

УДК 633.3:631.811

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРОХА

Б. А. ЯГОДИН, В. В. ГОВОРИНА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В вегетационных опытах с полевым горохом сорта Фаленская 40 изучалось действие последовательно возрастающих доз азота, фосфора и калия, их двойных и тройных комбинаций на урожай сухой массы. Использовались современные методы математического моделирования многофакторного опыта и математической обработки его результатов.

Из многочисленных опытов с горохом, проведенных на одних типах почв по сходным схемам (например, один или два постоянных фона РК и меняющиеся дозы азота), были сделаны противоположные выводы [1—5, 8, 12] относительно целесообразности применения минерального азота под бобовые культуры. Это объясняется прежде всего чрезвычайной сложностью учета воздействия и взаимодействия множества факторов, функцией которых является урожайность. В случае с бобовыми к факторам урожайности прибавляется еще один — фиксация атмосферного азота, эффективность которой, в свою очередь, зависит от условий питания растений и погодных условий. В связи с этим изучение закономерностей питания бобовых не теряет своей актуальности и в настоящее время. В частности, определенный интерес представляют исследования действия последовательно возрастающих количеств азота, фосфора и калия, их двойных и тройных комбинаций на урожай сухой вегетативной массы полевого гороха.

Авторы выражают благодарность Т. И. Ивановой и М. И. Сошниковой за оказание методической помощи.

Агрохимическая характеристика почвы

Год	рН _{сол}	H _Г	S	N _{NO₃} , мг/кг	P	K
		мэкв/100 г			мг/100 г	
1981	3,7	6,46	2,60	53	1,96	6,47
1982	4,0	4,25	3,20	13	2,09	7,80
1984	3,9	5,67	2,40	49	1,74	9,23

Методика исследований

Полевой горох сорта Фаленская 40 выращивали в вегетационных сосудах Митчерлиха вместимостью 5 кг абсолютно сухой почвы. В опытах использовали дерново-подзолистую тяжелосуглинистую почву лаборатории лесоводства ТСХА (квадрат 2), агрохимическая характеристика которой представлена в табл. 1.

Почву известковали по полной норме гидrolитической кислотности, элементы питания вносили в виде аммиачной селитры, однозамещенного фосфата кальция и хлористого калия 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 6×6×6. Теоретическое обоснование построения указанной схемы дано в работах В. Н. Перегудова и Т. И. Ивановой [10, 11]. Повторность опыта 3-кратная.

Семена перед посевом обрабатывали активным штаммом клубеньковых бактерий № 250а и 1 % раствором молибденовокислого аммония. В каждом сосуде выращивали по 18 растений. Зеленую массу убрали в межфазный период конец цветения — начало плодообразования [7]. В 1981 г. вегетационный период продолжался 45 дней, в 1982—54, в 1984—60 дней. После уборки растительные образцы фиксировали при 105° и высушивали до абсолютно сухого состояния.

Испытывалась широкая амплитуда доз (в мг на 1 кг почвы): в 1981 г. все элементы от 0 до 250 (кратность 50), в 1982 и 1984 гг. азот — от 0 до 150 (кратность 30), фосфор — от 0 до 250 (кратность 50), калий — от 0 до 350 (кратность 70). Все результаты опыта 1981 г. методом интерполяции приведены в соответствие со схемой опытов последующих лет в пределах диапазона исследуемых концентраций.

Полученные данные подвергали математической обработке методом корреляционно-регрессионного анализа на ЭВМ «Минск-32» с использованием десятичной половинной модели вида:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1^{0,5} +$$

$$+ a_5x_2^{0,5} + a_6x_3^{0,5} + a_7(x_1x_2)^{0,5} +$$

$$+ a_8(x_1x_3)^{0,5} + a_9(x_2x_3)^{0,5},$$

где y — урожай сухой массы полевого гороха; x_1, x_2, x_3 — соответственно дозы азота, фосфора и калия в условных единицах; a — коэффициенты, определяющие связи между y и x_1, x_2, x_3 . Надежность полученных уравнений подтверждается коэффициентом корреляции R , характеризующим меру совпадения фактических и расчетных данных, а также силу и направление связи.

Таблица 2
Урожай сухой массы гороха (г/сосуд) в 1981 г.

