

УДК 633.11 «321» :581.133.8

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ Пониженной интенсивности освещения при разных уровнях калийного питания

Е. Е. КРАСТИНА

(Лаборатория физиологии растений)

Продуктивность зерновых культур зависит от уровня калийного питания, причем оптимум последнего чаще отмечается при средней, а не при повышенной обеспеченности растений калием [10, 12, 13, 17]. Снижение продуктивности растений при недостатке калия связывают с торможением оттока ассимилятов из листьев в генеративные органы [9, 11, 13, 14, 16]. Однако нет убедительных доказательств того, что калий непосредственно участвует в дальнейшем транспорте ассимилятов и что торможение последнего при недостатке этого элемента является причиной, а не следствием ослабления роста генеративных органов или других потребителей ассимилятов [8]. Дефицит калия не вызывал существенных изменений в передвижении меченых ассимилятов у 11 видов растений [15]. Уменьшение концентрации калия в проводящих пучках сахарной свеклы в 5 раз не снижало содержания в них сахарозы — транспортной формы углеводов у данного вида растений [2].

При загущении или снижении интенсивности светового излучения в растениях увеличивается концентрация калия [3, 5, 7]. Некоторые исследователи рассматривают это явление как приспособительную реакцию, способствующую снижению диспропорции между фотосинтезом и дыханием [6]. Однако в наших опытах с яровой пшеницей Московской 21 было установлено, что увеличение содержания калия в растениях на фоне невысокой интенсивности искусственного света усиливает кущение, но не повышает семенную продуктивность [4]. Поэтому мы сочли необходимым исследовать влияние пониженного уровня калийного питания на продуктивность яровой пшеницы, выращиваемой в условиях, способствующих накоплению калия в растениях (невысокая интенсивность света, сильное загущение растений). Если в таких условиях у растений повышается физиологическая потребность в калийном питании, то ограничение его должно тормозить рост и снижать продуктивность пшеницы. Если же в неблагоприятных световых условиях у растений сильнее тормозится накопление биомассы, чем поглощение калия, то снижение концентрации последнего в среде не должно отрицательно сказываться на росте и продуктивности пшеницы. Целью наших опытов была экспериментальная проверка этих положений.

Методика

Мягкую яровую пшеницу *Triticum aestivum* L. сорта Московская 21 выращивали в камерах с искусственным светом при горизонтальной освещенности 9 клк. В опыте 1 источниками излучения были люминесцентные лампы ЛБЦ-30 (с трех сторон) в сочетании с лампами накаливания (сверху), длина фотопериода в первые 35 дней составляла 20 ч, затем 16 ч, температура воздуха 20° круглосуточно. В опыте 2 использовали облучательное устройство с плоским пле-

ночным световодом и металлогалогенными лампами ДРИ-2000, длина фотопериода была постоянно 16 ч, температура воздуха 22—25° днем и 20—22° ночью.

Растения выращивали в водной культуре на питательной смеси Кнопа с микроэлементами Fe, B, Mn, Cu, Zn. Общая концентрация солей соответствовала 1,0 и 0,5 нормы смеси. На этих фонах в опытных растворах снижали в 3,5 раза концентрацию калия путем замены нитрата и хлорида

калия на эквивалентное количество нитрата и хлорида кальция. Источником калия в этих растворах оставался фосфат калия. Варианты опыта следующие: 1 — контроль 1, 1,0 норма смеси, концентрация калия 3,5 ммоль; 2 — контроль 2, 0,5 нормы смеси, 1,75 ммоль К; 3 — 1,0 норма смеси, 1 ммоль К; 4 — 0,5 нормы смеси, 0,5 ммоль К. Следовательно, для варианта 3 контролем был вариант 1, а для варианта 4 — вариант 2. Питательные растворы готовили на водопроводной воде, меняли через 7 дней, рН растворов доводили до 5,6 ежедневно.

Растения высаживали в сосуды с питательными растворами в фазу разворачивания первого листа (через 5 дней после прорастания семян) по 15 шт. на сосуд, вмещающий 2,5 л раствора. В каждом вариан-

те было 8 сосудов (опыт 1) или 4 сосуда (опыт 2). Часть растений в фазы кушения и выхода в трубку убирали для анализа, до колошения и созревания доводили по 10 растений в сосуде опыта 1 и по 7 — опыта 2. В пробах определяли морфологию растений, сухую массу органов, содержание азота, фосфора и калия. Содержание общего азота устанавливали микрометодом Кьельдаля, фосфора — по Кирсанову, калия — на пламенном фотометре. Сроки колошения фиксировали для каждого растения отдельно, затем высчитывали среднее число дней от всходов до колошения в каждом варианте. Во время уборки растений учитывали отдельно элементы продуктивности главного и боковых побегов, затем суммировали на 1 растение. Результаты опытов подвергали статистической обработке.

