

УДК 633.1:[581.132+631.811

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И УРОЖАЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

И. С. ШАТИЛОВ, Г. В. ЧАПОВСКАЯ, А. Г. ЗАМАРАЕВ

(Кафедра растениеводства)

Урожай растений определяется прежде всего размерами ассимиляционной поверхности, продолжительностью и интенсивностью ее работы [1, 7, 10, 13 и др.]. Однако при чрезмерном увеличении листовой поверхности начинается затенение листьев нижних ярусов верхними и баланс между приходом и расходом органического вещества ухудшается, что приводит к снижению общего урожая [7, 9, 10, 13]. Основной причиной недобора урожая в засушливых условиях [8] или при недостатке минерального питания и тепла [2, 11, 13] является уменьшение площади листьев в результате подавления ростовых процессов. Для многих зерновых культур оптимальным индексом листовой поверхности (площадь листьев на единицу площади посева) считается 4—5 м²/м² [1, 7, 9, 10], а оптимальным фотосинтетическим потенциалом — не менее 2 млн. м²/га дней [7].

До настоящего времени лишь в кратких экспериментах изучалось формирование ассимиляционной поверхности отдельных зерновых культур при дозах удобрений, избираемых без учета содержания элементов питания в почве. Вместе с тем в условиях усиливающейся химизации вопрос об оптимальном уровне минерального питания приобретает важное значение. В связи с этим в задачу наших исследований входило: изучить в длительных стационарных опытах особенности формирования ассимиляционной поверхности зерновых культур, ее продуктивности в севооборотах при разных уровнях минерального питания.

Условия и методика исследований

Формирование площади листьев, фотосинтетического потенциала посевов и накопленные урожаи озимой пшеницей, ячменем, овсом изучали в 1967—1975 гг. в семипольном севообороте стационарных опытов экспериментальной базы ТСХА «Михайловское» на трех фонах минерального питания: 1 — расчетные дозы удобрений на планируемый урожай по среднепогодной влагообеспеченности, 2 — рекомендованные дозы удобрений с учетом эффективного плодородия почв, 3 — без внесения удобрений. Агротехническая, физическая характеристики почв, схема опытов, чередование культур в севообороте и агротехнические приемы возделывания полевых культур описаны в предыдущих работах [5, 11, 13].

При закладке опыта в 1965 г. расчет возможного уровня урожая (табл. 1) проводили на основании данных о среднегодовом количестве осадков, коэффициенте их использования, суммарном расходе воды культурами и почвой на единицу сухих веществ растения, отношении хозяйственно-полезной продукции ко всей фитомассе по формуле

$$A = \frac{W_0 \varepsilon}{K} \cdot de,$$

где A — урожай зерна при стандартной влажности; W_0 — годовая сумма осадков; ε — коэффициент использования осадков (0,7); K — коэффициент водопотребления; d — поправочный коэффициент на стандартную влажность зерна $\left(\frac{100}{100-14,3}\right)$; e — коэффициент, учитывающий долю зерна в общей массе.

Определив возможный уровень урожайности полевых культур и содержание подвижных форм азота (легкогидролизуемого), фосфора и калия в почве, рассчитали дозы удобрений по формуле

$$D_y = \left(C_a - \frac{C_n \cdot 30 \cdot K_n}{100} \cdot \frac{100}{K_y} \cdot \frac{100}{C_y} \right),$$

где D_y — доза минерального удобрения, в туках; C_a и C_n — содержание элемента в урожае и почве соответственно в кг/га и мг на 100 г почвы; 30 — коэффициент пересчета элемента из миллиграммов на 100 г почвы в килограммы на 1 га; K_n и K_y —

процент усвоения элемента из почвы и удобрений; C_y — концентрация элемента в туке, % д. в.; 100 — коэффициент пропорциональности.

В среднем за годы опыта в севообороте с расчетной дозой удобрений вносили под озимую пшеницу $N_{122}P_{71}K_{51}$, ячмень — $N_{94}P_{66}K_{66}$, овес — $N_{103}P_{78}K_{72}$, а с рекомендованными дозами — соответственно $N_{45}P_{35}K_{35}$ и $N_{35}P_{35}K_{45}$. В среднем было внесено 10,4 ц стандартных туков удобрений на 1 га при расчетной дозе удобрений и 4,7 ц при рекомендованной.

Площадь листьев и массу надземных частей растений определяли весовым методом по фазам развития с учетной площадью 0,25 м², повторность 3-кратная, фотосинтетический потенциал рассчитывали по формуле [3]

$$\Phi\Pi = \frac{L_1}{2} H_1 + \left(\frac{L_1 + L_2}{2} \right) H_2 + \left(\frac{L_2 + L_3}{2} \right) H_3 + \text{и т. д.},$$

где L — площадь листьев в данную фазу, тыс. м²/га; H — продолжительность межфазного периода, в днях.

Учет урожая — поделяночный сплошной. Полученные материалы обрабатывали методом дисперсионного анализа [4, 6].

1968 и 1972 годы были засушливыми, весенняя засуха отмечалась в 1970 и 1971 гг. В период интенсивного роста яровых (июнь) в 1968 г. выпало 11% нормы осадков, а в 1970—1972 гг. — в 2—3 раза меньше нормы. Благоприятным по влагообеспеченности был 1969 год, а обилие ливневых осадков отмечалось во второй половине вегетации в 1973 г. и в первой — в 1974 г. Температурный режим вегетационных периодов 1967—1975 гг. был благоприятен для роста полевых культур. Сумма температур выше +5° равнялась 2400°, а более +10°—2050°. За период вегетации озимой пшеницы приход ФАР в среднем составил 2,7, ячменя — 2,3, овса — 2,4 млрд. ккал/га.

