

УДК 634.1/.7:631.963

## БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ИХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Е. П. ШИРОКОВ, Д. БАДГАА, И. В. КОБОЗЕВ

(Кафедра технологии хранения и переработки плодов  
и овощей)

Знание химического состава плодов и ягод важно для правильного обоснования режима, срока хранения и технологии переработки [3, 14, 17, 18, 26]. Известно, что он зависит от вида, сорта и условий произрастания растений, а также от степени зрелости плодов [1, 9, 14, 15, 22, 25, 26].

При определении направления интродукции и селекции плодово-ягодных растений, а также обоснования технологии переработки получаемого от них сырья важно иметь представление, как идут процессы формирования качества плодов и ягод под воздействием разных факторов, в том числе климатических условий. В исследованиях, посвященных данным вопросам, получены весьма разноречивые выводы [9, 22, 25]. Это побудило нас изучить, как и в какой мере влияют видовые и сортовые особенности растений и условия их произрастания на биохимический состав плодов и ягод.

В данной работе приводятся результаты исследований влияния климатических факторов на накопление простых и сложных углеводов, органических кислот, аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в плодах и роли этих веществ в приспособлении растений к условиям места их произрастания.

### Материал и методика

Анализировали плоды смородины 4 видов и 9 сортов, селитерянки сибирской трех разновидностей, боярышника колючего, земляники восточной и лесной, шиповника колючего и даурского, брусники, облепихи, голубики, яблони дикой, а также плоды 5 крупноплодных и 4 мелкоплодных сортов яблони.

Материал для анализа получен в Монгольской Народной Республике, в Московской и Новосибирской областях, т. е. из районов, значительно различающихся по климату.

Отбор образцов для химического анализа проводили по общепринятым методам [4, 5]. Условия проведения исследований, методики химических анализов плодов и ягод на содержание изучаемых веществ приведены в ранее опубликованных работах [3—5, 12]. Для качественного определения растворимых сахаров методом бумажной хроматографии на бумаге ватман № 3 нами было испытано несколько известных систем растворителей. Результаты сравнения показали, что лучшими из них являются н. бутанол — пиридин — вода (1:1:1) и н. бутанол — уксусная кислота — вода (6:2:3), в которых наиболее четко разделяются фруктоза и глюкоза. В этом случае удобно применять круговую хроматограмму в большом эксикаторе. Мы испытали отдельное хроматографирование альде- и кетосахаров с последующим проявлением альдоз анилиновым, а кетоз — резорциновым растворами индикаторов. В результате многократных проверок чистых кристаллических альдоз на бумаге ватман № 3 в системе растворителей н. бутанол — уксусная кислота — вода (6:2:3) установлен следующий порядок распределения по значениям  $R_f$ : манноза — 0,08; мальтоза — 0,17; глюкоза — 0,26; галактоза — 0,27; арабиноза — 0,31; ксилоза — 0,34; рамноза — 0,42. В этих же условиях хроматографирования распределение кетоз было следующим: раффиноза — 0,18; сорбиноза — 0,34; фруктоза — 0,36. У сахарозы  $R_f$  равнялось 0,29. Эти показатели использованы при идентификации отдельных сахаров.

## Результаты

Сравнение имеющихся литературных данных и результатов наших анализов ягод смородины нескольких видов и сортов. Селитерянки трех разновидностей, произрастающих в МНР, показало, что химический

состав плодов неодинаков не только у разных видов, но и у различных форм и сортов растений (табл. 1, 2, 3). В частности, неодинаков качественный состав сахаров. Так, у смородины высочайшей найдены сахароза, фруктоза, глюкоза, арабиноза, тогда как у крыжовника игольчатого.

Т а б л и ц а 1

Химический состав ягод смородины и селитерянки, произрастающих в МНР  
(в среднем за 6 лет)

Вид растения	Сухое вещество	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Дубильно-красящие вещества	Белковые вещества	Органические кислоты	Аскорбиновая кислота, мг%
Смородина:								
высочайшая	14,65	2,25	1,89	0,14	0,98	1,32	1,28	139
черная	15,22	0,56	6,08	0,50	0,51	0,91	2,80	219
красная	15,78	1,25	2,75	4,44	0,42	1,25	2,81	140
моховая	13,08	1,82	3,30	5,66	0,73	1,09	2,76	180
Селитерянка сибирская:								
пурпуровая разновидность	23,10	5,70	3,46	1,57	1,20	—	1,70	28
розовая	16,84	1,30	3,10	0,57	1,86	—	2,14	15
черная	23,25	3,98	6,02	1,07	1,25		1,26	26

Т а б л и ц а 2

Содержание ди- и трикарбоновых кислот в ягодах разных видов смородины (мг%).  
МНР, (в среднем за 3 года)

Вид смородины	Винная	Яблочная	Лимонная	Янтарная	Фумаровая
Черная	12,5	592,5	1675,3	51,6	—
Высочайшая	3,7	625,3	475,4	22,3	—
Красная	22,4	1137,3	1463,4	17,0	425,0

Т а б л и ц а 3

Химический состав интродуцированных в МНР сортов смородины (в среднем за 5 лет)

