

УДК 633.11*324»: [581.132+631.811

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

А. Г. ЗАМАРАЕВ, Г. В. ЧАПОВСКАЯ, В. Б. СМОЛЕНЦЕВ

(Кафедра растениеводства)

Известно, что даже при благоприятных условиях произрастания рост урожайности с улучшением минерального питания и влагообеспеченности растений не прямолинеен и выражается затухающей кривой. Увеличение норм удобрений и оптимизация водного режима почвы при традиционно сложившейся агротехнике повышают урожайность только до определенного уровня. Отмечаемое затухающее действие указанных факторов, очевидно, связано с параллельным возрастающим влиянием побочных отрицательных условий в формирующемся высокопродуктивном стеблестое (обильное кущение, полегание, затенение и т. д.).

Определение оптимальных параметров высокопродуктивных посевов озимой пшеницы в ходе вегетации и их связи с факторами интенсификации в земледелии имеет важное значение, так как обеспечивает получение данных, необходимых для разработки приемов управления ростовыми и органообразовательными процессами у растений в посевах с тем чтобы при любой погодной ситуации могла бы проявиться максимальная продуктивность агрофитоценоза, а применяемые средства воздействия были бы экономически эффективны.

Цель нашей работы — подробное изучение хода формирования урожая озимой пшеницы начиная с фазы весеннего кушения при разных уровнях питания растений и выявление на этой основе оптимальных параметров посевов, обеспечивающих получение планируемых урожаев.

Условия и методика исследований

Наблюдения за фотосинтетической деятельностью озимой пшеницы проводили в 1983—1984 гг. в стационарных опытах с севооборотами и удобрениями в учебно-опытном хозяйстве ТСХА «Михайловское» Московской области. В основу взята схема 7-польного севооборота, широко распространенного в этой зоне: занятый пар (викоовсяная смесь) — озимая пшеница — картофель — ячмень с подсевом трав — травы 1-го и 2-го годов пользования — овес. Севообороты заложены на слабо- и среднекультуренной почве (на среднекультуренной — дополнительный фон с орошением). На слабокультуренной почве полевые культуры возделывались без применения удобрений, гербицидов и известкования. На среднекультуренной заложены следующие варианты: 1 — без удобрений (контроль); 2 — нормы удобрений в расчете на урожай зерна 45 ц/га (или 2 % использования ФАР) с учетом эффективного плодородия почв, усвоения растениями питательных веществ из почвенного раствора и вносимых удобрений; 3 — нормы удобрений в расчете на урожай 55 ц/га (или 3 % использования ФАР); 4 — нормы удобрений обычные (рекомендуемые) для среднекультуренных почв.

Схема определения норм удобрений, необходимых для получения планируемого урожая, нормы удобрений и технология возделывания приведены в работах [12, 13].

Агрохимическая характеристика слабокультуренной почвы следующая: рН — 4,5, содержание гумуса по Тюрину — 1,43 %, подвижных P_2O_5 — 3,3, K_2O — 6,4, легко-

