

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НЕКОТОРЫМИ ДИКОРАСТУЩИМИ ТРАВЯНИСТЫМИ РАСТЕНИЯМИ



THE STUDY OF THE CHARACTERISTIC OF THE ACCUMULATION
OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES BY SOME WILD HERBACEOUS PLANTS

Архипова Н.С. – кандидат биол. наук, доцент кафедры
биоэкологии, гигиены и общественного здоровья
Елагина Д.С. – аспирант кафедры биоэкологии,
гигиены и общественного здоровья

Arkhipova N.S.,
Elagina D.S.

Федеральное государственное бюджетное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
E-mails: NSArhipova@kpfu.ru, Elagina.darya@gmail.com

Kazan Federal University
420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St, 18
E-mails: NSArhipova@kpfu.ru, Elagina.darya@gmail.com

В последние годы все больше внимания уделяется поиску новых лекарственных растений и разработке препаратов из растительного сырья, используемого в народной медицине, а также получения из них биологически активных веществ (БАВ). На содержание БАВ были исследованы группа лесных травянистых растений Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) и группа сорных растений городских и пригородных участков. В группе исследованных нами травянистых растений содержание суммы флавоноидов варьировало от 1,10 до 15,85% на сухую массу, суммы хлорофиллов от 1,13 до 3,59 мг/г сухой массы. Среди рассмотренных нами видов растений костяника, копытень европейский, орляк обыкновенный и марь белая не входят в число фармакопейных видов, однако характеризуются довольно высоким содержанием суммы флавоноидов (2,74-4,26%). Содержание флавоноидов и хлорофиллов в тканях исследованных растений изменялось в течение онтогенеза, для большинства видов максимальным было в фазы начало цветения – цветение. Отмечено повышение суммы антиоксидантов и флавоноидов с ростом техногенной нагрузки, особенно у горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.). Таким образом, исследованные нами виды травянистых дикорастущих растений можно рассматривать как потенциальный источник БАВ.

*In recent years much attention is given to the search for new medicinal plants and an elaboration of preparation from plant raw material that is used in ethnomedicine and for production of biologically active compounds (BAC). The forest herbaceous plants from Raifskiy district in Volgo-Kama National Park, and group of weed plants from urban and suburb places were examined for BAC content. In the group of herbaceous plants the flavonoid content varied from 1.10 to 15.85% in dry matter; the sum of chlorophylls content varied from 1.13 to 3.59 mg/g of dry matter. Among plant species examined: stone bramble, European wild ginger, eagle fern and white goosefoot were not regarded as pharmacopoeial plants, but they were characterized by significantly high content of flavonoids 2.74-4.26%. Flavonoid and chlorophyll contents in the tissues of observed plants changed during of process of ontogenesis in most species and were highest in the phase at the beginning of flowering and during flowering time. It was shown that antioxidant and flavonoids contents increased while manmade load rose as noticed in birdweed (*Polygonum aviculare* L.). Thus, the examined different species of herbaceous plants can be regarded as promising sources of BAC.*

Ключевые слова: антиоксиданты, флавоноиды, хлорофилл, онтогенез, травянистые растения.

Keywords: antioxidants, flavonoids, chlorophyll, ontogenesis, herbaceous plants.

Введение

В настоящее время пристальное внимание уделяют изучению антиоксидантного метаболома растений, включающего весь комплекс веществ, участвующих в защитных и регуляторных реакциях. Основная функция антиоксидантного метаболома в клетке заключается в обезвреживании активных форм кислорода и свободных радикалов, возникающих в большом количестве при действии абиогенных и биогенных стрессоров, и формировании устойчивости организма к окислительному стрессу [7, 8]. В состав антиоксидантного комплекса входят как первичные метаболиты, например, аминокислоты, полиамины, органические кислоты, сахара, глутатион, жирные кислоты и др., так и вторичные метаболиты – фенольные соединения [9], токоферолы, каротиноиды, алкалоиды, фитостерины и др.

Среди них флавоноиды являются классом растительных полифенолов, обладающих широким спектром действия, обусловленным их антиоксидантными свойствами, антибактериальными и фунгицидными качествами. Они выполняют защитные функции, как в самих растительных клетках, предохраняя растения от различных неблагоприятных воздействий окружающей среды, так и в организме человека [8].

