

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 581.1

О ЗАВИСИМОСТИ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ЕЖЕСУТОЧНЫЕ Понижения ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ ФОТОПЕРИОДА И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОЙ ГРУППЕ

Т. Г. Шибаета, А. Ф. Титов

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

В работе обобщены и систематизированы собственные и литературные данные, позволяющие судить о наличии или отсутствии зависимости реакции растений на кратковременные ежесуточные понижения температуры (дроп-воздействия) от фотопериода и принадлежности к фотопериодической группе (длиннодневные, фотопериодически нейтральные и короткодневные). Применение дроп-воздействий является одним из альтернативных применению ретардантов способов управления ростом растений с целью получения более компактных форм при выращивании овощных и цветочных (горшечных и клумбовых) культур. Ранее считалось, что длиннодневные растения являются менее отзывчивыми на дроп-воздействия, чем короткодневные. Однако на основании анализа имеющихся данных сделан вывод, что реакция растений на дроп-воздействия не зависит от их принадлежности к определенной фотопериодической группе. Прежде всего она определяется условиями проведения опыта, а именно продолжительностью фотопериода. В частности, наибольший эффект дроп-воздействий на компактность растений проявляется в условиях короткого фотопериода. С увеличением фотопериода эффект дроп-воздействий ослабевает или вообще отсутствует. Для проявления эффекта дроп-воздействий в условиях длинных фотопериодов, как правило, требуются более длительные низкотемпературные воздействия. Предполагается, что это связано с усилением синтеза гиббереллинов при увеличении фотопериода, свойственным растениям всех фотопериодических групп.

Ключевые слова: низкая температура; фотопериод; длиннодневные и короткодневные растения.

T. G. Shibaeva, A. F. Titov. PLANT RESPONSES TO A SHORT-TERM DAILY TEMPERATURE DROP: EFFECT OF PHOTOPERIOD AND COMPARISON OF PLANTS FROM DIFFERENT PHOTOPERIODIC GROUPS

The paper summarizes and systematizes authors' own and literary data indicating whether or not the plant response to short-term daily temperature drops depends on the photo-

period and photoperiodic group (long-day, neutral, and short-day plants). A daily short-term temperature drop is used as an alternative to the growth retardants method of plant height control to produce compact vegetable and bedding transplants and ornamental plants. It was previously thought that long-day plants are less responsive to a temperature drop than short-day plants. Based on the analysis of the available data, it was concluded that plant response to a temperature drop does not depend on their belonging to a certain photoperiodic group, but is primarily determined by the conditions of the experiment, namely, the duration of the photoperiod. In particular, the greatest morphogenic effect of a temperature drop is manifested in a short photoperiod. As the photoperiod increases, the effect of a temperature drop gets weaker or is absent. For the effects of a temperature drop to be manifested under long photoperiods, longer temperature decreases are usually required. This is probably due to increased synthesis of gibberellins with an increase in photoperiod, which is characteristic of plants of all photoperiodic groups.

Key words: low temperature; photoperiod; long-day plants; short-day plants.

Введение

Одним из альтернативных применению ретардантов способов управления ростом растений с целью получения более компактных форм при выращивании овощных и цветочных (горшечных и клумбовых) культур является применение кратковременных ежесуточных понижений температуры (дроп-воздействия, от англ. *drop* – падение) [Myster, Moe, 1995; Runcle, 2009; Bergstrand, 2017]. В многочисленных работах показано, что дроп-воздействия оказывают влияние на габитус растений в условиях разных фотопериодов (короткого, нейтрального и длинного) [Mortensen, Moe, 1992a; Ueber, Hendriks, 1992; Moe et al., 1995; Спиридонова и др., 2010]. В то же время эксперименты, проведенные с более чем двадцатью различными видами и сортами растений, указывают на то, что эффективность дроп-воздействий в плане торможения линейного роста может зависеть от продолжительности фотопериода [Myster, Moe, 1995]. Однако результаты работ по изучению влияния переменных температур в условиях разных фотопериодов трудно сопоставлять из-за разных параметров дроп-воздействий (продолжительность, интенсивность, время суток).

