

УДК 581.1

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ *CUCUMIS SATIVUS* L. НА ДРОП В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Т. Г. Шибаета, Е. Г. Шерудило, А. Ф. Титов

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Изучали влияние скорости снижения температуры на реакцию растений *Cucumis sativus* L. на ежесуточные кратковременные (2 ч) снижения температуры (ДРОП) в конце ночного (темновой ДРОП) или в начале дневного (световой ДРОП) периода. Температуру снижали с 20 до 9 °С постепенно (со скоростью 0,4 °С/мин) или резко (11 °С/мин) путем перестановки растений из одной климатической камеры в другую. Полученные результаты показали, что при непродолжительном действии на растения низких положительных температур быстрое снижение температуры вызывает в растениях ряд реакций, отличных от тех, которые наблюдаются при постепенном снижении температуры. Резкое снижение температуры при ДРОП-воздействиях оказало более сильное негативное воздействие на состояние фотосинтетического аппарата растений и накопление биомассы по сравнению с постепенным изменением температуры. Различия были более выраженными при действии ДРОП на свету, и это указывает, что время суток, а скорее всего, наличие или отсутствие света в тот период, когда растения подвергаются действию низкой температуры, играет важную роль в их ответных реакциях. В то же время линейный рост и развитие растений, а также холодоустойчивость листьев изменялись под влиянием ДРОП независимо от скорости снижения температуры. Все эти аспекты реакции растений на действие пониженных температур следует учитывать в лабораторных экспериментах, когда при изучении того или иного действия температуры на растения практикуется резкая смена температуры, которая достигается путем быстрой перестановки растений из одних температурных условий в другие.

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; низкая температура; ДРОП-воздействия; скорость снижения температуры; свет.

T. G. Shibaeva, E. G. Sherudilo, A. F. Titov. THE EFFECT OF COOLING RATE ON CUCUMBER PLANT RESPONSE TO A DAILY SHORT-TERM TEMPERATURE DROP

We studied the effect of cooling rate on responses of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to a daily short-term (2 hour) temperature reduction (DROP) at the end of the night (dark DROP) or at the beginning of the day (light DROP). The temperature was lowered from 20° to 9 °C gradually (at a rate of 0.4 °C/min) or sharply (11 °C/min) by transferring plants from one climate chamber to another. This work has shown that under short-term exposure to low non-injurious temperatures a fast versus slow cooling have somewhat different effects on plants. DROP with rapid cooling had a more pronounced negative impact on the state of the photosynthetic apparatus of the plants and biomass accumulation compared to DROP with slow temperature decrease. The differences were more

pronounced when plants were treated by light DROP, which indicates that the time of day, or rather the presence or absence of light at a time when the plants are exposed to low temperature plays a significant role. At the same time, a plant height, leaf emergence rate and leaf chilling tolerance changed under the influence of DROP regardless of the cooling rate. All these factors should be considered in laboratory experiments, when low temperature effects on plants are studied at rapid cooling, when temperature changes are achieved by transferring plants from one growth chamber to another.

Keywords: *Cucumis sativus* L.; low temperature; DROP-treatment; rate of cooling; light.

Введение

Ежесуточные непродолжительные снижения температуры (ДРОП, от англ. *drop* – падение) на 2–3 ч, обычно в конце ночи или рано утром, широко используются в практике тепличного растениеводства для получения компактной и более устойчивой рассады овощных культур, клумбовых и цветочных растений без применения химических ретардантов. В исследованиях особенностей реакции растений на ДРОП обычно рассматриваются такие параметры, как интенсивность, длительность воздействия низких температур, время их воздействия в суточном цикле [Mortensen, Мое, 1992; Ueber, Hendriks, 1992; Марковская и др., 2000; Сысоева и др., 2013; Шibaева, Шерудило, 2014; Шibaева и др., 2015], в то время как работ по изучению влияния скорости снижения температуры нет. Между тем давно известно, что реакция растений на охлаждение зависит не только от интенсивности и продолжительности низкотемпературного воздействия, но и от скорости снижения температуры [Patterson, Reid, 1990]. Например, еще в 1837 г. было отмечено, что быстрое понижение температуры в отличие от постепенного охлаждения приводит к остановке движения цитоплазмы у водоросли *Chara*. Имеются данные, также по большей части полученные уже давно, свидетельствующие о том, что резкое охлаждение часто влияет на те или иные физиологические процессы и показатели растений не так, как постепенное снижение температуры до тех же значений. В частности, к чувствительным к резкому снижению температуры процессам относятся движение цитоплазмы, флоэмный транспорт, рост, поглощение воды и мембранный потенциал [Minorsky, 1989]. Тем не менее до сих пор этому аспекту температурного воздействия на растения в исследованиях адаптации растений к низким положительным температурам должное внимание не уделялось. Анализ имеющихся литературных данных провести довольно сложно, так как в большинстве работ не указывается или не измеряется, с какой скоростью

