

УДК 577.3

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *SUAEDA ELTONICA* ILJIN В УСЛОВИЯХ ПРИЭЛЬТОНЬЯ

© 2015 В.Н. Нестеров, О.А. Розенцвет, Е.С. Богданова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 10.04.2015

Исследованы экологические и физиолого-биохимические характеристики эндемичного вида флоры Приэльтонья *Suaeda eltonica* Iljin. Выявлены количественные значения степени засоления, влажности и кислотности почвы в местах произрастания *S. eltonica*. Установлено, что по содержанию пигментов, белков, липидов и жирных кислот, за исключением фосфолипидов, *Suaeda eltonica* соответствует растениям, произрастающим в районах с засушливым климатом с высокой степенью освещения и засоленными почвами. Предполагается, что более низкое содержание фосфолипидов у *S. eltonica* в сравнении с другими галофитами и видами рода *Suaeda* может указывать на различия в структурной организации разного типа клеток С4 растений.

Ключевые слова: *Suaeda eltonica*, липиды, белки, пигменты, эндемичные виды.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях Нижнего Поволжья крупные озера, в частности солоноводные, являются своеобразными локальными «центрами биоразнообразия», где на небольшой по площади территории сконцентрировано многообразие растительных сообществ, прежде всего галофитных [11]. Одним из таких регионов является бассейн оз. Эльтон (Приэльтонье).

Взаимосвязь естественно высокого уровня засоления почв Приэльтонья, близости залегания грунтовых вод, жаркого и сухого климата с высоким уровнем инсоляции создает условия в плане развития в этой местности галотолерантных и галофильных видов, иногда редких, имеющих ограниченное распространение или относящихся к эндемичным формам [8].

В отличие от видов региональной флоры, образующих многочисленные популяции, эндемики имеют узко локализованные ареалы, а их популяции изолированы в растительном окружении. Присутствие эндемиков указывает на оригинальность региональной флоры и уникальность природных условий данной территории [16].

Suaeda eltonica – эндемичный вид, однолетник с сочными листьями и мелкими цветками. Растет группами на мокрых солончаках. Встречается в подзоне опустыненных степей. Вид описан в бассейне озера Эльтон [19]. В силу своей редкой встречаемости *S. eltonica* представляет научный интерес как специфический вид аридной флоры юго-востока Европейской части России, в частности Приэльтонья.

Нестеров Виктор Николаевич, кандидат биологических наук. E-mail: nesvik1@mail.ru

Розенцвет Ольга Анатольевна, доктор биологических наук. E-mail: olgarozen55@mail.ru

Богданова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук. E-mail: cornales@mail.ru

По способу адаптации к засолению *S. eltonica* относится к группе эугалофитов или «соленакапливающих» растений, по анатомо-морфологическим особенностям – к представителям видов с С4-типом фотосинтеза [5,24]. Известно, что у С4-растений листья имеют особенное строение. У клеток обкладки проводящего пучка хлоропласты по своей форме отличаются от хлоропластов клеток мезофилла внешнего кольца. Клетки обкладки крупные, плотно прилегают к сосудам листа, хлоропласты в них могут не иметь гран, содержат зерна крахмала. Клетки мезофилла мелкие, расположены рыхло, а хлоропласты имеют грани. Клетки обкладки и клетки мезофилла связаны множеством плазмодесм и благодаря этому активно обмениваются осмолитами. В клетках обкладки реализованы реакции цикла Кальвина, в клетках мезофилла – реакции цикла Хэтча–Слэка [4]. Важной физиологической особенностью С4-растений является их высокая засухо- и термоустойчивость.

Особый тип строения листа должен отличаться на его физиолого-биохимических характеристиках, однако исследований в этом направлении недостаточно. Изучение свойств эндемичных видов необходимо для понимания особенностей их адаптации к определенным местам произрастания, а также для пополнения банка знаний о биоразнообразии ресурсов страны. Несмотря на то, что виды из рода *Suaeda* Forssk. ex J. F. Gmel. активно исследуются ботаниками, физиологами и биохимиками, свойства *S. eltonica* изучены в меньшей степени из-за своей редкой встречаемости [6, 21, 22, 24].

