

Одновременно с ростом количества хлорофилловых у всех видов наблюдается подъем содержания каротиноидов с началом осеннего похолодания. Однако темпы нарастания содержания желтых пигментов в начале осени и их снижения в первой декаде октября были ниже, чем лабильность зеленых пигментов. Так, при закаливании растений низкими положительными температурами поздней осенью величины соотношения хл/каротиноиды, хл/ксантофиллы были выше, чем у летневегетирующих растений. В осенневегетирующих побегах *P. juncea* и *B. inermis* увеличение содержания с максимумом в середине сентября было характерно для β-каротина, лютеина и виолаксантина. Так, в ломкоколоснике и костреце прирост количества β-каротина составил 79.6 и 98.7 %, лютеина – 38.1 и 49.5 %, виолаксантина – 20.8 и 41.8 % соответственно от летних показателей. Напротив, у *E. sibiricus* сумма каротиноидов продолжала увеличиваться с конца августа до конца сентября (с 1.20 ± 0.09 до 2.33 ± 0.08 мг/г_{сух. массы}) вплоть до гибели листьев при наступлении устойчивых отрицательных температур воздуха в ночное время. При этом содержание β-каротина, лютеина и виолаксантина возрастало на 51.1, 28.1 и 94.5 %. Резкое избирательное повышение содержания виолаксантина в этом растении может быть вызвано ингибированием прямой реакции в виолаксантиновом цикле (ВЦ).

Травянистые растения не входят в глубокий покой как древесные растения. Остановка роста у них происходит под воздействием пониженных температур. В экстремальных условиях Севера при сравнительно невысокой обеспеченности хлорофиллом прослеживается прямая корреляция между его содержанием в листе и величиной максимальной потенциальной интенсивности фотосинтеза. Необходимо также отметить, что у холодостойких травянистых растений Севера в зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности зона оптимума фотосинтеза изменяется в пределах от 8 до 22 °C (Дымова, Головкин, 2001). Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что исследованные растения в первой половине сентября при высоких закалывающих температурах повышают скорость фотосинтеза при возрастании суммарного содержания, как хлорофиллов, так и каротиноидов. При дальнейшем снижении температуры во второй половине сентября создаются условия, способствующие фотоингибированию. В этот период растения должны быть обеспечены теми пигментами, которые участвуют в фотозащите их ФСА. Наблюдаемое нами сохранение фонда желтых пигментов может иметь адаптивное значение. В настоящее время именно зеаксантин и β-каротин отводятся важная роль в защите ФСА от фотодинамического разрушения. По-видимому, способность *B. inermis* повышать количество β-каротина до с 0.31 до 0.75 мг/г_{сух. массы}, *P. juncea* с 0.24 до 0.49 мг/г_{сух. массы} и поддерживать функционирование ВЦ до глубокой осени являются факторами, способствующими продлению сроков фотосинтеза в неблагоприятных условиях и развитию их терморезистентности при наступлении постоянных отрицательных температур (0––3 °C) в ночное время глубокой осенью.

Литература

- Дохунаев В.Н. Корневая система растений в мерзлотных почвах Якутии. Якутск, 1988. 173 с.
 Дымова О.В., Головкин Т.К. Структурно-функциональные свойства фотосинтетического аппарата *Ajuga reptans* в холодном климате // Физиол. растений. Т. 48. № 3. С. 406–413.
 Павлов Н.Е., Томская Ф.Г., Софронова Е.П. Интродукция и селекция кормовых трав в Якутии. Новосибирск, 2006. 237 с.
 Софронова В.Е., Чепалов В.А., Петров К.А. Роль каротиноидов в регуляции устойчивости *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. к холодовому шоку // Ж. стресс-физиологии и биохимии. 2006. № 2. С.16–20.
 Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the pigment systems // Photosynthetica. 1993. Vol. 29. P. 195–203.

ВЛИЯНИЕ ЕЖЕСУТОЧНЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ СНИЖЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГАБИТУСА РАСТЕНИЙ ОГУРЦА В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ФОТОПЕРИОДОВ

Спиридонова Е.А., Шерудило Е.Г., Шибеева Т.Г., Сысоева М.И.

