

Е. В. АРЦИХОВСКАЯ и В. Е. СОКОЛОВА

ОБ ОБРАЗОВАНИИ ЭТИЛОВОГО СПИРТА И АЦЕТАЛЬДЕГИДА В ТКАНЯХ ЯБЛОК

(Представлено академиком А. И. Опариным 7 IV 1952)

В ряде работ (1-3) было показано, что накопление ацетальдегида тесно связано с возникновением физиологических заболеваний у некоторых сочных плодов. Поэтому, приступая к исследованию внутренних причин физиологических заболеваний хранящихся яблок, мы считали необходимым изучить условия, влияющие на образование и накопление в тканях яблок продуктов анаэробного обмена — этилового спирта и ацетальдегида.

Процессы обмена веществ в различных тканях яблок протекают в отличающихся друг от друга условиях газового режима. Причиной этого является различная степень аэрации тканей. Клетки кожуры яблока, непосредственно омываемые наружным воздухом, лучше снабжены кислородом, нежели клетки паренхимы, доступ кислорода к которым, естественно, затруднен. Пониженное содержание кислорода в тканях мякоти определяется не только трудностью проникновения воздуха в многослойную ткань, но и частичным поглощением кислорода из воздуха при прохождении его через активно дышащие клетки кожуры. Можно было предположить, что различия в составе газа, содержащегося в отдельных тканях яблока, должны сказываться на ходе образования продуктов анаэробного обмена. В связи с этим намеченные исследования осуществлялись отдельно для мякоти и кожуры.

Работа проводилась в 1951—1952 гг. на яблоках сорта Антоновка в ходе развития плодов на дереве и при последующем хранении при 0°. Изучалось влияние температуры и различных концентраций кислорода на накопление в тканях яблок этилового спирта и ацетальдегида. Навески исследуемых тканей помещались в соответствующие условия газовой среды и температуры на 2 часа 30 мин. По окончании экспозиции пробы немедленно замораживались при -44°, после чего в них определялось количество этилового спирта методом Барендрехта (4) и ацетальдегида по Кретовичу и Бундель (5).

Как показали проведенные исследования (см. рис. 1), содержание этилового спирта и в мякоти и в кожуре с момента начала наблюдений (9 VII) до окончания периода усиленного роста плода (вторая половина августа) несколько снижается. В дальнейшем идет относительно равномерное увеличение количества спирта, причем более интенсивное в кожуре. Если в мякоти содержание спирта, намного превышает первоначальный уровень, возрастает с конца августа до начала января на 110%, то в кожуре за тот же период это увеличение составляет 207%. Наблюдения за динамикой ацетальдегида были начаты только в конце августа, когда плоды почти достигли нормального размера. Однако полученных данных достаточно для того, чтобы показать различный характер хода изменений в содержании этилового спирта и ацетальдегида. В период созревания плодов наблюдается постепенное нарастание количества ацетальдегида в кожуре и мякоти (см. рис. 2),

причем уровень содержания ацетальдегида в этот период несравненно ниже отмеченного для спирта. С момента достижения плодами полной спелости начинается резкий подъем содержания ацетальдегида. Если с 12 IX по 20 X, за 38 дней, количество ацетальдегида увеличилось на 40% в кожуре и на 80% в мякоти, то за последующие 27 дней увели-

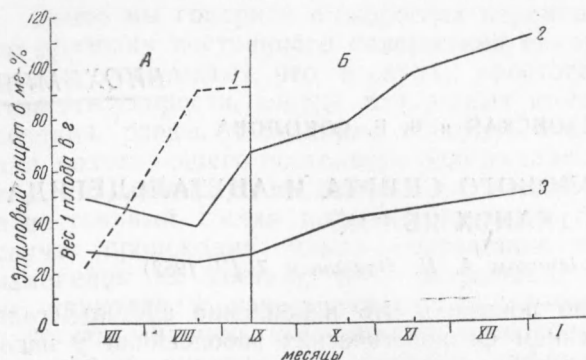


Рис. 1. Изменения содержания этилового спирта (в мг %) в тканях яблок Антоновка в ходе развития и при хранении плодов. А — яблоки на дереве, Б — хранящиеся яблоки; 1 — средний вес одного плода, 2 — содержание этилового спирта в кожуре, 3 — содержание этилового спирта в мякоти

