Оригинальная статья

УДК 581.5

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ НА ОВОДНЕННОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ *SEDUM HYBR*IDUM L. (AIZOPSIS HYBRIDA(L.) GRULICH)

***Терлецкая Н.В.[1,2], Кобылина Т.Н.[1,2], Кенжебаева Ж.А.[1]**

[1]*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

пр. аль-Фараби, 71, г. Алматы, 050040, Казахстан

[2]*Институт генетики и физиологии,*

пр.аль-Фараби, 93, г. Алматы, 050040, Казахстан

*teni02@mail.ru

АБСТРАКТ

Род *Sedum* (сем. *Crassulaceae*) – суккуленты, приспособленные к недостатку влаги. Описываются морфофизиологические реакции имматурных растений *Sedum hybridum* L. (*Aizopsis hybrid* (L.) Grulich) на стрессовые условия водного дефицита, засоления и низких положительных температур. Показана высокая устойчивость растений к изучаемым стрессовым воздействиям. Отмечена тенденция динамики наибольшей влагопотери растениями контрольной группы и наименьшей – растениями, культивировавшимися при PEG-6000 в концентрации 200 ммоль/л, что свидетельствует об адаптационном влиянии данного уровня осмотического стресса на растения *Sedum hybridum*. Чтобы получить полностью сухую массу *Sedum hybridum* для различных физиологических экспериментов, необходимо выдерживать растительный материал при температуре 105° С в течение не менее 40 часов.

Ключевые слова: *Sedum hybridum*, водный дефицит, засоление, холодовой стресс, влагопотеря, адаптация

ВВЕДЕНИЕ

Литературные данные свидетельствуют о катастрофическом влиянии изменения климата на Земле, ведущей к возможной деградации и опустыниванию

более 90% территорий уже к 2050 году, что свидетельствует о глобальности и серьезности данной экологической катастрофы [1]. Засушливость климата негативно отражается на многих метаболических процессах в растениях [2]. В этом контексте вызывает интерес влияние засухи на растения, приспособленные к недостатку влаги, в частности, суккуленты. Казахстан располагает значительными запасами таких лекарственных растений, как очитки и псевдоочитки, которые, являясь суккулентами, способны расти в аридных регионах и выдерживают существенное воздействие абиотических стрессовых факторов. К этой группе растений относится и род *Sedum* семейства Толстянковых (*Crassulaceae*), включающий до 600 видов.

Любое стрессовое действие может быть толчком к выходу растительного организма из состояния динамического равновесия, в котором он пребывает. Возникает сложный комплекс реакций, главная задача которых − сохранить жизнеспособность и приспособить растение к изменившимся условиям. В процессе адаптации организм может перестраиваться, выходить на новый гомеостатический уровень, активировать одни физиологические системы, замедлять другие. Понимание процессов реакции растений на действие экстремальных температур, водный дефицит и токсическое действие почвенных солей имеет решающее значение для прогнозирования последствий изменения климата для продуктивности основных сельскохозяйственных культур и функционирования экосистем [3].

Для большинства растений изменение отдельного фактора окружающей среды может изменить содержание вторичных метаболитов, даже если другие факторы остаются неизменными [4-6].

Род *Sedum* объединяет растения, устойчивые к засухе, но их рост и выживаемость в условиях водного дефицита до сих пор еще мало изучены. Исследования роста и выживания *Sedum* в условиях засоления и низких температур также очень немногочисленны. Тем не менее, анализ влияния абиотических стрессов на морфофизиологические параметры и состав биологически активных веществ органов *Sedum hybridum*, будет способствовать выявлению новые пути рационального использования имеющегося генофонда и оптимизировать возможности получения новых отечественных фитопрепаратов.

Целью данной работы было изучение влияния водного дефицита, засоления и низких положительных температур на выживаемость, рост и содержание воды в листостебельной части имматурных растений *Sedum hybridum* L. (*Aizopsis hybrid* (L.) Grulich).

Материалы и методы

Материалом служили имматурные растения *Sedum hybridum,* отобранные из природных популяций Заилийского Алатау.

