

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ИОНОВ (ПО ХЛОРУ) ОДНО- И ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ*

Аннотация: Изучено поглощение ионов хлора из незабуферных односолевых (NaCl , KCl , CaCl_2) растворов корнями растений, различающихся по солеустойчивости. Установлено, что кинетическая закономерность транспорта Cl^- в корневую систему растений из растворов оказалась сходной, разница между ними заключается только в количественном отношении. По количеству поглощенных ионов Cl^- корневой системой растений вышеуказанные растворы располагаются в следующем порядке: $\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2$.

Ключевые слова: солеустойчивость растений, транспорт ионов, гликофиты, галофиты.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть растительного царства осуществляет свой цикл развития в условиях высоких солевых концентраций. Поэтому проблема солеустойчивости растений имеет как большое практическое, так и огромное познавательное значение с точки зрения эволюции растительного мира на Земле. Эта проблема неразрывно связана с изучением механизмов поглощения и транспорта ионов в растениях.

Проведение детальных исследований в этом направлении, особенно при высоких концентрациях ионов (Na^+ , K^+ , Cl^- и SO_4^{2-}) представляется весьма важным для познания закономерностей солевого обмена и солеустойчивости растительного организма. При этом более логичным является сравнительное изучение поглотительной (по хлору) активности корневой системы растений, различающихся по степени солеустойчивости.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили 5-дневные этиолированные и зеленые проростки различающихся по солеустойчивости гликофитов (не считая день замачивания семян) – широко применяющихся в сельском хозяйстве сортов пшеницы (Парзиван 1, Шарг), ячменя (Паллидум-596, Карабах-21), хлопчатник (С-4727, Агдаш-3). Проростки выращивали в термостате при 25°C в аэрируемых условиях.

Для оценки транспорта веществ в клетку обычно применяют плазматические, гемолитические, плазмометрические, химические, изотопные и другие методы, которые, однако, имеют ряд недостатков.

Среди названных методов наиболее удобным оказался изотопный. При его использовании для определения кинетики поступления веществ в клетку растений учитывается изменение удельной активности объекта (отрезанные корни, листья и др.) или же убыль меченых атомов в среде, где помещен интактный объект.

Нами использован хемокинетический полумикрометод, который соответствует в принципе второму варианту изотопного метода. Сущность метода заключается в том, что в течение всего эксперимента объем раствора NaCl , KCl , CaCl_2 в стаканчике с корнями остается постоянным, что исключает возможность ряда методических неточностей [7].

О скорости транспорта Cl^- в клетку корней судили по убыли количества ионов хлора в исследуемом объеме раствора NaCl , KCl , CaCl_2 . Чувствительность метода $2 \cdot 10^{-2}$

* © Абдыев В.Б.

мг/мл по хлору.

Опыты проводились в 4-6 краткой повторности и результаты рассчитывали на 1 г сырого веса корня. Полученные данные подвергались статистической обработке Г.Ф. Лакину [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших вопросов физиологии, биофизики и ряда других отраслей биологических наук является изучение транспорта веществ через живую клеточную мембрану, интерес к которому, несмотря на почти столетнюю историю разработки, в настоящее время все более возрастает.

Транспорту ионов из растворов в растительную клетку посвящено значительное количество работ [2; 13; 14; 8; 4; 16; 10; 3], однако в них в основном используются растворы солей физиологически безвредных, низких концентраций (10^{-5} - 10^{-3} M); тогда как для высоких концентраций этот вопрос изучен недостаточно. Между тем исследование кинетических закономерностей транспорта ионов Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} и т.д. в клетку растений из высоких концентраций растворов солей (50 мМ – 200 мМ) представляет интерес, по крайней мере, с разных точек зрения: 1) для выяснения механизмов Cl^- в корнях различных сортов культурных растений, различающихся по солеустойчивости; 2) выяснения кинетической закономерности транспорта Cl^- в корневую систему некоторых сортов пшеницы, ячменя и хлопчатника; 3) для понимания сущности солевой интаксикации растительного организма.

