

УДК 581.526.3:57.044

ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ РОГОЗА УЗКОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ НАГРУЗКИ ПО СВИНЦУ

¹Ратушняк А.Ю., ¹Абрамова К.И., ²Богачев М.И., ¹Полуянова В.И.,
¹Андреева М.Г., ¹Чахирев И.В., ¹Ратушняк А.А.

¹ГБУ «Институт проблем экологии и недропользования Академии наук республики
Татарстан», Казань, e-mail: allelop@rambler.ru;

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, e-mail: rogex@yandex.ru

Установлено влияние уксуснокислого свинца ($2,5 \cdot 10^{-1}$ мг/л) на анатомическое строение почвенных и водных корней рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.). Происходит адаптационное перераспределение активности разрушения parenхимных клеток и образования воздухоносных полостей с водных корней, непосредственно контактирующих с растворенной в воде солью, на почвенные. Объем воздухоносных полостей специфичен периоду вегетации растений и возрасту корней.

Ключевые слова: тяжелые металлы, свинец, воздухоносные полости, parenхимные клетки, высшая водная растительность, рогоз узколистный, придаточные корни

FEATURES OF ANATOMICAL STRUCTURE OF REED MACE IN CONDITIONS OF LEAD OVERLOAD

¹Ratushnyak A.Y., ¹Abramova K.I., ¹Poluyanov V.I., ¹Andreeva M.G.,
¹Chahirev I.V., ¹Ratushnyak A.A., ²Bogachev M.I.

¹State Budgetary Establishment Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use
of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, e-mail: allelop@rambler.ru;

²Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, e-mail: rogex@yandex.ru

The influence of lead acetate ($2,5 \cdot 10^{-1}$ mg/L) on anatomical structure of soil and airborne roots of reed mace (*Typha angustifolia* L.) was stated. There was an adaptation redistribution of the activity of destruction of parenchyma cells and formation of air-vessels from aquatic roots, contacting with dissolved salt, toward soil ones. The volume of air-vessels was specific to vegetation period and age of the roots.

Keywords: heavy metals, lead, air-vessels, parenchyma cells, higher aquatic plants, reed mace, additional roots

Высшая водная растительность (ВВР) – один из основных компонентов гидробиоценозов, составляющих локальный природный комплекс. Выполняя многофункциональную роль в гидроэкосистемах, ВВР выступает в итоге как важный фактор регулирования структуры и функций сопутствующих гидробионтов, а также качества воды. При этом степень ее активности специфична биологическим особенностям вида растений, периодам вегетации, адаптационным возможностям, интенсивности антропогенного воздействия. Из токсикантов, попадающих в водоемы, серьезную экологическую проблему представляют тяжелые металлы. Выделена группа наиболее опасных для водных организмов металлов-токсикантов, в которую входят свинец, кадмий, медь, и др.

Свинец – тяжелый металл с уникальными физическими и химическими свойствами, что обуславливает его широкое использование в хозяйственной деятельности человека с древних времен и по настоящее время. Вследствие этого, а также из-за отсутствия свойства биодegradации, его на-

копление в окружающей среде представляет серьезную экологическую проблему. Свинцовому загрязнению подвержены как наземные, так и водные экосистемы, испытывающие негативные эффекты данного токсиканта в отношении живых организмов разного уровня организации, [8], в том числе высшей водной растительности.

Интегральными показателями состояния гидрофитов в условиях изменения среды обитания являются анатомо-физиолого-продукционные процессы, специфика которых определяется особенностями обитания растения. Эти системы очень лабильны, позволяют быстро перестраивать направленность процессов метаболизма в условиях изменения среды обитания, в частности антропогенной нагрузки. Эта способность может быть использована при определении экологической пластичности растений в условиях нагрузки по токсикантам с различными механизмами действия.

Однако аутоэкологические механизмы регуляции адаптационных возможностей водных растений к неблагоприятным условиям среды обитания остаются недостаточно из-

ученными. В этой связи исследование их ре-спонс-реакций на нагрузку по токсикантам, в том числе свинцу, весьма актуально.

Целью данной работы является исследование анатомических особенностей индикаторного гелофита – рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) в условиях нагрузки по свинцу.

Материал и методы исследований

Один из наиболее распространенных и популяр-ных способов изучения влияния химических соединений на экосистемы – использование экспериментальных водоемов. Возможность имитации (воспроизведения) разнообразных условий природной среды в лабораторных исследованиях на водных объектах наглядно продемонстрирована в ряде работ, в частности [7].