В годы с повышенной влажностью, сочетающейся с пониженными температурами, наблюдалось удлинение периода вызревания зерновых культур на 20—30 дней. В этих случаях увеличивались потери зерна при уборке и снижалось его качество.

Таблица 1

Расчет возможного урожая (при годовой сумме осадков 550 мм)

Культура	Кoeffициент водопотребления	Урожай биомассы, ц/га	Влажность зерна, %	Отношение зерна к соломе	Ожидаемый урожай, ц/га	
					зерна	соломы
Оз. пшеница	500	77	14,3	1:1,5	35	53
Ячмень + травы	550	70*	14,3	1:1,3	30	40
Овес	550	70	14,3	1:1,3	36	45

* 60 ц биомассы ячменя + 10 ц многолетних трав.

Результаты и обсуждение

Листовая поверхность в посевах зерновых культур в среднем за 1967—1975 гг. составила 2—3 м²/м². При этом у озимой пшеницы и ячменя она была выше, чем у овса (табл. 2—4). У колосовых культур площадь листьев достигала максимальных размеров в фазу выхода в трубку и колошения. В фазу молочной спелости у овса оказалась выше, чем у ячменя и озимой пшеницы, в варианте с удобрениями в 2 раза, без внесения удобрений — в 4 раза. При выпадении осадков в летние месяцы у овса наблюдалось вторичное кущение, поэтому листья у него сохранялись до полной спелости.

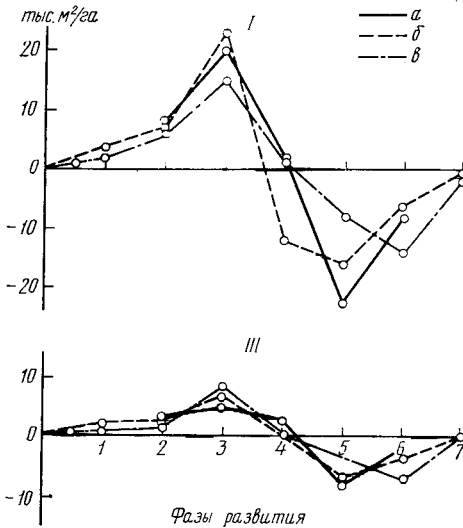


Рис. 1. Ход прироста площади листьев озимой пшеницы (а), ячменя (б) и овса (в) в среднем за 1967—1975 гг.

I — расчетная доза удобрений; III — без удобрений; 1 — всходы; 2 — кущение; 3 — выход в трубку; 4 — колошение; 5 — молочная спелость; 6 — восковая спелость; 7 — полная спелость.

В наших опытах у колосовых культур наибольший прирост ассимиляционного аппарата отмечался в межфазный период кущение — выход в трубку, а наиболее интенсивное отмирание у озимой пшеницы, ячменя в период колошения — молочная спелость, а у овса — в период молочная — восковая спелость (рис. 1). В среднем при расчетной дозе удобрений максимальный прирост площади листьев составил у озимой пшеницы 20,0, ячменя 23,5 и овса — 15,2 тыс. м²/га, при рекомендованной — соответственно 14,8; 12,6; 13,0 тыс. м²/га, а без удобрений — 4,8; 6,7; 8,0 тыс. м²/га (рис. 1).

Фотосинтетический потенциал в среднем на фоне удобрений был выше у озимой пшеницы, затем у овса, а без внесения удобрений — у овса и ячменя (табл. 5).

На хорошо удобренных полях во влажные годы фотосинтетический потенциал достигал 1,8—2,5 млн. м²/га·дней, а при недостатке влаги в период интенсивного роста ранних зерновых (июнь 1968, 1972, 1973, 1975 гг.) он был на 300—900 тыс. м²/га·дней меньше среднего многолетнего и в 2—2,5 раза ниже максимального (табл. 5). При одинаковых погодных условиях в варианте с расчетной дозой удобрений фотосинтетическая мощность посева была в зависимости от культуры и года на 50—1000 тыс. м²/га·дней больше, чем при рекомендованной дозе, и в 1,6—4,5 раза выше, чем без внесения удобрений. Кривые хода прироста фотосинтетического потенциала озимой пшеницы и овса по фазам развития в вариантах с удобрениями аналогичны, хотя имеют разные значения (рис. 2).

У озимой пшеницы при расчетных дозах удобрений (рис. 2, А) нарастание фотосинтетической мощности наблюдалось на протяжении

трех фаз развития (выход в трубку — 302 тыс. м²/га·дней, колошение — 590, молочная спелость — 493 тыс. м²/га·дней), у овса — двух (колошение — 427 тыс. м²/га·дней, молочная спелость — 359 тыс. м²/га·дней), а у ячменя — только в фазу колошения (максимум — 520 тыс. м²/га·дней). Аналогично шло увеличение фотосинтетического потенциала и при рекомендованной дозе удобрений (рис. 2, В). В опыте без удобрений у всех культур увеличение фотосинтетического потенциала достигало максимума в фазу колошения (рис. 2, С).

Корреляционный и регрессионный анализ показал высокую прямолинейную зависимость урожая зерна от величины фотосинтетического потенциала (рис. 3, А, В, С) особенно в годы с благоприятными метеорологическими условиями. Коэффициент корреляции между этими показателями в среднем за 1967—1975 гг. составил у озимой пшеницы $0,84 \pm 0,1$, ячменя — $0,78 \pm 0,1$, овса — $0,74 \pm 0,1$, а уравнение регрессии урожая по фотосинтетическому потенциалу имело следующий вид: $Y = 10,8 + 0,016x$ (озимая пшеница); $Y = 11,5 + 0,018x$ (ячмень); $Y = 6,3 + 0,017x$ (овес).

