Биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы и продуктивность сои в зависимости от условий минерального питания в южной лесостепи Западной Сибири

О.Ф. Хамова,

кандидат биологических наук

В.С. Бойко,

доктор сельскохозяйственных наук

А.Ю. Тимохин,

кандидат сельскохозяйственных наук

Н.Н. Шулико,

кандидат сельскохозяйственных наук

ФГБНУ Омский аграрный научный центр

Россия, 644012, г. Омск-12, проспект Королева, 26

Тел./факс: (3812) 77-68-87, 77-69-90; 8-950-330-75-78

E-mail: agrnc55@gmail.com

Для цитирования: Хамова О.Ф., Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Шулико Н.Н. Биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы и продуктивность сои в зависимости от условий минерального питания в южной лесостепи Западной Сибири // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – Вып. 4 (176). – С. 96–100.

Ключевые слова: соя, орошаемая лугово-черноземная почва, биологическая активность, урожайность.

Соя является одной из ведущих ценных белково-масличных культур, которая широко используется в кормопроизводстве, пищевой и технической промышленности. Для повышения урожайности сои применяют минеральные и бактериальные удобрения. При этом до 70 % своей потребности в азоте соя может удовлетворять за счет азотфиксации благодаря симбиозу с азотфиксирующими бактериями. Интенсификация возделывания скороспелых сортов сои с применением орошения позволяет в условиях Сибири получать достаточно высокие урожаи. Целью исследований было изучить потенциал продуктивности местных сортов сои при использовании интенсивной технологии возделывания, снимающей воздействие лимитирующих факторов роста – дефицита влаги и элементов минерального питания, а также опре-

делить влияние интенсификации возделывания культуры на биологические свойства орошаемой лугово-черноземной почвы. Исследования проводились в стационарном многофакторном полевом опыте с внесением азотно-фосфорных удобрений и добавлением молибденовокислого аммония ($N_{30}P_{60} + Mo$) в 2015–2017 гг. Сорт сои селекции СибНИИСХ Эльдorado. Суммарная биологическая активность орошаемой лугово-черноземной почвы под соей на удобренном фоне увеличилась в сравнении с контролем (100 %) на 14–29 %, в среднем за три года исследований – на 21 %. При этом нитрификационная способность почвы в течение вегетации возросла при внесении удобрений на 35–67 % к контролю, целлюлозолитическая активность – на 33 %. Минерализационный процесс, об интенсивности которого судили по соотношению количества бактерий на крахмало-аммиачном и мясопептонном (КАА/МПА) агарах, достоверно усиливался на фоне с внесением удобрений до 1,03 ед. (0,81 на контроле). Соответственно содержание азота нитратов на удобренном фоне в первые фазы развития культуры сои превышало контроль в 2–3 раза, достигая высокой обеспеченности, подвижного фосфора – более чем в 10 раз. Улучшение условий минерального питания культуры способствовало росту урожайности семян сои в среднем на 38 %. Установлена тесная связь между урожайностью сои и содержанием азота нитратов ($r = 0,76$), подвижного фосфора в почве ($r = 0,55$), целлюлозолитической активностью ($r = 0,68$).

UDC 631.427:631.44.4:631.8:633.34 (571.1/5)

Biological activity of irrigated meadow-chernozem soil and soybean productivity depending on mineral nutrition in the southern forest-steppe of the Western Siberia.

O.F. Khamova, PhD in agriculture

V.S. Boiko, doctor of agriculture

A.Yu. Timokhin, PhD in agriculture

N.N. Shuliko, PhD in agriculture

Omsk Agrarian Scientific Center

28, Koroleva, Omsk, 644012, Russia

E-mail: agrnc55@gmail.com

Key words: soybean, irrigated meadow-chernozem soil, biological activity, yield.

