

УДК 633.353:631.81.031

## ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ У ГОРОХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ

В. В. ГОВОРИНА, Б. А. ЯГОДИН

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В вегетационных опытах (1981—1982 и 1984 гг.), поставленных по факториальной схеме (6×6×6), установлено, что урожаи разной величины различаются по соотношению элементов питания и что условия питания, обеспечивающие получение максимально возможного урожая, способствуют одинаковому относительному накоплению в растениях NPK.

Минеральное питание растений можно характеризовать двумя показателями: количественным — интенсивностью потребления каждого элемента и качественным — определенным соотношением элементов в растениях во время вегетации [6, 7]. Растения в силу своих физиолого-генетических свойств стремятся поддерживать химический состав на определенном количественном и качественном уровне, проявляя избирательность при потреблении элементов питания. При этом, как показали исследования, сущность избирательной способности растений состоит не столько в стабилизации абсолютных размеров поглощения тех или иных элементов, сколько в поддержании определенных соотношений между ними в тканях [2, 3, 8]. В связи с этим указанные соотношения являются более устойчивой характеристикой в разных условиях выращивания растений, чем абсолютное накопление элементов. Многими авторами экспериментально доказано, что в условиях абсолютной обеспеченности элементами питания, а также при прочих благоприятных условиях выращивания растения накапливают элементы питания в определенном соотношении, характерном для данного вида [11—14]. Так, в опытах с яровой пшеницей, выращиваемой в условиях проточных культур с разным соотношением NPK в смеси Кнопа, было установлено, что соотношение элементов в целых растениях не зависит от соотношения их в среде и мало отличается от наблюдаемого в полевых условиях на черноземе — 30 : 10 : 60 [16—20]. Выявлено постоянство соотношения NPK в зерне ячменя (в среднем 80 : 14 : 6 для разных подвидов, сортов и почвенно-климатических зон) [4]. Постоянным соотношением основных элементов питания характеризуются многие виды дикой флоры в разных районах Дальнего Востока [1].

При нормальном развитии растений затраты элементов питания на единицу продукции довольно стабильны и не зависят от уровня урожайности [10, 15]. Однако в условиях ограниченного запаса питания урожай и его качественный состав меняются в зависимости от абсолютной обеспеченности всеми элементами [25]. Существующие методы расчета доз удобрений на планируемые урожаи разной величины одной и той же культуры, в которых используются средние значения содержания элементов питания для расчета их выноса растениями, не учитывают изменчивости качественной характеристики минерального питания [5], что снижает их точность. В связи с этим нами были проведены исследования, позволившие проследить за изменением качественного показателя минерального питания у гороха в зависимости от обеспеченности основными элементами питания и уровня урожайности.

### Методика

В опыте использовался факториальный периодод, который позволяет установить закономерности, характеризующие действие последовательно возрастающих доз азота, фосфора и калия и их сочетаний в широ-

ком диапазоне концентраций на продуктивность и химический состав растений.

На агрохимической опытной станции ТСХА были заложены вегетационные опыты с горохом пелюшкой сорта Фаленская

Агрохимическая характеристика почвы

Год	pH <sub>сол</sub>	H <sub>г</sub>	S	Al, мг/100 г	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>	P	K
		мэкв/100 г			мг/кг			
1981	3,7	6,64	2,60	4	53	22	1,96	6,47
1982	4,0	4,25	3,20	5	13	14	2,09	7,80
1984	3,9	5,67	2,40	9	49	80	1,74	9,23

40. Растения выращивали в сосудах Митчерлиха вместимостью 5 кг абсолютно сухой почвы. Для опытов использовали дерново-подзолистую тяжелосуглинистую почву, взятую в квартале 2 лесной опытной станции ТСХА (табл. 1).

