

А. Е. МАКСИМОВИЧ, А. С. ОКАНЕНКО и А. И. БАХИР

ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ В КАТИОННО-АНИОННОМ БАЛАНСЕ ТКАНЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 9 XI 1950)

Среди реакций обмена веществ, предупреждающих резкое нарушение катионно-анионного баланса в тканях, у сахарной свеклы имеют большое значение реакции образования и дальнейшего превращения органических кислот. Усиленное образование органических кислот связано с дополнительными затратами на них углеводов, а следовательно, и с возможным снижением сбора сахара в урожай свеклы.

Изучая соотношения катионов и анионов, складывающиеся в растениях при поступлении питательных веществ в связи с различной интенсивностью роста и в разные периоды вегетации, мы получили некоторые результаты, освещающие роль органических кислот в поддержании катионно-анионного «баланса».

Одной из характерных особенностей обмена веществ у сахарной свеклы является накопление в листовом аппарате значительного количества органических кислот. В сухом веществе надземной части свеклы в наших опытах было 12—15% органических кислот, а в сухом веществе корнеплода — от 3,3 до 5,0% в начале вегетации и около 1,3% в конце. 67—80% кислотного комплекса листового аппарата представлено щавелевой кислотой. Около 70% от суммы органических кислот листьев свеклы находится в форме соединений, растворимых в воде. Из общего количества щавелевой кислоты листьев сахарной свеклы 65—73% приходится на долю воднорастворимых соединений и 27—35% — на долю оксалата кальция. В корнеплоде щавелевая кислота составляет только 24—38% от суммы органических кислот.

В опытах, проводившихся в нашей лаборатории в 1939 и 1940 гг., не удалось установить заметных и закономерных изменений суммы органических кислот и щавелевой кислоты в тканях листовых пластинок сахарной свеклы не только в процессе суточной динамики превращения веществ, но и в одно-трехдневных опытах с затемнением отдельных листьев и целых растений. Значительные изменения в количестве суммы органических кислот и щавелевой кислоты наблюдались с изменением возраста листьев и в опытах с различными условиями питания растений. В этих опытах интенсивному прохождению ростовых процессов, накоплению в тканях минеральных катионов обычно отвечало и то или иное увеличение содержания органических кислот. В опытах 1949 г. были получены данные, не только подтверждающие, но и углубляющие эти наблюдения.

Свекла выращивалась в вегетационных сосудах, вмещавших по 11,5 кг сухой, средне-оподзоленной, крупно-пылевой почвы опытного поля института. При набивке в каждый сосуд было внесено N 2,46 г, K₂O 3,63 г, Na₂O 1,30 г, CaO 7,53 г, MgO 0,47 г, P₂O₅ 2,81 г, SO₃ 0,93 г, Cl 0,55 г, Mn 47,5 мг и B 8 мг. Азот вносился в форме NO₃. Средний вес корне-

плода 1 растения к 11 X был равен 571 г с 18% сахара и 134 г сырой массы листьев.

О поступлении питательных веществ в растения можно судить по приростам общего количества каждого из них в целых растениях. В данном случае мы возьмем суточные приросты в целых растениях, по отдельным промежуткам времени вегетационного периода суммы эквивалентов общего количества каждого из катионов K, Na, Ca, Mg и суммы общего количества каждого из анионов P, S, Cl и N. При вычислении приростов анионов в целых растениях общий фосфор, найденный в целых растениях, принимался за одновалентный ион $\text{H}_2\text{PO}_4'$, общая сера — за двухвалентный ион SO_4'' и общий азот — за ион NO_3' . При вычислении содержания элементов минерального питания в целых растениях учитывалось и содержание их в листьях, отмерших ко дню взятия пробы.

