

УДК 581.1.036:633.872

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО ШОКА НА ЛИСТЬЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО И ДУБА КРАСНОГО

© 2020 г. П. А. Куза*

Государственный Университет, ул. А. Метеевича, 60, Кишинёв, Республика Молдова

*E-mail: petrucuza@mail.ru

Поступила в редакцию 04.05.2017 г.

После доработки 25.02.2019 г.

Принята к публикации 29.01.2020 г.

Исследовали термотолерантность листьев дуба черешчатого (*Quercus robur*) и дуба красного (*Quercus rubra*) и воздействий высоких различных температур и длительности их экспозиции. Для изучаемых видов дуба наблюдалось сигмоидальное увеличение уровня утечки электролитов из проб листьев в зависимости от влияния значения применяемых температур. Приведены кривые, описывающие характер повреждений листьев, которые вызваны варьированием длительности экспозиции проб тепловым шоком. Проявляется специфическая реакция ответа листьев у исследованных видов дуба на воздействие длительности теплового шока. Листья дуба черешчатого оказались более чувствительными к влиянию высоких температур в сравнении с листьями дуба красного. Также выявлена тенденция лучшего удержания электролитов у листьев деревьев дуба черешчатого, которые имели ранние сроки распускания листьев.

Ключевые слова: дуб черешчатый, дуб красный, утечка электролитов, термотолерантность.

DOI: 10.31857/S0024114820030067

Лесным экосистемам свойственно огромное разнообразие структуры и ее определенная организация, что проявляется в способности экосистем противостоять негативному влиянию природных факторов и постепенно восстанавливать утраченное динамическое равновесие. Древесные растения ввиду сложной структуры крон более тесно соприкасаются с атмосферой, нежели другие компоненты фитоценоза. Процессы деградации, вызванные влиянием неблагоприятных природных и техногенных явлений, были замечены в лесу раньше, чем в других экосистемах (Ozolinčius, 1996). Например, состояние лесов, которые находились вблизи атомной станции, представило ценную информацию о биологических последствиях атомной катастрофы (Ипатьев и др., 1994, 1999).

Непомерно высокие температуры, которые наблюдались в Республике Молдова летом 2007 г. вызвали физиологические нарушения у некоторых древесных растений, что снизило их жизнеспособность. Из видов дуба, произрастающих в регионе, наиболее сильно пострадал дуб скальный (*Quercus petraea*). В ряде лесных массивов порослевого происхождения уже в конце июля были обнаружены деревья дуба скального с признаками завядания листьев. Впоследствии у части деревьев наблюдалась сушевершинность, а затем их полное усыхание. Деревья дуба черешчатого (*Q. robur*)

оказались более устойчивыми и менее пострадали от высоких температур и засухи. Сравнительная оценка устойчивости различных видов дуба к воздействию высоких температур является важной проблемой лесоразведения, в частности для оптимизации подбора древесных пород при осуществлении лесокультурных работ, особенно в засушливых регионах и создании насаждений в городской среде (Михеева, Федорова, 2011; Cuza, Dascalu, 2015).

Для того, чтобы оценить реакцию древесных растений на воздействие высоких температур и выявить состояние здоровья лесов, важно применять методы, позволяющие провести быстрый и точный анализ. С этой точки зрения метод **утечки электролитов** является обнадеживающим, так как позволяет оценить физиологическое состояние отдельных тканей и органов растений, возделываемых в различных климатических условиях (Ingram, Buchanan, 1981, 1984; Ahrens, Ingram, 1988; Cabral, 2005). В основу метода положено представление о том, что клеточные мембраны активно удерживают электролиты внутри клеток (в большинстве — ионы металлов и внутриклеточные метаболиты). В результате теплового шока клеточные мембраны теряют целостность что позволяет электролитам просачиваться из клеток. Оценка повреждений, причинённых клеткам

воздействием высоких температур, может быть выявлена сравнением электропроводности водной среды, в которую помещают ткани контрольного образца растения с теми, которые подвергали температурным воздействиям различной интенсивности (Mattsson, 1996; Dascaliuc, Cuza, 2007).

Известны опубликованные исследования, посвященные применению метода утечки электролитов в лесокультурном деле, в частности для определения качества семян различных видов дуба при их хранении в холодных и теплых условиях (Cleary, Zaerr, 1980; Mortazavi et. al., 2004; Sarvaš, 2004). Утечка электролитов, вызванная хранением целого растения в холодных условиях и уменьшением сосудов воды в ксилеме, послужила индикатором для определения качества семян. Как отмечают некоторые исследователи, эксперименты по выявлению водоудерживающей способности ксилемы в период хранения семян в холодных условиях очень важны в качестве тестовых программ по лесоразведению (Cleary, Zaerr, 1980). Методы определения утечки электролитов успешно используются для оценки физиологического состояния растений, а также определения процента всхожести семян (Freeland, 1976; Daskalyuk, 2002).

