

ИЗУЧЕНИЕ ОВОЩНЫХ ФОРМ СОИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РФ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ СОРТОТИПОВ

Д.Р. ШАФИГУЛЛИН^{1,2}, М.С. ГИНС^{1,2}, В.Ф. ПИВОВАРОВ¹, А.В. СОЛДАТЕНКО¹

¹ Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО);

² Российский университет дружбы народов (РУДН))

*Весь период современной научной селекции сои в России был посвящен созданию ма-
сличных сортов с соответствующими этому биохимическими, морфофизиологическими,
органолептическими качествами. Использование различных зерновых сортов сои, основная
селекционная направленность которых заключается в производстве масла, в качестве пи-
щевых ингредиентов или в качестве основы для производства продуктов питания, показало
их слабые вкусовые качества; высокую активность антипитательных веществ, входящих
в состав семян; присутствие липоксигеназы – фермента, отвечающего за расщепление
жирных кислот с образованием побочных продуктов – перекисей; появление неприятного
бобово-травяного привкуса; недостаточное содержание белка, а также низкие товарные
свойства. Употребление их в пищу, а тем более для производства функциональных продук-
тов питания с минимальной термической обработкой («эдамаме»), неприемлемо.*

*Сбалансированный состав химических веществ, несравненное сочетание хозяйствен-
но важных компонентов дают возможность использования овощной сои для производства
огромного количества видов пищевой продукции, таких, как традиционные, пришедшие из
восточной кухни: соевые молочные продукты, сыр-тофу, соусы, проростки, свежие/замо-
роженные/консервированные семена в бобах (эдамаме), пищевое масло с высокой долей по-
линенасыщенных жирных кислот, а также новых продуктов, прошедших более глубокую
переработку с высокой добавленной стоимостью: изоляты белка, протеиновые концентраты,
обезжиренная мука, изофлавоны, лецитин.*

*Предлагается новое направление по созданию овощных сортов с иными пищевыми
качествами, биологическими и морфологическими особенностями, химическим составом,
хозяйственными характеристиками, элементами структуры урожая. На основании тео-
ретических и собственных экспериментальных данных, сформирована модель сортов овощ-
ной сои для Европейской части Нечернозёмной зоны. В статье обобщаются предыдущие
работы по оценке и изучению исходного материала овощной сои, которые проводятся в
Федеральном научном центре овощеводства (ФНЦО).*

Ключевые слова: овощная соя, эдамаме, модель сорта, продуктивность, масса 1000
семян, скороспелость, функциональные продукты питания

Введение

В последнее время соя привлекает все больше внимания по всему миру не только как масличная, но и как ценная овощная культура, особенно в странах Азии. Одну из самых больших групп сортов, создаваемых специально для употребления в качестве овощей в фазу технической (зелёной) спелости, называют эдамаме (от японского «боб на стебельке»). Масса их 1000 семян больше 230 г, они содержат меньше антипитательных веществ (ингибиторов трипсина типа Кунитца менее 18 мг/г семян), больше белка в семенах и обладают лучшими органолептическими и

товарными качествами, с различной окраской семенной кожуры – жёлтой, зелёной, коричневой, чёрной [17].

Исторически сою для непосредственного употребления в пищу начали возделывать в странах Азии примерно в XI веке. В дальнейшем её стали называть «овощная соя» [32]. Культура используется в национальных кухнях как в виде основного блюда, так и в виде добавок к супам и вторым блюдам, или как высокобелковая закуска.

Американскими учёными была установлена классификация сортов сои на основе их конечного использования – зерновая (получение масла и шрота), кормовая и овощная [41].

На потребительском рынке в Америке эдамаме известно под названиями «овощная соя», распространены торговые наименования «бобы к пиву», «съедобная соя», «свежая зелёная соя», «садовая соя», «зелёная соя», «соевые бобы в зелёной спелости», «зелёная овощная соя», «незрелая соя», «крупносемянная соя», «соя овощного типа», а также под собственным наименованием [45]. В США исследования овощной сои проводятся уже более 70 лет. Дорсетт и Морс собрали обширную коллекцию зародышевой плазмы в течение 1929-1931 гг., Морс использовал ее в качестве исходного материала для создания 49 сортов эдамаме [29]. История селекции и хронология создания овощных сортов сои подробно описываются в обширной работе американских учёных [45].

В мировых растительных коллекциях биоресурсов известны сотни сортов сои овощного типа. Например, одна из крупнейших групп - эдамаме, занимает около 80% всего рынка овощных сортов сои; под этим названием на рынке реализуются сорта как для крупных сельхозтоваропроизводителей, фермеров, так и для обывателей-огородников. Сорта представляют собой чаще всего синтетические чистые линии, созданные методами гибридизации, хотя, по-прежнему, иногда встречаются и сорта народной селекции, зарекомендовавшие себя пусть не высокими, но стабильными урожаями и высокой пластичностью [59].

Одно из преимуществ сортов типа эдамаме – это употребление свежих семян в фазу технической (зелёной) спелости, в которых содержание антипитательных веществ минимально; для их приготовления достаточно нескольких минут термической обработки [32]. Эдамаме готовят в бобах в слегка подсоленной кипящей воде в течение приблизительно 5-7 минут [17].

Незрелые соевые бобы имеют морфологические характеристики, сходные с особенностями незрелых плодов *Phaseolus vulgaris* L. и *Pisum sativum* L. [15]. Во многих странах наряду с их использованием в кулинарии используют аналог – эдамаме. Обладая лучшими органолептическими качествами, сбалансированным биохимическим составом, «зеленые бобы» сои набирают популярность в России, и, в ближайшем будущем, возможно, их доля на потребительском рынке увеличится.

Кроме употребления семян в свежем виде, овощная соя может быть использована в качестве ценного сырья для производства функциональных продуктов молочного направления – молока, йогуртов, сыра и т.д., а также проростков (побегов), или спраут (от англ. «sprout»), которые добавляют в салаты, бутерброды, используют как закуску к основным блюдам [35].

Материалы и методика исследований

В качестве объекта исследований выступали сорта и линии *Glycine max* L. овощной направленности: 16 коллекционных образцов из России, Канады, Франции, Швеции, Японии. Доля сортов иностранной селекции составила 93,7%. Большая часть коллекционного материала была предоставлена Федеральным исследовательским

центром «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», в опытах также использовались собственные образцы из коллекции ФНЦО.

Овощные формы определены согласно сформированной модели сортоформ (таблица): морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам, органолептическому анализу в фазу технической и биологической спелости.

Изучение овощных форм сои проводилось на опытных полях и в лаборатории ФНЦО (Одинцовский район, Московская область). Общая площадь опытной делянки составляла 1,3 м² в коллекционном питомнике, учётная - 1 м². Образцы высевались вручную в открытом грунте в третьей декаде мая в 2015 и 2016 гг., в 2017 году – в первой декаде июля в защищённом грунте (теплица) по трём рядам длиной 1,5 м при густоте стояния 40 шт/м², расстояние между рядами – 30 см, между растениями в рядах – 10 см при систематическом размещении вариантов в опыте. Уборку семян проводили в снопах, которые досушивали в поле; обмолот проводили вручную. Структурный анализ урожая определялся по пяти типичным растениям с одного снопа при влажности 10%. Описания признаков излагались согласно международному классификатору СЭВ для рода *Glycine* Willd [13].

Целью исследований являлась оценка исходного материала и моделирование параметров новых биотипов *Glycine max* L. овощной направленности для выявления путей селекционной работы по созданию новых сортов с оптимальным сочетанием хозяйственно ценных признаков, комплексом биохимических качеств для Центрального района Нечернозёмной зоны.

Результаты исследований

При создании сорта необходимо иметь определённые критерии оценки селекционного материала и знать основные характеристики будущего культивара (от англ. «cultivar» – культурный сорт), исходя из последних достижений науки и требований сельхозтоваропроизводителей, переработчиков, потребительского рынка. Этому в полной мере отвечает «модель» - перечень основных параметров будущего сорта.

Моделирование с описанием параметров будущего сорта для конкретного региона выращивания играет большую роль. Оно даёт возможность селекционеру создавать сорта более целенаправленно и эффективно, приближая их к «идеатипу». Конкретная модель должна учитывать особенности морфологии, физиологии и биохимии, взаимодействие «генотип-среда».

На основании теоретических и собственных экспериментальных данных, была сформирована модель сортов сои для Европейской части Нечернозёмной зоны (таблица). Необходимо отметить, что она разработана в соответствии с почвенно-климатическими особенностями Центральной Нечернозёмной зоны с присущими ей коротким вегетационным периодом и невысоким плодородием дерново-подзолистых почв.

Урожайность и продуктивность. Одним из важнейших критериев для сельхозтоваропроизводителей при выборе того или иного сорта является урожайность – интегральный показатель, подчинённый множеству внешних и наследственных факторов. Показатель урожайности относится к количественным признакам, определяемым большим числом неаллельных генов [48].

Ретроспективный анализ статистических данных свидетельствует о том, что в ходе длительной селекционной работы, по данным ФАО ООН, за последние 55 лет урожайность маслосемян в основных странах, выращивающих сою, неуклонно росла. К примеру, в США она удвоилась и составила в 2016 году 35,0 ц/га, показав максимальный

результат среди крупнейших нетто-экспортёров соевого масла и шрота. В Аргентине и Китае, которые являются одними из лидеров производства сои, были продемонстрированы еще более впечатляющие результаты - урожайность сои за тот же период времени возросла в 3 раза. В Канаде, близкой по климатическим показателям к условиям Европейской части России, после появления на рынке сортимента скороспелых и продуктивных сортов, урожайность увеличилась в 1,5 раза, до 26,6 ц/га в 2016 году [26]. По данным Росстата, средняя урожайность сои в России в 2016 году составила 14,8 ц/га, увеличившись за последние 20 лет в 2 раза, с тенденцией в сторону увеличения [27].

Примеры стран Северной Америки показывают крупные достижения аграрной науки и успешное внедрение современных технологий в сельскохозяйственное производство; при этом важно заметить, что на сегодняшний день имеются большие незадействованные резервы роста: в отечественных и иностранных исследованиях известны сортообразцы иностранного и отечественного происхождения, обладающие семенной продуктивностью, значительно превышающей современные сорта. К примеру, в собственных полевых опытах были обнаружены овощные формы сои с массой семян с растения до 74 грамм, которые, в пересчёте на урожайность при стандартной густоте стояния в 400 тыс. растений на гектар, могут дать до 296 ц/га: Shinsei, Takii's Extra Early, Образец № 1 [10].

