

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-188-200

Поступила в редакцию 18.10.2017

Received 18.10.2017

Ж. А. Рупасова¹, А. П. Яковлев¹, И. В. Савосько¹, Л. Ф. Кабашникова², И. И. Лиштван³

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

³Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПИГМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ГОЛУБИКИ, КУЛЬТИВИРУЕМЫХ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НИЗИННОГО ТИПА

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования влияния полного минерального удобрения и ростовых стимуляторов – Нанопланта, Гидрогумата и Экосила на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов дву- и четырехлетних растений (виргинильных и генеративных) двух модельных сортов *V. corymbosum* L. – *Bluecrop* и *Northland*. Выявлены существенные генотипические, возрастные и межвариантные различия в характере и степени ответной реакции растений на примененные агроприемы. Показано, что после внесения удобрений у генеративных растений голубики содержание в листовой ткани фотосинтезирующих пигментов превышало таковое у виргинильных на фоне неоднозначных тенденций в изменении темпов их накопления. Наряду с этим выявлены существенные сдвиги в составе каротиноидного комплекса пластид, обусловленные чрезвычайно выраженной активизацией биосинтеза β-каротина при деградации ксантофиллов, усиливающейся с увеличением возраста растений, особенно у сорта *Northland*.

У виргинильных растений интегральное стимулирующее действие удобрений на формирование пигментного фонда пластид проявилось только у сорта *Northland* при наибольшей эффективности внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и наименьшей после обработки Наноплантом, при различии степени их позитивного влияния в 20,9 раза. Эффективность применения Экосила и Гидрогумата уступала таковой $N_{16}P_{16}K_{16}$ в 1,4 и 2,2 раза соответственно. У сорта *Bluecrop* незначительное позитивное влияние на содержание в листьях пластидных пигментов установлено только на фоне $N_{16}P_{16}K_{16}$ при абсолютном доминировании ингибирующего воздействия на него остальных видов удобрений.

У растений, достигших половой зрелости, установлено существенное нивелирование сортовых различий в степени восприимчивости пигментного фонда пластид к использованию удобрений. В отличие от виргинильных растений, за счет более выраженной у генеративных растений активизации биосинтеза β-каротина совокупный эффект у обоих сортов голубики после внесения удобрений имел исключительно положительную направленность. Наиболее значительные позитивные изменения темпов накопления фотосинтезирующих пигментов у обоих сортов голубики обеспечивало внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ и Гидрогумата, тогда как наименьшие отмечены при обработке Наноплантом (у сорта *Bluecrop*) и Экосилом (у сорта *Northland*).

Ключевые слова: хлорофилл, β-каротин, ксантофиллы, удобрения, регуляторы роста, голубика

Для цитирования: Влияние удобрений и стимуляторов роста на содержание фотосинтезирующих пигментов в растениях голубики, культивируемых на выработанных торфяных месторождениях низинного типа / Ж. А. Рупасова [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. Біял. навук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 188–200. DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-188-200

Zh. A. Rupasova¹, A. P. Yakovlev¹, I. V. Savosko¹, L. F. Kabashnikova², I. I. Lishtvan³

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

²Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

³Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

EFFECT OF FERTILIZERS AND GROWTH STIMULATORS ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN BLUEBERRY PLANTS CULTIVATED ON DEVELOPED LOW-LYING PEAT DEPOSITS

Abstract. The results of a comparative study of the effect of complete mineral fertilizers and growth stimulators Nanoplant, Hydrohumate and Ecosil on the main characteristics of the pigment fond of the assimilating organs of two- and three-year (brepic and nobilous) plants of the two model varieties *V. corymbosum* L.– *Bluecrop* and *Northland* are presented. Significant genotypic, age and intervariant differences in the character and degree of response of plants to tested agrotechnologies have been revealed. It has been shown that the sexually mature blueberry plants were characterized by a higher content of photosynthetic pigments in the leaf tissue than the juvenile ones, against the background of differences in the rates of their

accumulation when fertilizers were using. Substantial shifts in the composition of the carotenoid complex were revealed on a high agrophone, due to the extremely activation of β -carotene, biosynthesis in the degradation of xanthophylls, which increased with age of plants.

In juvenile plants, the integral stimulating effect of fertilizers on the formation of the fond of plastid pigments was manifested only in the *Northland* variety with the highest efficiency of application of $N_{16}P_{16}K_{16}$ and the least of the treatments with Nanoplant and at a divergence of the degree of their positive influence in 20.9 times. The effectiveness of the application of Ecosil and Hydrohumate was inferior to that of $N_{16}P_{16}K_{16}$, respectively, by 1.4 and 2.2 times. *Bluecrop* has an insignificant positive effect on the content of plastid pigment in leaves only on the background of $N_{16}P_{16}K_{16}$ with an absolute dominance of the inhibitory effect on it of other types of fertilizers.

In plants that have reached puberty, a substantial leveling of varietal differences in the degree of sensitivity of the pigments in plastids to the use of fertilizers has been established. In contrast to juvenile plants, due to the more pronounced activation of β -carotene biosynthesis in them, the combined effect in both varieties of blueberry on the fertilized agro background was extremely positive. The most significant positive changes in the rate of accumulation of photosynthetic pigments in both varieties of blueberry were provided by the addition of $N_{16}P_{16}K_{16}$ and Hydrohumate, while the least significant ones were processed by Nanoplant (from *Bluecrop*) and EcoSil (from *Northland*).

Keywords: chlorophyll, β -carotene, xanthophylls, fertilization, growth regulators, blueberry

For citation: Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Savosko I. V., Kabashnikova L. F., Lishtvan I. I. Effect of fertilizers and growth stimulators on the content of photosynthetic pigments in blueberry plants cultivated on developed low-lying peat deposits. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2018, vol. 63, no. 2, pp. 188–200 (in Russian). DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-188-200

Введение. В связи с разработкой технологии фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений низинного типа на основе создания локальных агроценозов интродуцированных ягодных растений сем. Ericaceae, в том числе голубики высококорослой, особого внимания заслуживают вопросы оптимизации минерального питания данной культуры. В этой связи представлялось необходимым дать комплексную оценку эффективности не только традиционно применяемого при ее возделывании полного минерального удобрения, но и новейших высокоэффективных отечественных препаратов, успешно апробированных на ряде сельскохозяйственных культур [1–4]. Одним из таких препаратов является ростовой стимулятор Экосил, содержащий природный комплекс тритерпеновых кислот [5]. Экспериментально установлено его позитивное действие на продуктивность растений и качество продукции из них при повышении устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды. Весьма эффективным признан также натуральный рострегулирующий препарат Гидрогумат, действующим веществом которого являются гуматы – водорастворимые соли гуминовых кислот, определяющие его высокую эффективность в качестве стимулятора роста [6]. Его применение обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 15–50 % при значительном улучшении качества продукции и снижении ее себестоимости [4, 7]. Известно также, что гуматы положительно влияют на фотосинтетическую деятельность растений и активизируют включение минеральных макро- и микроэлементов в процессы биосинтеза действующих веществ разной химической природы, выполняя функции биологически активных соединений [8, 9].

