

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 504.054:574.24:615.322

DOI: 10.36305/0513-1634-2020-137-126-132

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ
ROSA LUPULINA DUBOVİK
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЫ****Наталья Александровна Виноградова**

Государственное Учреждение «Донецкий ботанический сад», 283059, Донецкая
Народная Республика, г. Донецк, пр. Ильича, 110
E-mail: Arina0@meta.ua

Впервые изучено влияние техногенного загрязнения на динамику содержания биологически активных веществ и антиоксидантную активность ранее малоизученного вида *Rosa lupulina* Dubovik. Оценено соответствие плодов *R. lupulina*, произрастающих на Донбассе, требованиям нормативной документации. Исследована взаимосвязь содержания тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути) в плодах *R. lupulina* и почве, на которой они произрастают. Оценена экологическая безопасность сырья.

Ключевые слова: *Rosa lupulina* Dubovik; биологически активные вещества; техногенное загрязнение; тяжелые металлы; антиоксидантная активность

Введение

Растения рода Шиповник (*Rosa* L.) относятся к широко распространенным витаминным растениям. Благодаря неприхотливости и высокой засухоустойчивости их достаточно часто используют в озеленении городов. Плоды шиповника употребляют с пищевой целью, а об их фармакологической ценности свидетельствует факт включения этого сырья в новую (XIV издания) Государственную Фармакопею Российской Федерации [5]. Интерес вызывает и доказанная экспериментально их антиоксидантная активность [17].

Известно, что содержание различных групп биологически активных веществ (БАВ) (в первую очередь – аскорбиновой кислоты) в плодах шиповника не только видоспецифично, но и существенно варьирует в зависимости от условий произрастания растений [11, 12]. Существенное влияние оказывает и техногенная нагрузка. Значительная часть работ посвящена исследованию изменения химического состава листьев растений в условиях техногенной среды, при этом имеются сведения о неодинаковой реакции разных органов растения на загрязнение [6]. Для изготовления лекарственных препаратов достаточно часто используют плоды и цветки, наряду с листьями, поэтому необходимо изучение динамики содержания БАВ в этих видах лекарственного растительного сырья. Это позволит оценить их фармакологическую ценность в условиях конкретного региона.

Данных о влиянии техногенного загрязнения на содержание БАВ в плодах различных видов шиповника мало. Более изученным является изменение концентрации действующих веществ в листьях, в частности выявлено снижение содержания аскорбиновой кислоты в листьях шиповника майского (*Rosa majalis* Herrm.) в магистральных посадках [1].

Представителем природной флоры Донецкого региона является шиповник волчий (*Rosa lupulina* Dubovik). Этот вид не входит в Государственную Фармакопею Российской Федерации, его химический состав практически не изучен. Изучение

содержания БАВ в плодах *R. lupulina*, собранных на территории Донбасса, актуально для расширения сырьевой базы поливитаминных фитопрепаратов в регионе. В связи с распространенностью данного вида в пределах Донецкого региона, в том числе в промышленно загрязненных районах, возможен сбор плодов местным населением и употребление их с пищевой или лекарственной целью, что обуславливает важность оценки экологической безопасности данного сырья.

Цель: изучить эколого-фитохимические особенности плодов *Rosa lupulina* Dubovik в условиях техногенной среды Донецкого региона.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись собранные в период полного созревания, высушенные и измельченные плоды *R. lupulina*. Сбор плодов проводили на территории Донецкого региона в условиях различного уровня техногенной нагрузки: в природной экосистеме урочища «Балка Певчая», которая находится вдали от источников загрязнения (зона с минимальной техногенной нагрузкой, выбранная в качестве контроля); искусственной экосистеме Донецкого ботанического сада, расположенного на окраине г. Донецка (умеренная степень загрязнения); аллейном насаждении вдоль одной из магистральных автотрасс г. Донецка (высокая степень загрязнения).

