

УДК 631.5:633.11"324"

UDC 631.5:633.11"324"

СОДЕРЖАНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ В ЛИСТЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ЕЕ ВЫРАЩИВАНИЯ

THE CONTENT AND RATIO OF CHLOROPHYLLS IN LEAVES OF THE WINTER WHEAT DEPENDING ON AGROTECHNICAL METHODS OF ITS CULTIVATION

Федулов Юрий Петрович
д. б. н., профессор

Fedulov Yuri Petrovich
Dr. Sc. (Biol.), Prof.

Подушин Юрий Викторович
аспирант
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Podushin Yuri Victorovich
post-graduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Показано влияние уровня плодородия почвы, нормы удобрений, системы защиты растений и способа основной обработки почвы на накопление и соотношение хлорофиллов в листьях озимой пшеницы сорта Нота в течение весенне-летней вегетации.

Influence of level of soil fertility, norm of fertilizers, systems of plant protection and a way of basic soil cultivation on accumulation and a ratio of chlorophylls in leaves of a winter wheat Nota during spring-and-summer vegetation is shown.

Ключевые слова: TRITICUM AESTIVUM, ФАКТОРЫ АГРО-ТЕХНИКИ, ХЛОРОФИЛЛ *a, b*

Keywords: TRITICUM AESTIVUM, FACTOR OF AGROTECHNICS, CHLOROPHYLL *a, b*

Пигменты являются фотоакцепторами, поглощающими кванты видимой части солнечного спектра и участвующие в преобразовании световой энергии в энергию химической связи. Наиболее важную роль в этом процессе играют зеленый пигмент – хлорофилл. Поэтому от его количества и эффективности работы зависит продуктивность растений. Во многих работах было показано, что большое влияние на образование хлорофилла оказывает минеральное питание, водный режим и другие факторы внешней среды [2], многие из которых можно регулировать с помощью агротехнических приемов.

В связи с этим представляется важным изучение влияния комплекса агротехнических факторов на содержание и соотношение хлорофиллов *a* и *b*, т.к. оптимальное соотношение этих пигментов обеспечивает эффективную работу фотосинтетического аппарата и позволит создавать большой запас ассимилятов для формирования урожая.

Наиболее эффективные сочетания агротехнических условий на каждом этапе развития пшеницы, обеспечивающие максимальный урожай, можно выявить только в математически спланированном полевом эксперименте. В связи с этим в 2006, 2008 и 2009 гг. были проведены исследования на стационарном многофакторном опыте на опытном поле Кубанского госагроуниверситета [3].

Объектом исследования была озимая пшеница сорта Нота, выращиваемая по предшественнику кукуруза на зерно при различных комбинациях четырех основных агротехнических факторов: фактор А – плодородие почвы; В – норма удобрения; С – система защиты растений и Д – система основной обработки почвы.

Кодирование вариантов проводилось по специальной символике, в которой в условных единицах обозначается первой цифрой уровень плодородия почвы, второй – норма удобрения, третьей – система защиты растений, четвертой – система основной обработки почвы.

Опыт был заложен по схеме, описанной в работе [3].

Он включал 48 вариантов, из которых нами было выбрано 18 базовых вариантов (000, 111, 222, 333 на фоне всех изучаемых способов основной обработки почвы и 200, 020, 220, 202, 022, 002 только на рекомендуемой обработке почвы).

Площадь делянки общая – 105 м², учетная – 34 м². Повторность опыта трехкратная, расположение делянок систематическое, в двух блоках.

Исследования проводились в период весенне-летней вегетации от фазы выхода в трубку до фазы молочной спелости. Для опытов растения срезали ниже второго междоузлия, чтобы предотвратить увядание при транспортировке в лабораторию и ставили в сосуды с водой. Для анализа содержания зелёных пигментов использовался верхний сформировавшийся лист растения. Определение содержания хлорофиллов *a* и *b* проводили спектрофотометрически [4] из одной спиртовой вытяжки с помощью спектрофотометра Specol 11 (в 2006-07 гг.) и Spectrumlab SS2107 (в 2008 г.), содержание пигментов рассчитывали по формуле Лихтенталера [5].