Масса семян с одного растения сои в производственных условиях в среднем колеблется в пределах от 3 до 12 гр. Большинство же районированных сортов сои в России имеет потенциальную урожайность 30-40 ц/га. Рекордная урожайность, достигнутая в США, составляет 70 ц/га [8].

Овощные линии имеют высокую продуктивность и крупность семян [17], что даёт возможность предположить, что в будущем овощные сорта в условиях Центральных районов Нечернозёмной зоны (ЦРНЗ) будут иметь более высокую урожайность, чем зерновые, находясь в зависимости от массы 1000 семян ($r=0,20$) [12].

Масса семян с растения – это сложный количественный признак, в значительной степени зависящий от условий произрастания, составных его частей (число семян с растения, число семян в бобе, масса 1000 семян). Даже в пределах одной делянки с одинаковым агротехнологическим фоном в полевом опыте, растения, относящиеся к одному и тому же генотипу, имеют различия по семенной продуктивности до 566% [9]. На основании собственных экспериментальных данных, необходимо испытывать селекционные образцы в течение как минимум 3-х лет с контрастными метеорологическими условиями для лучшего определения нормы реакции интродуцируемых образцов по продуктивности в конкретной зоне будущего выращивания сорта.

Работая над повышением урожайности овощных сортов сои, необходимо вести индивидуальный отбор на продуктивность в популяции по некоторым компонентам структуры урожая: массе 1000 семян, числу продуктивных узлов на главном стебле, среднему числу бобов в 1 продуктивном узле, среднему числу семян в бобе. Все эти признаки обладают низкой модификационной изменчивостью и высокой наследуемостью. Замечена сильная степень корреляции между семенной продуктивностью растения и толщиной стебля, числом ветвей на растении, числом бобов на растении, числом продуктивных узлов на главном стебле, среднему числу бобов в узле [12].

Масса 1000 семян. Одно из главных визуальных отличий овощной сои - большие выполненные семена. Масса их 1000 семян является центральным морфологическим признаком [12].

Согласно исследованиям, проводимым в Федеральном научном центре овощеводства, масса 1000 семян у овощных форм восточноазиатского происхождения составляет от 220 г и может достигать на некоторых особо ценных образцах 410 г. [10]. Специфика размера семян наиболее актуальна для сортов типа «эдамаме», поскольку

ку для производства зеленых семян в бобах должны быть товарного вида семена большого размера [47].

Данный признак обратно пропорционален толщине и прочности семенной кожуры, а также содержанию антипитательных веществ, активности липоксигеназы, влияющих на органолептические качества, но прямо зависим от содержания белка, что важно учитывать в селекционных программах по созданию сортов для изготовления соевой молочной продукции [44].

Масса 1000 семян определяется приблизительно на 70% наследственными факторами, на 30% - внешней средой, условиями выращивания, погодно-климатическими характеристиками [3]. Как и у других сельскохозяйственных культур, у сои масса 1000 семян обладает невысоким коэффициентом изменчивости (19%) [10].

Согласно требованиям, сформулированным селекционерами и технологами [47], сорта, выращиваемые для получения проростков, используемых в пищу, должны обладать пониженной массой 1000 семян – не более 120 г, поскольку крупные семена снижают их потребительские качества, а также должны иметь проростки хорошего товарного вида, длиной не более 15 см и с сильной энергией прорастания.

При создании овощных сортов сои процесс отбора ценных генотипов с крупными или мелкими, в зависимости от направления селекции, семенами можно проводить уже на «нулевом этапе» - во время визуальной оценки семян у коллекционного материала перед посевом.

Масса 1000 семян играет важную роль в формировании продуктивности растений сои, но в засушливых условиях этот признак не является стабильным [30]. Стабильность продуктивности сорта поддерживается высокой массой 1000 семян.

В мировых коллекциях растительных ресурсов, таких как USDA (США), «Всемирный институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова - ВИР» (Россия), имеются уникальные сортообразцы сои с высокой и очень высокой массой 1000 семян по классификации Международного классификатора ВИР [13]. Чаще всего данные культивары происходят из Китайского центра, а именно из Кореи, Японии, Китая. Имеет смысл и перспективы задействовать их в качестве родительских линий в гибридизации для получения новых синтетических крупносемянных популяций.

Густота стояния. Ветвистость растений. Густота стояния зависит от биологических особенностей сортов, ширины междурядий, продолжительности вегетационного периода, способности растений к ветвлению, формы куста, высоты стебля, условий влагообеспеченности в репродуктивный период [3].

Известно, что плотность агроценоза влияет на урожайность [1]. Между тем, с увеличением числа растений на единице площади снижается продуктивность растений. При расчёте нормы посева для овощной сои важно сохранить крупность семян, не уменьшая урожайности. По данным учёных из Вашингтонского государственного университета, для овощной сои типа «эдамаме» оптимальная густота стояния при умеренном климате с достаточным увлажнением формируется при посеве 350 тыс. растений на 1 гектар [32]. Для сортов, ориентированных на производство молочной продукции, плотность агроценоза принята на том же уровне, что и для обычных, т.е. масличных сортов. Сорта, создаваемые для выращивания проростков, обладают повышенной нормой посева: около 500 тыс. растений на гектар, вследствие более низкой массы 1000 семян и особенностей архитектоники растений.

Признак «ветвистость растений» имеет сильную корреляционную связь с семенной продуктивностью ($r=0,51$), но более слабую - с массой 1000 семян ($r=0,20$) [12]. Он подвержен в значительной степени модификационной изменчивости ($V_{\sigma}^2=46\%$). Овощные формы отличаются более высокой ветвистостью, поскольку масса 1000 семян у них выше.

Число ветвей в агроценозе увеличивается во время вегетативного развития растений, начиная примерно с фазы 10-12 пар настоящих листьев и до наступления фазы бутонизации [12]. После начала генеративного периода в онтогенезе, рост числа ветвей, как и в целом всех вегетативных органов растения, останавливается. Ветвистость прямо пропорционально зависит от числа растений на единице площади; чем менее плотным является агроценоз, тем большее число ветвей наблюдается на растении.

Собственные полевые наблюдения показывают допустимость роста числа ветвей на овощных сортах из-за их более толстого стебля для повышения продуктивности и крупности семян, но не более 5-6 шт. на растение, тем самым не «перегружая» растения и не увеличивая вероятность полегания посевов [10].

Толщина стебля. Устойчивость к полеганию. Толщина стебля определяет технологичность сорта, которая влияет, в первую очередь, на полегаемость посевов и пригодность их к механической уборке. По нашим наблюдениям, с увеличением массы 1000 семян увеличивается и толщина стебля [12]. Таким образом, у сортов, обладающих более высокой массой 1000 семян, стебель наиболее толстый – от 6 мм. У стандартных культиваров зерновой сои толщина стебля в среднем составляет 3-5 мм. Сорта, используемые для производства проростков, обладают самым тонким стеблем, так как у них наиболее низкий размер семян среди всех сортотипов. Они склонны к полеганию, особенно на избыточном орошении, при увеличенных нормах азотных удобрений и при загущенных посевах, существенно уступая овощным сортам типа «эдамаме» по технологичности. Стебель должен быть прочным, с короткими нижними междоузлиями, что обеспечивает устойчивость к полеганию посевов.

Следует отметить, что с полеганием связана также высота растений. Длинно-стебельные сорта в большей степени склонны к полеганию. Высота растений сои не должна составлять более 80 см в условиях ЦРНЗ. По нашим данным, сравнивая среднюю длину растений, относящихся к зерновым и овощным формам, высота у последних оказывается на 20,6% ниже относительно масличных сортов; таким образом, изученные формы различаются по устойчивости к полеганию [10]. Высота растений в средней степени подвержена модификационному фактору [12]. При этом она отрицательно коррелирует с крупностью семян, вследствие чего отбор высокорослых растений не только может усилить вероятность полегания будущего сорта, но и для овощных форм, в целом, не имеет смысла. Выделение образцов с толстым и средним в длину стеблем и использование их в качестве родительских линий позволяет получить генотипы, устойчивые к полеганию.

Период вегетации. Сумма активных температурных единиц. Для внедрения нового сорта в сельскохозяйственное производство период его вегетации играет определяющую роль.

Известно, что сорта, созданные на юге, с превалированием короткого дня, в северной зоне часто удлиняют вегетативное развитие и не переходят к генеративному, не закладывая органы размножения. В коллекции зародышевой плазмы в Федеральном исследовательском центре «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И.Вавилова», и в генбанках других стран имеются образцы с нейтральной или низкой чувствительностью к продолжительности светлого периода суток, с высокой агроэкологической пластичностью [2].

Генетики, изучающие *Glycine max* L., обнаружили специфичные гены, отвечающие за полноту реакции генотипа на светопериод. Отсутствие чувствительности к фотопериоду зависит от наличия рецессивных аллелей данных генов, иногда оно обуславливается одним рецессивным геном, в других случаях – несколькими [18]. Необходимо исследовать и отбирать формы, не реагирующие или слабо реагирующие на длину дня.

В оценке коллекционного материала селекционеры анализируют, помимо общего периода вегетации, опосредованный признак «всходы-цветение», показывающий скорость формирования вегетативных органов сои. Он зависит от генетических факторов, в меньшей степени – от агроклиматических условий. Продолжительность вегетативного развития сои контролируется доминантным аллелем гена E1 [8]. При создании скороспелых овощных сортов важно принимать во внимание, что некоторые генотипы имеют более затянутый период вегетативного развития органов в онтогенезе, но, при этом, в целом время их созревания не удлиняется вследствие внутрисортных особенностей [11].

Для более точной характеристики сортов последнее время используется показатель «сумма активных температурных единиц», или САТЕ, поскольку период вегетации не учитывает температурные изменения и, таким образом, не всегда точно отражает описание культивара. В иностранной литературе данный показатель иногда именуют как сумма эффективных температур (ETS) [49].

Сумма активных температурных единиц имеет большое значение для северной зоны земледелия [7]. Как и для других сельскохозяйственных культур, для сои САТЕ обуславливается наследственными факторами, но в сильной степени зависит от погодно-климатических условий выращивания. Есть смысл отбирать формы с САТЕ не больше среднего значения за многолетние метеонаблюдения регионов, входящих в ЦРНЗ. Для Московской области, где проводились исследования, данный параметр равен 1800-2200°C, в зависимости от конкретного района и теплообеспеченности года.

Нами были выделены овощные линии сои с САТЕ 1800-1900°C, показавшие высокую продуктивность, технологичность и хорошие органолептические качества [11].

