

УДК 630*181.324

*П.В. МИРОНОВ, С.Р. ЛОСКУТОВ*Сибирский государственный технологический университет
Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Миронов Петр Викторович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры химической технологии древесины Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 35 печатных работ в области биофизики водных систем, физиологии устойчивости древесных растений к низким температурам.



Лоскутов Сергей Реджинальдович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Красноярский государственный университет, кандидат химических наук, заведующий лабораторией химии растительных ресурсов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, член Координационного совета по современным проблемам древесиноведения. Имеет 45 научных публикаций по проблеме взаимодействия древесины с физически активными низкомолекулярными веществами.



ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ИНТРОДУЦИРУЕМЫХ В ДЕНДРАРИИ ИНСТИТУТА ЛЕСА СО РАН

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО, ОРЕХА МАНЬЧЖУРСКОГО И ЛОХА СЕРЕБРИСТОГО*

Показана возможность использования методов низкотемпературного термического анализа для оценки морозостойкости растений-интродуцентов. Определены минимальные температуры устойчивости вегетативных органов и количество невымораживаемой воды в живых тканях. Установлены безопасные уровни ее содержания в температурном интервале от 0 до -60°C .

The possibility of using methods of low-temperature thermal analysis for estimating frost resistance of introduced plants has been

* Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки. Грант 3F0172.

demonstrated. Minimal resistant temperatures of vegetative organs has been determined as well as the volume of non-frozen water in alive tissues. The safe levels of its content has been set up within the temperature limits of 0 ...–60 degrees C.

В дендрарии Института леса СО РАН создана коллекция древесных декоративных растений из различных ботанико-географических регионов России, стран ближнего и дальнего зарубежья [1]. На базе этой коллекции ведутся исследования по интродукции и акклиматизации растений, в том числе выделяются виды, перспективные для выращивания в условиях Красноярска. В связи с этим важно разработать экспрессные методы оценки морозостойкости интродуцентов для выявления достаточно устойчивых и перспективных в плане акклиматизации видов.

Цель данной работы – изучить особенности фазовых превращений воды в жизненно важных органах и тканях зимующих растений методами низкотемпературного термического анализа, установить связь характера кристаллизации воды с устойчивостью к низким температурам.

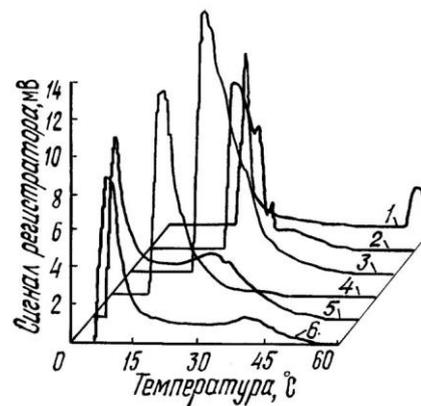
Для исследований выбраны три вида интродуцентов: клен остролиственный (*Acer platanoides* L.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.) и лох серебристый (*Elaeagnus argentea* Pursh.). Объектом сравнения служила лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.) как наиболее морозостойкий экологически пластичный вид [2, 3].

В последние годы зимостойкость клена, ореха маньчжурского и лоха оценивали по общепринятой семибалльной шкале, рекомендованной Советом ботанических садов [1]. Эти виды относительно устойчивы в условиях Красноярска, их зимостойкость в разные годы оценивали баллами I – III (I – побеги не обмерзают; II, III – обмерзает соответственно не более 50 и 50 ... 100 % длины однолетних побегов). Поскольку повреждались главным образом однолетние побеги, то они, а также вегетативные почки были использованы в качестве образцов для исследования.

Низкотемпературный термический анализ (НТА) отрезков междоузлий однолетних побегов, отрезков побегов с почками, отдельных почек, а также изолированных тканей проводили на установках дифференциального термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [2, 3]. Образцы охлаждали от комнатной температуры до – 60 °С со скоростями 20 и 5 °С/ч. Параллельно в таких же условиях охлаждали целые побеги для выявления повреждений при замораживании. Образцы отбирали после вхождения растений в состояние вынужденного покоя и хранили в морозильной камере при температуре – (10 ... 12) °С.

