

ЭКОЛОГИЯ

УДК 582.923.5:58.032
 DOI: 10.36305/2019-3-152-5-14

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО ОБМЕНА *JUNIPERUS EXCELSA* M. BIEB В УСЛОВИЯХ ПРОГРЕСИРУЮЩЕЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

**Олег Антонович Ильницкий, Юрий Владимирович Плугатарь,
 Андрей Владимирович Паштецкий**

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
 298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, 52
 E-mail: ilnitsky.oleg@mail.ru

Изучены зависимости динамики интенсивности фотосинтеза, транспирации и температуры хвои *Juniperus excelsa* M. Bieb при воздействии почвенной засухи и определены оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях Южного берега Крыма (ЮБК). Отображение функции отклика фотосинтеза на факторы внешней среды позволило получить численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений взаимосвязей этих параметров. Оптимальными условиями являются: $W_p=65\text{-}75\%$ НВ, $I=700\text{-}1200 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$, $Pn=10\text{-}12 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$. Изменение интенсивности нетто-фотосинтеза и транспирации, нетто-фотосинтеза и устьичной проводимости, диаметра побега и влажности почвы при воздействии почвенной засухи определены при помощи регрессионной статистики: для E и Pn - $R=0,90279$, $R^2=0,81522$; Pn и gs - $R=0,9028$, $R^2=0,8152$; d_p и W_p - $R=0,9449$, $R^2=0,8929$ соответственно.

J. Excelsa обладает высоким потенциалом фотосинтеза для акклиматизации к повышенной температуре. Повышение температуры листа (хвои) выше оптимальной приводит к резкому снижению интенсивности фотосинтеза – критической является температура 39–40°C. При интродукции этого вида в разные регионы, результаты проведенных исследований позволяют сравнить полученные нами эколого-физиологические характеристики с климатическими условиями конкретного региона и оценить возможности его выращивания.

Ключевые слова: *Juniperus excelsa* M. Bieb; водный режим; почвенная засуха; оптимальные условия; эколого-физиологические характеристики

Введение

В условиях усиления аридизации территории Южного берега Крыма (ЮБК) и в связи с глобальным изменением климата (Анненков и др., 1984; Ена, Фатерыга, 2015; Ларина 2003; Чернявская и др., 2015; Giorgi, Lionello, 2008) исследование эколого-физиологических особенностей редких и охраняемых видов – необходимая основа для их сохранения, разработки экологически обоснованной системы охраны и поддержания биоэкологического потенциала. Одним из таких видов является Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.).

Известны работы по особенностям произрастания данного вида в условиях ЮБК (Григоров, 1980; Ларина 2003).

В работе (Ларина, 2003) показаны особенности структуры фитоценозов формации *J. Excelsa* в Горном Крыму.

Основные закономерности формирования насаждений этого вида в заповеднике «Мыс Мартъян» и прогноз их дальнейшего развития показаны в работе (Григоров, 1980). Дан анализ возрастной структуры популяции можжевельника с чередованием влажных и сухих многолетних периодов. Естественное возобновление вида позволяет наблюдать начало периода закладки в той части древостоя, которая составит в возрастной структуре основу очередного 30-35- летнего цикла.

Можжевельник *J. Excelsa* в последнее время стал одним распространенных видов в лесах Турции. Его выращиванию уделяется значительное внимание в научных исследованиях (Gülcü et al., 2010; Gürlevik et al., 2014). Проведены исследования по определению оптимальных размеров сосудов для выращивания рассады *J. Excelsa* и состава почвы, собранной в естественной лесной среде вида (13 различных вариантов) (Gülcü et al., 2010). Подобные исследования для данного вида проводились с целью определения оптимальных вариантов водного режима и питательных веществ при выращивании рассады в средиземноморских условиях (Gürlevik et al., 2014).

В горах Таурас (Средиземноморье – Турция) были проведены исследования по определению экологических признаков для моделирования динамики леса (Kint et al., 2014; Meletiou-Christou, Rhizopoulou, 2017).

Для того, чтобы понять состояние лесного сообщества на территории древнего города Sagalassos, расположенному в горах Таурас на юго-западе в прошлом и реконструировать изменение состава лесов и биомасс во времени, предложена модифицированная модель GREFOS. Модель была разработана для северо-восточного Средиземноморского бассейна.

Она была параметризована на основе обзора литературы и дополнительных полевых измерений на участках с четырьмя зонами растительности в районе исследования для семи наиболее важных видов деревьев, в том числе и для *J. Excelsa*. Модель была адаптирована к биоклиматическим условиям гор Таурас, добавлены эффекты поздних заморозков и пожарного модуля. Это позволило наиболее полно заполнить матрицу экологических признаков. В модели использовали 13 различных параметров: биометрические, климатические, физиологические и их производные.