Для эксперимента растения были перенесены на водную культуру и разделены на шесть групп: 1- контрольная группа выращивалась при температуре 26 ± 3°С днем и 20 ± 3°С ночью, со средней влажностью воздуха 37% и

оптимальным поливом (до 60% от полной влагоемкости); 2- группа, подвергшаяся внезапному воздействию холода +3°С в холодильнике с освещением («Polair», Москва, Россия) при циркадном освещении (с использованием коммерческих люминесцентных ламп белого света): режим 16 ч света / 8 ч темноты [200 мкмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ PAR, люксметр LI-205 (Li-Cor, Lincoln, NE, USA)]), 3- две группы, испытывающие разный уровень водного дефицита (растворы PEG-6000 в концентрациях 200 (1) и 300 (2) мМоль/л) и 4- две группы, испытывающие разный уровень солевого стресса (растворы NaCl в концентрациях 200 и 300 ммоль/л). Продолжительность стрессового воздействия составила 72 часа.

Ростовые параметры определяли измерениями до и на третьи сутки после начала стрессового воздействия [7].

В последующем анализировали продолжительность удержания влаги растениями каждой группы при сушке в динамике и определяли необходимый временной интервал для получения абсолютно сухой биомассы. Растения взвешивали на электронных весах с максимальным весом до 100 г при погрешности, равной 0,001 г («KERN EBM 100-3», Баленгер, Германия).

После первого взвешивания растения были запечатаны в конверты из крафтовой бумаги и помещены в сушильный шкаф при температуре 105°С до полного высушивания растительного материала («ШС-80-01 СПУ», Смоленск, Россия).

Содержание воды в растительных тканях (WC)растения рассчитывали по формуле:

$$WC = ((а - б) / а) \times 100\%$$

где *а* − начальная масса, мг; *б* − масса после высушивания при 105°С, мг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Краткая ботаническая характеристика *Sedum hybridum* L. (*Aizopsis hybrid* (L.) Grulich). *Sedum hybridum* − это многолетнее травянистое растение, образующее низкие коврики 8-15 см высотой, с длинным, ветвистым, деревянистым, ползучим корневищем и тонкими корнями. Стебли длиной от 15 до 20см, не отмирающие, ветвистые, ползучие, стелющиеся и укореняющиеся, бесплодные побеги короткие, густо облиственные. Листья очередные от 1,5 до 2,5 см длиной и от 0,7 до 2 см шириной, лопатчато-эллиптические, постепенно суженные в длинный, клиновидный, цельнокрайний черешок, на верхушке туповатые, по краю тупозубчатые, голые. Соцветие верхушечное зонтиковидное состоящее из нескольких завитков. Цветки 5-мерные. Чашелистики бледно-зеленые, длиной до 3 мм, ланцетовидные, туповатые, при основании сросшиеся. Лепестки желтые, длиной около 6 мм и шириной до 1,5 мм, эллиптически-ланцетовидные, острые, отогнутые. Тычинки супротивные лепесткам, короче их,

пыльники оранжевые. Подпестичные чешуйки очень короткие, на верхушке тупо обрезанные. Листовки длиной до 7-8 мм, эллиптические, выпуклые на брюшной стороне, при основании на 1/3сросшиеся, зеленые, на верхушке красноватые. Семена длиной до 1 мм, эллиптические, тупые, многочисленные. Цветет с июня, плодоносит в июле − августе. Зимостойкий и засухоустойчивый, сравнительно медленно разрастающийся очиток, не требовательный к почве, предпочитающий бедные и супесные. Вегетативные побеги зимуют с листьями [8].

В Казахстане встречается в Тоболо-Ишимской низменности, Кокчетавском, Тургайском регионах, Мугоджарах, Западном мелкосопочнике, Улутау, Каркаре, Зайсане, на Алтае и Тарбагатае, Джунгарском, Заилийском, Киргизском, Кунгей и Терскей Алатау, хр. Кетмень, Чу-Илийских горах, Каратау.

