

УДК 633.14:631.813:631.821.1

**ЛИСТОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ
И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ РЖИ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТКОВАНИИ**

В. В. ГРИЦЕНКО, В. В. ЗАЗИМКО
(Кафедра растениеводства)

В условиях интенсивного ведения зернового хозяйства на кислых почвах Нечерноземной зоны РСФСР важна разработка таких приемов агротехники и таких доз и соотношений удобрений, которые обеспечивали бы развитие максимально большого листового аппарата зерновых культур в наиболее короткие сроки и сохранение его активного состояния наиболее продолжительное время. Как известно, чем дольше функ-

ционирует листовая поверхность, тем больше синтезируется органического вещества и тем выше коэффициент использования солнечной радиации [1], что позволяет экономнее использовать минеральные удобрения и получать высокую урожайность культур.

Для разработки этих приемов необходимо знание реакции растений на систематическое раздельное и в сочетаниях применение азота, фосфора и калия при известковании и без известкования.

Таких данных по озимой ржи получено еще недостаточно. В связи с этим нами изучалось влияние указанных факторов на формирование площади листьев, химический состав и урожайность озимой ржи.

Условия и методика

Работу проводили в Тимирязевской академии на одном из участков длительного опыта, заложенного в 1912 г. Объектом исследований была озимая рожь Гибридная 2, возделываемая бессменно. Почва

Варианты удобрения следующие: 1 — без удобрений (контроль); 2 — 100N; 3 — 150P; 4 — 120K; 5 — 100N150P; 6 — 100N120K; 7 — 150P120K; 8 — 100N150P120K. Фосфор и калий в виде гранулированного суперфосфата и хлористого калия, а также 2/3 азота в виде аммиачной селитры вносили осенью под вспашку, остальной азот — в подкормку весной. Почву известковали один раз в 6 лет по гидролитической кислотности.

Т а б л и ц а 1

Содержание в почве подвижных форм азота, фосфора и калия (мг на 100 г). Среднее за 1973—1976 гг.

Варианты опыта	pH _{сол}	Легкогидролизуемый N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений	4,50	4,39	6,11	6,31
	6,70	4,75	13,97	7,32
N	4,08	6,98	6,31	4,07
	5,42	7,30	5,10	4,63
P	4,27	5,77	15,53	5,48
	6,27	5,56	20,47	4,27
K	4,29	5,90	3,66	15,21
	6,67	6,46	8,59	11,95
NP	3,99	6,76	16,44	5,49
	6,47	7,08	17,80	4,84
NK	4,03	6,82	7,31	15,11
	6,19	7,24	6,85	13,40
PK	4,69	5,78	24,70	16,11
	6,65	6,19	18,79	15,90
NPK	4,38	7,06	24,66	11,22
	6,65	7,21	33,63	15,94

опытного поля дерново-подзолистая, по механическому составу легкой крупнопылевато-песчанистый суглинок.

Опытные делянки (учетная площадь 9 м²) располагали на основных участках. Посев во все годы испытаний (1972—1975) проводили сеялкой СН-16 узкорядным способом при норме 5 млн. всхожих семян на 1 га. Агротехника возделывания общепринятая для Московской области. Уборка велась вручную, обмолот — на сноповой молотилке. Урожай пересчитывали на 14% влажность.

В течение вегетации озимой ржи один раз в месяц брали почву на агрохимический анализ. Определяли: pH_{сол} на потенциометре pH 340; содержание легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой; подвижные формы фосфора — по Кирсанову; обменный калий — на пламенном фотометре по Масловой. Агрохимическая характеристика почвы по вариантам опыта приведена в табл. 1.

Отбор растений и определение площади листьев, а также расчет фотосинтетического потенциала проводили по методике А. А. Ничипоровича [9]. При определении химического состава стебли и листья фиксировали в термостате при 105°. Содержание азота устанавливали по Кудярову, фосфора — по Дениже, калия — методом пламенной фотометрии. При статистической обработке данных использовали метод дисперсионного анализа [3].

