Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета

С.В. Зеленцов,

доктор сельскохозяйственных наук, чл.-кор. РАН

Е.В. Мошненко,

кандидат биологических наук

Л.А. Бубнова,

младший научный сотрудник

Е.Н. Будников,

старший научный сотрудник

М.В. Трунова,

кандидат биологических наук

С.А. Рамазанова,

кандидат биологических наук

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел.: (861) 275-78-45, факс: (861) 254-27-80

E-mail: soya@vniimk.ru

Для цитирования: Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Бубнова Л.А., Будников Е.Н., Трунова М.В., Рамазанова С.А. Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 1 (181). – С. 140–146.

Ключевые слова: соя, теневыносливость, урожайность, засорённость, хлорофилл β , спектры поглощения.

Среднеранний сорт сои Вилана бета выведен из рекомбинантного растения с увеличенной долей хлорофилла β , выделенного при анализе спектров поглощения хлорофиллов растений сорта Вилана. Хлорофиллы сорта Вилана бета дополнительно поглощают не используемые хлорофиллами обычных сортов сои и проникающие до нижних затенённых ярусов растений сои отдельные диапазоны волн синего, оранжево-красного и, частично, зелёного спектра света. Это позволяет повысить интенсивность теневого фотосинтеза и продуктивность нижних затенённых ярусов растений сои. По результатам сортоиспытания 2018–2019 гг., сорт Вилана бета по урожайности превысил стандартный сорт Вилана на 0,20 т/га. Новый сорт отличается высокой выносливостью к избыточной густоте стояния и затенению сорными растениями. При повышенной густоте стояния растений 500–700 тыс./га, урожайность сорта Вилана бета превышает стандартный сорт Вилана на 0,32–0,69 т/га. В условиях интенсивного засорения и затенения

сорными растениями новый сорт формирует более высокую, в среднем на 0,49 т/га, урожайность по сравнению с исходным сортом Вилана. Это позволяет его выращивать по безгербицидной технологии для получения органической продукции. Благодаря повышенному содержанию хлорофилла β отличается повышенной выносливостью к длительному подтоплению и гипоксии корневой системы. Вегетационный период нового сорта Вилана бета на широте Краснодара (45°) составляет 118–122 суток. Высота растений 95–110 см. Это позволяет его возделывать в основных посевах в соеопроизводящих хозяйствах Северо-Кавказского и Нижневолжского регионов Российской Федерации.

UDC 633.853.52:631.52

A middle-early shade tolerant soybean cultivar Vilana beta.

Zelentsov S.V., doctor of agriculture, corr.-member of RAS

Moshnenko E.V., PhD in biology

Bubnova L.A., junior researcher

Budnikov E.N., senior researcher

Trunova M.V., PhD in biology

Ramazanov S.A., PhD in biology

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil
Crops (VNIIMK)

17, Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 275-78-45, fax: (861) 254-27-80

E-mail: soya@vniimk.ru

Key words: soybean, shade tolerance, yield, weeds prevalence, chlorophyll β , absorption spectra.

The middle-early soybean variety Vilana beta was bred from a recombinant plant with an increased proportion of chlorophyll β isolated in the analysis of the absorption spectra of chlorophylls from plants of the cultivar Vilana. The chlorophylls of the cultivar Vilana beta additionally absorb some extra wavelengths of blue, orange-red, and, partially, green light spectrum that penetrate to the lower shaded layers of plants, which usual soybean cultivars do not used. This makes it possible to increase the intensity of shadow photosynthesis and the productivity of the lower shaded layers of soybean plants. According to the results of the varietal trials of 2018–2019, by yield the cultivar Vilana beta exceeded the standard cultivar Vilana by 0.20 ton per ha. The new cultivar is highly resistant to excessive plant population and shading by weeds. With increased plant population of 500–700 thousand per ha, the yield of the cultivar Vilana beta exceeds the standard cultivar Vilana by 0.32–0.69 ton per ha. Under conditions of intensive prevalence and shading by weeds, the new cultivar forms a higher, on 0.49 t / ha, average yield compared to the original cultivar Vilana. This allows it to be grown using herbicide-free technology to produce organic products. Due to the increased content of chlorophyll β , it is

characterized by increased endurance to prolonged flooding and hypoxia of the root system. The vegetation period of the new cultivar Vilana beta at the latitude of Krasnodar (45°) is 118–122 days. Plant height is 95–110 cm. This allows it to be cultivated in the main crops in the soybean producing farms of the Northern Caucasus and Lower Volga regions of the Russian Federation.