Петрозаводск, Институт биологии Карельского научного центра РАН

Компактные растения удобны для транспортировки и пересадки, что особенно важно для рассады овощных культур. В течение многих лет для управления габитусом растений широко использовались химические регуляторы роста – ретарданты (Деева, 1980). Однако из-за угрозы здоровью человека и проблем с загрязнением окружающей среды в настоящее время имеется тенденция ограничения применения синтетических регуляторов роста вплоть до полной их отмены (Moe et al., 1992), что вызывает необходимость разработки современных технологий выращивания растений с целью получения экологически чистой продукции. Особое внимание уделяется температурному контролю морфогенетических процессов, что нашло свое отражение в создании двух технологий выращивания рассады овощных и декоративных культур – технологии «DIF» и технологии «DROP» (Moe, Heins, 2000; Марковская, Сысоева, 2004), успешно применяемых в растениеводстве многих северных стран. Технология «DIF» основана на использовании градиента дневных и ночных температур (аббревиатура DIF от английского слова Difference) (Heins, Erwin,

1990). Растения количественно реагируют на величину и знак температурного градиента - чем больше величина отрицательного градиента, тем больше ингибируется рост стебля (Erwin et al., 1989; Мое et al., 1992). Современная технология «DROP» основана на кратковременных снижениях температуры в суточном цикле (от англ. слова drop - падение) (Mortensen, Мое, 1992), что также позволяет управлять габитусом растений. Использование технологии кратковременных снижений температуры весьма актуально для выращивания растений защищенного грунта на Севере. Целью настоящей работы, было изучить влияние ежесуточных кратковременных снижений температуры на формирование габитуса растений огурца на ранних этапах онтогенеза в условиях разных фотопериодов.

Семена огурца (*Cucumis sativus* L., сорт Зозуля) проращивали в чашках Петри при 28°C в течение двух суток, затем высаживали в вазоны с песком и переносили в камеры искусственного климата ВКШ-73. Опыты проводили при разных фотопериодах с выдерживанием одинакового суточного светового интеграла. Интенсивность света (лампы ДРЛ-400) составляла 150, 100, 75 и 50 Вт/м² при фотопериодах 8/16, 12/12, 16/8 и 24/0 ч, соответственно. Относительная влажность воздуха была 60-70%. До начала низкотемпературных обработок растения выращивали при оптимальных температурных условиях (2 суток при 30°C и 2 суток при 23°C) (Марковская, 1994). По достижении фазы полностью раскрытых семядолей растения контрольного варианта оставляли при 20°C, опытные растения подвергали в течение 6 суток ежесуточным снижениям температуры на 2 и 6 ч (варианты ДРОП_2 и ДРОП_6) в конце ночного периода или до завершения 24-ч цикла при круглосуточном освещении. Снижение температуры до 12°C проводили с 22°C в варианте ДРОП_2 и с 25°C - в варианте ДРОП_6. По окончании температурных обработок определяли линейные размеры, высоту растения и длину черешка первого настоящего листа. Повторность опыта в пределах варианта – 10-ти кратная, каждый опыт проводили 2 раза. В таблицах представлены средние значения и их стандартные отклонения. Достоверность различий оценивали с использованием метода дисперсионного анализа (P<0.05).

Установлено, что кратковременные снижения температуры уменьшили высоту растений огурца только в условиях нейтрального фотопериода (табл. 1). При других исследованных фотопериодах такого морфогенетического эффекта не выявлено (табл. 1).

Таблица 1

Влияние ежесуточных кратковременных снижений температуры (на 2 и 6 ч) на высоту растений огурца (см) на ранних этапах онтогенеза в условиях разных фотопериодов

Вариант опыта	Продолжительность фотопериода, ч			
	8/16	12/12	16/8	24/0
Контроль	8,7±0,6	6,5±0,5	5,4±0,7	3,2±0,5
ДРОП_2	7,9±1,2	5,6±0,5*	5,4±0,7	3,4±0,4
ДРОП_6	9,3±1,1	5,3±1,0*	5,3±0,5	3,6±0,4

Вероятно, отсутствие морфогенетического эффекта по высоте растения может быть связано с тем, что гипокотиль, определяющий высоту растений на изученном этапе онтогенеза, сформировался полностью до начала низкотемпературных обработок. Однако в результате кратковременных низкотемпературных воздействий в условиях всех фотопериодов отмечено уменьшение длины черешка первого листа при ежесуточном снижении температуры на 6 ч в конце ночного периода (табл. 2). Выявленный морфогенетический эффект по данному показателю представляет несомненный интерес, поскольку именно длина черешков листьев во многом определяет габитус растений огурца.

Таблица 2

Влияние ежесуточных кратковременных снижений температуры (на 2 и 6 ч) на длину черешка (см) первого настоящего листа растений огурца на ранних этапах онтогенеза в условиях разных фотопериодов

Вариант опыта	Продолжительность фотопериода, ч			
	8/16	12/12	16/8	24/0
Контроль	1,8±0,2	1,5±0,2	1,7±0,1	1,9±0,3
ДРОП_2	1,6±0,2	1,4±0,1	1,6±0,2	1,6±0,1*
ДРОП_6	1,5±0,2*	1,3±0,1*	1,3±0,2*	1,3±0,1*

Примечание: * - статистически достоверное отличие от контроля.

