



РАСТЕНИЕВОДСТВО И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 635.655

Т.П. Хайрулина, Е.А. Семенова

ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ВОДНОГО СТРЕССОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В СЕМЕНАХ СОИ

В статье представлены данные о влиянии температурного стрессора и различных уровней влажности почвы на содержание аскорбиновой кислоты, каротина и токоферола в семенах культурной и дикорастущей сои в зависимости от времени воздействия и фазы развития растения.

Ключевые слова: температурный стрессор, водный стрессор, каротин, аскорбиновая кислота, токоферол.

T.P. Hayrulina, E.A. Semenova

THE TEMPERATURE AND WATER STRESSORS IMPACT ON THE LOW-MOLECULAR ANTIOXIDANT CONTENT IN SOYA SEEDS

The data on the influence of the temperature stressor and the soil humidity various levels on the content of ascorbic acid, carotene and tocopherol in cultural and wild-growing soya seeds, depending on influence time and plant development phase, are presented.

Key words: temperature stressor, water stressor, carotene, ascorbic acid, tocopherol.

Введение. Воздействие неблагоприятных факторов среды вызывает значительные изменения в функциональном состоянии растений и приводит к снижению их жизнеспособности и продуктивности. Условия внешней среды иногда являются решающим фактором в биосинтезе витаминов, от содержания которых зависят пищевые и посевные качества зерна. Некоторые витамины являются составной частью антиоксидантной системы и определяют эффективность её функционирования. Наибольший интерес вызывают аскорбиновая кислота, токоферол и каротиноиды. Аскорбиновая кислота принимает участие в детоксикации H_2O_2 в аскорбат-глутатионовом цикле [8]. Кроме того, она может непосредственно реагировать с супероксидными анион-радикалами, молекулярным синглетным кислородом и гидроксильными радикалами [9]. Аскорбиновая кислота усиливает антиоксидантные свойства β -каротина и токоферола [6]. Каротиноиды относятся к жирорастворимым антиоксидантам. β -Каротин расходуется при обезвреживании окисленных липопротеидов низкой плотности, реагирует с синглетным кислородом [7]. α -Токоферол является эффективным тушителем синглетного кислорода, наряду с каротиноидами препятствует фотодеструкции хлорофилла [10] и подавляет в клетках свободнорадикальные реакции, в частности перекисное окисление липидов [6].

Ранее нами было изучено влияние теплового и холодного шока, а также избыточного и недостаточного увлажнения на содержание низкомолекулярных антиоксидантов и активность ферментов антиоксидантной защиты в листьях культурной и дикорастущей сои [4,5].

Цель исследования. Изучение влияния абиотических стрессоров на содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои.

Задачи исследования:

- определить содержание аскорбиновой кислоты, каротина и токоферола в семенах сои под действием температурного стрессора;
- изучить влияние влажности почвы на содержание аскорбиновой кислоты, каротина и токоферола в семенах сои.

Материал и методы исследования. Эксперименты проводили в 2008–2010 гг. на опытном участке Дальневосточного ГАУ (Амурская обл., г. Благовещенск). Объектом исследования служили семена *Glycine max*: сорт Лидия и *Glycine soja*: форма КА 1344. Растения, семена которых служили объектом исследования, выращивались в вегетационных сосудах согласно представленным схемам.

Схема опыта № 1 включала следующие варианты: контроль (естественные условия); воздействие на растения сои (по фазам развития) высокой положительной температуры ($t = +45^\circ C$ в течение 2 и 12 часов);

воздействие на растения сои (по фазам развития) низкой положительной температуры ($t = +5^{\circ}\text{C}$ в течение 2 и 48 часов).

Для изучения влияния высокотемпературного стрессора растения в вегетационных сосудах помещали в термостат ($+45^{\circ}\text{C}$), низкотемпературного – в холодильную камеру ($+5^{\circ}\text{C}$).