Тип роста. Тип роста растений сои имеет большое значение, т.к. в сильной степени влияет на возможность выращивания сорта. Dt-гены контролируют рост стебля сои и оказывают значительное влияние на число узлов. Промежуточный, или полудетерминантный тип роста, является доминантным признаком по отношению к детерминантному. У сои имеется два основных типа роста: низкорослый, или ограниченного роста (детерминантный) и высокорослый (индетерминантный) [23].

При детерминантном типе стебля вегетативный рост основного стебля прекращается вскоре после начала цветения, наступает дифференцирование генеративных органов. Это связывают с прекращением роста верхушечной почки, которая становится соцветием, вследствие чего прерывается непрерывное нарастание узлов. Детерминантные организмы характеризуются хорошо развитым соцветием на верхушке главного стебля. Они имеют более короткий и толстый стебель, со значительно меньшим количеством узлов на главном стебле, чем у индетерминантных сортов [51].

Детерминантные генотипы сои имеют короткий период цветения, и, в случае стрессовых условий в этот период, теряют часть урожая за счёт осыпания репродуктивных органов [52].

У индетерминантных сортов удлинение стебля продолжается после начала цветения. Эти растения при созревании имеют существенно больше узлов на главном стебле, чем их низкорослые аналоги. Они отличаются длительным вегетационным периодом, а также нередко неодновременностью созревания бобов. Избыточная высота способствует полеганию растений, увеличивая вероятность потерь урожая. Считается, что использование индетерминантных сортов приводит к значительному удлинению вегетативного развития и увеличению надземной биомассы, что откладывает наступление закладки генеративных органов и, таким образом, не дает сформировать биологическую спелость семян полностью до окончания вегетационного сезона [42].

Кроме того, встречается промежуточный тип стебля, который называется полудетерминантным. Сорта, у которых формирование новых узлов завершилось в период после начала цветения до физиологического созревания, отнесены к полу-

детерминантному типу. При таком типе стебля остановка вегетативного развития на основном стебле не прекращается с началом цветения. Но фенотипически они не такие длинные, как индетерминантные формы.

Научно-исследовательские институты, занимающиеся селекцией сои в Европейской части России, используют в качестве исходного материала в основном образцы с детерминантным типом роста. В условиях 55° с.ш. вполне возможно выращивание полудетерминантных форм, хотя они несколько более позднеспелые. Важно отметить, что полудетерминантные и индетерминантные сорта вследствие образования обильной вегетативной массы более урожайны.

В хозяйствах, наряду с сортами ограниченного роста, требуется иметь также полудетерминантные (промежуточные), т.е. разные по срокам созревания, для организации «конвейерной уборки», с более равномерным распределением рабочей силы и материальных средств. По другим овощным бобовым культурам учёные из ФНЦО разработали аналогичную технологию [6].

Окраска семенной кожуры и рубчика семян. Соя имеет различную основную окраску кожуры семени и рубчика, а также форму пигментации. Для производства пищевых продуктов функционального назначения окраска семенной кожуры и рубчика имеет большое значение.

Жёлтая окраска детерминируется доминантными генами D или D2. Большая часть сортообразцов сои в мировых генетических банках имеет желтую окраску кожуры. Коричневый цвет семенной оболочки определяется рецессивным аллелем r, а чёрный соответственно доминантным R. У сортообразцов уссурийской сои (дикой) наблюдаются черные семена со слабыми коричневыми пятнами: данная особенность контролируется одним рецессивным геном. На коже и рубчике семени иногда встречается пигментация, изменяющая основную окраску оболочки. Так, на черноокрашенной коже появляются коричневые пятна, детерминируемые доминантным геном Fl. Группа аллелей I, i¹, i^R, i влияет на особенность окраски пигментации кожуры и рубчика. Доминантный ген I детерминирует отсутствие темной пигментации, влияющее на формирование светлого рубчика. Рецессивный ген i определяет наличие этой пигментации по всей поверхности. Комплементарное действие доминантных генов обуславливает светлую окраску кожуры и рубчика [2].

В соответствии с требованиями переработчиков и рынка здорового питания, овощные сорта сои должны обладать определёнными цветами семенной кожуры и рубчика. К примеру, из темноокрашенных семян весьма трудно получить молочные продукты, муку с привлекательным внешним видом, поскольку требуются дополнительные затраты на удаление семенной оболочки [5], вследствие чего, как правило, для пищевых технологий более целесообразно использовать семена с семенной оболочкой светлого цвета, желательно без пигментации.

По данным индийских учёных [47], наиболее привлекательная окраска семенной кожуры для сортов типа «эдамаме» - жёлтая, зелёная, а также, для особого сегмента актуальны и интересны черные, коричнево-кофейные семена с предпочтительной окраской рубчика – светлой, жёлтой, серой. Для сортов на проростки окраска должна быть преимущественно жёлто-кремовой с таким же цветом рубчика [50].

Число семян в бобе, число продуктивных узлов, среднее число бобов в узле. Число семян в бобе - один из элементов структуры урожая, являющийся составной частью общей семенной продуктивности.

Для большинства сортов овощного направления вести отбор и создавать сорта с большим числом семян в бобе затруднительно, так как с увеличением числа семян в бобе уменьшается масса 1000 семян [12]. Для селекции овощной сои других направлений, относительно которых масса 1000 семян не играет главной роли, селекция

сортов сои на увеличение числа семян в бобе имеет перспективы.

У сои типа «эдамаме» в рамках сформированной сортовой модели число семян в бобе составляет не больше 2,5 [32]. Это не снижает их массу 1000 семян.

Число семян в бобе почти не подвержено изменчивости внешней среды, обладает слабым коэффициентом вариации. Замечено, что даже аномально высокие температуры на фоне отсутствия осадков в течение продолжительного времени незначительно сказываются на числе семян в бобе. Однако, чаще всего такие семена остаются несформированными, иногда редуцируются, или абортируются [10].

Число продуктивных узлов и среднее число бобов в узле являются необходимыми косвенными признаками при оценке продуктивности генотипа у бобовых культур. Соя характеризуется сильной корреляционной связью числа продуктивных узлов и среднего числа бобов с семенной продуктивностью ($r=0,73$, $0,56$ соответственно), при этом масса 1000 семян с увеличением числа продуктивных узлов снижается незначительно ($r=-0,2$), а со средним числом бобов в узле связи не замечено ($r=0,04$). Данные признаки являются стабильными, подвержены изменениям внешней среды в слабой степени ($V_{\sigma}=34$ и 16% , соответственно). Признаки позволяют проводить отбор на более ранних стадиях роста и развития растений, до наступления фазы биологической спелости, облегчая работу селекционера по фенотипической оценке и индивидуальному отбору элитных растений. Учёные на примере сои и других бобовых культур доказали, что число продуктивных узлов и среднее число бобов в узле представляют собой слагаемые урожайного «успеха» культиваров [6].

Особенность структуры урожая овощных линий в том, что у них оба данных признака выражены несколько слабее, чем у зерновых [10]. Этот факт объясняется незначительной негативной корреляцией с массой 1000 семян. В результате длительной селекционной работы это привело к ослаблению выражения перечисленных признаков на овощных формах.

Высота прикрепления нижнего боба. Высота прикрепления нижнего боба является ценным агротехническим признаком пригодности сорта к механизированной уборке. Продолжительное время считалось, что при высоте прикрепления нижнего боба сои ниже 10 см, значительно увеличиваются потери наиболее крупных семян, находящихся на нижних ярусах, при механизированной уборке, так как имеющиеся на тот момент комбайны не могли срезать стебли ниже указанной величины [3]. На сегодняшний день появилась специализированная уборочная техника с регулируемым срезом растений ниже 10 см в соответствии с рельефом поля. Однако в большинстве хозяйств в России по-прежнему применяются машины и механизмы предыдущих лет выпуска, следовательно, отбор на оптимальную высоту прикрепления нижних бобов (не менее 10-12 см) важно продолжить, сочетая его с отбором на продуктивность, что позволит снижать до минимума потери урожая при уборке.

Высота прикрепления нижнего боба зависит от типа роста стебля. Чем выше растения, тем, как правило, выше у них прикрепление нижних бобов. По собственным данным, значимых корреляций высоты прикрепления нижнего боба с хозяйственно ценными признаками не замечено. Она в средней степени подвержена изменениям условий внешней среды [12]. В сравнении с масличными сортами сои, у овощных форм высота прикрепления нижнего боба несколько меньше [10]. В соответствии с градацией Международного классификатора ВИР для рода *Glycine* Willd., высота прикрепления нижнего боба ниже 8 см является очень малой, от 8,1 до 12 см – малой, от 12,1 до 16 см – средней [13]. Большинство сортообразцов коллекции ВИР и ФНЦО имеют среднюю высоту прикрепления нижнего боба [10].

Морфологические особенности боба. Морфологические характеристики плода *Glycine max* L. представляют собой важнейшие маркерные признаки для селекции

эдамаме [32]. Особенности формы и строения бобов играют значительную роль при отборе пригодных генотипов во время их фенотипической оценки. Они являются ценным потребительским качеством овощной сои, от которых зависит закупочная цена эдамаме, в отличие от зерновых и сортов других пищевых направленных. Поскольку, в противоположность последним, реализуются и употребляются в пищу непосредственно семена в бобах, имеется необходимость в исследованиях морфологии плода *Glycine max* L.

Среди физических характеристик важны внешний вид и размер свежих бобов и семян. По мнению Ментредди и Мухаммед, плоды должны быть ярко-зеленого цвета с светло-серым, тонким опушением и примерно $\geq 4,5$ см в длину, желательно более 5 см, и шириной $\geq 1,4$ см, с двумя или более крупными, сформированными и нежными семенами в фазу технической спелости, имеющими светлый цвет кожуры и серый рубчик. Средняя масса боба должна быть не менее 2,8 г [32, 37]. Этот этап совпадает с R6-стадией развития сои. Таким образом, этап R6 очень важен для получения планируемой урожайности с требуемым качеством.

По данным американских специалистов, самая высокая цена предлагается за бобы около 6,35 см в длину [37]. Повреждённые, недозревшие или перезревшие бобы, с числом семян менее 2 на плод, для заготовки эдамаме недопустимы [17].

Пищевые качества семян. Появление овощных сортов сои с крупными семенами и различной окраской семенной кожуры (вкупе со сбалансированным биохимическим составом), с приятным вкусом, а также изменение привычек питания на фоне традиционного присутствия бобовых в блюдах, повлияли на настроение потребителей. Культура заняла значительную долю на рынке здорового питания и функциональных продуктов в Азии, продолжается рост продукции на соевой основе практически во всех развитых странах Старого и Нового света [37].