Влажность определяли с помощью гравиметрического метода [4], для определения содержания флавоноидов [5], антоцианов [5], каротиноидов [3] и оксикоричных кислот [5] использовали спектрофотометрические методы; дубильных веществ [4], аскорбиновой [5] и свободных органических кислот [2] – титриметрические. Все расчеты по содержанию БАВ приведены на абсолютно сухую массу. Антиоксидантную активность определяли с помощью модельной реакции аутоокисления адреналина *in vitro* в щелочной среде [13]. Для определения содержания тяжелых металлов образцы почв отбирали из корнеобитаемого слоя на глубине 0 – 10,0 см. Экстракцию подвижных форм металлов проводили ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Содержание тяжелых металлов в почве и плодах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [4]. Были рассчитаны коэффициенты биологического накопления (КБН), соответствующие отношению концентрации металла в плодах к его концентрации в почве. Для оценки степени загрязнения почв были рассчитаны коэффициент техногенной концентрации металлов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (Zс) [8].

Результаты и обсуждение

Было определено содержание основных групп БАВ в плодах растений *R. lupulina*, произрастающих в условиях различной техногенной нагрузки (табл. 1). В плодах растений, произрастающих в условиях техногенного пресса, выявлено увеличение содержания таких низкомолекулярных антиоксидантов, как аскорбиновая кислота, флавоноиды и каротиноиды, что свидетельствует об участии этих метаболитов в механизмах адаптации растений к воздействию загрязнения. Наибольший уровень аскорбиновой кислоты и каротиноидов выявлен в плодах растений *R. lupulina*, произрастающих в условиях сильной техногенной нагрузки, а содержание флавоноидов максимально в плодах растений с зоны умеренной техногенной нагрузки. Выявленный нами повышенный уровень аскорбиновой кислоты и каротиноидов в условиях загрязнения согласуется с литературными данными, свидетельствующими о стимулирующем действии небольших концентраций тяжелых металлов на синтез этих веществ [6, 7].

На фоне увеличения концентрации флавоноидов в условиях загрязненной среды в плодах *R. lupulina* уменьшается содержание остальных исследуемых групп

фенольных соединений (дубильных веществ, антоцианов и оксикоричных кислот), что, вероятно, связано с общим путем биосинтеза этих соединений. Вероятно, флавоноиды играют более значительную роль в антиоксидантной системе *R. lupulina*, чем другие фенольные антиоксиданты, в связи с чем в условиях окислительного стресса в этих растениях активируются этапы фенилпропаноидного пути, ведущие к образованию флавоноидов. Аналогичная картина была выявлена в листьях *Spinacia oleracea* L. при обработке солями ртути [16]. Влияние тяжелых металлов на экспрессию генов, участвующих в синтезе различных групп фенольных соединений, отмечено и в работе Vernia и соавторов [14]. Достоверная разница между содержанием свободных органических кислот в плодах *R. lupulina* из различных мест произрастания не выявлена.

Таблица 1

Содержание биологически активных веществ в плодах растений *Rosa lupulina* Dubovik в зависимости от условий произрастания (в %, в пересчете на абсолютно сухое сырье)

Группа биологически активных веществ	Место сбора сырья		
	Высокая степень загрязнения	Умеренная степень загрязнения	Контроль
влажность	3,45±0,16**	2,95±0,14*	2,51±0,11
дубильные вещества (в пересчете на танин)	7,21±0,25**	7,26±0,21**	8,68±0,33
свободные органические кислоты (в пересчете на яблочную кислоту)	13,12±0,55	10,63±0,84	12,94±0,55
аскорбиновая кислота	0,35±0,01***	0,33±0,01**	0,26±0,01
флавоноиды (в пересчете на рутин)	0,45±0,01*	0,52±0,03**	0,41±0,01
каротиноиды (в мг%, в пересчете на β-каротин)	0,069±0,003***	0,065±0,003***	0,048±0,002
антоцианы (в пересчете на цианидина-3-О-глюкозид)	0,25±0,01***	0,18±0,01***	0,39±0,02
оксикоричные кислоты (в пересчете на хлорогеновую кислоту)	0,47±0,02**	0,69±0,03	0,61±0,02

Примечание: достоверность различий с контролем: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

В настоящее время качество плодов шиповника в Российской Федерации стандартизируется такими нормативными документами как ГОСТ 1994-93 и соответствующая статья Государственной Фармакопеи XIV издания. Влажность плодов шиповника должна быть не более 15% [5]. Плоды *R. lupulina* соответствуют данному требованию. В плодах шиповника, используемых в качестве источника аскорбиновой кислоты, ее содержание должно быть не менее 0,2% [2, 5]. *R. lupulina* относится к секции *Caninae* DC. Растения данной секции считаются менее богатыми витамином С по сравнению с видами шиповника секции *Cinnamomeae*. Несмотря на это содержание аскорбиновой кислоты в исследуемых образцах плодов *R. lupulina* превышает необходимый предел.

