

На правах рукописи

КАДЕРМАС ИРИНА ГЕННАДЬЕВНА

**ФОРМИРОВАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО И
СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТОВ РАСТЕНИЙ И ИХ ВКЛАД
В ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ
ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*Pisum sativum* L.)**

03.02.08 – экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Омск – 2015

Работа выполнена на кафедре экологии, природопользования и биологии
ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина

Научный руководитель:	<i>Поползухина Нина Алексеевна</i> доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Официальные оппоненты	<i>Наумкина Татьяна Сергеевна</i> , доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе ФГБНУ ВНИИ зернобобовых и крупяных культур ФАНО России <i>Рожанская Ольга Александровна</i> , доктор биологических наук, заведующая лабораторией генетики и биотехнологии ФГБНУ Сибирский научно-исследовательский институт кормов
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится «__» _____ 2015 г. в ____ час. ____ мин. на заседании диссертационного совета ДМ 212.177.05 в ФГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет» по адресу: 644099, г. Омск, ул. Набережная Тухачевского, 14.

Телефон/факс: 8(3812)24-81-05, e-mail: kolpakova@omgpu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Омского государственного педагогического университета по адресу: 644099, г. Омск, ул. Набережная Тухачевского, 14 или по адресу: <http://omgpu.ru/dissertations/kadernas-irina-gennadevna>

Ваш отзыв, заверенный печатью, просим направить по адресу: 644099, г. Омск, ул. Набережная Тухачевского, 14, ученому секретарю диссертационного совета ДМ 212.177.05.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.
и размещен на сайте ВАК РФ www.vak.ed.gov.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук, доцент

Т. Ю. Колпакова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Производство высококачественной сельскохозяйственной продукции, в тоже время сохранение почвенного плодородия, поддержание экологической чистоты, ресурсосбережение являются главными задачами отрасли растениеводства 21 века. Этим требованиям отвечает использование растительно-микробных сообществ, которые позволяют обеспечить растения основными элементами питания, повысить устойчивость к стрессам и фитопатогенам (Проворов, Куликова, 1998). Одним из таких сообществ выступает взаимодействие зернобобовых культур с клубеньковыми бактериями, интерес к которому за последние годы значительно возрос (Волбуева, 2011; Парахин и др., 2007; Dixon, Wheeler, 1986).

Известно, что эффективность работы азотфиксаторов в полевых условиях зависит от целого ряда факторов: генотипа макросимбионта, активности и численности азотфиксирующих организмов, почвенно-климатических условий и т.д.). В последнее время ученые отмечают зависимость работы симбиотической системы от ассимиляционного аппарата растений (Наумкина, 2007; Пигарева, 1999; Хамоков, 2002).

В этой связи представляет определенный теоретический и практический интерес изучение процессов фотосинтеза и симбиотической азотфиксации и их вклада в формирование продуктивности агроценозов гороха посевного в агроэкологических условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Цель исследования – изучить особенности роста и развития, динамику формирования ассимиляционной поверхности и симбиотического аппарата растений и определить их вклад в формирование продуктивности агроценозов гороха посевного в контрастных агроэкологических условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Задачи исследования:

1. определить запасы продуктивной влаги, основные элементы питания в почве перед посевом и во время уборки урожая; содержание общего азота в вегетативной массе растений;

2. выявить влияние генотипа и гидротермических условий на лабораторную и полевую всхожесть семян, а также выживаемость растений гороха;

3. изучить продолжительность вегетационного и межфазных периодов у различных генотипов гороха в изменяющихся агроэкологических условиях;

4. по фазам развития растений изучить:

- динамику накопления надземной биомассы,
- динамику формирования листовой поверхности,
- динамику формирования симбиотического аппарата;

5. определить взаимосвязь признаков клубенькообразования, фотосинтеза и продуктивности и их зависимость от генотипа и агроэкологических условий;

6. выявить перспективные генотипы гороха посевного для дальнейшего использования в симбиотической селекции.

Научная новизна результатов исследований. Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири дана оценка симбиотической эффективности и фотосинтетической активности генотипов гороха посевного. Изучена динамика образования клубеньков и ассимиляционного аппарата в различные фазы развития растений. Выявлена взаимосвязь процессов клубенькообразования, фотосинтеза, формирования продуктивности и качества зерна у гороха, а также влияние на эти процессы генотипических особенностей и агроэкологических условий. Выявлены генотипы с высокими значениями изучаемых показателей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведённые исследования дополняют представление об использовании бобово-ризобиального симбиоза в восстановлении экологического равновесия агроэкосистем. В процессе изучения выделена перспективная линия гороха, характеризующаяся высокой эффективностью симбиотической азотфиксации, фотосинтетической активностью, стабильно высокой продуктивностью, обеспечивающая высокий выход белка с гектара, адаптивная к агроэкологическим условиям южной лесостепи Западной Сибири. В 2013 году Линия 37/03 под названием Сорт гороха Омский 18 передана на Государственное сортоиспытание Российской Федерации.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Рост, развитие, динамика формирования ассимиляционного и симбиотического аппаратов, продуктивности генотипов в агроценозах гороха посевного в контрастных агроэкологических условиях.
2. Взаимосвязь процессов фотосинтеза и клубенькообразования и их вклад в повышение продуктивности гороха посевного.
3. Перспективные генотипы гороха для дальнейшего использования в симбиотической селекции.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на международной научной конференции «Молодежь третьего тысячелетия», на IX региональной научно-практической конференции молодых ученых вузов СФО «Инновации молодых ученых аграрных вузов – агропромышленному комплексу Сибирского региона», научно-практической конференции «Экологическая безопасность живых систем», на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ОмГАУ (2010–2012гг.); на заседании кафедры экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина (июнь 2014г.), во II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых, высших учебных заведений Минсельхоза России, награждена дипломом второй степени в номинации «Биологические науки».