Изучение влияния абиотических стрессовых факторов на морфофизиологические параметры растений *Sedum hybridum*. Сравнение имматурных растений суккулента *Sedum hybridum* в стрессовых и контрольных условиях показало отсутствие существенных различий у стрессированных растений по сравнению с контрольными как по их биомассе, так и по содержанию воды в растительных тканях, которое составило 99.5 – 99.6% во всех вариантах опыта (Таблица 1).

Таблица 1. Биомасса растений и содержание воды в растительных тканях, накопления биомассы и содержания воды в растительных тканях у растений *Sedum hybridum* в контрольных и стрессовых условиях

Условия культивирования	Средняя биомасса 1 растения, г	Среднее содержание воды в растительных тканях, %
контроль	0,46 ± 0,02	99,6
PEG-6000 200 мМоль /л	0,47 ± 0,01	99,5
PEG-6000 300 мМоль /л	0,48 ± 0,01	99,5
NaCl 200 мМоль /л	0,46 ± 0,01	99,6
NaCl 300 мМоль /л	0,45 ± 0,02	99,6
холод $+3^0$ С	0,46 ± 0,02	99,6

Однако, были отмечены различия в динамике влагопотери при высушивании среди растений анализируемых вариантов (рисунок 1).

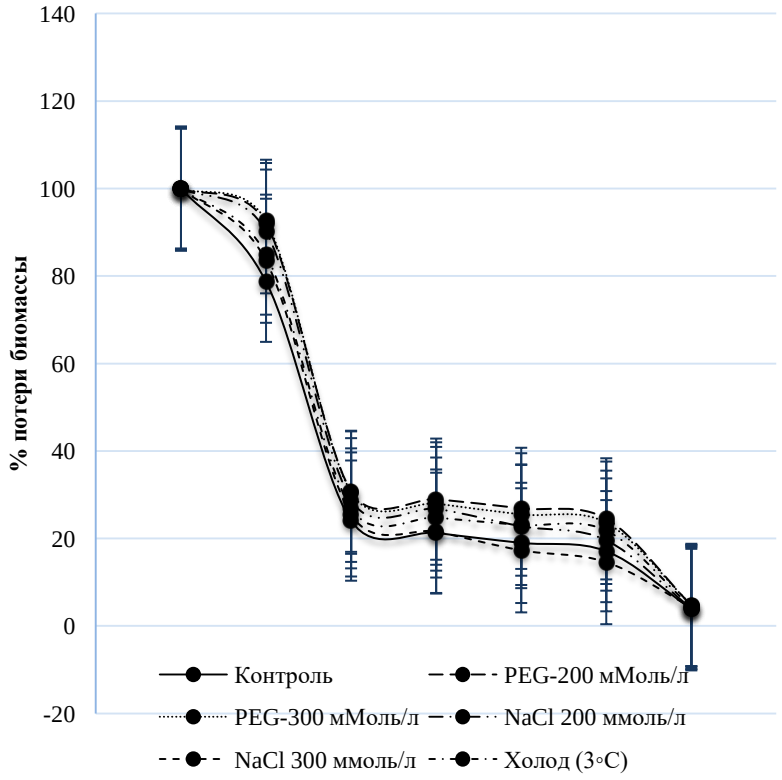

Рис. 1. Динамика влагопотери при высушивании у растений *Sedum hybridum,* культивировавшихся в контрольных и стрессовых условиях (шаг = 5 ч)

Как следует из даных, представленных на рисунке 1, в течение первых 5 часов высушивания при 105^0С растения теряли от 7,4 до 19,5% влаги от исходного содержания. Через 10 влагопотеря составила от 69,1 до 75,9%, через 15 часов − от 70,8 до 81,0%, и через 40 часов была достигнута максимальная влагопотеря как в контрольных, так и в экспериментальных растениях.

При этом в динамике сохранялась тенденция наибольшей влагопотери растениями контрольной группы и наименьшей – растениями, культивировавшимися при PEG-6000, особенно в концентрации этого стресс-агента 200 ммоль/л.

Влагопотеря растений, подвергнутых солевому стрессу, значительно увеличивается с увеличением уровня стресса. Как следует из данных, представленных на рисунке 1, после 20 часов эксперимента влагопотеря растений, подвергнутых сильному солевому стрессу (NaCl 300 мМоль/л), резко усилилась. Влагопотеря при высушивании растений, подвергнутых низкотемпературному стрессу, имела средние значения по отношению к остальным стрессоым воздействиям.