Семена перед посевом обрабатывали активным штаммом клубеньковых бактерий № 250а и 1% раствором молибденовокислого аммония. В каждом сосуде выращивали 18 растений до межфазного периода конец цветения — начало плодообразования. Растительные образцы фиксировали при 105° и высушивали до абсолютно сухого состояния. Содержание общего азота в них определяли методом Йодльбауэра с последующим отгоном на приборе микроКьельдаля, фосфора — методом Труога — Мейера с фотоколориметрическим окончанием, калия — фотометрически. Почву известковали по полной норме гидролитической кислотности. Элементы питания в виде нитрата аммония, однозамещенного фосфата кальция и хлористого калия вносили по следующей схеме:

000	003	030	033	300	303	330	333
111	114	141	144	411	414	441	444
222	225	252	255	522	525	552	555

где в условных единицах первой цифрой выражена доза азота, второй — фосфора, третьей — калия. Схема опыта представляет собой 24-вариантную выборку из полной факториальной схемы вида (три фактора в шести градациях — 6X6X6). Теоретическое обоснование построения схемы опыта дано в работах В. Н. Перегудова и Т. И. Ивановой [21—24].

Испытывалась широкая амплитуда доз (мг элемента на 1 кг почвы): в 1981 г. для всех элементов от 0 до 250 (кратность каждой дозы 50), в 1982 и 1984 гг. для азота — от 0 до 150 (кратность 30), фосфора — от 0 до 250 (кратность 50), калия — от 0 до 350 (кратность 70). Для сравнимости результатов опыта 1981 г. с опытами последующих лет все показатели (урожайные и аналитические) методом интерполяции приведены в соответствие в пределах диапазона исследуемых концентраций элементов питания.

Полученные данные подвергали математической обработке методом корреляционно-регрессионного анализа на ЭВМ с использованием десятичной половинной модели. Полученные производственные функции служили основой для расчета всех показателей по полной факториальной схеме.

## Результаты

Подробный анализ производственных функций 1, 2 и 3, а также урожайных данных по развернутой схеме опыта обсуждался нами ранее [26]. В частности, было установлено, что в условиях повышенных температур в 1981 г. накопление абсолютно сухой массы горохом происходило преимущественно за счет потребления минерального азота удобрений. При последовательном увеличении уровня питания урожай повышался за счет положительного взаимного влияния азота и фосфора (функция 1). В условиях, благоприятствующих проявлению бобово-ризобияльного симбиоза, максимальный урожай определялся отрицательным взаимным влиянием азота и фосфора в 1982 и 1984 гг. (функции 2, 3). Однако одинаковые уровни урожая можно было получить как за счет преимущественно минерального азота, так и за счет симбиотического азота.

$$Y_{1981} = 17,04 + 5,64N^{0.5} - 2,12N + 9,53P^{0.5} - 3,32P + 3,54K^{0.5} + 2,63(NP)^{0.5} \quad R = 0,969, \quad (1)$$

$$Y_{1982} = 22,95 - 7,54N^{0.5} + 6,44N + 25,42P^{0.5} - 3,58P + 2,04K^{0.5} - 4,18(NP)^{0.5} \quad R = 0,970, \quad (2)$$

$$Y_{1984} = 12,31 - 5,28N^{0.5} + 2,50N + 17,09P^{0.5} - 1,87P + 5,17K^{0.5} - 2,52K + 1,87(PK)^{0.5} \quad R = 0,994. \quad (3)$$

Расчет экстремальных значений производственных функций, характеризующих влияние возрастающих доз азота, фосфора и калия на про-

Урожай гороха (числитель, г/сосуд) и соотношение N : P : K в нем (знаменатель, % от суммы). 1981 г.

