

УДК 635.655.581.1

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-89-96>

Оригинальное исследование/Original research

**Головина Е.В.,
Зеленов А.А.**ФГБНУ ФНЦ ЗБК
E-mail: vniizbk@mail.ru

Ключевые слова: сорта сои северного экотипа, погодные условия, адаптивные реакции, фотосинтетическая и симбиотическая деятельность, продуктивность.

Для цитирования: Головина Е.В., Зеленов А.А. Физиологические особенности сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР. *Аграрная наука.* 2020; 343 (11): 89–96.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-52-60>**Конфликт интересов отсутствует****Golovina E.V.,
Zelenov A.A.**FSBSI «Federal Scientific Center of Legumes
and Groat Crops»
E-mail: vniizbk@mail.ru

Key words: soybean varieties of the northern ecotype, weather conditions, adaptive responses, photo-synthetic and symbiotic activity, productivity.

For citation: Golovina E.V., Zelenov A.A. Physiological features of northern ecotype soybean varieties cultivated in the Central Black Earth region. *Agrarian Science.* 2020; 343 (11): 89–96. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-89-96>**There is no conflict of interests**

Физиологические особенности сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР

РЕЗЮМЕ

В 2017–2019 годах на 7 сортах сои и 2 линиях селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК изучены физиологические механизмы адаптивных реакций растений сои в контрастных метеорологических условиях, влияющих на формирование продуктивности. Оптимальная площадь листьев сои для формирования высокой зерновой продуктивности в неблагоприятных условиях недостатка тепла и избытка влаги составляет 50 тыс. м²/га; в благоприятных условиях тепло и достаточной влагообеспеченностью года этот показатель увеличивается до 100 тыс. м²/га. В благоприятных погодных условиях возрастает доля листьев и бобов в общей массе растения. Адаптивные реакции пигментного комплекса заключаются в увеличении содержания хлорофилла b и каротиноидов в условиях засухи и избыточного освещения и каротиноидов при повышенной влажности и недостатке тепла и света. Выделены две группы сортов: 1. скороспелые Ланцетная, Красивая Меча, Осмон, отличающиеся сбалансированным распределением пластических веществ в условиях избыточного увлажнения и формирующие урожай зерна на уровне 2,5–2,8 т/га; 2. среднеспелые Зуша, Мезенка, Л-85, в этих условиях образующие большую площадь листьев и массу клубеньков, что приводит к снижению зерновой продуктивности до 1,9–2,2 т/га. Скороспелые сорта Ланцетная и Красивая Меча обладают сбалансированным распределением пластических веществ и способны формировать высокий урожай, как при избытке влаги и недостатке тепла, так и в засушливых условиях. Линия Л-85, отличающаяся высокими значениями фотосинтетических и симбиотических показателей, сформировала максимальный урожай сухого вещества (12,3 т/га) и зерна (2,8 т/га) в среднем за 3 года. Наибольшее количество азота в вегетативных органах сои и в зерне накапливается в годы с повышенной влажностью по сравнению с благоприятными условиями вегетационного периода. Эффективная ассимиляционная деятельность листьев, активная азотфиксация клубеньковых бактерий приводят к усиленной аккумуляции азота в зерне. По количеству сырого протеина в зерне выделились сорта Красивая Меча (42,5%), Шатиловская 17 (41,2%) и линия Л-216 (41,3%); по сбору белка с зерном, составляющим 1,1 т/га, — Красивая Меча и линия Л-85. Между урожаем надземной массы и фотосинтетическим потенциалом и площадью листьев установлена высокая положительная корреляция на уровне $r = 0,8–0,9$; с массой клубеньков на уровне — $r = 0,6–0,8$ за все 3 года исследований.

Physiological features of northern soybean ecotype grain varieties cultivated in the conditions of the central black earth region

ABSTRACT

In 2017–2019 on 7 soybean varieties and 2 breeding lines of FSBSI «Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops» (FSBSI FSC LGC) the physiological mechanisms of adaptive reactions of soybean plants in contrasting meteorological conditions, influencing the formation of productivity, have been studied. The optimal area of soybean leaves for the formation of high grain productivity in unfavorable conditions of lack of heat and excess of moisture is 50 thousand m²/ha; in favorable conditions of a warm year with sufficient moisture supply, this indicator increases to 100 thousand m²/ha. In favorable weather conditions, the proportion of leaves and beans in the total plant mass increases. The adaptive reactions of the pigment complex consist in an increase in the content of chlorophyll b and carotenoids under conditions of drought and excessive illumination and carotenoids under high humidity and lack of heat and light. Two groups of varieties have been identified: 1. early ripening Lantsetnaya, Krasivaya Mecha, Osmon, distinguished by a balanced distribution of plastic substances in conditions of excessive moisture and forming a grain yield at the level of 2.5–2.8 t/ha; 2. middle-ripening Zusha, Mezenka, L-85, under these conditions, forming a large area of leaves and a mass of nodules, which leads to a decrease in grain productivity to 1.9–2.2 t/ha. The early ripening varieties Lantsetnaya and Krasivaya Mecha have a balanced distribution of plastic substances and are able to form a high yield, both with an excess of moisture and a lack of heat, and in arid conditions. Line L-85, characterized by high values of photosynthetic and symbiotic parameters, formed the maximum yield of dry matter (12.3 t/ha) and grain (2.8 t/ha) on average over 3 years. The greatest amount of nitrogen in the vegetative organs of soybeans and in the grain accumulates in years with high humidity in comparison with favorable conditions of the growing season. Effective assimilation activity of leaves, active nitrogen fixation of nodule bacteria lead to increased accumulation of nitrogen in the grain. By the amount of crude protein in grain, the varieties Krasivaya Mecha (42.5%), Shatilovskaya 17 (41.2%) and the L-216 line (41.3%) were distinguished; for the collection of protein with a grain of 1.1 t/ha — Krasivaya Mecha and line L-85. A high positive correlation was found between the yield of the aboveground mass and the photosynthetic potential and leaf area at the level of $r = 0.8–0.9$; with a mass of nodules at the level — $r = 0.6–0.8$ for all 3 years of research. A close relationship between grain productivity and photosynthetic and symbiotic indicators was noted in a favorable 2018 at the level of $r = 0.7–0.8$.

