

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.853.52: 631.522:575:577.29

DOI: 10.31857/S250026272303002X, EDN: EYNBQM

ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ФОРМ ДИКОЙ И СОРТОВ КУЛЬТУРНОЙ СОИ ВНИИ СОИ И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕТОДОМ МИКРОСАТЕЛЛИТНОГО АНАЛИЗА

С.И. Лаврентьева, кандидат биологических наук,
О.Н. Бондаренко, А.А. Блинова, А.А. Пензин,
Е.М. Фокина, кандидат сельскохозяйственных наук,
Л.Е. Иваченко, доктор биологических наук

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,
675027, Амурская обл., Благовещенск, Игнатьевское ш., 19
E-mail: lana.lavrenteva.1984@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения морфологических и хозяйственно ценных признаков, а также молекулярно-генетического полиморфизма аллелей с использованием микросателлитной ДНК сортов культурной и форм дикой сои для идентификации и паспортизации их генотипов. Методом ПЦР-анализа с использованием шести микросателлитных локусов (Satt1, Satt2, Satt5, Satt9, Sourpr1 и Soyhspl76) получены уникальные профили ДНК исследуемых сортов и форм сои. Выявлены 24 аллеля, число которых на locus варьирует от 2 до 10. Для каждого локуса величина информационного полиморфизма (PIC) составляла от 0,28 до 0,86, средняя – 0,62, эффективное число аллелей – от 1,38 до 6,92, среднее – 3,30. Сорта культурной сои различались между собой на 1...4 локуса. Дендрограмма исследуемых генотипов сои, построенная методом невзвешенного попарно-группового анализа (UPGMA) в программе POPGENE версии 1.32, выявила два крупных кластера. В кластер I вошли культурные сорта сои, в кластер II – формы дикой сои, что указывает на их значительные генетические различия. Наиболее контрастные морфологические различия выявлены для сортов Топаз и Даурия, как по фенотипу (окраске и интенсивности опушения, цвету, форме семян и рубчика), так и по всем хозяйственно ценным признакам (продолжительность периода вегетации – 95 и 112 суток; урожайность – 26,8 и 30,9 ц/га, высота растений – 64 и 81 см; высота прикрепления нижнего боба – 13 и 16 см, масса 1000 семян – 174,7 и 185,4 г; содержание белка – 40,3 и 38,2 %; содержание масла – 19,2 и 19,8 % соответственно). По результатам исследования впервые составлены молекулярно-генетические паспорта 9 сортов культурной сои селекции Всероссийского научно-исследовательского института сои для идентификации их генотипов.

CHARACTERISTICS OF MORPHOLOGICAL AND ECONOMICALLY VALUABLE FEATURES OF WILD AND CULTIVATED SOYBEAN FORMS AND VARIETIES OF THE SOYBEAN RESEARCH INSTITUTE AND THEIR IDENTIFICATION BY MICROSATELLITE ANALYSIS

S.I. Lavrent'eva, O.N. Bondarenko, A.A. Blinova, A.A. Penzin, E.M. Fokina, L.E. Ivachenko

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean,
675027, Amurskaya obl., Blagoveshchensk, Ignat'evskoe sh., 19
E-mail: lana.lavrenteva.1984@mail.ru

