

Фотосинтез и продуктивность: роль температурного фактора

УДК 633.1:581.132.1:58.056

doi: 10.15389/agrobiology.2014.5.88rus

СВЯЗЬ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНОЙ ХЛОРОФИЛЛЬНОГО ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И УРОЖАЙНОСТЬЮ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.) ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г.А. ПРЯДКИНА, О.О. СТАСИК, Л.Н. МИХАЛЬСКАЯ, В.В. ШВАРТАУ

Для разработки критериев селекции на высокую продуктивность и моделей прогнозирования урожайности в агроценозах важное значение имеет взаимосвязь между показателями фотосинтетической активности и продуктивностью культур. При оптимальных погодных условиях наиболее тесно с величиной урожая коррелирует хлорофилльный фотосинтетический потенциал (ХлФП), характеризующий суммарное количество хлорофилла в надземной части растений (или листьях) в расчете на единицу площади посева за вегетацию или ее определенный период (Т.М. Шадчина с соавт., 2007; Е. Kutasy с соавт., 2005). Современные глобальные климатические изменения прежде всего могут сказываться на чувствительных к высоким температурам культурах, к которым, в частности, относится озимая мягкая пшеница. При этом взаимосвязь фотосинтетических показателей с урожайностью может быть нарушена. В условиях полевого опыта мы изучили влияние повышенных температур воздуха в период весенне-летней вегетации на показатели фотосинтетического аппарата у короткостебельных высокоурожайных сортов мягкой озимой пшеницы Смуглянка (среднеранний) и Переяславка (среднепоздний) на разных фонах минерального питания (без применения удобрений и с их внесением в дозах $N_{90}P_{60}K_{60}S_{10}$ и $N_{120}P_{90}K_{90}S_{20}$ осенью и в разные фазы весенне-летней вегетации). Исследования проводили в 2009 и 2011 годах, которые характеризовались повышенными температурами в период вегетации, в опытном сельскохозяйственном производстве Института физиологии растений и генетики НАН Украины (Киевская обл.). Показано, что такие погодные условия привели к снижению содержания хлорофилла в листьях, размеров ассимиляционной поверхности посевов и продолжительности ее функционирования, а также урожайности. Во всех вариантах (и на высоком фоне минерального питания, и без внесения удобрений) площадь листовой поверхности в 2009 году была выше, чем в соответствующих вариантах в 2011 году во все три исследуемые фазы вегетации. Внесение минеральных удобрений увеличивало листовой индекс в оба года в среднем в 1,5-2,0 раза (у сорта Переяславка в фазу молочно-восковой спелости — почти в 5 раз по сравнению с контролем). Содержание хлорофилла различалось в зависимости от года: в фазу цветения в вариантах с внесением минеральных удобрений оно составило 5,5-6,0 и 3,5-4,5 мг/дм² соответственно в 2009 и в 2011 году, в контроле — соответственно 3,2-4,3 и 2,8 мг/дм², и такое соотношение сохранялось в последующие фазы развития. В большинстве случаев максимальные значения содержания пигментов в средней пробе зеленых листьев побега отмечались в фазу молочной спелости, очевидно, вследствие полного отмирания пластинки листьев нижних ярусов. Внесение минеральных удобрений увеличивало количество хлорофилла в листьях у обоих сортов. По результатам дисперсионного анализа (*F*-критерий Фишера), наибольшее влияние на изменения показателей мощности развития фотосинтетического аппарата в наших экспериментах оказывали условия года, вторым по значимости был уровень минерального питания. Величина хлорофилльного фотосинтетического потенциала весьма существенно зависела от комбинации факторов сорт × условия года и меньше — от взаимодействий условия года × фон минерального питания и сорт × фон минерального питания. Высокие и близкие по величине значения коэффициента корреляции (от 0,93 до 0,99) между зерновой продуктивностью посева и хлорофилльным фотосинтетическим потенциалом отмечались для выборок по каждому году, сорту или варианту минерального питания, сильную положительную зависимость выявили и для объединенной выборки за оба года. Таким образом, установлено, что тесная корреляция между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала листьев в посевах и урожайностью озимой пшеницы сохраняется и в условиях повышенных температур, а сама зависимость может быть описана уравнением регрессии, одинаковым для любого фактора, вызывающего варьирование показателей.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., зерновая продуктивность, листовой индекс, хлорофилл, хлорофилльный фотосинтетический потенциал листьев.