Для изучения влияния водного стрессора – в вегетационных сосудах поддерживалась влажность почвы согласно схеме опыта № 2:

1. Контроль – 70% полевой влагоёмкости (ПВ) весь период вегетации.
2. 135% ПВ – весь период вегетации.
3. 35% ПВ – весь период вегетации.
4. 35% ПВ – всходы – цветение, затем перевод на 70% ПВ.
5. 135% ПВ – всходы – цветение, затем перевод на 70%.
6. 70% ПВ – всходы – цветение, затем перевод на 35%.
7. 70% ПВ – всходы – цветение, затем перевод на 135%.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли методом титрования краской Тильманса [1]. Каротин экстрагировали бензином и определяли фотоколориметрическим методом [1]. Метод определения токоферола основан на образовании хининов при окислении молекул токоферола хлорным железом [2]. Содержание витаминов рассчитывали в мг %.

Все анализы проводили в двух биологических и трех аналитических повторностях. Достоверность результатов оценивали, используя t-критерий Стьюдента при уровне вероятности (p) 0,05.

Результаты исследования. Анализ содержания аскорбиновой кислоты в семенах опытных растений показал, что её уровень снижается при действии теплового шока в любой период развития сои (табл. 1). Повидимому, высокие температуры оказывают отрицательное действие на биосинтез витамина С.

Кратковременное и длительное воздействие на растения высоких температур не оказало существенного влияния на синтез каротина в семенах *G. max* и *G. soja*. Только в семенах растений, подвергнутых воздействию стрессовых температур в фазе третьего тройчатого листа, когда растения наиболее чувствительны к температурному режиму окружающей среды, наблюдалось снижение каротина в 3 раза у сорта Лидия и в 1,5 раза у формы КА 1344 (табл. 1).

Таблица 1

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои в условиях высокотемпературного стресса, 2008–2010 гг.

Фенологическая фаза	Сорт	Температура и время воздействия	Низкомолекулярные антиоксиданты, мг%		
			Аскорбиновая кислота	Каротин	Токоферол
Третий тройчатый лист	Лидия	Контроль	13,0±5	0,09±0,0004	30,0±0,04
		45°C, 2 ч	10,2±3	0,1±0,001	30,0±0,003
		45°C, 12 ч	7,1±3	0,03±0,001	125,0±0,03
	КА 1344	Контроль	21,9±7	0,09±0,002	26,0±0,02
		45°C, 2 ч	7,4±3	0,11±0,0002	22,3±0,09
		45°C, 12 ч	4,7±1	0,06±0,002	115,0±0,03
	НСР _{0,5}		1,2	1,6	1,5
Цветение	Лидия	Контроль	12,8±1	0,05±0,0001	30,0±0,04
		45°C, 2 ч	10,9±2	0,06±0,001	95,3±0,07
		45°C, 12 ч	9,4±3	0,06±0,001	5,7±0,04
	КА 1344	Контроль	21,6±5	0,12±0,001	26,0±0,02
		45°C, 2 ч	6,6±2	0,16±0,001	128,3±1
		45°C, 12 ч	5,2±1	0,15±0,0002	7,8±0,04
	НСР _{0,5}		1,2	1,5	1,7
Бобообразование	Лидия	Контроль	13,0±1	0,03±0,001	30,0±0,04
		45°C, 2 ч	8,6±3	0,03±0,001	164,0±0,01
		45°C, 12 ч	6,6±1	0,05±0,0004	15,0±0,03
	КА 1344	Контроль	21,5±2	0,05±0,001	26,0 ±0,02
		45°C, 2 ч	6,8±1	0,05±0,001	42,0 ±0,04
		45°C, 12 ч	5,1±1	0,07±0,001	9,6±0,01
	НСР _{0,5}		1,4	0,02	1,7

Содержание токоферола в семенах сои при кратковременном действии высоких положительных температур в фазе третьего тройчатого листа остается на уровне контроля. Длительное воздействие привело к резкому увеличению количества токоферола в семенах как дикой, так и культурной сои \approx в 4 раза (табл. 1).

