

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Член-корреспондент АН СССР А. Л. КУРСАНОВ, Н. Н. КРЮКОВА
и Б. Б. ВАРТАПЕТЯН

**ДВИЖЕНИЕ ПО РАСТЕНИЮ УГЛЕКИСЛОТЫ, ПОСТУПАЮЩЕЙ
ЧЕРЕЗ КОРНИ**

С тех пор, как была обнаружена способность зеленых растений усваивать CO_2 из воздуха и строить из нее органическую часть своего тела, изучение этого процесса протекало почти исключительно под углом зрения «воздушного питания» без учета возможности поступления CO_2 или карбонатов из почвы через корневую систему. В результате вопрос о питании растений углекислотой через корни дошел до наших дней в неразработанном состоянии. Между тем, стахановские урожаи передовиков сельского хозяйства все чаще ставят в тупик физиологов, бессильных объяснить, каким образом 0,03% CO_2 в воздухе обеспечивают столь бурный прирост органической массы на обширных территориях, занятых интенсивным земледелием.

Неразработанность вопроса об использовании CO_2 почвы приводила нередко к недооценке роли гумуса и биологических процессов в почве для урожая, а также служила поводом к слишком одностороннему пониманию задач и возможностей применения минеральных удобрений. Идея о «воздушном питании» растений настолько безраздельно господствовала в умах поколений исследователей, что предостерегающие высказывания таких авторитетных для своего времени ученых, какими был Сенебье (1) во Франции или Сакс (2) в Германии, не могли повлиять на принятый ход мыслей и рассматривались современниками как консервативные попытки восстановить оставленную теорию гумусового питания растений. Даже экспериментальные данные о возможности проникновения в растения CO_2 через корни, полученные за последние 15—20 лет (3-8), не обратили на себя должного внимания и остались в сущности почти неизвестными ботаникам и агрономам.

Исходя из всех этих соображений, мы приступили с 1951 г. к более подробному изучению вопроса о питании растений углекислотой через корневую систему.

Уже первые опыты (9) показали, что 25—30-дневные растения фасоли, погруженные корнями в питательный раствор с добавлением небольшого количества $\text{NaHC}^{14}\text{O}_3$, воспринимают карбонат и проводят его в листья и другие органы, где на свету образуются продукты ассимиляции и, в частности, сахара, содержащие меченый углерод C^{14} . Однако ближайшая природа описанного явления нуждалась в дальнейших подробных исследованиях и прежде всего в таких, которые позволили бы определить удельный вес этого источника углерода в общем питании растений.

Наиболее естественным казалось ожидать, что карбонаты или свободная CO_2 засасываются корнями вместе с водой и далее увлекаются транспирационным током к листьям. Для выяснения этого вопроса нами были предприняты опыты, в которых на одних и тех же растениях, погруженных корнями в раствор карбоната или CO_2 , учитывалось количество

поглощенной из раствора углекислоты и одновременно с этим количество засосанной воды (несколько примеров представлено в табл. 1).

Таблица 1

Поглощение корнями углекислоты из раствора и засасывание воды (в мг за 1½ часа)

Источник CO ₂	Растения	Содерж. CO ₂ в 100 мл р-ра	Поглотилось CO ₂	Засосано воды	Колич. CO ₂ , соотв. засос. воде	Расч. CO ₂ Погл. CO ₂
NaHCO ₃	Фасоль 15-дневн.	31,4	1,6	220	0,07	1 : 23
NaHCO ₃	То же	77,3	2,5	520	0,40	1 : 6
NaHCO ₃	Подсолнечник 20-дневн.	74,4	1,6	560	0,42	1 : 4
CO ₂	Фасоль 15-дневн.	58,1	7,9	260	0,15	1 : 53
		84,1	5,3	210	0,18	1 : 29

Сопоставление этих величин показало, что количество поглощаемого корнями фасоли из воды карбоната в несколько раз выше, чем можно было бы ожидать на основании объема засосанной жидкости. Еще

Таблица 2

Скорость поступления C¹⁴ в листья фасоли через корни (в имп/мин на диск)

Время, мин.	Na ₂ C ¹⁴ O ₃	C ¹⁴ O ₂
5	0	5
10	10	7
15	21	24
20	—	41
25	33	—
30	—	62

быстрее происходит усвоение корнями свободной CO₂, растворенной в воде. Все это показывает, что поступление углекислоты в корневую систему непосредственно не связано с засасыванием воды растением и является самостоятельным процессом.

