

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ КАРОТИНОВ И КСАНТОФИЛЛОВ В ГОРЦЕ ПТИЧЬЕМ (POLYGONUM AVICULARE L.) НА ТЕРРИТОРИИ Г. ОРЕНБУРГА

## STUDY OF THE DYNAMICS OF ACCUMULATION OF SOME CAROTENE AND XANTHOPHYLLS IN POLYGONUM AVICULARE ON THE TERRITORY OF ORENBURG

T. Osinkina

**Summary.** The article is devoted to the study of the accumulation of carotenes in knotweed (*Polygonum aviculare* L.), which has pronounced biological activity, in areas subject to systematic technogenic impact. The research materials were leaves and shoots of knotweed (*Polygonum aviculare* L.) of the buckwheat family (*Polygonaceae*). The content of pigments in the samples was determined by direct spectrophotometry using the specific absorption value of carotenes and xanthophylls in n-hexane. The purpose of the work is to study the dynamics of the accumulation of some carotenes and xanthophylls in knotweed (*Polygonum aviculare* L.) on the territory of Orenburg. Trace amounts of  $\zeta$ -carotene, neurosporin and violoxanthin were recorded in all vegetative tissues of knotweed, collected in July–August. The territory of the city of Orenburg — Dzerzhinsky district with a minimum level of carotenes and xanthophylls throughout the entire period of analysis was established. It was shown that the content of  $\zeta$ -carotene and violoxanthin was significantly correlated in July ( $r=0.92$ ) and August ( $r=0.97$ ). This could indicate the launch of epoxidation reactions under the action of the enzyme epoxidase, leading to the formation of certain amounts of the rather rarely fixed hydrocarbon  $\zeta$ -carotene and xanthophyll — violoxanthin. Considering the high biological and pharmacological activity of knotweed, a decrease in the level of intermediate metabolites may indicate a likely decrease in the protective properties of the plant from oxidative stress and, consequently, a deterioration in the adaptive mechanisms and medicinal properties of the plant in areas with unfavorable weather conditions and increased technogenic load.

**Keywords:** carotenes, xanthophylls, knotweed, pigments, individual compounds, anthropogenic load,  $\zeta$ -carotene, neurosporin, violoxanthin.

### Введение

В основе химического строения практически всех каротиноидов лежит структура изопрена, что позволяет отнести данную группу соединений к терпеноидам. Сопряженные двойные связи в молекулах каротиноидов обеспечивают быстрый захват и задержание активных радикалов, обеспечивая, таким образом,

специфическую биологическую активность анализируемой группы веществ. Ненасыщенные кратные связи (двойные — из которых одна  $\sigma$ -связь, другая —  $\pi$ -связь) в структуре молекул пигментов определяют их спектры поглощения, лежащие в области видимой части спектра и функциональные различия [2, с. 15]. Эпексидация  $\epsilon$ -,  $\alpha$ - и  $\beta$ -каротинов приводит к образованию промежуточных метаболитов и конечных продуктов — цикличе-

Осинкина Татьяна Владимировна

канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Оренбургский  
государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения  
osinkina12@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам изучения накопления каротинов в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.), обладающем выраженной биологической активностью, на территориях, подвергающихся систематическому техногенному воздействию. Материалом исследования выступили листья и побеги горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) семейства гречишные (*Polygonaceae*). Содержание пигментов устанавливали в образцах методом прямой спектрофотометрии, используя значение удельного поглощения каротинов и ксантофиллов в *n*-гексане. Цель работы — исследование динамики накопления некоторых каротинов и ксантофиллов в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.) на территории г. Оренбурга. Следовые количества  $\zeta$ -каротина, нейроспорина и виолоксантина зафиксированы во всех вегетативных тканях горца птичьего, отобранных в июле–августе. Установлена территория г. Оренбурга — Дзержинский район с минимальным уровнем каротинов и ксантофиллов на протяжении всего периода анализа. Показано, что содержание  $\zeta$ -каротина и виолоксантина значительно коррелировало в июле ( $r=0.92$ ) и в августе ( $r=0.97$ ). Это могло свидетельствовать о запуске реакций эпексидации под действием фермента эпексидазы, приводящих к образованию некоторых количеств достаточно редко фиксирующегося углеводорода  $\zeta$ -каротина и ксантофилла — виолоксантина. Учитывая высокую биологическую и фармакологическую активность горца птичьего, снижение уровня промежуточных метаболитов может свидетельствовать о вероятном уменьшении защитных свойств растения от окислительного стресса и, следовательно, ухудшении адаптивных механизмов и лечебных свойств растения на территориях в период с неблагоприятными погодными условиями и повышенной техногенной нагрузкой.

