

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Член-корреспондент А. Л. КУРСАНОВ и М. Н. ЗАПРОМЕТОВ

**АДСОРБИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОТОПЛАЗМЫ КАК  
ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПЕРЕДВИЖЕНИЕ АЗОТИСТЫХ  
ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИИ**

В предыдущем сообщении мы показали, что при погружении пшеницы или ржи срезанными стеблями в растворы аминокислот последние быстро передвигаются по стеблю и скопляются в семенах (<sup>1</sup>). Скорость этого движения во много раз превосходит движение воды с транспирационным током, вследствие чего поступление аминокислот к семенам не может быть объяснено пассивным засасыванием внешнего раствора через сосуды. Еще менее вероятно, чтобы раствор мог с такой скоростью двигаться (перетекать) по ситовидным трубкам. Это приводило к заключению, что передвижение органических веществ в растении основано на ином принципе.

Еще раньше в нашей лаборатории было показано, что кусочки живой ткани растений, будучи погружены в растворы тех или иных органических веществ, способны аккумулировать эти вещества (<sup>2-4</sup>). Указанное свойство, условно названное адсорбирующей способностью клеток, изучалось, главным образом, с точки зрения его значения для регулирования ферментативных процессов, однако уже тогда было показано, что, помимо ферментов, клетками могут адсорбироваться аминокислоты и сахара.

Работая далее в этом направлении, мы обнаружили, что вещество, адсорбируемое из раствора кусочками растений, не локализуется на поверхностях срезов, а равномерно проникает в глубь тканей. Это побудило нас поставить опыты с адсорбцией органических веществ более крупными кусками и даже целыми органами. Опыты показали, что вещество, адсорбируемое поверхностью срезов, как бы мала эта поверхность ни была (например, поперечный срез стебля), быстро передается внутрь органа. При этом характер явления остается таким же, как и у мелко нарезанных тканей, несмотря на то, что у этих последних поверхность восприятия вещества много больше, а путь для передвижения сильно сокращен по сравнению с целыми органами.

Это привело нас к мысли, что движение органических веществ в растении имеет тот же характер, что и явление, описанное нами как адсорбирующая способность клеток, а следовательно, что движение вещества совершается не в свободном растворе, а в контакте с протоплазмой, по которой происходит перенос молекул в том или ином направлении. Чтобы представить себе такое движение вещества по ткани, необходимо допустить, что адсорбирующая (удерживающая) способность протоплазмы неодинакова по пути следования вещества, например, что она возрастает в определенном направлении. В таком случае движение вещества по растению: 1) должно происходить в сторону растущего адсорбционного градиента и 2) оно не может происходить в обратном направлении.

В настоящем исследовании мы и предприняли проверку этих двух положений.

Для опытов брались стебли верхнего междоузлия яровой пшеницы (Лютеценс 062). Стебли освобождались от листа и колоса и погружались срезанными концами на 1 см в раствор гликокола или аспарагина (0,5%). Каждый опыт ставился с 20 хорошо выравненными стеблями длиной в 30—35 см, срезавшимися с растений на стадии конца молочной или начала восковой спелости. По истечении 20 мин. от обоих концов стеблей отрезались участки по 5 см длины; они высушивались, измельчались и испытывались на содержание общего азота по Кьельдалю.

Сравнивая содержание азота в стеблях, получавших аминокислоту, с контрольными стеблями, находившимися на воде, можно было судить о поступлении и передвижении азотистых веществ.

Опыты ставились таким образом, что одна партия стеблей погружалась в раствор (или в воду) морфологически нижними концами, а другая, укрепленная в перевернутом положении, морфологически верхними концами. При такой постановке одним стеблям предоставлялась возможность проводить азотистые вещества через нижние концы морфологически вверх по стеблю, а другим — через верхние концы морфологически вниз по стеблю. Результаты двух таких опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Передвижение гликокола  
вверх и вниз по стеблю пше-  
ницы (в мг азота на 1 г стеблей  
за 20 мин.)

