

УДК 631.816.1:631.445.25

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЧМЕНОМ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ИХ СООТНОШЕНИИ В УДОБРЕНИИ

М. В. ВИЛЬЯМС, Б. А. ЯГОДИН, Н. В. ТИМОЩУК, Т. А. ДЕМЬЯНОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Оценивали зависимость соотношения N:P:K в выносе с урожаем зерна ячменя от сочетания этих элементов в удобрении на основании результатов полевых опытов. Растения выращивали при низком и высоком уровнях удобрения (соответственно 6 и 12 кг атом/га) с широким варьированием соотношения N:P:K. Для графического выражения тройных соотношений на плоскости использовали треугольную матрицу Шрайнемахера. Построена модель для установления внутреннего оптимума соотношения N:P:K в выносе с урожаем зерна. При высоком уровне удобрения внешний оптимум отличался от внутреннего большей долей фосфора (в 2 раза).

Различное соотношение N:P:K в удобрении по-разному сказывается на урожае зерна ячменя [8]. Между тем в литературе отмечается [6], что соотношение N:P:K в питательной среде незначительно влияет на урожайность. В частности, при неограни-

чном уровне питания в водной культуре соотношение элементов не отражается на продуктивности яровой пшеницы [3], что объясняется избирательной способностью растений к поглощению элементов питания.

Растения поглощают элементы в количествах, необходимых для обеспечения их продуктивности в конкретных условиях. Различают две формы проявления избирательной способности растений — абсолютную и относительную [1]. Первая изучена достаточно хорошо и заключается в том, что при изменении количества того или иного элемента в питательной среде его поглощение растениями изменяется в меньшей степени. Вторая связана с тем, что при изменении соотношения питательных элементов в среде в определенном диапазоне их вынос растениями изменяется в значительно более узком диапазоне [2]. В опытах с песчаной культурой ячменя, в которых была разработана математическая модель зависимости соотношения N:P:K в растениях от их соотношения в среде, относительная избирательность растений составляла только половину максимально возможной. В полевых условиях такого рода исследований еще не проводили, тем не менее это представляет несомненный интерес с точки зрения повышения эффективности использования удобрений.

Задачей настоящей работы была количественная оценка зависимости соотношения U:P:K в выносе с урожаем зерна ячменя и соотношением этих элементов в удобрении.

Методика

Схемы опытов даны в предыдущем сообщении [8]. Полевые опыты с ячменем Белогорский проводили в учхозе «Дружба» Ярославской области на серых лесных среднесуглинистых почвах. В опыте 1987 г. суммарное содержание N, P и K составляло 6 и 12 кг атом/га — соответственно низкий (I) и высокий (II) уровень удобрённости, в опыте 1988 г. — 12 кг атом/га. Для графического выражения тройных соотношений на плоскости использовали треугольную матрицу Шрайнемахера [3]. После уборки урожая в зерне определяли

содержание N, P и K нейтронно-активационным методом на автоанализаторе НАА-1. При проведении анализов контроль точности осуществляли на основе внутрилабораторных и государственных стандартов [5], затем рассчитывали содержание элементов и соотношение между ними в выносе с урожаем зерна. Абсолютные количества элементов выражали в кг-атомах, а их относительные уровни (доли в соотношении N:P:K) — в ат. % (от суммы 3 элементов, выраженной в кг-атомах).

Результаты

Вынос элементов с урожаем зерна изменялся в зависимости от их соотношения и уровня удобрённости. Так, при высоком уровне удобрённости вынос элементов был в 1,5—2 раза выше, чем при низком (табл. 1).

Об оптимальном сочетании элементов в удобрении можно судить по степени их использования растениями. Из данных табл. 2 и 3 следует, что абсолютный вынос $N+P+K$ был выше при соот-

Т а б л и ц а 1

Соотношение N:P:K в удобрении и вынос элементов с урожаем зерна (опыт 1987 г.)