Объём и структура диссертации. Диссертация изложена на 141 странице печатного текста с 11 приложениями, иллюстрирована 22 таблицами и 7 рисунками; состоит из введения, 6 глав, выводов, практических рекомендаций. Библиографический список включает 198 наименований, в том числе 58 зарубежных публикаций.

Личный вклад автора состоит в самостоятельном сборе и обработке фактического материала, его анализе, проведении лабораторных и полевых исследований, формулировке научных положений и выводов, подготовке научных публикаций, написании и оформлении текста диссертации.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору с.-х. наук, профессору Н. А. Поползухиной и коллективу ФГБНУ «СибНИИСХ». Особую признательность автор выражает кандидатам с.-х. наук А. М. Асанову и Л. В. Омелянюк, докторам с.-х. наук Ю. В. Колмакову и Н. А. Воронковой за помощь в проведении экспериментальных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Формирование эффективного бобово-ризобийного симбиоза и его роль в создании экологически устойчивых агроценозов (на примере *Pisum sativum L.*)

На основе опубликованного отечественного и зарубежного материала приведены данные о негативном влиянии нерационального применения азотных удобрений на качество и безопасность растениеводческой продукции. Рассмотрены вопросы, касающиеся механизма симбиотической азотфиксации и роли макросимбионта (бобовых культур) в бобово-ризобийном симбиозе, а также в регулировании равновесия агроэкосистем. Приведены сведения о взаимосвязи процессов нодуляции и фотосинтеза, их влиянии на формирование продуктивности и качество продукции.

Анализ патентной и научно-технической документации по теме исследований показал, что данная проблема актуальна и перспективна.

ГЛАВА 2. Условия, объект и методика исследований

Исследования проводились на полях лаборатории селекции зернобобовых культур ГНУ СибНИИСХ в 2010 – 2012 гг. Почва опытного участка представлена лугово-черноземной почвой с пахотным горизонтом 25 – 30 см, содержанием гумуса 6,3 – 6,5 %, суммой поглощенных оснований 26 – 48 мг экв./100 г, $pH_{\text{сол}}$ – 6,5 – 6,7 (по данным лаборатории агрохимии ГНУ СибНИИСХ).

Годы проведения исследований были контрастными по увлажнению и сумме активных температур. Вегетационный период 2010 года был засушливым, выпало 112,8 мм осадков, что составляет 56,1% от нормы. Средняя температура воздуха за период вегетации составила 16,6 °С. 2011 год был оптимальным по увлажнению, количество выпавших осадков составило 205,5 мм, при норме 201 мм. Средняя температура воздуха была в пределах нормы – 12,9°С. Вегетационный период 2012 года характеризовался недобором осадков (71% от нормы), средняя температура 18,3 °С превысила многолетнюю на 2,1 °С, особенно жаркими отмечены июнь и июль месяцы.

В качестве объекта исследований использовали 5 сортообразцов гороха посевного: сорта гороха, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и рекомендованные к использованию в 10-ом Западно-Сибирском регионе: Омский 9, Омский 7, Благовест, Демос; а также перспективную селекционную линию Л 37/03, созданную в ГНУ СибНИИСХ.

Опыты закладывались на делянках площадью 10 м², в четырехкратной повторности. Предшественник мягкая яровая пшеница. Норма высева – 1,2 млн. всхожих зерен на гектар. Посев проводили сеялкой ССФК – 7,0, уборку – комбайном «Хеге 125» в фазу полной спелости. Агротехника – общепринятая для зоны южной лесостепи Западной Сибири. Отбор образцов производился по основным фазам развития растений: полные всходы, бутонизация, цветение, плодообразование.

В опытах проводились следующие наблюдения и учеты: содержание нитратного азота в почве проводили дисульфифеноловым методом по Грандваль-Ляжу, подвижного фосфора и обменного калия по методу Чирикова; запасы продуктивной влаги в почве – весовым методом в слое 0 – 100 см послойно через 20 см; фенологические наблюдения проводились в период вегетации растений в соответствии с методикой Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1985); учет полевой всхожести и выживаемости растений - согласно Методики полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов им В.Р. Вильямса (1971); динамика развития растений и накопления надземной массы по фазам развития, изменение листовой поверхности, интенсивность фотосинтеза (фотосинтетический потенциал (ФП, м²/га·сут.), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ, г/м²·сут.), индекс листовой поверхности (ИЛП, м²/м²), уборочный индекс (K_{хоз}, %)) изучались по методике А. А. Ничипоровича (1969). Учет количества, массы азотфиксирующих клубеньков и расчет показателя активной симбиотической потенциал (АСП, кг·сут./га) проводили по методике Г. С. Посыпанова (1983). Определяли основные показатели биомассы: высота растений, масса листьев, прилистников, стеблей, генеративных органов. Содержание азота в вегетативной массе растений определяли фотоколориметрическим методом с использованием реакции индофенольной зелени (ГОСТ – 13496.4-93). Количество белка в зерне гороха определяли в лаборатории качества зерна СибНИИСХ. Изучение элементов структуры урожая: число продуктивных стеблей, длина стебля, число узлов до первого боба, число фертильных узлов на растении, число бобов на растении, количество семян на растении, масса семян растения, – осуществляли согласно методике Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1971). Учет урожайности зерна проводился сплошным обмолотом делянок с приведением к базисной влажности (15 %) и 100 % чистоте.

Агрометеорологические условия изучались по материалам наблюдений Омской метеорологической станции.

Статическую обработку экспериментальных данных проводили по методике Б. А. Доспехова (1985) на персональном компьютере по специально разработанным программам.