В данной статье приводятся результаты исследований, которые позволяют провести сравнительную оценку термотолерантности листовых тканей у дуба черешчатого и дуба красного (*Q. rubra*) при помощи метода утечки электролитов. Это позволило определить различия между изучаемыми видами по отношению к воздействию на фрагменты их листовых тканей высоких температур. Также показана разница между генотипами дуба черешчатого, различающимися по фенологическим срокам распускания листьев.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Эксперименты по утечки электролитов. Для сравнительной оценки термотолерантности дуба черешчатого и дуба красного на территории заповедника “Райул Фагулуй” были взяты по одному дереву каждого вида. Для экспериментов по утечки электролитов с южной стороны нижней части кроны каждого дерева отбирали побеги с листьями. Сборы побегов проводили в первой декаде июля, в 4-кратной повторности, с интервалом 1–2 дня. Листья с побегов брали методом случайной выборки, исключая лишь поврежденные, промывали в дистиллированной воде для очистки от пыли и экзогенных электролитов и просушивали. Затем в апикальной части листовой пластинки брали круглые высечки диаметром 9 мм.

Первый эксперимент был проведен для оценки влияния температуры на устойчивость листьев изучаемых видов дуба. Испытывали 15 градаций

температур в диапазоне от 25 до 100°C. Для каждой температурной градации брали по 3 пробирки с 3 мл деионизированной воды и помещали в водный ультратермостат (*Universal ultrathermostat “UTU-4”*, Венгрия) для нагрева до температуры заданной градации. Затем в каждую пробирку закладывали по 6 круглых высечек листьев дуба и вновь подвергали нагреву в термостате при той же температуре в течение 5 мин, после чего нагрев быстро прерывали перемещением пробирок в воду комнатной температуры (25°C). Сразу после охлаждения пробирки помещали в мешалку (*Wstrzasarka uniwersalna typ WU-4*, Польша), где в течение 2 ч их содержимое перемешивалось для обеспечения одинаковой концентрации электролитов в симпластах круглых высечек листовых пластинок и водном растворе. В эксперименте были предусмотрены два контроля. В первом 3 пробирки с высечками не подвергались тепловому шоку и постоянно перемешивались в течение 2 ч при температуре 25°C. Другой контроль с пробами листьев был подвержен воздействию температуры в 100°C в течение 10 мин, чтобы добиться полного распада клеток листа. Проводимость водного раствора была определена при помощи кондуктометра *N 5721* (Польша) во всех вариантах (контрольных и экспериментальных) после 2-часовой утечки электролитов.

Для каждого вида сборки побегов проводили в 4-кратной повторности, лабораторные опыты — в 3-кратной повторности, для каждой градации температуры вычисляли среднее значение и его стандартное отклонение.

Воздействие теплового шока определялось путем сравнения показателей проводимости раствора в экспериментальных вариантах (подверженные тепловому воздействию в пределах указанных температур) с показаниями контроля (который не подвергался высоким температурам). Значения относительной утечки электролитов были вычислены при помощи уравнения (1):

$$УЭО_1 = (\mu_t - \mu_{25}) / (\mu_{100} - \mu_{25}), \quad (1)$$

где

$УЭО_1$ — относительная утечка электролитов, доли единицы;

μ_t — проводимость экспериментальных вариантов (подверженных тепловому шоку при температуре t), мкС м⁻¹;

μ_{25} — проводимость контрольного варианта (пробирки с высечками листьев помещены в комнатные условия), в мкС м⁻¹;

μ_{100} — общая проводимость (измеренная после обработки проб листьев при температуре 100°C), в мкС м⁻¹.

Второй эксперимент имел целью определение термотолерантности листьев изучаемых видов дуба

ба в зависимости от продолжительности теплового шока при заданных температурах. В этом эксперименте для дуба черешчатого применяли температуру теплового воздействия в 58°C, а для дуба красного — 59°C. Приведенные температуры находятся в области логарифмической фазы возрастания утечки электролитов в зависимости от температуры при постоянной продолжительности теплового шока (5 мин). Воздействия отмеченных выше температур продолжались 1, 2, 3...10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75 и 90 мин. Техника проведения экспериментов и обработка данных была идентичной описанной в эксперименте 1.

