Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 16–25
The Agrarian Scientific Journal. 2024;(4):16–25

АГРОНОМИЯ
4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Научная статья
УДК 631.4:633.34
doi: 10.28983/asj.y2024i4pp16-25

Зеленоукосное направление в соеводстве в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья

Михаил Геннадьевич Загоруйко, Марина Евгеньевна Белышкина, Тамара Петровна Кобозева
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия, e-mail: vimsoya@yandex.ru

Аннотация. Приведена сравнительная оценка урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности семян и надземной биомассы (сырой и сухой) сои сортов северного экотипа в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья. Установлено, что урожайность семян сои сортов северного экотипа Магева, Светлая и Окская на темно-серых лесных почвах Центрального Нечерноземья в среднем составила 2,05 т/га, сбор кормовых единиц с урожаем – 2,75 т/га, содержание белка в семенах – 39,00 %, сбор белка – 0,79 т/га, сумма незаменимых аминокислот в белке – 59,43 %, сбор незаменимых аминокислот – 0,47 т/га, сумма критических аминокислот (лизин, метионин, триптофан) – 12,37 %, сбор критических аминокислот – 0,099 т/га. Урожайность сырой надземной биомассы в фазу полного налива семян – R6 достигала 19,0 т/га, сухой надземной биомассы – 5,63 т/га в 2,75 раза выше, чем урожай семян); сбор кормовых единиц с урожаем сухой надземной биомассы – 2,92 т/га (в 1,06 раза выше, чем с урожаем семян); содержание белка в сухой надземной биомассе – 16,5 % (в 2,36 раза ниже, чем в семенах), сбор белка – 0,93 т/га (в 1,21 раза больше, чем сбор белка с урожаем семян); сумма незаменимых аминокислот в белке сухой надземной биомассы не превышала 49,10 % и была в 1,20 раза ниже, чем в семенах. В результате сбор незаменимых аминокислот составил 0,45 т/га и был сопоставим со сбором аминокислот с урожаем семян; сумма критических аминокислот в белке не превышала 10,26 % (в 1,21 раза меньше, чем в белке семян) и сбор критических аминокислот (0,096 кг/га) был сопоставим с этим показателем в урожае семян. В пересчете на единицу массы в среднем по опыту в 1 т семян по сравнению с 1,00 т сухой надземной биомассы белка было больше в 2,36 раза, незаменимых аминокислот – в 2,85 раза, критических аминокислот – в 2,88 раза. Во все годы исследований сухая надземная биомасса имела преимущества по урожайности, по сбору кормовых единиц с 1 га, по сбору белка. По сбору незаменимых, критических аминокислот разница оказалась несущественной, то есть в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья сухая надземная биомасса сои сортов северного экотипа является таким же надежным кормовым средством, как и семена.

***Ключевые слова*:** соя; сорт; северный экотип; урожайность; кормовая единица; надземная сырая биомасса; надземная сухая биомасса; сырой белок; заменимые аминокислоты; незаменимые аминокислоты; критические аминокислоты

***Для цитирования*:** Загоруйко М. Г., Белышкина М. Е., Кобозева Т. П. Зеленоукосное направление в соеводстве в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья // Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 16–25. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp16-25.

AGRONOMY

Original article

The green-mowing direction in soybean production under the soil-moisture conditions in the Central Black Earth Region

Mikhail G. Zagoruyko, Marina E. Belyshkina, Tamara P. Kobozeva
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia, vimsoya@yandex.ru

Abstract. A comparative assessment of crop yield, protein content, feed value, and above-ground biomass (fresh and dry) of northern ecotype soybeans cultivars is given under the soil-moist conditions in the Central Black Earth Region. It was found out that, the yield of soybean seeds of the northern ecotype Mageva, Svetnaya and Okskaya cultivars in dark-gray forest soils of the Central Black Earth Region averaged 2.05 t/ha, the feed units per hundredweight of the yield after harvest, 2.75 t/ha, the protein content of seeds – 39.00%, protein

yield per hectare – 0.79 t, the ratio of essential amino acids of protein seed yield – 59.43 %, the amount of essential amino acids per hectare – 0.47 t, critical amino acid value of total amount (lysine, methionine, tryptophan) – 12.37 % , the amount of critical amino acids – 0.099 t/ha. The fresh above-ground biomass yield during the soybean full grain formation stage (R6) was 19.0 t/ha, the dry above-ground biomass yield was 5.63 t/ha (2.75 times higher than its value in the seed yield); the amount of fodder units of dry above-ground biomass yield was 2.92 t/ha (about 1.06 times higher than feed units in the seed yield); protein content in dry above-ground biomass – 16.5 % (2.36 times lower than its' value in seeds), protein yield per hectare – 0.93 t (1.21 times more than protein seed yield); the content of essential amino acids in protein, contained in dry above-ground biomass did not exceed 49.10 %, it was 1.20 times lower than its value in seeds, as a result, the amount of essential amino acids reached 0.45 t/ha, that was close to that of the seeds yield; the content of critical amino acids in the protein did not exceed 10.26% (1.21 times less than its value in seed protein). In other words, its value reached (0.096 kg/ha), that was close to that of the seeds yield. According to the experiment, the following mean values per unit mass, were obtained by comparing 1 ton of seeds with 1 ton of dry above-ground biomass: the protein value was higher 2.36 times, the value of essential amino acids – 2.85 times higher, the value of critical amino acids – 2.88 times higher in seeds than in dry above-ground biomass. In all the years of research, dry above-ground biomass had advantages in terms of yield, in the amount of feed units from 1 ha, in terms of protein yield. In terms of the amount of essential amino acids the difference turned out to be insignificant, that is, under the moisture conditions of the Central Non-Black Earth Region, the dry above-ground biomass of the northern ecotype soybean cultivars can be used as fodder just like seeds.Keywords: soybean, cultivar, northern ecotype, yield, feed unit, above-ground fresh biomass, above-ground dry biomass, crude protein,nonessential amino acids, essential amino acids, critical amino acids.