The research was carried out in order to study morphological, economically valuable traits and molecular genetic polymorphism of alleles using microsatellite DNA of 9 varieties of cultivated and 5 forms of wild soybeans of the All-Russian Soybean Research Institute for Identification and certification of their genotypes. Unique DNA profiles of the studied soybean varieties and forms were obtained by PCR analysis using six microsatellite loci (Satt1, Satt2, Satt5, Satt9, Sourgr1 and Soyhspl76). 24 alleles were identified, the number of which per locus ranges from 2 to 10. For each locus, the value of information polymorphism (PIC) varied from 0.28 to 0.86, the average was 0.62, the effective number of alleles ranged from 1.38 to 6.92, the average was 3.30. It should be noted that the varieties of cultivated soybeans had differences between themselves from 1 to 4 loci. The dendrogram of the studied soybean genotypes, constructed by the method of unweighted pairwise-group analysis (UPGMA) in the POPGENE program VERSION 1.32, revealed two large clusters. Cluster I includes cultivated soybean varieties, cluster II includes wild soybean forms, which indicates their significant genetic differences. It is shown that the most contrasting morphological differences were revealed for Topaz and Dauria varieties, both by phenotype (coloration and intensity of pubescence, color, shape of seeds and hem), and by all economically valuable signs (vegetation period – 95 and 112 days; yield – 26.8 and 30.9 c/ha, plant height – 64 and 81 cm; the height of attachment of the lower bean – 13 and 16 cm, the weight of 1000 seeds – 174.7 and 185.4; protein content – 40.3 and 38.2 %; oil content – 19.2 and 19.8 %, respectively). For the first time, molecular genetic passports of 9 varieties of cultivated soybeans of the Soybean Research Institute for the certification of their genotypes have been compiled.

Ключевые слова: *Glycine max*, *Glycine soja*, SSR-анализ, ДНК-маркеры, микросателлитные локусы, молекулярно-генетическая паспортизация.

Key words: *Glycine max*, *Glycine soja*, SSR-analysis, DNA-markers, microsatellite locus, molecular genetic certification.

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – одна из основных мировых сельскохозяйственных культур. Амурская область входит в топ Российских регионов по ее выращиванию. В ФГБНУ ФНИЦ Всероссийский научно-исследовательский институт сои (ВНИИ сои) основой создания подавляющего большинства сортов служит синтетическая селекция, главным методом которой выступает гибридизация. В скрещиваниях используют дику сою (*Glycine soja* Siebold & Zucc), сорта миро-

вой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР), мутантные линии, местные сорта и образцы, адаптированные к почвенно-климатическим условиям региона. Отбор в гибридных популяциях проводят методом «педигри» с прослеживанием родословной по потомству [1]. Незначительная часть сортов создана путем аналитической селекции – обычным отбором отклоняющихся форм из сортовых популяций. За более чем 90-летний период

в институте создано более 100 сортов сои, из которых 58 были районированы и нашли широкое распространение, как в Амурской области, так и за ее пределами. На сегодняшний день в Государственный реестр селекционных достижений занесено 34 сорта селекции ВНИИ сои, разрешенных для использования по Дальневосточному региону, на которые поддерживают патенты, 4 сорта проходят Государственное сортоиспытание.

Сорта, созданные во ВНИИ сои, отличаются значительным разнообразием по морфологическим и хозяйственно ценным признакам, относятся к различным группам спелости с продолжительностью периода вегетации от 87 до 125 суток и урожайностью от 24 до 42 ц/га [2].

Отдаленная гибридизация – одно из эффективных направлений использования родового потенциала растений. Необходимость широкого применения методов межвидовой гибридизации в селекции обусловлена тем, что существует определённый верхний предел генетического разнообразия, который может быть заключен в генофонде одного вида [1]. Вовлечение в селекцию дикорастущих форм позволяет широко использовать потенциальные возможности культуры, посредством объединения в одном генотипе ценных с хозяйственной точки зрения признаков разных видов и родов [3]. Поэтому необходимо изучение разных видов сои, чтобы понимать насколько различны в генетическом плане имеющиеся сорта и какие из них следует использовать в последующих скрещиваниях для создания нового селекционного материала, с учетом генетической дивергенции сои, а также разработки на этой основе системы маркеров для идентификации и паспортизации генотипов [4].

Дальневосточный регион РФ – уникальный природный банк, где сосредоточены многочисленные формы дикорастущей сои, которые целесообразно изучать и использовать в селекционном процессе в качестве исходного материала с целью повышения адаптивного потенциала культуры и увеличения диапазона изменчивости в гибридных популяциях соевого агроценоза [5].