Поступила: 6 октября
После доработки: 17 ноября
Принята к публикации: 10 сентябряReceived: 6 October
Revised: 17 November
Accepted: 10 september

Создание сортов нового поколения, стабильно формирующих урожай высокого качества, способных противостоять абиотическим стрессорам и эффективно использовать антропогенные и природные ресурсы, невозможно без учета физиологических особенностей, контролирующих фотосинтетическую, симбиотическую, донорно-акцепторную деятельность растений [1, 2].

Продукционный процесс является сложной и интегрированной функцией растений, основу которой составляют генетически детерминированные процессы роста и морфогенеза. Их субстратное и энергетическое обеспечение определяется метаболической активностью клетки, ткани, органа, организма, т. е. в продукционном процессе участвуют механизмы всех уровней организации. В основе продуктивности растений лежит фотосинтез как накопитель энергии и первоисточник органических субстратов. Оптимизация регулируемых факторов фотосинтетической деятельности позволяет влиять на продукционный процесс в целом, на размер и качество урожая [3]. Не менее значимым является бобово-ризобиальный симбиоз, который играет ключевую роль в питании растений (фиксация N₂, ассимиляция питательных веществ почвы), защите от патогенов (синтез антибиотиков и токсинов), в регуляции развития и адаптации к стрессам (синтез фитогормонов и витаминов) [4, 5]. Сложные донорно-акцепторные отношения, в процессе которых распределяются фотоассимиляты по органам растения, существенно влияют на адаптивные возможности растений и формирование урожая в стрессовых условиях [6]. В течение вегетационного периода на растения влияют различные факторы, в том числе минеральный состав и механическое состояние почвы, технологические приемы возделывания, засоренность и т. д. [7, 8]. Но в большей степени продуктивность зависит от агрометеорологических параметров — температуры и влагообеспеченности [9].

В связи с вышеизложенным целью исследований настоящей работы состоит в изучении физиологических особенностей формирования продуктивности сортов сои северного экотипа в зависимости от погодных условий.

В полевых опытах соя возделывалась в севообороте ФГБНУ ФНЦ ЗБК. Почвы опытного участка темно-серые лесные, средней окультуренности. Мощность гумусового горизонта 30–35 см. Содержание гумуса в пахотном горизонте по Тюрину 4,3–5,6%, легкогидролизуемого азота по Кононовой и Тюрину 6,4–10,1 мг/100 г почвы, обменного калия по Масловой 7–15 мг/100 г почвы, подвижного фосфора по Кирсанову 6,8–16,5 мг/100 г почвы. Предшествующая культура — озимая пшеница. Семена сои обрабатывали перед посевом штаммом 6346. Агротехника включала лущение стерни, зяблевую вспашку, весеннее боронование и культивацию на глубину 6–8 см. Посев проводился сеялкой ССК-6-10. Норма высева семян сои 600 тыс. всхожих семян/га. Сою убирали комбайном «Сампо-130». В 2017–2019 гг. в полевых условиях изучались сорта сои северного экотипа Зуша, Красивая Меча, Ланцетная,

Мезенка, Свапа, Осмонь, Шатиловская 17, линии Л-216 и Л-85 селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК. Площадь делянки 7,5 м², повторность 4-кратная. Осуществлялись следующие учёты и наблюдения: отбор проб для анализа в фазы бутонизации, налива бобов, полного созревания; изучение динамики формирования вегетативных и генеративных органов; исследование фотосинтетической деятельности и симбиотической активности растений, донорно-акцепторных отношений [10]. Статистическая обработка данных проводилась по [11] с помощью Microsoft Excel.

Годы исследований различались по погодным условиям (табл. 1). 2017 г. характеризовался температурой ниже среднееголетней на 2–3 °С в период всходы-бутонизация, избыточным увлажнением в фазы всходов, бутонизации, плодообразования и налива бобов, когда количество осадков превышало среднееголетние на 60%, что привело к снижению урожайности зерна, ГТК = 1,9. Погодные условия 2018 г. и 2019 г. отличались отклонениями от нормы значений температуры и влажности в течение вегетации. В 2018–2019 гг. во время цветения температура была выше нормы на 3–4 °С, осадков 30% нормы. В 2018 г. фазы начало плодообразования и налив бобов протекали в благоприятных условиях для сои: температура выше нормы на 3–4 °С, влагообеспеченность достаточная. 2018 год в целом теплый, слабо засушливый: сумма эффективных температур за вегетационный период превышает среднееголетнюю на 352 °С, ГТК = 1,1. В 2019 г. в период плодообразования и налива бобов отмечался недостаток тепла и повышенная влажность, что отрицательно сказалось на формировании плодов, ГТК = 1,7.

