

А.А. Ярошук

аспирант, мл. н. с.

E-mail: alrikdorey@mail.ru

Государственное научное учреждение Центральный ботанический сад НАН Беларуси,
Минск

Влияние удобрений на содержание фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах голубики на рекультивируемом участке торфяно-го месторождения в Беларуси

Приведены результаты сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа на севере Беларуси влияния полного минерального и отечественных микробных удобрений МаКлоР, АгроМик и Бактопин на состояние пигментного фонда хлоропластов ассимилирующих органов *V. angustifolium* и сортов *V. corymbosum* Northblue и Northcountry. Установлена его существенная трансформация, имевшая наиболее выраженный характер у сорта Northblue. При этом у *V. angustifolium* незначительное стимулирующее действие на накопление пигментов оказывало только внесение Бактопина, АгроМика и особенно 50%-ного МаКлоРа. Наиболее эффективным в плане активизации биосинтеза фотосинтезирующих пигментов для сорта Northcountry было внесение 10%-ного МаКлоРа и $N_{1\sigma}P_{1\sigma}K_{1\sigma}$. Все остальные агроприемы, особенно применение 50%-ного МаКлоРа, способствовали обеднению пигментного фонда его ассимилирующих органов на 149-270%, по сравнению с контролем. Для сорта Northblue показано максимальное в эксперименте стимулирующее действие на биосинтез фотосинтезирующих пигментов всех без исключения испытываемых агроприемов, особенно внесения $N_{1\sigma}P_{1\sigma}K_{1\sigma}$ при расхождении степени их максимального и минимального позитивного влияния в 6,7 раза. При этом в ряду микробных удобрений наиболее эффективным было использование препарата МаКлоР, тогда как наименее результативным - внесение АгроМика и Бактопина.

Ключевые слова: ассимилирующие органы, хлорофилл, β -каротин, ксантофиллы, минеральные и микробные удобрения, голубика.

A.A. Yaroshuk

PhD student, Junior Researcher

E-mail: alrikdorey@mail.ru

State Institution for Science Central Botanical Garden NAS of Belarus, Minsk

Influence of fertilizers on the content photosynthesis pigments in assimilating organs of blueberries on a reclaimed site left a commercial operation of peat deposits horse type in Belarus

The results of a comparative study in an experimental culture on a reclaimed site of a top-type peat deposit in north of Belarus, the influence of the complete mineral and domestic microbial fertilizers MaKloR, AgroMik and Bactopin on the state of the pigment fund of chloroplasts of assimilating organs *V. angustifolium* and varieties *V. corymbosum* Northblue. It's significant transformation, which had the most pronounced character in the Northblue variety, was established. At the same time, in *V. angustifolium*, insignificant stimulating effect on the accumulation of pigments was exerted only by the introduction of Bactopin, AgroMik, and especially 50 % MaKloR. The most effective in terms of enhancing the biosynthesis of photosynthetic pigments for the Northcountry variety was the introduction of 10 % MaKloR and $N_{1\sigma}P_{1\sigma}K_{1\sigma}$. All other agricultural methods, especially the use of 50 % MaKloR, contributed to the depletion of the pigment fund of assimilating organs by 149-270 %, compared with the control. For the Northblue variety, the experimentally stimulating effect on the photosynthetic pigment biosynthesis of all agropreceptions tested without exception, especially the application of $N_{1\sigma}P_{1\sigma}K_{1\sigma}$ was shown, with a difference of 6,7 times the degree of their maximum and minimum positive influence. At the same time, in the range of microbial fertilizers, the most effective was the use of the drug MaKlor, while the least effective was the use of AgroMik and Bactopin.

Keywords: assimilating organs, chlorophyll, β -carotene, xanthophylls, mineral and microbial fertilizers, blueberries.

DOI: 10.25791/BBGRAN.04.2019.1035

Введение

Одним из наиболее эффективных приемов возвращения в хозяйственный оборот земель, нарушенных добычей торфа, является их фиторекультивация на основе создания локальных агроценозов ягодных растений сем. Ericaceae,

в том числе чрезвычайно популярных у населения Беларуси интродуцентов из рода *Vaccinium* – *V. corymbosum* L. и *V. angustifolium* L. Вместе с тем, как показал практический опыт, повышение плодородия выработанных торфяных месторождений с помощью средств химизации недостаточно эффективно. Это обусловлено значительными

затратами на приобретение и внесение дорогостоящих минеральных удобрений, что увеличивает себестоимость конечной продукции и приводит к загрязнению окружающей среды токсичными соединениями. В соответствии с принятым в ноябре 2018 г. в Республике Беларусь Законом «О производстве и обращении органической продукции», существенно ужесточаются требования к качеству экологически чистой растениеводческой продукции, при производстве которой запрещено использование любых химических средств, в том числе минеральных удобрений.

Наиболее перспективным агротехническим приемом при выращивании голубики на рекультивируемых землях представляется использование растительно-микробных ассоциаций, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в малопродуктивном и сильноокислом остаточном слое торфяной залежи. При этом будет обеспечено не только введение их в органическое земледелие, но и получение экологически чистой, экспортоориентированной высоковитаминной ягодной продукции.

Важнейшим критерием ответной реакции культивируемых растений на испытываемые агроприемы, является характер изменений в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов. Скрининговыми исследованиями ряда авторов выявлено стимулирующее действие физиологически активных веществ и минеральных удобрений на продукционные процессы и накопление хлорофилла в листьях овощных и зерновых культур, способствующее повышению интенсивности фотосинтеза [1-3]. Следует отметить, что исследования влияния удобрений на фотосинтетический аппарат растений голубики крайне малочисленны [4]. В этой связи представляется весьма актуальным и своевременным сравнительное исследование в опытной культуре влияния традиционно применяемого полного минерального и отечественных микробных удобрений на состояние пигментного фонда ассимилирующих органов растений голубики.

