

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. П. ЩЕРБАКОВ

**О РОЛИ КАЛЬЦИЯ В НАКОПЛЕНИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ
СУХОГО ВЕЩЕСТВА В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ СОИ**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 3 VIII 1950)

Хотя кальций является одним из элементов, значение которого в жизни растения чрезвычайно важно и многообразно, характер его физиологического действия до сих пор остается еще во многом неясным. Потребность растений в кальции обнаруживается в самом раннем периоде их развития. При недостатке кальция рост корневой системы всегда сопровождается болезненными явлениями — корни становятся ненормально короткими, ослизываются, буреют, теряют эластичность, чрезвычайно утончаются и через неопределенное время отмирают.

Образование корней у проростков гороха, как показали наши старые исследования, прекращается при отсутствии кальция уже на 3—4-й день, тогда как избыток кальция в питательной среде не оказывает вредного действия на проростки. В одном из опытов проростки грецкого ореха, находившиеся в текучем растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с pH 9,0 и выше, не обнаружили никаких признаков страдания в течение недели, тогда как корни проростков, параллельно находившиеся в буферных растворах, но лишенные кальция, заметно страдали уже через 24 часа при pH 7,37. Более того, корневые волоски *Brassica oleracea*, находившиеся в текучей жидкости, содержащей CaCl_2 или $\text{Ca}(\text{OH})_2$, не только не испытывали затруднения для роста, но развивались лучше всего при pH 9,9.

Известно также, что почвы, высоко насыщенные кальцием, являются благоприятными для растений с белковым направлением в обмене веществ, а почвы, слабо насыщенные кальцием, более благоприятны для растений с углеводородным направлением в обмене веществ (1).

Для своих исследований мы избрали сою, о благоприятном влиянии кальция на которую сообщалось в литературе неоднократно (2, 3). Схема опыта была аналогична описанной в наших работах (4).

Целью настоящего исследования было проследить за накоплением и распределением сухого вещества в различных органах сои, вызываемым недостатком и избытком кальциевого или магниевого питания.

Вегетационные опыты проведены в песчаных культурах при 7-кратной повторности каждого варианта. Учет накопления сухого вещества был сделан дифференцированно в различных органах, в два срока — спустя полтора месяца после посева, до цветения и в период полной спелости бобов и массового опадания листьев.

Из табл. 1 видно, что урожай прогрессивно возрастал по мере увеличения содержания кальция в питательной среде и резко падал в тех вариантах, где кальций был совершенно исключен. Следует отметить, что наиболее эффективное действие кальция проявлялось лишь на фоне оптимальных доз магния. Достаточно было понизить концентрацию магния в питательной смеси вдвое, при наличии оптимальной дозы кальция, как урожай снижался почти на 20%. Избыток же маг-

Таблица 4

Сухой вес 100 растений (в г)

Схема опыта	NPK	NPK+Ca	NPK+Mg	NPK+Mg+ +0,5 Ca	NPK+Mg+ +Ca	NPK+Mg+ +15 Ca	NPK+ +0,5 Mg+ +Ca	NPK+ +15 Mg+ +Ca
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8

Листья

1-й срок	14,7	15,7	18,3	18,4	17,1	17,2	17,3	7,5
2-й „	121,5	123,3	138,1	126,3	130,6	123,7	126,8	—

Стебли

1-й срок	7,0	15,5	11,2	20,8	21,8	26,8	20,4	4,5
2-й „	57,7	110,2	107,1	142,0	158,4	182,2	130,8	—

Корни

1-й срок	4,2	6,4	4,5	7,1	7,8	8,8	7,4	1,8
2-й „	24,3	59,6	39,2	46,1	66,4	71,9	51,0	—

Бобы

1-й срок	—	—	—	—	—	—	—	—
2-й „	48,0	133,9	105,8	136,4	151,2	141,1	146,4	—

Растение в целом

1-й срок	25,9	37,6	34,1	46,0	46,7	52,8	44,8	13,8
2-й „	251,5	427,0	385,2	450,8	506,6	517,9	455,0	—

ния при оптимальной дозе кальция (вариант 8) приводил к катастрофически низкому урожаю (в первом сроке лишь 30% от варианта с нормальным содержанием кальция и магния).

