

УДК [58.036:581.08.132]:582,739

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА НЕТТО-ФОТОСИНТЕЗ КУЛЬТУРЫ ТЕПЛИЧНОГО ОГУРЦА

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

Институт биологии Карельского научного центра РАН

В регулируемых условиях среды в четырехфакторном планируемом эксперименте изучено влияние температуры почвы на нетто-фотосинтез интактных растений огурца в фазу четвертого настоящего листа в зависимости от интенсивности света и температуры воздуха, содержания в нем углекислоты. Показано ее влияние на видимый фотосинтез растений, особенно в зоне повышенных температур воздуха и низкой освещенности. Для рассады огурца с. Алма-Атинский 1 максимум нетто-фотосинтеза достигается при отрицательном температурном градиенте почва / воздух 23/38°С, освещенности 25,5 клк и 0,27% содержания CO_2 в воздухе.

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L., интактное растение, нетто-фотосинтез, температура почвы, многофакторный эксперимент.

S. N. Drozdov, E. S. Kholoptseva, E. G. Popov. EFFECTS OF SOIL TEMPERATURE ON NET PHOTOSYNTHESIS IN PLANTS

The effect of soil temperature on net photosynthesis in intact cucumber plants at the phase with the fourth true leaf was investigated in a pre-planned four-factor experiment under a controlled environment and in relation with light intensity, air temperature and carbonic acid content. The soil temperature was shown to affect apparent photosynthesis in the plants, especially at high air temperature and low light intensity. Net photosynthesis in cucumber seedlings of the Alma-Atinsky 1 variety peaked at a negative soil/air temperature gradient of 23/38°C when illuminance was 25.5 klux and CO_2 content in the air was about 0.27%.

Key words: *Cucumis sativus* L., intact plants, net photosynthesis, soil temperature, multifactor pre-planned experiment.

Введение

Установление наряду с поглотительной способностью корня его синтетической функции [Рубин, 1956] повысило интерес исследователей к влиянию температуры почвы на различные стороны жизнедеятельности растений [Коровин, 1961; Радченко, 1966], в том числе и на их CO_2 -обмен [Лубнин, Метлякова, 1976; Курец и др., 2003; Дроздов и др., 2008]. Вместе с тем в связи со сложной взаимозависимостью био-

логических процессов, метеорологических факторов и продолжительностью их действия многие вопросы их влияния, в частности, на фотосинтез растений далеко не выяснены. При этом наиболее актуально изучение влияния температуры почвы у культур защищенного грунта, где факторы внешней среды поддаются регулированию.

Задачей настоящей работы было изучение влияния температуры почвы на нетто-фотосинтез интактных растений огурца на ранних фа-

зах его развития в зависимости от интенсивности освещенности, температуры воздуха и содержания в нем CO_2 .

Материалы и методы

Опыты проводили с растениями огурца (*Cucumis sativus* L.) раннеспелого с. Алма-Атинский 1, выведенного для теплиц преимущественно с солнечным обогревом. Растения выращивали по одному в сосуде объемом 0,5 л на песчаной культуре в факторостатных условиях [Дроздов, Курец, 2003]. В возрасте 22–23 суток (в фазе 4-х настоящих листьев) сосуды с растениями поочередно помещали в герметический бокс установки для исследования газообмена с регулированием концентрации углекислоты в воздухе, освещенности и температуры воздуха и почвы [Таланов и др., 1982], где проводили четырехфакторный эксперимент по плану Бокса-Бенкера (табл. 1). Экспозиция в каждой точке плана составляла 30–40 мин и определялась выходом CO_2 -обмена на стационарный уровень. Диапазон варьирования факторов в эксперименте выбирался на основании литературных данных в пределах зоны оптимума [Дроздов и др., 1981; Попов, 1986].

Таблица 1. План четырехфакторного эксперимента и интенсивность нетто-фотосинтеза растений огурца с. Алма-Атинский 1 в фазу 4-х листьев