Объекты и методы исследований

Полевые исследования выполнены на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа в Докшицком р-не Витебской обл. в 2018 г., характеризовавшегося преимущественно аномально жаркой погодой с превышением на 18-76% среднесезонных температурных показателей при существенном дефиците атмосферных осадков, на 5-летних растениях *V. angustifolium* L. и сортов *V. corymbosum* L. Northcountry и Northblue в рамках полевого эксперимента с 6-вариантной схемой, предусматривавшей двукратное за сезон (в мае и июне) луночное внесение испытываемых удобрений:

1. – контроль, без внесения удобрений;

2 – внесение 0,5 л / растение 10%-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР из расчета 100 г на 10 л рабочего раствора, или 5,5 г на 1 растение;

3 – внесение 0,5 л / растение 50%-ного раствора жидкого удобрения МаКлоР;

4 – внесение 0,5 л / растение жидкого препарата АгроМик;

5 внесение 0,5 л / растение жидкого препарата Бактопин из расчета 100 г на 10 л рабочего раствора, или 5,5 г на 1 растение;

6 – внесение NPK 16:16:16 кг/га д.в., или 5 г на 1 растение.

Повторность опыта - трехкратная, в каждом варианте высажено по 18 растений голубики.

С целью установления влияния минеральных и микробных удобрений на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов растений голубики в было осуществлено повариантное определение в рамках полевого эксперимента содержания хлорофиллов *a* и *b* по методу Т.Н. Годнева [5, 6], β -каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [7] в листьях, отобранных со срединной части генеративных побегов (ветвления) прироста текущего года. Все аналитические определения выполнены в трехкратной повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение

Как следует из таблицы 1, содержание и зеленых, и желтых пластидных пигментов в ассимилирующих органах *V. angustifolium* варьировало в рамках полевого эксперимента преимущественно в области более высоких, нежели у сортов *V. corymbosum*, значений. Если в первом случае суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе листьев изменялось в диапазоне 262,5-363,9 мг/100 г, в том числе хлорофилла *a* – 181,6-257,4 мг/100 г, хлорофилла *b* – 80,9-106,6 мг/100 г, то аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в листьях сорта Northcountry составляли соответственно 144,7-356,4; 104,0-247,3 и 40,6-109,2 мг/100 г, сорта Northblue - 158,3-349,3; 111,1-240,5 и 47,2-108,8 мг/100 г. Близкая к этой картина наблюдалась и в каротиноидном комплексе ассимилирующих органов голубики. Так, если суммарное содержание желтых пигментов в сухом веществе листовой ткани *V. angustifolium* изменялось в рамках эксперимента от 57,9 до 80,8 мг/100 г, в том числе β -каротина – от 16,4 до 32,4 мг/100 г, ксантофиллов – от 37,7 до 64,4 мг/100 г, то аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в листьях сорта Northcountry составляли соответственно 35,5-73,1; 4,6-23,9 и 14,7-49,3 мг/100 г, сорта Northblue - 38,5-71,1; 10,3-22,6 и 28,2-49,2 мг/100 г. В то же время производные характеристики пигментного фонда пластид - соотношения количества хлорофиллов *a* и *b*, хлорофиллов и каротиноидов у испытанных таксонов голубики варьировали в достаточно близких диапазонах, соответствовавших значениям 2,2-2,8 и 3,6-4,9. Что касается соотношения количества β -каротина и ксантофиллов, то диапазоны его варьирования у *V. angustifolium* и сорта Northblue были сопоставимы и составляли соответственно 0,25-0,73 и 0,31-0,75, тогда как у сорта Northcountry

Таблица 1. Содержание фотосинтезирующих пигментов (мг на 100 г сухой массы) в ассимилирующих органах растений голубики в период активной вегетации в вариантах полевого опыта

Вариант опыта	<i>V. angustifolium</i>											
	Хлорофиллы											
	a		b		a+b		a/b		t		f	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
1	227,6±0,7		94,2±0,7		321,8±1,5		2,4±0,1			2,4±0,1		
2	181,6±0,5	-51,2*	80,9±1,4	-8,5*	262,5±0,9	-34,0*	2,2±0,1			2,2±0,1		-3,7*
3	257,4±0,5	34,0*	106,6±0,9	10,4*	363,9±1,3	21,3*	2,4±0			2,4±0		-0,1
4	237,4±0,4	11,9*	99,6±0,4	6,5*	337,0±0,7	9,2*	2,4±0,1			2,4±0,1		-0,6
5	239,5±0,1	15,9*	106,1±1,1	9,1*	345,6±1,1	12,8*	2,3±0			2,3±0		-6,3*
6	209,9±1,4	-11,2*	83,5±1,6	-6,0*	293,3±3,0	-8,5*	2,5±0			2,5±0		2,9*
	Хлорофиллы/Каротиноиды											
	сумма		β-каротин		ксантофиллы		β-каротин/ксантоф.		t		f	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
1	76,4±0,3		25,7±0,3		50,7±0,1		0,51±0,01		4,2±0,1		4,2±0,1	
2	57,9±0,2	-52,4*	20,2±0,1	-16,2*	37,7±0,3	-45,9*	0,54±0,01	3,0*	4,5±0,1		4,5±0,1	8,5*
3	80,8±0,4	8,9*	16,4±0,2	-27,2*	64,4±0,3	50,2*	0,25±0,01	-39,0*	4,5±0,1		4,5±0,1	6,0*
4	77,2±0,1	2,3	32,4±0,2	19,4*	44,7±0,3	-19,6*	0,73±0,01	20,6*	4,4±0,1		4,4±0,1	4,0*
5	77,5±0,1	2,5	16,7±0,4	-17,7*	60,8±0,3	31,7*	0,28±0,01	-22,9*	4,5±0,1		4,5±0,1	5,7*
6	68,7±0,2	-20,9*	20,1±0,4	-10,9*	48,6±0,7	-3,2*	0,41±0,01	-6,1*	4,3±0,1		4,3±0,1	0,9
	Сорт Northcountry											
	Хлорофиллы											
	a		b		a+b		a/b		t		f	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
1	180,8±0,4		73,2±0,3		253,9±0,4		2,5±0		2,5±0		2,5±0	
2	208,4±0,3	56,4*	77,2±0,6	5,6*	285,5±0,9	31,1*	2,7±0		2,7±0		2,7±0	9,9*
3	104,0±0,4	-134,8*	40,7±0,1	-93,2*	144,7±0,5	-176,8*	2,6±0		2,6±0		2,6±0	4,4*
4	137,1±1,1	-37,3*	53,6±0,7	-24,3*	190,7±1,8	-33,6*	2,6±0		2,6±0		2,6±0	4,4*
5	112,3±0,3	-155,7*	40,6±0,6	-45,4*	152,9±0,6	-139,5*	2,8±0		2,8±0		2,8±0	6,3*
6	247,3±1,1	56,6*	109,2±0,7	48,1*	356,4±1,6	62,2*	2,3±0		2,3±0		2,3±0	-11,5*
	Каротиноиды											