Эти данные позволяют считать, что высокое значение рН не тормозит рост и развитие сои, если повышение рН сопряжено с повышенным содержанием кальция в питательной среде. Не находит также подтверждения и точка зрения о необходимости строгого соблюдения оптимальных соотношений между кальцием и магнием для получения нормального урожая (5).

Особенно интересно отразилось влияние кальция и магния на накапливании сухого вещества в различных органах сои. Недостаток кальция вызывал понижение образования тканей в стеблях, тогда как недостаток магния сопровождался уменьшением образования листовой массы. Равным образом сказался недостаток кальция и на образовании корневой системы. Недостаток же магния не оказывал столь резко отрицательного действия. Следует подчеркнуть, что отсутствие магния в питательной среде заметно ограничивало физиологическое действие кальция в организме, в силу чего лишенные магния растения имели почти на 30% более низкий урожай стеблей, почти на 20% ниже урожай корней и на 12% ниже урожай бобов по сравнению с вариантом с полной питательной смесью (вариант 5). Поэтому мы вправе сделать заключение, что для образования тканей стебля и корней в первую очередь необходим кальций и в меньшей мере магний, тогда как для образования листьев, очевидно, необходимо снабжение растений в равной мере кальцием и магнием.

Различия в процентном содержании сухого вещества, выражающие одновременно степень насыщенности растения водою (см. табл. 2), особенно интересны для первого срока. Так например, отсутствие

Таблица 2

Процент сухого вещества

Схема опыта	NPK	NPK+Ca	NPK+Mg	NPK+Mg+ +0,5 Ca	NPK+Mg+ +Ca	NPK+Mg+ +15 Ca	NPK+ +0,5 Mg+ +Ca
Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Л и с т ь я							
1-й срок . . .	36,7	24,0	18,5	18,9	18,3	18,8	23,4
2-й „ . . .	34,3	25,0	18,9	20,0	21,1	24,3	23,8
С т е б л и							
1-й срок . . .	21,0	18,6	16,5	17,7	17,0	18,2	23,2
2-й „ . . .	44,7	34,1	31,9	38,5	36,5	45,8	37,3
К о р н и							
1-й срок . . .	20,0	19,8	18,8	17,8	17,4	18,3	23,1
2-й „ . . .	40,2	34,2	28,6	36,5	37,7	42,1	41,0
Б о б ы							
1-й срок . . .	63,5	94,2	91,4	95,8	95,2	94,0	92,0
Р а с т е н и е в ц е л о м							
1-й срок . . .	27,4	19,9	17,3	17,8	17,5	18,4	23,2
2-й „ . . .	48,7	51,7	52,5	54,1	51,8	58,6	54,7

магния (варианты 1 и 2) или его недостаток (вариант 7) вызывал резкое увеличение процента сухого вещества в листьях, тогда как недостаток кальция снижал процент сухого вещества, в связи с чем и возрастила степень насыщенности тканей водою. Впрочем, дальнейшая прибавка кальция уже не повлияла на процент сухого вещества в листьях. Примерно подобное же явление наблюдалось и на других органах. Этот факт, между прочим, позволяет думать, что реакция растений на условия минерального питания в первой половине срока их развития наиболее отчетливо и полно может быть учтена лишь по анализу сырого веса, так как в первый период развития растений соотношение между количеством воды и количеством сухого вещества в организме всегда выражено в пользу воды, в силу высокой способности биоколлоидов насыщаться и удерживать воду.