Проверка качественных и количественных показателей модели показала, что адаптированная модель GREFOS с параметризованными признаками адекватно предсказывают воздействие климата, пожара и абиотических условий участков на динамику естественной растительности (по видам и высотным диапазонам; частично также по базальной области) и на современное состояние климатических условий в горах Таурас.

Дальнейшие этапы развития модели должны быть направлены на включение важных дополнительных факторов растительного состава, таких как изменение климата и землепользование.

Известна работа по исследованию леса в юго-западной Анатолии вдоль градиента между средиземноморским и континентальным климатом, чтобы определить требования к месту обитания *J. Excelsa* в Турции. Предложена гипотеза о том, что особенности внешней среды и растения индикаторы могут использоваться для прогнозирования встречаемости *J. excelsa* на данном участке, следовательно, могут способствовать принятию решений при планировании управления восстановлением лесов. Видовой состав растений и параметры внешней среды были оценены на 153 участках. Ассоциация между *J. Excelsa* и другими видами растений и параметрами среды была проанализирована с использованием тестов вероятности Фишера и ступенчатого дискриминантного анализа. Большая высота (> 1000 м), как показатель климата этого региона и высокая каменистость поверхности служили показателем низкой конкуренции со стороны других видов деревьев для *J. excelsa*. Двенадцать видов растений, в том числе травянистые *Dianthus zonatus*, *Ajuga chamaepitys* и *Paronchia carica* и кустарник *Cotoneaster nummularia*, могут быть использованы в качестве индикаторов участка для восстановления *J. excelsa* (Özkan et al., 2010).

Представители рода *Juniperus Excelsa* L были интродуцированы в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета в том числе и *J. Excelsa* (Чернявская и др., 2015).

По результатам исследований установлено, что физиологические особенности интродуцированных культиваров рода *Juniperus* характеризовались сезонными изменениями показателей водного обмена. Оводненность, потеря воды и интенсивность транспирации повышалась в октябре и апреле, водный дефицит – в декабре и сентябре. Показатели водообмена *Juniperus chinensis* Keteleerii и *J. virginiana* сходные с *J. sabina*. Наименьшими значениями водного дефицита (5-7%) и потери воды (7-15%) обладали *Juniperus virginiana*, *J. chinensis* Keteleerii; а наибольшими – *J. Excelsa* и *J. foetidissima*; их водный дефицит составлял 18-26%, а потери воды – 17-22%. Максимальные значения показателей водного режима у интродуцированных видов соответствовали активности ростовых процессов в весенне-летний период. Таким образом, полученные данные позволяют определить степень адаптированности растений к тем или иным условиям среды.

Целью работы было исследование динамики интенсивности фотосинтеза, транспирации и температуры хвои *J. Excelsa* при воздействии почвенной засухи, что позволяет определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях ЮБК.

Объекты и методы исследования

Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) – из рода Можжевельник (*Juniperus*) семейства Кипарисовые (Cupressaceae) – гемиксерофильный реликтовый вид. В восточном Средиземноморье растет от северо-восточной части Греции и южной Болгарии, Турции, Сирии, Ливане и дальше в горах Кавказа. В Крыму растет от мыса Аия до Карадага, а также в Байдарской долине. Подвид *J. excelsa* subsp. *Polycarpos* растет в горах восточной части Пакистана (некоторые ученые рассматривают этот подвид как отдельный вид). *J. excelsa* произрастает в нижних горных поясах до высоты 4000 м над уровнем моря на солнечных сухих склонах, особенно на кальцитных почвах и представляет собой вечнозеленое хвойное дерево или кустарник высотой 10-15 м. Крона густая, конусообразная, округлой или пирамидальной формы. Корневая система поверхностная. На концах побегов хвоя игольчатая, раскидистая, длинная. Растение однодомное. Шишкояды шаровидной формы, диаметр 0,8-1,2 см, расположены на коротких ножках, темно-серо-фиолетового цвета, с сизовато-белым густым налетом. Зреют на второй год после опыления. Чешуйка 4-6, по шесть семян в каждой. Растение однодомное. Репродуктивный цикл (от заложения шишек до созревания семян) в Крыму составляет 27 месяцев. Пыление происходит с середины января до апреля. Размножается семенами (Ена, Фатерыга, 2015).

Исследования проводились в условиях теплицы на территории центрального отделения Никитского ботанического сада. Растения – саженцы 3-4 лет, выращенные из черенков. Время проведения опытов – апрель– июнь и сентябрь 2017–2018 гг.

