (фенольного) обменов с одной стороны, а также повреждаемостью расте-

ний филофагами и возбудителями болезней листвы – с другой, что характеризует устойчивость видов рода *Salix* в условиях аэротехногенного загрязнения.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Захарова Л.А. Действие серного загрязнения на морфо-анатомическую структуру листа растений // Материалы V Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. – Абакан, 2001. – С. 20-21.
2. Захарова Л.А. Аминокислотный состав аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix*, произрастающих в условиях города Новосибирска // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: Материалы VII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. – Абакан, 2003. – С. 19-20.
3. Захарова Л.А. Влияние сернистого газа на содержание серы и морфоструктуру листа видов рода *Salix* L. // Биология – наука XXI века: 7 Пушкинская школа-конференция молодых ученых. Сборник тезисов – Пушкино, 2003. – С. 171-172.
4. Захарова Л.А. Диоксид серы как фактор изменчивости метаболизма листа аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix* L. // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VIII международной экологической студенческой конференции. – Новосибирск, 2003. – С. 29-30.
5. Захарова Л.А. Изменение фонда метаболитов тканей листа видов рода *Salix* L. под влиянием низких концентраций диоксида серы // Ботанические исследования в азиатской России: Материалы XI съезда Русского ботанического общества. – Барнаул, 2003. – Т.2. – С. 214-216.
6. Захарова Л.А. Особенности аминокислотного состава и оводненности листьев аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix* L. в городской среде // Аспирантский сборник НГПУ-2003. – Новосибирск, 2003. – С. 191-196.
7. Муравьева Ю.В., Захарова Л.А. Устойчивость аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix* L. к аэротехногенному загрязнению окружающей среды // Сборник научных работ студентов, аспирантов и преподавателей ЕГФ. – № 6. – Новосибирск, 2004. – С. 46-52.
8. Фриллинг О.А., Захарова Л.А. Изменчивость азотного обмена аборигенных и интродуцированных видов рода *Salix* L. в условиях газообразного загрязнения окружающей среды // Сборник научных работ студентов, аспирантов и преподавателей ЕГФ. – № 6. – Новосибирск, 2004. – С.55-61.

Лицензия ЛР № 020059 от 24.03.97 г.

Подписано в печать 2.02.05 г. Формат бумаги 60x84/16.
Печать офсетная. Уч.-изд л. 1,1. Усл. печ. л. 1,04. Тираж 100 экз.
Заказ № 8.

Педуниверситет, 630126. г. Новосибирск, 126 ул. Виллюйская, 28

№ - 2654

РНБ Русский фонд

2006-4

10596