

ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА БАРНАУЛА

И.А. Кондратьева, Ю.В. Микша, Г.Г. Соколова

Алтайский государственный университет

В статье приводятся результаты изучения содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях клевера ползучего и клевера лугового в условиях техногенного загрязнения г. Барнаула. По мере возрастания техногенной нагрузки происходит закономерное снижение содержания хлорофилла у обоих видов клевера (в основном за счет хлорофилла *a*), а содержание каротиноидов достоверно увеличивается.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, техногенное загрязнение, *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L.

PHYTOINDICATION ASSESSMENT OF BARNAUL TECHNOGENIC POLLUTION

I.A. Kondratyeva, Yu.V. Miksha, G.G. Sokolova

Altai State University

The article presents the results of a study of the content of photosynthetic pigments (chlorophylls and carotenoids) in the leaves of creeping clover and meadow clover under conditions of technogenic pollution in the city of Barnaul. As the technogenic load increases, there is a natural decrease in the chlorophyll content in both types of clover (mainly due to chlorophyll *a*), and the content of carotenoids significantly increases.

Keywords: photosynthetic pigments, man-made pollution, *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L.

Введение. Растения, произрастающие в загрязненной городской среде, могут служить индикаторами степени загрязненности урбоэкосистем. Изучение состояния пигментной системы листьев актуально в целях установления нормирования и прогнозирования антропогенных нагрузок. Изменения количественного и качественного состава пигментов в условиях техногенного загрязнения являются индикаторами физиологического состояния растений, а также степени их адаптации в условиях стресса (Бухарина и др., 2013).

Под воздействием большинства газообразных токсикантов и тяжелых металлов содержание пигментов падает (Удовенко, 1995; Хвастунов, 1999). Большинство этих веществ после поглощения их клетками локализуются в хлоропластах, вызывая угнетение или даже полное прекращение фотосинтеза, свободное фотодинамическое окисление и разрушение клеточных структур (Бухарина и др., 2009). Изменение содержания пигментов является показателем потенциальной фотосинтетической способности растений и характеризует степень депрессии фотосинтеза. Суммарное содержание пигментов в листьях растений, произрастающих в местах наиболее интенсивного загрязнения, ниже по сравнению с растениями, произрастающими вдали от дорог и промышленных предприятий (Максимова и др., 2007).

В Барнауле источниками загрязнения воздушного бассейна являются в основном ТЭЦ и автомобильный транспорт. Травянистые дикорастущие растения могут служить биоиндикаторами качества окружающей среды в городских экосистемах.

Цель работы: изучить содержание фотосинтетических пигментов в листьях травянистых растений клевера лугового *Trifolium pratense* L. и клевера ползучего *Trifolium repens* L. в условиях г. Барнаула.

Материалы и методы исследования. Исследования содержания фотосинтетических пигментов в травянистых растениях проводились в летний период времени 2022–2023 гг. в г. Барнаул. Для анализа содержания фотосинтетических пигментов нами были использованы 2

вида клевера – *Trifolium pratense* L. и *Trifolium repens* L. Для анализа содержания фотосинтетических пигментов были собраны надземные части растений *Trifolium pratense* L. и *Trifolium repens* L. в различных местообитаниях г. Барнаула: берега р. Оби и р. Барнаулки; парки и скверы; автодороги; ТЭЦ-2. В качестве контроля использовался клевер, собранный на территории Южно-Сибирского ботанического сада АлтГУ. Для определения содержания фотосинтезирующих пигментов выбирали одновозрастные растения из разных местообитаний, находящиеся в стадии цветения.

Биохимический анализ содержания фотосинтетических пигментов в растениях проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре марки SHIMADZU UV-1800 в лаборатории кафедры экологии, биохимии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Алтайского государственного университета». Концентрации пигментов в листьях рассчитывалась в два этапа по формулам с учётом положения максимумов поглощения пигментов и поправочных коэффициентов на наличие других пигментов и компонентов, рассеивающих свет (Рогожин, 2013). Все данные обработаны статистически с использованием программы MS Excel 2007.

Результаты исследования.

Клевер луговой. Анализ содержания хлорофиллов в листьях клевера лугового выявил следующие закономерности. На контроле содержание хлорофилла *a* составило 86 мг/100 г воздушно-сухого веса. По сравнению с контролем содержание хлорофилла *a* достоверно изменялось в сторону уменьшения в ряду местообитаний: берега р. Оби и р. Барнаулки → парки и скверы → ТЭЦ-2 → автодороги. Наименьшее содержание хлорофилла *a* выявлено в листьях клевера лугового, растущего вдоль автодорог и около ТЭЦ-2 (на 14% и 12% соответственно). Содержание хлорофилла *a* в листьях клевера лугового, растущего в парках и скверах, отличалось по сравнению с контролем на 6% (табл. 1).

Таблица 1

Содержание хлорофиллов в листьях *Trifolium pratense* L.

