

## **Влияние пигментов в листьях растений на формирование и свойства плодов**

А.Ю. Белова, С.В. Мурашев e-mail: s.murashev@mail.ru

Институт холода и биотехнологий СПбНИУ ИТМО

В.Г. Вержук

ГНУ ГНЦ ВНИИР им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

verzhuk @ yandex.ru

*Раннее прогнозирование свойств плодов возможно на основе исследования пигментного состава листьев растений. Негативные условия окружающей среды влияют на состояние листьев и содержание в них пигментов. С антиокислительным потенциалом листьев тесно связана работа аппарата фотосинтеза, с которого берет начало образование всего комплекса веществ, необходимых для формирования высококачественной растительной продукции. В значительной степени синтетический и антиокислительный потенциал листьев растений связан с каротиноидами, которые не только служат дополнительными светособирающими пигментами в области (450 – 570 нм), где плохо поглощает хлорофилл, но и являются протекторами множественного действия.*

Ключевые слова: холодильное хранение, прогнозирование потерь, пигменты, плоды.

## **Influence of pigments in plants leaves on formation and properties of fruit production**

A.Y. Belova, S.V. Murashev s.murashev@mail.ru

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

V.G. Verzhuk e-mail: verzhuk @ yandex.ru

N.I. Vavilov Institute of Plant Industry

The earlier prognosis of properties of fruit production is possible on the basis of researching of pigmentary structure of plants leaves. The negative conditions of environment influence on condition of leaves and content of

pigments. Function of the photosynthetic apparatus is closely combined with antioxidizing potential leaves, the formation of necessary complex of substances for formation of high-quality plant production starts from. Largely synthetic and antioxidizing potential of plants leaves connected with carotinoids, which serve not only as additional light-harvesting pigments in area of badly chlorophyll absorbing (450-570 nm) but also providing as multi-action protectors.

Keywords: refrigeratory storage, prognosis of losses, pigments, fruit production.

Лист высшего растения представляет собой сложную оптическую и биохимическую систему, необходимую для преобразования солнечной энергии в энергию химических связей, и имеющую большое значение в адаптационных и защитных механизмах растения. Благодаря хлорофиллу и каротиноидам, способным поглощать энергию солнечного света в той части видимого спектра, в которой плохо поглощают хлорофилл а и b, в растениях протекают разнообразные синтетические процессы, происходит формирование плодов и накопление в них питательных веществ. Чем больше энергии солнца поглощают листья растений, тем выше потенциал необходимый для максимальной продуктивности растений и формирования в плодах постоянно действующих защитных механизмов, способных максимально увеличить длительность хранения растительной продукции в стандартных условиях без использования дополнительных технических средств.

Однако с увеличением поглощенной солнечной энергии возрастает вероятность возникновения фотоповреждений. Фотоповреждения листьев, вызывающие деградацию фотосинтетического аппарата, проявляются в замедлении роста и развития растений, уменьшении их адаптационных возможностей и отрицательно влияют на качество урожая, которое содержит меньше питательных и биоактивных веществ и оказывается не способным к длительному хранению.

Исследования проводились на плодовых семечковых культурах: яблоках с. Белый налив, айве японской (хеномелес), грушах с. Чижевская. Хранение плодов осуществлялось при температуре +1...+3 °С. Естественная убыль массы плодов во время хранения определялась весовым методом. Биохимические свойства плодов проводили по методикам [1]. Оптические свойства листьев и плодов измерялись в отраженном свете в видимой области спектра на спектрофотометре СФ-18. Для получения оптических характеристик использовали полностью сформировавшиеся листья, расположенные с солнечной стороны кроны плодовых растений. Оптические свойства листьев измеряли во второй половине июня. Для определения оптических свойств использовали не зрелые плоды, снятые во второй половине июня и созревшие плоды в конце августа. Оптическую плотность (ОП) определяли при длине волны 550 нм, а относительную оптическую плотность (ООП) определяли при длинах волн 550 и 680 нм. Модуль Юнга на сжатие мезокарпия плодов определяли на консистометре. Все измерения осуществлялись с трехкратной повторностью.