Выявлено, что для получения абсолютно сухой биомассы *Sedum hybridum* необходимо выдерживание растений в сушильном шкафу при температуре 105^0С в течение 40 часов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Все растения на протяжении своего жизненного цикла подвергаются множеству стрессов. В зависимости от вида растения и источника стресса растение будет реагировать по-разному. В жарком и сухом климате суккулент *Sedum* является одним из самых приспособленных почвопокровных растений. Это многолетнее растение, которое растет за счет естественной влажности даже при небольшом количестве почвы [9].

Эволюционные (филогенетические) адаптации суккулентов к водному дефициту шли по пути формирования различных механизмов, в том числе: поддержание необходимой для нормальной жизнедеятельности оводненности тканей; развитие приспособлений для нормального течения метаболизма в условиях дегидратации; эффективное восстановление (репарация) клеточных структур и функций в условиях оптимального увлажнения после сильного обезвоживания.

Растения *Sedum* с толстыми мясистыми тканями, имеющими большой запас воды, обладают характерными для суккулентов «противопожарными» характеристиками. Когда растения испытывают водный дефицит, вода перемещается от старых листьев к более молодым частям побегов, которые, таким образом, сохраняют тургор, в то время как старые листья отмирают. Для контроля потери воды они использует скрытую теплопередачу. Исследования, которые изучают точку влажности, препятствующую росту, *Sedum* немногочисленны, и его рост подтвержден для количества pF 3.0 и даже более низкого содержания влаги [10, 11].

По сравнению с другими растениями, *Sedum* в дневное время имеет низкую транспирацию. [12, 13]. Низкие значения транспирации в дневное время связаны с CAM-типом фотосинтеза, характерным для *Sedum*. В периоды дефицита влаги в почве растения CAM держат устьица закрытыми в течение дня, когда скорость транспирации у растений C3 и C4-типа обычно высока, и открывают их в ночное время, при относительно низкой температуре, − обмен CO_2 у *Sedum* ночью происходит с большей скоростью транспирации по сравнению с дневным временем [14]. *Sedum* обладает свойством прекращать контроль транспиринга, а когда растение находится в условиях водного стресса, в ночное время поглощается углекислый газ, что характерно для некоторых крассулярных растений с метаболизмом крассуальной кислоты (CAM). Большая доля поглощения CO2 в ночное время связана с большей эффективностью использования воды. Это явление помогает *Sedum* экономить много воды и сохранять ее дольше. Поэтому для наземных видов растений CAM-тип фотосинтеза обычно рассматривается как приспособление к росту в засушливых средах [15]. Потери воды у растений CAM снижены таже за счет относительно малого количества устьиц и плотной устойчивости кутикулы [16-18]. Растения *Sedum hybridum,* в нашем эксперименте подвергнутые осмотическому стрессу (ПЭГ-6000 в концентрациях 200 и 300 мМоль/л), удерживали влагу при высушивании наиболее длительное время, с наименьшей влагопотерей при концентрации стресс-агента 200 ммоль/л. Это позволяет сделать вывод не только

о высокой устойчивости *Sedum* к осмотическому стрессу, но и об адаптационном влиянии данного уровня осмотического стресса на имматурные растения *Sedum hybridum*.

Существует общее мнение, что более высокая соленость серьезно ухудшает параметры роста растений [14]. При исследовании роста на фоне засоления, экспериментальными данными подтверждается, что растения *Sedum* могут переносить стресс из-за засоления и выживать, что также связано со способностью очитков сохранять воду в течение длительного времени. Закрытие устьиц помогает поддерживать достаточно высокий водный потенциал [19]. Однако засоление может повлиять на скорость эвапотранспирации и накопление биомассы растений, обнаружено, что величина эвапотранспирации обратно пропорциональна количеству солей в поливной воде. [14].

