

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТЕНИЙ *NASTURTIIUM OFFICINALE* R. BR. ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПРИМЕНительно К УСЛОВИЯМ ЗАМКНУТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

А.М. Павлова^{1,2}, А.А. Тихомиров¹, Н.А. Гаевский², Т.И. Голованова²,
Н.А. Тихомирова¹, С.А. Ушакова¹, И.В. Грибовская¹

¹Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия, Okcy92@mail.ru

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия, nikgna@gmail.com

Аннотация. В работе изучены продукционные и морфологические характеристики растений *Nasturtium officinale* R. Br., выращенных на искусственном питательном растворе при засолении NaCl 0,7 г/л и 1,4 г/л. С увеличением засоления уменьшается количество побегов и листьев, сырая и сухая биомассы растений, содержание желтых и зеленых пигментов. Наиболее высокое содержание натрия в расчете на сухую съедобную биомассу имеют растения с засолением 1,4 г/л.

Ключевые слова: водяной кресс-салат, замкнутые экосистемы, засоление

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-595-598

Важной частью замкнутых экологических систем (ЗЭС) является фототрофное звено, а именно растения, которые выделяют кислород и служат источником растительной пищи, утилизируют жидкие и твердые продукты жизнедеятельности человека [Gitelson et al., 2003]. Для повышения замкнутости массообменных процессов в ЗЭС необходима эффективная оптимизация минерального питания. В настоящее время разработанный в Институте биофизики СО РАН метод «мокрого сжигания» органических отходов, обеспечивает растения минерализованным раствором. Однако побочным продуктом метода являются тупиковые отходы, в виде NaCl. Для утилизации NaCl из минерализованных экзометаболитов ранее было предложено растение-галофит солерос европейский (*Salicornia europaea* L.), который способен к аккумуляции NaCl в большом количестве и имеет высокую продуктивность [Тихомирова, 2006; Тихомирова и др., 2016]. Для более разнопланового рациона питания человека и для утилизации NaCl из питательного раствора из группы солеустойчивых культур были отобраны растения водяного кресс-салата (*Nasturtium officinale* R. Br.) [Павлова и др., 2017]. Водяной кресс-салат является гликофитом, при этом может выдерживать засоление до 150 мМ NaCl [Kaddour, 2013]. Рядом авторов была изучена питательная ценность растений *Nasturtium officinale*. Данный вид растения богат многими веществами: железом, фосфором, калием, азотистыми маслами, витаминами А, В, С, О, Е, К, гликозидами [Hecht et al., 1995, 1999], глюконастурцинами, сапонидами, алкалоидами, углеводами (3-4%) [Дудченко, 1989], а также обладает противоопухолевым действием [Palanisvamy et al., 2003]. Важно отметить, что влияние различных уровней засоления на морфологические и продукционные характеристики водяного кресс-салата мало изучены в ЗЭС.

На основании выше изложенного, целью данного исследования являлось изучение морфологических и продукционных характеристик растений водяного кресс-салата (*Nasturtium officinale* R. Br.) при солевом стрессе.

Растения выращивали в вегетационной камере при температуре воздуха 24±1 °С. Освещение – круглосуточное. Источником освещения являлись металлогалогенные

лампы ДМЗ-3000. Мощность светового потока составляла $690 \text{ мкмоль} \times \text{м}^{-2} \times \text{с}^{-1}$. Растения водяного кресс-салата выращивали методом водной культуры в 2,5-литровых сосудах из нержавеющей стали с посевной площадью $0,032 \text{ м}^2$. Плотность посадки – 3 растения на сосуд. В качестве питательного раствора использовали контрольный модельный раствор, имитирующий минеральный состав раствора с добавлением минерализованных органических отходов человека. Состав минеральных элементов, входящих в модельный раствор, представлен в таблице.

Таблица.

