Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Институт экологии растений и животных УрО РАН
Ботанический сад УрО РАН
Институт экологии Волжского бассейна РАН
Русское ботаническое общество

ЭКОЛОГИЯ И ГЕОГРАФИЯ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

Материалы IV Международной научной конференции

Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.

Екатеринбург
2018

УДК [581.5+581.9](063)
ББК 28.58
Э 40

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-04-20008)

Редакционная коллегия:
ответственный редактор – заслуженный деятель науки РФ,
доктор биологических наук, проф. **В. А. Мухин;**
доктор биологических наук, проф. **С. В. Саксонов;**
доктор биологических наук, проф. **О. Г. Баранова;**
доктор биологических наук, доц. **А. С. Третьякова**

Экология и география растений и растительных сообществ : материалы IV Международной научной конференции (Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та ; Гуманитарный ун-т, 2018. – 1096 с.

ISBN 978-5-7741-0341-6

В сборнике представлены материалы докладов участников IV Международной научной конференции «Экология и география растений и растительных сообществ», в которых рассматривается широкий круг вопросов, охватывающих все традиционные направления современной ботаники: география растений; сравнительная флористика; география растительных сообществ и классификация растительности; популяционная экология и генетика растений; антропогенная трансформация и устойчивость растительных сообществ; охрана растительного покрова и ведение региональных «Красных» и «Зеленых» книг; интродукция и акклиматизация растений; история ботанических исследований. Книга предназначена для широкого круга специалистов – ботаников и экологов в области изучения биологического разнообразия растений, биогеографии и рационального природопользования, а также для студентов и преподавателей университетов, сельскохозяйственных, педагогических, медицинских и лесохозяйственных вузов.

УДК [581.5+581.9](063)

ISBN 978-5-7741-0341-6
© Институт естественных наук и математики, 2018
© Издательство Уральского университета, 2018
© Оформление Гуманитарный университет, 2018

С. П. Маслова, Р. В. Малышев,
И. В. Далькэ*

Влияние температуры на рост и энергетический баланс молодых тканей борщевика Сосновского в условиях Севера[1]

Температура является одним из основных экологических факторов, ограничивающих рост и развитие растений, особенно в условиях сезонного климата. На основе оценки реакции метаболизма растений на изменение температуры можно оценить адаптивные возможности видов, прогнозировать их рост в разных климатических условиях. В современном мире все большее распространение получают инвазивные виды, которые могут оказывать значительное влияние на природные экосистемы и культурные фитоценозы [6; 8]. Один из таких видов – *Heracléum sosnowskyi*, который может формировать обширные моновидовые заросли и является опаснейшим инвазионным видом в Восточной Европе [1; 9]. Естественный ареал распространения *H. sosnowskyi* находится на территории Восточной части Большого Кавказа, Восточного и Юго-Восточного Закавказья, северо-востока Турции. Поскольку *H. sosnowskyi* является выносливым и холодоустойчивым растением, его широко культивировали как высокопродуктивное силосное растение на северо-западе Европейской России [3].

Растения *H. sosnowskyi* проявляют устойчивость к низким температурам, характеризуются хорошей зимостойкостью, могут выдерживать понижение температуры воздуха весной до -3–5 °С [5]. Отрастание растений весной осуществляется за счет фонда семян и подземных почек возобновления, которые закладываются на стеблекорне и перезимовывают [4]. Актуальным является вопрос о потенциальных возможностях метаболизма инвазивного вида борщевика Сосновского при продвижении в более северные широты, в подзону северной тайги и тундры. Изучение эколого-физиологических свойств *H. sosnowskyi* необходимо для обоснования теоретических границ ареала инвазивного вида, построение модели распространения в бореальной зоне, чтоявляется основой для разработки комплекса плановых мероприятия по ликвидации его нежелательных зарослей.

Целью наших исследований было изучить влияние температуры на дыхание, тепловыделение и эффективность запасания энергии в тканях проростков и почек возобновления *H. sosnowskyi* в связи с оценкой границ распространения и продвижения инвазивного вида на север.