Soybean is one of the leading valuable protein-oil crops, which is widely used in feed production, food and technical industry. To increase the yield of soybean, mineral and bacterial fertilizers are applied. And up to 70% of nitrogen demand of soybean can be satisfied by nitrogen fixation due to symbiosis with nitrogen-fixing bacteria. The intensification of cultivation of early-ripening soybean cultivars with the use of irrigation allows obtaining quite high soybean yields in Siberia with a short growing period. The aim of the research was to study the potential of the local

soybean cultivars productivity by using intensive cultivation technology that removes the impact of limiting growth factors – moisture and mineral nutrition elements deficiency as well as determine the effect of intensification of crop cultivation on the biological properties of irrigated meadow-chnozem soil. We studied application of nitrogen-phosphorus fertilizers and the addition of ammonium molybdate ($N_{30}P_{60} + Mo$) in a stationary multi-factor field experiment in 2015–2017. A soybean variety Eldorado bred in the Siberian Research Institute of Agriculture was used. The total biological activity of irrigated meadow-chnozem soil under soybean on a fertilized background increased by 14–29% in comparison with the control (100%), on average over three years of studies – by 21%. At the same time, the nitrification soil ability during the growing season increased with the application of fertilizers by 35–67% compared to control, cellulolytic activity – by 33%. The intensity of the mineralization process was determined by the ratio of the number of microorganisms growing on starch-ammonia agar to the number of microorganisms on meat-peptone agar (SAA/MPA), it was significantly enhanced on the background with application of fertilizers up to 1.03 units. (0.81 in the control). Accordingly, the content of nitrate nitrogen on the fertilized background in the first growth phases of soybean crop exceeded control by 2–3 times, reaching high availability, mobile phosphorus – more than 10 times. Improvement of the mineral nutrition conditions of the crop promoted increase in the yield of soybean seeds by an average of 38%. A close relationship was established between the soybean yield and the content of the nitrate nitrogen ($r = 0.76$), of the mobile phosphorus in the soil ($r = 0.55$), of the cellulolytic activity ($r = 0.68$).

Введение. Для решения проблемы кормового белка в Сибири необходимо расширение посевов высокобелковых культур, в том числе одной из ценнейших – сои. Она содержит 39–40 % и более белка, около 18 % жира и по сбалансированности аминокислотного состава белка относится к числу высокоценных [1]. Возделывание скороспелых сортов сои на орошаемых землях при оптимизации минерального питания позволяет в условиях Сибири с коротким вегетационным периодом получать достаточно высокие урожаи [2; 3]. Кроме того, соя является одним из лучших предшественников для основной зерновой культуры края – пшеницы, поскольку накапливает в почве дешевый и экологически безопасный азот, улучшает ее структуру и физические свойства.

В этой связи целью исследований было изучить потенциал продуктивности сои при использовании интенсивной технологии возделывания, устраняющей лимитирующие

факторы роста – дефицит влаги и элементов минерального питания, а также влияние интенсификации возделывания культуры на биологические свойства лугово-черноземной почвы.

Материалы и методы. Исследования проводились в южной лесостепной зоне Омского Прииртышья в течение 2015–2017 гг. в многолетнем полевом многофакторном опыте стационара орошаемого земледелия на основе 8-польного севооборота со следующим чередованием культур: 1) козлятник 16–17 годы жизни (гг. ж.); 2) сверби́га восточная + коострец + козлятник 16–17 гг. ж.; 3) просо + рапс; 4) соя (Эльдорадо); 5) бобы кормовые; 6) ячмень яровой; 7) козлятник + коострец 12–17 гг. ж.; 8) люцерна + коострец 1–6 гг. ж.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднеси́лная среднегумусовая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0–40 см 6,0–6,4 %, $pH_{водн.}$ 7,0–7,2. Глубина залегания грунтовых вод 3,0–3,5 м.

Погодные условия 2015 и 2016 гг. исследований сложились относительно благоприятными для развития растений. ГТК за май – август составил 1,08 и 1,09 соответственно. Вегетационный период 2017 г. был засушливым. Количество осадков составило лишь 70 % к норме, превышение температуры за май – август было +0,6 °C при ГТК равном 0,7.

Площадь элементарной делянки в опыте – 360 м², учетной – 36 м².