**Ключевые слова:** каротины, ксантофиллы, горец птичий, пигменты, индивидуальные соединения, антропогенная нагрузка,  $\zeta$ -каротин, нейроспорин, виолоксантин.

ских ксантофиллов, характерных для высших растений при этом реакции протекают в кислородной среде и при сравнительно низких значениях pH (4,2–5,7): подобные условия чаще всего свойственны для засушливых периодов лета и осени с малой влажностью воздуха, следовательно, процессы синтеза кислородсодержащих пигментов, могут быть свидетельством защитной реакции растения на экстремальные условия среды.

Функциональные группы ксантофиллов, содержащие кислород — это в основном эпокси-группы (–O–) характерные для простых эфиров, оксо-группы (=O) свойственные хинонам и гидроксо-группы (–ОН), являющиеся функциональными для одно— и многоатомных спиртов. Располагаются группы в молекулах соединений между углеродными атомами β-иононовых колец. Для включения подобных групп в состав молекулы ксантофилла необходимо наличие молекулярного кислорода [11, с. 52].

Следует учитывать, что одним из важных механизмов, которые обеспечивают структурную и функциональную стабильность ксантофиллов, является их включение в реакции, связанные с изменением степеней окисления элементов в структурах молекул — циклы ксантофилловых преобразований. В подобную группу входят антераксантин, виолаксантин, лютеин, зеаксантин [12, с. 65].

### Материалы и методы

Материалом исследования выступили листья и побеги горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) семейства гречишные (*Polygonaceae*), класса двудольные (*Dicotyledoneae*). Образцы были отобраны в июле и августе 2021 года на территории города Оренбурга в следующих пунктах: станция 1 (г. Оренбург, ул. Бурзянцева), станция 2 (г. Оренбург, ул. Алтайская), станция 3 (г. Оренбург, проспект Дзержинского), станция 4 (г. Оренбург, ул. Техническая), станция 5 (г. Оренбург, парк им. Гуськова), станция 6 (г. Оренбург, проспект Парковый, район железнодорожного вокзала).

Содержание пигментов устанавливали в образцах, используя значение удельного поглощения каротинов и ксантофиллов в н-гексане (Rodrigucz-Амауа, 2001) [11, с. 53].

для ζ-каротина:

$$C = \frac{D}{2555 \times b},$$

где C — концентрация ζ-каротина в г/100 мл; D — оптическая плотность ζ-каротина при длине волны 425 нм; 2555 — значение удельного показателя поглощения E<sub>1cm1%</sub> ζ-каротина при 425 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

для нейроспорина:

$$C = \frac{D}{2918 \times b},$$

где C — концентрация нейроспорина в г/100 мл; D — оптическая плотность нейроспорина при длине волны 440 нм; 2918 — значение удельного показателя поглощения E<sub>1cm1%</sub> ζ-каротина при 440 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

для виолаксантина:

$$C = \frac{D}{2500 \times b},$$

где C — концентрация виолаксантина в г/100 мл; D — оптическая плотность ζ-каротина при длине волны 442 нм; 2500 — значение удельного показателя поглощения E<sub>1cm1%</sub> ζ-каротина при 442 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

### Литературный обзор

В высших растениях выделяют две наиболее различимые группы соединений: вещества первичного метаболизма и компоненты вторичного метаболизма, обладающие выраженной биологической активностью.

По признаку отсутствия или наличия в их молекуле атомов кислорода выделяют не содержащие кислорода — группа каротины (углеводороды, построенные из изопреновых звеньев) и группу ксантофиллы (достаточно обширная группа соединений, в структуру которых кроме изопреновых звеньев включены кислородсодержащие функциональные группы) [6, с. 285].

К последней группе относятся пигменты, содержание которых варьирует в вегетативных частях высших растений от 0,005 до 200 мг% — лютеин, неоксантин, виолаксантин и зеаксантин [8, с. 5168]. Указанные соединения в тканях высших растений являются составными частями хлорофилл-содержащих сложных пигмент-белковых комплексов мембран тилакоидов в пластидах [6, с. 284].

Главные функции каротиноидов — участие в фотохимических процессах, светособирающая, структурная, роль в репродукции растений и протекторная защита от форм кислорода, обладающих высокой разрушительной активностью в отношении клеточных структур. Местом положения пигментов являются пластиды — амилопласты, хромопласты, элайопласты и лейкопласты [5, с. 355].

