

УДК 582.475: 57.042: 581.5

ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ НА ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

А. А. Еркоева, С. Н. Дроздов, Е. С. Холопцева

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Исследовали эколого-физиологические характеристики двухмесячных сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения на трех уровнях кислотности почвы по влиянию свето-температурных факторов среды на CO_2 -обмен растений. Опыты проводили в регулируемых условиях среды, используя активный многофакторный планируемый эксперимент. Показано, что эколого-физиологическая характеристика сеянцев зависит как от их географического происхождения, так и от кислотности почвы. Оптимальные условия фотосинтеза исследуемых экотипов сосны по освещенности расположены в диапазоне 200–570 Вт/м², а температурные – от 4 до 30 °С. С продвижением на юг границы светового оптимума смещаются в сторону более низкой освещенности, а нижняя граница температурного – в сторону повышенных значений. При повышении кислотности до pH 4,5 границы свето-температурного оптимума сдвигаются в сторону увеличения интенсивности исследуемых факторов, а при дальнейшем уменьшении pH (до 3,5) – в сторону пониженных значений, независимо от географического происхождения.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, сеянцы, CO_2 -обмен интактных растений, свето-температурные характеристики, оптимум и максимум нетто-фотосинтеза, кислотность почвы, географическое происхождение.

A. A. Erkoeva, S. N. Drozdov, E. S. Kholoptseva. EFFECTS OF SOIL ACIDITY ON ECO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE SEEDLINGS OF DIFFERENT PROVENANCE

Ecological characteristics of whole two-months-old Scots pine seedlings of different provenance were investigated through the study of gaseous CO_2 exchange under different light-temperature conditions at three levels of soil acidity. Investigations were carried out in a pre-planned multi-factor experiment in a controlled environment. It has been established that eco-physiological characteristics depend on both the provenance and soil acidity. The 200–570 W m² light range and the temperature of 4–30 °C were optimal. As one moved southwards the light range optimal for the net photosynthesis rate shifted towards lower light intensity, whereas the lower limit of the optimal temperature range shifted towards higher values. As the soil acidity increased (pH 4.5) the light-temperature range optimal for net photosynthesis shifted upwards; decrease in pH to 3.5 caused the range to shift towards lower values, irrespective of the provenance.

Key words: *Pinus sylvestris* L., seedlings, gaseous CO_2 exchange in intact plants, light-temperature characteristics, optimum and maximum net photosynthesis, soil pH.

Введение

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) растет в основном на песчаных почвах и заболоченных территориях и обладает способностью успешно развиваться при небольших запасах питательных веществ и влаги. В то же время, наряду со слабой конкурентной способностью с другими древесными породами, она имеет широкий экологический диапазон и благодаря своим многочисленным разновидностям распространена в полосе, идущей от северной Шотландии и Норвегии через всю Евроазиатскую бореальную лесную зону до Тихого океана. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных биологии сосны [Куусела, 1991; Молчанов, 2007], сведения об экофизиологической характеристике ее получены в основном при работе с отдельными частями растений и носят в большинстве экспериментов качественный характер [Цельникер, 1983; Суворова, 2009]. По имеющимся литературным данным, ее всходы очень чувствительны к засухе, но заморозкоустойчивы и светолюбивы [Голомазова, 1981; Куусела, 1991, с. 50–58]. Семена начинают прорастать при температуре 5–6 °С, максимальный рост побегов наблюдается при температуре в зоне корней 12 °С и температуре воздуха не выше 30 °С, интенсивность фотосинтеза снижается при температуре 10 °С и ниже, а световое насыщение достигается при 300–400 Вт/м² и зависит от предшествующих условий внешней среды [Голомазова, 1981; Малкина, 1981]. Световой оптимум CO₂-обмена сосны в весенний период находится в пределах 180–760 Вт/м², а температурный – от 5,5 до 25,2 °С. В летний период световой оптимум имеет границы 280–640 Вт/м², температурный – от 8,2 до 24,0 °С [Болондинский, 2004]. Почвы сосновых лесов в основном характеризуются кислой реакцией, достигающей в нижних слоях лесной подстилки и подзолистом горизонте pH менее 3,5 солевой вытяжки [Морозова, Федорец, 1992]. Имеющиеся литературные данные о влиянии кислотности почвенной среды на хвойные породы немногочисленны и не отражают специфики экотипов [Левкина, 1964; Иванов и др., 1966; Van Dijk, Bienfait, 1993; Jentschke et al., 2001]. В то же время она имеет большое значение, особенно на ранних фазах развития древесных, в связи с расширением масштабов лесовозобновления и необходимостью ускоренного получения качественного посадочного материала. Последнее требует углубленного знания экофизиологической

