

УДК 581.132:[633.11+324*+633.12

СВЕТОВЫЕ КОМПЕНСАЦИОННЫЕ ПУНКТЫ У ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ОВСА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

И. С. ШАТИЛОВ, А. Ф. ШАРОВ

(Кафедра растениеводства)

Приводятся результаты измерений световых компенсационных пунктов (СКП) в течение вегетации у разных органов растений. Значения СКП определены по приходу суммарной солнечной радиации на верхнюю границу посева. Показано, что компенсация фотосинтеза дыханием и наоборот у молодых листьев наступает при уровне суммарной радиации $2,4 \text{ Вт/м}^2$, что составляет 0,3 % полного излучения. Положение о том, что фотосинтез у листьев светолюбивых растений наблюдается при поступлении солнечной радиации в количестве 3—5 % полного дневного излучения, применимо ко всей массе листьев в посеве. Дается оценка влияния условий среды на значение СКП отдельных органов.

В реальных условиях освещенность растений зависит от точного хода солнца, движения облаков и затенения растениями. При снижении интенсивности света скорость фотосинтеза уменьшается до тех пор, пока скорость фотосинтетического поглощения CO_2 и скорость выделения CO_2 в процессе дыхания не уравниваются. Интенсивность света в данный момент и есть световой компенсационный пункт (СКП). Ниже значения СКП расход органического вещества на дыхание больше, чем образование его в процессе фотосинтеза.

Являясь кардинальной характеристикой световой кривой, отображающей зависимость фотосинтеза от света, СКП служит точкой отсчета продолжительности усвоения CO_2 , т. е. заслуживает права быть характеристикой продукционного процесса растений.

Общепринято, что СКП у тенелюбивых растений составляет 0,5—1,0 %, у светолюбивых — 3—5 % полного дневного света [3, 6, 9, 10]. При повышении концентрации CO_2 в воздухе СКП сдвигается в сторону более низких значений, а при повышении температуры фотосинтезирующих объектов — в сторону более высоких значений [7].

Этими данными на сегодня исчерпываются все сведения о СКП, известные нам из научной литературы, посвященной радиационному режиму посевов и фотосинтетической деятельности растений [1, 2, 4, 5, 8, 11].

В настоящей работе мы попытались дать количественную характеристику СКП разных органов зерновых культур и оценить связь их значений с условиями минерального питания.

МЕТОДИКА

Регистрацию СКП осуществляли с помощью пиранометра Янишевского с записью на потенциометрах со шкалами 0—2 и 0—10 мВ соответственно для верхних и нижних фитометров. Датчики устанавливали над стеблестоем на высоте 2 м плюс 2/3 высоты растений. Оценка значений СКП, приведенных в данной работе, выполнена по приходу суммарной солнечной радиации в утренние и вечерние часы.

Одновременно велись круглосуточные наблюдения за интенсивностью CO_2 -газообмена органов растений с помощью газоанализаторов ГИП-10. В момент наступления равенства дыхания и фотосинтеза («отсутствие газообмена») определяли значение СКП.

Объектом исследований были растения озимой пшеницы сорта Мироновская 808 (1974—1977 гг.) и овса сорта Геркулес (1978 г.), выращиваемые при внесении расчетных норм удобрений и без удобрений.

Результаты

В настоящее время считается [2, 5, 8, 11], что поступление лучистой энергии солнца на землю достигает 1,22—1,44 кал/см², или в среднем 950 Вт/м², т. е. приблизительно 95 000 лк.

Как видно из табл. 1—4, в посевах озимой пшеницы и

Таблица 1

СКП (Вт/м²) органов растений озимой пшеницы в течение вегетации 1974/75 г.

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	Начало	Конец			
<i>Без удобрений</i>								
Лист:								
1-й	3,8	17,4	—	—	—	—	—	—
	4,6	14,6	—	—	—	—	—	—
2-й	3,8	16,0	—	—	—	—	—	—
	4,6	15,1	—	—	—	—	—	—
3-й	—	7,5	—	—	—	—	—	—
	—	13,7	—	—	—	—	—	—
4-й	—	4,7	—	5,9	—	—	—	—
	—	12,7	—	20,9	—	—	—	—
5-й	—	4,7	—	—	32,2	—	—	—
	—	11,3	—	—	20,9	—	—	—
6-й	—	5,6	—	4,2	17,0	15,7	—	—
	—	14,1	—	17,4	12,2	15,3	—	—
7-й	—	—	—	—	12,2	13,0	27,9	—
	—	—	—	—	19,6	5,2	22,5	—
8-й	—	—	—	—	12,2	8,7	19,1	—
	—	—	—	—	9,6	5,2	15,8	—
9-й	—	—	—	—	7,5	3,5	2,4	2,4
	—	—	—	—	7,8	3,9	3,5	10,5
Стебель с влагалищем:								
5-го листа	—	—	—	—	274,8	*	*	*
	—	—	—	—	267,8	—	—	—
6-го »	—	—	—	—	274,8	225,5	451,0	282,0
	—	—	—	—	267,8	267,8	310,1	141,0

