

30. Weinstein L.H., Davison A.W. Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride // Environmental Pollution. – 2003. – V. 125. – P. 3–11.
31. Weinstein L.H., Davison A.W. Fluorides in the Environment. – Newcastle: CABI Publishing, 2004. – 287 p.
32. Методические указания по ионометрическому определению содержания фтора в растительной продукции, кормах и комбикормах. – М.: Минсельхоз, 1995.



УДК 581.522.4

Р.А. Сейдафаров

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ПИГМЕНТОВ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.)

Изучено влияние нефтехимического и полиметаллического загрязнения на пигментный фонд липы мелколистной. Показано, что различные типы загрязнения по-разному влияют на концентрацию хлорофилла. Проанализирована защитная роль каротиноидов в условиях загрязнения.

Ключевые слова: техногенез, нефтехимическое загрязнение, полиметаллическое загрязнение, липа мелколистная, хлорофилл, каротиноиды, ассимиляционный аппарат.

R.A. Seydafarov

ANTHROPOGENIC POLLUTION INFLUENCE ON THE PIGMENT CONCENTRATION IN *TILIA CORDATA* (TILIA CORDATA MILL.) ASSIMILATION APPARATUS

The influence of petrochemical and polymetallic pollution on Tilia Cordata pigment stock is studied. It is shown that different types of pollution influence on chlorophyll concentration in different ways. The carotenoid protective function in pollution conditions is analyzed.

Keywords: anthropogenesis, petrochemical pollution, polymetallic pollution, carotenoids, assimilation apparatus.

Введение. Фотосинтез – очень чувствительный физиологический процесс, зависящий от состояния ассимиляционного аппарата и растения в целом.

Хлорофилл – основной фотосинтетический пигмент растения. Хлорофилл имеет несколько модификаций, из которых хлорофиллу *a* принадлежит ведущая роль в функционировании фотосинтетических систем листа. Каротиноидам принадлежит важная роль в защите зеленых пигментов листа от фотоокисления [1–4].

Согласно литературным данным, липа мелколистная характеризуется следующими особенностями влияния промышленного загрязнения на пигментный фонд. На содержание пигментов хлорофильного комплекса наибольшее влияние в середине вегетационного периода оказывает загрязнение атмосферы ароматическими аэрозолями. В конце вегетационного периода максимальное снижение содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* происходит в условиях смешанного (органического и неорганического) загрязнения. Относительно каротиноидов имеются сведения, что в ходе всего вегетационного периода они наиболее чувствительны к смешанному типу загрязнения [5, 6].

Имеются данные о значительно большем (на 41,8 %) по сравнению с другими листовыми породами [7, 8] снижении содержания пигментов, преимущественно хлорофилла *a*, под влиянием загрязнения.

Целью исследования было изучения влияния техногенного загрязнения на концентрацию пигментов в листьях липы мелколистной.

Методика исследования. Район исследования был разделен на две зоны – сильного и слабого загрязнения (рис. 1). В каждой зоне были заложены пробные площади в древостоях липы мелколистной, охватывающие как водораздельное плато, так и пойму. Исследования проводились на модельных деревьях.



Рис. 1. Расположение районов исследования

Для определения содержания пигментов в листьях липы образцы отбирались из средней части кроны с 20 модельных деревьев [9]. Листья отбирались в последнюю декаду каждого месяца вегетационного периода (июнь – июль – август) определенное время (11–14 ч), поскольку в это время наблюдается наибольшее содержание пигментов в листьях. Собранные листья измельчали. Далее готовились навески массой 0,1 г, которые взвешивались на электронных весах Zakłady mechaniki precyzyjnej (Poland). После чего навески помещали в пробирки и заливали 10 мл 96% этилового спирта. Пробирки выдерживались в течение 12 ч в темном помещении во избежание разрушения пигментов. По истечении указанного времени проводили измерения содержания фотосинтетических пигментов – хлорофилла *a* и *b*, а также каротиноидов методом спектрофотометрии при помощи спектрофотометра КФК-5М (Россия). Содержание пигментов в листьях рассчитывали по следующим формулам:

$$C_{\text{хлорофилл } a} = 13,7 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649};$$

$$C_{\text{хлорофилл } b} = 25,8 \cdot D_{649} - 7,6 \cdot D_{665};$$

$$C_{\text{каротиноиды}} = 4,695 \cdot D_{440,5} - 0,268 \cdot (C_{\text{хлорофилл } a} + C_{\text{хлорофилл } b}),$$

где D_{665} , D_{649} , $D_{440,5}$ – показатели оптической плотности спиртового раствора при соответствующих длинах волн (665, 649 и 440,5 нм).

$$A = \frac{V \cdot C}{P \cdot 1000},$$

где V – объем спиртовой вытяжки равный 10 мл;

C – концентрация пигментов в спиртовом растворе, мг/л;
 P – навеска растительного материала, равная 0,1 г.

