

Л. А. АРАРАТЯН, В. Л. АНАНЯН

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПОГЛОЩЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ПОЧВЫ И ГИДРОПОНИКИ

При гидропоническом возделывании растений урожайность их по сравнению с почвенной культурой значительно возрастает в результате улучшения водно-воздушных условий среды и, главным образом, питательного режима [1]. В условиях гидропоники все питательные элементы находятся в наиболее усвояемой для растений форме, в почве же усвояемые для растений вещества представлены воднорастворимыми и обменными формами, которые в большинстве почв составляют лишь небольшую часть от их валового содержания, в результате чего растения часто испытывают недостаток в тех или иных элементах.

Изучение особенностей поглощения различных элементов растениями, возделываемыми в почвенных и гидропонических условиях, представляет большой интерес. Нашей целью являлось изучение поглощения ряда щелочных макро- (калий, натрий) и микро- (рубидий, литий) элементов.

Объектами исследований служили перец, помидоры, сахарная свекла и алоэ, выращенные на бурой карбонатной культурно-поливной почве и в условиях гидропоники*.

В почве определяли содержание валовой и обменной форм (1-н уксуснокислая вытяжка) исследуемых элементов. Почвы этого типа содержат в воднорастворимой форме приблизительно: $K-0,5$, $Na-1,5$, $Rb-0,05$ и $Li-0,08\%$ от валового содержания [2]. На основании этого были рассчитаны данные содержания воднорастворимых соединений исследуемых элементов (табл. 1).

Содержание калия, натрия, рубидия и лития в золе растений и почвы, в почвенных вытяжках и питательном растворе определялось методами количественного спектрального анализа и пламенной фотометрии [3].

Данные табл. 1 показывают, что валовое содержание и обменные формы в почвах располагаются в порядке: $K > Na > Rb > Li$, для воднорастворимых же форм порядок меняется: $Na > K > Li > Rb$. Это объясняется тем, что натрий и литий, обладающие меньшим ионным радиусом по сравнению с калием и рубидием, интенсивнее вымываются из почвы. В питательном растворе, составленном по рецепту Давтяна [1], рубидий и литий меняются местами: $K > Na > Li > Rb$. Надо отметить, что рубидий и литий в состав питательного раствора не внесены; источниками их могут быть исходная вода для приготовления раствора, минеральные

* Образцы, растений для анализа любезно предоставлены нам М. А. Бабахяном, а их озоление проведено О. Б. Гаспарян.

Таблица 1

Содержание и количественные соотношения щелочных элементов в бурой карбонатной почве и питательном растворе

Образцы		Содержание в г/100г почвы, или г/100мл. р-ра				Количественные соотношения				
		K	Na	Rb 10^{-3}	Li 10^{-3}	Rb/K 10^{-3}	Rb/Na 10^{-3}	Rb/Li 10^{-3}	Li/K 10^{-3}	Li/Na 10^{-3}
Почва	валовое содержание	1,83	1,72	5,2	4,8	2,80	3,00	1,10	2,60	2,80
	обменная форма	0,11	0,06	0,09	0,05	0,82	1,70	1,90	0,43	0,89
	воднорастворимая форма	0,01	0,02	0,0026	0,0034	0,29	0,12	0,78	0,42	0,17
Питательный раствор		0,02	0,01	0,0024	0,01	0,12	0,26	0,24	0,50	1,10