№ опыта	Морфологич. участок стебля	Изменение в содержании азота	
		при норм. положении стеблей	при переверн. положении стеблей
1	Верх	+0,95	+0,91
	Низ	-0,04	-0,80
2	Верх	+0,60	+1,34
	Низ	0,00	-0,33

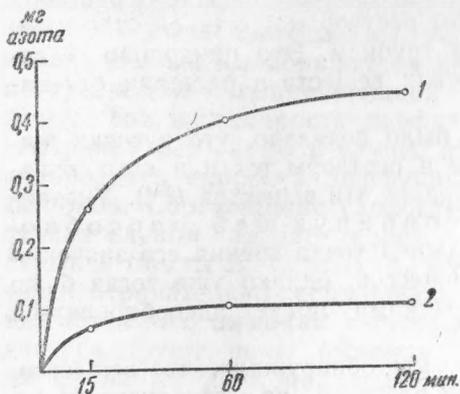


Рис. 1. Адсорбция (поглощение) гликокола тканями верхнего (1) и нижнего (2) концов стеблей пшеницы за различные сроки (в мг азота на 1 г свежего веса)

дами в 0,5% гликокол в верхних концах их наблюдается заметное увеличение количества азота, хотя эти участки стеблей и были удалены от засасывающих концов на 30 см. Морфологически нижние концы в этих условиях, напротив, не приобретают азота и исполняют, следовательно, лишь роль проводников. Результаты этих опытов согласуются с нашими прежними данными (1). Иное получается при погружении перевернутых стеблей морфологически верхними концами в гликокол. При этом концы, обращенные к раствору, обогащаются азотом, в то время как морфологически нижние участки, обращенные кверху, не только не получают азота, но даже заметно теряют его, вероятно, вследствие частичного перемещения подвижных форм азотистых веществ в морфологически верхние участки.

Полученные результаты позволяют сделать один существенный вывод, что стебель верхнего междоузлия пшеницы в период начала восковой спелости проходим для гликокола снизу вверх (т. е. от основания листа к семенам) и непроходим в обратном направлении.

Чтобы узнать, находится ли направление движения азотистого вещества по стеблю в какой-либо зависимости от распределения адсорбирующей способности в тканях, мы произвели в параллельных опытах измерения адсорбции аминокислот нижними и верхними концами стеблей, взятыми в отдельности. Для этого мелко нарезанные участки стеблей погружались в 0,1% раствор того или иного азотистого вещества и выдерживались там различные сроки. Количество адсорбированного (поглощенного) вещества устанавливалось по исчезновению азота из внешнего раствора (2). Результаты одного из таких опытов, проведенных с адсорбцией гликокола за различные промежутки времени, представлены на рис. 1.

Кривые показывают, что ткани морфологически верхних концов стеблей отличаются значительно большей емкостью в отношении адсорбции гликокола, чем ткани нижних концов, хотя эти последние, будучи отделены от более сильно адсорбирующих верхних участков, и способны аккумулировать некоторое количество азотистых веществ.

Таким образом, направление движения гликокола по стеблю пшеницы снизу вверх совпадает с нарастанием адсорбирующей способности тканей в том же направлении.

Еще более отчетливо выступает зависимость между направлением движения азотистых веществ и адсорбирующей способностью тканей в опытах, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Адсорбирующая способность тканей верхнего и нижнего концов стеблей и направление движения по ним азотистых веществ (в мг азота на 1 г свежего веса за 20 мин.)

