

УДК 633.11:581.11

ВОДНЫЙ ОБМЕН У ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ ОСВЕЩЕНИЯ

М. В. МОТОРИНА, В. С. КОРШУНОВА

(Лаборатория искусственного климата ТСХА, Институт водных проблем АН СССР)

При искусственных источниках облучения у растений изменяются некоторые физиологические свойства [3, 5]. Одной из возможных причин этого является существенное различие спектрального состава света данных источников и естественного солнечного освещения.

Наиболее близкий к солнечному спектр дают ксеноновые лампы, однако они не нашли широкого распространения из-за больших трудностей, возникающих при их эксплуатации. В настоящее время в производственных теплицах и селекционных центрах применяются удобные в эксплуатации лампы ДРЛФ-400, созданные на основе ДРЛ, предназначенных для уличного освещения. Однако физиологическое воздействие этих ламп на растения изучено мало.

Спектр излучения ламп ДРЛФ-400, по измерениям инженера Лаборатории искусственного климата О. С. Фанталова, близок к спектру излучения ламп ХЛРГ фирмы «Филипс» и в области ФАР обладает следующими характеристиками: синяя область 375—533 нм — 26 % от суммарного потока, зеленая — 533—595 нм — 50,2 и красная — 595—697 нм — 23,9 %. Указанные данные говорят о том, что для растений, видимо, недостаточна красная область излучения этих ламп. Можно было предположить, что для его обогащения следует применить лампы накаливания, главная полоса спектра которых находится в красной и инфракрасных областях.

Цель настоящей работы — исследование водного режима пшеницы — одного из важных показателей состояния организма — при выращивании ее под лампами ДРЛФ-400 и при сочетании последних с лампами накаливания.

Материал и методика

Объектом служила яровая короткостебельная мягкая пшеница сорта Канада СВ-151. По данным ВИР, этот сорт является сложным гибридом разновидности эритроспермум, имеющим 3 гена карликовости, и относится к сильным пшеницам.

Опыты проводили в регулируемых условиях в Лаборатории искусственного климата Тимирязевской академии. Длина дня 16 ч, температура воздуха 20° днем и 16° ночью. Относительная влажность воздуха при выращивании в пределах 50—60 % днем и 60—80 % ночью.

Растения выращивали в поддонах на гравии (гранитная крошка) с периодической принудительной подачей питательного раствора. Концентрация питательного раствора Кнопа постепенно повышалась в первые недели роста растений от 0,1 до 1,0 нормы, подача его проводилась в течение 10 мин через каждые 90 мин в первые 2 нед, затем — через каждые 4 ч. Ежедневно в питательный раствор добавляли воду до исходного объема, а pH поддерживали на уровне 5,6. Раствор меняли раз в неделю. Густота стояния растений 300 шт/м².

Источником освещения в I варианте служили лампы ДРЛФ-400 (60—65 Вт/м²), во II варианте — такие же лампы в комбинации с лампами накаливания ЗН-8 (60—65 Вт/м²). Для обоих вариантов лучистый поток выравнивался для области ФАР (380—710 нм).

Во II варианте доля излучения от ламп ДРЛФ-400 составила только 36 Вт/м², поэтому существенно уменьшилось излучение в синей и зеленой частях спектра и возросло в красной.

В течение вегетации до фазы колосения у растений обоих вариантов одновременно измеряли оводненность листьев разных ярусов, дефицит насыщения влагой [4].

Последний показатель определяли на срезанных листьях. Для этого их взвешивали, разделяли на несколько частей и базипетальными концами погружали в чашечку с водой, где образцы удерживались с помощью кусочков фильтровальной бумаги, и помещали в камеру, в которой поддерживалась влажность 100 % и освещенность 1000 лк. Через 12 ч листья обсушивали и взвешивали.

Водоудерживающую способность листьев оценивали после срезания и подвядания их в подвешенном состоянии в воздухе непосредственно в месте выращивания. Скорость потери воды определяли взве-

шиванием на торсионных весах через 30, 60, 120 и 240 мин.