Корреляционная связь между биологической продуктивностью (урожаем сухой массы) и размерами фотосинтетического потенциала посевов еще теснее. В некоторые годы при выпадении ливневых дождей наблюдается полегание хлебных злаков, особенно на полях, где внесены повышенные дозы азотных удобрений (более 120—150 кг/га).

В полегших посевах хорошо развитая фотосинтезирующая система не в состоянии реализовать свою потенциальную продуктивность вследствие значительного ухудшения освещенности ассимиляционной поверхности нижних ярусов, подавления фотосинтеза и ростовых процессов. В таких посевах зерно формируется щуплое, низкокачественное и идет в отход. Поэтому в многолетнем эксперименте не всегда проявляется четкая прямая связь между размерами площади листьев и урожаем зерна, о чем свидетельствует отклонение эмпирической линии регрессии от теоретической (рис. 3, А, В, С). За рассматриваемый период (1967—1975 гг.) сопряженность связи урожая зерна с величиной фотосинтетического потенциала составила у озимой пшеницы 70,6%, ячменя — 60,6, овса — 54,8%.

В годы исследований (1967—1975) расчетные дозы удобрений обеспечили получение запланированного биологического урожая зерновых

Таблица
Площадь листьев озимой пшеницы по фазам развития (тыс. м²/га)

Годы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость
С удобрениями				
1968	7,7	29,5	27,7	11,6
	5,8	26,6	22,2	7,6
1969	8,3	26,9	35,3	11,1
	9,6	22,0	28,4	10,8
1970	9,9	31,0	24,5	11,1
	9,3	24,2	20,4	2,5
1971	4,8	34,8	27,9	2,9
	4,8	27,0	21,6	2,9
1972	3,8	11,9	14,1	1,8
	3,1	9,3	13,0	2,6
1973	10,9	34,9	57,9	4,6
	8,4	16,2	35,5	2,0
1974	12,6	26,6	36,3	13,5
	3,0	20,1	39,4	19,3
1975	5,5	28,9	21,4	4,9
	6,5	23,2	19,8	3,8
Среднее	7,9	28,0	30,6	7,7
	6,3	21,1	25,0	6,4
Без удобрений				
1968	3,7	11,5	8,6	—
1969	4,7	8,3	11,9	—
1970	4,6	14,7	7,4	—
1971	1,8	5,8	5,4	1,7
1972	2,9	4,6	6,1	0,9
1973	3,2	5,0	19,9	0,5
1974	4,1	7,0	13,3	6,0
1975	2,8	8,9	8,1	5,9
Среднее	3,4	8,2	10,1	1,9

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4, 6, 7, 8 в числителе — при расчетных дозах удобрений, в знаменателе — при рекомендованных дозах удобрений.

Площадь листьев ячменя по фазам развития (тыс. м²/га)

Годы	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
С удобрениями							
1967	5,6	22,1	36,1	24,8	4,7	—	—
	5,4	13,6	29,0	14,5	3,7	—	—
1968	9,9	13,4	29,6	12,8	—	—	—
	5,1	7,6	18,9	7,4	—	—	—
1969	0,2	1,8	53,8	42,4	4,3	—	—
	0,2	1,5	29,7	43,5	8,2	—	—
1970	3,8	11,8	45,4	35,5	7,9	—	—
	3,4	10,2	25,2	23,1	7,7	—	—
1971	1,3	10,3	34,6	16,3	7,9	—	—
	1,4	8,5	29,4	17,9	5,6	—	—
1972	2,4	9,5	20,2	16,8	4,4	1,8	—
	2,4	7,2	14,7	12,1	4,2	1,3	—
1973	5,2	12,8	24,1	12,6	6,0	1,1	—
	4,9	11,0	14,6	13,0	4,4	1,2	—
1974	3,4	8,9	52,7	21,2	10,6	—	—
	—	7,8	29,1	21,1	6,2	—	—
1975	3,5	8,4	14,4	18,1	9,5	—	—
	4,6	9,2	8,3	13,2	5,7	—	—
Среднее	3,9	11,1	34,5	22,3	6,2	0,3	—
	3,4	8,5	21,1	18,4	5,1	0,3	—
Без удобрений							
1968	5,7	8,3	11,4	5,8	—	—	—
1969	0,1	1,2	26,6	21,1	7,1	—	—
1970	2,6	6,1	13,4	15,8	3,6	—	—
1971	1,1	4,3	10,2	9,3	2,1	—	—
1972	1,2	2,8	5,2	7,0	3,2	0,9	—
1973	3,5	8,0	7,4	5,3	1,1	—	—
1974	1,8	3,1	10,8	9,1	4,7	—	—
1975	1,1	2,9	5,2	15,6	6,9	—	—
Среднее	2,1	4,6	11,3	11,1	3,6	0,1	—

культур, а урожай озимой пшеницы был даже на 27 ц/га выше запланированного (табл. 6—8). Это объясняется тем, что для ранних зерновых первостепенное значение в формировании урожая имеет обеспеченность влагой в период интенсивного роста растений (особенно в июне). Так, коэффициент корреляции между количеством осадков в июне и урожаями овса, ячменя равен 0,75; осадками и урожаем озимой пшеницы — 0,50, а между количеством осадков в июне — июле (до 20) — соответственно по культурам 0,20 и 0,93. Поскольку в Подмосковье ранние зерновые культуры чаще всего испытывают недостаток влаги в июне (к этому времени корневая система растений еще недостаточно развита), фотосинтетическая деятельность их в большей мере лимитируется влагой (у ячменя — на 64%, овса — на 73%), чем уровнем минерального питания (на 27 и 18%), а у озимой пшеницы она, напротив, в большей степени зависит от уровня минерального питания (69%), чем от погодных условий (28%).

