УДК 581.52+581.1 DOI: 10.14258/pbssm.2026037

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в условиях города Новоалтайска

Content of low-molecular antioxidants in the leaves of *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. in the city of Novoaltaisk

Бобина И. В., Соколова Г. Г., Лобанова А. Н.

Bobina I. V., Sokolova G. G., Lobanova A. N.

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия
E-mail: ivbobina@mail.ru, sokolova-gg@mail.ru, lobanovaa059@gmail.com
Altai State University, Barnaul, Russia

Реферат. В условиях городской среды растения подвергаются воздействию комплекса неблагоприятных внешних факторов, под влиянием которых в растительных клетках развивается окислительный стресс, сопровождающийся образованием активных форм кислорода (АФК). Защита от окислительного стресса обеспечивается антиоксидантами, которые подразделяются на высокомолекулярные (ферменты) и низкомолекулярные соединения. В условиях интенсивного техногенного загрязнения возрастает роль низкомолекулярных соединений, способных инактивировать АФК и осуществлять ряд сопутствующих метаболических функций. В статье проанализировано содержание низкомолекулярных соединений (аскорбиновой кислоты, каротиноидов и фенолов) в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в зависимости от уровня техногенного загрязнения в городе Новоалтайске. Ранее подобные исследования на территории города не проводились. Имеющиеся литературные данные о содержании низкомолекулярных соединений в листьях этого вида в условиях урбанизированной среды достаточно разрознены. Установлено, что в листьях *Taraxacum officinale*, с увеличением техногенной нагрузки снижается количество аскорбиновой кислоты 1,9–3,2 раза и возрастает содержание каротиноидов на 45,5–86,3 % и фенолов 50,8–83,4 % по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют об активации механизмов защиты у *Taraxacum officinale*, направленных на ослабление негативного влияния загрязнения и повышение устойчивости, степени адаптированности вида к условиям городской среды.

Ключевые слова. Аскорбиновая кислота, каротиноиды, низкомолекулярные антиоксиданты, фенолы, *Taraxacum officinale*.

Summary. In urban environments, plants are exposed to a range of adverse external factors, leading to oxidative stress in plant cells, accompanied by the formation of reactive oxygen species (ROS). Protection against oxidative stress is provided by antioxidants, which are divided into high-molecular-weight (enzymes) and low-molecular-weight compounds. Under conditions of intense anthropogenic pollution, the role of low-molecular-weight compounds, capable of inactivating ROS and performing a number of associated metabolic functions, increases. This article analyzes the content of low-molecular-weight compounds (ascorbic acid, carotenoids, and phenols) in *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. leaves depending on the level of anthropogenic pollution in the city of Novoaltaisk. Similar studies have not previously been conducted in the city. Available literature on the content of low-molecular-weight compounds in the leaves of this species in urban environments is rather fragmented. It was found that in *Taraxacum officinale* leaves, as anthropogenic load increases, the ascorbic acid content decreases by 1,9–3,2 times, while carotenoid content increases by 45,5–86,3% and phenol content by 50,8–83,4%, compared to the control. These results indicate the activation of defense mechanisms in *Taraxacum officinale* aimed at mitigating the negative impact of pollution and increasing the species' resilience and adaptability to urban conditions.

Key words. Ascorbic acid, carotenoids, low molecular weight antioxidants, phenols, *Taraxacum officinale*.

Введение. В условиях городской среды растения подвергаются действию комплекса неблагоприятных внешних факторов, в частности, загрязнения атмосферного воздуха, почв, а также электромагнитного, вибрационного воздействия и др. (Серебреников и др., 2020). Под влиянием этих факторов в растительных клетках развивается окислительный стресс, сопровождающийся образованием

активных форм кислорода (АФК), которые обладают высокой реакционной способностью (Володько и др., 2021; Фомичёва, 2023). Защита от окислительного стресса обеспечивается антиоксидантами, которые присутствуют в растительных клетках. Среди антиоксидантов выделяют высокомолекулярные (ферменты) и низкомолекулярные соединения.

Считается, что при окислительном стрессе ферментативная защита оказывается менее эффективной по сравнению с защитным действием низкомолекулярных антиоксидантов. Поскольку происходит быстрая инактивация основных ферментов свободными радикалами и необходимо длительное время для инициирования их синтеза. В этих условиях возрастает роль низкомолекулярных соединений, которые обладают относительной свободой миграцией в клеточной и тканевой средах, способны инактивировать АФК и осуществлять ряд сопутствующих метаболических функций (Чупахина и др., 2016).

