

УДК 631.811.3.033

КАТИОННЫЙ СОСТАВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ ПОСТОЯННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КАЛИЯ В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

А. Е. ПЕТРОВ-СПИРИДОНОВ, Н. С. ГАГАРИНА

(Кафедра физиологии растений)

Выращивание растений при поддержании в питательной среде постоянной концентрации одного или нескольких элементов минерального питания весьма трудоемко. Однако результаты экспериментов, полученные при использовании этого метода в физиологических и агрохимических исследованиях, во-первых, значительно расширили наши представления о возможностях поглощающей функции корневых систем и, во-вторых, как показано Менгелем и Форстером [9, 10], позволили использовать данный метод как модель для реальной оценки уровня обеспеченности почвы элементами минерального питания. Все это предопределило выбор методики при изучении влияния постоянных концентраций калия на состав катионов в надземных органах пшениц и фасоли и продуктивность этих растений.

Необходимость постановки данной проблемы вызывается значительным разногласием в оценке критического уровня калия, обеспечивающего нормальный рост и высокую продуктивность растений [4, 6, 9, 10, 11, 12], а также отсутствием данных о тенденции к изменению катионного состава тканей побегов в условиях выращивания их при разных по значениям концентрациях калия, постоянных в течение всего опыта. Последнее обстоятельство особенно важно с точки зрения физиологического значения классификации растений на основные типы калий-кальциевого питания [7].

Методика

В качестве объектов исследования были выбраны фасоль сорта Латвия 800 — бобовое растение, характеризующееся экстремальным кальциевым типом питания по классификации [7], и два сорта пшениц: карлик СВ-151 канадской селекции и среднестебельная пшеница Московская 21, относящиеся к растениям экстремального калийного типа питания.

Растения выращивали в водной культуре на смеси Кнопа, в которой варьировалась только концентрация калия. Смена питательных растворов в продолжение всего опыта проводилась через день, что позволяло поддерживать относительную постоянность условий минерального питания.

В качестве контрольного варианта для пшениц выбрана 1 н., а для фасоли — 0,5 н. смесь Кнопа. Концентрации калия в

питательном растворе в опыте с пшеницей СВ-151 составляли: 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,5 (контроль); 5,5 ммоль/л, а с фасолью — 0,10; 0,25; 0,50; 1,00; 1,75 (контроль); 2,75 ммоль/л. Исследования с пшеницей Московская 21 проводились по сокращенной схеме: 0,2; 3,5; 5,5 ммоль/л. Повторность опытов с пшеницей 7-кратная, с фасолью — 10-кратная.

Работа проводилась в лаборатории искусственного климата в факторатных условиях при температуре воздуха $20 \pm 1,5^\circ$ круглосуточно и световом режиме 16 : 8. Дополнительным источником освещения и досвечивания служили лампы ДРЛФ.

Катионы кальция и магния определяли трилонометрическим методом, калий — на пламенном фотометре системы «Flarhokol» (ГДР).

Результаты

Более чувствительной к недостатку калия в среде является фасоль, у которой в этом случае на всем протяжении вегетации наблюдалось значительное подавление ростовых процессов (рис. 1). При этом ниж-

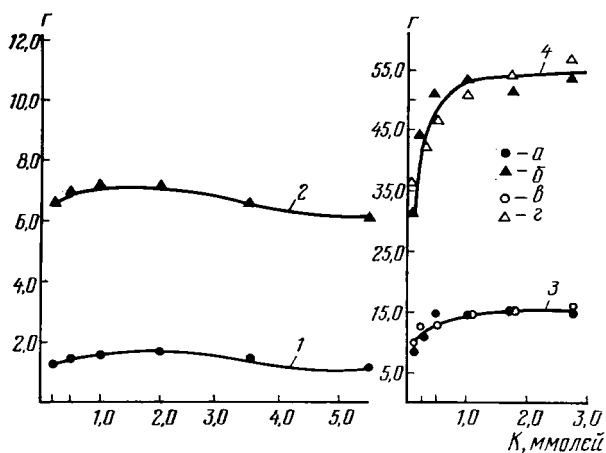


Рис. 1. Влияние концентрации калия в среде на накопление сухой массы надземных органов пшеницы сорта СВ 151 (слева) и сырой массы надземных органов фасоли в расчете на растение.