Динамика роста листовой поверхности и фотосинтетическая активность озимой ржи

Во все годы исследований озимая рожь в начале вегетации после перезимовки развивалась интенсивно и максимум листовой поверхности приходился на период выход в трубку — колошение (табл. 2). Систематическое внесение одного азота на кислой почве больше влияло на формирование листового аппарата, чем одностороннее применение фосфора и калия. Азотные удобрения на калийном и фосфорно-калийном фонах удваивали эффект, о чем свидетельствует суммарная листовая поверхность.

Регулярное применение одних фосфорных туков на кислой почве также положительно отражалось на росте листовой поверхности (фотосинтетический потенциал увеличивался на 255,2 тыс. м²/га·сут). Действие фосфора на фоне других видов минеральных удобрений было слабее, а при известковании приводило к резкому уменьшению листовой поверхности. По-видимому, при известковании, способствующем значи-

Т а б л и ц а 2

Площадь листовой поверхности посевов озимой ржи (тыс. м²/га)
и фотосинтетический потенциал (тыс. м²/га·сут) по фазам развития
(в среднем за 1973—1975 гг.)

Варианты опыта	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Налив	Молочная спелость	Восковая спелость	Фотосинтетический потенциал
Без удобрений	7,4	29,6	29,7	16,8	9,3	3,1	1255,9
	10,2	32,0	30,8	20,0	11,5	5,4	1437,0
N	11,3	38,8	34,2	21,3	10,6	5,3	1547,9
	10,9	30,9	27,3	18,2	10,2	4,1	1303,8
P	12,0	38,3	32,9	20,2	10,8	4,5	1511,1
	4,7	22,1	25,1	17,7	9,4	3,5	1057,8
K	7,5	29,5	28,3	17,0	8,5	2,4	1216,7
	10,5	30,8	30,5	18,9	7,9	4,2	1342,5
NP	14,8	39,6	36,2	23,9	12,1	5,3	1707,0
	10,6	27,3	25,5	18,7	8,7	3,3	1231,7
NK	15,1	42,7	39,1	26,7	13,3	5,4	1811,2
	13,3	38,3	34,0	24,3	13,5	5,4	1631,5
PK	8,4	35,2	30,0	18,0	9,8	4,4	1356,5
	6,8	25,5	26,7	17,3	9,5	3,0	1152,0
NPK	15,1	42,7	43,2	29,2	13,5	6,8	1927,3
	14,9	39,6	39,9	26,2	15,7	5,2	1829,1

Примечание. Здесь и в табл. 1, 3, 5, 6 в числителе — без известкования; в знаменателе — по известкованию.

тельному увеличению подвижности фосфорной кислоты и мало влияющим на подвижность азота и калия (табл. 1), происходит нарушение соотношения элементов питания в почве, что отрицательно сказывается на ходе окислительно-восстановительных процессов в растениях [13, 14]. В результате ослабляется синтез органического вещества, замедляются рост и развитие растений.

При внесении одних калийных удобрений рост ассимиляционного аппарата оставался на уровне контроля. Регулярное применение калия на фоне азота, фосфора и их сочетания способствовало значительному росту листовой поверхности озимой ржи, особенно при известковании (фотосинтетический потенциал повышался на 289—537 тыс. м²/га·сут).

Растения в вариантах с полным минеральным удобрением интенсивнее росли после перезимовки и формировали большую листовую поверхность, чем в вариантах с парными сочетаниями.

Известкование обеспечивало максимум активной листовой поверхности в более короткий срок и увеличивало продолжительность ее работы. Так, к наливу зерна на известкованных, но неудобренных участках сохранялось 62,5 % фотосинтетически активной листовой поверхности, в то время как в варианте без известкования — только 56,2 %, фотосинтетический потенциал в первом случае был на 14,5 % выше, чем во втором.