Изучали растения *H. sosnowskyi*, формирующие моновидные заросли вблизи г. Сыктывкара (61.65° с.ш., 50.76 в.д.) в весенний (апрель, май) и осенний (сентябрь, октябрь) периоды в 2016–2017 гг. Оценивали скорость тепловыделения (q, мкВт/мг сухой массы) и дыхания (R_{CO2}, нмоль CO_2/(мг сухой массы с) в тканях проростков и почек возобновления с помощью микрокалориметра Биотест-2 (ИБП, Пущино) в диапазоне температур от 2 до 30 ºС. Для оценки активности роста использовали термодинамическую модель, связывающую скорость роста с дыханием и тепловыделением [7]. Скорость роста ($R_{SG}\Delta H_B$, мкВт/мг сухой массы) рассчитывали как разность между скоростью снабжения энергией дыхания (455 R_{CO2}) и скоростью потери энергии дыхания в среде (тепловыделения, q,). Ин-

* **С. П. Маслова, Р. В. Малышев, И. В. Далькэ,** Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар).
E-mail: maslova@ib.komisc.ru

[1] *Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-44-110694 р_а «Эколого-физиологическое моделирование географических пределов распространения инвазивных видов растений на примере борщевика Сосновского в таежной зоне европейской части России».*

тенсивность дыхания проростков определяли с помощью газометрической системы на основе ИК-газоанализатора Li-7000 (LICOR.Inc, США) с термостатируемой камерой. Температуру проростков изменяли в диапазоне от -15 до +35 °С, почек возобновления – от +5 до 45 °С.

Температурная зависимость метаболической активности тканей проростков H. sosnowskyi. Проростки растений *H. sosnowskyi* появляются под снегом в конце апреля, когда температура почвы на уровне узла кущения составляет 0, -1 °С. Наши исследования показали, что ранней весной при температурах 5–10 °С проростки в фазе первого настоящего листа характеризовались низкой скоростью тепловыделения, около 4 мкВт/мг сухой массы. С увеличением температуры до 30 °С скорость тепловыделения тканей проростков увеличивалась в 5 раз. Калориметрические определения дыхания тканей проростков выявили, что скорость выделения CO_2 была сравнительно высокой при низких положительных температурах (5–15 °С) и слабо изменялась при повышении температуры до 30 °С.

Анализ зависимости скорости роста от температуры, рассчитанной в эквивалентах запасания энергии, выявил, что проростки *H. sosnowskyi* сохраняют высокий уровень метаболизма в широком диапазоне температур, от 5 до 30 °С. Сравнительно высокая скорость роста, около 16 мкВт/мг сухой массы, отмечена при 5 °С. С повышением температуры до 15 °С скорость роста снижалась в 2 раза и практически не менялась при прогревании тканей проростков до 30 °С.

Мерой эффективности запасания энергии в молодых тканях, согласно модели, является отношение $q/455R_{CO2}$: чем меньше это отношение, тем больше запасается энергии [2]. Расчеты показали, что в тканях проростков *H. sosnowskyi* величина соотношения $q/455R_{CO2}$ в диапазоне температур от 5 до 30 °С увеличивалась более чем в три раза. Доля тепловой диссипации энергии в тканях проростков при температуре 5 °С составляла всего 20 %, что свидетельствует об эффективном запасании энергии в молодых тканях и соответствует температурному режиму на глубине узла кущения ранней весной. При прогревании тканей до 30 °С эффективность метаболизма тканей проростков значительно снижалась, большая часть энергии, образуемой в дыхании (около 60–70 %), рассеивалась в виде тепла. Следовательно, температуры, 25–30 °С неблагоприятны для роста побегов *H. sosnowskyi* при отрастании под снегом из-за повышения диссипации энергии.

Результаты изучения CO_2-газообмена проростков *H. sosnowskyi* показали, что температурная зависимость скорости дыхания молодых тканей подчинялась классическим закономерностям. Скорость дыхания проростков возрастала экспоненциально в диапазоне температуры от 5 до 20 °С. Величина температурного коэффициента дыхания Q_{10} в диапазоне температуры 5–15 и 10–20 °С составляла 2,5, а температуры выше 25 °С подавляли скорость темнового дыхания проростков. Выявлено, что проростки *H. sosnowskyi* способны сохранять дыхательную активность при кратковременном воздействии низкими отрицательными температурами в ранневесенний период. В диапазоне температур от 0 до -12 °С скорость дыхания была стабильной и составляла около 0,2 мг/CO_2 г сухой массы ч. Следует отметить, что клетки проростков *H. sosnowskyi* ранней весной сильно оводнены, содержание воды в них составляло 90 %. Судя по данным, полученным с помощью калориметрии, фазовый переход вода-лед в тканях проростков происходил при снижении температуры до -8 °С, что втрое ниже, чем температуры почвы в зоне узла кущения весной.