Третий эксперимент проведен для определения различий между генотипами дуба черешчатого с использованием метода утечки электролитов. На территории заповедника было отобрано 21 дерево с учетом их фенологических различий по срокам распускания листьев. Деревья дуба черешчатого представляют выборку из природной популяции. Сбор листьев происходил для каждого дерева в отдельности, опыт проводился согласно технике, описанной в первом эксперименте, с некоторыми различиями. Для каждого дерева повторность была 5-кратная, в каждую пробирку клали по 3 круглых высежки из листовой пластинки и подвергали тепловому воздействию при температуре 57°C в течение 10 мин. Сразу после этого пробирки охлаждали и оставляли на 2 ч при комнатной температуре для утечки электролитов. Затем определялась проводимость водного раствора в пробах каждого дерева. Далее пробирки в течение 10 мин выдерживали при температуре в 100°C для полного уничтожения клеточных структур. Относительная утечка электролитов вычислялась при помощи уравнения (2):

$$УЭО_{III} = \mu_{57}/\mu_{100}, \quad (2)$$

где:

$УЭО_{III}$ — относительная утечка электролитов, доли единицы;

μ_{57} — проводимость экспериментальных вариантов подверженных тепловому шоку при температуре 57°C (в течение 10 мин), $мкС м^{-1}$;

μ_{100} — общая проводимость (измеренная после обработки проб листьев при температуре 100°C), $мкС м^{-1}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты лабораторных экспериментов, представленные на рис. 1, показывают, что снижение способности листьев удерживать электролиты после теплового шока при температурах различной интенсивности описывается сигмоидальной кривой, специфичной для каждого вида. Следует отметить, что положение кривых ответа на повреждения, вызванные температурами теп-

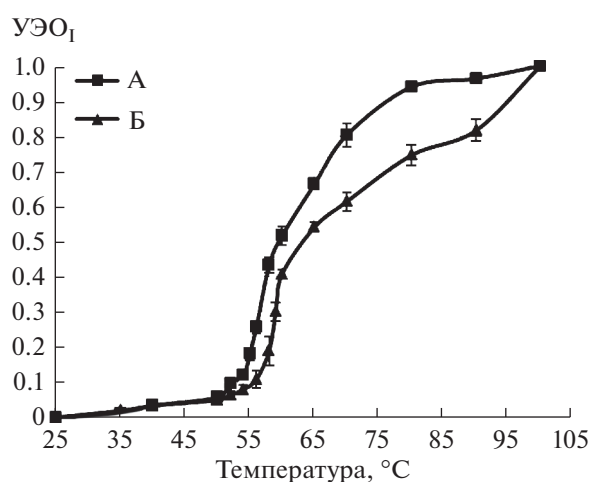


Рис. 1. Утечка электролитов из листьев дуба черешчатого (А) и дуба красного (Б) подверженных тепловому шоку при различных температурах на протяжении 5 мин. Отметки означают среднеквадратические отклонения.

лового шока, у дуба черешчатого и дуба красного заметно отличаются. Кривая утечки электролитов у дуба красного смещена в сторону более высоких температур в сравнении с дубом черешчатым. Отсюда следует, что дуб черешчатый более чувствителен к влиянию высоких температур по сравнению с дубом красным. Отметим, что в литературе имеются отрывочные данные, показывающие реакцию видов дуба на влияние высоких температур и засухи. Так, В.С. Холявко (1981) считает, что дуб черешчатый более засухоустойчивая древесная порода по сравнению с дубом красным. Однако существуют и другие мнения, касающиеся вопроса устойчивости видов дуба по отношению к высоким температурам. Согласно исследованиям проведенными М.А. Михеевой и А.И. Федоровой (2011), дубам черешчатым и красным свойственна средняя устойчивость к засухе, но в то же время они обладают высокой степенью жаростойкости и водоудерживающей способностью.

Более детальный анализ кривых на рис. 1 позволяет выделить отдельные фазы в реакции листьев дуба на воздействие температурного фактора. Подвержение листьев дуба черешчатого температурами до 54°C вызывало незначительное повышение уровня утечки электролитов (*фаза I; латентная фаза*). Обработка листьев более высокими температурами вызвала яркий всплеск концентрации электролитов в водном растворе. Это позволило выделить другую фазу, в пределах которой наблюдается быстрое возрастание уровня утечки электролитов при увеличении температуры. Эта фаза располагается в пределах между 54 и 69°C (*фаза II; логарифмическая фаза*). Более высокие температуры являются суперкритическими, а

воздействие их на листья определяет переход кривой в стационарное состояние (*фаза III; стационарная фаза*). Для дуба красного уровни температуры, которые вызывают резкое изменение утечки электролитов, существенно отличаются от аналогичных уровней для дуба черешчатого. Так, температуры до 56°C не вызвали заметного повышения уровня утечки электролитов из проб листьев (*фаза I; латентная фаза*), однако оно четко фиксировалось при более высоких температурах. У дуба красного логарифмическая фаза значительно уже, нежели у дуба черешчатого. Ее диапазон находится в пределах 56–60°C (*фаза II; логарифмическая фаза*). Листья дуба красного более толерантны к температурам выше 60°C (до 90°C). Возможно, что в этом температурном интервале деструктивные процессы конкурируют с репарацией клеточных мембран. Ярко выраженное плечо, которое характеризует сигмоидальную кривую утечки электролитов из круглых высеков листовых пластинок дуба красного в зависимости от температуры (в пределах от 60 до 90°C), является следствием либо гетерогенности клеточных структур, либо различного состава клеточных мембран тканей листьев дуба красного. Хорошо известен тот факт, что текучесть и стабильность клеточных мембран, которые подвергались влиянию высоких температур, связывают, прежде всего, с качественными и количественными изменениями в составе жирных кислот, находящихся в клеточных мембранах (Hendricks, Taylorson, 1975; Murakami et al., 2000).