Результаты

Рост и развитие главного побега пшеницы в течение первого месяца были сходными во всех вариантах, т. е. не зависели ни от общей концентрации питательной смеси, ни от уровня калийного питания. Но появление и рост боковых побегов были замедленными у растений варианта 4 по сравнению с растениями остальных вариантов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Рост и развитие растений в фазу выхода в трубку

Вариант	Воздушно-сухая масса, г на 1 растение				Высота стебля ГП, см	Воздушно-сухая масса на 1 растение, г				Высота стебля ГП, см	
	ГП	БП	корни	всего		ГП	БП	корни	всего		
Опыт 1, 21 день (начало VII этапа органогенеза ГП, 6 листьев на ГП)						Опыт 2, 22 дня (VI этап органогенеза ГП, 6 листьев на ГП)					
1	0,31	0,11	0,08	0,50	11,2	0,27	0,06	0,07	0,40	6,7	
2	0,31	0,11	0,06	0,48	13,5	0,29	0,07	0,07	0,43	7,2	
3	0,30	0,09	0,06	0,45	12,2	0,24	0,09	0,06	0,39	6,3	
4	0,28	0,04	0,06	0,38	11,6	0,27	0,03	0,07	0,37	6,6	
Опыт 1, 28 дней (VII этап органогенеза ГП, 7 листьев на ГП)						Опыт 2, 30 дней (VII этап органогенеза ГП, 7 листьев на ГП)					
1	0,54	0,25	0,10	0,89	26,4	0,53	0,24	0,09	0,86	18,6	
2	0,52	0,20	0,08	0,80	26,9	0,42	0,24	0,08	0,74	18,0	
3	0,54	0,22	0,09	0,85	26,2	0,50	0,34	0,09	0,93	19,6	
4	0,52	0,07	0,09	0,68	25,1	0,55	0,10	0,08	0,73	19,9	

П р и м е ч а н и е. ГП и БП — соответственно главный и боковые побеги.

Видимо, ослабление конкуренции боковых побегов в этом варианте способствовало некоторому ускорению развития главного побега на VII этапе органогенеза. Растения выколосились раньше своего контроля (вариант 2) на 1,6 и 1,4 дня соответственно в опытах 1 и 2 (табл. 2). Но колошение боковых побегов в варианте 4 зареживалось, поэтому разрыв во времени колошения главного и боковых побегов был больше, чем в остальных вариантах.

По срокам колошения растения двух контрольных вариантов достоверно не различались, т. е. общая концентрация солей в питательной смеси не влияла на этот показатель. В опыте 1 растения всех вариантов выколосились несколько скорее, чем в опыте 2, что было связано

Сроки колошения растений

Вариант	Дней от всходов до колошения главного побега		Число выколосившихся боковых побегов на 1 растение через 53 дня от всходов	
	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2
1	43,9±0,22	46,3±0,32	1,1	0,8
2	43,0±0,22	46,0±0,40	1,0	1,2
3	42,9±0,21	45,9±0,36	1,0	0,9
4	41,4±0,19	44,6±0,30	0,4	0,4

с тем, что их выращивали в первые 35 дней при более длинном фото-периоде — 20 ч вместо 16 ч (табл. 2).

У опытных растений концентрация калия в органах оказалась значительно ниже, чем в соответствующих контролях, уже через 2 нед после высадки проростков на питательные растворы. Через 3 нед выявились различия по данному показателю и между контрольными растениями двух вариантов: он был ниже при 0,5 нормы смеси, чем при 1,0 норме. Следовательно, с этого времени отмечалась прямая корреляция между концентрациями калия в растворе и в растениях (табл. 3).