Изучение взаимосвязи между показателями фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных культур и урожайностью имеет важное значение как для понимания закономерностей продукционного процесса, так и для разработки критериев селекции на высокую продуктивность, а

также моделей прогнозирования урожайности в агроценозах. По данным многих авторов, наиболее тесно с урожайностью коррелирует хлорофилльный фотосинтетический потенциал (ХлФП), характеризующий суммарное количество хлорофилла в надземной части растений (или листьях) на единицу площади посева за вегетацию или ее определенный период (1-3). У разных генотипов озимой пшеницы нами была показана тесная связь между ХлФП листьев и продуктивностью посевов и возможность использовать такую зависимость для прогнозирования урожайности (4). Высокая степень корреляции ХлФП с урожаем обусловлена тем, что этот показатель хорошо отражает динамику формирования биомассы и эффективность поглощения фотосинтетически активной радиации (ФАР) посевом в процессе вегетации (5-7).

Высокие коэффициенты корреляции между ХлФП злаковых растений и их продуктивностью, как правило, отмечают в благоприятные по погодным условиям годы (4, 8, 9). Считается, что формирование посевов с высокими листовыми и хлорофилльными индексами, особенно при внесении высоких доз азотных удобрений, может оказаться контрпродуктивным в условиях дефицита влагообеспеченности и повышенных температур вследствие увеличения потерь почвенной влаги и затрат ассимилированного углерода на дыхание (10). При этом из-за глобальных изменений климата частота и продолжительность периодов с повышенными температурами существенно увеличились (11, 12). Так, в Украине с 2007 по 2012 годы рекордные значения среднесуточной температуры воздуха в период весенне-летней вегетации не были зарегистрированы только в 2008 году.

Озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — чувствительная к высокой температуре культура, и особенно значительные потери урожайности вызываются повышенными температурами воздуха в репродуктивный период развития (13-15). Высокотемпературный стресс оказывает ингибирующее действие на синтез хлорофилла и активность фотосинтетического аппарата, ускоряет старение и уменьшает продолжительность жизни листьев, угнетает и нарушает процессы формирования элементов колоса и фертильность пыльцы, подавляет образование и налив зерновки, что в конечном итоге вызывает снижение числа и массы зерен в колосе (16, 17). Хотя остается неясным, являются ли изменения в репродуктивной сфере самостоятельными факторами снижения урожайности или они связаны с недостаточным обеспечением фотоассимилятами (14, 18), очевидно, что повышенные температуры в период вегетации могут существенно нарушать взаимосвязь фотосинтетических показателей и зерновой продуктивности. Поэтому в годы высокотемпературных экстремумов использование зависимостей между показателями развития фотосинтетического аппарата и продуктивностью для целей селекции и прогнозирования урожайности может оказаться проблематичным.

Целью нашей работы было исследование зависимости между показателями развития фотосинтетического аппарата и зерновой продуктивностью в ценозах озимой пшеницы на разных фонах минерального питания в годы, когда отмечались повышенные температуры воздуха в течение вегетации.

Методика. Исследования проводили в 2009 и 2011 годах, которые характеризовались повышенными температурами в весенне-летний период, на двух короткостебельных высокоурожайных сортах мягкой озимой пшеницы, выращенных на участках сортоиспытания озимой пшеницы в опытном сельскохозяйственном производстве Института физиологии растений и генетики НАН Украины (Киевская обл.). Сорт Смуглянка среднеранний (вегетационный период — 278-281 сут, урожайность — от 60 до

115 ц/га), сорт Переяславка — среднеспелый (вегетационный период — 280–287 сут, урожайность — 60–103 ц/га) (19). Норма высева семян составляла 5,0–5,5 млн/га. Число продуктивных побегов при уборке урожая колебалось от 500 до 750 шт./м² почвы. Площадь участка в каждой из четырех повторностей равнялась 40 м², биологическая повторность — 20 растений. Опыты проводили на дерново-слабо- и среднеподзолистых оглеенных супесчаных почвах. Содержание гумуса — 1,8 %, рН (КС1) — 6,2. Минеральные удобрения (N₉₀P₆₀K₆₀S₁₀ и N₁₂₀P₉₀K₉₀S₂₀) вносили осенью и в отдельные фазы весенне-летней вегетации. Контролем служил вариант без применения удобрений.