### Результаты и их обсуждение

В растениях окислительных фототрофов окрашенные каротиноиды выполняют не только функцию вспомогательных светособирающих пигментов. Не менее значима их роль как фотопротекторов [2]. Каротиноиды обеспечивают превращение энергии возбужденного триплетного хлорофилла и энергии возбуждения синглетного кислорода в тепло, переводя эти молекулы в основное не возбужденное состояние безопасным для растения способом (рис. 1). Опасность синглетного кислорода заключается в том, что для органических молекул характерно основное синглетное состояние. Препятствуя образованию синглетного кислорода, каротиноиды защищают растение от окислительного стресса, что наиболее вероятно является

важнейшей причиной, обеспечивающей формирование высококачественной плодовой продукции способной к длительному хранению при минимальных потерях.

В работе [3] было показано, что уменьшению естественных потерь массы растительной продукции во время хранения соответствует увеличение поглощения видимого света листьями растений при длине волны 550 нм. Поглощение листьев при длине волны 550 нм обеспечивают каротиноиды. Исходя из этих фактов, было сделано предположение о том, что уменьшение потерь массы растительной продукции во время хранения обусловлено фотопротекторным и дополнительным светособирающим действием каротиноидов, которые в совокупности и создают условия для формирования высококачественной растительной продукции способной к более длительному хранению с минимальными потерями.

На рис. 2 представлена зависимость естественной убыли массы плодов айвы во время холодильного хранения от содержания пигментов в листьях растений во время их формирования. Из представленных зависимостей следует, что убыль массы при хранении сокращается с увеличением содержания в листьях, как хлорофилла, так и каротиноидов, что подтверждает высказанное в работе [3] предположение о фотопротекторном и светособирающем действии каротиноидов. В результате увеличения содержания пигментов происходит одновременное возрастание количества энергии поглощаемой листьями и защита растений во время формирования урожая от фотоповреждений, вероятность возникновения которых в этом случае возрастает.

Аналогичная зависимость получена и для не созревших плодов. На рис. 3 приведена зависимость естественной убыли плодов айвы во время холодильного хранения от содержания пигментов в эпителии еще незрелых плодов. Из представленных зависимостей следует, что с увеличением содержания пигментов в коже незрелых плодов во время их роста

сокращаются потери массы плодов при холодильном хранении, связанные с жизнедеятельностью.

Интерес представляет сопоставление оптических свойств листьев растений и плодов в различной стадии созревания с продуктивностью растений, биохимическими и структурно-механическими свойствами зрелых плодов. Сопоставление указанных свойств проведено на основании данных представленных в табл. 1.

Для оптических свойств в отраженном свете в видимой области спектра для листьев растений семечковых культур и их плодов в различной стадии созревания характерны синхронные изменения при длине волны 550 нм. Если листья растений характеризовались наибольшей величиной оптической плотности  $D_{550}$ , то и плоды обладали наибольшим поглощением при длине волны 550 нм. Причем эта тенденция сохраняется для плодов по мере созревания. Плоды, формирующиеся на растениях, листья которых имели меньшие значения  $D_{550}$ , также характеризовались более слабым поглощением в этой части спектра.

С поглощением солнечной энергии пигментами и фотопротекторным действием каротиноидов связана максимальная масса зрелых плодов (табл. 1) и продуктивность растений. Рост массы плодов указывает на активное протекание синтетических процессов. С активным протеканием синтетических процессов может быть связано усиление конституционных, постоянно действующих защитных механизмов в растительных организмах.