происходило снижение температуры. Кроме того, нужно отметить, что в работах речь может идти о быстром понижении температуры (rapid-cooling treatment), независимо от того, до какого конкретного значения оно происходит (при этом часто изменения происходят в пределах зоны оптимума), или о холодовом шоке (cold shock), когда температура быстро снижается до низких положительных значений. Особенно часто холодовой шок имеет место в лабораторных экспериментах, когда растения перемещают из обычных (нормальных) условий в условия действия низкой температуры практически одновременно (переставляют из одной климатической камеры в другую).

Чувствительность растений к быстрому снижению температуры варьирует среди видов и сортов и может зависеть от их генетических особенностей, стадии развития и физиологического состояния растения. В среднем скорость снижения температуры более чем 1–10 °С/мин вызывает в растениях реакции, отличные от реакций на постепенное снижение температуры. Однако даже при скорости снижения температуры в таком диапазоне реакции растений на быстрое охлаждение могут не проявляться, если величина перепада температуры меньше, чем некоторое пограничное значение (чаще всего перепад температуры должен быть в пределах от 2 до 10 °С) [Minorsky, 1989].

Время суток, когда растения подвергаются действию низких температур, также играет определенную роль, так как чувствительность к холоду у растений может колебаться в течение суток [Patterson, Reid, 1990; Stavang et al., 2007]. В связи с этим задача данной работы заключалась в изучении влияния скорости снижения температуры на реакцию растений *Cucumis sativus* L. на ДРОП в конце ночного или в начале светового периода.

Материалы и методы

Растения огурца (*Cucumis sativus* L., Кураж F1) выращивали в камере искусственного

климата (Vötsch, Германия) в сосудах с песком при поливе полным питательным раствором (рН 6,2–6,4), температуре воздуха 25/20 °С (день/ночь), ФАР 250 мкмоль/ (м²·с), фотопериоде 16 ч, влажности воздуха 70 %. Ежесуточные кратковременные (2 ч) понижения температуры (ДРОП) до 9 °С в конце ночного (темновой ДРОП) или в начале дневного (световой ДРОП) периода проводили в течение 14 суток в период роста первого настоящего листа (с 7-го по 20-й день от посадки). Температуру снижали и повышали или постепенно (со скоростью 0,4 °С/мин), или резко (11 °С/мин), путем перестановки растений из одной климатической камеры в другую (Snijders Microclima 1750, Нидерланды). Контрольные растения выращивали при температуре 25/20 °С, производя изменения температуры со скоростью 0,4 °С/мин.

В конце опыта определяли высоту растений, площадь, число листьев длиной более 1 см, сухую биомассу растений.

Общее содержание хлорофиллов *a* и *b* определяли с помощью измерителя уровня хлорофилла SPAD 502 Plus (Konica Minolta, Osaka, Япония). Для измерения флуоресценции хлорофилла использовали анализатор фотосинтеза с импульсно-модулированным освещением (MINI-PAM, Walz, Германия). Потенциальный квантовый выход фотохимической активности ФС II (F_v/F_m) определяли после 20-минутной темновой адаптации листьев. Измерения проводили на первом настоящем листе, достигшем зрелости.