Сорт	Сухое вещество	Органические кислоты	Моносахара	Сахароза	Аскорбиновая кислота, мг%	Сахаро-кислотный индек.
Заалтайская Гоби						
Зоя	11,60	2,35	4,37	0,12	65	1,97
Нина	15,40	0,92	0,17	0,60	51	0,83
Голубка	10,05	1,09	2,71	0,43	80	2,78
Стахановка	14,02	0,89	5,16	0,67	182	6,55
Приморский чемпион	13,30	0,56	1,12	0,31	115	2,55
Хангайская зона						
Рубин	17,72	3,30	3,25	0,18	46	1,19
Кокс	14,80	3,20	2,17	0,96	87	0,95
Надежда	18,50	1,90	3,71	1,29	84	2,63
Долж	18,60	2,30	3,72	1,68	74	2,43
Приморский чемпион	13,82	3,40	2,67	0,26	81	0,86

Химический состав плодов и ягод некоторых дикорастущих растений во влажном 1978 г. и сухом и жарком 1979 г. Московская область

Химический состав	Боярышник колючий		Земляника лесная		Смородина черная		Шиповник колючий	
	1978	1979	1978	1979	1978	1979	1978	1979
Сухое вещество	19,45	23,78	12,04	15,29	14,00	15,32	26,90	30,46
Органические кислоты	1,81	0,94	1,73	1,00	1,90	2,01	2,08	1,80
Глюкоза	0,51	0,56	0,50	0,68	1,10	1,50	0,64	0,72
Фруктоза	0,69	0,68	0,90	0,78	3,93	4,50	0,72	0,68
Моносахара	1,20	1,24	1,40	1,46	5,03	6,00	1,36	1,40
Сахароза	0,78	1,21	3,99	7,20	2,01	3,06	3,05	3,89
Сумма сахаров	1,98	2,45	5,39	8,66	7,04	9,06	4,41	5,29
Фруктоза : глюкоза	1,35	1,21	1,80	1,15	3,57	3,00	1,12	0,94
Моносахара : сахароза	1,54	1,02	0,35	0,20	2,50	1,96	0,44	0,36
Дубильно-красящие вещества	0,54	0,60	0,18	0,30	0,41	0,44	1,87	1,99
Аскорбиновая кислота, мг%	43	40	29	26	149	138	723	606
Белковые вещества	1,08	1,23	0,30	0,44	0,80	0,94	1,42	1,94
Сахаро-кислотный индекс	1,09	2,61	3,12	8,66	3,71	4,51	2,12	2,94

кроме этих углеводов, обнаружена еще и галактоза, у жимолости алтайской и шикши черной — рамноза, у смородины моховой — раффиноза, у брусники — ксилоза [3, 12]. Неодинаковы состав и соотношение аминокислот и антоциановых пигментов в плодах и ягодах разных видов [3—5]. В ягодах разных видов смородины в различных количествах содержатся янтарная, яблочная и лимонная кислоты. Кроме того, у смородины красной обнаружена и фумаровая кислота (табл. 2).

Все это лишний раз подтверждает положение о том, что синтез сахаров, аминокислот, фенольных соединений и карбоновых кислот обусловлен генетическими особенностями растений. Вместе с тем в пределах одного и того же вида или сорта химический состав плодов колеблется в широких пределах в зависимости от условий внешней среды (табл. 3, 4). Следовательно, те или иные вещества могут накапливаться в растениях под воздействием внешних факторов в процессе адаптивного синтеза. Это заключение согласуется с выводами [15] о том, что химический состав растения и присущий ему тип обмена веществ не только отражают специфические особенности организма, но и обуславливают единство организма и среды.

Содержание органических кислот в растениях повышается при недостатке тепла. В годы с влажным и прохладным вегетационным периодом их накапливалось в плодах и ягодах больше, чем в теплые годы (табл. 4). В связи с этим следует отметить, что у растений с коротким вегетационным периодом, произрастающих в Новосибирской области и других регионах СССР, где летние месяцы характеризуются высокими солнечной активностью и температурами воздуха, в плодах и ягодах часто накапливается карбоновых кислот меньше, чем в Московской области (табл. 5). Но в случае растений с длинным вегетационным периодом может наблюдаться и обратная картина, так как созревание

их в Новосибирской области может протекать при неблагоприятном тепловом режиме.

Особенно много органических кислот и аскорбиновой кислоты накапливается при резких суточных колебаниях температуры воздуха. Поэтому в условиях МНР их содержание выше, чем в Новосибирской и Московской областях (табл. 5). В частности, имеются данные [21], что вследствие снижения температуры воздуха ночью резко повышается кислотность клеточного сока и в плодах увеличивается содержание карбоновых кислот. Такое же явление отмечается и с повышением места произрастания [3].

При резком понижении температуры, вероятно, окисление углеводов идет не до конца, и в плодах накапливаются ди- и трикарбоновые кислоты, которые играют роль буферной системы в процессе приспособления растений к внешним условиям. Такой тип обмена веществ сформировался в процессе естественного отбора, и хотя он имеет генетическую природу, однако в значительной степени зависит от условий произрастания растений.

Органические кислоты в основном накапливаются в качестве запасного фонда в вакуолях, в цитоплазме их содержится мало. Вместе с тем карбоновые кислоты играют огромную роль в окислительно-восстановительных и дыхательных процессах тканей [19]. Следует отметить, что органические кислоты в плодах и ягодах представлены не только низкомолекулярными ди- и трикарбоновыми кислотами, но и высокомолекулярными.

