

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. А. МИКУЛЬСКИЙ и Е. В. ТЕПЛИЦКАЯ

**ДИНАМИКА УГЛЕВОДОВ И ЖИРА В КЛУБЕНЬКАХ ЧУФЫ
ВО ВРЕМЯ ВЕГЕТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ПРОРАСТАНИЯ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 11 I 1954)

Как известно, чуфа (*Cyperus esculentus*) представляет многолетнее растение из семейства осоковых, имеющее на корневищах подземной части овальные светлорубые клубеньки размером около 2,5 см. Клубеньки этого растения, в отличие от клубеньков многих других клубненосных растений, обладают одновременно значительными количествами таких ценных питательных веществ, как жир, тростниковый сахар и крахмал⁽¹⁻²⁾. В связи с этим изучение превращений этих веществ представляет известный теоретический интерес.

Из литературных источников давно известны факты взаимной связи крахмала и сахарозы, указывающие на легкий переход крахмала в сахарозу и обратный синтез из нее крахмала⁽³⁻⁵⁾. Б. А. Рубин и Е. В. Арциховская⁽⁶⁾ приводят данные, показывающие, что синтез полисахаридов у высших растений является промежуточным звеном на пути к образованию сахарозы. А. Л. Курсанов и О. Л. Павлинова⁽⁷⁾ на основании опытов с инфильтрацией различных моносахаров и фосфорных эфиров совместно с фруктозой высказали мысль, что ближайшими предшественниками сахарозы являются соединения с 1:4 α -глюкозидной связью (крахмал, декстрины, мальтоза), с которых ферментативным путем осуществляется перенос глюкозных остатков на фруктозу. Более того, высказанная в свое время рядом исследователей и нами^(8, 9) идея о сахарозе как транспортной форме сахаров нашла окончательное подтверждение в дальнейших исследованиях. А. Л. Курсанов и О. Л. Павлинова^(10, 11) пришли к выводу, что сахароза приобретает способность к движению в проводящих тканях черешков вследствие образования каких-то близких к ней фосфорилированных продуктов. При этом сахароза, по их предположению, сама по себе остается неподвижной, но зато поддерживает постоянную и непрерывную концентрацию движущегося фосфорилированного компонента.

Содержание настоящей работы составляет результаты наших исследований динамики углеводов и жира в клубеньках чуфы во время вегетации, хранения и прорастания. Образцы чуфы брались в 4 срока: 16 VII, 25 VIII, 23 IX и 15 X. В каждую пробу входило от 30 до 50 кустов. Хранение клубеньков проводилось в условиях холодного склада (минимальная температура +1, +3°) и в лабораторных условиях при комнатной температуре (18—20°), а проращивание — во влажном песке. Определение углеводов в клубеньках производилось после фиксации паром и предварительного обезжиривания.

В результате исследования органов чуфы оказалось, что наиболее заметные изменения проявляются в содержании сахарозы и крахмала. Так, в листьях содержание этого дисахарида резко возрастало к моменту

максимального развития надземной массы (25 VIII) с 1,9 до 6,7%, а затем к уборке (15 X) снижалось до 2,8%. Накопление крахмала в клубеньках соответствовало изменению содержания сахарозы в листьях (табл. 1).

Таблица 1

Содержание сахаров, крахмала и жира в клубеньках чумы во время вегетации (а—в % на абс.-сух. вещество, б—в клубеньках 100 кустов, в г)

Дата отбора проб	Моносахара		Сахароза		Сумма сахар.		Крахмал		Жир	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
16 VII	3,25	2,6	5,14	4,1	8,39	6,7	31,0	24,8	18,9	15,1
25 VIII	1,36	18,8	5,24	72,3	6,60	91,1	33,4	460,9	26,6	367,0
23 IX	1,46	35,9	8,76	215,5	10,22	251,4	28,5	701,1	30,6	752,7
15 X	1,12	34,6	15,02	464,1	16,14	498,7	19,5	62,6	34,2	1056,8

В то же время в клубеньках содержание тростникового сахара сильно возросло и относительно и абсолютно.