Для измерения скорости этого движения мы использовали карбонат натрия и свободную углекислоту, содержащие C¹⁴. В первом случае растения фасоли погружались корнями в 0,02% раствор Na₂CO₃, содержащий радиоактивный углерод в количестве около 0,5 мкС на 10 мл, во втором — корни помещались в замкнутую атмосферу, содержащую 3—5% газообразной CO₂ при той же радиоактивности. Во всех случаях были приняты меры, исключавшие возможность свободной диффузии C¹⁴O₂ к листьям через окружающий воздух. Листья оставались в течение всего опыта освещенными, стебель же затенялся станиолом. Через различные промежутки времени из верхней пары листочков сверлом вырезались диски, которые испытывались в счетчике на присутствие радиоактивного углерода. Полученные результаты могут быть иллюстрированы двумя опытами, представленными в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что скорость передвижения C¹⁴ по растению такова, что уже через несколько минут после соприкосновения корней с карбонатом и в особенности с CO₂ изотоп углерода обнаруживается в верхней паре листьев, т. е. на расстоянии 18—20 см от корней. Однако движение CO₂ или карбонатов в разные органы растения происходит неравномерно. В частности, если стебель содержит хлорофилл (как, например, у фасоли), большая часть движущейся углекислоты «перехватывается» зелеными клетками стебля, не достигая листьев.

Таблица 3

Распределение C¹⁴ в 15-дневных растениях фасоли в зависимости от освещения стебля (корни погружены в 0,025% раствор Na₂C¹⁴O₃. Продолжит. опыта 3 часа; в имп/мин на 1 г свеж. веса)

Части растения	Стебель освещен	Стебель затенен
Стебель	3170	1337
Лист нижний	0	960
„ средний	360	1800
„ верхний	0	2593

При затемнении же стебля карбонаты или CO_2 беспрепятственно минуют его, устремляясь, главным образом, в еще не вполне раскрывшуюся верхнюю пару листочков, и лишь позднее начинают накапливаться и в ниже расположенных взрослых листьях. Сказанное иллюстрируется табл. 3, в которой представлен опыт с двумя растениями фасоли, из которых у одного стебель был освещен, а у другого затемнен станиолом.

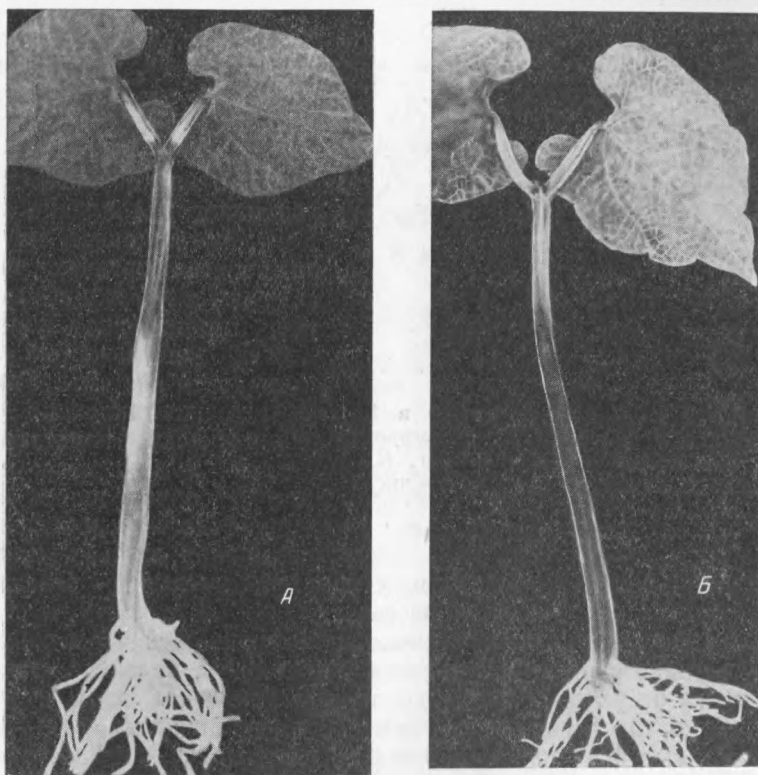


Рис. 1. Радиоавтография 12-дневных растений фасоли, получавших в течение 2 час. $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$ через корни. А — растение с нормально освещавшимся стеблем; Б — растение с затемненным стеблем

Еще более наглядно может быть показано скопление C^{14} в освещенном стебле на радиоавтографиях, сделанных с растений, получавших через корни, как и в предыдущем опыте, карбонат с меченым углеродом. На рис. 1 видно, что в нормально освещенном растении (А) большая часть тяжелого углерода сосредоточивается в корнях и в средней части стебля, наиболее богатой хлорофиллом. Выше этого места C^{14} обнаруживается лишь в незначительных количествах, главным образом в листовых черешках. При затемнении средней части стебля (Б) меченый углерод не задерживается здесь, а достигает листьев, где скопляется в значительных количествах.