Урожайность озимой ржи

Известно, что по мере повышения уровня окультуренности почвы эффективность известкования снижается. Это подтверждается и результатами нашего опыта. Так, на неудобрявшихся и систематически удобрявшихся одним калием делянках прибавки урожая озимой ржи от извести составили соответственно 3,5 и 6,2 ц/га (табл. 3), тогда как

Т а б л и ц а 3

Урожайность озимой ржи (ц/га)
в зависимости от длительного применения
удобрений и известкования

Варианты опыта	1973	1974	1975	Сред- няя
Без удобрений	16,5 <u>21,1</u>	20,2 <u>21,5</u>	6,3 <u>10,8</u>	14,3 <u>17,8</u>
N	17,1 <u>13,1</u>	20,4 <u>18,9</u>	13,1 <u>8,5</u>	16,9 <u>13,5</u>
P	17,7 <u>15,8</u>	22,0 <u>18,2</u>	13,9 <u>3,7</u>	17,9 <u>12,6</u>
K	16,0 <u>26,9</u>	16,7 <u>25,7</u>	8,1 <u>6,8</u>	13,6 <u>19,8</u>
NP	25,2 <u>15,1</u>	20,1 <u>12,7</u>	24,6 <u>9,8</u>	23,3 <u>12,5</u>
NK	26,4 <u>30,4</u>	23,1 <u>21,2</u>	28,3 <u>16,9</u>	25,9 <u>22,8</u>
PK	12,7 <u>17,0</u>	16,9 <u>18,6</u>	10,1 <u>4,3</u>	13,2 <u>13,3</u>
NPK	37,0 <u>36,6</u>	30,4 <u>24,3</u>	18,1 <u>11,6</u>	28,5 <u>24,2</u>
НСР ₀₅				4,01

на оптимально удобренных делянках действие извести практически не проявилось.

Отзывчивость полевых культур на внесение основных элементов минерального питания тоже зависит от степени окультуренности почв и изменяется при длительном их применении. Установлено [4], что на слабоокультуренных кислых почвах удобрения под озимую рожь по эффективности располагаются в убывающий ряд P, K, N, на средне- и хорошоокультуренных — N, P, K. В нашем опыте при длительном систематическом применении высоких доз минеральных удобрений на таком же типе почв (без известкования) на втором месте после азота был калий — N, K, P. Применение азота по фону фосфорных удобрений обеспечило увеличение урожайности на 30,2%; по фону калийных — на 90,4; фосфорно-калийных — на 115,9% (табл. 4). Такая же

закономерность наблюдалась при возделывании озимой ржи на дерново-подзолистых почвах [6, 8, 11].

Внесение калийных туков на фоне фосфора было неэффективным (прибавка всего 22,3%), тогда как по азоту они обеспечивали увеличение урожайности озимой ржи на 53,2%. Исключение калия из состава

Т а б л и ц а 4

Влияние элементов минерального питания на урожайность озимой ржи (ц/га)
в зависимости от известкования. Среднее за 1973—1975 гг.

Вариант опыта	Урожай		Изменение от внесения					
	без изве- сти	по изве- сти	N		P		K	
			без из- вести	по изве- сти	без изве- сти	по из- вести	без изве- сти	по изве- сти
Без удобрений	14,3	17,8	+2,6	-4,3	+3,6	-5,2	-0,7	+2,0
N	16,9	13,5			+6,4	-1,0	+9,0	+9,3
P	17,9	12,6	+5,4	-0,1			-4,7	+0,7
K	13,6	19,8	+12,3	+3,0	-0,4	-6,5		
NP	23,3	12,5					+5,2	+11,7
NK	25,9	22,8			+2,6	+1,4		
PK	13,2	13,3	+15,3	+10,9				
НСР ₀₅	4,01							

ва полного минерального удобрения приводило к снижению этого показателя.

Отзывчивость ржи на фосфорные удобрения уменьшалась по мере роста эффективного почвенного плодородия. Так, если внесение одного фосфора и совместно с азотом приводило к достоверному увеличению урожайности ржи (на 25,2—30,2 %), то по фону калия фосфор был неэффективным.

Действие вносимых элементов минерального питания на известкованном фоне проявлялось несколько иначе. По реакции озимой ржи они в этом случае располагались в ряде К, N, P, т. е. в этом случае отмечалась наибольшая эффективность калия.

При использовании одних калийных туков урожайность ржи повышалась на 11,2 % по сравнению с контролем (табл. 4). По фону азотных и азотно-фосфорных удобрений эффективность калия резко возрастала, урожайность увеличивалась соответственно на 68,9 и 93,6 %.

