Влияние условий минерального питания на продуктивность и качество семян зернобобовых культур

Тимохин А.Ю. и Аксенова Ю.В.

Обеспеченность лугово-черноземной почвы подвижным фосфором выше среднего уровня имела более важное значение при возделывании гороха посевного и бобов кормовых, хорошо отзывавшихся на последействие ранее внесенных фосфорных удобрений, по сравнению с соей. Однако при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором наблюдалась существенная отдача от применения фосфорных удобрений под все изученные зернобобовые культуры. При выращивании гороха и сои без инокуляции семян дополнительное допосевное применение азотных удобрений повышало как урожайность семян, так и содержание в них белка.

Обеспечение населения белковыми продуктами питания до сих пор остаётся одной из самых сложных и ответственных проблем глобального характера (Зотиков и др., 2015). Около 68% всех ресурсов белка в мире дают растения и 32% – животные, причем на производство 1 кг животного белка затрачивается 7.5-8.0 кг растительного. Производство растительного белка значительно отстает от растущих потребностей (Боднар и Лавриненко, 1977; Васякин, 2003; Кашеваров и др., 2004). В этой связи очень важно использовать богатейший потенциал зернобобовых культур. Для повышения их адаптации к биотическим и абиотическим стрессовым факторам в зоне рискованного земледелия Западной Сибири, наряду с улучшением сортового состава, требуется проработка агротехнологий. Необходим комплексный подход для максимальной реализации генетического потенциала культур. Значимым фактором повышения количества произведенной продукции может стать орошение (Бойко и Сницарь, 2002).

Цель исследований – усовершенствовать приемы агротехнологии выращивания зернобобовых культур за счет управления режимами влажности и минерального питания для максимальной реализации биологического потенциала новых сортов.

Исследования проводили в 2011-2016 гг. на орошаемом стационаре лаборатории полевого кормопроизводства ФГБНУ «Омский АНЦ». Зернобобовые культуры выращивались в восьмипольном

севообороте с чередованием культур (многолетние бобовые и злаковые травы, зерновые и зернобобовые) во времени и пространстве. В опытах возделывали горох посевной (сорт Ямальский), бобы кормовые (сорт Сибирские) и сою (сорт Эльдорадо). Соя была включена в схему опыта в 2015-2016 гг. Инокуляция семян бобовых культур не проводилась.

Почва – орошаемая лугово-черноземная среднемощная среднегумусная тяжелосуглинистая с мощностью гумусового горизонта до 45 см. Содержание гумуса составляет 5.9-6.4% (в слое почвы 0-40 см), пахотный горизонт имеет нейтральную реакцию среды (pH_{H2O} = 7.0-7.2). Содержание подвижных форм Mo – среднее: 0.29-0.31 мг/кг почвы в слое 0-20 см и 0.22-0.24 мг/кг почвы в слое 20-40 см. В среднем за период исследований грунтовые воды осенью находились на уровне 3 м (Бойко и Тимохин, 2014).

В опыте изучалось влияние 3-х факторов. Фактор А – допосевное внесение фосфорсодержащего удобрения (аммофоса) в дозе 52 кг P_2O_5/га (N12P52). Фактор В – допосевное внесение азотного удобрения (аммиачной селитры) в дозе 30 кг/га (N30), а также молибденового удобрения (молибдата аммония) в дозе 100 г Mo/га (N30+Mo). Фактор С – последействие ранее внесенных фосфорных удобрений (в 1986-1995 гг.). Для изучения влияния данного фактора использовалось четыре фона с разным содержанием подвижного фосфора (по Чирикову) в слое почвы 0-20 см:

I – 51-100 мг P_2O_5/кг почвы (фосфорные удобрения в прошлом не вносились);

II – 101-120 мг P_2O_5/кг почвы;

III –140-150 мг P_2O_5/кг почвы;

IV – 151-200 мг P_2O_5/кг почвы.

I-й фон соответствует классу средней обеспеченности почвы подвижным фосфором, II-й и III-й – повышенной, а IV-й – высокой. Таким образом, варианты с внесением удобрений до посева (0, N30, N30+Mo, N12P52, N42P52 и N42P52+Mo), наложенные поперек четырех фонов по обеспеченности почвы фосфором, образовали 24-х вариантную схему опыта.

Размер делянок составил 360 м^2, учетная площадь – 36 м^2. Повторность опыта – 3-х кратная. До-

Таблица 1. Содержание подвижного фосфора в почве (по Чирикову), мг/кг почвы (в среднем за 2011-2015 гг.).