3. Рост, развитие и формирование фотосинтетической поверхности и симбиотического аппаратов растений в агроценозах гороха посевного

3.1. Всхожесть семян и выживаемость растений гороха

За период проведения исследований лабораторная всхожесть всех изучаемых сортообразцов варьировала в пределах 92,3 – 99,0%. 100 %-ая лабо-

раторная всхожесть отмечена у сортообразцов Омский 9, Демос, Л 37/03 в 2011 год; Омский 7, Демос – в 2012 году.

Полевая всхожесть всегда ниже лабораторной и зависит от многих причин: качества семян, агротехники, экологических факторов и др. Установлено, что полевая всхожесть сортообразцов довольно высокая 73,9 – 89,7 %. Наибольшей стабильностью этого показателя характеризовался сортообразец Л 37/03, превысивший сорт-стандарт Омский 9 на 4,8 %.

При анализе выживаемости растений установлено, что изучаемые сортообразцы способны к уборочной спелости иметь достаточно высокую сохранность на уровне 86,1...94,1%, что вполне достаточно для формирования полноценного урожая.

Выявлено влияние абиотических факторов на показатели полевой всхожести и выживаемости растений. Установлена высокозначимая корреляционная связь между показателями полевой всхожести и содержанием продуктивной влаги в почве – $r = +0,99$, а также количеством выпавших осадков – $r = +0,99$.

3.2. Продолжительность вегетационного и межфазных периодов

Продолжительность вегетационного периода и отдельных межфазных периодов у гороха в значительной мере зависит от условий среды. Исследованиями выявлены генотипические различия в длительности основных межфазных периодов. Разница по продолжительности периодов полные всходы – полное цветение, цветение – полное созревание составила от 2 до 4 и от 7 до 9 суток соответственно.

Контрастные метеорологические условия в годы исследований повлияли на продолжительность периода вегетации. Так, самый короткий период вегетации отмечен в 2012 г, когда в июле-августе наблюдался недобор осадков и жаркая погода. Длительность периода цветение – полное созревание в 2012 г. напрямую зависела от суммы активных температур и количества осадков, коэффициент корреляции составил +0,99 и +0,94 соответственно.

2011 г. характеризовался самым продолжительным вегетационным периодом (80 суток), за счет удлинения периодов полные всходы – полное цветение (34 суток) и полное цветение – полное созревание (46 суток), что напрямую зависело от суммы активных температур ($r = +0,98$).

3.3. Фотосинтетическая деятельность агроценоза гороха посевного

Интенсивность нарастания надземной массы растений характеризуют биометрические показатели: высота, масса растений (без корня), вес зеленых листьев с прилистниками, вес репродуктивных органов. В 2010 г. сложились наиболее благоприятные условия для формирования надземных органов. Пик нарастания надземной массы отмечен к фазе цветения. Наибольшей надземной массой характеризовались сортообразцы Демос и Л 37/03.

Одной из важнейших физиологических характеристик сорта (морфотипа) является площадь листьев, которая в системе ассимиляционного аппарата вносит основной вклад в формирование конечного урожая.

В результате исследований установлено, что увеличение площади листьев происходит постепенно, пик этого показателя отмечен в фазу цветения

(рисунок 1). Наиболее благоприятными для формирования листовой поверхности у гороха были условия 2011 г., в среднем по сортообразцам этот показатель составил – 282,63 см²/растение. Максимальную площадь листовой поверхности формировали сортообразцы Омский 7 и Л 37/03.

Важным показателем эффективности фотосинтезирующей системы растений является индекс листовой поверхности (ИЛП), который отражает отношение суммарной поверхности всех листьев к площади почвы, занимаемой данными растениями.

В нашем опыте показатели ИЛП постепенно увеличивались от фазы всходов до фазы цветения. В целом за весь вегетационный период ИЛП составил: в 2010 г. – 6,58; в 2011 г. – 5,97 и в 2012 г. – 3,42 м²/м².

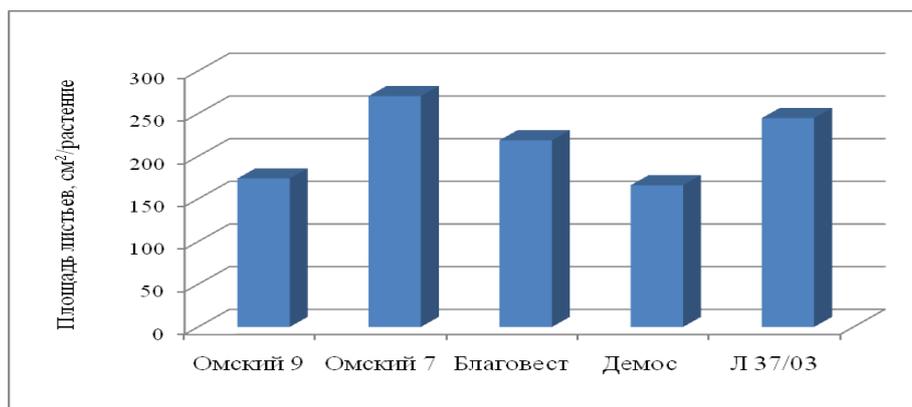


Рисунок 1. Площадь листьев растений гороха в фазу цветения, в среднем за 2010–2012 гг., см²/растение

Максимальным ИЛП в фазу цветения характеризовались сортообразцы Омский 7 (2,59 м²/м²), Л 37/03 (2,20 м²/м²).

С величиной площади листьев и продолжительностью их работы тесно связан фотосинтетический потенциал растений (ФП). Наибольшая величина ФП отмечена у сорта Омский 7 и линии Л 37/03, причем последняя характеризовалась стабильной работой ассимиляционного аппарата и продолжительной сохранностью листьев.

