

УДК 635.64:581.19:551.5

А. А. АУТКО, Ж. А. РУПАСОВА, В. А. ИГНАТЕНКО, Р. Н. РУДАКОВСКАЯ, Н. Н. ДОЛБИК

**ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИСАХАРИДОВ
И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТЕПЛИЧНЫХ ТОМАТАХ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА РАЗНЫХ ТИПАХ СУБСТРАТА**

*РУП Бел НИИ овощеводства НАН Беларуси,
ГНУ Центральный ботанический сад НАН Беларуси,
КУСП Тепличный комбинат «Берестье»*

(Поступила в редакцию 20.10.2004)

Представленные в нашей предыдущей статье [2] результаты выполненных в 2003 г. исследований по комплексной сравнительной оценке биохимического состава томатов, выращенных в тепличном комбинате «Берестье» г. Бреста на минеральной вате, керамзите, смеси верхового торфа и керамзита в соотношении 65 и 35%, костре льна и в водной культуре, убедительно показали выраженную зависимость питательной ценности получаемой продукции от типа субстрата. При этом были установлены заметные позитивные сдвиги в биохимическом составе томатов, выращенных на торфяно-керамзитовой смеси и особенно на костре льна, относительно их аналогов, выращенных на минеральной вате, что дало нам основания рекомендовать эти сравнительно дешевые местные природные материалы в качестве субстрата для возделывания овощей в тепличных хозяйствах республики.

Вместе с тем это утверждение базируется на результатах исследований только одного вегетационного сезона, что не позволяет оценить вклад погодной ситуации в формирование биохимического состава томатов в период их созревания. Специфической особенностью культивирования овощей в условиях защищенного грунта является весьма ограниченная зависимость их качества от атмосферных воздействий. Тем не менее, роль температурного фактора и светового режима, обусловленного характером погоды и продолжительностью периода солнечного сияния, остается все же значительной [1].

В этой связи в 2004 г. было проведено повторное исследование биохимического состава томатов сорта «Маева» в период их съемной зрелости по аналогичному с предыдущим сезоном набору показателей. Схема эксперимента включала те же, что и в 2003 г., 5 вариантов опытных субстратов и дополнительно вариант с использованием в качестве субстрата кокосовой стружки.

Количественные определения были выполнены с использованием общепринятых методов получения аналитической информации [3,5–9].

Все определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны. При этом средняя квадратичная ошибка среднего не превышала 1,5–2,0%.

Прежде чем приступить к обсуждению результатов исследований, следует отметить наличие существенных межсезонных различий в характере погодной ситуации в период созревания томатов в годы наблюдений. Так, на протяжении всего мая и двух первых декад июня 2004 г., на которые приходился наиболее значимый период в развитии и созревании тепличных томатов, удерживалась заметно более прохладная, чем в 2003 г., погода с более высоким, особенно в мае, количеством атмосферных осадков, а следовательно, и меньшим количеством ясных солнечных дней (табл. 1).

Подобное сочетание погодных факторов, с одной стороны, должно было способствовать оптимизации температурного режима внутри теплиц и снижению опасности перегрева растений, отрицательно сказывающегося на их водном режиме, процессах фотосинтеза и метаболизме в целом, а с другой стороны, могло привести к частичному подавлению биосинтеза светозависимых компонентов биохимического состава томатов из-за продолжительности пасмурной погоды.

