

doi:10.18286/1816-4501-2025-2-6-13

УДК 633.34

Применение орошения в технологиях соеводства

М. Е. Бельшкина✉, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и оборудования для переработки продукции растениеводства

Т. П. Кобозева, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и оборудования для переработки продукции растениеводства

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

✉ bely-mari@yandex.ru

Резюме. Приведены результаты трехлетних исследований по влиянию орошения мелкокапельным дождеванием (диаметр капель менее 1,0 мм) с интенсивностью дождя 5...7 мм/час с применением установки ДМ «Фрегат» при нормах полива 900...1100 м³/га, обеспечившей влажность корнеобитаемого слоя не ниже 70 % ППВ, на урожайность, белковую, масличную продуктивность и кормовую ценность семян сои северного экотипа сортов Магева, Светлая, Окская на темно-серых лесных почвах Центрального Нечерноземья в годы с дефицитом влаги в критический период водопотребления при величине гидротермического коэффициента увлажнения (ГТК) Селянинова Г.Т. – 0,7...0,8. Орошение оказало существенное влияние на урожайность семян и выход кормовых единиц. Средний за годы исследований урожай семян изучаемых сортов составил без орошения – 1,30 т/га, с орошением – 3,02 т/га, то есть был в 2,33 раза больше; сбор кормовых единиц с урожаем без орошения не превышал 1,74 т/га, с орошением – 4,06 т/га, то есть был больше на 2,32 т/га или в 2,32 раза. При этом наблюдали существенное увеличение белковой продуктивности: содержание белка в семенах без орошения составило 40,2 %, с орошением – 42,6 % (больше на 2,2 %); сбор белка – без орошения – 525 кг/га, с орошением – 1275 кг/га (больше на 750 кг/га или в 2,43 раза); сбор незаменимых аминокислот в белке – без орошения – 322 кг/га, с орошением – 766 кг/га (больше на 444 кг/га или 2,37 раза); сбор критических аминокислот (лизин, метионин, триптофан) – без орошения – 63 кг/га, с орошением – 158 кг/га (на 95 кг/га или в 2,51 больше). Орошение оказало положительное влияние и на масличную продуктивность сортов. Не смотря на то, что показатели содержания жира при орошении были ниже на 1,3 % (без орошения – 20,2 %, с орошением – 18,9 %), сбор жира в вариантах с орошением составил 571 кг/га и оказался на 300 кг/га больше, чем в варианте без орошения (271 кг/га), то есть в 1,94 раза больше. При этом 1 м³ поливной воды окупался прибавкой урожая 1,62 кг, прибавкой кормовых единиц – 2,20 кг, белка 0,71 кг, незаменимых аминокислот – 0,44 кг, критических аминокислот – 0,09 кг, жира – 0,29 кг.

Ключевые слова: соя, сорт, северный экотип, урожайность, орошение, поливная норма, кормовая единица, сырой белок, заменимые аминокислоты, незаменимые аминокислоты, критические аминокислоты.

Для цитирования: Бельшкина М. Е., Кобозева Т. П. Применение орошения в технологиях соеводства // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №2 (70). С. 6-13. doi:10.18286/1816-4501-2025-2-6-13

Application of irrigation in soybean cultivation technologies

М. Е. Belyshkina✉, **T. P. Kobozeva**

FSBSI Federal Scientific Agroengineering Center VIM

109428, Moscow, 1st Institutsky dr., 5

✉ bely-mari@yandex.ru

Abstract. The article presents results of the three-year studies on the effect of fine-droplet sprinkling irrigation (drop diameter less than 1.0 mm) with a rain intensity of 5–7 mm/hour using the DM Fregat installation at irrigation rates of 900–1100 m³/ha, which ensured the moisture content of the root zone of at least 70% of the maximum permissible water content, on the yield, protein, oil productivity and feed value of northern ecotype soybean seeds of Mageva, Svetlaya, Okskaya varieties on dark gray forest soils of the Central Non-Black Soil Region in years with moisture deficiency during the critical period of water consumption at the Selyaninov G.T. hydrothermal moisture coefficient (HMC) of 0.7–0.8. Irrigation had a significant effect on seed yield and feed unit output. The average seed yield of the studied varieties over the years of research was 1.30 t/ha without irrigation, and 3.02 t/ha with irrigation, i.e. 2.33 times more; the feed units without irrigation did not exceed 1.74 t/ha, and with irrigation – 4.06 t/ha, i.e. 2.32 t/ha or 2.32 times more. At the same time, a significant increase in protein productivity was observed: the protein content in seeds without irrigation