Соя высевалась по фону без внесения удобрений (*фон 0*) и по удобренному $N_{30}P_{60} + Mo$ (*фон 2*). Фосфоросодержащие удобрения (аммофос, P_{60}) и азотные (аммиачная селитра, N_{30}) вносили до предпосевной культивации. Молибденовокислый аммоний (200 г/га) добавляли при внесении азотных удобрений перед посевом.

Агротехника в опытах общепринятая для зоны. Возделывалась соя местной селекции (Сибирский НИИ сельского хозяйства) – сорт Эльдорадо. Вегетационный период 92–99 суток. Высота прикрепления нижних бобов в среднем 15,6 см, урожайность – 2,86 т/га, в отдельные годы – до 3,28 т/га, устойчив к поражению бактериозом. Положительным моментом сорта Эльдорадо является сочетание скороспелости с повышенным потенциалом продуктивности и высоким прикреплением нижних бобов, что позволяет возделывать его в суровых климатических условиях Сибири и получать кондиционные семена с минимальными потерями при уборке урожая [1].

Микробиологические исследования проводились на твердых питательных средах:

бактерий-сапрофитов – на мясо-пептонном агаре (МПА); микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме, – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); олигонитрофилов – на среде Мишустинской; фосфатмобилизующих – на среде Муромцева; целлюлозоразлагающих микроорганизмов – на среде Гетчинсона; нитрификаторов – на водном выщелоченном агаре с добавлением двойной аммонийно-магниево-фосфорной кислоты, почвенных грибов – на подкисленной среде Чапека [4].

Нитратный азот определяли с дисульфидо-феноловой кислотой по Грандваль-Ляжу, подвижный фосфор – по Францесону, нитрификационную способность почвы – по Кравкову с инкубацией 21 день [5].

Интенсивность разложения целлюлозы определяли в полевых условиях методом Тихомировой (1972, а.с. № 338196) [6].

В воздушно-сухих образцах проводили анализ ферментативной активности почвы: инвертазы – по Купревичу, с конечным определением сахаров по Бертрану, уреазы – по Гофману, каталазы – газометрически [4].

Для оценки суммарной биологической активности почвы был использован метод относительных величин Ацци в изложении Карягиной Л.А. [7].

Результаты и обсуждение. Общая численность почвенных микроорганизмов под культурой сои в среднем за вегетационные периоды лет исследований благодаря орошению различалась незначительно, составляя в благоприятные по увлажнению годы 249–412 млн КОЕ/г, в засушливом 2017 г. – 236 млн КОЕ/г.

На фоне внесения азотно-фосфорных удобрений общее суммарное количество определяемых микроорганизмов возрастало на 6–21 % к контролю, составляя 250–358 млн КОЕ/г. При этом следует отметить рост количества нитрифицирующих и фосфатмобилизующих бактерий под соей на на удобренном фоне – 47 и 23 % к контролю соответственно. Наиболее благоприятные условия для роста численности нитрификаторов сложились летом 2015 г.: увеличение составило 144 % – от 3,0 тыс. КОЕ/г на контроле до 4,3 тыс. КОЕ/г – на фоне с внесением удобрений. Под влиянием удобрений увеличилось количество микроорганизмов, потребляющих минеральный азот: в 2015 г. – на 32, в 2017 г. – на 25 % к контролю. Благодаря этому соотношение групп микроорганизмов КАА/МПА, или коэффициент минерализации, в 2015–2016 гг. превысил значение 1, т.е. в почве преобладали минерализационные процессы.

Судя по значению КАА/МПА в 2017 г., интенсивность минерализационных процессов была выше на удобренном фоне (45 % в сравнении с контролем).

Численность почвенных грибов, участвующих в более глубокой трансформации органических остатков, в 2015 г. на удобренном фоне превышала контроль на 70 %. В 2016–2017 гг. их количество уменьшилось и, в среднем за 3 года исследований, было на одном уровне с фоном без удобрений (табл. 1).