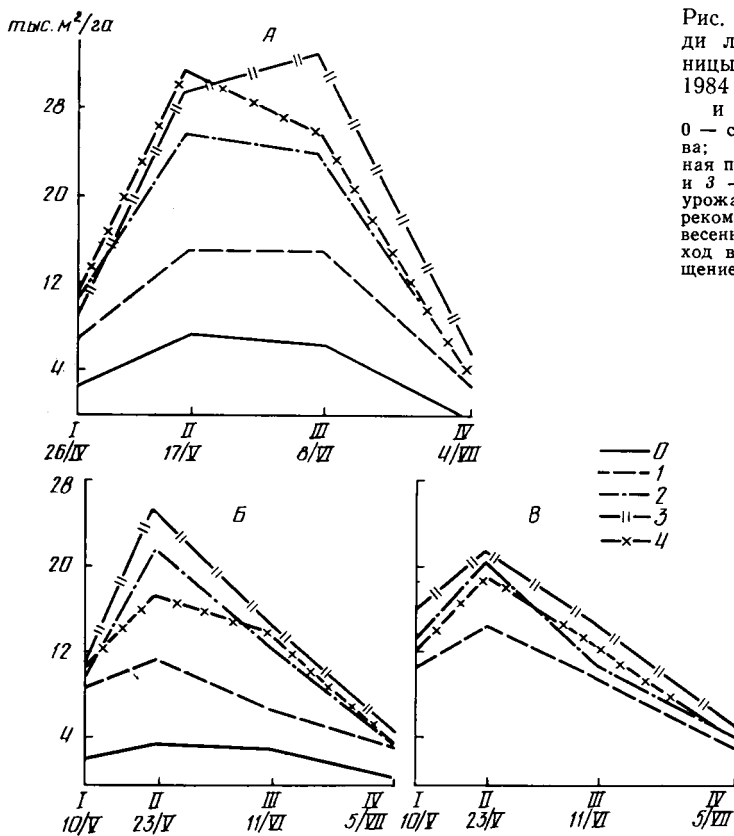
гидролизуемого азота — 6 мг на 100 г, среднекультуренной — соответственно 6,5, 2,0 %, 15 мг, 18, 10—12 мг на 100 г. В 1966 г. среднекультуренные почвы были произвесткованы по 1,5 нормы гидrolитической кислотности (9 т известкового туфа на 1 га). Ежегодно здесь на поля занятого пара и картофеля вносили торфоновозный компост — 35 т/га. Фосфорно-калийные удобрения вносили под вспашку, азотные в два срока — 1/2 дозы — в начале выхода в трубку и 1/2 дозы — в фазу колошения. Нормы удобрений составили: в 1983 г. 22P54K в варианте 2 и 68N26P98K в варианте 3; в 1984 г. соответственно 16P60K и 44P65K. В варианте 4 вносили 45N45P45K.

Озимую пшеницу сорта Мионовская 808 высевали 27 августа. Норма посева 6 млн. всхожих семян. Способы обработки почвы и уход за посевами общеприняты для Московской области. Полив проводили только в засушливые годы, влажность пахотного слоя при орошении поддерживалась на уровне не ниже 70 % НПВ.

В течение весенне-летней вегетации растений по фазам развития определяли площадь листьев, накопление сухой и сырой массы. Фотосинтетический потенциал (ФП) и чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) рассчитывали по А. А. Ничипоровичу [6]. Учет урожая вели сплошным методом, поделаночно. Площадь деланки 150—180 м², повторность 3—4-кратная. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [4].

Результаты исследований

Осенью 1982 и 1983 гг. стояла благоприятная для озимой пшеницы погода. За сентябрь-ноябрь выпало в 1982 г. 148 мм осадков, а в 1983 г. — на 50 мм больше; сумма положительных температур в эти годы была около 570°. Растения на удобренных полях сформировали по 4—6 побегов, в вариантах без удобрений — 2—3 побега, накопили 6—7 % общих сахаров (на сырую навеску). Узел кушения заложился на глубине 3 см. В декабре 1982 г. частые оттепели вызвали таяние снега (было отмечено даже возобновление вегетации). В результате на полях местами образовалась притертая ледяная корка. За зимний период 1983/84 г. температура почвы в зоне узла кушения не поднималась до положительных температур и в морозные дни не снижалась до критических значений. За зиму погибло около 10—15 % растений, и только в местах с ледяной коркой количество поврежденных растений доходило



до 50—100 %. Весной снежный покров быстро сходил. Возобновление вегетации отмечено в 1983 г. 1 апреля, в 1984 г. — 9 апреля. Повышенное увлажнение в апреле и теплая погода (температура на 5° выше нормы) обусловили хорошее отрастание озимой пшеницы.

В апреле 1984 г. средняя суточная температура была в 2 раза выше нормы, а осадков выпало в 3 раза меньше нормы, в мае также стояла необычайно теплая погода: температура на 3,5° выше многолетней, осадков выпало на 10,2 мм меньше средних многолетних. В связи с этим был проведен полив озимой пшеницы из расчета 350 м³ на 1 га. Июнь и июль 1984 г. были прохладнее, чем обычно. Со второй половины июня осадков выпало в 2 раза больше нормы. Обильное увлажнение и недостаток тепла отрицательно сказались на наливе зерна, которое в колосе начало прорастать, усилилось дыхание зерновок. Уборка озимой пшеницы задержалась на 10 дней. Неудобор урожая зерна из-за неблагоприятных условий составил около 30 % сформированного.

Важнейший показатель фотосинтетической деятельности растений — листовой индекс посева. По мнению ряда ученых [6, 7, 9, 10, 12], урожай в основном зависит от нарастания площади листовой поверхности. Оптимальное значение листового индекса колеблется от 4 до 5 м²/м² [6].