Результаты исследований

В 2019 г. период ветвление-бутонизация протекал в благоприятных для сои условиях: высокая температура, запас влаги в почве достаточный. В 2019 году в фазу бутонизации длина стебля растений выше, чем в 2017–2018 гг. на 7,4 см, сухая надземная масса на 1,0 г (рис. 1).

Недостаток тепла в фазу формирования бобов в 2019 г. негативно отразился на развитии растений. В связи с этим масса надземных органов в налив бобов ниже в среднем на 3,0 г по сравнению с 2017–2018 гг.

Таблица 1. Агрометеорологические условия, г. Орел

Table 1. Agrometeorological conditions, Orel

Показатели	Месяцы					Σt ≥ 10 °С	ГТК = $\frac{\sum \text{осадков}}{10 \sum \text{эфф. темп.}}$
	май	июнь	июль	август	сентябрь		
Средняя температура воздуха за месяц, °С							
Средняя многолетняя	13,8	16,8	18,0	17,0	11,7		
2017 г.	12,6	15,8	18,1	19,9	13,7	1929,1	1,90
2018 г.	17,0	18,0	20,4	19,8	16,0	2121,3	1,13
2019 г.	16,1	20,7	17,3	17,2	12,8	1927,1	1,73
Количество осадков за месяц, мм							
Среднее многолетнее	51,0	73,0	81,0	63,0	67,0	Σосадков, мм	
2017 г.	54,0	59,8	142,2	87,2	16,0	366,0	
2018 г.	31,9	16,1	109,0	16,5	41,5	239,9	
2019 г.	105,9	37,6	85,9	37,8	43,9	334,6	

Рис. 1. Длина стебля и сухая надземная масса сортов сои
Fig. 1. Stem length and dry overground mass of soybean varieties

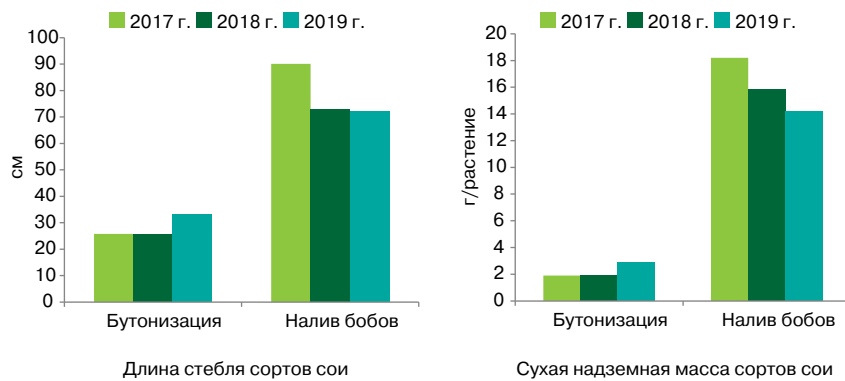


Таблица 2. Площадь листьев сортов сои, тыс. м²/га

Table 2. Leaf area of soybean varieties, thous. m²/ha

Сорт	Бутонизация				Налив бобов			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	17,0	16,1	26,5	19,9	60,8	39,5	32,1	44,1
Крас. Меча	11,8	12,1	19,5	14,4	44,7	32,0	29,5	35,4
Ланцетная	14,6	18,7	21,7	18,3	53,8	58,7	32,8	48,4
Мезенка	12,7	16,8	19,5	16,3	64,1	69,4	25,1	52,9
Осмонь	12,4	11,8	20,8	15,0	51,1	44,2	32,0	42,4
Свапа	16,9	15,2	14,7	15,6	39,0	53,3	48,0	46,8
Шатиловская	16,8	15,5	18,9	17,1	40,3	43,7	86,6	56,9
Л-216	10,4	16,8	14,3	13,8	41,4	59,6	17,0	39,3
Л-85	12,2	13,6	22,3	16,0	86,7	120,3	49,1	85,4
\bar{x}	13,9	15,2	19,8		53,5	57,9	39,1	
CV, %	18,0	15,0	19,0		29,0	45,0	52,0	

Таблица 3. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза сортов сои

Table 3. Photosynthetic potential (PhP) and net productivity of photosynthesis (NPPH) of soybean varieties

Сорт	ФП, тыс. м ² х сут./га				ЧФП, г/м ² х сут.			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	1479,7	972,3	1025,3	1159,1	5,5	5,6	1,9	4,3
Красная Меча	1071,8	771,1	856,6	899,8	6,2	5,6	3,6	5,1
Ланцетная	1298,7	1355,9	953,2	1202,6	5,0	3,3	3,0	3,8
Мезенка	1458,8	1509,6	780,3	1249,6	7,1	4,8	3,4	5,1
Осмонь	1206,5	980,2	924,5	1037,1	5,4	4,7	3,3	4,5
Свапа	1062,5	1198,8	1097,1	1119,5	5,0	5,5	4,0	4,8
Шатиловская	1085,3	1036,9	1846,4	1322,9	4,1	4,3	5,1	4,5
Л-216	984,6	1335,3	547,1	955,7	5,6	4,4	2,4	4,1
Л-85	1878,0	2343,1	1250,4	1823,8	6,3	6,3	3,4	5,3
\bar{x}	1280,7	1278,1	1031,2		5,6	4,9	3,3	
CV, %	22,0	36,0	35,0		16,0	18,0	27,0	

В 2019 г. в фазу бутонизации погодные условия для развития ассимиляционной поверхности листьев были оптимальными: площадь листьев составила в среднем по сортам 19,8 тыс. м²/га, в 2018 г — 15,2 тыс. м²/га, в 2017 г. — 13,8 тыс. м²/га (табл. 2). В налив бобов в 2019 г. этот показатель ниже в среднем на 48 % по сравнению с 2017–2018 гг. У линии Л-85 в среднем за три года по сравнению с другими сортами максимальная площадь листьев 85,4 тыс. м²/га.