Однако Al-Busaidi et al. [14] отмечали, что пресная вода способствует процессу испарения больше, чем соленая, и максимальное суммарное испарение у растений *Sedum* происходит при поливе водой хорошего качества. А поскольку растения поглощают воду в засоленных условиях при более высоком давлении, потери воды из-за транспирации замедляются. Снижение биодоступности воды и задержка роста растений при орошении солевым раствором приводят к плохой эвапотранспирации. С другой стороны, присутствие солей в солевом орошении подавляет эвапотранспирацию и снижает потребление воды.

В других источниках сообщалось, что накопление соли в корневой зоне вызывает развитие осмотического стресса и замедляет развитие растений. Для растений *Sedum* уровень водного стресса увеличивается с повышением уровня солености [20, 21]. Стресс, вызванный концентрацией ионов, позволяет уменьшить градиент воды, затрудняя прохождение воды и питательных веществ через корневую мембрану, что, в свою очередь, вызывает метаболические дисфункции. Накопление солей в корневой зоне влияет на продуктивность растений за счет создания дефицита воды и нарушения ионного гомеостаза [22]. В литературе показано, что отношение сухого веса к весу свежего растения значительно увеличивается с увеличением уровня солевого стресса [23], что согласуется с данными нашего эксперимента.

Известно, что растения рода *Sedum* морозостойки и хорошо переносят низкие температуры [24]. Действие низкой положительной температуры не оказало критического воздействия на влагообеспеченность растений *Sedum* в нашем эксперименте, которые удерживали влагу на протяжении длительного времени при их высушивании.

ВЫВОДЫ

Растения *Sedum hybridum* характеризуются высокой устойчивостью к таим абиотическим стрессам, как водный дефицит, засоление и воздейтвие низких положительных температур.

Индуцированный осмотический стресс ПЭГ-6000 в концентрации 200 ммоль/л оказывает адаптационное влияние на иматурные растения *Sedum hybridum*.

Чтобы получить абсолютно сухую массу *Sedum hybridum* для различных физиологических экспериментов, необходимо выдерживать растительный материал при температуре 105˚С не менее 40 часов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2021-2022 гг. НТП «Разработка и применение новых геномных технологий защиты организмов от мутагенного влияния, повышения продуктивности природных ресурсов и улучшения качества жизни населения», раздел «Разработка методологии направленного повышения продуктивности растений флоры Казахстана как источников потенциально значимых биологически активных веществ и проведение фармакологического скрининга для создания новых фитопрепаратов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Biodiversity and Climate Change Transforming the Biosphere Foreword by Edward O. Wilson New Haven & London. - 2019. - Chapter II: What is Climate change? - P.14-15.

2. Terletskaya N.V., Korbozova N.K., Kudrina N.O., Kobylina T.N., Kurmanbayeva M.S., Meduntseva N.D., Tolstikova T.G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant Rhodiola semenowii Boriss // *Plants*.- 2021.- P.196. https://doi.org/10.3390/plants10061196

3. Atkin O., Macherel D. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance // Annals Botany. - 2009. - Vol. 103. - P. 581-597. https://doi.org/10.1093/aob/mcn094.

4. Jan R., Asaf S., Numan M., Lubna L., Kim K.-M. Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions // Agronomy. - 2021. - Vol. 11. – P. 968. https://doi.org/10.3390/agronomy11050968

5. Selmar D., Kleinwächter M. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: The impact of stress-related over reduction on the accumulation of natural products // Plant Cell Physiol. - 2013. - Vol. 54. - P. 817-826. https://doi.org/10.1093/pcp/pct054

6. Shulaev V., Cortes D., Miller G., Mittler R. Metabolomics for plant stress response // Physiol. Plant. - 2008. - Vol. 132. - P.199-208. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x.

7. Selmar D., Kleinwächter M., Abouzeid S., Yahyazadeh M., Nowak M. The Impact of Drought Stress on the Quality of Spice and Medicinal Plants. In Medicinal

Plants and Environmental Challenges; Ghorbanpour, M., Varma, A., Eds.; Springer: Cham, Switzerland. - 2017.