Флавоноиды широко распространены в растительном мире. Особенно богаты ими высшие растения, относящиеся к семействам розоцветных (различные виды боярышников, черноплодная рябина), бобовых (софора японская, стальной полевой, солодка), гречишных (различные виды горцев – перечный, почечуйный, птичий; гречиха), астровых (бессмертник песчаный, сушеница топяная, пижма), яснотковых (пустырник сердечный) и другие. Находятся флавоноиды в различных органах, но чаще в надземных: цветках, листьях, плодах; значительно меньше их в стеблях и подземных органах. Содержание флавоноидов в растениях различно: в среднем 0,5-5%, иногда достигает 20% (в цветках софоры японской). Содержание их может меняться в зависимости от места произрастания [14], фазы онтогенеза [17], эколого-фитоценологических [13] и экологических условий, в том числе техногенного загрязнения [11].

В процессе адаптации растений к действию неблагоприятных факторов участвуют многие метаболические процессы, в

том числе изменение фотохимической активности, регулируемой концентрацией пигментов в фотосинтетических мембранах [1]. В ряде работ показано, что хлорофилл чувствительно реагирует на все изменения в обмене веществ и при неблагоприятных условиях изменяется как его общее содержание, так и соотношение отдельных форм (a/b) [4, 18, 20]. Установлено, что, поглощая ультрафиолетовые лучи, флавонолы предохраняют хлорофилл и цитоплазму клеток от разрушения [10].

Жирорастворимые пигменты, каротиноиды и хлорофилл в растительных клетках выполняют не только защитную функцию, но обладают широким спектром биологической активности. Каротиноиды обладают противоязвенным действием, стимулируют обмен веществ, обладают провитаминовой активностью. Хлорофилл, активизируя обменные процессы в клетках, омолаживает ткани, стимулирует процессы регенерации. [19]. Также есть сведения, что каротин и хлорофилл обуславливают питательную ценность зеленого корма для животных. Производство витаминного зеленого корма обусловлено необходимостью полноценного питания в зимний период [3].

В последние годы все больше внимания уделяется поиску новых лекарственных растений и разработке препаратов из растительного сырья, используемого в народной медицине, а также получения из них БАВ, как компонентов функционального питания и кормовых добавок. В связи с этим целью работы было провести сравнительный анализ содержания суммы флавоноидов и хлорофиллов в траве некоторых дикорастущих видов и характер динамики содержания БАВ в онтогенезе и в зависимости от условий произрастания.

Материалы и методы

Сбор растений производили в 2012-2016 годах. На каждом участке была выделена одна ценопопуляция (ЦП) растений, из которой отбирали растительный материал. Собирали надземную массу растений (в количестве не менее 10 экземпляров) с площади 100 м², где выделяли по 4 площадки 1 м², в период май – сентябрь. Растительное сырье сушили под открытым навесом, сырье измельчали до размера частиц 1 мм. Следили за однородностью сырья по способу подготовки, цвету, запаху и засоренности.



Марь белая



Костяника



Зверобой продырявленный (St. John's Wort)



Щирица запрокинутая

1. Химический состав растений и аспекты их использования в официальной и народной медицине