Места сбора	Хл. <i>a</i> , мг/100 г воздушно- сухого веса	Хл. <i>b</i> , мг/100 г воздушно- сухого веса	Сумма хлорофиллов, мг/100 г воздушно- сухого веса	Соотношение пигментов	Содержание каротиноидов, мг/100 г воздушно- сухого веса
Контроль	86,39±0,29	52,92±0,31	139,31±0,41	1,7 : 1,0	39,90±0,36
Берега р. Оби и р. Барнаулки	82,90±2,08	43,76±2,21	132,91±2,08	1,8 : 1,0	33,85±0,81
Парки/скверы	81,99±3,89	50,93±1,84	126,67±4,29	1,7 : 1,0	37,30±1,78
ТЭЦ-2	76,32±0,45	49,29±0,27	125,61±0,21	1,5 : 1,0	43,84±0,34
Автодороги	74,13±0,85	42,19±0,92	116,33±0,16	1,6 : 1,0	31,56±1,29

Примечание: жирным выделены значения, достоверные при $p \leq 0,05$

Содержание хлорофилла *b* в листьях клевера лугового на контроле составило 52 мг/100 г воздушно-сухого веса. Достоверное уменьшение по сравнению с контролем наблюдалось в ряду ТЭЦ-2 → Берега р. Оби и р. Барнаулки → автодороги (на 7%, 18% и 20% соответственно). Достоверных изменений содержания хлорофилла *b* в листьях клевера лугового, произрастающего в парках и скверах не выявлено (табл. 1).

Анализ общего содержания хлорофиллов в листьях клевера лугового свидетельствует о достоверном снижении по сравнению с контролем в ряду: парки и скверы → берега р. Оби и р. Барнаулки → ТЭЦ-2 → автодороги. По сравнению с контролем снижение суммарного содержания хлорофиллов вдоль автодорог достигало 20% (табл. 1).

Анализ соотношения пигментов в листьях клевера лугового, растущего в условиях техногенного загрязнения г. Барнаула, выявил максимальное снижение их соотношения вдоль автодорог. По сравнению с контролем также наблюдается уменьшение этого параметра у подорожника большого, растущего в других точках сбора.

На контроле содержание каротиноидов в листьях клевера лугового составило 39 мг/100 г воздушно-сухого веса. Достоверное увеличение каротиноидов по сравнению с контролем

обнаружено в листьях клевера лугового, произрастающего около ТЭЦ–2 (на 9%). Достоверное снижение каротиноидов отмечается вдоль берега р.Оби и р. Барнаулки и автодорог (на 15% и 19% соответственно). В парках и скверах достоверного изменения содержания каротиноидов не выявлено (табл. 1).

Клевер ползучий. Анализ содержания хлорофиллов в листьях клевера ползучего выявил следующие закономерности. На контроле содержание хлорофилла *a* составило 79 мг/100 г воздушно–сухого веса. По сравнению с контролем содержание хлорофилла *a* в листьях клевера ползучего достоверно изменялось в сторону уменьшения в ряду местообитаний: берега р. Оби и р. Барнаулки → автодороги → ТЭЦ–2. Достоверного изменения содержания хлорофилла *a* в листьях клевера ползучего, растущего в парках и скверах не выявлено. Наименьшее содержание хлорофилла *a* выявлено в листьях клевера ползучего, растущего около ТЭЦ–2 и вдоль автодорог (на 10% и 17% соответственно). Содержание хлорофилла *a* в листьях клевера ползучего, растущего вдоль берега р.Оби и р. Барнаулки отличалось по сравнению с контролем на 9% (табл. 2).

Таблица 2

Содержание хлорофиллов в листьях *Trifolium repens* L.

Места сбора	Хл. <i>a</i> , мг/100 г воздушно– сухого веса	Хл. <i>b</i> , мг/100 г воздушно– сухого веса	Сумма хлорофиллов, мг/100 г воздушно– сухого веса	Соотношение пигментов	Содержание каротиноидов, мг/100 г воздушно– сухого веса
Контроль	79,72±0,37	49,68±0,24	129,40±0,61	1,7: 1,0	33,18±0,25
Парки/скверы	80,42±1,40	48,56±1,65	128,98±3,06	1,7: 1,0	34,64±0,32
Берега р. Оби и р. Барнаулки	74,92±2,18	38,72±0,98	113,64±1,19	1,9: 1,0	32,99±1,08
Автодороги	72,15±2,51	44,24±0,92	116,39±1,31	1,6 : 1,0	32,76±1,44
ТЭЦ–2	69,70±0,48	45,81±0,21	116,51±0,32	1,5 : 1,0	30,98±0,32

Примечание: **69,7±0,48** – значение достоверно при $p \leq 0,05$

Содержание хлорофилла *b* в листьях клевера ползучего на контроле составило 49 мг/100 г воздушно–сухого веса. Достоверное уменьшение содержания хлорофилла *b* для клевера ползучего отмечено в ряду местообитаний: ТЭЦ–2 → автодороги → берега р. Оби и р. Барнаулки (на 8%, 11% и 22% соответственно). Достоверных изменений содержания хлорофилла *b* в листьях клевера ползучего, растущего в парках и скверах, не выявлено. (табл. 2).