Таблица 1

Численность микроорганизмов в орошаемой лугово-черноземной почве под культурой сои при внесении удобрений, среднее из трех определений за вегетацию, слой 0–20 см

Год исследования	Численность микроорганизмов								
	млн КОЕ/г						тыс. КОЕ/г		млн КОЕ/г
	бактерии на МПА	микроорганизмы на КАА	КАА/МПА	олигонитрофилы	фосфотомобилизующие	целлюлозоразрушающие	нитрификаторы	грибы	общее количество
Без удобрений (фон 0)									
2015	34,3	30,2	0,88	105,0	79,3	188,3	3,01	19,7	249,0
2016	47,2	44,2	0,94	227,1	93,7	114,0	2,10	25,7	412,3
2017	41,2	25,7	0,62	117,4	51,3	92,4	1,72	21,8	235,7
Среднее	41,0	33,4	0,81	149,8	74,8	131,6	2,28	22,4	299,0
N ₃₀ P ₆₀ + Mo (фон 2)									
2015	34,9	39,8	1,14	123,2	104,3	202,1	4,33	33,6	302,5
2016	40,3	43,0	1,07	166,8	108,2	85,3	3,78	25,3	358,3
2017	35,7	32,0	0,90	119,4	62,6	100,2	1,94	24,6	249,7
Среднее	37,0	38,2	1,03	136,5	91,7	129,2	3,35	27,8	303,5
HCP ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	0,22	F _{факт} < F ₀₅	17,8	57,1	1,89	F _{факт} < F ₀₅		

Судя по численности микроорганизмов в опыте по контрольному фону (без внесения удобрений) лугово-черноземная почва при длительном орошении обладает достаточно высоким уровнем плодородия.

Содержание нитратного азота в период всходы – образование первого тройчатого листа на контроле было низким, а на фоне с внесением удобрений превышало контроль в 2–3 раза, достигая высокой обеспеченности. В течение вегетации сои количество нитратного азота снижалось до очень низкого в обоих вариантах.

Нитрификационная способность почв позволяет судить не только об их общем плодородии, но и возможностях обеспечения растений доступной азотной пищей, поскольку в виде нитратов учитывается не только окисленный азот восстановленных минеральных форм, но и образованный за счет минерализации мобильных соединений органического вещества [8].

Нитрификационная способность лугово-черноземной почвы под соей была наиболее высокой в июле – августе, составляя 32–36 мг/кг N-NO₃. Легкомобилизуемые органические соединения пополнялись за счет корневых выделений культуры, отмирающих микроорганизмов, корневых волосков, клубеньков, листового опада и т.д. и последующего разложения их биомассы.

Обеспеченность почвы под соей подвижным фосфором была низкой в течение трех лет исследований. На фоне с внесением азотно-фосфорных удобрений содержание P₂O₅ в пахотном слое возрастало до очень высокого, составляя в период всходов 39–62 мг/кг. В течение вегетации количество подвижного фосфора снижалось на 21–32 % к первоначальному определению за счет использования растениями сои, оставаясь на уровне высокой обеспеченности (табл. 2).

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений на режим элементов питания в орошаемой лугово-черноземной почве под соей, среднее за 2015–2017 гг., слой 0–20 см

Показатель	Без удобрений (фон 0)			N ₃₀ P ₆₀ + Mo (фон 2)		
	июнь	июль	август	июнь	июль	август
Азот нитратов, мг/кг	9,8	1,8	0,3	22,2	7,4	2,2
Нитрификационная способность, N-NO ₃ , мг/кг	17,9	23,8	21,8	30,0	32,1	36,3
P ₂ O ₅ , мг/кг	3,0	2,5	2,0	49,2	36,0	36,3

Факторы, влияющие на состав и численность почвенной микрофлоры, определяют ее ферментативную активность, т.е. интенсивность различных биохимических процессов в почве.

