

УДК 581.133.8:632.122

## ИОННЫЙ ОБМЕН У РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ

А. Е. ПЕТРОВ-СПИРИДОНОВ, Ж. З. ИОНЕВА

(Кафедра физиологии растений)

В факторостатных опытах исследовалась солеустойчивость кукурузы, пшеницы и томата к хлоридному засолению в зависимости от концентрации NaCl (50 и 100 ммоль) и ионного состава среды. В качестве «протекторных» ионов использовали Ca как антагонист Na и NO<sub>3</sub> как антагонист Cl и оценивали взаимодействие этих ионов.

Для отдельных комбинаций Na—Ca выявлен достоверный положительный эффект, который выражается в ингибировании поглощения Na или усилении его оттока из побегов в среду. Предполагается, что наблюдаемое сильное снижение содержания нитратов, особенно в листьях томатов, обусловлено временным сдерживанием их роста, что способствует повышению устойчивости и выигрышу времени для адаптации в условиях засоления. Показано значение существующих или адаптивно возникающих транспортных путей, характеризующихся специфической избирательностью ионов, для повышения солеустойчивости растений.

Повышение солеустойчивости растений является важным фактором получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур на засоленных почвах. В настоящее время, помимо солевой закалки [2], можно выделить следующие направления работ: 1) обработка растений физиологически активными веществами (ретарданты, ауксины и др.); 2) изменение условий минерального питания растений; 3) отбор солеустойчивых растений, проводимый методами селекции, включая мутагенез и генную инженерию. Каждое из этих направлений может оказаться полезным [3].

Данные об увеличении солеустойчивости растений путем модификации состава питательной среды наиболее многочисленны, и, по-видимому, этот путь наиболее перспективен.

В условиях умеренного засоления повышенные дозы N—NO<sub>3</sub> оказывали существенное положительное влияние на рост и урожайность томата [20]. Повышение солеустойчивости томата при относительно высоких дозах N—NO<sub>3</sub> отмечалось в ряде работ [7, 23]. Аналогичные данные получены для маша [12]. Предполагается, что положительное действие N—NO<sub>3</sub> обусловлено его вкладом в осмотический потенциал. Вместе с тем при увеличении дозы N—NO<sub>3</sub> повышается чувствительность к засолению кукурузы и хлопчатника, а также риса и пшеницы [15, 19, 21]. Однако связь между засолением и условиями азотного питания злаковых может быть и положительной, если дозы минерального азота и уровень засоления умеренные [8]. Имеются данные о положительном влиянии N—NO<sub>3</sub> на солеустойчивость пшеницы в условиях, когда засоление индуцирует дефицит минерального азота [9].

Средством, повышающим адаптационные способности растений к засолению, также является изменение концентрации некоторых катионов в питательной среде.

Среди других катионов кальций играет особую роль в реакциях клеток, органов, целого организма на разнообразные повреждающие воздействия [6]. Ионы кальция, вероятно, во многом определяют поглощающую функцию корней. Они могут заметно уменьшать проницаемость клеток корней для одновалентных ионов, в частности для натрия, и, таким образом, снижать их поступление в организм и тем самым ограничивать токсическое действие засоления [4, 10, 14]. О положительном

влиянии кальция на солеустойчивость растений свидетельствуют результаты многих исследований [1, 13, 16]. Вместе с тем до сих пор недостаточно исследована природа этого эффекта. Одни авторы считают, что кальций влияет на скорость движения натрия в межклеточном пространстве [17]. Другие объясняют влияние кальция на солеустойчивость его воздействием на клеточную проницаемость, транслокацию и компартментацию ионов [11]. К такому же заключению приходят исследователи [24], которые в опытах с *Trifolium alexandrinum* для предварительной оценки ионного поглощения и транспорта ионов использовали отношение натрия к кальцию в питательной среде. Однако это положение не распространяется на рис [22].

Из представленного обзора литературы видно, что одним из наиболее реальных способов снижения токсического действия высоких концентраций минеральных солей на растения является создание наилучших соотношений между ионами в питательной среде [5]. Поэтому нам представляется интересным и важным исследовать связь между солеустойчивостью разных культур и содержанием катионов и анионов в органах растений в условиях хлоридного засоления в зависимости от концентрации и ионного состава среды.

### Методика

Опыты проводили в 1985 г. в лаборатории физиологии растений в факторостатных условиях.

Объектами исследования были пшеница сорта Безостая 1, кукуруза гибрид КВС 701 и томат сорта Премьер. Растения выращивались в водной культуре на  $1/2$  н. раствора Хогланда и половинной норме опытных растворов хлорида натрия и нитрата кальция в течение 12 дней. Затем растения помещались на опытные растворы полной нормы засоленности и норму питательной смеси Хогланда. Температура воздуха  $20 \pm 2^\circ$ , световой период — 16 ч, освещенность 10 000 лк.

