

Биологические особенности и возделывание арахиса (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119-127



УДК 635.659:633.52

Поступление/Received: 30.12.2019

Принято/Accepted: 11.03.2020

**Н. В. КИШЛЯН¹, В. Д. БЕМОВА¹, Т. В. МАТВЕЕВА²,
В. А. ГАВРИЛОВА¹**

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ v.gavrilova@vir.nw.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет,
199034 Россия, г. Санкт-Петербург,
Университетская наб., 7–9
✉ radishlet@gmail.com

Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review)

**N. V. KISHLYAN¹, V. D. BEMOVA¹, T. V. MATVEEVA²,
V. A. GAVRILOVA¹**

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ v.gavrilova@vir.nw.ru

² St. Petersburg State University,
7–9 Universitetskaya Emb.,
St. Petersburg 199034, Russia
✉ radishlet@gmail.com

Арахис – важная сельскохозяйственная культура сем. Fabaceae Lindl., или Leguminosae L. (Бобовые). Родиной арахиса считают Южную Америку; сейчас эту культуру возделывают в Америке, Африке, Австралии, Европе и Азии. Современная система рода *Arachis* L. включает 79 диких видов и один культурный вид: арахис обыкновенный – *A. hypogaea* L. Диплоидные виды с числом хромосом $2n = 20$ имеют геномы А, В или D, тетраплоиды – А и В. Геномы А и В секвенированы. Биологическая особенность всех видов арахиса – наличие хазмогамных и клейстогамных цветков и развитие бобов только в земле (геокарпия). Семена арахиса используют как непосредственно в пищу, так и для производства высококачественного масла, кондитерских изделий, в хлебопекарной, консервной, масложировой и других отраслях пищевой промышленности. Наряду с высокими требованиями к улучшению качества масла и пищевых продуктов, большое внимание уделяется их безопасности: устойчивости к загрязнению афлатоксинами и снижению аллергенности. Описаны сортоотипы арахиса, различающиеся по габитусу растения, форме и окраске бобов и семян. Продолжительность вегетационного периода в странах Африки, Латинской Америки и Азии – 160–200 дней, для юга РФ актуален отбор раннеспелых форм. Селекционерами ВНИИ масличных культур были созданы сорта арахиса для Краснодарского края с урожайностью 2,7–3,3 т/га и длиной вегетационного периода 115–120 дней. В настоящее время в РФ нет промышленных посевов арахиса и селекция не ведется. В мире наряду с традиционными методами селекции (индивидуальный отбор и внутри- и межвидовые скрещивания) в настоящее время арахис широко вовлечен в геномные исследования, получены сорта высокоустойчивые к вредителям и болезням, засухе. Свыше 15 тыс. образцов арахиса сосредоточено в генных банках мира, в том числе 1823 образца – в коллекции ВИР. Использование мировых генетических ресурсов арахиса и современных методов исследования будет способствовать возделыванию культуры в России.

Ключевые слова: генетические ресурсы, дикие виды, сортоотипы, зоны возделывания, направления селекции, урожайность, раннеспелость, устойчивость к болезням и вредителям.

Peanut is one of the most important crops in the Fabaceae Lindl. (Leguminosae L.) family. South America is considered to be the homeland of peanut, but now this crop is cultivated in America, Africa, Australia, Europe and Asia. The modern phylogenetic system of the genus *Arachis* L. includes 79 wild species and one cultivated species of common peanut (*A. hypogaea* L.). Diploid species contain $2n = 20$ chromosomes of the A, B or D genome, tetraploids have A and B genomes. The A and B genomes are sequenced. Special biological features of all peanut varieties are the presence of chasmogamous and cleistogamous flowers and the development of pods only underground (geocarpy). Along with high requirements for improving the quality of oil and food products, much attention is paid to their safety: resistance to aflatoxin contamination and mitigation of allergenicity. Peanut cultivars vary in plant habit, shape and color of pods and seeds. Their growing season in Africa, Latin America and Asia is from 160 to 200 days, so early-ripening forms need to be selected for the south of the Russian Federation. Breeders from the Pustovoit Institute of Oil Crops (VNIIMK) have developed peanut cultivars with a yield of 2.0–3.3 t/ha and growing season duration of 115–120 days, adaptable to the environments of Krasnodar Territory. At present, there is no large-scale peanut production in Russia, nor any breeding efforts are underway. As for the world, along with conventional breeding practices (individual selection, intra- and interspecies crosses, etc.), peanut is widely involved in genomic studies. A number of cultivars highly resistant to pests, diseases and drought have been released. Over 15,000 peanut accessions are preserved in the world's gene banks, including 1823 accessions in the collection of the Vavilov Institute (VIR). Utilization of the worldwide genetic resources of peanut and use of modern research technologies will contribute to the revival of peanut cultivation in Russia.