8. Бялт В.В. Семейство Толстянковые (Crassulaceae ST.-HIL.) в Крыму // Turczaninowia. - 2020. - Vol.23, №3. - P.158-184

9. Stephenson R. Sedum Cultivated Stonecrops. // Timber press, Inc., Oregon, USA. - 1994.

10. Moritani S., Yamamoto T., Andry H., Inoue M., Kaneuchi T. // Australian Journal of Soil Research. - 2010. - Vol. 48, № 1. - P. 36-42. https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A81826967&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=67faab06

11. Iijima K. About the Water Stress Reaction of the Sedum Belonging When Put under A Dry Condition // Landscape Res. - 1995. - Vol. 58, № 5. - P. 69-72.

12. Berghage R., Beattie D., Jarrett A., Rezaei F. Green Roof Plant Water Use. BerghageR., et al. Quantifying Evaporation and Transpirational Water Losses from Green Roofs and Green Roof Media Capacity for Neutralizing Acid Rain. The Pennsylvania State University, State College, PA. - 2007. - P. 18-38.

13. Sendo T., Inagaki N., Kanechi M., Uno Y. What Kind of Plant Species Are the Best for Urban Rooftop Gardening // Acta Hort.- 2007. – Vol. 762. - P. 333-339. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.762.31

14. Al-Busaidi A., Yamamoto T., Tanak S., Moritani S. Evapotranspiration of Succulent Plant (Sedum aizoonvar.floibundum), Evapotranspiration − An Overview, Stavros G. Alexandris, IntechOpen. -2013. https:// doi: 10.5772/53213.

15. Ting I.P. Crassulacean Acid Metabolism // Ann Rev Plant Physiol.- 1985. - Vol. 36. - P. 595-622.

16. Kluge M., Ting I. P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of An ecological Adaptation. Billings WD, Golley F, Lange OL, Olson JS. Ecological Studies: Analysis and Synthesis. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. - 1978.

17. Nobel P. S. Water Relations and Photosynthesis of A desert CAM Plant, Agave deserti // Plant Physiol. - 1976. - Vol. 58. - P. 576-582.

18. Osmond C. B. Crassulacean Acid Metabolism: A curiosity in Context // Ann Rev Plant Physiol. - 1978. - Vol. 29. - P. 379-414. https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.29.060178.002115

19. Steudle E., Smith J. A. C., Lfittge U. Water-Relation Parameters of Individual Mesophyll Cells of the Crassulacean Acid Metabolism Plant *Kalanchoë daigremontiana* // Plant Physiol.- 1980.- Vol. 66. - P. 1155-1163. https://doi.org/10.1104/pp.66.6.1155

20. Heakal M. S., Modaihsh A. S., Mashhady A. S., Metwally A. I. Combined Effects of Leaching Fraction Salinity and Potassium Content of Waters on Growth and Water Use Efficiency of Wheat and Barley // Plant and Soil. - 1990. -Vol. 125.- P. 177-184. https://doi.org/10.1007/BF00010655

21. Abdul K. S., Alkam F. M., Jamal M. A. Effects of Different Salinity Levels on Vegetative Growth, Yield and its Components in Barley // ZANCO. - 1988. -Vol. 1. - P. 21-32.

22. Munns R. Comparative Physiology of Salt and Water Stress // Plant Cell Environ. - 2002. - Vol. 25. P. 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

23. Volkmar K. M. Hu Y. Steppuhn H. Physiological Responses of Plants to Salinity: A review // Can. J. Plant Sci. - 1998. - Vol. 78, *№1*. - P. 19-27. https://doi.org/10.4141/P97-020

24. McDavid K. L., Sanford D. L., Berghage R. D. Effect of cold storage on the germination success of four stonecrop species // *Hort Technology*.- 2017.- Vol. *27, №* 3. - P. 354-357. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03587-16

REFERENCES

1. Biodiversity and Climate Change Transforming the Biosphere Foreword by Edward O. Wilson New Haven & London., 2019, Chapter II: What is Climate change? pp.14-15.

2. Terletskaya N.V., Korbozova N.K., Kudrina N.O., Kobylina T.N., Kurmanbayeva M.S., Meduntseva N.D., Tolstikova T.G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant Rhodiola semenowii Boriss. *Plants*, 2021, pp.196. https://doi.org/10.3390/plants10061196

3. Atkin O., Macherel D. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. *Annals Botany*., 2009, vol. 103, pp. 581-597. https://doi.org/10.1093/aob/mcn094.