Наряду с фотосинтетическим потенциалом в практике исследований широко используется показатель – чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Результаты исследований показали, что в среднем за годы испытаний ЧПФ по изучавшимся сортообразцам в целом за вегетационный период составила 38,7 г/м² ×сут., причем по основным фазам развития величина этого показателя распределялась в соотношении 34,4% : 35,4% : 30,2%. Наибольшая величина ЧПФ была отмечена в 2012 г. – 50,10 г/м² ×сут. Эффективность работы фотосинтетического аппарата по фазам развития у изучаемых сортообразцов была различна (рисунок 2).

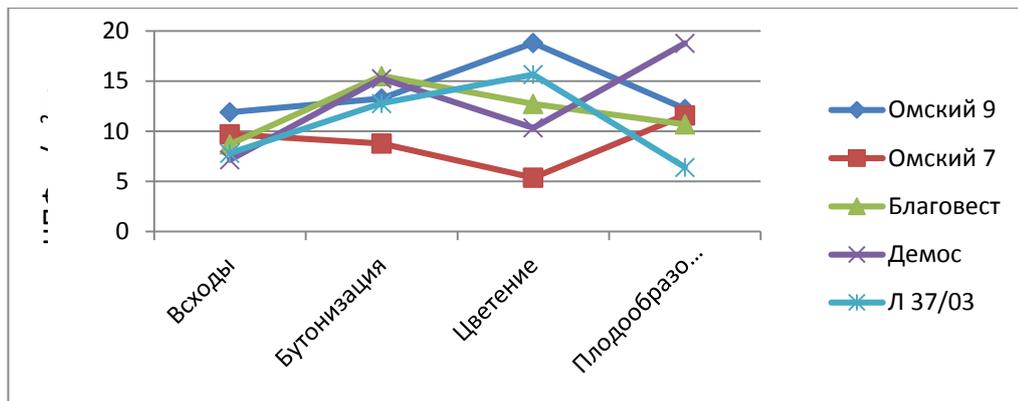


Рисунок 2. Чистая продуктивность фотосинтеза сортообразцов гороха по фазам развития, 2010 – 2012 гг., г/м²×сут.

Сортообразцы Омский 9 и Л 37/03 характеризовались наибольшим значением ЧПФ в фазу цветения, у сорта Благовест максимум ЧПФ был отмечен в фазу бутонизации, у Омского 7 и Демоса – к плодообразованию.

По результатам исследований наибольшей величиной ЧПФ за вегетацию характеризовались сорта Омский 9 – 44,99, Демос – 39,57 и Благовест – 38,88 г/м²×сут.

Для сравнительной оценки особенностей формирования семенной продуктивности у сортов выделяют уборочный индекс ($K_{\text{хоз}}$), который подвержен влиянию агроэкологических факторов.

Как показали исследования, в среднем за годы изучения $K_{\text{хоз}}$ составил 30,35 %. Максимальные значения этого показателя были отмечены у сорта Омский 7- 46 % (2010 г.); линии Л 37/03- 35,54 % (2011 г.) и у сорта Демос- 34,11 % (2012 г.).

Выявлена доля влияния факторов на показатель уборочный индекс. Наибольший эффект на этот показатель оказали условия года (В) – 75,2 %, влияние генотипа (А) было незначительным – 6 %, доля влияния совокупности факторов (АВ) достигала 18,9 %.

3.4 Клубенькообразующая способность растений в агроценозе гороха посевного

Отмечены значительные генотипические различия по признакам нодуляции у гороха. Установлено кроме того, что на формирование этих признаков существенное влияние оказывали почвенно-климатические условия, складывающиеся в процессе роста и развития растений. При изучении клубенькообразующей способности выявлено, что на корнях всех образцов формируется достаточное количество клубеньков розового цвета, что свидетельствует о высокой активности клубеньковых бактерий. В процессе онтогенеза растений масса клубеньков постепенно нарастала. Пик образования клубеньков у большинства сортов отмечен в фазу бутонизации (таблица 2).

По результатам исследований выявлено, что в среднем за годы испытаний у сортообразцов гороха формировалось 28,26 клубеньков на растение с массой 0,22 г. Наиболее благоприятными для формирования полноценных клубеньков были условия 2012 г.

Таблица 2 –Клубенькообразующая способность сортообразцов гороха в фазу бутонизации

Показатель		Омский 9	Омский 7	Благовест	Демос	Л 37/03	Среднее
2010 г.	к.к.*	26,53	40,73	38,27	23,17	21,30	30,00
	м.к.**	0,16	0,36	0,40	0,24	0,41	0,31
2011 г.	к.к.	16,47	18,40	21,87	25,26	18,93	18,53
	м.к.	0,02	0,02	0,14	0,18	0,08	0,09
2012 г.	к.к.	27,72	43,65	38,58	40,37	44,67	39,00
	м.к.	0,15	0,37	0,38	0,39	0,40	0,34
В среднем 2010– 2012 гг.	к.к.	23,57	34,26	32,91	25,26	25,28	28,26
	м.к.	0,11	0,25	0,31	0,21	0,23	0,22

* – количество клубеньков, шт./1 растение

** – масса клубеньков, г/1растение

Максимальным количеством и массой клубеньков характеризовались такие сортообразцы, как Омский 7 (34,26 шт., 0,25 г), Благовест (32,91 шт., 0,31 г.), Л 37/03 (25,28 шт.; 0,23 г).

По результатам исследований установлено, что наибольшей массы клубеньки достигают к фазе бутонизации (рисунок 3).