Химический состав	Официальная медицина	Народная медицина
Горец птичий (<i>Polygonum aviculare</i> L.)		
Дубильные вещества; флавоноиды (9,4%): авикулярин, гиперин, изорамнетин, мирицетин, кверцетин, кемпферол; эфирное масло; витамины С, Е, каротин; кумарины, фенолкарбоновые кислоты, соединения кремниевой кислоты (4,5%).	Флавоноиды, соединения кремния и дубильные вещества горца птичьего уменьшают проницаемость стенок сосудов, ускоряют свертываемость крови, повышают сократительную способность гладкомышечных органов.	Вяжущее, желчегонное, мочегонное, антисептическое, болеутоляющее, ранозаживляющее средство. Настой оказывает целебное действие на работу яичников и матки, как кровоостанавливающее
Марь белая (<i>Chenopodium album</i> L.)		
Химический состав растения до конца не изучен. В состав его входит сапонин, каротин, алкалоиды, витамин С, органические кислоты.	Были обнаружены следующие эффекты: возбуждающий, тонизирующий; обезболивающий, успокаивающий.	Это отличное успокоительное, противовоспалительное, очистительное и обезболивающее средство.
Щирица запрокинутая (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)		
Стебли и листья содержат стеролы. В них много витаминов С, Е, В ₁ , В ₂ , флавоноидов (кверцетин, рутина, треолина), белков, углеводов, а также минеральных веществ.	Официально признан средством, помогающим в лечении воспалений мочеполовой системы, анемии, атеросклероза, геморрое, авитаминоза и др.	Водный настой травы при колитах, запорах, как кровоостанавливающее.
Копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i> L.)		
Корни, корневища и трава копытня содержат до 1% эфирного масла, в состав которого входят до 30-35% азарона и диазарона, 2-3% азарилового альдегида, 1-2% 1-пинена, 12-15% эвгенола, а также метилэвгенол, борнилацетат, смолы, дубильные вещества, флавоноиды (кверцетин, кемпферол), слизи, крахмал и органические кислоты.	Экспериментально установлена способность препаратов из листьев копытня европейского улучшать работу сердца, усиливать сердечные сокращения, сужать периферические кровеносные сосуды, повышать артериальное давление и тонус вен.	Применяют как рвотное, противовоспалительное, бронхорасширяющее, кровоостанавливающее, отхаркивающее, слабительное, ранозаживляющее, успокаивающее, жаропонижающее, мочегонное, и противосклеротическое средство.
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i> L.)		
Сердечные гликозиды присутствуют во всех частях растения. Также присутствуют флавоноиды (кемпферол, кверцетин, изорамнетин, лютеолин, апигенин, хризозриол, 3-галактозиды, 3-галакторамнозиды и др.), витамин С, ликопин, фарнезол.	Препараты ландыша широко применяются при сердечных заболеваниях. Сердечные гликозиды увеличивают силу сердечных сокращений, оказывают успокаивающее действие на ЦНС.	Из цветков готовят спиртовую настойку. Применяли при отеках, болезнях щитовидной железы, эпилепсии, базедовой болезни, лихорадке, болезнях горла; в виде примочек при глазных болезнях, ревматизме.
Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)		
Эфирное масло, фенольные соединения (флавоноиды, кумарины, гидроксикоричные кислоты, полифенольные соединения), полисахариды	Препараты на основе сныти помогают улучшить почечное кровообращение, стимулируют выделение почечными функциями	В народной медицине применяется в качестве поливитаминного, противовоспалительного, детоксикационного средства
Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn)		
Листья орляка содержат дубильные вещества катехиновой группы, флавоноиды, сесквитерпены и фитостеролы.	Трава и корневища орляка оказывают спазмолитическое, седативное, желчегонное, жаропонижающее действие.	Отвар корней как глистогонное, слабительное, мочегонное, жаропонижающее средство. Наружно при кожных болезнях.
Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i> L.)		
Дубильные вещества; флавоноиды (8%); каротин, антибиотик гиперфорин; лейкоантоцианиды и антоцианы (5-6%); эфирное масло, смолы, никотиновая и аскорбиновая кислоты, витамины Р и РР, холин, антоцианы, и др.	Антисептическое, вяжущее, спазмолитическое, диуретическое действие, стимулируют регенерацию тканей. Флавоноиды зверобоя оказывают спазмолитическое действие на гладкие мышцы.	В народе звербоем, настоящим на растительном масле, лечат ушибы, раны, язвы, нарывы, ожоги. Также зверобой применяется при лечении болезней легких, желудка, кишечника и желчного пузыря.
Костяника (<i>Rubus saxatilis</i> L.)		
Листья костяники богаты дубильными веществами, алкалоидами, микроэлементами, аскорбиновая кислота, рутин и др. флавоноиды.	Обладает жаропонижающим, потогонным, мочегонным, противовоспалительным, противомикробным и противогрибковым свойствами.	Отвар при послеродовых кровотечениях, стенокардии, головной боли, гинекологических заболеваниях, геморрое и др.

Определение влажности растительного сырья проводили согласно ГОСТ 24027.2-80 (1981).

Характеристика растений приведена в таблице 1.

Характеристика участков исследования
1. Участок «Раифский» Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) расположен в 50 км к юго-западу от Казани. Территория граничит с землями 7 сельскохозяйственных предприятий, среди них птицефабрика, зверохозяйство, овощеводческое хозяйство. Характерен равнинный рельеф с сетью

оврагов и болот. Преобладают дерново-подзолистые и избыточно увлажненные преимущественно кислые почвы. Хвойно-широколиственный лес: сосна, дуб, липа, ель.