В опытах А.А. Силиной (1955), выполненных другим методом, определялась устойчивость 21 древесного растения, в том числе дуба черешчатого, в отношении к влиянию высоких температур на побеги с листьями. Неотделенные от дерева побеги с листьями помещали в специально сконструированный деревянный ящик и нагревали при помощи газовой лампы, помещенной под ним. Пробы нагревали в течении 10 мин и с интервалом в 1 мин., электротермометром замеряли температуру листьев. В результате было выявлено, что листья дуба повреждались при температуре 59°C. В наших опытах обработка проб листьев при температуре 59°C в течении 5 мин вызвала 50% утечки электролитов от их общего количества. Таким образом, определение термоустойчивости листьев дуба двумя независимыми методами выявило сходные результаты. По-видимому, температура 59°C является критической и вызывает сильные повреждения листьев дуба.

Пороговыми параметрами, описывающими сигмоидальную кривую, являются температуры, которые вызывают 17, 50 и 83% утечки электролитов. В нашем случае для листьев дуба черешчатого критическими являются температуры 54.8, 59.2 и 72.3°C, которые соответствуют приведенным выше процентам утечки электролитов (рис. 1). Для

листьев дуба красного эти температуры находятся в точках 57.6, 63.0 и 91.4°C. В этом температурном интервале происходит значительное уменьшение способности клеточных структур удерживать электролиты при нарастании температуры. Как показывают полученные данные, у листьев дуба красного размах критических температур значительно выше и шире, нежели у дуба черешчатого, что является дополнительным доказательством более высокой толерантности к влиянию высоких температур дуба красного.

Исследование толерантности дуба черешчатого и дуба красного к влиянию высоких температур имеет определенное практическое значение. Оба изучаемых вида дуба культивируются на территории Республики Молдова. Однако дуб черешчатый произрастает естественно на данной территории, а дуб красный является экзотом из Северной Америки и культивируется в регионе в разных лесорастительных условиях. Поэтому очень важно оценить влияние на культуры дуба красного различных факторов среды, т.е. выявить адаптивную реакцию популяции в определенных лесорастительных условиях. В этом плане необходимо оценить влияние высоких температур на устойчивость и ростовые процессы популяций дуба красного, так как решение этой задачи приведет к установлению климатических районов, благоприятных для выращивания. Это особенно важно в связи с тенденцией потепления климата на планете.

С учетом вышесказанного нами проведены ряд экспериментов, в которых оценивалось влияние продолжительности теплового шока на устойчивость видов дуба. Для данного исследования очень важно правильно подобрать температуру теплового шока. По некоторым данным температура теплового шока, вызывающая 50% утечки электролитов из их общего количества, позволяет наиболее точно выявить различия между видами и генотипами (Martineau et al., 1979). Для оценки влияния продолжительности теплового шока для дуба черешчатого применялась температура 58°C, близкая к 59°C, которая в наших опытах (опыт 1, рис. 1) вызвала 50% утечки электролитов из высеков листьев дуба черешчатого.

Кривые ответа на влияние теплового шока описывают у дуба черешчатого и дуба красного зоны с разной кинетикой утечки электролитов в зависимости от продолжительности времени обработки проб листьев высокой температурой (рис. 2). Заметно, что у дуба черешчатого выделяются четыре зоны изменения относительной утечки электролитов, а у дуба красного — две. Обработка листьев дуба черешчатого в течение первых 2 мин вызвала сильный всплеск утечки электролитов из проб листьев (около 23% от общего количества) (*I зона*). В интервале между 2 и 5 мин

влияние теплового шока не оказало достаточно пагубного влияния на клеточные структуры дуба. Доля электролитов, вытекших из проб листьев, составила около 13% (*II зона*). Дальнейшее инкубирование во временном интервале между 6 и 10 мин вновь вызвало бурную утечку электролитов из листьев (*III зона*). Обработка проб листьев дуба черешчатого более 10 мин не вызвала видимых изменений уровня утечки электролитов, так как клеточные мембраны листьев были полностью повреждены (*IV зона*).

У дуба красного значительные изменения утечки электролитов произошли на протяжении первых 10 мин теплового шока, что вызвало значительные повреждения клеточных структур листьев — деструктивные процессы превалировали над репарационными (*I зона*). Инкубирование проб листьев более 10 мин снизило интенсивность роста концентрации электролитов, вытекших из тканей в водную среду (*II зона*).