Таблица 3

Концентрация калия, азота и фосфора в органах пшеницы (мг на 1 г воздушно-сухой массы)

Дни опыта	Орган	Вариант				НСР ₀₅
		1	2	3	4	
Опыт 1, калий						
14	Главный побег	53,2	55,0	26,5	23,0	2,4
	Боковые побеги	45,0	43,4	34,0	29,8	4,2
	Корни	50,3	42,5	20,3	12,3	4,5
21	Главный побег	50,7	43,8	25,0	20,7	3,2
	Боковые побеги	66,0	54,5	31,8	25,5	2,3
	Корни	48,0	36,0	16,8	15,3	2,4
28	Главный побег	52,2	34,7	23,0	19,8	4,6
	Боковые побеги	59,0	48,3	32,2	23,3	5,1
	Корни	48,0	28,0	18,3	14,0	2,0
Опыт 1, азот						
14	Главный побег	53,2	51,2	50,4	55,8	3,9
21	»	49,9	47,3	42,8	44,6	3,0
28	»	41,0	47,9	43,8	56,5	5,7
	Боковые побеги	52,9	40,1	48,0	47,2	2,1
Опыт 1, фосфор						
14	Главный побег	9,09	9,48	10,53	9,44	0,92
21	»	7,38	7,38	7,21	8,08	—
28	»	6,60	6,56	7,69	9,09	1,14
	Боковые побеги	8,26	7,52	8,78	9,48	0,92
Опыт 2, калий						
15	Главный побег	72,7	69,3	58,3	40,7	3,7
22	»	57,7	49,3	33,7	19,0	1,9
	Боковые побеги	68,0	63,0	40,0	27,5	4,8
30	Главный побег	51,7	46,7	30,0	19,5	1,3
	Боковые побеги	46,0	41,0	21,3	18,0	2,0
Опыт 2, азот						
30	Главный побег	40,8	37,8	40,2	37,6	1,3
	Боковые побеги	46,2	47,2	44,7	42,5	1,0
Опыт 2, фосфор						
15	Главный побег	11,36	11,01	11,23	11,14	0,26
22	»	9,74	8,96	10,27	9,22	0,26
	Боковые побеги	10,44	9,92	10,14	10,18	0,17
30	Главный побег	7,69	7,78	7,78	7,78	—
	Боковые побеги	9,22	8,91	7,91	8,61	0,17

Несмотря на то, что содержание азота и фосфора в растворах вариантов 1 и 3 было в 2 раз выше, чем в растворах вариантов 2 и 4, растения в обоих контролях существенно не различались по содержанию этих элементов на 1 г воздушно-сухой массы (табл. 3). Следует сделать вывод, что поглощение пшеницей изучаемого сорта азота и фосфора меньше зависит от концентрации их в растворе, чем поглощение калия. Аналогичные данные были получены нами ранее в опытах с тем же сортом пшеницы [4].

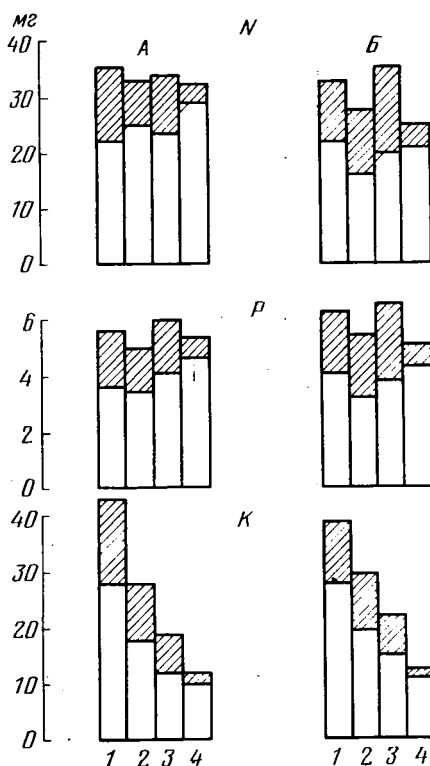
Снижение концентрации калия в растворах и растениях опытных вариантов мало влияло на питание пшеницы азотом и фосфором. У растений варианта 3 по сравнению с контролем 1 в отдельные сроки отмечалось небольшое уменьшение концентрации общего азота, увеличение или уменьшение содержания фосфора. Но в большинстве случаев различия не превышали НСР₀₅.

Представляет интерес тот факт, что у растений варианта 4 (минимальная концентрация калия в среде и органах растений) в некоторые сроки определения отмечалось достоверное увеличение относительного содержания фосфора (через 28 дней в опыте 1 и через 22 дня в опыте 2) и азота (через 14 и 28 дней в опыте 1) по сравнению с контролем. Это могло быть связано с более слабым кушением, т. е. с уменьшением конкуренции за данные элементы между главным и боковыми побегами.

В опыте 1 растения всех вариантов почти не различались по выносу азота и фосфора надземной частью через 4 нед от начала воздействия. Но доля боковых побегов в выносе оказалась значительно меньше в варианте 4, чем в других вариантах (рисунок). В опыте 2 общий вынос азота и фосфора надземной частью растений в возрасте 1 мес был выше при 1,0 норме смеси Кнопа (варианты 1 и 3), чем при 0,5 нормы (варианты 2 и 4). Но и в данном опыте минимальная доля боковых побегов в общем выносе отмечалась у растений варианта 4. Следовательно, в обоих опытах вынос азота и фосфора главным побегом в этом варианте превышал контроль 2. Вынос калия пшеницей находился в прямой связи с уровнем калийного питания (рисунок).