В начале вегетации из поступивших в растения минеральных анионов около 80—85% приходилось на долю азота (аниона NO_3'). В этот период вегетации элементы корневого питания поступали в опытные растения таким образом, что отношение суммы поступающих катионов к сумме поступающих анионов было около 1, т. е. катионы и анионы поглощались из питательной среды почти в эквивалентных количествах (см. табл. 1). Примерно в таком же соотношении поступали в растения минеральные катионы и анионы на первых фазах роста свеклы в опытах, проводившихся в почвенных культурах с половинным количеством внесенных питательных веществ (1949 г.), и в опытах с ростками сахарной свеклы, выращивавшимися в песчаных культурах по нитратной питательной смеси (1948 г.). В таких условиях поступления ионов приросты органических кислот в 10 растениях достаточно хорошо согласовывались с приростами общего азота, т. е. с поступлением в растения аниона NO_3' .

Таблица 1

Суточные приросты катионов и анионов в 10 целых растениях

(в миллиэквивалентах)

Промежутки времени	Сумма катионов	Сумма анионов	Азот	Сумма орг. ич. кислот	Катионы анионы
13 V — 17 V	0,27	0,25	0,21	0,20	1,08
17 V — 23 V	1,33	1,19	1,00	1,00	1,12
23 V — 27 V	4,26	3,79	3,22	3,34	1,12
27 V — 1 VI	9,26	9,25	7,70	7,35	1,00
1 VI — 4 VI	22,4	24,2	20,3	17,8	0,92
4 VI — 17 VI	36,8	43,7	36,3	31,0	0,84
17 VI — 23 VI	55,4	60,4	48,9	48,6	0,92
23 VI — 14 VII	36,3	34,2	22,6	21,8	1,05
14 VII — 2 VIII	26,3	11,4	6,9	20,5	2,31
2 VIII — 29 VIII	6,6	6,9	2,3	0,5	0,96
29 VIII — 19 IX	12,3	5,1	0,8	5,8	2,41

С 23 VI удельный вес аниона NO_3' в сумме поступающих анионов постепенно начал снижаться таким образом, что в отдельные сроки поступало значительно больше катионов, чем анионов. С этого времени постепенно нарушается и отмеченная согласованность между приростами азота и органических кислот (табл. 1), но, как увидим ниже (табл. 2), в тканях надземной части и корнеплода сохранялась зависимость между накоплением избытка минеральных катионов над минеральными анионами и образованием органических кислот.

Таблица 2

Изменение содержания катионов и анионов в тканях свеклы в течение вегетации (в миллиэквивалентах в 10 растениях)

Даты	Сухой вес у 10 расте- ний в г	Сумма катионов	Сумма анионов	Избыток катионов	Сумма органич. кислот	Органич. кислоты избыток катионов
Ростки						
13 V	0,08	0,35	0,09	0,26	0,26	1,00
23 V	1,97	9,40	2,39	7,01	7,06	1,01
1 VI	16,96	72,93	17,28	55,65	57,20	1,03
Пластинка 15—17-го листа						
17 VI	5,4	12,23	4,44	7,79	10,40	1,34
23 VI	14,6	41,09	10,99	30,10	29,40	0,98
14 VII	43,5	158,40	29,87	128,53	126,00	0,98
Надземная часть						
4 VI	29,9	132,7	33,1	99,6	106,5	1,07
14 VII	451,6	1481,0	409,2	1071,8	1248,0	1,16
19 IX	577,1	2083,5	599,2	1484,2	1560,0	1,05
Корнеплод						
4 VI	3,7	7,54	3,77	3,77	4,11	1,09
14 VII	415,0	265,5	127,3	138,2	170,7	1,23
19 IX	1338,0	584,8	222,2	362,6	377,5	1,04

В нашем опыте в целых растениях содержание азота в форме NO_3 до 23 VI составляло от 10,0 до 15,8%, а в дальнейшем от 3,2 до 6,9% от общего азота. Следовательно, анион NO_3' , поступая в растения, быстро вовлекался в обмен веществ и переходил в органические формы. К 14 VII в опытные растения поступило 87% N, 65,5% суммы катионов, 56,3% P, 53,2% S и 71,5% Cl от того количества, которое было в них к 19 IX. До 14 VII анион NO_3' составлял главную часть суммы поступающих анионов, катионы и анионы поглощались в эквивалентных количествах, но в тканях растений эта сбалансированность нарушалась переходом аниона NO_3' в органические формы азота. Часть катионов, эквивалентная N — NO_3 , переходившему в органические формы, оставалась не уравновешенной минеральными анионами и в процессе внутриклеточного обмена веществ связывалась другими способами.