Соя относится к группе светолюбивых растений, снижающих свою фотосинтетическую активность и продуктивность при затенении. Считается, что причиной низкой продуктивности растений в загущённых ценозах является конкуренция за ресурсы среды, одним из которых является освещённость и её спектральный состав [1; 14].

Исследование взаимного затенения сои в полевых агроценозах, особенно в среднем и нижнем ярусах растений, до настоящего времени остаётся важной и не полностью разрешённой проблемой. Многочисленные исследования, как правило, лишь констатируют снижение продуктивности растений, выращенных в плотных ценозах, по сравнению с аналогичными показателями у растений, выращенных при разреженной густоте стояния или обособленно [1; 2; 8; 9].

Одним из основных факторов, негативно влияющих на продуктивность культурных растений в уплотнённом ценозе, включая сою, является снижение эффективности фотосинтеза, за счёт взаимного затенения и неоптимального баланса хлорофиллов [10; 13]. Зелёными фотосинтезирующими пигментами мезофилла листа у сои, как и у других высших растений, являются хлорофиллы α и β . Хлорофилл α – основной пигмент, составляет 45–75 % от всех фотосинтезирующих пигментов. Спектры поглощения хлорофилла α лежат в синей (420–430 нм) и красной (660–683 нм) части видимого спектра солнечного света. Хлорофилл β – дополнительный, составляет 10–15 % от всех фотосинтезирующих пигментов. Основные спектры поглощения хлорофилла β лежат в сине-голубой (440–450 нм) и жёлто-оранжевой (640–650 нм) области

видимого света. Кроме этого, отличительной особенностью хлорофилла β является его способность частично поглощать волны зелёного спектра [6; 12; 13; 16].

При полном развитии листового покрова в посевах сои фотосинтез на основе хлорофилла α осуществляется, преимущественно, в листьях верхнего яруса, куда попадают и поглощаются волны синего и красного спектров прямого солнечного света. В нижерасположенные ярусы растений сои проникают световые волны преимущественно зелёного и жёлто-зелёного диапазонов видимого спектра [10; 15].

Таким образом, именно пониженное (тенивое) освещение нижних ярусов листьев сои неполным (преимущественно зелёным) спектром видимого света может быть причиной пониженной продуктивности растений не только в загущенных или засорённых посевах, но и при оптимальной густоте стояния растений с плотно сомкнутым листовым покровом.

Поэтому одним из способов дальнейшего увеличения продуктивности сои может быть селекция на признак повышенной интенсивности теневого фотосинтеза, особенно в зелёной области спектра. Такая задача может быть реализована за счёт создания или выделения форм сои с увеличенным содержанием в мезофилле листа хлорофилла β , отличающегося повышенной активностью поглощения в сине-зелёной и жёлто-зелёной областях видимого спектра света.

В 2015 г. в посевах сорта сои Вилана было обнаружено рекомбинантное растение с увеличенной долей хлорофилла β . Потомство этого растения, получившее рабочее название « β -форма», сохраняло морфологическую однородность во всех последующих поколениях. Увеличенное содержание хлорофилла β у β -формы сорта Вилана визуально фиксируется в виде особенностей поглощения отдельных длин волн видимого света в сравнении с типичным для сои, на примере исходного сорта Вилана, и полным солнечным спектром (рис. 1).