Соотношение элементов, ат. %			Вынос с урожаем, кг/га			Вынос с урожаем, кг атом/га		
N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
0	67	33	14,1	18,1	15,1	1,01	0,25	0,32
			22,8	30,1	23,3	1,63	0,42	0,52
0	33	67	15,1	19,6	16,0	1,08	0,27	0,34
			18,2	24,4	19,8	1,30	1,30	0,42
50	0	50	23,1	28,7	21,8	1,65	0,40	0,46
			43,1	46,9	37,7	3,08	0,66	0,80
67	0	33	28,0	38,6	27,0	2,00	0,54	0,57
			57,7	71,7	49,3	4,12	1,00	1,05
67	33	0	35,4	50,3	32,9	2,53	0,71	0,70
			73,0	99,2	66,0	5,21	1,40	1,40
50	50	0	47,0	61,5	44,7	3,36	0,87	0,95
			65,4	84,9	56,7	4,67	1,20	1,20
17	50	33	28,4	35,8	29,8	2,03	0,50	0,63
			52,3	74,4	48,6	3,74	1,05	1,03
17	33	50	23,9	32,4	26,6	1,71	0,46	0,57
			46,1	57,9	42,2	3,29	0,82	0,90
50	33	17	37,2	50,3	36,7	2,70	0,71	0,78
			73,6	87,2	64,3	5,26	1,23	1,37
50	17	33	32,1	43,2	33,5	2,29	0,61	0,71
			65,6	77,0	58,8	4,69	1,08	1,25
33	33	33	31,3	44,1	33,7	2,24	0,62	0,72
			56,9	70,4	53,3	4,06	0,99	1,13
Контроль (без удобрений)			—	—	—	—	—	—
			15,8	20,5	16,9	1,13	0,29	0,36

Примечание. Здесь и в табл. 2 числитель—I уровень удобренности, знаменатель—II уровень.

ношении этих элементов, близком к оптимальному. В опыте 1987 г. максимальные коэффициенты использования элементов питания (66 и 67 %, а также 70 и 66 %) наблюдались при соотношении N:P:K в удобрении 67:33:0 и 50:33:17 ат. %, а оптимум составил 69:22:9 (I уровень удобренности) и 58:30:12 ат. % (II уровень). В опыте 1988 г. максимальные коэффициенты использования (78 и 80 %) отмечены при соотношении N:P:K в удобрении 50:30:20 и 50:40:10 ат. %, а найденный оптимум был равен 54:31:15 ат. %. По мере удаления от оптимума коэффициенты использования снижались до 45 и 26 %.

Соотношение элементов в выносе урожая зерна изменялось в значительно более узком диапазоне, чем в удобрении. На рис. 1 показано, какое соотношение N:P:K можно ожидать в выносе (опыт 1988 г.). Стрелки на графике означают относительную избирательную способность растений, а каждая из них представляет собой регуляторную «поправку», которую растения вносят в соотношение между N, P и K при их поглощении из наружной среды. Направление стрелок указывает на возможную область

внутреннего оптимума N : P : K для поглощения растений, а их протяженность — на степень избирательности растений.

На рис. 1 также видно, что все стрелки направлены к одной области с координатами 69N, 15P, 16K ат.%. В данном случае можно предположить, что эти координаты соответствуют внутреннему оптимуму соотношения N : P : K для растений в опыте 1988 г.

При сопоставлении оптимальных соотношений N : P : K в удобрении и в выносе с урожаем зерна (табл. 4) возникает вопрос, насколько различаются между собой внешний и внутренний оптимумы этих соотношений. При низком уровне удобренности они достаточно близки, а различие в долях калия (10 ат.%) нивелирует неполное соответствие долей азота и фосфора, в то же время при высоком уровне удобренности внешний и внутрен-

Таблица 2

Степень использования элементов питания растениями и их соотношение в выносе с урожаем зерна (опыт 1987 г.)

Вынос N+P+K, кг атом/га	Коэффициент использования N+P+K, %	Соотношение элементов в выносе с урожаем, ат. %		
		N	P	K
1,58	26	64	16	20
2,55	21	64	16	20
1,69	28	64	16	20
2,06	17	63	17	20
2,51	41	66	16	18
4,44	37	69	15	16
3,11	52	64	17	19
6,17	51	67	16	17
3,94	66	64	18	18
8,01	67	65	17	18
5,18	86	65	17	18
7,08	59	66	17	17
3,16	53	64	16	20
5,82	49	64	18	18
2,74	46	62	17	21
5,01	42	66	16	18
4,19	70	64	17	19
7,86	66	67	16	17
3,61	60	63	17	20
7,02	59	67	15	18
3,58	60	63	17	20
6,18	52	66	16	18
—	—	—	—	—
1,78	15	63	16	2

Таблица 3

Степень использования элементов питания и их соотношение в выносе с урожаем зерна (в опыте 1988 г.)