Следовательно, вопрос поглотительной активности (по хлору) различных сортов культурных растений до сих пор остается малоизученным. Поэтому, в первую очередь, нас интересовали сравнительные исследования количества поглощенного хлора у растений. Сравнительные данные по поглощению Cl^- корнями растений представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, в разных интервалах времени более солеустойчивый хлопчатник поглощал ионы хлора менее интенсивно, чем слабоустойчивые ячмень и пшеница, и эта закономерность сохраняется при увеличении экспозиции корневой системы растений в солевых растворах (до 160 мин.). В этом отношении изученные нами группы гликофитных растений можно расположить в следующем порядке: пшеница > ячмень > хлопчатник. Обнаружено, что есть различие между поглотительной активностью различных сортов пшеницы, ячменя и хлопчатника. Аналогичные данные получены и при поглощении ионов хлора корневой системой вышеуказанных растений из 50 мМ раствора NaCl. Известно, что по солеустойчивости указанные культурные растения располагаются в обратном порядке, т.е. хлопчатник > ячмень > пшеница [14].

Таблица 1

Убыль из 100 мМ раствора NaCl ионов хлора (мг) в результате поглощения их корнями различных сортов пшеницы, ячменя и хлопчатника (t – 200С)

Время мин.	Пшеница		Ячмень		Хлопчатник	
	Шарг	Парзиван	Паллид-дум-596	Карабах-7	С-2747	Агдаш-3
5	2,2 ± 0,09	1,9 ± 0,08	1,6 ± 0,06	1,4 ± 0,05	1,2 ± 0,03	1,0 ± 0,02
10	3,0 ± 0,11	2,7 ± 0,1	1,9 ± 0,08	1,7 ± 0,06	1,4 ± 0,04	1,1 ± 0,03
20	3,7 ± 0,16	3,3 ± 0,13	2,1 ± 0,09	1,9 ± 0,07	1,5 ± 0,06	1,2 ± 0,05
40	4,6 ± 0,2	4,2 ± 0,18	2,6 ± 0,1	2,4 ± 0,08	1,9 ± 0,08	1,6 ± 0,06
80	5,2 ± 0,24	4,8 ± 0,21	3,2 ± 0,12	2,8 ± 0,1	2,3 ± 0,09	2,0 ± 0,08
160	5,8 ± 0,25	5,2 ± 0,23	3,6 ± 0,16	3,1 ± 0,11	2,7 ± 0,11	2,4 ± 0,1

Далее нами изучена кинетика транспорта ионов хлора из изонормальных растворов (0,1н KCl , 0,1н $NaCl$ и 0,1н $CaCl_2$) в корневую систему 5-дневных проростков ячменя, пшеницы и хлопчатника.

Следует отметить, что вопрос поглотительной (по хлору) активности культурных растений при высоких концентрациях из вышеуказанных односолевых изоанионных растворов остается еще открытым.

Смит и Робинсон [17] отмечают, что изотерма поглощения может в сильной мере зависеть от факторов, которые сами непосредственно не влияют на связывание иона с соответствующими избирательными переносчиками. По их наблюдениям, изотерма поглощения Cl^- определяется главным образом природой сопутствующего одновалентного катиона. Потоки Cl^- из растворов KCl намного больше, чем из растворов $NaCl$. Однако, есть данные, показывающие, что поглощение одновалентных катионов корнями кукурузы и ячменя практически не зависит от природы сопутствующего аниона [15].

Следует отметить, что при определенных обстоятельствах на поглощение данного иона может влиять характер противоиона. Необходимо провести различие между быстро аккумулируемыми ионами, например K^+ и Cl^- , и медленно накапливаемыми ионами, например Ca^{2+} и SO_4^{2-} . Медленно проникающие ионы могут замедлять поглощение быстро проникающих противоионов, особенно в концентрационном ряду системы 2 [10].

Результаты наших исследований показывают, что более солеустойчивый хлопчатник поглощал ионы хлора из вышеуказанных растворов менее интенсивно, чем слабоустойчивые ячмень и пшеница (табл. 2).

Важно отметить, что кинетическая закономерность транспорта Cl^- в корневую систему растений из вышеуказанных растворов оказалась сходной, разница между ними заключается только в количественном отношении (рис. 1). По количеству поглощенных ионов Cl^- корневой системой ячменя и пшеницы вышеуказанные растворы располагаются в следующем порядке: $KCl > NaCl > CaCl_2$.

