

А. Н. ПАНТЕЛЕЕВ

БАЛАНС УГЛЕРОДА ПРИ ПРОРАСТАНИИ СЕМЯН БОБОВЫХ В СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 4 VI 1954)

Основным материалом для дыхания растений, согласно современным представлениям, являются углеводы. Установлено также, что в некоторых случаях растениями используются на дыхание не только углеводы, жиры и органические кислоты, но и другие, ближе не исследованные вещества (¹⁻³). Неоднократно наблюдалась также тесная связь между энергией дыхания и количеством белковых веществ в органах различных растений. Некоторые авторы делают в этом направлении широкие обобщения и, зачастую опираясь лишь на косвенные показатели, отводят особую роль в дыхании растений, как энергетическому материалу, веществам белковой природы (⁴).

Нами была поставлена задача исследовать, в какой мере углеводы обеспечивают процесс дыхания у таких растений, которые отличаются высоким содержанием белковых веществ.

В качестве объекта исследования были взяты прорастающие семена лупина (*Lupinus albus*). В семенах лупина содержание углеводов обычно не превышает количества запасных белков, а иногда даже вдвое меньше. В семенах, взятых для опытов, белковые вещества составляли 38—41%, углеводы (включая клетчатку) 37—39% и жиры около 10%. Если принять во внимание, что при прорастании семян лупина значительная доля запасных углеводов может расходоваться на синтез углеводного остова аспарагина (⁵), а его накапливается до 20% и более от сухого веса, то оказывается, что количество углеводов, которое могло бы потребоваться непосредственно на процесс дыхания, существенно меньше.

На основании количественных определений углеводов, жиров и аспарагина, а также выделенного углекислого газа мы сделали попытку свести баланс превращения этих веществ при прорастании семян, чтобы выяснить, обеспечивают ли запасные углеводы процесс дыхания.

С этой целью для каждой серии опытов семена отбирались равными порциями по весу и счету. Одна порция анализировалась на исходное содержание углеводов, жира и аспарагина, другая поступала в опыт.

Для полного учета углекислого газа, выделяемого проростками, семена проращивались с самого начала набухания и до конца опыта в герметической камере прибора при постоянном токе воздуха, лишенного CO₂. Углекислый газ, выделенный прорастающими семенами в процессе дыхания, поглощался в присоединенном к камере поглотителе 0,5 н раствором едкого кали и определялся титрованием после осаждения хлористым барием.

Семена проращивались на водопроводной воде, в темноте, при постоянной температуре 25—27°. Проросшие в камере семена на 4, 10, 13—15-й день фиксировались сухим жаром при 110—115° в течение 20—25 мин., затем высушивались в термостате при 45—50° и анализировались аналогично с исходными семенами.

Углеводы определялись систематическим анализом по методу Бертрана. Анализами учитывались растворимые сахара, декстрины, крахмал, гемицеллюлозы и клетчатка. Максимальные расхождения между анализами параллельных проб составляли по сумме названных углеводов (в пересчете на гексозу) 3—7%. Сырой жир определялся по разности между сухим весом материала до и после эфирной экстракции. Аспарагин анализировался общепринятым методом по количеству образующегося аммиака после кислотного гидролиза амидов.

Расчеты результатов анализов приведены в табл. 1 и 2.

В табл. 1 сопоставляются количества выделенной углекислоты и потеря сухого вещества при прорастании, отнесенная целиком на углеводы и жир. При этом количество израсходованных углеводов дано по разности между потерей сухого вещества и убылью жира.

Исходя из формулы полного окисления, согласно суммарному уравнению дыхания: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$, 1 г гексозы может образовать 1,466 г CO_2 . Соответственно, 1 г жира, где углерод составляет 76—79%, может образовать при полном окислении 2,786—2,896 г CO_2 . Для расчетов была принята средняя величина — 2,841.

Таблица 1

Соотношение между количеством выделенного CO_2 и общей потерей сухого вещества, отнесенной на углеводы и жиры, при прорастании семян лупина (на 40 семян и проростков)

Продолж. прораста- ния в сутки	Убыло в г			Могло обра- зоваться CO_2 по расчету в г (А)	Выделилось CO_2 факти- чески в г (Б)	$\frac{А}{Б}$ в %
	сух. веш-ва	жира	углеводов (по разности)			
4	0,647	0,153	0,494	1,155	1,328	87,0
4	0,763	0,166	0,597	1,345	1,447	92,9
4	0,643	0,215	0,428	1,237	1,272	97,2
10	1,903	0,747	1,156	3,817	4,298	88,8
10	1,864	0,605	1,259	3,564	4,291	83,0
10	1,870	0,725	1,145	3,739	4,236	88,2
10	1,781	0,786	0,995	3,692	4,762	77,5
10	1,765	0,794	0,971	3,678	4,310	85,3
11	1,950	0,675	1,275	3,789	4,715	80,3
13	2,488	0,728	1,760	4,648	4,839	96,0
14	2,547	0,863	1,684	4,920	5,666	86,8
15	2,481	0,823	1,658	4,768	5,779	82,5

Данные табл. 1 показывают, что во всех опытах с лупином углекислого газа всегда выделялось значительно больше, чем его могло бы образоваться по расходу сухого вещества, если считать, что последний приходится только на углеводы и жир. Указанные безазотистые вещества могли бы образовать в 10-дневных опытах углекислого газа только 77,5—88,9% от фактически выделенного. Невозмещаемые 11,2—22,5% углекислоты составляли в наших опытах в абсолютных цифрах около 0,5—1,0 г.