Наряду с этими препаратами весьма актуальным, на наш взгляд, являлось испытание на растениях голубики еще одного высокоэффективного отечественного стимулятора роста – микроудобрения Наноплант-8, включающего 8 микроэлементов – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se. Данный препарат является совместной разработкой Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича и Института физико-органической химии НАН Беларуси. Экспериментально доказано его позитивное действие на урожайность и качественные показатели продукции зерновых, зернобобовых, овощных, плодовых и ягодных культур [2, 3]. Предварительные испытания данного препарата на сорте *Bluecrop V. corymbosum* на среднекультуренной дерново-подзолистой почве в Ганцевичском районе Брестской области также подтвердили его высокую эффективность в плане увеличения урожайности и биометрических характеристик плодов, а также повышения содержания в них ряда биологически активных соединений с высокой антиоксидантной активностью [10].

Важнейшим критерием ответной реакции культивируемых растений на применение удобрений является характер изменений в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов. В скри-

нинговых исследованиях ряда авторов показано стимулирующее действие физиологически активных веществ и минеральных удобрений на продукционные процессы и накопление хлорофилла в листьях овощных и зерновых культур, способствующее повышению интенсивности фотосинтеза [11–13]. В этой связи в 2016–2017 гг. на рекультивируемом участке торфяной залежи низинного типа в Березинском районе Минской области в период активной вегетации растений голубики были выполнены сравнительные исследования влияния минеральных удобрений и рострегулирующих препаратов на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов данной культуры.

Цель работы – изучение влияния удобрений и ростовых стимуляторов на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов дву- и четырехлетних растений двух модельных сортов *V. corymbosum* – *Bluecrop* и *Northland*.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследований были использованы дву- и четырехлетние растения двух среднеспелых модельных сортов *V. corymbosum* L. – *Bluecrop* и *Northland*.

Полевые опыты были заложены на участке среднекислого ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,5\text{--}5,7$), малоплодородного, полностью лишённого растительности остаточного слоя низинного торфа высокой степени разложения, представленного осоково-гипновой ассоциацией, содержащего по 16–28 мг/кг аммонийного и нитратного азота, 55–61 и 33–42 мг/кг P_2O_5 и K_2O соответственно. Схема полевого опыта включала 5 вариантов в 5-кратной повторности: **1** – контроль, без внесения удобрений; **2** – луночное внесение под опытные растения в мае и июне полного минерального удобрения $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$ кг/га д. в., или 5 г/раст.; **3** – некорневая обработка опытных растений препаратом Наноплант; **4** – луночное внесение под опытные растения препарата Гидрогумат методом полива; **5** – некорневая обработка опытных растений препаратом Экосил. Во всех вариантах было высажено по 5 растений каждого сорта голубики.

В качестве полного минерального удобрения использовали Растворин марки «Б». Обработку надземных органов растений Экосилом проводили дважды за вегетационный период. Первый раз ее осуществляли в утренние часы в конце первой декады июня, второй раз – в конце первой декады июля, на начальном этапе созревания плодов. Для приготовления рабочего раствора эмульсию Экосила (0,5 мл, или 15 капель) разводили в 3 л теплой воды (40–50 °С), после чего доводили до необходимого объема водой комнатной температуры и тщательно перемешивали. Расход рабочей жидкости при некорневой подкормке составлял 120 мл/раст. Луночное внесение Гидрогумата проводили в те же сроки, что и Экосила. Для приготовления рабочего раствора 40 мл эмульсии Гидрогумата растворяли в 10 л воды. Расход рабочей жидкости при поливе составлял 0,5 л/раст. В отличие от двух предыдущих препаратов, обработка опытных растений Наноплантом производилась, кроме обозначенных выше сроков, еще и в период их цветения – в середине июня, т. е. трижды за вегетационный период. Для приготовления рабочего раствора 30 капель препарата растворяли в 3 л воды. Расход рабочей жидкости при некорневой обработке составлял 120 мл/раст.

В свежих усредненных пробах листьев опытных растений содержание фотосинтезирующих пигментов (хлорофиллов *a* и *b*) исследовали повариантно по методу Т. Н. Годнева [14, 15], β -каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [16]. Все аналитические определения выполняли в трехкратной биологической повторности. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программы Excel.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований установлено, что у двулетних (виргинильных) растений голубики сорта *Bluecrop* ассимилирующие органы примерно в 1,5–2,0 раза богаче, чем у сорта *Northland*, и зелеными, и желтыми пластидными пигментами. Для сравнения: суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе листьев первого сорта варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне от 325,2 до 380,8 мг на 100 г, в том числе хлорофилла *a* – от 229,2 до 261,0 мг, хлорофилла *b* – от 92,2 до 119,8 мг, а аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в листьях второго сорта охватывали области более низких значений – соответственно 188,4–271,6; 136,7–178,1 и 48,8–96,5 мг/100 г сухой массы (табл. 1). Близкая этой картина на-

блюдалась і в каротиноідным комплексе асимилюючых органаў голубікі. Так, калі сумарнае змяшчэнне жоўтых пігментаў в сухом веществе лісьцяў сорта *Bluecrop* змянялось ад 110,8 да 118,2 мг на 100 г, в том числе β-каротина – ад 8,1 да 26,0 мг, ксантофіллов – ад 92,3 да 106,9 мг, то аналогічныя дыяпазоны вар’явання даных паказатэляў в лісьцях сорта *Northland* складалі адпаведна 72,1–92,0; 4,5–11,1 і 65,3–159,6 мг/100 г. При этом производные характеристики пигментного фонда пластид – соотношения количества хлорофиллов *a* и *b*, хлорофиллов и каротиноидов – вар’яравалісь в лісьцях сорта *Bluecrop* в более узких, чем у сорта *Northland*, дыяпазонах – адпаведна 2,18–2,53 і 2,83–3,31 протів 1,82–2,97 і 1,64–3,13 при противоположной закономерности для соотношения количества β-каротина и ксантофіллов – адпаведна 0,08–0,28 і 0,04–0,16.

Таблица 1. Содержание фотосинтезирующих пигментов (мг/100 г сухой массы) в ассимилирующих органах модельных сортов *V. corymbosum* разного возраста в вариантах полевого опыта

Table 1. The content of photosynthesizing pigments (mg 100 g⁻¹ of dry mass) in the leafage of uneven-aged model cultivars of *V. corymbosum* in field experiment variants