№	Е, клк	CO_2 % об.	$T_{\text{в}}$, °С	$T_{\text{п}}$, °С	PN, мг CO_2 /г · ч
1	23	0,06	26,5	22	26,64
2	5	0,06	26,5	22	8,72
3	23	0,3	26,5	22	38,56
4	5	0,3	26,5	22	29,21
5	14	0,18	38	14	25,76
6	14	0,18	15	14	21,84
7	14	0,18	38	30	22,72
8	14	0,18	15	30	16,83
9	14	0,18	26,5	14	24,96
10	5	0,18	26,5	14	15,04
11	23	0,18	26,5	14	30,88
12	5	0,18	26,5	30	13,76
13	23	0,18	26,5	30	27,04
14	14	0,06	15	22	16,42
15	14	0,3	15	22	29,04
16	14	0,06	38	22	17,04
17	14	0,3	38	22	35,44
18	14	0,18	26,5	22	24,96
19	14	0,06	26,5	14	17,92
20	14	0,3	26,5	14	32,64
21	14	0,06	26,5	30	13,04
22	14	0,3	26,5	30	28,08
23	5	0,18	15	22	18,01
24	23	0,18	15	22	27,21
25	5	0,18	38	22	18,42
26	23	0,18	38	22	36,64
27	14	0,18	26,5	22	27,23

Примечание. Здесь и в табл. 2: Е – интенсивность освещенности, CO_2 – концентрация углекислого газа в воздухе, $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, $T_{\text{п}}$ – температура почвы, PN – интенсивность нетто-фотосинтеза.

Результаты и обсуждение

Обработка полученных данных методом множественного регрессионного анализа определила численные коэффициенты уравнений количественной зависимости CO_2 -обмена от переменных факторов опыта – модели их влияния на нетто-фотосинтез – в виде полинома второй степени:

$$PN = -20,87 + 0,9045 \cdot E + 67,744 \cdot C + 2,129 \cdot T_2 - 0,00553 \cdot E^2 - 1,9815 \cdot E \cdot C + 0,02184 \cdot E \cdot T_1 - 0,00889 \cdot E \cdot T_2 - 8,161 \cdot C^2 + 1,0437 \cdot C \cdot T_1 - 0,007918 \cdot T_1^2 + 0,00544 \cdot T_1 \cdot T_2 - 0,05428 \cdot T_2^2$$

где PN – нетто-фотосинтез, мг CO_2 /г · ч;

E – освещенность, клк;

T_1, T_2 – температура, °С соответственно воздуха и почвы;

C – концентрация CO_2 в воздухе, %.

Статистическая оценка модели показала высокую степень ее адекватности по критерию Фишера ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$) при уровне надежности $\alpha = 0,05$ и коэффициенту множественной детерминации $R_2 = 0,86$.

Анализ модели численными методами позволил определить потенциальный максимум нетто-фотосинтеза и соответствующие ему условия внешней среды, нижнюю границу зон оптимума по всем исследуемым факторам внешней среды (90% от потенциального максимума по Лархеру, 1978, что однозначно фоновой зоне, как показали исследования) [Дроздов, Курец, 2003], почвенные температурные кривые нетто-фотосинтеза в пределах опыта в зависимости от уровня освещенности, температуры воздуха и содержания в нем CO_2 . Учитывая, что условия внешней среды, обеспечивающие максимум нетто-фотосинтеза растений, даже в пределах защищенного грунта, реализуются достаточно редко, более реальную экологическую характеристику экотипа (сорта) дают условия среды зоны оптимума [Дроздов, Курец, 2003]. У исследуемого сорта потенциальный максимум видимого фотосинтеза достигается при отрицательном температурном градиенте между воздухом и почвой, относительно низкой освещенности и повышенном содержании в воздухе углекислоты (табл. 2).

При естественном содержании CO_2 в воздухе (0,036 %) максимум нетто-фотосинтеза интактных растений огурца достигается в условиях более низкой освещенности (20 клк) и температур почвы и воздуха – +22° и +26°С соответственно (рис. 1, кривая 6). Понижение или повышение температуры почвы от максимума при оптимальной освещенности несколько снижает интенсивность видимого фотосинтеза (кривые 3, 6, 9). Уменьшение уровня освещенности усиливает их негативное влияние на нетто-фотосинтез, особенно при высоких темпе-

ратурах воздуха (кривые 1,4,7), что является в основном результатом повышения интенсивности дыхания, в значительной степени за счет роста составляющей дыхания поддержания [Хит, 1972; Дроздов и др., 2005]. Снижение освещенности (5–14 клк, кривые 1, 2, 4, 5, 7, 8), естественно, приводит к уменьшению интенсивности нетто-фотосинтеза со смещением его максимума в сторону пониженных температур как почвы, так и воздуха. Повышение температуры воздуха смещает максимум нетто-фотосинтеза в сторону более высоких температур почвы.