Соотношение элементов в удобрениях, ат. %			Вынос с урожаем, кг/га			Вынос с урожаем, кг атом/га				Коэффициент использования N+P+K, %	Соотношение элементов в выносе с урожаем, ат. %		
N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K	суммарный		N	P	K
10	10	80	51,5	63,2	39,5	3,67	0,89	0,84	5,40	45	66	16	18
30	10	60	53,3	70,8	46,3	3,81	1,00	0,98	5,79	48	66	17	17
50	10	40	81,4	79,2	53,7	5,81	1,12	1,14	8,07	67	72	14	14
70	10	20	89,0	84,0	63,3	6,35	1,18	1,35	8,88	74	72	13	15
80	10	10	91,0	84,6	61,5	6,49	1,19	1,31	8,99	75	72	13	15
70	20	10	80,6	89,9	68,3	5,75	1,27	1,45	8,47	71	68	15	17
50	40	10	91,6	113,7	66,3	6,54	1,60	1,41	9,54	80	69	17	14
30	60	10	70,8	81,2	56,9	5,06	1,14	1,21	7,41	62	68	15	17
10	80	10	66,0	69,2	49,4	4,72	0,98	1,05	6,75	56	70	14	16
50	20	30	84,8	88,8	62,4	6,06	1,25	1,33	8,64	72	70	14	16
50	25	25	79,6	87,7	60,4	5,69	1,24	1,28	8,21	68	69	15	16
50	30	20	81,0	98,1	70,6	6,50	1,38	1,50	9,38	78	69	15	16
Контроль (без удобрений)			52,4	52,4	42,3	3,74	0,74	0,90	5,38	45	69	14	17

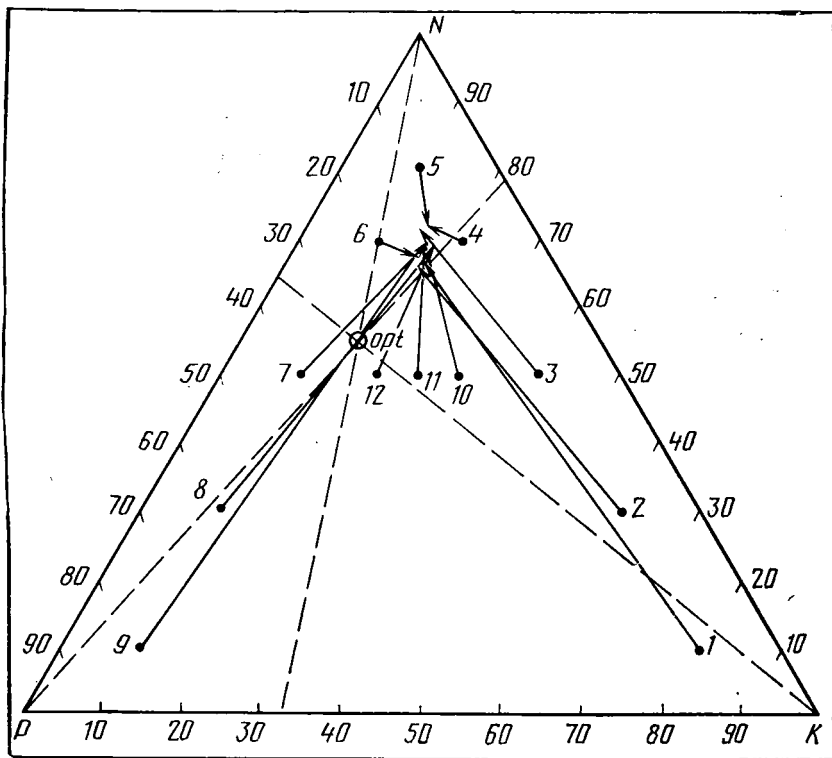


Рис. 1. Соотношение N : P : K в выносе с урожаем зерна ячменя при разных соотношениях N : P : K в удобрении (опыт 1988 г.).

Opt — оптимум соотношения N : P : K в удобрении (54 : 31 : 15 ат. %).

ний оптимумы неидентичны. В данном случае различия касаются доли азота (8 ат. % в опыте 1987 г. и 15 ат. % в опыте 1988 г.) и доли фосфора (соответственно 14 и 16 ат. %). Они сводятся к тому, что во внешнем оптimumе доля азота ниже, а доля фосфора выше, чем во внутреннем.