Удобрения до посева	Слой почвы, см	Горох посевной				Бобы кормовые			
		Фон по обеспеченности почвы фосфором							
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Весна									
0	0-20	101	107	118	141	109	135	135	137
	20-40	89	100	97	108	98	107	124	113
Осень									
0	0-20	101	104	129	132	89	109	131	134
	20-40	82	92	116	107	82	97	110	124
N42P52+Mo	0-20	136	178	177	215	136	206	192	231
	20-40	87	129	126	146	84	137	141	145

посевное внесение удобрений проводилось сеялкой СЗ-3,6. Посев проводили 17-21 мая той же сеялкой сплошным рядовым способом с шириной междурядий 15 см. Нормы высева: горох – 1.2 млн шт./га, бобы – 0.6 млн шт./га, соя – 0.8 млн шт./га. В период вегетации (9-12 июня) посевы обрабатывали гербицидом Пивот (0.8 л/га). Учет урожайности семян осуществляли в третьей декаде сентября комбайном «Сампо-130».

Заданный режим влажности почвы – от влажности разрыва капилляров (ВРК) до наименьшей влагоемкости (НВ) в слоях 0-60 и 0-100 см поддерживался вегетационными поливами дождевальной машиной ДКШ-64 «Волжанка». Поливная норма составляла 300 м^3/га. Наименьшая влагоемкость почвы для слоя 0-60 см – 184 мм, для слоя 0-100 см – 297 мм. Регулирование запасов влаги в почве с помощью вегетационных поливов позволило сгладить неблагоприятные последствия повышенного температурного фона и недобора осадков в отдельные годы и периоды исследований. В остальном агротехника возделывания культур соответствовала зональным рекомендациям.

Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам. Содержание нитратного азота в почве определяли по методу Грандваль-Ляжу, содержание подвижных форм фосфора и калия в почве – по методу Чирикова (Аринушкина, 1970). Биохимический анализ семян осуществляли в лаборатории генетики, физиологии и биохимии растений ФГБНУ «Омский АНЦ». Содержание белка в семенах определяли на автоматическом анализаторе «Kjeltek Auto 1030», жира – на аппарате Сокслета по разности обезжиренного и необезжиренного остатка. Статистическую обработку данных осуществляли по Б.А. Доспехову (1985).

В среднем за 5 лет (2011-2015 гг.) по изученным фонам по обеспеченности почвы фосфором исходное содержание нитратного азота в почве весной до посева гороха и бобов составило 9.6-12.2 мг/кг в слое 0-40 см, что соответствует средней обеспеченности. В вариантах без допосевного внесения удобрений количество нитратного азота в почве в уборку было в среднем в 2.5 раза ниже, чем весной, что говорит об относительно полном использовании культурами азота почвы. В вариантах, где до посева вносился азот в дозе 42 кг/га, остаточное количество нитратов в почве осенью (в среднем – 7.9 мг/кг) было в 1.8 раза выше, чем в вариантах без внесения азота. Содержание нитратного азота в слое почвы 40-60 см составило менее 3.6 мг/кг. При наблюдении за динамикой нитратов в слое почвы 60-100 см чаще всего фиксировались их следы независимо от культуры и уровня удобренности.

В среднем за 5 лет содержание подвижного фосфора в почве (в слое 0-20 см) весной до посева гороха составило 101 мг P_2O_5/кг почвы на I-м фоне по обеспеченности фосфором, возрастая до 107, 118 и 141 мг P_2O_5/кг почвы на последующих фонах (**табл. 1**). При возделывании бобов рассматриваемый показатель находился в диапазоне от 109 до 137 мг P_2O_5/кг почвы. Осенью в основном отмечена тенденция к снижению обеспеченности почвы фосфором в вариантах без его внесения до посева. За счет положительного баланса фосфора при внесении 52 кг P_2O_5/га до посева произошло существенное повышение содержания подвижного фосфора в почве. Например, на I-м фоне по обеспеченности почвы фосфором после уборки гороха и бобов оно составило 136 мг P_2O_5/кг почвы.

Наши исследования показали, что содержание подвижного калия в пахотном слое под посевами гороха и бобов независимо от периода отбора образцов и варианта опыта было относительно стабильным по годам и соответствовало очень высокой обеспеченности – более 180 мг K_2O/кг почвы. Такая относительная стабильность на протяжении длительного периода времени свидетельствует о высокой мобилизационной активности черноземной почвы по возобновлению запасов калия за счет необменных форм (Воронкова, 2011).