№ опыта	Источник азота	Морфол. конек стебля	Адсорбция (поглощение)	Накопление азота в целых стеблях	
				при норм. положении	при переверт. положении
1	0,5% гликокол	Верх	0,98	1,46	0,65
		Низ	0,60	0,15	0,11
2	0,5% аспарагин	Верх	1,08	2,20	0,60
		Низ	0,68	0,63	0,01

Здесь, как и в предыдущем опыте, ткани морфологически верхних концов стеблей показали повышенную адсорбирующую способность к гликоколу и аспарагину в сравнении с тканями нижних концов. В соответствии с этим целые стебли, погруженные морфологически нижними концами в растворы гликокола или аспарагина, легко проводили эти вещества в верхние концы, где они скоплялись; в обратном же направлении (при перевернутом положении) стебли оказались непроходимыми для указанных веществ.

Более высокая адсорбирующая способность верхних концов стеблей характерна для пшеницы в период конца молочной и начала восковой спелости семян. Однако такое распределение может иногда изменяться; в частности, в период затяжных дождей мы несколько раз наблюдали обратные соотношения адсорбирующих величин в стеблях.

В связи с этим было интересно проверить, сохраняют ли такие стебли проходимость для азотистых веществ в обычном направлении снизу вверх? Результаты одного из таких опытов представлены в табл. 3.

Как видно из приведенных цифр, в случае более высокой адсорбирующей способности в морфологически нижних концах обычное движение гликокола от основания к верхушке стебля становится невозможным

Таблица 3

Может ли гликокол передвигаться снизу вверх по стеблю против адсорбционного градиента? (в мг азота на 1 г свежего веса за 20 мин.)

Морфологич. конец стебля	Адсорбция (поглощение)	Накопление азота в стеблях при норм. положении
Верх . . .	0,14	0,05
Низ . . .	0,35	0,80

Таким образом, способность стебля проводить азотистые вещества лишь в определенном направлении не может быть объяснена механическим устройством проводящих путей, а связана, судя по полученным данным, с последовательным нарастанием адсорбирующей способности проводящих тканей в том же направлении.

Известное в физиологии растений явление полярности, по-видимому, также основано на односторонней проходимости тканей для различных веществ. В частности, по отношению к ауксину

такая односторонность движения уже не раз констатировалась<sup>(5)</sup>. Наши опыты дополняют эту картину, показывая, что и движение аминокислот в растении совершается полярно.

Передвижение органических веществ может, вероятно, происходить по любой ткани, состоящей из живых клеток с неодинаковой адсорбирующей способностью. Однако весьма вероятно, что ситовидные трубки, в силу их приспособленности, являются наиболее подходящими путями для быстрого передвижения органических веществ в растении.

Ближайший механизм переноса веществ по протоплазме еще нуждается в тщательном изучении. Однако уже теперь становится вероятным, что это явление по своей природе весьма сходно с активной функцией протоплазмы, определяющей проникновение ионов в клетку.

Поэтому, независимо от того, происходит ли движение веществ вдоль растения, т. е. в тангентальном направлении к поверхности протоплазмы, или же оно совершается в глубь клеток, т. е. в радиальном направлении, оно должно быть тесно связано с дыханием<sup>(4)</sup> и основано, по всей вероятности, на обменной адсорбции ионов<sup>(3, 7)</sup>.

Аминокислоты, как вещества электролитного характера, могли бы вполне соответствовать этому условию. Труднее представить себе движение органических веществ-неэлектролитов, например сахаров. Однако возможность образования гексозо-фосфорных эфиров позволяет представить себе и движение сахаров в форме ионов.

В настоящее время мы заняты изучением этих вопросов.

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

Поступило  
18 VIII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Курсанов и М. Запрометов, ДАН, 68, № 6 (1949). <sup>2</sup> А. Курсанов, Биохимия, 11, 333 (1946). <sup>3</sup> А. Курсанов, С. Исаева и В. Попатенко, Биохимия, 11, 401 (1946). <sup>4</sup> А. Курсанов, Н. Крюкова и Д. Седенко, Биохимия, 13, 456 (1948). <sup>5</sup> H. Van der Weij, Диссертация, Амстердам, 1932. <sup>6</sup> Е. Ратнер, ДАН, 45, 177 (1944). <sup>7</sup> H. Lundegardh, Nature, 157, 575 (1946).