Таблица 2

Убыль из 100мМ раствора ($NaCl$, KCl , $CaCl_2$) ионов хлора (мг) в результате поглощения их корнями различных сортов этиолированных и зеленых проростков пшеницы, ячменя и хлопчатника в течении 40 минут ($t - 200C$)

Растворы соли	5-ти дневные проростки	Пшеница «Шарг»	Ячмень Паллидум-596	Хлопчатник Агдам-3
KCl	Этиолированные зеленые	5,1 ± 0,3	3,1 ± 0,12	2,2 ± 0,09
		6,6 ± 0,26	4,4 ± 0,18	2,6 ± 0,09
NaCl	Этиолированные зеленые	4,6 ± 0,2	2,6 ± 0,1	1,6 ± 0,06
		5,8 ± 0,25	3,5 ± 0,14	2,0 ± 0,08
CaCl ₂	Этиолированные зеленые	3,8 ± 0,16	2,0 ± 0,08	1,2 ± 0,04
		4,7 ± 0,2	2,8 ± 0,1	1,5 ± 0,05

Установлено, что гликофитные растения по солеустойчивости располагаются в следующем порядке: Агдаш-3 > С2747 > Карабах-21 > Паллидум-596 > Парзиван > Шарг. Следовательно, между скоростью поглощения ионов Cl^- корнями растений из вышеуказанных незабуферных односолевых растворов и их солеустойчивостью имеется обратная коррелятивная зависимость. Ранее было установлено, что галофиты поглощали Cl^- из 100 мМ раствора $NaCl$ значительно меньше, чем гликофиты [6; 1]. Низкий уровень транспорта ионов корнями галофитов по сравнению с гликофитами, по-видимому, связан с характером обменных процессов, а именно повышением окислительной активности

корневой системы при засолении. В проростках гликофитов, выращенных в солевой среде, физиологические процессы протекают так же, как и у галофитов [2].

Полученные нами данные хорошо согласуются с литературными данными [10]; Авторы указывают, что Ca^{2+} снижает поглощение Cl^- и SO_4^{2-} , уменьшает поглощение K^+ . Кроме того, эффект Ca^{2+} заключается, главным образом, в снижении величины коэффициента проницаемости P_{Cl^-} , вследствие чего возрастает сопротивляемость мембраны проникновению ионов [11; 5].

Следует отметить, что по пересечению линейного участка кинетической кривой с осью ординат в нулевой момент времени можно оценить величину свободного пространства корней для ионов [5; 1; 2]. Используя эти параметры, нами установлено, что емкость апопласта C_{Cl^-} ($\text{мМ} \cdot \text{г}^{-1}$) и скорость метаболического поглощения ионов хлора V ($\text{мМ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$) из вышеуказанных растворов по отношению к солеустойчивости изученных растений имеет обратно коррелятивную зависимость.

Далее нами изучено изменение PH -среды при поглощении ионов Cl^- корневой системой растений. Из рис. 2 видно, что при поглощении ионов Cl^- корневой системой ячменя из растворов KCl сильно уменьшается PH -среды по сравнению с NaCl и CaCl_2 . Аналогичные данные были получены и для пшеницы и хлопчатника. По уменьшению PH -среды при поглощении ионов Cl^- корневой системой ячменя и пшеницы вышеуказанные растворы располагаются в следующем порядке: $\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2$.

Предполагаем, что важную роль могут играть протоны. Ионы H^+ выводятся из клетки и в обмен на них могут поглощаться катионы внешнего раствора, например K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , в результате чего поддерживается электронейтральность. Механизм обмена H^+ катиона важен также еще и для регулирования баланса зарядов и контроля цитоплазматического PH . Кларксон Д. [8] указывает, что проницаемость мембраны для K^+ намного выше, чем для Cl^- . Важно отметить, что подвижные ионы в водных растворах при 25°C располагаются в следующем порядке $\text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Поскольку у гидратированного иона калия радиус меньше, он, вероятно, диффузирует быстрее, чем Na^+ .