О холодоустойчивости клеток первого настоящего листа судили по температуре (LT_{50}), вызывающей гибель 50 % палисадных клеток листовых высевок после их 5-минутного промораживания в термоэлектрическом термостате ТЖР («Интерм», Россия) при последовательном снижении температуры с шагом 0,4 °С [Дроздов и др., 1976]. Жизнеспособность клеток определяли с помощью светового микроскопа Микмед-2 (ЛОМО, Россия) по коагуляции цитоплазмы и деструкции хлоропластов.

Содержание малонового диальдегида (МДА) определяли по [Heath, Parker, 1968]. Листья растирали в 2 мл 20% трихлоруксусной кислоте (ТХУ). Гомогенат центрифугировали при 15 000 г в течение 10 мин; 1 мл надосадочной жидкости смешивали с 1 мл 20% ТХУ, содержавшей 0,5 % тиобарбитуровой кислоты. Смесь нагревали в течение 30 мин при 95 °С и затем центрифугировали 5 мин при 10 000 г. Концентрацию МДА определяли спектрофотометрически, измеряя оптическую плотность при 532 нм и неспецифичное поглощение при 600 нм. Для расчета содержания

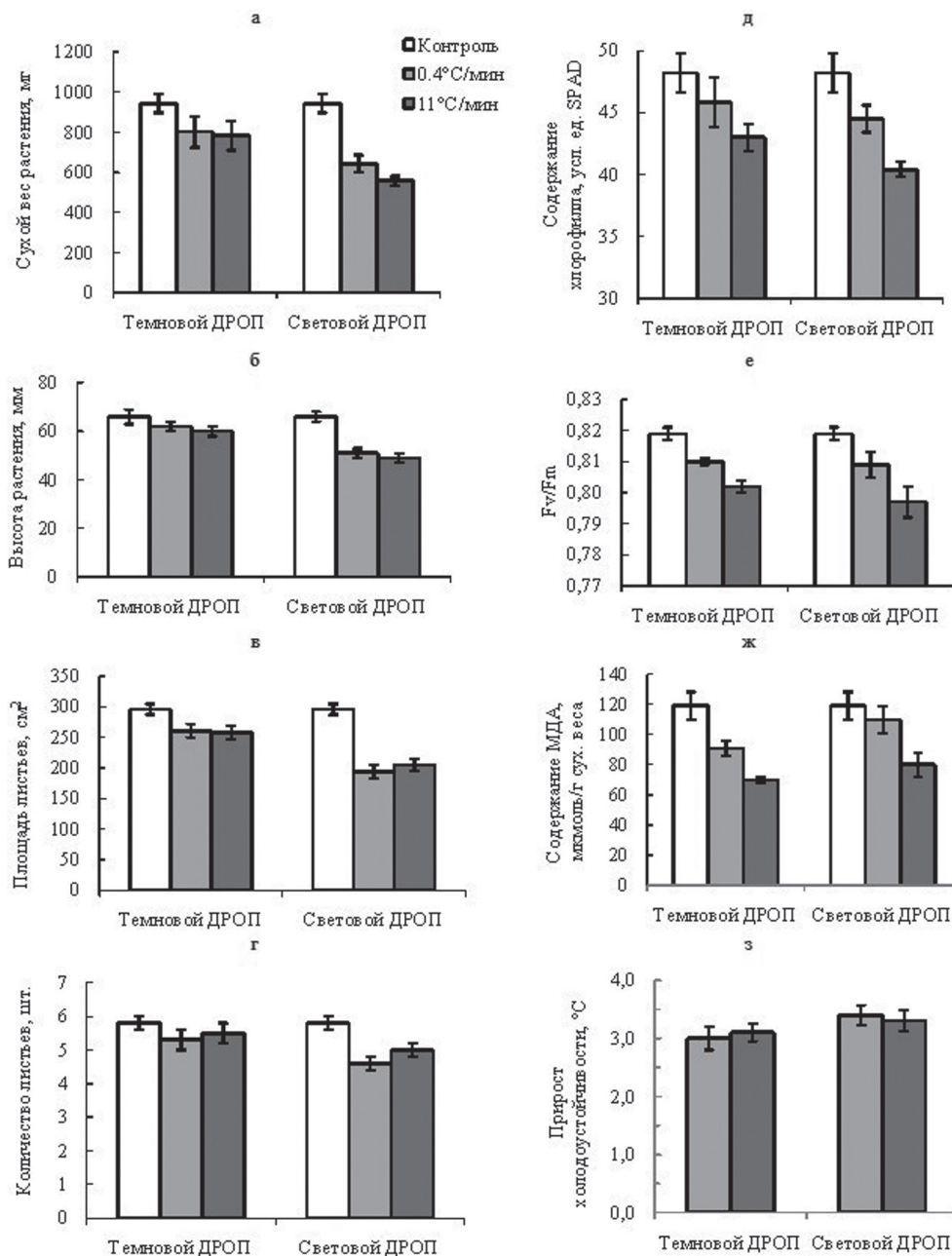
МДА использовали коэффициент экстинкции, равный 155/(мм см). Концентрацию МДА выражали в мкмоль/г сухой массы листьев.