Таблица 2

Соотношения щелочных элементов в растениях

Культура	Способ выращивания	Органы растений	Rb/K 10^{-3}	Rb/Na 10^{-3}	Rb/Li	Li/K 10^{-3}	Li/Na 10^{-3}
1	2	3	4	5	6	7	8
Перец	почва	плоды	0,1	40	9	0,01	5,0
		листья + чер.	0,2	28	0,3	0,69	89,0
		стебли	0,1	21	0,9	0,11	24,0
		корни	—	—	—	—	—
	гидропоника	плоды	0,1	25	670	0,0002	0,03
		листья + чер.	0,1	21	0,3	0,50	82,0
		стебли	0,2	1	6	0,01	0,2
		корни	0,5	22	0,4	1,10	5,0
Помидоры	почва	плоды	0,1	20	16	0,008	1,3
		листья + чер.	0,5	8	0,8	0,59	9,7
		стебли	0,3	4	3	0,10	1,4
		корни	0,5	2	2	0,33	1,6
	гидропоника	плоды	0,1	5	8	0,007	0,7
		листья + чер.	0,2	3	0,6	0,31	4,7
		стебли	0,1	2	4	0,03	0,6
		корни	0,3	0,8	1	0,21	0,6
Сахарная свекла	почва	листья	0,4	2	2	0,26	1,1
		черешки	0,2	1	7	0,04	0,1
		корнеплоды	0,2	3	15	0,02	0,2
	гидропоника	листья	0,3	11	1	0,33	1,2
		черешки	0,3	2	5	0,05	0,4
		корнеплоды	0,2	2	29	0,01	0,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Алоэ	почва	листья стебли корни	0.1	0.7	0.7	0.10	1.0
			0.1	2	3	0.04	0.7
			—	2	4	—	0.4
	гидропоника	листья стебли корни	0.2	1	3	0.07	0.5
			0.3	2	7	0.03	0.2
			0.8	3	0.9	0.92	3.1

соли (главным образом калийные), субстрат и атмосферные осадки. Содержание лития в питательном растворе больше, чем рубидия по той же причине—он более энергичный водный мигрант.

Содержание щелочных элементов в исследуемых растениях и распределение их по органам приведены в нашей работе [4]. Исследования показали, что содержание щелочных элементов в почвенных и гидропонических растениях существенно не отличается. Наблюдаются значительные различия в накоплении их в зависимости от культуры и органов.

Данные табл. 2, отражающие отношения элементов в растениях, выращенных в условиях почвы и гидропонии, существенно изменяются по сравнению с питательной средой (табл. 1): отношение Rb/K уменьшается, т. к. растения в большей мере поглощают калий, а отношения Rb/Na , Rb/Li увеличиваются, особенно в почвенных растениях, что указывает на избирательное поглощение растениями рубидия. Надо отметить, что в различных органах величины соотношений меняются; так, например, в листьях некоторых культур наблюдается преобладание лития над рубидием, что может быть связано с его какой-то физиологической ролью. Величины соотношений меняются также в зависимости от культуры; к примеру, сахарная свекла и алоэ оказывают предпочтение натрию по сравнению с литием.

Избирательность в поглощении тех или иных элементов растениями проявляется особенно, когда мы рассматриваем так называемые наблюдаемые отношения $[H. O.]$, или коэффициент дискриминации:

$$H. O. = \frac{\text{Отношение пары элементов в растениях}}{\text{Отношение той же пары в почве}}$$

$H. O.$ указывает на предпочтительное поглощение растениями из почвы или питательного раствора одного из элементов-аналогов по сравнению с другим. При этом если $H. O. > 1$ (например, для Rb/K), то это означает предпочтительное поглощение растениями рубидия; если же $H. O. < 1$ —калий поглощается интенсивнее рубидия; при $H. O. = 1$ скорость поглощения их одинакова.

Здесь представляет интерес рассмотрение $H. O.$ с учетом валового содержания и обменной и воднорастворимой форм соединений в почве. Как видно из табл. 3 и 4, $H. O.$ для пары $Rb—K$ колеблется в пределах O, Op (с учетом валового содержания), O, p (с учетом обменной формы) и $O, p—p$ (с учетом воднорастворимой формы). Для гидропонических растений величины $H. O.$ колеблются в основном около единицы, что совпадает с величиной $H. O.$ для почвенных растений, рассчитанных с учетом воднорастворимых форм. Для сахарной свеклы и алоэ, выращенных в условиях гидропонии, величины $H. O. > 1$, т. е. наблюдается предпочтительное поглощение рубидия по сравнению с калием. Полученные результаты подтверждают данные Вахмистрова [5], Collander [6], Welte и др. [7] о том, что при поглощении из питательных раство-

дискриминации между калием и рубидием не наблюдается. Эти данные позволили Алексахину и др. [8] утверждать, что наблюдаемая дискриминация рубидия калием [H. O. < 1] при поглощении из почвы не связана с поглощательной способностью растений, а обусловлена более высокой фиксацией в почве рубидия по сравнению с калием.

