

- Braun-Blanquet J.* Bodenfaktoren // Pflanzensoziologie. Wien, 1951. S. 206–261.
Böhling N. Zeigerwerte der Phanerogamen – Flora von Naxos (Griechenland). Ein Beitrag zur ökologischen Kennzeichnung der mediterranen Pflanzenwelt // Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde. Serie A (Biologie). 1995. N 533. 75 S.
Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements – an environmental issue // Geoderma. 2004. Vol. 122. N 2–4. P. 143–149.
Rune O. Plant life on serpentines and related rocks in the North of Sweden // Acta Phytogeogr. Suec. 1953. Vol. 31. P. 5–136.

НЕТТО-ФОТОСИНТЕЗ РАСТЕНИЙ, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Дроздов С.Н., Холопцева Е.С., Попов Э.Г.

Петрозаводск, Институт биологии Карельского научного центра РАН

Одним из приоритетов в биологии в последние годы становится изучение биоразнообразия, основным компонентом оценки которого является определение видового состава (Лебедева и др., 1999). К сожалению, из сферы исследований практически выпадает не менее важное внутри видовое разнообразие, обогащающее ценными свойствами и определяющее пластичность и жизнеспособность вида. Особенно остро вопрос адаптации растений стоит в условиях северных регионов, где развитие растений ограничено не только средними климатическими показателями, но и резкими флюктуациями внешних факторов в вегетационный период. Поэтому, особенно в связи с наблюдаемыми изменениями климата, возрастает значение экологической составляющей генотипа. Эти сведения необходимы и для охраны вида (экоотипа) в природе и для сохранения их в культуре, при интродукции, селекции сортов для конкретных условий региона, их географическом и внутрихозяйственном размещении и разработки агротехники их выращивания. Возрастание роли экологических показателей в решении конкретных практических вопросов требует их перевода из качественного описания в количественное. Последнее стало возможным в результате развития фитотроники, вычислительной техники и разработки методики проведения многофакторных планируемых экспериментов на базе системного подхода и моделирования (Курец, Попов, 1991). Имеющиеся в научной литературе сведения о биолого-экологической характеристике растений в основном получены в полевых и вегетационных исследованиях и базируются на фенологических наблюдениях, анатомо-морфологических и цитогенетических данных. Экофизиологические показатели используются гораздо реже, в то время как именно они определяют возможности произрастания растений в конкретных условиях среды (Жученко, 2001). При этом, учитывая большое влияние фактора времени, в связи с ростом и развитием растения, для оценки его реакции на действие внешней среды в активном многофакторном планируемом эксперименте наиболее удобным интегральным показателем является первичный процесс продуктивности – CO_2 – газообмен, быстро реагирующий на изменения условий среды и доступный для регистрации без контакта с растением, дистанционно и непрерывно. При планировании многофакторного эксперимента нужно учитывать зональность влияния факторов среды на растения, так как переход интенсивности фактора из зоны в зону затрагивает геном и ведет к качественным изменениям реакции организма (Дроздов, Курец, 2003).

Задачей данного исследования было проведение планируемых многофакторных экспериментов по определению свето – температурных условий, обеспечивающих проявление фотосинтетической способности интактных растений ряда видов и сортов, с последующей обработкой полученных данных методами множественного регрессионного анализа с определением коэффициентов уравнений – моделей влияния исследуемых условий среды на нетто-фотосинтез растений.

Исследования проводили с несколькими видами и сортами представителей семейства бобовых: галегой восточной – козлятником (*Galega orientalis* Lam.); тремя видами астрагалов – серпоплодным (*Astragalus falcatus* L.); нутовым (*A. cicer* L.) и сладколистным (*A. glycyphyllus* Lam.), тремя сортами клевера красного (*Trifolium pratense* L.): с. Тимирязевец – селекции ТСХА, с. Нива – селекции Архангельской опытной станции и с. ВИК-7 – селекции Всесоюзного института кормов; четырьмя сортами люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.): двумя алкалоидными сортами № 843 и Немчиновский 846 и двумя слабоалкалоидными сортами №22 и Ладный; тимофеевкой луговой (*Phleum pratense* L.) с. Олонецкая местная; лисохвостом луговым (*Alorpecurus pratensis* L.) с. Серебристый.