Концентрация NaCl в опытных вариантах была 50 и 100 ммоль. В качестве основного варьирующего фактора был выбран азотнокислый кальций —  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Катион Ca является конкурентом катиона K, а анион  $\text{NO}_3^-$  — конкурентом иона хлора. Концентрации нитрата кальция составляли 15 и 30 ммоль.

Схема опыта следующая. Вариант 1 — 1 н, смеси Хогланда — контроль; далее по этому фону; 2—15 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 3—30 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 4—50 ммоль NaCl; 5—100 ммоль NaCl; 6—15 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +50 ммоль NaCl; 7—30 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +50 ммоль NaCl; 15 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +100 ммоль NaCl; 9—30 ммоль  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +100 ммоль NaCl.

Растения выращивали до фазы цветения, кроме пшеницы, цветение которой задержалось. Возраст кукурузы к моменту уборки составлял 72, пшеницы — 90, томата — 72 дня.

В побегах и корнях определяли содержание Na и K (пламенная фотометрия), Ca (атомная абсорбционная спектрофотометрия), Cl (аргентометрия) и  $\text{NO}_3^-$  (колориметрическим методом). Повторность опыта 4-кратная. Результаты обработаны вариационно-статистическим и дисперсионным методами.

### Результаты

В табл. 1 приведены данные о раздельном и совместном действии засоления, нитрата кальция на сырую и сухую массу побегов и корней опытных растений.

Для того чтобы облегчить анализ данных табл. 1, необходимо определить различия в реакции разных видов растений, влияние собственно засоления и действие нитрата кальция. С этой целью был проведен трехфакторный дисперсионный анализ, результат которого приведен в табл. 2. Поскольку зависимости накопления сырой и сухой массы от действующих факторов в целом одинаковы, данные приводятся только по сухой массе.

Из приведенных данных видно, что конечный эффект засоления зависит от биологических особенностей растений, уровня засоления и действия нитрата кальция. Также очевидно, что реакция корней на изучаемые факторы проявляется в большей мере и иначе, чем побегов. Это следует из анализа вклада отдельных факторов в накопление массы корнями и побегами. Несомненно, для корней характерна большая дифференциация в реакции на засоление и нитрат кальция и комбинацию фак-

Сырая и сухая масса органов растений (г)

Вариант	Сырая масса		Сухая масса	
	побег	корни	побег	корни
Пшеница				
1	32,24±8,04	15,17±0,84	12,00±2,86	2,21 ±0,25
2	20,34 ±4,20	10,37±1,34	7,51 ±0,66	1,74±0,20
3	27,01 ±4,76	8,59±0,57	8,02±0,64	1,56±0,05
4	28,78±3,32	15,44 ±0,65	7,07±0,41	1,72±0,10
5	13,44±2,77	8,34 ±2,56	3,76±0,41	1,14±0,26
6	25,36±0,90	13,14±1,04	6,48±0,29	1,88±0,18
7	20,90±2,48	5,52±1,44	5,36±0,54	0,67±0,02
8	21,36± 1,62	8,11 ±0,86	5,63±0,38	1,28±0,11
9	18,64 ±0,90	8,33±0,87	4,83±0,29	1,42 ±0,11
Кукуруза				
1	69,31 ±3,06	36,72±3,81	9,50±0,50	3,45±0,50
2	57,42±6,02	21,59±2,99	8,11 ±0,89	2,33 ±0,35
3	66,26±7,23	13,78±2,67	10,56± 1,34	1,53±0,26
4	64,90±2,96	26,52±8,00	9,99±0,68	2,92 ±0,48
5	28,76±3,02	10,22±0,88	5,22±0,41	1,14±0,18
6	55,14±5,68	38,16±4,77	9,14±1,47	3,43 ±0,38
7	38,40±3,71	16,62±3,62	5,67 ±0,70	1,85±0,29
8	44,52±2,03	31,70±3,11	6,41 ±0,36	3,32±0,32
9	39,68±1,17	17,16±0,33	6,16±0,05	1,87 ±0,11
Томат				
1	34,45±0,29	16,15±2,47	3,50±0,24	1,25±0,16
2	29,51 ±1,67	14,39±1,74	3,08±0,22	1,18±0,11
3	21,58±1,45	10,29 ±0,96	2,15±0,15	0,78±0,07
4	31,80±2,80	14,22 ±0,96	2,73±0,21	0,90±0,09
5	14,65±1,17	6,51 ±1,17	1,46±0,12	0,40±0,06
6	21,82±0,96	12,48±0,94	2,21 ±0,11	0,86±0,06
7	18,28±2,92	8,55± 1 10	2,00±0,33	0,72±0,12
8	13,19±1,20	5,92±0,55	1,36±0,11	0,44 ±0,06
9	17,00± 1,42	7,68±0,48	1,84±0,13	0,60±0,04

торов КН и КЗ, чем для побегов. Наибольший вклад в результативный признак вносит нитрат кальция как у побегов, так и у корней — 24—27 %.