Таблица 3

Величины наблюдаемых отношений (H. O.) щелочных элементов для растений, выращенных в почвенных условиях

Культура	Органы растений	С учетом валовых содержаний					С учетом обменных форм					С учетом водно-раствор. форм				
		Rb—K		Rb—Li		Li—Na	Rb—K		Rb—Li		Li—Na	Rb—K		Rb—Li		Li—Na
		Rb	K	Rb	Li		Rb	K	Rb	Li		Rb	K	Rb	Li	
Черешки	плоды	0.04	13.3	7.9	0.05	1.6	0.12	23.5	4.6	0.03	5.2	0.3	333	13.0	0.03	27
	листья + чер.	0.06	9.3	0.3	0.23	32.0	0.22	16.5	0.2	1.40	100.0	0.6	233	0.5	1.40	523
	стебли	0.03	7.0	0.8	0.04	8.6	0.11	12.4	0.5	0.26	27.3	0.3	175	1.3	0.26	141
	корни	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Миндоры	плоды	0.05	6.8	14.5	0.003	0.5	0.16	12.0	8.4	0.02	1.5	0.4	169	24.0	0.02	8
	листья + чер.	0.17	2.6	0.7	0.22	3.5	0.56	4.6	0.4	1.40	10.9	1.6	66	1.1	1.40	57
	стебли	0.09	1.3	2.4	0.04	0.5	0.32	2.2	1.4	0.23	1.6	0.9	32	3.9	0.24	8
	корни	0.19	0.8	1.5	0.12	0.6	0.63	1.5	0.8	0.77	1.8	1.8	21	2.4	0.78	9
Салат	листья	0.14	0.5	1.4	0.10	0.4	0.47	0.9	0.8	0.60	1.2	1.3	13	2.2	0.61	7
	черешки	0.09	0.3	6.3	0.01	0.1	0.29	0.6	3.6	0.08	0.2	0.8	8	10.0	0.08	1
	корнеплоды	0.08	1.1	13.6	0.01	0.1	0.28	1.9	7.9	0.04	0.2	0.8	27	22.0	0.04	1
Лоз	листья	0.03	0.3	0.7	0.04	0.4	0.90	0.4	0.4	0.23	1.1	0.3	6	1.1	0.24	6
	стебли	0.05	0.7	2.5	0.02	0.3	0.16	1.2	1.5	0.10	0.8	0.5	17	4.2	0.10	4
	корни	—	0.5	3.6	—	0.1	—	0.9	2.1	—	0.5	—	13	5.8	—	2

Таблица 4

Величины наблюдаемых отношений (H. O.) щелочных элементов для растений, выращенных в условиях гидропонии

Культура	Органы растений	Rb—K	Rb—Na	Rb—Li	Li—K	Li—Na
Черешки	плоды	1.2	96	28	< 0.0004	0.03
	листья + череш.	1.1	81	1	1.00	75.00
	стебли	0.6	4	25	0.02	0.15
	корни	4.0	85	2	2.20	4.50
Миндоры	плоды	0.5	21	34	0.01	0.61
	листья + череш.	1.6	11	3	0.68	4.30
	стебли	1.0	8	16	0.62	0.54
	корни	2.3	3	5	0.42	0.56
Сахарная свекла	листья	2.7	4	4	0.66	1.10
	черешки	2.4	7	22	0.11	0.34
	корнеплоды	1.9	9	121	0.02	0.07
Лоз	листья	1.6	5	11	0.14	0.45
	стебли	2.2	7	30	0.06	0.21
	корни	6.7	10	4	1.80	2.80

При поглощении из питательного раствора наблюдается дискриминация натрия рубидием—Н. О. для пары $Rb-Na > 1$, достигая для растений перца значительных величин [66—85]. Для почвенных растений Н. О. при учете воднорастворимых форм достигают еще больших величин [200—300]. При учете валовых содержаний и обменных форм предпочтительное поглощение рубидия [по сравнению с натрием] отмечается лишь для перца и помидора, т. е. проявляется специфичность культуры.