N	P	K, мг/кг			
		0	70	140	210
0	0	17,0	20,6	22,0	23,2
	50	23,3	26,8	28,3	29,4
	100	23,9	27,4	28,9	30,0
	150	23,6	27,1	28,6	29,7
	200	22,8	26,4	27,8	28,9
30	250	21,8	25,3	26,8	27,9
	0	20,6	24,1	25,6	26,7
	50	29,4	32,9	34,4	35,5
	100	31,1	34,6	36,1	37,2
	150	31,6	35,2	36,6	37,8
60	200	31,6	36,1	36,6	37,7
	250	31,1	34,7	36,1	37,3
	0	20,8	24,3	25,8	26,9
	50	30,7	34,2	35,7	36,8
	100	32,9	36,9	37,9	39,0
90	150	33,7	37,3	38,7	39,9
	200	34,0	37,5	39,0	40,1
	250	33,8	37,3	38,8	39,9
	0	20,4	24,0	25,4	26,6
	50	31,2	34,7	36,2	37,3
120	100	33,7	37,2	38,7	39,8
	150	34,9	38,4	39,9	41,0
	200	35,3	38,9	40,3	41,4
	250	35,3	38,9	40,3	41,4
	0	19,8	23,4	24,8	25,9
150	50	31,3	35,8	36,3	37,4
	100	34,1	37,6	39,1	40,2
	150	35,5	39,0	40,5	41,6
	200	36,1	39,6	41,1	42,2
	250	36,3	39,8	41,3	42,4
250	0	19,0	22,6	24,0	25,2
	50	31,1	34,6	36,1	37,2
	100	34,2	37,7	39,2	40,3
	150	35,8	39,3	40,8	41,9
	200	36,6	40,1	41,6	42,7
250	36,9	40,4	41,9	43,0	

Результаты и обсуждение

Функции продуктивности, характеризующие влияние возрастающих количеств азота, фосфора и калия на урожай сухой массы гороха, после исключения незначимых членов имеют следующий вид:

$$y_{1981} = 17,04 + 5,64N^{0,5} - 2,12N + 9,53P^{0,5} - 3,32P + 3,54K^{0,5} + 2,63(NP)^{0,5}$$

$$R = 0,969, \quad (1)$$

$$y_{1982} = 22,95 - 7,54N^{0,5} + 6,44N + 25,42P^{0,5} - 3,58P + 2,04K^{0,5} - 4,18(NP)^{0,5}$$

$$R = 0,970, \quad (2)$$

$$y_{1984} = 12,31 - 5,28N^{0,5} + 2,50N + 17,09P^{0,5} - 1,87P + 5,17K^{0,5} - 2,52K + 1,87(PK)^{0,5}$$

$$R = 0,994. \quad (3)$$

Высокие коэффициенты корреляции свидетельствуют о функциональной зависимости между урожаем и изучаемыми факторами.

Все три элемента питания в диапазоне исследуемых концентраций оказывали существенное влияние на урожай сухой массы гороха. Низкое содержание доступного фосфора в почве определило наибольший эффект фосфорных удобрений, что видно из табл. 2, 3, 4 и рис. 1, А, Б, В.

Эффективность внесенного азота существенно различалась по годам. В опыте 1981 г. (табл. 2) при одностороннем внесении азота из расчета 30 мг/кг наблюдалось повышение урожая с 17 до 21 г на сосуд. При дальнейшем кратном увеличении дозы азота уровень урожая не менялся. Однако при внесении фосфора и последовательном увеличении его доз соответственно повышалась и эффективность азота, что свиде-

Т а б л и ц а 3

Урожай сухой массы гороха (г/сосуд) в 1982 г.