Обобщая данные о критической длине дня для инициации цветения при разных температурах, еще в 1960 г. было высказано предположение, что в своем влиянии на фотопериодизм высокие температуры эквивалентны свету, а низкие – темноте [Schwemmler, 1960]. Это предположение до сих пор вызывает дискуссии, однако несомненно то, что высокие и низкие температуры способны оказывать значительное влияние на темновые и светозависимые процессы, участвующие в фотопериодической реакции растений, а степень их влияния зависит от многих факторов – интенсивности температуры и продолжительности ее дейст-

вия, вида растения, продолжительности фотопериода и др. Нужно отметить, что под фотопериодическим контролем находится не только переход растений к цветению, но и многие другие процессы, например, рост стебля в длину, формирование листовой пластинки, ветвление, синтез пигментов, клубнеобразование, половое созревание [Hillman, 1962].

Результаты, полученные в ряде работ с растениями, принадлежащими к разным фотопериодическим группам, показывают, что дроп-воздействия влияют, хотя и в разной степени, на габитус растений, приводя к образованию более компактной формы как у длиннодневных (ДДР), так и у фотопериодически нейтральных (НДР) и короткодневных (КДР) растений [Cuijpers, Vogelesang, 1992; Moe, Mortensen, 1992; Grindal, Moe, 1994; Cockshull et al., 1995; Moe et al., 1995]. Хотя имеется и другая точка зрения, согласно которой ДДР являются менее отзывчивыми на дроп-воздействия, чем КДР [Mortensen, Moe, 1992a; Moe et al., 1995].

В связи с вышеизложенным цель данной работы заключалась в обобщении и систематизации имеющихся собственных и литературных данных с целью выявления: а) влияния фотопериода на реакцию растений на дроп-воздействия и б) особенностей реакции растений, принадлежащих к разным фотопериодическим группам, на дроп-воздействия в условиях разных фотопериодов.

Влияние фотопериода на реакцию растений на дроп-воздействия

Опыты, проведенные на растениях огурца (*Cucumis sativus* L.) в условиях разных фотопериодов (8, 12 и 16 ч с сохранением интеграла дневного освещения), показали, что 2-часовые дроп-воздействия (12 °С) в конце ночи вызывают уменьшение линейных размеров растений

при любом фотопериоде [Sysoeva et al., 1999]. Однако при увеличении продолжительности фотопериода с 8 до 12 и 16 ч эффективность 2-часовых воздействий снижалась и более эффективными для получения компактных растений оказались 6-часовые дроп-воздействия. Влияние 2- и 6-часовых дроп-воздействий (12 °С) в условиях фотопериодов 8, 12, 16 и 24 ч на бутонизацию и цветение петунии (*Petunia × hybrida*) и бархатцев (*Tagetes erecta* L.) показали, что дроп-воздействия значительно ускоряют развитие растений в условиях короткого фотопериода, но с увеличением его продолжительности (с 8 до 16 ч) этот эффект снижается, а при 24-часовом фотопериоде отсутствует [Спиридонова и др., 2010]. Результаты опытов, проведенных с растениями огурца, баклажана (*Solanum melongena* L.), сладкого перца (*Capsicum annuum* L.) и томата (*Solanum lycopersicum* L.) в условиях двух длинных фотопериодов (16 и 24 ч), также показали, что влияние 2-часовых дроп-воздействий (10 °С) на линейные размеры и накопление биомассы растений было менее выраженным при более длительном фотопериоде [Шибяева, 2019].

Таким образом, из анализа имеющихся работ можно заключить, что в условиях длинных фотопериодов влияние дроп-воздействий на линейные размеры растений менее выражено или вообще отсутствует по сравнению с короткими фотопериодами. При увеличении длительности фотопериода для получения компактных растений требуются более продолжительные дроп-воздействия. Вероятно, это связано с участием гиббереллинов (ГА) в реакции растений на дроп-воздействия [Myster et al., 1997; Grindal et al., 1998]. Судя по имеющимся данным, градиент температур оказывает влияние на синтез ГА или на чувствительность тканей к ГА, что может приводить к изменениям длины стебля [Erwin et al., 1989; Moe et al., 1991], в частности, за счет блокирования синтеза на этапе превращения ГА₁₉ в ГА₂₀, контролируемое ГА₁₉-оксидазой [Langton, Cockshull, 1997]. Это превращение зависит от интенсивности света и продолжительности светового периода [Zeevaart et al., 1991]. Увеличение фотопериода приводит к усилению синтеза ГА, причем как у короткодневных [Oden, Heide, 1989], так и у длиннодневных [Zeevaart et al., 1991] растений. Можно предположить, что дроп-воздействия в сочетании с коротким фотопериодом приводят к снижению содержания биоактивных ГА, что приводит к снижению скорости роста стебля, а для получения такого эффекта при длинном фотопериоде требуется более продолжительное низкотемпературное воздействие.