Для почвенных растений [при учете валового содержания и обменной формы] четкого предпочтения к рубидию по сравнению с литием не отмечается, при поглощении же из питательного раствора предпочтение рубидия литию выражено четко. Такая же картина наблюдается для почвенных растений, когда учитываются воднорастворимые соединения. В почве, где доступность рубидия меньше, чем лития, растения испытывают недостаток в рубидии. В условиях же гидропоники, где имеется одинаковая возможность поглощения, проявляется предпочтение к рубидию по сравнению с литием.

У почвенных и гидропонических растений отмечается четко выраженное предпочтение в поглощении калия по сравнению с литием: Н. О. для пары $Li-K$ меньше единицы. Для пары $Li-Na$ у всех культур, выращенных в условиях почвы и гидропоники, наблюдается большая величина Н. О. в листьях по сравнению с другими органами. В почвенных условиях перец отличается четко выраженным предпочтением лития по сравнению с натрием.

Приведенные данные показывают, что наиболее сравнимыми с величинами Н. О. для условий гидропоники являются те данные Н. О. для почв, где учтены воднорастворимые формы щелочных элементов. Эти данные показывают, что из исследуемых элементов растения с одинаковой интенсивностью поглощают калий и рубидий, предпочитают рубидий литию и литию, калий—литию. Некоторые растения (перец, помидоры) оказывают предпочтение литию по сравнению с натрием, другие—натрию.

Для учета степени поглощения щелочных элементов из сравниваемых сред (почвы и питательного раствора) были рассчитаны также коэффициенты биологического поглощения (к. б. п.). Этот коэффициент принято рассчитывать с учетом валового содержания элементов в почве, что дает возможность проводить сравнения для различных типов почв, хотя учет подвижных форм соединений в почве дает более правильные результаты. Мы рассчитывали к. б. п. исходя из валового содержания и обменной и воднорастворимой соединений щелочных элементов в почве и концентрации их в питательном растворе.

Данные показывают (табл. 5,6), что при учете валового содержания калий по величине к. б. п. занимает 1—2 ряда согласно градации Перельмана [9], натрий, рубидий и литий располагаются в 3—4 рядах—среднего и слабого накопления, при этом наблюдаются значительные различия по культурам: так, например, степень накопления натрия и рубидия сахарной свеклой выше по сравнению с овощами и алоэ.

Известно, что водные растения обладают способностью концентрировать питательные вещества из воды с низкой концентрацией веществ [10]. Поэтому коэффициенты их биологического поглощения очень высоки. То же самое происходит и с высшими наземными растениями, получающими питание из водной среды. Выше отмечалось, что несмотря на незначительное содержание щелочных элементов, в частности рубидия и лития, в питательном растворе, по сравнению с почвой, содержание их в гидропонических растениях не уступает почвенным, при

Таблица 5

Коэффициенты биологического поглощения (к. б. п.) щелочных элементов для растений, выращенных из почвы