was 40.2%, and with irrigation – 42.6% (2.2% more); protein yield – without irrigation – 525 kg/ha, with irrigation – 1275 kg/ha (750 kg/ha or 2.43 times more); yield of essential amino acids in protein - without irrigation - 322 kg / ha, with irrigation - 766 kg / ha (444 kg / ha or 2.37 times more); yield of critical amino acids (lysine, methionine, tryptophan) - without irrigation - 63 kg / ha, with irrigation - 158 kg / ha (95 kg / ha or 2.51 more). Irrigation also had a positive effect on the oilseed productivity of the varieties. Despite the fact that the fat content with irrigation was 1.3% lower (without irrigation - 20.2%, with irrigation - 18.9%), the fat content in the variants with irrigation was 571 kg / ha and it was 300 kg / ha higher than in the variant without irrigation (271 kg / ha), that is, 1.94 times more. In this case, 1 m³ of irrigation water paid off with an increase in yield of 1.62 kg, an increase in feed units of 2.20 kg, protein of 0.71 kg, essential amino acids of 0.44 kg, critical amino acids of 0.09 kg, and fat of 0.29 kg.

Keywords: soybean, variety, northern ecotype, yield, irrigation, irrigation rate, feed unit, crude protein, replaceable amino acids, essential amino acids, critical amino acids.

For citation: Belyshkina M. E., Kobozeva T. P. Application of irrigation in soybean cultivation technologies // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;2(70): 6-13 doi:10.18286/1816-4501-2025-2-6-13

Введение

Интерес к сое во всем мире продолжает увеличиваться, благодаря высокому содержанию в её семенах белка (около 40,0 %), превосходящего стандарт ФАО/ВОЗ по биологической ценности, и жира (около 20,0 %), соответствующего этому стандарту, а также благодаря высокой пластичности вида и колоссальному разнообразию его сортов и форм.

Динамично развивающееся отечественное соеводство обеспечивает ежегодное производство зерна сои около 6,0 млн т. за счет широкой интродукции культуры в новые регионы страны, создания новых высокопродуктивных, адаптированных к условиям возделывания сортов, разработки интенсивных ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий их возделывания. Получены и внедрены в производство сорта сои северного экотипа, вызревающие при сумме активных температур 1700...1900°C на широте 56° за 90...120 дней при урожайности семян 2,0...2,5 т/га [1-4].

Наблюдающееся за последние четыре десятилетия глобальное и локальное потепление климата, выразившееся в повышении среднегодовой температуры воздуха, в среднем на 4,8 °С, позволило существенно увеличить ареал возделывания сои в Европейской части России и сдвинуть его северную границу в сторону высоких широт еще на 200...250 км.

Для условий Рязанской области, относящейся к южной агроклиматической подзоне Центрального Нечерноземья, это означает повышение среднесуточных температур воздуха в период вегетации до 17,0...18,0 °С (в среднем на 1,5 °С), увеличение суммы активных температур за вегетацию до 2400...2600 °С (в среднем на 200...250 °С).

Установлено, что потепление климата проходит на фоне существенной его аридизации, проявляющейся в уменьшении (в среднем на 20...40 мм) количества выпадающих осадков до 255...265 мм, увеличении в 2,0 раза продолжительности бездождевых периодов (с 12 до 24 дней), увеличении (до 50,0 %) доли засушливых лет, при снижении ГТК до 0,7...1,1, в среднем на 0,3...0,4 пункта.

По мнению В.Б. Енкена [5], обобщившего многолетние исследования реакции сои на влагообеспеченность, такая ситуация означает недостаточные

для сои условия увлажнения в каждый второй год, поскольку уже при ГТК ниже 0,8 соя испытывает дефицит влаги [6].