Шиповник – это не только традиционный источник аскорбиновой кислоты, он может служить источником целого комплекса БАВ, обладающих разнообразной фармакологической активностью. В сырье, используемом для производства препарата «Холосас», определяют содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин (не менее 0,4%) [5], а также содержание суммы свободных органических кислот в пересчете на яблочную кислоту (не менее 2,6%) [2]. Плоды *R. lupulina*, собранные на территории Донецкого региона, соответствуют этим требованиям. Кроме того можно отметить значительное содержание дубильных веществ в плодах *R. lupulina* (для

сравнения: в фармации в качестве источника этих БАВ используют плоды *Radus avium* Mill., в которых их содержание должно быть не менее 1,7% [5]).

Универсальной неспецифической реакцией живых организмов на воздействие неблагоприятных факторов является повышенный уровень активных форм кислорода, который сопровождается развитием окислительного стресса. Толерантность растений к условиям техногенной среды во многом определяется активностью антиоксидантной системы, существенную роль в которой наряду с ферментами играют низкомолекулярные антиоксиданты [15]. В литературе гораздо чаще встречаются исследования динамики содержания в растительном сырье в условиях загрязнения отдельных антиоксидантов, чем определение суммарной антиоксидантной активности, хотя это дает возможность оценить комплексное воздействие урбаноосреды на исследуемый вид. Особое значение такие исследования приобретают в случае лекарственных растений, так как антиоксидантная активность во многом определит лекарственную ценность препаратов на их основе.

Антиоксидантную активность извлечений из плодов *R. lupulina* выражали в процентах ингибирования аутоокисления адреналина (таблица 2).

Таблица 2

**Сравнительный анализ антиоксидантной активности плодов растений
Rosa lupulina Dubovik в зависимости от условий произрастания**

Место сбора сырья	Антиоксидантная активность, %		
	3 мин	5 мин	7 мин
Контроль	44,03±1,76	49,67±1,08	52,70±1,76
Умеренная степень загрязнения	66,16±2,63***	66,96±2,72***	69,83±2,81***
Высокая степень загрязнения	67,12±2,33***	68,07±2,03***	68,33±2,28***

Примечание: достоверность различий с контролем: *** – $p < 0,001$

Как видно из таблицы 2, извлечения из плодов *R. lupulina* обладают антиоксидантным действием, которое усиливается в условиях техногенной среды. Возможно, это свидетельствует о достаточной толерантности *R. lupulina* к стрессовым условиям города и способности растений этого вида противостоять окислительному стрессу. Усиление антиоксидантной активности в условиях загрязнения, по всей видимости, частично обусловлено повышением концентрации таких низкомолекулярных антиоксидантов как аскорбиновая кислота, флавоноиды и каротиноиды.

В таблице 3 представлены результаты определения тяжелых металлов в плодах растения *R. lupulina* и почве в местах их произрастания.

Таблица 3

**Содержание тяжелых металлов в плодах растений *Rosa lupulina* Dubovik
и в почве в местах их произрастания**

Место сбора сырья	Содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг (подвижные формы)			Содержание тяжелых металлов в плодах <i>Rosa lupulina</i> Dubovik, мг/кг		
	Pb	Cd	Hg	Pb	Cd	Hg
Контроль	0,1±0,005	0,3±0,01	менее 0,01	менее 0,05	0,001±0,0001	0,06±0,001
Умеренная степень загрязнения	0,3±0,03	0,6±0,03	менее 0,01	0,1±0,004	0,025±0,0012	0,07±0,003
Высокая степень загрязнения	1,6±0,04	0,9±0,03	менее 0,01	0,2±0,005	0,004±0,0001	0,02±0,001
Предельно допустимое содержание	6,0 [14]	–	–	6,0 [2]	1,0 [2]	0,1 [2]

Примечание: «—» означает отсутствие общепринятого предельно допустимого содержания

Содержание подвижной формы свинца в почвах урбаноcреды значительно выше его содержания в почве контрольной территории (для умеренного уровня загрязнения – в 3 раза, высокого – в 16 раз). Надо отметить, что содержание данного металла во всех исследуемых образцах почвы не превышает 0,5 ПДК, что соответствует 1-й группе по загрязненности почв [9]. В плодах *R. lupulina*, произрастающих в условиях сильной техногенной нагрузки, концентрация свинца более чем в 4 раза превышает таковую в плодах с экологически чистой территории. Были рассчитаны значения КБН свинца плодами *R. lupulina*: 0,33 в условиях умеренной техногенной нагрузки и 0,13 в условиях сильной техногенной нагрузки. Таким образом, при усилении техногенного пресса выявлено уменьшение КБН свинца, что свидетельствует о способности растений *R. lupulina* ограничивать поступление данного токсиканта в генеративные органы при возрастании его концентрации в почве.