Отбор образцов для определения содержания фотосинтетических пигментов и площади ассимиляционной поверхности посевов осуществляли в течение периода цветения—молочно-восковая спелость зерна. Содержание суммы хлорофиллов а и b в средней пробе всех листьев побега определяли спектрофотометрическим методом с экстракцией в диметилсульфоксиде (ДМСО) (20). Площадь зеленых листьев отдельного побега озимой пшеницы рассчитывали как произведение значений их длины и максимальной ширины с поправочным коэффициентом 0,76, листовой индекс (ЛИ) — умножая полученную величину на густоту стояния побегов. Хлорофилльный индекс (ХЛИ) вычисляли как произведение ЛИ и содержания хлорофилла в листьях. Хлорофилльный фотосинтетический потенциал определяли как сумму ежесуточных значений хлорофилльного индекса за определенный период развития (21). Для его расчета были построены графики изменения хлорофилльных индексов для зеленых листьев в течение периода цветения—молочно-восковая спелость.

Результаты экспериментов обрабатывали статистически с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. В оба года исследований среднесуточная температура воздуха в период репродуктивного развития озимой пшеницы была существенно выше средних многолетних значений. В 2009 году превышение среднесуточных температур воздуха над климатическими фиксировали в течение 2 нед сначала небольшое (на 0,8 °С) в период от колошения до цветения, а потом более существенное (на 1,5 °С) — от фазы молочной спелости (МС) и до молочно-восковой спелости (МВС). В среднем за период цветения—МВС разница равнялась 1,2 °С. В 2011 году средняя температура была значительно (на 5,1 °С) выше нормы в течение всего периода от цветения и до МВС. В отдельные дни среднесуточная температура превосходила норму более чем на 8 °С. Кроме того, в этом году превышение среднесуточных температур началось за 1,5 нед до начала фазы цветения и совпало с отсутствием осадков. Показатель увлажненности теплого периода года (гидротермический коэффициент) в мае 2009 года составлял 0,8, 2011 года — 0,6, тогда как его среднее многолетнее значение для Киевской области в этот месяц — 1,2.

Такой характер погодных условий существенно повлиял на развитие растения, особенно на стадии вегетативного роста. Так, в 2011 году фаза цветения наступила на 12 сут раньше, чем в 2009 году. Длительность периода цветения—МВС различалась меньше (в 2009 году она была короче примерно на 4 сут).

Погодные условия года оказали существенное влияние на формирование ассимиляционного аппарата посевов и на изменение величины ЛИ в течение вегетации пшеницы (рис. 1). Во всех вариантах (и на высоком фоне минерального питания, и без внесения удобрений) площадь листовой поверхности в 2009 году была выше, чем в соответствующих вари-

антах в 2011 году во все три исследуемые фазы вегетации. Внесение минеральных удобрений также значительно (в среднем в 1,5-2,0 раза) увеличивало ЛИ в оба года. Для сорта Переяславка влияние минеральных удобрений на площадь листовой поверхности в фазу МВС было наиболее высоким — почти в 5 раз по сравнению с контролем.