Известно, что на большинство физиологических параметров значительное влияние оказывает взаимодействие факторов агротехники, поэтому для анализа полученных данных была использована множественная нелинейная регрессия.

Регрессионный анализ проводился отдельно для вариантов: 200, 020, 220, 202, 022, 002, 000, 222 на рекомендуемой обработке почвы.

Также отдельно были рассчитаны уравнения регрессии для базовых технологий возделывания культуры (Т) на всех изучаемых способах обработки почвы (D), при этом технологии условно разделили на четыре уровня: 000 – экстенсивная; 111 – беспестицидная; 222 – экологически допустимая; 333 – интенсивная.

Таблица 1 – Максимальные и минимальные значения содержания пигментов в листьях озимой пшеницы сорта Нота в ходе весенне-летней вегетации

		Код варианта	Содержание фотосинтетических пигментов, мг/дм ²				
			Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Сумма Хл	Хл <i>a/b</i>	
Дата проведения измерений	2006 г.	4.05	0001	2,9 ± 0,38	1,04 ± 0,14	3,94 ± 0,51	2,78 ± 0,01
			1113	5,28 ± 0,47	2,05 ± 0,19	7,33 ± 0,66	2,57 ± 0,03
		15.05	0001	3,48 ± 0,23	1,33 ± 0,08	4,81 ± 0,32	2,63 ± 0,03
			2222	5,45 ± 0,17	2,29 ± 0,18	7,74 ± 0,34	2,39 ± 0,13
		22.05	0001	3,71 ± 0,26	1,53 ± 0,11	5,25 ± 0,36	2,42 ± 0,05
			3331	5,89 ± 0,33	2,79 ± 0,17	8,68 ± 0,48	2,11 ± 0,07
		31.05	0001	3,04 ± 0,34	1,27 ± 0,14	4,32 ± 0,47	2,11 ± 0,07
			1111	5,81 ± 0,11	2,7 ± 0,11	8,5 ± 0,21	2,16 ± 0,07
	7.06	0001	2,54 ± 0,29	1,08 ± 0,16	3,62 ± 0,45	2,37 ± 0,09	
		1113	4,97 ± 0,3	2,2 ± 0,17	7,17 ± 0,44	2,27 ± 0,13	
	2007 г.	17.05	0002	1,83 ± 0,09	0,71 ± 0,05	2,53 ± 0,14	2,57 ± 0,04
			2223	2,70 ± 0,01	1,67 ± 0,01	4,37 ± 0,01	1,62 ± 0,01
		24.05	0002	2,58 ± 0,08	1,05 ± 0,02	3,63 ± 0,09	2,45 ± 0,07
			3331	3,63 ± 0,05	2,45 ± 0,23	6,09 ± 0,19	1,49 ± 0,16
		31.05	0002	2,26 ± 0,10	0,88 ± 0,04	3,14 ± 0,11	2,56 ± 0,05
			3332	4,21 ± 0,11	1,86 ± 0,07	6,07 ± 0,17	2,26 ± 0,03
	2008 г.	16.04	0001	3,03 ± 0,19	0,74 ± 0,05	3,77 ± 0,24	4,09 ± 0,01
			1112	4,26 ± 0,18	1,21 ± 0,06	5,47 ± 0,24	3,54 ± 0,04
		23.04	0001	4,00 ± 0,30	1,00 ± 0,07	5,00 ± 0,37	3,98 ± 0,03
			2223	6,02 ± 0,2	1,58 ± 0,05	7,59 ± 0,25	3,82 ± 0,03
		14.05	0003	4,23 ± 0,05	1,04 ± 0,02	5,27 ± 0,06	4,08 ± 0,03
			3331	6,64 ± 0,30	1,73 ± 0,10	8,36 ± 0,40	3,85 ± 0,06
		27.05	0002	4,96 ± 0,04	1,24 ± 0,02	6,2 ± 0,06	4,00 ± 0,04
			2222	6,78 ± 0,08	1,9 ± 0,03	8,68 ± 0,11	3,56 ± 0,02
10.06		2221	2,28 ± 0,18	0,68 ± 0,05	2,96 ± 0,23	3,35 ± 0,04	
		3333	5,40 ± 0,04	1,58 ± 0,01	6,98 ± 0,05	3,41 ± 0,02	