Одностороннее применение азотных удобрений по известкованному фону снижало урожайность озимой ржи по сравнению с контролем, а по фону систематически применявшихся фосфорно-калийных удобрений прибавка от азота составила 81,9 %. Указанное снижение урожая произошло, видимо, из-за недостатка калия, так как при добавлении этого элемента (вариант НК) урожайность повышалась на 9,3 ц/га.

Фосфорные удобрения в условиях регулярного известкования по отзывчивости на них озимой ржи занимали третье место. Систематическое раздельное их внесение и совместно с калием приводило к снижению урожайности на 5,2—6,5 ц/га, а по фону N и K этот показатель оставался практически на уровне контроля. Низкую эффективность фосфорных туков при известковании можно объяснить, во-первых, тем, что в таких условиях складывается положительный баланс фосфора и отрицательный баланс азота и калия [16], и, во-вторых, тем, что при избытке фосфора (а в условиях известкования увеличивается степень подвижности и доступности P_2O_5) сильно возрастает поступление аммиачного азота в растения (фосфорные удобрения на фоне азотных), который, накапливаясь в тканях в излишних количествах, вызывает их угнетение и даже гибель. Калийные удобрения устраняют отрицательное влияние избытка фосфора [12, 13, 15].

В наших исследованиях при повышенном содержании в питательном растворе фосфора и внесении азота в аммиачной форме (вариант NP) на систематически известковавшихся почвах задерживались рост и развитие растений, отмечалось ежегодное снижение фотосинтетического потенциала, в результате чего уменьшались чистая продуктивность фотосинтеза, сбор сухого вещества, что в конечном итоге отрицательно сказалось на урожайности озимой ржи. Систематическое применение повышенных доз калийных удобрений на азотно-фосфорном фоне позволило почти в 2 раза увеличить урожайность.

Таким образом, наши исследования показали, что при длительном и систематическом применении удобрений и известковании для получения стабильной урожайности озимой ржи необходимы повышенные дозы азота и калия. При этом большое значение имеет соотношение питательных элементов во вносимых удобрениях в связи со складывающимся неблагоприятным балансом их в почве.

Мы далеки от мысли, что на систематически известковавшихся почвах не следует вносить фосфорные удобрения. Еще в работе А. Н. Энгельгардта «Известкование или фосфоритование» [5] был поднят вопрос о правильном соотношении этих двух удобрений и обосновывалось окультуривание подзолистых почв путем сочетания травосеяния с удобрениями, главным образом фосфорными. Его формула «и фосфоритование, и известкование — все по времени и месту» не утратила своего значения для практики. Однако с повышением окуль-

туренности почв, когда реакция среды становится близкой к нейтральной, при использовании аммиачных удобрений, по всей видимости, можно уменьшать дозы фосфорных удобрений.

Структура урожайности

Анализ структуры урожайности, приведенный в табл. 5, позволяет узнать, какие ее элементы определяют различия в урожае в разных ва-

Т а б л и ц а 5

Структура урожайности озимой ржи в зависимости от удобрений и известкования.
Среднее за 1973—1975 гг.

Варианты опыта	На 1 м ² , шт.		Продуктив- ная кустистость	Колос				Масса 1000 зерен, г	Биологический урожай, ц/га
	растений	стеблей с колосом		длина, см	колосков, шт.	зерен, шт.	масса зерна, г		
Без удобрений	246	290	1,21	5,3	15,3	19,5	0,52	26,3	15,1
	265	341	1,30	6,0	14,6	18,8	0,57	28,7	19,4
N	313	418	1,35	5,0	13,6	17,6	0,44	25,2	18,3
	258	341	1,39	5,7	13,0	17,9	0,48	24,1	16,4
P	279	344	1,25	6,4	13,7	17,4	0,55	29,9	19,0
	232	279	1,19	5,8	15,3	20,5	0,55	22,2	15,3
K	325	360	1,13	5,5	11,6	15,4	0,46	28,8	16,5
	293	341	1,16	5,8	14,9	19,5	0,60	29,5	20,4
NP	287	443	1,60	6,2	16,5	21,4	0,57	26,8	25,2
	229	392	1,92	4,9	14,3	18,1	0,39	20,8	15,2
NK	358	462	1,30	6,6	17,6	28,3	0,61	29,1	28,1
	304	391	1,31	6,3	15,9	23,2	0,64	27,8	25,0
PK	244	326	1,38	6,0	16,1	19,1	0,51	26,6	16,6
	262	295	1,13	5,2	14,2	16,6	0,56	28,9	16,5
NPK	325	533	1,67	6,3	16,6	21,7	0,59	27,1	31,4
	347	442	1,30	5,5	15,7	20,8	0,60	26,3	26,5