В среднем за 1967—1975 гг. урожай сухой массы озимой пшеницы в севообороте с расчетной дозой удобрений составил 102,3 ц/га, ячменя — 75,5, овса — 77,7 ц/га, при рекомендованной дозе в зависимости от культуры он был на 13,5—15,4 ц/га ниже, а в опыте без удобрений в 1,6—2,3 раза меньше (табл. 6—8). Наибольшее накопление сухих

Таблица 4

Площадь листьев овса по фазам развития (тыс. м²/га)

Годы	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Массовая спелость	Восковая спелость	Полная спелость
С удобрениями							
1967	2,8 1,8	23,5 13,7	38,0 18,3	21,8 12,0	23,6 10,0	1,1 1,5	—
1968	2,1 2,8	4,3 4,1	10,7 14,6	7,7 8,9	7,5 5,5	13,7 7,9	13,5 12,1
1969	0,9 0,7	2,0 2,3	36,5 36,4	40,8 33,9	23,5 25,7	2,1 1,2	1,7 1,1
1970	3,1 2,5	12,0 8,1	18,5 15,4	18,4 16,2	11,9 12,8	—	—
1971	0,9 0,7	8,3 9,5	25,3 22,1	23,1 20,9	15,0 11,4	4,7 2,7	—
1972	1,8 1,8	6,0 6,2	22,9 19,9	16,8 16,4	14,7 10,5	1,4 2,8	—
1973	3,0 3,8	7,0 5,9	20,0 13,1	18,5 15,7	14,9 11,5	8,6 7,5	1,6 0,8
1974	2,9 2,5	7,4 4,9	32,0 18,0	56,0 23,2	26,7 20,5	—	—
1975	1,9 1,7	3,4 3,8	7,0 8,9	21,5 18,2	18,9 17,1	—	—
Среднее	2,1 2,0	8,2 6,5	23,4 18,5	24,9 18,4	17,4 13,9	3,5 2,6	1,8 1,5
Без удобрений							
1968	2,4	5,2	15,0	10,5	7,5	8,6	6,9
1969	0,7	1,3	26,3	17,5	14,8	—	—
1970	1,5	5,3	9,9	13,0	7,0	—	—
1971	0,8	4,7	10,1	9,6	7,8	0,5	—
1972	1,6	3,9	11,3	13,1	7,5	0,3	—
1973	1,9	2,2	8,0	7,5	3,8	3,0	0,4
1974	2,3	3,4	7,5	9,3	10,2	—	—
1975	1,0	1,4	3,3	12,9	10,0	—	—
Среднее	1,5	3,4	11,4	11,7	8,6	1,5	0,9

Таблица 5

Фотосинтетический потенциал зерновых культур (тыс. м²/га·дней)

Годы	Оз. пшеница			Ячмень			Овс		
	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений
1967	—	—	—	1161	702	—	1538	794	—
1968	1370	1089	435	810	487	369	958	880	846
1969	1563	1318	445	1861	1555	1021	2075	1963	1181
1970	1657	1203	556	1571	1018	607	1066	935	613
1971	1343	1086	288	1099	991	428	1296	1130	561
1972	577	518	264	725	545	268	807	728	483
1973	2574	1539	718	844	732	304	1094	870	392
1974	1644	1853	588	1523	1043	472	1917	1079	510
1975	1454	1019	389	835	594	522	889	839	487
Среднее	1523	1203	460	1159	852	499	1293	1024	634

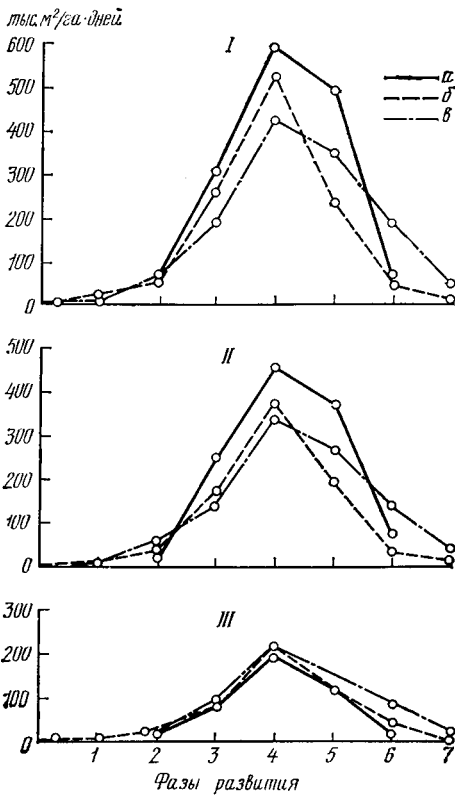


Рис. 2. Ход прироста фотосинтетического потенциала озимой пшеницы (а), ячменя (б), овса (в).