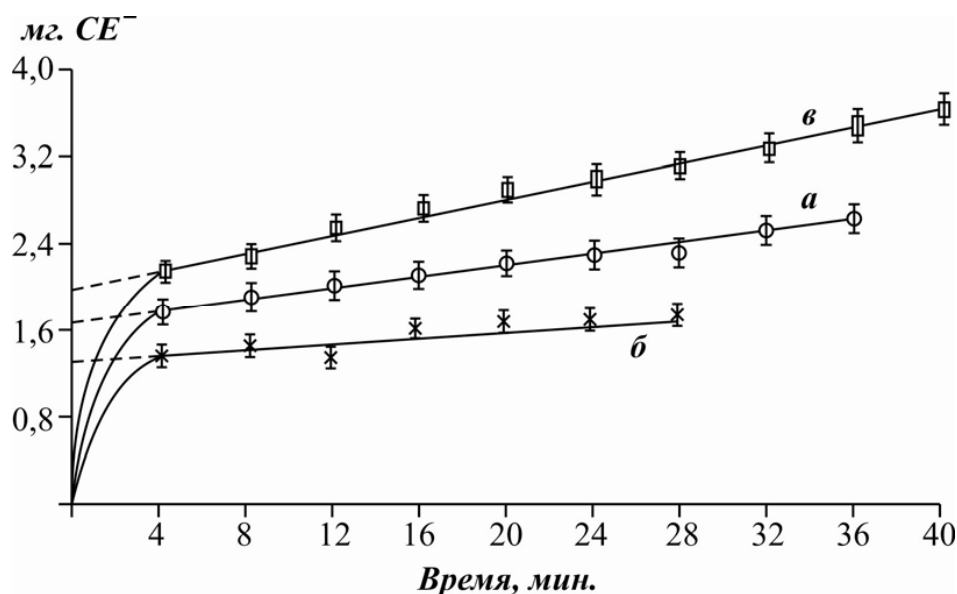


Рис. 1. Кинетика поступления Cl^- в корни ячменя из раствора NaCl (а), CaCl_2 (б) и KCl (в) при 20°C .

$$0,1\text{N KCl} : C_{\text{Cl}^-} = 2,85 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1};$$

$$V = 0,047 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$$

$$0,1\text{N NaCl} : C_{\text{Cl}^-} = 2,31 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1};$$

$$V = 0,023 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$$

$$0,1\text{N CaCl}_2 : C_{\text{Cl}^-} = 1,84 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1};$$

$$V = 0,14 \text{ mM} \cdot \text{r}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$$

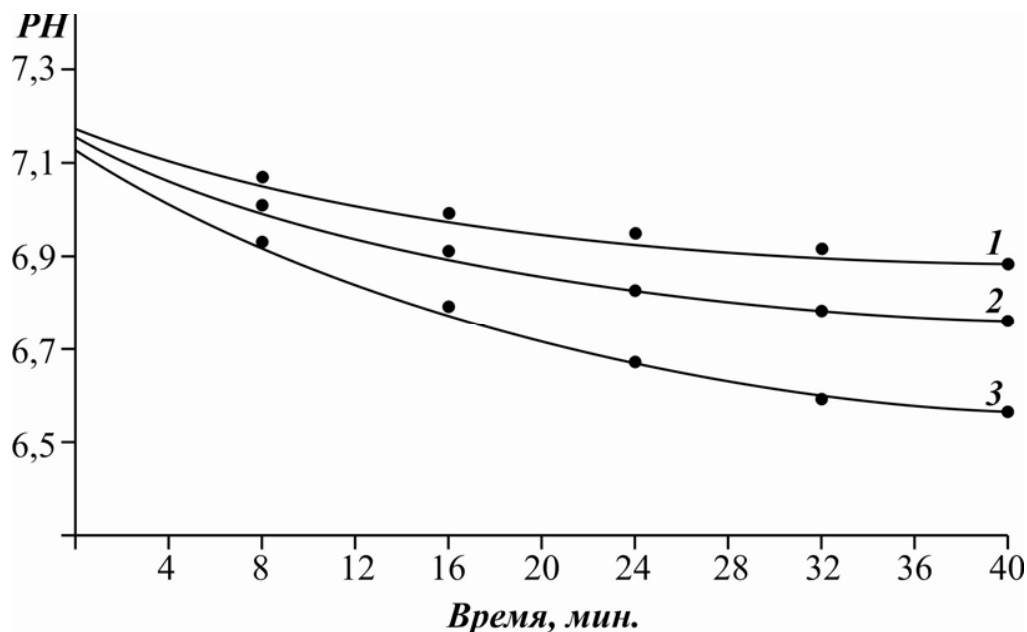


Рис. 2. Изменение *pH*-среды при поглощении ионов Cl^- из изонормальных растворов корневой системой ячменя ($t = 20^\circ\text{C}$)

1. CaCl_2
2. NaCl
3. KCl

Кроме того, растворы солей с одинаковыми катионами, но различными анионами, а также солей с одним и теми же анионами, но различными катионами, обладают различной эквивалентной электропроводностью.