Вариант опыта	Двулетние растения									
	Сорт <i>Bluecrop</i>									
	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Хлорофилл <i>a + b</i>		<i>a/b</i>			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>		
Контроль	261,0 ± 16,8		119,8 ± 8,5		380,8 ± 25,3		2,18 ± 0,02			
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	259,6 ± 3,1	-0,1	118,4 ± 9,9	-0,1	378,0 ± 12,9	-0,1	2,22 ± 0,15		0,3	
Наноплант	233,3 ± 5,9	-1,6	92,2 ± 3,6	-3,0*	325,5 ± 8,5	-2,9*	2,53 ± 0,04		9,0*	
Гидрогумат	229,2 ± 3,4	-2,8*	96,0 ± 0,7	-2,8*	325,2 ± 5,8	-2,8*	2,39 ± 0,09		2,3	
Экосил	241,5 ± 1,4	-1,2	104,6 ± 4,1	-1,6	346,0 ± 2,8	-1,4	2,32 ± 0,10		1,3	
Вариант опыта	Каротиноиды								Хлорофиллы/каротиноиды	
	суммарное содержание		β-каротин		ксантофиллы		β-каротин/ксантофиллы			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
	Контроль	115,1 ± 8,5		17,5 ± 0,2		97,5 ± 8,5		0,18 ± 0,02		3,31 ± 0,05
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	118,2 ± 5,6	0,3	26,0 ± 0,5	14,2*	92,3 ± 2,1	-2,8*	0,28 ± 0,01	5,5*	3,20 ± 0,06	-1,5
Наноплант	110,8 ± 1,9	-0,5	15,9 ± 0,4	-3,8*	95,0 ± 1,5	-0,3	0,17 ± 0,01	-1,0	2,94 ± 0,04	-6,3*
Гидрогумат	114,9 ± 4,9	-0,1	18,6 ± 0,3	2,8*	96,4 ± 4,6	-0,1	0,19 ± 0,01	0,6	2,83 ± 0,07	-5,9*
Экосил	115,0 ± 3,1	0	8,1 ± 0,2	-33,1*	106,9 ± 1,3	3,0*	0,08 ± 0,01	-6,6*	3,01 ± 0,06	-4,0*
Вариант опыта	Сорт <i>Northland</i>									
	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Хлорофилл <i>a + b</i>		<i>a/b</i>			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>		
	Контроль	145,0 ± 1,6		48,8 ± 0,8		193,7 ± 2,4		2,97 ± 0,02		
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	175,1 ± 0,7	17,6*	96,5 ± 1,4	29,1*	271,6 ± 2,1	24,4*	1,82 ± 0,02		-42,4*	
Наноплант	136,7 ± 1,5	-3,8*	51,7 ± 1,6	1,6	188,4 ± 3,0	-1,4	2,65 ± 0,05		-5,8*	
Гидрогумат	164,7 ± 6,9	2,9*	71,9 ± 2,5	8,8*	236,6 ± 4,6	8,3*	2,30 ± 0,18		-3,7*	
Экосил	178,1 ± 2,0	12,8*	84,6 ± 1,0	26,8*	262,7 ± 3,1	17,6*	2,11 ± 0,01		-45,5*	
Вариант опыта	Каротиноиды								Хлорофиллы/каротиноиды	
	суммарное содержание		β-каротин		ксантофиллы		β-каротин/ксантофиллы			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
	Контроль	72,1 ± 2,6		4,5 ± 0,2		67,6 ± 2,7		0,07 ± 0,01		2,70 ± 0,13
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	165,7 ± 2,1	28,5*	6,1 ± 0,2	7,4*	159,6 ± 1,9	27,8*	0,04 ± 0,01	-5,7*	1,64 ± 0,03	-7,9*
Наноплант	77,6 ± 0,5	2,9*	9,8 ± 0,1	25,5*	67,8 ± 9,7	0	0,15 ± 0,02	3,4*	2,51 ± 0,35	-0,5
Гидрогумат	75,6 ± 0,9	1,3	10,3 ± 0,5	10,6*	65,3 ± 0,4	-0,8	0,16 ± 0,01	10,5*	3,13 ± 0,02	3,3*
Экосил	92,0 ± 0,4	7,7*	11,1 ± 0,3	18,6*	80,9 ± 0,1	4,9*	0,14 ± 0,01	11,3*	2,85 ± 0,02	1,2

Вариант опыта	Четырехлетние растения									
	Сорт <i>Bluecrop</i>									
	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Хлорофилл <i>a + b</i>		<i>a/b</i>			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
Контроль	366,5 ± 2,9		161,4 ± 4,7		527,9 ± 3,7		2,28 ± 0,08			
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	374,1 ± 2,4	2,0	139,9 ± 3,4	-3,7*	514,0 ± 1,4	-3,5*	2,68 ± 0,08		3,5*	
Наноплант	280,5 ± 1,1	-27,2*	115,5 ± 3,1	-8,1*	396,0 ± 4,2	-23,3*	2,43 ± 0,06		1,6	
Гидрогумат	387,5 ± 2,4	5,5*	148,9 ± 2,5	-2,8*	536,4 ± 3,4	1,7	2,60 ± 0,06		3,4*	
Экосил	334,6 ± 0,5	-10,7*	143,7 ± 3,6	-3,0*	478,3 ± 4,1	-9,0*	2,33 ± 0,05		0,6	
Вариант опыта	Каротиноиды									
	суммарное содержание		β-каротин		суммарное содержание		β-каротин		Хлорофиллы/каротиноиды	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
	Контроль	129,8 ± 4,1		8,4 ± 0,2		121,5 ± 3,9		0,07 ± 0,01		4,08 ± 0,15
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	144,7 ± 1,5	3,4*	45,5 ± 0,3	106,0*	99,3 ± 1,6	-5,3*	0,46 ± 0,01	47,2*	3,55 ± 0,04	-3,4*
Наноплант	110,2 ± 0,8	-4,7*	40,3 ± 0,2	121,9*	69,9 ± 0,9	-13,0*	0,58 ± 0,01	54,4*	3,59 ± 0,03	-3,1*
Гидрогумат	156,1 ± 1,4	6,1*	49,3 ± 0,1	178,6*	106,8 ± 1,3	-3,6*	0,46 ± 0,01	72,0*	3,44 ± 0,05	-4,0*
Экосил	145,2 ± 2,0	3,4*	27,3 ± 0,3	56,9*	118,0 ± 2,3	-0,8	0,23 ± 0,01	24,9*	3,30 ± 0,06	-4,8*
Вариант опыта	Сорт <i>Northland</i>									
	Хлорофилл <i>a</i>		Хлорофилл <i>b</i>		Хлорофиллы <i>a + b</i>		<i>a/b</i>			
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
	Контроль	377,8 ± 1,1		118,2 ± 1,1		495,9 ± 1,7		3,20 ± 0,03		
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	312,1 ± 0,5	-53,2*	181,3 ± 2,5	23,4*	493,4 ± 2,7	-0,8	1,72 ± 0,02		-40,2*	
Наноплант	259,9 ± 1,3	-66,6*	97,2 ± 2,6	-7,5*	357,1 ± 3,1	-39,5*	2,68 ± 0,07		-6,9*	
Гидрогумат	286,9 ± 1,2	-54,0*	124,3 ± 1,1	3,9*	411,3 ± 1,3	-39,2*	2,31 ± 0,03		-22,3*	
Экосил	254,2 ± 1,2	-74,8*	97,2 ± 1,6	-10,7*	351,4 ± 2,2	-51,5*	2,62 ± 0,04		-11,1*	
Вариант опыта	Каротиноиды									
	суммарное содержание		β-каротин		суммарное содержание		β-каротин		Хлорофиллы/каротиноиды	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
	Контроль	148,1 ± 1,1		4,2 ± 0,2		143,9 ± 1,1		0,03 ± 0,01		3,35 ± 0,04
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	152,1 ± 0,7	3,1*	19,6 ± 0,3	43,5*	132,5 ± 0,8	-8,5*	0,15 ± 0,01	38,1*	3,24 ± 0,01	-2,9*
Наноплант	98,5 ± 0,4	-42,0*	38,9 ± 0,2	118,2*	59,6 ± 0,6	-68,8*	0,65 ± 0,01	61,1*	3,63 ± 0,04	5,3*
Гидрогумат	127,9 ± 0,7	-15,4*	28,1 ± 0,3	73,5*	99,8 ± 0,8	-32,5*	0,28 ± 0,01	53,7*	3,22 ± 0,02	-3,2*
Экосил	109,5 ± 0,3	-33,1*	26,6 ± 0,2	90,8*	82,8 ± 0,5	-52,1*	0,32 ± 0,01	75,4*	3,21 ± 0,03	-3,0*