Опыт, проведенный для определения различий между генотипами дуба черешчатого, использовал в качестве критерия фенологические сроки распускания листьев. Он основан на определении относительной утечки электролитов из листьев 21 дерева дуба черешчатого с разными сроками распускания листьев, которые подвергались воздействию температуры 57°C в течение 10 мин. Приведенные данные показывают, что деревья по их устойчивости к влиянию высокой температуры можно отнести к двум группам (рис. 3).

В первую группу следует включить деревья, листья которых по уровню удерживания электролитов не превышали относительного значения 0.4, т.е. растения, которые обладают значительной устойчивостью к влиянию теплового шока. К ним относятся деревья, обозначенные номерами 2, 4, 7, 8, 9, 12, 15, 16, 21 и 20. К малоустойчивым в отношении воздействия теплового шока следует отнести те деревья, листья которых значительно хуже удерживают внутриклеточные электролиты. Концентрация электролитов в пробах листьев у этих деревьев превышало 40%, но у некоторых экземпляров была значительно больше. Выяснилось, что наиболее устойчивыми по сравнению с другими экземплярами оказались деревья 4, 8 и 9. Концентрация электролитов, вытекших из тканей их листьев, была на уровне 30% от полной. Самыми чувствительными оказались деревья 1, 18 и 19. Термоустойчивость их листьев значительно ниже, чем у растений первой группы. Необходимо отметить, что у наиболее устойчивых деревьев номер 4, 8 и 9 распускание листьев проходило в ранние сроки, тогда как у деревьев 18 и 19 наблюдалось позднее раскрытие почек (дерево 9 раскрыло почки 22 апреля, а дерево 18 — 1 мая). В качестве примера: дерево 8 по способности листьев удерживать электролиты достоверно отли-

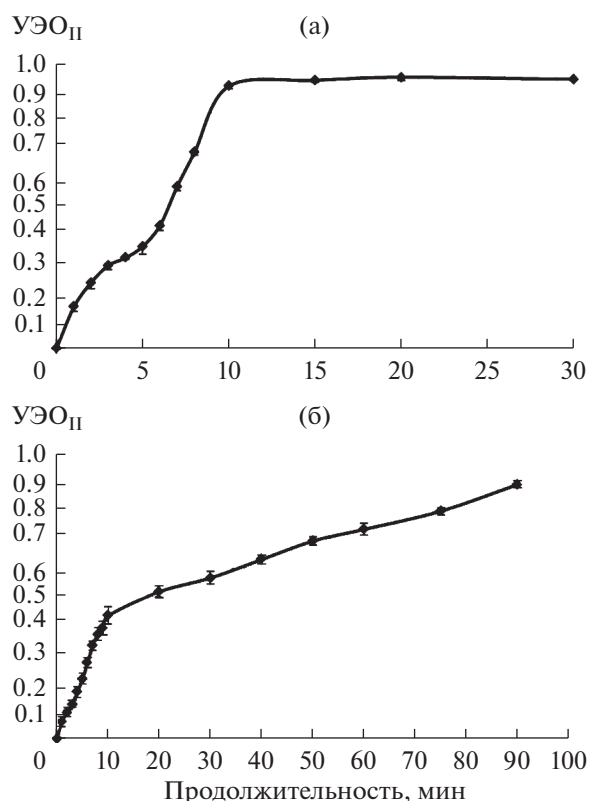


Рис. 2. Относительная утечка электролитов из листьев дуба черешчатого (а), подверженных температуре 58°C, и дуба красного (б), обработанных при 59°C, в зависимости от продолжительности теплового шока.

чается от дерева 19 ($t_{\text{выч}} = 7.27$; $p < 0.001$). Очевидно, что у дуба черешчатого с ранними сроками распускания листьев проявляется тенденция к значительно лучшему удерживанию электролитов по сравнению с деревьями, которые распускают листья поздно. Выявленная тенденция может быть подтверждена результатами других исследований, согласно которым дуб с ранними сроками распускания почек, характеризующийся ксероморфной структурой листьев является более устойчивым к засухе по сравнению с поздно распускающимся (Енькова, 1946).