чение составило, соответственно, 800 и 750%. Одновременно в пробе, взятой 19 XI, было отмечено легкое покоричневение отдельных участков тканей мякоти. Еще Харлей и Фишер (2), работая с грушами, высказали предположение, что ацетальдегид является нормальным продуктом обмена веществ, развивающегося при созревании плодов. Однако, когда содержание ацетальдегида в тканях достигает некоторого токсического порога, повышенная концентрация его является причиной возникновения физиологических заболеваний, сопровождающихся побурением тканей. Можно предположить, что в наших опытах этот токсический порог был достигнут во второй половине октября. Токсическая концентрация ацетальдегида, вызывая отравление клеток, нарушает нормальный ход дыхательного газообмена, что и приводит к возникновению физиологических заболеваний и вызывает резкое возрастание интенсивности накопления ацетальдегида. Оба эти процесса находятся в тесной зависимости друг от друга. Накопление ацетальдегида способствует развитию физиологических заболеваний, которые, в свою очередь, создают условия для усиленного образования ацетальдегида. Вполне вероятно, что подобным ходом процесса и обусловлен тот резкий подъем содержания ацетальдегида, который наблюдался нами после созревания яблок.

К началу января содержание ацетальдегида в мякоти яблок значительно снижается, оставаясь в кожуре примерно на том же уровне. К этому времени мякоть яблок сильно разрыхлилась и почти полностью приобрела коричневую окраску, тогда как кожура не отличалась по внешнему виду от кожуры предыдущей пробы. Снижение количества ацетальдегида в тканях мякоти связано, повидимому, с потерей отмирающими клетками способности образовывать ацетальдегид и частичным его улетучиванием из разрыхленной ткани. В кожуре, где не наблюдается столь глубокого распада тканей, содержание ацетальдегида не снижается.

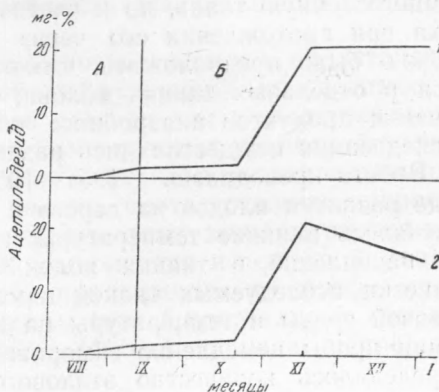


Рис. 2. Изменения содержания ацетальдегида (в мг %) в тканях яблок Антоновки в ходе развития и при хранении плодов. А — яблоки на дереве, Б — хранящиеся яблоки; 1 — содержание ацетальдегида в кожуре, 2 — содержание ацетальдегида в мякоти

Результаты опытов по влиянию концентрации кислорода на накопление продуктов анаэробного обмена показали разную степень зависимости процессов образования спирта и ацетальдегида от содержания кислорода в окружающей среде (табл. 1). Так как характер реагирования изучаемых процессов на концентрацию кислорода и температуру не изменялся на всем протяжении наблюдений, в табл. 1, так же как и в приводимой ниже табл. 2, представлены средние данные за весь период наблюдений.

Таблица 1

Влияние концентрации кислорода на содержание этилового спирта и ацетальдегида в тканях яблока (средние данные за период наблюдений)

Кислород в %	Ко ж у р а				М я к о т ь			
	этиловый спирт		ацетальдегид		этиловый спирт		ацетальдегид	
	в мг%	в % от контр.	в мг%	в % от контр.	в мг%	в % от контр.	в мг%	в % от контр.
21 (контр.)	67,20	100	6,76	100	32,72	100	7,83	100
10	71,48	106	9,38	139	29,91	91	7,82	100
5	74,03	110	10,25	152	33,89	104	7,87	101
1	65,84	98	12,22	181	36,59	112	9,08	116

Из приведенных данных видно, что пониженное содержание кислорода практически не отражается на концентрации спирта в тканях яблок. Это дает основание предполагать, что процесс образования этилового спирта развивается в плоде независимо от степени аэробности условий. Повидимому, спирт можно рассматривать как продукт нормально присущего тканям анаэробного процесса, имеющего место и в аэробных условиях. Это предположение подтверждается также тем, что уровень содержания спирта в отдельных тканях яблок не связан со степенью аэрируемости этих тканей. На протяжении всех наших опытов как темпы накопления, так и количество спирта были значительно выше в коже, нежели в мякоти.