Критерий оценки качества продукции на основе анализа восприятий органов чувств при создании овощных сортов является основополагающим; в случае слабых органолептических показателей, даже если продукт ценный, он не будет пользоваться популярностью у потребителей. Вкус и аромат продуктов питания влияют на решение об их покупке [22].

Сорта, созданные длительным периодом так называемой народной селекции, хотя и не избавились полностью от некоторых негативных качеств, в целом менее горькие, у них практически отсутствует бобовый привкус и травяной запах [47]. Возможно их использование для выделения селекционных линий с улучшенными вкусовыми качествами. При этом стоит отметить, что стародавние сорта обладают некоторыми недостатками, такими как отсутствие стабильных урожаев, слабая технологичность и неравномерное созревание.

Эдамаме-сорта имеют уникальный аромат, основанный на сочетании сладости и горечи. Сахароза способствует сладости, тогда как сапонины, изофлавоноиды и l-аргинин добавляют горечь [36]. По мнению потребителей, участвующих в дегустациях, аромат овощной сои включает ореховые, масляные, бобовые, цветочные «нотки». Китайские потребители предпочитают соевые бобы с повышенным содержанием сахара, в то время как жители США выбирают сорта с масляным привкусом, а японцы – со сладким и цветочным вкусом и хрустящей текстурой [30].

Активность липоксигеназы. Липоксигеназы (LOX) – ферменты перекисного окисления липидов. Первая липоксигеназа растительного происхождения была обнаружена более 60 лет назад у сои (LOX1). Они катализируют стереоспецифическое пероксидирование полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Липоксигеназы имеют нескольких изоформ в пределах одного вида; также они являются функционально гетерогенными. Так, в сое было идентифицировано 13 различных изоформ LOX [38].

Липоксигеназа образует побочные продукты – перекиси (альдегиды и кетоны), которые вызывают бобовый привкус и послевкусие термически необработанных семян сои, сильно снижая их вкусовые качества, увеличивая затраты на процессы их «очистки». LOX играет существенную роль в прогаркании жиров. Соя является культурой с наибольшим содержанием липоксигеназы [5], что подчёркивает важность селекционной работы по её снижению. Значение активности липоксигеназы для овощных сортов ниже, чем для зерновых [39].

На данный момент активность липоксигеназы инактивируют в основном технологическими методами (тепловой обработкой, инфракрасным излучением, изменением pH-среды и т.д.), повышая тем самым себестоимость производства соевой продукции [57].

Низкое содержание липоксигеназы в семенах существенно улучшает органолептические качества продуктов из сои. На данный момент в США и Японии разработана линейка овощных сортов сои с низким содержанием фермента. Крупным достижением науки является создание в Японии сорта с отсутствием липоксигеназы в семенах [2].

Классическая работа американских селекционеров, проведённая на чистых линиях сои, показала возможность снижения активности LOX почти в 2 раза, используя традиционные методы селекции (внутривидовую гибридизацию). При этом было показано более сильное влияние в обратных скрещиваниях некоторых растений, выступающих в роли материнских линий, на уменьшение активности фермента, что говорит о взаимодействии «ядро-цитоплазма» [24]. Таким образом, в селекционные программы желательно включать реципрокные скрещивания для выделения комбинаций с пониженным содержанием железосодержащих ферментов.

Содержание белка. Соя является одной из самых высокобелковых культур (до 50%), отличается ценной аминокислотной композицией. Белок сои сбалансирован по содержанию незаменимых аминокислот и обладает высокой биологической питательной ценностью. Концентрация незаменимых аминокислот (кроме метионина и триптофана) превышает нормы питания населения или кормления сельскохозяйственных животных по показателям ФАО ООН [37].

Белок сои может быть использован в виде добавки для улучшения других растительных белков, имеющих низкую биологическую ценность, к примеру, запасных белков злаковых растений, а также использоваться отдельно в виде пищевых добавок для питания спортсменов, функционального, здорового питания. В семенах сои два основных запасующих белка: 7S-глобулины (β -конглицинины) и 11S-глобулины (глицинины), составляющие около 70-80% от общего количества белков. Они в значительной степени отвечают за питательные и физико-химические свойства семян сои [21].

Изучение влияния агроклиматических факторов показало, что в зависимости от погодных условий и региона выращивания уровень содержания белка в семенах сои может колебаться в пределах 10-15% [5].

При повышении влажности и снижении температуры воздуха уменьшается содержание белка. На территории Российской Федерации белковость семян увеличивается в направлении с северо-запада на юг и юго-восток.

Ценность сои овощного направления, в отличие от зерновой, в значительной степени зависит от содержания протеина. Из семян зерновых сортов сои получить белковые концентраты, соответствующие требованиям переработчиков, не всегда удаётся из-за более низкого содержания белка. Содержание белка в семенах овощных сортов выше, чем в масличных примерно на 5-10%, в зависимости от сортовых особенностей. Семена свежей овощной сои в фазу R6 содержат от 35 до 38% белка (на сухую массу) [30].

Изучая особенности селекции культуры, можно отметить существенную отрицательную корреляционную связь белковости с семенной продуктивностью. Данный факт значительно осложняет работу по созданию одновременно высокобелковых и урожайных сортов. При селекции сои на повышенное содержание белка следует учитывать, что в семенах скороспелых форм с цветной и тёмной окраской семенной оболочки его больше, чем в желтосемянных среднеспелых [8].

Содержание масла. Соя является культурой двойного промышленного использования: она является источником не только белка, но и жира, содержание которого колеблется в диапазоне 16-27%. В мировом производстве масла соя занимает лидирующее место [26]. В большинстве зарубежных стран в кулинарии предпочтение отдается соевому маслу, а не подсолнечному, как в России. Питательная ценность липидов определяется содержанием в них ПНЖК – ω -6 и ω -3, которые не синтезируются в организме человека и животных и должны поступать с пищей.

Установлено, что соевое масло является одним из наиболее биологически ценных среди всех растительных масел: высокое содержание ПНЖК – около 55-63%, низкая доля насыщенных жирных кислот – не более 15% [21]. Состав жирных кислот существенно влияет на органолептические качества и питательность масла.

Степень усвоения липидов организмом зависит от состава насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот. В соевом масле наиболее важна незаменимая линолевая кислота, доля которой составляет 50-60%. Её содержание имеет тесную корреляцию с количеством α -линоленовой кислоты (до 8%), придающей маслу своеобразный вкус и аромат и способствующей его быстрому окислению. Доля линолевой кислоты суммарно должна быть не меньше 40 %, а α -линоленовой - более 4 % от суммы всех жирных кислот [5].

В сортах эдамаме в фазу технической спелости содержится от 5% до 7% липидов (на сырую массу). Мононенасыщенные жирные кислоты составляют большую долю в липидном комплексе в свежих зеленых семенах [30], что делает овощную сою питательной и полезной закуской. Согласно работам американских биологов, содержание липидов в овощной сое в R6-фазе варьируется в пределах 13,0-15,6% (на сухое вещество) [19]. Содержание жира в овощных сортах меньше, чем в масличных селекции США [46]. Стоит также отметить, что избыточное содержание масла придаёт семенам эдамаме нежелательный вкус [54].

Масличность, в отличие от белковости, не только не имеет отрицательной сопряжённости с семенной продуктивностью, а наоборот, с увеличением урожайности семян увеличивается и содержание масла. Между содержанием белка и масла имеется высокая негативная корреляция ($r=-0,86$) [5]. По этой причине большинство созданных сортов не являются высокобелковыми, поскольку подавляющая часть создаваемых по всему миру сортов сои относится к масличной направленности, в том числе в России. Ведя селекционную работу по повышению содержания белка, масличность обычно не опускается ниже 16-18% [21]. Высоким содержанием масла отличаются крупносемянные среднеспелые сорта.

С повышением температуры увеличиваются дыхательные процессы, на которые уходит большое количество кислорода, участвующего в синтезе ПНЖК, в результате чего уменьшается йодное число. Таким образом, при продвижении сои на север и северо--запад России (55-59° с. ш.) в семенах больше накапливается жиров, чем на юге и юго-востоке (45-50° с. ш.) примерно на 2,0% (в абсолютных значениях), а также понижается доля олеиновой кислоты на 15,4% (в абсолютных значениях) и увеличивается доля линолевой кислоты на 5,5 % (в абсолютных значениях) с одновременным приростом содержания линоленовой кислоты почти в 3 раза. Результатом данных биохимических процессов является общее уменьшение соотношения ω -6 и

ω -3 (3-4:1) [4]. По этой причине масло, полученное из семян сои, выращенной в более северных условиях возделывания, менее стойко при хранении, но более пригодно для лечебных целей и функционального питания, что делает крайне важной работу по селекции этой культуры в условиях 55° с. ш.

По данным Петибской, при сравнении различных сортоформ *Glycine max* L. [5], содержание липидов в семенах, как интегральный показатель масличности генотипа, у овощных форм выросло, в среднем, примерно на 2,0% (в абсолютном значении). Химический состав липидного комплекса зерновых и овощных сортов также претерпел изменения. Например, доля мононенасыщенной жирной кислоты (олеиновой) увеличилась в течение продолжительного периода так называемой «народной селекции» овощных сортов примерно на 7% (в абсолютном значении), по сравнению с масличными сортами. Вклад ПНЖК показал, что содержание ω -6 уменьшилось примерно на 4% (в абсолютном значении), в то время как доля ω -3 упала почти в 1,5 раза, по-видимому, из-за отрицательного отбора генотипов с повышенным содержанием линоленовой кислоты, поскольку она придаёт горький вкус маслу, ухудшая тем самым органолептические качества овощной сои в целом. Состав насыщенных кислот - пальмитиновой и стеариновой - в процессе эволюции у зерновых и овощных сортов остался прежним, аналогично дикорастущим предкам.

Пропорции жирных кислот можно изменять, используя методы селекции. К примеру, для получения масла, пригодного для здорового организма, важно снизить содержание линолевой кислоты на 10%, линоленовой – до 4% (от суммы всех жирных кислот). В США были получены методом экспериментального мутагенеза чистые линии с вдвое уменьшенным содержанием линоленовой кислоты [24]. Есть данные о получении образцов с минимальным содержанием линоленовой кислоты (до 0,5%). Низкое содержание линоленовой кислоты определяет рецессивный аллель гена *fan* [2]. Селекция «в обратном направлении» - на увеличение доли линоленовой кислоты – важна для получения масла для детского, лечебного, функционального питания, чтобы достичь соотношения омега-6 к омега-3 от 3:1 до 5:1.