Опыты показали, что содержание хлорофиллов (Хл) в листьях озимой пшеницы разных вариантов достоверно различалось в течение всего периода исследования (табл. 1). Концентрация Хл *b* в листьях озимой пшеницы в большей степени изменялось под действием факторов агротехники, чем концентрация Хл *a*.

Максимальные концентрации зелёных пигментов в 2006 и 2008 г. были выше, чем в 2007 (табл. 2). Вероятно, это связано с погодными условиями, которые в 2006 и 2008 гг. были более благоприятны для роста и развития озимой пшеницы, по сравнению с 2007, в мае-июне которого преобладала аномально жаркая и сухая погода.

Максимальное содержание Хл *a* и *b* в течение весенне-летней вегетации наблюдалось в фазу цветения (табл. 2). Из рисунка 1 видно, что изменение концентрации хлорофилла в листе зависит не только от погодных условий и особенностей онтогенеза озимой пшеницы, но и от используемых агротехнических приёмов. Так в 2007 и 2008 году в варианте 0002 (минеральное питание не вносилось, плодородие почвы низкое) максимум содержания Хл был отмечен в фазу колошения, в остальных вариантах количество пигмента продолжало расти, и достигало максимума в фазу цветения.

В течение весенне-летней вегетации наблюдалась чёткая зависимость содержания Хл от количества доступных элементов питания в почве. При их низком содержании (0002) концентрация зелёных пигментов в листьях была значительно ниже, чем в вариантах, где использовались те или иные агротехнические приёмы, повышающие урожайность, во все годы исследования.

Таблица 2 – Средние значения суммарного содержания хлорофиллов по опыту

	Дата проведения измерений												
	2006 г.					2007 г.			2008 г.				
	4.05	15.05	22.05	31.05	7.06	17.05	24.05	31.05	16.04	23.04	14.05	27.05	10.06
Хл а+b, мг/дм ²	5,95	6,86	7,41	7,37	5,96	3,76	5,09	5,23	4,68	6,48	7,13	7,81	5,53