Согласно хемосмотической теории дыхания П. Митчелла (протонный цикл) [13, 20] в процессе дыхания по одну сторону мембраны митохондрии образуется избыток положительных зарядов и кислота ( $H^+$ ), а по другую — отрицательных. При этом создается разность электродвижущих сил  $\Delta\psi$ . Таким образом, при дыхании возникает протондвижущая сила, или раз-

Химический состав плодов дикорастущих растений  
в зависимости от условий их произрастания

Вид растения	Сухое вещество	Органические кислоты	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Дубильно-красящие вещества	Белковые вещества	Аскорбиновая кислота, мг%
	% к сырой массе							
МНР								
Боярышник даурский	23,61	1,20	0,56	1,55	0,19	0,82	1,18	49
Земляника восточная	13,73	1,64	3,57	0,41	3,01	0,21	0,47	33
Шиповник колючий	29,48	1,48	1,84	2,01	2,82	2,29	1,79	1200
Смородина черная	14,65	2,80	0,56	6,08	0,50	0,51	0,91	219
Брусника	13,08	2,41	2,50	3,48	0,13	0,57	1,34	35
Облепиха крушиновидная	16,18	2,30	1,27	2,33	0,30	0,45	1,18	244
Голубика голостебельная	10,17	1,45	0,99	4,60	0,32	0,89	0,83	56
Яблоня дикая	23,78	2,45	0,79	1,71	0,43	0,53	1,03	41
Новосибирская область								
Боярышник колючий	21,05	1,18	0,78	1,32	0,29	0,61	1,20	41
Земляника лесная	13,82	1,10	2,01	1,02	4,28	0,20	0,41	30
Шиповник колючий	29,32	1,37	1,45	1,61	3,07	1,94	1,60	700
Смородина черная	14,05	1,91	1,46	5,04	1,34	0,52	1,08	120
Брусника	14,21	2,09	2,82	1,76	0,08	0,30	0,94	43
Облепиха крушиновидная	15,09	2,00	1,80	1,88	0,34	0,53	1,21	203
Голубика голостебельная	11,30	1,40	1,69	3,34	2,86	0,80	0,89	54
Яблоня дикая	24,81	2,31	1,00	1,35	0,97	0,41	1,24	39
Московская область								
Боярышник колючий	21,00	1,10	0,52	0,69	0,80	0,56	1,10	42
Земляника лесная	13,70	1,17	0,50	0,81	6,01	0,19	0,35	27
Шиповник колючий	28,31	1,32	0,68	0,70	3,46	1,92	1,61	697
Смородина черная	14,39	1,99	1,30	4,50	2,31	0,42	0,86	140
Брусника*	13,01	2,31	2,54	2,50	0,27	0,39	0,81	50
Яблоня дикая	23,62	2,04	1,15	1,25	1,21	0,38	1,06	34

\* Калужская обл.

ность электрохимических потенциалов водородных ионов  $\Delta\mu\text{H}$ , т. е. потенциальная энергия ионов  $\text{H}^+$ , выделяющихся при дыхании из митохондрий. Эта энергия и избыток ионов водорода потребляются при синтезе АТФ. Однако если повысить проницаемость мембран митохондрий для протонов, то разность потенциалов  $\Delta\mu\text{H}$  уменьшится без синтеза АТФ, дыхание пойдет без фосфорилирования и вся энергия окислительно-восстановительных реакций превратится в тепло. Установлено, что свободные жирные карбоновые кислоты повышают протонную проводимость мембран, т. е. являются протонофорами, разобщителями фосфорилирования [13, 20]. Возможно, и в нашем случае отдельные органические кислоты в некоторой степени являются

протонофорами, под действием которых процесс дыхания в клетках идет без образования АТФ, а с выделением тепла, что позволяет предохранить протопласт клеток от вредного действия пониженных температур. В процессе такого дыхания расходуется повышенное количество сахаров и их окисление идет до образования ди- и трикарбоновых кислот, т. е. используются вещества, имеющие более низкую степень окисления, чем указанные кислоты. Это подтверждается тем, что в холодные периоды в плодах и ягодах уменьшается сахаро-кислотный индекс (табл. 4), который у плодов и ягод, произрастающих в МНР, ниже, чем в более благоприятных условиях Новосибирской и Московской областей (табл. 6). Такое явление наблюдается не

Соотношение сахаров и органических кислот в дикорастущих плодах и ягодах в зависимости от условий их произрастания

Растение	Фруктоза : глюкоза			Моносахара : сахара-за			Сахаро-кислотный индекс		
	МНР	Новоси-бирская обл.	Москов-ская обл.	МНР	Новоси-бирская обл.	Москов-ская обл.	МНР	Новоси-бирская обл.	Москов-ская обл.
Боярышник	2,77	1,69	1,33	11,11	7,24	1,51	1,92	2,03	1,83
Земляника	0,11	0,51	0,51	1,32	0,71	0,23	4,25	6,65	6,33
Шиповник	1,09	1,11	1,03	1,37	1,00	0,40	4,61	4,47	3,67
Смородина черная	10,86	3,45	3,46	13,28	4,96	2,51	2,25	4,09	4,08
Брусника	1,39	0,62	1,04	46,00	57,25	18,66	2,58	2,23	2,30
Облепиха крушиновидная	1,76	1,04	—	11,67	10,82	—	1,65	2,01	—
Голубика голостебельная	4,64	1,98	—	17,47	1,76	—	5,98	5,64	—
Яблоня дикая	2,16	1,35	1,09	3,16	2,42	1,98	1,25	1,39	1,76

только в плодах и ягодах, но и в травах [11].