N	P	K				
		0	1	2	3	4
5	0	19,03	22,56	24,03	25,15	26,11
		76:4:20	70:4:26	67:4:29	66:4:30	65:4:31
1	1	31,11	34,64	36,11	37,23	38,19
		73:6:21	66:5:29	64:5:31	62:5:33	60:5:35
2	2	34,17	37,70	39,17	40,29	41,25
		72:6:22	66:6:28	64:5:31	61:5:34	60:5:35
3	3	35,75	39,28	40,74	41,87	42,83
		72:7:21	66:6:28	63:6:31	61:6:33	60:6:34
4	4	36,55	40,08	41,55	42,67	43,63
		73:7:20	66:6:28	63:6:31	61:6:33	60:6:34
5	5	36,87	40,44	41,87	42,99	43,95
		73:8:19	66:7:27	63:7:30	61:7:33	61:6:33

дуктивность гороха (масса вегетативных органов), показал, что экспериментально максимум был получен только в 1984 г. по фактору K и соответствовал уровню  $K_3$  (210 мг K на 1 кг почвы). Другие максимальные значения функций лежат за пределами экспериментального диапазона концентраций элементов питания. Так, в 1981 г. расчетный максимум по фактору N соответствовал 8,6, по фактору P — 6,8 условной единицы, что составляет соответственно 258 и 335 мг/кг. При внесении такого количества азота и фосфора на фоне наивысшего из рассматриваемых уровней калийного питания можно было бы получить урожай абсолютно сухой массы гороха, равный 44,86 г на сосуд. В опыте самый высокий урожай — 43,95 г на сосуд — был в варианте 554. Он оказался на 0,91 г, или на 2 %, меньше максимально возможного при варьировании уровней трех основных элементов питания.

Определение максимума функций 2 и 3 по фактору N не имеет смысла, так как графически они имеют вид вогнутых кривых, что было показано нами ранее [26]. В 1982 и 1984 гг. максимальный урожай был получен на безазотном фоне. С учетом этого производили расчет максимума функций по фактору P, который соответствует в опыте 1982 г. 7,3 условной единицы, или 356 мг P на 1 кг почвы. При таких условиях, как показывают расчеты, можно было бы получить урожай 70,06 г на сосуд, что на 3,56 г, или на 5 %, больше максимального, полученного экспериментально в варианте 055. Таким образом, наивысший урожай в условиях 1982 г. составил 95 % максимально возможного (при более высоком уровне фосфорного питания и прочих равных условиях).

В 1984 г. на безазотном фоне и самом высоком уровне калийного питания максимум функции по фактору P соответствует 10,6 условной единицы, или 544 мг P на 1 кг почвы. Теоретически такие условия могли бы обеспечить получение максимального урожая, равного 60,28 г на сосуд. Фактически максимальный урожай в опыте составил 49,69 г, или 82 % возможного. Необходимость увеличения дозы фосфорного удобрения в 1984 г. в 1,56 раза по сравнению с его дозой в 1981 г. и в 1,45 раза — в 1982 г. объясняется, вероятно, высоким содержанием в почве подвижного алюминия, связывающего минеральные фосфаты в мало доступные растениям соединения.

Таким образом, урожаи абсолютно сухой массы гороха, полученные экспериментально, лежат на возрастающем участке кривой урожая, при этом их значения в разной степени удалены от максимального значения, во-первых, из-за недостаточно высокого уровня фосфорного питания и, во-вторых, вследствие действия комплекса неконтролируемых климатических и почвенных условий.

Урожай гороха (числитель, г/сосуд)  
и соотношение N : P : K в нем  
(знаменатель, % от суммы). 1982 г.

N	P	K					
		0	1	2	3	4	5
0	0	22,95	24,99	25,83	26,48	27,03	27,51
		71:5:19	69:5:26	68:5:27	67:5:28	66:5:29	65:5:30
	1	44,79	46,83	47,67	48,32	48,87	49,35
		78:7:15	71:7:22	68:7:25	67:7:26	66:6:28	65:6:29
	2	51,73	53,77	54,61	55,26	55,81	56,29
		79:8:13	71:8:21	68:7:25	67:7:26	65:7:28	63:7:30
	3	56,24	58,28	59,12	59,77	60,32	60,80
		79:9:11	71:8:21	68:8:24	67:8:25	65:7:28	64:7:29
	4	59,47	61,51	62,35	63,00	63,55	64,03
		80:10:10	72:9:19	69:8:23	67:8:25	65:8:27	64:8:28
	5	61,89	63,93	64,77	65,42	65,97	66,45
		81:10:9	72:9:19	69:8:23	67:8:25	65:8:27	64:8:28