К постоянно действующим защитным механизмам относится барьер клеточной стенки, препятствующий инфицированию. С клеточными стенками одновременно связаны свойства плодов препятствующие внешним механическим воздействиям. Из данных табл. 1 следует, что при максимальных значениях оптической плотности листьев в отраженном свете при длине волны 550 нм, указывающей на наибольшее содержание в них каротиноидов, наблюдаются наибольшие значения модуля Юнга на сжатие для зрелых плодов. Клеточные стенки, обладающие наибольшей упругостью,

одновременно создают наиболее трудно проницаемый барьер, препятствующий инфицированию. Таким образом, по оптическим свойствам листьев можно заранее прогнозировать не только потери обусловленные жизнедеятельностью плодов, но и потери от микробиального поражения.

Вследствие усиления постоянно действующих защитных механизмов отпадает необходимость такого средства борьбы с инфицированием плодов как окислительный взрыв. Поэтому вещества блокирующие каталазу не синтезируются, и она находится в активном состоянии (табл. 1). Расщепление перекиси водорода препятствует образованию активных форм водорода, что сокращает естественную убыль и увеличивает продолжительность хранения растительной продукции.

Полифенолоксадаза при усилении постоянно действующих защитных механизмов в плодах, напротив, находится в заторможенном состоянии, поскольку нет необходимости защиты от инфицирования с помощью токсичных антимикробных веществ. Хиноны, образующиеся при окислении фенолов, представляют собой средство борьбы с микроорганизмами, однако они не менее опасны и для самой растительной ткани, так как являются активными и не специфичными окислителями [4]. Кроме того, полифенолоксадаза не сопряжена с синтезом АТФ, что понижает энергетический потенциал клеток, необходимый для протекания синтетических процессов в плодах во время хранения для обновления молекулярного состава клеточных структур.

Еще один существенный недостаток активного состояния этого фермента заключается в возникновении не благоприятного для внешнего вида растительной продукции потемнения. Самопроизвольное потемнение растительных тканей объясняется образованием хинонов с последующей реакцией между ними [5]. По данным [6] черный цвет пигмента возникает при окислении полигидрохинона и превращения некоторого количества гидрохинонных звеньев в хиноидные, что сопровождается смещением интенсивных  $\pi$ - $\pi^*$  переходов в видимую область электронного спектра.

Таким образом, длительное хранение растительной продукции возможно только при заторможенном состоянии полифенолоксидазы, которое соответствует усиленным постоянно действующим защитным механизмам в плодах, обеспечивающим их более молодое состояние, в связи с тем, что этот фермент активизируется со старением. Заторможенное состояние полифенолоксидазы наблюдается при максимальной оптической плотности листьев растений и плодов при длине волны 550 нм, а также при максимальной упругости растительной ткани плодов.

К особенностям плодовой продукции, сформировавшейся на растениях с листьями, более интенсивно поглощающими свет при длине волны 550 нм и имеющей повышенный модуль Юнга на сжатие, следует отнести также повышенное содержание органических кислот и соответственно более низкое значение pH сока. Органические кислоты выполняют в жизнедеятельности растительных клеток важнейшие функции, в том числе защитные.

Суммируя сказанное можно заключить, что изменения, происходящие в составе плодов, их биохимических и структурно-механических свойствах в результате формирования на растениях, листья которых обладают большей оптической плотностью при длине волны 550 нм, вследствие повышенного содержания каротиноидов, приводят к понижению естественной убыли массы при холодильном хранении (табл. 1).

Растение и формирующиеся на нем плоды представляет собой единый организм. В связи с тем, что процессы, происходящие в листьях, тесно взаимосвязаны со свойствами плодов, необходимыми для длительного хранения и минимизации потерь при хранении обусловленными как жизнедеятельностью, так и инфицированием, становится возможным использование листьев растений для раннего прогнозирования способности плодовой продукции для длительного хранения.

