

УДК 581.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОТОСИНТЕЗА РАСТЕНИЙ ОГУРЦА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ И ДЛИТЕЛЬНОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

М. И. Сысоева, Е. Н. Икконен

Институт биологии Карельского научного центра РАН

На основе анализа модельных данных выявлены существенные различия по интенсивности фотосинтеза и областям оптимума у растений огурца (*Cucumis sativus* L., гибрид Зозуля), подвергнутых на ранних этапах онтогенеза постоянному и кратковременному действию низких закаливающих температур. Постоянное действие низкой температуры значительно ингибировало фотосинтетические процессы и привело к сужению области оптимума и ее сдвигу в сторону низких значений температуры и освещенности, а нестабильность суточного температурного режима, напротив, способствовала усилению адаптационной способности растений огурца, значительно расширив область оптимума фотосинтеза.

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L., температура, освещенность, фотосинтез, адаптационная способность.

M. I. Sysoeva, E. N. Ikkonen. OPTIMIZATION OF PHOTOSYNTHESIS PROCESSES IN CUCUMBER PLANTS IN SHORT-TERM AND LONG-TERM LOW TEMPERATURE TREATMENTS

We have analysed model data and revealed significant distinctions in the rate of photosynthesis and optimum condition ranges between cucumber (*Cucumis sativus* L., Zozulya ev.) plants exposed early in the ontogeny to long-term and to short-term low hardening temperatures. Continuous exposure to low temperature significantly inhibited photosynthesis, narrowed the optimum range and shifted it towards lower temperature and light values, whereas variations in daily temperature, on the contrary, enhanced the adaptation capacity of cucumber plants through notable expansion of the range optimal for photosynthesis.

Key words: *Cucumis sativus* L., temperature, light intensity, photosynthesis, adaptation capacity.

Введение

Влияние постоянных низких температур на фотосинтез растений достаточно хорошо изучено. В частности, показано, что фотосинтез огурца – типичного представителя тепло-

любивых растений – существенно подавляется при выращивании в низкотемпературных условиях в течение нескольких дней [Zhou et al., 2006; Borowski, 2009]. Значительно меньше внимание уделено исследованию краткосрочных низкотемпературных воздействий

[Курец, Попов, 1991]. Однако с учетом широкой распространенности в природе флуктуирующих температур, особенно в утренние и ночные часы ранневесеннего и осеннего периодов, а также использования переменных суточных температурных режимов в современных технологиях растениеводства защищенного грунта [Мое, Heins, 2000], исследование адаптационной способности фотосинтетического аппарата растений к действию кратковременных снижений суточных температур представляет большую актуальность и является одной из целей настоящего исследования.

Материал и методы

Растения огурца (*Cucumis sativus* L., гибрид Зозуля) выращивали в течение двух недель в камере искусственного климата методом песчаной проливной культуры при поливе модифицированным раствором Кнопа (рН 6,2–6,4), температуре 23 °С, фотопериоде 12 ч, фотосинтетически активной радиации (ФАР) 120 мкмоль/м²·с, влажности воздуха 60–70 %. По достижении растениями фазы развернутого первого настоящего листа часть из них оставляли в этих условиях (вариант контроль), а остальные в течение 6 сут либо экспонировали при постоянной низкой температуре 12 °С (вариант ПНТ), либо ежедневно на 2 ч помещали в условия низкой температуры в конце ночного периода (вариант ДРОП). Интенсивность нетто-фотосинтеза измеряли с помощью портативной системы для исследования CO₂-газообмена растений (Walz, Германия) с использованием листовой камеры с контролируемыми условиями освещенности, температуры и влажности воздуха. Измерения скорости фотосинтеза проводили на первом настоящем листе в вегетационных камерах при температуре воздуха от 8 до 33 °С и освещенности от 20 до 1800 мкмоль/м²·с ФАР. Перед началом измерений растение адаптировали к температуре в течение 1 ч.

По экспериментальным данным методом множественного регрессионного анализа получены математические модели взаимосвязи нетто-фотосинтеза растений огурца с температурой и освещенностью:

$$\Phi = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot E + a_3 \cdot E \cdot T + a_4 \cdot T^2 + a_5 \cdot E^2,$$
где Φ – интенсивность нетто-фотосинтеза (мкмоль/м²·с); E – освещенность (мкмоль/м²·с); T – температура (°С); a_0 – a_5 – коэффициенты модели. Коэффициенты модели представлены в таблице.

Коэффициенты модели взаимосвязи нетто-фотосинтеза растений огурца с температурой и освещенностью

Вариант опыта	Коэффициент					R ²	
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		a ₅
Контроль	–6,036	0,853	0,005	0,0006	–0,0205	–0,000009	0,73
ДРОП	–3,037	0,380	0,016	0,0001	–0,0069	–0,000008	0,74
ПНТ	–6,847	0,566	0,011	0,0005	–0,0154	–0,000019	0,85

Примечание. R² – коэффициент множественной детерминации.