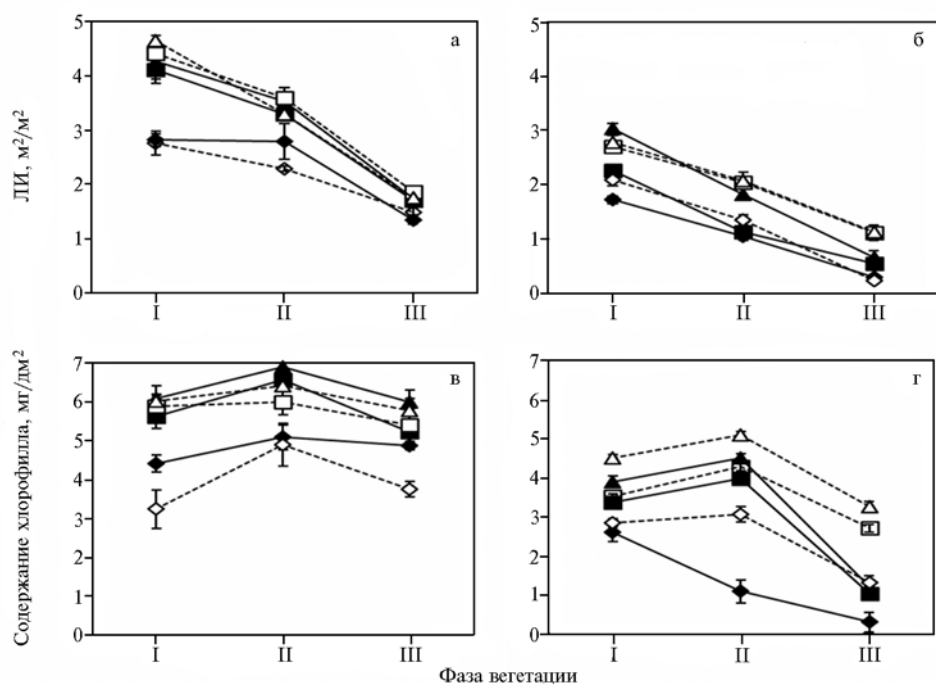


Рис. 1. Динамика листового индекса (ЛИ) посевов (а, б) и содержания хлорофилла (в, г) в годы с повышенной температурой воздуха в период вегетации (а, в — 2009 год, б, г — 2011 год) у озимой пшеницы (сплошные линии — сорт Смуглянка, пунктирные линии — сорт Переяславка) за время от цветения (I) до молочно-восковой спелости (III) на разных фонах минерального питания: ◆ и ◇ — контроль; ■ и □ — $N_{90}P_{60}K_{60}S_{10}$; ▲ и △ — $N_{120}P_{90}K_{90}S_{20}$ (опытное сельскохозяйственное производство Института физиологии растений и генетики НАН Украины, Киевская обл.).

Содержание хлорофилла в листьях у обоих сортов озимой пшеницы также существенно различалось в зависимости от года: в 2011 году значения были меньше по сравнению с таковыми в соответствующих вариантах в 2009 году. Так, в фазу цветения этот показатель в 2009 и 2011 годах при внесении удобрений составлял соответственно 5,5-6,0 и 3,5-4,5 мг/дм², в контроле — 3,2-4,3 и 2,8 мг/дм² (см. рис. 1). Похожее соотношение в целом сохранялось и на протяжении двух последующих фаз развития. Вместе с тем следует отметить более резкое снижение содержания хлорофилла в листьях в 2011 году, сильнее выраженное у сорта Смуглянка, особенно в условиях дефицита минерального питания. По-видимому, это было связано с ускорением процессов старения и реутилизации азота из листьев у сорта Смуглянка, индуцированным повышенными температурами. У сорта Переяславка количество хлорофилла менее зависело от погодных условий вегетационного периода, и в более жарком 2011 году в целом по вариантам оно превышало соответствующие показатели у сорта Смуглянка.

Внесение минеральных удобрений увеличивало количество хлорофилла в листьях у обоих сортов. В 2009 году содержание зеленых пигментов возросло в 1,3-1,5 раза по сравнению с контролем, а в 2011 годы повысилось еще значительно — в 1,7-2,2 раза. Увеличение доз вносимых удобрений вызывало достоверное возрастание содержания фотосинтетиче-

ских пигментов в листьях у обоих сортов.