***For citation*:** Zagoruyko M. G., Belyshkina M. E., Kobozeva T. P. The green-mowing direction in soybean production under the soil-moisture conditions in the Central Black Earth Region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2024;(4):16–25. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i4pp16-25.

Введение. Треть населения планеты использует продукты на основе сои в рационе питания, а культуру выращивают на всех континентах. Нет ни одного государства, которое не было бы заинтересовано в ее возделывании. Дефицит белка в мире по разным источникам составляет около 30–35 млн т в год и продолжает увеличиваться в связи с ростом народонаселения планеты [7, 13, 18]. Содержание белка в зерне сои может достигать 57,0 % (в среднем 40,0 %), он превосходит стандарт ФАО/ВОЗ по биологической ценности, на 90,0 % состоит из легкорастворимых альбуминов и глобулинов, усваивается на 80,0–90,0 %, при этом дешевле не только белка животного происхождения, но и белка других бобовых культур [16, 20].

Возможность использования зерна сои на пищевые, кормовые, медицинские и технические цели выдвигает культуру на четвертое место в мире после пшеницы, кукурузы и риса и имеет важнейшее значение для стран с развитым многоотраслевым животноводством [8].

В мировом земледелии культурная соя (*Glycine max* (L.) Merr.) известна более 6 тысячелетий. Наибольшие площади под соей сосредоточены в США (28,0 %), Бразилии (26,0 %), Аргентине (14,0 %), Индии (8,0 %) и Китае (6,0 %), при этом около 40,0 % мировой сои (75,0 млн т в год) выращивают Соединенные Штаты Америки, что позволяет полностью решить проблему белка в стране и обеспечить значительный его экспорт [7, 13].

Современное соеводство России представляет собой динамично развивающуюся отрасль благодаря широкой интродукции культуры в разные регионы страны. Ежегодное производство зерна достигло 6,0 млн т. Получены и внесены в Государственный реестр селекционных достижений сорта сои северного экотипа для условий Центрального Нечерноземья группы спелости 000, хорошо адаптированные к факторам абиотического и биотического стресса. Эти сорта вызревают за 90–120 дней на широте 56° при сумме активных температур 1700–1900 °С, обеспечивая урожайность семян 2,0–3,0 т/га [9].

В соответствии с запросом отечественного животноводства, наряду с зерновым, начинает развиваться зеленоукосное направление использования сои. Актуальность его возрастает на северной границе соесеяния, которая вследствие глобального и локального потепления климата в последние четыре десятилетия существенно (на 200–250 км) сдвинулась в сторону высоких широт, увеличивая возможности отечественного соеводства [6, 17]. Несмотря на это, исследований по изучению белковой продуктивности, аминокислотного состава белка, кормовой ценности надземной биомассы сои в относительно новом регионе соесеяния крайне мало.

Цель исследований – провести сравнительную оценку урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности семян и надземной биомассы сои (сырой и сухой) сортов северного экотипа в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья.

Материалы и методы. Исследования проводили с 2019 по 2021 г. на экспериментальной базе Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», расположенного в Рязанском районе Рязанской области (с. Подвязье) в соответствии с апробированными общепринятыми методикам [10, 12, 14, 15]. Объектом исследования были сорта сои северного экотипа Магева, Светлая, Окская (оригинатор сортов – Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» и ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева).

Сорт Магева – полудетерминантного типа роста, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 1991 г., относится к маньчжурскому подвиду, группе спелости 000. Имеет компактный куст, устойчивый к полеганию стебель высотой 70–80 см с 2–3 боковыми побегами.

Сорт Светлая – полудетерминантного типа роста, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2000 г., относится к маньчжурскому подвиду, группе спелости 000. Имеет компактный куст, устойчивый к полеганию стебель высотой 60–70 см с 2–3 боковыми побегами.

Сорт Окская – индетерминантного типа роста, включен в Государственный реестр селекционных достижений в 1995 г., относится к маньчжурскому подвиду, группе спелости 000. Имеет компактный куст, устойчивый к полеганию стебель высотой 80–90 см с 2–3 боковыми побегами.

Почва опытного участка темно-серая лесная, тяжелосуглинистая; реакция почвенного раствора слабокислая, $pH_{сол.}$ 5,2; содержание гумуса – 5,8 % (по Тюрину); содержание подвижного P_2O_5 – 191,4 мг/кг (по Кирсанову), содержание обменного K_2O – 108,5 мг/кг (по Масловой); содержание азота: нитратного – 8,4 мг/кг [4], аммонийного – 1,57 мг/кг почвы [3].

За период исследований средняя сумма активных температур за вегетационный период составила 2167 °С, (максимальная – 2295 °С, минимальная – 2034 °С). Гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) в критический период водопотребления (от фазы начала цветения – R1 до фазы полного налива семян – R6) варьировал от 0,9–1,4. Это, по мнению В.Б. Енкена, обобщившего многолетние исследования других авторов, изучавших реакцию сои на влагообеспеченность, означает оптимальные для культуры условия увлажнения и позволяет получать в Центральном Нечерноземье урожай семян сои более 2,00 т/га. Согласуется это и с нашими исследованиями предыдущих лет [1, 5, 11].