Фазы развития: 1 — колошения (НСР₀₅ 0,94); 2 — полной спелости зерна (НСР₀₅ 0,75); 3 — цветения фасоли (НСР₀₅ 3,72); 4 — созревания бобов (НСР₀₅ 2,45); а, б — экспериментальные данные; в, г — соответствующие эмпирическим уравнениям $y_x = 3,97 \lg x + 14,32$ и $y_x = 14,30 \lg x + 51,00$.

ним пределом концентрации калия, при котором обеспечивался нормальный рост побегов фасоли, оказалась 1 ммоль/л.

У пшеницы СВ-151 только при самой низкой из выбранных концентраций калия отмечалось снижение массы вегетативных органов в фазу колошения, т. е. в период наиболее интенсивного роста и высокой потребности растений в элементах минерального питания (рис. 1).

Аналогичные результаты получены и по пшенице Московская 21. Сырая масса одного растения в фазу колошения по вариантам опыта (0,2; 3,5 и 5,5 ммоль/л) составляла соответственно 7,57; 8,55 и 8,57 г, а сухая масса растения в фазу полной спелости зерна — 8,48; 10,49 и 11,88 г.

Анализ продуктивности пшениц показал, что увеличение концентрации калия в питательном растворе по-разному влияет на рост и формирование изучаемых сортов пшеницы (табл. 1). Карлик СВ-151 отличался большей устойчивостью к повышенному содержанию калия, чем более высокостебельный сорт Московская 21. У последнего в этом

Таблица 1

Показатели продуктивности пшеницы сортов СВ-151 (в числителе) и Московская 21 (в знаменателе)

Показатель	Концентрация калия в среде, ммоль/л					
	0,2	0,5	1,0	2,0	3,5 (контроль)	5,5
Масса зерна:						
на растение	4,05 3,64	4,14 —	4,28 —	4,34 —	4,08 3,81	4,00 3,32
с колоса главного побега	1,16 1,15	1,09 —	1,20 —	1,14 —	1,16 1,05	1,30 0,68**
с боковых побегов	2,89 2,49	3,05 —	3,08 —	3,20 —	2,92 2,76	2,70 2,64
Количество зерновок в колосе главного побега	26 25	24 —	28 —	25 —	24 24	31 14**
Озерненность колоса главного побега, %	96,7 80,0	95,4 —	94,9 —	94,1 —	90,1 74,0	95,7 57,0*
Масса 1000 зерновок, г	44,6 45,8	45,4 —	42,9 —	45,3 —	47,3 43,7	41,4 47,2

* Достоверно при P₀₅.
** » » P₀₁.

Содержание К, Са, Mg в побегах пшеницы СВ-151 (в числителе)
и Московская 21 (в знаменателе) в фазы колошения и созревания зерна
и в листьях фасоли в фазы цветения и созревания бобов

К в среде, ммоль/л	Фаза колошения (цветения), мкэв/г сырой массы				Фаза созревания зерна (бобов), мкэв/г сухой массы			
	К	Са	Mg	Σ	К	Са	Mg	Σ
Пшеница								
0,2	83,8**	74,7**	37,6**	196,1	0,55**	1,39**	0,34**	2,28
	60,0**	232,6**	103,1**	395,7	0,26**	2,09**	0,65**	3,00
0,5	107,0*	71,5**	28,3**	206,8	0,63**	1,38**	0,24**	2,25
	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	114,5	58,8*	27,6**	200,9	0,73**	1,26**	0,22**	2,21
	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	113,2	55,2	18,8	187,2	0,67**	1,32**	0,20**	2,19
	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5 (конт- роль)	114,8	53,7	17,8	186,3	0,78	1,02	0,13	1,93
	124,0	194,8	74,7	393,5	0,75	1,82	0,57	3,14
5,5	112,8	48,8*	24,5*	186,1	0,78	1,14	0,22**	2,14
	109,2	199,8	76,1	385,1	0,98**	1,46**	0,48**	2,92
Фасоль								
0,10	17,2**	191,2	115,3**	323,7	0,10**	3,30**	0,65**	4,05**
0,25	23,0**	208,7*	113,7**	345,4	0,14**	3,40**	0,47**	4,01**
0,50	31,5**	238,1**	68,8	338,4	0,25**	2,89**	0,38	3,47**
1,00	49,3**	196,5	56,4	302,2	0,29**	2,48**	0,25	3,02*
1,75 (конт- роль)	62,5	177,7	58,7	293,9	0,38	2,03	0,26	2,67
2,75	60,5	175,2	57,0	292,7	0,42	1,97	0,23	2,62

случае заметно снижались масса зерна, число зерновок в колосе главного побега и его озерненность.

