

## ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СЕЛЕКЦИИ

**А. В. АМЕЛИН**, доктор сельскохозяйственных наук  
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
E-mail: amelin\_100@mail.ru

*В статье представлены результаты многолетних собственных научных исследований (1983-2015 гг.) и анализ литературных экспериментальных данных отечественных и зарубежных ученых по проблеме повышения активности и эффективности фотосинтеза культурных растений средствами селекции. Сделано заключение, что физиологической основой селекции сельскохозяйственных культур служит система регуляторных механизмов, имеющих компенсаторный характер, позволяющих за счет разной морфофизиологической организации продукционного процесса растений достигать одного и того же результата – повышения продуктивности в различных природно-климатических условиях выращивания. При этом, потенциальные возможности фотоэнергетического процесса растений в результате селекции не претерпевают больших изменений и в целом балансируют на определенном для биологического вида уровне, что сдерживает дальнейший прогресс селекции. Для изменения ситуации рекомендуется формы с повышенной интенсивностью фотосинтеза, фотохимической активностью хлоропластов и энергетической эффективности электронно-транспортной цепи брать на учет и использовать в селекции как исходный перспективный материал. У гороха, гречихи, сои, чечевицы и кормовых бобов установлена значительная генотипическая вариация значений интенсивности фотосинтеза, реакции Хилла и фотофосфорилирования, квантового выхода и фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла.*

**Ключевые слова:** селекция, культура, сорт, фотосинтез, энергетический потенциал, генофонд, урожайность, качество, стабильность.

В настоящее время назрела необходимость использования качественно новых подходов к производству, в котором центральное место должна занять гармонизация отношений человека с природой, экономикой и экологией, так как современное растениеводство, наряду с большими достижениями, характеризуется и ярко выраженными тенденциями ухудшения эколого-биологических, агротехнологических и экономических ее факторов [1]. В решении этой проблемы весьма важная роль отводится селекции, которая добивается повышения урожайности и качества продукции за счет использования наследственного потенциала сельскохозяйственных культур. В последнее время вклад сорта в формирование урожая в развитых странах мира стал превышать 60 % [2].

Однако, новые районированные сорта отвечают не всем современным требованиям экологически чистого и энергетически эффективного производства. Они формируют высокий и стабильный урожай, как правило, в благоприятных погодных условиях и за счет использования высоких доз удобрений и большого количества химических средств защиты, так как многие из них в сильной степени поражаются болезнями и повреждаются вредителями [3, 4].

Изменить сложившуюся ситуацию традиционными методами селекции весьма проблематично, ввиду того, что они во многом исчерпали свои возможности [5, 6]. Морфологические признаки растений и элементы структуры урожая, по которым в основном ведется искусственный отбор, в значительной степени оптимизированы для большинства сельскохозяйственных культур в производственных зонах их преимущественного возделывания [6]. Поэтому решить стоящую проблему предлагается принципиально иным способом – посредством повышения эффективности использования солнечной радиации через

управление фотосинтезом, что позволит создать не только эффективное, но и адаптивное производство [7, 8].

К сожалению, селекция в данном направлении не осуществлялась, ни в бывшем Советском Союзе, ни за рубежом [9].

Учитывая это, впервые в России нами предпринимается попытка решить стоящую проблему за счет эффективного использования селекцией возобновляемого природного источника энергии фотосинтеза, где скрыты огромные неиспользованные резервы. Научно-методическая работа в этом направлении осуществляется с 1983 года, а целенаправленная селекционная работа с 2009 года по совместной программе с селекционерами ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, а с 2015 года в работе задействованы и селекционеры Белгородского ГАУ им. В.А. Горина.

Исследования проводятся в рамках тематического плана Министерства сельского хозяйства РФ на базе ЦКП Орловского ГАУ «Генетические ресурсы растений и их использование». Объектами основных исследований являются наиболее распространенные и востребованные сельскохозяйственные культуры: горох, соя, гречиха, яровая и озимая пшеницы.

Опытный материал выращивался в селекционном севообороте на делянках площадью 7,5-10 м<sup>2</sup>, в 4-х кратной повторности. Размещение делянок – рендомизированное.