Агротехника, применяемая в опыте, общепринятая для зоны возделывания: срок посева – первая декада мая, способ посева – широкорядный с междурядьем 45 см, норма высева – 500 тыс. всхожих семян/га, площадь делянок – 30 м^2, повторность четырехкратная, размещение вариантов рендомизированное. Перед посевом семена инокулировали препаратом клубеньковых бактерий *Rhizobium japonicum* НИТРАГИН КМ, СП. Фазы развития фиксировали в соответствии со шкалой микрофаз, разработанной W.R. Fehr, C.E. Caviness [2, 19].

Продуктивность агроценоза определяли методом учетных площадок: урожайность семян – в фазу полной спелости – R8, надземной биомассы – в фазу максимального ее накопления, то есть в фазу полного налива семян – R6.

Биохимический анализ надземной биомассы и семян проводили на установке NIR-42 в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои (г. Благовещенск).

Результаты исследований. Исследования показали, что в среднем по опыту продолжительность вегетационного периода у сортов сои северного экотипа составила 103 дня при сумме активных температур 2163 °С (таблица 1). Наименьшей она была у сорта Светлая (93 дня при сумме активных температур 2130 °С), наибольшей – у сорта Окская (109 дней при сумме активных температур 2295 °С). Сорт Магева занял промежуточное положение (103 дня при сумме активных температур 2167 °С).

Сорт Светлая характеризовался наименьшей высотой главного стебля (73 см) и наименьшей высотой крепления нижних бобов (12 см). Самым высокорослым из изучаемых сортов оказался сорт Окская (высота главного стебля – 84 см при высоте крепления нижних бобов 15 см), сорт Магева по всем приведенным показателям занимал промежуточное положение (высота 75 см при высоте крепления нижних бобов 14 см).

Таблица 1 – Морфо-биологическая характеристика сортов сои северного экотипа, полевой опыт (в среднем за три года)

Table 1 – Morpho-biological characteristics of soybean varieties of the northern ecotype, field experience (on average over three years)

Показатель	Сорт			В среднем по сортам	$НСР_{05}$
	Магева	Светлая	Окская		
Продолжительность вегетационного периода, дней	103	97	109	103	5,2
Сумма активных температур за вегетационный период, °С	2173	2034	2295	2167	108
Высота растений, см	75	73	84	77	3,9
Высота крепления нижнего боба, см	14	12	15	14	0,7
Максимальная площадь листьев, тыс. $м^2$/га	26,6	27,6	28,1	27,5	1,4
ФСП, тыс. $м^2$ × дней/га	1370	1339	1531	1413	71

Самый позднеспелый и высокорослый сорт Окская сформировал максимальную площадь листовой поверхности (28,1 тыс. $м^2$/га) и самый большой фотосинтетический потенциал (ФСП) – 1531 тыс. $м^2$ × дней/га, сорта Магева и Светлая достоверно уступали ему по этим показателям.

Установлено, что в среднем по опыту урожайность семян сои составила 2,05 т/га, сбор кормовых единиц с урожаем семян – 2,75 т/га, содержание белка в семенах – 39,00 %, сбор белка – 0,79 т/га, сбор незаменимых аминокислот – 0,47 т/га, в том числе критических (лизин, метионин, триптофан) – 0,099 т/га.

Урожайность надземной биомассы в фазу максимального ее накопления, то есть в фазу полного налива семян – R6 достигала следующих значений: сырая – 19,0 т/га, сухая – 5,63 т/га, сбор кормовых единиц с урожаем надземной биомассы – 2,92 т/га. Содержание белка равнялось 16,50 %, сбор белка – 0,93 т/га, незаменимых аминокислот – 0,45 т/га, в том числе критических – 0,096 кг/га (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности семян (в числителе) и надземной биомассы (в знаменателе) у сортов сои северного экотипа, т/га, полевой опыт (в среднем за три года)

Table 2 – Indicators of yield, protein productivity and feed value of seeds (in the numerator) and above-ground biomass (in the denominator) for soybean varieties of the northern ecotype, t/ha, field experience (on average for three years)

Показатель	Сорт			В среднем по сортам	$НСР_{05}$ сортов	$НСР_{05}$ средн. частных
	Магева	Светлая	Окская			
Урожайность сырой надземной биомассы, т/га	18,1	19,3	19,6	19,0	0,95	–
Урожайность, т/га	1,97 5,29	2,01 5,66	2,18 5,93	2,05 5,63	0,10 0,28	0,19
Сбор кормовых единиц с урожаем, т/га	2,63 2,75	2,69 2,94	2,92 3,08	2,75 2,92	0,14 0,14	0,15
Содержание белка, % АСВ	38,0 16,8	40,1 16,6	38,9 16,2	39,0 16,5	1,95 0,82	–
Сбор белка с урожаем, т/га	0,75 0,89	0,80 0,94	0,85 0,96	0,79 0,93	0,04 0,04	0,05
Содержание незаменимых аминокислот в белке, %	59,36 49,10	58,85 47,77	60,12 50,79	59,43 49,21	2,97 2,46	–
Сбор незаменимых аминокислот с урожаем, т/га	0,44 0,43	0,47 0,45	0,51 0,48	0,47 0,45	0,02 0,02	0,03
Содержание заменимых аминокислот в белке, %	40,64 50,90	41,15 52,23	39,88 49,22	40,57 50,79	2,02 2,54	–
Сбор заменимых аминокислот с урожаем, т/га	0,30 0,45	0,32 0,49	0,34 0,47	0,32 0,47	0,02 0,03	0,04
Содержание критических аминокислот в белке, %	12,37 10,26	12,35 10,03	12,73 10,78	12,49 10,36	0,62 0,52	–
Сбор критических аминокислот с урожаем, т/га	0,092 0,091	0,097 0,095	0,108 0,103	0,099 0,096	0,006 0,006	0,006