Содержание и активность антипитательных веществ. Соя известна содержанием ингибиторов трипсина Кунитца (КИ), которые являются антипитательными веществами. Они относятся к белковым соединениям, которые, при взаимодействии с ферментами, расщепляющими пищевые белки, блокируют их функции, образуя устойчивые соединения, в результате чего увеличивается доля неусвоенных белковых продуктов рациона. Поджелудочная железа начинает синтезировать ферменты более интенсивно, что может привести её к гипертрофии [33]. Зерновые сорта сои могут содержать до 40 мг/г ингибиторов протеиназ (на сухое вещество), которые варьируют, в среднем, в значительных интервалах - от 6,9 до 38,6 мг/г [5].

Известны разные способы инактивации ингибиторов трипсина [5], из которых самым перспективным является селекционный. Наследование ингибитора Кунитца контролируется тремя кодоминантными аллелями гена *Ti* и рецессивным аллелем *ti*, который в гомозиготном состоянии определяет отсутствие этого белка. За последние годы в мире созданы пищевые сорта с более низким содержанием ингибиторов трипсина; посредством многочисленных возвратных скрещиваний введен аллель *ti* [28]. Селекция на низкую трипсинингибирующую активность (ТИА) в настоящее время очень актуальна. Считается, что оптимальное значение ТИА не превышает 10 мг/г. Создание сортов с низкой ТИА позволит снизить температуру обработки семян и сохранить их питательную ценность.

В настоящее время отношение к КИ пересматривается с позиций их возможного применения в фармакологических, медицинских и косметических целях. Например, нынешний интерес к ингибиторам трипсина возникает из-за их способности предотвращать или подавлять индуцированную канцерогеном трансформацию, как было

обнаружено в различных системах моделирования *in vitro* и *in vivo* [20]. Поэтому имеет большое значение создание генотипов с альтернативным (высоким) показателем активности ингибиторов трипсина.

ТИА в течение эволюционного развития культурных форм сои по сравнению дикорастущими предками увеличилась в 2-3 раза. При этом у овощных сортов вследствие длительного «интуитивного» отбора генотипов, обладающих более сбалансированными органолептическими качествами, она ниже, чем в масличных сортах, почти на треть [5].

Изучалась активность ингибиторов трипсина у овощных сортов в динамике, в различные периоды генеративного развития. Было обнаружено, что возраст растений, в основном, пропорционален активности ингибиторов протеиназ [56]. Основное накопление антипитательных веществ происходит в фазу биологической спелости, в период снижения содержания влаги и активного синтеза жиров в семенах.

Исследовалось влияние различных групп спелости овощных сортов на активность КІ. Как и предполагалось, чем более позднеспелый сорт, тем сильнее в нём вероятность высокой активности ингибиторов протеиназ [39].

В период прорастания семян и активной ферментации сумма ингибиторов трипсина снижается до значений ниже критического уровня в 15 мг/г [5]. Данный факт облегчает работу по созданию сортов для производства проростков – ценного функционального продукта питания людей.

Содержание углеводов. Среди бобовых культур соя отличается невысоким содержанием усвояемых углеводов [17]. Сахара в сое представлены растворимыми формами: моносахаридами (глюкозой, фруктозой), олигосахаридами (сахарозой, рафинозой, стахиозой), а также нерастворимыми структурными полисахаридами (гемицеллюлозой, пектинами, слизями). Сахароза является преобладающим биохимическим компонентом среди растворимых углеводов в овощной сое. Сложные углеводы включают 3-7% целлюлозы (клетчатки), 2% лигнина, 1,3-6,5% гемицеллюлозы. Содержание крахмала, по сравнению с другими представителями семейства *Fabaceae*, крайне мало (до 2-3%), он содержится в основном в зародыше.

По причине отсутствия у человека фермента галактозидазы, рафиноза и стахиоза остаются непереваренными в верхней части кишечника, затем, попав в нижнюю часть ЖКТ, происходит процесс их брожения микроорганизмами до углекислого газа и водорода, метана, азота, что вызывает метеоризм. Содержание олигосахаров в соевом шроте отрицательно влияет на эффективность птицеводства и свиноводства. Селекционерами в США были выделены селекционные линии сои с низким содержанием данных олигосахаридов. Одной из задач селекции является снижение содержания или устранение рафинозы и стахиозы [43].

Овощные сорта сои содержат на сухое вещество до 3% моносахаридов, что несколько больше, чем у масличных форм. Также у овощных форм значительное количество дисахарида – сахарозы – в среднем в 1,5 раза больше, а три- и тетрасахаридов – почти в 2 раза меньше, что, в конечном счёте, влияет на вкус – они более сладкие и не вызывают проблем с пищеварением. Таким образом, в основном углеводные различия между овощным и зерновым сортовыми типами сои заключаются в составе и содержании олигосахаридов.

Для сортов овощной направленности содержание олигосахаридов представляет собой один из отличительных признаков, а также является весомым показателем для органолептической оценки семян.

Сорта типа «эдамаме» наиболее богаты углеводами. В сухом веществе их семян доля сахаров колеблется в пределах 14-24%, иногда доходя до 35%, поэтому её также называют «сладкая соя». В мировых коллекциях имеются образцы овощной сои,

содержание $C_{12}H_{22}O_{11}$ в семенах которых может быть даже более существенным [25].

В фазу технической спелости содержание моно- и дисахаридов выше, так как в последующем происходит полимеризация с образованием целлюлозы, пектиновых веществ и других сложных углеводов. В фазу R6 в семенах овощной сои содержание сахарозы варьирует в пределах 3-8% (на сухое вещество) [44].

Учёные исследовали динамику накопления растворимых сахаров в семенах различных сортов овощной сои. Показано, что содержание углеводов, придающих бобам сои сладкий вкус, отмечается в наибольших количествах в фазу R6 – наиболее важную стадию с точки зрения органолептических качеств эдамаме, за исключением глюкозы и «вредных сахаров» - рафинозы и стахиозы, при этом их содержание в фазу R6 минимально. Однако накопление рафинозы к концу биологической спелости увеличивается более, чем вдвое, а стахиозы – в 45-50 раз [56]. Следовательно, в случае затягивания времени уборки, значительно ухудшаются вкусовые и питательные качества овощной сои.

Увеличение влажности и пониженные температуры (по сравнению с южными регионами России) коррелируют с суммой углеводов в семенах, повышая содержание последних. Практически все сахара идут на синтез жиров, в отличие от других бобовых культур, у которых они направляются на образование крахмала.

Содержание витамина С. Растительная продукция, употребляемая в пищу, должна обладать всеми необходимыми макро- и микроэлементами, а также содержать значительную долю витаминов. Аскорбиновая кислота (АК) необходима для нормального функционирования соединительной и костной ткани. АК является полифункциональным веществом. Она способна обратимо окисляться и восстанавливаться, принимая участие в важнейших энергетических процессах: фотосинтезе и дыхании. Она является сильным антиоксидантом. Аскорбиновая кислота задействована в процессах роста, вегетативного и генеративного развития, в водном обмене, регуляции ферментативной активности, в защитных реакциях растений [14].

Увеличение витамина С коррелирует с процессом фотосинтеза. Считается, что свет стимулирует синтез АК, поскольку образующиеся сахара являются субстратом для биосинтеза витамина С. В случае, если фотосинтез отсутствует, для синтеза аскорбиновой кислоты необходимы более энергоёмкие операции для превращения углеводов, вследствие чего образование АК в таком случае протекает значительно более замедленно, и по объёму накопленного витамина С существенно уступает варианту на свету. Было замечено, что наибольший синтез АК наблюдается после максимальной интенсивности фотосинтеза.

АК играет большую роль в процессах роста и развития растений. В сортах сои зернового направления содержание аскорбиновой кислоты составляет в среднем 10-20 мг/100 г (на сухое вещество), в овощных формах - не менее 20 мг, в созревших семенах сои и соевых продуктах оно относительно невелико [47]. Однако во время прорастания семян содержание аскорбиновой кислоты повышается в несколько раз. АК обеспечивает более быстрое прорастание семян, активизирует рост гипокотилия и корней.

По мнению китайских учёных, содержание витамина С во время прорастания семян сои увеличивалось в 8,2 раза, достигая максимума на 4-е сутки [55]. Данный факт подчёркивает важность работы по созданию сортов для производства соевых проростков.

Содержание изофлавонов. Изофлавоны (ИФ) - подгруппа флавоноидов, одна из групп фенольных соединений, являющиеся продуктами вторичного метаболизма, представленные в растениях. ИФ – кислородсодержащие гетероциклы, имеющие скелет 3-фенилхромана, который гидроксильрован по 4-му и 7-му положениям.

Соя является природным источником ИФ. Их содержание варьирует в пределах 0,1-5 мг/г, в зависимости от типа изофлавонов и условий выращивания [40]. ИФ обладают широким спектром фармакологической активности: желчегонными, гепатопротективными, противоязвенными свойствами. Изофлавоны также играют огромную роль как антиоксиданты, снижают женский менопаузальный синдром.

Изофлавоны придают терпкость соевому молоку и незрелым или вареным семенам, влияя на вкус овощной сои. В настоящее время во многих азиатских странах ведутся масштабные селекционные программы для создания сортов сои, подходящих для использования как овощи с хорошими органолептическими качествами [44]. С этой целью информация об уровне содержания ИФ в семенах является необходимой и признана одним из лимитирующих факторов в литературе [34].

Содержание изофлавонов сои относится к числу возможных признаков для отбора. Многолетние опытные данные показывают, что генетический фактор играет очень важную роль в аккумуляции ИФ, контролируя их накопление несколькими основными и второстепенными генами. К примеру, в различных сортах при одинаковых условиях выращивания имеются значительные расхождения в содержании изофлавонов. Более низкая концентрация изофлавонов обычно представлена в раннезрелых сортах [31].

Однако их количественный состав подвержен сильному влиянию внешней среды. Содержание изофлавонов одного и того же сорта, выращенного в одном районе, продемонстрировало изменения в течение нескольких лет, которые существенно отличались (в 3 раза) [58].