Проведение многофакторного эксперимента и получение достоверных результатов возможно только при использовании выровненного материала, что требует повышенного внимания на всех этапах его подготовки от качества семян до исследуемой фазы развития растений. В наших экспериментах растения выращивали в песчаной культуре в специальных для фитотрона сосудах объемом 0,5 л. с поливом питательным раствором и добавлением микроэлементов, с заданным рН в диапазоне 6,0–6,8 дополненным микроэлементами при освещенности 120–150 Вт/м² и температуре 20–18°C (день/ночь). Продолжительность фотопериода (12–

16 ч.) и количество растений высаживаемых в сосуд (10–15) подбирались в зависимости от культуры. Отстающие в росте и имеющие видимые отклонения растения удаляли. В определенном, индивидуальном для каждого вида возрасте растения по одному сосуду помещали в установку для исследования CO₂-газообмена. Далее в двух повторностях проводили двухфакторный эксперимент по несимметричному квази-D-оптимальному трехуровневому плану (Голикова, Панченко, Фридман, 1974), в котором облученность варьировали на трех, а температуру на четырех уровнях, измеряя CO₂-газообмен при каждом сочетании факторов. Во время 40–60 минутной экспозиции на каждой ступени плана при помощи оптико – акустического газоанализатора Инфралит–4 регистрировали установившиеся значения разности содержания углекислоты в токе воздуха на входе и выходе в установке, которую пересчитывали на единицу сухого вещества целых растений (Таланов, 1990). Расчет ассимиляции углекислоты растениями на каждой ступени плана и обработка экспериментальных данных методом множественного регрессионного анализа позволили получить модель влияния температуры и света на нетто-фотосинтез интактных растений:

$$P_n = a_0 + a_1 E + a_2 T + a_3 ET + a_4 E^2 + a_5 T^2$$

где P_n -интенсивность нетто-фотосинтеза, мг г⁻¹ сухой массы в 1 ч⁻¹;

E – освещенность, Вт·м⁻²;

T – температура, °C;

a₁-a₅ – коэффициенты, определенные по опытным данным.

Полученные уравнения второго порядка зависимости CO₂-газообмена растений от света и температуры можно рассматривать как эколого-физиологические характеристики видов и сортов по изученным факторам (Курец, Попов, 1991).

Исследования показали (таблица), что потенциальный максимум нетто-фотосинтеза интактных растений исследованных видов на ранних фазах их развития при естественном содержании углекислоты значительно различается как по интенсивности от 9,1 мг·г⁻¹·ч⁻¹ у растений галеги восточной до 42,6 мг·г⁻¹·ч⁻¹ у астрагала серпоплодного, так и по свето-температурным условиям, обеспечивающим его достижение. Световой диапазон, обеспечивающий достижение максимума фотосинтетической способности исследуемых видов – от 390 Вт·м⁻² у клевера красного с. Тимирязевец до 540–570 Вт·м⁻² у сортов люпина узколистного с. Ладный, с. №22, Немчиновский 846, с. № 843, что свидетельствует о высоком светолюбии последних. В то же время их температурный диапазон – от 17°C у люпина узколистного с. Ладный до 32°C у клевера красного с. ВИК-7 – указывает на наличие среди изученных сортов и видов как растений умеренных широт, так и теплолюбивых. Однако для формирования продуктивности растений определяющее значение имеют свето-температурные условия внешней среды, обеспечивающие не потенциальный максимум нетто-фотосинтеза, практически очень редко наблюдаемый в природе, а условия среды, обеспечивающие его оптимум и в случае их совпадения, определяющие успешное произрастание данного генотипа (Лархер, 1978). Световые условия оптимума нетто-фотосинтеза наиболее светолюбивого из исследуемых видов люпина узколистного превышали 400 Вт·м⁻², а у наименее требовательного к интенсивности света клевера красного с. Тимирязевец – 270 Вт·м⁻². Сохранились существенные видовые и сортовые различия границ диапазонов оптимальных температур. Так их нижний уровень у исследованных образцов находился в диапазоне от 5,5°C у люпина с. Ладный до 20,0°C у клевера красного с. ВИК-7, верхняя граница зоны оптимума которого достигала 45,0°C, а у наименее теплолюбивого из исследуемых видов лисохвоста лугового с. Серебристый находилась в районе 26,0°C.

Интенсивность нетто-фотосинтеза интактных растений ряда видов и сортов и свето-температурные условия, обеспечивающие достижение их фотосинтетической способности.

Вид, сорт	Максимум			Оптимум		
	Мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Е, Вт·м ⁻²	Т°С	Мг·г ⁻¹ ·ч ⁻¹	Е, Вт·м ⁻²	Т°С
Астрагал сладколистный	33,4	460	24,5	29,4	320	14,0–35,0
Астрагал нутовый	26,3	470	22,5	24,4	325	14,5–31,5
Астрагал серпоплодный	42,6	510	24,8	38,8	350	17,5–33,0
Галега восточная	9,1	550	23,0	8,2	340	12,5–32,5
Клевер красный с.Тимирязевец	18,1	390	20,0	16,5	270	12,0–28,0
с. Нива	20,1	460	24,9	18,2	320	15,0–34,5
с. Вик – 7	30,0	555	32,5	27,3	380	20,0–45,0
Люпин узколистныйс. N 843	32,6	570	23,0	29,7	400	11,5–35,0
с. Немчиновский 846	33,4	565	21,5	30,4	400	11,0–22,0
с. N 22	30,6	560	21,5	27,8	390	10,0–33,0
с. Ладный	32,0	540	17,0	29,1	385	5,5–28,0
Тимофеевка луговая с. Олонецкая	25,2	560	19,0	22,6	390	11,0–27,0
Овсяница луговая с. Карельская	12,6	305	17,0	11,4	225	9,0–22,5
Лисохвост Серебристый	27,0	490	18,0	24,3	335	10,0–26,0