Во все годы исследований сухая надземная биомасса имела преимущества по урожайности (5,63 т/га – с урожаем сухой надземной биомассы и 2,05 т/га с урожаем семян, разница составила 3,58 т/га при $НСР_{05}$ средних частных = 0,19 т/га); по сбору кормовых единиц с 1 га (2,92 и 2,75 т/га соответственно, разница составила 0,17 т/га при $НСР_{05}$ средних частных = 0,15 т/га); по сбору белка (0,93 и 0,79 т/га соответственно, разница составила 0,14 при $НСР_{05}$ средних частных = 0,05 т/га).

По сбору незаменимых аминокислот (0,47 т/га с урожаем сухой надземной биомассы и 0,45 т/га с урожаем семян, разница 0,02 т/га при $НСР_{05}$ средних частных = 0,03 т/га), критических аминокислот (0,096 и 0,099 т/га, разница 0,003 при $НСР_{05}$ средних частных = 0,01 т/га) различия оказались несущественными. Сухая надземная биомасса при меньшем содержании в ней белка (в биомассе – 16,50 %, в семенах 39,00 %), меньшем содержании в белке суммы незаменимых аминокислот (в биомассе 49,21 %, в семенах 59,43 %), меньшем содержании в белке критических аминокислот (в биомассе 10,36 %, в семенах 12,49 %) за счет более высокой урожайности не уступает семенам по выходу с единицы площади кормовых единиц, белка, незаменимых и критических аминокислот.

В ходе исследований установлено достоверное превосходство индетерминантного, более позднеспелого сорта Окская (при меньшем содержании белка, как в семенах, так и в надземной биомассе) по всем приведенным показателям: урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности, как семян, так и надземной биомассы. Это возможно за счет более продолжительного периода вегетации по сравнению с полудетерминантными сортами Магева и Окская, высокорослости, большей площади листовой поверхности и более высокого показателя фотосинтетического потенциала посева (см. таблицу 2).

Исследования показали, что аминокислотный состав белка семян и надземной биомассы, убранной в фазу полного налива семян – R6, неодинаков (таблица 3, рисунок 1). В белке семян по сравнению с белком надземной биомассы наблюдалось более высокое содержание каждой из незаменимых аминокислот и менее высокое содержание заменимых аминокислот. Тенденция сохранялась у всех сортов и отчетливо выражалась в среднем по сортам. При этом соотношение сумм незаменимых и заменимых аминокислот составило в среднем по опыту 1,46, варьируя по сортам от 1,43 (сорт Светлая) до 1,51 (сорт Окская).

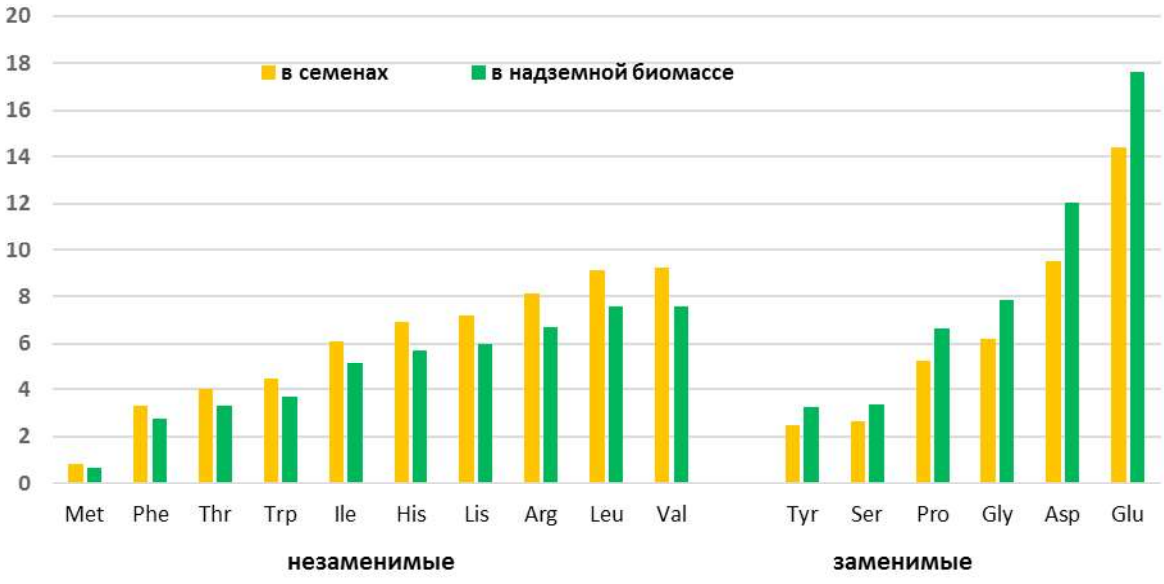


Рисунок 1 – Содержание незаменимых и заменимых аминокислот в белке семян и надземной биомассы сои, % АСВ, в среднем по опыту

Figure 1 – Content of essential and non-essential amino acids in the protein of seeds and above-ground biomass of soybean, % DIA, on average according to experience