Для непрерывной автоматической регистрации газообмена интактных листьев, роста растений и водного баланса использовали монитор фотосинтеза RTM-48A и фитомонитор PM-11z (Ильницкий и др., 2018). Система монитора RTM-48A оснащена четырьмя листовыми камерами, подключенными к монитору. Рабочая зона стандартной камеры LC-4B составляет 20 см² и применима для самых разных листьев. Датчик температуры дополнительно установлен в камере LC-4B для измерения устьичной проводимости листа. Измерение скорости фотосинтеза определяли на молодых неповрежденных листьях в верхней части побега каждые 15–20 минут. Естественная концентрация CO₂ в воздухе равнялась, примерно, 0,04%. Для характеристики различных процессов жизнедеятельности растений использовали параметры: значения нетто-фотосинтеза – Pn, μmol /m²s; устьичной проводимости – gs, mm/s; интенсивности транспирации – E, mg/m²c в диапазоне фотосинтетического активного излучения - I от 0 до 2000 μmol m²s. Фотосинтетически

активную радиацию и другие параметры окружающей среды: температуру и влажность воздуха измеряли датчиками Метео-модуля RTH-48, подключенными к цифровому входу системы РТМ-48А. Датчик фотосинтетической радиации TIR-4 –(I– $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), температуру хвои – датчик LT-1P –(Txв– $^{\circ}\text{C}$), датчик влажности почвы – SMS-5P–(%), относительную скорость сокодвижения в побеге (Sf, от. ед.) – датчик сокодвижения SF-5P, рост диаметра стебля (d побега) – датчик SD-10z (мм.), датчик верхушечного роста–аукснометр SA-20z (мм.).

Статистическую обработку данных выполняли с использованием прикладных компьютерных программ Statistica 10 (“Statsoft Inc.”, США) и Microsoft Excel 2010. Для моделирования и сглаживания двумерных данных использованы методы наименьших квадратов и рабастной локально-взвешенной регрессии (Statistica 10). Все расчеты осуществляли при заданном уровне значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Проведенная серия опытов в тепличных условиях, позволила определить оптимальные и ограничивающие условия произрастания данного вида в условиях ЮБК (Дроздов, 2003; Кайбейянен, 2007).

Известно, что соотношение между нетто -фотосинтезом и ростом листа разных видов растений зависит от жизненной формы растения. Максимум фотосинтеза у вечнозеленых лиственных и хвойных видов наступает чаще всего после полного формирования листа по площади и биомассе (Кайбейянен, 2009).

На рис.1,2 показано естественное изменение параметров характеризующих водный режим растения при оптимальных условиях произрастания и во время почвенной засухи.

В начале опыта при влажности почвы в сосудах 20–26 об.% (около 70–78% НВ) наблюдали стабильные значения транспирации, устьичной проводимости, нетто-фотосинтеза, суммарного дыхания, температуры хвои между опытным и контрольным растениями и различия между ними были незначительными – $Pn1, Pn2=12–14 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ соответственно. После прекращения полива опытных растений вследствие интенсивной эвапотранспирации содержание влаги в почве быстро уменьшалось. При снижении влажности почвы до 10–12 об.% (28–35% НВ) значения нетто-фотосинтеза между опытными и контрольными растениями составляли 8,2 и 13,5 мкмоль/ m^2s соответственно (рис. 1А).

Для различных видов растений (засухоустойчивых или влаголюбивых) оптимальное значение влажности почвы может варьировать в достаточно широких пределах. Кроме того, для одного и того же вида растения в разные фазы его развития этот показатель также может различаться. Таким образом, интенсивность факторов, обеспечивающих достижение оптимума нетто-фотосинтеза интактных растений, можно рассматривать как экологический оптимум исследуемого генотипа (Дроздов, 2003). Это позволило определить оптимальные и ограничивающие условия максимумов и границы областей оптимумов нетто- фотосинтеза и численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений этих зависимостей.

Определены зоны эколого-физиологического оптимума $Pn=f(I,Wn)$ как функция влажности почвы и освещенности (рис. 1Б). Вверху графика приведены уравнения нелинейных регрессий зависимостей между этими параметрами. За зону оптимума принимали условия среды, обеспечивающие интенсивность газообмена или другого зависимого параметра выше 90% максимального (Larcher, 2003). Анализ полученных результатов и уравнения нелинейной регрессии позволил найти оптимумы исследуемых параметров: $Wn=65–75\%$ НВ, $I=700–1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, $Pn=10–12 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

На рис 1В показано изменение интенсивности нетто-фотосинтеза и транспирации при воздействии почвенной засухи.

Регрессионная статистика для параметров Е и Pn : $R=0,90279$, $R^2=0,81522$.

Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	1	674,5536	674,5536	714,7492	2,74E-61
Остаток	162	152,8896	0,943763		
Итого	163	827,4432			

В зависимости от условий среды произрастания, растения способны активизировать или замедлять диффузию молекул CO_2 и испарение воды при помощи изменения устьичной проводимости, обеспечивая защиту растений от перегрева и создавая необходимые условия для фотосинтеза и транспирации, а в конечном итоге определенный гомеостаз продукционного процесса (Дроздов, 1995).