Характерно, что в большинстве случаев максимальное содержание

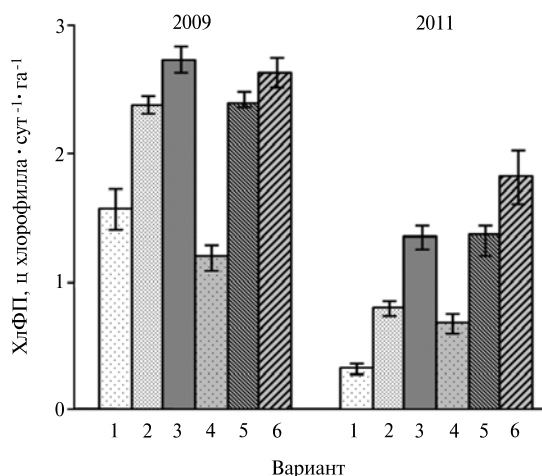


Рис. 2. Хлорофилльный фотосинтетический потенциал (ХлФП) озимой пшеницы (1-3 — сорт Смуглянка, 4-6 — сорт Переяславка) в годы с повышенной температурой воздуха в период вегетации за время от цветения до молочно-восковой спелости на разных фонах минерального питания: 1 и 4 — контроль, 2 и 5 — N₉₀P₆₀K₆₀S₁₀, 3 и 6 — N₁₂₀P₉₀K₉₀S₂₀ (опытное сельскохозяйственное производство Института физиологии растений и генетики НАН Украины, Киевская обл.).

хлорофилла в средней пробе листьев побега отмечали в фазу молочной спелости (очевидно, вследствие полного отмирания пластинки листьев нижних ярусов). При этом онтогенетические изменения изучаемого показателя у сорта Переяславка были сходными для всех вариантов в оба года, обеспечивая примерно одинаковые относительные различия между значениями на поздних этапах онтогенеза как при применении, так и без использования удобрений. У сорта Смуглянка наибольшее влияние удобрений на синтез хлорофилла регистрировали в период МС (особенно в 2011 году), а в фазу МВС различия между вариантами уменьшались вследствие быстрого снижения

количества пигмента при применении удобрений.

Значения хлорофилльного фотосинтетического потенциала, сформированного в посевах, как интегрального показателя, отражающего площадь ассимиляционной поверхности растений, а также содержание хлорофилла и изменения этих показателей в онтогенезе (рис. 2), в 2011 году были существенно ниже, чем в 2009 году. Вместе с тем влияние погодных условий различалось в зависимости от сорта и фона минерального питания. Так, в 2009 году по сравнению с 2011 годом у сорта Смуглянка величина ХлФП в контроле была выше в 4,8 раза, а в вариантах с N₉₀P₆₀K₆₀S₁₀ и N₁₂₀P₉₀K₉₀S₂₀ — соответственно только в 3,0 и 2,0 раза. У сорта Переяславка различия были значительно меньше — в 1,8 раза (контроль) и в 1,5 раза (вариант с N₁₂₀P₉₀K₉₀S₂₀). В свою очередь, влияние удобрений на величину ХлФП также зависело от сорта и года проведения опыта. В 2009 году оно было меньшим и сходным (различия соответственно в 1,7 и 2,2 раза у сортов Смуглянка и Переяславка). В 2011 году внесение удобрений в дозе N₁₂₀P₉₀K₉₀S₂₀ в 4,0 раза увеличивало ХлФП у сорта Смуглянка и в 2,5 раза у сорта Переяславка.

Как показали результаты дисперсионного анализа, наибольшее влияние на ХлИ и ХлФП в наших экспериментах оказывали условия года (табл. 1). Фон минерального питания был вторым по значимости фактором варьирования этих показателей, и наименьшее влияние оказывал сорт. В то же время величина ХлФП весьма существенно зависела от комбинации факторов сорт × условия года и меньше — от взаимодействия факторов условия года × фон минерального питания и сорт × фон минерального питания.

У растений изучаемых сортов вместе с показателями развития фотосинтетического аппарата изменялась зерновая продуктивность. При не-

благоприятных условиях 2011 года по сравнению с 2009 годом происходило резкое снижение урожайности (табл. 2). Урожай зерна у сорта Переяславка в зависимости от фона удобрений уменьшился в 1,8-2,2 раза, у сорта Смуглянка — в 2,0-2,5 раза.

1. Оценка влияния факторов и их комбинаций на варьирование показателей развития фотосинтетического аппарата у сортов озимой пшеницы Смуглянка и Переяславка (*F*-критерий Фишера; опытное сельскохозяйственное производство Института физиологии растений и генетики НАН Украины, Киевская обл.)