Динамика формирования фотосинтетического аппарата в наших опытах представлена одновершинной кривой с максимумом в период трубкование—колошение (рис. 1), но в 1983 г. в варианте 3 отмечено некоторое смещение вершины кривой к более поздней фазе развития.

Максимальная площадь листовой поверхности у озимой пшеницы на среднеплодородной почве и в вариантах с удобрениями в 1983—1984 гг. составляла 1,1—3,1 м²/м², а на слабокультуренной — 0,4—0,7 м²/м². В 1983 г. площадь листьев к фазе колошения практически не сокращалась, а в 1984 г. была в 1,5—2 раза меньше, чем в 1983 г. Последнее связано с полеганием посевов из-за неблагоприятных погодных условий.

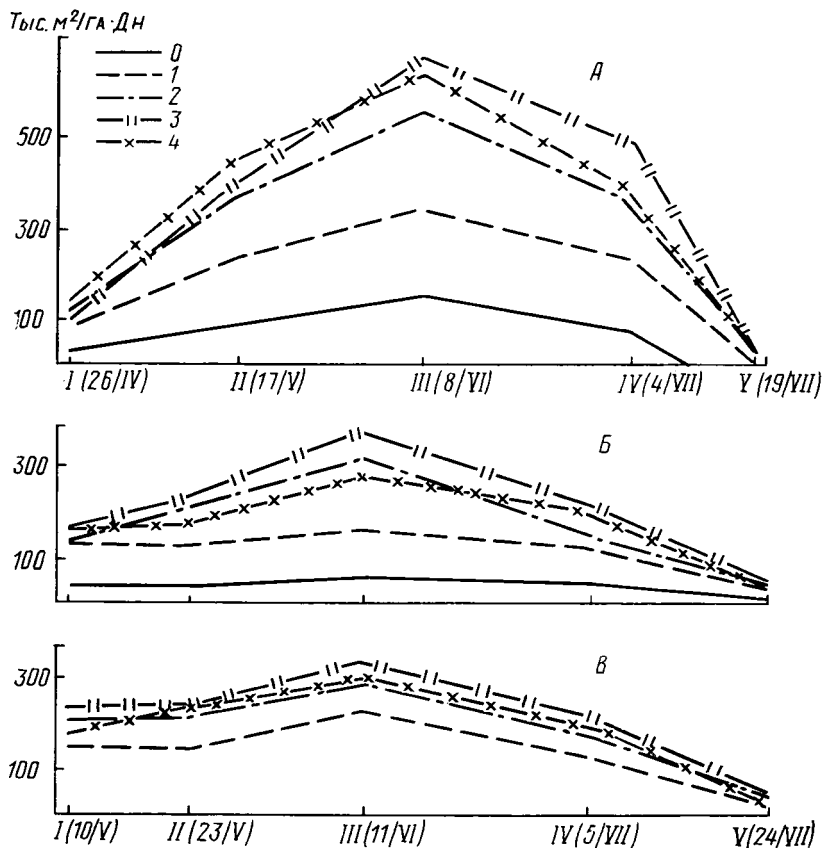


Рис. 2. Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы.
V — восковая спелость. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

При внесении минеральных удобрений площадь листьев была больше, чем в контроле. Вместе с тем варианты с расчетными нормами имели некоторое преимущество по значению листового индекса, особенно заметное в 1984 г. (рис. 1). Положительно влияло на площадь листовой поверхности и плодородие почвы: в вариантах без удобрений на средне-культуренной почве она была на 56—75 % больше.

Наибольший прирост площади листьев приходился на межфазный период кушение — выход в трубку (в вариантах с удобрениями 6,6—20,1, без удобрений — 3,0—7,9 тыс. м²/га). В период колошение — молочная спелость наблюдалось наибольшее отмирание листьев, что отмечается и в работах других исследователей [1—3 и др.]. К восковой спелости у озимой пшеницы листья полностью усыхали. Орошение посевов не оказало существенного влияния на значение листового индекса. Некоторое увеличение площади листьев в фазу молочно-восковой спелости при внесении удобрений и орошении объясняется образованием подгона. Более высокие урожаи зерна — 45—53 ц/га — сформировались в 1983 г. при следующем ходе формирования листовой поверхности: фаза кушения — 9—12 тыс. м²/га, трубкования — 26—32, колосения — 24—32, молочной спелости — 3—5 тыс. м²/га.