Примечание. * – статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

Сравнение исследуемых показателей в контроле и в вариантах опыта с внесением удобрений выявило существенные генотипические и межвариантные различия в характере и степени ответной реакции растений голубики на используемые агроприемы. Как следует из табл. 2, у сорта *Bluecrop* она была менее выраженной, чем у сорта *Northland*. Так, в первом случае ни внесение полного минерального удобрения, ни обработка растений препаратом Экосил не оказали достоверного влияния на общее содержание в листьях и зеленых, и желтых пластидных пигментов. Использование же препаратов Наноплант и Гидрогумат хотя и не повлияло на накопление каротиноидов, но в то же время обусловило сходное по величине снижение (на 14–15 % по сравнению с контролем) содержания хлорофиллов. При этом на фоне обработок растений Наноплантом данный эффект был обусловлен исключительно ингибированием биосинтеза хлорофилла *b*, тогда как при внесении Гидрогумата наблюдалось обеднение листьев данного сорта уже обоими типами зеленых пигментов.

Таблица 2. Относительные различия с контролем в содержании фотосинтезирующих пигментов в ассимилирующих органах модельных сортов *V. corymbosum* разного возраста в вариантах полевого опыта, %

Table 2. Relative differences with the control of the the content of photosynthesizing pigments in the leafage of uneven-aged model cultivars of *V. corymbosum* in field experiment variants, %

Сорт	Вариант опыта	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы/каротиноиды	Совокупный эффект	Соотношение позитивного и негативного влияния
		a	b	a + b	a/b	суммарное содержание	β-каротин	ксантофиллы	β-каротин/ксантофиллы			
Двулетние растения												
<i>Bluecrop</i>	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	–	–	–	–	–	+48,6	–5,3	+55,6	–	+43,3	9,2
	Наноплант	–	–23,0	–14,5	+16,1	–	–9,1	–	–	–11,2	–46,6	0
	Гидрогумат	–12,2	–19,9	–14,6	–	–	+6,3	–	–	–14,5	–40,4	0,1
	Экосил	–	–	–	–	–	–53,7	+9,6	–55,6	–9,1	–44,1	0,2
<i>Northland</i>	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	+20,8	+97,7	+40,2	–38,7	+129,8	+35,6	+136,1	–42,9	–39,3	+460,2	460,2
	Наноплант	–5,7	–	–	–10,8	+7,6	+117,8	–	+114,3	–	+119,7	22,0
	Гидрогумат	+13,6	+47,3	+22,1	–22,6	–	+128,9	–	+128,6	+15,9	+211,9	211,9
	Экосил	+22,8	+73,4	+35,6	–29,0	+27,6	+146,7	+19,7	+100,0	–	+325,8	325,8
Четырехлетние растения												
<i>Bluecrop</i>	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	–	–13,3	–2,6	+17,5	+11,5	+441,7	–18,3	+557,1	–13,0	+419,0	13,3
	Наноплант	–23,5	–28,4	–25,0	–	–15,1	+379,8	–42,5	+728,6	–12,0	+245,3	2,8
	Гидрогумат	+5,7	–7,7	–	+14,0	+20,3	+486,9	–12,1	+557,1	–15,7	+493,1	25,9
	Экосил	–8,7	–11,0	–9,4	–	+11,9	+225,0	–	+228,6	–19,1	+207,8	8,1
<i>Northland</i>	N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆	–17,4	+53,4	–	–46,3	+2,7	+366,7	–7,9	+400,0	–3,3	+397,5	16,7
	Наноплант	–31,2	–17,8	–28,0	–16,3	–33,5	+826,2	–58,6	+2066,7	+8,4	+657,1	4,9
	Гидрогумат	–24,1	+5,2	–17,1	–27,8	–13,6	+569,0	–30,6	+833,3	–3,9	+488,8	6,7
	Экосил	–32,7	–17,8	–29,1	–18,1	–26,1	+533,3	–42,5	+966,7	–4,2	+385,1	3,6

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

Отметим, что ни в одном варианте полевого опыта с внесением удобрений и стимуляторов роста у сорта *Bluecrop* не выявлено достоверных изменений в суммарном содержании желтых пигментов по сравнению с контролем. Вместе с тем в составе самого каротиноидного комплекса отмечены статистически выраженные сдвиги, заключавшиеся в активизации накопления β-каротина почти на 50 % при обеднении их ксантофиллами на 5 % на фоне внесения полного минерального удобрения, а также незначительное обогащение (на 6–7 %) β-каротином при внесении Гидрогумата. Некорневые обработки растений Наноплантом и Экосилом оказали противоположное действие на содержание в листьях β-каротина, проявившееся в его снижении относительно контроля на 9 и 54 % соответственно, что сопровождалось во втором случае усилением накопления ксантофиллов почти на 10 %. Показанные выше изменения в пигментном комплексе пластид под действием используемых агроприемов обусловили достоверное снижение в большинстве вариантов опыта соотношения содержания хлорофиллов и каротиноидов на 9–15 %, что свидетельствовало об определенном ослаблении роли зеленых пигментов.

В отличие от сорта *Bluecrop*, для сорта *Northland* во всех вариантах опыта с применением удобрений и стимуляторов роста, за исключением варианта с использованием Нанопланта, наблюдалась выраженная активизация в ассимилирующих органах биосинтеза обоих типов хлорофилла, особенно хлорофилла *b*, что подтверждалось достоверным увеличением его содержания по сравнению с контролем на 47–98 % при увеличении содержания хлорофилла *a* лишь на 14–23 % (табл. 2). При этом относительное увеличение суммарного содержания зеленых пигментов в обозначенных вариантах опыта составляло 22–40 %. Наиболее отчетливо это проявилось на фоне обработок Экосилом и в большей степени при внесении полного минерального удобрения. Вместе с тем обработка растений Наноплантом практически не повлияла на содержание в листьях зеленых пигментов, поскольку незначительное снижение в них (не более чем на 5–6 % относительно

контроля) количества хлорофилла *a* не вызвало заметных изменений в общем содержании последних. В результате более выраженной активизации накопления в листьях хлорофилла *b*, нежели хлорофилла *a*, имело место достоверное снижение соотношения их количества на 11–39 % по сравнению с контролем.

Известно, что активность фотосинтетического аппарата растений тесно связана с содержанием азота и что количество хлорофилла является надежным критерием доступности почвенного азота для растений. Так, изучение влияния азотных удобрений на фотосинтетический аппарат озимой пшеницы показало заметное повышение общего содержания пластидных пигментов с увеличением возраста растений, особенно при их внесении в высоких дозах [17]. При этом увеличение содержания пигментов в процессе роста растений пшеницы прямо коррелировало с усилением биосинтеза дисахаридов (сахарозы и мальтозы). Аналогичные результаты получены также на растениях риса, бобов, фруктовых деревьев и камелии китайской [18].