Фактор, сочетание факторов	F _{факт.}				F _{теор.}	
	хлорофилльный индекс по фазам			ХлФП за период	05	01
	цветение	МС	МВС			
Год (a)	374	633	431	3913		
Сорт (b)	2,30	1,08	6,84	54,30	4,84	9,85
Фон минерального питания (c)	123	103	30,1	1516	3,98	7,20
ab	0,40	28,40	7,30	264	4,84	9,85
ac	28,00	8,53	3,73	46,80		
bc	2,57	2,47	3,61	33,10	3,98	7,20
abc	1,28	0,13	0,42	2,57		

Примечание. ХлФП — хлорофилльный фотосинтетический потенциал листьев, МС и МВС — соответственно фазы молочной спелости и молочно-восковой спелости.

2. Урожайность зерна (ц/га) у сортов озимой пшеницы Смуглянка и Переяславка в годы с повышенной температурой воздуха в период вегетации на разных фонах минерального питания ($X \pm x$; опытное сельскохозяйственное производство Института физиологии растений и генетики НАН Украины, Киевская обл.)

Вариант	Сорт Смуглянка		Сорт Переяславка	
	2009	2011	2009	2011
Контроль	60,0±3,1	27,7±1,9	55,1±2,6	24,5±1,4
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ S ₁₀	102,3±2,9	39,6±4,5	98,4±2,7	53,0±3,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ S ₂₀	105,8±2,6	45,3±5,6	99,0±3,8	56,4±2,8

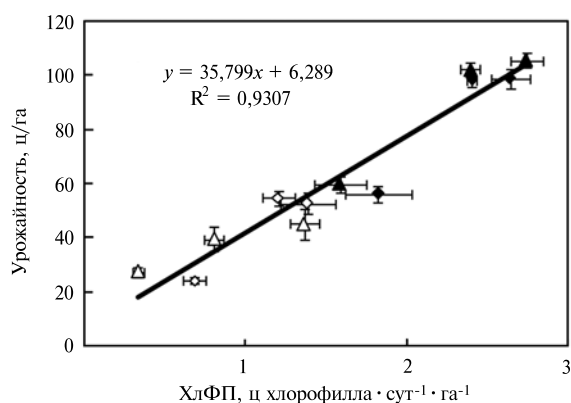


Рис. 3. Зависимость между величиной хлорофилльного фотосинтетического потенциала (ХлФП) и урожайностью у сортов озимой пшеницы в годы с повышенной температурой воздуха в период вегетации: ▲, △ — сорт Смуглянка, соответственно 2009 и 2011 годы; ◆, ◇ — сорт Переяславка, соответственно 2009 и 2011 годы (опытное сельскохозяйственное производство Института физиологии растений и генетики НАН Украины, Киевская обл.).

показателем мощности фотосинтетического аппарата — хлорофилльным фотосинтетическим потенциалом (ХлФП) листьев и урожайностью сохраняется у озимой пшеницы и в условиях повышенных температур. Для лю-

Проведенный корреляционный анализ показал тесную положительную зависимость между зерновой продуктивностью посева и величиной ХлФП за период цветение—МВС для объединенной выборки вариантов за оба года наблюдений (рис. 3). Важно отметить, что высокие и близкие по величине значения *r* (от 0,93 до 0,99) отмечались также для выборок по каждому отдельному году, отдельному сорту или отдельному варианту минерального питания.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что тесная корреляция между интегральным

бого фактора, вызывающего варьирование показателей (условия года, фон минерального питания, сорт), наблюдаемая взаимосвязь может быть описана общим уравнением регрессии. Повышение температуры воздуха в период вегетативного роста и репродуктивного развития уменьшало размеры ассимиляционной поверхности, содержание хлорофилла и продолжительность функционирования листьев, что приводило к снижению урожайности. Увеличение площади листьев и содержания хлорофилла при внесении более высоких доз удобрений сопровождалось пропорциональным возрастанием урожайности как при умеренном, так и при существенном повышении температур в период вегетации у обоих сортов, хотя последние довольно значительно различались по чувствительности к условиям выращивания. Большая продуктивность ценозов озимой пшеницы в варианте с внесением высоких доз удобрений была обусловлена, во-первых, большим количеством хлорофилла в листьях, во-вторых, более продолжительным периодом, в течение которого листовая индекс в посевах у сортов оптимален.