Получены и проанализированы термограммы замораживания образцов с различной скоростью. Во всех случаях установлены существенные различия характера кристаллизации воды в тканях побега и почках. Некоторые из термограмм, полученные методом ДТА, приведены на рис. 1.

Рис. 1. Термограммы охлаждения вегетативных органов: 1, 2 – соответственно ксилема и почки клена остролистного; 3, 4 – почки и отрезок побега без почек лоха серебристого; 5, 6 – почки ореха маньчжурского



В ксилеме клена остролистного обнаружены низкотемпературные экзотермы (НТЭ) с максимумами около -30 и -48 °С (при скорости охлаждения ~ 20 °С/ч). При медленном охлаждении НТЭ сохранялась только в интервале температуры $-(40 \dots 55)$ °С (рис. 1, кривая 1), что связано с кристаллизацией переохлажденной внутриклеточной воды в живых клетках ксилемы. Величина переохлаждения достигала 40 °С (температура плавления около -8 °С). В этом случае кристаллизация приводила к гибели клеток, что выражалось в потемнении соответствующей части ксилемы. Этот факт свидетельствует о нуклеации льда в переохлажденных клетках по гетерогенному механизму [4] и, в свою очередь, позволяет сделать вывод о наличии в них веществ, обладающих сильной антинуклеационной активностью.

НТЭ в ксилеме побегов клена ограничивает его устойчивость температурой начала кристаллизации переохлажденной воды внутри клеток, на что указывает интенсивное потемнение ксилемы при дальнейшем снижении температуры до -50 °С.

При охлаждении целых отрезанных почек со скоростью 20 °С/ч на фоне пика тепловыделения регистрировали отдельные экзоэффекты (рис. 1, кривая 2), связанные с кристаллизацией умеренно переохлажденной воды в отдельных примордиях или группах клеток. Наличие таких экзоэффектов всегда сопровождалось гибелью меристематических тканей. Уменьшение скорости охлаждения до 5 °С приводило к исчезновению отдельных экзоэффектов и сохранению жизнеспособности меристем. Установлено, что с началом кристаллизации воды в тканях, прилегающих к зачаткам листьев (основной пик выделения тепла), происходило частичное обезвоживание меристематических тканей вследствие миграции воды к зонам льдообразования вне этих тканей.

В тканях побегов и почек лоха серебристого (рис. 1, кривые 3 и 4) отсутствуют выраженные НТЭ, даже при высокой скорости охлаждения. Кристаллизация начинается в тканях ксилемы (-8 °С) и почечных чешуях

($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$). Льдообразование сопряжено с обезвоживанием тканей меристем. Скорость обезвоживания достаточно высока для предотвращения кристаллизации переохлажденной внутриклеточной воды. Температурная граница устойчивости в зимних условиях может достигать $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При охлаждении почек ореха маньчжурского со скоростью $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ наблюдалась НТЭ с максимумом около $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, кривая 5), связанная с кристаллизацией в меристематических тканях, что приводило к их гибели. При скорости охлаждения $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ тепловой эффект уменьшался, а максимум экзотермы смещался в область $-(30 \dots 35)\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, кривая 6). При этом видимых повреждений почек не наблюдалось. Температурные границы устойчивости составляют $-(40 \dots 45)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Побегов не имеют выраженной НТЭ.

Методом ДСК изучены температурные зависимости теплоемкости почек и ксилемы. Установлена зависимость содержания незамерзшей воды от температуры и определено количество невымораживаемой воды. Показано, что при снижении температуры до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в тканях еще сохраняется переохлажденная вода, кристаллизация которой при дальнейшем охлаждении не регистрируется в виде экзоэффектов. На рис. 2 приведены результаты определения содержания незамерзающей воды в различных образцах при снижении температуры до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этих условиях оно составляло $0,38 \dots 0,47$, а при охлаждении до $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ $0,25 \dots 0,33$ г на 1 г сухого вещества.