Данные табл. 1 отражают ряд важных частных отличий в реакции растений на засоление и нитрат кальция. Действие засоления и нитрата кальция порознь на рост корней (сухая масса) пшеницы и кукурузы вполне соизмеримо, и различие состоит в том, что угнетение роста у кукурузы проявляется слабее. У корней томата сильнее проявляется ингибирующий эффект засоления. Также сильно подавление роста побегов у пшеницы при засолении, особенно при концентрации NaCl 100 ммоль и действии нитрата кальция, хотя последний ингибирует рост в целом слабее, чем высокая концентрация NaCl.

Для побегов кукурузы характерно отсутствие их реакции на нитрат кальция и NaCl в концентрации 50 ммоль. Более того, выявлено положительное действие нитрата кальция (15 ммоль) на рост корней при 50 и 100 ммоль NaCl, а побегов — только при 100 ммоль.

Отсутствие влияния низкого уровня NaCl на рост кукурузы в отличие от пшеницы следует, по-видимому, объяснить принадлежностью кукурузы к растениям C<sub>4</sub> типа фотосинтеза [17]. Однако следует подчеркнуть, что при 100 ммоль NaCl кукуруза была угнетена сильнее, чем пшеница.

Следует отметить небольшое, но вполне достоверное протекторное действие нитрата кальция (30 ммоль) на рост корней и побегов томата при сильном засолении.

Таким образом, защитная функция Ca<sup>2+</sup> и NO<sub>3</sub> проявляется неодинаково для разных культур и зависит от уровня засоления и концентрации Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Таблица 2

Зависимость накопления сухой массы растениями от вида растения, уровня засоления, действия нитрата кальция и сила влияния факторов на резульативный признак

Источник варьирования	Степень свободы	Сумма квадратов отклонений	Средний квадрат	F <sub>Ф</sub>	F <sub>ат</sub>	
					P <sub>05</sub>	P <sub>01</sub>
Сухая масса побега						
К	2	16,90	8,45	3,43		
З	2	171,06	85,53	34,76	3,09	4,82
Н	2	632,73	316,36	128,60		
К <sub>3</sub>	4	49,64	12,41	5,04		
КН	4	3,64	0,91	0,37	2,46	3,51
ЗН	4	36,19	9,05	3,68		
ЗН	8	53,95	6,74	2,74	2,03	2,69
НСР <sub>05</sub> =2,33; η <sub>н</sub> =0,7%; η <sub>з</sub> =7%; η <sub>н</sub> =27%; η <sub>кз</sub> =1%; η <sub>зн</sub> =0,8%; η <sub>кзн</sub> =0,6%.						
Сухая масса корней						
К	2	7,26	3,63	17,83		
З	2	4,76	2,38	11,70	3,09	4,82
Н	2	48,30	24,17	118,58		
КЗ	4	9,04	2,26	11,09		
КН	4	4,43	1,10	5,44	2,46	3,51
ЗН	4	1,67	0,42	2,05		
КЗН	8	7,03	0,88	4,31	2,03	2,69
НСР=0,66; η <sub>к</sub> =4%; η <sub>з</sub> =2%; η <sub>н</sub> =24%; η <sub>кз</sub> =2%; η <sub>кн</sub> =2%; η <sub>кзн</sub> =0,8%						

Примечание. Здесь и в табл. 5 К — культура, З — засоление, Н — нитрат кальция — изучаемые факторы; КЗ, КН, ЗН, КЗН — сочетание факторов; г) — вклад фактора или сочетаний факторов в суммарный эффект.

Для уточнения полученных результатов необходим анализ ионного состава органов растений (табл. 3, рис. 1—4).

Калий. Содержание его, как видно из рис. 1, при добавлении Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> к 1 н. раствору Хогланда снижалось в корнях пшеницы и кукурузы и увеличивалось в корнях томата по сравнению с контролем и тем более с тем же вариантом в случаях с кукурузой и пшеницей.

Этот факт, несомненно, имеет решающее значение для объяснения возрастной адаптации томата к засолению. Вместе с тем мы не распола-

Таблица 3

Содержание К, Na, Ca, Cl, NO<sub>3</sub> в органах контрольных растений (мкмоль/100 мг сухой массы)

Органы растений	К	Na	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>
Кукуруза					
Побег	182,62±15,24	3,30±0,32	15,42±1,09	66,22±4,37	22,41±1,94
Корни	143,50±16,55	12,96±1,83	85,46±7,46	54,62±2,38	30,48±0,29
Пшеница					
Побег	199,80 ±6,57	14,20±0,85	11,20±1,40	53,75±8,25	34,84±0,05
Корни	118,00±9,09	12,50±4,10	73,30±10,50	49,00±4,34	27,74±0,24
Томат					
Побег	174,20±6,06	17,92±1,90	90,38±5,71	48,33±3,44	62,26±6,61
Корни	132,62±13,91	21,48±5,22	43,20±0,62	35,75±2,36	30,80±0,30

Примечание. Содержание Na в тканях органов контрольных растений обусловлено подщелачиванием питательного раствора NaOH; соответствующее увеличение содержания Cl связано с поддержанием ионного равновесия как следствие реакции на возрастающее увеличение поглощения ионов Na<sup>+</sup>.