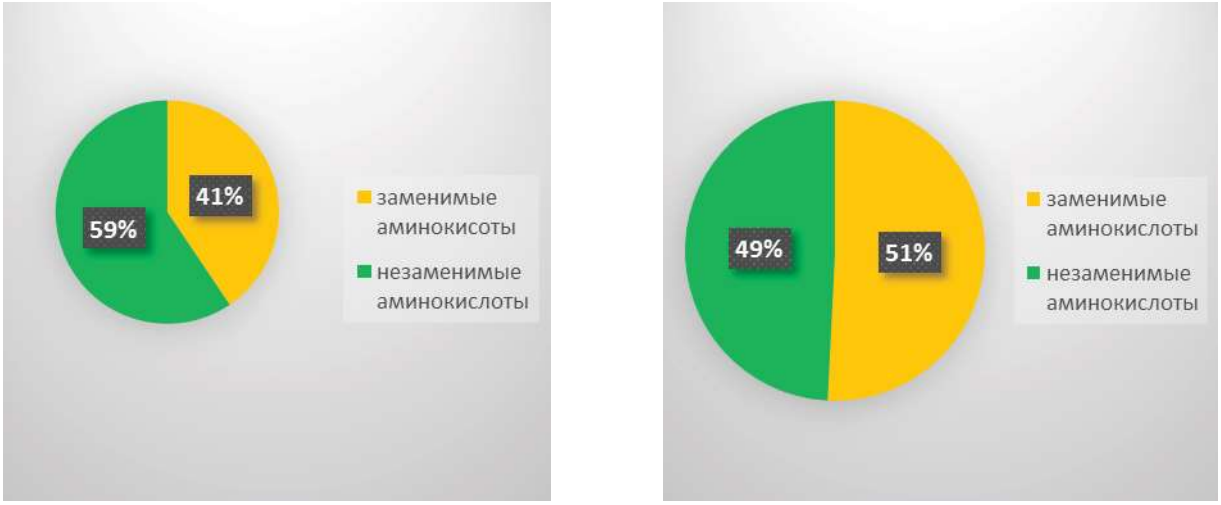
В белке надземной биомассы, наоборот, наблюдалось более высокое содержание каждой из заменимых аминокислот и менее высокое содержание незаменимых аминокислот (см. таблицу 3, рисунок 1). Соотношение сумм незаменимых и заменимых аминокислот составило

Таблица 3 – Содержание незаменимых, заменимых и критических аминокислот в белке семян (в числителе) и надземной биомассы (в знаменателе) сои сортов северного экотипа, % (в среднем за три года)

Table 3 – Content of essential, non-essential and critical amino acids in seed protein (in the numerator) and above-ground biomass (in the denominator) of soybean varieties of the northern ecotype, % (average for three years)

Показатель	Сорт			В среднем по сортам
	Магева	Светлая	Окская	
Незаменимые аминокислоты				
Валин (Val)	9,24 7,62	9,22 7,47	9,15 7,73	9,20 7,61
Лейцин (Leu)	9,24 7,64	8,92 7,25	9,26 7,82	9,14 7,57
Аргинин (Arg)	8,22 6,78	7,79 6,31	8,31 7,00	8,11 6,70
Лизин (Lis)	7,19 5,95	7,13 5,80	7,31 6,20	7,21 5,98
Гистидин (His)	6,78 5,61	7,06 5,70	6,96 5,87	6,93 5,98
Изолейцин (Ile)	6,13 5,08	6,25 5,12	6,35 5,37	6,21 5,98
Триптофан(Trp)	4,37 3,63	4,35 3,51	4,62 3,88	4,45 3,67
Треонин (Thr)	4,01 3,31	3,98 3,25	4,01 3,39	4,00 3,32
Фенилаланин (Phe)	3,38 2,80	3,28 2,64	3,32 2,83	3,33 2,76
Метионин (Met)	0,81 0,68	0,87 0,72	0,80 0,70	0,82 0,70
Сумма незаменимых	59,36 49,10	58,85 47,77	60,12 50,79	59,43 49,21
Сумма критических (лизин, метионин, триптофан)	12,37 10,26	12,35 10,03	12,73 10,78	12,49 10,36
Заменимые аминокислоты				
Глутаминовая (Glu)	14,47 17,74	14,57 17,80	14,17 17,32	14,40 17,62
Аспараниновая (Asp)	9,42 12,12	9,67 12,37	9,48 11,66	9,53 12,05
Глицин (Gly)	6,24 7,68	6,42 8,59	5,90 7,37	6,19 7,88
Пролин (Pro)	5,31 6,67	5,36 6,80	5,21 6,42	5,29 6,63
Серин (Ser)	2,71 3,46	2,64 3,36	2,60 3,29	2,66 3,37
Тирозин (Tyr)	2,49 3,23	2,49 3,31	2,52 3,15	2,50 3,23
Сумма заменимых	40,64 50,90	41,15 52,23	39,88 49,22	40,57 50,79
Отношение незаменимых к заменимым	1,46 0,96	1,43 0,91	1,51 1,03	1,46 0,97

в среднем по опыту 0,97, варьируя по сортам от 0,91 (сорт Светлая) до 1,03 (сорт Окская). При этом в белке семян содержание незаменимых аминокислот в среднем составляло около 59,43 %, в белке надземной биомассы – 49,21 %, то есть в 1,20 раза меньше. В целом это означает, что в белке семян преобладают незаменимые аминокислоты, в то время как в белке надземной биомассы заменимых и незаменимых аминокислот примерно поровну (рисунок 2).