На рис 1Г показано изменение интенсивности нетто-фотосинтеза и устьичной проводимости при воздействии почвенной засухи.

Регрессионная статистика для параметров Pn и gs : $R=0,9028$, $R^2=0,8152$

Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	1	674,5536	674,5536	714,7492	2,74E-61
Остаток	162	152,8896	0,943763		
Итого	163	827,4432			

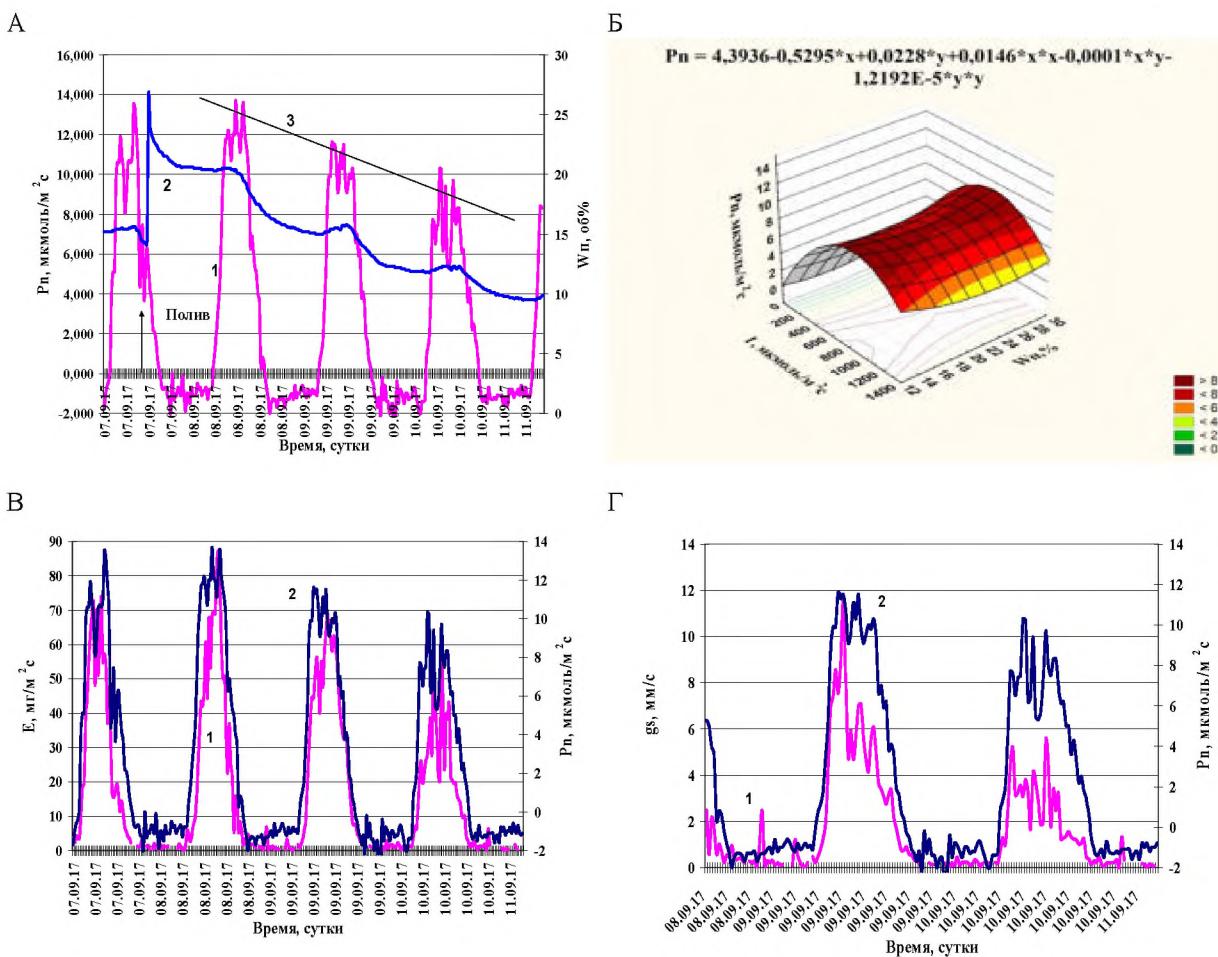
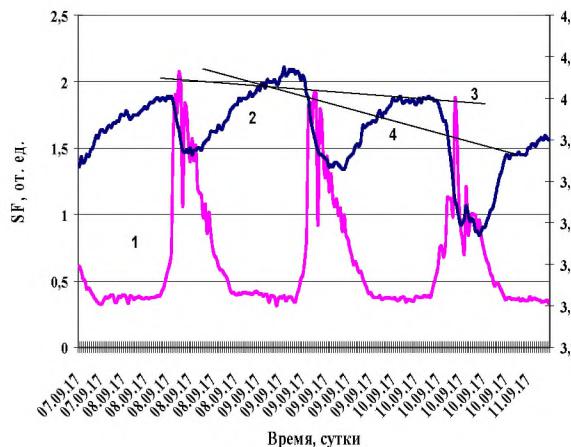