## Выводы





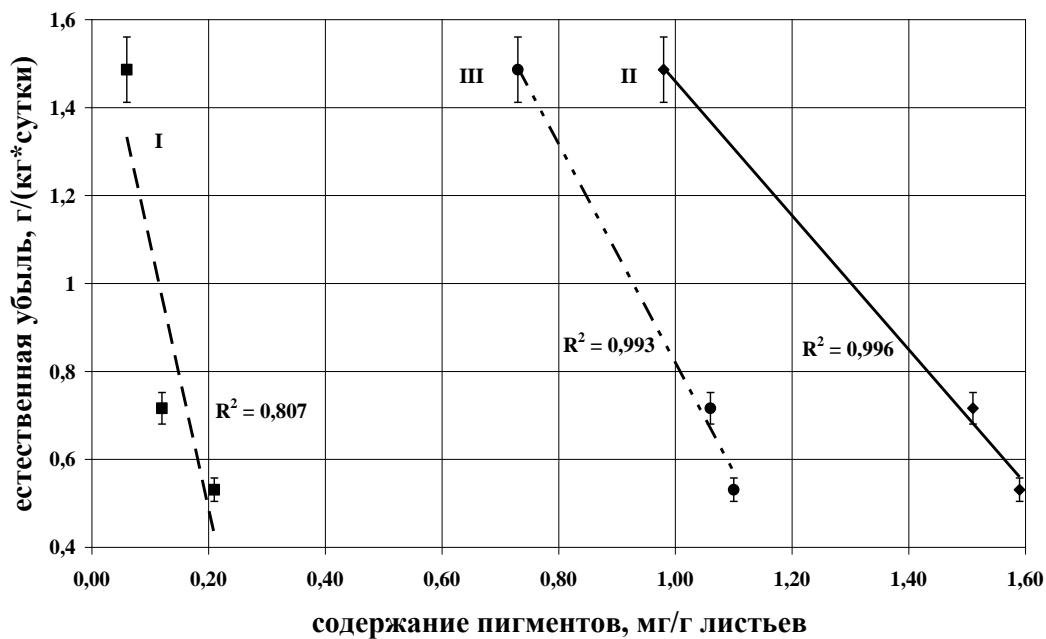


Рис. 2. Зависимость естественной убыли плодов айвы во время холодильного хранения от содержания пигментов в листьях растений во время формирования на них плодов: I – каротиноиды; II – хлорофилл а; III – хлорофилл b.