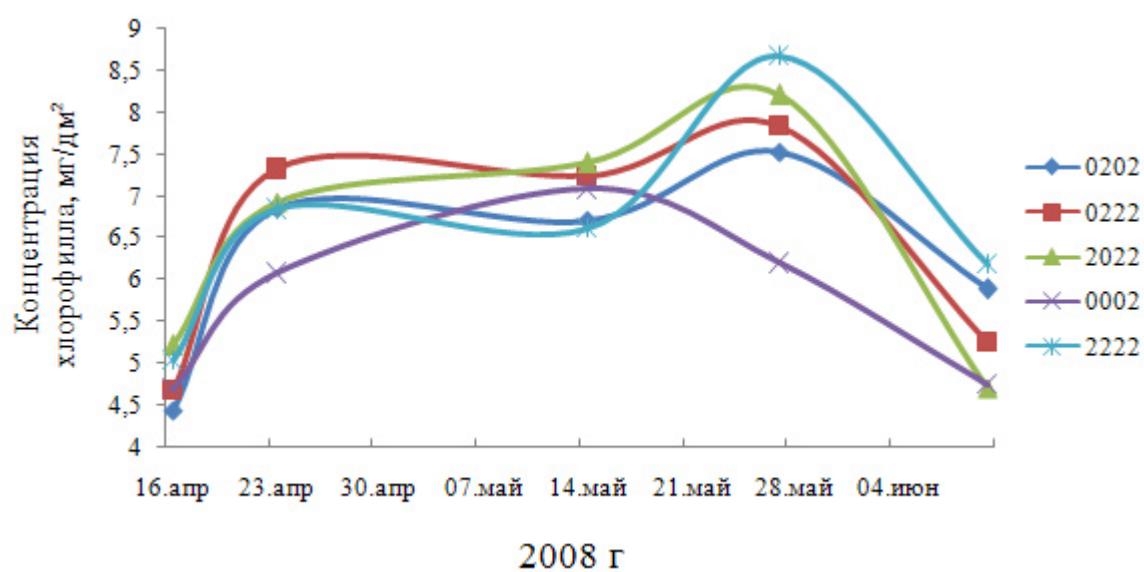
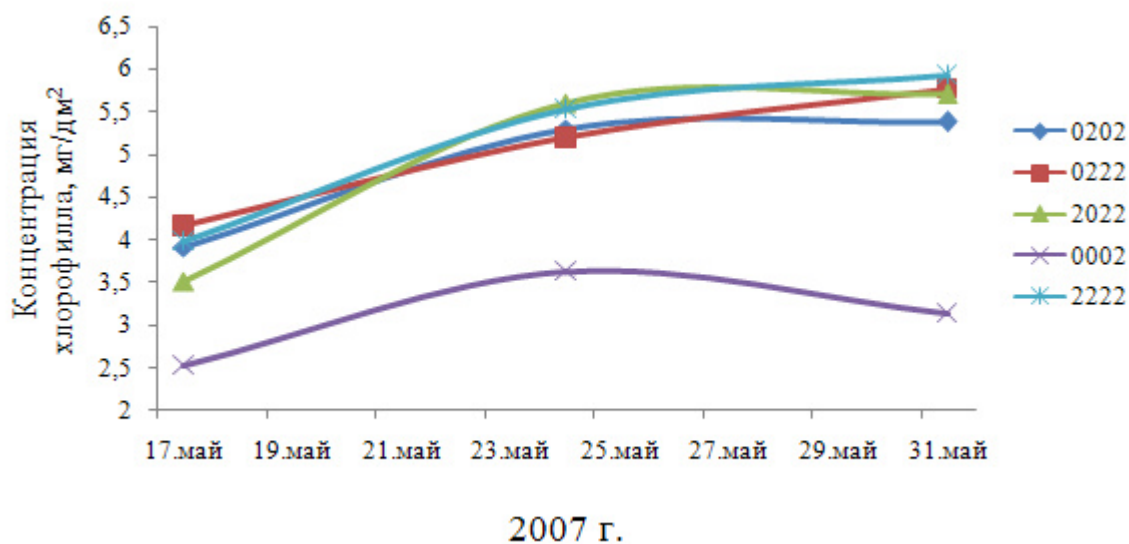
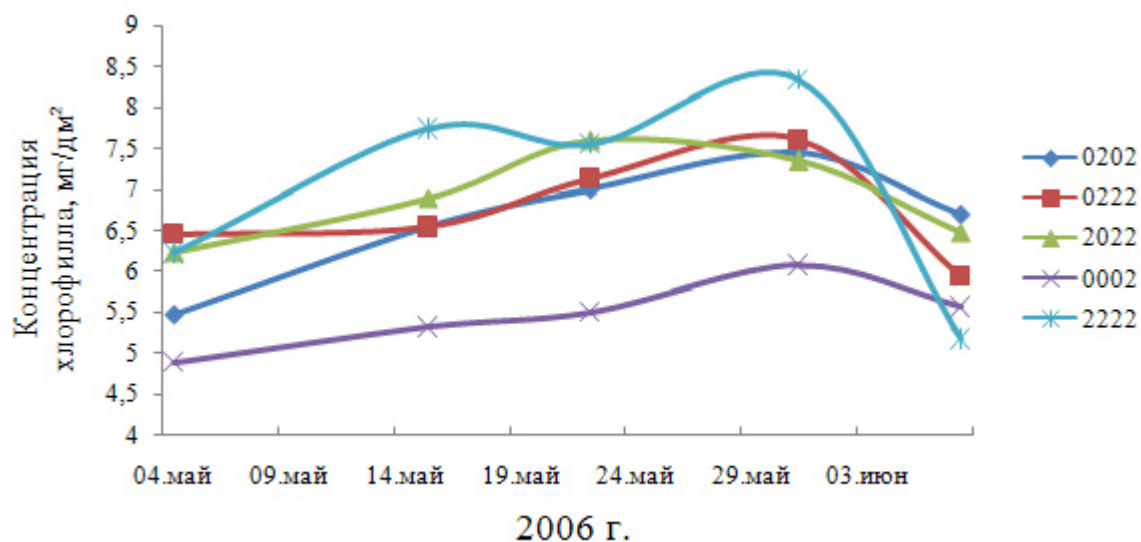