Зависимость урожая зерна от максимального значения площади листьев выразилась коэффициентом корреляции, равным $0,97 \pm 0,18$.

Фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы за вегетацию в 1983 г. был в 1,8—2 раза выше, чем в 1984 г. На слабокультуренной почве он достигал 198—368 тыс. м²/га · дней, а с улучшением плодородия почвы увеличивался в 2,6—3 раза (рис. 2). Применение удобрений повышало значение этого показателя еще в 1,5—1,8 раза. Одноразовый полив в начале июня 1984 г. не привел к значительному росту площади листьев, а следовательно, и ФП. Наибольшее нарастание фотосинтети-

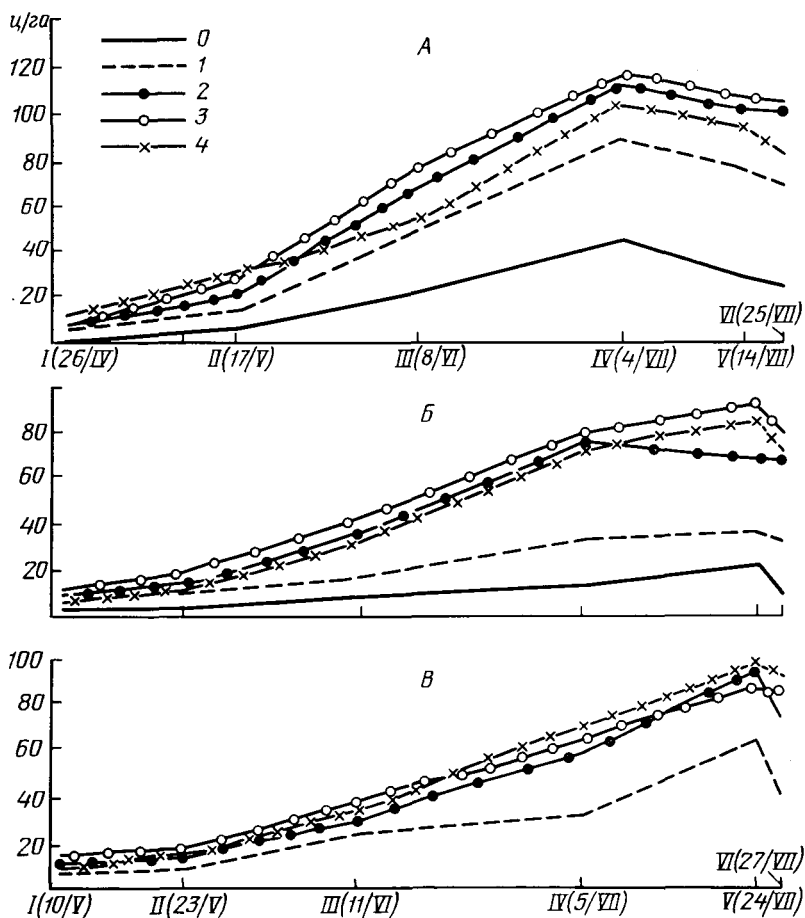


Рис. 3. Накоплением сухого вещества озимой пшеницей
VI — полная зрелость. Остальные обозначения те же, что на рис. 1 и 2.

ческой мощности отмечалось в период трубкования — молочная зрелость с максимумом в фазу колошения (рис. 2). Урожай зерна 52,8 ц/га получен при ФП посева 1716 тыс. м²/га·дней, а 48—47 ц/га — соответственно при 1425—1628 тыс. м²/га·дней. В 1984 г. более высокопродуктивные посевы озимой пшеницы не реализовали своих потенциальных возможностей; снижение ФП в 1,8—2 раза определило снижение урожая в 2,3—4,1 раза.