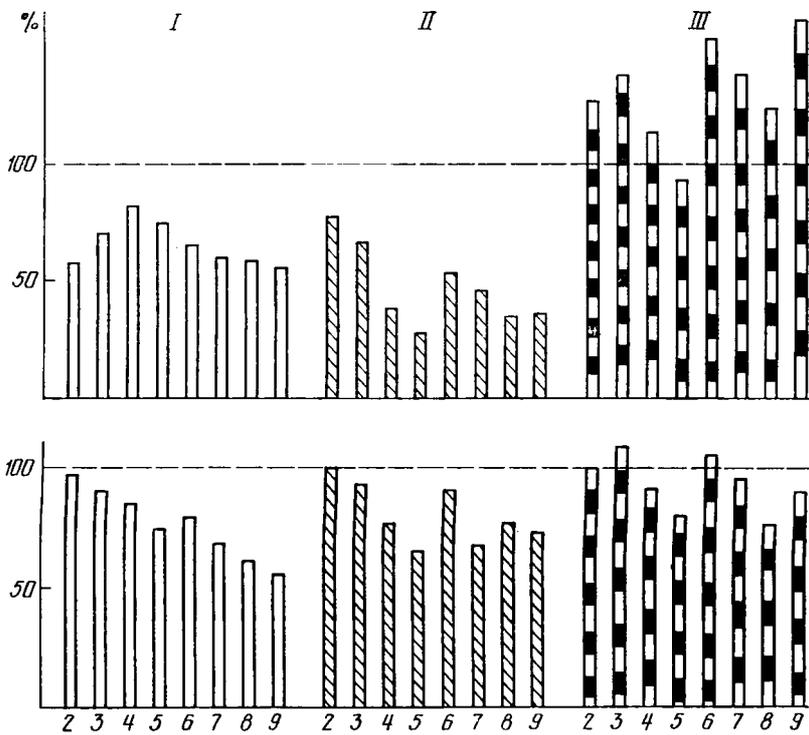


Рис. 1. Содержание калия (% к контролю) в корнях (*вверху*) и в побеге.  
 I — пшеница; II — кукуруза; III — томат; 2-9 — варианты опыта.

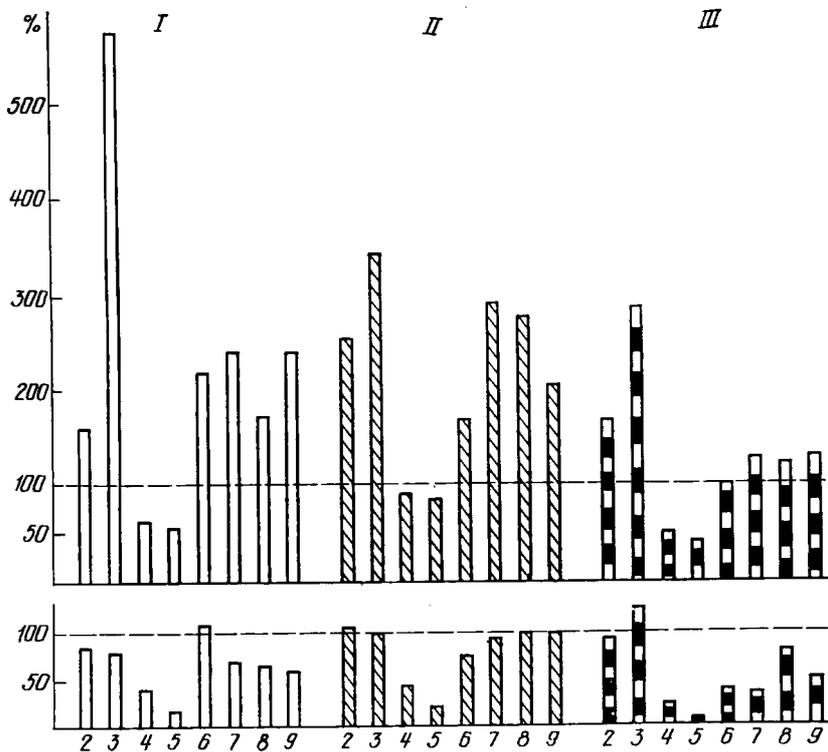


Рис. 2. Содержание кальция (% к контролю) в побеге (*вверху*) и в корнях.  
 Обозначения те же, что на рис. 1.