Воздействие теплового шока на растения сои в течение двух часов в фазах цветения и бобообразования способствовало накоплению токоферола в семенах, его количество увеличилось в 3–5 раз по сравнению с контролем. Действие стрессового фактора на растения в течение 12 часов, наоборот, привело к снижению токоферола в семенах сои. Полученные данные указывают на высокую отзывчивость растений в фазе цветения и бобообразования к действию стресса и высокие защитные свойства такого низкомолекулярного антиоксиданта, как витамин Е.

Реакция растений на низкие положительные температуры и тепловой шок неодинакова: под действием холода метаболизм изменяется значительно сильнее, чем при действии высоких температур [3].

Выдерживание растений при 5°C привело к увеличению аскорбиновой кислоты в семенах сои. Максимальное количество аскорбиновой кислоты отмечено у сорта Лидия при воздействии стрессора в фазе третьего тройчатого листа, а у формы КА 1344 – в фазе цветения (табл. 2).

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что после холодового стресса уровень каротина в семенах опытных растений выше, чем в контрольном варианте, в 3 и более раз. Поскольку β -каротин принимает непосредственное участие в «тушении» синглетного кислорода и ингибировании его образования, то содержание этого антиоксиданта определяет чувствительность к холоду [3]. Полученные результаты свидетельствуют о холодоустойчивости изучаемых генотипов сои.

Действие холодового шока в течение 2 и 48 часов в фазе третьего тройчатого листа способствовало увеличению содержания витамина Е в семенах сои (табл. 2).

После кратковременного действия низкотемпературного стрессора в фазе цветения отмечен максимальный уровень токоферола в семенах *G. max* и *G. soja*, который в 5–6 раз выше, чем в семенах контрольных растений, длительное воздействие низкой температуры не привело к накоплению токоферола в семенах. Количество токоферола в семенах практически не изменилось после воздействия стрессора на растения в фазе бобообразования (табл. 2).

Таблица 2

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои в условиях низкотемпературного стресса, 2008–2010 гг.

Фенологическая фаза	Сорт	Температура и время воздействия	Низкомолекулярные антиоксиданты, мг%		
			Аскорбиновая кислота	Каротин	Токоферол
Третий тройчатый лист	Лидия	Контроль	13,0 \pm 1	0,09 \pm 0,001	30,0 \pm 0,04
		5°C, 2 ч	17,2 \pm 4	0,14 \pm 0,001	94,0 \pm 0,04
		5°C, 48 ч	22,7 \pm 6	0,30 \pm 0,01	121,7 \pm 0,07
	КА 1344	Контроль	22,0 \pm 2	0,10 \pm 0,001	26,0 \pm 0,02
		5°C, 2 ч	32,4 \pm 2	0,44 \pm 0,004	64,6 \pm 0,03
		5°C, 48 ч	39,4 \pm 4	0,80 \pm 0,03	112,0 \pm 0,03
	НСР _{0,5}		0,2	0,01	1,6
Цветение	Лидия	Контроль	12,8 \pm 3	0,05 \pm 0,002	30,0 \pm 0,04
		5°C, 2 ч	14,9 \pm 4	0,16 \pm 0,002	169,7 \pm 0,02
		5°C, 48 ч	18,5 \pm 6	0,61 \pm 0,01	23,0 \pm 0,02
	КА 1344	Контроль	21,6 \pm 1	0,12 \pm 0,001	26,0 \pm 0,02
		5°C, 2 ч	35,7 \pm 5	0,15 \pm 0,001	129,3 \pm 0,04
		5°C, 48 ч	75,6 \pm 4	1,6 \pm 0,01	29,5 \pm 0,02
	НСР _{0,5}		0,2	0,03	1,7
Бобообразование	Лидия	Контроль	13,0 \pm 1	0,03 \pm 0,001	30,0 \pm 0,04
		5°C, 2 ч	17,0 \pm 4	0,08 \pm 0,002	35,7 \pm 0,02
		5°C, 48 ч	20,7 \pm 5	0,21 \pm 0,001	27,3 \pm 0,02
	КА 1344	Контроль	21,5 \pm 1	0,05 \pm 0,001	26,0 \pm 0,02
		5°C, 2 ч	33,2 \pm 2	0,26 \pm 0,01	40,3 \pm 0,04
		5°C, 48 ч	44,1 \pm 5	0,82 \pm 0,1	31,7 \pm 0,04
	НСР _{0,5}		0,3	0,01	1,8