Оптимальный размер листовой поверхности в ценозе варьирует в пределах 20–70 тыс. м²/га. Повышение площади листьев до 40–60 тыс. м²/га приводит к снижению интенсивности фотосинтеза, однако при этом повышается эффективность фотосинтеза и поглощение ФАР единицей ценоза. Рост площади листьев при достижении определенного уровня становится нецелесообразным. В неблагоприятных условиях холодного и влажного 2017 г. увеличение площади листьев до 61–87 тыс. м²/га у Зуши, Мезенки и Л-85 привело к снижению урожая зерна до 1,9–2,2 ц/га по сравнению с Красивой Мечей, Ланцетной и Осмонью, у которых площадь листьев составила 45–54 тыс. м²/га, а урожай зерна — 2,5–2,8 ц/га (табл. 7). Напротив в теплом, благоприятном для сои 2018 г. площадь листьев 69–120 тыс. м²/га у Мезенки и Л-85 позволила сформировать урожай зерна на уровне 3,7 т/га.

Следует отметить, что скороспелые сорта Ланцетная и Красивая Меча обладают сбалансированным распределением пластических веществ и способны формировать высокий урожай как при избытке влаги и недостатке тепла, так и в засушливых условиях [2].

Фотосинтетический потенциал в 2019 г. составил 1031,2 тыс. м² х сут./га, что ниже двух предыдущих лет на 24 % (табл. 3). Наибольший ФП в среднем за 3 года у линии Л-85 1823,8 тыс. м² х сут./га. Чистая продуктивность фотосинтеза в 2019 г. самая низкая за годы исследований 3,4 г/м² х сут.

Рост содержания хлорофилла b наблюдается в солнечную погоду, что связано с защитной функцией пигмента, оказывающего экранирующее действие на фотосинтетически активный хлорофилл a. В теплом 2018 году солнечное излучение интенсивное,

сумма эффективных температур за вегетационный период выше среднемноголетней на 352 °С. Количество хлорофилла b в 2018 г. превышает этот показатель в 2017 г. и 2019 г. в среднем по сортам на 35–40% (табл. 4). Увеличение содержания хлорофилла b в условиях засухи и повышенной солнечной радиации характеризует приспособительные возможности растений сои. Максимальное количество хлорофилла b отмечено у Свапы в 2018 году 7,4 мг/г АСВ, минимальное — у Шатиловской 17 в 2017 г. 2,6 мг/г АСВ. В среднем за 3 года концентрация хлорофилла b колебалась в пределах 3,6–4,6 мг/г АСВ.

Максимальная сумма хлорофиллов a+b в листьях сои отмечена в наиболее теплом 2018 г. в среднем по сортам 13,4 мг/г АСВ, в 2017 г. — 9,1 мг/г АСВ, в 2019 г. — 8,7 мг/г АСВ (рис. 2). Наибольшее количество суммы хлорофиллов a+b у Свапы в 2018 г. 15,6 мг/г АСВ.

Каротиноиды входят в антиоксидантную систему растений, выполняют защитную функцию при избытке энергии возбуждения и избытке активных форм кислорода. Количество каротиноидов увеличивается как при засухе и повышенной инсоляции, так и при избыточном увлажнении и недостатке тепла и света [2]. По сравнению с 2019 годом в избыточно влажном 2017 году содержание каротиноидов выше на 53%, а в наиболее теплом, с высокой солнечной радиацией 2018 году — на 24%, что говорит о высокой степени адаптации сортов сои при негативном воздействии абиотических факторов (табл. 5). Максимальное количество каротиноидов наблюдалось у линии Л-85 в 2017 г. 3,1 мг/г АСВ, в среднем за 3 года — у Мезенки 2,4 мг/г АСВ.

Распределение сухого вещества по органам следующее. Максимальная доля стеблей в общей массе наблюдалась в прохладном и влажном 2017 г. — 38%, в 2018 г. — 32%, в 2019 г. — 36% (рис. 3). В благоприятном 2018 г. наибольшая за 3 года доля листьев и бобов — 30 и 29% соответственно, в 2017 г. — 27 и 25%, в 2019 г. — 29 и 27%.

Урожай сухой надземной массы в среднем по сортам в 2019 г. составил 7,1 т/га, что ниже, чем в 2017–2018 гг. на 11–15% (табл. 6). Максимальный урожай сухого вещества в среднем за три года — у линии Л-85 12,3 т/га.