Реакция на дроп-воздействия растений разных фотопериодических групп

Результаты опытов, проведенных с растениями разных фотопериодических групп (КДР хризантема *Chrysanthemum carinatum* Schoubs, НДР бархатцы *Tagetes erecta* и ДДР петуния *Petunia × hybrida*) в условиях разных (8, 12 и 16 ч) фотопериодов [Спиридонова и др., 2010; Марковская и др., 2013], не выявили определенной закономерности в реакции растений на дроп-воздействия в зависимости от их принадлежности к той или иной фотопериодической группе.

На основании относительно немногочисленных экспериментов, проведенных в разных условиях, ранее был сделан вывод, что длиннодневные растения менее отзывчивы на дроп-воздействия, чем короткодневные [Mortensen, Moe, 1992a; Moe et al., 1995]. Анализ литературы по влиянию дроп-воздействий на растения, принадлежащие к разным фотопериодическим группам, показывает, что меньшая отзывчивость ДДР на дроп-воздействия, возможно, связана не с их принадлежностью к фотопериодической группе, а с условиями проведения экспериментов. Так, в большинстве опытов (табл.) КДР выращивали и подвергали дроп-воздействиям в условиях короткого дня [Moe, Mortensen, 1992; Moe et al., 1992; Ueber, Hendriks, 1992, 1997; Bakken, Moe, 1995; Vogelezang, 1997], а ДДР – в условиях длинного дня [Cuijpers, Vogelezang, 1992; Moe et al., 1992; Mortensen, Moe, 1992a, b; Tutty et al., 1994; Cockshull et al., 1995; Ihlebek et al., 1995]. Однако известно, что фотопериод влияет на реакцию растений на дроп-воздействия таким образом, что увеличение фотопериода приводит к усилению синтеза гиббереллинов, тем самым нивелируя реакцию на дроп-воздействия у растений всех фотопериодических групп. Примером подтверждения предположения о том, что меньшая реакция ДДР на дроп-воздействия связана не с их принадлежностью к фотопериодической группе, а с условиями проведения опытов в условиях длинного дня, служат результаты опытов с КДР пуансеттией (*Euphorbia pulcherrima* Willd.), хризантемой (*Chrysanthemum* L.) и бегонией (*Begonia × tuberhybrida pendula*), которые в условиях нейтрального или длинного фотопериода показали отсутствие у них типичной реакции на дроп-воздействия (табл.). Кроме того, и отсутствие реакции у КДР каланхоэ (*Kalanchoe blossfeldiana* Poelln.) и бальзамина (*Impatiens shawkeri* W. Bull) на дроп-воздействия [Mortensen, Moe, 1992a, b], скорее всего, объясняется тем, что опыты проводились в условиях длинного (16 ч)

Влияние дроп-воздействий* на рост растений разных фотопериодических групп

Effect of a temperature drop* on the growth of plants from different photoperiodic groups