Результаты представлены в виде средних значений по двум-трем независимым опытам (в каждом отдельном опыте использовали шесть и более биологических повторностей) и их стандартных ошибок. Достоверность различий между средними определена с помощью дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Statistica (v. 8.0.550.0, StatSoft, Inc.). Разницу между средними значениями считали значимой при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты показали, что быстрое или медленное снижение температуры во время ДРОП-воздействий оказывает неодинаковое влияние на состояние фотосинтетического аппарата (содержание хлорофиллов, величину F_v/F_m , накопление биомассы растений и интенсивность перекисного окисления липидов) (рис.). При этом резкие изменения температуры во время ДРОП-обработок оказали на растения более сильное влияние. Важно отметить, что различия в реакции растений на ДРОП, связанные со скоростью изменения температуры, были более выраженными в случае, когда ДРОП-обработка растения подвергалась на свету. Так, если у растений, подвергавшихся темновому ДРОП с постепенным или резким изменением температуры, биомасса была ниже, чем у контрольных растений, соответственно на 15 и 17 %, то при действии ДРОП на свету – на 32 и 41 %. Содержание хлорофиллов снижалось в варианте темнового ДРОП на 5 и 13 %, а при световом ДРОП – на 10 и 30 % при постепенном и резком изменении температуры соответственно. Величина F_v/F_m снижалась с 0,820 (в контроле) до 0,810 и 0,802 при темновом ДРОП и до 0,809 и 0,797 при световом ДРОП в вариантах с постепенным и резким изменением температуры соответственно. В то же время скорость изменения температуры не сказывалась на таких показателях, как высота растений, скорость появления и площадь листьев, их холодоустойчивость (рис.).

Из литературы известно, что для некоторых физиологических параметров растений скорость охлаждения часто играет более важную роль, чем длительность воздействия низкой температуры. Наиболее показательным примером служит флоэмный транспорт. Резкое снижение температуры всего на 2,5 °С (с 30 до 27,5 °С) останавливает флоэмный транспорт на 3 минуты [Minchin, Thorpe, 1983]. При этом



Влияние скорости снижения температуры на биомассу (а) и высоту (б) растения, площадь (в) и количество (г) листьев, содержание хлорофиллов (д), максимальный квантовый выход фотохимической активности ФС II (е), интенсивность перекисного окисления липидов (ж) и прирост холодоустойчивости (з) растений *Cucumis sativus* при действии ДРОП в темноте и на свету

медленное охлаждение (менее 5 °C/мин) не приводит к подобному эффекту. Интересно отметить, что корреляция между чувствительностью флоэмного транспорта к холодному шоку и другими сторонами холодочувствительности растений отсутствует, что показано в исследовании на 86 видах растений, принадлежащих к 50 семействам [Lang, Minchin, 1986]. Помимо того, что изменения разных физиологических процессов в ответ на резкое или постепенное

снижение температуры могут не коррелировать между собой, в реакциях растений на снижение температуры с неодинаковой скоростью наблюдается еще и видоспецифичность, что дополнительно усложняет понимание того, как растения реагируют на понижение температуры. Например, резкое падение температуры с 25 до 3 °C приводит к ингибированию флоэмного транспорта практически у всех двудольных (из 86 исследованных видов), но только у 30 %