4. Jan R., Asaf S., Numan M., Lubna L., Kim K.-M. Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 2021, vol. 11, pp. 968 https://doi.org/10.3390/agronomy11050968

5. Selmar D., Kleinwächter M. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: The impact of stress-related over reduction on the accumulation of natural products. *Plant Cell Physiol*., 2013, vol. 54, pp. 817-826. https://doi.org/10.1093/pcp/pct054

6. Shulaev V., Cortes D., Miller G., Mittler R. Metabolomics for plant stress response. *Physiol. Plant*., 2008, vol. 132, pp.199-208. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01025.x.

7. Selmar D., Kleinwächter M., Abouzeid S., Yahyazadeh M., Nowak M. The Impact of Drought Stress on the Quality of Spice and Medicinal Plants. In Medicinal

Plants and Environmental Challenges; Ghorbanpour, M., Varma, A., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017.

8. Bjalt V.V. Semejstvo Tolstjankovye (Crassulaceae ST.-HIL.) v Krymu. *Turczaninowia*, 2020, vol.23, no.3, pp.158-184

9. Stephenson R. Sedum Cultivated Stonecrops. Timber press, Inc., Oregon, USA, 1994.

10. Moritani S., Yamamoto T., Andry H., Inoue M., Kaneuchi T. *Australian Journal of Soil Research*, 2010, vol. 48, no. 1, pp. 36-42. https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A81826967&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=67faab06

11. Iijima K. About the Water Stress Reaction of the Sedum Belonging When Put under A Dry Condition. *Landscape Res*., 1995, vol. 58, no. 5, pp. 69-72.

12. Berghage R., Beattie D., Jarrett A., Rezaei F. Green Roof Plant Water Use. BerghageR., et al. Quantifying Evaporation and Transpirational Water Losses from Green Roofs and Green Roof Media Capacity for Neutralizing Acid Rain. The Pennsylvania State University, State College, PA, 2007, pp. 18-38.

13. Sendo T., Inagaki N., Kanechi M., Uno Y. What Kind of Plant Species Are the Best for Urban Rooftop Gardening. *Acta Hort*., 2007, vol. 762, pp. 333-339. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.762.31

14. Al-Busaidi A., Yamamoto T., Tanak S., Moritani S. Evapotranspiration of Succulent Plant (Sedum aizoonvar.floibundum), Evapotranspiration − An Overview, Stavros G. Alexandris, IntechOpen, 2013. https:// doi: 10.5772/53213.

15. Ting I.P. Crassulacean Acid Metabolism. *Ann Rev Plant Physiol*., 1985, vol. 36, pp. 595-622.

16. Kluge M., Ting I. P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of An ecological Adaptation. Billings WD, Golley F, Lange OL, Olson JS. Ecological Studies: Analysis and Synthesis. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1978.

17. Nobel P. S. Water Relations and Photosynthesis of A desert CAM Plant, Agave deserti. *Plant Physiol*., 1976, vol. 58, pp. 576-582.

18. Osmond C. B. Crassulacean Acid Metabolism: A curiosity in Context. *Ann Rev Plant Physiol*., 1978, vol. 29, pp. 379-414. https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.29.060178.002115

19. Steudle E., Smith J. A. C., Lfittge U. Water-Relation Parameters of Individual Mesophyll Cells of the Crassulacean Acid Metabolism Plant *Kalanchoë daigremontiana*. *Plant Physiol*., 1980, vol. 66, pp. 1155-1163. https://doi.org/10.1104/pp.66.6.1155

20. Heakal M. S., Modaihsh A. S., Mashhady A. S., Metwally A. I. Combined Effects of Leaching Fraction Salinity and Potassium Content of Waters on Growth and Water Use Efficiency of Wheat and Barley. *Plant and Soil*, 1990, vol. 125, pp. 177-184. https://doi.org/10.1007/BF00010655

21. Abdul K. S., Alkam F. M., Jamal M. A. Effects of Different Salinity Levels on Vegetative Growth, Yield and its Components in Barley. *ZANCO*, 1988, vol. 1, pp. 21-32.