Вид растения Plant species	КД/ДД**	Эффекты Effect	Автор(ы) Author(s)
<i>Короткодневные растения</i> <i>Short-day plants</i>			
<i>Euphorbia pulcherrima</i> Willd. ex Klotzseh	КД	Уменьшение высоты растения и длины черешков Decrease in plant height and petiole length	Moe, Mortensen, 1992; Moe et al., 1992; Ueber, Hendriks, 1992, 1997
	ДД	Отсутствуют None	Cockshull et al., 1995
<i>Begonia × hiemalis</i> Fortsch	КД	Уменьшение высоты растения, длины черешков и цветоносов Decrease in plant height, length of petioles and flower stalks	Moe, Mortensen, 1992; Bakken, Moe, 1995; Vogelezang, 1997
<i>Begonia × tuberhybrida pendula</i>	ДД	Слабый эффект на высоту растения Weak effect on plant height	Mortensen, Moe, 1992a
<i>Chrysanthemum</i> L. sp.	ДД	Слабый эффект на высоту растения Weak effect on plant height	Cuijpers, Vogelezang, 1992; Tutty et al., 1994; Cockshull et al., 1995
<i>Impatiens hawker</i> W. Bull	ДД	Отсутствуют None	Mortensen, Moe, 1992a; Moe et al., 1992
<i>Kalanchoe blossfeldiana</i> Poelln.	ДД	Увеличение длины стебля и цветоносов Increase in the length of the stem and flower stalks	Mortensen, Moe, 1992b
<i>Нейтральнодневные растения</i> <i>Day-neutral plants</i>			
<i>Cucumis sativus</i> L.	КД,	Уменьшение высоты растения и длины черешков Decrease in plant height and petiole length	Grimstad, 1993, 1995; Sysoeva et al., 1997, 1999; Марковская и др., 2013/ Markovskaya et al., 2013
<i>Pisum sativum</i> L.	КД	Уменьшение высоты растения Decrease in plant height	Stavang et al., 2007
<i>Pelargonium</i> L'Her ex Ait.	ДД	Слабый эффект на высоту растения Weak effect on plant height	Mortensen, Moe, 1992a; Moe et al., 1992
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	ДД	Уменьшение высоты растения и длины черешков Decrease in plant height and petiole length	Grimstad, 1993, 1995; Шибеева и др., 2020 / Shibaeva et al., 2020
<i>Длиннодневные растения</i> <i>Long-day plants</i>			
<i>Fuchsia × hybrida</i> Hort. ex Vilm.	КД	Уменьшение высоты растения Decrease in plant height	Mortensen, Moe, 1992a; Vogelezang, 1997
<i>Campanula isophylla</i> Moretti	ДД	Слабый эффект на высоту растения Weak effect on plant height	Ihlebekk et al., 1995
<i>Melissa officinalis</i> L.	ДД	Слабый эффект на высоту растения Weak effect on plant height	Moe et al., 1992
<i>Petunia × hybrida</i>	ДД	Отсутствуют None	Mortensen, Moe, 1992a Moe et al., 1992
<i>Salvia splendens</i> Selloe ex Schult.	ДД	Отсутствуют None	Mortensen, Moe, 1992a
<i>Tagetes patula</i> L.	ДД	Отсутствуют None	Mortensen, Moe, 1992a
<i>Verbena elegans</i> Kunth	ДД	Отсутствуют None	Moe et al., 1992

Примечание. *Продолжительность дроп-воздействий от 1,5 до 6 ч, снижение температуры на 6–10 °С. **КД – короткий день, ДД – длинный день.

Note. *Duration of the drop impact from 1.5 to 6 hours, temperature decrease by 6–10 °С. **КД – short day, ДД – long day.

фотопериода. У ДДР фуксии (*Fuchsia* × *hybrid* Hort. ex Vilm.) при коротком и нейтральном фотопериоде дроп-воздействия приводили к уменьшению высоты растения [Mortensen, Moe, 1992a; Vogelezang, 1997]. Во всех остальных известных случаях ДДР подвергались дроп-воздействиям в условиях длинного дня и эффекты не наблюдались (табл.), на основании чего сделан вывод об их меньшей чувствительности к дроп-воздействиям.

Изучение динамики удлинения стебля в дневное и ночное время в условиях короткого и длинного дня показало, что она может существенно различаться у разных видов растений, но это тоже не связано с их принадлежностью к определенной фотопериодической группе [Bertram, Karlsen, 1994]. Очевидно, в реакции растений на дроп-воздействия значительную роль может играть и видоспецифичность, не связанная с принадлежностью растения к той или иной фотопериодической группе.

Заключение

Анализ результатов опытов, проведенных разными авторами с растениями разных фотопериодических групп (короткодневными, нейтральными и длиннодневными) в условиях разных фотопериодов, позволяет заключить, что реакция растений на дроп-воздействия не зависит от их принадлежности к определенной фотопериодической группе, а прежде всего определяется условиями проведения опыта, а именно продолжительностью фотопериода. Наибольший эффект дроп-воздействий на компактность растений проявляется в условиях короткого фотопериода. С увеличением фотопериода эффект дроп-воздействий ослабевает или вообще отсутствует. Для проявления эффекта дроп-воздействий в условиях длинных фотопериодов, как правило, требуются более длительные низкотемпературные воздействия. Вероятно, это связано с усилением синтеза гиббереллинов при увеличении фотопериода, что свойственно растениям всех фотопериодических групп.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» при финансовой поддержке из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0074) и при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-04-00840а).