Цель работы – исследовать экологические и физиолого-биохимические характеристики *S. eltonica* в условиях Приэльтонья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Район исследования. Эльтон – самое крупное самосадочное соленое озеро Европы, расположенное примерно в 170 км к северо-востоку от г. Волгоград [10]. Эльтон – реликт морских условий, когда-то существовавших на Прикаспийской низменности. После отступления Хвалынского моря около 50 тысяч лет назад в наиболее пониженных тектонических котловинах остались соленые морские воды и грязи. Под жарким полупустынным солнцем концентрация соли возросла в несколько раз [17]. Характерной чертой данного региона является высокая степень засушливости с резким дефицитом осадков. Температурный режим отличается амплитудой экстремальных температур (более 70 °С): абсолютный минимум – в январе (-31,1 °С), абсолютный максимум – в августе (41,1 °С) [2]. Растительный покров Приэльтона характеризуется распространением галофитных сообществ, отличающихся высоким разнообразием, обусловленной комплексностью почв. Район Приэльтона располагается в подзоне светло-каштановых почв. Механический состав почв чаще всего суглинистый, супесчаный и песчаный. Почвенный покров комплексный, с широким распространением солонцов и солончаков из-за близости залегания грунтовых вод и засоленности материнских пород [8].

Материал для исследования. Листья растений отбирали в первой половине дня в конце июня 2014 г. в устье р. Чернавка с площадки размером 10x10 м (49°12' с.ш., 44°40' в.д.). Для анализов использовали среднюю часть листа, собранную с 10-15 растений исследуемого вида. Из данной биомассы формировали параллельные пробы и замораживали в жидком азоте и хранили до проведения анализов. Параллельно отбирали образцы почвы в соответствии с рекомендациями [1].

Методы анализа. Анализ почвы, а так же методы экстракции, идентификации, анализа липидов, пигментов и белков в растительном материале описаны ранее [14, 15].

Результаты представлены в виде средних величин и их стандартных ошибок. Статистическую обработку результатов анализов проводили с использованием программ Statistica 6.0 for Windows, Microsoft Excel 2007 и Statgraphics Centurion XVI.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуя некоторые физико-химические характеристики почвы в месте отбора проб растений, было установлено, что влажность почвы составляла 60%, кислотность почвенной вытяжки – 8,4. Степень засоления – 3,5% от сух. м. почвы, что подтверждает литературные данные о произрастании *S. eltonica* на мокрых солончаках [16, 19]. Уровень освещения

растений на момент отбора составлял 1500 мкмоль $E \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$, а температура воздуха – 38°С. Такие условия достаточно специфичны, особенно сочетание высокого уровня освещения, температуры, засоления и высокого % увлажнения.

Известно, что в зависимости от окружающих условий произрастания изменяются число и размеры клеток растений, содержание и соотношение основных пигментов фотосинтеза, различным образом организуются клеточные мембраны [9]. Было установлено, что содержание зеленых пигментов в листьях *S. eltonica* составило 0,3, каротиноидов (кар) – 0,1 мг/г сыр. м. (рисунок, А). Соотношение хлорофиллов (Хл) *a/b* равнялось 2, а соотношение зеленые / желтые пигменты (Хл/Кар) – 3. Обычно в зеленых листьях гликофитов, содержание зеленых пигментов заметно выше – от 0,5 до 3,0 мг/г сыр. м. [3]. Вероятно, высокий уровень освещения и высокая степень засоления почвы способствует формированию более низких концентраций Хл в листьях *S. eltonica*. Тем более, известно, что в ясные солнечные дни у световых растений содержание хлорофилла снижается, и минимальное его количество отмечается при наиболее сильном освещении [20]. Кроме того, у сильно освещенных высокогорных растений отношение зеленых пигментов к желтым обычно выше, чем у растений с более низких высот, и намного выше, чем у растений затененных местообитаний [18].