Однако исследование Li Xiaoyan с соавт. [19] влияния 4-кратного внесения возрастающих доз азотных (14, 28, 42, 56 г/раст.), фосфорных (7, 14, 21, 28 г/раст.) и калийных (7, 14, 21, 28 г/раст.) удобрений на растения голубики сорта *Bluecrop* не выявило заметного позитивного влияния ни на массу плодов, ни на содержание в листьях хлорофиллов и скорость нетто-фотосинтеза. При этом следует отметить, что исследования влияния удобрений на фотосинтетический аппарат растений голубики крайне малочисленны. 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 хлорофиллов в его листовой ткани указано в работе О. В. Чижик с соавт. [20].

В наших исследованиях в обоих вариантах опыта, где отмечалось наибольшее позитивное влияние на накопление в листьях зеленых пластидных пигментов ($N_{16}P_{16}K_{16}$, Экосил), также имела место существенная активизация биосинтеза желтых пигментов, на что указывало увеличение их общего содержания соответственно на 130 и 28 % по сравнению с контролем. При этом более интенсивное накопление каротиноидов, нежели хлорофиллов, на фоне применения $N_{16}P_{16}K_{16}$ обусловило снижение соотношения количеств данных пигментов почти на 40 % по сравнению с агрофоном без внесения удобрений, тогда как активизация биосинтеза зеленых пигментов при отсутствии изменений в содержании желтых пигментов на фоне внесения Гидрогумата привела к увеличению данного соотношения на 16 %. В отличие от сорта *Bluecrop*, у сорта *Northland* отмечались более значительные изменения в составе каротиноидного комплекса ассимилирующих органов, заключавшиеся в увеличении содержания β -каротина во всех вариантах опыта на 36–147 % по сравнению с контролем при одновременной активизации накопления в них ксантофиллов на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и некорневых обработок Экосилом – на 136 и 20 % соответственно. При этом различия темпов биосинтеза восстановленной и окисленной форм каротиноидов обусловили в большинстве вариантов опыта увеличение соотношения их количеств на 100–129 % относительно контроля, и лишь при внесении полного минерального удобрения, напротив, отмечалось его снижение на 43 % (табл. 2).

Таким образом, установлена выраженная видо- и сортоспецифичность в формировании пигментного фонда пластид ассимилирующих органов голубики на фоне внесения удобрений. На наш взгляд, выявленные сортовые различия в характере ответной реакции двулетних растений на используемые нами агроприемы обусловлены особенностями их генотипа, поскольку сорт *Bluecrop* является представителем вида *V. corymbosum*, тогда как сорт *Northland* – межвидовой гибрид *V. corymbosum* \times *V. angustifolium*. В наших предыдущих исследованиях на торфяной выработке верхового типа в Припятском Полесье с применением рострегулирующих препаратов Элегу-м-комплекс, КомплеМет, Сок Земли и Альбит в опытной культуре с *V. angustifolium*, межвидовым гибридом *Northcountry* и сортом *Elizabeth V. corymbosum* также была установлена выраженная сорто- и видоспецифичность в направленности и степени влияния препаратов на формирование текущего прироста вегетативных органов растений [21].

Несмотря на указанные выше сортовые различия в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов, наиболее щадящее действие на его формирование у сорта *Bluecrop* и наибольшее

стимулирующее влияние на накопление хлорофиллов и каротиноидов у сорта *Northland* установлено при некорневых обработках Экосилом и особенно при внесении полного минерального удобрения.

Логично предположить, что ответная реакция голубики на испытываемые агроприемы в плане формирования пигментного фонда пластид у виргинильных и генеративных растений может различаться. Как следует из табл. 1, вступившие в генеративный период развития четырехлетние растения характеризовались более высоким, чем двулетние, общим содержанием зеленых пластидных пигментов в ассимилирующих органах, варьировавшимся в их сухой массе в рамках эксперимента у сорта *Bluecrop* в диапазоне от 396,0 до 536,4 мг на 100 г, в том числе хлорофилла *a* – от 280,5 до 387,5 мг, хлорофилла *b* – от 115,5 до 161,4 мг. Аналогичные диапазоны варьирования у сорта *Northland*, как и у двулетних растений, охватывали области более низких значений – соответственно 351,4–495,9; 254,2–377,8 и 97,2–181,3 мг/100 г. Заметим, что у четырехлетних растений голубики суммарное содержание в листьях желтых пигментов, как и зеленых, было выше, чем у двулетних растений, и составляло в сухом веществе у сорта *Bluecrop* 110,2–156,1 мг на 100 г, в том числе β -каротина – 8,4–49,3 мг, ксантофиллов – 69,9–121,5 мг. У сорта *Northland* содержание в листьях данных соединений несколько уступало таковому у сорта *Bluecrop* при диапазонах варьирования в рамках эксперимента соответственно 98,5–152,1; 4,2–38,9 и 59,6–143,9 мг/100 г сухой массы.

Вместе с тем, как и у виргинильных растений голубики, у генеративных растений в ответ на применяемые агроприемы отчетливо прослеживались сортовые различия при более выраженном характере выявленных эффектов у сорта *Northland* (табл. 2). У обоих сортов голубики применение удобрений и ростовых стимуляторов в большинстве случаев способствовало подавлению биосинтеза зеленых пигментов, на что указывало достоверное снижение по сравнению с контролем их суммарного содержания в листьях (у сорта *Bluecrop* – на 3–25 %, у сорта *Northland* – на 17–29 %) при наименьших различиях и даже их отсутствии на фоне внесения полного минерального удобрения, а у первого сорта также при использовании Гидрогумата. Обработка растений Наноплантом и Экосилом способствовала пропорциональному обеднению листьев сорта *Bluecrop* обоими типами хлорофиллов, что подтверждалось сопоставимостью с контролем соотношения их количеств. В вариантах же с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$ и Гидрогумата имело место ингибирование биосинтеза только хлорофилла *b* на 13 и 8 % при отсутствии изменений в содержании хлорофилла *a* в первом случае и его достоверном увеличении на 6 % во втором, что обусловило сдвиги в соотношении количеств данных пигментов в сторону увеличения на 18 и 14 % соответственно по сравнению с контролем.

Что касается сорта *Northland*, то на фоне применения Нанопланта и Экосила идентичное по величине (на 28–29 %) снижение в его листьях общего количества зеленых пигментов относительно контроля в большей степени было связано с подавлением биосинтеза хлорофилла *a*, нежели хлорофилла *b*. При этом в вариантах опыта с внесением Гидрогумата и особенно $N_{16}P_{16}K_{16}$ обеднение листовой ткани хлорофиллом *a* сопровождалось ее заметным обогащением хлорофиллом *b* (табл. 2). Разумеется, выявленные межвариантные различия в формировании фонда зеленых пигментов отразились на размерах снижения по сравнению с контролем соотношений в нем хлорофиллов *a* и *b*.