Таким образом, органические кислоты играют определенную физиологическую роль в приспособлении растительных тканей к неблагоприятному температурному режиму.

Следует отметить, что карбоновые кислоты, увеличивая осмотическое давление клеточного сока в вакуолях, уменьшают содержание свободной влаги в межклеточниках и цитоплазме, что предохраняет ткани от размораживания. При этом кислоты повышают концентрацию клеточного сока и температуру его замерзания и оттаивания [4]. Например, молекулярная константа понижения температуры замерзания у воды 1,86, у уксусной кислоты — 3,49, и чем больше молекулярная масса кислоты, тем больше значение данного показателя. Повышенное содержание высокомолекулярных кислот в растении позволяет им выжить при случайных заморозках, которые в МНР, например, наблюдаются уже в августе.

Видимо, повышение температуры оттаивания замороженных плодов и ягод играет положительную роль в сохранении семян, находящихся в них. В замороженных плодах и ягодах вода находится в неактивном состоянии и семена как бы законсервированы. После оттаивания и разрушения перикарпия они попадают в почву и прорастают. Чем выше температура оттаивания плодов и ягод, тем позже оно наступит, тем, следовательно, позже начнут прорастать семена, что уменьшает вероятность повреждения проростков случайными возвратными весенними заморозками. Так, в плодах брусники, клюквы и других растений, произрастающих в районах с резко континентальным или холодным климатом, очень высока концентрация органических кислот. По этой же причине в плодах и ягодах дикорастущих растений их содержится больше, чем в культурных.

Большую роль в приспособлении растений к холодному климату и неблагоприятным условиям играет также аскорбиновая кислота, содержание которой подвержено

тем же изменениям, что и содержание органических кислот, т. е. оно больше в плодах и ягодах дикорастущих, чем культурных растений, и повышается в горных и резко континентальных условиях, а также при снижении температуры воздуха и ее резких колебаниях. В связи с этим следует отметить, что содержание аскорбиновой кислоты в плодах и ягодах, произрастающих в МНР и прилегающих к ней регионах СССР, выше, чем в районах с более мягким климатом, например в Московской области.

Важнейшим показателем качества плодов и ягод служит содержание в них углеводов. Углеводы, являясь запасными питательными веществами и энергетическим материалом, имеют большое значение и в приспособлении растений к условиям произрастания. В частности, они играют большую роль в формировании у растений зимостойкости. Нами отмечено, что у более зимостойких видов и сортов многолетних трав в узлах кущения и корневищах накапливается простых и сложных углеводов гораздо больше, чем у незимостойких. Факторы, снижающие содержание этих веществ в растениях, уменьшают их зимостойкость [11].

Изменение соотношения простых углеводов, связанное с климатическими и погодными условиями, свидетельствует о том, что они участвуют в приспособлении растений к неблагоприятным условиям произрастания и различаются между собой по физиологической активности. Например, фруктоза в отличие от глюкозы относится к кетосахарам, которые поддаются кристаллизации гораздо хуже, чем альдозы. Фруктоза, отличаясь высокой физиологической активностью, имеет большое значение в формировании морозостойчивости у растений [2]. При резких суточных колебаниях температуры и недостатке тепла синтез углеводов смещается в сторону накопления фруктозы (табл. 4, 5, 6). Вероятно, в приспособлении растений к неблагоприятным условиям фруктоза играет большую роль, чем глюкоза и сахароза. Следует отметить

очень низкое содержание сахарозы в плодах и ягодах плодово-ягодных растений, произрастающих в МНР (табл. 4, 5, 6). Оно снижается при недостатке тепла и резких суточных колебаниях температуры. Вероятно, в этих условиях замедляется ее синтез и увеличивается гидролиз до моносахаров. Поэтому в МНР отношение содержания моносахаров, особенно фруктозы, к концентрации сахарозы в плодах выше, чем в Новосибирской и Московской областях (табл. 5, 6). Оно увеличивается в вегетационные периоды с пониженной температурой воздуха (табл. 4). Нами отмечено, что при воздействии пониженных температур содержание фруктозы возрастает или остается неизменным на протяжении нескольких суток, вместе с тем содержание растворимых углеводов снижается главным образом за счет уменьшения количества олигосахаридов, в частности сахарозы. В данном случае динамическая система олигосахаридов  $\rightleftharpoons$  фруктоза выступает в роли источника фруктозы, необходимой для обеспечения в растениях жизненных процессов, т. е. равновесие смещается вправо. Аналогичные изменения комплекса растворимых углеводов были отмечены также в процессе промораживания озимых злаков [2], клубней, луковиц и других запасющих органов разных видов растений. Вероятно, при этом под воздействием  $\beta$ -фруктофуранозидазы (инвертазы) сахароза расщепляется на глюкозу и фруктозу. Интересно отметить, что гидролиз сахарозы протекает быстрее при подкислении среды [13]. При анализе данных табл. 4, 5 и 6 видно, что соотношение моносахаров и сахарозы увеличивается при повышении кислотности и уменьшении сахаро-кислотного индекса. Неблагоприятный температурный режим, вероятно, способствует ускорению перехода глюкозы во фруктозу, протекающего при участии фермента изомеразы (глюкозофосфат-изомеразы) [13], который катализирует взаимное превращение фосфорных эфиров глюкозы и фруктозы. Этот процесс при неблагоприятном температурном режиме, видимо, идет в сторону образования фруктозы. Возможно, фруктоза, образующаяся при ферментативном гидролизе олигосахаридов, и является одной из форм субстрата в процессе окислительного фосфорилирования, в результате которого получается АТФ [2].