Дикая уссурийская соя относится к числу недостаточно исследованных видов. Исходные формы всех возделываемых сортов сои происходят из Юго-Восточной Азии. Первичным генцентром дикой уссурийской сои *G. soja* считают Северный Китай, остров Тайвань, полуостров Корея и Дальний Восток России с северным ареалом в Амурской области [6].

Для оценки хозяйственно ценных признаков и идентификации сортов сои используют морфометрические, физиологические и биохимические методы, которыми фиксируют до 40...50 качественных и количественных признаков. ДНК-маркеры применяют для оценки исходного селекционного материала многих культур – картофеля, пшеницы и др. [7, 8, 9]. Для установления генетических особенностей сортов сои хорошо подходят уникальные профили ДНК, полученные с использованием микросателлитов [10]. Микросателлитные последовательности есть во всех организмах, включая растения, они

Табл. 1. Сумма активных температур и количество осадков по периодам вегетации (2020–2022 гг.)

Год	Сумма активных температур, °С	Количество осадков за период, мм
2020	2597	614
2021	2607	509
2022	2501	399
Среднегодовое значение	2471	441

распределены по всему геному, расположены в основном в некодирующих областях и, следовательно, мало подвержены действию естественного отбора [11]. Такой метод анализа применяют для сертификации и паспортизации сортов сои в крупнейших странах – экспортерах этой культуры. Считают, что для их различения достаточно 4...6 правильно подобранных микросателлитных маркеров [10]. Высокий уровень полиморфизма аллелей в SSR-локусах, достаточный для идентификации сортов сои, отмечали многие исследователи [12, 13, 14]. При этом уникальность микросателлитных ДНК сортов сои амурской селекции изучена мало.

Цель исследований – оценить морфологические и хозяйственно ценные признаки, а также молекулярно-генетический полиморфизм аллелей с использованием микросателлитной ДНК сортов культурной и форм дикой сои для идентификации и паспортизации их генотипов.

Методика. Объектом исследования служили 9 сортов селекции ВНИИ сои разного происхождения и различных групп спелости – Кружевница, Сентябринка, Веретейка, Лидия, Умка, Даурия, Золушка, Лазурная, Топаз и 5 коллекционных форм дикой сои генофонда ВНИИ сои, отобранных в 80-х гг. XX в. в 3 районах Амурской области – КА-1413, КА-342 (Архаринский район), КБел-72, (Белогорский район), КБл-29, КБл-24 (Благовещенский район). Каждая форма дикой сои – однородная линия, которую определяли по ежегодной морфологической оценке при пересеве потомства одного растения.

Во ВНИИ сои ежегодно проводят пересев всех сортов, включённых в Госреестр в течение последних 20 лет в соответствии с технологией, разработанной для южной сельскохозяйственной зоны Амурской области на участках полевого севооборота лаборатории селекции и первичного семеноводства (с. Садовое, Тамбовского района) на типичной луговой черноземовидной среднесуглинистой почве, со среднекислой реакцией почвенной среды ($\text{pH}_{\text{КС}}$ 4,9...5,1), содержанием гумуса – 3,5...3,9 % (по Тюрину), минерального азота – 20,2...24,5 мг/кг почвы, подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – 75...98 мг/кг почвы и 165...197 мг/кг почвы соответственно (по Кирсанову).

В годы проведения исследований метеосостояние существенно различалось по влагообеспеченности, температурному режиму и гидротермическому коэффициенту (ГТК) в период вегетации сои (табл. 1, рис. 1), что позволило провести объективную оценку изучаемого



Рис. 1. Гидротермический коэффициент по периодам вегетации сои (2020–2022 гг.).

материала. Самым влажным (+173 мм осадков к норме) был 2020 г. Недобор осадков в период вегетации культуры (–42 мм) отмечали в 2022 г. Сумма активных температур во все года превышала среднееголетнее значение на 30...136 °С.