Таким образом, проведенные исследования показали, что технология кратковременных снижений температуры может быть успешно использована для получения компактной рассады растений огурца независимо от длительности фотопериода.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-04-00063.

Литература

- Марковская Е.Ф. Адаптация *Cucumis sativus* L. к температурному фактору в онтогенезе // Физиология растений. 1994. Т. 41, № 4. С. 589-594.
- Марковская Е.Ф., Сысоева М.И. Роль суточного температурного градиента в онтогенезе растений. М.: Наука, 2004. 119 с.
- Moe R., Heins R.D. Thermo- and photomorphogenesis in plants // Adv. Floriculture Res. Agric. Univ. of Norway. 2000. Rep. № 6. P. 52-64.
- Деева В.П. Ретарданты - регуляторы роста растений. Минск: Наука и техника, 1980. 173 с.
- Erwin J. E., Heins R. D., Karlsson M. G. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum* // Am. J. Bot. 1989. V. 76. P. 47-52.
- Heins R. D., Erwin J. E. Understanding and applying DIF // Greenhouse Grower. - 1990. V. 8. P. 73-78.
- Moe R., Mortensen L.M., Grimstad S.O. Control of plant morphogenesis without growth retardants // Acta Hort. 1992. V. 319. P. 323-328.
- 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. V. 327. P. 77-86.

РОЛЬ ФИТОХРОМА В В ФОРМИРОВАНИИ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ И ДЛИТЕЛЬНЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Сысоева М.И., Шерудило Е.Г., Марковская Е.Ф.

Петрозаводск, Институт биологии Карельского научного центра РАН

Ежесуточные кратковременные снижения температуры широко используются в современном растениеводстве для выращивания компактных растений. Кроме того, как было показано ранее, они приводят к повышению холодоустойчивости растений (Марковская и др., 2000). Цель настоящей работы – выявить участие фитохрома В в формировании холодоустойчивости растений огурца при кратковременных и длительных низкотемпературных воздействиях.

Работа выполнена в камерах искусственного климата на растениях огурца (*Cucumis sativus* L.) дикого типа (WT) и длинногипокотелевом мутанте по фитохрому В (*lh*-мутант) (Lopez-Juez *et al.* 1992) при двух фотопериодах – 10/14 ч (короткий фотопериод) и 16/8 ч (длинный фотопериод) и одинаковом значении суточного интеграла света $6,5 \text{ mol day}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Семена проращивали в течение 2-х сут, высаживали в сосуды с песком и выращивали при поливе питательным раствором Кнопа (рН 6.2-6.4) двое суток при 30°C, двое суток при 23°C до фазы полностью раскрытых семядолей, а затем в течение 6-ти суток подвергали постоянному действию закалывающей для растений огурца температуры 12°C (вариант ПНТ) или кратковременному воздействию 12°C на 2, 4, 6 и 8 ч ежесуточно в конце ночи (варианты ДРОП). В условиях длинного фотопериода был добавлен вариант со снижением температуры на 2 ч в начале дня. В качестве контроля были выбраны растения без низкотемпературной обработки, выращенные при 20°C. По окончании температурных обработок растения огурца находились в фазе полностью развернутого 1-го настоящего листа.

Холодоустойчивость (ХУ) растений анализировали в конце эксперимента по методу ЛТ₅₀, определяя температуру гибели 50% палисадных клеток листовых высечек после их 5-мин промораживания в микрохолодильнике или прогрева в водном термостате, соответственно (Дроздов и др., 1976).

Независимо от длительности фотопериода холодоустойчивость растений контрольного варианта была одинаковой: у дикого типа -10,3°C, у мутанта -10,2°C. Все температурные обработки как длительные, так и кратковременные вызвали повышение ХУ растений обоих генотипов (рис.).

В целом, ХУ растений при кратковременных низкотемпературных воздействиях была выше, чем при ПНТ, а также выше в условиях длинного фотопериода, чем при коротком дне. ХУ растений дикого типа была выше, чем у мутанта, за исключением дневного ДРОП. При коротком фотопериоде наибольший прирост ХУ у растений дикого типа по сравнению с контролем (2,1°C) отмечен при 2-х часовом воздействии в конце ночного периода, а у мутанта длительность низкотемпературной краткосрочной обработки существенно не влияла на величину ХУ. В условиях длинного фотопериода ХУ растений дикого типа увеличивалась с удлинением низкотемпературной экспозиции и достигала максимума при 8-часовом воздействии в конце ночи (прирост составил 3,5°C). В тоже время у мутанта по фитохрому В как и при коротком фотопериоде