Т а б л и ц а 1. Метеорологические показатели в период созревания тепличных томатов в условиях г. Бреста в годы исследований (по данным Белгидромета)

Месяц	Декада	2003 г.			2004 г.			Средн. много-летняя t возд., °С	Средн. много-гол. норма осадков, мм
		среднедекадн. t воздуха, °С	среднемесячн. t воздуха, °С	количест. осадков, мм	среднедекадн. t воздуха, °С	среднемесячн. t воздуха, °С	количест. осадков, мм		
Апрель	1	1,4	7,1	38	5,4	8,6	34	7,3	41
	2	8,5			9,7				
	3	11,5			10,7				
Май	1	16,1	16,3	48	14,1	12,1	83	13,6	56
	2	14,3			10,8				
	3	18,5			11,5				
Июнь	1	19,4	17,6	46	16,2	16,3	51	16,7	78
	2	17,3			15,8				
	3	16,2			16,8				

Т а б л и ц а 2. Степень изменений в биохимическом составе томатов в 2004 г. относительно 2003 г. на разных типах субстрата, в %

Показатели	Минеральная вата (1)	Керамзит (2)	Торфяно-керамзитовая смесь (3)	Кострельна (4)	Водная культура (5)	Степень различий, %				
						1	2	3	4	5
Гидропектин, %	2,46	2,48	2,56	2,74	2,84	+20,3*	+2,4	+14,8*	-12,0*	-2,1
	2,96	2,54	2,94	2,41	2,78					
Протопектин, %	2,38	2,41	2,64	2,82	2,48	+15,1*	+19,5*	+14,8*	-0,4	+2,4
	2,74	2,88	3,03	2,81	2,54					
Σ пектиновых веществ, %	4,84	4,89	5,20	5,56	5,32	+17,8*	+10,8*	+14,8*	-6,1*	0
	5,70	5,42	5,97	5,22	5,32					
Клетчатка, %	4,29	4,21	4,78	6,87	2,37	+24,0*	+44,7*	+56,5*	+21,2*	+229,1*
	5,32	6,09	7,48	8,33	7,80					
Антоциановые пигменты, мг %	7,0	5,6	5,2	4,4	3,0	+8,6*	+55,4*	+105,8*	+93,2*	+113,3*
	7,6	8,7	10,7	8,5	6,4					
Катехины, мг %	910	1053	988	1157	905	+3,7	-3,0	+11,7*	-3,9	+16,4*
	943,8	1021,8	1103,7	1111,5	1053,0					
Флавонолы, мг %	1038,9	932,2	853,6	741,2	1087,2	-28,3*	-22,1*	-22,8*	-14,3*	-27,3*
	744,6	726,1	658,7	635,1	790,1					
Σ биофлавоноидов, мг %	1955,9	1990,8	1846,8	1902,6	1995,2	-13,3*	-11,8*	-4,0	-7,8*	-7,3*
	1696,0	1756,6	1773,1	1755,1	1849,5					
Фенолкарбоновые кислоты, мг %	683,3	645,8	679,2	662,5	604,2	+15,1*	+26,8*	-10,6*	+8,3*	+17,5*
	786,3	818,8	607,5	717,5	710,0					

П р и м е ч а н и е: над чертой — показатели 2003 г., под чертой — 2004 г.

* Статистически достоверные различия при $P < 0,05$

Сравнение параметров накопления исследуемых веществ в продукции 2003 и 2004 гг. убедительно показало не только наличие заметных межсезонных различий, но и выраженную зависимость этих различий от типа субстрата (табл. 2). Так, продукция, выращенная на минеральной вате, торфяно-керамзитовой смеси и керамзите, во втором (более прохладном) сезоне характеризовалась в среднем на 11—18% более высоким суммарным содержанием пектиновых веществ. При этом в двух первых случаях отмечена относительно равномерная активизация накопления их обеих фракций, тогда как в третьем случае увеличение фондов этих полисахаридов относительно 2003 г. происходило исключительно за счет протопектина. В отличие от продукции, полученной на данном типе субстрата, ее аналог, выращенный на костре льна, характеризовался, напротив, более низким, чем в предыдущем сезоне, общим содержанием пектиновых веществ, но уже исключительно за счет подавления биосинтеза гидропектина. Для продукции же, выращенной в водной культуре, межсезонных различий в содержании пектиновых веществ не установлено.