В созревающих и сухих семенах наиболее часто присутствует пигмент лютеин, для плодов и цветков более характерными являются β-каротин и его предшественник ликопин [7, с. 140]. В семенах желтые пигменты (лю-

теин) принимают участие в синтетических процессах, связанных с образованием абсцизовой кислоты, обладающей свойствами фитогормонов при сохранении жизнеспособности семян растений [1, с. 4]. Являясь одними из основных частей неферментативной защитной системы растений от действия радикалов кислорода, каротиноиды сокращают периоды старения семян, дольше сохраняя их всхожесть и стимулируя образование проростков при прорастании [9, с. 254].

Для анализа содержания каротиноидов в растительном сырье обычно используют спектрофотометрический метод определения, используя значения удельного показателя поглощения, известные для индивидуальных веществ данной группы. Более совершенным и точным является метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, позволяющий определять индивидуальные каротиноиды даже в микроколичествах с анализом динамики образования промежуточных метаболитов, например, виолоксантинового цикла [13, с. 38]. Поскольку подобные соединения характеризуются достаточно сходными спектрами поглощения в видимой области спектра обычно используют методики, позволяющие рассчитать суммарное содержание пигментов в экстрактах побегов и листьев в основном в области 450 нм, содержание веществ, при этом, лежит в интервале 240–260 л/(г см) [4, с. 607].

В побегах и листьях горца птичьего содержатся флавоноиды (до 8,3–9,4 %) гиперин, изорамнетин, миритетин, кверцетин, в меньшей степени — авикулярин, эфирное масло, кемпферол; витамины Е, С, каротины, дубильные вещества (1,5–4,3 %); фенолкарбоновые кислоты (кофейная, галловая, β-кумаровая, хлорогеновая), антрахиноны в следовых количествах, кумарины (умбеллиферон, скополетин), соли кремниевой кислоты (до 3,5 %), слизи, смолы, макроэлементы: калий (К), кальций (Са), магний (Mg), железо (Fe); микроэлементы (Cu, Mn, Co, Ni, Se) [10, с. 233]. В виду того, что горец птичий характеризуется разнообразным химическим составом и обладает выраженными противовоспалительными, антибактериальными и антиоксидантными свойствами, растение выбрано для анализа содержания промежуточных метаболитов (на пути синтеза основных каротинов, являющихся важными биологическими активными компонентами) в условиях вероятного антропогенного воздействия.

### Результаты и обсуждение

В ходе анализа содержания пигментов в некоторых пунктах города, различающихся по антропогенной нагрузке показаны отличия в количестве индивидуальных соединений: ζ-каротина, нейроспорина, виолоксантина в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.). В случае ζ-каротина в августе показатель снизился

по сравнению с июлем в 4,6 раза, наибольшее значение  $0,0002 \pm 0,00005$  г/100мл в июле отмечалось на станциях 5 и 6 (рис. 1).

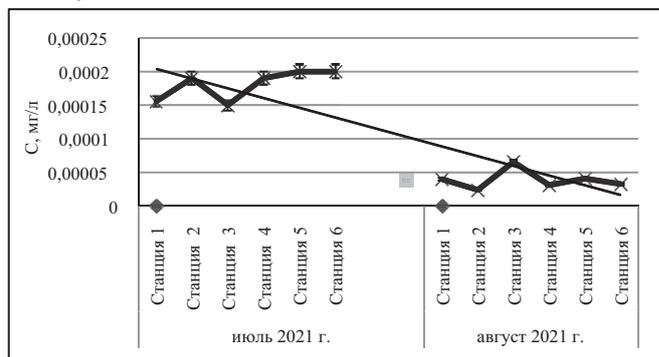


Рис. 1. Показатели ζ-каротина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Содержание нейроспорина также снижалось в августе в 3,96 раз, в июле значения оказались максимальными на станции 4 и минимальными на станции 1 (рис. 2).