2. Участки, расположенные в разных частях города, отличались условиями рельефа, характером и типом застройки и степенью автотранспортной нагрузки: «ул. Кремлёвская», «ул. Горьковское шоссе», «ул. Мавлютова», «ул. Татарстан». Почва на этих участках представлена урбанозёмом – искусственно образованная в процессе формирования городской среды почва,

функционирующая под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но с добавлением специфического в городской среде антропогенного фактора. Определение реакции почвенного раствора этих участков показало слабощелочную реакцию (рН 7,2 - 8,1).

3. Участок «с. Верхний Услон» расположен на обрывистом мысу на правом берегу Волги, напротив Казани.

Уровень техногенного загрязнения городских участков оценивали по концентрации СО в воздухе (мг/м³), рассчитанного с учётом интенсивности автомобильного движе-

ния и различий по типу транспорта [16].

Экстрагирование. Для получения растительного экстракта использовали классический метод – настаивание [5]. Точную навеску (0,5 г) измельченного сырья помещали в колбу со шлифом вместимостью 100 мл, прибавляли 50 мл 70% спирта этилового и настаивали в течение 48 часов. Экстрагирование проводили однократно. Спиртовые извлечения фильтровали через бумажный беззольный фильтр и помещали в прохладное место.

Количественное определение суммы флавоноидов в растительном сырье определяли спектрофотометрическим методом. Данный метод основан на использовании реакции комплексообразования флавоноидов с алюминия хлоридом [2].

Количественное содержание хлорофиллов определяли в этих же спиртовых экстрактах спектрофотометрическим методом при длине волны 665 нм – для хлорофилла *a*, при длине волны 649 нм – для хлорофилла *b* в кюветках с толщиной слоя 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали 70% водный раствор этанола [6].

Суммарное содержание спирторастворимых антиоксидантов (ССА) в растительных экстрактах определяли с использованием амперометрического метода на сертифицированном приборе «Цвет-Яуза-01-АА» [9].

Результаты и их обсуждение

На содержание БАВ были исследованы группа лесных травянистых растений Раифского участка ВКГПБЗ и группа сорных растений городских и пригородных участков (табл. 2). В группе лесных растений содержание суммы флавоноидов варьировало в пределах 1,1-15,8%. Наиболее высокие значения отмечены для зверобоя продырявленного, причём как в листьях, так и в цветках. В группе сорных растений содержание флавоноидов было от 1,1 до 6,3%. Наиболее высокое у горца птичьего – 6,3%. Оба вида (зверобой продырявленный и горец птичий) являются фармакопейными, ведётся их заготовка, на их основе выпускают препараты, обладающие общеукрепляющими и кровоостанавливающими свойствами (см. табл. 1).

Среди рассмотренных нами видов растений костяника, копытень европейский, орляк обыкновенный и марь белая не входят в число фармакопейных видов, однако характеризуются довольно высоким содержанием суммы флавоноидов (2,74-4,26%). Известно об использовании

этих растений в народной медицине в качестве средств, оказывающих противовоспалительное, антисептическое, вяжущее, спазмолитическое действие, стимулирующих регенерацию тканей.

Известно, что синтез и накопление вторичных метаболитов зависит от стадии развития растения и его возраста. В то же время общих закономерностей изменений вторичного метаболизма в онтогенезе, по-видимому, не существует. Наибольшее количество их накапливается у многих растений в фазе цветения [17]. Однако у некоторых растений максимум накопления флавоноидов достигается в период бутонизации – начала цветения [13], а у других – в фазу вегетативного роста [12].

На рисунке 1 (А, Б) представлена динамика изменения БАВ с мая по сентябрь у трёх видов исследуемых растений. С мая по июнь у всех видов отмечен рост содержания суммы флавоноидов до максимальных значений. В последующие месяцы содержание флавоноидов постепенно снижалось. У мари белой и щиряцы запрокинутой в сентябре наблюдали второй пик повышения суммы флавоноидов. На графике изменения суммы хлорофиллов наблюдается один выраженный пик в июне, особенно в растениях мари белой.

Фазы онтогенеза у исследованных нами видов не совпадали. Цветение горца птичьего приходится на июнь-август, плодоношение – с июля по сентябрь. Марь белая начинает цвести в июле и заканчивает в сентябре, семена появляются с конца июля. Щиряца запрокинутая цветёт с июня по август, в июле и августе происходит плодоношение. Таким образом, максимальное содержание флавоноидов и хлорофиллов было у горца птичьего в фазу цветения, у мари белой – в фазу бутонизации – начала цветения и второй пик – в фазу плодоношения, у щиряцы

запрокинутой – в фазы цветения и плодоношения.