Количество ацетальдегида в коже возрастает по мере снижения процента кислорода в окружающей среде. В мякоти это возрастание отмечается только при 1% кислорода. Эта особенность в реакции мякоти на пониженное содержание кислорода, несомненно, связана с тем, что процессы обмена веществ, протекающие в этой ткани, находящейся в условиях затрудненного доступа кислорода, должны быть приспособлены к сравнительно пониженным его концентрациям. В связи с этим концентрации кислорода, равной 10% и даже 5%, недостаточно для того, чтобы сдвинуть процессы дыхательного газообмена в сторону анаэробноза; это достигается лишь с помощью 1% кислорода. Но и в этом случае содержание ацетальдегида возрастает в мякоти всего на 16%, тогда как в коже в тех же условиях возрастание составляет 81%.

Изучение влияния температуры на процессы образования продуктов аэробного обмена показало, что процессы эти усиливаются с повышением температуры (табл. 2). Однако повышение температуры сказывается на накоплении ацетальдегида сильнее, чем на накоплении спирта. Если при повышении температуры от 10 до 30° содержание спирта как в коже, так и в мякоти увеличивается примерно на 25%, то содержание ацетальдегида возрастает на 87% в коже и на 124% в мякоти.

Следует отметить, что интенсивность образования ацетальдегида неодинакова в различных интервалах температуры. Q_{10} этого процесса и в коже и в мякоти значительно выше в интервале 10—20°, что ука-

Влияние температуры на содержание этилового спирта и ацетальдегида в тканях яблока (средние данные за период наблюдений)

	К о ж у р а					М я к о т ь				
	мг%			Q ₁₀		мг%			Q ₁₀	
	10°	20°	30°	10—20°	20—30°	10°	20°	30°	10—20°	20—30°
Этиловый спирт .	65,9	70,7	82,5	1,07	1,17	31,8	35,1	39,4	1,10	1,12
Ацетальдегид . .	6,28	9,30	11,74	1,48	1,26	4,85	8,72	10,88	1,80	1,25

зывает на большую приспособленность процессов, связанных с образованием ацетальдегида, к этому уровню температуры. Между тем, значение Q_{10} образования этилового спирта почти одинаково в изучаемых интервалах температуры.

Независимость процесса образования спирта от степени аэробности условий, отмеченная в наших опытах, с определенностью указывает, что анаэробные процессы в той же мере, как и аэробные, присущи нормальному дыхательному газообмену тканей яблока, протекающему в условиях достаточного снабжения кислородом.

Полученные материалы, казалось бы, свидетельствуют о том, что вся цепь реакций, приводящих к образованию ацетальдегида, находится в зависимости от условий среды и, в частности, от содержания кислорода. Однако существование подобной зависимости должно было бы отразиться и на последнем звене процесса спиртового брожения — образовании спирта. Между тем, экспериментальные данные настоящей работы показывают, что ход накопления спирта отнюдь не определяется степенью аэробности среды. В связи с этим весьма вероятно, что вскрытая в настоящей работе связь между накоплением ацетальдегида и содержанием кислорода в окружающей среде не является результатом приспособленности процессов его образования к определенному парциальному давлению кислорода. В ходе обмена веществ растительного организма ацетальдегид служит промежуточным продуктом при образовании не только спирта, но и ряда других соединений. Не исключена возможность, что интенсивность накопления ацетальдегида зависит от степени его использования как исходного продукта в каком-то процессе, интенсивность которого находится в прямой зависимости от аэробности условий. В этом случае повышение содержания ацетальдегида в тканях должно находиться в обратной зависимости от концентрации кислорода в среде, что и наблюдалось в наших опытах. Высказанное предположение не представляет собой единственно возможного объяснения наблюдавшихся фактов. Вопрос этот в достаточной мере сложен и нуждается в дальнейшей экспериментальной разработке.

Пользуемся случаем выразить благодарность проф. Б. А. Рубину за ценные советы и указания по настоящей работе.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
19 III 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. V. Power and V. K. Chesnut, J. Am. Chem. Soc., **42**, 1509 (1920).
² C. P. Harley and D. F. Fisher, J. Agric. Res., **35**, 983 (1927). ³ E. V. Miller, *ibid.*, **53**, 49 (1936). ⁴ С. П. Костычев, Изв. Импер. акад. наук, 327 (1915).
⁵ А. Н. Белозерский и Н. И. Проскуряков, Практическое руководство по биохимии растений, 1951.