Результаты исследования Уфимский промышленный центр

Содержание хлорофилла в листьях липы варьирует от 1,4 до 2,6 мг/кг (рис. 2).

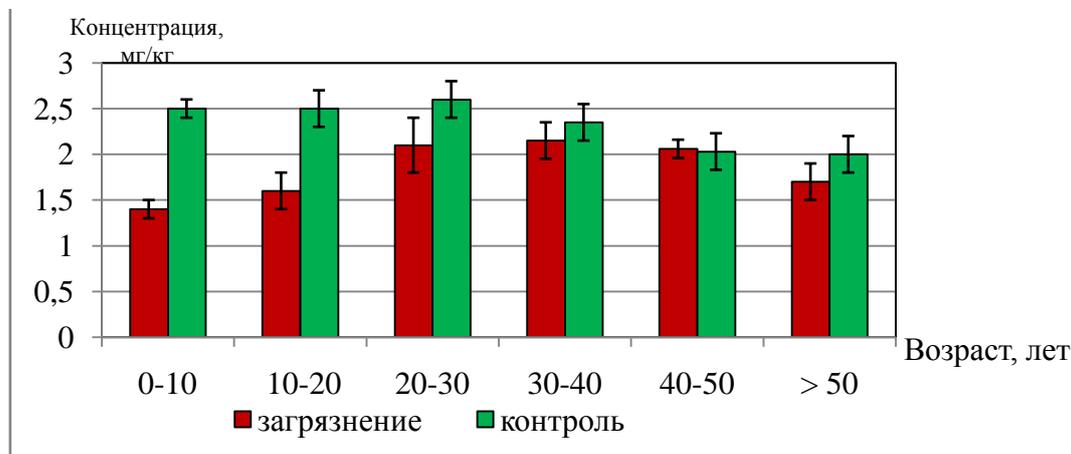


Рис. 2. Концентрация хлорофилла $a+b$ в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра

В целом в условиях загрязнения отмечено увеличение концентрации хлорофилла по мере взросления деревьев до приспевающего возраста (с 1,4 до 2,15 мг/кг). По-видимому, это связано с тем, что по мере взросления деревьев их аккумулирующая способность увеличивается (что подтверждается данными химического анализа). Токсиканты же могут выступать в качестве катализаторов синтеза хлорофилла. В дальнейшем происходит незначительное уменьшение содержание хлорофилла в листьях – до 1,7 мг/кг. Данное обстоятельство, скорее всего, связано с началом процесса старения растительного организма. В контрольной зоне имеет место примерно одинаковое содержание хлорофилла во всех возрастных категориях: 2,0–2,6 мг/кг.

Концентрация каротиноидов варьирует от 0,42 до 1,5 мг/кг (рис. 3).

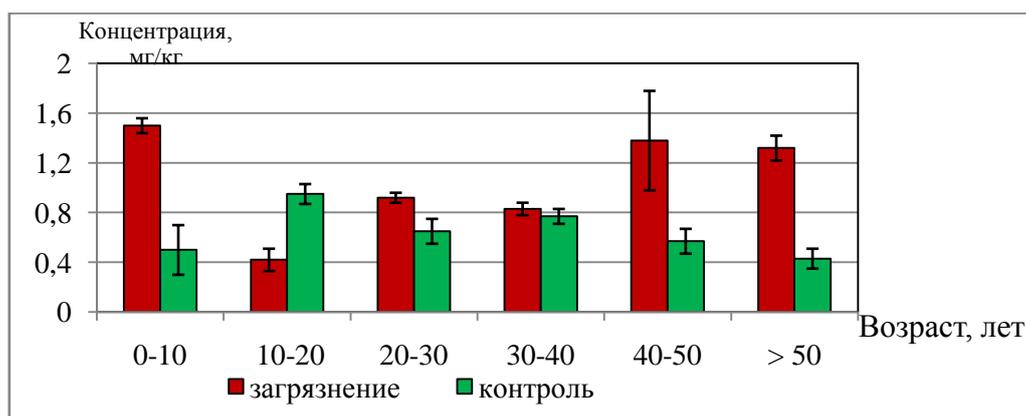


Рис. 3. Концентрация каротиноидов в листьях липы мелколистной в условиях Уфимского промышленного центра