Известно, что содержание БАВ в растительных тканях зависит не только от биологических особенностей вида растения, но и от места и условий произрастания. Степень влияния отдельных факторов среды на образование флавоноидов выявлена еще недостаточно. В литературе имеются данные о влиянии техногенного загрязнения на содержание флавоноидов. Установлено [11], что содержание суммы флавоноидов в биомассе растений, произрастающих в зоне действия атмосферных выбросов газоперерабатывающего завода, превышает количество флавоноидов в биомассе растений контрольных участков.

На рисунках 2 и 3 представлены данные по суммарному содержанию антиоксидантов (ССА) и флавоноидов у растений урбофитоценозов в зависимости от автотранспортной нагрузки. Согласно использованной нами методике токсичность выхлопных газов оценивали по количеству угарного газа (мг/м³). Это высокотоксичный компонент автомобильных выхлопных газов, который оказывает негативное воздействие и на растительные, и на животные организмы. Содержание СО на участках исследования составляло: «с. Верхний Услон» – 851,2, «ул. Кремлёвская» – 3139,4, «ул. Мавлютова» – 17928,7, «ул. Горьковское шоссе» – 63179,6, «ул. Татарстан» – 65019 мг/м³.

Из рисунка 2 видно, что характеристика пула антиоксидантов – ССА на всех участках была выше в траве горца птичьего. У трех исследуемых видов с увеличением содержания СО в воздухе (т.е. при возрастании напряженности стрессового фактора) отмечен рост ССА разной интенсивности, наибольший – у горца птичьего. После достижения некоей пороговой

2. Сумма флавоноидов (% на сухую массу) (средние значения за июнь-июль) в дикорастущих травянистых растениях

№	Вид растения	Содержание флавоноидов, %
1	Орляк обыкновенный	2,74± 0,57
2	Сньть обыкновенная	1,10±0,25
3	Костяника	4,26±0,63
4	Ландыш майский	2,51±0,73
5	Копытень европейский	3,33±0,17
6	Зверобой продырявленный	(листья) 15,85±0,05
		(цветки) 14,23±1,25
7	Горец птичий	6,32±1,11
8	Марь белая	4,05±0,80
9	Щиряца запрокинутая	1,13±0,28

величины стресса (17928,7 мг СО /м³ в пункте ул. Мавлютова) наблюдается спад, то есть исчерпание «запаса прочности».

Суммарное содержание флавоноидов (рис.3) в траве горца птичьего и мари белой было существенно выше, чем у щирицы запрокинутой почти на всех участках. Динамика изменений суммы флавоноидов также зависела от уровня стрессовой нагрузки. С ростом концентрации СО их содержание увеличивалось, достигая максимума при 63179,6 мг СО /м³ в пункте ул. Горьковское шоссе, затем довольно резко снижалось у горца птичьего и мари белой. У щирицы запрокинутой зависимость была выражена слабее, и сразу начинался спад.

Видно, что «запас прочности» по ССА и содержанию флавоноидов является разным. Параметр ССА помимо фенольных соединений учитывает и другие, например, аскорбиновую кислоту, глутатион, аминокислоты [9] и, вероятно, благодаря их вкладу, точнее их исчерпанию, при более низких значениях напряженности стресс фактора (по сравнению с флавоноидами) начинается спад ССА. В этом смысле показатель ССА является более чувствительным к стрессовому воздействию СО и может служить