К низкомолекулярным антиоксидантам относятся аскорбиновая кислота, каротиноиды и фенольные соединения. Аскорбиновая кислота участвует в регуляции окислительно-восстановительного потенциала, от которого зависит активность многих ферментов и физиолого-биохимических реакций. Также аскорбиновая кислота замедляет свободное радикальное окисление, поэтому в условиях действия вредных газов, большинство из которых активные радикалы-окислители, повышается расход аскорбиновой кислоты на их инактивацию (Чупахина, 1997; Кригер и др., 2013).

Эффективными антиоксидантами являются и каротиноиды, которые нейтрализуют действие алкоксильных и перекисных радикалов, синглетного кислорода, NO-радикалов и пероксинитрита. Каротиноиды также обладают антиканцерогенным действием, что делает их необходимым элементом защиты генома клеток от окислительных повреждений (Чупахина и др., 2016).

Одними из наиболее эффективных перехватчиков свободных радикалов являются фенолы (Michalak, 2006), связывая их путем депонирования протонов или электронов (Карпова, Храмова, 2014; Петухов и др., 2020). Фенольные соединения принимают активное участие во многих физиологических процессах – фотосинтезе, дыхании и росте (Петухов и др., 2019).

В связи с этим, целью работы явился анализ содержания низкомолекулярных соединений в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в зависимости от уровня техногенного загрязнения в условиях города Новоалтайска.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования был выбран *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., встречающийся достаточно широко на территории г. Новоалтайска. Сбор листьев осуществлялся в июне 2022 г. Листья собирали без повреждений, приблизительно одного размера, в количестве не менее 100 шт. с каждой точки. В качестве контроля взята точка, расположенная вне зоны влияния загрязнения. Все места сбора растений были объединены в группы по степени загрязнения мест обитания: автодороги, автозаправочные станции и промышленная зона.

Содержание фенолов и аскорбиновой кислоты в листьях одуванчика лекарственного определяли колориметрическим методом (Ермаков и др., 1972), содержание каротиноидов – спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-1800 (Уранова, 2022).

Математическая обработка результатов исследования осуществлялась в программе Microsoft Office Excel с использованием описательной статистики. Для оценки достоверности различий между средними значениями применялся t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Содержание витамина С в листьях *Taraxacum officinale* в контроле составило 0,06 мг/г, что существенно выше по сравнению с растениями, произрастающими в зонах с разной техногенной нагрузкой (рис. 1).

Вблизи автомагистралей содержание аскорбиновой кислоты в листьях *Taraxacum officinale* снижается в 1,9 раз ($t=4,17$, $p \leq 0,001$) по сравнению с контролем. У растений, произрастающих на территории автозаправочных станций, уменьшается по сравнению с контролем в 2,4 раза ($t=5,07$, $p \leq 0,001$). В промышленной зоне концентрация аскорбиновой кислоты в листьях падает в 3,2 раза ($t=6,58$, $p \leq 0,001$) по отношению к контролю.

Резкое снижение витамина С в листьях *Taraxacum officinale* в зонах в разной техногенной нагрузкой может быть связано с угнетением синтеза вследствие исчерпания адаптационных способностей систем с его участием или, наоборот, с активным использованием для обезвреживания свободных радикалов, что совпадает с литературными данными (Чупахина, 1997; Кригер и др., 2013, Sandre et al., 2014; Hellenbrand et al., 2015; Виноградова, Глухов, 2021).

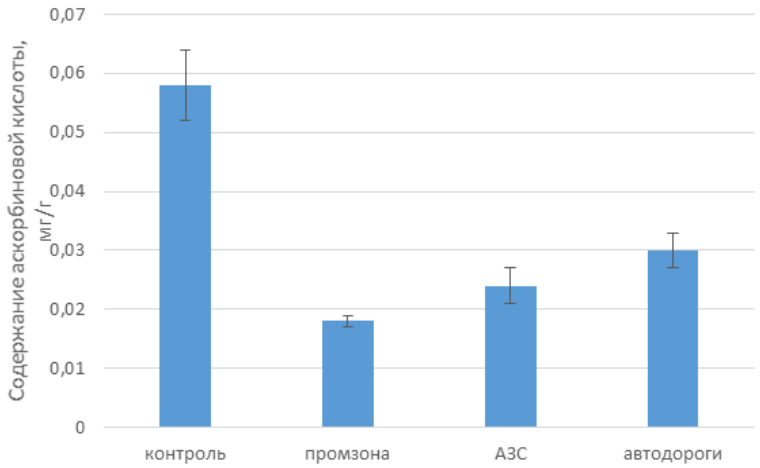


Рис. 1. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в г. Новоалтайске.