Температурная зависимость метаболической активности тканей почек возобновления растений H. sosnowskyi. В условиях севера почки возобновления *H. sosnowskyi*, формирующиеся к осени, являются вегетативными, закладка генеративных органов начинается в весенний период, во второй половине мая [4].

Наши исследования показали, что скорость тепловыделения в тканях верхушечной (терминальной) почки *H. sosnowskyi* возрастала линейно при прогревании тканей от 2 до 30 °С не зависимо от сезона вегетации. При низких положительных температурах (2–5 °С) скорость тепловыделения весенних и осенних почек составляла около 5–10 мкВт/мг сухой массы и повышалась в 5–6 раз при увеличении температуры до 30 °С. Калориметрическое определение дыхания выявило экспоненциальный рост возрастание скорости выделения CO_2 при прогревании тканей почек от 2 до 30 °С в разные сезоны года. В ранневесенний период скорость дыхания при низких положительных температурах (5–10 °С) составляла в среднем 0,04 нмольCO_2/мг сухой массы с и увеличивалась в 4 раза при прогревании тканей до 30 °С. В осенний период дыхание почек возобновления при повышении температуры от 5 до 30 °С возрастало в меньшей степени в 2,5 раза, по сравнению с весной.

Расчеты по модели показали, что почки возобновления *H. sosnowskyi* способны к росту в широком диапазоне температур от 2 до 30 °С. В весенний период скорость роста почек при прогревании от 5 до 20 °С была невысокой и составляла в среднем 4–7 мкВт/мг сухой массы. При повышении температуры до 25–30 °С скорость роста весенних почек увеличивалась в 3–4 раза. В осенний период, при подготовке растений к перезимовке, наблюдали обратную картину: скорость роста почек снижалась при прогревании тканей от 2 до 30 °С вполовину, с 20 до 10 мкВт/мг сухой массы.

Анализ температурной зависимости отношения $q/455R_{CO2}$ выявил, что в тканях весенних почек доля тепловой диссипации энергии была высокой независимо от температуры и составляла в среднем 60–80 %. В тканях осенних почек, при низких положительных температурах (2–5 °С) рассеивалось всего 20 % образуемой в дыхании энергии. Это говорит об эффективном запасании энергии в молодых тканях, адаптации зимующих почек к температурному режиму в зоне их обитания. Осенью при прогревании тканей почек в диапазоне температур 10–30 °С доля тепловой диссипации энергии была сравнительно высокой и составляла 60–70 %.

Исследования показали, что температурная зависимость скорости дыхания осенних почек возобновления *H. sosnowskyi*, рассчитанная на основе изучения CO_2-газообмена, подчинялась классическим закономерностям. Скорость дыхания почек возрастала экспоненциально в диапазоне температуры от 5 до 45 °С. Величина температурного коэффициента дыхания Q_{10} в диапазоне температуры 20–30 °С составляла 2 и снижалась вдвое при температурах 35–45 °С. Температуры выше 40 °С подавляли скорость теплового дыхания в тканях почек возобновления осенью.

Таким образом, получены новые данные о температурной зависимости роста и эффективности метаболизма молодых тканей – проростков и почек возобновления растений *H. sosnowskyi*. Наши исследования показали, что проростки ранней весной сохраняют сравнительно высокий уровень метаболизма в широком диапазоне температур – от 5 до 30 °С. Низкие положительные температуры благоприятны для роста проростков *H. sosnowskyi*, о чем свидетельствует высокая эффективность запасания энергии в молодых тканях. Доля тепловой диссипации энергии в тканях весенних проростков составляла всего 20 %, что в три раза меньше по сравнению с тканями, прогретыми до 25–30 °С. Это соответствует температурному режиму почвы на глубине узла кущения ранней весной (0, -1 °С) и свидетельствует об устойчивости и эффективном метаболизме проростков при низких положительных температурах в апреле. Установлено, что проростки *H. sosnowskyi* способны поддерживать дыхательную активность при кратковременном действии низких отрицательных температурах (до -12 °С) в весенний период. По нашим данным, температура замерзания воды тканей проростков составляла около -8 °С

и была втрое ниже, чем температуры почвы в зоне узла кущения весной. Это обеспечивает надежную защиту проросткам растений *H. sosnowskyi* во время весенних заморозков.