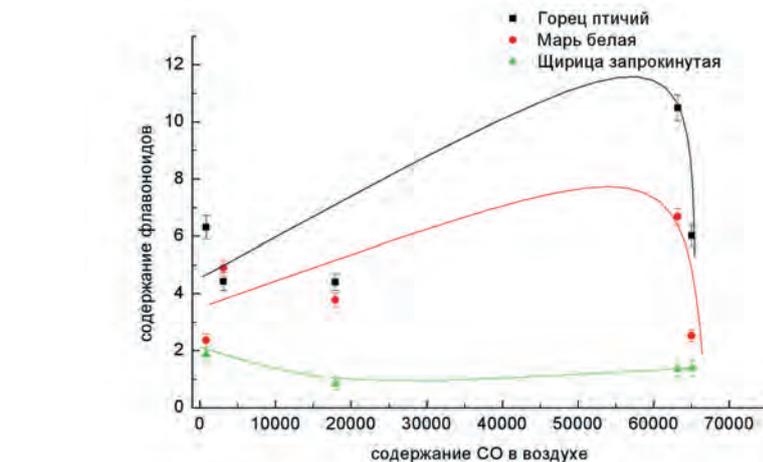


Рис. 3. Зависимость показателя суммарного содержания флавоноидов (% на сухую массу) растений урбофитоценозов от концентрации СО в воздухе (мг/м³).

индикатором устойчивости к нему, т.к. по ССА мы видим спад при более низком значении содержания СО в воздухе, чем для флавоноидов.

Многочисленными исследованиями доказана важная роль концентрации фотосинтетических пигментов в формировании урожая и накоплении биомассы растений. Очевидно, это имеет еще большее значение для экосистем, где растения постоянно подвергаются воздействию неблагоприятных почвенно-климатических условий и антропогенному прессингу [15].

Динамика содержания хлорофиллов (рис. 4) в исследованных образцах в зависимости от концентрации СО была схожа с изменением суммы флавоноидов, однако даже при максимальных значениях СО полной деградации хлорофилла не наблюдали. Возможно, в данном случае имеет место протекторное действие антиоксидантов, которые защищают пул хлоропластов [10]. Стабильное функционирование фотосинтетической системы может свидетельствовать об устойчивости растений к окислительному стрессу, вызванному СО [7].

Заключение

Проведенное исследование показывает, что формирование и работа антиоксидантного комплекса – четко работающая система, реагирующая как внутренние факторы (этапы онтогенеза растения), так и на внешние воздействия. Растительные полифенолы (в т.ч. флавоноиды) и фотосинтетические пигменты обладают широким спектром биологической активности. Флавоноиды входят в состав антиоксидантного метаболома растений и участвуют в защите клеточных структур от окислительного разрушения. Хлорофиллы регулируют фотохимическую активность клеток, обеспечивая синтез первичных метаболитов клетки, что также способствует формированию устойчивости растений к окислительному стрессу. Растительные БАВ выполняют защитные функции, как в самих растительных клетках, так и в организме человека и животных. В последние годы все больше внимания уделяется поиску новых лекарственных растений и разработке препаратов из растительного сырья, используемого в народной медицине, а также получения из

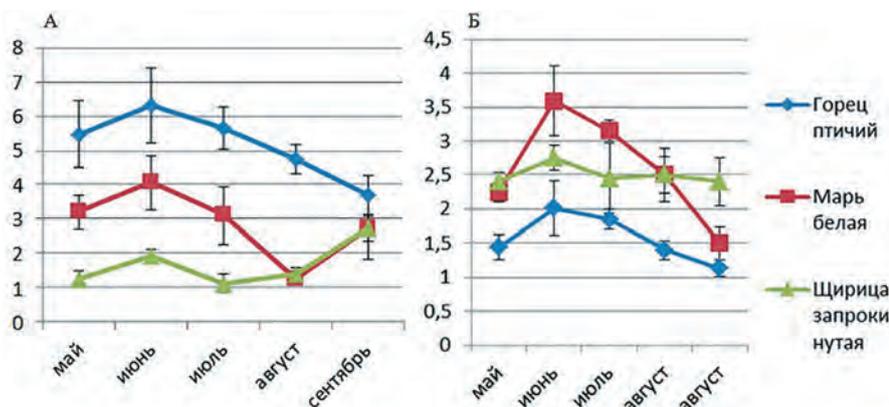


Рис. 1. Содержание суммы флавоноидов (А) и суммы хлорофиллов (Б) в надземных частях исследуемых растений в течение вегетационного периода.

