

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНАХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПО ЗАГРЯЗНЕНИЮ ЗОНАХ ТУЛЫ

Введение. Стремительный рост городов и возрастание площадей урбанизированных территорий создают новые и обостряют уже существующие экологические проблемы. В атмосферном воздухе современных городов присутствуют сотни веществ различных химических классов, поступающих из многочисленных источников антропогенного характера. Существенный вклад в загрязнение почв и атмосферного воздуха городской среды, наряду со стационарными источниками, вносит автомобильный транспорт. В крупных городах его доля в общем загрязнении воздуха составляет 60—80% [1].

Показано, что древесные растения обладают высокой чувствительностью к антропогенной нагрузке, поэтому могут служить адекватными индикаторами состояния урбоэкосистемы [2]. В качестве диагностических признаков должны использоваться наиболее чувствительные к экологическим воздействиям информативные функции и процессы. Известно, что одним из наиболее информативных биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к изменившимся условиям произрастания является содержание хлорофиллов и каротиноидов — главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки [3].

Поэтому целью работы являлось определение изменения содержания фотосинтетических пигментов (далее — ФСП) у древесных растений в различных по загрязнению зонах.

Для осуществления данной цели были поставлены следующие задачи: 1) выбор пробных участков и их зонирование по загрязнению с помощью биологических параметров; 2) определение количества ФСП в разных по загрязнению зонах; 3) анализ результатов.

В качестве объектов исследования использовались шесть видов древесных растений, распространённых в Туле совместно: клён остролистный, клён ясенелистный, липа сердцевидная, ясень обыкновенный, вяз шершавый, пузыреплодник калинолистный.

Основная часть. Первоначально оценивали уровень загрязнения пробных участков по показателям интенсивности движения автомобильного транспорта, количеству полос на проезжей части, удаленности пробных участков от проезжей части. В качестве биологических критериев использовали степень некротических повреждений листовых пластин и показатель флуктуирующей асимметрии (далее — ФА) листьев.

Анализ некротических изменений листовых пластин показал, что у большинства деревьев, произрастающих в парке, повреждение листьев незначительно. Заметное некротическое повреждение отмечалось уже рядом с малой магистралью, например, у липы сердцевидной оно составило $40 \pm 10\%$ поврежденных листьев от общего числа в выборке. У растений, произрастающих возле крупной и средней магистрали с грузовым потоком, $70 \pm 10\%$ всех листьев были с некрозом.

Определяли степень ФА листовой пластины, для чего с каждого листа снимали промеры с правой и левой стороны. Расчёт полученных данных осуществляли по методике В. М. Захарова [4]. Затем данные сопоставляли с диапазоном значений интегрального показателя стабильности развития. Величина показателя превышает условную норму ($< 0,040$) у всех анализируемых деревьев со всех точек пробоотбора. Необходимо отметить, что все выбранные для анализа деревья в парке характеризуются показателем ФА более 0,045, что отражает значительные нарушения. Липа оказалась наиболее чувствительным деревом: во всех точках пробоотбора, кроме парка, показатель ФА превышает 0,054 — экстремальное превышение нормы (5 баллов). У клёна остролистного значение практически неизменно, везде наблюдается значительное нарушение (3 балла). Таким образом, оценка степени некротического изменения и показателя ФА может служить показателем диагностики состояния деревьев в Туле.

Анализ позволил классифицировать участки по загрязнению на семь зон: зона крупной магистрали с отдалённостью пробных участков 1 м, зона средней магистрали (1-2 м), зона средней магистрали с грузовым потоком машин (2 м), зона средней магистрали с грузовым потоком машин (15 м), зона малой магистрали (2 м), парковая зона и пригород (Тульская область).

Определяли содержание ФСП в экстрактах листовых пластин. Для этого снимали оптическую плотность водно-спиртовых экстрактов листьев на спектрофотометре СФ-104 в спектральном режиме в трёхкратной повторности при следующих значениях λ : 440,5; 649; 665 нм. Содержание хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов рассчитывали по формулам Вернона для 96%-го раствора этанола.

Для анализа состояния фотосинтетического аппарата (далее — ФСА) использовали показатели функционального состояния растений. Первый показатель — отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (a/b). Он показывает степень сформированности ФСА. В норме составляет 2,5—3,0. Для большинства

исследуемых образцов он значительно снижен ($2 \pm 0,1$). Это указывает на то, что произрастание на данных пробных участках негативно влияет на рост и развитие растений, а также сказывается на фотохимической активности листьев.

Второй показатель — отношение суммы хлорофиллов к концентрации каротиноидов ($a + b / car$). Он является характеристикой работы ФСА. Данное соотношение в норме стабильно и очень чутко реагирует на изменения окружающей среды. В норме составляет 3,0—8,0. Для большинства древесных растений он находится в допустимых пределах, что указывает на адаптацию растений к среде произрастания. Однако для липы сердцевидной ($9,3 \pm 0,8$) и клена американского ($9,8 \pm 0,4$) в зоне средней магистрали данный показатель превышен, что может говорить о реакции суперкомпенсации или о разрушении каротиноидов.