Фотовосстановительная активность изолированных хлоропластов (ФВАХ) определялась в двух повторениях по восстановленному на свету феррицианиду калия за единицу времени. Учет феррицианида проводили в молях в расчете на моль хлорофилла в минуту (моль  $K_4Fe(CN)_6$  /моль Хл. мин.) с помощью спектрофотометра марки СФ-18М. Исследования осуществляли на протяжении всей вегетации: через каждые 7 дней отбирали средние пробы из третьего и четвертого листьев сверху, а с фазы образования бобов опытным материалом служили прилистники, усики, стебель, черешки, створки бобов. Выделение изолированных хлоропластов, приготовление опытных сред и проведение реакций выполняли с учетом методических рекомендаций, разработанных Могилевой Г.А. и др. 1978. Для получения суспензии изолированных хлоропластов использовали центрифугу РС-6, с автоматическим управлением частоты вращения барабана и температурного режима.

Одновременно в тех же органах растений определяли содержание хлорофиллов «а» и «в». Полученные результаты использовали для оценки фотовосстановительного потенциала различных органов растений, который находили путем умножения ФВАХ на содержание хлорофилла и на сухую массу органа. Сумму полученных значений условно рассматривали как «фотовосстановительный потенциал растения» (ФВПР). Вклад отдельных органов рассчитывали составлением пропорций, принимая фотовосстановительный потенциал целого растения за 100 %.

Интенсивность фотосинтеза оценивалась в режиме реального времени на интактных растениях с помощью портативного газоанализатора Li – 6400 американской фирмы LI-COR.

Обобщение полученного экспериментального материала по всем проведенным многолетним исследованиям и имеющихся по этой проблеме литературных сведений позволило заключить, что физиологической основой селекции сельскохозяйственных культур служит адаптивная система регуляторных механизмов, имеющих компенсаторный характер, позволяющих за счет разной морфофизиологической организации продукционного процесса растений достигать одного и того же результата – повышения продуктивности в различных природно-климатических условиях выращивания.

К примеру, у растений гороха в результате длительного искусственного отбора на высокую семенную продуктивность фотоассимиляционная поверхность листьев, содержание хлорофилла и продолжительность их функционирования уменьшились на 30..40 %, но при этом на такую же величину соответственно повысились удельная поверхностная плотность листьев (УПП), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и ФВАХ (рис.1).

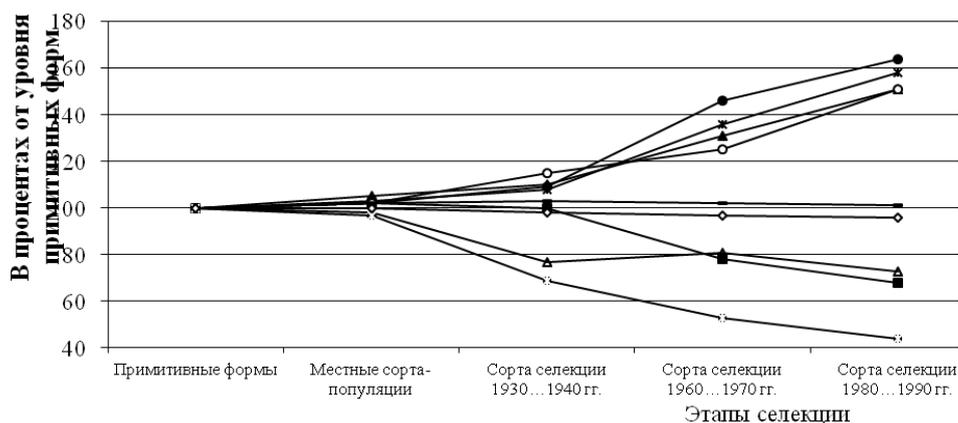


Рисунок 1 - Изменения фотосинтетических признаков растений гороха в

- Облиственность
- Толщина губчатой паренхимы
- ФВАХ листочков
- ▣ Фотосинтетический потенциал
- ▲ УПП листочков
- ✱ ЧПФ
- △ Содержание Хл в листочках
- ФВПР