На фоне межвидовых различий в свето-температурных характеристиках у некоторых видов наблюдается и значительное внутривидовое (сортовое) разнообразие. Так, например, из трех сортов клевера красного наиболее требовательным к температуре и интенсивности света в области максимума нетто-фотосинтеза является сорт ВИК-7 (32,5°C и 450 Вт·м⁻² соответственно). Среди сортов люпина узколистного эти различия выражены слабее.

Таким образом, проведенные исследования показали, что изученные сорта значительно различаются как по возможному потенциальному максимуму нетто – фотосинтеза, так и по свето – температурным условиям, обеспечивающим его достижение. При этом об экологической характеристике вида нельзя судить по отдельным его представителям, о чем свидетельствуют данные свето – температурной характеристики исследованных сортов люпина узколистного и клевера красного. Фотосинтетическая способность большинства исследованных сортов растений семейства бобовых достигается при температуре 20°C или несколько выше, но имеются и сорта с ярко выраженными холодолюбивыми показателями, такие как с. Ладный, среди сортов люпина узколистного, с максимумом при 17°C и нижней границей оптимума видимого фотосинтеза на уровне 5,5°C или растений с. Тимирязевец клевера красного, с нижней границей оптимума видимого фотосинтеза при 12°C и верхней – при 28°C. Эти примеры свидетельствуют о значительных резервах внутри видового разнообразия по терморезистентности. Кроме того, судя по сортам клевера красного, имеются значительные внутри видовые различия и по их отношению к интенсивности света. Полученные данные свидетельствуют о значительных резервах биоразнообразия растительного мира, которое выражается как на межвидовом, так и на внутривидовом уровне. Изучение подобных характеристик позволит прогнозировать возможность внедрения того или иного вида и сорта растений в регионы с соответствующими природно-климатическими условиями, а так же облегчит подбор селекционного материала при выведении новых более продуктивных и устойчивых сортов.

Литература

- Голикова Т.И., Панченко Л.А., Фридман М.З. Каталог планов второго порядка. М.: МГУ, 1974. Ч.1. Вып. 47. 383 с.
- Дроздов С.Н., Курец В.К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. Петрозаводск. Изд. ПГУ, 2003. 166 с.
- Жученко А.А. Научные приоритеты развития растениеводства в XXI веке // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 2. С. 9–13.
- Курец В.К., Попов Э.Г. Статистическое моделирование системы связей растение – среда. Л.: Наука, 1991. 152 с.
- Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
- Лебедева Н.В., Дроздов Н.Н., Криволицкий Д.А. Биоразнообразие и методы его оценки. Учебное пособие. Изд. Моск. Университета, 1999. 95 с.
- Таланов А.В. Расчет скорости CO₂-газообмена в системе фитотрон- растение при изменяющихся условиях среды // Инфракрасные газоанализаторы в изучении газообмена растений / Под редакцией Нечипоровича А.А. М.: Наука, 1990. С. 64–74.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ГИПОКСИИ НА ОБРАЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ *PISUM SATIVUM* (L)

Ершова А.Н., Попова Н.В., Бердникова О.С.

Воронеж, Воронежский госпедуниверситет

Процессы перекисного окисления липидов протекают у растений в обычных условиях, обеспечивая катаболизм липидов, но значительно усиливаются при воздействии на растения неблагоприятных факторов внешней среды. Предполагается (Crawford et al., 1996), что в условиях кислородного дефицита у растений активируются процессы пероксидации липидов, что и определяет степень их устойчивости к анаэробизму. Основным субстратом ПОЛ являются полиненасыщенные жирные кислоты, в основном линолевая и линоленовая (Мерзляк, 1993). В условиях дефицита кислорода в среде обитания растений содержание ненасыщенных жирных кислот в липидах снижается (Чиркова и др. 1991) и это происходит более значительно при действии среды повышенных концентраций диоксида углерода (Землянухин, Ершова и др., 1985)

Предполагается, что усиление процессов ПОЛ при гипоксии является следствием активации у растений неферментативных свободнорадикальных процессов, включая образование активных форм кислорода (АФК). Образование свободных радикалов при гипоксии путем неферментативных реакций ПОЛ показано для некоторых неустойчивых к затоплению видов растений (Калашников и др., 1994; Blokhina et al., 2003). Отличительной чертой активных форм кислорода, таких как супероксидный анион-радикал, гидроксильный радикал, пероксид водорода является, зависящий от их количества, дифференциальный эффект на структуры растительной клетки. Накопление значительных количеств АФК