Весьма контрастно проявились межсезонные различия в содержании в томатах клетчатки. Сходные по величине позитивные сдвиги в ее накоплении в 2004 г. установлены для продукции, выращенной на минеральной вате и костре льна (21—24%), керамзите и торфяно-керамзитовой смеси (45—56%), однако наиболее выразительный характер они имели в про-

дукции, выращенной в условиях водной культуры, для которой отмечено превышение прошлогодних значений почти на 230%.

Как и в предыдущем сезоне, комплекс антоциановых пигментов в томатах был представлен исключительно лейкоформами, и, несмотря на крайне незначительное содержание этих веществ, межсезонные различия в их накоплении проявились весьма отчетливо. Наиболее выраженный характер они получили в продукции, выращенной на торфяно-керамзитовой смеси, костре льна и в водной культуре, для которой в 2004 г. было показано примерно вдвое большее содержание лейкоантоцианов, по сравнению с 2003 г. Наименее выразительными оказались межсезонные различия в их накоплении в продукции, полученной на минеральной вате, для которой, подобно продукции, выращенной на керамзите и костре льна, было также свойственно отсутствие межсезонных различий и в накоплении катехинов. Несмотря на высокую светозависимость биосинтеза последних, как, впрочем, и антоциановых пигментов [4], сокращение продолжительности солнечного сияния в период созревания томатов в 2004 г. не привело к снижению их содержания в исследуемой продукции. Напротив, на торфяно-керамзитовой смеси и в водной культуре она отличалась от прошлогодней на 12–16% более высоким накоплением этих соединений. Очевидно, изменение режима освещения в данном случае не явилось фактором, лимитирующим биосинтез последних. В отличие от восстановленных форм биофлавоноидов, к которым относятся и лейкоантоцианы, и катехины, для их окисленных компонентов — флавонолов в условиях сезона 2004 г. установлено весьма заметное снижение содержания в продукции, полученной на всех без исключения типах субстрата относительно предыдущего сезона. Наиболее значительным (на 27–28%) оно оказалось при возделывании томатов в водной культуре и на минеральной вате, наименьшим (на 14%) — на костре льна. Отмеченные сдвиги в фенольном метаболизме томатов во втором сезоне обусловили не только расширение соотношения в них содержания катехинов и флавонолов, но и привели к заметному (на 7–13%) снижению суммарного количества биофлавоноидов, что указывает на определенные потери в Р-витаминной ценности продукции 2004 г. Лишь в единственном варианте опыта с использованием торфяно-керамзитовой смеси ослабление накопления в томатах флавонолов практически полностью компенсировалось активизацией биосинтеза лейкоантоцианов и катехинов, результатом чего явилось отсутствие в них выраженных межсезонных различий в суммарном содержании биофлавоноидов.

Обращает на себя внимание заметное усиление накопления в продукции большинства вариантов опыта в 2004 г. фенолкарбоновых кислот, обладающих многосторонним позитивным действием на человеческий организм. Наиболее выразительным (почти на 27%) оно оказалось при возделывании томатов на керамзите, наименьшим (на 8%) — на костре льна. Исключением явился вариант с торфяно-керамзитовой смесью, продукция на котором уступала прошлогодней в накоплении фенолкарбоновых кислот более чем на 10%.