Авторы благодарят начальника Гидрометцентра Украины Н.И. Кульбиду и начальника отдела метеопрогнозов Л.И. Савченко за предоставленные данные метеонаблюдений по Киеву и Киевской области.

*Институт физиологии растений
и генетики НАН Украины,
03022 Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 31/17,
e-mail: pryadk@yandex.ru*

*Поступила в редакцию
19 марта 2014 года*

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2014. № 5. pp. 88-95

A RELATIONSHIP BETWEEN CHLOROPHYLL PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL AND YIELD IN WINTER WHEAT (*Triticum aestivum* L.) AT ELEVATED TEMPERATURES

G.A. Priadkina, O.O. Stasik, L.N. Mikhalskaya, V.V. Shvartau

*Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine, 31/17, Vasilkovskaya St., Kiev, 03022 Ukraine, e-mail pryadk@yandex.ru
Received March 19, 2014*

doi: 10.15389/agrobiol.2014.5.88eng

Abstract

Development of the indices for selection of high-yielding crops and the models, forecasting agrocenosis yields, necessitate the analysis of the relationship between photosynthetic traits and productivity. Chlorophyll photosynthetic potential, characterizing the total amount of chlorophyll in the above-ground parts of plants (or in leaves) per unit of ground surface area during the growing season or a certain period, under optimal weather conditions correlated most closely with the magnitude of yield (T.M. Shadchina et al., 2007; E. Kutasy et al., 2005). Modern global climate change may primarily affect the heat-sensitive crops in particular winter wheat causing disruption in the relationship between photosynthetic traits and productivity. In field experiment, we examined the effects of increased air temperatures during the spring—summer growing season on performance of photosynthetic apparatus in the high-yielding varieties of common winter wheat Smuhlyanka and Pereyaslavka on the different levels of mineral nutrition (without fertilizers and fertilizing in the fall and at different phases of the spring—summer vegetation in doses $N_{90}P_{60}K_{60}S_{10}$ and $N_{120}P_{90}K_{90}S_{20}$). Investigations were carried out in 2009 and 2011 with elevated air temperatures during the growing season at the experimental agricultural station of the Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv region.). It was shown that such weather conditions led to a decrease in chlorophyll content in the leaves, the size of crop surface and the duration of its operation, as well as grain yield. In all cases (both at high level of mineral nutrition and without fertilizers) leaf surface area in 2009 was higher than under the corresponding treatments in 2011 at all studied vegetation phases. Mineral fertilizers increased the leaf area index in both years by average 1.5-2.0 times (in Pereyaslavka at milk-wax ripeness phase it increased almost 5 times if compared to the control). Chlorophyll content in leaves of both varieties depended on year: it was 5.5-6.0 and 3.5-4.5 mg/dm², respectively, in 2009 and 2011 if fertilizers were used, and 3.2-4.3 and 2.8 mg/dm², respectively, in the control. In most cases, the maximum values of the pigments in the averaged sample of all green leaves from plant were observed in the phase of milk ripeness, probably, due to the complete withering away of leaves of lower layers. Mineral fertilizers increased the amount of chlorophyll in the leaves of both varieties. According to the results of dispersion analysis (F-Fisher test), the

greatest influence on changes in the indices of the photosynthetic capacity in our experiments have the conditions of the year, the second most important factor was the level of mineral nutrition. The value of chlorophyll photosynthetic potential was more dependent on a combination of factors variety \times year conditions and less on the interaction of the factors year conditions \times mineral nutrition level and variety \times mineral nutrition level. High and similar correlation coefficient values (0.93 to 0.99) between grain yield and chlorophyll photosynthetic potential were observed for data sets within single year, variety or mineral nutrition treatment, a strong positive dependence revealed for the combined data sets for both years. The data have shown that the close correlation between the leaf chlorophyll photosynthetic potential and yield of winter wheat is retained in the conditions of air high temperature and this dependence can be described by the same regression equation for any varying factors.

Keywords: *Triticum aestivum* L., grain yield, leaf area index, chlorophyll, chlorophyll photosynthetic potential of leaves.