При повышении содержания фруктозы вкус плодов и ягод улучшается, но, с другой стороны, фруктоза хуже поддается спиртовому брожению, чем олигосахариды, ухудшается лежкость плодов и ягод. Образование фруктозы при пониженных температурах хранения сахарной свеклы имеет негативную сторону, так как инвертный сахар не кристаллизуется, что ведет к потерям сахара.

Распад сложных углеводов на более простые определяет понижение температуры замерзания клеточного сока: чем больше частиц в растворе, тем она ниже, а температура оттаивания выше. В данном случае роль сахаров в приспособлении растений к пониженной температуре и ее

резким колебаниям такая же, как и у карбоновых кислот, т. е. они являются своеобразными «антифризами». Кроме того, сахара, повышая осмотическое давление в вакуолях, способствуют уменьшению содержания свободной влаги в межклеточниках и цитоплазме, предохраняя тем самым ткани от размораживания.

Высокая концентрация клеточного сока способствует увеличению сосущей силы тканей, что предохраняет их от высыхания. Поэтому в ягодах селитерянки, произрастающей в Гоби, содержится гораздо больше сахаров, чем у растений в лесной и лесостепной зоне (табл. 1). В них также больше и моносахаров, что, вероятно, связано опять-таки с резкими суточными колебаниями температуры воздуха.

Возможно, моносахара препятствуют деструкции белковых структур, которая обусловлена процессами дегидратации [7, 24]. Согласно этому мнению стабилизация биологических цитоплазмы осуществляется либо путем образования водородных связей между моносахарами и белками, либо через гидратированную сахаром воду, т. е. через водородные связи [2, 7, 24].

При неблагоприятном температурном режиме замедляется синтез и ускоряется окисление простых углеводов, причем последний процесс идет не до конца, а до образования ди- и трикарбоновых кислот. Возможно, поэтому в плодах и ягодах, произрастающих в МНР, содержится много ди- и трикарбоновых кислот и мало сахаров [3, 11, 15]. Такое же явление наблюдается при недостатке тепла в вегетационный период (табл. 4).

При неблагоприятном тепловом режиме усиливается накопление фенольных соединений (табл. 4, 5), на синтез которых расходуются гексозы [23]. Последнее является одной из причин низкого содержания сахаров в плодах и ягодах, произрастающих в МНР (табл. 5). При интродукции и использовании в селекционном процессе дикорастущих видов отбор должен вестись на увеличение содержания сахаров в плодах и ягодах, снижение их кислотности без снижения витаминной ценности и устойчивости к неблагоприятным условиям.

Соотношение сахаров и кислот в плодах и ягодах культурных и дикорастущих растений, произрастающих в МНР, довольно низкое (табл. 6). Вследствие этого при производстве джемов, повидл, соков и вин необходимо добавление сахара. Исключением является селитерянка, которая растет в полупустыне Гоби (табл. 1).

Необходимость в подслащивании увеличивается, если в вегетационный период ощущался недостаток тепла (табл. 4).

В приспособлении растений к неблагоприятным условиям важную роль играют также сложные углеводы типа крахмала, гемицеллюлоз, пектиновых веществ. Данные вещества способны к набуханию, т. е. к удерживанию большого количества влаги. Тем самым они предохраняют ткани от иссушения и размораживания [4]. Интересно, что в плодах и ягодах растений, произ-

Содержание пектиновых веществ в дикорастущих плодах и ягодах в зависимости от условий произрастания (% к сырой массе)

Растение	МНР		Новосибирская обл.		Московская обл.	
	растворимый пектин	протопектин	растворимый пектин	протопектин	растворимый пектин	протопектин
Брусника	0,23	0,14	0,32	0,20	0,26	0,18
Смородина черная	0,32	1,45	0,29	1,10	0,30	1,05
Боярышник	0,71	1,02	0,80	0,88	0,80	0,82
Голубика голостебельная	0,64	1,13	0,69	1,02	—	—

растающих в местностях с резко континентальным климатом, в частности в Монголии, накапливается значительное количество сложных запасных углеводов, особенно гемицеллюлоз и пектиновых веществ (табл. 7) [3, 4]. Это характерно и для многолетних трав [11]. Чем засушливее климат и чем сильнее колебания сезонных и суточных температур, тем больше накапливается сложных углеводов [3, 4, 11], в частности пектиновых веществ (табл. 7).