Выявлена четко выраженная причинно-следственная связь, чем меньше листовая поверхность, тем плотнее и толще листовые пластинки и прилистники ( $r=+0,98$ ), за счет развития клеток губчатой паренхимы ( $r=+0,94$ ), тем активнее они фотосинтезируют ( $r=+0,70$ ) и эффективнее обеспечивают семена фотоассимилянтами по известному физиологическому принципу дублирования, сформулированному Бартковым Б.И. и Зверевой Е.Г. (1974): метаболиты из одного листа одновременно поступают в бобы разных продуктивных узлов, каждый из которых обслуживается не одним, а многими листьями, но определяющую роль, по данным Pate Y.S. и Flinn A.M. (1977), выполняют ближе расположенные.

Биологический смысл этих взаимосвязей заключается в том, что повышение удельной поверхностной плотности и толщины листьев, при уменьшении их ассимиляционной поверхности, обеспечивает более эффективное улавливание квантов света и их использование в фотосинтетической деятельности растений (ФВАХ, ЧПФ), продолжительность активного периода которой у сортообразцов гороха во многом определяется развитием губчатой паренхимы, служащей местом временного депонирования запасных веществ (крахмала), когда спрос на них со стороны основных потребителей (семян) не большой (рис. 2).

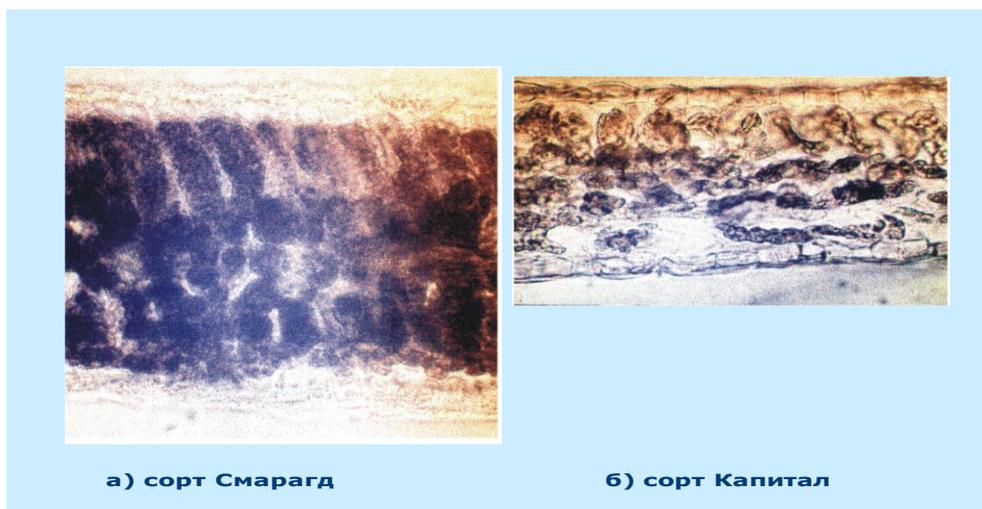


Рис. 2. Поперечные срезы листовых пластинок у современного (а) и старого (б) сортов гороха зернового использования

При редукции же у растений листочков и прилистников (генотипы *afafStSt* и *afafstst*) происходит усиление фотосинтетической функции и их усиков, черешков, стебля, створок

бобов, которые способны осуществлять первичные процессы фотосинтеза с такой же активностью, как и основные органы (рис. 3).