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	Начало	Конец			
7-го »	—	—	—	—	352,4	267,8	451,0	225,5
					436,9	141,0	282,0	169,1
8-го »	—	—	—	—	253,7	57,9	126,9	141,0
					281,9	28,6	70,5	98,6
9-го »	—	—	—	—	—	19,2	112,8	62,8
						31,4	63,4	20,9
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	16,0	19,3	62,8
						19,5	38,7	34,9
Колос	—	—	—	—	—	24,4	46,6	49,2
						34,9	28,2	70,5
<i>Расчетные нормы удобрений</i>								
Лист:								
1-й	3,8	16,0	—	—	—	—	—	—
	2,8	42,4	—	—	—	—	—	—
2-й	3,8	16,0	—	—	—	—	—	—
	2,8	42,4	—	—	—	—	—	—
3-й	—	11,3	—	—	—	—	—	—
		15,0	—	—	—	—	—	—
4-й	—	11,3	—	3,5	—	—	—	—
		16,0	—	6,8	—	—	—	—
5-й	—	9,4	—	—	32,2	—	—	—
		18,8	—	—	40,5	—	—	—
6-й	—	9,4	—	3,5	15,2	22,1	—	—
		18,8	—	3,5	13,5	22,0	—	—
7-й	—	—	—	—	7,0	20,9	47,9	—
		—	—	—	4,5	15,7	58,7	—
8-й	—	—	—	—	5,6	9,5	8,7	—
		—	—	—	3,5	8,7	11,2	—
9-й	—	—	—	—	10,4	2,4	3,5	3,5
		—	—	—	11,6	5,7	3,5	10,5
Стебель с влагалищем:								
5-го листа	—	—	—	—	288,9	*	*	*
					274,9			
6-го »	—	—	—	—	281,9	620,0	*	563,8
					274,8	479,2		563,8
7-го »	—	—	—	—	*	620,0	422,8	310,1
						479,2	549,7	140,9
8-го »	—	—	—	—	310,0	281,9	54,3	28,2
					352,4	267,8	56,4	28,2
9-го »	—	—	—	—	—	28,2	30,5	7,0
						10,5	13,3	28,2
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	28,2	30,5	7,0
						10,5	13,3	28,2
Колос	—	—	—	—	—	26,3	57,0	112,7
						17,4	47,3	28,2

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3, 4 и 5 в числителе — утром, в знаменателе — вечером; звездочка означает, что СКП не зарегистрирован (фотосинтез отсутствовал).

овса у листьев верхнего яруса значения СКП в летний период колебались соответственно от 2,4 до 13,0 и от 3,7 до 22,6 Вт/м², что составляет 0,3—2 и 0,5—3 % полного солнечного излучения. Таким образом, несмотря на то что озимая пшеница и овес относятся к светолюбивым растениям, переход от дыхания к фотосинтезу и наоборот у них осуществляется чаще всего при уровне суммарной радиации около 1 % полного дневного света.

У листьев средних и низких ярусов компенсация фотосинтеза дыханием и наоборот происходит при более высокой интенсивности света. Так, при максимальной площади листовой поверхности (в конце фазы выхода в трубку), когда резко изменяется распределение радиации по профилю посева, СКП листьев нижнего яруса отмечены при интенсивности радиации,

Т а б л и ц а 2

СКП (Вт/м²) органов растений озимой пшеницы в течение вегетации 1975/76 г.

Органы растения	Всходы	Кушение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		Осеннее	Весеннее	Начало	Конец			
<i>Без удобрений</i>								
Лист:								
1-й	18,7	14,6	—	—	—	—	—	—
	20,2	17,5						
2-й	9,7	22,6	—	—	—	—	—	—
	20,2	18,9						
3-й	—	16,4	—	—	—	—	—	—
		25,3						
4-й	—	14,6	90,9	—	—	—	—	—
		26,7	49,7					
5-й	—	20,2	92,7	—	—	—	—	—
		22,7	30,1					
6-й	—	—	32,4	79,8	—	—	—	—
			40,8	47,2				
7-й	—	—	—	72,9	108,4	—	—	—
				70,0	61,9			
8-й	—	—	—	67,2	59,4	—	—	—
				9,7	27,5			
9-й	—	—	—	24,6	18,3	70,4	109,1	—
				6,0	24,1	65,0	68,4	
10-й	—	—	—	16,2	18,2	30,0	45,1	—
				2,4	17,4	40,8	32,1	
11-й	—	—	—	—	10,5	8,1	13,0	14,2
					14,3	14,6	11,7	24,3
Стебель с влагали- щем:								
7-го листа	—	—	—	—	*	*	*	*
8-го »	—	—	—	—	392,5	693,6	416,6	*
					319,3	*	*	
9-го »	—	—	—	—	665,5	345,2	388,8	177,9
					665,5	*	388,2	*