Накопление сухого вещества в растениях шло в основном до молочной зрелости. Затем вследствие отмирания и опадания вегетативных органов, оттока питательных веществ сухая масса растений уменьшалась. На полях среднего плодородия в варианте без удобрений накапливалось в 1,7—3 раза больше сухих веществ, чем на низкоплодородной почве. При внесении минеральных удобрений в фазу трубкования этот показатель оказался значительно выше, чем в контроле (рис. 3). В 1983 г. урожай надземной массы в вариантах 2—4 составил 82—101 ц/га, в 1984 г. был в 1,7—2 раза ниже. За межфазный период весеннее кущение — трубкование посевы озимой пшеницы накопили в зависимости от вариантов опыта 3—19,1 % сухого вещества от его количества к уборке, за межфазные периоды трубкования — колошения, колошения — молочной зрелости — соответственно 20,7—62,0 и 22,2—74,4 %. К фазе молочной зрелости количество накопленного сухого вещества достигало максимума: в 1983 г. без орошения — 45,1—115,2, в 1984 г. — 12,5—77,6 ц/га. При однократном поливе значение этого показателя в фазу молочно-восковой зрелости увеличилось на 5,6—63,3 %.

Формирование более высокого урожая сухого вещества в вариантах

Таблица 1

Ежесуточный прирост сухого вещества озимой пшеницы (кг/га),
по фазам роста в 1983 г. (числитель) и в 1984 г. (знаменатель)

Вариант	Весеннее кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость	В среднем за вегетацию
Слабокультуренная почва							
	7,6	12,9	83,6	85,0	-96,0	-16,7	25,8
	6,1	2,3	40,0	11,3	51,1	-310,0	8,9
Среднекультуренная почва							
Без орошения							
1	24,8	35,7	160,0	148,8	-70,0	-106,7	61,4
	18,6	20,0	42,6	75,0	18,9	-82,5	31,5
2	29,6	65,7	220,5	166,9	-50,7	-85,0	87,3
	23,9	72,3	97,4	134,2	-24,7	12,5	59,7
3	28,4	84,3	238,2	146,2	-54,7	-91,7	88,3
	26,1	85,4	123,7	155,4	57,8	-233,5	72,1
4	37,2	75,2	134,1	202,3	-50,7	-288,3	71,6
	22,3	45,4	129,5	150,0	70,0	-437,5	62,9
С орошением (1984 г.)							
1	26,1	10,0	90,0	39,6	132,2	-462,5	38,3
2	32,9	33,8	81,1	123,3	180,0	-480,0	67,8
3	36,8	41,5	119,5	96,3	155,8	-260,0	74,4
4	29,7	38,5	120,0	132,9	131,6	-60,0	83,2

Таблица 2

Чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы (г/м²-сут)
в 1983 г. (числитель) и в 1984 г. (знаменатель)

Вариант	Весеннее кущение	Выход в трубку	Колошение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость	В среднем за вегетацию
Слабокультуренная почва							
	6,1	2,7	12,5	25,4		-0,1	8,1
	5,8	0,8	11,4	5,1	-3,9	-6,3	4,9
Среднекультуренная почва							
Без орошения							
1	6,7	3,2	10,5	16,8	-50,6	-0,7	7,8
	4,5	2,0	4,7	14,3	10,2	-0,6	5,9
2	5,9	3,7	8,9	12,3	-30,7	-0,4	7,0
	5,0	4,7	6,5	16,9	-13,0	-0,1	7,6
3	6,2	4,4	7,8	7,9	-20,6	-0,3	5,9
	4,8	4,8	5,7	16,4	27,6	-0,8	7,6
4	6,4	3,5	4,7	14,0	-26,7	-1,1	5,1
	4,2	3,2	8,3	17,1	35,0	-2,0	7,8
С орошением (1984 г.)							
1	4,8	0,8	7,4	6,1	80,7	-2,4	5,7
2	4,7	2,0	5,2	16,3	80,0	-2,0	7,8
3	4,6	2,2	6,7	10,0	63,6	-0,9	7,4
4	4,7	2,4	7,6	15,8	57,2	-0,2	9,7

2—4 происходило за счет более высоких (в 1,3—3,3 раза) среднесуточных приростов сухого вещества, чем в вариантах без удобрений (табл. 1).