Литература

Марковская Е. Ф., Сысоева М. И., Шерудило Е. Г. Кратковременная гипотермия и растение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 194 с.

Спиридонова Е. А., Сысоева М. И., Шерудило Е. Г. Влияние ежесуточных кратковременных снижений температуры и фотопериода на развитие декоративных растений // Ученые записки ПетрГУ. 2010. № 4(109). С. 18–21.

Шибаета Т. Г., Шерудило Е. Г., Титов А. Ф. Реакции растений на кратковременные ежесуточные понижения температуры в разное время дня и ночи // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 3. С. 60–71. doi: 10.17076/eb1088

Шибаета Т. Г. Реакция растений на кратковременные ежесуточные понижения температуры: феноменология и физиологические механизмы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2019. 32 с.

Bakken A. K., Moe R. Height and quality control in *Christmas begonia* by growth-retarding temperature regimes // Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci., 1995. Vol. 45. P. 283–292.

Bergstrand K.-J. I. Methods for growth regulation of greenhouse produced ornamental pot- and bedding plants – a current review // Folia Hort. 2017. Vol. 29, no. 1. P. 63–74. doi: 10.1515/fhort-2017-0007

Bertram L., Karlsen P. Patterns in stem elongation rate in chrysanthemum and tomato plants in relation to irradiance and day/night temperature // Sci. Hort. 1994. Vol. 58. P. 139–150. doi: 10.1016/0304-4238(94)90134-1

Cockshull K. E., Langton F. A., Cave C. R. J. Differential effects of different DIF treatments on chrysanthemum and poinsettia // Acta Hort. 1995. Vol. 378. P. 15–25. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.378.1

Cuijpers L. H. M., Vogelezang J. V. M. DIF and temperature drop for short-day pot plants // Acta Hort. 1992. Vol. 327. P. 25–32. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.3

Erwin J. E., Heins R. D., Karlsson M. G. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum* // Am. J. Bot. 1989. Vol. 76. P. 47–52. doi: 10.1002/j.1537-2197.1989.tb11283.x

Grimstad S. O. The effect of a daily low temperature pulse on growth and development of greenhouse cucumber and tomato plants during propagation // Sci. Hort. 1993. Vol. 53. P. 53–62. doi: 10.1016/0304-4238(93)90137-F

Grimstad S. O. Low-temperature pulse affects growth and development of young cucumber and tomato plants // J. Hort. Sci. 1995. Vol. 70, no. 1. P. 75–80. doi: 10.1080/14620316.1995.11515275

Grindal G., Ernstsén A., Reid J. B., Junttila O., Lindgard B., Moe R. Endogenous gibberellin A1 levels control thermoperiodic stem elongation in *Pisum sativum* // Physiol. plant. 1998. Vol. 102. P. 523–531. doi: 10.1034/j.1399-3054.1998.1020406.x

Grindal G., Moe R. Effects of temperature-drop and a short dark interruption on stem elongation and flowering in *Begonia* × *hiemalis* Fotsch. // Sci. Hort.

1994. Vol. 57. P. 123–132. doi: 10.1016/0304-4238(94)90040-X

Ihlebekk H., Eilertsen S., Junttila O., Grindal G., Moe R. Control of plant height in *Campanula isophylla* by temperature alternations; involvement of GAS // Acta Hort. 1995. Vol. 394. P. 347–355. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.394.38

Hillman W. S. Experimental control of flowering in *Lemna*. IV. Inhibition of photoperiodic sensitivity by copper // Amer. J. Bot. 1962. Vol. 49, no. 8. P. 892–897. doi: 10.1002/j.1537-2197.1962.tb15026.x

Langton F. A., Cockshull K. E. Is stem extension determined by DIF or by absolute day and night temperature? // Sci. Hortic. 1997. Vol. 69. P. 229–237. doi: 10.1016/S0304-4238(97)00020-4

Moe R., Heins R. D., Erwin J. E. Effect of day and night temperature alterations, and plant growth regulators on stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Morettii // Sci. Hort. 1991. Vol. 48. P. 141–151. doi: 10.1016/0304-4238(90)90100-S