Рис. 1 Естественное изменение параметров Pn (1) и Wn (2) и линия тренда (3) во время почвенной засухи – рис.1А; - Pn , I и Wn – рис1Б (июнь); - Pn (2) и E (1)- рис.1В; Pn (2) и gs (1) - рис.1Г

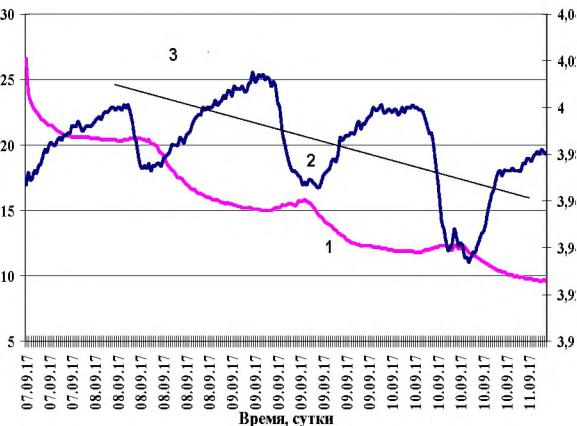
Fig. 1 Natural change of parameters Pn and E and trend line (3) in time of soil drought – Fig. 1A; - Pn , I and Wn - Fig. 1B (june); - Pn (2) and E (1) - Fig. 1B ; - Pn (2) and gs (1) - Fig. 1Г

Учитывая, что измерения относительной скорости водного потока и диаметра побега (Ильницкий и др., 2018; Korsakova et all., 2018) объединяют показатели доступной для растения влаги в почве и параметры внешней среды, они могут быть использованы как ирригационный индикатор отклика (реакции) вида на водоснабжение. Как видно из рис.2А применяемые параметры являются очень чувствительными на воздействие факторов внешней среды (почвенную засуху). Они определяются эластичностью ксилемы и, как следствие, определяют особенности водного режима и засухоустойчивость вида.

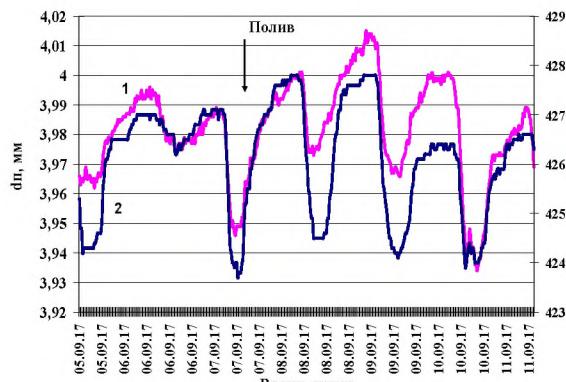
А



Б



В



Г

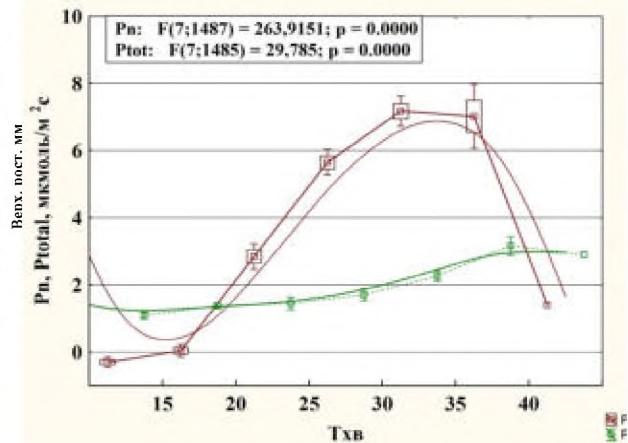


Рис. 2 Зависимость между параметрами характеризующими различные процессы жизнедеятельности: - $d_n(2)$ и $SF(1)$, линии тренда – (3, 4) соответственно – рис.2А; - $d_n(2)$, $W_n(1)$ и линия тренда (3) – рис2Б; $d_n(1)$, скорость верхушечного роста (2) и реакция изучаемых параметров на полив – рис2В; - P_n , суммарным дыханием (P_{total}) и T_{xb} . – рис.2Г (июнь)

Fig. 2 The relationship between the parameters characterizing the various processes of life: $d_n(2)$ and $SF(1)$ and trend line (3,4) respectively- Fig. 2A;- $d_n(2)$, $W_n(1)$ and trend line (3) - Fig. 2B;- $d_n(1)$, apical growth (2) and reaction of the studied parameters to irrigation- Fig. 2B;- P_n , total breathing (P_{total}) and T_{xb} - Fig. 2Г (June)

На рис.2Б показан естественный ход параметров d_n и влажности почвы (W_n) при воздействии почвенной засухи.