В среднем за вегетацию максимальные ежесуточные приросты сухо-

Некоторые показатели продуктивности озимой пшеницы в 1983 г. (числитель) и в 1984 г. (знаменатель)

Вариант	Урожай, ц/га		Масса 1000 зерен, г	Зерно:со-лома	К _{хоз.}	Зерно на 1 тыс. ед. ФП, кг	Коэффициент использования ФАР, %	
	всего	в т. ч. зерна					всего	в т. ч. зерном
Слабокультуренная почва								
	29,7	13,3	34,8	1:1,6	0,38	3,6	0,81	0,49
	9,8	2,5	28,8	1:3,4	0,28	1,3	0,54	0,06
Среднекультуренная почва Без орошения								
1	70,6	35,7	36,4	1:1,3	0,43	3,9	2,00	1,31
	34,8	14,3	27,5	1:1,8	0,35	2,4	1,07	0,39
2	100,4	48,4	36,7	1:1,4	0,41	3,4	2,69	1,79
	65,7	16,4	31,4	1:3,7	0,25	1,9	2,26	0,51
3	101,5	52,8	36,1	1:1,2	0,45	3,1	2,74	1,91
	79,3	20,4	32,4	1:3,5	0,22	1,9	2,30	0,60
4	82,3	47,2	39,5	1:1,1	0,49	2,9	2,55	1,76
	69,2	22,7	31,0	1:2,5	0,28	2,5	1,88	0,72
С орошением (1984 г.)								
1	42,8	16,5	26,9	1:2,0	0,33	2,2	1,29	—
2	74,6	22,1	27,2	1:2,9	0,25	2,3	2,17	—
3	81,8	25,8	28,6	1:2,7	0,27	2,3	2,41	—
4	91,5	30,9	27,9	1:2,4	0,29	3,3	2,67	—
НСР ₀₅ :								
для удоб-рений	1,29	0,88						
для оро-шения	1,11							

го вещества в вариантах 2 и 3 были на 28,2—79,4 кг/га выше, чем в вариантах без удобрений.

Чистая продуктивность фотосинтеза в период весеннее кушение — трубкавание колебалась по вариантам от 3,5 до 1,8 г/м²·сут, затем она увеличивалась до фазы налива зерна, когда отмечалось максимальное значение этого показателя: в 1983 г. — 7,8—25,4, в 1984 г. — 10,2—80,7 г/м²·сут (табл. 2). В условиях лучшего минерального питания ЧПФ снижалась по мере роста площади листьев и взаимного их затенения. Корреляционная связь между ЧПФ в среднем за вегетацию и максимальной площадью листьев характеризовалась коэффициентом корреляции, равным $-0,54 \pm 0,32$.

В благоприятных условиях 1983 г. максимальная прибавка урожая зерна 12,7—17,1 ц/га была получена в вариантах 2—3 (табл. 3). В 1984 г. вследствие прорастания зерна на корню и «истекания» (масса 1000 зерен составила 26,9—32,4 г и была на 18—23 % ниже, чем в 1983 г.) урожай зерна не превысил 31 ц/га. На слабокультуренной почве он оказался значительно ниже, чем на среднекультуренной почве в варианте 1: в 2,4—4 раза в 1983 и 5—10 раз в 1984 г. Орошение посевов озимой пшеницы в 1984 г. повысило урожай на 2,2—8,2 ц/га (табл. 3).

Для формирования хозяйственно полезной части урожая важное значение имеет продуктивность работы листового аппарата (масса зерна на 1 тыс. единиц ФП). При внесении расчетных доз удобрений фотосинтетическая мощность посева была выше, чем на неудобренных участках, однако выход зерна на 1 тыс. единиц ФП здесь оказался на 0,1—1,1 кг меньше. В среднем за 2 года на каждую тысячу единиц ФП прихо-

дилось от 1,3 до 3,9 кг зерна. Одноразовый полив озимой пшеницы не оказал существенного влияния на этот показатель (табл. 3).

При более интенсивном общем росте и большей массе биологического урожая сбор зерна может увеличиваться непропорционально, поэтому для характеристики продуктивности посева используется коэффициент хозяйственной эффективности ($K_{хоз}$) [5, 7]. Значение указанного коэффициента значительно изменялось по годам опыта. В 1984 г. оно было в 2—2,5 раза ниже, чем в 1983 г. (табл. 3). На среднекультуренной почве значение $K_{хоз}$ оказалось более высоким, чем на слабокультуренной (разница 11,6—37,0 %). Полив не способствовал повышению $K_{хоз}$, хотя соотношение зерно : солома при орошении было несколько лучше. Удобрения положительно влияли на данный показатель.

Одним из определяющих факторов формирования биологического и хозяйственного урожая растений является фотосинтетическое использование солнечной энергии посевом. Поэтому основным показателем продуктивности сельскохозяйственных культур является коэффициент использования ими энергии ФАР.