Эту оценку можно считать предварительной. Однако выявленная тенденция, особенно в связи с различиями в относительном

Таблица 4

Внешний (в удобрении) и внутренний (в выносе с урожаем зерна) оптимумы соотношения N : P : K

Опыт	N+P+K, кг атом/га	Оптimum N:P:K, ат. %	
		внешний	внутренний ($\bar{x} \pm s$)
1987 г.	6	69:22:9	64 ($\pm 1, 9$):17 ($\pm 1, 3$):19 ($\pm 1, 9$)
1987 г.	12	58:30:12	66 ($\pm 3, 6$):16 ($\pm 1, 8$):18 ($\pm 3, 2$)
1988 г.	12	54:31:15	69 ($\pm 4, 2$):15 ($\pm 1, 9$):16 ($\pm 3, 6$)

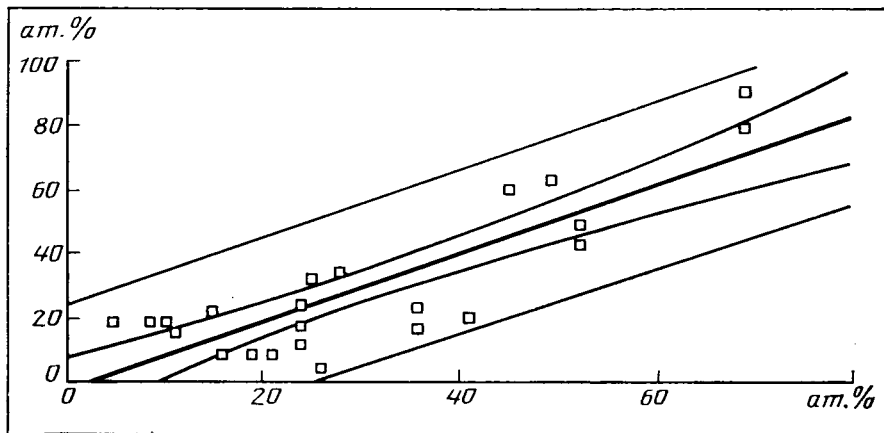


Рис. 2. Зависимость регуляторной «поправки», вносимой растениями в соотношение N : P : K при их поглощении, от степени неуравновешенности среды.

уровне фосфора (в 2 раза), дает основание полагать, что при определении балансовых коэффициентов для нормативной основы применения удобрений следует учитывать не только абсолютную, но и относительную избирательность растений.

Как видно на рис. 1, чем дальше от оптимума отклоняется соотношение N:P:K в удобрении (координаты начала стрелок), тем сильнее оно изменяется в выносе (длина стрелок). Из этого следует, что степень неуравновешенности среды можно выразить с помощью отклонения долей элементов в удобрении (по вариантам опытов) от оптимального, а регуляторную «поправку», вносимую растениями во внешнее соотношение, — как разность между соотношением N:P:K в удобрении и в выносе с урожаем зерна.

На рис. 2 даны степень неуравновешенности соотношения N:P:K в удобрении (ось абсцисс) и регуляторная «поправка» (ось ординат). Разность между двумя тройными соотношениями N:P:K выражали как полусумму разностей N, P и K (без учета знака), что позволило объединить в одном графике результаты двух опытов независимо от уровня удобренности и расположения вариантов на плоскости треугольной матрицы.

Регуляторная «поправка», вносимая растениями по азоту, фосфору и калию при их поглощении (Δy_{Σ}), возрастает с увеличением неуравновешенности среды (Δx_{Σ}). Зависимость между ними может быть выражена уравнением линейной регрессии $\Delta y_{\Sigma} = 2,44 + 0,88 \Delta x_{\Sigma}$ с коэффициентом корреляции $R_{y, x} = 0,90$. Коэффициент регрессии служит количественной мерой регуляторной, или избирательной, способности растений. Он показывает, что при отклонении соотношения элементов в удобрении от оптимума на 1 ат.% растения «сдвигают» соотношение

N : P : K в сторону внутреннего оптимума на 0,88 ат.%. Теоретически этот коэффициент может варьировать от единицы (полная регуляция) до нуля (полное отсутствие регуляции). Такая степень избирательности должна сохраняться во всем испытанном диапазоне отклонений соотношения N : P : K в среде от оптимального. Действительно, начальная ордината линии регрессии, составляющая 2,44 ат.%, невелика и находится в пределах доверительного интервала ($\pm 2\sigma = \pm 20$ ат.%). Поэтому с вероятностью 0,95 можно считать, что данная линия проходит через нуль координат (рис. 2).

Количественная характеристика относительной избирательности растений справедлива только для конкретных условий постановки эксперимента. В наших опытах с ячменем на серой лесной среднесуглинистой почве регуляторная способность растений приближалась к своему максимальному значению, в то же время в опытах с песчаной культурой относительная избирательность составляла только половину максимально возможной. Вероятно, гомеостатические свойства почвы обеспечивают тот доступный растениям обменный фонд, который позволяет повысить их избирательную способность по сравнению с таковой при выращивании растений на инертной среде.