Рисунок 1 – Спектры поглощения вытяжки хлорофиллов β -формы (а) в диапазоне длин волн 380–780 нм видимого света в сравнении со спектром поглощения хлорофиллов у исходного сорта Вилана (б) и полным солнечным спектром (в)

Сравнительный анализ спектров на рисунке 1 свидетельствует об отличиях спектров поглощения спиртовой вытяжки хлорофилла у β -формы сорта Вилана и его исходной формы (стандарта). На рисунке 1а отчётливо видно, что у β -формы спектр поглощения ближнего синего (≈ 440 – 450 нм) более выражен. Волны дальнего синего спектра поглощены почти полностью и практически не просматриваются. Поглощение волн оранжево-красного и ближнего красного спектра (≈ 640 – 700 нм) также более выражено. Такой тип спектров поглощения свидетельствует об увеличенной массовой доле хлорофилла β у β -формы сорта Вилана в общем балансе хлорофиллов. При этом у вытяжки хлорофилла из листьев исходного сорта Вилана (см. рис. 1б) поглощение длин волн дальнего и ближнего синего, а также частично среднего красного в диапазоне видимого света, визуально выражено меньше по сравнению с β -формой.

В целом, сравнительный анализ спектра поглощения хлорофилла у β -формы сорта Вилана свидетельствует о том, что хлорофилл β дополнительно поглощает не используемые хлорофиллом α и доходящие до нижних затенённых ярусов расте-

ний сои отдельные диапазоны волн синего и красного спектра. Кроме этого, из литературы известно, что особенностью хлорофилла β является способность частично поглощать зелёный и ближний инфракрасный спектры волн [6].

С 2017 г., после предварительного размножения β -формы сорта сои Вилана, линия под номером Д-4132 β проходила оценку в питомниках предварительного и конкурсного сортоиспытания, в том числе при разной густоте стояния растений, где было установлено, что по основным хозяйственно ценным признакам она достоверно превышает высокоурожайный среднеранний сорт-стандарт Вилана. В 2019 г. урожайность линии сои Д-4132 β в конкурсном сортоиспытании при густоте стояния 250–300 тыс. раст./га, превысила этот показатель у сорта-стандарта на 0,2 т/га.

При повышенной до 500–700 тыс. раст./га густоте стояния растений урожайность линии Д-4132 β превышала стандартный сорт на 0,32–0,69 т/га (табл. 1). В 2019 г. эта линия получила название Вилана бета и была передана на Государственное сортоиспытание.

Таблица 1

Урожайность среднераннего сорта Вилана бета в зависимости от густоты стояния растений при стандартной технологии выращивания с применением механических и химических приёмов борьбы с сорняками, т/га

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2018–2019 гг.

Сорт	Вегетационный период, сут.	Урожайность при густоте стояния растений, тыс. раст./га						
		2018 г.				2019 г.		
		250	500	700	среднее по густотам	150	300	500
Вилана бета	121	1,94	2,10	2,08	2,04	2,96	3,30	3,55
Вилана (стандарт)	124	1,82	1,78	1,52	1,71	2,50	2,37	2,86
Отклонение от стандарта, $\pm \Delta$, т/га	-3	+0,12	+0,32	+0,56	+0,28	+0,46	+0,93	+0,69
НСР ₀₁	–	0,18	0,21	0,20	–	0,21	0,21	0,20

Для моделирования условий повышенного зелёноспектрового затенения в

Таблица 2

Продуктивность среднераннего сорта Вилана бета в зависимости от густоты стояния растений при полном отсутствии механических и химических приёмов удаления сорняков

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2019 г.

Густота стояния растений, тыс. шт./га	Урожайность, т/га		Отклонение признака у сорта Вилана бета, $\pm \Delta$, т/га
	Вилана (стандарт)	Вилана бета	
250	0,85	1,44	+ 0,59
500	0,78	1,39	+ 0,61
700	1,36	1,62	+ 0,26
среднее	1,00	1,48	+ 0,49
НСР ₀	0,18	0,16	–

2019 г. сорт Вилана бета выращивали в специально заложенном питомнике без применения гербицидов, культивации и ручных прополок. В результате уже к началу июня, в фазе бутонизации растений сои, на данном опытном участке отмечалась высокая плотность засорения сои сорными растениями. К фазе созревания сои высота поздносозревающих сорных видов растений: амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.), канатника Теофраста (*Abutilon theophrasti* Medik.), мари белой (*Chenopodium album* L.) и подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.) достигала 1,5–2,0 м, что существенно ограничивало прямое солнечное освещение верхних ярусов сои (рис. 2).

