

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДКОГО ВИДА *RUBUS CHAMAEMORUS* L. ФЛОРЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Марковская Е.Ф.¹, Шмакова Н.Ю.²

¹ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия, e-mail: volev10@mail.ru;

²ПАБСИ КНЦ РАН «Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского научного центра Российской академии наук», Кировск, Мурманской обл., Россия, e-mail: shmanatalya@yandex.ru

В работе представлены координаты и эколого-биологические особенности морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) в районе Грен-фьорда - находки редкого для флоры Шпицбергена вида. Описано местообитание ценопопуляции, морфологические особенности возрастного состояния особей, приведены биометрические характеристики ассимилирующих органов и дана оценка функциональной активности по данным флуоресценции. Растение имеет только вегетативные органы и находится в иматурном или виргинильном онтогенетическом возрастном состоянии. Самоподдержание исследованной популяции морошки происходит преимущественно за счет вегетативного размножения. Дана оценка функциональной активности фотосинтетического аппарата. Выявлено низкое содержание пигментов пластид в листьях *Rubus chamaemorus*, что, вероятно, связано с ингибированием синтеза пигментов у этого вида при низких температурах в условиях Арктики. На основании данных флуоресценции показаны низкие значения фотохимической активности ФСII, максимальной скорости транспорта электронов и высокие значения нефотохимического тушения. Сделан вывод, что пониженная функциональная активность ФА вида *Rubus chamaemorus* в вегетационный период в Арктике может обеспечить произрастание исследуемой ценопопуляции только в вегетативном состоянии, которое поддерживается не только за счет текущего фотосинтеза, но и запаса метаболитов, оттекающих в достаточно мощное корневище.

Ключевые слова: ценопопуляция, редкий вид, *Rubus chamaemorus*, Шпицберген, биометрия, возрастное состояние, параметры флуоресценции.

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL RESEARCH OF RARE SPECIES OF *RUBUS CHAMAEMORUS* L. IN FLORA OF WEST SVALBARD

Markovskaya E.F.¹, Shmakova N.Y.²

¹Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia, e-mail: volev10@mail.ru;

²Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Centre Russian Academy of Sciences, Kirovsk, Murmansk region, Russia, e-mail: shmanatalya@yandex.ru

The research work presents the findings of the coordinates and ecological and biological features of the rare flora species *Rubus chamaemorus* L. in Svalbard, district Grøn-fjord. The habitat of cenopopulation and morphological characteristics of age stage of plants as well as biometrics parameters of assimilating organs were described. The evaluation of the functional activity were given based on fluorescence data. The plant was at the immature or virginal ontogenetic age stage and had only vegetative organs. Self-sustaining of studied cloudberry population is mainly due to vegetative reproduction. The assessment of functional activity of the photosynthetic apparatus are represented in the paper. The low content of photosynthetic pigments in leaves of *Rubus chamaemorus* was registered that might be results inhibition of synthesis of pigments of this species at low temperatures in the conditions of the Arctic. Based on fluorescence data low values of photochemical activity of PSII and the maximum speed of the electron transport as well as high values of non-photochemical quenching were obtained. It was concluded that at low temperatures during the growing season in the Arctic the low functional activity of *Rubus chamaemorus* can provide growing of cenopopulations in a vegetative state only, which is supported by not only due to the current photosynthesis, but also due to supply of metabolites flowing in a sufficiently powerful rhizome.

Keywords: cenopopulation, rare species, *Rubus chamaemorus*, Svalbard, biometrics, age status, fluorescence parameters.

Rubus chamaemorus L. или морошка приземистая – циркумполярный гипоарктический вид, на Шпицбергене и в Гренландии, где известны единичные местонахождения, имеет