Рисунок 1 - Изменение суммарного содержания хлорофиллов в листьях озимой пшеницы сорта Нота в ходе весенне-летней вегетации

Наличие двух пиков максимума содержания суммы Хл *a* и *b* в 2007-08 вегетационном году, по всей видимости, связано с особенностями развития пшеницы и проведения измерений. Стеблевые листья пшеницы в фазу трубкования выходят по очереди, поэтому, вначале брался лист от одного междоузлия, потом другого и только в конце фазы трубкования использовался – флаговый лист, с которым и работали до конца. Содержание зелёных пигментов в листьях, по мере их развития, возрастало (рис. 1).

Коэффициенты детерминации (R^2) изменялись в течение весенне-летней вегетации, это говорит об изменении степени влияния агротехнических факторов на содержание пигментов в листьях в течение роста и развития растений (табл. 3, 4). Наибольшая корреляция содержания зелёных пигментов с агротехническими факторами наблюдалась в фазу цветения, во время которой все процессы в растении перестраиваются на формирование зародыша, последующий налив и созревание зерна [1].

Опыты показали, что повышение уровня плодородия почвы (А) и минерального питания (В) оказывали положительное влияние на концентрацию суммы хлорофиллов в листьях (табл. 3).

В 2006-07 г. уровень плодородия почвы (А) на содержание пигментов в листьях оказывал большее влияние, чем уровень минерального питания (В). В 2008 г. наоборот степень влияния фактора В на количество Хл в листьях была выше.

Коэффициент взаимодействия уровня плодородия почвы и внесения минеральных удобрений, на всех фазах имел знак минус, а влияние факторов А и В по отдельности было положительным. Это означает, что при повышенных уровнях плодородия дополнительное внесение минерального удобрения в меньшей степени способствовало повышению содержания Хл *a* и *b*, чем те же дозы при низких уровнях плодородия.

Таблица 3 – Параметры уравнений регрессии, связывающих суммарное содержание хлорофиллов в листьях озимой пшеницы сорта Нота и уровни агротехнических факторов на рекомендуемой обработке почвы