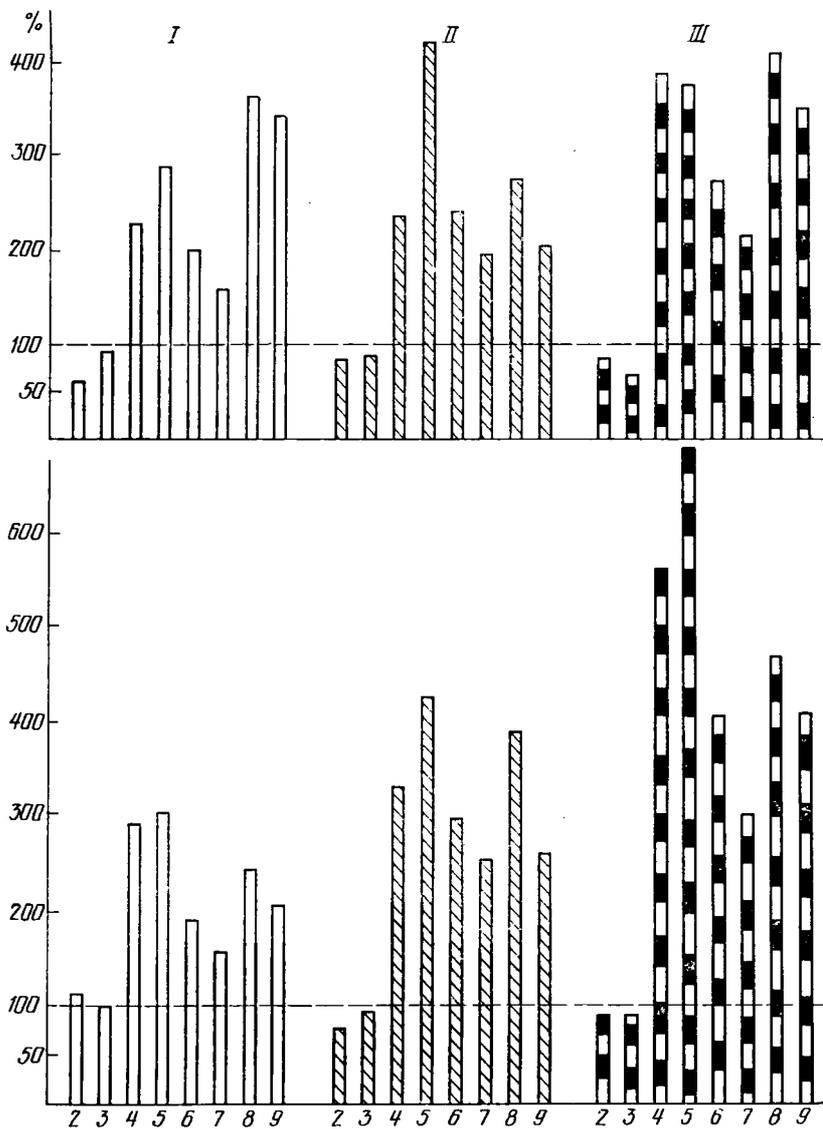


Рис. 3. Содержание хлора (% к контролю) в побеге (вверху) и в корнях. Обозначения те же, что на рис. 1.

гаем пока убедительным объяснением этого явления. Однако мы можем высказать предположение о связи между энергичным метаболизмом органических кислот и конечным результатом ионного обмена между средой, корнями и побегом. Необычность указанного явления подчеркивается четко прослеживаемыми конкурентными отношениями между калием, с одной стороны, и натрием и избыточным кальцием, с другой, как в корнях, так и побегах пшеницы и кукурузы.

Содержание калия в корнях и побегах кукурузы, в побеге томата возрастало при совместном внесении  $\text{NaCl}$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Это объясняется более сильными конкурентными отношениями между  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , чем между  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{K}^+$  [10, 18, 22]. Вместе с тем, как отмечалось выше, именно в этих вариантах проявлялась протекторная роль кальция.

Натрий. Поглощение натрия при засолении было значительным (табл. 4). Опытные растения характеризовались способностью регулировать уровень натрия в своих органах. На примере кукурузы видно (варианты 4 и 5), что при 50 ммольях  $\text{NaCl}$  корень справляется с натриевой