В этой связи орошение сои в новых агроклиматических условиях, сложившихся в Центральном Нечерноземье и, особенно в южной его подзоне, становится весьма актуальной задачей. Его роль существенно возрастает в критический период водопотребления, приходящийся на фазы от начала цветения – R1 до фазы полного налива семян – R6, когда растения наиболее чувствительны к дефициту влаги в почве.

Известно, что орошение является мощным фактором повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в целом и сои, в частности. Роль орошения существенно возрастает в аридных зонах и в засушливые годы. Она усиливается при обеспечении всего комплекса агротехнических и технологических мероприятий по возделыванию каждой конкретной культуры, а также благодаря применению влагосберегающих технологий, обеспечивающих наиболее рациональное использование местных водных ресурсов (в том числе дождевой влаги), экономию воды и защиту почвы от водной эрозии, что особенно актуально на склонах и пересеченной местности.

При этом огромное значение имеет оптимизация режима орошения, так как недополив или избыточное увлажнение ведут к увеличению коэффициента суммарного водопотребления и уменьшению окупаемости поливной воды.

В свою очередь эффективность использования поливной воды зависит от технологии полива и оросительной системы, с помощью которой она реализуется. Нашими исследованиями установлено, что применение для орошения мелкокапельного дождевания с диаметром капель меньше 1,0 мм при интенсивности дождя 5...7 мм/час, которое может обеспечить дождевальная машина «Фрегат», даже на склонах не вызывает стока воды, уплотнения почвы, повреждения растений, исключает образование почвенной корки и обеспечивает более высокую прибавку урожая по сравнению с другими дождевальными машинами (ДМФ «Кубань», ДКШ «Волжанка»), создающими крупнокапельный дождь [7–9]. До сих пор остаются не до конца решенными

вопросы цены пресной поливной воды, ее происхождения и качества.

Эффективность поливов в Центральном Нечерноземье может оказаться даже выше, чем в степной зоне, поскольку в Нечерноземье вода меньше испаряется как в процессе самого полива, так и из почвы. Кроме того, устранение временного дефицита влаги (ситуация типичная для климата Центрального Нечерноземья, особенно в связи с его аридизацией) несколькими или даже одним поливами дает существенный эффект, снижая или полностью предотвращая стресс от дефицита влаги. Следует отметить также, что из-за сложного рельефа местности и уплотненных подпахотных горизонтов в Центральном Нечерноземье сильно выражен поверхностный и подпочвенный сток, что снижает эффективность использования осадков [10].

Являясь культурой зоны влажных субтропиков, соя чувствительна к изменению влажности почвы и приземного слоя воздуха. Как показали многолетние исследования, проведенные нами в Центральном Нечерноземье в разные по влагообеспеченности годы, соя реагирует на дефицит воды в почве и воздухе ускоренным развитием, снижением темпов роста, уменьшением площади листовой поверхности и величины фотосинтетического аппарата, снижением величины и активности симбиотического аппарата, увеличением абортивности генеративных органов, уменьшением числа бобов, снижением их озерненности, уменьшением массы 1000 семян, продуктивности посева в целом при снижении качества урожая (уменьшением содержания белка в семенах, его сбора с единицы площади, доли незаменимых (в том числе стратегических) аминокислот в белке, снижением сбора жира и незаменимых жирных кислот и, как следствие, уменьшением выхода кормовых единиц [6, 11]

Цель исследований – изучить влияние орошения мелкокапельным дождеванием на урожайность, белковую, масличную продуктивность и кормовую ценность семян сои сортов северного экотипа в годы с дефицитом влаги на темно-серых лесных почвах Центрального Нечерноземья.

Задачи исследований:

- определить влияние орошения на урожайность, кормовую ценность, белковую и масличную продуктивность семян сои;
- изучить влияние орошения на биохимический состав семян, содержание белка, незаменимых, критических аминокислот в нем; содержание жира, незаменимых жирных кислот в жире у сортов сои северного экотипа;
- рассчитать окупаемость поливной воды прибавкой урожая и улучшением его качества в условиях Центрального Нечерноземья в годы с дефицитом влаги.