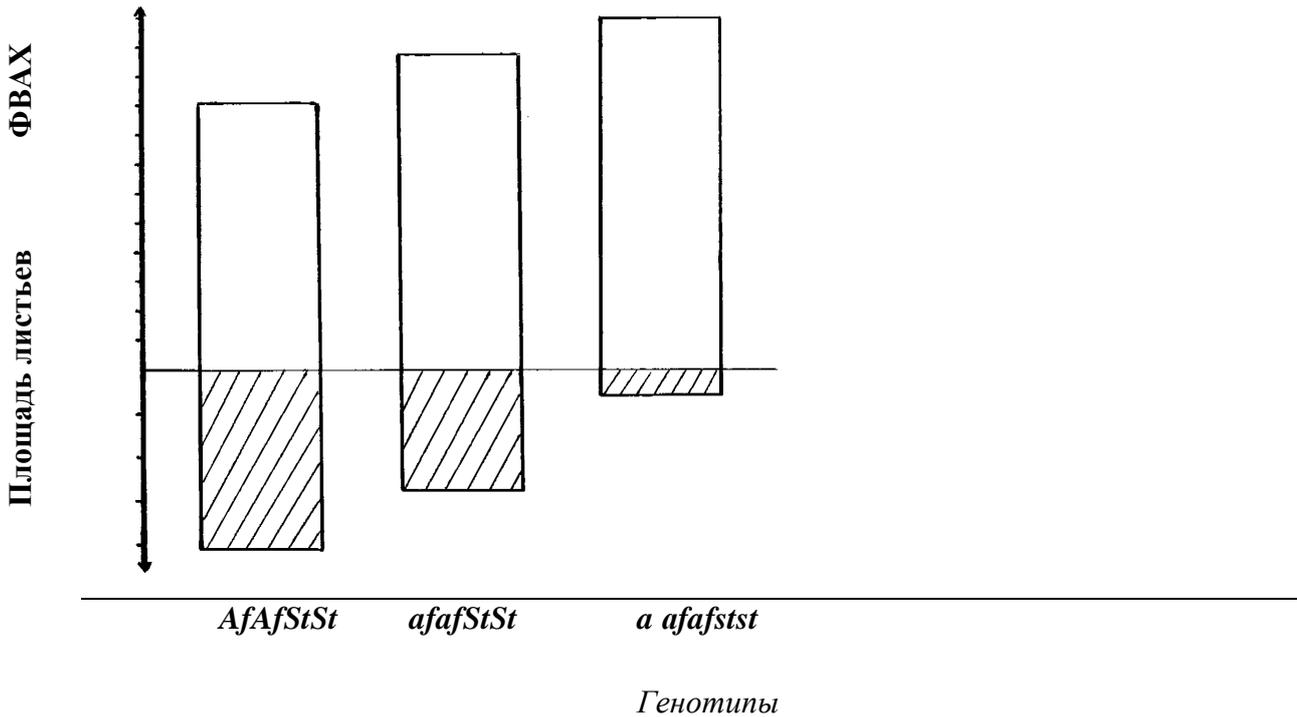


Рис. 3. Величина ФВАХ (К<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>/моль X<sub>л</sub> в мин.) при уменьшении у генотипов гороха площади листочков и прилистников (см<sup>2</sup>/раст.)

Аналогичные тенденции проявляются и на уровне структурно-функциональной организации стебля, элементов продуктивности, роста и развития [8].

Благодаря выработанной в ходе эволюции такой морфофизиологической системе генотипов, потенциальные возможности фотосинтетического и продуктивного процессов растений в результате селекции не претерпевают больших изменений и в целом балансируют на определенном для биологического вида уровне. К примеру, у новых сортов гороха фотоэнергетический потенциал растений не выше, чем у старых сортов и примитивных форм (рис. 4).