Рисунок 2 – Искусственное затенение сорными растениями сорта Вилана бета в экспериментальном безгербицидном питомнике, фото от 27.08.2019 г.

Тем не менее, даже в условиях интенсивного затенения и конкуренции с сорными растениями, новый сорт сои Вилана бета также отличался повышенной продуктивностью, превысив сорт-стандарт в среднем по всем густотам на 0,49 т/га (табл. 2).

Вегетационный период нового сорта Вилана бета на широте Краснодара (45°), в зависимости от метеоусловий года, варьировал от 118 до 122 суток и в среднем за 2018–2019 гг. составил 121 сутки.

Высота растений нового сорта на широте Краснодара – от 95 до 110 см. Нижние бобы при оптимальной густоте стояния растений (350–400 тыс. раст./га) располагаются на высоте 14–16 см от поверхности почвы.

По международному классификатору UPOV и классификатору ВНИИМК [4] тип роста растений сорта Вилана бета – от полудетерминантного до индетерминантного с удлинённым периодом цветения, завершающимся в период начала налива семян в бобах нижних узлов (код типа роста – SD4) (рис. 3).

Рисунок 3 – Растение сорта Вилана бета

На географических широтах $45 \pm 2^\circ$ фенотип растений сорта Вилана бета соответствуют среднестебельному сортотипу – сс. *medicaulis* Zel. et Koch. северокавказской эколого-географической груп-пы маньчжурского подвида сои ssp. *manshurica* (Enken) Zel. et Koch. [3].

Окраска опушения растений серая. Окраска венчика цветка фиолетовая. Окраска бобов от бежевой до светло-коричневой. Семена среднего размера, округло-удлинённые. Семенная оболочка жёлтая, в оптимальных условиях созревания без пигментации. Рубчик семени светло-коричневый, в зависимости от положения на растении – от почти бесцветного в нижнем ярусе до интенсивно окрашенного в верхнем ярусе, нередко с сохраняющейся на рубчике семяножкой (рис. 4).

Рисунок 4 – Размеры, форма и окраска семян сорта Вилана бета

В оптимальных по влагообеспечению богарных условиях и на орошении масса 1000 семян этого сорта составляет 160–180 г. При выращивании сорта Вилана бета в засушливых и острозасушливых условиях, масса 1000 семян может снижаться до 110–130 г. Глубина проникновения центрального корня в почву достигает 2,1–2,3 м, что обеспечивает растениям сорта Вилана бета повышенную засухоустойчивость при пересыхании верхних горизонтов почвы. В условиях

Краснодарского края сорт устойчив к фузариозу, пепельной гнили и аскохитозу.

Среднеранний сорт Вилана бета с повышенной интенсивностью теневого фотосинтеза хорошо отзывается на загущение ценоза и не снижает урожайность при увеличении густоты стояния до 700 тыс. семян на 1 га. Отличается высокой выносливостью к подтоплению и затенению культурными и сорными растениями. Может выращиваться по безгербицидной технологии для получения органической продукции.

Содержание белка в семенах сорта Вилана бета при выращивании в условиях центральной почвенно-климатической зоны Краснодарского края и с наличием на почве специализированных азотфиксирующих бактерий составляет 39,6–41,6 %. Содержание масла в семенах 20,3–21,1 % (табл. 3).

Таблица 3

Биохимическая характеристика семян сорта Вилана бета

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2018–2019 гг.

Сорт	Содержание, %					
	белка			масла		
	2018 г.	2019 г.	среднее	2018 г.	2019 г.	среднее
Вилана бета	41,6	39,6	40,6	20,3	21,1	20,7
Вилана (стандарт)	41,8	40,3	41,1	20,1	20,5	20,3
Отклонение от стандарта, $\pm \Delta$, абс. %	-0,2	-0,7	-0,5	+0,2	+0,6	+0,4

С применением методики выделения ДНК и характеристики маркерных локусов [5; 7; 11] с использованием полиморфизма 11 микросателлитных SSR-локусов ДНК, для сорта сои Вилана бета создан молекулярно-генетический паспорт (табл. 4). Последовательности праймеров для ПЦР были выбраны из международной базы данных GenBank [11]

Как показали результаты исследований, для сорта сои Вилана бета по двум локусам *Soypr1* и *SoySC514* характерен внутрисортной полиморфизм. Соотношение генотипов с аллелями 1 и 2 составляет 3 : 7 соответственно. Однако по фенотипическим признакам семян и рас-

тений выявленный полиморфизм не различим.