характеристики сеянцев, выращиваемых в защищенном грунте [Жигунов, 2000; Фрейберг и др., 2009]. Многочисленность внешних и внутренних факторов, определяющих рост, развитие и продуктивность растений, обуславливает необходимость системного подхода и выбора интегральных показателей, характеризующих состояние изучаемых систем [Урманцев, 1977; Курец, Попов, 1991, с. 62–75]. Одним из методов получения экофизиологической характеристики растений является определение интенсивности ведущих факторов внешней среды, обеспечивающих достижение оптимального уровня нетто-фотосинтеза [Тооминг, 1977; Суворова, 2009, с. 40–44], т. е. условий фоновой зоны [Дроздов, Курец, 2003, с. 42–52] – границ оптимума произрастания конкретного экотипа. Выбор видимого фотосинтеза как показателя реакции растения на условия внешней среды определяется тем, что он является основополагающим физиологическим процессом, чутко реагирующим на изменения условий среды и хорошо дистанционно контролируемым. Однако даже многократные определения любого физиологического показателя в природных условиях или в однофакторном эксперименте не позволяют прогнозировать динамику процесса из-за влияния на него различных сочетаний факторов среды и не менее сильного их последствия. Даже многолетний планируемый сбор экспериментального материала со строгой регистрацией динамики ведущих факторов внешней среды и их последующим регрессионным анализом не гарантирует количественного определения влияния конкретного фактора на исследуемый биологический процесс из-за возможного отсутствия нужного сочетания интенсивности факторов внешней среды, что в свою очередь сказывается на качестве собранного материала.

Задачей данной работы было изучение влияния кислотности почвы на экофизиологическую характеристику сеянцев сосны обыкновенной разного географического происхождения путем определения параметров света и температуры, обеспечивающих достижение потенциального максимума и зоны оптимума их видимого фотосинтеза при естественном содержании в воздухе CO₂.

Материал и методы

Исследования проводили с сеянцами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разного географического происхождения (табл. 1). Перед посевом семена помещали на 3 ч в 0,05 %

раствор перманганата калия, затем просушили до воздушно-сухого состояния в течение суток и высевали в пластиковые сосуды с песком объемом 0,5 л по 20–25 штук. Сеянцы выращивали в факторостатных условиях: фотопериод 14 ч, освещенность 100–120 Вт/м², температура окружающей среды 25/20 °С (день/ночь), при трех уровнях рН почвы – 3,5; 4,5 и 6,5. Полив осуществляли питательным раствором Кнопа, дополненным микроэлементами, с заданным рН. Кислотность раствора регулировали путем добавления 10%-й H₂SO₄ в необходимой пропорции.

Таблица 1. Региональное и географическое место сбора семян сосны обыкновенной

№	Регион/место сбора семян	Географические координаты		Природная зона
		с. ш.	в. д.	
1	Мурманская обл./Ковдозеро	66°45'40"	31°33'39"	Лесотундра
2	Карелия/Юшкозеро	64°44'01"	32°05'53"	Северная тайга
3	Карелия/Поросозеро	62°43'05"	32°45'37"	Средняя тайга

По достижению сеянцами двухмесячного возраста удаляли нетипичные всходы, оставляя по 10 растений на сосуд. Затем по три сосуда с растениями помещали в установку для исследования CO₂-обмена открытого типа [Курец, 1991, с. 50–55] с газоанализатором Infracal IV (Германия), пределы измерения 0–0,01 % объемных, и осветительной системой, со спектром излучения, близким к естественному свету. Далее по восьмиточечному плану второго порядка проводили многофакторный планируемый эксперимент в трехкратной повторности (табл. 2–3). Значения точек плана выбирали на основании литературных данных.