Исследование термотолерантности 21 дерева дуба черешчатого, которые представляют выборку из природной популяции дуба, выявили, что изучаемые особи достоверно отличаются по их устойчивости к влиянию высоких температур. Из полученных данных следует, что при проведении работ по заготовке семян необходим сбор желудей преимущественно с деревьев в пределах природной популяции. Такой подход важен, поскольку, чем больше биотипов дуба будет представлено в составе лесных культур, тем больше вероятность, что в пределах насаждения окажутся генотипы, способные выжить, несмотря на жар-

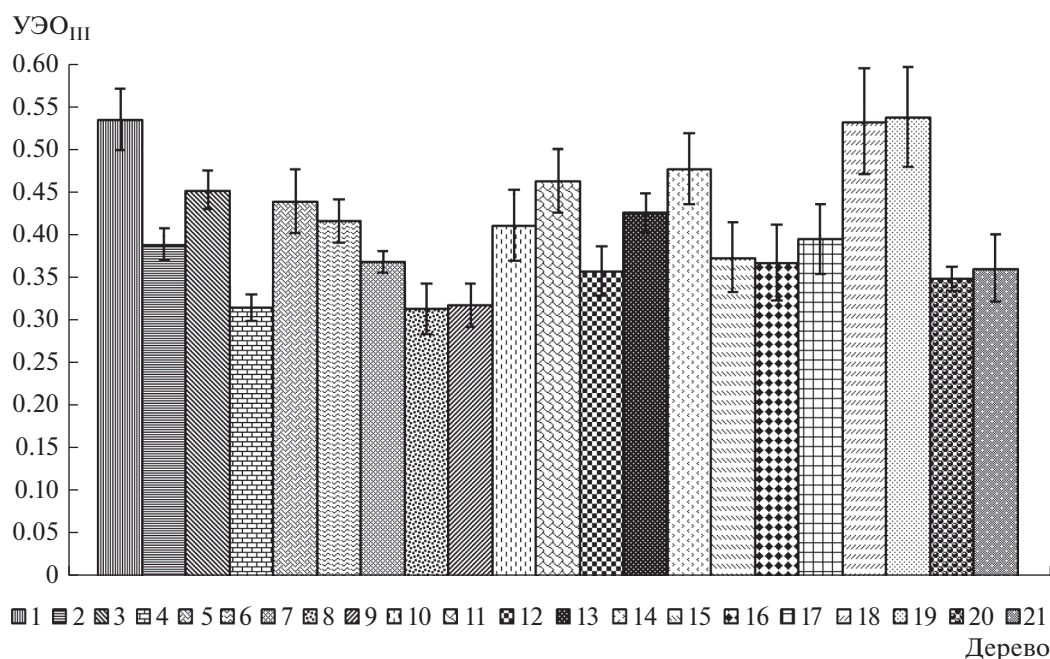


Рис. 3. Относительная утечка электролитов из листьев дуба черешчатого подверженных тепловому шоку при температуре 57°C на протяжении 10 мин.

кую погоду и засуху, которые в последние годы все чаще наблюдаются на территории республики. Это согласуется с точкой зрения Э. Майр (1974), согласно которой отдельные генотипы имеют в популяции преимущества по большей устойчивости и производительности. По мнению автора, генетическое разнообразие способствует более полному использованию популяцией среды обитания и позволяет ей расширять территорию в краевые биотопы и различные субниши.

Можно заключить, что метод утечки электролитов с большой степенью чувствительности позволяет выявить различия в воздействии температурного фактора между видами дуба и генотипами деревьев с разными фенологическими сроками листораспускания. Он может быть использован в лесоводстве для оценки физиологического состояния отдельных экземпляров дуба, произрастающих в разных экологических условиях (Dascalіuc, Cuza, 2007), а также для оценки различий между видами и генотипами, подвергнутыми различным факторам стресса (Ingram, Buchanan, 1981; Dascalіuc, Cuza, 2007).

Выводы. 1. Метод утечки электролитов является чувствительным и может быть успешно применён в лесоводстве для оценки устойчивости различных видов и генотипов древесных растений к воздействию высоких температур.

2. Дуб красный является более устойчивым видом, нежели дуб черешчатый, по отношению к влиянию высоких температур. Это указывает, что дуб красный по сравнению с дубом черешчатым

может выращиваться в более аридных лесорастительных условиях.

3. С помощью метода утечки электролитов были выявлены критические температуры для листьев дуба черешчатого и дуба красного. Для дуба черешчатого они находятся в диапазоне между 54.8 и 72.3°C, а для дуба красного — в пределах 57.6 и 91.4°C. Воздействие этих температур вызывает сильные повреждения клеточных структур у листьев исследованных видов.

4. Выявлена тенденция зависимости уровня утечки электролитов от генетических различий в сроках листораспускания у дуба черешчатого. Деревья с ранними сроками распускания листьев лучше удерживают электролиты, чем те, у которых распускание листьев происходит позднее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Енькова Е.И. Климатические экотипы дуба // Научные записки Воронежского лесотехнического института. 1946. Т. IX. С. 65–74.
- Ипатьев В.А., Булавин И.М., Багинский В.Ф. и др. Лес и Чернобыль: лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС (1986–1994). Минск: Изд-во Института леса НАН Беларуси, 1994. 252 с.
- Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавин И.М. и др. Лес. Чернобыль. Человек. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реабилитация населения, пути реабилитации. Гомель: Изд-во Института леса НАН Беларуси, 1999. 454 с.
- Майр Э. Популяции, виды и эволюция. М.: Мир, 1974. 460 с.