Органы растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		Осеннее	Весеннее	Начало	Конец			
10-го »	—	—	—	—	53,4	312,1	414,6	60,5
					<u>106,7</u>	<u>135,2</u>	<u>113,9</u>	<u>8,9</u>
11-го »	—	—	—	—	138,8	151,2	339,8	13,1
					<u>128,1</u>	<u>110,3</u>	<u>111,0</u>	<u>7,3</u>
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	46,1	70,4	26,8
						<u>59,9</u>	<u>22,2</u>	<u>7,2</u>
Колос	—	—	—	—	—	24,3	26,8	78,3
						<u>56,7</u>	<u>51,6</u>	<u>122,0</u>

Расчетные нормы удобрений

Лист:								
1-й	14,6	21,8	—	—	—	—	—	—
	<u>20,2</u>	<u>35,6</u>						
2-й	14,4	28,3	—	—	—	—	—	—
	<u>20,2</u>	<u>35,6</u>						
3-й	—	24,0	—	—	—	—	—	—
		<u>9,7</u>						
4-й	—	34,6	92,3	—	—	—	—	—
		<u>14,2</u>	<u>30,1</u>					
5-й	—	35,6	95,7	—	—	—	—	—
		<u>4,0</u>	<u>45,7</u>					
6-й	—	—	80,1	57,5	—	—	—	—
			<u>41,2</u>	<u>38,0</u>				
7-й	—	—	—	33,7	87,4	—	—	—
				<u>40,4</u>	<u>50,8</u>			
8-й	—	—	—	42,9	105,2	—	—	—
				<u>39,6</u>	<u>48,6</u>			
9-й	—	—	—	36,4	15,8	111,9	109,1	—
				<u>23,0</u>	<u>25,2</u>	<u>138,0</u>	<u>64,7</u>	
10-й	—	—	—	16,2	14,1	17,4	50,0	—
				<u>2,4</u>	<u>13,9</u>	<u>25,5</u>	<u>32,1</u>	
11-й	—	—	—	—	8,1	2,4	22,5	3,6
					<u>17,0</u>	<u>20,7</u>	<u>25,9</u>	<u>13,4</u>
Стебель с влагалищем:								
7-го листа	—	—	—	—	*	*	*	*
8-го »	—	—	—	—	305,4	*	*	*
					<u>166,6</u>			
9-го »	—	—	—	—	*	*	222,1	*
							<u>500,0</u>	
10-го »	—	—	—	—	281,1	130,0	249,1	135,2
					<u>427,0</u>	<u>201,2</u>	<u>113,9</u>	<u>222,1</u>
11-го »	—	—	—	—	194,4	101,4	181,5	8,9
					<u>131,7</u>	<u>195,7</u>	<u>93,0</u>	<u>26,8</u>
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	24,3	44,6	26,8
						<u>5,6</u>	<u>33,4</u>	<u>8,9</u>
Колос	—	—	—	—	—	24,3	31,3	78,3
						<u>32,4</u>	<u>33,8</u>	<u>66,8</u>

приходящей на верхнюю границу посева, 32,2—108,4 Вт/м², у листьев средних ярусов — 3,5—59,5 Вт/м².

В ходе вегетации значение СКП возрастает, особенно заметно у листьев контрольных растений вследствие более быстрого их старения. Вместе с тем у озимой пшеницы в период весеннего кущения уравнивание фотосинтеза дыханием наблюдалось при уровне суммарной радиации 19,6—95,7 Вт/м², что, по нашему мнению, связано с более быстрым восстановлением дыхательной способности тканей, нежели фотосинтетической активности в это время.

Таблица 3

СКП (Вт/м²) органов растений озимой пшеницы в течение вегетации 1976/77 г.