Проводились исследования накопления ИФ в овощных сортах сои в стадии налива семян (R4-R7) [34]. Данные свидетельствуют о том, что сумма изофлавонов на более ранних стадиях развития была меньше, чем в созревших семенах (R8). Важно отметить различное влияние наследственного фактора в накоплении ИФ: в некоторых особо ценных сортообразцах их содержание было выше по сравнению со стандартом почти в 3,5 раза. Таким образом, необходимо проводить скрининг исходного материала для селекции на содержание вторичных метаболитов.

Заключение

В работе рассматриваются важнейшие агрономические и биологические параметры овощной сои для создания сортов, пригодных в производстве функциональных продуктов питания. На данный момент ведётся изучение исходного материала овощной сои согласно представленной модели, разработанной для условий ЦРНЗ, являющейся основой по формированию биотипов будущих сортов. Допустимо, что по мере развития селекционной работы отдельные элементы этой модели будут корректироваться и дополняться. Исследования в этом направлении продолжаются.



Работа выполнена при поддержке гранта «Проект-победитель» конкурса Стипендиальной программы Владимира Потанина № ГПК-19/17 от 05.06.2017 г.

Комплексная модель - основные параметры будущих сортов сои овощного типа для Центрального района Европейской части РФ

Таблица.

№ п/п	Признак	Единица измерения	Существующие сорта сои зерновой (масличной) направленности	"Эдамаме" (семена в фазу технической спелости)	Овощные сорта сои	
					Для производства продуктов молочно-го направления	Для производства функциональных продуктов молочно-го направления
1. Хозяйственная характеристика:						
1.1	Потенциальная урожайность семян	т/га	1,5-2,3	2,3-2,8	2,5-3,0	1,8-2,0
1.2	Густота стояния при уборке	тыс. шт/га	400	350	400	500
1.3	Устойчивость к полеганию	-	выше среднего	высокая	высокая	выше среднего
2. Особенности биологии растений:						
2.1	Период вегетации	сут	85-110	90-115	85-110	85-110
2.2	Продолжительность периода «всходы-цветение»	сут	38-45	40-47	38-45	38-45
2.3	Сумма активных температурных единиц	°С	1700-1900	1750-1950	1700-1900	1700-1900
2.4	Тип роста	-	детерминантный	детерминантный, полудетерминантный	детерминантный, полудетерминантный	детерминантный, полудетерминантный
3. Элементы структуры урожая:						
3.1	Семенная продуктивность растения	г	5-6	7-8	6-8	4-5
3.2	Масса 1000 семян	г	120-180	220-450	140-220	80-120
3.3	Число семян в бобе	шт	1,7-2,7	2,0-2,5	2,0-2,5	2,5-3,0
3.4	Число продуктивных узлов на основном стебле	шт	9-12	7-9	9-12	9-12
3.5	Среднее число бобов в узле	шт	>2,5	>2,1	>2,5	>2,9
4. Морфологические особенности:						
4.1	Высота прикрепления нижнего боба	см	>12	>7	>10	>10
4.2	Ветвистость	шт	2-4	5-6	4-6	2-4
4.3	Толщина стебля	мм	4-5	5-9	4-6	3-4
4.4	Окраска семенной кожуры	-	жёлтая	зелёная, жёлтая, чёрная, коричневая	зелёная, жёлтая	жёлтая

№ п/п	Признак	Единица измерения	Существующие сорта сои зерновой (масличной) направленности	Овошные сорта сои		
				"Эдамаме" (семена в фазу технической спелости)	Для производства функциональных продуктов молочного направления	Для производства проростков
4.5	Окраска рубчика семян	-	тёмная, жёлтая	серая, коричневая	светлая	жёлтая
4.6	Средняя масса одного боба	г	не имеет значения	2,8-4,0	не имеет значения	не имеет значения
4.7	Средняя длина боба	см	не имеет значения	4,5-6,0	не имеет значения	не имеет значения
4.8	Цвет боба	-	не имеет значения	зелёный	не имеет значения	не имеет значения
4.9	Опушенность боба	-	не имеет значения	желательно светлая	не имеет значения	не имеет значения
5. Биохимический состав семян (на сухое вещество):						
5.1	Содержание белка	%	38-42	42-48	42-46	39-43
5.2	Содержание масла	%	17-21	15-17	16-18	17-20
5.3	Содержание и активность антипитательных веществ	мг/г	20-30	<18	15-20	не имеет значения
5.4	Содержание углеводов	%	14-20	20-30	17-27	14-20
5.5	Содержание витамина С	мг/100 г	≤15	10-25	10-25	≤15
5.6	Содержание изофлавонов	%	0,3-0,7	0,5-1	0,4-0,8	0,3-0,7
6. Пищевые качества семян:						
7.1	Органолептические качества (бобовый привкус, послевкусие, запах)	-	сильный травянисто-бобовый вкус с горечью	травянистый привкус не чувствуется, горечь почти отсутствует	молочно-соевый привкус	минимальный бобовый привкус
7.2	Твёрдосемянность	%	1,5-7,0	<2	<2	<2
7. Особые свойства:						
8.1	Ферментная активность липоксигеназы	-	высокая	низкая; практически отсутствует в новых сортах	низкая	средняя

Библиографический список

1. Бельшикина М.Е., Гатаулина Г.Г. Урожайность и элементы структуры урожая ультраскороспелого сорта сои Касатка при разных способах посева и густоте стояния растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010. № 6. С. 51–54.
2. Вишнякова М. А., Сеферова И. В. Соя // Идентифицированный генофонд растений и селекция. 2005. С. 841–849.
3. Енкен В.Б. Соя–М // Гос. изд-во с.-х. литературы. 1959. С. 179.
4. Кучеренко Л.А. и др. Содержание и качество масла в семенах сортообразцов сои различного происхождения // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2008. №. 1 (138).
5. Петибская В.С. Соя: химический состав и использование / Петибская В.С. Краснодар, 2012. 432 с.
6. Пивоваров В.Ф., Пронина Е.П. Основные направления и результаты селекции и семеноводства овощных бобовых культур во ВНИИССОК / Пивоваров В.Ф., Пронина Е.П. // Овощи России. 2013. № 1 (18). С. 4–11.
7. Посыпанов Г.С. и др. Создание сортов сои северного экотипа и интродукция ее в Нечерноземную зону России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2007. №. 1.
8. Пыльнев В.В., Хунацария Т.И. Частная селекция полевых культур. КолосС, 2005.
9. Хайко Беккер. Селекция растений. Товарищество научных изданий КМК; М., 2015. 425 с.
10. Шафигуллин Д.Р. и др. Изучение изменчивости количественных признаков у овощных и зерновых форм сои в условиях Центральной части Нечерноземной зоны // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. №. 2 (22).
11. Шафигуллин Д.Р., Пивоваров В.Ф., Гинс М.С. Особенности вариаций признаков скороспелости у овощных и зерновых форм сои // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. №. 5. С. 18–23.
12. Шафигуллин Д.Р., Романова Е.В., Гинс М.С., Пронина Е.П. Сопряженность количественных признаков и показателей скороспелости селекционных линий сои овощного и технического направлений // Аграрная Россия. 2017. № 9.
13. Щелко Л. и др. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine Willd* //Л.: ВИР. 1990.
14. Alscher R.G. // *Physiol. plant.* 1989. Vol. 77. N 3. P. 457–464.
15. Badani H. et al. Influence of sowing date on yields of fresh-harvested chickpea // *Journal of Agricultural Science.* 2010. T. 2. №. 4. С. 83.
16. Board J.E., Harville B.G. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean // *Agronomy Journal.* 1996. T. 88. №. 4. С. 567–572.
17. Born H. Edamame: vegetable soybean // National center for appropriate technology (NCAT) a publication of ATTRA-National sustainable agriculture information service. 2006.
18. Buzzel R.I., Voldeng H.D. // *Soybean Genetics Newsletter.* 1980. Vol. 7. P. 26–29.
19. Carson L.C. et al. Cultivar evaluation and lipid and protein contents of Virginia-grown edamame // *HortTechnology.* 2011. T. 21. №. 1. С. 131–135.
20. Clawson G.A. Protease inhibitors and carcinogenesis: a review, *Cancer Invest.* 14 (1996) 597–608.

21. Dornbos D.L., Mullen R.E. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature //Journal of the American Oil Chemists' Society. 1992. V. 69. №. 3. P. 228–231
22. Glanz, K., Basil, M., Maibach, E., Goldberg, J., & Snyder, D. (1998). Why Americans eat what they do: Taste, nutrition, cost, convenience, and weight control concerns as influences on food consumption. Journal of the American Dietetic Association, 98, 1118–1126.
23. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. Soya Bean *Glycine max* (L.) Merrill). UPOV. Geneva. 1998. P. 11.
24. Hammond E. G., Fehr W. R., Snyder H. E. Improving soybean quality by plant breeding // Journal of the American Oil Chemists' Society. 1972. T. 49. №. 1. C. 33–35.
25. Hou A. et al. Genetic Variability of Seed Sugar Content in Worldwide Soybean Germplasm Collections // Crop Science. 2009. T. 49. №. 3. C. 903–912.
26. <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC>
27. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#
28. Hymowitz T. Anti-nutritional factors in soybean: genetics and breeding // Program and Abstracts: World Soybean Research Conference. III. USA, Ames, Iowa, 1984. P. 28.
29. Hymowitz, T. 1984. Dorsett-Morse soybean collection trip to East Asia: a 50 year perspective. Economic Botany 38: 378–88.
30. Johnson, D., Wang, S., & Suzuki, A. (1999). Edamame: A vegetable soybean for Colorado. In J. Janick (Ed.), Perspectives on new crops and uses (pp. 385–387). Alexandria: ASHS Press.
31. Jong J.K., Seung H.K., Sang J.H., Ill M.C. (2005). Changing soybean isoflavone composition and concentrations under two different storage conditions over three years. Food Res Int 38: 435–444.
32. Konovsky J., Lumpkin T. A., McClary D. Edamame: the vegetable soybean // Understanding the Japanese food and agrimarket: A multifaceted opportunity. 1994. V. 1988. P. 173–181.
33. Krogdahl A., Holm H. Soybean proteinase inhibitors and human proteolytic enzymes: selective inactivation of inhibitors by treatment with human gastric juice //The Journal of nutrition. 1981. T. 111. №. 12. C. 2045–2051.
34. Kumar V. et al. Evaluation of vegetable-type soybean for sucrose, taste-related amino acids, and isoflavones contents //International Journal of food properties. 2011. T. 14. №. 5. C. 1142–1151.
35. Lee Y. E. Characteristics of soybean sprout locally cultivated in the Jeonju region, used for bibimbap and kongnamul-gukbap // Journal of Ethnic Foods. 2015. T. 2. №. 2. C. 84–89.
36. Masuda, A. What is the quality of vegetable soybeans? Soybean Monthly Report January 1994.
37. Mentreddy S. R. et al. Edamame: A nutritious vegetable crop. 2002.
38. Minor W. et al. Crystal structure of soybean lipoxigenase L-1 at 1.4 Å resolution //Biochemistry. 1996. T. 35. №. 33. C. 10687–10701.
39. Mohamed A. I., Rangappa M. Nutrient composition and anti-nutritional factors in vegetable soybean: II. Oil, fatty acids, sterols, and lipoxigenase activity //Food chemistry. 1992. T. 44. №. 4. C. 277–282.
40. Mohamed, A., M.S.S. Rao and T. Mebrahtu. 2001. Nutritional and health benefits of vegetable soybean: Beyond protein and oil. P. 131–134.
41. Morse, J.L. and T.E. Carter, Jr. 1952. Soybeans for feed, food and industrial products. p. 41. Farmer's Bul. 2038, U.S. Dept. Agr.