Внесение азотно-фосфорных удобрений под культуру сои не оказало стимулирующего влияния на активность фермента инвертазы, осуществляющей гидролиз углеродсодержащих соединений, на 11–14 % снизило активность уреазы, разлагающей мочевину в почве. Возможно, активность ферментов ингибировал дополнительный азот, фиксированный культурой из воздуха, значительное количество которого остается в почве [2]. Известно, что избыток минерального азота снижает активность гидролитических ферментов [9].

Активность окислительно-восстановительного фермента каталазы под соей на удобренном фоне снизилась на 15–22 % в сравнении с контролем, что связано с ингибирующим влиянием анионов удобрений [10].

Интенсивность разложения целлюлозы в почве является интегрированным показателем ее биологической активности, поскольку зависит от агрофизических свойств почвы, гидротермического и питательного режимов. В среднем за годы исследований в пахотном слое целлюлозолитическая активность под соей на удобренном фоне была на 33 % выше в сравнении с контролем.

Для оценки микробиологического статуса варианта применения азотно-фосфорных удобрений под культуру сои и воздействия на биологические показатели почвы рассчитали суммарную биологическую активность почвы, включающую все исследуемые биологические тесты в относительных величинах методом Ацци в интерпретации Л.А. Карягиной (1983) [7].

Суммарная биологическая активность лугово-черноземной почвы при орошении под соей под влиянием внесенных азотно-фосфорных удобрений возросла в сравнении с контролем (100 %) на 14–29 %, в среднем за годы исследований – на 21 %.

Урожайность семян сои была наиболее высокой в 2017 г., самом теплом из трех лет исследований. Прибавка от внесения азотно-фосфорных удобрений составила 50 % к контролю при урожае зерна 2,88 т/га. В целом, улучшение условий минерального питания культуры на фоне с высоким содержанием фосфора способствовало росту урожайности семян сои в среднем на 38 % (табл. 3).

Таблица 3

Влияние средств интенсификации на биологическую активность лугово-черноземной почвы и урожайность семян сои

Год ис- следо- ва- ния	Раз- ложе- ние цел- люло- зы, %	Активность ферментов			Сум- марная биоло- гиче- ская актив- ность, %	Уро- жай- ность семян соеи, т/га
		Инвер- таза, мг инверт- ного сахара/г	Уреаза, мгNH ₃ /г почвы	Каталаза, O ₂ (см ³ /мин)/г		
Без удобрений (фон 0)						
2015	58,6	14,3	0,61	1,62	100	1,33
2016	37,8	16,3	0,96	1,88	100	1,60
2017	49,0	15,8	0,70	1,74	100	1,92
Сред- нее	48,5	15,5	0,76	1,75	100	1,62
N ₃₀ P ₆₀ + Mo (фон 2)						
2015	55,6	14,3	0,54	1,28	129	1,84
2016	64,7	16,8	0,84	1,36	114	2,00
2017	74,1	14,6	0,60	1,35	120	2,88
Сред- нее	64,8	15,3	0,66	1,32	121	2,24
НСР ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	2,2	0,06	0,23	-	0,41

По данным Тимохина А.Ю. (2017), внесение 1 кг д.в. аммиачной селитры на фонах с высоким содержанием P_2O_5 в условиях орошения на лугово-черноземной почве окупалось прибавкой 7,7 кг/га семян сои [3].

Проведенные исследования позволили рассчитать зависимость урожайности семян сои с показателями питательного режима и биологической активности почвы. Выявлена связь средней степени тесноты между урожайностью семян сои и нитрификационной способностью ($r = 0,37$), достаточно тесная между урожайностью семян сои и содержанием подвижного фосфора в почве ($r = 0,55$), целлюлозолитической активностью почвы ($r = 0,68$), высокой степени зависимость между урожайностью семян сои и содержанием азота нитратов в почве ($r = 0,76$). Тесная связь между показателем интенсивности разложения целлюлозы в почве и урожайностью зерновых культур была установлена в местных условиях впервые 1972 г. Л.Д. Тихомировой – автором метода определения целлюлозолитической активности почвы. Полученная взаимосвязь позволяет использовать показатель целлюлозолитической активности почвы для сравнительной оценки фонов по эффективному плодородию в полевых условиях [11].