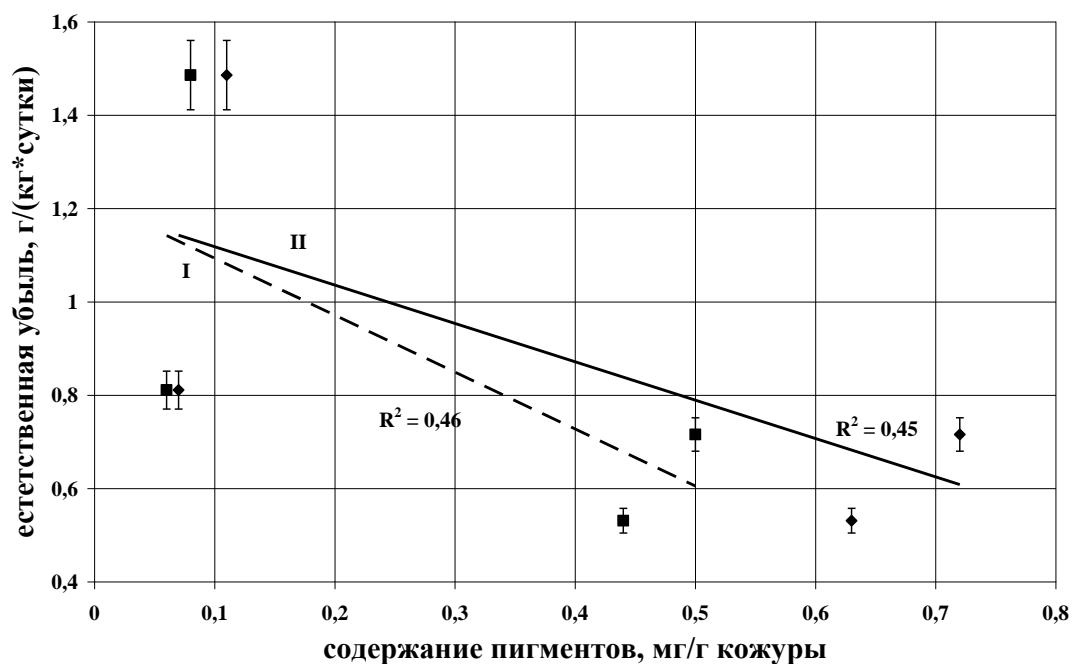


Рис. 3. Зависимость естественной убыли плодов айвы во время холодильного хранения от содержания пигментов в эпителии незрелых плодов: I – каротиноиды; II – сумма хлорофиллов.

Таблица 1

Сопоставление оптических свойств листьев и плодов в различной стадии созревания с продуктивностью растений, биохимическими и структурно-механическими свойствами зрелой плодовой продукции

Показатель	Виды плодов											
	Образцы яблок				Образцы хеномелеса				Образцы груш			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Средняя масса плодов, г	86,3	100,2	105,4	92,6	17,8	14,6	23,8	33,1	69,42	74,18	75,20	95,53
естественная убыль плодов, г/(кг*сутки)	1,076	0,569	0,571	0,851	0,753	0,882	0,541	0,505	0,697	0,780	0,588	0,403
активность каталазы в плодах, мл $H_2O_2/1$ г	0,16	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,37	0,44	0,15	0,11	0,19	0,21
активность пероксидазы в плодах, мг АК/1 г	3,2	5,9	5,4	4,7	1,1	0,90	2,2	2,4	2,1	2,7	4,1	5,9
активность полифенолоксидазы в плодах, мг АК/1 г	6,2	3,0	3,7	5,4	5,8	6,2	1,8	2,3	6,3	6,1	4,4	2,0
рН сока плодов	4,02	3,45	3,56	3,70	3,37	3,42	3,22	3,09	5,28	5,51	4,66	4,40
содержание органических кислот в плодах, %	1,5	3,6	3,7	3,0	2,9	2,6	3,9	4,6	2,5	2,1	2,6	3,5
сухие вещества в плодах, %	20,8	15,6	16,6	19,2	13,3	14,4	12,8	12,3	15,1	16,3	14,8	13,7
модуль Юнга плодов на сжатие, кПа	125	200	200	160	850	690	980	1050	130	110	170	280
ОП $D_{550}$ для листьев	1,040	1,176	1,248	1,142	1,148	1,050	1,180	1,230	1,090	1,030	1,160	1,180
ООП $D_{550}/D_{680}$ в незрелых плодах	1,057	1,199	1,160	1,064	1,110	1,050	1,140	1,203	1,070	0,980	1,150	1,180
ООП $D_{550}/D_{680}$ в зрелых плодах	0,985	1,120	1,094	1,066	1,006	1,002	1,144	1,128	0,998	1,002	1,085	1,115

### Список литературы:

1. Методы биохимического исследования растений. Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 456 с.

2. Мокроносков А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. / Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2006. – 436 с.
3. Мурашев С.В., Белова А.Ю., Вержук В.Г. Раннее прогнозирование потерь плодовой продукции при холодильном хранении. – СПб.: ЭНЖ СПбГУНиПТ, март, 2011.
4. Полевой В.В. Физиология растений. – М.: Высшая школа, 1983. – 464 с.
5. Либберт Э. Физиология растений. – М.: Мир, 1976. – 582 с.
6. Калниньш К.К., Панарин Е.Ф. Возбужденные состояния в химии полимеров. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2007. – 476 с.