Влияние удобрений на биологическую актив-

Таблица 2. Средняя урожайность семян зернобобовых культур в зависимости от условий минерального питания, т/га.

Удобрения до посева		Фон по обеспеченности почвы фосфором (фактор С)				Среднее по фактору	
Аммофос (фактор А)	**Аммиачная селитра, молибден (фактор В)**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**A**	**B**
Бобы кормовые (2011-2016 гг.)							
0	0	2.75	3.22	3.68	3.69	3.26	3.46
	N30	2.53	3.09	3.55	3.57		3.37
	N30+Mo	2.55	3.24	3.48	3.82		3.49
N12P52	0	3.38	3.64	3.72	3.56	3.61	
	N30	3.44	3.55	3.64	3.56		
	N30+Mo	3.59	3.65	4.06	3.54		
Среднее по фактору С		3.04	3.40	3.69	3.62		
$НСР_{0.05}$: по фактору А – 0.30; по фактору В $F_ф < F_{0.05}$; по фактору С – 0.42; для частных средних – 1.02							
Горох посевной (2011-2013 гг., 2015 г.)							
0	0	2.26	2.58	2.48	2.55	2.72	2.63
	N30	2.30	2.97	2.93	2.92		2.92
	N30+Mo	2.38	3.14	2.97	3.14		3.05
N12P52	0	2.56	2.90	2.68	3.00	3.01	
	N30	2.95	3.08	3.12	3.05		
	N30+Mo	3.02	3.36	3.19	3.19		
Среднее по фактору С		2.58	3.00	2.89	2.98		
$НСР_{0.05}$: для фактора А – 0.24; для фактора В – 0.30; для фактора С – 0.34; для частных средних – 0.84							
Соя (2015-2016 гг.)							
0	0	1.46	1.75	1.87	1.77	1.91	1.81
	N30	1.76	2.00	2.01	2.12		2.02
	N30+Mo	1.89	1.99	2.11	2.17		2.04
N12P52	0	1.96	1.89	1.96	1.79	2.01	
	N30	2.18	2.08	2.06	1.97		
	N30+Mo	2.18	2.05	1.92	2.04		
Среднее по фактору С		1.90	1.96	1.99	1.98		
$НСР_{0.05}$: для фактора А $F_ф < F_{0.05}$; для фактора В – 0.13; для фактора С $F_ф < F_{0.05}$; для частных средних – 0.41							

ность почвы было наиболее заметно в агроценозах сои, где разложение льняного полотна за период экспозиции составило 48.2% в контрольном варианте (без внесения удобрений на I-м фоне по обеспеченности почвы фосфором) и 60.2% – в хорошо удобренном варианте (внесение N42P52+Mo на III-м фоне по обеспеченности почвы фосфором). При этом отмечалось увеличение численности фосфатмобилизующих микроорганизмов с 86.5 до 106.3 млн КОЕ/г почвы (на 23%), нитрификаторов – с 2.6 до 4.1 тыс. КОЕ/г почвы (в 1.6 раза), грибов – с 22.7 до 29.5 тыс. КОЕ/г почвы (на 30%). Общее количество микроорганизмов в итоге возрастало с 164.6 до 201.9 млн КОЕ/г почвы, что на 23% выше, чем в контрольном варианте. Такой рост, очевидно, обеспечил повышение нитрификационной способности с 19.33 до 34.38 мг/кг почвы, то есть на 78%. В то же время применение минеральных удобрений снижало активность фермента каталазы. Активность уреазы также снижалась при более высокой концентрации ионов в почвенном растворе. Таким образом, создание благоприятных условий для жизнедеятельности микроорганизмов в лугово-черноземной почве в условиях орошения в результате применения азотно-фосфорных удобрений повышало активность различных физиологических групп – целлюлозоразрушающих, фосфатмобилизующих, нитрификаторов, способствуя тем самым улучшению питательного режима почвы.

Сложившиеся погодные условия, режимы влагообеспеченности и минерального питания влияли как на параметры роста и развития зернобобовых культур, так и на их семенную продуктивность. Бобы кормовые обладают большей потенциальной урожайностью, чем горох и соя. Бобы положительно реагировали на улучшение условий питания фосфором, как за счет прямого действия, так и последействия фосфорных удобрений (**табл. 2**). При внесении аммофоса до посева отмечен достоверный рост урожайности семян бобов с 3.26 до 3.61 т/га или на 11% в среднем по данному фактору. Достоверная отзывчивость бобов на последействие фосфорных удобрений наблюдалась на III-м фоне по обеспеченности почвы фосфором. Урожайность семян здесь составила 3.69 т/га в среднем по рассматриваемому фактору по сравнению с 3.04 т/га на I-м фоне. Более высокое плодородие почвы по фосфору (IV-й фон) не оказало влияния на продуктивность бобов.