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	Начало	Конец			
<i>Без удобрений</i>								
Лист:	12,1	25,8	—	—	—	—	—	—
1-й	22,6	17,0	—	—	—	—	—	—
2-й	12,1	25,8	—	—	—	—	—	—
	22,6	13,0	—	—	—	—	—	—
3-й	—	30,8	—	—	—	—	—	—
	—	15,3	—	—	—	—	—	—
4-й	—	30,8	62,3	—	—	—	—	—
	—	15,3	49,0	—	—	—	—	—
5-й	—	—	62,3	47,7	—	—	—	—
	—	—	49,0	70,4	—	—	—	—
6-й	—	—	—	47,7	25,9	—	—	—
	—	—	—	27,5	46,1	—	—	—
7-й	—	—	—	4,8	25,9	19,5	—	—
	—	—	—	19,4	20,2	34,0	—	—
8-й	—	—	—	4,8	28,3	15,3	24,1	—
	—	—	—	13,7	35,5	15,3	9,7	—
9-й	—	—	—	2,4	28,3	12,5	15,3	—
	—	—	—	11,5	19,4	10,2	14,1	—
10-й	—	—	—	—	2,4	3,1	9,7	5,6
	—	—	—	—	3,2	6,4	4,0	6,4
Стебель с влагалищем:								
6-го листа	—	—	—	—	*	*	*	*
7-го »	—	—	—	—	—	334,0	173,3	192,5
8-го »	—	—	—	—	—	466,2	128,4	192,5
	—	—	—	—	—	192,5	138,1	80,2
9-го »	—	—	—	—	—	208,6	138,1	109,1
	—	—	—	—	—	147,6	113,3	45,4
						263,2	80,9	72,8

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	Начало	Конец			
10-го »	—	—	—	—	<u>144,4</u>	<u>202,8</u>	<u>113,3</u>	<u>13,7</u>
Соломина под колосом	—	—	—	—	<u>80,2</u>	<u>78,3</u>	<u>80,9</u>	<u>51,0</u>
	—	—	—	—	—	<u>4,0</u>	<u>63,9</u>	<u>13,7</u>
	—	—	—	—	—	<u>4,9</u>	<u>22,7</u>	<u>34,0</u>
Колос	—	—	—	—	—	<u>2,4</u>	<u>12,1</u>	<u>48,5</u>
	—	—	—	—	—	<u>9,7</u>	<u>22,7</u>	<u>148,9</u>
<i>Расчетные нормы удобрений</i>								
Лист:								
1-й	<u>12,1</u>	<u>25,8</u>	—	—	—	—	—	—
	<u>17,0</u>	<u>16,2</u>	—	—	—	—	—	—
2-й	<u>12,1</u>	<u>35,5</u>	—	—	—	—	—	—
	<u>17,0</u>	<u>13,0</u>	—	—	—	—	—	—
3-й	—	<u>38,0</u>	—	—	—	—	—	—
	—	<u>11,3</u>	—	—	—	—	—	—
4-й	—	<u>35,6</u>	<u>66,4</u>	—	—	—	—	—
	—	<u>11,3</u>	<u>54,8</u>	—	—	—	—	—
5-й	—	—	<u>66,4</u>	<u>93,9</u>	—	—	—	—
	—	—	<u>54,8</u>	<u>70,4</u>	—	—	—	—
6-й	—	—	—	<u>93,9</u>	<u>32,1</u>	—	—	—
	—	—	—	<u>56,7</u>	<u>21,8</u>	—	—	—
7-й	—	—	—	<u>4,8</u>	<u>25,9</u>	<u>19,5</u>	—	—
	—	—	—	<u>19,4</u>	<u>20,2</u>	<u>25,6</u>	—	—
8-й	—	—	—	<u>4,8</u>	<u>40,4</u>	<u>22,5</u>	<u>28,9</u>	—
	—	—	—	<u>13,7</u>	<u>13,0</u>	<u>8,0</u>	<u>28,9</u>	—
9-й	—	—	—	<u>2,4</u>	<u>23,4</u>	<u>12,5</u>	<u>8,1</u>	—
	—	—	—	<u>13,0</u>	<u>8,1</u>	<u>6,4</u>	<u>8,9</u>	—
10-й	—	—	—	—	<u>3,8</u>	<u>4,8</u>	<u>9,7</u>	<u>9,6</u>
	—	—	—	—	<u>7,2</u>	<u>6,4</u>	<u>8,3</u>	<u>11,3</u>
Стебель с влагалищем:								
6-го листа	—	—	—	—	*	*	*	*
7-го »	—	—	—	—	*	<u>569,4</u>	<u>658,3</u>	*
	—	—	—	—	—	<u>608,1</u>	<u>96,3</u>	—
8-го »	—	—	—	—	<u>362,7</u>	<u>498,2</u>	<u>135,1</u>	<u>57,8</u>
	—	—	—	—	<u>330,6</u>	<u>462,4</u>	<u>60,7</u>	<u>97,1</u>
9-го »	—	—	—	—	<u>304,9</u>	<u>263,3</u>	<u>113,3</u>	<u>45,4</u>
	—	—	—	—	<u>353,1</u>	<u>516,0</u>	<u>80,9</u>	<u>68,0</u>
10-го »	—	—	—	—	<u>144,4</u>	<u>252,7</u>	<u>57,3</u>	<u>26,8</u>
	—	—	—	—	<u>118,7</u>	<u>338,1</u>	<u>53,3</u>	<u>33,9</u>
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	<u>2,4</u>	<u>44,0</u>	<u>8,9</u>
	—	—	—	—	—	<u>13,0</u>	<u>29,9</u>	<u>8,9</u>
Колос	—	—	—	—	—	<u>2,4</u>	<u>24,2</u>	<u>48,5</u>
	—	—	—	—	—	<u>11,3</u>	<u>22,7</u>	<u>135,1</u>