Культура	Органы растений	С учетом валовых содержаний				С учетом обменных форм				С учетом воднораствор. форм			
		K	Na	Rb	Li	K	Na	Rb	Li	K	Na	Rb	Li
Перец	плоды	27	0.1	1.0	0.1	440	2	55	12	5600	6	2000	160
	листья+черешки	16	0.1	1.0	3.5	250	3	57	350	3200	9	2000	4500
	стебли	26	0.1	0.9	1.1	410	4	50	110	5200	10	1800	1400
	корни	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Помидоры	плоды	28	0.2	1.3	0.1	450	6	72	8	5700	15	2600	110
	листья+черешки	3	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—
	стебли	7	0.2	0.5	0.7	47	17	27	65	6000	15	900	840
	корни	5	0.5	0.7	0.3	110	33	38	27	1500	42	1300	340
Сахарная свекла	листья	11	2.7	1.4	1.1	170	84	81	100	2100	210	2900	1300
	черешки	14	3.8	1.2	0.2	230	120	68	19	2900	290	2400	240
	корнеплоды	15	1.2	1.3	0.1	250	36	70	9	3100	91	2500	110
	плоды	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Алоэ	листья	19	2.0	0.5	0.7	300	64	28	71	3800	160	1000	920
	стебли	2	1.0	0.7	0.3	240	31	38	25	3100	77	1300	320
	корни	—	1.1	0.6	0.2	—	35	32	16	—	86	1200	200
	плоды	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 6

Коэффициенты биологического поглощения (к. б. п.) щелочных элементов для растений, выращенных в условиях гидропоники

Культура	Органы растений	K	Na	Rb	Li
Перец	плоды	2400	30	2800	1
	листья+черешки	1400	19	1500	1400
	стебли	2100	30	1200	50
	корни	400	19	1500	850
Помидоры	плоды	2200	53	1100	32
	листья+черешки	720	110	1200	450
	стебли	1300	170	1300	88
	корни	520	410	1200	230
Сахарная свекла	листья	630	400	1700	420
	черешки	1000	330	2400	110
	корнеплоды	1300	290	2400	20
Алоэ	листья	950	310	1600	140
	стебли	760	260	1700	56
	корни	270	180	1800	490

том к. б. п. их составил десятки, сотни и тысячи единиц. Интересно отметить, что к. б. п. калия и рубидия для овощей близок, а для сахарной свеклы и алоэ к. б. п. рубидия почти вдвое больше, чем калия. Очевидно, эти культуры нуждаются в рубидии. Величины к. б. п. калия и рубидия для всех растений составляют 1000 п, тогда как для натрия лития колеблются в пределах 10 п—100 п.

При сравнении гидропонических и почвенных растений наибольшее сходство получено; когда учитываются воднорастворимые соединения почвы, при этом к. б. п. калия выше, чем при гидропонике: потребность в калии, очевидно, выше, чем содержание его в почве в воднорастворимой форме. Для таких элементов, как натрий, рубидий и литий, их воднорастворимые количества, очевидно, удовлетворяют потребностям растений в них.

Выводы

1. Условия выращивания (почвенные или гидропонические) не оказали существенного влияния на характер соотношений щелочных элементов (Rb/K , Rb/Na , Rb/Li , Li/K , Li/Na) в растениях. Отношения эти изменяются в зависимости от культуры и органов растений.

2. Показатели Н. О. для пары $Rb-K$ у почвенных растений (с учетом валового содержания и обменной формы) составляют порядок O, O_p-O, n , т. е. калий поглощается интенсивнее, чем рубидий. В гидропонических растениях величины Н. О. колеблются в основном около единицы, т. е. предпочтения к калию или к рубидию не отмечается.

3. В почвенных и гидропонических условиях проявляется предпочтительность в поглощении рубидия по сравнению с натрием и литием. Наблюдается предпочтительность в поглощении растениями натрия или лития в зависимости от культуры: перец оказывает предпочтение в поглощении литию, а сахарная свекла—натрию.

4. Коэффициенты биологического поглощения исследуемых элементов для почвенных растений (с учетом валового содержания) составляют величины: $K-p-10 n$, Na , Rb , $Li-O$, O_p-O, n . Наблюдаются колебания в зависимости от культуры и органов растений.

5. При выращивании растений в условиях гидропоники величины к. б. п. резко увеличиваются и составляют: для лития и натрия— $10 p-100 p$, для калия и рубидия— $1000 p$.