42. Parvez A. Q., Gardner F. P., Boote K. J. Determinate-and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date // *Crop Science*. – 1989. T. 29. №. 1. P. 150–157.
43. Saini H. S. Legume seed oligosaccharides // *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds*. Pudoc, Wageningen. 1989. P. 329–341.
44. Shanmugasundaram S., Yan M. R. 19 Vegetable Soybean // *The Soybean: Botany, Production and Uses*. 2010. P. 427.
45. Shurtleff W., Aoyagi A. History of edamame, green vegetable soybeans, and vegetable-type soybeans (1275-2009): Extensively annotated bibliography and sourcebook. – Soyinfo Center, 2009.
46. Sikka, K.C., A.K. Gupta, R. Singh, and D.P. Gupta. 1978. Comparative nutritive value, amino acid content, chemical composition, and digestibility in vitro of vegetable- and grain-type soybeans. *J. Agr. Food Chem.* 26:312–316.
47. Singh G. (ed.). *The soybean: botany, production and uses*. CABI, 2010. 494 pp.
48. Singh R. K., Pushpendra K. S., Bhardwaj P. M. Gene effects for major quantitative traits in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] // *Soybean Genetics Newsletter*. 2010. T. 37. P. 1–5.
49. Stehfest, E., Heistermann, M., Priess, J. A., Ojima, D. S., & Alcamo, J. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent // *Ecological Modelling*. 2007. V. 209. №. 2. P. 203–219.
50. Suh S. K. et al. A new soybean variety for sprout with small seed and high yielding” Pungsan-namulkong” // *RDA Journal of Crop Science* (Korea Republic). 1997.
51. Tian Z. et al. Artificial selection for determinate growth habit in soybean // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010. T. 107. №. 19. C. 8563–8568.
52. Tiana Z., Wang X., Lee R., Lib Y., Spechtd J.E., Nelson R.L., McCleane P.E., Qiub L., Maa J. Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *PNAS*. 2010. Электронный ресурс] / URL: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1000088107.
53. Valdebouze P. et al. Content and distribution of trypsin inhibitors and hemagglutinins in some legume seeds // *Canadian Journal of Plant Science*. 1980. T. 60. №. 2. P. 695–701.
54. Wszelaki, A.L., J.F. Delwiche, S.D. Walker, R.E. Liggett, S.A. Miller, and M.D. Kleinhenz. 2005. Consumer liking and descriptive analysis of six varieties of organically grown edamame-type soybean. *Food Qual. Prefer.* 16: 651–658.
55. Xu M.J., Dong J.F., Zhu M.Y. Effects of germination conditions on ascorbic acid level and yield of soybean sprouts // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. T. 85. №. 6. P. 943–947.
56. Xu Y. et al. Physical and nutritional properties of edamame seeds as influenced by stage of development // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2016. T. 10. №. 2. P. 193–200.
57. Yalcin S., Basman A. Effects of infrared treatment on urease, trypsin inhibitor and lipoxygenase activities of soybean samples // *Food chemistry*. 2015. Vol. 169. P. 203–210.
58. Zhang J., Ge Y, Sun J., Han F, Yu F, Yan S., Yang H. (2012). Identification of QTLs for major isoflavone components among multiple environments in soybean seeds. *Scientia Agricultura Sinica* 45: 3909–3920.
59. Zhang L., Kyei-Boahen S. Growth and yield of vegetable soybean (edamame) in Mississippi // *HortTechnology*. 2007. T. 17. №. 1. P. 26–31.

STUDY OF SOYBEAN VEGETABLE SAMPLES IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL EUROPEAN PART OF RUSSIA AND MODELING OF NEW VARIETY BIOTYPES

D.R. SHAFIGULLIN^{1,2}, M.S. GINS^{1,2}, V.F. PIVOVAROV¹, A.V. SOLDATENKO¹

(¹ Federal Scientific Vegetable Center (FSVC);
² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN))

The whole period of modern scientific soybean breeding in Russia was devoted to the development of oilseeds varieties with the required biochemical, morphophysiological, organoleptic qualities. The use of various grain varieties of soybeans, the main breeding direction of which is the production of oil, in the form of a food ingredient or as a basis for food production, showed their weak taste qualities, high activity of anti-nutrient substances contained in the seeds, the presence of lipoxigenase - an enzyme responsible for the breakdown of fatty acids with the formation of by-products - peroxides and the inherent unpleasant legume-herbal flavor; insufficient protein content and low commodity properties. Their use in food, and even more so for the production of functional foods with minimal heat treatment ("edamame") is unacceptable.

A balanced composition of chemicals and an incomparable combination of economically important components make it possible to use vegetable soybean for the production of a huge number of diverse food products, such as traditional products coming from the eastern cuisine: soybean dairy products, tofu cheese, sauces, sprouts, fresh / frozen / canned bean seeds (edamame), edible oil with a high proportion of polyunsaturated fatty acids, as well as new products that have undergone deeper processing with high added value: protein isolates, protein concentrates, fat-free flour, isoflavones, and lecithin.

A new direction is proposed to make vegetable varieties with different nutritional qualities, biological and morphological features, chemical composition, economic characteristics, and elements of the yield structure. Basing on theoretical and proprietary experimental data, the authors have proposed a model of vegetable soybean varieties for the European part of the Non-chernozem zone. The paper summarizes the previous work on the evaluation and study of the source material of vegetable soybeans conducted at the Federal Scientific Vegetable Center (FSVC).

Key words: vegetable soybean, edamame, variety model, productivity, weight of 1000 seeds, early maturity, functional food products.

References

1. Belyshkina M.Ye., Gataulina G.G. Urozhaynost' i elementy struktury urozhaya ul'traskorospelogo sorta soi Kasatka pri raznykh sposobakh poseva i gustote stoyaniya rasteniy [Yield and the yield structure elements of the ultra-ripening soybean variety at different seeding methods and plant stand density] // Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2010. No. 6. Pp. 51–54.
2. Vishnyakova M. A., Seferova I. V. Soya [Soybeans]. // Identifitsirovanny genofond rasteniy i selektsiya. – 2005. – Pp. 841–849.
3. Yenken V. B. Soya–M [Soya–M] // Gos. izd-vo s.-kh. lit-ry. 1959. P. 179.
4. Kucherenko L.A. i dr. Soderzhaniye i kachestvo masla v semenakh sortoobraztsov soi razlichnogo proiskhozhdeniya [Oil content and quality in the seeds of soybean varieties of various origin] // Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur. – 2008. – No. 1 (138).

5. *Petibskaya V.S.* Soya: khimicheskiy sostav i ispol'zovaniye [Soybeans: chemical composition and use] / Petibskaya V.S. Krasnodar, 2012. 432 p.
6. *Pivovarov V.F., Pronina Ye.P.* Osnovnyye napravleniya i rezul'taty selektsii i semenovodstva ovoshchnykh bobovykh kul'tur vo VNISSOK [The main directions and results of selection and seed production of vegetable leguminous crops in VNISSOK] / Pivovarov V.F., Pronina Ye.P. // *Ovoshchi Rossii*. 2013. No. 1 (18). Pp. 4-11.
7. *Posypanov G.S.* et al. Sozdaniye sortov soi severnogo ekotipa i introduktsiya yeye v Nechernozemnyuyu zonu Rossii [Development of soybean varieties of the northern ecotype and their introduction in the Non-chernozem zone of Russia] // *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2007. No. 1.
8. *Pyl'nev V. V., Khupatsariya* Vol. I. Chastnaya selektsiya polevykh kul'tur [Specific selection of field crops]. KolosS, 2005.
9. *Khayko Bekker.* Seleksiya rasteniy [Selection of plants]. Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK; M., 2015. 425 p.
10. *Shafigullin D.R.* et al. Izucheniye izmenchivosti kolichestvennykh priznakov u ovoshchnykh i zernovykh form soi v usloviyakh Tsentral'noy chasti Nechernozomnoy zony [Study of the variability of quantitative traits in vegetable and grain forms of soybean in conditions of the Central part of the Non-chernozem zone] // *Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury*. 2017. No. 2 (22).
11. *Shafigullin D. R., Pivovarov V.F., Gins M.S.* Osobennosti variatsiy priznakov skorospelosti u ovoshchnykh i zernovykh form soi [Peculiarities of variations in precocity indicators in vegetable and grain forms of soybeans] // *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2017. No. 5. Pp. 18–23.
12. *Shafigullin D.R., Romanova Ye.V., Gins M.S., Pronina Ye.P.* Sopryazhennost' kolichestvennykh priznakov i pokazateley skorospelosti selektsionnykh liniy soi ovoshchnogo i tekhnicheskogo napravleniy [Interrelations bwtween quantitative traits and indicators of precocity of selection lines of soybean for vegetable and technical purposes] // *Agrarnaya Rossiya*. 2017. No. 9.
13. *Shchelko L.* et al. Mezhdunarodnyy klassifikator SEV roda *Glycine* Willd [International Classifier of CMEA of the *Glycine* Willd genus] // L.: VIR. 1990.
14. *Alscher R.G.* // *Physiol. plant*. 1989. Vol. 77. No. 3. Pp. 457–464.
15. *Badani H. et al.* Influence of sowing date on yields of fresh-harvested chickpea // *Journal of Agricultural Science*. 2010. T. 2. No. 4. P. 83.
16. *Board J. E., Harville B. G.* Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean // *Agronomy Journal*. 1996. Vol. 88. No. 4. Pp. 567–572.
17. *Born H.* Edamame: vegetable soybean // National center for appropriate technology (NCAT) a publication of ATTRA-National sustainable agriculture information service. 2006.
18. *Buzzel R.I., Voldeng H.D.* // *Soybean Genetics Newsletter*. 1980. Vol. 7. Pp. 26–29.
19. *Carson L. C. et al.* Cultivar evaluation and lipid and protein contents of Virginia-grown edamame // *HortTechnology*. 2011. Vol. 21. No. 1. Pp. 131–135.
20. *Clawson G.A.* Protease inhibitors and carcinogenesis: a review, *Cancer Invest*. 14 (1996) 597–608.
21. *Dornbos D. L., Mullen R. E.* Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1992. Vol. 69. No. 3. Pp. 228–231
22. *Glanz, K., Basil, M., Maibach, E., Goldberg, J., & Snyder, D.* (1998). Why Americans eat what they do: Taste, nutrition, cost, convenience, and weight control