Напротив, снижение концентрации калия относительно контроля почти в 20 раз не повлияло на эти показатели продуктивности пшениц. Как уже отмечалось выше (рис. 1), в отличие от пшеницы фасоль очень слабо поглощает калий из разбавленных растворов. В этой связи возникает вопрос о сходстве поглощающих механизмов, вероятно, энергозависимых, у пшениц (К-экстремальный тип) и фасоли (Са-экстремальный тип). На основании данных рис. 1 и табл. 1, по-видимому, можно сделать вывод, что постоянная концентрация калия в питательном растворе 1 ммоль/л вполне обеспечивает калийное питание сельскохозяйственных растений.

При изучении влияния концентрации калия в питательном растворе на содержание катионов в надземных частях растений выяснилось, что у фасоли кальция накапливалось намного больше, чем у пшениц (табл. 2). Это согласуется с широко известным положением о том, что бобовые обладают повышенной способностью к поглощению кальция. Вместе с тем обращает на себя внимание значительное накопление кальция пшеницей Московской 21, сходное по контрольным вариантам с накоплением его в побегах фасоли. Однако к концу жизненного цикла поглощение кальция у пшениц проходит с большей скоростью, чем у фасоли.

Если исключить варианты с низкими концентрациями, то в целом уровень содержания магния у пшеницы СВ-151 и фасоли практически

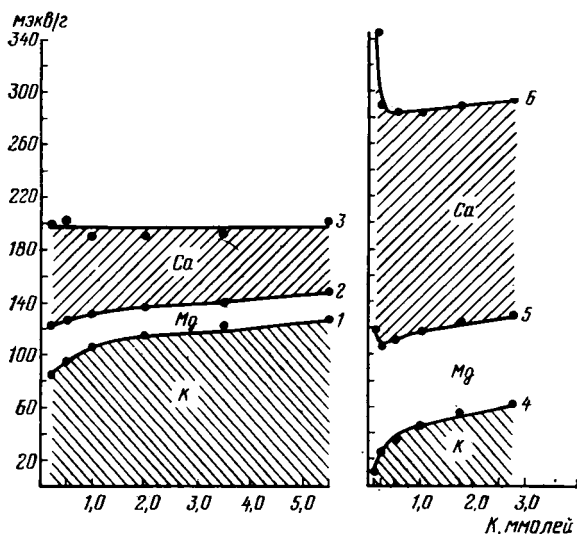


Рис. 2. Накопление катионов в побегах пшеницы сорта СВ 151 в фазу колошения (слева) и в листьях фасоли в фазу цветения (на сырую массу).

1, 4 — содержание калия в зависимости от концентрации его в растворе (рассчитано по уравнениям $\bar{y}_x = 30,22 \lg x + 104,70$ и $\bar{y}_x = 35,54 \lg x + 47,00$); 2, 5 — содержание магния в зависимости от концентрации калия в растениях ($\bar{y}_x = 52,66/x - 240$, $\bar{y}_x = 570,0/x + 58$); 3, 6 — содержание кальция в зависимости от концентрации калия в растениях ($\bar{y}_x = 6110/x + 3,0$; $\bar{y}_x = 880/x + 150$);

одинаковый. Между двумя видами пшениц различия по этому показателю значительно более существенные и, вероятно, могут рассматриваться как один из систематических критериев. С этой же точки зрения может быть оценен такой обобщенный показатель, как суммарная концентрация катионов, которая к тому же значительно варьирует при изменении условий калийного питания, приводящих к подавлению ростовых процессов у опытных растений. На единицу сырой массы сумма катионов в побегах пшеницы СВ-151 составляет около 200, Московской 21—400 и фасоли — 300 мкэв.

В целом по всем опытам четко видна положительная корреляция между концентрацией калия в среде и накоплением его в тканях побегов и отрицательная корреляция между содержанием кальция и магния и концентрацией калия в тканях растений. Мы рассчитывали соответствующие уравнения регрессии, приняв за точку отсчета концентрации калия в питательной среде, и по ним вывели соответствующие эмпирические зависимости (рис. 2 и 3).