Минеральный состав модельного раствора, имитирующий минеральный состав раствора с добавлением минерализованных органических отходов человека, использованного для культивирования *Nasturtium officinale* R. Br. (мг/л)

Ca	K	Mg	Na	P	S	N
229	216	41	263	41	86	150

В опытных вариантах концентрация NaCl составляла 0,7 г/л и 1,4 г/л. Питательные растворы постоянно обогащали кислородом посредством непрерывной аэрации с помощью компрессоров для аквариума. Исходный объем модельного раствора составлял 2 л. По мере испарения воды в сосуды для выращивания водяного кресс-салата добавляли отстоянную водопроводную воду. Модельный раствор еженедельно заменяли на свежеприготовленный. Уборку растений водяного кресс-салата проводили в возрасте 19 суток. Минеральные элементы определяли с помощью: K, Na-метода пламенной фотометрии на приборе Flapho-4 [Полуэктов, 1959]; Ca, Mg – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре AAS-IN [Славин, 1971]; N – методом фотоколориметрии по Кьельдалю [Плешков, 1976]; P – методом фотоколориметрии [Плешкова, 1961]; S – методом титриметрии [Кузнецов, 1968]. Определение содержания хлорофиллов и каротиноидов проводилось спектрофотометрическим способом на спектрофотометре Unico, модели UV-2804. Расчет концентрации пигментов (мг/л) проводился по формулам, представленным в работе [Гавриленко и др., 1975].

В качестве морфофизиологических характеристик оценивали количество листьев и побегов растений на 8, 15, 17 и 19 сутки вегетации.

Продукционные характеристики оценивали по сырой и сухой биомассе надземной и корневой систем растений, по скорости прироста общей сырой биомассы, по пигментному, минеральному составу.

Биологическая повторность представляла собой измерения, проведенные на группе из 3 растений из одного сосуда. Достоверность различий между средними определяли по *t*-критерию Стьюдента при уровне значимости $p < 0.05$ [Лакин, 1973].

В результате культивирования растений водяного кресс-салата были получены данные по морфофизиологическим показателям и продукционным характеристикам растений. Наибольшую сухую массу съедобной надземной части и корневой системы имели растения контрольного варианта. При увеличении концентрации NaCl до 0,7 г/л и до 1,4 г/л в модельных растворах наблюдали снижение сухой надземной биомассы растений водяного кресс-салата практически в 4 раза по сравнению с контролем. Достоверных различий между опытными вариантами не наблюдали. Абсолютная скорость накопления сырой биомассы водяного кресс-салата была выше у контрольного варианта по сравнению с вариантами с засолением 0,7 г/л и 1,4 г/л NaCl. Ингибирующее действие солей проявилось также по накоплению фотосинтетических пигментов растений, как хлорофилла *a*, так и хлорофилла *b* и их суммы. Одновременно регистрировали увеличение отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам в вариантах с засолением NaCl по сравнению с контролем, достоверных различий в соотношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* не обнаружили.



Рисунок. Внешний вид растений водяного кресс-салата, выращенных на модельном растворе при разных уровнях засоления: А – контрольный вариант, Б – вариант с засолением 0,7 г/л NaCl, В – вариант с засолением 1,4 г/л NaCl.

Анализ минерального состава съедобной части растений показал, что в опытных вариантах содержание Na увеличивалась по сравнению с контрольным вариантом в 7 и 10 раз, соответственно.

В контрольном варианте происходило накопление Ca, K, Mg и S. Между опытными вариантами не было достоверных отличий в относительном содержании Ca, K, Mg и S. Между контрольным и опытными вариантами достоверных различий в накоплении общего N и P в надземной биомассе растений обнаружить не удалось. Негативное влияние засоления на растения водяного кресс-салата выявили при анализе морфофизиологических параметров. Количество листьев и побегов растений уменьшалось с увеличением засоления, начиная с 8 до 19 суток. Наблюдали мелколистность у растений при засолении 0,7 г/л и 1,4 г/л, вероятно, данный феномен связан с недостатком питательных элементов [Беляева и др., 2002] из-за повреждения мембраны корней растений [Касумов, 1983].

Исследования показали, что в замкнутой экологической системе растения *Nasturtium officinale* R. Br. можно выращивать методом водной культуры. Согласно полученным экспериментальным данным, наиболее высокое содержание натрия в расчете на сухую съедобную биомассу имеют растения с засолением 1,4 г/л. При выращивании на контрольном модельном растворе, имитирующем раствор с добавлением минерализованных органических отходов человека без засоления NaCl растения *Nasturtium officinale* R. Br. имеют наиболее высокую сырую и сухую биомассы, количество листьев и побегов, а также содержание зеленых и желтых пигментов.