Наряду с пигментами был исследован состав липидов листьев *S. eltonica*. Липиды представляют структурную основу мембран клеток и пластид, определяя степень их жидкостности, латеральную и трансбислойную асимметрию, являются биологически активными соединениями, выступающих в качестве вторичных мессенджеров, модуляторов активности ферментов и свойств рецепторов. Количество мембранных глико- (ГЛ) и фосфолипидов (ФЛ) в клетках листьев *S. eltonica* равнялось 0,9 и 0,4 мг/г сыр. м., соответственно (рисунок, Б). К ГЛ относятся преимущественно хлоропластные, а к ФЛ – липиды внешних мембран клеток и органелл. Количество ГЛ в клетках листьев *S. eltonica* было в два раза больше, чем ФЛ, что является естественным соотношением для многих растений. Количество запасных нейтральных липидов (НЛ) составило 0,5 мг/г сыр. м. (около 30% от суммы). Относительно высокое содержание НЛ по отношению к мембранным ФЛ и ГЛ может быть объяснено тем, что в состав НЛ входят кутикулярные воска и углеводороды, покрывающие листья и защищающие их от потерь воды в засушливых условиях, повреждающего действия ультрафиолетовых лучей, что характерно для большинства галофитов. Однако, в сравнении с близкородственным эугалофитом *S. salsa*, но обладающим С3-типом фотосинтеза содержание ФЛ в клетках листьев у *S. eltonica* примерно в 2 раза ниже [12].

Важной характеристикой, влияющей на процесс адаптации организма к условиям среды, является состав жирных кислот (ЖК) липидов. Ведущая роль в запуске адаптационных механизмов отводится физическому состоянию мембран, зависящему от степени ненасыщенности ЖК в мембранных липидах. Для нормального рабочего состояния клеточные мембраны должны иметь хотя бы одну двойную связь [7]. В липидах листьев *S. eltonica* доля ненасыщенных ЖК составила почти 70% от суммы, из которых 6,5% составляли моноеновые ЖК, 21,9% – диеновые и 41,2% – полиеновые (таблица). В целом состав ЖК *S. eltonica* не имеет отличий от исследованных ранее растений рода *Suaeda* [12, 23].

Еще одной важнейшей группой биополимеров являются белки, осуществляющие каталитические и структурные функции в организме. Белки входят в состав мембран, клеточных стенок, рибосом и др. Водорастворимым белкам (ВБ) принадлежит важная защитная роль в клетках растений – при засолении корневой среды они повышают устойчивость протоплазмы, способствуют повышению водоудерживающей способности клеток и связыванию в них воды. Как отмечают Орлова Н.В. с соавторами (2007), увеличение концентрации водорастворимых солей в почве способствует накоплению в корнях белка у галофитов [13]. Ранее установлено, что количество мембранных липидов (МБ) в клетках листьев эугаллофитов - однолетников также положительно коррелирует с повышением уровня засоления почвы [15]. Содержание ВБ было в листьях *S. eltonica* в два раза больше, чем МБ (5,4 и 2,8, мг/г сыр. м., соответственно) (рисунок, В). Такое соотношение характерно для эугаллофитов (*Salicornia perennans*, *S. salsa*), в отличие от солевывделяющих криногаллофитов (*Limonium Gmelinii*) и соленапроницаемых гликогаллофитов (*Artemisia santonica*), для которых характерны более высокие значения – от 3 до 9 [15]. Массовое соотношение белки/липиды/пигменты, в листьях *S. eltonica* составило 20/4/1.

Таким образом, в условиях Приэльтона растения *S. eltonica* приурочены к произрастанию на сильно засоленных и увлажненных почвах. По содержанию пигментов, белков, ЖК, липидов, выделенных из нативных тканей листьев *S. eltonica*, соответствует растениям, произрастающим в районах с засушливым климатом и засоленными почвами. Более низкое содержание ФЛ у *S. eltonica* в сравнении с другими видами рода *Suaeda* может указывать на различия в структурной организации разного типа клеток С4 растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Атлас почв СССР / под ред. И.С. Кауричева, И.Д.