На примере верхних листьев (в этом случае исключается влияние самозатенения) оценим действие минерального питания на значения СКП.

При внесении удобрений СКП утром наблюдалось позднее, а в вечерние часы — раньше, чем в контрольном варианте. И хотя такое действие удобрений выражалось довольно слабо, т. е. различия достоверно недоказуемы, оно проявлялось во все годы и у пшеницы, и у овса. Причиной данного эффекта явилась повышенная дыхательная активность листа-флага. Так, в среднем по опыту интенсивность дыхания листа-флага при внесении удобрений составила 11,2, а без удобрений — 10,2 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{сут.}$ Более высокими значениями СКП характеризуются верхние листья растений в варианте НРК и в вечерние часы.

В отличие от листьев у соломины под колосом, находящейся в сходных с ними по освещенности условиях, различия между значениями СКП растений разных вариантов не обнаружены, как, впрочем, и по уровню дыхания.

В среднем у листьев самого нижнего яруса значение СКП составляло около 40 Вт/м², что свидетельствует о благоприятных условиях освещенности растений в наших опытах. Баланс фотосинтеза и дыхания у нижних листьев был в пользу фотосинтеза во все годы опытов. «Паразитизм» нижних листьев мы наблюдали при чрезмерном загущении в опыте с нормой высева 12 млн всхожих семян на 1 га в период, когда площадь листовой поверхности достигала 68 тыс. м²/га. При таких условиях фотосинтез нижних листьев отмечался лишь в полдень в течение 1—2 ч.

Усредненное значение СКП верхних листьев в утренние часы составляло 10, а вечером — 14 Вт/м², у листьев среднего яруса — соответственно 27 и 18 Вт/м².

Т а б л и ц а 4

СКП (Вт/м²) органов растений овса в течение вегетации 1978 г.

Орган растения	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Молочная спелость
<i>Без удобрений</i>					
Лист:	4,2				
1-й	2,9	—	—	—	—
2-й	3,1	15,3	—	—	—
	3,0	16,7			
		14,8	11,4		
3-й	—	10,2	8,8		
		5,8	10,3	59,1	
4-й	—	7,4	8,8	33,2	
			8,1	8,8	14,0
5-й	—	—	8,2	11,8	11,1

Орган растения	Всходы	Кушение	Выход в трубку	Выметывание	Молочная спелость
6-й	—	—	<u>5,8</u> 8,1	<u>8,8</u> 8,1	<u>36,9</u> 36,9
7-й	—	—	<u>3,7</u> 5,8	<u>4,4</u> 3,7	<u>14,7</u> 15,3
Стебель с влагалищем:					
4-го листа	—	—	*	*	*
5-го »	—	—	<u>70,2</u> 77,8	*	<u>127,1</u> 121,8
6-го »	—	—	<u>29,5</u> 77,5	<u>88,9</u> 66,5	*
7-го »	—	—	<u>18,9</u> 44,3	<u>14,3</u> 29,6	<u>37,0</u> 37,0
Соломина под метелкой				<u>8,8</u> 60,5	<u>45,0</u> 45,6
Метелка				<u>3,8</u> 8,1	<u>14,8</u> 10,8

Расчетные нормы удобрений

Лист:					
1-й	<u>4,2</u> 3,2	—	—	—	—
2-й	<u>3,1</u> 3,0	<u>16,4</u> 16,7	—	—	—
3-й	—	<u>11,8</u> 11,8	<u>22,1</u> 14,7	—	—
4-й	—	<u>8,8</u> 7,4	<u>22,1</u> 8,8	<u>66,5</u> 48,5	—
5-й	—	—	<u>11,1</u> 10,2	<u>36,9</u> 60,5	<u>36,9</u> 57,6
6-й	—	—	<u>7,4</u> 8,8	<u>8,0</u> 38,4	<u>56,4</u> 44,3
7-й	—	—	<u>3,7</u> 5,8	<u>6,2</u> 3,7	<u>17,0</u> 22,6
Стебель с влагалищем:					
4-го листа	—	—	*	*	*
5-го »	—	—	<u>84,9</u> 77,8	*	*
6-го »	—	—	<u>29,5</u> 77,5	<u>82,0</u> 113,0	*
7-го »	—	—	<u>38,4</u> 55,4	<u>37,0</u> 29,6	<u>44,6</u> 37,0
Соломина под метелкой				<u>24,3</u> 60,5	<u>45,0</u> 45,0
Метелка				<u>5,1</u> 22,1	<u>36,9</u> 51,7