Анализы показали также (см. табл. 2), что в большинстве опытов и фактический расход самих углеводов вместе с жиром не может обеспечить образование всего углекислого газа проростками. Его избыток колеблется в пределах от 15 до 28%. В тех же опытах, где количество образовавшегося углекислого газа совпадало с фактическим расходом углеводов и жира, расход этих веществ превышал трату сухого вещества на 13—37%. В абсолютных цифрах это составляло 0,15—0,65 г.

Одновременно анализы показали, что у 10-дневных проростков лупина аспарагина накапливалось до 13—15% на сухой вес. Так как в аспарагине углерод составляет 36,4%, то на образование 1 г этого амида должно по расчету расходоваться 0,9 г гексозы.

Табл. 2 характеризует баланс углерода углекислого газа, накопленного аспарагина и фактически израсходованных углеводов и жиров при прорастании семян лупина.

Таблица 2

Баланс углерода израсходованных углеводов и жиров, выделенного CO_2 и накопленного аспарагина при прорастании семян лупина (на 40 семян и проростков)

Продолж. прораста- ния в сутках	Углерод в г израсходованных			Углерод в г			$\frac{A}{B}$ в %
	углеводов	жира	всего (А)	выделен- ного CO_2	накоплен- ного аспарагина	всего (Б)	
4	0,146	0,118	0,264	0,362	0,180	0,542	48,7
10	0,612	0,573	1,185	1,172	0,497	1,669	71,0
10	0,396	0,466	0,862	1,170	0,537	1,707	50,5
10	0,650	0,611	1,261	1,175	0,549	1,724	73,1
10	0,555	0,558	1,113	1,155	0,528	1,683	66,1
10	0,481	0,605	1,086	1,299	0,623	1,922	56,5
11	0,403	0,520	0,923	1,286	0,469	1,755	52,6
14	0,647	0,664	1,311	1,545	0,481	2,026	64,7

Соответствующие пересчеты результатов опытов показали, что углерод образовавшегося в проростках аспарагина составляет 40—60% и больше от общего количества углерода углеводов и жиров, израсходованных при прорастании. Поэтому, если допустить, что преобладающая часть углеродного скелета аспарагина строится заново за счет углеводов, то это свидетельствовало бы, что большая часть использованных углеводов, а иногда даже и все, расходуется не на дыхание, а на синтез аспарагина.

Приведенные результаты опытов показывают, что в образовании углекислого газа в процессе дыхания при прорастании семян лупина наряду с углеводами и жирами должны участвовать в значительных количествах и другие энергетические вещества. Исходя из химического состава семян, вероятнее всего, что таковыми могут быть запасные белки в форме продуктов своего распада — дезаминированных радикалов аминокислот. Такое заключение находит подтверждение в опытах с семенами кукурузы, проведенных по той же схеме, что и с лупином.

Таблица 3

Соотношение между количеством выделенного CO_2 и потерей сухого вещества, отнесенной на углеводы и жиры, при прорастании семян кукурузы (на 40 семян и проростков)

Продолж. прораста- ния в сутках	Убыло в г			Могло обра- зоваться CO_2 по расчету, в г (А)	Выделилось CO_2 факти- чески в г (Б)	$\frac{A}{B}$ в %
	сух. веш-ва	жира	углеводов (по разности)			
6	1,219	0,066	1,153	1,880	1,900	98,9
9	2,896	0,365	2,531	4,740	4,397	107,8
10	3,246	0,095	3,151	5,027	5,170	97,2

Семена кукурузы, как представителя злаков, отличаются высоким содержанием углеводов и относительно малым количеством белковых веществ. Так, взятый для опытов сорт «зубовидная» желтая содержит, по литературным данным, до 60—75% крахмала и 8—14% белка (6). Оказалось (см. табл. 3), что у кукурузы при прорастании семян вся углекислота, выделенная в процессе дыхания, может образоваться по расчету полностью за счет углеводов и жира, если на них отнести потерю сухого вещества.

Таким образом, опыты показывают, что при прорастании семян люпина, богатых белками, углекислого газа выделяется значительно больше, чем расходуется запасных углеводов и жира. При прорастании же семян злаков (кукурузы) количество выделенного углекислого газа соответствует расходу углеводов и жира, взятых по потере сухого вещества. Допускается, что при прорастании семян в процесс дыхания у бобовых, богатых белками, вовлекаются наряду с углеводами и жирами продукты белкового распада.

Приношу глубокую благодарность проф. С. В. Солдатенкову за руководство работой.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
2 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Смирнов, Тр. Московск. Дома ученых, в. 1, 29 (1937). ² С. О. Гребинский, Экспер. бот., 4, 207 (1940). ³ N. T. Deleano, Jahrb. f. wissenschaft. Bot., 51, 541 (1912). ⁴ F. G. Gregory, P. K. Sen, Ann. Bot., N. S., 1, 3, 521 (1937). ⁵ Д. Н. Прянишников, Азот в жизни растений и в земледелии СССР, 1945. ⁶ И. В. Кожухов, Соц. растениеводство, 16, 5 (1935).