а *б*

Рисунок 2 – Соотношение незаменимых и заменимых аминокислот: а – в белке семян; б – в белке надземной биомассы, в среднем по опыту

Figure 2 – The ratio of essential and non-essential amino acids: a – in seed protein; b – in the protein of above-ground biomass, on average according to experience

Результаты исследований по сбору аминокислот (незаменимых, критических и заменимых) с урожаем семян и надземной биомассы представлены также в таблице 4 и на рисунке 3.

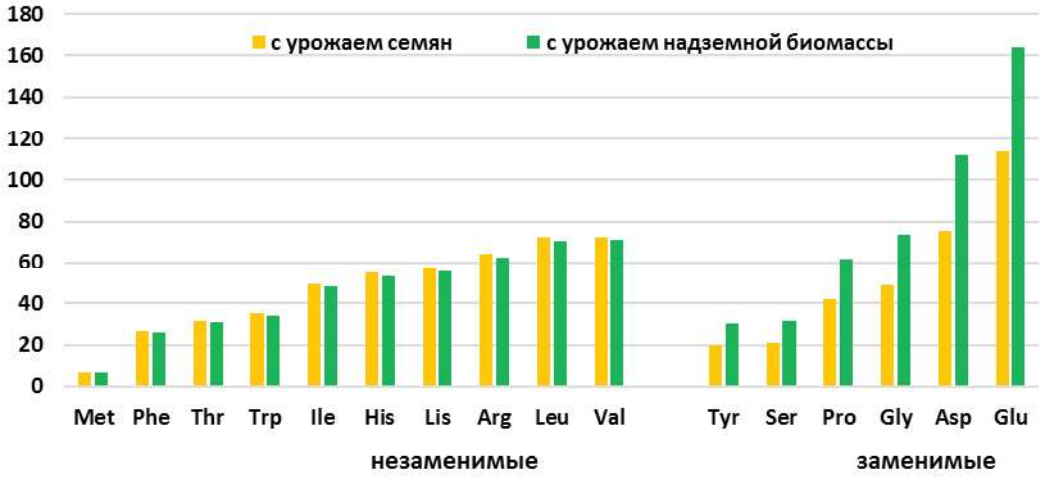


Рисунок 3 – Сбор незаменимых и заменимых аминокислот с урожаем семян и надземной биомассы сои сортов северного экотипа, кг/га, в среднем по опыту

Figure 3 – Collection of essential and non-essential amino acids with the yield of seeds and above-ground biomass of soybean varieties of the northern ecotype, kg/ha, on average according to experience

Прослеживается тенденция (у всех сортов и в среднем по опыту), что сбор каждой из незаменимых аминокислот с урожаем семян был выше, чем с урожаем сухой надземной биомассы. Достоверно выше была сумма незаменимых аминокислот (0,47 т/га) по сравнению с заменимыми (0, 32 т/га) при разнице 0,15 т/га ($НСР_{05}$ средних частных 0,06 т/га). Однако сбор белка с урожаем семян (0,79 т/га) был достоверно меньше (на 0,24 т/га) сбора белка с урожаем сухой надземной биомассы и составил 0,93 т/га ($НСР_{05}$ средних частных 0,05 т/га).

В пересчете на единицу массы в среднем по опыту было получено с 1 т семян: белка – 0,39 т (при его содержании в семенах 39,00 %), незаменимых аминокислот – 0,23 т (при их содержании в белке 59,36 %), критических аминокислот – 0,049 т (при их содержании в белке 12,49 %).

Таблица 4 – Сбор незаменимых, заменимых и критических аминокислот в белке семян (в числителе) и надземной биомассы (в знаменателе) сои сортов северного экотипа, кг/га (в среднем за три года)

Table 4 – Collection of essential, non-essential and critical amino acids in seed protein (in the numerator) and above-ground biomass (in the denominator) of soybean varieties of the northern ecotype, kg/ha (on average for three years)

Показатель	Сорт			В среднем по сортам	$НСР_{05}$ по амнокислотам
	Магева	Светлая	Окская		
Незаменимые аминокислоты					
Валин (Val)	68,5 67,8	72,7 70,6	76,6 74,1	72,6 70,8	4,4 4,2
Лейцин (Leu)	68,4 67,9	70,3 68,5	78,6 74,9	72,4 70,5	4,4 4,3
Аргинин (Arg)	61,0 60,3	61,9 59,6	70,6 67,1	64,5 62,4	3,9 3,7
Лизин (Lis)	53,3 52,9	56,2 54,8	62,1 59,5	57,2 55,7	3,4 3,3
Гистидин (His)	50,3 49,9	55,7 53,9	59,1 56,3	55,0 53,3	3,3 3,2
Изолейцин (Ile)	45,5 45,2	49,3 48,4	53,9 51,5	49,6 48,3	3,0 2,9
Триптофан (Trp)	32,4 32,3	34,3 33,2	39,2 37,2	35,3 34,2	2,1 2,1
Треонин (Thr)	29,7 29,4	31,4 30,7	34,0 32,5	31,7 30,9	1,9 1,8
Фенилаланин (Phe)	25,1 24,9	25,8 24,9	28,1 27,1	26,3 25,7	1,6 1,5
Метионин (Met)	6,0 6,0	6,8 6,8	6,9 6,7	6,6 6,5	0,4 0,4
Сумма незаменимых аминокислот	440,2 436,5	463,9 451,4	510,1 486,9	471,2 458,3	28,3 27,5
Сумма критических (лизин, метионин, триптофан)	91,7 91,2	97,3 94,8	108,2 103,4	99,1 96,4	5,9 5,7
Заменимые аминокислоты					
Глутаминовая (Glu)	107,3 157,9	114,8 168,2	120,2 166,1	114,1 164,0	6,8 9,8
Аспараниновая (Asp)	69,8 107,8	76,2 116,9	80,4 111,8	75,5 112,2	4,5 6,7
Глицин (Gly)	46,3 68,3	50,6 81,2	50,1 70,7	49,0 73,4	2,9 4,4
Пролин (Pro)	39,4 59,3	42,2 64,2	44,2 61,6	41,9 61,6	2,5 3,7
Серин (Ser)	20,1 30,8	20,8 31,7	22,1 31,5	21,0 31,4	1,3 1,9
Тирозин (Tyr)	18,4 28,7	19,6 31,2	21,4 30,2	19,8 30,1	1,2 1,8
Сумма заменимых	301,3 452,8	324,3 493,4	338,4 471,9	321,3 472,7	19,3 28,4
Сумма заменимых и незаменимых аминокислот	741,5 889,4	788,3 944,8	848,5 958,8	792,6 931,0	47,5 55,9