В результате анализа выявлено три вида реакций ФСА лиственных деревьев на токсиканты: 1 реакция — адаптация ФСА, 2 реакция — активация ФСА и последующее угнетение на более загрязненных зонах, 3 реакция — угнетение ФСА.

Реакция адаптации зарегистрирована у клена ясенелистного. У него в разных по загрязнению зонах нет статистических отличий в содержании хлорофилла a (7 ± 1 мг / л). Отмечено незначительное увеличение содержания хлорофилла b при приближении к средней магистрали с грузовым потоком на 24%, тогда как концентрация каротиноидов во всех зонах находится примерно на одном уровне (диапазон значений от 1,4 до 1,9 мг / л).

Вторая реакция — реакция увеличения концентрации ФСП в зоне средней магистрали и уменьшение в зоне крупной магистрали — наблюдается у ясеня обыкновенного и липы сердцевидной.

У ясеня содержание хлорофилла a резко увеличивается в зоне магистрали с малым потоком машин ($16,4 \pm 0,2$ мг / л) в 1,5 раза, по сравнению с парковой зоной ($10,7 \pm 0,7$ мг / л). Далее содержание хлорофилла a падает и достигает значения $5,4 \pm 0,8$ мг / л в зоне крупной магистрали. Похожее изменение отмечено по содержанию хлорофилла b . На крупной магистрали его содержание в два раза ниже по сравнению с парковой зоной. Содержание каротиноидов колеблется от 1,7 мг / л в зоне крупной магистрали до 2,3 мг / л в парковой зоне.

У ФСА липы наблюдаются те же закономерности. Прослеживается увеличение содержания хлорофилла a в зоне средней магистрали в 1,7 раза ($6,0 \pm 0,7$ мг / л в зоне пригорода до $10,4 \pm 0,3$ мг / л), далее содержание хлорофилла a снижается почти в два раза в зоне крупной магистрали. Для хлорофилла b отмечена такая же тенденция — увеличение концентрации в зоне средней магистрали ($2,9 \pm 0,4$ мг / л в зоне пригорода до $5,5 \pm 0,7$ мг / л) и уменьшение в зоне с повышенным загрязнением до $2,7 \pm 0,5$ мг / л. Содержание каротиноидов незначительно увеличивается в зоне средней магистрали с грузовым потоком машин ($1,9 \pm 0,2$ мг / л в зоне пригорода до $2,2 \pm 0,3$ мг / л), после уменьшается в зоне крупной магистрали до $1,6 \pm 0,1$ мг / л.

Третья реакция — угнетение ФСА — наблюдалась у вяза шершавого, клена остролистного и пузыреплодника калинолистного. Причём наибольшее изменение содержания ФСП прослеживалось у пузыреплодника.

У вяза содержание хлорофилла a значительно снижается уже в зоне средней магистрали. Его содержание падает с $12,3 \pm 0,4$ мг / л в парковой зоне до $6 \pm 0,1$ мг / л. Концентрация хлорофилла b меняется в диапазоне 2,9—4,9 мг / л. Концентрация каротиноидов статистически неизменна ($2,4 \pm 0,2$ мг / л).

У клена остролистного содержание хлорофилла a и хлорофилла b снижается в два раза в зоне крупной магистрали по сравнению с парковой зоной. В парковой зоне содержание хлорофилла a и хлорофилла b ($10,5 \pm 0,2$ мг / л и $5,1 \pm 0,2$ мг / л соответственно) максимально. Пигментная система достаточно устойчива в зоне средней магистрали. У клена остролистного наблюдается снижение содержания ФСП (особенно хлорофилла a) при увеличении загрязненности зон.

У пузыреплодника происходит снижение на крупной магистрали по сравнению с малой магистралью содержания хлорофилла a ($15,7 \pm 0,6$ мг / л до $6,2 \pm 0,2$ мг / л) и хлорофилла b ($7,8 \pm 0,4$ мг / л до $3,1 \pm 0,1$ мг / л) в 2,5 раза, что показывает угнетенное состояние ФСА. Содержание каротиноидов на крупной магистрали ($2,5 \pm 0,1$ мг / л) снижается в 1,5 раза по сравнению с малой магистралью ($1,7 \pm 0,1$ мг / л).

Заключение. Учитывая высокую реактивность ФСА пузыреплодника калинолистного, а также клена остролистного, ясеня обыкновенного и вяза шершавого, их можно использовать для сезонной фитоиндикации с использованием данных по изменению содержания ФСП. Клен ясенелистный и липа сердцевидная являются достаточно устойчивыми деревьями и подходят для озеленения крупных промышленных центров, так как характеризуются относительно постоянным уровнем ФСП в зонах с повышенным загрязнением.

Список цитируемых источников

1. Бухарина, И. Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде : монография / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварничина, К. Е. Ведерников. — Ижевск : Ижев. ГСХА. — 2007. — 216 с.
2. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров / П. Духовский [и др.] // Физиология растений. — 2003. — Т. 50, № 2. — С. 165—173.
3. Тужилкина, В. В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение / В. В. Тужилкина // Экология. — 2009. — № 4. — С. 243—248.
4. Здоровье среды: методы оценки / В. М. Захаров [и др.]. — М. : Центр эколог. политики России, 2000. — 68 с.