Можно принять, что для всей массы листьев посевов озимой пшеницы или овса работа по усвоению CO_2 начинается утром и прекращается вечером при уровне суммарной солнечной радиации около 25 Вт/м^2 , что составляет 3,5 % ее значения в полуденные часы. Найденное значение СКП листьев во многом условно, но оно может служить ориентиром для практиков при определении загущения посевов и нормы высева. Вместе с тем, как уже говорилось выше, минимальный уровень солнечной радиации, при котором обнаруживается фотосинтез верхних листьев, достигает $2,4 \text{ Вт/м}^2$ у озимой пшеницы и около 3 Вт/м^2 — у овса.

Наступление СКП у стеблей с влагищами листьев зависит от интенсивности солнечного излучения в зоне их расположения и, кроме того, от интенсивности их дыхания. При максимальной ассимилирующей поверхности в расчете на целое растение озимой пшеницы (фаза цветения) значения СКП увеличивались вниз по профилю посева с 19 до 450 Вт/м^2 в контроле и до 650 Вт/м^2 — в варианте с удобрениями. В среднем за вегетацию уровень солнечного излучения над стеблестоем, при котором фотосинтез и дыхание взаимно уравновешивали друг друга, для междоузлий нижнего яруса составлял 300, среднего яруса — 200 и верхнего яруса — 60 Вт/м^2 .

Интенсивность интегральной радиации в момент компенсации фотосинтеза дыханием и, наоборот, у соломины под колосом колебалась от 2,4 до 70 Вт/м^2 , т. е. совпадала со значением СКП верхних листьев, в результате продолжительность дневного усвоения CO_2 у этого органа была выше, чем у остальных стеблевых.

В течение вегетации по мере осветления посевов (из-за отмирания нижних листьев) значения СКП у стеблей снижались.

У листьев значение СКП вечером, как правило, выше, чем утром. Вызвано это, по нашему мнению, более высокой температурой в вечерние часы и вследствие этого более высокой дыхательной активностью листьев (табл. 5). У стеблей наблюдается иная картина. Очевидно, прогрев листьев и стеблей не совпадает по времени. Отмеченные особенности присущи и овсу.

У озимой пшеницы в среднем стебель полностью приступал к поглощению CO_2 , когда приход лучистой энергии солнца составлял 200 Вт/м^2 , у овса из-за малой оптической плотности посевов (она была в 1,4 раза ниже, чем у пшеницы) — около 100 Вт/м^2 , или 14 % полного дневного света.

У репродуктивных органов зерновых культур значения СКП возрастали в ходе вегетации с 2,4 до 150 Вт/м^2 в связи со снижением фотосинтетической активности и ростом дыхательных затрат. При влажности зерна 51 % фотосинтез колоса не регистрировался из-за преобладания дыхания. В момент

Таблица 5

Температура воздуха в момент наступления СКП у озимой пшеницы в 1975/76 г.

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	Начало	Конец			
Лист:								
1-й	8,8	0,5	—	—	—	—	—	—
	18,0	12,7						
2-й	8,8	3,0	—	—	—	—	—	—
	18,0	12,7						
3-й	—	1,3	—	—	—	—	—	—
		13,5						
4-й	—	1,3	0,9	—	—	—	—	—
		13,5	13,1					
5-й	—	-1,1	0,9	—	—	—	—	—
		10,4	13,1					
6-й	—	—	0,3	13,2	—	—	—	—
			13,2					
7-й	—	—	—	12,3	4,9	—	—	—
				19,2	11,6			
8-й	—	—	—	9,5	7,6	—	—	—
				12,1	12,6			
9-й	—	—	—	8,2	6,7	9,0	10,2	—
				14,5	12,1	15,3	19,3	
10-й	—	—	—	7,9	6,7	7,4	11,1	—
				9,3	11,2	16,0	16,9	
11-й	—	—	—	—	6,3	6,9	7,7	10,4
					10,1	14,6	16,4	14,3
Стебель с влагалищем:								
8-го листа	—	—	—	—	12,0	—	21,8	—
					15,5			
9-го »	—	—	—	—	10,0	19,1	19,6	12,4
					16,4	24,4	20,7	18,3
10-го »	—	—	—	—	12,8	16,1	17,5	11,3
					21,4	21,3	20,5	14,8
11-го »	—	—	—	—	7,6	16,0	15,2	7,6
					18,0	21,1	20,5	14,8
Соломина под колосом	—	—	—	—	—	10,0	10,1	7,6
						13,4	17,6	14,8
Колос	—	—	—	—	—	9,8	10,3	11,3
						13,4	18,5	19,4

его появления репродуктивные органы по значениям СКП не уступали флаговому листу.