риантах удобрения. Так, при внесении азота увеличивались число растений, продуктивная кустистость, а продуктивность колоса и масса 1000 семян уменьшались, т. е. азот положительно воздействовал на те элементы структуры, которые формируются в более ранние сроки развития растений. Фосфорные и калийные удобрения не влияли на кустистость растений, но приводили к увеличению массы 1000 семян. В варианте с NPK значения всех элементов продуктивности были стабильными и относительно высокими, что и обеспечило урожай более высокие, чем во всех остальных вариантах сочетания минеральных удобрений.

Известкование способствовало увеличению числа растений на единице площади, продуктивной кустистости, массы 1000 зерен.

Применение одних азотных удобрений на систематически известкованной почве отрицательно сказывалось на количестве растений, сохранившихся к уборке на единице площади, но увеличивало продуктивную кустистость (1,39 против 1,30 в контроле), что, по всей видимости, явилось причиной уменьшения массы 1000 семян (на 4,1 г). Одностороннее применение фосфорных туков в этих условиях также снижало все перечисленные выше показатели, в том числе и продуктивную кустистость (1,19 против 1,30 в контроле), а на кислой почве они способствовали сохранению числа растений на единице площади, увеличению продуктивности колоса и массы 1000 семян.

Внесение азота в сочетании с фосфором приводило к резкому увеличению кустистости, но продуктивность колоса и масса 1000 семян уменьшались (на 7,9 г ниже контроля).

Калийные удобрения как в чистом виде, так и в сочетании с азотом или фосфором не повышали кустистости растений, но способствовали увеличению продуктивности колоса и массы 1000 семян.

Содержание основных элементов питания озимой ржи

Количество азота, фосфора и калия в растениях является одним из факторов, определяющих состояние посевов во время вегетации. При хорошей обеспеченности в начале своего развития необходимыми

Т а б л и ц а 6

Содержание азота, фосфора и калия в вегетативной массе озимой ржи (% на абсолютно сухое вещество) по фазам развития. Среднее за 1973—1975 гг.

Варианты опыта	Кущение			Колошение			Молочная спелость		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Без удобрений	3,02	1,12	2,54	1,21	0,54	1,31	0,59	0,39	0,65
	3,21	1,32	2,74	1,23	0,67	1,56	0,60	0,45	0,75
N	4,66	1,03	2,07	2,27	0,56	0,77	0,89	0,33	0,44
	4,92	1,10	2,15	2,13	0,56	0,84	0,80	0,40	0,57
P	3,14	1,27	2,16	1,51	0,77	1,20	0,68	0,48	0,70
	4,38	1,55	1,81	1,43	0,76	0,89	0,83	0,48	0,45
K	3,07	0,98	3,17	1,16	0,47	1,75	0,66	0,29	1,06
	2,78	1,22	3,39	1,30	0,58	1,68	0,60	0,38	0,96
NP	3,90	1,30	2,34	2,02	0,69	1,01	0,99	0,44	0,47
	4,47	1,60	2,02	1,91	0,68	0,75	0,83	0,41	0,45
NK	3,49	1,18	3,17	1,42	0,57	1,63	0,80	0,33	1,05
	3,66	1,39	3,06	1,41	0,59	1,54	0,74	0,39	1,08
PK	2,65	1,20	2,71	1,27	0,66	1,31	0,57	0,37	0,93
	2,83	1,49	2,57	1,39	0,64	1,37	0,57	0,40	0,96
NPK	3,41	1,32	3,01	1,38	0,59	1,51	0,67	0,51	1,04
	3,50	1,50	3,13	1,55	0,68	1,43	0,63	0,45	0,89

питательными веществами растения в дальнейшем более рационально используют элементы питания и влагу из почвы, что положительно сказывается на накоплении в семенах простых и сложных соединений [2, 7].