северные пределы распространения. В Арктике морошка обычна в полосе гипоарктических тундр; в полосе арктических тундр встречается спорадически, в полярных пустынях отсутствует. Как олиготрофный вид, морошка характерна для кислых торфянисто-глеевых тундровых и торфянисто-глеевых болотных почв. Этот вид хорошо переносит близость вечной мерзлоты, так как ее придаточные корни глубоко пронизывают верхние горизонты почвы, достигая поздно оттаивающие минеральные слои. Морошка обычно растет среди сфагновых или зеленых мхов. В качестве более или менее обильной примеси встречается в сырых ерниковых и ивняковых моховых тундрах. В сообществах с доминированием гипоарктических кустарничков и аркто-бореальных мхов, а также в кочкарно-пушицевых кустарничково-моховых тундрах суглинистых водоразделов. В лесотундре обычна в кустарниково- и кустарничково-сфагновых редколесьях, ерниках, сфагновых болотах. Плодоносит морошка в тундре не каждый год [1]. На архипелаге Шпицберген род *Rubus* представлен одним видом *Rubus chamaemorus*; отмечено несколько местообитаний в районе залива Ис-фьорд [10], самого крупного на архипелаге. В июле 2015 г. нами была обнаружена небольшая ценопопуляция этого вида в районе Грен-фьорда, который является южным ответвлением Ис-фьорда.

В задачу исследования входило общее описание ценопопуляции и определение функциональной активности растений морошки как редкого вида, впервые встреченного в данном районе исследования.

Материал и методы

Ценопопуляция морошки приземистой (рис.) находится вблизи пос. Баренцбург на острове Западный Шпицберген на антропогенно трансформированном склоне вблизи дороги из поселка в сторону долины реки Грендален, около старых построек 30-х годов (N 78°03'365", E 14°13'142", 60 м над ур. м.).

По данным метеорологической обсерватории Баренцбург среднегодовое значение суммарной солнечной радиации составляет 2214 МДж/м², средняя продолжительность солнечного сияния составляет 886 часов. На широте Баренцбурга с 19 апреля по 24 августа



Рис. Вид морошки приземистой в окрестности Баренцбурга

полярный день, с 28 октября до 15 февраля – полярная ночь. Среднегодовая температура самого теплого месяца июля – +8 °С. Наиболее холодный месяц – февраль с температурой – 18 °С. В среднем в год выпадает 563 мм осадков, которые в основном приходятся на январь-февраль. Территория находится в зоне вечной мерзлоты, глубина летнего оттаивания 98-190 см в зависимости от характера растительного покрова [4]. Климатические особенности обуславливают короткий вегетационный период (40–70 дней), продолжительность которого определяется временем схода снега в локальных местообитаниях.

Исследованная *Rubus chamaemorus* произрастает в травяно-кустарничковом сообществе на площади 80 x 50 см. Растительное сообщество разреженное, имеются фрагменты грунта без растительности, в составе отмечены такие виды, как *Oxyria digyna*, *Bistorta vivipara*, *Salix polaris*, *Trisetum spicatum*, *Poa arctica*, незначительно присутствие мхов и лишайников, которые обычно принимают участие в зарастании антропогенных территорий. При проведении исследований применяли подходы и методы популяционной биологии [6], но с учетом ограниченности и уникальности растительного материала. Описание онтогенетического состояния проведено по методике [3]. В ценопопуляции за счетную единицу принят надземный побег. Для изучения морфометрических признаков подсчитывали число листьев на каждом побеге, измеряли длину побегов, длину и ширину сформировавшегося третьего листа на каждом побеге.

Для оценки функциональной активности растений оценили содержание пигментов пластид и фотохимическую активность фотосинтетического аппарата. Содержание

пигментов пластид определяли в спиртовых вытяжках по оптической плотности в максимумах поглощения хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов [8, 9] с помощью спектрофотометра UV-1800 (фирма «Shimadzu», Япония). Для измерения флуоресценции хлорофилла использовали анализатор фотосинтеза с импульсно-модулированным освещением (MINI-PAM, «Walz», Германия). Работа выполнена в 3-кратной биологической повторности.

Результаты и обсуждение

R. chamaemorus – травянистое летнезеленое двудомное поликарпическое длиннокорневищное растение. Взрослая особь морошки представляет собой сложную побеговую систему, состоящую из травянистых однолетних дициклических (редко моноциклических) вегетативных или вегетативно-генеративных ортотропных побегов (рамет), связанных между собой симподиально нарастающими корневищами с придаточными корнями в узлах. Размножается морошка генеративным и вегетативным способами [2].