Если принять (по аналогии с 2003 г.) в качестве эталона сравнения показатели накопления в продукции 2004 г. исследуемых соединений в варианте с минеральной ватой, то нетрудно убедиться в сохранении и по знаку, и по величине установленных годом ранее различий с ним в вариантах с керамзитом и торфяно-керамзитовой смесью в накоплении протопектина (табл. 3). При этом на костре льна отмечено практически полное нивелирование данных различий, столь отчетливо проявившихся в предыдущем сезоне, а в условиях водной культуры — даже некоторое снижение содержания протопектина по сравнению с контролем. В отличие от предыдущего сезона, во всех вариантах опыта, за исключением варианта с торфяно-керамзитовой смесью, отмечено достоверное снижение на 6–18% относительно контроля содержания в томатах гидропектина. Вместе с тем в 2004 г. заметно усилились позитивные расхождения с контролем показателей накопления клетчатки в продукции вариантов опыта с твердыми субстратами, а для водной культуры, обнаружившей в предыдущем сезоне существенное отставание от контроля темпов ее накопления, напротив, было показано превышение контрольных значений по содержанию в томатах данного полисахарида на 46%. Следует заметить, что практически на всех сравниваемых видах субстрата его содержание оказалось выше установленного на минеральной вате на 40–57%, что указывало на весьма близкую степень увеличения мясистой плодов в большинстве вариантов опыта по сравнению с контролем. И лишь для продукции, выращенной на керамзите, размер данного превышения был приблизительно втрое меньше, чем на других видах субстрата.

В отличие от предыдущего сезона, в котором продукция, полученная во всех вариантах опыта, заметно уступала эталонной по содержанию антоциановых пигментов, в 2004 г. в ней, напротив, отмечено более активное, чем на минеральной вате, накопление этих соединений,

Т а б л и ц а 3. Биохимический состав томатов при выращивании на разных типах субстрата в хозяйстве «Берестье» Брестской обл.

Показатели	Минеральная вата (1)	Керамзит (2)	Торфяно-керамзитовая смесь (3)	Костра льна (4)	Кокосовая стружка (5)	Водная культура (6)	Отклонение от контроля, %				
							2	3	4	5	6
Масса 1 плода, г	105,1	110,2	114,8	116,8	156,4	124,1	+4,8	+9,2*	+11,1*	+48,8*	+18,1*
Гидропектин, %	2,96	2,54	2,94	2,41	2,46	2,78	-14,2*	-0,7	-18,6*	-16,9*	-6,1*
Протопектин, %	2,74	2,88	3,03	2,81	3,25	2,54	+5,1	+10,6*	+2,6	+18,6*	-7,3*
Σ пектиновых в-в, %	5,70	5,42	5,97	5,22	5,71	5,32	-4,9	+4,7	-8,4*	+0,2	-6,7*
Гидропектин: Протопектин	1,1	0,9	1,0	0,9	0,8	1,1					
Клетчатка, %	5,32	6,09	7,48	8,33	7,60	7,8	+14,5*	+40,6*	+56,6*	+42,9*	+46,6*
Антоциан. пигм., мг%	7,6	8,7	10,7	8,5	9,8	6,4	+14,5*	+40,8*	+11,8*	+28,9*	-15,8*
Катехины, мг%	943,8	1021,8	1103,7	1111,5	990,6	1053,0	+8,3*	+16,9*	+17,8*	+5,0	+11,6*
Флавонолы, мг%	744,6	726,1	658,7	635,1	840,6	790,1	-2,5	-11,5*	-14,7*	+12,9*	+6,1*
Σ Биофлавоноидов, мг%	1696,0	1756,6	1773,1	1755,1	1841,0	1849,5	+3,6	+4,5	+3,5	+8,5*	+9,1*
Катехины: Флавонолы	1,3	1,4	1,7	1,8	1,2	1,3					
Фенолкарбон. к-ты, мг%	786,3	818,8	607,5	717,5	878,8	710,0	+4,1	-22,7*	-8,8*	+11,8*	-9,7*

П р и м е ч а н и е: В сухом веществе (2004 г.).

* Статистически достоверные различия при $P < 0,05$.