Moe R., Gromsrud N., Bratberg I., Valsø S. Control of plant height in poinsettia by temperature drop and graphical tracking // Acta Hort. 1992. Vol. 327. P. 41–48. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.5

Moe R., Mortensen L. M. Thermomorphogenesis in pot plants // Acta Hort. 1992. Vol. 305. P. 19–25. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.305.2

Moe R., Willumsen K., Ihlebekk I. H., Stupa A. I., Glomsrud N. M., Mortensen L. M. DIF and temperature drop responses in SDP and LDP, a comparison // Acta Hort. 1995. Vol. 378. P. 27–33. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.378.2

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. 1992a. Vol. 327. P. 77–86. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.9

Mortensen L. M., Moe R. Effects of CO₂ enrichment and different day/night, temperature combinations on growth and flowering of *Rosa* L. and *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln. // Sci. Hortic. 1992b. Vol. 51. P. 145–153. doi: 10.1016/0304-4238(92)90113-Q

Myster J., Junttila O., Lindgerd B., Moe R. Temperature alternations and the influence of gibberellins and indoleacetic acid on elongation growth and flowering of *Begonia x hiemalis* Fotsch // Plant Growth Regul. 1997. Vol. 21. P. 135–144.

Myster J., Moe R. Effect of diurnal temperature alternation on plant morphology in some greenhouse

crops – a mini review // Sci. Hort. 1995. Vol. 62, iss. 4. P. 205–215. doi: 10.1016/0304-4238(95)00783-P

Oden P. C., Heide O. M. Quantification of gibberellins and indoleacetic acid in *Begonia* leaves: Relationship with environment, regeneration and flowering // Physiol. Plant. 1989. Vol. 76, no. 4. P. 500–506. doi: 10.1111/j.1399-3054.1989.tb05469.x

Runcl E. Controlling height with temperature drops // Greenhouse Product News. 2009. April. P. 50.

Schwemmler B. Thermoperiodic effects and circadian rhythms in flowering of plants // Cold Spring-Harbor Symp. Quant. Biol. 1960. Vol. 25. P. 239–243. doi: 10.1101/sqb.1960.025.01.024

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, no. 11. P. 3061–3069. doi: 10.1093/jxb/erm163

Sysoeva M. I., Markovskaya E. F., Kharkina T. G. Optimal temperature drop for the growth and development of young cucumber plants // Plant Growth Regul. 1997. Vol. 6. P. 1–5. doi: 10.1023/A:1005834702680

Sysoeva M. I., Markovskaya E. F., Kharkina T. G., Sherudilo E. G. Temperature drop, dry matter accumulation and cold resistance of young cucumber plants // Plant Growth Regul. 1999. Vol. 28. P. 89–94. doi: 10.1023/A:1006243230411

Tutty J. R., Hicklenton P. R., Kristie D. N., McRae K. B. The influence of photoperiod and temperature on the kinetics of stem elongation in *Dendranthema grandiflorum* // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1994. Vol. 119. P. 138–143.

Ueber E., Hendriks L. Effects of intensity, duration and timing of a temperature drop on the growth and flowering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. // Acta Hort. 1992. Vol. 327. P. 33–40. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.4

Ueber E., Hendriks L. Effect of a short duration temperature drop on water status and elongation growth of ornamental plants // Acta Hort. 1997. Vol. 435. P. 25–32. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.435.1

Vogelezang J. V. M. The timing of low temperature treatments on stem elongation as affected by lighting strategies // Acta Hort. 1997. Vol. 435. P. 47–56. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.435.3

Zeevaart J. A. D., Talon M., Wilson T. M. Stem Growth and Gibberellin Metabolism in Spinach in Relation to Photoperiod. In: Gibberellins / Eds. N. Takahashi, B. O. Phinney, J. MacMillan. Springer-Verlag, 1991. P. 273–279.

Поступила в редакцию 29.06.2020

References

Markovskaya E. F., Sysoeva M. I., Sherudilo E. G. *Kratkovremennaya gipotermiya i rastenie* [Short-term hypothermia and plants]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 194 p.