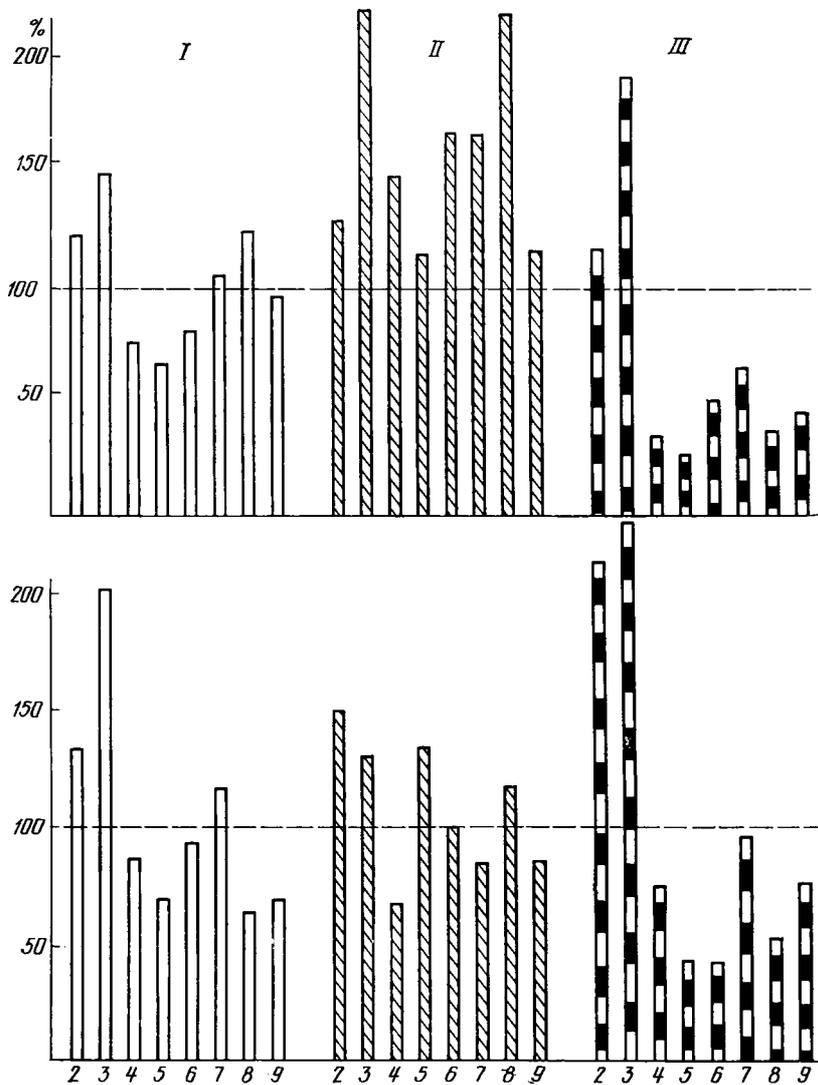


Рис. 4. Содержание  $\text{NO}_3^-$  (% к контролю) в побеге (вверху) и в корнях.

Обозначения те же, что на рис. 1.

«нагрузкой», он играет роль барьера на пути  $\text{Na}^+$  в побег, о чем свидетельствует содержание  $\text{Na}^+$  в корнях, которое в три с лишним раза выше, чем в побеге. Однако при концентрации  $\text{Na}^+$  в среде 100 ммоль его содержание в корнях и побеге выравнивается ( $148,6 \pm 6,5$  и  $138,3 \pm 18,8$  мкмоль на 100 мг сухой массы). Таким образом, характер поглощения  $\text{Na}^+$  кукурузой свидетельствует об устойчивости этого растения к 50 ммоль  $\text{NaCl}$  и неустойчивости к 100 ммоль.

У томата по всем вариантам опыта содержание  $\text{Na}^+$  было заметно выше в корнях, чем в побеге, хотя абсолютные его значения в побеге превышают таковые у пшеницы и кукурузы. Однако такое содержание натрия для томата в отличие от кукурузы и пшеницы не является сильноповреждающим. Для последней характерна относительно большая избирательность по отношению к  $\text{Na}$ , чем у томата и кукурузы (ср. в табл. 4 варианты 4 и 5 по органам растений).

Выше мы отмечали, что относительно более высокая концентрация калия у растений вариантов  $\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  обусловлена конкуренцией между  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Na}^+$ . Данные табл. 4 это подтверждают еще раз для всех

Содержание Na в органах пшеницы, кукурузы и томата  
(мкмоль/100 мг сухой массы)

Вариант	Пшеница		Кукуруза		Томат	
	побег	корни	побег	корни	побег	корни
1	14,2±0,85	12,5±4,1	3,3±0,3	13,0±1,8	17,9±1,9	21,5±5,2
2	18,2±2,0	16,5±0,9	3,5±0,4	7,6±0,5	15,5±1,8	22,7±2,3
3	17,7±1,9	16,0±0,5	3,7±0,4	7,2±0,5	6,9±1,4	5,2±0,4
4	49,6±6,7	94,2±11,0	41,7±3,6	134,0±8,5	138,9±9,9	180,0±15,0
5	53,8±8,8	87,7±2,5	138,3±18,8	148,6±6,5	162,0±12,6	220,4±14,5
6	55,0±9,1	57,3±4,8	35,0±4,8	99,4±12,0	91,5±13,9	147,6±9,1
7	46,2±5,1	49,4±4,9	57,3±6,6	74,2±3,9	76,7±9,7	109,8±4,8
8	106,6±8,4	67,8±5,1	82,7±8,8	127,5±2,5	155,4±20,2	176,9±3,5
9	97,8±8,8	60,8±5,9	49,4±7,0	90,1±11,9	135,3±10,0	167,6±8,5

культур. Исключением является вариант 100 ммоль NaCl+30 ммоль Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> с пшеницей, когда явно не «срабатывает» барьерная функция корня. Вероятно, общая концентрация солей в среде становится достаточно высокой, чтобы выявить нарушения в осморегуляции.