Таблица 4. Содержание хлорофилла b в листьях сортов сои, мг/г

Table 4. Chlorophyll b content in the leaves of soybean varieties, mg/g

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	3,3	3,8	3,6	3,6
Красивая Меча	2,9	4,8	3,7	3,8
Ланцетная	3,9	5,1	3,4	4,1
Мезенка	4,8	5,8	3,2	4,6
Осмось	3,3	5,4	3,6	4,1
Свапа	2,9	7,4	3,5	4,6
Шатиловская 17	2,6	5,7	3,9	4,1
Л-216	3,5	6,1	3,7	4,4
Л-85	3,0	5,6	4,1	4,2
\bar{x}	3,3	5,5	3,6	
CV, %	20,0	18,0	7,0	

Рис. 2. Содержание суммы хлорофиллов a+b, мг/г АСВ

Fig. 2. Chlorophyll sum content a+b, mg/g ADS (absolutely dry substance)

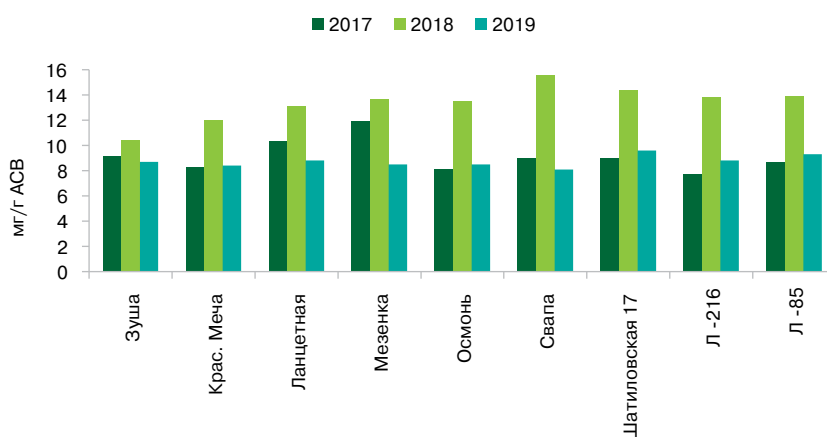


Таблица 5. Содержание каротиноидов в листьях сортов сои, мг/г АСВ

Table 5. Content of carotenoids in the leaves of soybeans, mg/g ADS

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	2,9	1,7	1,8	2,1
Красивая Меча	3	2,2	1,4	2,2
Ланцетная	1,2	1,8	1,7	1,6
Мезенка	2,7	2,3	2,1	2,4
Осмось	2,3	2,3	1,3	2,0
Свапа	2,6	2,6	1,7	2,3
Шатиловская 17	2,7	1,9	2	2,2
Л-216	2,5	1,8	1,6	2,0
Л-85	3,1	2,1	1,3	2,2
\bar{x}	2,6	2,1	1,7	
CV, %	22,0	14,0	17,0	

Для симбиотической системы погодные условия в 2019 г. оказались менее благоприятными, чем в 2017–2018 гг. Масса клубеньков ниже в среднем на 131%, количество — на 300% (табл. 7). Линия Л-85 превзошла остальные сортообразцы по симбиотической активности, сформировав в среднем за три года макси-

Рис. 3. Распределение сухого вещества по органам растений сои. Налив бобов

Fig. 3. Distribution of dry matter in the organs of soybean plants. Pods forming



Таблица 6. Урожай сухой надземной массы, т/га

Table 6. Harvest dry above ground mass, t/ha

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	9,2	6,4	5,5	7,0
Красивая Меча	7,4	5,1	7,5	6,7
Ланцетная	7,4	10,2	6,3	8,0
Мезенка	11,2	8,4	5,6	8,4
Осмонь	7,3	5,4	6,7	6,5
Свапа	6,4	7,6	7,7	7,2
Шатиловская 17	5,7	5,4	13,1	8,1
Л-216	6,2	7,0	3,2	5,5
Л-85	12,7	15,7	8,5	12,3
\bar{x}	8,2	7,9	7,1	
НСР ₀₅	2,389	1,745	1,950	
CV, %	14,0	9,0	21,0	

Таблица 7. Симбиотические признаки сортов сои, наливы бобов

Table 7. Symbiotic traits of soybean varieties, pods forming

Сорт	Количество клубеньков на растении				Сухая масса клубеньков, мг/растение			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	32,6	28,1	8,7	23,1	81,3	182,0	88,0	117,1
Красная Меча	26,5	20,9	6,4	17,9	47,8	121,0	110,0	92,9
Ланцетная	32,0	22,1	14,1	22,7	90,1	140,0	146,0	125,4
Мезенка	35,7	25,9	8,4	23,3	186,9	193,0	89,0	156,3
Осмонь	41,1	37,9	7,8	28,9	126,1	156,0	76,0	119,4
Свапа	52,1	26,9	16,0	31,7	212,9	174,0	153,0	180,0
Шатиловская	42,0	24,4	15,0	27,1	230,6	182,0	232,0	214,9
Л-216	38,3	29,4	17,4	28,4	84,1	153,0	95,0	110,7
Л-85	91,7	32,6	13,7	46,0	461,3	272,0	209,0	314,1
\bar{x}	43,6	27,6	11,9		169,0	174,8	133,1	
CV, %	45,0	19,0	34,0		75,0	25,0	42,0	

мальное количество (46,0) и массу клубеньков (314,1 мг) на растении.

При сравнении величины симбиотического аппарата сортов сои прослеживается та же тенденция, что и с площадью листьев: в неблагоприятных погодных условиях у сортов с большой массой клубеньков урожай-

ность ниже. В холодном 2017 г. у Ланцетной и Красивой Мечи, сформировавших наиболее высокий урожай, сухая масса клубеньков составила 48–90 мг/раст.; у Л-85 масса клубеньков — 461 мг/раст. В благоприятном 2018 г. у Мезенки и Л-85 максимальные по сравнению с остальными сортами сухая масса клубеньков (193–272 мг/раст.) и урожай зерна (табл. 8).