После выколашивания в течение 2 нед измеряли транспирацию на срезанных листьях методом Иванова (взвешивание на торсионных весах) и параллельно — в простейшей аэродинамической трубе, сконструированной в лаборатории физики почвенных вод Института водных проблем АН СССР под руководством А. И. Будаговского.

Одновременно определяли коэффициент внутреннего влагообмена листа по методике, разработанной в Институте водных проблем АН СССР А. И. Будаговским [1]. Этот коэффициент — важнейший биофизический параметр транспирации, который аналогичен устьичной проводимости или обратной ей величине — коэффициенту устьичного сопротивления диффузии (эти термины широко используются в зарубежной литературе).

Коэффициент внутреннего влагообмена листа отражает количественные зависимости, описывающие транспирацию на отрезках пути движения водяного пара от внутренних паренхимных клеток листа к его поверхности

$$E = \rho D_{\text{л}} \frac{0,622}{P} (e_{\text{л}} - e_{\text{л}}) \quad (1)$$

и с поверхности листа в окружающий воздух

$$E = \rho D_0 \frac{0,622}{P} (e_{\text{л}} - e_0). \quad (2)$$

Здесь E — транспирация, или плотность потока водяного пара; ρ — плотность воздуха; $D_{\text{л}}$ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность скорости (см/с), характеризующий проводимость листа для водяного пара, или коэффициент внутреннего влагообмена; D_0 — коэффициент внешнего влагообмена листа; P — атмосферное давление; 0,622 — переходный множитель от удельной влажности воздуха q к упругости водяного пара e ; $e_{\text{л}}$, $e_{\text{л}}$ и e_0 — упругость водяного пара соответственно внутри листа, на его поверхности и в окружающем воздухе. Исключив $e_{\text{л}}$ из уравнения (1) и (2), получим:

$$E = \rho \frac{0,622}{P} \bar{D} (e_{\text{л}} - e_0), \quad (3)$$

где $\bar{D} = \frac{D_0 D_{\text{л}}}{D_0 + D_{\text{л}}}$ — коэффициент вла-

гообмена двуслойной среды — мезофилл листа — поверхность листа — поверхность листа — окружающий воздух.

Для вычисления коэффициента внутреннего влагообмена листа из уравнения (3), помимо данных о транспирации, необходимы данные о температуре листа, которая непосредственно не измерялась и рассчитывалась из уравнения энергетического баланса листа [1]. По температуре листа определяли упругость водяного пара внутри листа [1]. Коэффициент внешнего влагообмена листа D_0 , зависящий от скорости роста ветра и длины листовой пластинки, вычисляли по данным испарения абсолютно влажного тела (кусочков фильтровальной бумаги), когда падающая радиация равна 0.

Экспериментальная часть

Принятый способ выращивания в гравии с автоматической подпиткой питательным раствором обеспечивает достаточное увлажнение среды, в которой находятся корни, так как гравий хорошо удерживает воду в промежутках между порами раствора. В этом случае растения выращиваются при оптимальном водоснабжении, свидетельством чего являются данные оводненности листьев и размеры водного дефицита (табл. 1). Как в I, так и во II вариантах водный дефицит не превышал 3—4%, а оводненность листьев была высокой (79—88%) и примерно одинаковой в обоих вариантах, постепенно снижаясь с увеличением яруса листьев.