Противоположная ситуация отмечается по содержанию каротиноидов и фенолов в листьях *Taraxacum officinale*. Концентрация каротиноидов в листьях растений, произрастающих в условно чистых местах (контроль) в среднем составила 0,02 мг/г (рис. 2).

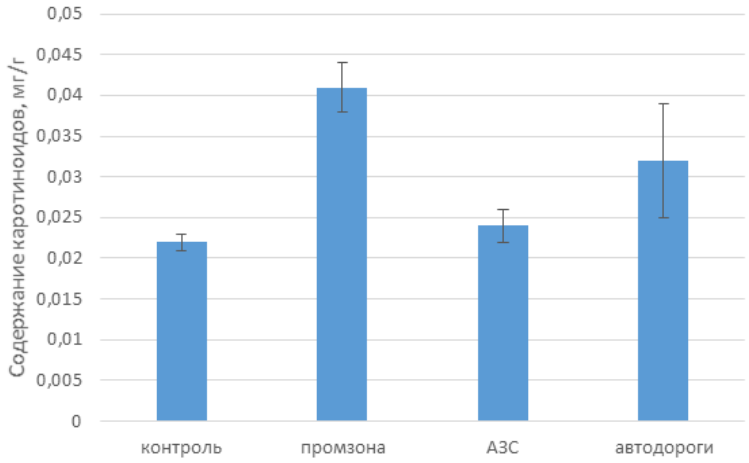


Рис. 2. Содержание каротиноидов в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в г. Новоалтайске.

Максимальное содержание каротиноидов отмечается в листьях *Taraxacum officinale*, произрастающих в промышленной зоне г. Новоалтайска и составляет 0,041±0,003 мг/г, что на 86,3 % ($t=6,01$; $p \leq 0,001$) больше по отношению к контролю. В районе автомагистралей уровень каротиноидов у *Taraxacum officinale* оказался на 45,5 % ($t=4,03$; $p \leq 0,05$) выше по сравнению с контролем. В листьях растений, собранных на территории АЗС, отмечается незначительное увеличение содержания каротиноидов (на 9,1 %, $p > 0,05$), по сравнению с контролем.

Среднее содержание фенольных соединений в листьях *Taraxacum officinale* на контроле составило 10,78 мг/г (рис. 3).

В промышленной зоне количество фенолов в листьях *Taraxacum officinale* достоверно возрастает по сравнению с контролем на 50,8 % ($t=6,98$; $p \leq 0,001$). У растений, растущих вблизи автомагистралей, содержание фенолов по сравнению с контролем увеличивается на 65,4 % ($t=10,06$; $p \leq 0,001$). Более высокое содержание фенолов, на 83,4 % ($t=11,83$; $p \leq 0,001$) по сравнению с контролем, отмечено в листьях *Taraxacum officinale*, произрастающих около автозаправочных станций.

Аналогичная закономерность отмечена в исследованиях ряда авторов и может быть обусловлена синтезом этих антиоксидантов для блокирования перекисного окисления липидов за счет связывания свободных радикалов (Петухов и др., 2020; Виноградова, Глухов 2021).

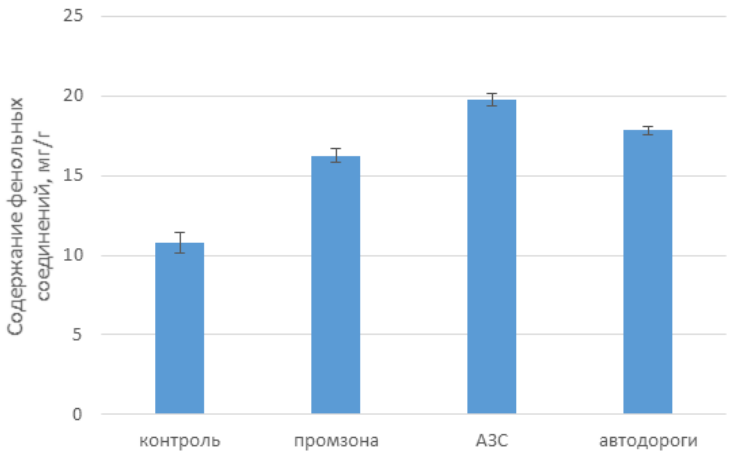


Рис. 3. Содержание фенольных соединений в листьях *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. в г. Новоалтайске.