II — рекомендованная доза удобрений. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

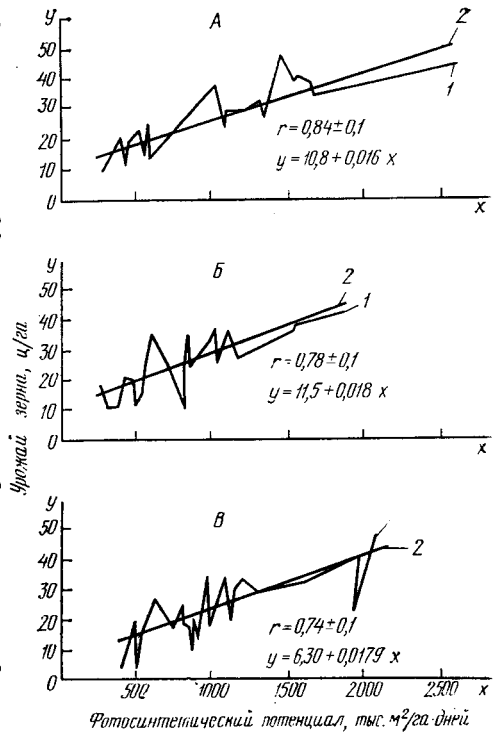


Рис. 3. Зависимость урожая зерна озимой пшеницы (А), ячменя (Б), овса (В) от размеров фотосинтетического потенциала посева.

1 — эмпирическая линия регрессии; 2 — теоретическая.

веществ (до 122—154 ц/га) у зерновых отмечено на фоне расчетных доз удобрений при благоприятных условиях увлажнения (1969 г.), когда стеблестой не полегал.

Накопление урожая у зерновых в среднем за годы опытов наблюдалось до восковой спелости, а затем вследствие отмирания вегетативных органов и оттока питательных веществ в корни отмечалось заметное уменьшение сухой массы растений. Во влажные годы накопление ее было максимальным в более ранние фазы (табл. 6—8). В фазы всходов, кущения и выхода в трубку зерновые накапливают примерно одинаковое количество сухого вещества (рис. 4, А, В, С). Прирост сухой массы по фазам развития аналогичен нарастанию фотосинтетического потенциала (рис. 2, 4). Максимальный прирост надземной массы озимой пшеницы и овса (рис. 4, А) находился почти на одном и том же уровне в межфазные периоды от колошения (озимая пшеница — 40, овес — 27 ц/га) до молочной спелости (соответственно 39 и 31 ц/га). У ячменя максимум накопления урожая отмечался в фазу колошения (рис. 4). В опыте без удобрений у всех зерновых культур кривая прироста урожая одновершинная с максимумом у озимой пшеницы и овса в фазу молочной спелости, у ячменя — в фазу колошения (рис. 4, С). Темпы прироста урожая сухой массы при внесении удобрений были в 1,4—2,3 раза выше, чем без них.

Фотосинтетический потенциал посевов зерновых культур при расчетных дозах удобрений, равный 1400—2500 тыс. м²/га·дней, обеспечи-

вал получение 105—154 ц сухой биомассы и 40—47 ц зерна, 1000—1500 тыс. $\text{м}^2/\text{га}\cdot\text{дней}$ — соответственно 70—100 и 30—39 ц и 700—900 тыс. $\text{м}^2/\text{га}\cdot\text{дней}$ — 40—70 ц и 13—25 ц/га. Полегание посевов в фазы колошения и молочной спелости приводило к значительному снижению урожаев зерна (до 10—12 ц/га) при высокой фотосинтетической их мощности (табл. 5, 9).

В среднем за вегетацию (1967—1975 гг.) на фоне расчетной дозы удобрений при фотосинтетическом потенциале у озимой пшеницы 1523 тыс. $\text{м}^2/\text{га}\cdot\text{дней}$ был получен урожай сухой массы 102 ц и зерна 36,5 ц, при рекомендованной дозе и ФП 1203 тыс. $\text{м}^2/\text{га}\cdot\text{дней}$ — соответственно 87 и 31,7 ц/га, а в севообороте без удобрений, где фотосинтетическая мощность посева была меньше, урожай зерна оказался ниже в 2,4, а биомассы — в 1,9 раза (табл. 5—9).

Из ранних зерновых культур урожайнее был ячмень, хотя он и имел несколько меньшую листовую поверхность. У овса с фазы молочной спелости наблюдалось увеличение площади листьев в результате вторичного кушения, однако это уже не могло оказать влияния на формирование зерна. У ячменя и овса в опыте без удобрений уменьшение фотосинтетического потенциала в 2—2,3 раза привело к снижению урожаев сухой массы в 1,7 и зерна в 1,5 раза по сравнению с их величиной при расчетных дозах.

В Подмоскowie на суглинистых дерново-подзолистых почвах расчетные дозы удобрений под озимую пшеницу и ячмень обеспечили в среднем получение планируемых урожаев этих культур (табл. 9). Планируемого урожая овса при внесении расчетных доз не получили, по нашему мнению, из-за полегания растений при фотосинтетическом потенциале 1500 тыс. $\text{м}^2/\text{га}\cdot\text{дней}$.

В благоприятные по метеорологическим условиям годы урожай зерна на 4—16 ц/га превышал средний многолетний (табл. 9). У ячменя и овса в годы исследований при обеих системах удобрения урожай был примерно одинаковым. В опыте без удобрений у ячменя он был на 4,2 ц/га выше, чем у озимой пшеницы, и на 2,5 ц/га выше, чем у овса. В среднем по зерновым в севообороте без удобрений урожай составил 17 ц/га, а в отдельные годы достигал у ячменя и овса 25—33 ц/га. Прибавка зерна от удобрений составила при их расчетной дозе у озимой пшеницы 21 ц, при рекомендованной — 16 ц, ячменя — соответственно 11 ц и 10 ц, а овса — 9 ц с 1 га.