- concerns as influences on food consumption. *Journal of the American Dietetic Association*, 98, 1118–1126.
23. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability. *Soya Bean Glycine max* (L.) Merrill). UPOV. Geneva. 1998. P. 11.
 24. Hammond E. G., Fehr W. R., Snyder H. E. Improving soybean quality by plant breeding // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1972. Vol. 49. No. 1. Pp. 33–35.
 25. Hou A. et al. Genetic Variability of Seed Sugar Content in Worldwide Soybean Germplasm Collections // *Crop Science*. 2009. Vol. 49. No. 3. Pp. 903–912.
 26. <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC>
 27. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#
 28. Hymowitz T. Anti-nutritional factors in soybean: genetics and breeding // Program and Abstracts: World Soybean Research Conference. III. USA, Ames, Iowa, 1984. Pp. 28.
 29. Hymowitz, T. 1984. Dorsett-Morse soybean collection trip to East Asia: a 50-year perspective. *Economic Botany* 38:378–88.
 30. Johnson, D., Wang, S., & Suzuki, A. (1999). Edamame: A vegetable soybean for Colorado. In J. Janick (Ed.), *Perspectives on new crops and uses* (pp. 385–387). Alexandria: ASHS Press.
 31. Jong JK, Seung HK, Sang JH, Ill MC (2005). Changing soybean isoflavone composition and concentrations under two different storage conditions over three years. *Food Res Int* 38:435–444.
 32. Konovsky J., Lumpkin T. A., McClary D. Edamame: the vegetable soybean // *Understanding the Japanese food and agrimarket: A multifaceted opportunity*. 1994. Vol. 1988. Pp. 173–181.
 33. Krogdahl A., Holm H. Soybean proteinase inhibitors and human proteolytic enzymes: selective inactivation of inhibitors by treatment with human gastric juice // *The Journal of nutrition*. 1981. T. 111. No. 12. Pp. 2045–2051.
 34. Kumar V. et al. Evaluation of vegetable-type soybean for sucrose, taste-related amino acids, and isoflavones contents // *International Journal of food properties*. 2011. Vol. 14. No. 5. Pp. 1142–1151.
 35. Lee Y. E. Characteristics of soybean sprout locally cultivated in the Jeonju region, used for bibimbap and kongnamul-gukbap // *Journal of Ethnic Foods*. 2015. T. 2. No. 2. Pp. 84–89.
 36. Masuda, A. What is the quality of vegetable soybeans? *Soybean Monthly Report* January 1994.
 37. Mentreddy S. R. et al. Edamame: A nutritious vegetable crop. 2002.
 38. Minor W. et al. Crystal structure of soybean lipoxygenase L-1 at 1.4 Å resolution // *Biochemistry*. 1996. Vol. 35. No. 33. Pp. 10687–10701.
 39. Mohamed A. I., Rangappa M. Nutrient composition and anti-nutritional factors in vegetable soybean: II. Oil, fatty acids, sterols, and lipoxygenase activity // *Food chemistry*. 1992. Vol. 44. No. 4. Pp. 277–282.
 40. Mohamed, A., M.S.S. Rao and T. Mebrahtu. 2001. Nutritional and health benefits of vegetable soybean: Beyond protein and oil. Pp. 131–134.
 41. Morse, J.L. and T.E. Carter, Jr. 1952. Soybeans for feed, food and industrial products. P. 41. *Farmer's Bul.* 2038, U.S. Dept. Agr.
 42. Parvez A. Q., Gardner F. P., Boote K. J. Determinate-and indeterminate-type soybean cultivar responses to pattern, density, and planting date // *Crop Science*. 1989. Vol. 29. No. 1. Pp. 150–157.
 43. Saini H. S. Legume seed oligosaccharides // *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds*. Pudoc, Wageningen. 1989. Pp. 329–341.

44. *Shanmugasundaram S., Yan M. R.* 19 Vegetable Soybean //The Soybean: Botany, Production and Uses. 2010. Pp. 427.
45. *Shurtleff W., Aoyagi A.* History of edamame, green vegetable soybeans, and vegetable-type soybeans (1275–2009): Extensively annotated bibliography and sourcebook. – Soyinfo Center, 2009.
46. *Sikka, K.C., A.K. Gupta, R. Singh, and D.P. Gupta.* 1978. Comparative nutritive value, amino acid content, chemical composition, and digestibility in vitro of vegetable- and grain-type soybeans. *J. Agr. Food Chem.* 26:312–316.
47. *Singh G.* (ed.). The soybean: botany, production and uses. CABI, 2010. 494 p.
48. *Singh R. K., Pushpendra K. S., Bhardwaj P. M.* Gene effects for major quantitative traits in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] //Soybean Genetics Newsletter. 2010. Vol. 37. Pp. 1–5.
49. *Stehfest, E., Heistermann, M., Priess, J. A., Ojima, D. S., & Alcamo, J.* Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent //Ecological Modelling. 2007. Vol. 209. No. 2. Pp. 203–219.
50. *Suh S. K. et al.* A new soybean variety for sprout with small seed and high yielding» Pungsan-namulkong» //RDA Journal of Crop Science (Korea Republic). 1997.
51. *Tian Z. et al.* Artificial selection for determinate growth habit in soybean // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2010. Vol. 107. No. 19. Pp. 8563–8568.
52. *Tiana Z., Wang X., Lee R., Lib Y., Spechtd J.E., Nelson R.L., McCleanc P.E., Qiub L., Maa J.* Artificial selection for determinate growth habit in soybean. – PNAS. 2010. Электронный ресурс] URL: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1000088107.
53. *Valdebouze P. et al.* Content and distribution of trypsin inhibitors and hemagglutinins in some legume seeds //Canadian Journal of Plant Science. 1980. Vol. 60. No. 2. Pp. 695–701.
54. *Wszelaki, A.L., J.F. Delwiche, S.D. Walker, R.E. Liggett, S.A. Miller, and M.D. Kleinhenz.* 2005. Consumer liking and descriptive analysis of six varieties of organically grown edamame-type soybean. *Food Qual. Prefer.* 16:651–658.
55. *Xu M. J., Dong J. F., Zhu M. Y.* Effects of germination conditions on ascorbic acid level and yield of soybean sprouts //Journal of the Science of Food and Agriculture. 2005. Vol. 85. No. 6. Pp. 943–947.
56. *Xu Y. et al.* Physical and nutritional properties of edamame seeds as influenced by stage of development // Journal of Food Measurement and Characterization. 2016. Vol. 10. No. 2. Pp. 193–200.
57. *Yalcin S., Basman A.* Effects of infrared treatment on urease, trypsin inhibitor and lipoxigenase activities of soybean samples //Food chemistry. 2015. Vol. 169. Pp. 203–210.
58. *Zhang J, Ge Y, Sun J, Han F, Yu F, Yan S, Yang H* (2012). Identification of QTLs for major isoflavone components among multiple environments in soybean seeds. *Scientia Agricultura Sinica* 45:3909–3920.
59. *Zhang L., Kyei-Boahen S.* Growth and yield of vegetable soybean (edamame) in Mississippi //HortTechnology. 2007. Vol. 17. No. 1. Pp. 26–31.

Шафигуллин Дамир Рамисович – м. н. с. лаборатории интродукции, физиологии, биохимии и биотехнологии функциональных продуктов Федерального научного центра овощеводства (143080, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14; тел.: (495) 594-77-17); асп. агробиотехнологического департамента Российского университета дружбы народов (117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6; тел.: (495) 433-06-00; e-mail: shafigullin89@yandex.ru).

Гинс Мурат Сабирович – д. б. н., член-корр. РАН, зав. лабораторией интродукции, физиологии, биохимии и биотехнологии функциональных продуктов Федерального научного центра овощеводства (143080, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14; тел.: (495) 594-77-17); проф. агробиотехнологического департамента Российского университета дружбы народов (117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6; тел.: (495) 433-06-00; e-mail: anirr@bk.ru).

Пивоваров Виктор Фёдорович – д. с.-х. н., академик РАН, научный руководитель Федерального научного центра овощеводства (143080, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14; тел.: (495) 594-77-17).

Солдатенко Алексей Васильевич – д. с.-х. н., профессор РАН, врио директора Федерального научного центра овощеводства (143080, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14; тел.: (495) 594-77-17).

Damir R. Shafigullin – Junior Research Associate of the Laboratory of Introduction, Physiology and Biochemistry and Biotechnology of Functional Products of Federal Scientific Vegetable Center (143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK settlement, Seleccionnaya Str., 14; phone: +7 (495) 594-77-17); postgraduate student of Agrobiotechnology Department of Peoples' Friendship University of Russia (117198, Russia, Moscow, Miklukho-Maklaya Str. 6; phone: +7 (495) 433-06-00; e-mail: shafigullin89@yandex.ru).

Murat S. Gins – DSc (Bio), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Introduction, Physiology and Biochemistry and Biotechnology of Functional Products of Federal Scientific Vegetable Center (143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK settlement, Seleccionnaya Str., 14; phone: +7 (495) 594-77-17); Professor of the Agrobiotechnology Department of Peoples' Friendship University of Russia (117198, Russia, Moscow, Miklukho-Maklaya Str. 6; phone: +7 (495) 433-06-00; e-mail: anirr@bk.ru).

Viktor F. Pivovarov – DSc (Ag), Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of Federal Scientific Vegetable-Growing Center (143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK settlement, Seleccionnaya Str., 14; phone: +7 (495) 594-77-17).

Aleksei V. Soldatenko – DSc (Ag), Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of Federal Scientific Vegetable-Growing Center (143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK settlement, Seleccionnaya Str., 14; phone: +7 (495) 594-77-17).