Соотношение элементов в растениях резко колебалось при одностороннем внесении удобрений. Так, в 1981 г. (табл. 2) внесение в почву только калия изменяло долю азота в соотношении от 76 до 65, доля калия увеличивалась от 20 до 31, доля фосфора не менялась. При одностороннем внесении фосфорного удобрения доли азота и калия в соотношении менялись незначительно, а фосфора увеличивалась в 2 раза. По мере увеличения доз удобрений до уровня, обеспечивающего получение урожая, близкого к максимальному, колебания доли элементов в соотношении сокращались по мере уменьшения разницы между урожаями. При максимальном уровне питания соотношение N : P : K равно 61 : 6 : 33. Урожаи разной величины, не достигающие максимального значения, различались между собой по этому показателю. В 1981 г. по развернутой схеме опыта в 12 случаях получены одинаковые урожаи — 40 г на сосуд, а соотношения основных элементов в растениях были различными: доля азота колебалась от 56 до 66, фосфора — от 5 до 7, калия — от 27 до 38.

Итак, урожаи не только разной величины, но и одинаковые, полученные при различных уровне и соотношении элементов в удобрении, накапливают элементы в различных соотношениях.

Таблица 4

Урожай гороха (числитель, г/сосуд)  
и соотношение N : P : K в нем  
(знаменатель, % от суммы). 1984 г.

N	P	K			
		0	1	2	3
0	0	12,31	14,96	14,58	13,70
		64:5:31	54:4:42	50:4:46	46:4:50
	1	27,53	32,02	32,40	32,09
		74:7:19	60:6:34	54:6:40	50:5:45
	2	32,53	37,99	38,69	38,64
		78:8:14	63:7:30	57:6:37	52:6:42
	3	36,30	42,12	43,08	41,21
		81:9:10	65:8:27	59:7:34	55:6:39
	4	39,01	45,34	46,48	46,77
		82:9:9	67:8:25	60:7:33	56:7:38
	5	41,17	47,99	49,26	49,69
		84:10:6	69:8:23	62:8:30	58:7:35

Такая же закономерность прослеживалась в опытах 1982 и 1984 гг. Соотношение N:P:K в максимальных урожаях составило соответственно 64:8:28 и 58:7:35 (табл. 3 и 4), в среднем за 3 года — 61:7:32. Разница в соотношении по годам объясняется, во-первых, очень растянутым межфазным периодом конец цветения — начало плодообразования у гороха и, во-вторых, разной степенью «удаленности» наивысшего урожая, полученного в опыте, от максимально возможного в данных условиях.

Характер изменения качественного показателя минерального питания позволяет сделать вывод о том, что высшая степень проявления растениями своих биологических способностей возможна только в