Итак, у всех культур концентрация натрия была выше в корнях, чем побеге; в целом она была выше в томате, чем в кукурузе и в кукурузе выше, чем в пшенице.

**К а л ь ц и й .** Содержание кальция в корнях и побегах опытных растений по отношению к контрольному варианту представлено на рис. 2. При засолении (варианты 4, 5) вследствие сильной конкуренции между Na<sup>+</sup> и Ca<sup>2+</sup> содержание последнего снижается в побеге и особенно сильно — в корнях. Более того, даже в вариантах с нитратом кальция содержание Ca в корнях пшеницы (варианты 7—9) и томата (варианты 6—9) не достигало уровня контроля. Что касается побега, содержание кальция в нем увеличивалось во всех вариантах с нитратом кальция, причем в побегах пшеницы и кукурузы — в большей мере, чем в побеге томата. Таким образом, при добавлении кальция в питательную среду для поддержания катионно-анионного равновесия его содержание возрастает сильнее в надземной части растений, чем в корнях.

**Х л о р и н и т р а т ы .** Данные о содержании Cl<sup>-</sup> в органах опытных растений представлены на рис. 3, а NO<sub>3</sub><sup>-</sup> — на рис. 4. При последовательном сравнении содержания обоих анионов в органах разных растений (варианты 2—9) нетрудно обнаружить конкуренцию между ними. Это ранее было отмечено в опытах с томатом, перцем, кукурузой и другими культурами [7, 11, 20, 24]. Вместе с тем наши данные позволяют говорить о качественных различиях этих конкурентных отношений для разных культур. Очевидно, что в случае томата проявляется более сильная конкуренция Cl<sup>-</sup> по отношению к NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Она настолько сильная, что даже при внесении 15 и даже 30 ммоль Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (30 и 60 ммоль нитратов) содержание NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в побеге и корнях во всех вариантах засоления ниже, чем в контроле. Этим, вероятно, можно объяснить низкое содержание Ca в органах (рис. 2). Также достаточно хорошо видно, что ионы Cl<sup>-</sup> сдерживают поступление нитратов в органы пшеницы. Напротив, для кукурузы более характерно существенное накопление нитратов, особенно в побеге в присутствии ионов Cl<sup>-</sup>.

Как следует из рис. 3, сказанное вовсе не означает отсутствие сдерживающего влияния нитратов на поступление ионов Cl<sup>-</sup>. Речь идет об относительном взаимодействии этих ионов, которое имеет важное значение для понимания регуляции катионно-анионного баланса и связано с устойчивостью растений к засолению.

Наблюдаемые конкурентные отношения между Cl<sup>-</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup> и Na<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> и Ca<sup>2+</sup> и т. д. играют важную роль в адаптации растений к хлоридному засолению. В этой связи представляют интерес зависимости содержания ионов в органах опытных растений от основных действующих фак-

торов: культуры, засоления, наличия нитрата кальция и их сочетаний (табл. 5). Из табл. 5 следует, что содержание  $K^+$  в опытных вариантах в большей мере определяется количеством нитрата кальция, чем каким-либо другим фактором. Выше было установлено, что накопление сухой массы опытных растений прежде всего обусловлено этим фактором. Таким образом, подтверждается идея, что калий занимает центральное место среди других ионов в реакциях адаптации. Следовательно, важно искать условия, ограничивающие не только поступление натрия и хлора в растения, но и выход калия из растений.

Таблица 5

Содержание ионов в побегах и корнях растений ( $\eta$ ) в зависимости от культуры засоления и наличия нитрата кальция и их сочетаний  $P \geq 0,95$

Факторы	Побег					Корни				
	K	Na	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>	K	Na	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>
K	—	0,6	4,5	2,4	4,7	—	2,9	6,5	4,7	2,8
Z	—	30,0	3,0	3,0	12,0	2,4	30,0	9,0	33,0	18,0
H	19,0	6,9	31,0	0,8	4,3	31,0	8,8	18,7	3,5	—
KZ	—	0,2	1,9	0,3	1,9	0,6	0,5	2,0	1,0	2,6
KH	—	1,0	0,3	0,6	1,2	2,2	0,1	1,0	0,2	1,3
ZH	3,4	1,5	1,0	0,4	8,5	1,9	2,4	0,5	1,4	4,0
KZH	—	0,8	1,0	0,8	0,3	—	0,1	0,5	0,2	0,7

Примечание. Тире — достоверного влияния факторов не обнаружено.