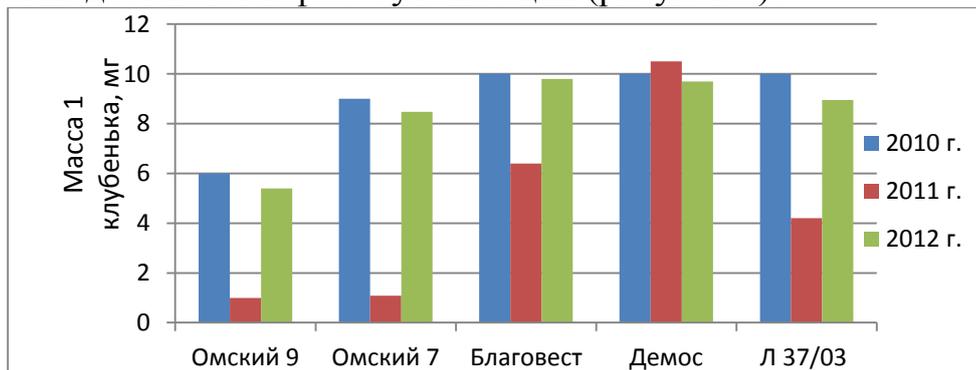


Рисунок 3. Масса 1 клубенька у сортообразцов гороха в фазу бутонизации, в среднем за 2010–2012 гг., мг

В условиях 2010 и 2012 гг. у гороха формировались более крупные клубеньки. Максимальным значением этого показателя характеризовались сортообразцы Благовест, Демос и линия Л 37/03. Наибольшей стабильностью этого показателя по годам отличался сорт Демос.

Представление об активности симбиоза в онтогенезе может дать активный симбиотический потенциал (АСП), который учитывает массу клубеньков и продолжительность их функционирования.

В нашем опыте выявлены значительные различия по показателю АСП как между изучаемыми генотипами, так и в зависимости от складывающихся гидротермических условий (рисунок 4).

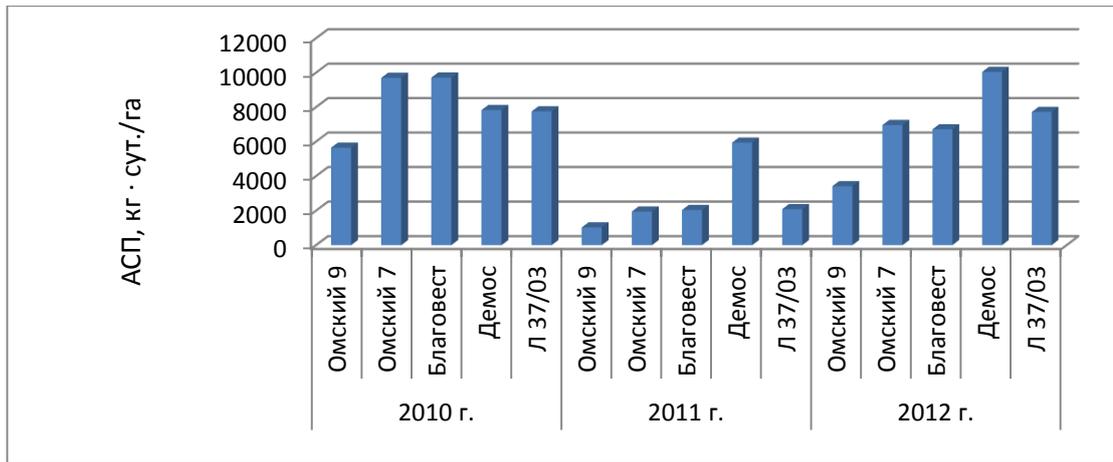


Рисунок 4 – Активный симбиотический потенциал за вегетационный период, кг·сут./га

Наибольшее значение АСП у растений было отмечено в 2010 г. – 8125,78 кг·сут./га, наименьшее – в условиях 2011 г. – 2606,74 кг·сут./га.

Данные двухфакторного дисперсионного анализа показали, что определяющее влияние на формирование симбиотического аппарата оказали условия выращивания 89,6%. Доля вклада генотипа составила 14,6%. Взаимное влияние этих факторов было незначительным и составило 3,9%.

В наших исследованиях были определены коэффициенты корреляции между показателями клубенькообразующей способности и фотосинтезирующей деятельности в различные фазы развития растений гороха. В 2010 г. была выявлена прямая связь средней силы ($r = +0,61$) между показателями АСП и ЧПФ, обратная средняя связь между количеством клубеньков и ФП ($r = -0,73$) в фазу всходов, что свидетельствует о зависимости формирования симбиотического аппарата от прироста биологической массы растений в период начала интенсивного роста. В период активного роста ассимиляционной поверхности растений гороха (бутонизация – цветение) отмечена прямая связь средней силы между количеством клубеньков и площадью листьев. В этот период макросимбионт контролирует нарастание клубеньков, активность симбиотического аппарата напрямую зависит от работы ассимиляционной поверхности.

2011 г. характеризовался самым продолжительным периодом вегетации сортообразцов гороха и самыми низкими показателями клубенькообразующей способности. В результате выявлено множество высокодостоверных связей между показателями нодуляции и эффективности работы ассимиляционной поверхности, в среднем коэффициент корреляции составил 0,94. Следует отметить, что гидротермические условия 2011 г. (количество выпавших осадков в период всходы–цветение) оказало сильное влияние на количество образовавшихся клубеньков, а также на продолжительность их активности ($r = +0,82$). От количества выпавших осадков зависела и площадь ассимилирующей поверхности ($r = +0,61$), но более сильное влияние на этот показатель оказала сумма эффективных температур данного периода ($r = +0,81$).

Гидротермические условия 2012 г. способствовали сокращению вегетационного периода сортообразцов гороха в среднем на 20 дней. Однако благодаря оптимальным условиям первой половины вегетации (сумме эффективных температур, количеству выпавших осадков в пределах нормы) сформировался эффективный фотосинтетический и симбиотический аппараты, о чем свидетельствуют положительные коэффициенты корреляции между этими показателями в период бутонизация – цветение.