Материалы и методы

Исследования проведены на сортах сои северного экотипа Магева, Светлая, Окская, группы

спелости 000 (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») в соответствии с общепринятыми методиками [12–14] на опытном поле экспериментальной базы Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (село Подвязье, Рязанского района Рязанской области) на темно-серых лесных тяжелосуглинистых почвах, со слабокислой реакцией почвенного раствора ($pH_{\text{сол.}}$ 5,2) при содержании гумуса по Тюрину – 5,8 %; подвижного P_2O_5 по Кирсанову – 191,4 мг/кг, обменного K_2O по Масловой – 108,5 мг/кг; азота: нитратного в соответствии с ГОСТ 26951-86 – 8,4 мг/кг, аммонийного в соответствии с ГОСТ 26489-85 – 1,57 мг/кг почвы.

В исследование включены годы (2011, 2018, 2019) с дефицитом влаги в критический период водопотребления у сои – от фазы начала цветения (R1) до фазы полного налива семян (R6), когда гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) не превышал 0,7 [6, 13].

Гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) – показатель увлажненности территории, введенный российским ученым-климатологом Г.Т. Селяниновым, для общей оценки климата и выделения зон или периодов разного уровня влагообеспеченности, широко используется в агрономии, рассчитывается по формуле:

$$ГТК = \sum_p / 0,1 \sum T_{акт.}$$

где \sum_p – сумма осадков за период вегетации,

$\sum T_{акт.}$ – сумма активных температур за период вегетации (Селянинов Г. Т. *Мировой агроклиматический справочник*. Л., М.: Гидрометеоиздат, 1937. 428 с.)

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 м², повторность четырехкратная, размещение вариантов рендомизированное.

Как азотфиксирующая бобовая культура соя вступает в симбиоз с почвенными клубеньковыми бактериями *Rhizobium japonicum* (Kirchner, 1896). Поскольку в регионах относительно недавнего соеводства специфичная вирулентная активная азотфиксирующая микрофлора отсутствует, была проведена искусственная предпосевная инокуляция семян Нитрагин КМ, СП, содержащих несколько активных штаммов клубеньковых бактерий, адаптированных к условиям Центрального Нечерноземья.

Фазы развития фиксировали в соответствии со шкалой микрофаз, разработанной американскими исследователями Fehr W.R., Caviness C.E. [15, 16]. Продуктивность агроценоза определяли методом учетных площадок в фазу полной спелости.

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

Результаты

В среднем по опыту орошение в технологиях соеводства Центрального Нечерноземья в годы с дефицитом влаги при величине ГТК не выше 0,7 на основе использования дождевальных машин ДМ «Фрегат», обеспечивающих мелкокапельный полив с диаметром капель меньше 1,0 мм при интенсивности дождя 5...7 мм/час, в среднем по сортам увеличивало продолжительность вегетационного периода на 13 дней, высоту растений – на 15 см, высоту крепления нижних бобов – на 3 см, площадь листовой поверхности – на 14,9 м²/га, фотосинтетический потенциал посева (ФСП – произведения средней за вегетацию площади листовой поверхности на продолжительность ее функционирования) – на 1140 тыс. м² × дней/га.

Установлено также, что оптимизация влагообеспеченности посевов сои способствовала более интенсивному развитию симбиотического аппарата на корнях сои. Известно, что одним из важнейших условий активного симбиоза является оптимальная (не ниже 70 % ППВ) влагообеспеченность верхнего слоя почвы, поскольку именно в слое 0...15 см складываются оптимальные для инокуляции, роста и развития клубеньковых бактерий условия, так как симбиотический аппарат нуждается в достаточном количестве кислорода для дыхания корней и образовавшихся на них клубеньков.

Снижение влажности почвы в верхнем слое ведет к быстрому отмиранию клубеньков и снижению уровня симбиотрофного питания растений сои азотом, при том, что соя имеет глубоко проникающую стержневую корневую систему и лучше других бобовых может справляться с первыми признаками засухи, из-за отмирания симбиотического аппарата при дефиците влаги в верхнем слое почвы растения сразу начинают испытывать дефицит главного элемента роста – азота и резко снижают урожайность, белковую, маслянистую продуктивность и кормовую ценность. Вследствие сопряженности двух важнейших физиологических процессов азотфиксации и фотосинтеза страдает весь продукционный процесс.