Таблица 2. План двухфакторного эксперимента по изучению влияния света и температуры на CO₂-газообмен сеянцев сосны обыкновенной разного географического происхождения [Голикова и др., 1974]

Ступень плана	X ₁	X ₂
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	1	0
6	0	1
7	0	0
8	0	-1

Примечание. X₁ (кодированное значение) – освещенность (Вт/м²), X₂ (кодированное значение) – температура (°С).

Таблица 3. Соотношение кодированных и действительных значений освещенности и температуры

Место сбора семян	Кислотность почвенной среды	I блок			II блок			
		Натуральные уровни кодированных единиц						
		-1	0	1	-1	0	1	
Ковдозеро	рН 6,5	T	5	15	25	10	20	30
		E	100	200	300	100	250	500
	рН 4,5	T	5	15	25	10	20	35
		E	100	200	300	100	200	500
	рН 3,5	T	7	20	30	5	15	25
		E	100	250	400	100	250	400
Юшкозеро	рН 6,5	T	5	10	25	8	15	30
		E	100	200	300	100	200	500
	рН 4,5	T	5	15	25	7	15	35
		E	100	200	400	100	200	300
	рН 3,5	T	5	15	25	8	20	35
		E	100	250	450	100	250	450
Поросозеро	рН 6,5	T	5	15	30	9	20	35
		E	10	20	30	10	20	30
	рН 4,5	T	7	20	30	15	25	35
		E	100	200	300	100	250	500
	рН 3,5	T	7	20	30	15	25	35
		E	100	250	400	100	250	400

Примечание. Здесь и в табл. 4: Т – температура воздуха (°С), Е – освещенность (Вт/м²).

Интенсивность газообмена определяли при уровне CO₂ в воздухе, близком к естественному, по разности концентраций углекислого газа на входе и выходе воздушного потока установки. Экспозиция ступени плана составляла 40–60 мин, время выполнения одной повторности – 8 ч. Интенсивность газообмена рассчитывали на единицу сухой массы растения.

Результаты и обсуждение

Обработка экспериментальных данных методом множественного регрессионного анализа позволила получить уравнения – модели взаимосвязи видимого фотосинтеза интактных растений сосны обыкновенной с температурой и освещенностью:

$$NP = a_0 + a_1T + a_2E + a_3T^2 + a_4E^2 + a_5TE,$$

где NP – интенсивность нетто-фотосинтеза (мг CO₂/г сухой массы в час); E – освещенность (Вт/м²); T – температура (°С); a₀–a₅ – коэффициенты, определенные при математической обработке экспериментальных данных.

Статистическая оценка модели показала высокую степень ее адекватности: коэффициент множественной детерминации R² = 0,85, множественной корреляции R = 0,89, критерий Фишера F = 5,4, который значительно больше F табличного при уровне значимости α = 0,05.

Анализ модели численными методами показал (табл. 4), что сеянцы сосны по-разному реагировали на кислотность почвенной среды в зависимости от их географического происхождения. Наибольший максимум нетто-фотосинтеза при естественном содержании в воздухе CO₂ имели два более северных образца сосны при рН почвы 4,5, у более южного образца – при рН 6,5. Однако если в первом случае

разница в уровне потенциального максимума видимого фотосинтеза в зависимости от кислотности 4,5 и 6,5 была значительной, то в полдень – близкой к ошибке опыта.

Таблица 4. Потенциальный максимум (max) и оптимум (opt) нетто-фотосинтеза сеянцев сосны обыкновенной и свето-температурные условия внешней среды, обеспечивающие их достижение при естественном содержании в воздухе CO₂ и разных значениях кислотности почвы

Место сбора семян	Кислотность почвы pH	Нетто-фотосинтез (мг CO ₂ /г·ч)		Условия максимума нетто-фотосинтеза		Условия оптимума нетто-фотосинтеза	
		max	opt	E, Вт/м ²	T, °C	E, Вт/м ²	T, °C
Ковдозеро	6,5	1,49	1,37	310	12	200–480	4–22
	4,5	3,86	3,48	430	14	290–570	6–24
	3,5	1,4	1,24	370	11	240–460	2,5–20
Юшкозеро	6,5	2,1	1,89	340	15	240–420	6–24
	4,5	4,08	3,65	350	19	240–470	9–28
	3,5	1,22	1,1	390	13	260–540	5–25
Поросозеро	6,5	3,0	2,7	310	21	200–400	11–30
	4,5	2,3	2,1	330	16	220–410	10–25
	3,5	1,32	1,21	340	15	210–450	8–22