	сумма		β-каротин		ксантофиллы		β-каротин/ксантоф.		Хлорофиллы/Каротиноиды	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
1	60,0±0,5		20,4±0,3		39,6±0,3		0,51±0,01		4,2±0,1	
2	67,2±0,2	14,2*	20,9±0,1	1,8	46,3±0,1	19,1*	0,45±0,01	-8,3*	4,2±0,1	0,5
3	35,5±0,2	-47,0*	4,6±0,1	-61,3*	30,9±0,2	-22,1*	0,15±0,01	-53,8*	4,1±0,1	-4,9*
4	46,1±0,2	-26,4*	14,1±0,3	-17,5*	32,0±0,1	-22,0*	0,44±0,01	-6,9*	4,1±0,1	-2,8*
5	42,0±0,4	-29,7*	13,0±0,2	-24,3*	29,0±0,3	-23,2*	0,45±0,01	-6,8*	3,6±0,1	-12,3*
6	73,1±0,3	23,3*	23,9±0,3	8,6*	49,3±0,4	19,5*	0,49±0,01	-2,6	4,9±0,1	14,1*
Сорт Northblue										
Хлорофиллы										
a			b			a+b			a/b	
$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	
111,1±0,4		47,2±0,8		158,3±1,2		2,4±0		2,4±0		
194,0±1,5	55,0*	82,1±1,0	27,1*	276,1±2,4	43,5*	2,4±0		2,4±0	0,3	
167,4±0,1	140,5*	68,2±0,1	25,1*	235,5±0,1	64,6*	2,5±0		2,5±0	3,0*	
127,3±0,1	40,8*	53,6±0,1	7,6*	180,8±0,1	18,9*	2,4±0		2,4±0	0,7	
133,9±0,3	47,6*	55,7±0,6	8,4*	189,6±0,9	21,3*	2,4±0		2,4±0	1,3	
240,5±1,4	90,0*	108,8±0,9	48,8*	349,3±2,3	74,2*	2,2±0		2,2±0	-4,1*	
Каротиноиды										
сумма			β-каротин			ксантофиллы			β-каротин/ксантоф.	
$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t	
38,5±0,3		10,3±0,1		28,2±0,4		0,37±0,01		4,1±0,1		
57,4±0,4	40,1*	13,5±0	25,4*	44,0±0,4	28,9*	0,31±0,01	-6,2*	4,8±0,1	10,5*	
53,0±0,6	20,7*	22,6±0,2	63,3*	30,3±0,6	2,9*	0,75±0,03	14,1*	4,4±0,1	5,7*	
46,0±0,1	24,4*	11,5±0,1	6,1*	34,5±0,3	13,5*	0,33±0,01	-3,0*	3,9±0,1	-7,6*	
44,7±0,2	19,7*	10,8±0,1	3,0*	33,9±0,2	13,1*	0,32±0,01	-4,8*	4,2±0	4,5*	
71,1±0,4	63,1*	21,9±0,4	27,8*	49,2±0,8	23,0*	0,45±0,02	4,3*	4,9±0,1	15,7*	

Примечание. * – Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при P<0,05

данный диапазон охватывал область более низких значений в пределах 0,15-0,51, что указывало на ослабление позиций β -каротина в составе его каротиноидного комплекса. Сравнение исследуемых показателей в контроле и в вариантах опыта с внесением удобрений выявило существенные межвариантные различия в характере и степени ответной реакции пигментного комплекса ассимилирующих органов голубики на приемлемые агроприемы. Как следует из таблицы 2, у *V. angustifolium* она проявилась менее выразительно, чем у сортов *V. corymbosum*, особенно в сравнении с сортом Northblue.

Так, в листовой ткани *V. angustifolia* только на фоне внесения микробных удобрений – 50% – МаКлоРа, АгроМика и Бактопина наблюдалось незначительное (не более чем на 5-13%) достоверное увеличение, относительно контроля, общего содержания зеленых пластидных пигментов, наиболее выраженное в первом случае. При этом лишь при использовании 50% – МаКлоРа это сопровождалось некоторым усилением накопления и желтых пластидных пигментов, не превышавшим 6%, тогда как в двух других обозначенных выше вариантах опыта различий с контролем по данному признаку выявлено не было. Вместе с тем на фоне внесения 10% – МаКлоРа, а также $N_{16}P_{16}K_{16}$ был установлен обратный эффект – снижение в листьях общего количества и хлорофиллов, и каротиноидов соответственно на 18 и 24% в первом случае и в меньшей степени – на 9 и 10% – во втором.