Доказательством эффективной работы симбиотического аппарата может служить содержание азота в зеленой массе растений гороха. Азотный обмен, в свою очередь, неразрывно связан с фотосинтезирующей системой растений. В нашем опыте содержание азота имело характерные особенности: азотонакопление происходило до определенного возраста растений, при переходе к репродуктивной фазе роста в листьях происходило резкое снижение процентного содержания общего азота. Наибольшее содержание азота в зеленой массе растений гороха отмечено в фазу всходов (3,73...4,57 %) и бутонизации (2,72...2,90 %). Максимальное содержание азота в период бутонизации выявлено у сортов Омский 7 и Демос (2,90%).

4. Формирование продуктивности агроценоза гороха посевного

Комплексным показателем адаптивности, эффективности симбиотической азотфиксации и фотосинтеза бобовых культур является продуктивность растений (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность зерна сортообразцов гороха, т/га

Сортообразец	2010 г.		2011 г.		2012 г.		Среднее	
	т/га	± к ст-ту						
Омский 9	3,01	–	2,20	–	1,73	–	2,31	–
Омский 7	3,69	+ 0,68	2,56	+ 0,36	1,63	– 0,10	2,63	+ 0,32
Благовест	3,16	+ 0,15	2,18	– 0,02	1,84	+ 0,11	2,39	+ 0,08
Демос	2,63	– 0,38	1,44	– 0,76	1,85	+ 0,12	1,97	– 0,34
Л 37/03	3,34	+ 0,33	2,39	+ 0,19	2,39	+ 0,66	2,71	+ 0,40
Среднее	3,17		2,15		1,89		2,30	
НСР ₀₅	0,30		0,33		0,33			

В контрастных гидротермических условиях показатели продуктивности были различными. Максимальная урожайность зерна гороха – 3,17 т/га была отмечена в 2010 г., минимальная – 1,89 т/га в 2012 г. Среди сортообразцов наибольшая урожайность получена у линии Л 37/03. Свою адаптивность она подтвердила высокой продуктивностью в неблагоприятных гидротермических условиях 2012 г., превысив урожайность стандартного сорта Омский 9 на 0,66 т/га.

Установлено, что урожайность генотипов определяли следующие элементы ее структуры: длина стебля ($r= +0,77$), число продуктивных узлов ($r= +0,76$), число семян ($r= +0,55$), масса 1000 семян ($r= +0,75$).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что наибольшее воздействие на формирование урожайности сортообразцов гороха оказывали условия года (В) – 86,8%. Доля влияния генотипа (А) составила 9,8%. Эффект взаимодействия двух изучаемых факторов (АВ) на урожайность зерна был слабым – 3,4 %.

5. Формирование качества зерна в агроценозе гороха посевного

Определяющим показателем ценности сорта является не только урожайность, но и его качество.

Установлено, что содержание белка в зерне гороха по годам изменялось и составило в среднем по сортообразцам 22,28 % (таблица 4). Наиболее благоприятными для накопления белка в зерне гороха были условия 2010 г.

Таблица 4– Содержание белка и сбор его с гектара, в среднем за 2010-2012 гг.

Сортообразец	Содержание белка		Сбор белка, кг/га
	%	± к ст-ту	
Омский 9	22,02	–	552
Омский 7	21,66	–0,36	564
Благовест	21,76	–0,26	527
Демос	23,55	+1,53	560
Л 37/03	22,42	+0,40	692
Среднее	22,28		577

Самыми высокобелковыми из изучаемых генотипов были Демос – 23,55 %, Л 37/03 – 22,42

Сбор белка с гектара является характеристикой любого сорта. В среднем за годы изучения сбор белка с урожаем зерна гороха составил 577 кг/га (таблица 4). Максимальный сбор белка отмечался в 2010 г. – 865 кг/га, что в 2 раза выше показателей 2011 и 2012 гг.

Лидером по сбору белка с гектара стала селекционная линия Л 37/03 (692 т/га). В 2010 г. у изучаемой линии сбор белка был максимальным за весь период изучения – 1015 кг/га.

В результате проведенных исследований по комплексу хозяйственно-ценных признаков, симбиотических и фотосинтетических показателей был выделен перспективный генотип – линия Л 37/03, который передан на Государственное сортоиспытание в 2013 г. под названием сорт гороха Омский 18 (таблица 5).

Таблица 5 – Сравнительная характеристика линии Л 37/03 (сорт Омский 18) по комплексу признаков, в среднем за 2010–2012 гг.

Показатель	Л 37/03 (Омский 18)	± к стандарту Омский 9
Продолжительность вегетационного периода, дней	72	+5
Масса зеленых листьев с прилистниками, г	19,77	+3,7
Масса репродуктивных органов, г	1,85	+0,5
Площадь листьев, см ² /растение	244,77	+67,75
ФП, тыс. м ² /га	570,78	+97,77
K _{хоз} , %	28,81	+0,28
Количество клубеньков, шт./1 растение	25,28	+1,71
Масса клубеньков, мг/1 растение	0,23	+0,12
Масса 1 клубенька, мг/1 растение	9,10	+4,43
АСП, кг·сут./га	5854,73	+2492,80
Масса 1000 семян, г	225,00	+37,00
Урожайность, т/га	2,71	+0,40
Содержание белка в зерне, %	22,42	+0,40
Сбор белка, т/га	692,00	+140,00

По данным лаборатории иммунитета растений ГНУ СибНИИСХ (Сорта сельскохозяйственных культур..., 2014) поражаемость линии Л 37/03 фузариозом и бактериозом несущественна. Сортообразец устойчив к полеганию благодаря усатому типу листа, что позволяет производить уборку прямым комбайнированием и снизить затраты на возделывание этой культуры. Линия Л 37/03 (Омский 18) рекомендована для возделывания на фуражные цели в регионах Сибири и Урала.