Кислотность песчаного субстрата для выращивания сеянцев сосны значительно влияла и на свето-температурные условия, обеспечивающие достижение потенциального максимума нетто-фотосинтеза. Менее требовательными к теплу были растения сосны наиболее северного происхождения при всех исследуемых уровнях кислотности, особенно при pH 3,5. Более теплолюбивыми были сеянцы южного происхождения при pH 6,5, в то время как при повышенной кислотности (pH 4,5) их требования к теплу оказались ниже, чем у растений более северного происхождения – из северотаежной зоны, при том же значении pH.

По отношению к уровню освещенности также наблюдали значительные различия, зависящие как от географического происхождения семян, так и от кислотности почвы. Несколько менее требовательны к интенсивности света, обеспечивающей достижение максимума нетто-фотосинтеза, сеянцы из семян более южного происхождения при всех значениях кислотности почвы, особенно при pH 6,5. У всходов семян наиболее северного происхождения при оптимальном уровне кислотности почвы значительно выше требования к освещенности с расширением ее зоны оптимума.

Графическое изображение видимого фотосинтеза сеянцев сосны при различных условиях среды наглядно демонстрирует, по углу наклона кривых [Малкина и др., 1970], особенности реакции растений на действие исследуемого фак-

тора в зависимости от кислотности почвы и места происхождения семян. У всходов разного происхождения сила влияния температуры, судя по наклону кривых, возрастала при кислотности почвы, обеспечивающей максимум фотосинтеза (рис. 1). При этом растения более северного происхождения достигали максимума видимого фотосинтеза при pH 4,5, а повышение и понижение кислотности вело к значительному снижению уровня нетто-фотосинтеза и силы влияния температурного фактора. Всходы наиболее южного происхождения достигали максимума нетто-фотосинтеза при pH 6,5, а повышение кислотности почвы приводило к снижению их видимого фотосинтеза и смещению его максимума в сторону пониженных температур.

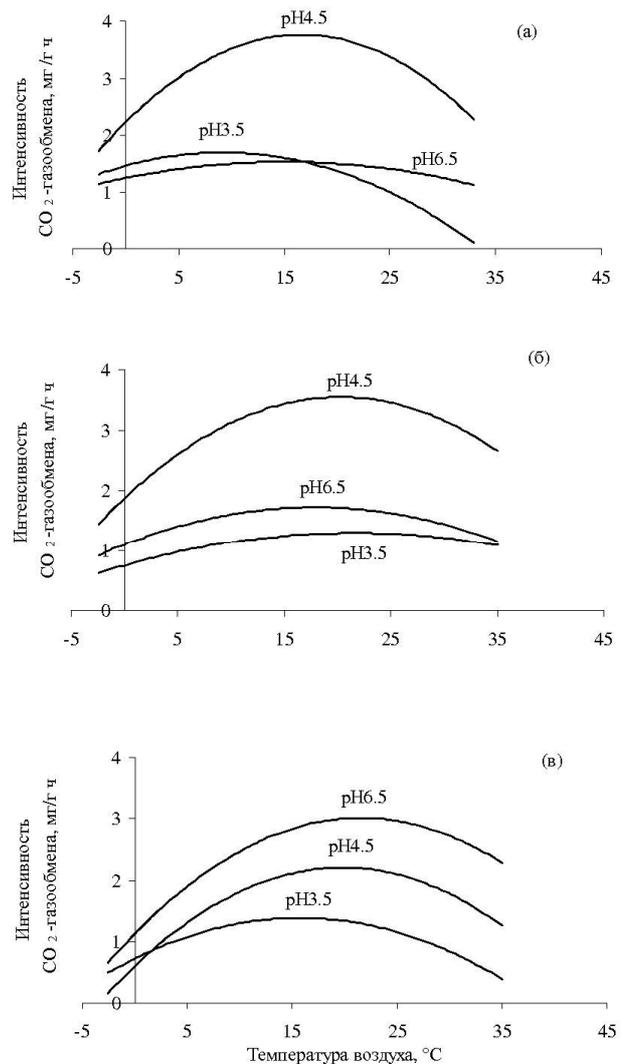


Рис. 1. Влияние температуры воздуха на интенсивность нетто-фотосинтеза сеянцев сосны обыкновенной разного географического происхождения:

а – Ковдозеро, б – Юшкозеро, в – Поросозеро, при освещенности зоны оптимума 300 Вт/м², выращенных при разной кислотности почвенной среды

Световые кривые нетто-фотосинтеза семян исследуемых образцов сосны под влиянием кислотности почвы, так же как и температурные, графически имели куполообразную форму (рис. 2), в отличие от приводимых в учебники [Физиология растений, 2005, с. 202]. Указанные световые кривые, полученные в природных условиях или в однофакторных экспериментах, при достижении определенной интенсивности света выходят на плато, что, по мнению авторов, наблюдается в результате светового насыщения. Эти различия в ходе влияния интенсивности света на видимый фотосинтез, вероятно, связаны с использованием иного методического подхода. В нашей работе была попытка применения методики активного планируемого мно-

гофакторного эксперимента, в отличие от широко практикуемого однофакторного метода. Об отсутствии в естественных многофакторных условиях внешней среды выхода световой кривой нетто-фотосинтеза на плато свидетельствуют многочисленные исследования повреждающего влияния высокой интенсивности света на фотосистемы растений [Цельникер, 1978, с. 163; Frank Harry, Brudvig Gary, 2004; Wei Ai-li et al., 2004]. По нашему мнению, выход световых кривых нетто-фотосинтеза на плато является результатом не светового насыщения, а влияния лимитирующего фактора: в природе это, вероятнее всего, недостаток влаги, а в эксперименте – температуры. При работе в регулируемых условиях внешней среды при проведении планируемого многофакторного эксперимента эти лимитирующие условия снимаются, но, естественно, возникают другие трудности.

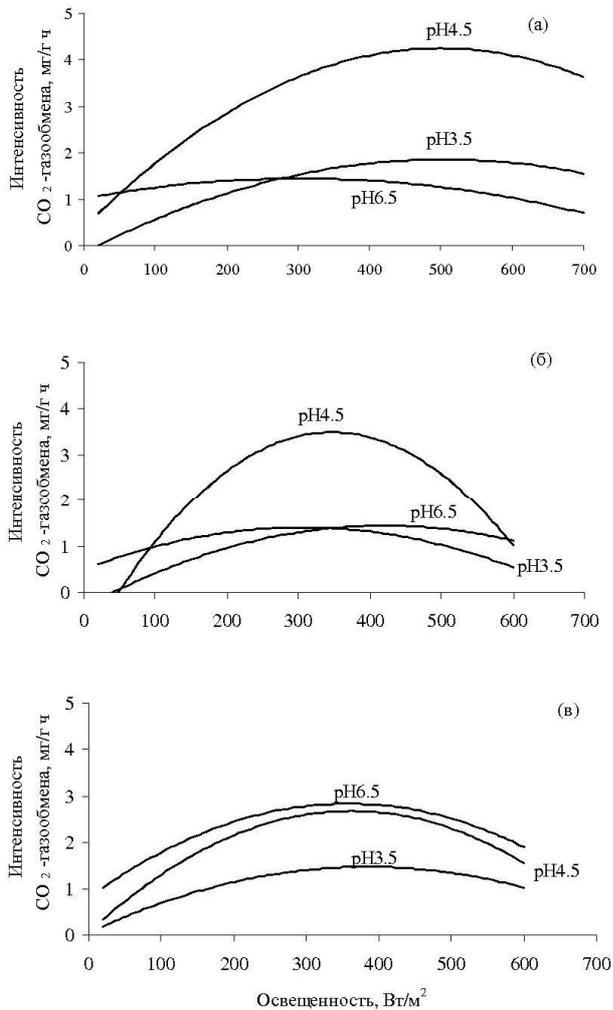


Рис. 2. Влияние света на интенсивность нетто-фотосинтеза семян сосны обыкновенной разного географического происхождения:

а – Ковдозеро, б – Юшкозеро, в – Поросозеро, при 15 °С – температуре воздуха зоны оптимума для всех исследуемых вариантов, выращенных при разной кислотности почвенной среды

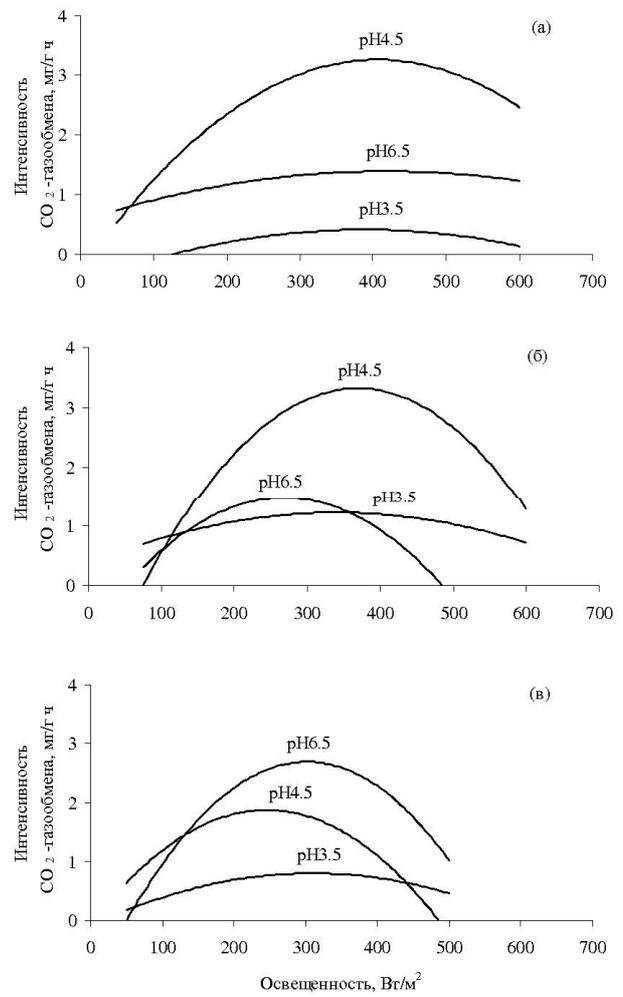


Рис. 3. Влияние света на интенсивность нетто-фотосинтеза семян сосны обыкновенной разного географического происхождения:

а – Ковдозеро, б – Юшкозеро, в – Поросозеро, при 25 °С – температуре воздуха зоны теплового закаливания для всех исследуемых вариантов, выращенных при разной кислотности почвенной среды

При этом световые кривые сеянцев сосны из семян различного географического происхождения, судя по их уровню и углу наклона, значительно различались между собой в зависимости от кислотности почвы, но имели общие тенденции с температурными кривыми: по интенсивности нетто-фотосинтеза и величине диапазона светового оптимума. При выходе температуры за пределы зоны оптимума [Дроздов и др., 1984] сила влияния светового фактора на газообмен резко возрастала, а зона оптимума по свету несколько сужалась (рис. 3).

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что экофизиологическая характеристика всходов сосны обыкновенной зависит как от их географического происхождения, так и от условий среды их произрастания, в том числе кислотности почвы. Потенциальный максимум нетто-фотосинтеза при естественном содержании в воздухе CO_2 у интактных растений сосны обыкновенной находился в диапазоне 2,1–6,5 мг CO_2 /г.ч. Наибольший уровень видимого фотосинтеза имели всходы, выращенные при кислотности почвы pH 4,5 из семян сосны северотаежной зоны. Температурный оптимум сеянцев расположен в диапазоне 4–30 °С. Наименее теплолюбивы растения сосны, выращенные при pH почвы 6,5 из семян северного происхождения (4–22 °С). Наиболее теплолюбивы (11–30 °С) сеянцы, выращенные при pH почвы 6,5 из семян наиболее южного происхождения. Световой оптимум всходов располагался в диапазоне 200–570 Вт/м², при этом наиболее светолучивы сеянцы северного происхождения, выращенные при pH почвы 4,5 (290–570 Вт/м²).