Результаты исследований свидетельствуют о способности почек возобновления *H. sosnowskyi* к росту в широком диапазоне температур, от 2 до 30 °С. Весной скорость роста верхушечных почек экспоненциально возрастала при температурах 5–30 °С. В осенний период в данном диапазоне температур скорость роста почек имела обратный характер. Наибольшая скорость роста в тканях осенних почек отмечена при 2 °С, когда доля тепловой диссипации энергии не превышала 20 %. Эти данные говорят об эффективном запасании энергии в тканях осенних почек возобновления при низких положительных температурах, адаптации к температурному режиму в зоне обитания при перезимовке.

В целом, выявлено соответствие метаболической активности молодых тканей растений борщевика Сосновского к температурному режиму почвы и воздуха, что обеспечивает растениям адаптацию к низким температурам в зимний период и высокие темпы роста ранней весной. Полученные данные свидетельствуют о потенциальных возможностях продвижения инвазивного вида *H. sosnowskyi* в более северные широты, в подзону северной тайги и лесотундры.

Литература

1. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. – М. : ГЕОС, 2010. – 512 с.
2. Криддл Р. С., Брайденбах Р. В., Фонтана А. Дж., Генри Дж.-М., Смит Б. Н., Хансен Л. Д. Реакция дыхания растений на климат определяет их географическое распространение // Физиология растений. – 1996. – Т. 43. – С. 813–821.
3. Сацыперова И. Ф. Борщевики флоры СССР – новые кормовые растения. – Л. : Наука, 1984. – 223 с.
4. Скупченко Л. А. Семеноведение борщевика на Севере. – Л. : Наука, 1989. – 119 с.
5. Черняк Д. М. Борщевик сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) и борщевик Меллендорфа (*Heracleum moellendorffii* Hance) на юге Приморского края (биологические особенности, перспективы использования и биологическая активность) : автореф. дис. … канд. биол. наук. – Владивосток, 2013. – 27 с.
6. Bradshaw C. J. A., Leroy B., Bellard C., Roiz D., Albert C., Fournier A., Barbet-Massin M., Salles J.-M., Simard F., Courchampa F. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects // Nat Commun. – 2016. – V. 7, № 12986.
7. Hansen L. D., Hopkin M. S., Rank D. R., Anekonda T. S., Breidenbach W. R., Criddle R. S. The relation between plant growth and respiration: A thermodynamic model // Planta. – 1994. – V. 194. – P. 77–85.
8. Painia D. R., Shepparda A. W., Cook D. C., De Barroe P. J., Wornerf S. P., Thomas M. B. Global threat to agriculture from invasive species // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2016. – V. 113, № 27. – P. 7575–7579.
9. The Giant Hogweed Best Practice Manual: Guidelines for the Management and Control of an Invasive Weed in Europe. Eds. Nielsen C, Ravn HP, Nentwig W, Wade M (2005) Hørsholm, Denmark : Forest & Landscape Denmark. – 44 p.

S. P. Maslova, R. V. Malyshev, I. V. Dalke,
Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the RAS (Syktyvkar)

EFFECT OF TEMPERATURE ON GROWTH AND ENERGY BALANCE OF *HERACLEUM SOSNOWSKYI* YOUNG TISSUES IN THE NORTH

Respiration and energy balance dependence on temperature in *Heracleum sosnowskyi* seedlings and buds tissues of were studied. The proportion of energy thermal dissipation in seedlings was only 20 % at a temperature of 2–5 °C. It demonstrates the energy storage effectiveness in young tissues and corresponds to soil temperature condition at a depth of buds allocation in the early spring, autumn and winter period (0, -1 °C). It was shown that the growth rate of buds was exponentially increasing at 5–30 °C in the spring. In autumn, during preparation to winter dormancy, the largest growth rate of buds is noted at 2–5 °C. The proportion of energy thermal dissipation in autumn buds was 20 %. This trait causes *H. sosnowskyi* adaptation to low temperatures in winter and high growth rates in early spring. In general, *H. sosnowskyi* plants metabolism is well adapted for northern part of temperate climate zone. The invasive species has potential opportunities to reach the northern taiga subzone and the forest-tundra.