N	P	K, мг/кг					
		0	70	140	210	280	350
0	0	23,0	25,0	25,8	26,5	27,0	27,5
	50	44,8	46,8	47,7	48,3	48,9	49,4
	100	51,7	53,8	54,6	55,3	55,8	56,3
	150	56,2	58,3	59,1	59,8	60,3	60,8
	200	59,5	61,5	62,4	63,0	63,6	64,0
	250	61,9	63,9	64,8	65,4	66,0	66,5
30	0	2179	23,9	24,7	25,4	25,9	26,4
	50	39,5	41,6	42,4	43,0	43,6	44,1
	100	44,7	46,8	47,6	48,3	48,8	49,3
	150	47,9	49,9	50,8	51,4	52,0	52,5
	200	50,0	52,1	52,9	53,5	54,1	54,6
	250	51,4	53,5	54,3	55,0	55,5	56,0
60	0	25,2	27,2	28,1	28,7	29,3	29,7
	50	41,1	43,1	44,0	44,6	45,2	45,7
	100	45,6	47,7	48,5	49,1	49,8	50,2
	150	48,2	50,3	51,1	51,8	52,3	52,8
	200	49,9	51,9	52,8	53,4	54,0	54,4
	250	50,9	52,9	53,8	54,4	55,0	55,6
90	0	29,2	31,3	32,1	32,7	33,3	33,8
	50	43,8	45,9	46,7	47,3	47,9	48,4
	100	47,8	49,8	50,6	51,3	51,8	52,3
	150	50,0	52,0	52,8	53,5	54,0	54,5
	200	51,3	53,3	54,1	54,8	55,3	55,8
	250	52,0	54,0	54,8	55,5	56,0	56,5
120	0	33,6	35,7	36,5	37,2	37,7	38,2
	50	47,1	49,2	50,0	50,6	51,2	51,7
	100	50,6	52,6	53,5	54,1	54,7	55,2
	150	52,4	54,5	55,3	56,0	56,5	57,0
	200	53,4	55,5	56,3	57,0	57,5	58,0
	250	53,9	55,9	56,8	57,4	58,0	58,4
150	0	38,3	40,3	41,2	41,8	42,4	42,9
	50	50,8	52,8	53,7	54,3	54,9	55,3
	100	53,9	55,9	56,7	57,4	57,9	58,4
	150	55,4	57,4	58,3	58,9	59,5	60,0
	200	56,1	58,2	59,0	59,7	60,2	60,7
	250	56,3	58,4	59,2	59,9	60,4	60,9