Следует отметить, что только у сорта *Northland* ингибирующее влияние большинства агроприемов на биосинтез хлорофиллов в листьях модельных сортов голубики сочеталось с ослаблением накопления в них каротиноидов на 14–34 % по сравнению с контролем. При этом лишь в варианте опыта с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$, в котором не установлено изменений в общем количестве зеленых пигментов, имело место крайне незначительное (в пределах 2–3 %), но все же достоверное увеличение в них общего содержания желтых пигментов. В отличие от данного сорта, для сорта *Bluecrop* в большинстве вариантов опыта с применением удобрений и стимуляторов роста наблюдалась противоположная картина, указывающая не на ослабление, а, напротив, на усиление накопления последних на 12–20 % по сравнению с контролем, и только при обработке Наноплантом отмечено снижение их содержания на 15 % (табл. 2). Различия темпов биосинтеза зеленых и желтых пластидных пигментов в листовой ткани модельных сортов голубики на фоне

испытываемых агроприемов нашли отражение в более выраженном снижении относительно контроля соотношения их количеств у сорта *Bluecrop* по сравнению с сортом *Northland*.

Известно, что у разных таксонов 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, называемые ксантофиллами. Последние представлены β,ϵ -ксантофиллами – лютеином (наиболее распространенным каротиноидом) и β,β -ксантофиллами – виолаксантином, неоксантином, антраксантином и зеаксантином, биосинтез которых строго контролируется в процессе адаптации растений к стрессовым условиям [22].

В наших исследованиях, несмотря на обозначенные выше сортовые различия в изменении общего содержания желтых пигментов в листьях голубики под действием испытываемых агроприемов, у обоих модельных сортов установлено выраженное сходство в трансформации каротиноидного комплекса пластид в вариантах опыта с применением удобрений. Оно заключалось в значительном увеличении по сравнению с контролем содержания в листовой ткани β -каротина (на 225–487 % у сорта *Bluecrop* и на 367–826 % у сорта *Northland*) на фоне ее обеднения ксантофиллами – соответственно на 12–43 и 8–59 %. Заметим, что активизация биосинтеза в ней восстановленной формы желтых пигментов при использовании удобрений и стимуляторов роста носила здесь более выраженный характер, чем у двулетних растений, но, как и у них, наиболее отчетливо она проявилась у сорта *Northland*. При этом усиление накопления β -каротина при ослаблении биосинтеза ксантофиллов обусловило чрезвычайно выраженное увеличение сдвигов в соотношении данных форм желтых пигментов, особенно на фоне обработки растений Наноплантом (табл. 2).

Для понимания установленных закономерностей в изменении состава каротиноидного комплекса пластид листьев голубики следует учитывать, 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 хлоропластов 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 ($^3\text{Chl}^*$) или активных форм кислорода, образующихся в процессе фотосинтеза [23, 24]. Исходя из этих представлений, выявленные изменения в общем содержании каротиноидов в листьях голубики, равно как и увеличение количества β -каротина на фоне снижения содержания ксантофиллов при применении удобрений и стимуляторов роста, на наш взгляд, могут свидетельствовать об адаптивных изменениях в структуре пигмент-белковых комплексов фотосинтетических мембран в пользу реакционных центров ФС фотосинтеза, что, тем не менее, требует проведения специальных исследований.

Таким образом, испытываемые агроприемы оказали неоднозначное влияние на основные характеристики фонда фотосинтезирующих пигментов у виргинильных и генеративных растений голубики при разной степени их воздействия на исследуемые показатели. С целью выявления варианта опыта с максимальной и минимальной степенью данного воздействия в каждом из них были определены суммарные значения относительных размеров положительных и отрицательных отклонений общего содержания хлорофиллов и каротиноидов от контроля, а также основных типов этих пигментов, что позволило установить совокупный стимулирующий либо ингибирующий эффект от применения удобрений. Соотношение же относительных величин данных эффектов позволило выявить агроприем с наиболее выраженным позитивным влиянием на пигментный фонд модельных сортов голубики.

Как следует из табл. 2, у двулетних растений интегральное стимулирующее действие удобрений и ростовых стимуляторов на формирование пигментного фонда ассимилирующих органов проявилось только у сорта *Northland*. Наиболее эффективным следует признать внесение $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$, наименее эффективным – некорневые обработки Наноплантом. При этом степень позитивного влияния данных агроприемов на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях

этого сорта различалась в 20,9 раза. Эффективность применения Экосила и Гидрогумата была ниже, чем в варианте с $N_{16}P_{16}K_{16}$, в 1,4 и 2,2 раза соответственно. Что касается сорта *Bluecrop*, то незначительное позитивное влияние на содержание в листьях пластидных пигментов оказало только внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ при абсолютном доминировании ингибирующего воздействия на него остальных испытываемых агроприемов.

У плодоносящих растений четырехлетнего возраста наблюдалась иная картина, свидетельствующая о заметном нивелировании сортовых различий в степени восприимчивости пигментного фонда пластид к удобрениям и ростовым стимуляторам. Следует отметить, что, в отличие от двулетних растений, за счет более выраженной активизации биосинтеза в листьях β -каротина под действием последних, совокупный эффект во всех вариантах опыта у обоих сортов голубики имел исключительно положительную направленность. При этом наибольшие позитивные изменения в содержании фотосинтезирующих пигментов установлены у сорта *Bluecrop* при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и особенно Гидрогумата, эффект от которого был почти вдвое выше, тогда как наименьшие – при некорневых обработках Наноплантом, уступавшем по эффективности наиболее успешным вариантам опыта в 4,8 и 9,3 раза соответственно. У сорта *Northland*, как и у сорта *Bluecrop*, наиболее выраженное позитивное влияние на пигментный фонд ассимилирующих органов установлено также на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и Гидрогумата, однако полученный эффект во втором случае оказался, напротив, в 2,5 раза ниже, чем в первом. При этом наименее результативным следовало признать применение Экосила, эффективность которого уступала таковой в наиболее успешных вариантах опыта соответственно в 4,6 и 1,9 раза.

Заключение. Сравнительное исследование влияния удобрений и ростовых стимуляторов на основные характеристики пигментного фонда ассимилирующих органов дву- и четырехлетних (виргинильных и генеративных) растений двух модельных сортов *V. corymbosum* – *Bluecrop* и *Northland* выявило существенные генотипические, возрастные и межвариантные различия в характере и степени ответной реакции растений на испытываемые агроприемы. Показано, что генеративные растения голубики характеризуются более высоким содержанием в листовой ткани фотосинтезирующих пигментов, нежели виргинильные, на фоне неоднозначных тенденций в изменении темпов их накопления под действием агроприемов, использование которых привело к существенным сдвигам в составе каротиноидного комплекса пластид, обусловленным чрезвычайно выраженной активизацией биосинтеза β -каротина при деградации ксантофиллов, усиливающейся с увеличением возраста растений, особенно у сорта *Northland*, что косвенно свидетельствует об адаптивных изменениях структуры пигмент-белковых комплексов фотосинтетических мембран в пользу реакционных центров ФС фотосинтеза.