REFERENCES

1. Andrianova Yu.E. *Khlorofill'nye indeksy i khlorofill'nye fotosinteticheskie potentsialy — kriterii otsenki potentsial'noi produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii. Avtoreferat doktorskoi dissertatsii* [Chlorophyll indexes and chlorophyll photosynthetic potential as criteria for yielding potency of agricultural plants. DSc Thesis]. Moscow, 1998.
2. Shadchina T.M., Pryadkina G.O., Morgun V.V. V sbornike: *Dosyagnennya i problemi genetiki, selektsii i biotekhnologii. Tom 2* [In: Achievements and problems of genetics, breeding and biotechnologies. V. 2.]. Kiev, 2007: 410-415.
3. Kutasy E., Csajbok J., Hunyadi B.E. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Cereal Res. Commun.*, 2005, 1: 173-176 (doi: 10.1556/CRC.33.2005.1.42).
4. Pryadkina G.O., Stasik O.O. *Sposib prognozuvannya vrozhaivosti ozimoï pshenitsi. Patent na korisnu model' 67232 (Ukraina) MPK (2012.01) A 01G 7/00 A01G 1/00. Institut fiziologii rastenii i genetiki NAN Ukrainy (Ukraina). № u 2011 086464. Zayavl. 06.0.11. Opubl. 10.02.12. Byul. № 3* [Forecasting productivity in winter wheat. Patent 67232 (Ukraine) MPK (2012.01) A 01G 7/00 A01G 1/00. Publ. № 3].
5. Andrianova Yu.E., Tarchevskii I.A. *Khlorofill i produktivnost' rastenii*. Moscow, 2000.
6. Calderini D.F., Dreccer M.F., Slafer G.A. Consequences of plant breeding on biomass growth, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crop Res.*, 1997, 3: 271-281.
7. Li Q., Chen Y., Liu M., Zhou X., Yu S., Dong B. Effect of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management*, 2008, 4: 469-476 (doi: 10.1016/j.agwat.2007.11.010).
8. Dudenko N.V., Andrianova Yu.E., Maksyutova N.N. *Fiziologiya rastenii*, 2002, 5: 684-687.
9. Derendovskaya A., Zhosan S. *Stiinta agricola*, 2008, 1: 4-6.
10. Smith A.M., Stitt M. Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant Cell Environ.*, 2007, 9: 1126-1149 (doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01708.x).
11. Morgun V.V., Kirizii D.A., Shadchina T.M.. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rastenii*, 2010, 1: 3-22.
12. Battisti D.S., Naylor R.L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 2009, 5911: 240-244 (doi: 10.1126/science.1164363).
13. Barnabas B., Jager K., Feher A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.*, 2008, 1: 11-38.
14. Farooq M., Bramley H., Palta J.A., Siddique K.H.M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 6: 491-507.
15. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environment: An overview. *Photosynthetic*, 2013, 51(2): 163-190 (doi: 10.1007/s11099-013-0021-6).
16. Bojović B., Stojanović J. Chlorophyll and carotenoid content in cultivars as function of mineral nutrition. *Arch. Biol. Sci.*, 205, 4: 283-290.
17. Long S.P., Ort D.R. More than taking the heat: crops and global change. *Current Opin. Plant Biol.*, 2010, 3: 241-248 (doi: 10.1016/j.pbi.2010.04.008).
18. Ainsworth E.A., Ort D.R. How do we improve crop production in a warming world? *Plant Physiol.*, 2010, 2: 526-530.
19. Morgun V.V., Sanin E.V., SHvartau V.V., Artemchuk I.P., Semerun' T.B., Omelyanenko O.A. *Klub 100 tsentneriv. Sorti ozimoï pshenitsi Institutu fiziologii roslin i genetiki NAN Ukraini ta sistema zakhistu kompanii Singenta* [Varieties of winter wheat of Institute of plant physiology and genetics, NAS of Ukraine, and system for plant protection from Singenta AG]. Kiev, 2008.
20. Hiscox J. D., Israelstam R.J. The method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.*, 1979, 12: 1332-1334.
21. Tarchevskii I.A., Andrianova Yu.E. *Fiziologiya rastenii*, 1980, 2: 341-347.