В наших исследованиях максимальное содержание азота, фосфора и калия в вегетативной массе озимой ржи отмечалось в фазе кушения, минимальное — в фазе восковой спелости. За этот период содержание азота снизилось в среднем по вариантам в 4,8; калия — в 3,4; фосфора — в 3,3 раза (табл. 6). Содержание азота в растениях в фазе кушения превышало содержание фосфора более чем вдвое.

Длительное и систематическое применение удобрений заметно изменяло усвоение основных элементов растениями и их соотношение. Азотные туки, внесенные отдельно, способствовали значительному накоплению азота, особенно к фазе колошения (содержание азота в 1,7—1,9 раза выше, чем в контроле), но приводили к резкому снижению содержания калия (в 1,7—1,8 раза ниже, чем в контроле). Соотношение N : P : K также менялось: в контроле в фазу кушения оно было равно 1 : 0,4 : 0,8, в варианте N — 1 : 0,2 : 0,4 (по обоим фонам). Оче-

видно, длительное и систематическое применение физиологически кислых азотных удобрений оказывает отрицательное влияние не только на физические свойства почвы, но и на химические процессы в растении.

Регулярное одностороннее внесение фосфорных удобрений приводило к накоплению в озимой ржи фосфора (более сильному на кислой почве) и азота, а также к уменьшению содержания калия, особенно на известкованной почве (в 1,5—1,8 раза по сравнению с контролем). В результате в растениях этого варианта складывалось следующее соотношение элементов питания (N : P : K):

	Кущение	Колошение	Молочная спелость
Без извести	1:0,4:0,7	1:0,5:0,8	1:0,7:1
По известкованию	1:0,4:0,4	1:0,5:0,6	1:0,6:0,5

Следовательно, при внесении одних фосфорных туков на известкованном фоне поступление калия в растения значительно снижается, нарушаются баланс элементов и нормальное течение всех жизненных процессов растительного организма.

Одностороннее калийное питание озимой ржи на кислой почве не вызывало изменения содержания азота в растениях, тогда как количество фосфора в них уменьшалось, а калия, напротив, резко возрастало, особенно к концу вегетации (в 1,6 раза больше, чем в контроле). Действие калия на известкованной почве проявилось несколько слабее. Соотношение N : P : K было следующим:

	Кущение	Колошение	Молочная спелость
Без извести	1:0,3:1	1:0,4:1,5	1:0,4:1,6
По известкованию	1:0,4:1,2	1:0,4:1,3	1:0,6:1,6

Азотно-фосфорные туки на неизвесткованной почве вызывали увеличение содержания азота и фосфора в вегетативной массе, но при этом снижалось содержание калия к фазе молочной спелости в 1,4 раза (табл. 6). В результате, как видно из соотношения N : P : K, равного 1 : 0,4 : 0,5, растениям не хватало калия (урожайность 23,3 ц/га).

Азотно-калийное удобрение на кислых почвах приводило к значительному повышению в растениях содержания азота и особенно калия (к фазе молочной спелости оно было в 1,4 раза выше контроля), тогда как содержание фосфора оставалось на уровне контроля. Соотношение элементов в фазе кущения было 1 : 0,3 : 0,9, в фазе молочной спелости — 1 : 0,6 : 1,6 (урожайность 25,9 ц/га). В этом случае в растениях баланс питательных элементов был более благоприятным, чем в варианте NP. Однако только внесение в почву всех трех видов удобрений (вариант NPK) обеспечило баланс основных элементов питания в вегетативной массе ржи 1 : 0,4 : 0,9 (кущение), 1 : 0,4 : 1,1 (колошение), 1 : 0,8 : 1,6 (молочная спелость) и максимальную урожайность (28,5 ц/га).