Рост растений в условиях постоянного стресса, связанного с различным уровнем влажности в почве в течение всего периода вегетации, вероятно, способствовал усилению синтеза аскорбиновой кислоты к концу

вегетации и высокому содержанию его в семенах (табл. 3). Полученные данные свидетельствуют о важной роли аскорбиновой кислоты в ответной реакции растений сои на водный стресс.

В отличие от аскорбиновой кислоты, содержание которой в семенах после водного стресса возросло, уровень каротина во всех вариантах опыта ниже, чем в контроле (табл. 3).

Количество токоферола в семенах культурной и дикорастущей сои увеличивается при переувлажнении почвы в течение всего вегетационного периода на 12 и 47 % соответственно. Перевод растений после цветения с оптимальной влажности на недостаток или избыток влаги также приводит к существенному накоплению витамина Е в семенах. В вариантах опыта 4 и 5, где после цветения растения находились в условиях с оптимальной влажностью, содержание токоферола осталось в пределах контрольного варианта (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сои
в условиях водного стресса, 2008–2010 гг.**

Вариант опыта	Сорт	Низкомолекулярные антиоксиданты, мг%		
		Аскорбиновая кислота	Каротин	Токоферол
Контроль – 70% ПВ	Лидия	42,0±2	0,11±0,001	20±0,01
	КА 1344	100,0±9	0,21±0,001	113±0,02
135% ПВ – весь период вегетации	Лидия	69,7±2	0,05±0,003	24±0,01
	КА 1344	51,7±2	0,07±0,002	147±0,1
35% ПВ – весь период вегетации	Лидия	81,7±4	0,09±0,001	21±0,01
	КА 1344	188,3±7	0,05±0,001	120±0,02
35% ПВ – всходы – цветение, затем 70% ПВ	Лидия	89,0±5	0,08±0,002	19,7±0,01
	КА 1344	112,6±6	0,14±0,002	113±0,06
135% ПВ – всходы – цветение, затем 70% ПВ	Лидия	53,1±3	0,05±0,001	22,3±0,01
	КА 1344	89,7±3	0,06±0,001	115±0,06
70% ПВ – всходы – цветение, затем 35% ПВ	Лидия	91,4±5	0,04±0,002	30±0,01
	КА 1344	107,6±7	0,05±0,002	143±0,003
70% ПВ – всходы – цветение, затем 135% ПВ	Лидия	57,9±3	0,03±0,001	25±0,01
	КА 1344	85,6±3	0,06±0,001	148±0,005
НСР _{0,5}		1,0	1,1	1,5

Выводы. Таким образом, при воздействии высоких температур (в течение 2 и 12 часов) на растения сои наблюдается снижение низкомолекулярных антиоксидантов, за исключением токоферола, который обеспечивает компенсацию истощения других компонентов антиоксидантной защиты. Тепловой шок приводит к снижению, а низкая положительная температура к увеличению содержания аскорбиновой кислоты в семенах сои. Существенное накопление каротина в семенах при холодовом шоке, по-видимому, способствует формированию у растительного организма устойчивости к низким температурам.

Изменения в содержании низкомолекулярных антиоксидантов в семенах сорта Лидия и формы КА 1344 под воздействием водного стрессора носят одинаковый характер, однако семена дикорастущей сои больше накапливают аскорбиновой кислоты и токоферола.