6. Наибольшее соответствие с величинами Н. О. и к. б. п. для гидропонических условий показывают те показатели для почвенных условий, где учитываются воднорастворимые формы соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Давтян. Гидропоника. «Справочная книга по химизации сельского хозяйства». «Колос», 1969.
2. Л. А. Араратян, В. Л. Ананян. Формы соединений щелочных элементов в почвах Армянской ССР (в наст. сб.).
3. Л. А. Араратян, Г. М. Мкртчян. Методика количественного спектрального анализа K , Na , Rb , Li в почвах, почвенных вытяжках и растениях (в наст. сб.).
4. Л. А. Араратян. Содержание щелочных элементов в растениях, выращенных в условиях почвы и гидропонике (в наст. сб.).
5. Д. Б. Вахмистров, А. А. Захарьин. О месте рецептора в системе саморегуляции накопления калия растениями подсолнечника в связи с гипотезой о клеточных переносчиках. «Физиология растений», т. 15, № 4, 1968.
6. Collander. Selective absorption of cations by higher plants. „Plant Phys” 16, 1941, 691.
7. E. Welte, U. Marckwardt, Studies on Rb^{86} as a tracer of potassium in soil, experiments. Isotopes and Radiat. Soil-Plant Nutrit. Studies, Vienna, 1965, 301—310.

8. Р. М. Алексеев, В. Ф. Гольцев, Л. О. Карпачевский. О поведении и почвах и распределении в древесной растительности щелочных и щелочно-земельных элементов. «Почвоведение», № 5, 1971.
9. А. И. Перельман. Геохимия ландшафта. М., 1966, стр. 36—46.
10. Н. В. Куликов. Радиэкология пресноводных растений и животных. «Радиэкология», Атомиздат, М., 1971, стр. 368—374.

L. A. ARARATYAN, V. L. ANANYAN

ԲՈՒՅՈՒՆԻ ԱՎԱԽԱԿԱՆ ՏԱՐՐԵՐԻ ԿԼԱՆՄԱՆ ՈՐՈՇ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ՝ ՀՈՂԻ ԵՎ ԲԱՅՈԹՅԱ ՀԻԿՐՈՊՈՆԻԿԱՅԻ
ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ա փ ու մ

Որոշվել են հողից և սննդալուծույթից տարրերի, լիթիի, շարարի հալրեղեղի ու հալվիի որոշ ալիպիական տարրերի (K, Na, Rb, Li) կլանման հարաբերական ցուցանիշները. հաշվի են առնվել ոչ միայն դրանցից ամեն մեկի համախառն պարունակությունը, այլև շարժուն (չբալույծ և փոխանակային) ձևերը հողի մեջ: Դիտվող հարաբերությունները ցույց են տվել, որ հողային բույսերն ընտրողաբար առավելապես կլանում են կալիումը, ապա միայն ուրիդիումը և վերջապես լիտիումն ու նատրիումը: Բացօթյա հիդրոպոնիկայի պայմաններում կալիումի կամ ուրիդիումի նկատմամբ ոչ մի գերադասելիություն չի նկատվել՝ երկուսն էլ կլանվել են միևնույն արագությամբ: Որոշակի արտահայտվել է ուրիդիումի կլանման գերակշռությունը՝ նատրիումի և լիտիումի համեմատությամբ:

Հիդրոպոնիկական բույսերում հետադրույթ տարրերի կենսաբանական կլանման դորժակցի մեծությունները զգալիորեն աճում են հողայինների համեմատությամբ և կազմում լիտիումի ու նատրիումի համար՝ 10—100, իսկ կալիումի ու ուրիդիումի համար՝ 1000:

L. A. ARARATYAN, V. L. ANANYAN

SOME CHARACTERISTICS OF THE UPTAKE OF ALKALIC
ELEMENTS BY PLANTS UNDER HYDROPONIC AND SOIL
CONDITIONS

Summary

Studies were made on the uptake of some alkalic elements (K, Na, Rb, Li) by plants by means of the relative indices of the coefficient of biological uptake and the relations under observation. Potassium is mostly absorbed by the soil, while in hydroponics, potassium and rubidium are being absorbed with the same intensity. In hydroponic plants the coefficients of biological uptake are considerably higher compared with the soil ones.