На данных графиках верхняя кривая выражает не только концентрацию кальция в побегах, но и зависимость изменения суммы катионов от концентрации калия в среде. Если сопоставить кривые роста по-

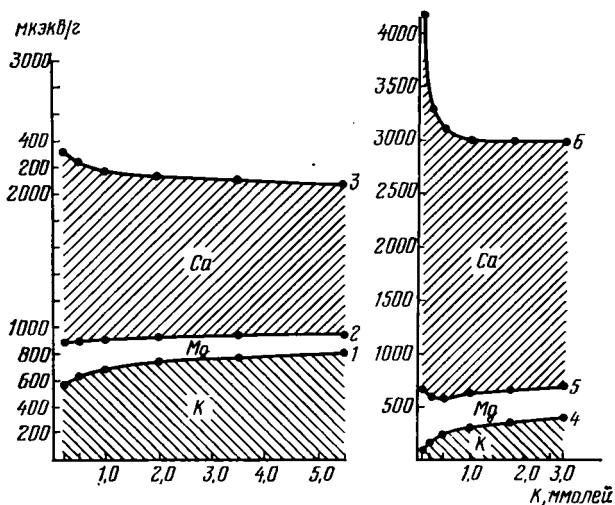


Рис. 3. Накопление катионов в побегах пшеницы сорта СВ 151 (слева) и листьях фасоли в фазу созревания (на сухую массу).

1, 4 — содержание калия в зависимости от концентрации калия в растворе (рассчитано по уравнениям $\bar{y}_x = 0,16 \lg x + 0,68$; $\bar{y}_x = 0,23 \lg x + 0,31$); 2, 5 — содержание магния в зависимости от концентрации калия в растениях ($\bar{y}_x = 0,33/x - 0,26$; $\bar{y}_x = 0,03/x + 0,22$); 3, 6 — содержание кальция в зависимости от концентрации калия в растениях ($\bar{y}_x = 0,62/x + 0,35$; $\bar{y}_x = 0,12/x + 2,06$).

бегов (рис. 1) с соответствующими кривыми на рис. 2 и 3, то высказанное утверждение об обратной зависимости между уровнем суммы катионов и ростом побегов выглядит достаточно убедительно.

Обсуждение результатов

Из представленных данных следует, что масса надземных органов пшениц при минимальной концентрации калия достоверно снижается; различия же по выходу зерна на одно растение оказались несущественными. По этой причине нет оснований рассматривать концентрацию калия 0,2 ммоль/л (8 мг/л) как критическую, если под последней понимать такую концентрацию, при которой проявляются признаки калийного голодания.

В этом узком смысле критической концентрации калия соответствуют концентрации порядка 0,01—0,1 мг/л [4, 5, 6, 8, 11]. Такой довольно широкий интервал критических концентраций обусловлен в большей мере видами опытных растений и в меньшей — методом их выращивания. В этой связи наибольший интерес вызывает работа Уильямса [12], в которой использована безупречная методика выращивания растений в условиях текучих растворов при очень большом (практически бесконечном) отношении объемов раствора к объему корней. На основе своих опытов с 11-недельными растениями ячменя автор показал, что концентрация калия в почвенном растворе 0,02—0,03 мг/л является достаточной, чтобы обеспечить нормальный рост растений. Однако увеличение массы корней и надземных органов достигалось при концентрациях калия от 1 до 50 мг/л. Интересно, что хотя накопление сухой массы надземными органами ячменя в этом интервале заметно колебалось, урожай зерна сохранялся примерно на одном уровне. Подобная картина наблюдалась и в наших опытах.

Казалось бы, на основании этих результатов можно решить вопрос об оптимальных условиях калийного питания. Однако это не так. Менгель и Форстер [9, 10] вначале на ячмене, а затем на овсе достаточно убедительно показали, что при установлении оптимальных концентраций калия необходимо учитывать не только размеры полученного урожая, но и его качество (содержание общего белка, его фракций, содержание жира и т. п.). В связи с этим ими было установлено, что оптимальными концентрациями калия для этих культур в условиях непрерывного питания растений раствором константного состава являются 0,9—1,0 ммоль/л.