			Обозначение коэффициентов регрессии						R ²
			A	B	C	AB	AC	BC	
Даты проведения измерений	2006 г.	04.05	0,44*	0,42*	0,48*	-0,08	-0,13	-0,07	0,61*
		15.05	0,56*	0,32	0,44	-0,02	-0,11	-0,08	0,52*
		22.05	0,82*	0,42*	1,00*	-0,09	-0,39*	-0,30*	0,68*
		31.05	1,04*	0,58*	-0,24	-0,30*	-0,09	0,2	0,81*
		07.06	0,02	0,52*	0,40	-0,25*	0,02	-0,36*	0,49*
	2007 г.	17.05	0,81*	0,60*	0,14*	-0,25*	-0,23*	0,03	0,95*
		24.05	1,02*	0,76*	0,02	-0,46*	-0,02	0,01	0,91*
		31.05	1,20*	0,95*	0,41*	-0,50*	-0,17*	-0,02	0,90*
	2008 г.	16.04	0,24	-0,002	-0,30*	-0,12	0,16*	0,15	0,59*
		23.04	0,42	0,70*	-0,22	-0,29*	0,11	0,08	0,58*
		14.05	-	-	-	-	-	-	0,07
		27.05	0,72*	0,60*	0,46*	-0,10*	-0,08*	-0,12*	0,95*
		10.06	0,20	0,32*	-0,44*	-0,09	0,11	0,18*	0,73*

Примечание: * – коэффициенты достоверны на 5-% уровне значимости; - – расчёты коэффициентов не проводились из-за недостоверного уровня корреляции.

Влияние системы защиты растений (С) на сумму Хл *a* и *b* в зависимости от внешних условий оказывало как положительное, так и отрицательное влияние. Применение гербицидов (С) в 2006 и 2007 г. повышало общее содержание зелёных пигментов в листьях озимой пшеницы, а в 2008 г. снижало содержание Хл *a* и *b* в фазы трубкования и молочной спелости.

Коэффициенты регрессии взаимодействий АС и ВС 2006 и 2007 гг. имеют знак минус, что говорит об снижении влияния одного фактора при усилении действия другого. В 2008 г. внесение минеральных удобрений и повышение уровня плодородия почвы убирало отрицательное влияние гербицидов на концентрацию Хл *a* и *b* в листьях пшеницы в фазы трубкования и молочной спелости.

Достоверного независимого влияния способа обработки почвы (D) на сумму Хл *a* и *b* в наших опытах выявить не удалось. Но взаимодействие фактора (D) с комплексом других агротехнических факторов (Т) было достоверным и имело знак минус, что говорит об ослаблении влияния фактора D на увеличение содержания Хл, обусловленного другими факторами агротехники (табл. 4).

Таблица 4 – Параметры квадратичных уравнений регрессии, связывающих содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* в листьях озимой пшеницы сорта Нота и уровни агротехнических факторов

			Обозначение коэффициентов регрессии					R ²
			TD	D ²	T ²	D	T	
Даты проведения измерений	2006 г.	04.05	-0,38*	0,32	-0,28*	-0,32	2,20*	0,70*
		15.05	-0,29*	0,16	-0,41*	-0,001	2,37*	0,72*
		22.05	-0,63*	0,44	-0,25*	-0,66	2,52*	0,67*
		31.05	-0,05	-0,38	-0,67*	1,50	3,09*	0,80*
		07.06	-0,17	-0,13	-0,16	1,30	1,29*	0,44*
	2007 г.	17.05	0,001	0,14	-0,34*	-0,54	1,45*	0,90*
		24.05	-0,11*	0,03	-0,29*	0,02	1,76*	0,92*
		31.05	-0,07	0,09	-0,54*	-0,14	2,53*	0,92*
	2008 г.	16.04	-0,16	-0,10	-0,46*	0,63	1,67*	0,55*
		23.04	0,05	-0,06	-0,55*	0,37	1,8*	0,59*
		14.05	-0,29	-0,34	-0,24	1,56	1,79*	0,44*
		27.05	0,02	0,06	-0,3*	-0,36	1,34*	0,77*

		10.06	-0,05	-0,07	0,3*	1,03	-0,22	0,59*
--	--	-------	-------	-------	------	------	-------	-------

По коэффициентам регрессии при факторе технологии (Т) видно, что при переходе от экстенсивной (Т₀) к интенсивной (Т₃) технологии возделывания озимой пшеницы увеличение концентрации зелёных пигментов в листьях пшеницы в основном росло нелинейно: при переходе от Т₀ к Т₃ прирост суммы хлорофиллов уменьшался.