Заключение. Таким образом, семенная продуктивность сои при орошении тесным образом связана с внесением азотно-фосфорных удобрений, что позволило повысить урожайность культуры на 25–50 % к контролю.

Применение удобрений оказало положительное влияние на биологическую активность лугово-черноземной почвы под соей, которая усилилась (по сумме всех определяемых показателей в относительных процентах) на 21 % в сравнении с контролем.

Установлена средней и высокой степени зависимость между содержанием азота нитратов в почве ($r = 0,76$), подвижного фосфора ($r = 0,55$), целлюлозолитической активностью почвы и урожайностью семян сои ($r = 0,68$).

Список литературы

1. Сорты сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ СибНИИСХ / Отв. ред. И.Ф. Храмов. – Омск: Литера, 2017. – 168 с.
2. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы сохранения плодородия черноземов и повышения продуктивности агроценозов в южной лесостепной зоне Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / Н.А. Воронкова. – Омск, 2011. – 36 с.
3. Тимохин А.Ю. Повышение продуктивности зернобобовых культур на лугово-черноземных почвах Омского Прииртышья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / А.Ю. Тимохин. – Красноярск, 2017. – 20 с.

4. Звягинцев Д.Г., Асеева И.В., Бабьева И.П., Мирчинк Т.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: МГУ, 1980. – 224 с.
5. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 655 с.
6. Тихомирова Л.Д. Способ определения эффективного плодородия почвы // А.с. № 338196, СССР. – Опубл. 1972. – Бюл. № 16.
7. Карягина Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – Минск: Наука и техника, 1983. – 181 с.
8. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. – Новосибирск, 2013. – 790 с.
9. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 204 с.
10. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. – Ереван: Айастан, 1974. – 275 с.
11. Тихомирова Л.Д. Биологический метод определения плодородия почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – № 5. – С. 15–18.

References

1. Sorta sel'skokhozyaystvennykh kul'tur selektsii FGBNU SibNIISKH / Отв. ред. И.Ф. KHramtsov. – Омск: Литера, 2017. – 168 s.
2. Voronkova N.A. Biologicheskiye resursy sokhraneniya plodorodiya chernozemov i povysheniya produktivnosti agrotsenozov v yuzhnoy lesostepnoy zone Zapadnoy Sibiri: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk: 06.01.04 / N.A. Voronkova. – Omsk, 2011. – 36 s.
3. Timokhin A.YU. Povysheniye produktivnosti zernobobovykh kul'tur na lugovo-chernozemnykh pochvakh Omskogo Priirtysh'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk: 06.01.01 / A.YU. Timokhin. – Krasnoyarsk, 2017. – 20 s.
4. Zvyagintsev D.G., Aseyeva I.V., Bab'yeva I.P., Mirchink T.G. Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii. – M.: MGU, 1980. – 224 s.
5. Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv. – M.: Nauka, 1975. – 655 s.
6. Tikhomirova L.D. Sposob opredeleniya effektivnogo plodorodiya pochvy // A.s. № 338196, SSSR. – Opubl. 1972. – Byul. № 16.
7. Karyagina L.A. Mikrobiologicheskiye osnovy povysheniya plodorodiya pochv. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1983. – 181 s.
8. Gamzikov G.P. Agrokhiimiya azota v agrotsenozakh. – Novosibirsk, 2013. – 790 s.
9. KHaziyeu F.KH. Sistemno-ekologicheskiy analiz fermentativnoy aktivnosti pochv. – M.: Nauka, 1982. – 204 s.
10. Galstyan A.SH. Fermentativnaya aktivnost' pochv Armenii. – Erevan: Ay'astan, 1974. – 275 s.
11. Tikhomirova L.D. Biologicheskiy metod opredeleniya plodorodiya pochvy // Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. – 1973. – № 5. – S. 15–18.

Получено: 15.06.2018 Принято: 06.11.2018
Received: 15.06.2018 Accepted: 06.11.2018