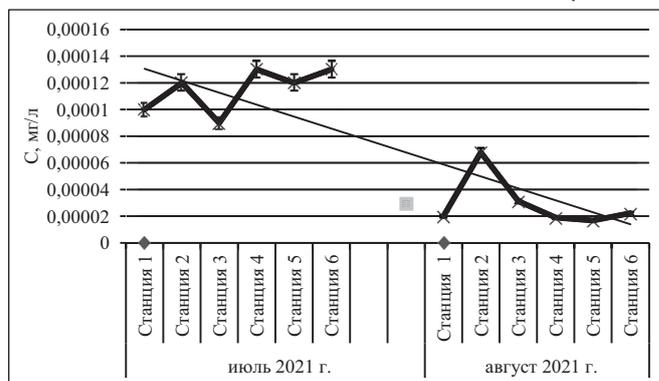


Рис. 2. Показатели нейроспорина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Значения показателя виолоксантина характеризовались динамикой с максимумом в июле на станциях 4 и 6 —  $0,00015 \pm 0,00002$  г/100мл и минимумом на станции 2 в августе (рис. 3), падение отмечено к августу в среднем в 5,2 раза.

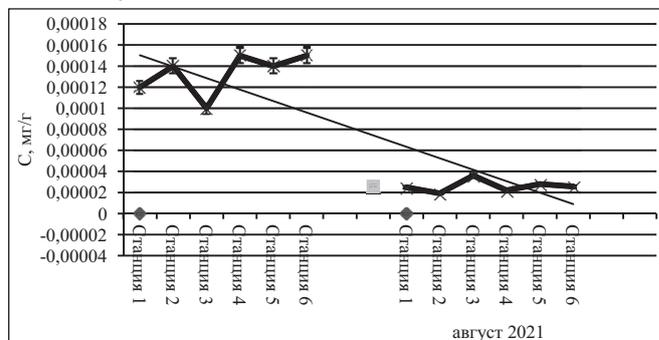


Рис. 3. Показатели виолоксантина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Показано, что содержание ζ-каротина и виолоксантина значительно коррелировало в июле ( $r=0,92$ ) и в

августе ( $r=0,97$ ). Это могло свидетельствовать о запуске реакций эпоксидации под действием фермента эпоксидазы, приводящих к образованию некоторых количеств достаточно редко фиксирующегося углеводорода  $\zeta$ -каротина и ксантофилла — виолоксантина. Хотя биохимические пути синтеза указанных соединений различаются:  $\zeta$ -каротин — продукт циклизации ликопина через  $\delta$ -каротин, а виолоксантин — продукт эпоксидации зеаксантина, образующегося при гидроксилировании  $\beta$ -каротина. Следует отметить также, что условием активности фермента эпоксидазы является значение pH 5,6–6,5 и обязательное присутствие в клетках достаточного количества кислорода в форме  $O_2$ , что может свидетельствовать о закислении организма и, соответственно, необходимости усиленного синтеза молекул с множеством ненасыщенных химических связей для быстрой стабилизации внутриклеточных процессов [11, с. 53].

Между содержанием  $\zeta$ -каротина и нейроспорина (в июле) также установлена сильная корреляционная связь ( $r=0,94$ ), однако в августе корреляция оказалась отрицательной ( $r=-0,31$ ). Подобные значительные варьирования промежуточных метаболитов в ходе синтеза каротинов и ксантофиллов могут указывать на интенсификацию процессов адаптивных реакций с усилением скорости синтеза защитных факторов растением, в том числе, при неблагоприятных условиях среды.

Более детальный анализ рисунков 1, 2 и 3 показал, что для индивидуальных пигментов  $\zeta$ -каротина, нейроспорина и виолоксантина отмечена общая динамика уменьшения их содержания по станциям, что подтверждается сходной нисходящей, по всем трем веществам, линией тренда (линейное приближение).

Для станций 2 и 3 отмечено следующее: по всем показателям  $\zeta$ -каротин, нейроспорин, виолоксантин в июле на станции 3 фиксировалось наименьшее значение (рис. 1, 2, 3). В августе для  $\zeta$ -каротина и виолоксантина на станции 3 зафиксировано наибольшее значение, для нейроспорина — на станции 2. Известно, что накопление биологически активных соединений растений во многом определяется погодными условиями и уровнем инсоляции в период вегетации растения и фазе бутонизации. Станция 2 (Оренбург, ул. Алтайская) и станция 3 (Оренбург, проспект Дзержинского) располагаются в массивах плотной городской застройки, учитывая погодные условия июля с колебаниями температуры воздуха в диапазоне от  $+10^\circ\text{C}$  до  $+37^\circ\text{C}$  и августа от  $+8^\circ\text{C}$  до  $+41^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха от 19 % до 86 %, преобладанием ветра северного направления над другими. Осадки выпадали всего в течение 5 дней (в июле) до 26 мм и в августе только 1 день до 2 мм.