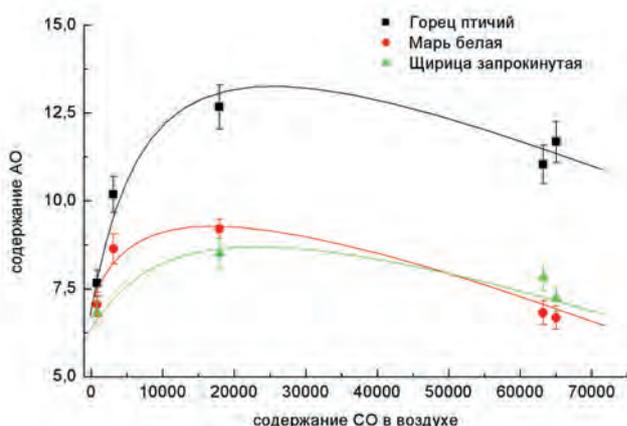


Рис. 2. Зависимость показателя ССА (мг экв. галловой к-ты / г сырого образца) растений урбофитоценозов от концентрации СО в воздухе (мг/м³).

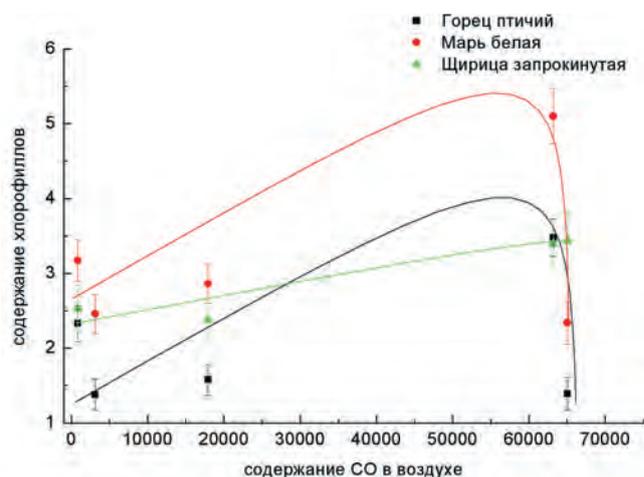


Рис. 4. Зависимость показателя суммарного содержания хлорофиллов (мг/г сухой массы) растений урбофитоценозов от концентрации CO₂ в воздухе (мг/м³).

них БАВ. В группе исследованных нами травянистых растений содержание суммы флавоноидов варьировало от 1,10 до 15,85% на сухую массу, суммы хлорофиллов от 1,13 до 3,59 мг/г сухой массы. Содержание флавоноидов и хлорофиллов в растениях горца птичьего, мари белой и щирицы запрокинутой изменялось в течение онтогенеза, для большинства видов максимальным было в фазы начало цве-

тения – цветения. Известно, что все эти виды характеризуются длительным периодом цветения и, в зависимости от погодных условий периода вегетации, сроки массового цветения, возможно, могут сдвигаться, что необходимо учитывать при заготовке сырья. Рассмотренная нами ответная реакция растений на антропогенный фактор выявила пороговые значения концентрации CO₂, превышение

которых приводило к снижению ССА и суммы флавоноидов. При этом АО система оказывала протекторное действие, защищая пул хлоропластов, что позволяло растениям стабильно функционировать в условиях антропогенной нагрузки. Более чувствительным к стрессовому воздействию показателем был ССА, для него пороговые значения концентрации CO₂ были ниже, чем для суммы флавоноидов. Таким образом, величина суммарного содержания антиоксидантов, ранее использованная для оценки стрессоустойчивости овощных, плодово-ягодных и цветочных культур [9, 21-24], может стать дополнительным критерием при оценке экологической устойчивости растений в условиях техногенной загрязненности воздуха.

Авторы выражают благодарность: Сибгатуллиной Мадине Шавкатовне, к.б.н., ученому секретарю Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан за предоставление образцов растений Раифского участка ВКГПБЗ.