Сорта сои высеивали в питомнике конкурсного сортоиспытания сеялкой СН-16 на делянках 45 м² в соответствии с установленной нормой высева всхожих семян: для скороспелых сортов – 55...65 шт./м², среднеспелых – 45...50 шт./м². В течение вегетации проводили фенологические наблюдения и оценки по всходам, цветению, созреванию. Формы дикой сои высеивали вручную в коллекционном питомнике, семена перед посевом скарифицировали препаративной иглой, площадь питания одного растения 90 × 100 см. Все сорта и формы дикой сои анализировали по морфологическим и хозяйственно ценным признакам.

Для составления молекулярно-генетических формул и установления степени генетического родства использовали семена, отобранные из нескольких растений каждого сорта. Во время уборки урожая с делянки конкретного сорта отбирали по десять семян, которые проращивали согласно ГОСТ 12044-93 в рулонах фильтровальной бумаги в течение 7-и суток при температуре 25 °С и хранили при температуре –18 °С до проведения исследований.

Выделение и очистку ДНК из проростков сои осуществляли с использованием набора реагентов ООО Синтол (Россия). Концентрацию ДНК определяли на флуориметре MAXLIFE и разбавляли до 100 нг/мкл.

Для амплификации выделенной ДНК в исследовании использовали 6 пар SSR-праймеров, предложенных ранее в качестве маркерной системы для идентификации и паспортизации сортов культурной сои [7]. При этом для 5 пар праймеров температура отжига была увеличена на 3...8 °С, а для праймера *Satt1* ее не меняли. ПЦР проводили в 3-х кратной повторности. Амплификацию выделенных фрагментов ДНК сои на амплификаторе CFX96 (Real-time) (Bio-Rad laboratories Inc., США) осуществляли в 50 мкл готовой реакционной смеси расширенного набора для проведения ПЦР с HS-Taq (ООО «Биолабмикс»). Продукты реакции разделяли методом электрофореза в 2 %-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Визуализацию осуществляли с использованием гель-документирующей системы GelDoc EZ (Bio-Rad laboratories Inc., США).

Идентификацию и определение размеров аллелей микросателлитных локусов проводили с использованием

программы Image Lab Version 6.0.1 4 Standard Edition. Для маркирования молекулярной массы использовали готовый набор ДНК (DNA Ladder, 100+bp). Выявленные по каждому локусу аллели обозначали цифрами через запятую: аллель с максимальной молекулярной массой обозначали цифрой 1, далее по мере ее уменьшения – цифрами 2, 3, 4. Величину информационного полиморфизма (polymorphic information content – PIC) и эффективное число аллелей (n_e) вычисляли по следующим формулам:

$$PIC_i = 1 - \sum_{j=1}^n P_{ij}^2, \quad n_e = 1 / \sum_{j=1}^n P_{ij}^2,$$

где – P частота j паттерна для локуса i , суммирование распространяется на n паттернов [10].

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакета программы POPGENE версии 1.32. Индекс генетических различий (index of genetic differences – DN) исследуемых форм дикой и сортов культурной сои рассчитывали на основании бинарной матрицы, в которой отмечали присутствие/отсутствие аллелей – соответственно 1/0. Для визуализации обнаруженных генетических различий была построена дендрограмма методом невзвешенного попарно-группового анализа (unweighted pairwise-group method analysis – UPGMA).

Результаты и обсуждение. Из исследуемых 9 сортов сои 6 созданы в путем синтетической селекции (5 методом внутривидовой искусственной гибридизации – Кружевница, Сентябринка, Веретейка, Лидия, Золушка, 1 методом межвидовой естественной гибридизации – Умка) и 3 путем аналитической селекции – Лазурная, Даурия, Топаз [1, 2, 15].

Наиболее схожими между собой по большинству морфологических признаков (форма листа, окраска венчика цветка, опушение, цвет и форма семян и рубчика) были сорта Лазурная, Даурия и Умка, которые относятся к одной группе спелости и характеризуются сходными хозяйственно ценными признаками. Самые контрастные морфологические различия, как по фенотипу (окраске и интенсивности опушения, цвету, форме семян и рубчика), так и по всем количественным признакам (периоду вегетации, высоте растений и прикреплению нижнего боба, массе 1000 семян, содержанию масла и белка в семенах и др.) отмечены между сортами Топаз и Даурия.