В опыте с расчетной дозой удобрений на 1 ц внесенных стандартных туков получили зерна озимой пшеницы 3,3 ц, ячменя — 3,2 ц, овса — 2,4 ц, при рекомендованной системе удобрений — соответственно 6,5; 6,2 и 5,5 ц. Окупаемость внесенных удобрений, или количество зерна, приходящееся на 1 ц туков, составила на фоне расчетных доз у озимой пшеницы 1,9 ц, ячменя — 1,2 ц, овса — 0,9 ц, при рекомендованной дозе она была в 2 раза выше. На формирование 1 т зерна и соответствующее количество побочной продукции зерновые в зависимости

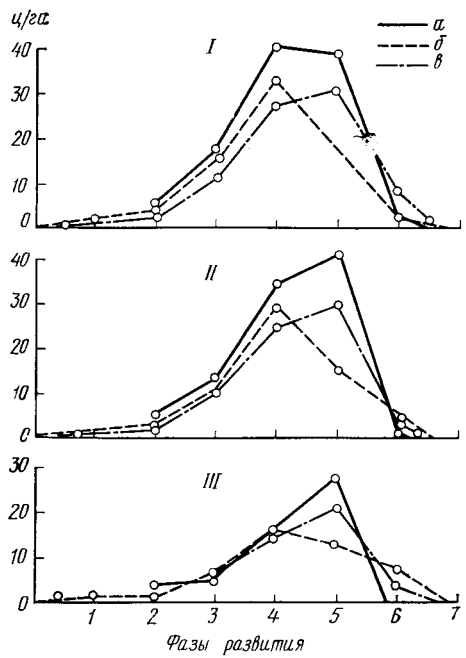


Рис. 4. Ход прироста сухой массы озимой пшеницы (а), ячменя (б), овса (в). Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Накопление сухой массы у озимой пшеницы (ц/га)

Годы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
С удобрениями						
1968	6,0	39,6	76,8	104,9	112,3	108,4
	4,7	39,5	68,2	100,3	106,3	95,1
1969	3,9	29,7	74,6	99,2	123,9	133,3
	5,3	23,8	61,1	105,4	75,2	73,5
1970	7,7	22,4	72,5	108,8	119,4	112,9
	6,6	16,3	50,4	72,7	97,2	99,7
1971	3,7	24,7	44,9	80,5	98,9	85,5
	3,6	12,4	31,9	50,5	83,7	75,3
1972	3,6	12,3	40,9	62,0	66,9	79,0
	3,2	9,2	41,2	58,4	75,6	74,9
1973	6,7	14,3	83,8	118,7	111,4	117,8
	5,5	9,1	53,3	102,8	88,9	106,1
1974	—	15,1	70,7	123,0	108,1	76,5
	—	16,7	75,8	147,1	130,5	80,2
1975	6,3	22,1	41,6	118,2	98,8	105,0
	6,2	19,7	38,4	107,5	96,3	90,5
Среднее	5,4	22,5	63,2	101,9	104,9	102,3
	5,0	18,3	52,5	93,1	94,2	86,9
Без удобрений						
1968	3,6	15,5	30,2	59,8	61,1	53,7
1969	2,3	6,7	22,4	30,5	34,5	30,7
1970	2,8	7,2	29,9	45,3	47,2	52,5
1971	1,6	4,2	11,5	39,5	34,6	26,2
1972	3,2	4,2	25,9	33,4	44,9	36,8
1973	2,2	3,6	29,9	86,5	58,8	68,0
1974	2,5	5,3	25,4	69,1	37,7	51,5
1975	5,4	12,7	16,1	48,0	43,2	37,9
Среднее	2,9	7,5	23,9	51,5	45,2	44,5

от культуры потребляли 26—33 кг азота, 8—13 кг фосфора, 16—44 кг калия. Уровень минерального питания не оказывал существенного влияния на эти показатели.

Применение в севообороте доз удобрений, рассчитанных на получение планируемого урожая, обеспечило высокий положительный баланс основных элементов минерального питания. За изучаемый период содержание азота в пахотном слое по сравнению с исходным при этой системе удобрения возросло на 44—51 мг, фосфора — на 10 мг, калия — на 7 мг на 100 г почвы.

Меньшая окупаемость удобрений при расчетных их дозах связана с ранним полеганием посевов, обусловленным, очевидно, высокими дозами азотных удобрений.

Продуктивность работы листьев (отношение урожая к фотосинтетическому потенциалу, табл. 10) в засушливые годы была выше, чем во влажные. Так, в 1972 г. на 1 тыс. ед. ФП озимая пшеница накапливала 13,7 кг сухого вещества, ячмень — 8,0, овес — 7,6 кг, а во влажные годы — соответственно 4,6; 5,4 и 4,0 кг. На удобренных полях продуктивность листьев во все фазы, за исключением всходов у ячменя и овса и весеннего кущения у озимой пшеницы, была примерно одинаковой, хотя по культурам отмечались некоторые различия (табл. 10). В годы исследований в севообороте без удобрений количество сухих

Накопление сухой массы у ячменя (ц/га)