Зерновая продуктивность в 2019 г. колебалась от 1,3 т/га у Л-216 до 2,7 т/га у Л-85. Наибольший урожай зерна в среднем за 3 года у Л-85 2,8 т/га.

Одним из основных источников белкового комплекса семян бобовых культур являются азотсодержащие продукты фотосинтеза, транспортируемые из листьев в семена, и атмосферный молекулярный азот, фиксированный клубеньковыми бактериями.

Активная ассимиляционная деятельность листьев по накоплению белка отмечена в наиболее влажном 2017 г., когда наблюдалась максимальная концентрация азота в листьях 4,6% в среднем по сортам в фазу бутонизации (табл. 9). Содержание азота в листьях сортов сои колебалось от 3,0% у Шатиловской 17 в 2019 г. до 5,1% у Осмони в 2017 г. Максимальная концентрация азота в листьях в среднем за 3 года у сортов Мезенка и Осмонь 3,9%.

Эффективность симбиоза растений сои и клубеньковых бактерий определяет величину ассимиляции фиксированного азота, который в дальнейшем направляется в надземные органы. Растения сои накапливали в клубеньках от 3,7% азота у Свапы и Л-85 в 2018 г. до 5,6% у Зуши в 2019 г. (табл. 9). В 2019 г. отмечено максимальное за три года количество азота в клубеньках 4,9%. Между содержанием протеина в листьях и его концентрацией в клубеньках в 2019 г. установлена корреляция на высоком уровне $r = 0,735$.

Максимальное содержание сырого протеина в зерне 41,2%, также как и в листьях 28,6%, наблюдалось в наиболее влажном 2017 году (табл. 10). В 2019 году концентрация сырого протеина в листьях всего лишь 20,1%, но в клубеньках этот показатель самый высокий за период исследований — 32,9%, а содержание протеина в зерне — 40,0%. В благоприятном 2018 г. концентрация сырого протеина в листьях, клубеньках и зерне в среднем по сортам самая низкая за 3 года.

Сорта Красивая Меча, Шатиловская 17 и линия Л-216 выделились по количеству сырого протеина в зерне за годы исследований, накопив, соответственно, 42,5, 41,2 и 41,3%.

Благодаря высокой урожайности сбор сырого протеина с зерном в 2018 г. выше, чем в 2017 г. и в 2019 г., на 17 и 42%, соответственно, и составляет 1,2 т/га (табл. 11).

Красивая Меча вследствие высокого содержания сырого протеина в зерне и линия Л-85 в связи с максимальной урожайностью за годы исследований превзошли остальные сорта по сбору белка, сформировав 1,1 т/га.

Коэффициент вариации является относительным показателем изменчивости. Большинство показателей слабо варьировали по сортам в пределах 3–30%. Высокой степень варьирования оказалась у количества и массы клубеньков в 2017 г.: значения коэффициента вариации составили 45% и 75%, соответственно.

Между продуктивностью и фотосинтетическими и симбиотическими показателями растений сои установлена близкая взаимосвязь или ее отсутствие в зависимости от условий года (табл. 12). Урожай надземной массы и площадь листьев и ФП коррелировали на высоком уровне в течение всех 3 лет исследований: r колебался от 0,949 до 0,986. Во влажные 2017 и 2019 гг. взаимосвязь между урожаем сухого вещества и ЧПФ на уровне 0,750–0,870, в отличие от засушливого 2018 г., где $r = 0,267$. Зависимость надземной массы от массы клубеньков колебалась в пределах 0,583 (2017 г.) — 0,817 (2019 г.).

Формирование урожая зерна — сложный процесс, который зависит не только от активности фотосинтетических и симбиотических процессов, но и от распределения ассимилятов, накопленных в процессе фотосинтеза, а также от реутилизации в плоды пластических веществ, ранее депонированных в вегетативных органах. В 2017 г. корреляция между урожаем зерна и физиологическими показателями отсутствует или является отрицательной. В 2018 г. взаимосвязь между площадью листьев, фотосинтетическим потенциалом, массой клубеньков и зерновой продуктивностью достаточно высокая $r = 0,674–0,763$. В 2019 г. наблюдалась корреляция на среднем уровне между массой клубеньков и массой зерна $r = 0,592$.

По результатам исследований, проведенных в 2017–2019 гг., установлено, что оптимальная площадь листьев сои сортов северного экотипа для формирования высокой зерновой продуктивности в неблагоприятных условиях недостатка тепла и избытка влаги составляет

Таблица 8. Урожай зерна сортов сои

Table 8. Grain harvest of soybean varieties

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	1,9	3,2	1,9	2,3
Красивая Меча	2,8	2,7	2,0	2,5
Ланцетная	2,7	3,1	1,8	2,5
Мезенка	2,2	3,7	1,5	2,5
Осмонь	2,5	3,3	1,6	2,5
Свапа	2,4	3,1	1,9	2,5
Шатиловская17	2,1	3,5	1,8	2,5
Л-216	2,0	3,4	1,3	2,2
Л-85	2,1	3,7	2,7	2,8
\bar{x}	2,3	3,3	1,8	
НСР ₀₅	0,389	0,260	0,354	
CV, %	14,0	10,0	21,0	