На известкованном фоне систематическое применение азотно-калийных удобрений также обеспечивало лучшее соотношение N : P : K в растениях, хотя содержание фосфора несколько снижалось, особенно к фазе молочной спелости (1 : 0,5 : 1,5), что, очевидно, связано с перемещением части фосфорных соединений в семена.

По известкованному фону в варианте PK в начальные фазы развития ржи наблюдалось снижение содержания азота и калия в растениях. Это, на наш взгляд, связано в первую очередь с недостатком азота в почве, а затем уже с антагонизмом калия и кальция. Согласно нашим данным, при длительном применении минеральных удобрений и известии взаимосвязь между азотом и калием более тесная, чем между фосфором и калием. При недостатке азота снижается накопление ка-

лия, задерживается синтез веществ, а при недостатке калия накапливается большее количество азота и фосфора.

Полное минеральное удобрение, вносимое по извести, приводило к увеличению содержания азота, фосфора и калия в растениях (особенно в фазе кушения) и обеспечивало благоприятный баланс элементов питания (в молочной спелости 1 : 0,7 : 1,4).

Таким образом, результаты наших исследований показывают необходимость внесения более высоких доз калия при длительном применении удобрений и извести. Так как при недостаточном калийном питании (вариант NP на известкованной почве) хотя и отмечалось повышенное содержание азота и фосфора в вегетативной массе растений, синтез органического вещества замедлялся, вследствие чего урожайность оказалась ниже контрольной на 30 %. Калий, катализирующий реакции образования активных углеводов, оказывает положительное влияние на синтез органического вещества в растениях, урожайность от применения калия на фоне NP повышалась на 94 %.

При известковании почвы на участках с высоким эффективным плодородием (вариант NPK) обеспеченность растений азотом, фосфором и калием (в первую половину вегетации) была выше, чем в том же варианте на неизвесткованной почве. Из-за чрезмерного развития вегетативной массы растения вытягивались, что приводило к их взаимозатенению, снижению интенсивности фотосинтеза, усилению дыхания, увеличению расхода питательных веществ. В результате к молочной спелости содержание азота, фосфора и калия в растениях оказалось ниже, чем на неизвесткованной почве. Изменилось и соотношение элементов. Если в фазе кушения при внесении NPK отношение элементов в растениях с обоих фонов было 1 : 0,4 : 0,9, то к молочной спелости на неизвесткованном фоне оно составило 1 : 0,8 : 1,6; по извести — 1 : 0,7 : 0,4, т. е. в последнем случае на единицу азота приходилось меньшее количество фосфора и особенно калия.

Выводы

1. В условиях Московской области озимая рожь Гибридная 2 при длительном бессменном возделывании может давать хорошие урожаи на почвах с высоким эффективным плодородием. Систематическое внесение полного минерального удобрения повышало урожайность ржи на 14,2 ц/га, или на 99,3 %, и обеспечивало в среднем за 3 года уровень урожайности 28,5 ц/га.

2. Эффективность удобрений, вносимых под рожь, сильно зависела от известкования.

На кислой неизвесткованной почве элементы питания по отзывчивости на них озимой ржи распределялись следующим образом: N, K, P. Азот обеспечивал наибольшую прибавку урожайности на фоне калийных и фосфорно-калийных удобрений (соответственно 90,4 и 115,9 %). Калий и фосфор на фоне азота — 53,2 и 37,8 %.

На известкованной почве элементы питания располагались в ряд K, N, P. Калий, применяемый на фоне азота, увеличивал урожайность озимой ржи на 68,9, на фоне NP — на 93,6 %. Азот обеспечивал наибольшую прибавку на фоне PK — 81,9 %. Фосфорные удобрения без внесения азота и калия были неэффективны.

3. Влияние извести на урожайность озимой ржи сильно зависело от степени окультуренности почвы. На систематически неудобрявшихся и удобрявшихся одним калием делянках прибавки урожая от известкования составляли соответственно 24,5 и 45,6 %. На оптимально удобренных участках действие извести практически не проявлялось.

4. Применение полного минерального удобрения обеспечивало соотношение N : P : K, равное 1 : 0,4 : 0,9 (в фазу кушения), при котором формировалась максимальная урожайность озимой ржи.