В наших исследованиях своевременный и правильно проведенный полив обеспечил увеличение продолжительности активного симбиоза на 19 дней; повышение максимальной за вегетацию массы сырых клубеньков – на 357 кг/га или в 2,50 раза; при этом активный симбиотический потенциал посева (АСП) – произведение средней за вегетацию массы сырых активных клубеньков на продолжительность активного симбиоза возрос на 20011 кг × дней/га или в 3,11 раза, а количество азота, фиксированного из воздуха достигло 221 кг/га, то есть увеличилось на 160 кг/га или в 3,62 раза, а его доля в общем потреблении достигла 98,0 %, то есть была на 64,0 % больше, чем в вариантах без орошения (табл. 1). Это означает, что при орошении соя практически полностью обеспечила себя азотом за счет симбиотической фиксации его из воздуха.

Таблица 1. Влияние орошения на морфо-биологические параметры, показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов сои северного экотипа (в среднем по сортам Магева, Окская, Светлая), в среднем по опыту

Показатель	Вариант		
	С орошением	Без орошения	Прибавка от орошения
Продолжительность вегетации, дней	115	103	12
Высота растений, см	85	69	15
Высота крепления нижнего боба, см	17	14	3
Максимальная площадь листьев, тыс. м ² /га	40,5	25,6	14,9
Максимальное накопление абсолютно сухой массы, т/га	7,8	5,9	1,9
Фотосинтетический потенциал посева, тыс. м ² × дней/га	2445	1305	1140
Продолжительность активного симбиоза, дней	99	80	19
Максимальная масса сырых активных клубеньков, кг/га	594	237	357
Активный симбиотический потенциал посева, кг × дней/га	29491	9480	20011
Максимальное потребление азота, кг/га	226	180	46
Удельная активность симбиоза, г × сутки/кг активных клубеньков	7,49	6,43	1,06
Симбиотически фиксированный азот воздуха, кг/га	221	61	160
Доля симбиотически фиксированного азота воздуха от максимального его потребления, %	98	34	64

Орошение оказало существенное влияние на урожайность семян и выход кормовых единиц с каждого гектара (табл. 2). Средний за годы исследований урожай семян изучаемых сортов составил без орошения – 1,30 т/га, с орошением –

3,02 т/га, то есть был на 1,72 т/га или в 2,33 раза больше; сбор кормовых единиц с урожаем – без орошения составил 1,74 т/га, с орошением – 4,06 т/га (больше на 2,32 т/га больше или в 2,32 раза).

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

Таблица 2. Влияние орошения на урожайность и сбор кормовых единиц с урожаем семян сортов сои северного экотипа, т/га, в среднем по опыту

Вариант		Сорт			Средн. по сортам	НСР ₅ сортов	НСР ₀₅ орошения
		Магева	Окская	Светлая			
Урожайность семян, т/га	С орошением	2,65	2,89	3,51	3,02	0,15	0,16
	Без орошения	1,27	1,31	1,33	1,30	0,07	
	Прибавка от орошения	1,38	1,58	2,18	1,72	-	
	Прибавка на 1 м ³ оросительной воды, кг	1,31	1,50	2,08	1,63	-	
Сбор кормовых единиц с урожаем семян, т/га	С орошением	3,55	3,90	4,74	4,06	0,20	0,21
	Без орошения	1,70	1,75	1,78	1,74	0,09	
	Прибавка от орошения	1,85	2,12	2,96	2,32	-	
	Прибавка на 1 м ³ оросительной воды, кг	1,76	2,02	2,82	2,20	-	

При этом наблюдали существенное увеличение белковой продуктивности: содержание белка в семенах – без орошения – 40,2 %, с орошением – 42,6 % (больше на 2,2 %); сбор белка – без орошения – 525 кг/га, с орошением – 1275 кг/га (больше на 750 кг/га или в 2,43 раза); сбор

незаменимых аминокислот в белке – без орошения – 322 кг/га, с орошением – 766 кг/га (больше на 444 кг/га или 2,37 раза); сбор критических аминокислот (лизин, метионин, триптофан) – без орошения – 63 кг/га, с орошением – 158 кг/га (на 95 кг/га или в 2,51 больше).