На рис. 1 четко отражены потери воды листьями разных ярусов у растений обоих вариантов в различные фазы роста. Растения I варианта во все сроки измерений отличались большей скоростью убыли воды, причем последняя возрастала от нижнего яруса к верхнему. Так, у 3-го листа (на 16-й день от всходов) потери воды через 30 мин составляли 2,5%, а у 7-го (50-й день от всходов) — 7%. Кроме того, в ходе подвядания листьев также наблюдались различия между вариантами: в первый срок взвешивания, когда потери регулируются устьичным аппаратом, медленнее теряли воду листья II

Т а б л и ц а 1

Оводненность и дефицит насыщения листьев пшеницы по ярусам в фазу колошения при разных источниках освещения

Ярус	Содержание воды, % на сырую массу		Дефицит насыщения, %	
	ДРЛФ-400	ДРЛФ-400+ЗН-8	ДРЛФ-400	ДРЛФ-400+ЗН-8
3-й	88,2	88,7	2,45	1,62
4-й	88,2	88,3	1,53	1,56
6-й	84,9	84,5	4,12	3,80
7-й (флаг)	79,7	79,6	2,30	2,96

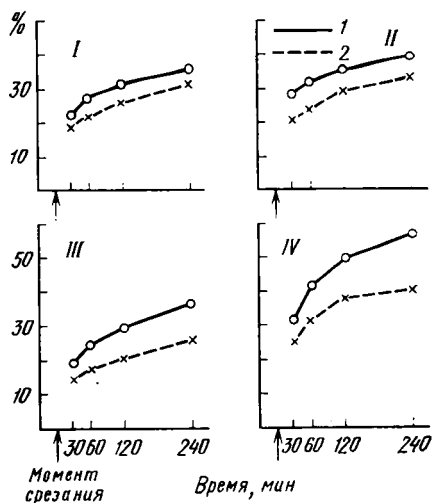


Рис. 1. Динамика потерь воды (% от исходного содержания) листьями разных ярусов.

1 — под лампами ДРЛФ-400; 2 — смешанное освещение; I, II, III и IV — соответственно 3, 4, 6 и 7-й листья.

варианта. По мере подвядания разница между вариантами возрастала, особенно у верхнего листа. Так, через 30 мин она составляла 7 %, а через 240 мин — 16,8 %.

Таблица 2

Некоторые показатели водного режима верхних листьев пшеницы при разных источниках освещения

Показатели	ДРЛФ-400	ДРЛФ-400 + ЗН-8
Транспирация, мг/г сырой массы в час	970	710
Транспирация мг/см ² .мин	0,37±0,08	0,26±0,04
Д _л , см/с	0,68±0,12	0,40±0,12

Для проверки времени проявления ответной реакции растений на изменение качественного состава света в специальном опыте растения выращивали в течение месяца после появления всходов под лампами ДРЛФ-400, после чего часть растений переносили под смешанное освещение. Измерение водоудерживающей способности 7-го листа на 2, 6, 9 и 11-й дни (рис. 2) показало, что на 2-й день после перестановки растений на смешанное освещение разницы между вариантами еще нет, а на 6-й и 9-й дни у растений, выращиваемых при смешанном освещении, снижается скорость потери воды. На 11-й день разница между вариантами уменьшалась. Последнее обусловлено тем, что подвядание листьев происходило в отличие от

первых трех сроков не в воздухе, а в замкнутой камере при относительной влажности 35 %. Однако разница между вариантами сохранялась и была достоверна.

Одновременные измерения транспирации двумя методами, проведенные после выколаживания на верхних листьях, а также расчеты коэффициента внутреннего влагообмена листа показали (табл. 2), что при переносе на смешанное освещение транспирация снижалась на 27—30 %. Так же уменьшался и коэффициент внутреннего влагообмена листа (т. е. устьичная проводимость).

Как видно из табл. 2, транспирация, определенная методом Иванова, составля-

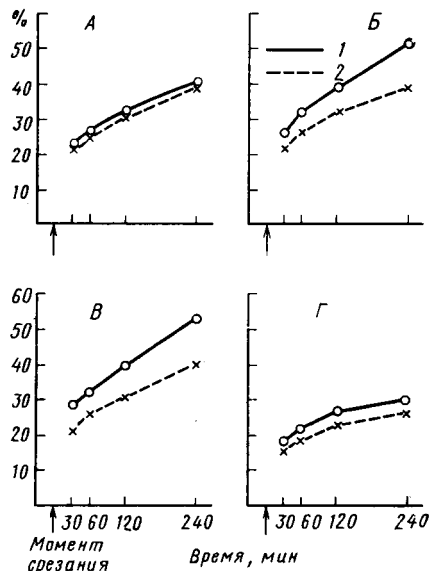


Рис. 2. Динамика потерь воды (% от исходного содержания) листьями в разные дни после начала воздействия смешанным освещением (измерение в замкнутом пространстве при относительной влажности 35 %).