Для каротинов установлено, что засушливый период погодных условий во время бутонизации и цветения ведет к снижению содержания каротинов, в частности, ликопина, и скорости его циклизации до  $\beta$ -каротина. Пигменты  $\zeta$ -каротин и нейроспорин являются промежуточными соединениями в цикле биосинтеза каротиноидов и образуются при дегидрировании фитоина до фитофлуина, дальнейшая циклизация приводит к образованию  $\alpha$  и  $\beta$ -каротинов, которые защищают растение от окислительного стресса в период экстремальных погодных условий или иных стрессовых воздействий, определяемых в частности антропогенным влиянием [3, с. 47]. Следовательно, если в подобные периоды количество промежуточных продуктов биосинтеза основных протекторов снижается, то следует ожидать недостаточного образования основных антиоксидантов неферментативной системы защиты растений от активных форм кислорода, что, по-видимому, и отмечено на станции 2 (г. Оренбург, Дзержинский район) в июле по  $\zeta$ -каротину, нейроспорину и виолоксантину.

### Заключение

Таким образом, из результатов проведенного исследования следует:

1. Горец птичий (*Polygonum aviculare* L.) произрастает на всех выбранных для анализа участках г. Оренбурга;
2. Следовые количества  $\zeta$ -каротина, нейроспорина и виолоксантина зафиксированы во всех образцах вегетативных тканей горца птичьего, отобранных в июле-августе;
3. Установлена территория г. Оренбурга — Дзержинский район с минимальным уровнем каротинов и ксантофиллов — промежуточных продуктов на пути синтеза основных протекторов против действия активных форм кислорода;
4. Учитывая высокую биологическую и фармакологическую активность горца птичьего снижение уровня промежуточных метаболитов может свидетельствовать о вероятном уменьшении защитных свойств растения от окислительного стресса и, следовательно, ухудшении адаптивных механизмов и лечебных свойств растения на территориях в период с неблагоприятными погодными условиями и повышенной техногенной нагрузкой, что следует учитывать при планировании заготовки растительного сырья и семян для последующего выращивания лекарственных растений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарлов И.Р. Сравнительное изучение содержания каротиноидов в различных экоформах шафрана // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* 2023. С. 1–5.
2. Битсуэ З.К. Эффект ликопина как иммунотерапевтического и иммуномодулирующего средства при лечении и профилактике рака легких, а также других видов опухолей и аутоиммунных заболеваний // *Международный журнал научных и технических исследований.* т.8. вып. 9. 2017. С. 1–24.
3. Бровар Т.Г. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* № 3. 2020. С. 46–53.
4. Булда О.В. Спектрофотометрический метод определения содержания каротинов, ксантофиллов и хлорофиллов в экстрактах семян растений // *Физиология растений.* 2008. Т. 55. № 4. 2008. С. 604–611.
5. Ефремов Г.И. Влияние содержания каротиноидов и активности гена каротиноид-цис-транс-изомеразы *crts10* на окраску плода томата // *Физиология растений.* 2022. Т. 69. № 4. С. 352–362.
6. Ковалева Н.А. Исследование состава пигментов (каротиноидов и хлорофиллов) листьев облепихи крушиновидной методом ТСХ // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2022. Т. 22. № 3. С. 284–298.
7. Курдюков Е.Е. Количественное определение суммы каротиноидов в плодах дерезы китайской *lucium chinense mill.* // *Химия растительного сырья.* 2020. №3. С. 139–144.
8. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // *Фундаментальные исследования.* 2015. № 2–23. С. 5166–5172.
9. Курегян А.Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование получения индивидуальных каротиноидов и создание на их основе лекарственных средств: дис. доктор биол. наук. Пермь. 2020. 379 с.
10. Лекарственные растения государственной фармакопеи. Фармакогнозия / под ред. И.А. Самылиной. М., «АМНИ», 1999. с. 569.
11. Тринева О.В. Изучение хроматографических характеристик β-каротина в тонком слое сорбента // *Химико-фармацевтический журнал.* № 5. 2012. С. 52–54.
12. Филюшин М.А. Зависимость окраски плодов перца от соотношения основных пигментов и профиля экспрессии генов биосинтеза каротиноидов и антоцианов // *Физиология растений.* 2020. Т. 67. № 6. С. 644–653.
13. Othman R. Characterization of Carotenoids Content and Composition of Saffron from Different Localities // *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences.* 2020. 10. 34–40.

© Осинкина Татьяна Владимировна (osinkina12@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»