Результаты определения растворимых углеводов в листьях, корнях и клубнях чумы позволяют предполагать, что уменьшение к концу вегетации содержания сахарозы в листьях и накопление ее и крахмала в клубеньках является следствием передвижения этого дисахарида или его фосфорилированных продуктов из листьев в клубни. Содержание моносахаров в листьях чумы также увеличивалось, причем в клубеньках они накапливаются в незначительных количествах. За время вегетации в клубеньках возросло содержание жира с 18,9 до 34,2%, повидимому, также за счет поступившей из листьев сахарозы.

Таблица 2

Содержание сухого вещества, углеводов и жира при хранении клубеньков чумы (в % на абс.-сух. вещество и в 1000 клубеньков)

Дата отбора проб	Сыр. вес. 1000 клуб. в г	% абс.-сух. вещества	Сух. вес 1000 клуб. в г	Разница в %	% моносахаров	Сахароза			Крахмал			Жир		
						в %	000 клуб.		в %	в 1000 клуб.		в %	в 1000 клуб.	
							г	%		г	%		г	%

Хранение на складе

24 XI	496	58,1	288	—	следы	17,1	49,2	100	22,2	63,8	100	32,6	93,9	100			
23 II	339	85,7	290	+0,7	"	22,3	64,9	133	18,1	52,3	83,1	31,3	90,8	98,0			
23 IV	348	81,5	284	-0,7	"	22,8	64,9	133	17,4	49,4	78,0	31,2	88,6	95,1			
26 V	310	89,2	277	-3,2	"	23,9	66,1	135	16,8	46,5	73,5	31,0	86,0	92,3			

Хранение в лаборатории

24 XI	496	58,1	288	—	следы	17,1	49,2	100	22,2	63,8	100	32,6	93,9	100			
23 II	314	88,6	278	-2,8	"	18,5	51,3	105,1	19,9	55,2	87,2	33,2	92,4	99,1			
23 IV	282	90,2	254	-12,5	"	18,6	47,2	96,7	17,1	43,3	68,4	33,8	85,9	92,2			
26 V	283	90,5	256	-11,7	"	18,9	48,5	99,4	15,9	40,8	63,9	33,9	86,6	94,0			

Изучение клубеньков чумы, хранившихся в условиях склада и лаборатории, проводилось на отобранных образцах в 4 срока, начиная с 24 XI по 26 V (табл. 2). Следует отметить, что уже к концу ноября клубеньки значительно изменили свой химический состав по сравнению с химиче-

ским составом их при уборке: во все 4 срока они содержали только сахарозу и крахмал, в то время как простые сахара обнаружены в виде следов.

Потери сухого вещества клубеньков, хранившихся на складе в условиях сравнительно невысоких температур (+1, +3°), были незначительны — в пределах ошибки опыта, в то время как в лабораторных условиях (15—20°) эти потери составляли 11—12%. Изменение углеводов в обоих случаях хранения проходило по-разному. И в том и в другом случае к 23 II и к последующим срокам хранения наблюдается резкое снижение содержания крахмала. Однако в условиях склада наряду с его уменьшением наблюдается соответствующее увеличение содержания сахарозы. Так, абсолютное количество крахмала в 1000 клубеньках к концу хранения уменьшилось на 17,3 г, в то время как количество тростникового сахара за это время возросло на 16,9 г. Это говорит о том, что при хранении на складе в условиях сравнительно пониженных температур потерь углеводов не было. В лабораторных же условиях при повышенной температуре образовавшаяся в процессе распада крахмала сахароза, повидимому, была истрачена на дыхание. Об этом свидетельствует уменьшение к концу опыта содержания крахмала при почти неизменном содержании сахарозы.