Key words: genetic resources, wild species, cultivar types, cultivation zones, breeding trends, yield, earliness, disease and pest resistance.

Введение

Арахис – один из важных источников мирового производства растительного белка и масла, предназначенных главным образом для продуктов питания. Значительную часть семян арахиса используют непосредственно в пищу без переработки. Масло из семян арахиса полувсыхающее, составляет 44–56% от массы сухих семян. Больше всего арахисовое масло потребляется масложировой, консервной и кондитерской промышленностью. Худшие сорта масла используют для мыловарения. По содержанию белка (22–30%) арахис уступает только сое. Из арахисового жмыха, остающегося после отжима масла, делают халву. В последние годы в некоторых странах из арахисового жмыха и муки стали выделять белки в чистом виде, получать так называемые белковые изоляты. Их используют для производства искусственного молока и мороженого, а также как продукты питания в развивающихся странах. Жмых арахиса или размолотые семена добавляют в разные сорта шоколада, конфеты, торты. Жмых арахиса является концентрированным кормом для домашнего скота. Благодаря азотфиксирующим клубенькам на корнях арахис обогащает почву усвояемым азотом и является ценным предшественником для многих культур.

В настоящее время в России нет промышленных посевов арахиса. Россия входит в число крупнейших стран – покупателей арахиса (Tuz et al., 2018). В то же время ряд зон юга РФ соответствует требованиям к возделыванию арахиса (Северный Кавказ, Южное Поволжье) (Vakhrusheva, 1998). Существует современный опыт выращивания арахиса в фермерских хозяйствах (Tuz et al., 2018) и, следовательно, возможность промышленного его возделывания (Северный Кавказ, Южное Поволжье).

Систематика, морфология и биологические особенности арахиса

Систематика рода *Arachis* L. (семейство Fabaceae Lindl., или Leguminosae L.) претерпевала изменения. К середине XX века было описано 30 видов арахиса (по Krapovickas, 1969), обитающих в Южной Америке (Zhukovsky, 1971). Ранние классификации основывались на особенностях роста, ветвления и положения ветвей. Позднее на основе морфологических, цитологических характеристик и данных гибридизации в роде *Arachis* описали 69 видов (Krapovickas, Gregory, 1994; Jung et al., 2003). В настоящее время систематики выделяют в пределах рода *Arachis* 79 диких видов и один культурный вид: арахис обыкновенный – *A. hypogaea* L. (Valls, Simpson, 2005; Bertoli et al., 2011). Дикие виды представлены как однолетними, так и многолетними формами. *A. hypogaea* является аллотетраплоидной формой (AABB, $2n = 4x = 40$), состоящей из геномов А и В (Husted, 1933; Strebbs, 1957), с вероятным происхождением путем амфидиплоидизации гибрида АВ (Singh, 1988; Singh, Moss, 1984). В настоящее время геном *A. hypogaea* и его родственные диплоидные геномы диких видов *A. duranensis* Krapov. et W.C. Gregory и *A. ipaensis* Krapov. et W.C. Gregory секвенированы (Chen et al., 2019). Размер генома А у *A. duranensis* (образец V14167), по данным одних авторов, составляет 1.1 Gb (Bertoli et al., 2011), по данным других (Chen et al., 2016) – 1,07 Gb (образец P1475845). Размер генома В