Литература

- Болондинский В. К. Динамика CO_2 -газообмена побегов сосны обыкновенной в условиях среднетаежной зоны: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 28 с.
- Голикова Г. И., Панченко Л. А., Фридман М. З. Каталог планов второго порядка. М.: МГУ, 1974. Вып. 47. Ч. 1. 387 с.
- Голомазова Г. М. Световые и температурные кривые фотосинтеза хвойных древесных пород // Физиология растений. 1981. Т. 28, № 2. С. 263–268.
- Дроздов С. Н., Курец В. К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 172 с.
- Дроздов С. Н., Курец В. К., Титов А. Ф. Терморезистентность активно вегетирующих растений. Л.: Наука, 1984. 167 с.
- Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 146 с.
- Иванов А. Ф., Понамарева А. В., Дерюгина Т. Ф. Отношение древесных растений к влажности и кислотности почвы. Минск: Наука и техника, 1966. 231 с.
- Курец В. К., Попов Э. Г. Статистическое моделирование связей растение – среда. Л.: Наука, 1991. 152 с.
- Куусела К. Динамика бореальных хвойных лесов. Хельсинки: Репола, 1991. 210 с.
- Левкина Т. И. К вопросу об отношении сеянцев древесных пород к реакции среды и известкованию почв лесных питомников // Возобновление леса на вырубках и выращивание сеянцев в питомниках. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1964. С. 179–203.
- Малкина И. С. Фотосинтез сосны обыкновенной // Лесоведение. 1981. № 4. С. 78–89.
- Малкина И. С., Цельникер Ю. Л., Яшкина А. М. Фотосинтез и дыхание подростка. М.: Наука, 1970. 183 с.
- Молчанов А. Г. Баланс CO_2 в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах. Тула: Гриф и К, 2007. 284 с.
- Морозова Р. М., Федорец Н. Г. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1992. 282 с.
- Суворова Г. Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2009. 195 с.
- Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометиздат, 1977. 199 с.
- Урманцев Ю. А. Системный подход к проблеме устойчивости растений (на примере исследования зависимости содержания пигментов в листьях фасоли от одновременного действия на нее засухи и засоления) // Физиология растений. 1977. Т. 26, вып. 4. С. 762–777.
- Физиология растений / Ред. И. П. Ермакова. М.: Изд. центр Академия, 2005. 635 с.
- Фрейберг И. А., Ермакова М. В., Стоценко С. К. Критерии оценки посадочного материала сосны обыкновенной // Лесное хозяйство. 2009. № 2. С. 33–35.
- Цельникер Ю. Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 211 с.
- Цельникер Ю. Л. Функциональная и структурная организация фотосинтетического аппарата лесных древесных растений // Труды Всесоюз. совещ. «Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и водного режима растений в полевых условиях». Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1983. С. 5–15.
- Frank Harry A., Brudvig Gary W. Redox functions of carotenoids in photosynthesis // Biochemistry. 2004. Vol. 43, N 27. P. 8607–8615.
- Jentschke G., Drexhage M., Fritz H.W. et al. Does soil acidity reduce subsoil rooting in Norway spruce (*Picea abies*)? // Plant and Soil. 2001. Vol. 237. P. 91–108.
- Van Dijk H. F. G., Bienfait H. F. Iron-deficiency chlorosis in Scots pine growing on acid soils // Plant and Soil. 1993. Vol. 153. P. 255–263.
- Wei Ai-li, Wang Zhi-min, Xibei Zhi-wuxuebao // Acta bot. Boreali-occident. Sin. 2004. Vol. 24, N 7. P. 1342–1397.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Еркоева Александра Андреевна

младший научный сотрудник
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
тел.: (8142) 762712

Дроздов Станислав Николаевич

главный научный сотрудник, д. б. н., проф.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: drozdov@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 762706

Холопцева Екатерина Станиславовна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: holop@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 762712

Erkoeva, Alexandra

Institute of Biology, Karelian Research Center,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia,
Russia
tel.: (8142) 762712

Drozdov, Stanislav

Institute of Biology, Karelian Research Center,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia,
Russia
e-mail: drozdov@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 762706

Kholopseva, Ekaterina

Institute of Biology, Karelian Research Center,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia,
Russia
e-mail: holop@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 762712