В связи с этим интересно отметить также, что жизнеспособность тканей меристем почек и тканей ксилемы сохранялась в том случае, когда при достижении температуры $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (т. е. после завершения основного пика выделения тепла) замерзло не более $64 \dots 66\%$ воды, способной кристаллизоваться. В то же время содержание незамерзшей воды, находящейся в равновесии со льдом при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и способной к замерзанию при дальнейшем снижении температуры, составляет $0,5 \dots 0,7$ г на 1 г сухого вещества. Таким образом, при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в тканях имеется до 30% переохлажденной воды. Одна часть этой массы воды мигрирует из живых клеток и кристаллизуется

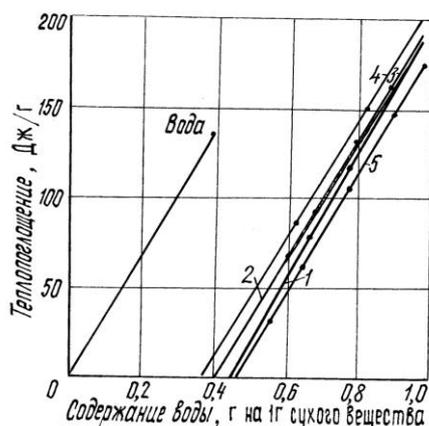


Рис. 2. Зависимость теплопоглощения в образцах вегетативных органов и тканей от содержания воды при размораживании (количество незамерзшей воды определяется по пересечению соответствующих линий с осью содержания воды): 1, 2 — почки и ксилема клена; 3, 4 — почки и ксилема лоха; 5 — почки ореха маньчжурского

в зонах льдообразования, расположенных в прилегающих тканях, другая (до 0,14 ... 0,15 г на 1 г сухого вещества) может сохраняться в клетках без кристаллизации даже при достижении температуры – 60 °С.

В любом случае (при наличии НТЭ, как у клена остролистного, и в ее отсутствие) в клетках имеются вещества, обладающие сильным антинуклеационным действием. Они предотвращают внутриклеточную кристаллизацию (до определенного температурного предела), что позволяет растениям выживать при довольно сильных морозах. Можно предположить, что эти вещества являются специфическими белками, как и в меристематических тканях почек лиственницы сибирской.

Кристаллизация воды в целых побегах клена, лоха и ореха маньчжурского начинается при более низких температурах, чем у лиственницы сибирской. Это повышает вероятность повреждений при резких колебаниях зимней температуры, так как при ее изменении может не хватить времени для достижения безопасного уровня содержания остаточной воды в живых клетках.

Выводы

Методы низкотемпературного термического анализа могут быть использованы для оценки перспективности интродукции растений по показателям их морозостойкости.

Исследование фазовых превращений воды в тканях зимующих растений позволяет установить механизм устойчивости к низким температурам, оценить условия охлаждения, при которых растения способны выдерживать зимние холода.

Метод дает возможность быстро определить температурную границу устойчивости растений, имеющих НТЭ в ксилеме или почках.

В тех случаях, когда НТЭ отсутствуют, ДСК-кривые замораживания – оттаивания можно использовать для определения количества кристаллизующейся воды в различных температурных интервалах и установить температурные границы устойчивости вегетативных органов растений-интродуцентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Лоскутов Р.И. Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. - Красноярск: ИЛ СО РАН, 1991. - 189 с. [2]. Миронов П.В., Левин Э.Д. Переохлаждение и обезвоживание хвойных зачатков в зимующих почках лиственницы сибирской // Физиология растений. - 1985. - Т. 32, вып. 4. - С. 695-701. [3]. Миронов П.В., Лоскутов С.Р., Левин Э.Д. О фазовом переходе воды в зимующих побегах лиственницы сибирской // Лесн. журн. - 1985. - № 5. - С. 9-12. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Rasmussen D.H. Ice formation in aqueous systems // J. Microsc. - 1982. - Vol. 128, Pt 2. - P. 167-174.

Поступила 18 апреля 1995 г.