Таким образом, в результате химического анализа растений в фазы кушения и трубкования не выявлено каких-либо нарушений в азотном и фосфорном питании пшеницы при уменьшении в 3,5 раза концентрации калия в питательном растворе.

Листовая диагностика минерального питания показала, что достаточно высокая продуктивность яровой пшеницы (около 1 г зерна на одно растение) при естественном освещении обеспечивается в том случае, если в фазу кушения в листьях содержится 4,1—5,0 % N и K₂O, 0,87—1,0 % P₂O₅ [1]. Это соответствует в принятых нами единицах 41—50 мг N, 34—42 мг K и 3,8—4,4 мг P на 1 г сухой массы. Как видно из табл. 3, в наших опытах растения были в достаточной мере обеспе-



Вынос азота, фосфора и калия побегами пшеницы (мг на 1 растение).

А — опыт 1 (28 дней); Б — опыт 2 (30 дней); незаштрихованная часть столбика — главный побег, заштрихованная — боковые побеги; 1—4 — варианты.

чены азотом, но содержали больше фосфора. Контрольные растения (особенно в контроле 1) отличались более высокой концентрацией калия по сравнению с указанной выше, опытные растения варианта 3 — близкой к ней, а варианта 4 — более низкой. Если повышение концентрации калия в растениях при низкой освещенности является приспособительной реакцией, то можно было ожидать снижения продуктивности пшеницы в опытных вариантах по сравнению с контролями. Однако эти ожидания не оправдались.

В опыте 1 выявлена отрицательная корреляция между общим числом боковых побегов на 1 растение и их семенной продуктивностью ($-0,99$). Поэтому влияние уровня калийного питания на кушение пшеницы определили продуктивность растений в изучаемых условиях. В контроле 1 по сравнению с контролем 2 число боковых побегов и масса соломы были больше, но меньше число и масса зерен (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Продуктивность растений яровой пшеницы (на 1 растение)

Элементы продуктивности	Опыт 1				Опыт 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Масса зерна, г	0,80	1,10*	0,84	0,97	0,59	0,56	0,88	1,00*
Число зерен, шт.	19,5	27,6*	21,8	22,6	14,6	13,6	22,3*	24,7*
Масса 1000 зерен, г	40,8	40,1	38,9	43,0	39,6	41,7	40,2	40,6
Масса соломы, г	5,47	3,97*	3,34*	2,88*	4,35	4,40	3,78*	2,80*
Боковые побеги, шт.:								
всего	4,9	3,0*	4,1	3,3	3,9	3,5	4,4	3,0
продуктивных	2,5	1,9*	1,9*	1,6	2,1	2,3	2,8	2,0
Высота стебля, см:								
главного побега	61,6	63,7	55,7*	55,9*	50,0	51,6	49,2	50,6
продуктивных боковых побегов	53,9	52,6	47,4*	44,2*	50,7	51,0	46,2*	45,9*
Зерно : солома	0,15	0,28	0,25	0,34	0,14	0,13	0,23	0,36

П р и м е ч а н и е. Звездочкой обозначено наличие существенной разницы с соответствующим контролем при $P = 0,95$.

Снижение уровня калийного питания на фоне обеих концентраций питательной смеси (варианты 3 и 4) уменьшило высоту побегов и массу соломы, но не вызвало достоверных изменений семенной продуктивности пшеницы (различия с соответствующими контролями были меньше НСР₀₅). В связи с этим отношение массы зерна к массе соломы было выше у опытных растений, чем у контрольных.

В опыте 2, в котором были другие источники излучения и более короткий фотопериод в первые 35 дней, чем в опыте 1, продуктивность растений в обоих контролях была одинаковой и низкой. В данных условиях даже проявилось положительное влияние пониженного уровня калийного питания на продуктивность пшеницы. У растений варианта 4 по сравнению с контролем 2 почти в 2 раза увеличилось число и масса зерен, что, видимо, было связано с ослаблением непродуктивной кустистости пшеницы. И в этом опыте отношение массы зерна к массе соломы оказалось выше у опытных растений, чем у контрольных (табл. 4).