однодольных [Lang, Minchin, 1986]. При этом уровень холодоустойчивости видов в данном случае не имеет значения. Холодовой шок тормозит флоэмный транспорт у холодостойкого лютика (*Ranunculus repens*), но не влияет на него у теплолюбивой кукурузы (*Zea mays*). Еще одним процессом, очень чувствительным к резкому снижению температуры, является движение цитоплазмы, которое в отличие от флоэмного транспорта тесно коррелирует с другими откликами растения на охлаждение. Показано, что циклоз в трихомах теплолюбивых растений огурца, томата (*Solanum lycopersicum*), арбуза (*Citrullus lanatus*), табака (*Nicotiana tabacum*) и сладкого перца (*Capsicum annuum*) останавливается, когда ткани подвергаются холодовому шоку при переносе их в помещение с температурой 10 °С или ниже. В противоположность этому у более холодостойких видов – редиса (*Raphanus sativus*), моркови (*Daucus carota*) и аистника (*Erodium cicutarium*) даже резкое понижение температуры до 2,5 °С не приводит к остановке тока цитоплазмы. При постепенном снижении температуры (1 °С/мин или меньше) у ряда теплолюбивых видов, таких как табак, томат, арбуз, ток цитоплазмы не останавливается даже при снижении температуры до значений ниже 10 °С [Patterson, Graham, 1977; Woods et al., 1984]. Добавим, что степень снижения скорости тока цитоплазмы при действии низкой температуры, а также скорость восстановления при возврате в теплые условия у разных видов растений различаются.

В нашей работе резкое снижение температуры (от 20 до 9 °С) при кратковременных (2 ч) низкотемпературных воздействиях (ДРОП) оказало более выраженное негативное воздействие на состояние фотосинтетического аппарата растений и накопление биомассы по сравнению с постепенным изменением температуры, и различия были более выраженными при действии ДРОП на свету. В то же время линейный рост и развитие растений, а также холодоустойчивость листьев изменялись под влиянием ДРОП независимо от скорости снижения температуры.

В литературе имеются данные о том, что в восприятии растением скорости охлаждения ведущую роль играют холодоустойчивые кальциевые каналы, и высказано мнение, что именно они являются первичными сенсорами низкотемпературного воздействия [Minorsky, Spanswick, 1989]. Результаты нашей работы хотя и не позволяют говорить о механизмах восприятия растением скорости снижения температуры, но подтверждают, что растения действительно способны «измерять» скорость

падения температуры и реагировать на это вполне определенным образом. Кроме того, данная работа показала, что при непродолжительном действии на растения низких положительных температур (cold shock) быстрое снижение температуры (более 10 °С/мин) вызывает в растениях ряд реакций, отличных от тех, которые наблюдаются при постепенном снижении температуры. Время суток, а скорее всего, наличие или отсутствие света в тот период, когда растения подвергаются действию низких температур, также играет важную роль в ответных реакциях растений. Все эти аспекты реакции растений на действие пониженных температур необходимо учитывать в лабораторных экспериментах, когда при изучении того или иного влияния температуры на растения практикуется резкая ее смена, которая достигается путем быстрой перестановки растений из одних температурных условий в другие.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО Института биологии КарНЦ РАН при финансовой поддержке из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (тема № 0221-2014-0002) и РФФИ (проект № 14-04-00840_а).

Литература

Дроздов С. Н., Будыкина Н. П., Курец В. К., Багагурова Н. И. Определение устойчивости растений к заморозкам // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Л.: Колос, 1976. С. 222–228.

Марковская Е. Ф., Сысоева М. И., Харьковина Т. Г., Шерудило Е. Г. Влияние кратковременного снижения ночной температуры на рост и холодостойкость растений огурца // Физиология растений. 2000. Т. 47, № 4. С. 511–515.

Сысоева М. И., Шibaева Т. Г., Шерудило Е. Г. Способ выращивания рассады томата в защищенном грунте // Бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2013. № 28. 6 с.