Общезвестно, что каротиноидам, выполняющим роль светосборщиков и фотопротекторов, принадлежит особая важная роль в процессе фотосинтеза, в связи с чем активизацию их накопления в листовой ткани под действием внешних агентов следует рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата и предотвращение его фотодинамической деструкции. Известно также, что у разных видов растений состав каротиноидов весьма однороден и включает как восстановленные углеводороды – α - и β -каротины (одну четверть от общего содержания желтых пигментов), так и их окисленные производные – ксантофиллы, представленные β , ϵ -ксантофиллами: лютеином (наиболее распространенным каротиноидом) и β , β -ксантофиллами: виолаксантином, неоксантином, антераксантином и зеаксантином, биосинтез которых строго контролируется в процессе адаптации растений к стрессовым условиям [8].

В составе каротиноидного комплекса листовой ткани *V. angustifolium* отмечены статистически выраженные сдвиги, относительно контроля, заключавшиеся в активизации накопления β -каротина на 26% при обеднении ее ксантофиллами на 12% в варианте опыта с внесением АгроМика, а также в обогащении ими на 20 и 27% в вариантах с использованием 50%-МаКлоРа и Бактопина, сопровождавшемся обеднением β -каротином на 35-36%, что приводило к соответствующим подвижкам в соотношении восстановленных и окисленных форм желтых пигментов.

Отмеченные изменения в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов *V. angustifolium* под

действием применяемых агроприемов обусловили достоверное увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов на 5-7% в вариантах опыта с внесением микробных удобрений соотношения, по сравнению с контролем, что свидетельствовало об определенном усилении в нем роли зеленых пигментов. При использовании же минеральных удобрений достоверных различий с контролем по данному признаку выявлено не было.

В отличие от *V. angustifolium*, у сортов *V. corymbosum* была отмечена совершенно иная картина трансформации пигментного комплекса пластид ассимилирующих органов при внесении удобрений, относительно контроля. Так, у сорта Northcountry она носила прямо противоположный характер, поскольку в ней наблюдалось не ингибирование, а напротив, активизация биосинтеза и хлорофиллов, и каротиноидов при внесении 10%-ного МаКлоРа, а также $N_{16}P_{16}K_{16}$, более выраженная во втором случае, на что указывало увеличение их содержания, по сравнению с контролем, соответственно на 12-40% и 12-22% (см. табл. 2). В остальных же вариантах опыта с использованием микробных удобрений имело место не усиление, как у *V. angustifolium*, а напротив, ослабление накопления и зеленых, и желтых пластидных пигментов соответственно на 25-43% и 23-41%, наиболее значительное опять-таки при внесении 50%-ного МаКлора. Более того, если на фоне применения микробных удобрений у *V. angustifolium* в большей степени активизировался биосинтез зеленых пигментов, особенно хлорофилла *b*, нежели желтых, то у сорта Northcountry наблюдалась противоположная картина с более выраженным накоплением каротиноидов и хлорофилла *a*, что подтверждалось разной ориентацией расхождений с контролем соотношений количества соответствующих пигментов у данных таксонов голубики (см. табл. 2). При этом на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ также были выявлены подобные различия, но они имели иную ориентацию, по сравнению с выявленными при использовании микробных удобрений.

Что касается сорта Northblue, то, в отличие от предыдущих таксонов голубики, в его ассимилирующих органах была выявлена активизация биосинтеза и хлорофиллов, и каротиноидов на фоне всех без исключения применяемых агроприемов, что подтверждалось достоверным увеличением их содержания на 14-121% и 16-85%, по сравнению с контролем, наиболее значительным при внесении 10%-ного МаКлоРа и особенно $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 2). Весьма существенным пополнением пигментного фонда пластид (соответственно на 49 и 38%) был отмечен также вариант опыта с внесением 50% - МаКлоРа, тогда как менее значительными, причем довольно близкими изменениями в нем в пределах 14-20% и 16-20% характеризовались варианты с использованием АгроМика и Бактопина. При этом, как и у сорта Northcountry, применение 50%- МаКлора в большей степени, по сравнению с контролем, стимулировало биосинтез хлорофилла *a*, тогда как внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ – хлорофилла *b*. Но, в отличие от данного таксона голубики, в листовой ткани сорта Northblue в большинстве вариантов опыта с использованием микробных удобрений,

Таблица 2 Относительные различия в содержании фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах растений голубики в период активной вегетации (%), по сравнению с контролем (в среднем)