A — на 2-й день; B — на 6-й; V — на 9-й; Г — на 11-й день. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

ла в I и II вариантах соответственно 970 и 710 мг на 1 г сырой массы и при смешанном освещении была на 27 % ниже. Этот показатель, измеренный в аэродинамической трубе, составлял соответственно 0,37 и 0,26 мг/см².мин и во II варианте был ниже на 30 %. Коэффициент внутреннего влагообмена листа уменьшался с 0,68 в I варианте до 0,40 см/с во II варианте. Таким образом, снижение устьичной проводимости соответствовало уменьшению транспирации.

Следует отметить, что развитие растений во II варианте ускорялось, колошение и цветение наступало раньше на 4 дня, а молочная спелость — на 6 дней. Варианты различались также и по таким пока-

зателям, как удельная плотность листьев, которая для I варианта составляла 2,9, а для II — 2,5 мг/см² (по сухой массе), и ширина верхнего листа — соответственно 1,17 и 1,05 см. Масса зерна (г на растение) во II варианте также была ниже, чем в I (2,66 и 2,76 г). Общая масса растений уменьшалась главным образом за счет снижения массы соломы (с 2,42 до 2,1 г); ниже оказалась и масса 1000 зерен (46,3 и 42,6).

Обсуждение

Смешанное освещение (лампы накаливания и ДРЛФ-400) при выращивании растений приводило к заметному снижению транспирации и коэффициента внутреннего влагообмена листа, а также к увеличению водоудерживающей способности листьев.

Одним из основных регуляторов процесса транспирации являются устьица. Так, Милторп и Спенсер [13] в опытах с пшеницей обнаружили линейную зависимость скорости транспирации листа от логарифма сопротивления потоку воздуха, т. е. степени открытия устьиц. Молдау [6, 8] считает, что устьица регулируют водообмен растений по всем диапазонам влажности от полевой влагоемкости до завядания.

При выращивании пшеницы под лампами ДРЛФ-400 в общем потоке облучения преобладает синие-зеленая часть спектра.

По данным Н. П. Воскресенской и М. А. Полякова [2], добавка небольших количеств синего света (380—480 нм) приводит к существенному увеличению газообмена за счет открывания устьиц.

Кеерберг [9], исследуя транспирацию и фотосинтез в синие-зеленой (400—550 нм) и красной (600—700 нм) областях спектра обнаружил значительное увеличение интенсивности этих процессов в области 400—550 нм и объяснил этот эффект реакцией открывания устьиц.

Лурье [11] отмечала наибольшую ответную реакцию устьиц в синей области (450 нм), меньшую — в красной (650—800 нм) и почти полную нечувствительность устьиц в зеленой области спектра (500—550 нм).

Можно предположить, что спектр ламп ДРЛФ-400 вследствие преобладания в нем

синие-зеленой части спектра способствует открыванию устьичной щели. Вследствие этого повышается транспирация. В нашем опыте она достигла 0,37 мг/см²·мин, что более чем вдвое превышает уровень транспирации, полученный другими авторами для пшениц, выращенных в контролируемых условиях [13].

Исходя из сказанного можно заключить, что, возможно, регуляторное действие синего света преобладает в механизме устьичных движений.

Красный свет в отличие от синего оказывает менее выраженное влияние на степень раскрытия устьичной щели [10, 12]. Так, по данным [10], интенсивность света $5 \cdot 10^4$ эрг/см²·с (0,07 кал/см²·мин) является насыщающей для транспирации.