Уравновешивание процессов дыхания фотосинтезом утром и фотосинтеза дыханием вечером неодинаково по годам опыта. В прохладных и дождливых условиях 1975/76 г. при чрезмерном

росте растений (например, площадь листьев при внесении удобрений достигала 58 тыс. м²/га) взаимная компенсация процессов СО₂-газообмена отмечалась при более высоких интенсивностях света. Особенно это касается стеблей. Так, при площади листьев в посевах выше 40 тыс. м²/га положитель-

Таблица 6

Продолжительность дневного усвоения СО₂ (г) органами растений озимой пшеницы в сезон 1975/76 г. в контроле (числитель) и в варианте с удобрениями (знаменатель)

Орган растения	Всходы	Кущение		Выход в трубку		Колошение	Цветение	Молочная спелость
		осеннее	весеннее	начало	конец			
Лист:								
1-й	11-05	9-50	—	—	—	—	—	—
	11-10	10-25	—	—	—	—	—	—
2-й	11-05	10-15	—	—	—	—	—	—
	11-10	10-25	—	—	—	—	—	—
3-й	—	9-55	—	—	—	—	—	—
	—	10-25	—	—	—	—	—	—
4-й	—	10-05	12-50	—	—	—	—	—
	—	9-55	12-10	—	—	—	—	—
5-й	—	10-30	12-35	—	—	—	—	—
	—	9-55	12-55	—	—	—	—	—
6-й	—	—	12-30	10-40	—	—	—	—
	—	—	12-05	11-30	—	—	—	—
7-й	—	—	—	13-55	13-40	—	—	—
	—	—	—	13-05	12-00	—	—	—
8-й	—	—	—	14-25	14-05	—	—	—
	—	—	—	13-10	14-20	—	—	—
9-й	—	—	—	15-50	15-50	11-50	13-50	—
	—	—	—	15-20	16-15	15-15	14-15	—
10-й	—	—	—	16-30	16-00	14-05	14-55	—
	—	—	—	16-00	16-20	15-40	15-15	—
11-й	—	—	—	—	16-20	16-10	16-10	13-55
	—	—	—	—	16-50	16-30	16-00	15-25
Стебель с влагалищем:								
8-го листа	—	—	—	—	9-50	2-15	2-20	—
	—	—	—	—	2-15	—	—	—
9-го »	—	—	—	—	1-15	8-30	3-50	12-35
	—	—	—	—	—	—	6-40	—
10-го »	—	—	—	—	13-10	8-10	10-40	14-10
	—	—	—	—	6-05	8-20	12-10	12-40
11-го »	—	—	—	—	13-25	8-55	11-50	15-06
	—	—	—	—	12-10	9-20	12-55	15-25
Соломина под колосом								
Колос	—	—	—	—	—	13-55	15-15	15-20
	—	—	—	—	—	15-45	15-00	15-25
Колос	—	—	—	—	—	14-40	14-20	9-30
	—	—	—	—	—	15-00	14-20	11-00

ный газообмен, т. е. преобладание фотосинтеза над дыханием, двух самых нижних междоузлий нами не был установлен. В этих условиях под полог листьев проникло 5—8 % ФАР.

Высокими значениями СКП характеризовались стеблевые органы в засушливых условиях вегетации 1974/75 г., что, очевидно, связано с более сильным прогревом растений в посевах и усилением дыхания.

В сезон 1976/77 г. значения СКП органов растений озимой пшеницы в большей мере приближались к оптимальным, хотя оптическая плотность посевов была в 1,4 раза выше, чем во время вегетации 1974/75 г.

Сопоставив данные о СКП листьев разных ярусов и интенсивности видимого фотосинтеза, увидим, что за день больше усваивалось CO_2 в 1974/75 г., когда значения СКП листьев были самыми низкими. В указанных условиях при переходе от листьев верхнего яруса к средним, а затем к нижним листьям значения СКП изменялись следующим образом: 4, 11 и $20 \cdot \text{Вт}/\text{м}^2$, а продуктивность фотосинтеза — соответственно 125, 86 и $49 \text{ мг } \text{CO}_2/\text{дм}^2$ за день.