У виргинильных растений интегральное стимулирующее действие удобрений и стимуляторов роста на формирование пигментного фонда пластид проявилось только у сорта *Northland* при наибольшей эффективности внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и наименьшей – при обработке Наноплантом, при различиях степени позитивного влияния в 20,9 раза. Эффективность применения Экосила и Гидрогумата уступала таковой $N_{16}P_{16}K_{16}$ в 1,4 и 2,2 раза соответственно. У сорта *Bluecrop* незначительное позитивное влияние на содержание в листьях пластидных пигментов установлено только на фоне $N_{16}P_{16}K_{16}$ при абсолютном доминировании ингибирующего воздействия на него остальных агроприемов. У растений, достигших половой зрелости, установлено существенное нивелирование сортовых различий в степени восприимчивости пигментного фонда пластид к использованию удобрений. В отличие от виргинильных растений, за счет более выраженной у них активизации биосинтеза β -каротина, совокупный эффект у обоих сортов голубики на удобренном агрофоне имел исключительно положительную направленность. Наиболее значительные позитивные изменения темпов накопления фотосинтезирующих пигментов у обоих сортов обеспечивало внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ и Гидрогумата, тогда как наименьшие отмечены после обработки Наноплантом (у сорта *Bluecrop*) и Экосилом (у сорта *Northland*).

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б17-045).

Acknowledgements. The work was supported by the Belarusian Republican Foundation for Basic Research (grant B17-045).

Список использованных источников

1. Влияние биологически активных препаратов на урожайность и биохимический состав овощей / В. Ф. Степуро [и др.] // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. Акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск, 2010. – Вып. 18. – С. 187–191.
2. Азизбекян, С. Г. Наноплант – новое отечественное микроудобрение / С. Г. Азизбекян, В. И. Домаш // Наше сел. хоз-во. Агрономия. – 2015. – № 7. – С. 68–72.
3. Наноплант – белорусский «эликсир урожайности» / С. Азизбекян [и др.] // Белорус. сел. хоз-во. – 2015. – № 3. – С. 58–59.
4. Экологобезопасные биологически активные препараты для сельского хозяйства, разработанные на основе торфа и отходов растительного сырья / Г. В. Наумова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 4. – С. 52–56.
5. Экосил [Электронный ресурс] / Торгово-производств. част. унитар. предприятие «БелУниверсалПродукт». – Режим доступа : <https://ecosil.by>. – Дата доступа : 25.09.2017.
6. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 328 с.
7. Шабанов, А. А. Биоорганические препараты Гидрогумат и Экосил – полезные компоненты в органическом земледелии [Электронный ресурс] / А. А. Шабанов, Ч. А. Романовский // Экосил / Торгово-производств. част. унитар. предприятие «БелУниверсалПродукт». – Режим доступа : <https://ecosil.by/a27989-ekologicheskoe-zemledelie-gostoregulyatory.html>. – Дата доступа : 02.10.2015.
8. Думбров, С. И. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы в условиях каштановых почв Волгоградской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / С. И. Думбров ; Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2008. – 23 с.
9. Фурманов, М. С. Отчет об эффективности применения комплексного удобрения «ФлорГумат» на полях Изобильненского филиала ФГУ «ГОССОРТКОМИССИЯ» Изобильненского района Ставропольского края / М. С. Фурманов. – Изобильный : [б. и.], 2004. – 4 с.
10. Эффективность применения микроудобрений «Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se» и «Наноплант-Аг» на голубике высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) / О. В. Дрозд [и др.] // Опыт и перспективы возделывания ягодных растений семейства Брусничные на территории Беларуси и сопредельных стран : материалы Междунар. науч.-практ. семинара, Минск, 18–19 июля 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад ; редкол. : В. В. Титок, Л. В. Гончарова, Н. Б. Павловский. – Минск, 2017. – С. 50–57.
11. Петров, Н. Ю. Влияние биостимуляторов на фотосинтетическую деятельность яровой пшеницы / Н. Ю. Петров, Н. В. Бердников, В. В. Чернышков // Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса: наука и высш. проф. образование. – 2008. – № 4 (12). – С. 26–31.
12. Свиридов, С. С. Особенности воздействия физиологически активных веществ на растения сахарной свеклы в зависимости от фона минерального питания: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / С. С. Свиридов ; Всерос. науч.-исслед. ин-т сахар. свеклы и сахара. – Рамонь, 2009. – 21 с.
13. Влияние стимуляторов роста на основе пленкообразующих составов на побегообразовательную способность одревесневших черенков и неукорененных отводков яблони / А. В. Деревинский [и др.] // Изучение, охрана и использование биоразнообразия растений и животных: сб. науч. ст. преподавателей каф. ботаники и зоологии ф-та естественных наук Белорус. гос. ун-та им. М. Танка, посвящ. памяти д-ра биол. наук, проф. Бавтуго Г. А. / Белорус. гос. пед. ун-т ; ред. : Е. И. Бычкова, И. Э. Бученков, А. В. Хандогий. – Минск, 2009. – С. 29–31.
14. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растении / Т. Н. Годнев. – Минск : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.
15. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2003. – 88 с.
16. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина = Fruit and vegetable products. Methods for determination of carotene : ГОСТ 8756.22–80 (СТ СЭВ 6519–88) : введ. впервые : введ. с 01.01.81 до 01.01.96 (переизд. (сент. 1992 г.) с Изм. № 1, 2, утв. в июле 1985 г., нояб. 1989 г. (ИУС 10–85, 2–90)). – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
17. The effect of differential nitrogen fertilization on photosynthetic pigment and carbohydrate contents in the two winter wheat varieties / T. Tranavičienė [et al.] // Agronomy Research. – 2008. – Vol. 6, N 2. – P. 555–561.
18. Liu, Z. A. Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents / Z. A. Liu, J. P. Yang, Z. C. Yang // J. of Soil Science and Plant Nutrition. – 2012. – Vol. 12, N 2. – P. 339–348.
19. Li, X. Physiological effects of nitrogen, phosphorus and potassium on blueberry «Bluecrop» / X. Li, J. Wei, Y. Li // Acta Horticulturae. – 2012. – Vol. 926. – P. 347–351.
20. Чижик, О. В. Влияние микроорганизмов на адаптацию клонированного посадочного материала древесно-кустарниковых видов рода *Vaccinium* / О. В. Чижик [и др.] // Физиология и биохимия культур. растений. – 2013. – Т. 45, № 3. – С. 254–259.
21. Возделывание голубики на торфяных выработках Припятского Полесья (физиолого-биохимические аспекты развития) / Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2016. – 242 с.
22. Hirschberg, J. Carotenoid biosynthesis in flowering plants / J. Hirschberg // Current Opinion in Plant Biology. – 2001. – Vol. 4, N 3. – P. 210–218.
23. Navaux, M. Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in arabidopsis leaves and functions independent of binding to PSII antennae / M. Navaux, L. Dall'Osto, R. Bassi // Plant Physiology. – 2007. – Vol. 145, N 4. – P. 1506–1520.
24. Reactive oxygen species and transcript analysis upon excess light treatment in wild-type *Arabidopsis thaliana* vs a photosensitive mutant lacking zeaxanthin and lutein / A. Alboresi [et al.] // BMC Plant Biology. – 2011. – Vol. 11, N 1. – P. 62.