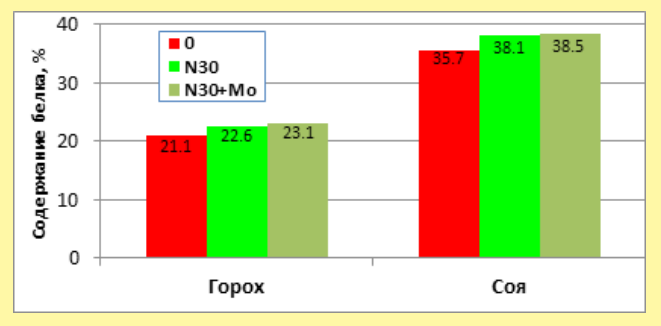

Рис. 1. Среднее содержание белка в семенах гороха посевного (2011-2014 гг.) и сои (2015-2016 гг.) по фактору В (аммиачная селитра и молибден до посева), %.
$НСР_{0.05}$: 1.1 и для гороха, и для сои.

Использование аммиачной селитры перед посевом, а также молибдена было неэффективным приемом при выращивании бобов, что, скорее всего, объясняется их симбиотрофным питанием.

Допосевное внесение аммофоса обеспечило достоверный рост урожайности семян гороха посевного с 2.72 до 3.01 т/га или на 11% в среднем по данному фактору. Отмечалась достоверная отзывчивость гороха на последействие фосфорных удобрений. Так, на II-м фоне по обеспеченности почвы фосфором по сравнению с I-м урожайность семян выросла с 2.58 до 3.00 т/га или на 16% в среднем по рассматриваемому фактору. На фонах с более высоким уровнем плодородия по фосфору дальнейшего прироста урожайности не наблюдалось.

Тенденция положительного влияния применения аммиачной селитры до посева выразилась в увеличении урожайности семян гороха с 2.63 до 2.92 т/га или на 11% в среднем по данному фактору, а достоверное повышение сбора семян до 3.05 т/га или на 16% наблюдалось при совместном использовании аммиачной селитры и молибдата аммония.

Максимальная урожайность семян гороха (3.36 т/га в среднем за годы исследований) была получена при допосевном внесении N42P52+Mo на II-м фоне по обеспеченности почвы фосфором. При этом прибавка урожайности за счет применения удобрений до посева при данном повышенном уровне обеспеченности почвы фосфором составила 30%, а окупаемость удобрений прибавкой урожая – 8.3 кг семян/кг д.в.

Влияние прямого действия и последействия фосфорных удобрений на сое (2015-2016 гг.) было выражено слабее, чем у других изученных зернобобовых культур. Заметное увеличение сбора семян сои с 1.46 до 1.96 т/га или на 34% за счет внесения аммофоса перед посевом происходило только на I-м фоне по уровню плодородия почвы по фосфору, то есть при средней обеспеченности почвы фосфором.

Применение аммиачной селитры до посева достоверно повышало урожайность семян сои с 1.81 до 2.02 т/га или на 12% в среднем по данному фактору. При добавлении молибдена урожайность не менялась, составив в среднем 2.04 т/га.

Максимальная урожайность семян сои (2.18 т/га в среднем за годы исследований) была получена при допосевном внесении N42P52 на I-м фоне по обеспеченности почвы фосфором. Прибавка урожайности за счет применения удобрений до посева при этом составила 49%, а окупаемость удобрений прибавкой урожая – 7.7 кг семян/кг д.в.

Основной показатель качества и питательной ценности семян зернобобовых культур – содержание в них белка. Допосевное внесение аммиачной селитры оказало наиболее существенное влияние на содержание белка в семенах гороха и сои. Так, наблюдалось достоверное увеличение содержания белка с 21.1 до 22.6% и с 35.7 до 38.1% соответственно в семенах гороха и сои в среднем по данному фактору (**рис. 1**). Была также отмечена тенденция к дальнейшему росту содержания белка в семенах вышеуказанных культур при включении молибдена в допосевное удобрение. Бобы в аналогичных условиях произрастания отличались слабой отзывчивостью на допосевное внесение минеральных удобрений. Фоны с повышенной и высокой обеспеченностью почвы фосфором (III-IV) способствовали достоверному увеличению белковости семян бобов до 32.7-33.0% по сравнению с 31.6% на фоне со средним уровнем плодородия по фосфору (I).