В более мягком климате Новосибирской и Московской областей соотношение протопектина и пектина ниже, чем в МНР (табл. 7). Однако следует отметить, что этот показатель в значительной степени зависит не только от условий произрастания, но и от генетических особенностей растений (табл. 7, 8) и степени зрелости плодов. В условиях Монголии содержание протопектина остается высоким вплоть до съемной спелости. Процесс перехода протопектина в пектин после достижения плодами съемной спелости резко ускоряется [3].

В плодах и ягодах зимних и осенних сортов содержится больше протопектина, и он переходит в пектин медленнее, чем у летних (табл. 8) [3]. То же самое наблюдается при сравнении мелкоплодных и крупноплодных сортов яблок одинаковых сроков созревания (табл. 8). Это свидетельствует о том, что изменения химического состава, связанные с созреванием плодов, определяются и генетической природой растений, и условиями их произрастания. Процессы созревания и старения плодов резко ускоряются при сильных колебаниях суточных температур воздуха, что, по нашему мнению, вызывается усилением окисления липидов мембран клеток, образованием активных радикалов, сопутствующих данному процессу. Это, вероятно, и является причиной быстрого созревания плодов в МНР после достижения ими технической спелости, так как в этот период наблюдаются сильные колебания температуры воздуха и даже заморозки.

Таблица 8

Содержание пектиновых веществ и фенольных соединений в плодах разных сортов яблонь. МНР, в среднем за 7 лет

Сорт	Растворимый пектин	Протопектин	Протопектин, % от суммы пектинов	Фенольные соединения		Антоцианы	
				в среднем во всем перикарпии	в кожуре	в среднем во всем перикарпии	в кожуре
	% к сырой массе				мг% в сырой массе		
Крупноплодные сорта							
Грушовка московская	0,65	0,32	33,0	143	687	Не опр.	
Папировка	0,56	0,32	27,5	100	458	» »	
Славянка	0,83	0,87	51,2	171	1112	» »	
Боровинка	0,77	0,40	34,8	111	1615	0	182
Пепин шафранный	0,42	1,04	71,2	157	600	0	186
Мелкоплодные сорта							
Ранетка пурпуровая	0,92	0,65	41,4	876	3387	38	318
Непобедимая Грелля	1,01	0,57	36,4	473	907	23	94
Сеянец пудовщины	0,77	0,51	39,8	423	1125	112	168
Янтарка алтайская	0,46	0,70	63,4	694	1413	Не опр.	

В плодах и ягодах дикорастущих растений накапливается больше пектиновых веществ, чем в культурных. Сравнительное исследование биохимического состава культурных и дикорастущих плодово-ягодных растений подтверждает мнение о том, что культурные и дикие их сородичи произошли от так называемых мостовых форм в результате приспособления к изменениям среды под влиянием доместикиции и естественного отбора [3, 9, 14]. При этом в углеводном комплексе плодов дикорастущих растений повышался удельный вес полисахаридов и соответственно снижалась концентрация растворимых простых сахаров. В плодах растений, введенных в культуру, обеспеченных водой и минеральными питательными веществами, увеличивалась сахаристость за счет уменьшения процентного содержания сложных углеводов — целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновых веществ. Однако, как показали исследования, резко континентальный климат Монголии способствовал сохранению повышенного содержания сложных углеводов, в том числе и пектиновых веществ, в плодах культурных растений. Все это еще раз подтверждает большое значение сложных углеводов в приспособлении растительного организма к неблагоприятным условиям среды.

Высокое содержание пектиновых веществ нежелательно при производстве осветленных соков, так как оно затрудняет их фильтрацию [4], но они обладают ценным свойством поглощать ряд ядовитых для человека веществ, в частности, тяжелые металлы, радиоактивные элементы, токсины; пектины, как и флавоноиды, способствуют выводу их из организма. Кроме того, они в присутствии определенных количеств сахара и кислоты образуют гель, что очень важно для производства джемов и фруктовых желе.

Огромную роль в формировании качества плодов и ягод играют фенольные соединения — дубильно-красящие вещества. Данные соединения представляют очень многочисленную группу веществ: их более 2000 [8, 23]. Являясь естественными синергистами аскорбиновой кислоты, они укрепляют сердечно-сосудистую систему, играют огромную роль в обмене веществ у человека, животных и растений. Катехины, флавоноиды и антоцианы способны предупреждать или уменьшать последствия лучевых поражений, они обладают Р-витаминной активностью. С присутствием и изменением содержания фенольных соединений связано формирование технологических свойств сырья: окраска, вкус, аромат пищевых продуктов [3, 6, 8, 14, 23]. Не менее важную роль играют фенольные соединения в жизни растений. Установлена взаимосвязь между синтезом белков, кислот, углеводов и фенольных соединений. Они участвуют в процессах роста, окислительного фосфорилирования и дыхания, в формировании устойчивости растений к болезням [8, 13, 16]. Значительные различия в химическом строении фенольных соединений и неоднородность тканей и органов, в которых они

локализируются, свидетельствуют о большом разнообразии функций этих соединений в растениях.

По нашему мнению, фенольные соединения имеют большое значение в формировании у растений устойчивости к заморозкам, к повышенной солнечной активности, особенно к ультрафиолетовым лучам, дефициту влаги и в приспособлении к высоким температурам и ее суточным колебаниям [4, 11]. Так, содержание дубильно-красящих веществ в плодах и ягодах в Монголии выше, чем в Новосибирской и Московской областях (табл. 5).