Таблица 4

Молекулярный паспорт сорта сои Вилана бета

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Краснодар, 2020 г.

Локус	Аллели	Молекулярный вес (п.н.)
Satt 2	3	155
Satt5	3	320
Satt9	1	150
Soypr 1	1,2	163,188
SoySC514	1,2	193,212
Sat 36	2	185
Satt181	3	200
Satt161	2	215
Satt 141	2	205
Satt 681	3	224
Satt 263	1	190

В целом, проведённые исследования показывают, что среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета отличается высокой выносливостью к избыточной густоте стояния и затенению культурными и сорными растениями. Благодаря повышенному содержанию хлорофилла β , не требующего обязательного наличия аэробных условий для корневой системы, сорт Вилана бета отличается повышенной выносливостью к длительному подтоплению и гипоксии корневой системы. В связи с этим в 2019 г. сорт Вилана бета был передан на Государственное сортоиспытание по Северо-Кавказскому и Нижневолжскому регионам Российской Федерации.

Список литературы

1. Енкен В.Б. Соя. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1959. – С. 238–242.
2. Ефимов А.Г., Уго Торо Корреа. Плотность агроценозов сои // В кн.: Соя. Биология и технология возделывания / Под ред. В.Ф. Баранова и В.М. Лукомца. – Краснодар, 2005. – С. 203–236.
3. Зеленцов С.В., Кочегура А.В. К вопросу о внутривидовой классификации сои // Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои / Мат-лы 2-й межд. конф. по сое: сб. статей. Краснодар, 9–10 сентября 2008 г. – С. 178–193.
4. Зеленцов С.В., Лучинский А.С. Усовершенствованная классификация типов роста сои // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2011. – Вып. 2 (148–149). – С. 88–94.
5. Коломыцева А.С., Рамазанова С.А. Паспортизация сортов сои с использованием SSR-локусов ДНК // Мат-лы 10-й все-российской конф. с международным участием молодых учёных и специалистов. – Краснодар, 2019. – С. 85–88.
6. Медведев С.С. Физиология растений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – С. 86–87, 197–202, 225–227.
7. Рамазанова С.А. Идентификация генотипов сои разного происхождения с использованием полиморфизма девяти микросателлитных локусов ДНК // Мат-лы 2-й международной конференции по сое «Современные проблемы селекции и технологии возделывания сои»: сб. статей. – Краснодар, 910 сентября 2008 г. – С. 129–136.
8. Уго Торо Корреа. Фотосинтез // В кн.: Соя. Биология и технология возделывания / Под ред. В.Ф. Баранова и В.М. Лукомца. – Краснодар, 2005. – С. 25–29.
9. Федотов В.А., Гончаров С.В., Столяров О.В., Ващенко Т.Г., Шевченко Н.С. Соя в России. – М.: Агролига России, 2013. – С. 264–278.
10. Boardman N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants // Annu. Rev. Plant Physiol. – 1977. – Vol. 28. – P. 355–377.
11. Cregan P.B., Jarvik T., Bush A.L., Shoemaker R.C., Lark K.G., Kahler A.L., Van Toai T.T., Lohnes D.G., Chung J., Specht J.E. An integrated genetic linkage map of soybean // Crop Science. – 1999. – Vol. 39. – P. 1464–1490.
12. Croft H., Chen J.M. Leaf Pigment Content // In: Comprehensive Remote Sensing / Liang, S. (Ed.). – Elsevier: Oxford, UK, 2018. – P. 117–142.
13. Fritschi F.B., Ray J.D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio // Photosynthetica. – 2007. – Vol. 45. – P. 92–98.
14. Garner W.W., Allard H.A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and repro-

duction in plants // J. Agric. Res. – 1920. – V. 18. – P. 553–606.