Наши исследования также показали, что улучшение условий минерального питания положительно сказалось на использовании влаги изученными зернобобовыми культурами. Так, при внесении N42P52+Mo по сравнению с вариантами, где удобрения до посева не вносились, коэффициент водопотребления, рассчитанный с учетом запасов общей влаги в метровом слое почвы, у гороха понижался со 107 до 74 мм/т семян в среднем по всем фонам по обеспеченности почвы фосфором, а у бобов – с 88 до 77 мм/т семян.

Основной вывод проведенных исследований заключается в том, что получение стабильно высоких и качественных урожаев семян зернобобовых культур обеспечивается за счет оптимизации режимов влажности почвы в интервале от ВРК до НВ и условий минерального питания. Уровень плодородия почвы по фосфору был более важен для гороха посевного и бобов кормовых, хорошо отзывавшихся

А.Ю. Тимохин на опытном участке.

на последействие ранее внесенного фосфора, по сравнению с соей. При средней обеспеченности лугово-черноземной почвы подвижным фосфором наблюдалась существенная отдача от применения фосфорных удобрений под все изученные зернобобовые культуры. Если горох и соя выращиваются без инокуляции семян, может быть оправданным увеличение дозы азота для повышения урожайности семян и содержания в них белка.

Тимохин А.Ю. – кандидат сельскохозяйственных наук, магистрант 2-го года обучения, e-mail: timoxin514@mail.ru.

Аксенова Ю.В. – кандидат биологических наук, доцент.

Кафедра агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет» (г. Омск).

Авторы признательны региональному директору по югу и востоку России Международного института питания растений, кандидату биологических наук Носову В.В. за редактирование данной статьи.

Литература

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 487 с.

Боднар Г.В. и Лавриненко Г.Т. 1977. Зернобобовые культуры. М.: Колос, 257 с.

Бойко В.С. и Сницарь А.Е. 2002. Агромелиоративные приёмы повышения продуктивности орошаемых земель: монография. РАСХН, Сиб. отд-ние, СибНИИСХ, ОмГАУ, Омск, 160 с.

Бойко В.С. и Тимохин А.Ю. 2014. Мелиорация и водное хозяйство, 3: 34-36.

Васякин Н.И. 2003.Селекция зернобобовых культур в Западной Сибири: автореф. дис. … доктора с.-х. наук. Новосибирск, 74 с.

Воронкова Н.А. 2011. Биологические ресурсы сохранения плодородия черноземов и повышения продуктивности агроценозов в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. … доктора с.-х. наук. Новосибирск, 35 с.

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

Зотиков В.И., Наумкина Т.С. и Сидоренко В.С. 2015. Земледелие, 4: 3-5.

Кашеваров Н.И., Солошенко В.А., Васякин Н.И. и Лях А.А. 2004. Соя в Западной Сибири. РАСХН, Сиб. отд-ние, СибНИИ кормов. Новосибирск: Юпитер, 256 с.

Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов Scholar Award 2018

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. В Восточной Европе и Центральной Азии конкурс проводится в России, Украине и Казахстане.

Тимохин Артём

Артем Тимохин закончил Омский государственный аграрный университет (ОмГАУ) в 2010 г. по специальности «Агрономия». В этом же году поступил на работу в Омский аграрный научный центр (ФГБНУ «Омский АНЦ») в лабораторию полевого кормопроизводства отдела земледелия, где работает до настоящего времени. С 2017 г. обучается в магистратуре по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» на факультете агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования ОмГАУ. Принимал участие в семинарах, международных конкурсах и научно-практических конференциях по проблемам возделывания зернобобовых и масличных культур и управления плодородием почвы. Автор и соавтор более 35-ти публикаций, в том числе 8-ми в изданиях из перечня ВАК РФ и 4-х рекомендаций производству. Тема работы, представленной на конкурс: «Влияние различных условий минерального питания на продуктивность и качество семян зернобобовых культур». Цель Артема – продолжение научных исследований в рамках работы в Омском АНЦ по сохранению плодородия почв, минеральному питанию растений и проблеме обеспеченности растительным белком продуктов питания и кормов животных.