Исследования проводили в условиях экспериментальных водоемов, включающих природную воду объемом 30 литров с сопутствующими гидробионтами, грунт, куртины представителя ВВР – рогоза узколистного, привезенных из озера Средний Кабан. Оно расположено на территории г. Казани республики Татарстан РФ. При выборе объема экспериментальных водоемов руководствовались методическими данными Тсиртсиса [10], согласно которым объем 30 л позволяет получать удовлетворительную воспроизводимую результатов и хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчетами на модели. Моделировали два типа биотопов – заросший (с рогозом узколистным) и открытый (без него). Подготовленные водоемы располагали на специальной площадке научно-исследовательского института.

В качестве загрязнителя использовали свинец в форме соли $Pb(CH_3COO)_2$ концентрации 0,25 мг/л (по свинцу). В экспериментальные водоемы соль вносили однократно через две недели после постановки эксперимента, когда система стабилизировалась, растения прижились (начало июня). Опыты проводили в течение июня – июля в трехкратной повторности. Осуществляли контроль за процессами формирования анатомического строения водных и почвенных корней рогоза.

Анатомические исследования проводили по методике [3]. Поперечные срезы у почвенных корней делали на расстоянии 3 и 6 см от апекса роста, у водных – 6 см. Анатомические исследования у водных корней на расстоянии 3 см от точки роста не осуществляли из-за сложности выполнения поперечных срезов с объекта малого диаметра от руки с помощью безопасного лезвия. Выбор расстояний от точки роста придаточных корней был произвольным. Анализ поперечных срезов проводили в десятикратной повторности, затем рассчитывая стандартное отклонение в программе Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности анатомо-морфологического строения двух типов придаточных корней рогоза узколистного в условиях нагрузки по свинцу

Немаловажную роль в регуляции толерантности макрофита играют особенности

строения его подземной части. Она состоит из толстых корневищ, выполняющих роль запасающего органа, и придаточных корней – водных и почвенных (в зависимости от того, в какой среде они развиваются), основной функцией которых является поглощение из внешней среды растворенных питательных веществ и воды [1]. Отличительной чертой анатомического строения является наличие хорошо развитой аэренхимы, которая пронизывает все органы растения и обеспечивает лучший газообмен подземным органам [1, 9].

У макрофитов могут развиваться разные виды придаточных корней (водные, почвенные и стеблевые), сходные по своей этиологии (корневищные), но отличающиеся по количественно-анатомическим признакам и направленностью метаболических признаков.

Ранее нами было установлено, что ответной реакцией рогоза узколистного на нагрузку по азоту является изменение степени аэрации (доли площади воздушных полостей от общей площади поперечного среза) у водных и почвенных придаточных корней [4].

В данной работе ставилась задача: проверить является ли выявленная закономерность универсальной и проявляется при действии загрязнителей с разными механизмами действия.

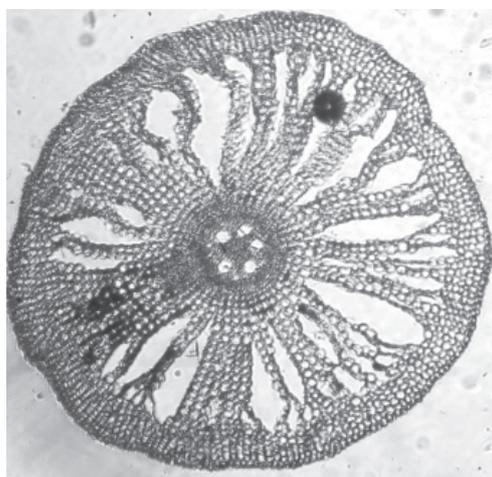
Контроль

Тип придаточного корня.

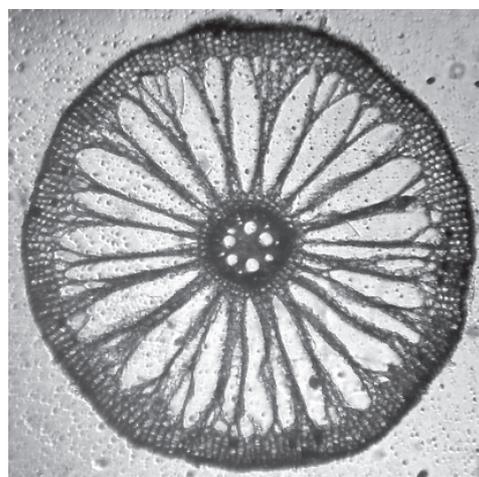
В условиях наших экспериментов отмечено, что в плагиотропной зоне корневища располагаются более тонкие ветвящиеся водные корни (через две недели после постановки эксперимента диаметр среза на расстоянии 6 см от апекса роста составил $0,9 \pm 0,08$ мм), а в ортотропной – относительно толстые ($1,3 \pm 0,09$ мм, соответственно), мало ветвящиеся почвенные. На поперечном срезе придаточных корней в первичной коре между экзодермой и эндодермой расположены тонкостенные клетки паренхимы. В мезодерме отмечены воздухоносные полости – каналы, ограниченные друг от друга несколькими слоями паренхимных клеток. Вглубь за эндодермой на поперечном срезе двух типов придаточных корней расположен осевой цилиндр с проводящими элементами. При этом выявлено, что водные корни более аэрированы по сравнению с почвенными. Так, у водных корней доля площади воздухоносных полостей от общей площади поперечного среза составила 37,2 и 7,2 у почвенных (на

расстоянии 6 см от апекса роста через две недели после постановки эксперимента) (табл. 1, 2, рисунок). Вероятно, это связано

с особенностями их расположения на корневище и протекания в них метаболических процессов.