Годы	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
С удобрениями							
1967	2,7	8,9	25,6	45,6	57,8	55,5	53,0
	2,2	5,8	16,8	34,7	51,1	45,1	43,1
1968	3,4	7,4	25,5	44,7	44,2	39,1	36,6
	1,7	3,8	14,1	28,9	37,2	35,4	30,4
1969	0,8	3,6	28,2	83,5	97,0	121,1	154,2
	0,7	3,4	26,0	61,3	78,1	96,5	125,1
1970	2,1	7,3	29,2	61,0	90,0	96,0	108,5
	1,9	6,7	21,6	54,3	76,4	88,2	83,4
1971	0,7	5,0	21,4	49,9	103,9	93,8	77,3
	0,8	4,0	17,3	48,9	86,3	73,6	65,0
1972	1,2	4,2	8,8	47,0	56,7	56,9	58,3
	1,1	3,6	8,1	41,4	49,6	50,9	51,4
1973	1,8	6,3	14,1	36,4	48,2	56,5	54,0
	1,8	6,4	9,4	32,7	44,6	53,3	44,9
1974	—	3,5	29,4	64,1	90,1	89,4	82,6
	—	3,5	21,5	57,7	86,0	72,3	64,9
1975	1,3	2,2	11,2	60,4	78,0	77,2	54,9
	1,6	2,3	6,8	37,5	45,9	70,3	49,8
Среднее	1,8	5,4	21,5	54,7	74,0	76,2	75,5
	1,5	4,4	15,8	44,2	61,7	65,1	62,0
Без удобрений							
1968	2,9	5,3	11,1	17,5	31,0	28,5	22,7
1969	0,8	1,8	18,1	45,3	55,7	74,3	69,4
1970	1,5	2,1	9,1	32,7	41,0	56,5	65,9
1971	0,6	1,1	6,8	20,0	40,4	49,3	54,0
1972	0,7	1,1	3,1	13,4	34,9	40,5	41,9
1973	1,3	2,0	4,7	14,3	30,5	30,1	34,1
1974	1,1	2,3	7,5	30,8	39,0	50,3	40,5
1975	0,4	1,0	3,9	36,3	41,0	39,2	33,3
Среднее	1,2	2,1	8,0	26,3	39,2	46,1	45,2

веществ на 1 тыс. ед. ФП было на 1,2—4,3 кг больше (в зависимости от фазы), чем при внесении удобрений. Однако снижение продуктивности листьев в высокопродуктивном посеве шло не пропорционально увеличению фотосинтетического потенциала, поэтому урожай зерновых культур был выше при большей фотосинтетической мощности посевов. На каждую тысячу единиц фотосинтетического потенциала на фоне удобрений формировалось в посевах зерновых 2,0—3,4 кг зерна, а в севообороте без удобрений — на 0,7—1,3 кг больше (табл. 10).

Выводы

1. Формирование ассимиляционной поверхности у зерновых тесно связано с уровнем минерального питания и влагообеспеченностью в период интенсивного роста растений. При внесении удобрений площадь листьев была в 2—4 раза больше, чем в опытах без удобрений. На хорошо удобренных полях фотосинтетический потенциал посевов зерновых во влажные годы достигал 1,8—2,5 млн. м²/га·дней, а при недостатке влаги был в 2—2,5 раза меньше. На низкоплодородных и не-

Накопление сухой массы у овса (ц/га)

Годы	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
С удобрениями							
1967	1,8	11,0	14,7	33,8	63,5	84,2	65,8
	2,2	5,9	16,8	34,7	51,1	45,1	43,1
1968	1,5	2,9	9,6	18,6	33,7	43,2	54,7
	1,9	2,1	8,0	15,4	26,0	34,0	49,6
1969	0,7	3,3	26,9	63,6	125,0	117,7	121,9
	0,6	4,3	23,8	56,9	111,4	97,7	115,2
1970	1,4	8,3	12,3	44,3	87,9	100,8	108,4
	1,2	5,4	10,0	36,0	71,1	79,4	88,9
1971	0,5	4,0	17,6	57,7	89,5	102,5	114,3
	0,4	4,5	17,5	48,7	78,2	85,9	83,2
1972	0,9	3,4	15,4	33,7	58,5	57,7	61,6
	0,9	3,1	13,0	34,9	51,8	57,4	57,9
1973	1,6	2,4	12,3	29,8	56,8	70,9	51,9
	1,2	2,4	8,3	26,4	46,4	65,3	41,4
1974	—	3,2	22,1	59,6	88,8	82,9	77,7
	—	2,5	13,5	37,9	91,1	83,3	55,7
1975	0,9	2,2	6,7	36,4	61,4	—	42,6
	0,9	2,3	8,5	23,4	42,0	—	37,1
Среднее	1,2	4,5	15,3	42,5	73,9	82,5	77,7
	1,2	3,6	13,3	34,9	63,2	67,4	63,6
Без удобрений							
1968	1,4	1,7	6,9	15,1	23,6	33,6	30,7
1969	0,6	2,4	17,3	32,0	83,0	64,3	71,6
1970	0,9	3,1	4,7	31,4	54,0	62,1	63,8
1971	0,5	3,2	6,3	27,4	56,9	64,0	55,7
1972	0,7	1,9	7,6	17,8	46,5	47,3	57,5
1973	0,8	1,0	4,7	17,0	24,3	23,9	20,8
1974	0,9	3,4	9,7	18,6	24,4	35,3	35,3
1975	0,6	1,0	3,6	19,2	35,6	—	25,3
Среднее	0,8	2,2	7,6	22,3	43,6	47,2	45,1

Таблица 9

Урожай зерна колосовых культур при влажности 14% (ц/га)

Годы	Оз. пшеница			Ячмень			Овес		
	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений	при расчетных дозах	при рекомандованных дозах	без удобрений
1967	—	—	—	28,2	25,8	—	32,6	24,8	—
1968	30,5	29,2	13,2	11,3	11,4	11,5	17,0	17,1	10,6
1969	40,9	32,0	19,4	43,5	38,7	25,8	47,2	41,3	33,6
1970	34,9	30,2	15,1	39,0	37,0	32,0	34,3	33,8	27,3
1971	29,0	25,2	7,8	35,6	33,6	21,4	29,3	30,7	20,9
1972	24,0	22,9	10,1	21,2	24,7	17,2	18,7	17,5	19,2
1973	45,8	39,6	20,6	25,9	19,9	11,2	21,2	19,6	3,8
1974	39,2	35,9	14,5	37,3	37,1	20,6	23,6	30,8	14,1
1975	47,5	38,9	20,6	35,3	35,2	15,7	13,9	17,6	5,4
Среднее	36,5	31,7	15,2	30,8	29,3	19,4	26,4	25,9	16,9
НСР ₀₅	—	2,60	—	—	3,30	—	—	3,61	—

Продуктивность работы листьев (кг сухой массы на 1 тыс. ед. ФП),
среднее за 1967—1975 гг.