Таблица 3. Влияние орошения на белковую продуктивность сортов сои северного экотипа, в среднем по опыту

Вариант		Сорт			В среднем по сортам	НСР ₅ сортов	НСР ₀₅ орошения
		Магева	Окская	Светлая			
Содержание белка в семенах, % АСВ	С орошением	42,6	41,6	43,5	42,6	2,13	2,07
	Без орошения	39,8	39,9	41,1	40,2	2,01	
	Прибавка от орошения	2,8	1,5	2,4	2,2	-	
Сбор белка с урожаем семян, кг/га	С орошением	1129	1202	1495	1275	64	90
	Без орошения	505	523	546	525	26	
	Прибавка от орошения	624	678	949	750	-	
	Прибавка на 1 м ³ оросительной воды, кг	0,59	0,65	0,90	0,71	-	
Сбор ненасыщенных аминокислот, кг/га	С орошением	677	723	897	766	38	54
	Без орошения	303	313	350	322	16	
	Прибавка от орошения	374	410	547	444	-	
Сбор критических аминокислот, кг/га	С орошением	152	144	179	158	8	11
	Без орошения	60	63	66	63	3	
	Прибавка от орошения	92	81	113	95	-	

Таблица 4. Влияние орошения на маслячную продуктивность сортов сои северного экотипа, в среднем по опыту

Вариант		Сорт			В среднем по сортам	НСР ₅ сортов	НСР ₀₅ орошения
		Магева	Окская	Светлая			
Содержание жира в семенах, % АСВ	С орошением	18,9	19,8	18,1	18,9	0,95	0,98
	Без орошения	20,1	20,5	20,1	20,2	1,01	
	Прибавка от орошения	-1,2	-0,7	-2,0	-1,3	-	
Сбор жира с урожаем семян, кг/га	С орошением	501	572	635	571	29	42
	Без орошения	266	269	279	271	14	
	Прибавка от орошения	235	303	356	300	-	
	Прибавка на 1 м ³ оросительной воды, кг	0,22	0,29	0,34	0,29	-	

Таким образом, за счет оптимизации влагообеспеченности посевов в засушливые годы орошение обеспечивало повышение урожайности в 2,33 раза, сбора кормовых единиц с урожаем семян в 2,32 раза, содержания белка в семенах – на 2,2 % (при $НСР_{05} = 2,07$ %), сбора белка с урожаем семян – в 2,44 раза, сбора незаменимых аминокислот – в 2,37 раза, критических аминокислот – в 2,51 раза.

Орошение оказало положительное влияние и на масличную продуктивность сортов. Несмотря на то, что показатели содержания жира при орошении были на 1,3 % ниже (без орошения – 20,2 %, с орошением – 18,9 %), сбор жира в вариантах с орошением составил 571 кг/га и оказался на 300 кг/га выше, чем в варианте без орошения (271 кг/га), то есть в среднем по опыту в вариантах с орошением сбор жира оказался в 1,94 раза больше, не смотря на меньшее его содержание в семенах.

Мелкокапельное дождевание посевов сои в критический период водопотребления, обеспечивающее влажность корнеобитаемого слоя не ниже 70 % ППВ в засушливые годы (при ГТК Селянинова Г.Т. не выше 0,7) обеспечивало существенное увеличение урожайности, белковой, масличной продуктивности и кормовой ценности семян на темно-серых лесных почвах Центрального Нечерноземья.

Средний за годы исследований урожай семян изучаемых сортов (Магева, Светлая, Окская) составил без орошения – 1,30 т/га, с орошением – 3,02 т/га, то есть был на 1,72 т/га или в 2,33 раза больше; сбор кормовых единиц с урожаем без орошения не превышал 1,74 т/га, с орошением – 4,06 т/га, то есть был больше на 2,32 т/га или в 2,32 раза.

Содержание белка в семенах без орошения составило 40,2 %, с орошением – 42,6 % (больше на 2,2 %); сбор белка – без орошения – 525 кг/га, с орошением – 1275 кг/га (больше на 750 кг/га или в 2,43 раза); сбор незаменимых аминокислот в белке – без орошения – 322 кг/га, с орошением – 766 кг/га (больше на 444 кг/га или 2,37 раза); сбор критических аминокислот (лизин, метионин, триптофан) – без орошения – 63 кг/га, с орошением – 158 кг/га (на 95 кг/га или в 2,51 больше).