контроль

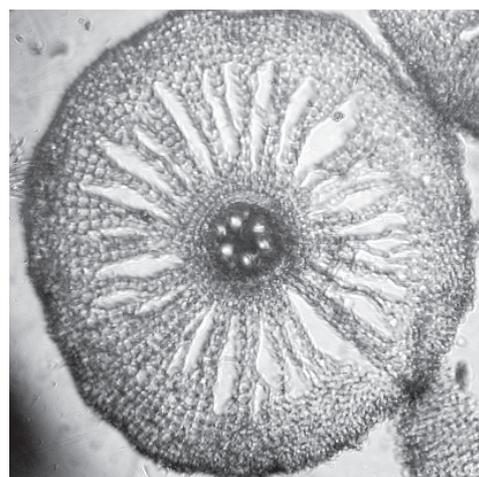


свинец 0,25 мг/л

водные корни



контроль



свинец 0,25 мг/л

почвенные корни

Фото срезов корней рогоза 6 см от апекса (июль)

Таблица 1

Доля площади (Д, %) воздухоносных полостей ($S_{в.п.}$) от общей площади поперечного среза ($S_{ср.}$) **почвенных** корней *Typha angustifolia* L. в вариантах опыта (6 см от апекса)

Тип	Почвенные корни					
	июнь			июль		
Дата						
Вариант	$S_{ср.}$ (мм ²)	$S_{в.п.}$ (мм ²)	Д, %	$S_{ср.}$ (мм ²)	$S_{в.п.}$ (мм ²)	Д, %
Контроль	1,53 ± 0,05	0,110 ± 0,004	7,2	1,07 ± 0,07	0,16 ± 0,02	14,8
Свинец	1,519 ± 0,100	0,196 ± 0,014	12,9	1,197 ± 0,130	0,238 ± 0,018	19,9

Таблица 2

Доля площади воздухоносных полостей (Д, %) от общей площади поперечного среза ($S_{cp.}$) **водных** корней *Typha angustifolia* L. в вариантах опыта (6 см от апекса)

Тип	Водные корни					
	июнь			июль		
Дата						
Вариант	$S_{cp.}$ (мм ²)	$S_{в.п.}$ (мм ²)	Д, %	$S_{cp.}$ (мм ²)	$S_{в.п.}$ (мм ²)	Д, %
Контроль	0,90 ± 0,08	0,34 ± 0,04	37,2	0,48 ± 0,03	0,16 ± 0,02	33,2
Свинец	0,605 ± 0,052	0,144 ± 0,009	23,8	0,431 ± 0,048	0,065 ± 0,005	15,1

Возраст растительных тканей

Скорость образования воздухоносных полостей у почвенных корней зависит от возраста паренхимных клеток: чем старше ткань, тем интенсивнее в ней происходят

процессы разрушения (в контрольных вариантах на расстоянии 3 см от апекса роста доля воздухоносных полостей на поперечном срезе составила 0% (табл. 3), тогда как на расстоянии 6 см – 7,2 (табл. 1).

Таблица 3

Доля площади воздушных полостей ($S_{в.п.}$) от общей площади поперечного среза ($S_{cp.}$) почвенных корней (3 см от апекса)

Вариант (6.06.07)	$S_{cp.}$ (мм ²)	$S_{в.п.}$ (мм ²)	Д%
Контроль	1,02 ± 0,06	-	0
Свинец	1,16 ± 0,09	-	0

Количественно-анатомические признаки в условиях наших экспериментов различались у корней в сезонной динамике. Так, у почвенных корней доля площади воздухоносных полостей от общей площади поперечного среза в июне составила 7,2, в июле – 14,8% соответственно; а у водных корней – 37,8 и 33,3% соответственно (табл. 1, 2).

Представляло интерес исследование степени воздействия свинца на количественно-анатомические характеристики придаточных корней.

Свинец. Выявленные изменения в анатомическом строении (доля площади воздухоносных полостей от общей площади поперечного среза) у двух типов придаточных корней рогоза в условиях нагрузки по свинцу, также как и в контроле, зависели от типа корня и возраста растительных тканей.