Регрессионная статистика для параметров d_n и W_n : $R=0,9449$, $R^2=0,8929$

Дисперсионный анализ

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	1	15050,67	15050,67	2076,925	8,2E-123
Остаток	249	1804,406	7,246612		
Итого	250	16855,08			

Индикатором отклика (реакции) вида на водоснабжение является также верхушечный рост растения. Он может быть использован как индикатор водного режима и засухоустойчивости растений, а реакция его на изменение факторов внешней среды (влажности почвы) зависит от интенсивности и продолжительности такого воздействия.

На рис.2В показан естественный ход диаметра побега и верхушечного роста растения при воздействии почвенной засухи и их реакция на полив. Оба параметра синхронно изменяются при воздействии почвенной засухи и поливе растения.

Важную роль в клетках фотосинтезирующих органов растений на свету играет дыхание, а поддержание энергетического баланса между двумя основополагающими процессами – фотосинтезом и дыханием – основа адаптации растений в ответ на воздействие стрессовых факторов (Дроздов, 1995). Главная цель механизма регуляции энергетического баланса – установление при стрессе нового равновесного состояния основных энерготрансформирующих процессов и соответственно нового соотношения дыхания и фотосинтеза. Суммарное дыхание (R_{total}) включает фотодыхание (R_{PR}), реакции Мелера, темновое (R_D) или митохондриальное дыхание (гликолиз, цикл Кребса, дыхательная цепь).

Эти соотношения процессов фотосинтеза и дыхания отражают состояние оптимального энергетического баланса растений, когда приход (ассимиляция в процессе фотосинтеза) максимизирован, а расход (окисление в процессе дыхания) минимизирован. По мнению некоторых авторов, фотодыханию принадлежит особая координирующая роль в регуляции энергетического баланса (Jones et al, 2003). В условиях прогрессирующей почвенной засухи от умеренной к жесткой комплексное воздействие водного дефицита и высоких температур приводит к ингибиции как фотосинтеза, так и дыхания и перегреву органов растения (листа, хвои).

Поскольку почвенная засуха, как правило, сопряжена с температурным стрессом, при изучении адаптации растения к засухе необходимо учитывать и температурный фактор. Известно, что некоторые растения способны компенсировать влияние температуры на скорость биохимических реакций, таких как фотосинтез и дыхание, изменением содержания в листьях фермента фруктозо-1,6-бисфосфатазы, количества которого возрастает при низких температурах и снижается при высоких (Генкель, 1982). При отсутствии водного стресса и достаточном освещении поглощение и восстановление CO_2 на единицу листовой поверхности ускоряются с повышением температуры листа.

Оптимальная температура фотосинтеза для большинства растений, у которых фотосинтез идет по C_3 -пути, составляет примерно 22-28°C, а для C_4 – более высокая (35-45°C и выше), (Medrano et al, 2002).

При температуре выше оптимальной, интенсивность фотосинтеза резко падает, соответственно понижение температуры также снижает интенсивность фотосинтеза, поскольку тормозится активность ферментов, уменьшается скорость диффузационных процессов, а также отток ассимилятов.

Пороговым значением температурного оптимума фотосинтеза, превышение которого приводит к ингибиции ферментативной активности и снижению интенсивности фотосинтеза для данного вида является температура листа 39-40°C (рис.

2Г). При достижении такой температуры хвои $Pn=Ptotal$, нетто–фотосинтез равен суммарному темновому дыханию и эта температура является критической для данного вида.

Выводы

При влажности почвы в сосудах 20–26 об.% (около 70–78% НВ) наблюдается стабильные значения транспирации, устьичной проводимости, нетто–фотосинтеза, суммарного дыхания и температуры хвои между опытным и контрольным растениями – $Pn1, Pn2=12–14 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. При снижении влажности почвы до 10–12 об.% (28–35% НВ) значения нетто–фотосинтеза между ними составляли 8,2 и 13,5 мкмоль/ m^2s соответственно.