15. Gitelson A.A., Peng Y., Viña A., Arkebauer T., Schepers J.S. Efficiency of chlorophyll in gross primary productivity: A proof of concept and application in crops // J. Plant Physiol. – 2016. – Vol. 201. – P. 101–110.

16. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // Analysis. – 1983. – Vol. 603. – P. 142–196.

References

1. Enken V.B. Soya. – M.: Gos. izd-vo s.-kh. lit-ry, 1959. – S. 238–242.

2. Efimov A.G., Ugo Toro Korrea. Plotnost' agrotsenozov soi // V kn.: Soya. Biologiya i tekhnologiya vozdel'yvaniya / Pod red. V.F. Baranova i V.M. Lukomtsa. – Krasnodar, 2005. – S. 203–236.

3. Zelentsov S.V., Kochegura A.V. K voprosu o vnutrividovoy klassifikatsii soi // Sovremennye problemy selektsii i tekhnologii vozdel'yvaniya soi / Mat-ly 2-y mezhd. konf. po soe: sb. statey. Krasnodar, 9–10 sentyabrya 2008 g. – S. 178–193.

4. Zelentsov S.V., Luchinskiy A.S. Uovershenstvovannaya klassifikatsiya tipov rosta soi // Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhn. byul. VNIIMK. – 2011. – Vyp. 2 (148–149). – S. 88–94.

5. Kolomytseva A.S., Ramazanova S.A. Paspportizatsiya sortov soi s ispol'zovaniem SSR-lokusov DNK // Mat-ly 10-y vserossiyskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchenykh i spetsialistov. – Krasnodar, 2019. – S. 85–88.

6. Medvedev S.S. Fiziologiya rasteniy. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2012. – S. 86–87, 197–202, 225–227.

7. Ramazanova S.A. Identifikatsiya genotipov soi raznogo proiskhozhdeniya s ispol'zovaniem polimorfizma devyati mikrosatellitnykh lokusov DNK // Mat-ly 2-y mezhdunarodnoy konferentsii po soe «Sovremennye problemy selektsii i tekhnologii vozdel'yvaniya soi»: sb. statey. – Krasnodar, 9–10 sentyabrya 2008 g. – S. 129–136.

8. Ugo Toro Korrea. Fotosintez // V kn.: Soya. Biologiya i tekhnologiya vozdel'yvaniya / Pod red. V.F. Baranova i V.M. Lukomtsa. – Krasnodar, 2005. – S. 25–29.

9. Fedotov V.A., Goncharov S.V., Stolyarov O.V., Vashchenko T.G., Shevchenko N.S. Soya v Rossii. – M.: Agroliga Rossii, 2013. – S. 264–278.

10. Boardman N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants // Annu. Rev. Plant Physiol. – 1977. – Vol. 28. – P. 355–377.

11. Cregan P.B., Jarvik T., Bush A.L., Shoemaker R.C., Lark K.G., Kahler A.L., Van Toai T.T., Lohnes D.G., Chung J., Specht J.E. An integrated genetic linkage map of soybean // Crop Science. – 1999. – Vol. 39. – P. 1464–1490.

12. Croft H., Chen J.M. Leaf Pigment Content // In: Comprehensive Remote Sensing / Liang, S. (Ed.). – Elsevier: Oxford, UK, 2018. – P. 117–142.

13. Fritschi F.B., Ray J.D. Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio // Photosynthetica. – 2007. – Vol. 45. – P. 92–98.

14. Garner W.W., Allard H.A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants // J. Agric. Res. – 1920. – V. 18. – P. 553–606.

15. Gitelson A.A., Peng Y., Viña A., Arkebauer T., Schepers J.S. Efficiency of chlorophyll in gross primary productivity: A proof of concept and application in crops // J. Plant Physiol. – 2016. – Vol. 201. – P. 101–110.

16. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents // Analysis. – 1983. – Vol. 603. – P. 142–196.

Получено: 16.03.2020   Принято: 24.03.2020
Received: 16.03.2020   Accepted: 24.03.2020