В фазу молочной спелости в 2008 г. интенсивная технология возделывания культуры (Т₃) в значительной степени снижала темпы разрушения Хл во флаговых листьях пшеницы, а значит, продлевала время его активного функционирования.

Таблица 5 – Параметры квадратичных уравнений регрессии, связывающих отношение хлорофиллов *a/b* и уровни агротехнических факторов на рекомендуемой обработке почвы

			Обозначение коэффициентов регрессии						R ²
			A	B	C	AB	AC	BC	
Даты проведения измерений	2007 г.	17.05	-0,32*	-0,32*	-0,04	0,11*	0,05*	-0,01	0,92*
		24.05	-0,19	-0,18	-0,04	0,10	0,02	0,07	0,48
		31.05	-0,06*	-0,04	-0,01	0,02	-0,01	-0,02	0,72*
	2008 г.	16.04	-0,10*	-0,08*	0,08*	0,04	-0,05*	-0,04*	0,81*
		23.04	-0,06	-0,18*	-0,04	0,06*	-0,05*	0,10*	0,67*
		14.05	-	-	-	-	-	-	0,33
		27.05	-0,08*	-0,10*	-0,12*	0,003	0,03*	0,004	0,94*
		10.06	-	-	-	-	-	-	0,46
	2006 г.		Достоверной корреляции не выявлено						

При анализе коэффициентов детерминации (табл. 5, б) видно, что соотношение пигментов в листе в 2007 и 2008 гг. в большой степени было

связано с используемыми агротехническими приёмами. В 2006 году Хл a/b значительно меньше зависело от агроприёмов.

Повышенное плодородие почвы (А) и применение рекомендуемой дозы минерального питания (В) в 2007 и 2008 гг. снижало соотношение Хл a/b . Коэффициенты взаимодействия АВ имеют знак противоположный факторам А и В, что говорит об уменьшении влияния одного из них при усилении действия другого (табл. 5).

Таблица 6 – Параметры квадратичных уравнений регрессии, связывающих отношение хлорофиллов a/b в листе и уровни агротехнических факторов

			Обозначение коэффициентов регрессии					R ²
			TD	D ²	T ²	D	T	
Дата проведения измерений	2006 г.	04.05	0,03*	0,02	0,03*	-0,14	-0,18*	0,49*
		15.05	0,01	0,02	0,03*	-0,08	-0,17*	0,45*
		22.05	0,04*	-0,02	0,01	-0,02	-0,17*	0,49*
		31.05	0,01	0,05	0,04*	-0,19	-0,18*	0,48*
		07.06	-	-	-	-	-	0,15
	2007 г.	17.05	-0,04*	-0,08*	0,16*	0,33*	-0,64*	0,94*
		24.05	0,09	-0,06	-0,002	0,20	-0,38*	0,58*
		31.05	-	-	-	-	-	0,32
	2008 г.	16.04	0,07	0,07	0,02	-0,39	-0,43*	0,56*
		23.04	-	-	-	-	-	0,11
		14.05	-	-	-	-	-	0,22
		27.05	0,04	-0,13*	0,08*	0,45	-0,38*	0,42*
		10.06	0,09*	0,03	0,03	-0,34	-0,28*	0,40*

Влияние системы защиты растений (С) носило не столь однозначный характер. В 2007 г. фактор С слабо влиял на отношение Хл a/b , в 2008 в фазу трубкования повышал, а в фазу цветения, наоборот, снижал соотношение хлорофиллов.

Влияние способа обработки почвы (D) в 2006 г. на отношение Хл a/b было слабым, ниже уровня достоверности. В 2007 г. в фазу колошения он

повышал это соотношение, а в 2008 отвальная обработка почвы снижала Хл a/b (табл.6).

Переход к более интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы (Т) снижал Хл a/b во все годы исследования (табл. 6).