С 1,00 т сухой биомассы получено белка 0,17 т (при его содержании 16,5 %), незаменимых аминокислот – 0,08 т (при их содержании в белке 49,21 %), критических аминокислот – 0,017 т (при их содержании в белке 10,36 %). Таким образом, в 1 т семян по сравнению с 1,00 т сухой надземной биомассы белка было больше в 2,36 раза, незаменимых аминокислот – в 2,85 раза, критических аминокислот – в 2,88 раза. Однако за счет более высокой урожайности сухая надземная биомасса не уступает семенам по выходу с единицы площади сухого вещества, кормовых единиц, белка, незаменимых и критических аминокислот.

Заключение. Проведена сравнительная оценка сои сортов северного экотипа по урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности семян и надземной биомассы (сырой и сухой) в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья. Она показала, что в среднем по опыту урожайность семян составила 2,05 т/га, сбор кормовых единиц с урожаем семян – 2,75 т/га, содержание белка в семенах – 39,0 %, сбор белка – 0,80 т/га, сбор незаменимых аминокислот – 0,47 т/га, в том числе критических (лизин, метионин, триптофан) – 0,099 т/га. Урожайность надземной биомассы в фазу полного налива семян – R6: сырой – 19,0 т/га, сухой – 5,63 т/га, сбор кормовых единиц с урожаем надземной биомассы – 2,92 т/га, содержание белка – 16,5 %, сбор белка – 0,93 т/га, незаменимых аминокислот – 0,45 т/га, в том числе критических – 0,096 кг/га.

Во все годы исследований сухая надземная биомасса имела преимущества по урожайности, по сбору кормовых единиц с 1 га, по сбору белка. По сбору незаменимых, критических аминокислот различия оказались несущественными. То есть сухая надземная биомасса при меньшем содержании в ней белка, меньшем содержании в белке суммы незаменимых аминокислот, критических аминокислот за счет более высокой урожайности не уступала семенам по выходу с единицы площади кормовых единиц, белка, незаменимых и критических аминокислот.

Установлено, что белок семян отличается от белка надземной биомассы по аминокислотному составу. В белке семян содержание незаменимых аминокислот в среднем составляет около 59,36 %, в белке надземной биомассы – 49,21 %, то есть в 1,20 раза больше. В 1 т семян по сравнению с 1,00 т сухой надземной биомассы белка было больше в 2,36 раза, незаменимых аминокислот – в 2,85 раза, критических аминокислот – в 2,88 раза.

За счет более высокой (в 2,75 раза) урожайности сухая надземная биомасса является надежным кормовым средством, не уступая семенам по выходу с 1 га сухого вещества, кормовых единиц, белка, незаменимых и критических аминокислот. Это оправдывает ее использование в отечественном кормопроизводстве при возделывании сортов сои северного экотипа в условиях влагообеспеченности Центрального Нечерноземья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом / М. Е. Белышкина [и др.] // Природообустройство. 2023. № 2. С. 43–51.

2. Гатаулина Г. Г., Соколова С. С., Белышкина М. Е. Системный подход к анализу динамических характеристик продукционного процесса у зерновых бобовых культур // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 2. С. 69–95.

3. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Государственный комитет по стандартам. М.: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 1985.

4. ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом / Государственный комитет по стандартам. М.: Изд-во стандартов, 1986.

5. Гришин А. П., Гришин А. А., Семенова Н. А. Способ контроля продуктивности растения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 2. С. 69–74.

6. Гуреева Е. В. Влияние гидротермических условий на урожайность семян сои в условиях Рязанской области // Земледелие. 2018. № 7. С. 34–35.

7. Дайджест «Зерновые»: Минсельхоз России с 2022 года запустит систему прослеживаемости зерна [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://specagro.ru/analytics/202110/daydzhest-zernovye-minselkhoz-rossii-s2022-goda-zapustit-sistem.

8. Делаев У. А., Кобозева Т. П., Синеговская В. Т. Возделывание скороспелых сортов сои. М.: ВГБОУ ВПО МГАУ, 2012. 216 с.

9. Дорохов А. С., Белышкина М. Е. Агроклиматическая характеристика регионов Нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 34–39.

10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Колос, 1979. 416 с.

11. Енкен В. Б. Соя. М.: Сельхозгиз, 1959. 622 с.