Нами получены аналогичные данные как для пшениц, так и для фасоли — растений, стоящих на разных полюсах по типу калий — кальциевого питания [7]. Последнее обстоятельство дает право предполагать, что найденные оптимальные концентрации калия будут таковыми для широкого круга растений. Следует подчеркнуть, что Менгель и Форстер [9], обследовавшие разные по плодородию почвы, обнаружили, что на самых плодородных почвах концентрации калия в почвенном растворе также соответствовали примерно 1 ммоль/л. Таким образом, найденные в модельных опытах значения оптимальной концентрации питательных элементов, по-видимому, могут являться критерием обеспеченности почв минеральными элементами.

Как и ожидалось, реакция разных сортов пшениц на высокие концентрации калия оказалась неодинаковой. Так, у пшеницы Московская 21, в отличие от карлика СВ-151, наблюдалось резкое снижение озерненности главного колоса по сравнению с контрольным вариантом. В этой связи концентрация калия более 4 ммоль/л для средне- и длинностебельных пшениц является критической.

Приводимые данные по катионному составу пшениц и фасоли, в первых, подтверждают ранее высказанную точку зрения о регулируемо-

сти катионного равновесия в растительных тканях [1, 2, 3 и др.] и, во-вторых, еще раз показывают, что для роста большее значение имеет соотношение между К, Са, Mg и Na в тканях органов, чем в питательном растворе [2]. Резкое нарушение катионного равновесия в листьях фасоли, которое выражается в повышенном поглощении двухвалентных катионов, особенно кальция, приводит к подавлению ростовых процессов у фасоли.

Выводы

1. Оптимальной концентрацией калия, обеспечивающей рост и продуктивность пшениц и фасоли, является 1 ммоль/л. У среднестебельной пшеницы Московская 21, в отличие от короткостебельной, с повышением концентрации калия более 4 ммоль/л примерно вдвое снижается озерненность главного побега.

2. Катионное равновесие в тканях органов опытных растений является характеристическим показателем. Нарушение катионного равновесия в условиях калийной недостаточности приводит к подавлению роста побегов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крастина Е. Е., Лосева А. С. О некоторых закономерностях накопления катионов растениями. — Изв. ТСХА, 1974, вып. 3, с. 8—15. — 2. Петров-Спирidonov А. Е. Изменение катионного состава органов растений при варьировании концентрации К, Са, Mg и Na в среде. — Изв. ТСХА, 1978, вып. 1, с. 12—17. — 3. Уоллес А. Поглощение растениями питательных веществ из растворов. М.: Колос, 1966. — 4. Asher C. T., Ograune P. G. — Soil Sci., 1967, vol. 103, p. 155—162. — 5. Bartholomew R. P., Janssen Gr. — Soil Sci., 1929, vol. 27, p. 189—201. — 6. Besford R. T., Maw G. A. — Plant a. soil, 1975, vol. 42, p. 395—412. — 7. Horo K. O., Kinzel H. — Osterr. Bot. Z., 1971, vol. 119, p. 475—495. — 8. Johnston E. S., Hoagland D. R. — Soil Sci., 1929, vol. 27, p. 89—109. — 9. Mengel K., Forster H. — Acker-u. Pflanzenbau, 1968, Bd 127, S. 317—326. — 10. Mengel K., Forster H. — Plant a. soil, 1971, vol. 35, p. 67—75. — 11. Tyner E. H. — Soil Sci., 1935, vol. 39, p. 405—422. — 12. Williams D. E. — Plant a. soil, 1961, vol. 15, p. 387—399.

Статья поступила 12 апреля 1981 г.

SUMMARY

The constitution of cations in shoots of spring wheat and beans, as well as productivity of plants depending on potassium concentration in Knop's solution (0.2—5.5 mmol/l for wheat and 0.10—2.75 mmol/l of K for beans) were studied. The specificity of the technique is to maintain the composition of the solution as stable as possible.

It is shown that for these plants the optimum potassium concentration is 1.0 mmol/l. If the concentration was higher than 4.0 mmol/l, percentage of kernel in the main shoot became lower in middle-stalked wheat Moskovskaja 121, unlike that in short-stalked SV-151 (dwarf of Canadian selection); at 5.5 mmol/l it made only 50 % compared to the check plant.

Cation balance in shoots of the experimental plants is an important characteristic, as it shows the plants' response to conditions of mineral nutrition. The balance failure correlated with depression of growth processes.