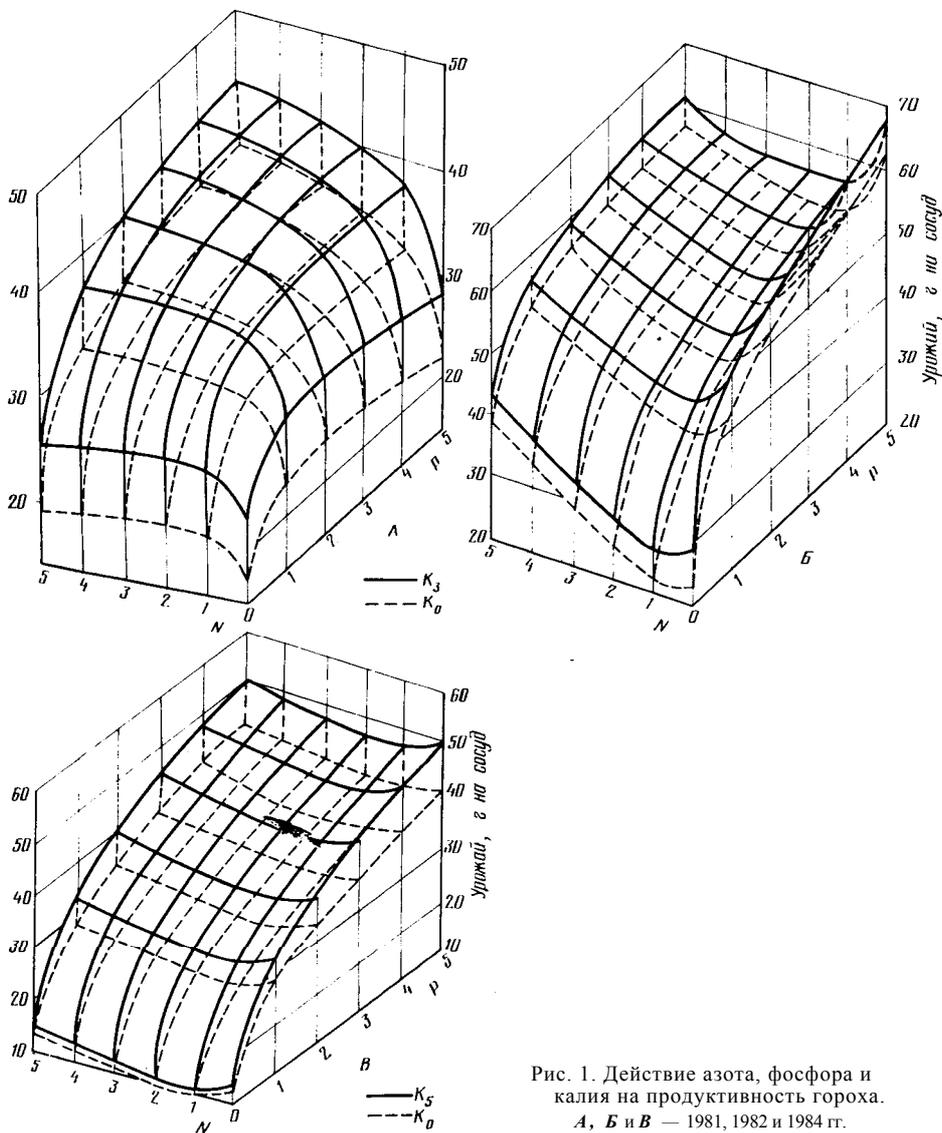


Рис. 1. Действие азота, фосфора и калия на продуктивность гороха. А, Б и В — 1981, 1982 и 1984 гг.

тельствует о взаимодействии двух факторов — азота и фосфора. С уровня N_2P_2 на всех фонах калия при внесении азота и фосфора прирост сухой массы сокращался.

Направление плоскости регрессии на уровне N_0 в условиях 1981 г. характерно скорее для небобовой культуры. Если судить по урожайным данным, вклад азотфиксации в создание урожая сухой массы гороха невелик, несмотря на проведенную инокуляцию семян, обработку их молибденом и достаточные запасы нитратного азота в почве перед закладкой опыта [5]. По-видимому, в этом году на процесс азотфиксации отрицательно действовали температурные условия. Так, установлено [6, 13, 14], что у большинства бобовых культур данный процесс усиливается с повышением температуры от 5 до 20°, при 20—25° он достигает максимума, а при более высокой температуре ослабевает. Известно также [13], что максимум активности нитрогеназы гороха приходится на период от 12 до 15 ч. В 1981 г. в течение 34 дней из 45 дней вегетации температура почвы от 12 до 15 ч превышала верхний предел, при котором наблюдалась эффективная азотфиксация (рис. 2). Следовательно, усвоение симбиотического азота было заторможено и накопление сухой массы происходило преимущественно за счет потребления минерального азота.

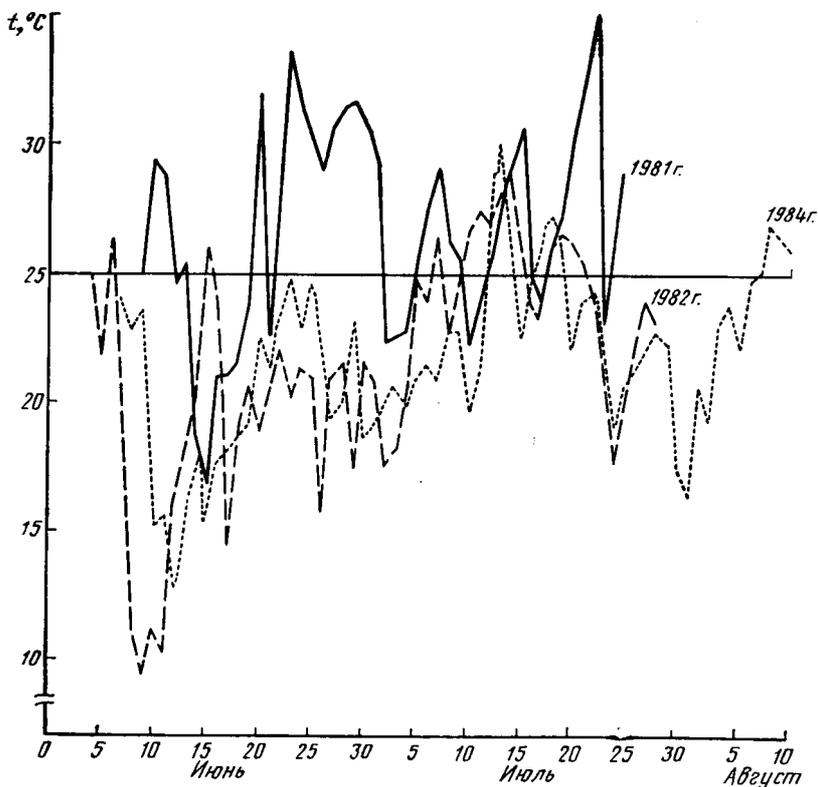


Рис. 2. Средние температуры почвы от 12 до 15 ч.