Фенольные соединения являются не только хорошими своеобразными «антифризами» (молекулярная константа понижения температуры замерзания у фенола 7,27), но и активно участвуют в процессах дыхания. Мы согласны с мнением Дж. Харборна [23] о том, что некоторые из природных фенольных соединений являются протонфорами, т. е. направляют процесс дыхания на выделение тепла без образования АТФ. Об участии фенольных соединений в формировании морозоустойчивости растений свидетельствует то, что в корневищах пырея, произрастающего в Ростовской и Кировоградской областях, их накапливается меньше, чем в лесостепной и степной зоне Новосибирской области [11]. В местах отбора образцов наблюдается примерно одинаковый дефицит влаги при разном температурном режиме воздуха и почвы.

О том, что фенольные соединения играют огромную роль в приспособлении растений к повышенной солнечной активности и формировании у них устойчивости к ультрафиолетовым лучам, свидетельствует более высокое их содержание в покровных тканях перикарпия, чем в мякоти (табл. 8). Этим же объясняется повышение содержания фенольных соединений в плодах растений, произрастающих южнее или выше над уровнем моря, а также при увеличении солнечной активности (табл. 4, 5). Отмеченное подтверждают и результаты анализа биохимического состава трав [11]. Повышение освещенности растений, особенно ультрафиолетовыми лучами, способствует увеличению содержания эфирных масел и лигнина [11, 27].

Вероятно, фенольные вещества участвуют в формировании засухоустойчивости у растений. Содержание их уменьшается во влажные годы (табл. 4), особенно снижается концентрация антоцианов и лейкоантоцианов [3]. Например, в корневищах пырея ползучего содержание фенольных соединений составило при орошении 2,1, а на богаре — 3,9 % воздушно-сухой массы [11].

Особенно много антоцианов и других фенольных соединений содержится в дикорастущих плодах и ягодах (табл. 1, 5, 9), а также в яблоках мелкоплодных сортов (они присутствуют даже в мякоти). Интересно отметить, что в генетическом отношении мелкоплодные сорта стоят к дикорастущим видам яблони ближе и более приспособлены к условиям Монголии, чем крупноплодные. При выращивании без ук-



Т а б л и ц а 9

Содержание фенольных соединений  
в дикорастущих плодах и ягодах  
(мг<sup>0</sup>/<sub>0</sub> в сырой массе). МНР,  
в среднем за 6 лет

Вид	Антоциан	Лейкоантоциан	Флавонолы	Всего фенольных веществ
Смородина высочайшая	233,3	116,7	130,0	1575,0
Смородина моховая	66,0	59,0	135,1	375,0
Смородина черная	340,0	30,0	278,5	927,3
Брусника	80,0	20,0	91,3	780,5
Голубика	345,0	105,0	124,6	1425,0
Крыжовник игольчатый	33,5	67,5	75,8	425,7
Жимолость алтайская	283,0	167,0	116,6	828,6
Черемуха азиатская	88,1	164,4	—	695,0

рытия даже в условиях МНР они почти ежегодно плодоносят.

Фенольные соединения, в частности антоцианы, обладают высокой антиоксидантной активностью. Вероятно, эти вещества замедляют процессы распада аскорбиновой кислоты белков ферментов и клеточных мембран [8, 27].

Под действием резких колебаний суточных температур, высокой солнечной активности, особенно в области ультрафиолетовой части спектра, вероятно, усиливается перекисное окисление липидов, разрушается липидная часть мембран, при этом образуются свободные радикалы и свободная энергия, которая направляется на деструкцию структур цитоплазмы. Антоцианы же, реагируя с радикалами кислот и других соединений и являясь акцепторами кислорода, предотвращают в той или иной степени разрушение структуры клетки.

Важное значение для растений в суровых условиях имеет повышение их устойчивости к болезням. Именно этому и способствуют фенольные вещества [14, 16], к которым относятся производные коричной

кислоты и кумарины С<sub>6</sub>—С<sub>3</sub>. Кроме того, фенолы при окислении образуют хиноны, которые обладают сильным бактерицидным действием [16]. В связи с этим следует отметить, что ткани дикорастущих растений содержат большое количество фенольных соединений и имеют более высокую устойчивость, чем культурные, не только к неблагоприятным условиям, но и болезням.

Наши исследования подтвердили общеизвестный факт об увеличении содержания белка в растениях при повышении засушливости климата (табл. 4, 5). Увеличение белковости плодов и ягод является положительным при потреблении их в свежем виде и при их консервировании, однако высокое содержание белков и особенно свободных аминокислот является одной из причин так называемых белковых помутнений при производстве вин. Следует отметить, что содержание свободных аминокислот в плодах плодово-ягодных растений, произрастающих в МНР, довольно высокое [5].

### Заключение

В плодах плодово-ягодных растений, произрастающих в районах с резко континентальным климатом, отмечено повышенное содержание полисахаридов ди- и трикарбонновых кислот, аскорбиновой кислоты, фенольных веществ и относительно низкое содержание растворимых углеводов, среди которых преобладают моносахара, особенно фруктоза. Такой тип обмена веществ хотя и формируется в процессе филогенеза растений, однако в сильной степени зависит от климатических и метеорологических условий.