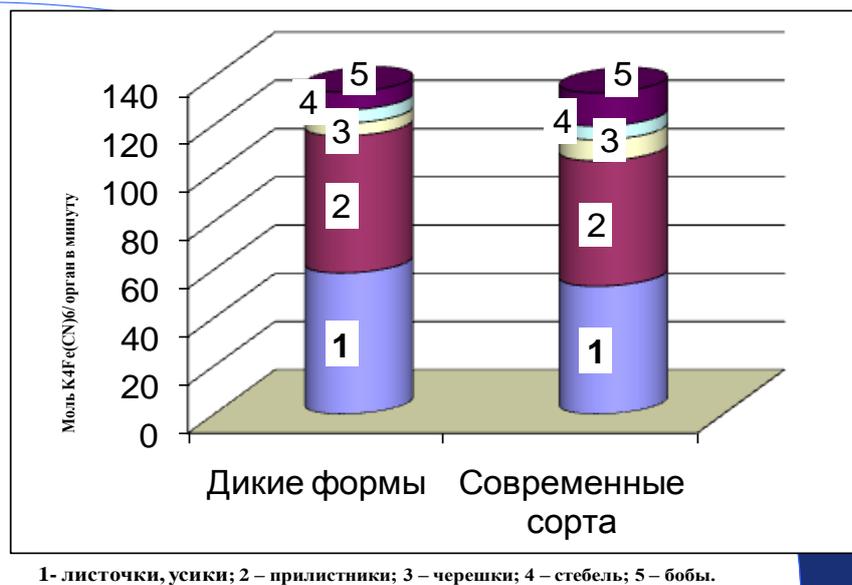


Рис. 4. Фотовосстановительный (энергетический) потенциал растений у примитивных (диких) форм и современных сортов гороха

И, очевидно, его возможностей в настоящее время уже не хватает, чтобы одновременно обеспечить получение высокого, качественного и стабильного урожая, так как для этого требуется значительно больше энергии, чем ее усваивают современные культурные растения. Поэтому предлагается проводить целенаправленную работу на повышение активности фотосинтеза и эффективности его использования в продукционном процессе растений. Для этого формы с повышенной интенсивностью фотосинтеза необходимо брать на учет и использовать в селекции как перспективный исходный материал, а величину фотохимической активности хлоропластов и электронно-транспортной цепи рассматривать критерием повышения эффективности световой фазы фотосинтеза [10].

Проведенные исследования подтвердили, что генофонд сельскохозяйственных культур характеризуется огромным разнообразием по показателям активности фотосинтеза. К примеру, показана значительная генотипическая вариация реакции Хилла и фотофосфорилирования, а также значений квантового выхода и фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла. Интервал генотипического варьирования признака «интенсивность фотосинтеза» в фазу формирования плодов был еще более широким и составлял: у гороха – 2,65-16,57; гречихи – 4,65-10,80; у сои – 6,12-14,38; чечевицы – 2,31-10,01  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$

С учетом этого, селекционерами ВНИИЗБК совместно с нами в 2009 году по интенсивности фотосинтеза листьев была проведена целенаправленная гибридизация у гороха, и осуществлен отбор растений у гречихи из популяции сортообразца Р 109, который характеризуется широкой изменчивостью по этому признаку. В результате удалось создать перспективный детерминантный, высокоурожайный, среднеспелый сорт гречихи Даша, который в 2015 году был передан в Госкомиссию на испытание.

Таким образом, целенаправленная селекция сельскохозяйственных культур по показателям активности фотосинтеза вполне может быть эффективной. При этом, особое внимание следует уделить созданию новых генетических форм, которые бы проявляли не только высокую, но стабильную активность фотосинтеза, так как в результате селекции устойчивость данного физиологического процесса к экстремальным факторам погоды имеет выраженную тенденцию к снижению. Превосходство современных сортов культуры по интенсивности фотосинтеза листьев отмечается лишь в благоприятных по увлажнению и температуре условиях, а в засуху его активность резко снижается и может быть даже ниже, чем у предшественников.

Создание же сортов с повышенной активностью и эффективностью фотосинтеза позволит формировать не только высокую, но стабильную и качественную урожайность при минимальном использовании химических средств защиты растений и эффективном использовании воды и элементов минерального питания. Последнее обстоятельство, на наш взгляд, будет определять в ближайшем будущем основной тренд мирового сельскохозяйственного производства. Ведь страны, обладающие такими сортами, будут иметь неоспоримые преимущества на агропродовольственном рынке, по сравнению с другими его участниками, о чем свидетельствует выраженная динамика развития мирового производства экологически чистых продуктов. Если в 1999 году объем продаж такой продукции составил 15,2 млрд. долларов, то к 2011 году он вырос более чем в 4 раза и достиг 68 млрд. долларов США (<http://www.foodmarket.spb.ru/current.php>).