Увеличение до оптимального содержания в воздухе CO_2 (табл. 2) ведет к значительному возрастанию интенсивности нетто-фотосинтеза во всех случаях исследованных уровней ос-

вещности, особенно в пределах зоны оптимума (рис. 2, кривые 3, 6, 9). При этом максимум нетто-фотосинтеза смещается в сторону более высоких температур почвы и воздуха. Потенциальный максимум достигается при более высоком уровне освещенности, что согласуется с литературными данными, свидетельствующими о зависимости эффективности углекислотной подкормки тепличной культуры огурца от освещенности [Bolhar-Narald, 1980]. Возрастание интенсивности освещенности выше 25 клк у огурца приводит к снижению видимого фотосинтеза, особенно за пределами фоновой зоны, что связано с появлением излишка энергии возбуждения [Головки и др., 2008], ведущей к фотоингибированию в ФС II [Карапетян, Бухов, 1986; Behera, Choundhury, 2002].

Таблица 2. Потенциально возможные максимум и оптимум нетто-фотосинтеза растений огурца с. Алма-Атинский 1 в фазу 4-х настоящих листьев и условия внешней среды, обеспечивающие их достижение

Максимум					Оптимум				
PN мг CO_2 /г·ч	Е, клк	Тв, °С	Тп, °С	CO_2 , %	PN мг CO_2 /г·ч	Е, клк	Тв, °С	Тп, °С	CO_2 , %
40,7	25,5	38,0	23,4	0,27	39,2	>22	>30	>17,2	>0,22

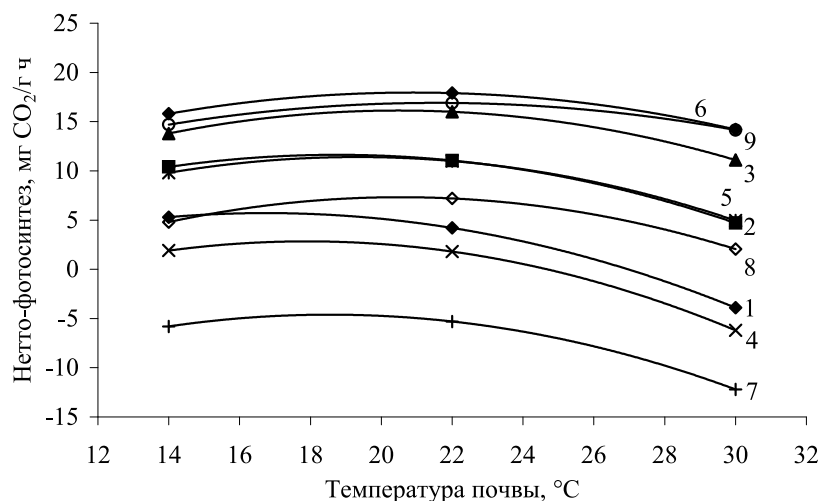


Рис. 1. Влияние температуры почвы на нетто-фотосинтез интактных растений огурца с. Алма-Атинский 1 в фазу 4-х настоящих листьев при естественном содержании в воздухе CO_2 (0,036%), освещенности и температуре воздуха соответственно

Усл. обозн. здесь и на рис. 2: 1 – 5 клк, 15°С; 2 – 14 клк, 15°С; 3 – 23 клк, 15°С; 4 – 5 клк, 26°С; 5 – 14 клк, 26°С; 6 – 23 клк, 26°С; 7 – 5 клк, 38°С; 8 – 14 клк, 38°С; 9 – 23 клк, 38°С

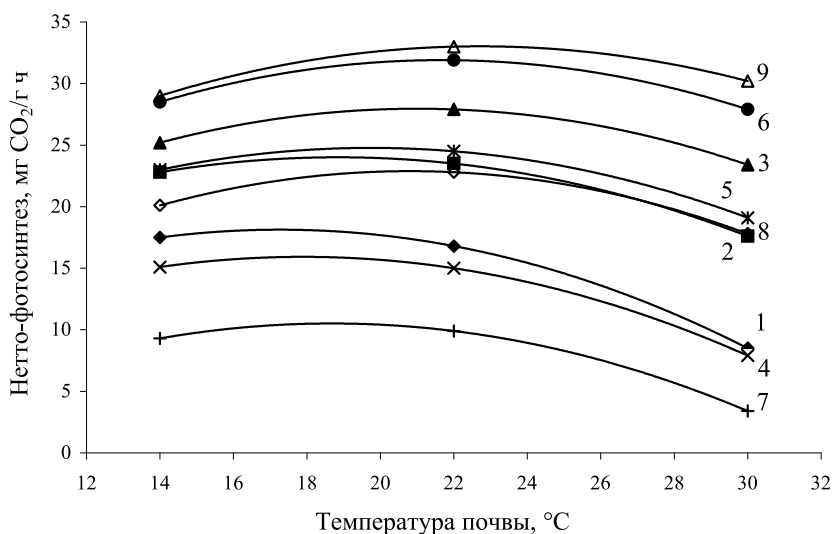


Рис. 2. Влияние температуры почвы на нетто-фотосинтез интактных растений огурца с. Алма-Атинский 1 в фазу 4-х настоящих листьев при повышенном содержании в воздухе CO_2 (0,3%), освещенности и температуре воздуха соответственно