Shibaeva T. G., Sherudilo E. G., Titov A. F. *Reaktsii rastenii na kratkovremennye ezhesutochnye ponizheniya temperatury v raznoe vremya dnya i nochi* [Plant responses to a short-term daily temperature drop at different times of the day and night]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 3. P. 60–71. doi: 10.17076/eb1088

Shibaeva T. G. *Reaktsiya rastenii na kratkovremennye ezhesutochnye ponizheniya temperatury: fenomenologiya i fiziologicheskie mekhanizmy* [Plant responses to a short-term daily temperature drop: phenomenology and physiological mechanisms]: Summary DSc (Dr. of Biol.) thesis. St. Petersburg, 2019. 32 p.

Spiridonova E. A., Sysoeva M. I., Sherudilo E. G. *Vliyanie ezhesutochnykh kratkovremennykh snizhenii temperatury i fotoperioda na razvitie dekorativnykh rastenii* [Effects of a short-term daily temperature drop

- on ornamental plants development]. *Uchenye zapiski PetrGU [Proceed. Petrozavodsk St. Univ.]*. 2010. No. 4(109). P. 18–21.
- Bakken A. K., Moe R. Height and quality control in *Christmas begonia* by growth-retarding temperature regimes. *Acta Agric. Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci.* 1995. Vol. 45. P. 283–292.
- Bergstrand K.-J. I. Methods for growth regulation of greenhouse produced ornamental pot- and bedding plants – a current review. *Folia Hort.* 2017. Vol. 29, no. 1. P. 63–74. doi: 10.1515/fhort-2017-0007
- Bertram L., Karlsen P. Patterns in stem elongation rate in chrysanthemum and tomato plants in relation to irradiance and day/night temperature. *Sci. Hort.* 1994. Vol. 58. P. 139–150. doi: 10.1016/0304-4238(94)90134-1
- Cockshull K. E., Langton F. A., Cave C. R. J. Differential effects of different DIF treatments on chrysanthemum and poinsettia. *Acta Hort.* 1995. Vol. 378. P. 15–25. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.378.1
- Cuijpers L. H. M., Voegelezang J. V. M. DIF and temperature drop for short-day pot plants. *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 25–32. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.3
- Erwin J. E., Heins R. D., Karlsson M. G. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. *Am. J. Bot.* 1989. Vol. 76. P. 47–52. doi: 10.1002/j.1537-2197.1989.tb11283.x
- Grimstad S. O. The effect of a daily low temperature pulse on growth and development of greenhouse cucumber and tomato plants during propagation. *Sci. Hort.* 1993. Vol. 53. P. 53–62. doi: 10.1016/0304-4238(93)90137-F
- Grimstad S. O. Low-temperature pulse affects growth and development of young cucumber and tomato plants. *J. Hort. Sci.* 1995. Vol. 70, no. 1. P. 75–80. doi: 10.1080/14620316.1995.11515275
- Grindal G., Ernstsén A., Reid J. B., Junttila O., Lindgard B., Moe R. Endogenous gibberellin A1 levels control thermoperiodic stem elongation in *Pisum sativum*. *Physiol. plant.* 1998. Vol. 102. P. 523–531. doi: 10.1034/j.1399-3054.1998.1020406.x
- Grindal G., Moe R. Effects of temperature-drop and a short dark interruption on stem elongation and flowering in *Begonia x hiemalis* Fotsch. *Sci. Hort.* 1994. Vol. 57. P. 123–132. doi: 10.1016/0304-4238(94)90040-X
- Ihlebekk H., Eilertsen S., Junttila O., Grindal G., Moe R. Control of plant height in *Campanula isophylla* by temperature alternations; involvement of GAS. *Acta Hort.* 1995. Vol. 394. P. 347–355. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.394.38
- Hillman W. S. Experimental control of flowering in *Lemna*. IV. Inhibition of photoperiodic sensitivity by copper. *Amer. J. Bot.* 1962. Vol. 49, no. 8. P. 892–897. doi: 10.1002/j.1537-2197.1962.tb15026.x
- Langton F. A., Cockshull K. E. Is stem extension determined by DIF or by absolute day and night temperature? *Sci. Hort.* 1997. Vol. 69. P. 229–237. doi: 10.1016/S0304-4238(97)00020-4
- Moe R., Heins R. D., Erwin J. E. Effect of day and night temperature alterations, and plant growth regulators on stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Morettii. *Sci. Hort.* 1991. Vol. 48. P. 141–151. doi: 10.1016/0304-4238(90)90100-S
- Moe R., Gromsrud N., Bratberg I., Valsø S. Control of plant height in poinsettia by temperature drop and graphical tracking. *Acta Hort.* 1992. Vol. 327. P. 41–48. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.5