22. Munns R. Comparative Physiology of Salt and Water Stress. *Plant Cell Environ.*, 2002, vol. 25, pp. 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

23. Volkmar K. M. Hu Y. Steppuhn H. Physiological Responses of Plants to Salinity: A review. *Can. J. Plant Sci*., 1998, vol. 78, *no.1, pp*. 19-27. https://doi.org/10.4141/P97-020

24. McDavid K. L., Sanford D. L., Berghage R. D. Effect of cold storage on the germination success of four stonecrop species. *Hort Technology*, 2017, vol. *27, no.* 3, pp. 354-357. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03587-16

АБИОТИКАЛЫҚ СТРЕСС ФАКТОРЛАРЫНЫҢ *SEDUM HYBR*IDUM L. (AIZOPSIS HYBRIDA(L.) GRULICH) ӨСІМДІК ТІНДЕРІНДЕГІ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫНА ӘСЕРІ

***Терлецкая Н.В.[1,2], Кобылина Т.Н.[1,2], Кенжебаева Ж.А.[1]**

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

әль-Фараби пр., 71, Алматы қ., 050040, Қазақстан

[2] Генетика және физиология институты,

әль-Фараби пр.,93 , Алматы қ., 050040, Қазақстан

**teni02@mail.ru*

ТҮЙІН

***Sedum* тұқымдасы (*Crassulaceae* тұқымдасы) - ылғалдың болмауына бейімделген суккуленттер. Су жетіспеушілігінің, тұзданудың және төмен оң температураның стресстік жағдайларына *Sedum hybridum* L. (Aizopsis hybrida (L.) Grulich) жетілмеген өсімдіктерінің морфофизиологиялық реакциясы сипатталған. Өсімдіктердің зерттелген стресске жоғары төзімділігі бар екендігі көрсетілген. Бақылау тобының өсімдіктері ылғалдың ең көп жоғалуының динамикасы және ең азы – 200 ммоль/л концентрациясында ПЭГ-6000-да өсірілетін өсімдіктер байқалды, бұл осмотикалық стресстің осы деңгейінің *Sedum hybridum* өсімдіктеріне бейімделгіш әсерін көрсетеді. Әр түрлі физиологиялық эксперименттерге арналған *Sedum hybridum* толық құрғақ массасын алу үшін өсімдік материалын кем дегенде 40 сағат 105° С температурада ұстау қажет болды.**

Негізгі сөздер: *Sedum hybridum*, су тапшылығы; суық стресс; су құрамы; бейімделу

INFLUENCE OF ABIOTIC STRESS FACTORS ON THE HYDRATION OF PLANT TISSUES OF *SEDUM HYBRIDUM* L. (*AIZOPSIS HYBRIDA* (L.) GRULICH)

***Terletskaya N.V.[1,2], Kobylina T.N.[1,2], Kenzhebayeva Zh.A.[1]**

[1]al-Farabi Kazakh National University,

71, al-Farabi ave., 050040, Almaty, Kazakhstan

[2] Institutes of Genetics and Physiology,

93, al-Farabi ave., 050040, Almaty, Kazakhstan

**teni02@mail.ru*

ABSTRACT

Genus *Sedum* (family *Crassulaceae*) - succulents adapted to lack of moisture. Morphophysiological reactions of immature *Sedum hybridum* L. (Aizopsis hybrida (L.) Grulich) plants to stressful conditions of water scarcity, salinization and low positive temperatures are described. The high resistance of plants to the studied stress effects is shown. The tendency of the dynamics of the highest moisture loss by plants of the control group and the lowest by plants cultivated at PEG–6000 at a concentration of 200 mmol/l was noted, which indicates the adaptive effect of this level of osmotic stress on *Sedum hybridum* plants. To obtain a completely dry *Sedum hybridum* mass for various physiological experiments, it is necessary to maintain the plant material at a temperature of 105° C, with at least 40 hours.

Keywords: *Sedum hybridum*, water deficit; cold stress; water loss; adaptation