Культуры	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая* спелость	Полная* спелость	Зерно
При расчетных дозах удобрений								
Оз. пшеница	—	11,5	6,7	7,0	7,5	7,5	7,7	2,4
Ячмень	13,9	9,0	7,4	6,6	7,0	6,6	6,3	2,6
Овес	19,1	6,7	6,3	6,4	7,4	6,0	6,2	2,0
При рекомендованных дозах удобрений								
Оз. пшеница	—	14,2	7,8	7,6	8,6	8,5	8,0	2,6
Ячмень	14,0	9,6	6,9	7,4	7,8	7,9	7,2	3,4
Овес	22,7	6,7	6,1	6,4	7,6	6,1	6,2	2,5
Без удобрений								
Оз. пшеница	—	17,7	7,3	8,0	11,8	10,6	9,9	3,3
Ячмень	16,5	6,9	6,3	7,7	7,7	9,9	9,8	3,9
Овес	20,9	6,8	6,1	6,9	8,4	6,9	7,4	2,7

* Продуктивность в фазы восковой и полной спелости получена делением сухой массы на величину ФП за вегетацию.

удобряемых полях фотосинтетическая мощность посевов зерновых была в 1,6—3,3 раза меньше, чем на фоне расчетных доз удобрений. Между размерами фотосинтетического потенциала и урожаем зерна отмечена высокая коррелятивная связь (у озимой пшеницы $r=0,80\pm 0,1$; ячменя $r=0,78\pm 0,1$; овса $r=0,74\pm 0,1$).

2. Накопление сухих веществ у зерновых обычно продолжалось до восковой спелости. В благоприятные годы его максимум отмечался в фазу молочной спелости. На фоне удобрений зерновые накапливали надземной массы в 1,4—1,8 раза больше, чем на неудобряемых участках.

3. На удобряемых полях в посевах с хорошо развитой ассимиляционной поверхностью на каждую тысячу фотосинтетического потенциала формировалось несколько меньше зерна, чем на полях без удобрений. Однако продуктивность листьев снижалась непропорционально росту фотосинтетической мощности, поэтому урожаем возрастал с увеличением площади листьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегишев А. Н. Работа листьев разных сельскохозяйственных культур в полевых условиях. — Тр. Ин-та физиологии растений АН СССР, 1953, т. 8, № 1, с. 229—263. — 2. Дорохов Л. М. Минеральное питание как фактор повышения продуктивности фотосинтеза и урожая сельскохозяйственных растений. — Тр. Кишинев, с.-х. ин-та, 1957, т. 13, с. 1—231. — 3. Дорохов Л. М. К методике изучения ассимиляционной поверхности и ее роли в создании урожая. — Тр. Кишинев, с.-х. ин-та, 1959, т. 20, с. 20—28. — 4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., «Колос», 1968. — 5. Замараев А. Г., Чаповская Г. В., Ковалева К. И. Расчетная доза и полученные планируемые урожаев картофеля. — докл. ТСХА, 1969, вып. 152, с. 111—115. — 6. В. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., «Высшая школа», 1973. — 7. Листопад Г. Е., Климов А. А., Иванов А. Ф., Устенко Г. П. Программирование урожая. — Тр. Волгоград. с.-х. ин-та, 1975, т. V, с. 104—150. — 8. Максимова Н. А. Водный режим и засухоустойчивость растений. — Изб. тр. по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1952. — 9. Ничипорович А. А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах. — В сб.: Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 3—5. — 10. Ничипорович А. А. Задачи работ по изучению фотосинтетической деятельности растений как фактора продуктивности. — В сб.: Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М., «Наука», 1966, с. 7—50. — 11. Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Формирование и продуктивность работы фотосинтетического аппарата сельскохозяйствен-

ных растений в севообороте. — Изв. ТСХА, 1969, вып. 6, с. 18—26. — 12. Чаповская Г. В., Замаараев А. Г. Влияние норм высева на урожай ячменя. — В сб.: Биолог. основы повышения урожайности с.-х. культур. Вып. 2. ТСХА, 1974, с. 43—

45. — 13. Чаповская Г. В., Замаараев А. Г. Фотосинтетический потенциал и продуктивность зерновых культур. — Науч. тр. ВАСХНИЛ. Программирование урожая с.-х. культур. М., «Колос», 1975, с. 232—235.

Статья поступила 17 января 1978 г.

SUMMARY

Investigations were conducted in stationary trials in "Mikhailovskoje" (Experimental farm of the Timiryazev Academy) in 1967—1975. The formation of leaf area, photosynthetic potential and yield of winter wheat, barley and oats in crop rotations under different level of mineral nutrition were studied.

In the fertilized fields the area of leaves, photosynthetic potential and the yield of dry mass were 2—4; 1.6—3.3 and 1.4—1.8 times higher respectively than in non-fertilized plots (control).

The correlation coefficient between the size of photosynthetic potential and the yield of grain made 0.80 ± 0.1 in winter wheat, 0.78 ± 0.1 in barley, 0.74 ± 0.1 in oats, and conjugation of direct relation — 70.6; 60.6; and 54.8% respectively.

On the fertilizer background 2.0—3.4 kg of grain was formed per each thousand units of photosynthetic potential, while in control — by 0.7—1.3 kg more.