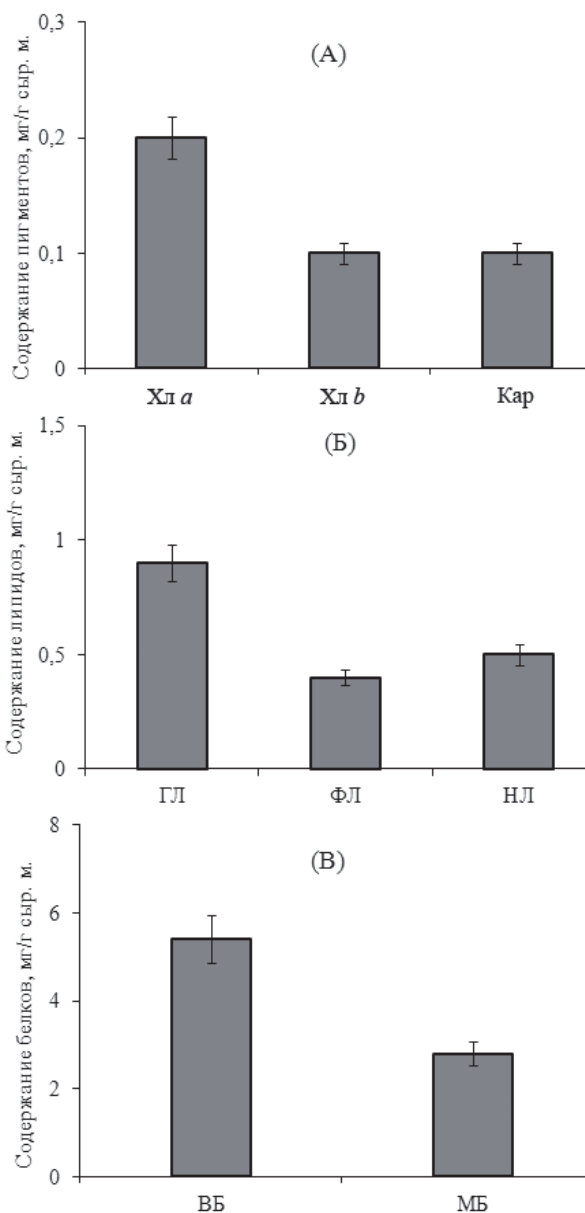


Рисунок. Содержание пигментов (А), липидов (Б) и белков (В) в клетках листьев *S. eltonica*

Громыко. М.: Колос, 1974. 168 с.

3. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: «Академия», 2003. 256 с.
4. Гамалей Ю.В., Вознесенская Е.В. Структурно-биохимические типы С4-растений // Ботан. журн. 1986. Т. 33. № 4. С. 802–816.
5. Генкель П.А. Физиология жароо и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982. 280 с.
6. Ломоносова М.Н., Фрайтаг Г. Род *Suaeda* (Chenopodiaceae) в Азиатской России // Растительный мир Азиатской России. 2008. № 2. С. 12–19.
7. Лось Д.А. Десатуразы жирных кислот. М.: Научный мир, 2014. 372 с.
8. Лысенко Т.М. Растительные сообщества засоленных почв озера Эльтон и его окрестностей (Волгоградская область) // Самарская Лука. 2008. Т. 17. № 1(23). С. 98–104.
9. Мерзляк М.Н. Пигменты, оптика листа и состояние растений // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 4. С. 19–24.
10. Монилов С. Н., Судаков А. В. Историко-географиче-

Таблица. Состав ЖК липидов клеток листьев *S. eltonica*

ЖК	Значение, % от суммы ЖК
C 12:0	0,2±0
C 14:0	1,1±0,1
C 15:0	0,1±0
C 15:1	0,2±0
C 16:0	23,7±0,5
C 16:1	2,0±0,1
C 17:0	0,2±0
C 18:0	3,0±0,1
C 18:1	4,3±0,3
C 18:2	21,6±0,7
C 18:3	40,2±3,1
C 20:0	0,8±0
C 22:0	0,8±0,1
C 20:5	1,0±0,1
C 22:2	0,3±0
C 24:0	0,5±0,1
Моноеновые ЖК	6,5±0,4
Диеновые ЖК	21,9±0,7
Полиеновые ЖК	41,2±3,2