- Мухеева М.А., Федорова А.И. Влияние высоких температур на устойчивость древесных растений в городской среде // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2011. № 2. С. 166–175.
- Силина А.А. Температура листьев древесных пород в Деркульской степи в связи с их жаростойкостью // Труды Института леса АН СССР. 1955. Т. XXVII. С. 93–110.
- Холявко В.С. Лесные быстрорастущие экзоты. М.: Лесная пром-сть, 1981. 224 с.
- Ahrens M.J., Ingram D.L. Heat tolerance of citrus leaves // Hort Science. 1988. V. 23. № 4. P. 747–748.
- Cabral R., O'Reilly C. The physiological responses of oak seedlings to warm storage // Canadian J. Forest Research. 2005. V. 35. № 10. P. 2413–2422.
- Cleary B.D., Zaerr J.B. Pressure chamber techniques for monitoring and evaluating seedling water status // New Zealand J. Forestry Science. 1980. № 10 (1). P. 133–141.
- Cuza P., Dascaluic Al. Aproximația sistemică în utilizarea rațională a speciilor și genotipurilor de stejar la împădurirea și gospodărirea durabilă a pădurilor din Republica Moldova // Mediul Ambient. 2015. № 3(81). P. 7–15.
- Daskalyuk A.P. Dormancy release, germination, and electrolyte leakage from apple embryos during stratification in the presence of sucrose // Russian J. Plant Physiology. 2002. V. 49. № 5. P. 783–789.
- Dascaluic A., Cuza P. Determinarea termotoleranței la gorun și stejarul pedunculat cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților // Mediul Ambient. 2007. № 6(36). P. 27–31.
- Freeland P.W. Tests for the viability of seeds // J. Biological Education. 1976. V. 110. № 2. P. 57–64.
- Hendricks S.B., Taylorson R.B. Variation in germination and amino acid leakage of seeds with temperature related to membrane phase change // Plant Physiology. 1975. V. 58. P. 7–11.
- Ingram D.L., Buchanan D. Measurement of direct heat injury of roots of three woody plants // Horticultural Science. 1981. V. 16. № 6. P. 769–771.
- Ingram D.L., Buchanan D.W. Lethal high temperatures for roots of three citrus rootstocks // J. American Society for Horticultural Science. 1984. V. 109. № 2. P. 189–193.
- Martineau J.R., Specht J.E., Williams J.H., Sullivan C.Y. Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability // Crop Science. 1979. V. 19. P. 75–78.
- Mattsson A. Predicting field performance using seedling quality assessment // New Forests. 1996. V. 13. P. 223–248.
- Mortazavi M., O'Reilly C., Keane M. Stress resistance levels change little during dormancy in ash, sessile oak and sycamore seedlings // Annals of Forest Science. 2004. V. 61. P. 455–463.
- Murakami Y., Tsuyama M., Kobayashi A., Kodama H., Iba K. Trienoic fatty acids and plant tolerance of high temperature // Science. 2000. V. 287. P. 476–479.
- Ozolinčius R. Hvoinė: morfogeneizė i monitoring. Caunas: Aesti, 1996. 340 p.
- Sarvaš V.M. Bestimmung des Elektrolytverlustes als Indikator für Froststress von Eichen und Buchen Containerpflanzen Measurement of electrolyte leakage – a possibility to assess frost damage of containerized oak and beech planting stock // Heft. 2004. № 4. S. 209–223.

A Comparative Assessment of Heat Shock Effect on the English Oak' and the Red Oak' Leaves

P. A. Cuza*

Moldova State University, Alexe Mateevici st., 60, Chisinau, MD-2009 Republic of Moldova

*E-mail: petrucuza@mail.ru

A study was performed to assess the thermal tolerance of leaves of the English oak (*Quercus robur*) and the red oak (*Quercus rubra*) under the effects of various high temperatures and the various duration of exposure. For the studied oak species, a sigmoidal increase in the level of the electrolytes leakage from leaf samples was observed, depending on the effect of the applied temperature. The graphs that describe the nature of leaf damage caused by varying the duration of exposure of samples to heat shock were plotted. A specific response of the leaves in the studied oak species to the effect of the duration of heat shock was observed. The leaves of the English oak turned out to be more sensitive to the influence of high temperatures compared to the leaves of the red oak. The retention of electrolytes in the leaves of the English oak trees was found to be greater due to the earlier leaf coming out period.

Keywords: english oak, red oak, electrolytes leakage, thermotolerance.