Таким образом, в листьях *Taraxacum officinale*, с увеличением техногенной нагрузки снижается количество аскорбиновой кислоты 1,9–3,2 раза и возрастает содержание каротиноидов на 45,5–86,3 % и фенолов 50,8–83,4 % по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют об активации механизмов защиты *Taraxacum officinale*, направленных на ослабление негативного влияния загрязнения и повышение устойчивости, степени адаптированности вида к условиям городской среды и соотносятся с литературными данными (Тужилкина, Плюснина, 2020; Самусик, Головатый, 2023).

ЛИТЕРАТУРА

Виноградова Н. А. Глухов А. З. Эколого-фитохимические особенности *Crataegus fallacina* Klokov в условиях техногенного загрязнения // Сибирский экологический журнал, 2021. – № 1. – С. 115–124.

Володько А. С. Фомичёва Н. С., Пилипенко Д. В. Содержание феноловых кислот в листьях дикорастущих растений, произрастающих на территории Витебской области // Наука – образованию, производству, экономике: Матер. 73-й Региональной науч.-практ. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов (г. Витебск, 11 марта 2021 г.). – Витебск: ВГУ имени П. М. Машерова, 2021. – С. 79–80.

Ермаков А. И., Арасимович В. В., Смирнова-Иконникова М. И., Ярош Н. П., Луковникова Г. А. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Изд-во Колос, 1972. – 50 с.

Карпова Е. А. Храмова Е. П. Состав и содержание фенольных соединений представителей рода *Spiraea* L. в условиях техногенного загрязнения г. Новосибирска // Сибирский экологический журнал, 2014. – № 2. – С. 283–293.

Кригер Н. В., Козлов М. А., Баранов Е. С. Влияние техногенной нагрузки на содержание аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений, произрастающих в разных районах города Красноярска // Вестник КрасГАУ, 2013. – № 10 (85). – С. 116–119.

Петухов А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А., Кремлева Т. А. Фенольная система защиты растений в условиях загрязнения среды г. Тюмени тяжелыми металлами // Ученые записки казанского университета, 2019. – Т. 161. – С. 93–107.

Петухов А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А., Кремлева Т. А. Ответная реакция антиоксидантных систем травянистых растений на повреждение клеток в условиях техногенного загрязнения городской среды // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия, 2020. – Том 6 (72). – № 1. – С. 134–149.

Самусик Е. А., Головатый С. Е. Реакция пигментной системы древесных растений на газопылевое загрязнение // Промышленная и аграрная экология, 2023. – № 2. – С. 78–86.

Серебренников М. С., Огородникова С. Ю., Пестов С. В. Изучение процессов перекисного окисления липидов в травянистых растениях в условиях городской среды // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (г. Киров, 18 мая 2020 г.). – Киров: Издательство Вятского государственного университета, 2020. – С. 177–180.

Тужилкина В. В., Плюснина С. Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны в условиях аэротехногенного загрязнения // Лесоведение, 2020. – № 6. – С. 537–547.

Уранова В. В., Близняк О. В., Ломтева Н. А., Мажитова М. В., Теплый Д. Д. Количественное определение суммы каротиноидов в растительном сырье *Scutellaria baicalensis* Georgi и *Scutellaria galericulata* L. // Прикаспийский вестник медицины и фармации, 2022. – Т. 3, № 4. – С. 49–55.

Фомичёва Н. С. Активность антиоксидантных ферментов в листьях дикорастущих растений // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации: Матер. X Междунар. конф. аспирантов и молодых ученых (г. Витебск, 8 декабря 2023 г.). – Витебск: Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, 2023. – С. 45–46.

Чупахина Г. Н., Масленников П. В., Скрыпник Л. Н., Чупахина Н. Ю., Федураев П. В. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. – 145 с.

Чупахина Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений. – Калининград: Изд-во КГУ, 1997. – С. 90–120.

Hellenbrand N., Sendker J., Lechtenberg M., Petereit F., Hensel A. Isolation and quantification of oligomeric and polymeric procyanidins in leaves and flowers of Hawthorn (*Crataegus* spp.) // Fitoterapia, 2015. – Vol. 104. – P. 14–22.

Michalak A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress // Polish journal of environmental studies, 2006. – No. 15. – P. 523–530.

Sandre, A. A., Pin J. M., Moraes R. M., Furlan C. M. Anthocyanins and tannins: is the urban air pollution an elicitor factor? // Brazilian J. Bot., 2014. – No. 37 (9). – P. 1–11.