Таким образом, опыты с яровой пшеницей Московской 21 в условиях пониженной освещенности и сильного загущения растений показали, что снижение концентрации калия в побегах и корнях пшеницы не уменьшает семенной продуктивности, а в некоторых случаях даже увеличивает ее. Последнее имело место при разбавлении питательного

раствора в 2 раза (опыт 1) или при одностороннем уменьшении концентрации калия в питательном растворе (опыт 2). Снижение уровня калийного питания и соответственно концентрации калия в растениях уменьшало массу соломы, но этот показатель не находился в прямой связи с семенной продуктивностью пшеницы.

Следовательно, в наших опытах не подтвердилось положение о том, что при пониженной интенсивности освещения у растений увеличивается потребность в калии. Наоборот, ограничение последнего в таких условиях снижает непродуктивную кустистость яровой пшеницы, увеличивает отношение массы зерна к массе соломы, что свидетельствует о лучшем использовании питательных веществ вегетативных органов для формирования зерна.

Выводы

1. В условиях искусственного освещения невысокой интенсивности у яровой мягкой пшеницы Московской 21 не снижается семенная продуктивность при уменьшении концентрации калия в питательной среде и растениях.

2. При ограничении калийного питания пшеницы в указанных световых условиях увеличивается отношение массы зерна к массе соломы.

3. Повышенное содержание калия в растениях при низкой интенсивности света и нормальном уровне калийного питания нельзя рассматривать как приспособительную реакцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев Н. К. Диагностика условий питания яровой пшеницы в фазу кущения по валовому химическому анализу листьев. — Физиол. раст., 1963, т. 10, вып. 5, с. 561—570. — 2. Выскребенцева Э. И., Чихачева Г. М. Влияние калийного дефицита на транспорт и накопление сахарозы у растений сахарной свеклы. — Тр. Биол.-почв. ин-та. Дальневост. научн. центр АН СССР, 1973, № 20 (123), с. 264—268. — 3. Журбицкий З. И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 4. Крастина Е. Е. Реакция яровой пшеницы на концентрацию питательного раствора в условиях светокультуры. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 4, с. 3—10. 5. Крастина Е. Е. Минеральное питание подсолнечника при ценогическом взаимодействии растений. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 5, с. 95—103. — 6. Куперман И. А. Минеральное питание, дыхание и продуктивность растений. — Автореф. докт. дис. Новосибирск, 1984. — 7. Куперман И. А., Хитрово Е. В. Влияние дефицита азота, фосфора и калия на дыхание и продуктивность яровой пшеницы. 1. Опыт в вегетационных сосудах. —

Агрохимия, 1982, № 7, с. 66—73. — 8. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении. М.: Наука, 1976. — 9. Подвалкова И. А. К вопросу о характере минерального питания яровой пшеницы в онтогенезе. — Физиол. раст., 1962, т. 9, вып. 1, с. 48—52. — 10. Турчин Ф. В. Роль калия в усвоении аммиака и в образовании активных форм углеводов в растении. — В сб.: Памяти акад. Д. Н. Прянишникова. М.: Изд-во АН СССР, 1950, с. 56—66. — 11. Haeder H. E., Mengel K. — Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk., 1972, Bd. 131, H. 2, S. 139—148. — 12. Mengel K., Forster H. — Plant a. Soil, 1971, vol. 35, N 1, p. 65—75. — 13. Mengel K., Haeder H. E. — Z. Acker- u. Pflanzenbau, 1974, Bd. 140, H. 3, S. 206—213. — 14. Mengel K., Viro M. — Physiol. Plant., 1974, vol. 30, N 4, p. 295—300. — 15. Thrower S. L., Thrower L. B. — New Phytol., 1976, vol. 77, N 3, p. 541—545. — 16. Viro M., Haeder H. E. — Potassium Biochem. a. Physiol. Berne, 1971, p. 118—124. — 17. Williams D. E. — Plant a. Soil, 1961, vol. 15, N 4, p. 387—399.

Статья поступила 10 ноября 1984 г.

SUMMARY

Soft spring wheat *Triticum aestivum* L. of the variety *Moskovskaya 21* was grown under lower intensity of artificial illumination (9 kilolux) in water culture. Potassium concentration in the nutritive solution varied from 0.5 to 3.5 mmoles. The level of potassium nutrition had no influence on the growth and development of the main shoot of wheat during the first month, but the emergence of lateral shoots was retarded by the minimal concentration of potassium in the solution. Seed productivity of wheat was no lower, and even increased under low concentration of potassium in nutritive solution and in plants. Ratio of grain mass to straw mass was higher under limited potassium nutrition. The experiments failed to prove the idea that wheat requires higher potassium nutrition under low illumination intensity.