Таблица 9. Содержание азота в органах растений сои, %. Бугонизация

Table 9. Nitrogen content in the organs of soybeans,%. Budding

Сорт	В листьях				В клубеньках			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	4,5	3,0	3,7	3,7	4,5	4,0	5,6	4,7
Красная Меча	4,6	3,4	3,1	3,7	4,5	4,2	4,8	4,5
Ланцетная	4,5	3,5	3,1	3,7	4,5	4,2	4,8	4,5
Мезенка	4,5	3,7	3,5	3,9	4,6	4,1	4,8	4,5
Осмонь	5,1	3,6	3,1	3,9	4,7	4,3	5,3	4,8
Свапа	4,6	3,4	3,1	3,7	4,8	3,7	4,7	4,4
Шатиловская	4,8	3,1	3,0	3,6	4,4	4,2	4,1	4,2
Л-216	4,5	3,2	3,1	3,6	4,9	4,8	4,7	4,8
Л-85	4,1	3,1	3,3	3,5	4,5	3,7	5,3	4,5
\bar{x}	4,6	3,3	3,2		4,6	4,1	4,9	
CV, %	6,0	7,0	7,0		4,0	8,0	12,0	

Таблица 10. Содержание сырого протеина в зерне сортов сои, %

Table 10. Content of crude protein in the grain of soybeans, %.

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	41,6	40,6	40,9	41,0
Красивая Меча	42,5	41,1	44,0	42,5
Ланцетная	41,0	39,5	39,8	40,1
Мезенка	39,6	39,6	38,8	39,3
Осмонь	39,9	38,6	37,8	38,8
Свапа	40,5	40,1	38,4	39,7
Шатиловская17	42,8	40,8	40,1	41,2
Л-216	43,0	39,3	41,7	41,3
Л-85	39,7	37,5	39,0	38,7
\bar{x}	41,2	39,7	40,1	
CV, %	3,0	3,0	5,0	

Таблица 11. Сбор сырого протеина с зерном, т/га

Table 11. Harvest of crude protein with grain, t/ha

Сорт	2017 г.	2018 г.	2019 г.	\bar{x}
Зуша	0,8	1,3	0,8	1,0
Красивая Меча	1,2	1,1	0,9	1,1
Ланцетная	1,1	1,2	0,7	1,0
Мезенка	0,9	1,5	0,6	1,0
Осмось	1,0	1,3	0,6	1,0
Свапа	1,0	1,2	0,7	1,0
Шатиловская17	0,9	1,4	0,7	1,0
Л-216	0,9	0,8	0,6	0,8
Л-85	0,8	1,4	1,0	1,1
\bar{x}	1,0	1,2	0,7	
CV, %	14,0	17,0	19,0	

Таблица 12. Сбор сырого протеина с зерном, т/га

Table 12. Correlation coefficients between

	2017 г.	2018 г.	2019 г.
урожаем надземной массы и			
площадью листьев	0,956	0,949	0,957
ФП	0,986	0,954	0,984
ЧПФ	0,750	0,267	0,870
массой клубеньков	0,583	0,759	0,817
колич. клубеньков	0,553	0,172	0,114
урожаем зерна и			
площадью листьев	-0,272	0,674	0,371
ФП	-0,309	0,687	0,442
ЧПФ	0,005	0,026	0,169
массой клубеньков	-0,337	0,763	0,592
колич. клубеньков	-0,312	0,449	-0,022

50 тыс. м²/га; в благоприятных условиях теплого с достаточной влагообеспеченностью года оптимальная площадь листьев увеличивается до 100 тыс. м²/га.

В благоприятных погодных условиях возрастает доля листьев и бобов в общей массе растения.

Адаптивные реакции пигментного комплекса заключаются в увеличении содержания хлорофилла b и каротиноидов в условиях засухи и избытка а солнечной радиации и каротиноидов при избыточном увлажнении и недостатке тепла и света.

ЛИТЕРАТУРА

- Сеферова И. В., Булах П. П. Результаты изучения образцов сои на Дальневосточной опытной станции ВИР в 1990-2017 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019; 180 (4): 59-65.
- Головина Е.В., Зотиков В.И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ. Орел: «Из-во Картуш». 2019. 318 с.
- Коломейченко В.В., Беденко В.П. Теория продукционного процесса растений и фитоценоза. *Вестник ОрелГАУ*. 2008: 17-21.
- Проворов Н.А., Онищук О.П. Эволюционно-генетиче-

Выделены две группы сортов: 1) скороспелые Ланцетная, Красивая Меча, Осмось, отличающиеся сбалансированным распределением пластических веществ в условиях избыточного увлажнения и формирующие урожай зерна на уровне 2,5–2,8 т/га; 2) среднеспелые Зуша, Мезенка, Л-85, в этих условиях образующие большую площадь листьев и массу клубеньков, что приводит к снижению зерновой продуктивности до 1,9–2,2 т/га. Скороспелые сорта Ланцетная и Красивая Меча обладают сбалансированным распределением пластических веществ и способны формировать высокий урожай как при избытке влаги и недостатке тепла, так и в засушливых условиях. Линия Л-85, отличающаяся высокими значениями фотосинтетических и симбиотических показателей, сформировала максимальный урожай сухого вещества (12,3 т/га) и зерна (2,8 т/га) в среднем за 3 года.

Интенсивность процессов накопления азота в растениях сортов сои особенно высока в условиях повышенной влажности по сравнению с благоприятными условиями вегетационного периода. Эффективная ассимиляционная деятельность листьев, активная азотфиксация клубеньковых бактерий приводят к усиленной аккумуляции азота в зерне. По количеству сырого протеина в зерне выделились сорта Красивая Меча (42,5%), Шатиловская 17 (41,2%) и линия Л-216 (41,3%); по сбору белка с

зерном, составляющим 1,1 т/га, — Красивая Меча и линия Л-85.