Сорт	Вариант опыта	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы + Каротиноиды	Совок. эффект
		a	b	a+b	a÷b	сумма	β-каротин	Ксантофиллы	β-карот. + Ксантофиллы		
<i>V. angustifolium</i>	2	-20,2	-14,1	-18,4	-8,3	-24,2	-21,4	-25,6	+5,9	+7,1	-123,9
	3	+13,1	+13,2	+13,1	-	+5,8	-36,2	+27,0	-51,0	+7,1	+36,0
	4	+4,3	+5,7	+4,7	-	-	+26,1	-11,8	+43,1	+4,8	+29,0
	5	+5,2	+12,6	+7,4	-4,2	-	-35,0	+19,9	-45,1	+7,1	+10,1
	6	-7,8	-11,4	-8,9	+4,2	-10,1	-21,8	-4,1	-19,6	-	-64,1
	2	+15,3	+5,5	+12,4	+8,0	+12,0	-	+16,9	-11,8	-	+62,1
Сорт North-country	3	-42,5	-44,4	-43,0	+4,0	-40,8	-77,5	-22,0	-70,6	-2,4	-270,2
	4	-24,2	-26,8	-24,9	+4,0	-23,2	-30,9	-19,2	-13,7	-2,4	-149,2
	5	-37,9	-44,5	-39,8	+12,0	-30,0	-36,3	-26,8	-11,8	-14,3	-215,3
	6	+36,8	+49,2	+40,4	-8,0	+21,8	+17,2	+24,5	-	+16,7	+189,9
	2	+74,6	+73,9	+74,4	-	+49,1	+31,1	+56,0	-16,2	+17,1	+359,1
	3	+50,7	+44,5	+48,8	+4,2	+37,7	+119,4	+7,4	+102,7	+7,3	+308,5
Сорт North-blue	4	+14,6	+13,6	+14,2	-	+19,5	+11,7	+22,3	-10,8	-4,9	+95,9
	5	+20,5	+18,0	+19,8	-	+16,1	+4,9	+20,2	-13,5	+2,4	+99,5
	6	+116,5	+130,5	+120,7	-8,3	+84,7	+112,6	+74,5	+21,6	+19,5	+639,5

Примечание – Прочерк (-) означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при P<0,05

особенно 10%-МаКлоРа, было выявлено более выраженное накопление зеленых пигментов (на 3-17%), нежели желтых. Заметим, что подобная картина у обоих сортов *V. corymbosum* наблюдалась только при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 2).

Вместе с тем темпы биосинтеза β -каротина в листовой ткани сорта Northblue на фоне большинства применяемых агроприемов уступали таковым ксантофиллов, по сравнению с контролем. При внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и особенно 50%-ного МаКлоРа они превосходили их соответственно на 22 и 103%, что подтверждалось соответствующими изменениями соотношения данных форм желтых пигментов. Подобная, хотя и менее выразительная картина, наблюдалась и у *V. angustifolium* в вариантах опыта с применением АгроМика и 10%-МаКлоРа. Аналогичные сдвиги в составе каротиноидного комплекса пластид, обусловленные еще более выраженной активизацией биосинтеза β -каротина при деградации ксантофиллов наблюдались и при исследовании влияния минеральных удобрений и ростовых стимуляторов Нанопланта, Гидрогумата и Экосила на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов голубики высокорослой и жимолости съедобной на выработанном торфянике низинного типа [9]. Это связано с тем, что каротины и их окисленные производные ксантофиллы являются структурными компонентами двух фотосистем (ФС) фотосинтеза – I и II. Они входят в состав и стабилизируют хлорофилл-белковые комплексы ФС, повышая их светособирающую способность, и играют важную роль в защите хлоропласта от фотоповреждений. Локализация каротиноидов в пигмент-белковых комплексах ФС очень консервативна: коровый комплекс (core-complex) содержит каротины, тогда как периферический светособирающий комплекс (light-harvesting complex) содержит ксантофиллы. Каротиноиды защищают хлоропласт от фотодеструкции, путем диссипации поглощенной энергии света и прямой дезактивации триплетного хлорофилла ($^3Chl^*$) или активных форм кислорода, образующихся в процессе фотосинтеза [10, 11]. Исходя из этих представлений, выявленные изменения в общем содержании каротиноидов в листьях *V. angustifolium* и сорта Northblue, равно как и увеличение содержания β -каротина на фоне снижения содержания ксантофиллов в обозначенных выше вариантах опыта могут отражать адаптивные изменения структуры пигмент-белковых комплексов фотосинтетических мембран в пользу реакционных центров ФС фотосинтеза, что, тем не менее, требует постановки специальных исследований.

Трансформация пигментного комплекса ассимилирующих органов сорта Northblue под действием испытываемых агроприемов носила более выраженный характер, по сравнению с сортом Northcountry и особенно *V. angustifolium*. Вместе с тем, несмотря на данные различия ответной реакции сортов *V. corymbosum*, нетрудно убедиться, что в обоих случаях наиболее существенные позитивные сдвиги в содержании фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани установлены на фоне внесения 10%-МаКлоРа, а также $N_{16}P_{16}K_{16}$. Поскольку активизация

биосинтеза данных пигментов под действием регулируемых факторов может косвенно свидетельствовать об увеличении продуктивности растений, что экспериментально подтверждено в работах [12, 13], то следовало ожидать проявления подобной согласованности позитивных эффектов и в наших исследованиях.

Нетрудно убедиться в наличии отчетливо выраженной видо- и сортоспецифичности в формировании пигментного фонда пластид ассимилирующих органов голубики на фоне внесения удобрений. На выраженную видо- и сортоспецифичность в характере ответной реакции вересковых на применение азотфиксирующего, фосфатмобилизующего и ростстимулирующего изолятов микроорганизмов при адаптации клонированного посадочного материала *ex vitro*, а также на существенную активизацию при этом биосинтеза в его листовой ткани хлорофиллов есть также указание в работе О.В.Чижик и др. [14]. Выявленные различия ответной реакции растений на применяемые агроприемы – видо- и сортоспецифичны. Так, если *V. angustifolium* является самостоятельным видом, то сорта Northcountry и Northblue – межвидовыми гибридами *V. corymbosum* x *V. angustifolium* с разной долей наследования признаков данных родителей.

Вместе с тем, несмотря на выявленные различия, наибольшее стимулирующее влияние на накопление хлорофиллов и каротиноидов в пигментном комплексе пластид *V. angustifolium* установлено на фоне внесения 50%-МаКлоРа и в меньшей степени Бактопина, тогда как в таком сортовой голубики – при использовании 10%-МаКлоРа и большей степени $N_{16}P_{16}K_{16}$.