При оценке 5 форм дикой сои различия по морфологическим признакам не отмечено, однако выявлены существенные различия по большинству хозяйственно

Табл. 2. Характеристика сортов сои селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и форм дикой сои по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2020–2022 гг.)

Сорт/форма	Продолжительность периода вегетации, сут.	Урожайность, ц/га	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Масса 1000 семян, г	Содержание в семенах, %	
						белка	масла
Топаз	95	26,8	64	13	174,7	40,3	19,2
Сентябринка	100	31,8	70	15	153,2	41,2	18,5
Веретейка	104	27,2	84	17	135,1	39,2	18,0
Лидия	104	30,6	71	15	155,9	39,4	19,9
Кружевница	106	30,3	74	13	136,4	40,2	18,8
Даурия	112	30,9	81	16	185,4	38,2	19,8
Лазурная	113	31,0	82	16	176,2	38,4	19,7
Умка	113	29,7	81	15	184,7	37,5	19,9
Золушка	119	35,5	83	18	188,6	41,0	18,5
НСР ₀₅	5,3	2,1	6,5	3,0	7,4	3,4	2,2
КБл-24*	101	29,5	122	4	22	46,9	11,9
КБл-29*	103	65,9	156	5	28	47,5	11,4
КБел-72*	103	41,7	117	4	21	48,0	11,4
КА-342*	102	48,6	126	5	32	46,6	10,9
КА-1413*	100	50,0	130	5	29	48,8	10,8
НСР ₀₅	3,1	7,7	12,3	0,9	1,1	1,2	0,8

*форма дикой сои.

Табл. 3. Характеристика исследованных микросателлитных локусов

Локус	Молекулярная масса, п.н.	Наблюдаемое число аллелей (n_a)	Эффективное число аллелей (n_e)	Величина информационного полиморфизма (PIC)
<i>Satt1</i>	125...154	4,00	3,17	0,68
<i>Satt2</i>	154...176	2,00	2,94	0,66
<i>Satt5</i>	136...175	4,00	3,17	0,68
<i>Satt9</i>	120...212	10,00	6,92	0,86
<i>Soyprp1</i>	178...198	2,00	2,26	0,56
<i>Soyhsp176</i>	115...126	2,00	1,38	0,28
Среднее	-	4,00	3,30	0,62

ценных признаков. Особенно следует отметить различия у образцов с одинаковым происхождением КБл-24 и КБл-29, выделенных из естественных популяций сои Благовещенского района Амурской области. Величины всех исследуемых хозяйственно ценных признаков у формы КБл-24 были выше, чем у КБл-29: высота растения – на 28 %, высота прикрепления нижнего боба – на 25 %, масса 1000 семян – на 27 % (табл. 2). Отмечена обратная зависимость между содержанием белка и масла в семенах, как культурной, так и дикой сои, что согласуется с литературными данными [16]. Наибольшее содержание белка и наименьшее масла отмечено у сортов Сентябринка, Золушка и формы дикой сои КА-1413. В среднем по выборкам дикая соя обладает большей белковостью (на 8,1 %) и меньшей масличностью (на 7,9 %), чем культурная. Максимальная в опыте масличность семян (19,9 %) отмечена у сортов Лидия, Умка и формы дикой сои КБл-24.

Результаты амплификации ДНК исследуемых образцов сои показали, что шесть используемых SSR-локусов полиморфны, и выявили 24 аллеля. Число аллелей на локус варьировало от 2 до 10: у локусов *Satt2*, *Soyprp1*, *Soyhsp176* – по два аллеля, *Satt1*, *Satt5* – по четыре аллеля, *Satt9* – 10 аллелей (табл. 3). Среднее число аллелей на локус было равно 4,00. Один из показателей, характеризующих информативность локуса, – эффективное число аллелей (n_e). Для исследуемых образцов оно варьировало от 1,38 до 6,92. Среднее эффективное число аллелей на локус составило 3,30.