условиях оптимального абсолютного уровня элементов питания в среде. Отсюда следует, что расчет доз удобрений должен основываться на максимальных биологических возможностях сорта. При планировании урожаев разной величины необходимо учитывать их разнокачественность, а также то, что получение таких урожаев с заданной качественной характеристикой затруднительно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабури́н А. А. Видовые особенности соотношения элементов питания в растениях. — *Агрохимия*, 1980, № 5, с. 70—2.
2. Вахми́стров Д. Б. О двух механизмах избирательности при поглощении растениями элементов минерального питания. — *Физиология растений*, 1966, т. 13, вып. 5, с. 807—813.
3. Вахми́стров Д. Б., Журби́цкий З. И. О диапазоне избирательной способности растений к поглощению элементов минерального питания. — *Докл. АН СССР*, 1963, т. 151, № 5, с. 1228—1231.
4. Вахми́стров Д. Б., Федоров А. А. Анализ сортовых различий минерального состава ячменя в зависимости от их продуктивности. — *Агрохимия* 1978, № 7, с. 46—56.
5. Демин В. А. Определение доз удобрений под с.-х. культуры. — М.: ТСХА, 1981.
6. Журби́цкий З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
7. Журби́цкий З. И. Физиологические показатели минерального питания растений. — Физиологическое обоснование системы питания растений. М.: Наука, 1964, с. 6—15.
8. Журби́цкий З. И., Вахми́стров Д. Б. Обеспечение помидоров азотом, фосфором и калием по этапам роста в связи с избирательной способностью растений. — Физиологическое обоснование системы питания растений. М.: Наука, 1964, с. 15—21.
9. Журби́цкий З. И., Лаври́ченко В. М. О константности соотношений элементов минерального питания, поглощаемых растениями, при регулировании факторов внешней среды в искусственных условиях. — *Агрохимия*, 1979, № 10, с. 69—74.
10. Иванникова Л. А., Булаткин Г. А. Биологическое потребление и вынос питательных элементов озимой пшеницей. — *Агрохимия*, 1983, № 7, с. 49—53.
11. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений и один из возможных аспектов его практического использования. — *Изв. АН СССР. Сер. биол.*, 1975, К? 10, вып. 2, с. 70—76.
12. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений. Факторы, его определяющие. — *Изв. СО АН СССР. Сер. биол.*, 1977, № 10, вып. 2, с. 3—14.
13. Ильин В. Б. Химические элементы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1982.
14. Колосова Н. А. Содержание питательных элементов в растениях яровой пшеницы в зависимости от уровня питания. *Тр. ВИУА*, 1981, вып. 60, с. 124—134.
15. Кулаковская Т. Н. Применение удобрений. Минск: Ураджай, 1970.
16. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н. О соотношении элементов питания в среде и продуктивности растений. — *Агрохимия*, 1982, № 3, с. 126—132.
17. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н., Осипова Л. В. Влияние соотношения элементов питания в среде на продуктивность яровой пшеницы. — *Докл. ВАСХНИЛ*, 1978, № 5, с. 14—16.
18. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н., Осипова Л. В. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от соотношения элементов питания в среде. — *Агрохимия*, 1982, № 1, с. 57—60.
19. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н., Осипова Л. В. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от соотношения элементов минерального питания. Сер. «Обзоры по важнейшим научно-техническим проблемам М.: ВНИИТЭИСХ, 1984.
20. Осипова Л. В. Изучение минерального питания пшеницы в контролируемых условиях. — Автореф. канд. дис. М., 1979.
21. Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. — М.: Колос, 1978.
22. Перегудов В. Н., Иванова Т. И. Некоторые особенности планирования и математической обработки данных специального, многовариантного опыта по изучению закономерностей действия удобрений. — *Агрохимия*, 1972, № 7, с. 119—130.
23. Перегудов В. Н., Иванова Т. И. Задачи исследования, конструкция схемы и методы математического анализа данных опытов с удобрениями. — *Тр. ВИУА*, 1977, вып. 56, с. 5—14.
24. Перегудов В. Н., Иванова Т. И., Сошникова М. И. Методика постановки и математической обработки результатов полевого опыта по изучению закономерностей действия минеральных удобрений, поставленного по неполной факториальной схеме 1/9 (6X6X6). — *Агрохимия*, 1978, № 10, с. 122—132.
25. Петербургский А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М.: Наука, 1979.
26. Ягодин Б. А., Говорина В. В. О закономерностях действия элементов питания на продуктивность гороха. — *Изв. ТСХА*, 1986, вып. 3, с. 85—91.

*Статья поступила 17 октября 1986 г.*

#### SUMMARY

It is shown in greenhouse experiments (1981—1982, 1984) conducted according to factorial scheme (6x6x6) that yields differ in the ratio of nutritive elements. It is also found that nutritional conditions providing maximum yield contribute to uniform relative NPK accumulation in plants. During three years when the research was conducted the average NPK relation in pea plants in late flowering — early fruit formation period made 6 : 7 : 3.2.