Следует остановиться еще на одном аспекте относительной избирательности растений. В предыдущей работе [8] была показана отрицательная регрессия урожаев по мере увеличения неуравновешенности среды. Очевидно, что наличие прямой пропорциональной зависимости между степенью этой неуравновешенности и регуляторной «поправкой» свидетельствует о необходимости дополнительных энергетических затрат на осуществление относительной избирательности и поддержание элементного статуса растений.

Выводы

1. Приближение соотношения N : P : K к оптимальному сопровождалось увеличением абсолютных размеров выноса N+P+K с урожаем зерна ячменя до 68—80 % к внесенному количеству; в свою очередь, по мере «удаления» от оптимума степень использования питательных элементов растениями снижалась (до 26—45 %).

2. При высоком уровне удобрения (12 кг атом/га) вынос элементов с урожаем зерна был в 1,5—2 раза выше, чем при низком (6 кг атом/га). В то же время соотношение элементов в выносе изменялось в значительно более узком диапазоне.

3. При низком уровне удобрения внутренний оптимум соотношения N : P : K в выносе с урожаем соответствовал внешнему в удобрении. При высоком уровне удобрения наблюдались различия между внутренним и внешним оптимумами: доля азота в выносе с урожаем была на 8—15 ат.% выше, а доля фос-

фора — в 2 раза ниже, чем при оптимальном соотношении N : P : K в удобрении.

4. Относительная избирательность растений линейно зависела от степени неуравновешенности среды. Зависимость между способностью растений изменять соотношение N : P : K в выносе и внешним оптимальном соотношении элементов в удобрении можно аппроксимировать уравнением регрессии с параметрами $\Delta y_{\Sigma} = 2,44 + 0,88 \Delta x_{\Sigma}$.

5. Урожайность ячменя отрицательно коррелировала с увеличением неуравновешенности среды, поэтому для поддержания элементного статуса растений необходимы дополнительные энергетические затраты.

6. Относительная избирательность растений определяется конкретными условиями их возделывания. При выращивании ячменя на серой лесной среднесуглинистой почве регуляторная «поправка» растений, сдвигающая соотношение N : P : K в сторону своего внутреннего оптимума, на 38 % больше, чем на инертных субстратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахмистров Д. Б., Журбицкий З. И. О диапазоне избирательной способности растений к поглощению элементов минерального питания. — Докл. АН СССР, 1963, т. 151, № 5, с. 1228—1231. — 2. Вахмистров Д. Б. О двух механизмах избирательности при поглощении растениями элементов минерального питания. — Физиол. растений, 1966, т. 13, вып. 5, с. 807—813. — 3. Вахмистров Д. Б. Раздельное определение оптимумов суммарной дозы N+P+K и соотношения N:P:K в удобрении. Сообщ. 1. Постановка проблемы. — Агрехимия, 1982, № 4, с. 3—12. — 4. Вахмистров Д. Б., Вильямс М. В., Шарма Г., Ягодин Б. А. Соотношение N:P:K в среде и избирательная способность растений (теоретический анализ). — Физиол. и биохим. культурных растений, 1986, 18, № 4, с. 326—333. — 5. Методические указания по проведению оперативного внутрилабораторного контроля качества анализа кормов и растений. — М.: ЦИНАО, 1982. — 6. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н. Об оптимальном соотношении элементов минерального питания растений. — Агрехимия, 1978, № 5, с. 138—147. — 7. Ниловская Н. Т., Арбузова И. Н., Осипова Л. В. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от соотношения элементов минерального питания. — Обзорная информация ВНИИТЭИСХ, 1984. — 8. Ягодин Б. А., Вильямс М. В., Тимощук Н. В., Демьянова Т. А. Определение оптимального соотношения N:P:K в удобрении при возделывании ячменя. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 6, с. 35—41.

Статья поступила 20 июля 1989 г.

SUMMARY

Relationship of N:P:K in grain yield of barley was estimated depending on relationship of these elements in fertilizer; the estimation was made on the base of the results obtained in field experiments on grey forest soil. The plants were grown under low and high level of fertilization (6 and 12 kg atom/ha) with broad variation in N:P:K relationship. To express graphically triple relationships on a plane, triangular Shrinemakher matrix was used. A model has

been built to establish internal optimum of N:P:K relationship in removal with grain yield. It is shown that at high level of fertilization external optimum differed from internal one by higher proportion of phosphorus (two times higher).