Шibaева Т. Г., Марковская Е. Ф., Икконен Е. Н., Шерудило Е. Г. Оценка эффективности ДРОП-обработки растений томата для предотвращения фотоповреждения листьев в условиях круглосуточного освещения // Российская сельскохозяйственная наука. 2015. Т. 5. С. 10–13.

Шibaева Т. Г., Шерудило Е. Г. Влияние ДРОП-воздействий разной интенсивности на растения томата в условиях круглосуточного освещения // Материалы Международной научной конференции и школы молодых ученых «Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий» (Калининград, 19–25 мая 2014 г.). Калининград: Аксиос, 2014. С. 489–491.

Heath R. L., Parker L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // *Arch. Biochem. Biophys.* 1968. Vol. 125. P. 189–198.

Lang A., Minchin P. E. H. Phylogenetic distribution and mechanism of translocation inhibition by chilling // *J. Exp. Bot.* 1986. Vol. 37. P. 389–398. doi: 10.1093/jxb/37.3.389

Minchin P. E. H., Thorpe M. R. A rate of cooling response in phloem translocation // *J. Exp. Bot.* 1983. Vol. 34. P. 529–536. doi: 10.1093/jxb/34.5.529

Minorsky P. V. Temperature sensing by plants: a review and hypothesis // *Plant Cell Environ.* 1989. Vol. 12. P. 119–135. doi: 10.1111/j.1365-3040.1989.tb01924.x

Minorsky P. V., Spanswick R. M. Electrophysiological evidence for a role for calcium in temperature sensing by roots of cucumber seedlings // *Plant Cell Environ.* 1989. Vol. 12. P. 137–143. doi: 10.1111/j.1365-3040.1989.tb01925.x

Mortensen L. M., Moe R. Effects of various day and night temperature treatments on the morphogenesis and growth of some greenhouse and bedding plant species // *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 77–86.

Patterson B. D., Graham D. Effect of chilling temperatures on the protoplasmic streaming of plants from different climates // *J. Exp. Bot.* 1977. Vol. 28. P. 736–743. doi: 10.1093/jxb/28.3.736

Patterson B. D., Reid M. S. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. In: C. Y. Wang (ed.), *Chilling Injury of Horticultural Crops*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1990. P. 87–112.

Stavang J. A., Junttila O., Moe R., Olsen J. E. Differential temperature regulation of GA metabolism in light and darkness in pea // *J. Exp. Bot.* 2007. Vol. 58. P. 3061–3069. doi: 10.1093/jxb/erm163

Ueber E., Hendriks L. Effects of intensity, duration and the time of a temperature drop on growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex. Klotzsch // *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 33–37.

Woods C. M., Reid M. S., Patterson B. D. Response to chilling stress in plant cells. I. Changes in cyclosis and cycloplasmic structure // *Protoplasma*. 1984. Vol. 121, no. 1. P. 8–16. doi: 10.1007/BF01279747

Поступила в редакцию 05.09.2016

References

Drozдов S. N., Budykina N. P., Kurec V. K., Balagurova N. I. Opredelenie ustojchivosti rastenij k zamorozkam [Evaluation of frost tolerance in plants]. *Metody ocenki ustojchivosti rastenij k neblagopriyatnym usloviyam sredy* [Methods for assessment of plant resistance to unfavorable conditions]. Leningrad: Kolos, 1976. P. 222–228.

Markovskaya E. F., Sysoeva M. I., Kharkina T. G., Sherudilo E. G. Vliyanie kratkovremennogo snizheniya nochnoi temperatury na rost i kholodostoikost' rastenii ogurtsa [Influence of a night temperature drop on the growth and cold tolerance of cucumber plants]. *Fiziologiya rastenii* [Russian Journal of Plant Physiology]. 2000. Vol. 47, no. 34. P. 445–448.

Sysoeva M. I., Shibaeva T. G., Sherudilo E. G. Spособ vyrashchivaniya rassady tomata v zashchishchenom grunte [Method of tomato seedlings growing under cover]. *Byulleten' Federal'noj sluzhby po intellektual'noj sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam* [Bulletin of the Fed. Service for Intellectual Property (Rospatent)]. 2013. No. 28. 6 p.