Нам неизвестны пока те ткани, по которым карбонаты или углекислота, поглощенные корнями, совершают свой путь к листьям. Однако, судя по радиоавтографиям, это движение происходит не по всей толщине стебля, а главным образом по определенным линиям, соответствующим, видимо, сосудисто-волокнистым пучкам. Данные табл. 3 и рис. 1 позволяют ближе понять биологическое значение хлорофилла в стеблях многих растений, где он вырабатывается с таким постоянством, несматривая на малую приспособленность кутинизированных стеблей к использованию CO_2 из внешней атмосферы. В свете приведенных опытов роль хлорофилла в

стеблях должна состоять в ассимиляции CO_2 , поступающей через корни, что, несомненно, сокращает «транспортные расходы» растения на передвижение ассимилятов из листьев в другие органы.

Второе, и быть может не менее важное, обстоятельство, связанное с наличием хлорофилла в стеблях, состоит в образовании при ассимиляции CO_2 внутри этих органов значительного количества кислорода, необходимого для поддержания весьма интенсивного дыхания, свойственного сосудисто-волокнистым пучкам⁽¹⁰⁾.

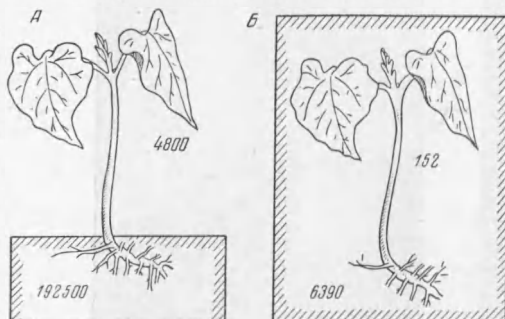


Рис. 2. Влияние света на накопление в 10-дневные растения фасоли C^{14} из раствора $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$. Экспозиция 2 часа. А — свет, Б — темнота. Цифры у листьев и корней — число импульсов в минуту

Как уже было показано (см. табл. 1), поглощение корнями CO_2 или карбонатов происходит независимо от засасывания воды. В то же время освещение листьев резко усиливает накопление углекислоты, поглощенной из раствора, во всех органах растения, в чем следует видеть характерное проявление корреляции между деятельностью листьев и корневой системы. Это может быть иллюстрировано опытом, схематически представленным на рис. 2, в котором накопление C^{14} определялось в растениях фасоли в зависимости от освещения листьев. Для устра-

нения конкурирующего действия стебля в опытах с освещенными листьями стебель изолировался от света.

Удельное значение угольной кислоты, поступающей через корни, для общего углеродного питания растения может быть, вероятно, различным в зависимости от условий существования, а также от вида и возраста растений. В частности, в наших опытах, проводившихся с 9—15-дневными растениями фасоли в лабораторной обстановке, 1 г свежих корней поглощал за 1 час из атмосферы, содержащей 0,8—1% CO_2 (соответственно среднему содержанию углекислоты в атмосфере подзолистых почв) от 2,4 до 4,4 мг CO_2 . При расчете этих величин на листовую поверхность тех же растений мы нашли, что этим путем к листьям с поверхностью в 100 см² поднимется от 3 до 5 мг CO_2 в час, что составляет примерно 1/4 того количества, которое поглощается листом при хорошем фотосинтезе из воздуха.

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

Поступило
7 VI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Senebier, см. Е. Рабинович, Фотосинтез, М., изд. ИЛ, 1951, стр. 30. ² J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, Lpz., 1882. ³ В. Купревич, Сов. бот., 1, 70 (1940). ⁴ М. Bergamaschi, Atti Inst. Bot. Univ. Pavia, 4, 1, 117 (1929). ⁵ O. Overkott, Zs. f. Gesamt. Naturwiss., 3, 480 (1938). ⁶ O. Härtel, Jahrb. wiss. Bot., 87, 173 (1939). ⁷ R. Overstreet, S. Ruben and T. Broyer, Proc. Nation. Acad. of Sciences, 26, 688 (1940). ⁸ Ф. Учеваткин и А. Бородулина, Изв. АН УзССР, № 2, 23 (1951). ⁹ А. Курсанов, А. Кузин и Я. Мамуль, ДАН, 79, 685 (1951). ¹⁰ А. Курсанов и М. Туркина, ДАН, 84, № 5 (1952). ¹¹ L. Poel, Nature, 169, 501 (1952). ¹² M. Gollub and B. Vennesland, J. Biol. Chem., 169, 233 (1947).