Одна из возможных причин уменьшения транспирации растений во II варианте — снижение доли синего света от ламп ДРЛФ в общем потоке ФАР с 26 до 15%. Кроме того, при ограниченном воздухообмене в камерах, где выращивались растения, возможно уменьшение влажности воздуха непосредственно около листьев в посевах во II варианте за счет возрастания доли инфракрасной радиации. Это, как указывает ряд авторов [7, 14], может приводить к частичному закрыванию устьиц.

Существенное увеличение падающей радиации (с 0,15 до 0,45 кал/см²·мин) главным образом за счет ИК радиации во II варианте приводило к снижению транспирации и соответственно повышению температуры листа в среднем на 1° по сравнению с I вариантом.

Выводы

1. У пшеницы, выращенной в контролируемых условиях при смешанном освещении (ДРЛФ-400 и лампы накаливания), транспирация была ниже, а водоудерживающая способность листьев — выше, чем при выращивании под лампами ДРЛФ-400.

2. Коэффициент внутреннего влагообмена листа у растений в условиях смешанного освещения имел более низкие значения, чем у растений, выращенных под лампами ДРЛФ-400. Возможно, синяя часть спектра ламп ДРЛФ-400 воздействует на степень открывания устьиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будаговский А. И. Энергетический баланс листа. — В сб.: Фотосинтез и использование солнечной энергии. — М.: Наука, 1971, с. 87—97. — 2. Воскресенская Н. П., Поляков М. А. Регуляторное действие синего света на фотосинтетический газообмен: спектр действия и световое насыщение CO₂ у листьев ландыша. — Физиол. раст., 1976, т. 23, вып. 1, с. 10. — 3. Клешнин А. Ф. Растение и свет. М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 4. Кушниренко М. Д., Гончарова Э. А., Бондарь Е. М. Методы изучения водного обмена и засухоустойчивости плодовых расте-

ний. Кишинев: АН Молд. ССР, 1970. — 5. Леман В. М. Культура растений при электрическом освещении. М.: Колос, 1971. — 6. Молдау Х. А. Зависимость сопротивления устьиц от метеорологических факторов при водном дефиците. — Физиол. раст., 1974, т. 21, вып. 5, с. 800—806. — 7. Молдау Х. А., Сыбер А. Ю. Влияние влажности воздуха на проводимость устьиц и мезофила листьев фасоли при двух значениях влажности почвы. — Физиол. раст., 1974, т. 21, вып. 4, с. 800—806. — 8. Молдау Х. А. Устьица — универсальные регуляторы фотосинтеза. —

Физиол. раст., 1977, т. 24, вып. 5, с. 800—806.—9. Keerberg H., Keerberg O., Pärnic T.—Photosynthetica, 1971, vol. 5, p. 99—106.—10. Kuiper P. J. C.—Meded. Landb. Hoogesch. Wageningen, 1961, vol. 61, p. 1—49.—11. Lurie S.—Planta, 1978, vol. 140, p. 245—249.—12. Meid-
ner P. J. C., Mansfield T. A.—Biol. Rev., 1965, vol. 40, N 4, p. 483—504.—13. Milthorpe F. L., Spenser E. J.—J. of exper. Bot., 1957, vol. 8, p. 413—437.—14. Rawson H. M., Begg J. E.—Planta, 1977, N 134, p. 5—10.

Статья поступила 3 августа 1981 г.

SUMMARY

Transpiration of growing wheat was lower under controlled conditions with the lamps DRLF-400 with addition of incandescent lamps 3H-8 than with growing plants only under lamps DRLF-400. Water holding capacity of plant leaves under DRLF-400 lamps was higher. Coefficient of "internal water exchange" of plant leaves under mixed lighting was lower than one under the lamps. The blue part of spectrum of lamps DRLF-400 is likely to have a regulating mechanism which influence the degree of stoma opening.