A. ipaensis (образец K30076) – 1.38 Gb (Bertoli et al., 2011).

Выявленное сходство геномов А (*A. duranensis*) и В (*A. ipaensis*) с подгеномами аллотетраплоида *A. hypogaea* позволило заключить, что геномы именно этих диплоидных видов лежат в основе аллотетраплоидной формы. Все дикие виды диплоидные, за исключением *A. monticola* Krapov. et Rigoni, который, как и культивируемый арахис, является аллотетраплоидом. По данным цитологических исследований установлено три генома (А, В и D). Большинство диплоидных видов арахиса имеют геномом А (Stalker, 1991). Дикие диплоидные виды *A. cardenasii* Krapov. et W.C. Gregory (Singh, Moss, 1982; Smartt et al., 1978), *A. duranensis* (Kochert et al., 1991; Paik-Ro et al., 1992; Singh, Moss, 1984), *A. correntina* (Burkart) Krapov. et W.C. Gregory (Murty, Jahnavi, 1986) и *A. villosa* Benth. (Raina, Mukai, 2011; Raina et al., 2001) имеют геном А. Обладателями генома В являются виды *A. batizocoi* Krapov. et W.C. Gregory и *A. ipaensis*; геном D отмечен у одного диплоидного вида *A. glandulifera* Stalker (Stalker, 1991). А. Краповицкас (Krapovickas, 1969) установил, что *A. hypogaea* делится на два подвида: subsp. *hypogaea* и subsp. *fastigiata* (Waldron) Krapov. et W.C. Gregory. Большинство дикорастущих видов – многолетники (Zhukovsky, 1971).

Арахис обыкновенный, или земляной орех – однолетнее травянистое растение. По габитусу выделяют следующие формы: кустовая (стебель прямостоячий), полукустовая и стелющаяся по земле. Листья сложные, парноперистые, черешковые. Цветки мотылькового типа лимонно-желтые, реже бело-желтые или оранжевые, сидячие или на коротких цветоножках. (Luzina, 1941). Плоды арахиса – бобы различной величины и формы. Оболочка боба соломенно-желтая, рыхлая, ломкая, различной толщины, с внутренней стороны гладкая, снаружи сетчатая, с более или менее выделяющимися продольными жилками. Семян в бобе 1–6, но чаще 2–3. Семена округлые или удлинено-овальные. Оболочка семян светло-розовая, светло- и темно-красная, черно-фиолетовая, редко пестрая. Бобы образуются под землей.

Биология цветения и характер плодообразования у арахиса своеобразны, что сильно отличает его от других культурных растений. Арахис – геокарпическое растение, уникальной особенностью развития является то, что его плоды (бобы) развиваются под землей (Smith, 1950). Адаптация арахиса к жаре и засухе путем геокарпии является ключом к успеху его возделывания во многих регионах мира (Barker, 2005). Арахис, кроме хазмогамных цветков над поверхностью почвы, образует клейстогамные, которые развиваются на подземных частях боковых стеблей. Однако строение цветков не отличается друг от друга. После оплодотворения венчик и чашечка у хазмогамных цветков засыхают, а у клейстогамных основание завязи начинает расти сначала по направлению вверх, а затем, в силу геотропизма, вниз за счет деления клеток, расположенных непосредственно под завязью. Образуется гинофор, роль которого сводится к перенесению завязи в почву. Гинофор проникает в почву на глубину около 8–9 см и прекращает свой рост. Таким образом, развитие плода происходит только в почве, и если гинофор по какой-то причине не проникает в почву, например из-за ее плотности, то он засыхает и плод не развивается. Необходимым условием для завязывания и развития плодов является влага. Если гинофор лишен влаги, то он вянет

как на свету, так и в темноте. Гинофор погибает, если находится в сильно увлажненной среде или все время на дневном свету. Чем дольше гинофор находится на свету, тем медленнее происходит его прирост (Husted, 1933). Общее число цветков на растении сильно варьирует, оно различно у разных сортов и изменяется от времени цветения и условий культивирования. Стелющиеся формы цветут более обильно, чем кустовые. Количество цветков, способных образовывать гинофоры, у кустовых форм составляет около 70%, а у стелющихся – 75% (Husted, 1933).

Свет является наиболее важным фактором, влияющим на развитие зародышей и бобов арахиса (Zhang et al., 1998). Было показано, что красный и белый свет подавляют рост завязи арахиса, в то время как «темнота» способствует ее росту (Thompson et al., 1985). В процессе развития эмбриона арахиса участвуют фитохромы. Уровни белка фитохрома значительно изменяются до и после проникновения завязи в почву, что было установлено с использованием технологии иммуноцитохимии (Thompson et al., 1992).

Гены семейства фитохромов идентифицированы у двух диких видов арахиса: четыре у *A. duranensis* и четыре у *A. ipaensis* (Zhang et al., 2018). Авторами сделано заключение, что опосредованная фитохромами трансдукция светового сигнала может играть ключевую роль в развитии гинофора арахиса.