Пектиновые вещества и другие сложные углеводы способны к набуханию и удерживанию большего количества свободной влаги. Уменьшая ее содержание в межклеточниках, они предохраняют ткани от высыхания и размораживания.

Органические кислоты, фруктоза и фенольные соединения в растениях повышают их устойчивость к неблагоприятному температурному режиму.

Фенольные соединения, особенно антоцианы, содержащиеся в растениях, обеспечивают их устойчивость к ультрафиолетовым лучам, засухе и резким колебаниям температуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Арасимович В. В. Изучение закономерностей изменчивости углеводов плодов и овощей и пути их использования. — Автореф. докт. дис. Кишинев, 1966. — 2. Бабенко В. И. Физиологическая роль олигосахаров в онтогенезе злаковых растений. — С.-х. биология, 1971, вып. 1, т. VI, с. 47—57. — 3. Бадгаа Д. Исследование культурных и дикорастущих плодов и ягод Монгольской Народной Республики с целью рационального их использования. — Автореф. докт. дис. М., 1978. — 4. Бадгаа Д., Кобозев И. В., Кинякин М. Ф. Исследо-

вание плодово-ягодных соков как коллоидных систем. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 3, с. 117—124. — 5. Бадгаа Д., Кобозев И. В., Кинякин М. Ф., Ушакова И. И. Содержание свободных аминокислот в некоторых дикорастущих растениях МНР. — Пищевая технология, 1980, вып. 3, с. 87—89. — 6. Барабой В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. Киев: Наукова думка, 1976. — 7. Васильева И. М., Лебедев Л. А., Рафикова Ф. М. Некоторые взаимосвязи между водным, углеводным и азотным

обменами озимой пшеницы в связи с вопросом морозостойчивости. — Физиол. растений, 1964, № 11, с. 5—8. — 8. Запрометов М. Н. Основы биохимии фенольных соединений. М.: Высшая школа, 1974. — 9. Иванов С. А. Климатическая теория образования органических веществ. М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 10. Кефели В. И. Природные ингибиторы роста и фитогормона. М.: Наука, 1974. — 11. Кобозев И. В. Формирование химического состава вегетативных органов многолетних трав в зависимости от условий произрастания как результат адаптивного синтеза органических веществ. — Тез. докл. V зональной конфер. молодых ученых и специалистов сельск. хозяйства Тюменской области. Тюмень, 1980, с. 123. — 12. Кобозев И. В., Беднарская И. Г., Бадгаа Д. Влияние условий произрастания на содержание углеводов в дикорастущих плодах и ягодах. — С.-х. биология, 1980, т. XV, № 5, с. 795—796. — 13. Кретович В. Л. Биохимия растений. М.: Высшая школа, 1980. — 14. Метлицкий Л. В. Основы биохимии плодов и овощей. М.: Экономика, 1976. — 15. Рубин Б. А. Биохимия и качество растительного сырья. М.: Знание, 1961. — 16. Рубин Б. А., Арциховская Е. В., Аксенова В. А. Биохимия и физиология иммунитета растений. М.: Высшая школа, 1975. — 17. Сабуров Н. В. Влияние района выращивания на изменение химического

состава и свойств косточковых плодов. — Докл. ТСХА, 1946, вып. 3, с. 76—79. — 18. Сабуров Н. В., Антонов М. В. Хранение и переработка плодов и овощей. М.: Сельхозгиздат, 1962. — 19. Салькова Е. П. Функциональная роль органических кислот и кутилярного комплекса в создании плодов. — Автореф. докт. дис. М., 1973. — 20. Скулачев В. П. Протонный цикл. — Химия и жизнь, 1979, № 11, с. 18—37. — 21. Спенсер М. Созревание плодов. — В кн.: Биохимия растений. М.: Мир, 1968, с. 484—505. — 22. Фролов Л. И. Сахара индикаторных сортов винограда в различных экологических условиях. — В сб.: Вопр. биохим. винограда и вина. М.: Знание, 1975, с. 16—21. — 23. Харборн Дж. Биохимия фенольных соединений. М.: Мир, 1968. — 24. Хебер У. Биохимические и физиологические аспекты морозостойчивости растений. — В сб.: Клетка и температура среды. М.—Л.: Наука, 1964, с. 46—50. — 25. Шарапов Н. И. Закономерности химизма растений. М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 26. Широков Е. П. Технология хранения и переработки плодов и овощей. М.: Колос, 1970. — 27. Широков Е. П., Бадгаа Д., Кобозев И. В. Содержание эфирных масел в растениях, используемых при производстве тонизирующих напитков. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 3, с. 187—191.

*Статья поступила 14 мая 1981 г.*

#### SUMMARY

A comparative study of biochemical composition of wild fruits and berries of Mongolia and of those in Novosibirsky and Moscow regions was conducted. It is found that organic acids and vitamin C are accumulated in higher amount under the influence of sharp daily fluctuations of air temperature and lack of heat. Under the effect of the same factors the concentration of sugars gets lower, the synthesis of fructose becoming somewhat more intensive. Accumulation of phenolic substances in plants may be considered as a result of their adaptation to frosts, sharp drops of daily air temperatures, drought, ultraviolet rays. Complex carbohydrates protect cells from unfreezing and drying, that is why their amount in fruits and berries is higher under distinctly continental conditions.