В растительном организме связывание катионов в тканях, кроме связывания их неорганическими анионами, может осуществляться путем добавочного образования углекислоты, изменения основности имеющих в клетках солей многоосновных кислот, адсорбционным связыванием коллоидами клетки, новообразованием органических кислот и др. В данном случае главным, в количественном отношении, способом поддержания катионно-анионного баланса в клетках, после превращения аниона NO_3' в органические формы, повидимому, было новообразование органических кислот.

То же самое должно происходить и с катионами, уравновешиваемыми той частью анионов фосфора и серы, которая переходит из минеральной формы в органическую, но количественная сторона этого являе-

ния меньше выражена, чем в случае азотного обмена, так как сахарная свекла потребляет N значительно больше, чем P и S. Поэтому и связь между поступлением аниона NO_3' и приростом органических кислот обнаруживается более ясно.

Кроме нарушения физико-химического состояния среды, вызываемого изменением степени уравниваемости между анионами и катионами, присущей для оптимального прохождения жизнедеятельности данного растительного организма или его органа, в случае аниона NO_3' в какой-то степени могут играть роль и процессы превращения NO_3 , перехода его в восстановленную форму — процессы, связанные с сопряженным окислительным распадом сахаров и образованием органических кислот.

Мы еще не можем количественно учитывать все отдельные формы каждого элемента минерального питания в растениях, прежде всего, катионов, адсорбционно связанных коллоидами клетки, и поэтому не можем провести точный баланс катионов и анионов в тканях растений.

Возьмем приближенную величину избытка в тканях свеклы минеральных катионов над минеральными анионами. Для определения этой величины возьмем сумму эквивалентов общего количества в растениях, или в отдельных частях их, каждого из катионов K, Na, Ca, Mg и сумму эквивалентов общего количества каждого из анионов P, S, Cl и NO_3 . При вычислении эквивалентов анионов общий P той или иной части растения принимался, так же как и при расчетах для табл. 1, за анион $\text{H}_2\text{PO}_4'$, общая S — за анион SO_4 , а из азотсодержащих компонентов в данном случае взят только N — NO_3 ; остальная часть азота тканей свеклы, находящаяся в форме органических соединений, в расчеты не может входить. На органические формы P и S поправка не вволилась.

Как в ростках сахарной свеклы, так и в дальнейшем в отдельных частях ее наблюдалось значительное превышение суммы катионов над суммой минеральных анионов (табл. 2). С увеличением возраста повышалась абсолютная величина избытка минеральных катионов и одновременно количество суммы органических кислот. Скорость накопления избытка катионов над минеральными анионами и скорость образования органических кислот была такова, что во все сроки вегетации и во всех частях растения отношение между ними выражалось величиной около 1. То же самое наблюдалось и в свекле, выращивавшейся в почвенных культурах с половинной дозой питательных веществ. Это и позволяет говорить о наличии у сахарной свеклы зависимости между накоплением в тканях в течение периода вегетации минеральных катионов, не связанных неорганическими анионами, и образованием органических кислот.

Накапливаясь в тканях свеклы в значительных количествах и находясь, в главной своей массе, в форме воднорастворимых соединений, органические кислоты, повидимому, играют существенную роль в поддержании катионно-анионного баланса в живых клетках сахарной свеклы, а вместе с этим и в жизнедеятельности растения.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
сахарной свеклы
Киев

Поступило
9 XI 1950