Общепринятых ПДК подвижных форм кадмия и ртути в почве не существует. Исследований содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах Донбасса крайне мало, особенно за последние несколько лет. В связи с этим в качестве фонового взято содержание кадмия в почвах территории, которая находится вдали от техногенных источников загрязнения и выбрана нами за контроль. Содержание кадмия в почвах зон умеренной и сильной техногенной нагрузки превышает фоновый уровень в 2 и 3 раза соответственно, следовательно, эти почвы можно рассматривать как загрязненные. Содержание кадмия в плодах *R. lupulina*, произрастающих в условиях урбаноcреды, превышает контроль, наибольший уровень кадмия выявлен в плодах растений, произрастающих в условиях умеренной техногенной нагрузки. Видимо, в условиях повышенной концентрации кадмия *R. lupulina* активизирует механизмы ограничения его поступления в надземные органы. Это подтверждает и расчет КБН, который составляет 0,003 для контрольной территории, 0,042 в условиях умеренной техногенной нагрузки и 0,004 – в условиях сильной.

Концентрация ртути во всех исследуемых образцах почвы минимальна (ниже предела обнаружения прибора). Несмотря на это, в плодах обнаружено более высокое содержание этого токсиканта, что, вероятно, указывает на его азротехногенное поступление в растения. Максимальная концентрация ртути (0,7 ПДК) отмечена в плодах *R. lupulina*, произрастающих в условиях умеренной степени загрязнения.

Рассчитанное значение Кс по свинцу в условиях умеренной техногенной нагрузки составляет 3, в условиях сильной техногенной нагрузки – 16, по кадмию – 2 и 3 соответственно, т.е. этот коэффициент возрастает с усилением степени загрязнения. Зс почвы в условиях умеренной степени загрязнения был равен 4, что соответствует допустимой категории загрязнения. В условиях сильной техногенной нагрузки Зс составляет уже 18, что позволяет отнести эту почву к категории умеренно опасных [8]. При этом важно, что содержание всех исследуемых тяжелых металлов (а согласно действующей нормативной документации в лекарственном растительном сырье проверяется содержание именно кадмия, свинца и ртути) не превышает ПДК [4]. Вероятно, это указывает на наличие защитных механизмов, которые обеспечивают безопасную для этого вида концентрацию тяжелых металлов в репродуктивных органах.

Выводы

Установлено соответствие содержания аскорбиновой кислоты, флавоноидов и свободных органических кислот в плодах *R. lupulina*, произрастающих на территории Донецкого региона, требованиям нормативной документации, что обуславливает ценность этого ранее малоизученного вида для использования в фармации.

Извлечения из плодов *R. lupulina* проявляют выраженную антиоксидантную активность, которая повышается в условиях загрязнения, что, вероятно, частично обусловлено увеличением содержания наиболее эффективных низкомолекулярных антиоксидантов, таких как аскорбиновая кислота, флавоноиды и каротиноиды. Это способствует повышению толерантности *R. lupulina* к городской среде.

В плодах растений *R. lupulina*, произрастающих на техногенно загрязненной территории, на фоне увеличения содержания флавоноидов выявлено снижение концентрации остальных исследуемых групп фенольных соединений (дубильных веществ, антоцианов и оксикоричных кислот). По всей видимости, для растений *R. lupulina*, испытывающих окислительный стресс, более предпочтительной является активация стадий фенилпропаноидного пути, ведущих к образованию флавоноидов как более эффективных антиоксидантов.

Содержание подвижных форм кадмия и свинца в почве увеличивается в условиях урбаносреды. При этом прямая корреляция между содержанием металла в почве и плодах *R. lupulina* обнаружена только для свинца. Максимальная концентрация кадмия и ртути выявлена в плодах, собранных в условиях умеренной техногенной нагрузки, в условиях сильного загрязнения в плодах содержание данных токсикантов снижается, что, вероятно, обусловлено активацией механизмов ограничения их поступления в репродуктивные органы растений. Во всех изученных плодах *R. lupulina* содержание тяжелых металлов не превышает ПДК, что свидетельствует об их экологической безопасности.