Таблица 7 – Коэффициенты корреляции между урожайностью и характеристиками пигментного аппарата листьев озимой пшеницы сорта Нота

			Коэффициенты корреляции с урожайностью	
			Хл a+b	Хл a/b
Даты проведения измерений	2006 г.	04.05	0,75*	-0,14
		15.05	0,67*	-0,66*
		22.05	0,47	-0,53*
		31.05	0,79*	-0,74*
		07.06	0,38	-0,41
	2007 г.	17.05	0,77*	-0,81*
		24.05	0,74*	-0,68*
		31.05	0,75*	-0,48*
	2008 г.	16.04	0,37	-0,76*
		23.04	0,67*	-0,27
		14.05	0,71*	-0,18
		27.05	0,83*	-0,60*
		10.06	0,45	-0,21

Зависимость концентрации зелёных пигментов в листьях и урожайность озимой пшеницы сорта Нота от агротехнических приёмов были в значительной степени сходными. Наиболее высокая и стабильная по годам связь между этими параметрами наблюдалась в фазу цветения (табл. 7).

Корреляция отношения Хл a/b и урожайности озимой пшеницы была также высокой, особенно в фазу цветения, причём коэффициент корреляции имел отрицательное значение. Это означает, что у тех растений пшеницы, где отношение Хл a/b было меньше, с.-х. урожайность была выше.

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующее заключение.

Исследуемые агротехнические факторы: плодородие почвы, норма удобрений, система защиты растений и способ основной обработки почвы оказывали значительное влияние на накопление и соотношение хлорофиллов в листьях озимой пшеницы сорта Нота.

Повышение уровня плодородия почвы и нормы удобрений стабильно увеличивало общее содержание зелёных пигментов в листьях пшеницы в течение всего периода весенне-летней вегетации и понижало соотношение Хл a/b . Влияние системы защиты растений и способа обработки почвы на сумму Хл a и b , по всей видимости, во многом обусловлено погодными условиями в период вегетации. В разные периоды исследования оно было как положительным, так и отрицательным или отсутствовало вовсе.

На содержание зелёных пигментов в листьях существенное влияние оказывает взаимодействие факторов агротехники. Так при повышенных уровнях плодородия почвы внесение минерального удобрения оказывало существенно меньшее воздействие на суммарное содержание хлорофиллов в листьях пшеницы, чем те же дозы при низких уровнях плодородия. В определённые годы применение рекомендуемых доз минерального питания снимало отрицательное влияние гербицидов на зелёные пигменты.

Корреляционная зависимость урожайности и содержания общего Хл в листьях пшеницы сорта Нота была стабильно высокой в фазу цветения. Снижение отношения Хл a/b коррелировало с повышением урожайности.

Список литературы

1. Губанов Я.В. Озимая пшеница / Я.В. Губанов, Н.И. Иванов - М.: Агропромиздат, 1988. – 303 с.
2. Паршина З.С. Пигменты и фотохимическая активность хлоропластов озимой пшеницы / З.С. Паршина, Г.Н. Паршина. - Алма-Ата: Наука, 1983. – 140 с.
3. Трубилин И.Т., Малюга Н.Г. Агрэкологический мониторинг в земледелии Краснодарского края / И.Т. Трубилин, Н.Г. Малюга. - Краснодар: КубГАУ, 1997. – 237 с.
4. Федулов Ю.П. Влияние условий агротехники на содержание фотосинтетических пигментов в листьях озимой пшеницы / Ю.П. Федулов, И.И. Трубникова, А.В. Загорулько, В.В. Маймистов, Д.В. Терещенко, А.А. Новиков, С.Ю. Фаткина // Технология возделывания основных полевых культур в современной земледелии / Тр. КубГАУ. - 1999. - № 372(400). - С. 40 - 46.
5. Lichtenthaler H.K. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents / H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn // Biochem. Soc. Trans. - 1983. - Vol.11. - № 5. - P. 591-592.