В последующие этапы развития растения, после цветения, когда процессы старения всего организма и отдельных органов становятся ясно выраженным, понижается гидрофильность биоколлоидов и возрастает одновременно абсолютное и относительное содержание сухого вещества в растительном организме. В этот период реакция растений на условия внешней среды, повидимому, может быть лучше и полнее учтена по анализу сухого вещества (?). Это особенно следует иметь в виду в тех случаях, когда влияние внешних факторов не вызывает в молодом организме резко выраженного депрессивного действия, т. е. когда это влияние отражается на росте и развитии растительного организма постепенно. В таких случаях перестройка внутриклеточного обмена еще не полностью приобретает определенно выраженное направление и реакция растений не столь тесно связана с изменением скорости накопления сухого вещества. Таким образом, становится понятным, почему процент сухого вещества в нашем опыте в первый срок уборки сои мало изменялся в вариантах с различным содержа-

нием кальция (варианты 3, 4, 5, 6). Только два первых варианта (1, 2) и последний (7), т. е. там, где магний был исключен из питательной среды или понижен вдвое по сравнению с нормальной дозой, показали более высокий процент сухого вещества. Но в этих вариантах, было создано резко выраженное одностороннее влияние кальция или, при почти полном отсутствии его, одностороннее влияние калия.

Совершенно иная картина обнаружилась во втором сроке уборки. В этом случае увеличение концентрации кальция в питательной среде сопровождалось более резко выраженным повышением процента сухого вещества во всех органах, чем в первом сроке. Кроме того, процентное содержание сухого вещества значительно увеличилось: в стеблях и корнях почти в два раза, а в листьях до 10%, по сравнению с первым сроком. На основе полученного материала представляло интерес проанализировать распределение образовавшегося сухого материала между различными органами. Такое сопоставление позволяет судить о направленности влияния кальция или магния в образовании отдельных органов растения (см. табл. 3).

Таблица 3

Соотношения сух. веса различных органов сои (средн. на 100 раст.)

Схема опыта	Срок	NPK	NPK+ +Ca	NPK+ +Mg	NPK+ +Mg+ +0,5 Ca	NPK+ +Mg+ +Ca	NPK+ +Mg+ +15 Ca	NPK+ +0,5Mg+ +Ca	NPK+ +15Mg+ +Ca
		1	2	3	4	5	6	7	8
Листья	1-й	2,1	0,95	1,25	1,10	0,83	0,68	0,86	1,7
Стебли	2-й	2,1	1,12	1,25	0,89	0,83	0,68	1,00	—
Надземные органы	1-й	5,20	5,30	6,10	5,60	5,30	5,10	5,30	6,7
Корни	2-й	7,4	3,9	6,1	5,8	4,4	4,4	5,1	—
Створки бобов	1-й *	—	1,41	1,52	1,31	1,38	1,29	1,34	—
Семена	2-й	0,57	0,63	0,68	0,71	0,73	0,74	0,72	—

* Первый срок уборки бобов с растений был на месяц ранее второго срока и не совпадает с первым сроком уборки вегетативных органов. Весовые отношения представлены по сырому весу.

Как видно, во всех случаях, когда растения были обеспечены достаточным количеством или даже получили избыток кальция в питательной среде, весовые отношения между листовой массой и стеблями сдвигались в пользу стеблей, тогда как отсутствие или недостаток кальция и сопровождающий его абсолютный или относительный избыток магния сдвигал отношение в пользу листьев. Подобное же явление наблюдалось и в соотношениях между надземными органами и корнями. Кальций в большей степени содействовал образованию корней, чем магний.

Любопытные данные показало отношение сухого веса створок бобов к весу семян. Повышение концентрации кальция в питательной среде сопровождалось снижением этого отношения, тогда как влияние магния проявилось в обратном направлении.

Поступило
7 VI 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. A. Albrecht, Journ. Amer. Soc. Agron., 32, 411 (1940). ² М. А. Кудрявцева, Сборник Биохимия культурных растений, № 2, 57, 1938. ³ H. Ludecke, K. Sammet и W. Lesch, Bodenk. u. Pflanzenern., 25, 1 (1941). ⁴ А. П. Щербаков, Бот. журн. СССР, № 2 (1949). ⁵ O. Loew, Die Lehre vom Kalkfaktor, 1914. ⁶ T. G. Mason and E. Phillips, Ann. of Bot., N. S., 6, 443 (1942).