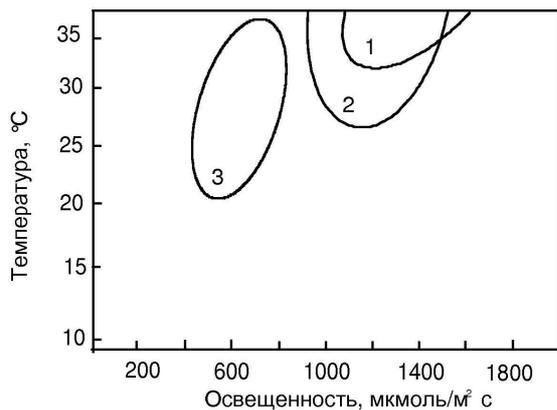
Результаты и обсуждение

Анализ моделей численными методами показал, что потенциальный максимум фотосинтеза растений огурца, подвергнутых постоянно-действию низкой закалывающей температуры, значительно ниже (4,3 мкмоль/м²·с), чем у контрольных растений (15,4 мкмоль/м²·с). В то же время потенциальный максимум фотосинтеза растений, подвергнутых ДРОП-обработке (13,9 мкмоль/м²·с), достоверно не отличался от контроля.

Анализ расположения 90%-ных областей оптимума фотосинтеза растений огурца в плоскости светового и температурного факторов показал, что максимум фотосинтеза контрольных растений достигался при высокой освещенности (1100–1500 мкмоль/м²·с) и температуре выше 31 °С (рис., область 1). Длительное низкотемпературное воздействие вызвало сдвиг области оптимума в сторону более низких температур (20–35 °С) и освещенности (400–800 мкмоль/м²·с) (рис., область 3), в то время как при кратковременных снижениях температуры такого эффекта не наблюдалось. При этом ДРОП-обработки по сравнению с контролем привели к расширению области оптимума как по температуре (>26 °С), так и по освещенности (900–1400 мкмоль/м²·с) (рис., область 2).

Несмотря на то что теплолюбивые растения, к которым относится огурец, обладают слабой способностью адаптации к низким температурам [Allen, Ort, 2001; Yamori et al., 2010], данное исследование показало, что растения огурца, подвергшиеся кратковременному периодическому воздействию низких температур, приобрели способность поддерживать высокий уровень фотосинтеза при более низких по сравнению с контролем температурах. Расширение зоны оптимума фотосинтеза как по температуре, так и по освещенности у растений, испытавших кратковременные воздействия низких температур, может быть рассмотрено как повышение адаптационной способности фотосинтеза, обеспечивающей высокую устойчивость и про-

дуктивность растений в условиях нестабильного климата. Результаты данной работы согласуются с предположением Е. Ф. Марковской с соавт. [2008] о том, что стратегия развития растения при периодических кратковременных снижениях температуры заключается в повышении устойчивости, стимуляции метаболических процессов и настройке на активный метаболизм. Также ранее нами было установлено, что ответной реакцией растений на ежесуточное кратковременное воздействие низкой температурой является увеличение устьичной проводимости при низких и высоких температурах [Икконен и др., 2012], что может обусловить выявленное в данной работе расширение температурной области оптимума фотосинтеза.



90%-е области оптимума нетто-фотосинтеза растений огурца в зависимости от освещенности и температуры при кратковременном (ДРОП) и длительном (ПНТ) низкотемпературных воздействиях:

1 – контроль; 2 – ДРОП; 3 – ПНТ

Таким образом, выявлены существенные различия как по интенсивности фотосинтеза растений огурца, так и по областям оптимума при постоянном и кратковременном низкотемпературном воздействиях. Если постоянное действие низкой температуры значительно ингибирует фотосинтетические процессы и при-

водит к сужению области оптимума и ее сдвигу в сторону низких значений температуры и освещенности, то нестабильность суточного температурного режима, напротив, значительно расширяет оптимальную область фотосинтеза, способствуя усилению адаптационной способности растений огурца.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 10-04-00097_a).

Литература

- Икконен Е. Н., Шибеева Т. Г., Сысоева М. И., Шерудило Е. Г. Устьичная проводимость *Cucumis sativus* L. при длительном и кратковременном действии низких температур // Физиология растений. 2012. № 5 (в печати).
- Курец В. К., Попов Э. Г. Статистическое моделирование системы связей растение – среда. Л.: Наука, 1991. 152 с.
- Марковская Е. Ф., Сысоева М. И., Шерудило Е. Г. Феномен ежесуточного кратковременного влияния низких закалывающих температур на жизнедеятельность растения // Онтогенез. 2008. Т. 39, № 5. С. 323–332.
- Allen D. J., Ort D. R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants // Trends in Plant Science. 2001. N 6. P. 36–42.
- Borowski E. Response to chilling in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants treated with triancotanol and Asahi SL // Acta Agrobotanica. 2009. N 62 (2). P. 165–172.
- Moe R., Heins R. D. Thermo- and photomorphogenesis in plants // Advances in Floriculture Research. Agric. Univ. of Norway. Report N 6. 2000. P. 52–64.
- Yamori W., Noguchi K., Hikosaka K., Terashima I. Phenotypic plasticity in photosynthetic temperature acclimation among crop species with different cold tolerances // Plant Physiology. 2010. Vol. 152. P. 388–399.
- Zhou Y. N., Mao W. H., Zhang Y. Y. et al. Role of thermal dissipation in the photoprotection in cucumber plants after exposure to a chill stress // Photosynthetica. 2006. N 44 (2). P. 262–267.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сысоева Марина Ивановна

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

Sysoeva, Marina

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

Икконен Елена Николаевна

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

Ikkonen, Elena

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