Как видим, испытываемые агроприемы оказали неоднозначное влияние на основные характеристики фонда фотосинтезирующих пигментов у опытных таксонов голубики при разной степени воздействия на них вносимых удобрений. С целью выявления варианта опыта с максимальной и минимальной степенью данного воздействия, в каждом из них были определены суммарные показатели относительных размеров положительных и отрицательных отклонений от контроля общего содержания хлорофиллов и каротиноидов, а также основных форм этих пигментов, что позволило установить совокупный стимулирующий либо ингибирующий эффект от применения каждого агроприема. Как следует из таблицы 2, у растений *V. angustifolium* незначительное интегральное стимулирующее действие на формирование пигментного фонда ассимилирующих органов оказало только внесение микробных удобрений Бактопина, АгроМика и особенно 50%-МаКлоРа, тогда как использование его 10% концентрации, как и $N_{16}P_{16}K_{16}$, напротив, способствовало подавлению биосинтеза фотосинтезирующих пигментов. Наиболее эффективным в этом плане для сорта Northcountry оказалось как раз внесение 10%-МаКлоРа, но все же втрое более результативным в этом плане следовало признать внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$. Все остальные агроприемы, особенно применение 50%-МаКлоРа, способствовали обеднению пигментного фонда его ассимилирующих органов на 149-270%, по сравнению с контролем. Что касается сорта Northblue, то

для него было установлено максимальное в эксперименте стимулирующее действие на накопление в листовой ткани фотосинтезирующих пигментов всех без исключения применяемых агроприемов, особенно внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$, при расхождении степени их позитивного влияния в 6,7 раза. При этом в ряду микробных удобрений наиболее эффективным было использование обеих концентраций препарата МаКлоР, тогда наименее результативным в этом плане оказалось внесение АгроМика и Бактопина.

Заключение

В результате сравнительного исследования влияния полного минерального и отечественных микробных удобрений МаКлоР, АгроМик и Бактопин на состояние пигментного фонда хлоропластов ассимилирующих органов *V. angustifolium* и сортов *V. corymbosum* Northblue и Northcountry в опытной культуре на рекультивируемом участке бывшего торфяного месторождения на севере Беларуси установлена его существенная трансформация, имевшая наиболее выраженный характер у сорта Northblue. При этом у *V. angustifolium* незначительное стимулирующее действие на накопление пигментов оказывало только внесение Бактопина, АгроМика и особенно 50%-ного МаКлоРа.

Наиболее эффективным в плане активизации биосинтеза фотосинтезирующих пигментов для сорта Northcountry было внесение 10%-МаКлоРа, но при этом втрое более результативным следовало признать внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$. Все остальные агроприемы, особенно применение 50%-ного МаКлоРа, способствовали обеднению пигментного фонда его ассимилирующих органов на 149-270%, по сравнению с контролем. На основании эксперимента установлено максимальное стимулирующее действие на накопление в листовой ткани сорта Northblue фотосинтезирующих пигментов всех без исключения испытываемых агроприемов, особенно внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$, при расхождении степени их максимального и минимального позитивного влияния в 6,7 раза. При этом в ряду микробных удобрений наиболее эффективным было использование обеих концентраций препарата МаКлоР, тогда как наименее результативным - внесение АгроМика и Бактопина.

Установлено, что у обоих сортов *V. corymbosum* наиболее выраженные позитивные сдвиги в содержании фотосинтезирующих пигментов в листовой ткани наблюдаются на фоне внесения 10%-МаКлоРа и $N_{16}P_{16}K_{16}$, тогда как у *V. angustifolium* в данных вариантах опыта, напротив, наблюдалось ингибирование биосинтеза фотосинтезирующих пигментов.

Список литературы

- Петров Н. Ю., Бердников Н.В., Чернышов В.В. Влияние биостимуляторов на фотосинтетическую деятельность яровой пшеницы // Изв. Нижневолжск. Агроун. комплекса. 2008. № 4 (12). С. 26–31.
- Свиридов, С. С. Особенности воздействия физиологически активных веществ на растения сахарной свеклы в зависимости от фона минерального питания: автореф... дис. канд. с-х наук: Рамонь, 2009. 21 с.
- Деревинский А.В., Чопчиц А.Н., Пивоваров И.В. и др. Влияние стимуляторов роста на основе пленкообразующих составах на побегообразовательную способность одревесневших черенков и неукорененных отводков яблони // Изучение, охрана и использование биоразнообразия растений и животных: Сб. науч. статей преп. каф. ботаники и зоологии факульт. естествознания БГПУ. Минск: Право и экономика, 2009. С. 29-31.
- Liu, Z. A., J. P. Yang, Z. C. Yang. Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents // Journ. Soil Science and Plant Nutrition. 2012. Vol. 12, N 2. Pp. 339–348.
- Кахнович, Л.В. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям задания для самостоятельной работы и контроля знаний. Минск: БГУ, 2003. 88 с.
- Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина: ГОСТ 8756.22-80. Введ. 01.01.81. Дата последнего изменения 13.07.2017. М.: Изд-во стандартов, 2010. 6 с.
- Годнев, Т. Н. Хлорофилл, его строение и образование в растениях. Минск: Изд-во АН БССР, 1952. 320 с.
- Carotenoid biosynthesis in flowering plants / J Hirschberg // Curr. Opin. Plant Biol. 2001. 4(3). Pp.210–218.
- Рупасова Ж.А., Яковлев А.П., Савосько Н.Б. и др. Влияние удобрений на фонд фотосинтезирующих пигментов голубики высокорослой и жимолости съедобной на выработанном участке торфяного месторождения низинного типа в Беларуси // Бюл. Гл.ботан.сада. 2018. Вып.204, № 1 С. 52–60.
- Havaux, Michel Zeaxanthin Has Enhanced Antioxidant Capacity with Respect to All Other Xanthophylls in Arabidopsis Leaves and Functions Independent of Binding to PSII Antennae / Michel Havaux, *Luca Dall'Osto, Roberto Bassi. // Plant Physiol. 2007. Vol.145 (4). Pp.1506 –1520.
- Alboresi A, Dall'osto L, Aprile A, et al.Reactive oxygen species and transcript analysis upon excess light treatment in wild-type Arabidopsis thaliana vs a photosensitive mutant lacking zeaxanthin and lutein. // BMC Plant Biology. 2011.11:62 Влияние условий питания на содержание хлорофиллов, каротиноидов и общих белков некоторых лекарственных растений /О.А.Ильницкий [и др.] // Экологические основы онтогенеза природных и культурных сообществ Евразии; матер. XIV Междунар. науч. конф., г. Херсон, 22-23 июня 2002 г. / ХГУ. Херсон, 2002. С. 67–68.
- Alboresi A, Dall'osto L, Aprile A et al. Reactive oxygen species and transcript analysis upon excess light treatment in wild-type Arabidopsis thaliana vs a photosensitive mutant lacking zeaxanthin and lutein. // BMC Plant Biology. 2011.11:62
- Чижик, О.В., В.Н.Решетников, В.Л.Филипеня и др. Влияние микроорганизмов на адаптацию клонированного посадочного материала древесно-кустарниковых видов