Не смотря на то, что показатели содержания жира при орошении были ниже на 1,3 % (без орошения – 20,2 %, с орошением – 18,9 %), сбор жира в вариантах с орошением составил 571 кг/га и оказался на 300 кг/га или в 1,94 раза больше, чем в варианте без орошения (271 кг/га).

В пересчете на каждый кубический метр поливной воды прибавка урожая составила 1,62 кг, кормовых единиц – 2,20 кг, белка – 0,71 кг, незаменимых аминокислот – 0,44 кг, критических аминокислот – 0,09 кг, жира – 0,29 кг. При этом доля симбиотически фиксированного азота в общем его потреблении достигала 98 % и была на 64 % больше, чем в вариантах без орошения.

Обсуждение

Более ранними нашими исследованиями и исследованиями других авторов было установлено, что

уровень симбиотической азотфиксации в посевах сои остается важнейшим фактором повышения урожайности, белковой, масличной продуктивности агроценоза и его кормовой ценности, при этом важнейшим условием и лимитирующим фактором высокой активности симбиоза является влагообеспеченность. Было выявлено, что в условиях Центрального Нечерноземья в засушливые годы величина симбиотической азотфиксации у сортов сои северного экотипа в среднем не превышала 11 кг/га, что составляло не более 13 % от максимального суммарного потребления азота посевом, в средние по влагообеспеченности годы уровень симбиотической азотфиксации возрастал до 123 кг/га и составлял от максимального потребления 62 % [6, 13, 17].

Настоящее исследование является продолжением этой работы и доказывает высокую эффективность орошения в новых агроклиматических условиях, сложившихся в Центральном Нечерноземье, особенно в южной его подзоне, обеспечивая существенное увеличение уровня симбиотической азотфиксации, урожайности, белковой, масличной продуктивности и кормовой ценности сои. Показано, что роль орошения существенно возрастает в критический период водопотребления, приходящийся на фазы от начала цветения – R1 до фазы полного налива семян – R6, когда растения наиболее чувствительны к дефициту влаги в почве.

Заключение

1. В условиях Центрального Нечерноземья сорта сои северного экотипа обеспечивают максимальную урожайность – 3,05 т/га; содержание белка – 43,51 %; жира – 20,67 %; сбор белка – 1322 кг/га; сбор незаменимых аминокислот 833 кг/га; сбор жира – 531 кг/га; сбор кормовых единиц 4118 кг/га.

2. В условиях оптимальной влагообеспеченности агроценоз сои усваивает в среднем по сортам – 212 кг/га симбиотически фиксированного азота (98 % от максимального потребления); при избыточной – 166 кг/га (81 %) или при недостаточной – 62 кг/га (34 %) или в 3,41 раза меньше; в среднем по опыту 146 кг/га (73 %).

3. В годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью инокуляция семян существенно повышает показатели продуктивности сортов: урожайность – на 0,21...0,25 т/га, содержание белка в семенах – на 2,11...3,35 %; сбор белка с урожаем – на 125...176 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – на 84...111 кг/га, в том числе лизина – на 7...8 кг/га; содержание жира в семенах – на 0,33...0,57 %; сбор жира с урожаем семян – на 43...72 кг/га; сбор ненасыщенных жирных кислот – на 29...37 кг/га; сбор кормовых единиц – на 305...348 кг/га.

4. При оптимальной влагообеспеченности сбор кормовых единиц с урожаем сои составляет: при автотрофном типе питания азотом – 3669 кг/га, при симбиотрофном – 4017 кг/га, достоверная прибавка от инокуляции составляет 305...348 кг/га; при недостатке влаги – 87 кг/га.