Отображение функции отклика фотосинтеза на факторы внешней среды позволило для *Juniperus excelsa* M. Bieb получить численные коэффициенты нелинейных регрессионных уравнений взаимосвязей этих параметров. Оптимумы исследуемых параметров: $Wn=65–75\%$ НВ, $I=700–1200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, $Pn=10–12 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Изменение интенсивности нетто–фотосинтеза и транспирации, нетто–фотосинтеза и устьичной проводимости, диаметра побега и влажности почвы при воздействии почвенной засухи определяли при помощи регрессионной статистики: для E и Pn – $R=0,90279$, $R^2=0,81522$; Pn и gs – $R=0,9028$, $R^2=0,8152$; d_p и Wn – $R=0,9449$, $R^2=0,8929$ соответственно.

Верхушечный рост растения может быть использован как индикатор водного режима и засухоустойчивости растений, а реакция его на изменение факторов внешней среды (влажности почвы) зависит от интенсивности и продолжительности такого воздействия.

Для разных видов растений существует критическое значение оптимальной температуры нетто фотосинтеза, которое генетически детерминировано. *J. Excelsa* обладает высоким потенциалом фотосинтеза для акклиматизации при повышенных температурах окружающей среды. Для данного вида критическая температура хвои составляет 39–40°C.

Полученные данные позволяют интерпретировать скорость фотосинтеза как потенциальную экологическую и физиологическую характеристику этого вида. Это дает возможность сравнивать различные виды растений, растущих в сходных условиях, с использованием одной и той же методики исследований.

При интродукции этого вида в разные регионы, результаты проведенных исследований позволяют сравнить полученные нами гидротермические характеристики с климатическими условиями конкретного региона и оценить возможности его выращивания.

Литература / References

Анненков А.А., Иванов В.Ф., Хохрин А.В. Акимов Ю.А. Методические рекомендации по изыскательским работам для проектирования объектов озеленения в Крыму. Ялта, 1984. 26 с.

[Annenkov A.A., Ivanov V.F., Khokhrin A.V., Akimov Yu.A. Methodological recommendations on prospecting for the design of the planting sites in the Crimea. Yalta, 1984. 26 p.]

Генкель П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. – М.: Наука, 1982. 280 с.

[Genkel' P.A. Fiziologiya zharo- i zasukhoustoichivosti rastenii (Physiology of Heat and Drought Resistance in Plants), Moscow: Nauka, 1982.]

Григоров А.Н. Естественное возобновление и возрастная структура насаждений можжевельника высокого в заповеднике «Мыс Мартъян». // Труды Никитского ботанического сада. 1980. Т. 81. С. 35–44.

[*Grigorov A.N.* Natural regeneration and age structure of high juniper plantations in the Cape Martyan Nature Reserve. Proceedings of the Nikitsky Botanical Gardens. 1980. V. 81: 35-44.]

Дроздов С.Н., Попов Э.Г., Курец В.К. и др. Влияние света и температуры на неттофотосинтез и дыхание *Betula pendula* var. *pendula* и *Betula pendula* var. *carellica* (Betulaceae) // Ботанический журнал. 1995. Т. 80, № 3. С. 60–64.

[*Drozdov S.N., Popov E.G., Talanov V.K., Kuretz, A.V., Obshadko L.A., Vetchinnikova L.V.* Effects of light and temperature on net photosynthesis and respiration of *Betula pendula* and *Betula pendula* var. *carellica* (Betulaceae). Botanical journal. 1995. Vol. 80, 3: 60-64.]

Дроздов С.Н., Курец В.К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 172 с.

[*Drozdov S.N., Kurets V.K.* Some aspects of ecological physiology of plants. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2003. 172 p.]

Ильницкий О.А., Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Методология, приборная база и практика проведения фитомониторинга. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. 233 с. [*Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Korsakov S.P.* Methodology, instrument base and practice of phytomonitoring. Simferopol: ARIAL, 2018. 233 p.]

Кайбейнен Э.Л. Параметры световой кривой фотосинтеза у *Salix dasyclados* и их изменение в ходе вегетации // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 4. С. 490–499.

[*Kaybeyainen E.L.* Parameters of the light curve of photosynthesis in *Salix dasyclados* and their change during vegetation. Plant Physiology. 2009. V. 56, No. 4. P. 490-499.]

Кайбейнен Э.Л., Пелконен П. Оптимизация фотосинтеза и транспирации у неотделенных листьев ивы на плантациях быстрого возобновления // Физиология растений. 2007. Т. 54. С. 350–355.

[*Kaybeyainen E.L., Pelkonen P.* Optimization of the photosynthesis and of transpiration from attached leaves of willow plantations for rapid resumption. Plant Physiology. 2007, 54: 350-355.]

Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли, грибы / Отв. Ред. д.б.н. проф. Ена А.В., к.б.н. Фатерыга А.В. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. –480 с.

[Red Book of the Republic of Crimea. Plants, algae, mushrooms / Resp. Ed. Doctor of Biological Sciences prof. Ena A.V., Ph.D. Fateryga A.V. Simferopol: ARIAL, 2015. 480 p.]