- Moe R., Mortensen L. M. Thermomorphogenesis in pot plants. *Acta Hort.* 1992. Vol. 305. P. 19–25. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.305.2
- Moe R., Willumsen K., Ihlebekk I. H., Stupa A. I., Glomsrud N. M., Mortensen L. M. DIF and temperature drop responses in SDP and LDP, a comparison. *Acta Hort.* 1995. Vol. 378. P. 27–33. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.378.2
- 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.* 1992a. Vol. 327. P. 77–86. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.9
- Mortensen L. M., Moe R. Effects of CO₂ enrichment and different day/night, temperature combinations on growth and flowering of *Rosa L.* and *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln. *Sci. Hort.* 1992b. Vol. 51. P. 145–153. doi: 10.1016/0304-4238(92)90113-Q
- Myster J., Junttila O., Lindgerd B., Moe R. Temperature alternations and the influence of gibberellins and indoleacetic acid on elongation growth and flowering of *Begonia x hiemalis* Fotsch. *Plant Growth Regul.* 1997. Vol. 21. P. 135–144.
- Myster J., Moe R. Effect of diurnal temperature alternation on plant morphology in some greenhouse crops – a mini review. *Sci. Hort.* 1995. Vol. 62, iss. 4. P. 205–215. doi: 10.1016/0304-4238(95)00783-P
- Oden P. C., Heide O. M. Quantification of gibberellins and indoleacetic acid in *Begonia* leaves: Relationship with environment, regeneration and flowering. *Physiol. Plant.* 1989. Vol. 76, no. 4. P. 500–506. doi: 10.1111/j.1399-3054.1989.tb05469.x
- Runcle E. Controlling height with temperature drops. *Greenhouse Product News*. 2009. April. P. 50.
- Schwemmler B. Thermoperiodic effects and circadian rhythms in flowering of plants. *Cold Spring-Harbor Symp. Quant. Biol.* 1960. Vol. 25. P. 239–243. doi: 10.1101/sqb.1960.025.01.024
- 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, no. 11. P. 3061–3069. doi: 10.1093/jxb/erm163
- Sysoeva M. I., Markovskaya E. F., Kharkina T. G. Optimal temperature drop for the growth and development of young cucumber plants. *Plant Growth Regul.* 1997. Vol. 6. P. 1–5. doi: 10.1023/A:1005834702680
- Sysoeva M. I., Markovskaya E. F., Kharkina T. G., Sherudilo E. G. Temperature drop, dry matter accumulation and cold resistance of young cucumber plants. *Plant Growth Regul.* 1999. Vol. 28. P. 89–94. doi: 10.1023/A:1006243230411
- Tutty J. R., Hicklenton P. R., Kristie D. N., McRae K. B. The influence of photoperiod and temperature on the kinetics of stem elongation in *Dendranthema grandiflorum*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1994. Vol. 119. P. 138–143.
- Ueber E., Hendriks L. Effects of intensity, duration and timing of a temperature drop on the growth and flo-

wering of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. *Acta Hortic.* 1992. Vol. 327. P. 33–40. doi: 10.17660/ActaHortic.1992.327.4

Ueber E., Hendriks L. Effect of a short duration temperature drop on water status and elongation growth of ornamental plants. *Acta Hortic.* 1997. Vol. 435. P. 25–32. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.435.1

Vogelezang J. V. M. The timing of low temperature treatments on stem elongation as affected by lighting

strategies. *Acta Hortic.* 1997. Vol. 435. P. 47–56. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.435.3

Zeevaart J. A. D., Talon M., Wilson T. M. Stem Growth and Gibberellin Metabolism in Spinach in Relation to Photoperiod. In: Gibberellins. Eds. N. Takahashi, B. O. Phinney, J. MacMillan. Springer-Verlag, 1991. P. 273–279.

Received June 29, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шибалева Татьяна Геннадиевна

ведущий научный сотрудник, д. б. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия 185910
эл. почта: shibaeva@krc.karelia.ru

Титов Александр Федорович

главный научный сотрудник лаб. экологической
физиологии растений, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр 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

Titov, Alexander

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