5. Калий на фоне NP также положительно влиял на соотношение элементов в растениях. При его недостатке, особенно на известкованной почве, в растениях накапливались в повышенных количествах соединения азота и фосфора, что приводило к снижению урожайности.
6. При одностороннем внесении азота в растениях увеличивалось его содержание, а калия и фосфора уменьшалось, при внесении одного фосфора повышалось содержание доступного фосфора и азота, а калия — снижалось.
7. Известкование почв способствовало лучшему поступлению в вегетативную массу растений ржи соединений фосфора и азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов П. П., Кабыш В. А. Продуктивность работы листьев разных по скороспелости сортов ячменя в зависимости от густоты посева. — Изв. ТСХА, 1970, вып. 5, с. 39—53. — 2. Гунар И. И., Мосолов И. В. Питание растений и их химический состав. — Справ. по удобрениям. Изд. 3-е. М.: Колос, 1964, с. 9—35. — 3. Доспехов Б. А., Баров В. Б. Статистическая оценка урожайных данных многолетних многофакторных полевых опытов. — Изв. ТСХА, 1969, вып. 2, с. 51—58. — 4. Доспехов Б. А. Сельскохозяйственная культура и плодородие дерново-подзолистых почв. — Докл. ТСХА, 1972, вып. 180, с. 29—47. — 5. Егоров В. Е. Опыт длится 60 лет. М.: Знание, 1972. — 6. Кувшинова О. П. Влияние длительного применения удобрений на урожай культуры на солонцеватом выщелоченном черноземе Пензенской области. — В сб.: Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Вып. III. М.: Колос, 1968, с. 191—243. — 7. Кулешов Н. Н. Агрономическое семеноведение. М.: Сельхозиздат, 1963. — 8. Мостинец Н. Удобрение тетраплоидной ржи. — Зерновые и масличные культуры, 1971, № 8, с. 35. — 9. Ничипорович А. А., Строгонова Л. Е., Чмора С. Н., Власова М. П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 10. Оканенко А. С. Фотосинтез и урожай. Киев: Изд-во АН УССР, 1954. — 11. Петрова Л. И. Сравнительная эффективность минеральных удобрений и навоза в льянном севообороте на дерново-подзолистой почве. — В сб. тр. ВАСХНИЛ: Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Вып. IV. М.: Колос, 1973, с. 43—60. — 12. Плешков Б. П. О влиянии условий фосфорного питания на некоторые процессы обмена азотистых соединений в растениях. — Изв. ТСХА, 1958, вып. 2, с. 117. — 13. Турчин Ф. В. Роль калия и фосфора в использовании растениями нитратного и аммиачного азота. — В кн.: Почвоведение и агрохимия. М.—Л. Изд-во АН СССР, 1936, с. 408—430. — 14. Турчин Ф. В. Значение формы азотного удобрения для зольного питания растений. — В кн.: Новое в удобрении. Вып. II. М.: Сельхозгиз, 1937. — 15. Турчин Ф. В. Взаимодействие азота, фосфора и калия в питании растений при использовании ими нитратных и аммонийных форм азота. — Агрохимия, 1964, № 5, с. 29. — 16. Хлыстовский А. Д., Осипова З. М. Влияние концентрированных и балластных минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы и химический состав растений. — В сб.: Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. М.: Колос, 1973, с. 98—133.

Статья поступила 5 августа 1980 г.

SUMMARY

Problems connected with specific effect of different combinations of mineral elements (nitrogen, phosphorus and potassium) used on acid and regularly limed soil on forming foliar surface of plants, their chemical composition and yielding capacity of winter rye of Gibridnaja 2 variety are discussed in the paper. Investigations were conducted at the Timiryazev Academy in 1973-1975 in a long-term stationary experiment.

The efficiency of the studied nutrient elements largely depends on liming. According to winter rye's response to nutrient elements the latter may be arranged in the following order: on acid non-limed soil—N, K, P; on more cultivated limed soil — K, N, P. The beneficial effect of lime is best of all seen on poorly cultivated soil.