Отмечены следующие особенности возрастной динамики данной группы пигментов: в возрасте молодняка их концентрация в зоне загрязнения наибольшая среди всех исследованных генераций и в более чем три раза превышает таковую в условиях контроля. Скорее всего, указанная особенность связана с тем, что пигментный фотосинтетический комплекс ассимиляционного аппарата испытывает в первые годы жизни повышенный стресс от действия поллютантов. Повышенная концентрация каротиноидов в этот период связана с их антиоксидантной функцией, предотвращающей разрушение хлорофилла. Косвенным подтвержде-

нием данного предположения является тот факт, что для молодняка характерна наибольшая разница концентраций хлорофилла между зонами загрязнения. Для жердняка характерна противоположная картина: концентрация каротиноидов в зоне контроля существенно выше таковой в техногенных условиях. По-видимому, для данной возрастной генерации характерна перестройка всех физиологических процессов с целью адаптации к стрессовым условиям загрязнения. Для последующих генераций отмечено превышение концентрации каротиноидов в зоне загрязнения над зоной контроля. Причем, для спелого и перестойного возраста характерно резкое увеличение разницы в концентрации каротиноидов между зонами, что опять же может быть вызвано разрушением хлорофилла по мере старения и, как следствие, перестройкой пигментного комплекса с целью минимизировать данный процесс.

Стерлитамакский промышленный центр

Содержание хлорофилла в листьях в условиях Стерлитамакского промышленного центра варьирует от 1,03 до 2,27 мг/кг в зависимости от возраста дерева (рис. 4). В контрольных условиях колебания значительно меньше (2,43–2,8 мг/кг). Следует отметить, что до приспевающего возраста наблюдается постепенное уменьшение концентрации данного пигмента в листьях, а затем имеет место некоторое увеличение. Подобная динамика коррелирует с данными химического анализа по аккумулирующей способности листьев: поглотительная способность ассимиляционного аппарата начинает уменьшаться после достижения приспевающего возраста.

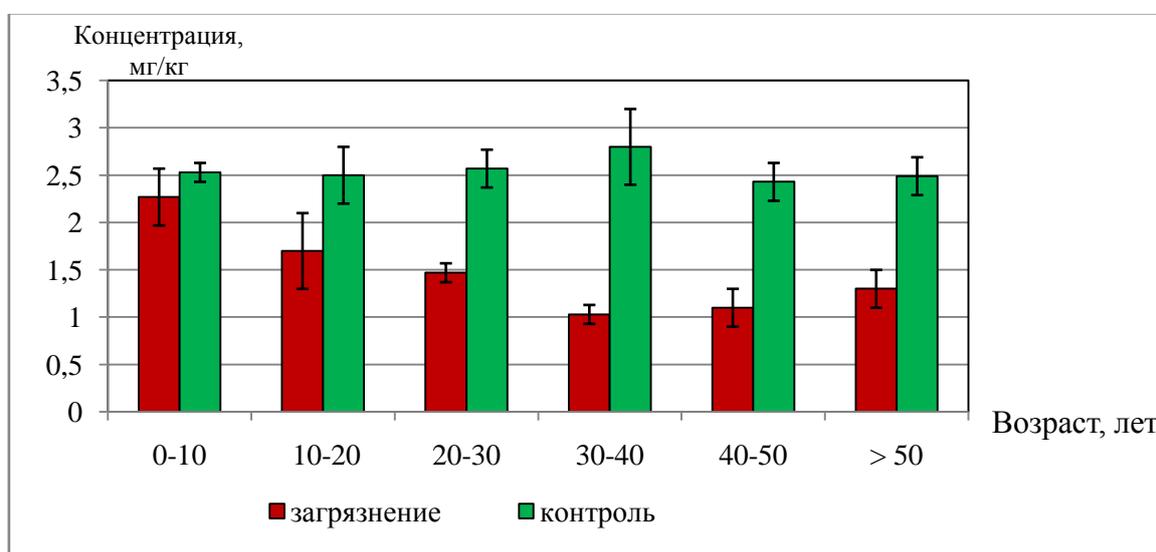


Рис. 4. Концентрация хлорофилла a+b в листьях липы мелколистной в условиях Стерлитамакского промышленного центра

По-видимому, в отличие от Уфимского промышленного центра, где имеет место нефтехимическое загрязнение, полиметаллическое загрязнение выступает ингибитором и фактором деструкции для пигментного комплекса.