В исследуемой ценопопуляции (35 побегов) были отмечены только вегетативные побеги, которые отходят от корневища, часть которого выходит на поверхность (толщина около 1 см). На начало июля побеги имели по 1-2 сформированных листа и 3-й начинал формироваться. Через 10 дней вегетации сформировано у каждого побега по 2-3 листа, а 4-й лист начинал формироваться, единично был виден 5-й. Процесс развития особей в этот теплый период (температура поднималась до +10 и однажды до 16° С) по сравнению с другими видами происходил очень медленно. В онтогенезе рамет морошки выделено и описано 5 возрастных состояний: проростки, ювенильное, имматурное, виргинильное и генеративное [2]. В исследуемой ценопопуляции растения имели по 3-4 очередно расположенных пятилопастных листа, что соответствует имматурному (*im*) или виргинильному (*v*) онтогенетическому возрастному состоянию. В центре ареала вида в условиях болотных экосистем, ежегодное нарастание сфагновых мхов приводит к быстрому «погружению» корневищ и в верхней части корнеобитаемого слоя расположены лишь относительно молодые его участки [2].

В условиях исследованного местообитания корневище расположено почти на поверхности почвы, что связано с особенностями развития морошки в условиях Арктики. Отмершие части корневища и опад надземных органов обеспечивают процессы локального почвообразования, которое может стимулироваться прогреванием только в пределах верхнего горизонта почвы, а ограничивается слоем вечной мерзлоты. Самоподдержание популяций морошки происходит преимущественно за счет вегетативного размножения и осуществляется с помощью развития побегов из пазушных почек. Очень редко в популяциях

R. chamaemorus можно встретить проростки, свидетельствующие о семенном размножении данного вида. В связи с этим популяции морошки часто представлены несколькими клонами (мужскими и женскими), а в небольших по площади местообитаниях единственным клоном [2], что, по-видимому, имеет место и в нашем месте произрастания.

Исследование биометрических характеристик показало, что в условиях арктических тундр формируется несколько большее количество листьев (больше 4), чем в таежной зоне. Длина листа составила 3.7 ± 0.2 , ширина листа – 5.2 ± 0.4 см, что соответствует данным, полученным в таежной зоне [2]. Все побеги имели сходный уровень развития. На территории Шпицбергена этот вид может не иметь плодов [10], что подтверждается и у растений данной ценопопуляции. Листья были сильно обесцвечены. Определение содержания пигментов пластид показало, что сумма содержания хлорофиллов составила 0.99 мг/г сыр. массы (хл. *a* – 0.76, хл. *b* – 0.23); каротиноидов – 0.30 мг/г сыр. массы; соотношение хлорофиллов *a/b* – 3.2; соотношение хл/кар – 3.3; содержание хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) – 52%. Полученные данные являются средними величинами содержания хлорофиллов для сосудистых растений Шпицбергена, но минимальными для изученных видов этого семейства на архипелаге [7]. Низкое содержание пигментов в листьях *Rubus chamaemorus* может быть связано с ингибированием синтеза фотосинтезирующих пигментов при низких температурах произрастания. На полуострове Таймыр, у морошки суммарное содержание хлорофиллов сходно с нашими данными 0.95 мг/г сырой массы, а содержание каротиноидов – более низкое (0.22 мг/г сырой массы) и, соответственно, выше соотношение хл/кар (4.3) [5].

Ввиду ограниченности растительного материала нами были проведены единичные исследования фотохимической активности фотосинтетического аппарата, как одного из показателей функциональной активности. Соотношение F_v/F_m нашло широкое распространение в качестве показателя функционального состояния фотосинтетической системы интактных зелёных тканей растений. Чувствительность F_v/F_m к ингибированию световой фазы фотосинтеза делает этот показатель эффективным средством мониторинга стрессорных воздействий окружающей среды на растение.

Наши исследования показали, что показатель F_v/F_m у морошки имел величину 0.610 ± 0.051 отн. ед., что свидетельствует о пониженной фотохимической активности ФСII и неблагоприятном состоянии фотосинтетического аппарата (ФА). Высокие значения фотохимического ($q_P = 710 \pm 230$ отн. ед.) и нефотохимического тушения (NPQ до 2700 отн. ед.) могут свидетельствовать об активном включении систем диссипации световой энергии и участии антиоксидантных систем. То есть, имеется избыток световой энергии и ФА вида не способен рационально использовать поступающую световую радиацию. Следует отметить, что максимальные значения транспорта электронов (37 ммоль, определяемые по быстрой

световой кривой флуоресценции) сопоставимы с теми значениями (около 30 ммоль), которые были получены для растений в условиях пониженной освещенности на индукционных кривых флуоресценции.