Выводы

Таким образом, исследования показали влияние температуры почвы на нетто-фотосинтез интактных растений огурца, особенно при высокой температуре воздуха и низкой освещенности. Экстремальные температуры почвы, как низкие, так и высокие, усиливают негативное влияние высокой интенсивности света на нетто-фотосинтез. Для рассады огурца с. Алма-Атинский 1 максимум нетто-фотосинтеза достигается при отрицательном температурном градиенте почва / воздух – 23/38°C, освещенности 25,5 клк и 0,27% содержания CO₂ в воздухе.

Литература

Головки Т. К., Дымова О. В., Яцко Я. Н. и др. Пигментный аппарат растений: структура, функция, экофизиология // *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: мат-лы Всерос. конф.* Петрозаводск, 2008. Ч. 6. С. 34–37.

Дроздов С. Н., Курец В. К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. Петрозаводск, 2003. 170 с.

Дроздов С. Н., Попов Э. Г., Холопцева Е. С., Титов А. Ф. Изменение нетто-фотосинтеза растений люпина узколистного под влиянием температуры почвы // *Докл. РАСХН*. 2008. № 2. С. 19–20.

Дроздов С. Н., Сычева З. Ф., Попов Э. Г. и др. Роль дыхания в формировании терморезистентности растений // *Физиология и биохимия растений*. 2005. Т. 37, № 1. С. 73–78.

Дроздов С. Н., Титов А. Ф., Балагурова Н. И., Критенко С. П. О терморезистентности проростков огурца и градации температурной шкалы // *Физиология растений*. 1981. Т. 28, вып. 6. С. 1239–1244.

Карапетян Н. В., Бухов Н. Г. Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений // *Физиология растений*. 1986. Т. 33, вып. 5. С. 1013–1026.

Коровин А. И. Температура почвы и растение на Севере. Петрозаводск, 1961. 192 с.

Курец В. К., Дроздов С. Н., Попов Э. Г. и др. Температурный градиент воздух–почва как фактор оптимизации нетто-фотосинтеза интактных растений // *Физиология растений*. 2003. Т. 50, № 1. С. 81–87.

Лархер В. Экология растений. М.: Мир. 1978. 384 с.

Лубнин В. Ф., Метлякова А. Д. Влияние температуры корнеобитаемой среды в рассадный период на рост и продуктивность томата, капусты и огурца // *Биологические основы овощеводства под пленкой в Восточной Сибири: Сб. трудов*. Иркутск: СИФИБР, 1976. С. 11–28.

Попов Э. Г. Зависимость CO₂-газообмена огурца от условий внешней среды (на примере трех сортов) // *Термоадаптация и продуктивность растений*. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР. 1986. С. 102–109.

Радченко С. И. Температурные градиенты среды и растения. М.; Л.: Наука, 1966. 389 с.

Рубин Б. А. Физиология растений. М.: Советская наука, 1956. Ч. 2. 288 с.

Таланов А. В., Безденежный В. А., Хилков Н. И. Установа для исследования газообмена интактных растений // Влияние факторов внешней среды и физиологически активных веществ на терморезистентность и продуктивность растений. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1982. С. 142–149.

Хит О. Фотосинтез (физиологические аспекты). М.: Мир, 1972. 312 с.

Behera R. K., Choundhury N. K. High irradiance induced pigment degradation and loss of photochemical activity of wheat chloroplasts // *Biol. Plant*. 2002. Vol. 45, N 1. P. 45–49.

Bolhar-Harald R. Anderungen im Wirkungsgrad der Photosynthese als Basis erhohter Produktivitet // *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 1980. Vol. 93, N 2. P. 425–439.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дроздов Станислав Николаевич

главный научный сотрудник, д.б.н., профессор
ИБ КарНЦ 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.
ИБ КарНЦ РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: holop@krc.karelia.ru
тел. (8142) 762712

Попов Эдуард Григорьевич

к.б.н.
ИБ КарНЦ РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
тел. (8142) 762706

Drozdoz, Stanislav

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

Kholoptseva, Ekaterina

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

Popov, Eduard

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
tel. (8142) 762706