Между урожаем надземной массы и фотосинтетическим потенциалом и площадью листьев установлена высокая положительная корреляция на уровне $r = 0,8-0,9$; с массой клубеньков на уровне $r = 0,6-0,8$ за все 3 года исследований. Между зерновой продуктивностью и фотосинтетическими и симбиотическими показателями близкая взаимосвязь отмечена в благоприятном 2018 г. на уровне $r = 0,7-0,8$.

ские основы симбиотической инженерии растений: мини-обзор. *Сельскохозяйственная биология*. 2018. 53. (3): 464-474.

5. Румянцев М.Л. Клубеньковые бактерии: перспективы мониторинга симбиотических свойств и стрессоустойчивости с использованием генетических маркеров (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2019. 54. (5): 847-862.

6. Евдокимова О.А., Кумаков В.А. Сортные особенности накопления и распределения сухого вещества в растениях яровой мягкой пшеницы / О.А. Евдокимова, *Сельскохозяйственная биология*. 2002. - № 5. - С. 34-42.

7. Никольчев К.А., Банецкая Е. В. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои. *Земледелие*. 2020. 1: 11-14.

8. Епифанцев В. В., Панасюк А. Н., Осипов Я. А. и др. Влияние гербицидов на видовой состав сорняков и продуктивность посевов сои. *Земледелие*. 2020. 1: 22–26.

9. Гончарова Э.А. Изучение устойчивости и адаптации культурных растений к абиотическим стрессам на базе мировой коллекции генетических ресурсов: Научное наследие профессора Г.В. Удовенко / Под ред. А.А. Жученко – СПб.: ГНУ

ВИР. 2011. 336 с.

10. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами. Краснодар. Из-во: *ВНИИ МК им. В.С. Пустовойта*. 2010. 327 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: *Агропромиздат*. 1985. 351 с.

REFERENCES

1. Seferova I.V., Bulakh P.P. Rezul'taty izucheniya obraztsov soi na Dal'nevostochnoi opytnoi stantsii VIR v 1990-2017 gg. [Results of studying soybean samples at the Far Eastern Experimental Station VIR in 1990-2017.] *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii - Works on applied botany, genetics and breeding*. 2019; 180 (4): 59-65.

2. Golovina E.V., Zotikov V.I. Produktsionnyi protsess i adaptivnye reaktsii k abioticheskim faktoram sortov soi severnogo ekotipa v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona RF [Production process and adaptive responses to abiotic factors of soybean varieties of the northern ecotype in the Central Black Earth Region of the Russian Federation]. Orel: «Iz-vo Kartush» - "Kartush Publishing House". 2019. 318.

3. Kolomeichenko V.V., Bedenko V.P. Teoriya produktsionnogo protsessa rastenii i fitotsenoza [Theory of the production process of plants and phytocenosis]. *Vestnik OrelGAU - OrelGAU Bulletin*. 2008: 17-21.

4. Provorov N.A., Onishchuk O.P. Evolyutsionno-geneticheskie osnovy simbioticheskoi inzhenerii rastenii: mini-obzor [Evolutionary-genetic foundations of symbiotic plant engineering: mini-review]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2018. 53. (3): 464-474.

5. Rumyantseva M.L. Kluben'kovye bakterii: perspektivy monitoringa simbioticheskikh svoistv i stressoustoichivosti s ispol'zovaniem geneticheskikh markerov (obzor) [Nodule bacteria: prospects for monitoring symbiotic properties and stress resistance using genetic markers (review)]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2019. 54. (5): 847-862.

6. Evdokimova O.A., Kumakov V.A. Sortovye osobennosti nakopleniya i raspredeleniya sukhogo veshchestva v rasteniyakh yarovoi myagkoi pshenitsy [Varietal features of the accumulation and distribution of dry matter in spring soft wheat plants]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2002. - No. 5. - Pp. 34-42.

7. Nikul'chev K.A., Banetskaya E.V. Vliyaniye kul'tur sevooborota na mikrobiologicheskuyu aktivnost', agrofizicheskie svoystva pochvy i urozhainost' soi [Influence of crop rotation crops on microbiological activity, agrophysical soil properties and soybean yield]. *Zemledelie - Agriculture*. 2020. 1: 11-14.

8. Epifantsev V.V., Panasyuk A.N., Osipov Ya.A. et al. Vliyaniye gerbitsidov na vidovoi sostav sornyakov i produktivnost' posevov soi [The effect of herbicides on the species composition of weeds and the productivity of soybeans]. *Zemledelie - Agriculture*. 2020. 1: 22-26.

9. Goncharova E.A. Izuchenie ustoichivosti i adaptatsii kul'turnykh rastenii k abioticheskim stressam na baze mirovoi kolektsii geneticheskikh resursov: Nauchnoe nasledie professora G.V. Udoenko [Study of resistance and adaptation of cultivated plants to abiotic stresses on the basis of the global collection of genetic resources: Scientific heritage of Professor G.V. Udoenko]/ A.A. Zhuchenko ed. - SPb.: *GNU VIR Publ.* 2011. 336 p.

10. Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami [Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oilseeds]. Krasnodar. *Pustovoi VNIИ МК Publ.* 2010. 327 p.

11. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. Moscow. *Agropromizdat*. 1985. 351 p.

ОБ АВТОРАХ:

Головина Е.В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник;

Зеленов А.А., кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе

ABOUT THE AUTHORS:

Golovina E.V., Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher; **Zelenov A.A.**, Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research