Таким образом, эти данные свидетельствуют о том, что ферментативный распад крахмала в клубеньках чумы проходит через сахарозу, которая, повидимому, и является главнейшим энергопластическим материалом, расходуемым также и на дыхание. Последнее, как будто, согласуется с литературными данными ⁽¹²⁾, указывающими на сахарозу как важнейший дыхательный материал у растений и на то, что кривая дыхания находится в прямой связи с кривой содержания этого дисахарида. В данном случае это предположение имеет, повидимому, достаточное основание, если принять во внимание, что в клубеньках отсутствуют моносахара.

Таблица 3

Содержание сухого вещества, углеводов и жира в прорастающих клубеньках чумы (в % на абс.-сух. вещество и в 1000 клубеньков)

Дата отбора проб	Средн. длина проростка в см	Сыр. вес 1000 клуб. в г	% абс. сух. вещества	Сух. вес 1000 клуб. в г	Разница в %	% моносахаров	Сахароза			Крахмал			Жир и другие эфирорастворимые вещества		
							в %	в 1000 клуб.		в %	в 1000 клуб.		в %	в 1000 клуб.	
								г	%		г	%		г	%
3 V	—	313	86,9	272	—	следи	23,1	62,8	100	18,8	51,3	100	30,2	82,2	100
21 V	4,0	418	47,3	198	—27,2	"	9,5	18,8	30	24,6	48,8	95,1	37,2	73,8	89,8
20 VI	16,5	500	33,5	167	—38,6	"	19,5	32,6	51,9	8,6	14,4	28,0	34,3	57,3	69,7

Проращивание чумы производилось с целью дальнейшего изучения превращений жира и углеводов. Как видно из данных табл. 3, проращивание клубеньков сопровождается уменьшением сухого вещества не только по причине их набухания, но и вследствие того, что оно расходовалось на ростовые процессы, что видно из абсолютных данных уменьшения сухого веса 1000 клубеньков после их проращивания. Параллельно с этим сильно уменьшилась общая сумма углеводов (сахара + крахмал) — на 44,6% и на 58,7%. Характерно, что при проращивании клубеньков чумы в первую очередь расходуется сахароза: к 21 V ее содержание резко уменьшилось — с 23,1 до 9,5%. При этом одновременно возросло содержание крахмала с 18,8 до 24,6% и жира с 30,2 до 37,3%. Едва ли при проращивании мог иметь место синтез крахмала или жира в клубеньках,

Ко времени большого развития надземной массы чумы (20 VI) на прорастание клубеньков расходуется не только сахара, но в значительной степени и крахмал, который, подвергаясь расщеплению, превращается в сахарозу и потребляется растущими частями растений. Так, содержание крахмала уменьшилось с 24,6 до 8,6%, а содержание сахарозы увеличилось с 9,5 до 19,5%. За это же время на образование надземной массы было израсходовано также около 30% жира.

Поступило
5 VI 1953

¹ В. Румянцев, Большая Сов. Энцикл., 61, Чуфа. ² Ф. В. Церевитинов, Химия и товароведение свежих плодов и овощей, 2, 1949. ³ Н. Müller-Thurgau, Landw. Jahrb., 11, 751 (1882). ⁴ Е. F. Hopkins, Bot. Gaz., 73, 311 (1924). ⁵ L. L. Kertesz, Plant Physiol., 3, 399 (1930). ⁶ Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, ДАН, 60, № 5 (1948). ⁷ А. Л. Курсанов, О. Л. Павлинова, Биохимия, 15, в. 1, 52 (1950). ⁸ Н. А. Максимов, Краткий курс физиологии растений, 1948. ⁹ А. А. Миккульский, ДАН, 82, № 5 (1952). ¹⁰ А. Л. Курсанов, О. Л. Павлинова, Биохимия, 17, в. 4, 446 (1952). ¹¹ А. Л. Курсанов, Бот. журн., 37, 5, 585 (1952). ¹² С. Д. Львов, Основные направления в историческом развитии учения о дыхании растений, 1950.

684