В течение вегетации 1975/76 г. динамика показателей такова: СКП — 13, 5, 39 и $70 \text{ Вт}/\text{м}^2$, фотосинтез — 80, 68 и $20 \text{ мг } \text{CO}_2/\text{дм}^2$ за день.

В ходе вегетации озимой пшеницы в 1976/77 г. наблюдалось увеличение значений СКП вниз по профилю посева — 10, 30 и $38 \text{ Вт}/\text{м}^2$ — и соответственно уменьшение дневной продуктивности фотосинтеза — 83, 58 и $29 \text{ мг } \text{CO}_2/\text{дм}^2$.

Обращает на себя внимание бóльшая фотосинтетическая активность листьев в 1975/76 г., чем в 1976/77 г., несмотря на высокие значения СКП. Этот эффект, по нашему мнению, связан с саморегуляцией растений (в данном случае реакция на затенение) или часто отмечаемым компенсационным механизмом. В 1975/76 г. из-за сильного затенения фотосинтетическая продуктивность стеблевых органов была резко ограничена, что вызвало усиление фотосинтеза листьев верхнего и среднего ярусов.

Продолжительность дневного усвоения CO_2 (определяли по результатам измерения СКП в полностью сформированном посеве) у нижних листьев на 3—5 ч меньше (табл. 6). Видимое поглощение CO_2 междоузлиями стебля, расположенными под пологом листьев, продолжалось примерно 2 ч. Органы, находящиеся в верхнем ярусе посева, фотосинтезируют более продолжительное время, а лист-флаг — практически от восхода до захода солнца.

В заключение необходимо отметить, что данные о СКП фотосинтезирующих органов в полевой обстановке служат важной предпосылкой при определении суточной динамики газообмена CO_2 , а следовательно, продуктивности растений. Возможно, экспериментальные работы в этом направлении явятся существенным этапом

в создании теории густоты стояния сельскохозяйственных растений и разработке математических моделей продукционного процесса на уровне посевов.

Выводы

1. В посевах озимой пшеницы и овса минимальное значение прихода суммарной солнечной радиации, при которой наблюдаются СКП у молодых листьев, составляет $2,4 \text{ Вт/м}^2$, что почти на порядок ниже общепринятого значения. В онтогенезе растений значения СКП листьев возрастают.

2. Листья верхнего яруса, а также генеративные органы и верхнее междоузлие в момент их появления усваивают CO_2 практически от восхода до захода солнца.

3. Не отмечено влияния уровня минерального питания на значения СКП фотосинтезирующих органов. Влияние условий выращивания сказывается на фитоценотическом уровне. Усиление загущения посевов приводило к возрастанию значений СКП нижних междоузлий побега с 60 до 300 Вт/м^2 и более.

4. Листья полностью включаются в работу по усвоению CO_2 при уровне солнечного излучения, поступающего на верхнюю границу посева, 25 Вт/м^2 (3,5 % полного излучения), репродуктивные органы — при уровне радиации 40 Вт/м^2 . Стебли приступают к поглощению CO_2 последними, но завершают этот процесс раньше, когда плотность лучистого потока над стеблестоем достигает 200 Вт/м^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский В. Л. Фотосинтез пустынных растений.— Л.: Наука, 1976.— 2. Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова.— Л.: Гидрометеоздат, 1977.— 3. Лархер В. Экология растений.— М.: Мир, 1978.— 4. Лебедев С. И. Физиология растений.— М.: Агропромиздат, 1988.— 5. Клешнин А. Ф. Растение и свет.— М.: Изд-во АН СССР, 1954.— 6. Ничипорович А. А. Световое и углеродное

питание (фотосинтез).— М.: Изд-во АН СССР, 1955.— 7. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая.— Л.: Гидрометеоздат, 1977.— 9. Чирков Ю. И. Агрометеорология.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 10. Шатилов И. С. Биологические основы полевого травосеяния в Центральном районе Нечерноземной зоны (учебное пособие).— М.: ТСХА, 1969.— 11. Шульгин И. А. Растение и солнце.— Л.: Гидрометеоздат, 1973.

Статья поступила 30 ноября 1989 г.

SUMMARY

The results of measuring light compensation points (LCP) during vegetation in different plant organs are presented. LCP values are determined with attaining the upper border of stand by total solar radiation. It is shown that compensation of photosynthesis by respiration and vice versa in young leaves begins at the level of total radiation 2.4 w/m^2 , which makes 0.3 % of total radiation. The statement about photosynthesis in leaves of light-requiring plants being found with solar radiation which makes up 3—5 % of total day radiation can be applied to the whole mass of leaves in the stand. The effect of the environment on LCP value in certain organs is estimated.