Тип придаточного корня

Почвенные корни. При воздействии уксуснокислого свинца через две недели после постановки эксперимента отмечено повышение степени аэрации корней (увеличение объемов воздухоносных полостей до 12,9% от общей площади поперечного среза, в контроле – 7,2%) за счет разрушения тонкостенных паренхимных клеток (табл. 1). Это способствует повышению их энергетического статуса. Как известно, в период адаптации в растении происходят дополнительные энергетические затраты [2], прежде всего за счет усиления погло-

щения кислорода [6]. У высшей водной растительности часть кислорода образованного в процессе фотосинтеза накапливается в своеобразных резервуарах – в воздушных полостях, который в дальнейшем используется в процессе ее жизнедеятельности [5].

Водные корни. На поперечном срезе водных корней отмечен противоположный эффект – снижение скорости межклеточных разрушений в паренхиме. В контроле площадь воздухоносных полостей через две недели после постановки эксперимента составила 37,2% от общей площади поперечного среза; в варианте со свинцом 23,82%, соответственно (табл. 2).

Подобные исследования, проведенные уже через пять недель после внесения одноразовой нагрузки (июль), показали, что количественные показатели доли воздухоносных полостей от общей площади поперечного среза у двух типов придаточных корней изменялись в сторону повышения у почвенных корней и уменьшения у водных (табл. 1, 2, рисунок).

Возраст растительных тканей

Чем старше ткань, тем интенсивнее она подвергается воздействию возмущающего фактора. В варианте со свинцом у почвенных корней на расстоянии 3 см от апекса роста разрушения клеток паренхимы не обнаружено, тогда как на расстоянии 6 см – 12,9% (табл. 1, 3).

Анализ вышеизложенных данных (по воздействию свинца) свидетельствует о раз-

нонаправленности изучаемых ответных реакций двух типов придаточных корней рогоза узколистного на нагрузку по свинцу: увеличение степени аэрации у почвенных и снижение – у водных по отношению к контролю. Это достигается за счет регулирования интенсивности разрушения паренхимных клеток. Данное перераспределение позволяет адаптироваться к неблагоприятным условиям среды обитания водным корням, непосредственно контактирующих с растворенными соединениями.

Изменения количественно-анатомических признаков у придаточных корней корневища рогоза узколистного в ответ на вариации минерального питания, по мнению [11], можно рассматривать как механизм поддержания функционирования корней в изменяющихся условиях среды обитания.

Выводы

1. Выявлено перераспределение интенсивности образования воздухоносных полостей, а, следовательно, запасов кислорода, за счет разрушения паренхимных клеток с водных придаточных корней, непосредственно контактирующих с растворенным в воде соединением свинца, на почвенные.

2. Противоположная направленность перестроечных процессов в анатомическом строении двух типов придаточных корней гелофита на нагрузку по уксуснокислому свинцу определяется их разными адаптационными возможностями и условиями обитания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (Государственное соглашение № 14.В37.21.0180).

Список литературы

1. Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. – Киев: Наукова думка, 1988. – 188 с.
2. Пахомова В.М. Основы фитострессологии. – Казань: Казанская государственная сельскохозяйственная академия, 1999. – 103 с.
3. Полуянова В.И. К экологической анатомии плагиотропного побега *Veronica chamaedrys* L. // Современные проблемы и пути их решения в науке. – 2005. – Т. 11. – С. 7–9.
4. Ратушняк А.А., Абрамова К.И. Аутоэкологические основы альгидной и санирующей активности гелофитов. Объекты (рогоз узколистый *Typha angustifolia* L., фитопланктон), методы, результаты, анализ, нитратное загрязнение, адаптоген. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 160 с.
5. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности. – М.: НИА – Природа, РЭФИА, 2004. – 220 с.
6. Семихатова О.А. Дыхание поддержания и адаптация растений // Физиология растений. – 1995. – Т. 42, № 2. – С. 312–319.
7. Ciurli Adriana, Paolo Zuccarini, Amedeo Alpi. Growth and nutrient absorption of two submerged aquatic macrophytes in mesocosms, for reinsertion in a eutrophicated shallow lake // Wetlands Ecology and Management. – 2009. – Vol. 17, № 2. – P. 107–115.
8. Cooksey C. Health concerns of heavy metals and metalloids // Sci Prog. – 2012. – Vol. 95 (Pt 1). – P. 73–88.
9. Rudescu R. Das Schilfrohr. Die Binnengewasser, Band XXVII, Stuttgart. – 1974. – 302 p.
10. Tsirtsis G., Karydis M. A methodological approach for the quantification of eutrophication processes // Environ. Monit. And Assess. – 1997. – Vol. 48, № 2. – P. 193–215.
11. Wolff R., Abbott L., Pistorale S. Reproductive strategy of *Bromus catharticus* Vahl (*Cebadilla criolla*): Phenotypic plasticity in natural population progenies // J. Genet. And Breeding. – 2001. – Vol. 55, № 1. – P. 67–74.