Другой важный показатель информативности микросателлитных локусов – величина информационного полиморфизма PIC. Она приближается к 1, если локус имеет много аллелей с приблизительно равной частотой встречаемости и равен 0, если локус мономорфный. В нашем исследовании PIC для изученных шести SSR-локусов варьировал от 0,28 для *Soyhsp176* до 0,86 для *Satt9*. Локусы *Satt5* и *Satt1* оказались полиморфными, как в группе форм дикой сои, так и у культурных сортов. Заметим, что сорта культурной сои и ее дикие формы различались между собой длиной локусов *Satt2* (B_{154} и B_{176}) и *Soyhsp176* (F_{115} и F_{126}). В целом значения PIC исследованных локусов достаточны для использования их в целях идентифи-

кации и паспортизации сортов сои. Средняя величина информационного полиморфизма для изученной группы сортов составила 0,62.

На основании выявленного набора аллелей микросателлитных локусов для каждого сорта были составлены молекулярно-генетические паспорта или так называемые «генетические формулы генотипов» (табл. 4). Несмотря на достаточный дискриминационный потенциал, предложенной маркерной системы были получены идентичные наборы аллелей для генотипов форм дикой сои КА-1413, КБл-24 и КБл-29 ($A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}E_{178}F_{126}$), что требует дальнейших исследований для выявления уникальных локусов (см. табл. 4). Для остальных образцов зафиксированы уникальные наборы аллелей, различия наблюдали по одному и более локусам. Следует отметить локус *Satt9*, для которого в исследуемых сортах культурной сои выявлены различные аллели (D_{206} , D_{200} , D_{212} , D_{186} , D_{159} , D_{168} , D_{176} , D_{154} , D_{138}), а для дикой сои – только один (D_{120}).

Анализ дендрограммы, построенной по результатам исследований, позволил выделить в выборке исследованных генотипов сои два основных кластера (рис. 2). В кластер I вошли культурные сорта селекции ФНЦ ВНИИ сои, в кластер II – формы дикой сои. Это согласуется с тем, что сорт Умка был создан путем межвидовой естественной гибридизации и наиболее родственным для него был образец дикой сои [15]. Наряду с различными генетическими формулами и выявленными различиями в морфологических, биометрических и биохимических показателях (см. табл. 1), у сортов Лазурная (пор 8) и Топаз (пор 9), выведенных путем аналитической селекции, отмечена наибольшая генетическая идентичность среди образцов культурной сои. Самым отличающимся оказался сорт сои Золушка, который на дендрограмме отстоит дальше всех от остальных сортов в кластере I. В состав второго кластера вошли пять форм дикой сои. При этом различить три дикорастущих генотипа КБл-24 (пор 10), КБл-29 (пор 11) и КА-1413 (пор 14) не удалось (генетическая идентичность (GI) = 1,000, генетическое расстояние (GD) = 0,0000).

Как правило, фенотип – это отражение генотипа и морфологически сходные растительные организмы, имеют одинаковую генетическую основу, однако в наших исследованиях такая зависимость наблюдалась не всегда. Например, сорта Лазурная, Даурия и Умка были сходными между собой (визуально не различимыми) по подавляющему большинству морфологических признаков (форма листа, окраска венчика цветка, опушение, цвет и форма семян и рубчика). Эти же сорта относятся к одной группе спелости и имеют близкие хозяйственно ценные признаки (урожайность – 29,7...31,0 ц/га; высота растения – 81...82 см; высота прикрепления нижнего боба – 15...16 см; масса 1000 семян – 176,2...185,4 г; белок – 37,5...38,4 %; масло – 19,7...19,9 %). Однако в процессе изучения микросателлитных локусов установлено,

Табл. 4. Полиморфизм микросателлитных локусов ДНК и формулы сортов селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и форм дикой сои