рода *Vaccinium* // Физиология и биохимия культурных растений, 2013. Т. 45, № 3 С. 254 – 259.

References

1. Petrov, N. Yu. Vliyanie biostimulyatorov na fotosinteticheskuyu deyatelnost yarovoy pshenitsy [Influence of biostimulants on the photosynthetic activity of spring wheat] / N. Yu. Petrov, N.V. Berdnikov, V.V. Chernyshkov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa [Bul. Lower Volga Agricultural University]. 2008. №. 4 (12). Pp. 26–31.
2. Sviridov, S. S. Osobennosti vozdeystviya fiziologicheskii aktivnykh veshchestv na rasteniya sakharnoy svekly v zavisimosti ot fona mineralnogo pitaniya: avtoref. dis. kand. s-kh nauk [Features of the influence of physiologically active substances on sugar beet plants, depending on the background of mineral nutrition: abstract. dis. Cand. Agricultural Sciences]: 01/06/09 / S. S. Sviridov. Ramon, 2009. 21 p.
3. Derevinsky A.V., Chopchits A.N., Pivovarov I.V., et al. Vliyanie stimulyatorov rosta na osnove plenkoobrazuyushchikh sostavakh na pobegoobrazovatelnyuyu sposobnost odresnevshikh cherenkov i neukorenennykh otvodkov yabloni / Izuchenie, okhrana i ispolzovanie bioraznoobraziya rasteniy i zhivotnykh: sb. nauch. statey prep. kaf. botaniki i zoologii fakult. estestvoznaniya BGPU [The effect of growth stimulants based on film-forming compositions on the shoot-forming ability of lignified cuttings and unrooted apple tree cuttings / Study, protection and use of plant and animal biodiversity: Sat. scientific articles prep. cafe Faculty of Botany and Zoology. natural sciences BSPU] / ed. count E.I. Bychkova [et al.]; open ed. I.E. Buchenkov. Minsk: Pravo i ekonomika [Minsk: Law and Economics], 2009. Pp. 29-31.
4. Liu, Z. A., J. P. Yang, Z. C. Yang. Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents // Journ. Soil Science and Plant Nutrition. 2012. Vol. 12, № 2. Pp. 339–348.
5. Kahnovich, L. V. Fotosintez. Metodicheskie rekomendatsii k laboratornym zanyatiyam, zadaniya dlya samostoyatelnoy raboty i kontrolya znaniy studentov [Photosynthesis. Methodical recommendations for laboratory studies, tasks for independent work and control of students' knowledge] // BGU, biofak, kaf. fi zoologii i biokhimii rasteniy [Belarusian State University], Minsk, 2003. 88 p.
6. Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metod opredeleniya karotina: GOST 8756.22-80. [Fruit and vegetable products. Method for determination of carotene: GOST 8756.22-80] Vved. 01.01.81. [Introduced 01.01.81] - M.: Izdvo standartov [M.:Standartinform Publ.], 2010, 6 p.