За период весенне-летней вегетации озимой пшеницы приход ФАР составил в 1983 г. 2157,9, в 1984 г. — 2053,6 млн. ккал/га. Коэффициенты использования энергии ФАР пшеницей значительно колебались в зависимости от уровня плодородия почвы и норм удобрений. Так, в вариантах без удобрений на среднекультуренной почве в 1983 г. их значение составляло 2,0 % в 1984 г. 1,07 и 1,29 %, на слабокультуренной почве — соответственно 0,81 и 0,54 %. Утилизация солнечной энергии зерном по вариантам опыта в среднем за 2 года достигла 0,39—1,91 %.

Коэффициенты парной корреляции между урожаем зерна и коэффициентами использования ФАР равны 0,98. Между урожаем зерна и такими основными показателями фотосинтетической деятельности посевов, как листовая поверхность, ФП, коэффициенты использования энергии ФАР, наблюдалась прямолинейная положительная связь: в первом случае средняя, в двух последних — сильная.

Заключение

Результаты исследований свидетельствуют о положительном действии расчетных норм удобрений (варианты 2 и 3) на динамику изучаемых параметров у озимой пшеницы. В благоприятные годы в указанных вариантах обеспечивается сравнительно высокий уровень фотосинтетической деятельности растений: на фоне среднекультуренной почвы урожай зерна более 50 ц/га получен при листовой поверхности 30—32 тыс. м²/га, сумме ФП за период весенне-летней вегетации 1,4—1,7 млн. м²/га·дней и формировании 1,3—3,9 кг зерна на каждую тысячу единиц ФП. Коэффициенты использования ФАР озимой пшеницей составляли в вариантах с удобрениями 2,55—2,74, без удобрений — 0,81—2,0 %.

Коэффициенты парной корреляции между урожаем зерна и такими основными показателями фотосинтетической деятельности посевов, как площадь листьев, ФП и коэффициенты использования энергии ФАР, колебались в пределах 0,60—0,98.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Д. А. Фотосинтетическая деятельность, минеральное питание и продуктивность растений. — Баку, 1974. — 2. Баранина И. И., Штефаница Б. И., Коняков О. И. Влияние бесподстилочного навоза и минеральных удобрений на фотосинтетическую деятельность озимой пшеницы. — В кн.: Питание и продуктивность растений. Кишинев: Штиинца, 1984, с. 3—17. — 3. Беденко В. П. Фотосинтез и продуктивность пшеницы на юго-востоке Казахстана. — Алма-Ата: Наука, 1980. —
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1968. — 5. Медведица В. Д. О повышении коэффициентов хозяйственной полноценности фотосинтеза. — В сб.: Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966, с. 162—168. — 6. Ничипорович А. А. и др. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 7. Ничипорович А. А. Задача работ по изучению фотосинтетической деятельности растений как фактора

продуктивности. — В кн.: Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Изд-во МГУ, 1966, с. 7—50. — 8. Ничипорович А. А. Некоторые принципы комплексной оптимизации фотосинтетической деятельности и продуктивности растений. — В кн.: Важнейшие проблемы фотосинтеза в растениеводстве. М.: Колос, 1970, с. 6—62. — 9. Петин Н. С. Водный режим растений в связи с обменом веществ и продуктивностью. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 10. Шатилов И. С., Зама- раев А. Г. Использование физиологически активной радиации кукурузой при разной густоте стояния. — Изв. ТСХА, 1965, вып. 5—6, с. 148—161. — 11. Шати-

лов И. С., Зама- раев А. Г., Чапов- ская Г. В. и др. Использование света по- левыми культурами и травостоем долголет- ных пастбищ. — В кн.: Важнейшие пробле- мы фотосинтеза в растениеводстве. М.: Ко- лос, 1970, с. 136—159. — 12. Шатилов И. С., Зама- раев А. Г., Чаповская Г. В. Фотосинтетический потенциал и уро- жай зерновых культур. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 4, с. 18—30. — 13. Шатилов И. С., Зама- раев А. Г., Чаповская Г. В. Эвапотранспирация и транспирация поле- вых культур на дерново-подзолистой почве Нечерноземья. — С.-х. биология, 1981, т. 16, № 3, с. 387—393.

Статья поступила 10 августа 1985 г.

SUMMARY

Experiments were carried out in the training farm "Mikhailovskoye", the Moscow region, in 1983—1984. Close dependence and average correlation of winter wheat variety Mironovskaya 808 with photosynthetic activity of plants has been found.