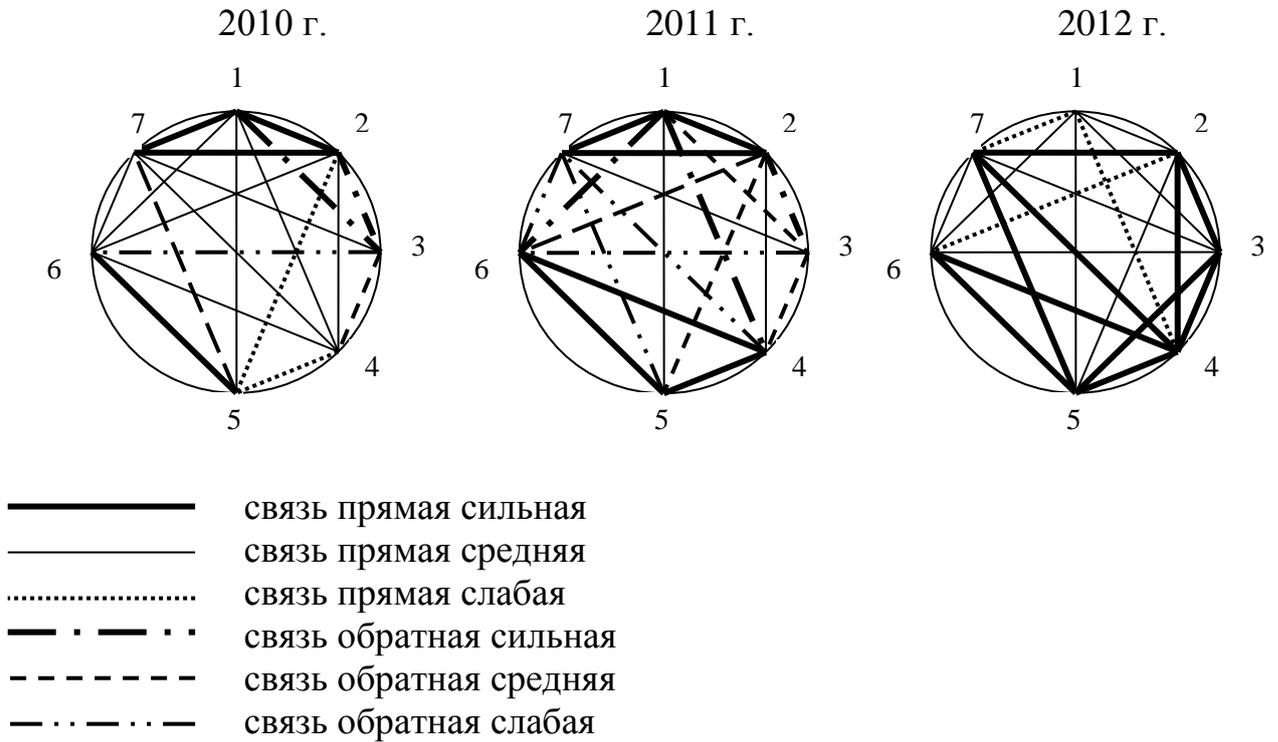
6. Вклад процессов фотосинтеза и симбиотической азотфиксации в продуктивность зерна гороха посевного

Для выявления связи между продуктивностью и показателями нодуляции и фотосинтеза растений гороха были определены коэффициенты корреляции между данными показателями. Для графической интерпретации числовых значений использовали метод корреляционных плеяд, который позволяет проследить структуру, направленность и силу зависимости между признаками. В нашем опыте характер связей по годам был различным (рисунок 5).

Наибольшее число положительных взаимосвязей отмечено в более благоприятных агроэкологических условиях 2010 и 2012 гг.

Установлено, что на формирование урожайности существенное влияние оказали площадь сформированных листьев ($r = +0,97$), фотосинтетический потенциал ($r = +0,84$) и чистая продуктивность фотосинтеза ($r = +0,52$). Высокодостоверная положительная связь установлена между продуктивно-

стью и признаками клубенькообразования ($r = +0,96$ – с количеством клубеньков; $r = +0,54$ – с массой клубеньков).



1 – урожайность зерна, 2 – площадь листьев, 3 – чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), 4 – количество клубеньков, 5 – масса клубеньков, 6 – активный симбиотический потенциал (АСП), 7 – фотосинтетический потенциал (ФП)

Рисунок 5 – Корреляционная связь между фотосинтетическими, симбиотическими показателями и урожайностью.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что показатели лабораторной, полевой всхожести семян и сохранности растений, характеризующие адаптивность генотипов, в значительной степени определяются действием абиотических факторов.

2. Выявлено, что продолжительность вегетационного и межфазных периодов у гороха в большей степени зависят от суммы активных температур ($r = +0,99$) и количества выпавших осадков в период вегетации растений ($r = +0,94$). Самый продолжительный вегетационный период у гороха отмечен в условиях 2011 года, за счет удлинения периодов полные всходы – полное цветение и полное цветение – полное созревание.

3. Установлено, что от фазы бутонизации до фазы цветения у гороха происходит постепенное нарастание надземной массы растений. Величина биометрических показателей определяется как генотипом, так и действием абиотических факторов. Наиболее благоприятными для формирования надземных органов были условия 2010 года. По величине биометрических

показателей за годы исследований выделились сортообразцы Демос и Л 37/03.

4. Выявлено, что величина фотосинтетического аппарата растений гороха в значительной мере определяется морфобиологическими особенностями генотипов и гидротермическими условиями выращивания. Формирование ассимиляционной поверхности происходит вплоть до фазы цветения, в благоприятные годы – до фазы плодообразования. Наиболее мощный фотосинтетический аппарат у растений гороха сформировался в условиях 2010 года, наибольшей его величиной и эффективностью характеризовались сортообразцы Демос, Л 37/03, Омский 7.