12. Посыпанов Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха (методы проведения лабораторных, вегетационных и полевых опытов). М.: Агропромиздат, 1991. 300 с.

13. Продовольственная безопасность 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vomo.tpprf.ru/ru/news/349446.

14. Ракутько С. А., Ракутько Е. Н., Медведев Г. В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 2. С. 40–48.

15. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. 116 с.

16. Шевченко В. А., Кобозева Т. П., Попова Н. П. Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья. М.: Изд-во ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2018. 204 с.

17. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D., Bashmakov I., Rybalkin D., Romanovskaya A. Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. 610 p.

18. Eilenstein F., Lana M., Tauschke M., Berend A., Sheugen A., Shlindwein S., Guevara E., Meira S. Soybean yield trends under climate change scenarios // Horticulture. 2017. Vol. 3. No. 1. P. 10.

19. Faruk M., Nadim F., Ullah A., Siddiq K. H. M., Algamdi S. S., Gogoi N., Nayyar H. Thermal stress in leguminous crops during the period of reproduction and filling of grain // Science of crop production and pastures. 2017. Vol. 68. No. 10–11. P. 985–1005.

20. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive influence of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybeans // Physiology and molecular biology of plants. 2019. Vol. 25. No. 3. P. 667–681.

REFERENCES

1. The influence of moisture supply conditions on the yield and feed value of soybeans with symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition / M. E. Belyshkina, M. G. Zagoruiko, T. P. Kobozeva, T. V. Ananyeva, N. P. Popova. *Environmental Management*. 2023;(2):43–51. (In Russ.).

2. Gataulina G. G., Sokolova S .S., Belyshkina M. E. A systematic approach to the analysis of dynamic characteristics of the production process in grain legumes. *Izvestiya Timiryazevskaya Agricultural Academy*. 2014;(2):69–95. (In Russ.).

3. GOST 26489-85 Soils. Determination of exchangeable ammonium by the TSINAO method. State Committee on Standards. Moscow: Order of the Badge of Honor Publishing House of Standards, 1985. (In Russ.).

4. GOST 26951-86. Soils. Determination of nitrates by the ionometric method. State Committee on Standards. M.: Order of the Badge of Honor, Publishing House of Standards; 1986. (In Russ.).

5. Grishin A. P., Grishin A. A., Semenova N. A. Method of plant productivity control. *Agricultural Machinery and Technology*. 2021;15(2):69–74. (In Russ.).

6. Gureeva E. V. Influence of hydrothermal conditions on soybean seed yield in the Ryazan region. *Agriculture*. 2018;(7):34–35. (In Russ.).

7. Digest «Grain»: The Ministry of Agriculture of Russia will launch a grain traceability system from 2022 [Electronic resource]. Working hours: https://specagro.ru/analytics/202110/daydzhest-zernovye-minselkhoz-rossii-s2022-goda-zapustit-sistem. (In Russ.).

8. Delaev U. A., Kobozeva T. P., Sinegovskaya V. T. Cultivation of precocious soybean varieties. Moscow: VGBOU VPO MGAU; 2012. 216 p. (In Russ.).

9. Dorokhov A. S., Belyshkina M. E. Agro-climatic characteristics of the regions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and assessment of suitability for cultivation of modern early-ripening soybean varieties. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;3(55):34–39. (In Russ.).

10. Dospekhov B. A. Methodology of field experience with the basics of statistical processing of research results. M.: Kolos; 1979. 416 p. (In Russ.).

11. Enken V. B. Soy. M.: Selhozgiz; 1959. 622 p. (In Russ.).

12. Posypanov G. S. Methods of studying the biological fixation of air nitrogen (methods of laboratory, vegetation and field experiments). M.: Agropromizdat; 1991. 300 p. (In Russ.).

13. Food security 2020 [Electronic resource]. Access mode: https://vomo.tpprf.ru/ru/news/349446. (In Russ.).

14. Rakutko S. A., Rakutko E. N., Medvedev G. V. Development of an experimental phytotron and its application in research on the energy ecology of light culture. *Agricultural Machines and Technologies.* 2023;17(2):40–48. (In Russ.).

15. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T., Kobozeva T. P. Research methods in field experiments with soybeans. Blagoveshchensk: FSBI All-Russian Research Institute of Soybeans; 2016. 116 p. (In Russ.).

16. Shevchenko V. A., Kobozeva T. P., Popova N. P. Optimization of the feed value of corn and soy silage on reclaimed lands of the Non-Chernozem region. M.: Publishing house of FSBI «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; 2018. 204 p. (In Russ.).

17. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D., Bashmakov I., Rybalkin D., Romanovskaya A. Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties. *Agronomy*. 2023;13(2):610.

18. Eilenstein F., Lana M., Tauschke M., Berend A., Sheugen A., Shlindwein S., Guevara E., Meira S. Soybean yield trends under climate change scenarios. *Horticulture*. 2017;3(1):10.

19. Faruk M., Nadim F., Ullah A., Siddiq K.H.M., Algamdi S.S., Gogoi N., Nayyar H. Thermal stress in leguminous crops during the period of reproduction and filling of grain. *Science of crop production and pastures*. 2017;68(10–11): 985–1005.

20. Jumrani K., Bhatia V. S. Interactive influence of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybeans. *Physiology and Molecular Biology of Plants.* 2019;25(3):667–681.

Статья поступила в редакцию 25.02.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 29.03.2024.
The article was submitted 25.02.2024; approved after reviewing 15.03.2024; accepted for publication 29.03.2024.