Литература

Беляева И.С., Саяев Р.К., Сабирова Р.Н. Получение высоких урожаев экологически чистой продукции при помощи оптимизации минерального питания растений. – Иркутск: Оттиск, 2002. – 144 с.

Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. – Москва: Высшая школа, 1975. – 392 с.

Дудченко Л.Г., Козьяков А.С., Кривенко В.В. Пряно-ароматические и пряно-вкусовые растения: Справочник. – Киев: Наукова думка, 1989. – 304 с.

Касумов Н.А. Физиолого-биологические аспекты механизма действия солей на растительный организм. – Баку: Элм, 1983. – 142 с.

Кузнецов В.И. Басаргин Н.Н., Мясищева Л.Г. Усовершенствование метода определения серы в растительных объектах по Шенигеру // Агрохимия. – 1968. – № 3. – С. 134-137.

- Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для вузов. – Москва: Высшая школа, 1973. – 344 с.
- Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. – Москва: Колос, 1976. – 256 с.
- Пешкова В.М., Громова М.И. Практическое руководство по спектрофотометрии и колориметрии. – Москва: МГУ, 1961. – 173 с.
- Полуэктов Н.С. Методы анализа по фотометрии пламени. – Москва: Химия, 1959. – 230 с.
- Славин У. Атомно-абсорбционная спектроскопия. – Ленинград: Химия, 1971. – 296 с.
- Тихомирова Н.А. Влияние внешних факторов среды на газообмен и продуктивность растений *Salicornia europaea* L. Как возможной составной части фототрофного звена системы жизнеобеспечения: дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2006. – 126 с.
- Тихомирова Н.А. Ушакова С.А. Шклавцова Е.С. Влияние интенсивности ФАР и концентрации NaCl на рост растений Солероса европейского применительно к искусственным экологическим системам // Физиология растений. – 2016. – Т. 63, № 4. – С. 1–10.
- Gitelson J.I., Lisovsky G.M., MacElroy R.D. Manmade closed ecological systems. – London, New York: Taylor & Francis. – 2003. – 402 p.
- Hecht S.S., Chung F.L., Richie J.P., Akerkar S.A., Borukhova A., Skowronski L., Carmella S.G. Effects of watercress consumption on metabolism of a tobacco-specific lung carcinogen in smokers // Cancer epidemiology biomarkers prevention. – 1995. – No. 4. – P. 877–884.
- Hecht S.S., Carmella S.G., Murph S.E. Effects of watercress consumption on urinary metabolites of nicotine in smokers // Cancer epidemiology biomarkers prevention. – 1999. – No. 8. – P. 907–913.
- Kaddour R. Assessment of salt tolerance of *Nasturtium officinale* R. Br. using physiological and biochemical parameters // Acta physiology plant. – 2013. – V. 35. – P. 3427–3436.
- Palaniswamy U.R., Mcavoy R.J., Bible B.B., Stuart J.D. Ontogenic variations of ascorbic acid and phenethyl isothiocyanate concentrations in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) leaves // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2003. – V. 51. – P. 5504–5509.

MORPHOLOGICAL AND PRODUCTION CHARACTERISTICS OF *NASTURTIIUM OFFICINALE* R. BR. PLANTS AT DIFFERENT SALINIZATION LEVELS CONCERNING CLOSED ECOSYSTEM'S CONDITIONS

A.V. Pavlova^{1, 2}, A.A. Tikhomirov¹, N.A. Gayevsky², T.I. Golovanova²,
N.A. Tikhomirova¹, S.A. Ushakova¹, I.V. Gribovskaya¹

¹Institute of Biophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia, Okcy92@mail.ru

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Siberian federal University, Krasnoyarsk, Russia, nikgna@gmail.com

Abstract. Production and morphological characteristics of *Nasturtium officinale* R. Br. plants cultivated on artificial nutrient solution at NaCl salinization of 0.7 g/l and 1.4 g/l have been studied. As the salinization increases, so the amount of sprouts and leaves as well as wet and dry mass, yellow and green pigments' content decreases. The plants with salinization of 1.4 g/l have the highest sodium content per dry edible biomass.

Keywords: watercress, closed ecosystems, salinization