REFERENCES

- Ahrens M.J., Ingram D.L., Heat tolerance of citrus leaves, *Hort Science*, 1988, Vol. 23, No. 4, pp. 747–748.
- Cabral R., O'reilly C., The physiological responses of oak seedlings to warm storage, *Canadian J. Forest Research.*, 2005, Vol. 35, No. 10, pp. 2413–2422.
- Cleary B.D., Zaerr J.B., Pressure chamber techniques for monitoring and evaluating seedling water status, *New Zealand J. Forestry Science*, 1980, No. 10(1), pp. 133–141.
- Cuza P., Dascaluic Al., Aproximația sistemică în utilizarea rațională a speciilor și genotipurilor de stejar la împădurirea și gospodărirea durabilă a pădurilor din Republica Moldova, *Mediul Ambient*, 2015, No. 3 (81), pp. 7–15.

- Daskalyuk A., Cuza P., Determinarea termotoleranței la gorun și stejarul pedunculat cu ajutorul metodei de scurgere a electroliților, *Mediul Ambiant*, 2007, No. 6(36), pp. 27–31.
- Daskalyuk A.P., Dormancy release, germination, and electrolyte leakage from apple embryos during stratification in the presence of sucrose, *Russian J. Plant Physiology*, 2002, Vol. 49, No. 5, pp. 783–789.
- En'kova E.I., Klimaticheskie ekotipy duba (Oak climatic ecotypes), *Nauchnye zapiski Voronezhskogo lesotekhnicheskogo instituta.*, 1946, Vol. IX, pp. 65–74.
- Freeland P.W., Tests for the viability of seeds, *J. Biological Education*, 1976, Vol. 110, No. 2, pp. 57–64.
- Hendricks S.B., Taylorson R.B., Variation in germination and amino acid leakage of seeds with temperature related to membrane phase change, *Plant Physiology*, 1975, Vol. 58, pp. 7–11.
- Ingram D.L., Buchanan D., Measurement of direct heat injury of roots of three woody plants, *Horticultural Science*, 1981, Vol. 16, No. 6, pp. 769–771.
- Ingram D.L., Buchanan D.W., Lethal high temperatures for roots of three citrus rootstocks, *J. American Society for Horticultural Science*, 1984, Vol. 109, No. 2, pp. 189–193.
- Ipat'ev V.A., Baginskii V.F., Bulavin I.M., *Les. Chernobyl'. Chelovek. Lesnye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoi AES: sostoyanie, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti reabilitatsii* (Forest. Chernobyl. Human. Forest ecosystems after the Chernobyl disaster: state, forecast, reaction of the human population, ways of rehabilitation), Gomel': Izd-vo Instituta lesa NAN Belarusi, 1999, 454 p.
- Ipat'ev V.A., Bulavin I.M., Baginskii V.F., *Les i Chernobyl': lesnye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoi AES (1986–1994)* (Forest and Chernobyl: forest ecosystems after the Chernobyl disaster (1986–1994)), Minsk: Izd-vo Instituta lesa NAN Belarusi, 1994, 252 p.
- Kholyavko V.S., *Lesnye bystrorastushchie ekzoty* (Forest fast-growing exotic species), M.: Lesnaya prom-st', 1981, 224 p.
- Mair E., *Populations, species and evolution*, M.: Mir, 1974, 460 p.
- Martineau J.R., Specht J.E., Williams J.H., Sullivan C.Y., Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability, *Crop Science*, 1979, Vol. 19, pp. 75–78.
- Mikheeva M.A., Fedorova A.I., Vliyanie vysokikh temperatur na ustoichivost' drevesnykh rastenii v gorodskoi srede (Effect of high temperatures on the stability of trees in urban environments), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2011, No. 2, pp. 166–175.
- Mortazavi M., O'reilly C., Keane M., Stress resistance levels change little during dormancy in ash, sessile oak and sycamore seedlings, *Annals of Forest Science*, 2004, Vol. 61, pp. 455–463.
- Murakami Y., Tsuyama M., Kobayashi A., Kodama H., Iba K., Trienoic fatty acids and plant tolerance of high temperature, *Science*, 2000, Vol. 287, pp. 476–479.
- Ozolinčius R., *Hvoinė: morfogenėzė i monitoring*, Caunas: Aesti, 1996, 340 p.
- Sarvaš V.M., Bestimmung des Elektrolytverlustes als Indikator für Froststress von Eichen und Buchen Containerpflanzen Measurement of electrolyte leakage – a possibility to assess frost damage of containerized oak and beech planting stock, *Heft*, 2004, No. 4, pp. 209–223.
- Silina A.A., Temperatura list'ev drevesnykh porod v Derkul'skoi stepi v svyazi s ikh zharostoikost'yu (The temperature of leaves of tree species in the Derkul steppe in connection with their heat resistance), *Trudy Instituta lesa AN SSSR*, 1955, Vol. XXVII, pp. 93–110.