Сорт	Формула*	Форма	Формула*
Кружевница	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{206}E_{196}F_{115}$	КБл-24	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}E_{178}F_{126}$
Сентябринка	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{200}E_{178}F_{115}$	КБл-29	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}E_{178}F_{126}$
Верейка	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{212}E_{196}F_{115}$	КБел-72	$A_{145}B_{176}C_{160}D_{120}E_{178}F_{126}$
Лидия	$A_{137}B_{154}C_{150}D_{186}E_{196}F_{115}$	КА-342	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}E_{178}F_{126}$
Умка	$A_{137}B_{154}C_{136}D_{158}E_{196}F_{115}$	КА-1413	$A_{145}B_{176}C_{175}D_{120}E_{178}F_{126}$
Даурия	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{168}E_{196}F_{115}$		
Золушка	$A_{154}B_{154}C_{160}D_{176}E_{178}F_{115}$		
Лазурная	$A_{145}B_{154}C_{150}D_{154}E_{178}F_{115}$		
Топаз	$A_{145}B_{154}C_{136}D_{138}E_{178}F_{115}$		

*код локуса A – *Satt1*; B – *Satt2*; C – *Satt5*; D – *Satt9*; E – *Soyprp1*; F – *Soyhsp176*.

**нижний индекс – аллельное состояние данного локуса (п.н.).

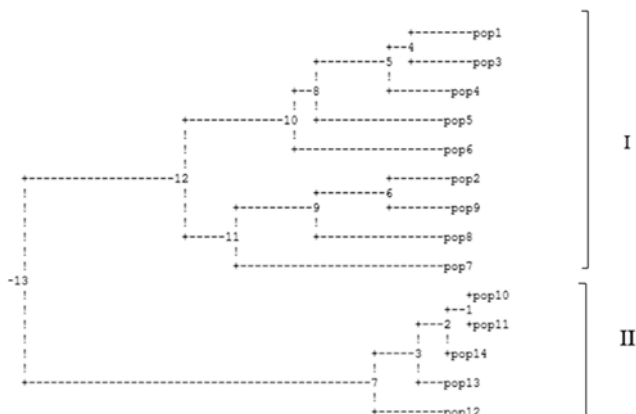


Рис. 2. Дендрограмма генотипов сои:
 сор 1 – Кружевница, сор 2 – Сентябрька,
 сор 3 – Веретейка, сор 4 – Лидия, сор 5 – Умка,
 сор 6 – Даурия, сор 7 – Золушка, сор 8 – Лазурная,
 сор 9 – Топаз, сор 10 – КБл-24, сор 11 – КБл-29,
 сор 12 – КБл72, сор 13 – КА-342, сор 14 – КА-1413
 (фигурными скобками обозначены два выявленных
 кластера генотипов (I и II); цифрами 1...13 – подкластеры).

что «генетические формулы генотипов» у них различны. Отличия для этих сортов выявлены по четырем локусам (*Satt1*, *Satt5*, *Satt9*, *Soyrpr1*).

Выводы. Наиболее контрастные морфологические различия выявлены для сортов Топаз и Даурия, как по фенотипу (окраске и интенсивности опушения, цвету, форме семян и рубчика), так и по всем хозяйственно ценным признакам (периоду вегетации – 95 и 112 суток; урожайность – 26,8 и 30,9 ц/га; высота растений – 64 и 81 см; высоте прикрепления нижнего боба – 13 и 16 см; масса 1000 семян – 174,7 и 185,4 г; содержание белка – 40,3 и 38,2 %; содержание масла – 19,2 и 19,8 % соответственно). Выявлено 24 аллеля по 6 микросателлитным локусам. Значительное сходство по исследуемым локусам установлено среди форм дикой сои, которые на дендрограмме выделены в отдельный кластер. Сорта культурной сои имели отличия между собой от 1 до 4 локусов.

Таким образом, для всех исследованных сортов культурной и большинства форм дикой сои выявлены уникальные наборы аллелей, различия наблюдали по одному и более локусам. Для каждого генотипа на основании полученного набора аллелей микросателлитных локусов составлены молекулярно-генетические формулы. Дискриминационный потенциал изученной маркерной системы достаточно высок для того, чтобы использовать ее в дальнейших исследованиях для идентификации и паспортизации сортов культурной и форм дикой сои.