### Литература

1. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. – М.: Агрорус, 2004. – 1111 с.
2. Jain H.K. Eighty years of post Mendelian breeding for crop yield: nature of selection pressures and future potential. // Indian J. Genet. and Plant Breed. – 1986. – Vol. 46. – N 1. – P. 30–53.
3. Неттевич Э.Д. Проблемы селекции зерновых культур в Нечерноземной зоне РСФСР в связи с интенсификацией земледелия // Сельскохозяйственная биология. – 1979. – Т. XIV. – № 5. – С. 543-549.
4. Kraft S.E., Dharmadhikari P. Variation in the relationship between corn yield and climate in a sample of counties in Pinois 1951-1980 // Transactions III State Academic Science. – 1984. – V.77. – N3-4. – P.219-228.
5. Шевелуха В.С. Биологические проблемы современной селекции растений // Новый аграрный журнал. Пилотный номер: Опыт, проблемы, практика реформирования АПК. – 2001. – С. 89-91.

6. Амелин А.В. Морфофизиологические основы повышения эффективности селекции гороха / Дисс... д. с.–х. наук. – Орел, 2001. – 371 с.
7. Slattery R.A., Ort D.R. Photosynthetic energy conversion efficiency: setting a baseline for gauging future improvements in important food and biofuel crops. // Plant Physiology. – 2015. – 168. – P. 383-392.
8. Амелин А.В., Чекалин Е.И. Селекция на повышение фотоэнергетического потенциала растений и эффективности его использования, как стратегическая задача в обеспечении импортозамещения и продовольственной безопасности России. // Вестник Орел ГАУ. – 2015. – № 6 (57). – С. 9-17.
9. Xin-Guang, Zhu. Long Stephen P., Donald. Ort What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? // Current Opinion in Biotechnology. – 2008. – 19. – P. 1-7.
10. Амелин А.В. Фотовосстановительная активность хлоропластов у сортов и линий гороха. // Физиология и биохимия культурных растений. – 1992. – Т.24. – № 5. – С. 448-454.

## INCREASE OF ACTIVITY AND EFFICIENCY OF PHOTOSYNTHESIS OF CULTIVATED PLANTS BY BREEDING

A. V. Amelin

OREL STATE AGRARIAN UNIVERSITY E-mail: amelin\_100@mail.ru

**Abstract:** *The article presents the results of years of their research (1983 to 2015) and the analysis of published experimental data of domestic and foreign scientists on the problem of increasing the activity and efficiency of photosynthesis of cultivated plants by means of breeding. It is concluded that the physiological basis of crop breeding is the system of regulatory mechanisms that are compensatory in nature, allowing for different morph physiological organization of plant production process to achieve the same result – the increase of productivity in different climatic growing conditions. At the same time, the potential of photovoltaic process plants as a result of selection do not undergo large changes and overall balance on a specific to a species level, which hinders the progress of breeding. To change the situation it is recommended that forms with increased intensity of photosynthesis, photochemical activity of chloroplasts and the energy efficiency of the electron transport chain to take account of and use in breeding as a source of promising material. Pea, buckwheat, soybeans, lentils and broad beans showed large genotypic variation in the intensity of photosynthesis, the hill reaction and photophosphorylation, quantum yield and photochemical quenching of chlorophyll fluorescence.*

**Keywords:** Breeding, crops, varieties, photosynthesis, photoenergy potential, efficiency, yield capacity, quality, sustainability.

УДК635.656:631.526.32

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СОРТА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРОХА

**В. Д. ШТЫРХУНОВ**, кандидат сельскохозяйственных наук

**Г. А. ДЕБЕЛЬНЫЙ**, доктор сельскохозяйственных наук

**А. В. МЕДНОВ, А. В. ГОНЧАРОВ**, кандидаты сельскохозяйственных наук  
ФГБНУ «МОСКОВСКИЙ НИИСХ «НЕМЧИНОВКА»

*По данным мировой продовольственной организации (ФАО) значительное повышение эффективности фотосинтеза, а следовательно и урожая многих культур в последнее десятилетие достигнуто за счет увеличения количества вносимых минеральных удобрений. В исследованиях бобовые менее отзывчивы на внесение удобрений. К тому же бобовые культуры уступают по урожайности злаковым, так как для синтеза белка требуется значительно больше энергии, чем для углеводов. В статье на примере новых сортов гороха показана возможность повышения урожайности бобовых за счет привлечения нового исходного материала и интенсивной его проработки в одновидовых и смешанных посевах.*

**Ключевые слова:** горох, сортоиспытание, смешанные посева.