Литература

- Андрианова, Ю.Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю.Е. Андрианова, И.А. Тарчевский. – М.: Наука, 2000. – 135 с.
- Беликов В.В. Оценка содержания флаванолол-производных в плодах *Silybum marianum* (L.) Gaertn. // Растительные ресурсы. 1985. – Т. 21. – Вып. 3. – С. 350-358.
- Виличко, А.К. Оборудование и технология производства витаминного зеленого корма / А.К. Виличко, Ю.П. Барышнев, В.Л. Судак // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 2. – С. 123-126.
- Воронина, О.Е. Пигментный аппарат растений в условиях антропогенного воздействия / О.Е. Воронина, Е.И. Ефимцев, Т.А. Татарина // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник. – 1999. – № 2. – С. 82.
- Высочина, Г.И. Флавоноиды мари белой (*Chenopodium album* L.), произрастающей в Сибири / Г.И. Высочина, Т.М. Шалдаева, О.В. Коцупий, Е.П. Храмова // Химия растительного сырья. – 2009. – № 4. – С. 107-112.
- Гавриленко, В.Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учеб. пособие. / В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина. – М.: Высш. школа, 1975. – 392 с.
- Гинс, М.С. К вопросу об антиоксидантом метаболите овощных культур селекции ВНИИССОК / М.С. Гинс, В.К. Гинс // Овощи России. – 2015. – № 2 (27). – С. 75-79.
- Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Рабинович А.М., Кононков П.Ф., Солнцев М.К. Содержание антиоксидантов в лекарственных и овощных растениях, проявляющих противоопухолевую активность // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2013. – Т. 11. – № 2. – С. 010-015.
- Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Романова Е.В., Кононков П.Ф., Торрес М.К., Лапо О.А. Методика анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах. Учебное методическое пособие. М.: РУДН, 2013. – 40 с.
- Горюнова, Ю.Д. Влияние экологических факторов на содержание в растениях некоторых антиоксидантов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Ю.Д. Горюнова. – Калининград, 2009. – 24 с.
- Гусев, Н.Ф. Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства норичниковых Степного Предуралья / Н.Ф. Гусев, О.Н. Немерещина // Вестник ОГУ. – 2004. – № 10. – С. 123-126.
- Жапова, О.И. Накопление флавоноидов и микроэлементов в *Heimerocallis minor* Miller / О.И. Жапова, Т.П. Анцупова // Химия и технология растительных веществ: IV Всероссийская научная конференция. – Сыктывкар, 2006. – С. 70.
- Ломбоева, С.С. Динамика накопления флавоноидов в надземной части ортилли однобокой (*Orthilla secunda* (L.) House) / С.С. Ломбоева, Л.М. Танхаева, Д.Н. Оленников // Химия растительного сырья. – 2008. – № 3. – С. 83-88.
- Машурчак, Н.В. Влияние условий произрастания на накопление флавоноидов в природных и экспериментальных популяциях цмина песчаного (*Helichrysum avenarium* (L.) Moench) в Саратовской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.В. Машурчак. – Саратов, 2010.
- Межуц, Б.Х. Количественная характеристика фотосинтетических пигментов травяных растений горных экосистем Армении / Б.Х. Межуц, М.А. Навасардян // Вестник Тюменского государственного университета. – 2002. – № 12. – С. 220-226.
- Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. Москва, 1999. Источник: <http://www.gosthelp.ru/text/Metodikaopredeleniyaavbro.html>
- Минаева, В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование / В.Г. Минаева. – Новосибирск: Наука, 1978. – 254 с.
- Павлов, И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И.Н. Павлов. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. – 360 с.
- Пашенко, Л.П. Вторичное растительное сырье – биологически активная составляющая для создания продуктов питания нового поколения / Л.П. Пашенко, В.Л. Пашенко // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 1. – С. 100-106.
- Черкашина, М.В. Влияние техногенной нагрузки на изменение содержания пигментов фотосинтеза и степени окраски древесных и травянистых растений / М.В. Черкашина, Г.А. Петухова // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 5 – С. 81-82.
- Байков А.А., Караваев В.А., Попов С.Я., Квитка А.Ю., Левыкина И.П., Солнцев М.К., Тихонов А.Н. Люминесцентные характеристики листьев земляники на ранних стадиях повреждения растений паутиным клещом // Биофизика. 2013. – Т. 58. – № 2. – С. 321-328.
- Левко Г.Д., Гинс М.С., Здольникова Е.А., Байков А.А., Турушина В.М. Влияние суммарного содержания водорастворимых антиоксидантов в корневищах на зимостойкость сортов ириса садового (*Iris hybrida* L.) // Овощи России. – 2016. – № 1 (30). – С. 76-81.
- Левко Г.Д., Балашова И.Т., Здольникова Е.А., Байков А.А., Турушина В.М. Анализ зимостойкости современных сортов ириса садового (*Iris hybrida* L.) в связи с содержанием антиоксидантов // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. – Т. XXXIV. – С. 187-191.
- Байков А.А., Квитка А.Ю., Попов С.Я., Гинс М.С., Солнцев М.К. Effects of biotic stress (spider mite injury) on leaf water status, total antioxidant capacity and lipid peroxidation in strawberry plants // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. – № 7. – С. 113-115.