Shibaeva T. G., Markovskaya E. F., Ikkonen E. N., Sherudilo E. G. Otsenka effektivnosti DROP-obrabotki rastenii tomata dlya predotvrashcheniya fotopovrezhdeniya list'ev v usloviyakh kruglosutochnogo osveshcheniya [Tomato plants under continuous lighting: evaluation of DROP treatment to avoid photodamage]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka* [Russian Agricultural Sciences]. 2015. Vol. 5. P. 10–13. doi: 10.3103/S1068367415060221

Shibaeva T. G., Sherudilo E. G. Vliyanie DROP-vozdeystvij raznoj intensivnosti na rasteniya tomata v usloviyakh kruglosutochnogo osveshcheniya [Effect of DROP treatment of different intensity on tomato plants under continuous lighting]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii i shkoly molodyh uchenykh*

“Fiziologiya rastenij – teoreticheskaya osnova innovacionnyh agro- i fitobiotekhnologij” (Kaliningrad, 19–25 maya 2014 g.) [Proceed. of the Int. Sci. Conf. and School for Young Scientists “Plant Physiology as Theoretical Basis for Innovative Agriculture and Phytobiotekhnologies” (Kaliningrad, May 19–25, 2014)]. Kaliningrad: Aksios, 2014. P. 489–491.

Heath R. L., Parker L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.* 1968. Vol. 125. P. 189–198.

Lang A., Minchin P. E. H. Phylogenetic distribution and mechanism of translocation inhibition by chilling. *J. Exp. Bot.* 1986. Vol. 37. P. 389–398. doi: 10.1093/jxb/37.3.389

Minchin P. E. H., Thorpe M. R. A rate of cooling response in phloem translocation. *J. Exp. Bot.* 1983. Vol. 34. P. 529–536. doi: 10.1093/jxb/34.5.529

Minorsky P. V. Temperature sensing by plants: a review and hypothesis. *Plant Cell Environ.* 1989. Vol. 12. P. 119–135. doi: 10.1111/j.1365-3040.1989.tb01924.x

Minorsky P. V., Spanswick R. M. Electrophysiological evidence for a role for calcium in temperature sensing by roots of cucumber seedlings. *Plant Cell Environ.* 1989. Vol. 12. P. 137–143. doi: 10.1111/j.1365-3040.1989.tb01925.x

Mortensen L. M., Moe R. Effects of various day and night temperature treatments on the morphogenesis and growth of some greenhouse and bedding plant species. *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 77–86.

Patterson B. D., Graham D. Effect of chilling temperatures on the protoplasmic streaming of plants from different climates. *J. Exp. Bot.* 1977. Vol. 28. P. 736–743. doi: 10.1093/jxb/28.3.736

Patterson B. D., Reid M. S. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. In:

C. Y. Wang (ed.), Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton, FL. 1990. P. 87–112.

Stavang J. A., Junntila O., Moe R., Olsen J. E. Differential temperature regulation of GA metabolism in light and darkness in pea. *J. Exp. Bot.* 2007. Vol. 58. P. 3061–3069. doi: 10.1093/jxb/erm163

Ueber E., Hendriks L. Effects of intensity, duration and the time of a temperature drop on growth and

flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex. Klotzsch. *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 33–37.

Woods C. M., Reid M. S., Patterson B. D. Response to chilling stress in plant cells. I. Changes in cyclosis and cycloplasmic structure. *Protoplasma.* 1984. Vol. 121, no. 1. P. 8–16. doi: 10.1007/BF01279747

Received September 05, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шибеева Татьяна Геннадиевна

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

Шерудило Елена Георгиевна

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

Титов Александр Федорович

председатель КарНЦ РАН, руководитель лаб.
экологической физиологии растений, чл.-корр. РАН,
д. б. н., проф.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: titov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Shibaeva, Tatyana

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

Sherudilo, Elena

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: sherudil@krc.karelia.ru

Titov, Alexandr

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: titov@krc.karelia.ru