Следует отметить, что приведенные данные по суммарному определению убыли Cl^- из вышеуказанных незабуферных растворов в результате поглощения корнями растений еще не позволяют судить о кинетической характеристике проникновения в них.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что скорость поглощения ионов хлора корнями растений имеет обратную коррелятивную зависимость по отношению к солеустойчивости.
2. Обнаружено, что кинетическая закономерность транспорта Cl^- в корневую систему растений из незабуферных односолевых растворов оказалась сходной, разница между ними заключается только в количественном отношении.
3. Выявлено, что по количеству поглощенных ионов Cl^- корневой системой растений использованные растворы располагаются в следующем порядке: $\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абдыев В.Б. Поглощительная и дыхательная активность корневой системы гликофитов и галофитов при засолении: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Вильнюс, 1987. – 23 с.

2. Абдыев В.Б. Кинетика транспорта ионов Cl^- в корневую систему растений, выращенных при разнокачественном засолении // В сб: Актуальные проблемы теории биохимии. – Гянджа, 2007. – С. 43-47.
3. Буферов Е.Н., Польшгалова О.О., Понаморев А.А. Совместное действие ротенона и малоновой кислоты на физиологические показатели клеток отсеченных корней пшеницы / Межд. конфер. «Проблемы физиологии растений Севера», 15-18 июня. – Петрозаводск, 2004. – С. 28.
4. Воробьев Л.Н. Регулирование мембранного транспорта в растениях. Итоги науки и техники. Физиология растений. – М., 1980. – Т. 4. – С. 5-77.
5. Высоцкая Ж.В. Функциональная взаимосвязь катион-транспортных систем плазматической мембраны растительной клетки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Минск, 2007. – 23 с.
6. Касумов Н.А. Физиолого-биофизические аспекты исследования механизма действия солей на растительный организм: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Баку, 1975. – 46 с.
7. Касумов Н.А. Хемокинетический метод исследований транспорта ионов хлора в корни интактных растений // В кн.: Ионный транспорт в растениях. – Киев: Наукова думка, 1979. – С. 244-247.
8. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки. – М.: Мир, 1978. – 368 с.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
10. Лютге У., Хигинботам Н. Передвижение веществ в растениях. Перевод с английск. Под редакцией д.б.н. А.Е.Петрова-Спиродонова. – М., 1984. – 408 с.
11. Мусаев Н.А. Исследование влияния температуры и физиологически активных веществ на электрохимические характеристики растительных клеток: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тбилиси, 1981. – 24 с.
12. Саляев Р.К. Поглощение веществ растительной клеткой. – М.: Наука, 1969. – 206 с.
13. Строгонов Б.П., Тарвердян В.И., Кабанов В.В. Действие адсорбционно-связанных ионов натрия и хлора на растения гороха // Физиол. Растений. – 1972. – Т. 19, вып. 4. – С. 787-791.
14. Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. – Л.: Колос, 1977. – 215 с.
15. Lüttge U., Laties G.G. Dual mechanisms of ion absorption in relation to long distance transport in Plants // Plant Physiol., 1976, 41, № 9. – P. 1531-1539.
16. Sinch S.P., Pant R.S. Mechanisms of sulfate up take by excised maize roots // Biol. Plant, 1984. 26, № 1. – P. 29-33.
17. Smith F.A., Robinson J.B. Sodium and potassium influx into citrus leaf slices // Aust. J. Biol. Sci, 1975, 24. – P. 861-871.

V. Abdiyev

ABSORBING ACTIVITY OF IONS (ON CHLORINE) OF THE ROOT SYSTEM OF MONO- AND DICOTYLEDONOUS PLANTS' SPROUTS

Abstract: Absorption of chlorine ions from non-buffered saline ($NaCl$, KCl , $CaCl_2$) solutions by the roots of plants distinguished by salinity resistance has been investigated. It has been established that kinetic law of Cl^- transport from solutions appeared to be similar, and the difference between them consists only in a quantitative sense. According to the quantity of Cl^- ions absorbed by the root system of plants the above-stated solutions settle down in the following order $KCl > NaCl > CaCl_2$.

Key words: salt resistance of plants, ion's transportation, halophytes, glycophytes.