особенно при выращивании на торфяно-керамзитовой смеси. Тем не менее, в условиях водной культуры, как и годом ранее, продукция уступала контрольной в содержании лейкоантоцианов, хотя данные различия и носили менее выраженный характер. Достаточно устойчивыми, хотя и менее контрастными, оказались расхождения с контрольным вариантом и в накоплении в томатах катехинов. Для сравнения покажем, что если в предыдущем сезоне их содержание в продукции на твердых субстратах было выше, чем на минеральной вате, на 9—27%, то в 2004 г. — на 8—18%. При этом, в отличие от предыдущего сезона, в условиях водной культуры содержание катехинов также превысило контрольные показатели почти на 12%. Что касается флавонолов, то, как и годом ранее, на твердых субстратах наблюдалось отставание темпов их накопления в продукции по сравнению с контролем, однако оно имело менее выраженный характер. Так, если относительные различия с контрольным вариантом опыта по данному показателю в 2003 г. достигали почти 30%, то в 2004 г. они уже не превышали 15%, а в варианте с керамзитом и вовсе оказались в пределах аналитической погрешности. На этом фоне сохранилось установленное в предыдущем сезоне незначительное превышение контрольных значений по накоплению флавонолов в продукции, выращенной в водной культуре. Вместе с тем в 2004 г. намного контрастней обозначились расхождения с контролем в содержании в томатах фенолкарбоновых кислот. Так, в предыдущем сезоне статистически выраженный характер имело лишь отставание от него в их накоплении в условиях водной культуры, подтвердившееся и в 2004 г. Однако во втором сезоне было установлено также достоверное снижение по сравнению с контролем содержания фенолкарбоновых кислот в продукции, выращенной на костре льна и особенно на торфяно-керамзитовой смеси, на которой оно превысило 20%-ную отметку. Единственным вариантом опыта, продукция которого отличалась от контрольной заметно более высоким накоплением этих соединений, оказался вариант с кокосовой стружкой, которой в 2004 г. пополнился спектр исследуемых видов субстрата.

Следует заметить, что продукция на кокосовой стружке выделялась среди прочей наиболее высокими размерными и биопродукционными параметрами. Так, средняя масса 1-го плода в этом варианте опыта почти в 1,5 раза была выше, чем на минеральной вате, тогда как в остальных вариантах этот разрыв составлял от 4,8% на керамзите до 18,1% в водной культуре.

В биохимическом составе продукции, полученной на кокосовой стружке, отчетливо прослеживались общие с другими вариантами опыта тенденции в характере различий с контрольным вариантом, однако степень их проявления зависела от природы исследуемых соединений. К примеру, отчетливо выраженное снижение в продукции этого варианта относительно контроля содержания гидропектина полностью компенсировалось столь же значимым повышением уровня протопектина, что нивелировало расхождения с контролем в общем на-

коплении пектиновых веществ. Достаточно заметным в этом варианте опыта было превышение контрольных значений по содержанию клетчатки (43%), антоциановых пигментов (29%). Наиболее существенными среди прочих вариантов опыта оказались в нем также позитивные различия с контролем в содержании в томатах флавонолов и фенокарбоновых кислот, и лишь для катехинов они были статистически не достоверными. Но несмотря на это, показатель суммарного накопления в них биофлавоноидов на 8,5% превысил контрольные значения, что в сочетании с показанной выше активизацией в продукции данного варианта опыта биосинтеза фенолкарбоновых кислот, свидетельствовало о наиболее выраженном в эксперименте усилении в ней фенольного метаболизма в целом.

Таким образом, сравнительная оценка биохимического состава томатов, возделываемых в тепличном хозяйстве «Берестье» (г. Брест) на следующих видах субстрата: минеральной вате, керамзите, смеси верхового торфа (65%) и керамзита (35%), костре льна, кокосовой стружке и в водной культуре, в контрастные по характеру погодной ситуации годы, выявило заметные межсезонные различия в содержании в них полезных веществ.

Более умеренный температурный фон сезона 2004 г. в сочетании с менее интенсивным освещением в основном способствовал активизации накопления большинства исследуемых соединений в получаемой продукции, что однозначно свидетельствовало об оптимизации по сравнению с 2003 г. условий для осуществления физиологических функций опытных растений. Вместе с тем неадекватная величина позитивных сдвигов в биохимическом составе продукции отдельных вариантов опыта однозначно указывала на корректирующую роль типа субстрата в ответной реакции культивируемых растений на изменение температурно-светового режима.