Литература

1. Гришин А. П., Гришин А. А., Семенова Н. А. Способ контроля продуктивности растения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 2. С. 69–74.
2. Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н., Тютюма А. В. Оценка биологической эффективности гуминового стимулятора роста при возделывании сои // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2025. Т. 20. № 1(77). С. 31-33. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-31-33.
3. Дорохов А. С., Бельшкينا 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.
4. Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties / M. Belyshkina, M. Zagoruiko, D. Mironov, et al. // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 610.
5. Енкен В. Б. Соя. М.: Сельхозгиз, 1959. 622 с.
6. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом / М. Е. Бельшкينا, М. Г. Загоруйко, Т. П. Кобозева и др. // Природообустройство. 2023. № 2. С. 43–51.
7. Башмаков И. А., Загоруйко М. Г. Особенности конструкции элементов привода электрических дождевальных машин кругового действия // Природообустройство. 2023. № 5. С. 33–39.
8. Ольгаренко Г. В., Кухарев Н. А. Анализ экономических показателей серийно выпускаемых ДМ «Фрегат» и «Кубань» // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 1. С. 38–39.
9. Дождевальная машина «Каскад 65Т» для решения проблемы импортозамещения в мелиорации / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов и др. // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 5 (125). С. 648–658.
10. Особенности использования и конструктивные решения широкозахватной дождевальной техники / А. В. Кравчук, Б. Н. Бельтиков, М. Г. Загоруйко и др. // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 82–84.
11. 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.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Колос, 1979. 416 с.
13. Посыпанов Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха (методы проведения лабораторных, вегетационных и полевых опытов). М.: Агропромиздат, 1991. 300 с.
14. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей // Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. 116 с.
15. Fehr W. R., Caviness C. E. Stage of soybeans development // Iowa State University. Cooperative Extension Service. 1977. Spec. Rep. 80. 11 p.
16. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25. № 3. P. 667–681.
17. Делаев У. А., Кобозева Т. П., Синеговская В. Т. Возделывание скороспелых сортов сои. М.: ВГБОУ ВПО МГАУ, 2012. 216 с.

References

1. Grishin A. P., Grishin A. A., Semenova N. A. Method of plant productivity control // Agricultural machinery and technology. 2021. Vol. 15. No. 2. P. 69–74.
2. Tyutyuma N.V., Bondarenko A.N, Tyutyuma A.V. Evaluation of biological efficiency of humic growth stimulator in soybean cultivation // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2025. Vol. 20. No. 1 (77). P. 31-33. doi: 10.12737/2073-0462-2025-1-31-33
3. 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 // Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 3 (55). P. 34–39.
4. Studying the possible introduction of soybeans into new cultivation regions based on the analysis of climate change and agroecological testing of varieties / M. Belyshkina, M. Zagoruiko, D. Mironov et al. // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 610.
5. Enken V. B. Soy. M.: Selhozgiz, 1959. 622 p.
6. Influence of moisture supply conditions on yield and feed value of soybeans with symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition / M. E. Belyshkina, M. G. Zagoruiko, T. P. Kobozeva et al. // Nature management. 2023. No. 2. P. 43–51.
7. Bashmakov I. A., Zagoruiko M. G. Design features of the drive elements of electric sprinkler machines of circular action // Environmental management. 2023. No. 5. P. 33–39.

8. Olgarenko G. V., Kukharev N. A. Analysis of economic indicators of commercially produced DM "Frigate" and "Kuban" // Melioration and water management. 2009. No. 1. P. 38–39.
9. Sprinkler machine "Cascade 65T" for solving the problem of import substitution in land reclamation / D. A. Solovyov, R. E. Kuznetsov, D.G. Goryunov, et al. // Scientific life. 2022. Vol. 17. No. 5 (125). P. 648–658.
10. Features of use and constructive solutions of wide-reach sprinkler equipment / A. V. Kravchuk, B. N. Beltikov, M. G. Zagoruiko, et al. // Agrarian scientific journal. 2022. No. 8. P. 82–84.
11. 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. Vol. 17. No. 2. P. 40–48.
12. Dospekhov B. A. Methodology of field experience with the basics of statistical processing of research results. M.: Kolos, 1979. 416 p.
13. Posypanov G. S. Methods of studying biological fixation of air nitrogen (methods of laboratory, vegetation and field experiments). M.: Agropromizdat, 1991. 300 p.
14. Sinegovskaya V. T., Naumchenko E. T., Kobozeva T. P. Research methods in field experiments with soybeans // Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soybeans, 2016. 116 p.
15. Fehr W. R., Caviness C. E. Stage of soybeans development // Iowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. Spec. Rep. 80. 11 p.
16. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25. № 3. P. 667–681.
17. Delaev U. A., Kobozeva T. P., Sinegovskaya V. T. Cultivation of precocious soybean varieties. Moscow: FGBOU VPO MGAU. 2012. 216 p.