Литература.

1. Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Разанцев Д. Р. Использование зародышевой плазмы нетипичных форм сои в селекции // *Достижение науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 8. С. 39–44. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10801.
2. Каталог сортов сои / Е. М. Фокина, Г. Н. Беляева, М. О. Синеговский и др. / под общей ред. В. Т. Синеговской Благовещенск: ООО ИПК ОДЕОН, 2021. 69 с.
3. Минькач Т. В., Селихова О. А. Селекционно-генетический анализ межвидовых гибридов сои первого поколения // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 8(178). С. 48–54.
4. Глазко В. И., Косовский Г. Ю., Глазко Т. Т. Геномные источники разнообразия как драйверы доместикации (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57. № 5. С. 832–851. doi: 10.15389/agrobiology.2022.5.832rus.
5. Ала А. Я., Тильба В. А. Генетические методы селекции *G. max* [L.] Merr. x *G. soja*. Благовещенск: ПКН «Зоя», 2005. 128 с.
6. Korean Wild Soybeans (*Glycine soja* Sieb & Zucc.): Geographic Distribution and Germplasm Conservation / M. A. Nawaz, X. Lin, T. Chan, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 2. Article 214. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/214> (дата обращения: 01.02.2022). doi: 10.3390/agronomy10020214.
7. Применение ДНК-маркеров для оценки исходного селекционного материала картофеля / Е. П. Шанина, Л. Б. Сергеева, М. А. Стафеева и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 12. С. 47–49. doi: 10.24411/0235-2451-2018-11213.
8. Лагуновская Е. В. Идентификация микросателлитных локусов, ассоциированных с эмбрионным потенциалом у генотипов пшеницы в культуре пыльников *in vitro* // *Молекулярная и прикладная генетика*. 2021. Т. 31. С. 102–113. doi: 10.47612/1999-9127-2021-31-102-113.
9. SSR-анализ геномной ДНК перспективных сортов мягкой озимой пшеницы узбекистанской селекции / А. Т. Адылова, Ж. К. Норбеков, Э. Э. Хуриут и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 6. С. 634–639. doi: 10.18699/VJ18.404.
10. Рамазанова С. А., Коломыцева А. С. Оптимизация технологии генотипирования сои на основе анализа полиморфизма SSR-локусов ДНК // *Масличные культуры*. 2020. Вып. 1 (181). С. 42–48. doi: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-42-48.
11. Изучение генетического полиморфизма российских сортов рапса и сурепицы с использованием SSR-и SRAP-маркеров / И. А. Клименко, В. Т. Воловик, А. А. Антонов и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022. Т. 26 (4). С. 349–358. doi: 10.18699/VJGB-22-42.
12. Изучение генетического разнообразия мировой коллекции сои с использованием микросателлитных маркеров, связанных с устойчивостью к грибным болезням / А. К. Затыбеков, Е. К. Туруспекоев, Б. Н. Досжанова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181(3). С. 81–90. doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-81-90.
13. Молекулярно-генетические механизмы, лежащие в основе продвижения ареала возделывания сои к северу / Я. В. Федорина, Е. К. Хлесткина, И. В. Сефорова и др. // *Экологическая генетика*. 2022. Т. 20. № 1. С. 13–30. doi: 10.17816/ecogen83879.
14. Genetic diversity and population structure of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as revealed by microsatellite markers / S. Tiwari, N. Tripathi, K. Tsuji, et al. // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019. Vol. 25. No. 4. P. 953–964. doi: 10.1007/s12298-019-00682-4.
15. Ала А. Я. Способ получения межвидовых гибридов сои. 1987. Авторское свидетельство РФ № 1307626.
16. Влияние погодных-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе / Л. Ю. Новикова, И. В. Сефорова, А. Ю. Некрасов и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. 22 (6). С. 708–715. doi: 10.18699/VJ18.414.

Поступила в редакцию 06.03.2023

После доработки 21.04.2023

Принята к публикации 11.05.2023