На фоне погодных условий сезона 2004 г. значительно контрастней, чем в предыдущем сезоне, обозначились различия в биохимическом составе продукции на испытываемых видах субстрата и минеральной вате при преимущественном сохранении направленности этих различий. Продукция, полученная на всех видах твердых субстратов, отличалась от аналогичной на минеральной вате более высокой средней массой плодов (на 5—49%), содержанием протопектина (на 3—19%), клетчатки (на 14—57%), антоциановых пигментов (на 12—41%), катехинов (на 5—18%), но в большинстве случаев меньшим накоплением гидропектина (на 14—19%), флавонолов (на 3—15%), фенолкарбоновых кислот (на 9—23%).

Среди твердых субстратов наиболее выраженные преимущества относительно минеральной ваты в плане обеспечения более высокого качества производимой на них продукции по всем исследуемым показателям, за исключением содержания гидропектина, установлены для кокосовой стружки.

Продукция, выращенная в водной культуре, превосходила полученную на минеральной вате по средней массе плодов на 18%, содержанию клетчатки — на 47%, катехинов — на 12%, флавонолов — на 6%, но уступала ей в накоплении гидро- и протопектина на 6—7%, антоциановых пигментов на 16% и фенолкарбоновых кислот на 10%. Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность получения на испытываемых типах субстрата продукции, не уступающей, а по большинству показателей заметно превосходящей таковую на минеральной вате, что позволяет их рекомендовать для возделывания овощей в тепличных хозяйствах республики.

Литература

1. Аутко А. А., Рупасова Ж. А., Игнатенко В. А. и др. // Известия НАН Б. Сер. аграр. наук. 2003. № 3. С. 49—56.
2. Аутко А. А., Рупасова Ж. А., Игнатенко В. А. и др. // Известия НАН Б. Сер. аграр. наук. 2004. № 3. С. 62—65.
3. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. М., 1987.
4. Кравец А. Ф. // Вопросы физиологии, биохимии, цитологии и флоры Украины. Киев. 1974. С. 102—105.
5. Мжаванадзе В. В., Таргамадзе И. Л., Драник Л. И. // Сообщ. АН Груз. ССР. 1971. Т. 63. Вып. 1. С. 205—210.
6. Танчев С. С. Антоцианы в плодах и овощах. М., 1980.
7. Шапиро Д. К., Дашкевич Л. Э., Довнар Т. В. // Интродукция растений и зеленое строительство. Мн., 1974. С. 209—213.
8. Шнайман Л. О., Афанасьева В. С. // 9-й Менделеевский съезд по общ. и прикл. химии: Тез. докл. и сообщ. № 8. М., 1965. С. 79—80.
9. Swain T., Hillis W. // J. Sci. Food Agric. 1959. Vol. 10. N 1. P. 63—68.

AUTKO A. A., RUPASOVA ZH. A., IGNATENKO V. A., RUDAKOVSKAYA R. N., DOLBIK N. N.

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ONTO ACCUMULATION OF POLYSACCHARIDES AND PHENOL COMPOUNDS IN GREENHOUSE TOMATOES AT GROWING AT VARIOUS TYPES OF SUBSTRATES

Summary

Results of comparative estimation of biochemical composition of green-house tomatoes grown at contrast weather seasons 2003 and 2004 in Brest in mineral wool, claydite, peat-claydite mixture, flax sheave, coconut chips and in a water crop have been presented. It has been shown that moderate temperature background of the second season together with less intensive lighting because of big quantity of overcast days promoted to activation of accumulation of big part of compounds under investigation in the obtained production. Unequal value of positive changing in biochemical composition of tomatoes in same variants of tests testify about correlated role of substrate type in the answer reaction of cultivated plants with changing of temperature-lighting regime.