7. Godnev, T. N. Khlороfi II, ego stroenie i obrazovanie v rastenii [Chlorophyll, its structure and formation in a plant]. Minsk: Izd-vo AN BSSR [Publishing House of the AS BSSR], 1952. 320 p.
8. Carotenoid biosynthesis in flowering plants / J Hirschberg // Curr Opin Plant Biol. 2001. 4 (3). Pp.210–218.
9. Rupasova J.A., A.P. Yakovlev, I.V. Savosko et all. Vliyanie udobreniy na fond fotosinteziruyushchikh pigmentov golubiki vysokorosloy i zhimolosti sedobnoy na vyrabotanom uchastke torfyanogo mestorozhdeniya nizinnogo tipa v Belarusi [The effect of fertilizers on the stock of photosynthetic pigments of tall blueberries and edible honeysuckle on a developed section of a low-level peat deposit in Belarus] // Byul. GBS [Bul. Main Botan. Garden]. 2018. Is. 204, №. 1 Pp. 52-60.
10. Havaux, Michel Zeaxanthin Has Enhanced Antioxidant Capacity with Respect to All Other Xanthophylls in Arabidopsis Leaves and Functions Independent of Binding to PSII Antennae / Michel Havaux, Luca Dall'Osto, Roberto Bassi. // Plant Physiol. 2007.145 (4). –Pp.1506 –1520.
11. Alboresi A, Dall'osto L, Aprile A, Carillo P, Roncaglia E, Cattivelli L, Bassi R. Reactive oxygen species and transcript analysis upon excess light treatment in wild-type Arabidopsis thaliana vs a photosensitive mutant lacking zeaxanthin and lutein. // BMC Plant Biology. 2011.11: 62
12. Vliyanie usloviy pitaniya na sodержanie khlороfillov, karotinoidov i obshchikh belkov nekotorykh lekarstvennykh rasteniy [The influence of nutritional conditions on the content of chlorophylls, carotenoids, and common proteins of some medicinal plants] // Ekologicheskie osnovy ontogeneza prirodnykh i kulturnykh soobshchestv Yevrazii; mater. XIV Mezhdunar. nauch. konf., g. Kherson, 22-23 iyunya 2002 g. / KhGU. – Kherson [Ecological basis of ontogenesis of natural and cultural communities of Eurasia; Mater. XIV Int. scientific Conf., Kherson, June 22-23, 2002 / KSU. Kherson], 2002. Pp. 67–68.
13. Derendovskaya, A.N., S.Zhosan Khlороfilnye pokazateli i ikh svyaz s produktivnostyu rasteniy ozimogo yachmenya [Chlorophilic indicators and their relationship with the productivity of winter barley plants] // Stiinta Agricola – Agrarnaya nauka [Stiinta Agricola – Agricultural science]. 2008. № 1. Pp. 3–7
14. Chizhik, O.V, V.N. Reshetnikov, V.L. Filipenya et all. Vliyanie mikroorganizmov na adaptatsiyu klonirovannogo posadochnogo materiala drevesno-kustarnikovykh vidov roda *Vaccinium* [The influence of microorganisms on the adaptation of cloned planting material of tree-shrub species of the genus *Vaccinium* // Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy [Physiology and biochemistry of cultivated plants], 2013. Vol. 45, №. 3. Pp. 254 - 259.

Информация об авторе

Ярову́к Андрей Андреевич, аспирант
E-mail: alrikdorey@mail.ru
Государственное научное учреждение Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск

Information about the author

Yaroshuk Andrey Andreevich, Postgraduate Student
E-mail: alrikdorey@mail.ru
Central Botanical Garden National Academy of Sciences of Belarus Republik, Minsk

М.М. Геворкян

канд. биол. наук, н. с.

E-mail: m_13@list.ru

А.В. Бабоша

д-р. биол. наук, зав. лабораторией

E-mail: phimmunitet@yandex.ru

Л.И. Глухова

н. с.

В.П. Упелниек

канд. биол. наук, директор, зав. отделом

E-mail: vla-upelniiek@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Главный ботанический сад
им. Н.В. Цицина РАН, Москва

Микроморфология поверхности и поперечных срезов листовой пластинки *Elytrigia intermedia* (Poaceae).

Пырей средний (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) широко используется в создании многолетней пшеницы методом отдаленной гибридизации с мягкой пшеницей. С использованием методов электронной сканирующей и конфокальной микроскопии составлено анатомическое описание листовой пластинки *Elytrigia intermedia*. Отмечены микроморфологические и анатомические особенности строения трихом, кремневых клеток, склеренхимы, пузыревидных клеток и проводящих пучков, которые могут быть использованы в системе маркеров для идентификации видовой или сортовой принадлежности образцов коллекции отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН (пос. Снегири, Московской обл.) и, возможно, предварительного прогноза устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам при анализе гибридов, полученных при межвидовых скрещиваниях.

Ключевые слова: пырей, микроморфология, отдаленная гибридизация, анатомия листа, сканирующая электронная микроскопия, конфокальная микроскопия.

M.M. Gevorkyan

E-mail: m_13@list.ru

Cand. Sci. Biol., Researcher

A.V. Babosha

E-mail: phimmunitet@yandex.ru

Dr. Sci. Biol., Head of Laboratory

L.I. Glukhova

Researcher

V.P. Upelniyek

Cand. Sci. Biol., Director, Head of Department

E-mail: vla-upelniiek@yandex.ru

N.V. Tsitsin Main Botanical Garden Russian
Academy of Sciences

Micromorphology of surface and cross sections of the leaf blade *Elytrigia intermedia* (Poaceae).

Elytrigia intermedia (Host) Nevski is widely used in the creation of perennial wheat by the method of remote hybridization with soft wheat. Using the methods of electron scanning and confocal microscopy, an anatomical description of the leaf blade of *Elytrigia intermedia* was compiled. Micromorphological and anatomical features of the structure of prickles, silica bodies, sclerenchyma, bulliform cells and vascular bundles are noted, which can be used in a marker system to identify the species or variety of samples from the collection of the Department of Remote Hybridization of GBS RAS (Snegiri, Moscow Region) and, possibly, a preliminary prediction of resistance to biotic and abiotic stresses in the analysis of hybrids, obtained by interspecific crosses.

Keywords: *Elytrigia intermedia*, micromorphology, distant hybridization, leaf anatomy, scanning electron microscopy, confocal microscopy.

DOI: 10.25791/BBGRAN.04.2019.1036

Пырей средний (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) широко используется в создании многолетней пшеницы методом отдаленной гибридизации с мягкой пшеницей. В естественных условиях он характеризуется экологической

пластичностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды и болезням. Под названием *Agropyron glaucum* (Desf.) Roem. et Schult. (пырей сизый) этот вид был использован в работах Н.В. Цицина для скрещивания с пшеницей