5. Установлено, что эффективность симбиотической азотфиксации определяется деятельностью макросимбионта, которая в значительной степени зависит от запасов продуктивной влаги в почве перед посевом ($r = +0,93$), содержания в пахотном слое азота и калия ($r = +0,72 - +0,90$). Пик клубенькообразования отмечается в фазы бутонизации и цветения, при благоприятном влагообеспечении образование клубеньков может происходить и в фазу плодообразования.

6. Установлены значительные генотипические различия по формированию симбиотического аппарата. Наибольшим количеством, массой и крупностью активно функционирующих клубеньков, показателями АСП характеризовались сортообразцы Благовест, Демос и линия Л 37/03. Выявлена взаимобусловленность процессов фотосинтеза и клубенькообразования.

7. Установлено, что максимальное содержание азота в надземной массе растений гороха накапливается в фазу бутонизации, к фазе плодообразования происходит его постепенное уменьшение. Наибольшим содержанием азота в зеленой массе характеризовались сортообразцы Демос, Л 37/03, Омский 7, которые отличались большей сохранностью листовой поверхности и продолжительностью их функционирования. Наиболее благоприятными для накопления азота были условия 2010 года.

8. Продуктивность агроценозов гороха в значительной мере определялась среднесуточной температурой воздуха в период полное цветение – полное созревание, а также продолжительностью этого периода; суммой осадков в период от всходов до полного цветения. Максимальная урожайность зерна 3,17 т/га была отмечена в 2010 году. Наибольшие прибавки урожайности были характерны для сортообразцов Омский 7, Демос, Л 37/03. Последний из сортов отличался наибольшей стабильностью этого показателя по годам, что указывает на его высокую адаптивность. Наиболее значимыми в формировании продуктивности были такие элементы структуры, как высота растений, число продуктивных узлов, число и крупность семян в бобе.

9. Накопление белка в зерне определяется агроэкологическими условиями и генотипом растений. Максимальное содержание белка в зерне и сбор белка с гектара отмечены в условиях 2010 года. Высокобелковое зерно и наибольший выход белка с гектара обеспечили сортообразцы Омский 9, Демос, Л 37/03.

10. Высокодостоверная положительная связь установлена между продуктивностью растений и фотосинтетическими показателями ($r = +0,97$ с площадью листьев; $r = +0,84$ с ФП; $r = +0,52$ с ЧПФ), а также с признаками клубенькообразования ($r = +0,96$ – с количеством клубеньков; $r = +0,54$ – с массой клубеньков).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В процессе изучения выявлены сортообразцы, которые имеют высокие фотосинтетическую активность, клубенькообразующую способность, формируют высокую продуктивность. Данные сортообразцы могут быть использованы в адаптивной селекции культуры, а также в сельскохозяйственном производстве Западно-Сибирского региона.

Линия Л 37/03 (сорт Омский 18), характеризующаяся высокой эффективностью симбиотической азотфиксации, фотосинтетической активностью, стабильно высокой продуктивностью, обеспечивающая высокий выход белка с гектара, адаптивная к агроэкологическим условиям южной лесостепи Западной Сибири, передана на государственное сортоиспытание и рекомендована для дальнейшего размножения и внедрения в сельскохозяйственное производство Сибири.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы в учебном процессе при реализации дисциплин Биология, Физиология растений, Экология.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Поползухина, Н.А. Влияние развития фотосинтетического аппарата на клубенькообразующую способность и урожайность гороха посевного в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Н. А. Поползухина, **И. Г. Кадермас** [и др.] // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (108). – С. 175-180.

2. Обухова, А. В. Доноры в селекции гороха усатого морфотипа на высокую семенную продуктивность / А. В. Обухова, Н. А. Поползухина, Л. В. Омелянюк, **И. Г. Кадермас** // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (114). – С. 164-167.

3. **Кадермас, И. Г.** Фотосинтетическая активность, клубенькообразующая способность и урожайность гороха посевного в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И. Г. Кадермас и [и др.] // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (118). – С. 193-196.

Монография:

4. Поползухина, Н. А. Фотосинтез и симбиотическая азотфиксация гороха и сои / Н. А. Поползухина, Е. Н. Озякова, **И. Г. Кадермас**. – Saarbrücken, Deutschland : Palmarium Academic Publishing, 2014. – 119 с.

Другие публикации:

5. Озякова, Е. Н. Особенности формирования симбиотического аппарата и урожайность гороха посевного в контрастных метеорологических условиях / Е. Н. Озякова, Н. А. Поползухина, Л. В. Омелянюк, **И. Г. Макушина** [и др.] // Вестник Ом. гос. аграр. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 3-7.

6. **Кадермас, И. Г.** Вклад процессов фотосинтеза и симбиотической азотфиксации в продуктивность зерна гороха посевного в условиях южной лесостепи Западной Сибири/ И. Г. Кадермас // Инновации молодых ученых аграрных вузов – агропромышленному комплексу Сибирского региона : материалы IX региональной науч.-практ. конф. молодых ученых вузов Сибирского федерального округа 2-3 июня. 2011г. / Ом. гос. аграр. ун-т. – Омск : ИПК Макшеевой Е.А., 2011. – С. 19-22.

7. **Кадермас, И. Г.** Особенности формирования симбиотического аппарата и урожайности различных сортообразцов гороха в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И. Г. Кадермас, А. А. Русс // Современные проблемы агрохимии, почвоведения и экологии : сб. работ молодых ученых факультета агрохимии, почвоведения и экологии, посвященный 125-летию со дня рождения профессора А. З. Ламбина / Ом. гос. аграр. ун-т. – Омск : [б.н.], 2012. – С. 41-44.

8. **Кадермас, И. Г.** Клубенькообразующая способность и урожайность различных сортообразцов гороха в условиях южной лесостепи Западной Сибири / И. Г. Кадермас // Проблемы безопасности. Технологии и управление : сб. материалов науч.-практ. конф. 21-23 марта 2012 г. – Омск : Изд-во «Вариант-Омск», 2012. – С 75-78.