Ларина Т.Г. О структуре фитоценозов формации *Jnipereta excelsae* в Горном Крыму // Экология. 1980. № 4. С. 38–44.

[*Larina T.G.* About the structure of phytocenoses of the *Jnipereta excelsae* formation in the Mountain Crimea. Ecology. 1980. No. 4. P. 38–44.]

Чернявская И.В., Толстикова Т.Н., Еднич Е.М. Представители рода *Juniperus excelsa* L в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета // Научный журнал «Вестник АГУ». 2015. Вып. 4 (171). С. 79–86.

[*Chernyavskaya I.V., Tolstikova T.N., Ednich E.M.* Representatives of the genus *Juniperus excelsa* L in the Botanical Garden of Adygea State University. Scientific journal "Bulletin of ASU". 2015. Is. 4 (171). P. 79–86.]

Giorgi F., Lionello P. Climate change projections for the Mediterranean region // Glob Planet Change. 2008. V. 63. P. 90–104. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005

Gülcü S., Gültekin H.C., Çelik S., Eser Y., Gürlevik N. The effects of different pot length and growing media on seedling quality of Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) // African Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9 (14). P. 2101–2107.

Gürlevik N., Deligöz A., Yıldız D. Effects of irrigation and fertilization on the growth of juniper seedlings Der Einfluss von Bewässerung und Düngung auf das Wachstum von Wacholdersämlingen // Austrian Journal of Forest Science Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 2014. Heft 3. S. 171–190.

Jones H.G., Archer N., Rotenberg E., Casa R. Radiation measurement for plant ecophysiology // Journal of Experimental Botany. 2003. 54(384). P. 879–889. doi: 10.1093/jxb/erg116

Kint V., Aertsen W., Fyllas N.M., Trabucco A., Janssen E., Özkan K., Muys B. Ecological traits of Mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the Taurus mountains, Turkey // Ecological Modelling. 2014. V. 286. P. 53–65.

Korsakova S.P., Plugatar Yu.V., Il'nyts'kyi O.A., Kleiman E.I. Water relation features of Nerium oleander L. under progressive soil drought stress//South of Russia: Ecology, Development. 2018. 13(1), P. 101-115.

Larcher W. Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 506 p.

Medrano H., Escalona J.M., Bota J., Giliás J., Flexas J. Regulation of Photosynthesis of C₃ Plants in Response to Progressive Drought: Stomatal Conductance as a Reference Parameter // Annals of Botany. 2002. V. 89. P. 895–905.

Meletiou-Christou M.S., Rhizopoulou S. Leaf functional traits of four evergreen species growing in Mediterranean environmental conditions // Acta Physiol. Plant. 2017. V. 39. N 1. P. 34–46. DOI: 10.1007/s11738-016-2330-4.

Özkan K., Gulsoy S., Aerts R., Muys B. Site properties for Crimean juniper (*Juniperus excelsa*) in semi-natural forests of south western Anatolia, Turkey // J. Environ. Biol. 2010. V. 31. P. 97–100.]

Статья поступила в редакцию 12.11.2019 г.

Il'nyts'kyi O.A., Plugatar Yu.V., Pashtetsky A.V. Water relation features of *Juniperus excelsa* M. Bieb under progressive soil drought stress of the Southern Coast of the Crimea // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2019. № 3(152). P. 5-14.

The dependences of the dynamics of photosynthesis intensity were studied, transpiration and temperature of *Juniperus excelsa* M. Bieb in the impact of soil drought and determined optimal and limiting conditions of growth of this species under the conditions of the Southern Coast of the Crimea. The display of photosynthesis response function to environmental factors allowed *J. Excelsa* to obtain numerical coefficients of nonlinear regression equations of these parameters. Optimal conditions are: Ws=65–75% FC, I=700–1200 mkmol/m²s, Pn=10–12 mkmol/m²s. Changes in the intensity of net-photosynthesis and transpiration, net photosynthesis and estuary conductivity, escape diameter and soil moisture in the influence of soil drought are determined by regression statistics: for E and Pn – R=0,90279, R²=0,81522; Pn and gs- R=0,9028, R²=0,8152; Pn and gs- R=0,9028, R² =0,8152; dsh and Ws- R=0,9449, R²=0,8929 respectively. *J. Excelsa* has a high potential of photosynthesis for acclimatization to elevated temperatures. The increase in the temperature of the leaf (the khvoi) above the optimal leads to a sharp reduction in the intensity of photosynthesis - the critical is the temperature of 39–40 degrees Celsius. With the introduction of this species to different regions, the results of the studies allow us to compare the ecological and physiological characteristics we have received with the climatic conditions of a particular region and to assess the possibilities of its cultivation.

Keywords: *Juniperus excelsa* M. Bieb; water regime; soil drought; optimal conditions; ecological and physiological characteristics