При анализе общего содержания хлорофиллов в листьях клевера ползучего отмечено достоверное его уменьшение в ряду местообитаний: автодороги → ТЭЦ–2 → берега р. Оби и р. Барнаулки (на 10%, 10% и 12% соответственно). Достоверных изменений содержания хлорофиллов в листьях клевера ползучего, растущего в парках и скверах, выявлено не было.

Анализ соотношения пигментов в листьях клевера ползучего показал уменьшение данного параметра при увеличении техногенного загрязнения (табл. 2).

В листьях клевера ползучего содержание каротиноидов на контроле составило 33 мг/100 г воздушно–сухого веса. Достоверное снижение каротиноидов в листьях клевера ползучего выявлено вдоль автодорог (на 7%); достоверное увеличение содержания каротиноидов в листьях клевера ползучего отмечалось возле ТЭЦ–2 (на 4%). У клевера, растущего вдоль берега р. Оби и р. Барнаулки, а также в парках и скверах, достоверных изменений содержания каротиноидов в листьях клевера ползучего выявлено не было (табл. 2).

Таким образом, содержание хлорофиллов в листьях клеверов обоих видов достоверно снижается по сравнению с контролем за счет уменьшения концентрации как хлорофилла *a*, так и хлорофилла *b*.

Содержание каротиноидов в листьях клеверов обоих видов по сравнению с контролем достоверно увеличивалось по мере возрастания техногенной нагрузки на 4–9%.

Основным из фотосинтетических пигментов растений является хлорофилл *a*. Он образует реакционные центры, участвующие в световой фазе фотосинтеза. Уменьшение содержания

хлорофилла *a* приводит к увеличению доли хлорофилла *b*. Это защищает ткани от окисления кислородом на свету. Данный процесс можно рассматривать как адаптивную реакцию ассимиляционного аппарата растений (Николаевский, 1979).

Каротиноиды являются вспомогательными пигментами и, главным образом, защищают хлорофиллы от негативного воздействия, поэтому происходит их увеличение в техногенно-загрязненных средах. Увеличение концентрации каротиноидов под влиянием загрязнения может быть связано с их фоторецепторной и антиоксидантной функциями и может рассматриваться в качестве адаптационного механизма пигментного комплекса к техногенным воздействиям, что отмечается и другими исследователями (Майдебура, 2006; Бухарина и др., 2013).

В норме соотношение хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов, в соответствии с их функциями, находится в следующей закономерности: хлорофилла *a* более 50%, хлорофилла *b* – около 30% и каротиноидов – менее 20% (Максимова и др., 2007). Именно такое соотношение является оптимальным, поскольку основную работу в составе светособирающего (антенного) комплекса выполняет именно хлорофилл *a*. Хлорофилл *b* и каротиноиды выполняют функцию дополнительных и защитных пигментов. Таким образом, обеспечивается наиболее эффективная работа фотосинтетического аппарата. Результаты наших исследований выявили изменение соотношения пигментов, что свидетельствует об их адаптации к условиям техногенного загрязнения.

Выводы:

1. Содержание хлорофиллов в листьях клеверов обоих видов достоверно снижается по сравнению с контролем за счет уменьшения концентрации как хлорофилла *a*, так и хлорофилла *b*, на 9–20% в ряду местообитаний: парки и скверы → берега р. Оби и р. Барнаулки → ТЭЦ-2 → автодороги.
2. Содержание каротиноидов достоверно увеличивается по сравнению с контролем в листьях клеверов, растущих около ТЭЦ-2 и автодорог, на 4–9%.
3. Соотношение пигментов достоверно уменьшается у обоих видов клеверов при увеличении загрязнения воздушной среды.

Библиографический список

1. Бухарина И.Л., Кузьмин П.А., Гибадулина И.И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2013. – №. 1. – С. 20–25.
2. Майдебура И.С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические и биохимические показатели древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Калининград, 2006. – 22 с.
3. Максимова Е.В., Косицина А.А., Макурина О.Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // Вестник СамГУ. – 2007. – № 8 (58). – С. 146–152.
4. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. – 213 с.
5. Рогожин В.В. Практикум по биохимии. – СПб.: Лань, 2013. – 544 с.
6. Удовенко Г.В. Устойчивость растений к абиотическим стрессам // Физиологические основы селекции растений. – СПб.: ВИР, 1995. – С. 293–352.
7. Хвастунов А.И. Экологические проблемы малых и средних промышленных городов: оценка антропогенного воздействия. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 248 с.