References

- Stepuro M. F., Tomson A. E., Naumova G. V., Makarova N. L., Zhmakova N. A., Ovchinnikova T. F. Impact of biostimulant on productivity and biochemical composition of vegetables. *Ovoshchevodstvo: sbornik nauchnykh trudov* [Vegetable growing: a collection of scientific papers], 2010, vol. 18, pp. 187–191 (in Russian).
- Azizbekyan S. G., Domash V. I. Nanoplant – a new native microfertilizer. *Nashe sel'skoe khozyaistvo. Agronomiya* [Our agriculture. Agronomy], 2015, no. 7, pp. 68–72 (in Russian).
- Azizbekyan S., Domash V., Bruj I., Stepuro M. Nanoplant – belarusian “elixir productivity”. *Belorusskoe sel'skoje khozyaistvo* [Belarusian Agriculture], 2015, no. 3, pp. 58–59 (in Russian).
- Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Gorbunov A. K., Zhmakova N. A., Makarova N. L. Ecologically safe biologically active preparations for agriculture, developed on the basis of peat and waste of plant raw materials. *Problemy regional'noi ekologii* [Problems of regional ecology], 2006, no. 4, pp. 52–56 (in Russian).
- Ekosil*. Available at: <https://ecosil.by> (accessed 25.09.2017) (in Russian).
- Tomson A. E., Naumova G.V. *Peat and products of its processing*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
- Shabanov A. A., Romanovskii Ch. A. Bioorganic preparations Hydrohumate and Ekosil – useful components in organic farming. *Ekosil*. Available at: <https://ecosil.by/a27989-ekologicheskoe-zemledelie-rostoregulatory.html> (accessed 02.10.2016) (in Russian).
- Dumbrov S. I. *Influence of biologies on the productivity and quality of winter wheat in conditions of chestnut soils in the Volgograd region*. Abstract of Ph. D. diss. Volgograd, 2008. 21 p. (in Russian).
- Furmanov M. S. *Report on the effectiveness of the application of complex fertilizer “FlorGumat” in the fields of the Izobilnensky branch of the Federal State Institution “Gosortkommissiya” of the Izobilnensky district, Stavropol Territory*. Izobilny, S. n., 2004. 4 p. (in Russian).
- Drozd O. V., Pavlovskii N. B., Lenkovets T. I., Azizbekyan S. G. Efficiency of application of microfertilizers “Nanoplant-Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se” and “Nanoplant-Ag” on highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Opyt i perspektivy vozdeleyaniya yagodnykh rastenii semeistva Brusnichnye na territorii Belarusi i sopedel'nykh stran: materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara (Minsk, 18–19 iyulya 2017)* [Experience and perspectives of cultivation of berry plants of the Cowberry family on the territory of Belarus and neighboring countries: materials of the International scientific and practical seminar (Minsk, July 18–19, 2017)]. Minsk, 2017, pp. 50–57 (in Russian).
- Petrov N. Yu., Berdnikov N. V., Chernyshkov V. V. Effect of biostimulants on the photosynthetic activity of spring wheat. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [News of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: science and higher vocational education], 2008, no. 4 (12), pp. 26–31 (in Russian).
- Sviridov S. S. *Peculiarity of the effect of physiologically active substances on sugar beet plants, depending on the background of mineral nutrition*. Abstract of Ph. D. diss. Ramon, 2009. 21 p. (in Russian).
- Derevinskii A. V., Chopchits A. N., Pivovarov I. V., Budnik E. P., Kabashnikova L. F., Mazhul' V. M. Influence of growth stimulators on the basis of film-forming compositions on the shoot-forming ability of lignified cuttings and unbrotten apple tree branches. *Izuchenie, okhrana i ispol'zovanie bioraznoobraziya rastenii i zhivotnykh: sbornik nauchnykh statei prepodavatelei kafedry botaniki i zoologii fakul'teta estestvoznaniya Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. Tanka, posvyashchennyi pamyati doktora biologicheskikh nauk, professora Bavtuto Galiny Antonovny* [Study, protection and use of plant and animal biodiversity: a collection of scientific articles of teachers of the Department of Botany and Zoology of the Faculty of Natural Sciences of the Belarusian State University. M. Tanka, dedicated to the memory of Doctor of biological sciences, Professor Galina Bavtuto Antonovna]. Minsk, 2009, pp. 29–31 (in Russian).
- Godnev T. N. *Chlorophyll, its structure and formation in a plant*. Minsk, Academy of Sciences of the Belorussian SSR Publ., 1963. 318 p. (in Russian).
- Kakhnovich L. V. *Photosynthesis. Methodical recommendations for laboratory studies, tasks for independent work and control of students' knowledge*. Minsk, Belarusian State University Publ., 2003. 88 p. (in Russian).
- State Standard 8756.22–80 *Fruit and vegetable products. Method for determination of carotene*. Moscow, Publishing house of standards, 1992. 6 p. (in Russian).
- Tranavičienė T., Urbonavičiūtė A., Samuolienė G., Duchovskis P., Vagusevičienė I., Sliesaravičius A. The effect of differential nitrogen fertilization on photosynthetic pigment and carbohydrate contents in the two winter wheat varieties. *Agronomy Research*, 2008, vol. 6, no. 2, pp. 555–561.
- Liu Z. A., Yang J. P., Yang Z. C. Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 339–348. DOI: 10.4067/s0718-95162012000200013
- Li X., Wei J., Li Y. Physiological effects of nitrogen, phosphorus and potassium on blueberry «Bluecrop». *Acta Horticulturae*, 2012, vol. 926, pp. 347–351. DOI: 10.17660/actahortic.2012.926.48
- Chizhik O. V., Reshetnikov V. N., Filipenya V. L., Gorbatshevich V. I., Kartyzhova L. E., Aleschenkova Z. M. The microorganisms influence on adaptation of clonal planting stock of hardy-shrub species of *Vaccinium*. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rastenii* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 2013, vol. 45, no. 3, pp. 254–259 (in Russian).
- Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Lishtvan I. I., Vasilevskaya T. I., Krynskaya N. B. *Cultivation of blueberries on peat excavations of Pripyat' Polesseye*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 242 p. (in Russian).
- Hirschberg J. Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 2001, vol. 4, no. 3, pp. 210–218. DOI: 10.1016/s1369-5266(00)00163-1

23. Navaux M., Dall'Osto L., Bassi R. Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in arabidopsis leaves and functions independent of binding to PSII antennae. *Plant Physiology*, 2007, vol. 145, no. 4, pp. 1506–1520. DOI: 10.1104/pp.107.108480

24. 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, vol. 11, no. 1, p. 62. DOI:10.1186/1471-2229-11-62

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – член-корреспондент, д-р биол. наук, профессор, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by.

Яковлев Александр Павлович – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by.

Савосько Ирина Валерьевна – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь).

Кабашникова Людмила Федоровна – член-корреспондент, д-р биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kabashnikova@ibp.org.by.

Литшван Иван Иванович – академик, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gntpecology@mail.ru.

Information about the authors

Zhanna A. Rupasova – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Laboratory. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by.

Alexander P. Yakovlev – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by.

Irina V. Savosko – Junior researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

Lyudmila F. Kabashnikova – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kabashnikova@ibp.org.by.

Ivan I. Lishtvan – Academician, D. Sc. (Engineering), Professor, Chief researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gntpecology@mail.ru.