Данные табл. 5 также свидетельствуют о сильной зависимости накопления Na от наличия нитрата кальция. Это также указывает на перспективность продолжения работ в предпринятом нами направлении.

Привлекает внимание и факт достоверной и высокой зависимости накопления и распределения по органам  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  от вида растений. Это означает, что путем соответствующего подбора имеющихся растений или селекции можно повысить их продуктивность на засоленных почвах. И последнее: доказано сильное взаимодействие между  $NO_3$  и Cl, что весьма важно учитывать при культивировании растений на засоленных почвах.

## Выводы

1. Изменение содержания калия в органах растений при засолении является самым важным показателем ионного обмена при адаптации растений к засолению.

2. Впервые даны количественные оценки влияния засоления, нитрата кальция и вида культуры на устойчивость растений к засолению и их ионный состав.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов Р. А. Физиологическая роль кальция в солеустойчивости хлопчатника. Ташкент: Фан, 1973. — 2. Генкель П. А. Солеустойчивость растений и пути ее направленного повышения. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 3. Захарин А. А., Петрова Р. К., Строгонов Б. П. Солеустойчивость растений (бобовых) и ее связь с режимом перехода от пресной среды к засоленной. — Физиология растений, 1982, т. 29, вып. 3, с. 428—437. — 4. Мазель Ю. Я. Поглощение кальция корнями растений. Агрехимия, 1969, № 4, с. 54—61. — 5. Петров-Спиридонов А. Е. Рост растений и распределение катионов

по их органам на фоне высокой концентрации питательных солей при варьировании K:Ca в среде. — Изв. ТСХА, 1972, вып. 6, с. 3—16. — Петров-Спиридонов А. Е. Изменение катионного состава органов растений при варьировании концентраций K, Ca, Mg и Na в среде. — Изв. ТСХА, 1978, вып. 1, с. 12—17. — 7. Alsagaz C. F., Romero J. F. — J. of Plant. Nutrition, 1982, vol. (3)5, p. 173—181. — 8. Bernstein L. e. a. — Agron. J., 1974, vol. 66, p. 412—421. — 9. Serda A., F. T. Bingham. — Agrochimica, 1974, XXII, n. 2, p. 140—147. — 10. Clarkson D. T. — Plant, Cell a. Environ-

ment. 1984, vol. 7, p. 449—456. — **11.** Greenway H., Munns Rana. — Ann. Rev. Plant Physiol., 1981, vol. 31, p. 149—190. — **12.** Huq Imamul S. M., Larcher F. — New Phytol., 1983, vol. 93, p. 203—208. — **13.** Kent J. M., Lauchli A. — Plant, Cell a. Environment, 1985, vol. 8, n. 2, p. 155—159. — **14.** Kir kb y E. A., Pilb e a m D. J. — Plant Cell a. Environment, 1984, vol. 7, p. 397—405. — **15.** Khalil M. A., Amer F., Elgabaly M. M. — Soil Sci. Soc. Am. Proc, 1967, N 31, p. 683—686. — **16.** L a h a y e P. A., E p s t e i n E m. — Physiol. Plant, 1971, vol. 25, N 2. — **17.** Levitt I. Responses of plants to environmental stresses, 1980, vol. 11, Acad. Press. N.—Y. London. — **18.** Nei-

rinckx L., Stassart J. M. — Physiol. Plant, 1979, vol. 47, N 4, p. 235—238. — **19.** O go T., Morikawi S. — Shimane Agr. Coll. Bull, 1965, vol. 13A, p. 5—9. — **20.** Papadopoulos I., Rendig V. V. — Plant a. Soil, 1983, vol. 73, p. 47—57. — **21.** Torres C. B., Bingham F. T. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1973, vol. 37, p. 711—718. — **22.** Yeo A. R., Flowers T. S. — New Phytol., 1985, vol. 99, N 1, p. 81—90. — **23.** Winsor G. W., Davies J. N., Zong M. I. E. — J. Hort. Sci., 1967, vol. 42, p. 277—288. — **24.** Winter E., Lauchli A. — Austr. J. Plant Physiol., 1982, vol. 9, p. 227—37.

*Статья поступила 28 мая 1986 г.*

## SUMMARY

In factor-statical experiments, the salt resistance of corn, wheat and tomato to chloride salinity depending on concentration of NaCl (50 and 100 mmol) and ion composition of medium was studied. As "ion-protectors" Ca as antagonist of Na, and NO<sub>3</sub> as antagonist of Cl were used, the interaction of these ions being estimated.

For certain Na—Ca combinations a reliable positive effect was shown which is expressed in inhibition of Na uptake or in its more intensive outflow from shoots into medium. It is supposed that considerable reduction in nitrate content, especially in tomato leaves, is due to temporary checking of their growth, which contributes to higher resistance and to additional time for adaptation under salinity. The importance of existing and adaptively arising transport ways of increasing salt resistance in plants, which are characterized by specific ion selectivity, is shown.