В условиях 1982 г. (табл. 3, рис. 1, **Б**) плоскость регрессии на фоне N_0 по мере увеличения дозы фосфора резко поднималась вверх. Причем в верхнем пределе диапазона доз фосфора урожай сухой массы гороха на фоне K_0 составил 61,9 г, а при внесении 150 мг азота на 1 кг почвы — 56,3. Из решения уравнения (2) относительно N следует, что урожай, полученные на фоне N_0K_0 при последовательном увеличении доз фосфора, соответствуют урожаям при внесении 99, 131, 157, 183, 206 мг азота на 1 кг почвы, если бы при прочих равных условиях горох не имел возможности фиксировать азот атмосферы. Далее при внесении азота от N_1 до N_3 урожай снижается. Возможно, это объясняется ингибированием симбиотической азотфиксации небольшими дозами азота, на что указывают некоторые исследователи [2, 9, 12]. С дальнейшим увеличением доз азота происходит медленное повышение урожая на всех уровнях фосфора, что, вероятно, обусловлено преимущественным потреблением минерального азота.

В опыте 1984 г. (табл. 4, рис. 1, **В**) характер изменения урожая под влиянием возрастающих количеств азота, фосфора и калия аналогичен наблюдаемому в 1982 г. с той лишь разницей, что интенсивность азотфиксации в таком же диапазоне концентраций питательных веществ была выражена слабее. Так, при внесении $N0P5K5$ урожай составил 49,3 г, при $N5P5K5$ — 50,0, в 1982 г. — соответственно 66,5 и 60,9 г на сосуд.

При создании определенных условий можно получить одинаковые урожаи как преимущественно за счет симбиотического, так и минерального азота.

Таким образом, урожай сухой массы гороха изменяется под влиянием совокупного действия всех трех элементов (азота, фосфора и калия), а также взаимодействия факторов первого порядка (в 1981 и 1982 гг. — азота и фосфора, в 1984 г. — фосфора и калия). При после-

Урожай сухой массы гороха (г/сосуд) в 1984 г.

N	P	К. мг/кг					
		0	70	140	210	280	350
	мг/кг						
0	0	12,3	15,0	14,6	13,7	12,6	11,3
	50	27,5	32,0	32,4	32,1	31,5	30,6
	100	32,7	38,0	38,7	38,6	38,2	37,5
	150	36,3	42,1	43,3	43,2	42,9	42,4
	200	39,0	45,3	46,5	46,8	46,6	46,2
30	250	41,2	48,0	49,3	49,7	49,7	49,3
	0	9,5	12,2	11,8	10,9	9,8	8,5
	50	24,8	29,2	29,6	29,3	28,7	27,8
	100	30,0	35,2	35,9	35,9	35,4	34,7
	150	33,5	39,3	40,3	40,4	40,2	39,6
60	200	36,2	42,6	43,7	44,0	43,9	43,4
	250	38,4	45,2	46,5	46,9	46,9	46,6
	0	9,8	12,5	12,1	11,2	10,1	8,8
	50	25,1	29,6	29,9	29,6	29,0	28,1
	100	30,3	35,5	36,2	37,1	35,7	35,1
90	150	33,8	39,7	40,6	40,7	40,5	39,9
	200	36,5	42,9	44,0	44,3	44,2	43,7
	250	38,7	45,5	46,8	47,2	47,2	46,8
	0	10,7	13,3	12,9	12,1	10,9	9,6
	50	25,9	30,4	30,8	30,5	29,8	29,0
120	100	31,1	36,4	37,1	37,0	36,6	35,9
	150	34,7	40,5	41,4	41,6	41,3	40,8
	200	37,4	43,7	44,8	45,1	45,0	44,6
	250	39,5	46,3	47,6	48,1	48,0	47,7
	0	11,8	14,4	14,0	13,1	12,0	10,7
150	50	27,0	31,5	31,8	31,5	30,9	30,0
	100	32,2	37,8	38,1	38,1	37,6	37,0
	150	35,7	41,6	42,5	42,7	42,4	41,8
	200	38,5	44,8	45,9	46,2	46,1	45,6
	250	40,6	47,4	48,7	49,1	49,1	48,8
150	0	13,0	15,7	15,3	14,4	13,3	12,0
	50	28,2	32,7	33,1	32,8	32,2	31,3
	100	33,4	38,7	39,4	39,3	38,9	38,2
	150	37,0	42,8	43,8	43,9	43,6	43,1
	200	39,7	46,0	47,2	47,5	47,3	46,9
	250	41,9	48,6	50,0	50,4	50,4	50,0