Концентрация каротиноидов в листьях липы мелколистной в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра варьирует от 1,13 до 2,67 мг/кг, закономерно повышаясь, в отличие от Уфимского промышленного центра, по мере старения деревьев (рис. 5). По-видимому, эта особенность связана с тем, что полиметаллическое загрязнение выступает серьезным фактором деструкции хлорофилла, а высокая концентрация каротиноидов, как уже было сказано выше, способствует защите данного пигмента от разрушения. Очень важно, что для спелого (40–50 лет) возраста отмечено некоторое снижение концентрации каротиноидов по сравнению с предыдущим приспевающим возрастом (30–40 лет).

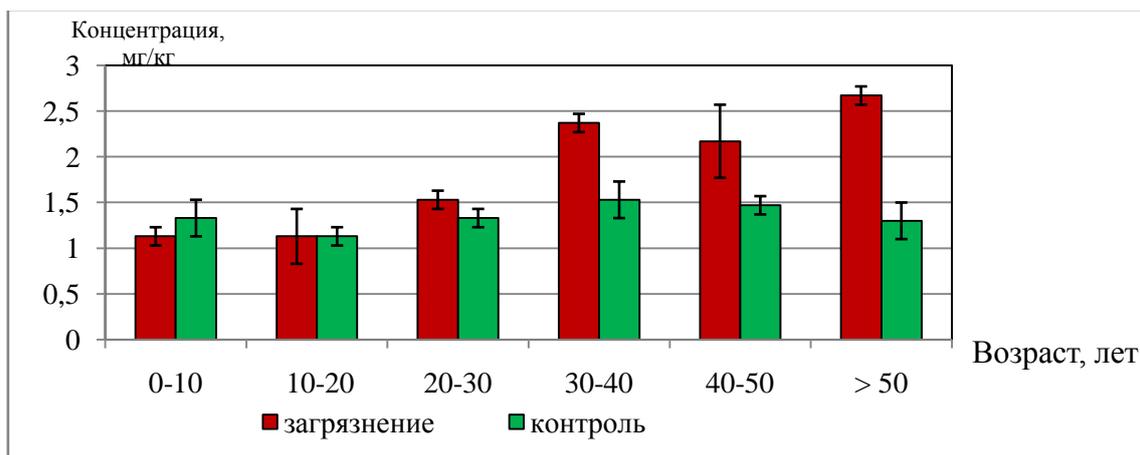


Рис. 5. Концентрация каротиноидов в листьях липы мелколистной в условиях Стерлитамакского промышленного центра

Выше уже было отмечено, что для данной возрастной генерации в Стерлитамакском промышленном центре отмечено снижение аккумулирующей способности и, как следствие, увеличение концентрации хлорофилла. В контрольных условиях, так же, как и в Уфимском промышленном центре, колебания концентраций каротиноидов крайне незначительны (1,13–1,53 мг/кг).

Выводы

1. Исследован пигментный фонд листьев липы мелколистной в условиях нефтехимического и полиметаллического загрязнения окружающей среды. Установлено, что хлорофилл существенно более чувствителен к полиметаллическому загрязнению. В целом, в обоих типах техногенных условий наблюдается уменьшение концентрации хлорофилла.

2. Установлено, что в условиях промышленного загрязнения возрастает концентрация каротиноидов в листьях, что может рассматриваться в качестве адаптационной реакции, направленной на защиту пигментов хлорофильного комплекса от разрушения.

Литература

1. Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. – Ижевск: Изд-во Ижевской ГСХА, 2007. – 216 с.
2. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты. – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.
3. Неверова О.А. Некоторые особенности физиолого-биохимического и анатомического строения ассимиляционного аппарата березы бородавчатой в условиях техногенного загрязнения г. Кемерово // Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. – С. 98–100.
4. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2002. – 220 с.
5. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. – 208 с.
6. Майдебурга И.С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические особенности и биохимические показатели древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Калининград, 2006. – 22 с.
7. Рязанцева Л.А., Спахова А.С. Влияние промышленного загрязнения атмосферы на водный режим древесных растений // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 43–46.
8. Фролов А.К. Изменение фотосинтетического аппарата некоторых растений в условиях городской среды // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 47–51.
9. Клейн Р.М., Клейн Д.Т. Методы исследования растений. – М.: Колос, 1974. – 527 с.