Литература

1. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков [и др.]. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
2. Кисилевич Р.Ш., Скварко С.И. Об определении витамина Е в крови // Лабораторное дело. – 1972. – № 8. – С. 473–475.
3. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учеб. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.

4. Семенова Е.А., Хайрулина Т.П. Антиоксидантная система сои при тепловом шоке // Вестн. РАСХН. – 2012. – № 3. – С. 47–49.
5. Хайрулина Т.П., Тихончук П.В., Семенова Е.А. Антиоксидантная система защиты в листьях G.max и G soja при водном стрессе // Вестн. Алт. гос. ун-та. – 2010. – № 12(74). – С. 30–33.
6. Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Бизенкова М.Н. Общая характеристика источников образования свободных радикалов и антиоксидантных систем // Успехи современного естествознания. – 2006. – №7. – С. 37–41.
7. Burton G.W., Ingold K.U. Beta-carotene: an unusual type of antioxidant // Science. – 1984. – V. 224. – P. 569–730.
8. Foyer C.H. Ascorbic Acid // Antioxidant in Higher Plants / eds R.G. Alscher, J.L. Hess. – Boca Raton: CRC, 1993. – P. 31–58.
9. Nakano Y., Asada K. Hydrogen Peroxide Is Scavenged by Ascorbic-Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts // Plant Cell Physiol. – 1981. – V. 98. – P. 867–880.
10. Verhoeven A.S., Adams W.W., Demming B. Xanthophyll Cycle Pigment Localization and dynamics during Exposure to Low temperatures and Light Stress in Vinca major // Plant Physiol. – 1999. – V. 120. – P. 727–760.



УДК 581.9 (1 – 924.85)

С.В. Рябовол

СИНАНТРОПНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФЛОРЫ г. КРАСНОЯРСКА*

В статье рассмотрены синантропные изменения растительного покрова г. Красноярск, а также степень антропогенной трансформации флоры. Проанализирован адвентивный компонент, намечены основные тенденции его дальнейшего развития. Выявлено, что для г. Красноярск характерна специфическая урбанофлора, сочетающая в себе элементы природной флоры и типичный городской компонент.

Ключевые слова: г. Красноярск, аборигенные и адвентивные виды, синантропизация, урбоценоз, урбанофлора, урбанизация.

S.V. Ryabovol

SYNANTHROPIC CHANGES OF KRASNOYARSK CITY FLORA

The Krasnoyarsk vegetation synanthropic changes and the degree of anthropogenic transformation are considered in the article. The adventive component is analyzed and the main tendencies of its further development are marked. It is revealed that specific urban flora, combining elements of natural flora and typical city component, is peculiar to Krasnoyarsk city.

Key words: the Krasnoyarsk city, aboriginal and adventive species, synanthropization, urban coenosis, urban flora.

Введение. Урбанизация как основная черта современной цивилизации непосредственно затрагивает обширные участки земного шара, вызывает резкие и быстрые изменения ландшафта, причём фактическое влияние города на природу выходит далеко за пределы его административных границ. В складывающихся в результате урбанизации биоценозах (урбоценозах) количество дикорастущих видов растений, способных существовать в таких условиях, конечно, ограничено. Как следствие, естественные контакты человека с природой ослабевают, а его повседневное окружение составляет искусственная городская среда – многоэтажные дома и шумные улицы, асфальт, загрязнённый воздух. В результате в крупных городах формируется свой особый мир урбанизированной природы, существующий и развивающийся по своим законам. Таким образом, формирование городских флор – частный (и очень яркий) случай одного из процессов современного изменения растительного мира под влиянием антропогенных факторов, который назван ботаниками процессом «синантропизации» флоры. На примере городских флор хорошо заметны такие проявления синан-

* Работа выполнена при поддержке проекта 2012-1.4-12-000-4002-004 и гранта РФФИ № 11-04-98100 р-сибирь-а