Таким образом, вид в данных условиях произрастания находится на пределе своего жизненного потенциала, ингибируется условиями освещения и низкой температуры. Для морошки на Западном Таймыре определены следующие условия максимальной потенциальной интенсивности фотосинтеза (35 мг CO₂/г сух массы в час): освещенность 68 клк, температура 23⁰С, что соответствует низким значениям по сравнению с другими исследованными видами и позволяет отнести этот вид в группу низкоассимилирующих видов [5].

Интерес к этому виду определяется еще и произрастанием в нетипичных для него условиях экотопа по влажности, которая создается тающим выше снежным склоном и подтоком подземных вод. По сравнению с другими видами этого семейства *Rubus chamaemorus* имеет большие ограничения в формировании репродуктивной сферы и его поддержание возможно только за счет вегетативного размножения. Следует отметить, что этот вид имеет высокое содержание сухой биомассы в листьях (до 30%), что характерно и для других видов этого семейства и является свидетельством сравнительно высокой фотосинтетической активности при достаточно низкой температуре на ранних этапах онтогенеза (конец июня - начало июля). По-видимому, эта особенность позволяет обеспечить жизнедеятельность морошки за счет запасных веществ корневища, которые поддерживают гипотезу о достаточной функциональной активности такого способа поддержания ценопопуляции.

Сокращения:

ФА – фотосинтетический аппарат; Хл – хлорофилл; Кар – каротиноиды; *a/b* – соотношение хлорофиллов; ФСII – фотосистема II; F₀ – фоновая (минимальная) флуоресценция; F_m – максимальная флуоресценция; F_v – вариабельная флуоресценция (F_v= F_m - F₀); NPQ – нефотохимическое тушение флуоресценции хлорофилла; qP – фотохимическое тушение хлорофилла.

Статья поддержана грантом ПСР Петрозаводского государственного университета.

Список литературы

1. Арктическая флора СССР. Вып. IX. Ч. 1. Семейства *Droseraceae-Rosaceae*. [Под ред. Б.А. Юрцева]. – Л.: Наука, 1984. – С. 122-124.

2. Валуйских, О.Е., Тетерюк, Л.В. Особенности структуры ценопопуляций *Rubus chamaemorus* L. в зонах тайги и тундры европейского северо-востока России // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1(3). – С. 652-656.
3. Жукова, Л.А. Онтогенез морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) / Л.А. Жукова, О.Е. Сушенцов // Онтогенетический атлас лекарственных растений: уч. пособие. – Йошкар-Ола, 2002. – Ч. 3. – С. 37-41.
4. Осокин, Н.И., Сосновский, А.В. Влияние климатических изменений на термический режим многолетнемерзлых пород на архипелаге Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: матер. межд. научн. конф. (Мурманск, 9-11 ноябр. 2008 г.). – М.: ГЕОС, 2008. – С. 280-284.
5. Попова, И.А., Маслова, Т.Г., Попова, О.Ф. Особенности пигментного аппарата растений различных ботанико-географических зон // Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и дыхания растений. – Л.: Наука, 1989. – С. 115-139.
6. Ценопопуляция растений. – М.: Наука, 1977. – 183 с.
7. Шмакова, Н.Ю., Марковская, Е.Ф. Фотосинтетические пигменты растений и лишайников арктических тундр Западного Шпицбергена // Физиология растений. – 2010. – Т. 57, № 6. – С. 1-7.
8. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // Biochem. Soc. Trans. – 1983. – Vol. 11, № 5. – P. 591-592.
9. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the plant pigment systems // Photosynthetica. – 1993. – Vol. 29, № 2. – P. 195-203.
10. Rønning O.I. The flora of Svalbard. – Oslo: Norwegian Polar Institute, 1996. – 184 p.

Рецензенты:

Сазонова Т.А., д.б.н., в.н.с. лаборатории физиологии и цитологии древесных растений, Институт леса Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск;

Костюк В.И., д.б.н. гл.н.с. лаборатории физиологии растений, Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН, г. Кировск.