Список литературы

1. Бухарина И.Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 2. – С. 5-13.
2. ГОСТ 1994-93. Плоды шиповника. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 16 с.
3. Государственная фармакопея Республики Беларусь. – Т. 2. / Под общ. ред. А.А. Шерякова. – Молодечно: Победа, 2008. – 472 с.
4. Государственная Фармакопея Российской Федерации: Т. 2. – XIII изд. – Москва, 2015. – 1004 с.
5. Государственная Фармакопея Российской Федерации: Т. IV. – XIV изд. – Москва, 2018. – 7019 с.
6. Ерофеева Е.А. Гормезис и парадоксальные эффекты у растений в условиях автотранспортного загрязнения и при действии поллютантов в эксперименте: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.02.08 – экология / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт фундаментальных проблем биологии» РАН. – Нижний Новгород, 2016. – 45 с.
7. Каракаева Л.С., Докучаева Ю.А. Машкова А.А. О содержании аскорбиновой кислоты и тяжелых металлов в видах рода *Populus* L. различных зон Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3 (41). – С. 226-229.
8. Копылова Л.В., Войтюк Е.А., Лескова О.А., Якимова Е.П. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях урбанизированных территорий (Восточное Забайкалье). – Чита: Изд-во Забайкальский государственный университет, 2013. – 154 с.
9. Методические указания 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест (утв. Минздравом РФ 07.02.1999). – Москва, 1999. – 26 с.

10. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
11. Минаева О.А. Динамика накопления аскорбиновой кислоты в плодах шиповника в условиях Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2005. – С. 56-58.
12. Павлова Е.П. Влияние эколого-фитоценологических факторов на накопление биологически активных веществ в плодах *Rosa acicularis* Lindley и *Rosa davurica* Pallas (Западное Забайкалье): Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.00.05 – ботаника / Байкальский государственный биосферный природный заповедник. – Улан-Удэ, 2009. – 20 с.
13. Хасанова С.Р., Плеханова Т.И., Гашимова Д.Т., Галияхметова Э.Х., Клыш Е.А. Сравнительное изучение антиоксидантной активности растительных сборов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2007. – № 1. – С. 163-166.
14. Bernia R., Luyckx M., Xu X., Legayd S., Sergeant K., Hausman J., Lutts S., Cai G., Guerrierod G. Reactive oxygen species and heavy metal stress in plants: Impact on the cell wall and secondary metabolism // Environmental and Experimental Botany. – 2019. – 161. – P. 277-294. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.017>
15. Muhammad A.A., Shah F., Idrees H., Niaz A., Shakeel A., Sajjad H., Muhammad A. Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to metal / metalloids toxicity // Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants. – 2019. – P. 353-370. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch15>
16. Nihal A., Mithun P., Praveen N. Effect of heavy metals (Hg, As and La) on biochemical constituents of *Spinacia oleracea* // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2019. – 8(3). – P. 669-674
17. Zhao L., Xu L., Tao X., Han X., Yin L., Qi Y., Peng J. Protective effect of the total flavonoids from *Rosa laevigata* Michx fruit on renal ischemia-reperfusion Injury through suppression of oxidative stress and inflammation // Molecules. – 2016. – 21. – P. 952-965. DOI:10.3390/molecules21070952

Статья поступила 25.10.2020 г.

Vinogradova N.A. Analysis of the environmental tolerance and safety of *Rosa lupulina* Dubovik in the anthropogenic environment // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2020. – № 137. – P. 126-132.

The influence of technogenic pollution on the dynamics of the content of biologically active substances and the antioxidant activity of the previously poorly studied species *Rosa lupulina* Dubovik was studied for the first time. The compliance of *R. lupulina* fruits growing in the Donbas with the requirements of regulatory documentation was evaluated. The relationship between the content of heavy metals (lead, cadmium, mercury) in the fruits of *R. lupulina* and the soil on which they grow was studied. The environmental safety of raw materials was evaluated.

Key words: *Rosa lupulina* Dubovik; biologically active substances; technogenic pollution; heavy metals; antioxidant activity