довательном увеличении доз фосфора на фоне N_0 в условиях 1982 и 1984 гг. были получены максимальные урожаи бобовой культуры за счет высокой интенсивности азотфиксации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева Л. М., Доросинский Л. М., Котельков А. П. О целесообразности использования минерального азота при возделывании бобовых культур. — С.-х. биол., 1983, № 4, с. 6—8, — 2. Вавилов П. П., Посыпанов Г. С. Бобовые культуры и проблемы растительного белка. — М.: Россельхозиздат, 1983. — 3. Верниченко Л. Ю., Миллер Ю. М. Усвоение молекулярного и минерального азота горохом при различных нормах азотных удобрений. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1983, № 2, с. 305—309. — 4. Гукова М. М. Особенности питания бобовых растений свободным и связанным азотом. — Автореф. докт. дис. М., 1974. — 5. Гукова М. М., Лаврова Е. К. Использование горохом азота атмосферы и минеральных соединений. — Изв. ТСХА, 1974, вып. 3, с. 92—98. — 6. Далеккая И. А., Егорова Л. И., Семихатова О. А. Влияние температуры на фосфорные соединения в листьях гороха. — Физиол. и биохим. культурных растений, 1972, т. 4, вып. 4, с. 363—367. — 7. Жиглинская Е. А. Кормовой горох. — М.: Колос, 1971. — 8. Мишустин Е. Н., Вериченко Л. Ю. Соотношение между минеральным и биологическим азотом в питании бобовых культур при возрастающих нормах азотных удобрений. — В сб.: Эколог. последствия применения агрохимикатов: удобрения. Тез. докл. Всесоюз. раб. совещ. по Междунар. программе ЮНЕСКО. Пушкино, 1982, с. 30. — 9. Образцов А. С. Влияние азотно-фосфорного питания на развитие и продуктивность однолетних бобовых растений. — Агрохимия, 1971, № 6, с. 15—20. — 10. Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. — 11. 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. **12.** Трепачев Е. П., Атрашкова Н. А., Хабарова А. И. Размеры фиксации атмосферного азота бобовыми растениями и методы их определения. — Агрохимия, 1967, № 8, с. 10—18.— **13.** Чундерова А. И., Алисова С. М. Суточная динамика активности симбиоти-

ческой азотфиксации у гороха в фазу бутонизации и цветения. — Физиол. растений, 1979, т. 26, вып. 3, с. 593—598,— **14.** Graile H., Heishel G. — Crop. Sci., 1982, vol. 22, N 2, p. 300—304.

Статья поступила 10 октября 1985 г.

SUMMARY

In greenhouse experiments with Falenskaja 40 variety of field peas, the effect of consistently increasing rates of nitrogen, phosphorus and potassium, and of their double and triple combinations on the accumulation of dry weight was studied. The modern technique of mathematical simulation of multi-factor experiment and mathematical treatment of its results was used.

The dry mass yield of peas varies under the influence of the three elements (nitrogen, phosphorus, and potassium), as well as of the interaction of the first order factors (in 1981 and 1982 — nitrogen and phosphorus, in 1984 — phosphorus and potassium). With consistently increasing phosphorus rates on the N_0 background, the highest yields of the legume crop were obtained in 1982 and 1984 due to highly intensive nitrogen fixation.