- ская уникальность озера Эльтон // Псковский региональный журнал. 2011. № 12. С. 113–126.
11. Невский С.А., Давиденко О.Н., Пискунов В.В., Давиденко Т.Н. Растительные комплексы побережий солоноватых озервосточной части Саратовского Заволжья // Изв. Сам. н. ц. РАН. 2012. Т. 14. № 1 (4). С. 1077–1079.
 12. Нестеров В.Н., Розенцвет О.А., Богданова Е.С. Влияние абиотических факторов на состав липидов мембран галофитного растения *Suaeda salsa* // Доклады по экологическому почвоведению. 2013. Вып. 18. № 1. С. 56–67.
 13. Орлова Н.В., Кусакина М.Г., Сучкова Н.В. Зависимость содержания водорастворимых белков в органах галофитов от уровня засоления почвы // Вестник Пермского Университета. 2007. Вып. 5 (10). С. 31–34.
 14. Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С. Структурно-функциональная характеристика фотосинтетического аппарата галофитов, отличающихся по типу накопления солей // Изв. Сам. НЦ РАН. 2013. Т.15. № 3 (7). С. 2189–2195.
 15. Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С. Состав мембран дикорастущих галофитов с различными механизмами регуляции солевого обмена в зависимости от абиотических факторов среды. // Биологические мембраны. 2014. Т.31. № 2. С. 137–146.
 16. Сагалаев В.А. Эндемизм аридной флоры степей и пустынь юго-востока Европейской России // Известия ВГПУ. Биология. 2005. № 4. С. 79–88.
 17. Самборский Ю.П., Брылев В.А., Анисимов А.А. Ресурсы поверхностных вод // Природные условия и ресурсы Волгоградской области. Волгоград: Перемена, 1995. С. 133–156.
 18. Фелалиев Р.С. Оптические свойства и содержание пигментов в листьях растений в зависимости от экологических факторов высокогорья Памира // Дисс. кан. биол. наук. Душанбе, 2008. 126 с.
 19. Флора СССР / под ред. В.Л. Комарова. 1936. Т. 6. 956 с.
 20. Brix H. Chlorophylls and carotenoids in plant material // Protokol Plants Chlorophyll a b carotenoids ethanol. 2009. P. 1–3.

21. Dehghani M., Akhani H. Pollen morphological studies in subfamily Suaedoideae (Chenopodiaceae) // Grana. 2009. V. 48. P. 79–101.
22. Koteyeva N.K., Voznesenskaya E.V., Berry J.O., Chuong S.D.X., Franceschi V.R., Edwards G.E. Development of structural and biochemical characteristics of C4 photosynthesis in two types of Kranz anatomy in genus Suaeda (family Chenopodiaceae) // Journal of Experimental Botany. 2011. V. 62. № 9. P. 3197–3212.
23. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. Membrane-forming lipids of wild halophytes growing under the conditions of Prieltonie of South Russia // Phytochemistry. 2014. № 105. P. 37–42.
24. Voznesenskaya E.V., Chuong S.D.X., Koteyeva N.K., Franceschi V.R., Freitag H., Edwards G.E. Structural, Biochemical, and Physiological Characterization of C4 Photosynthesis in Species Having Two Vastly Different Types of Kranz Anatomy in Genus Suaeda (Chenopodiaceae) // Plant biology. 2007. V. 9. P. 745–757.

ECOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *SUAEDA ELTONICA* ILJIN IN THE CONDITIONS OF THE PRIELTONYE

© 2015 V.N. Nesterov, O.A. Rozentsvet, E.S. Bogdanova

Institute of Ecology of the Volga Pool, Russian Academy of Sciences, Toljatti

Study the ecological, physiological and biochemical characteristics of endemic species of the *Suaeda eltonica* Iljin of flora Prieltonya. It is established the quantitative values of salinity, humidity and pH of the soil in the locus of *S. eltonica*. It was found that the content of pigments, proteins, lipids and fatty acids, with the exception of phospholipids, of *Suaeda eltonica* corresponds to a plant that grows in areas with an arid climate with a high degree of illumination and saline soils. Hypothetically a lower content of phospholipids of *S. eltonica* in comparison with the other species of halophytes and the genus of Suaeda can indicate differences in the structural organization of various types of cells of C4-plants.

Keywords: *Suaeda eltonica*, lipids, proteins, pigments, endemic species

Viktor Nesterov, Candidate of Biology.

E-mail: nesvik1@mail.ru

Olga Rozentsvet, Doctor of Biology.

E-mail: olgarozen55@mail.ru

Elena Bogdanova, Candidate of Biology.

E-mail: cornales@mail.ru