Арахис – теплолюбивое растение, семена его начинают прорастать при температуре 14–15°C. Всходы погибают при минус 1°C, взрослое растение – при минус 2°C, а при минус 3°C повреждаются свежескопанные бобы. Период вегетации арахиса – 130–150 дней. Для арахиса благоприятна солнечная, жаркая погода. Для развития арахиса требуется сумма эффективных температур 2600–3500°C (Vakhruшева, 1998). Арахис может расти на разных почвах. Лучшие для него – структурированные высокоплодородные почвы. Легкие почвы для арахиса считаются более пригодными. Арахис довольно хорошо переносит сравнительно близкие грунтовые (незасоленные) воды с залеганием не более 80–100 см от поверхности почвы. Почвы слишком тяжелые, засоленные, сильно истощенные под арахис непригодны (Vakhruшева, 1998). Арахис нуждается в оптимальных условиях влажности почвы (32,5%) в период интенсивного цветения и развития бобов. В последнем периоде своего развития арахис нуждается в минимальных условиях почвенного увлажнения. Избыток влаги в этот период ведет к снижению урожая вследствие загнивания бобов и снижению содержания в них жира. Однако при развитии арахиса в оптимальных условиях почвенной влажности в период после всходов он не приобретает стойкости к неблагоприятным условиям почвенного увлажнения в последующие месяцы, и такие растения страдают при наступлении засухи больше, чем если бы они выращивались все время при минимальных условиях влажности почвы.

При промышленном возделывании арахиса используется только подвид обыкновенный, подразделяемый на три большие группы: кустовую, полукустовую и стелющуюся (Luzina, 1954). Для возможности механизированной уборки используют кустовую группу, к которой относятся сортоотипы: Испанский, Улучшенный испанский, Валенсия, Яванский, Порто-аллегро, Теннесси белый и Теннесси красный (Luzina, 1954). Сортоотипы различаются в основном по типу куста, крупности и окраске бобов и семян.

Недавно стало известно, что арахис относится к природно-трансгенным растениям (Matveeva, Otten, 2019). Природно-трансгенными называют такие растения, в геномах которых обнаружены последовательности, гомологичные Т-ДНК *Agrobacterium rhizogenes* (называемые клеточной Т-ДНК или клТ-ДНК). Они описаны в пределах родов *Nicotiana* L., *Linaria* Mill., *Ipomoea* L. Их предковые формы были трансформированы и смогли дать начало новым видам, в геномах которых стабильно передавалась Т-ДНК, а растения, ее содержащие, называют природно-трансгенными. В ходе эволюции подобные акты трансформации происходили не раз; вероятно, они могут играть важную эволюционную роль, представляя собой последствия горизонтального переноса генов от бактерий к эукариотам (Matveeva, Sokornova, 2017).

Использование

Для рациона питания жителей многих стран арахис – источник высококачественных белка и жиров. Обычно в арахисовых семенах содержание масла колеблется от 44 до 56%, в среднем 50%, и 22–30% белка (Settaluri et al., 2012). Масло арахиса – одно из лучших растительных пищевых масел. Его используют в качестве салатного, а также в консервной и масложировой промышленности, в фармакологии и на технические цели. В среднем из одной тонны семян получают 226–317 кг масла. Свежее масло, полученное холодным прессованием, желтоватое, прозрачное, сладковатое на вкус, без запаха. В его состав входят ненасыщенные кислоты: олеиновая (39–70% от общей суммы жирных кислот), линолевая (15–38%), линоленовая (0,05%), эйкозеновая (1,1–4,0%), эруковая (0,5%), и насыщенные кислоты: пальмитиновая (6–18%), стеариновая (2–7%), арахидиновая (0,8–7,3%), миристиновая (0,3–0,6%), бегеновая (1,5–4,0%) и лигноцериновая (0,5–3,0%) (Ermakov, Yarosh, 1976; Ermakov et al., 1982; Wang et al., 2015). Таким образом, арахисовое масло содержит около 80% ненасыщенных и 20% насыщенных жирных кислот.

Повышенное содержание олеиновой кислоты препятствует окислению масла, масло арахиса с максимумом линолевой кислоты уязвимо к окислению, что приводит к неприятному запаху, вкусу и короткому сроку годности при хранении масла и других продуктов арахиса. В целом потребление человеком арахисового масла с высокой долей олеиновой кислоты является предпочтительным, так как это снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний за счет снижения уровня липопротеинов низкой плотности в крови (Jones et al., 2014). Показано, что обработанное арахисовое масло (экстрагированное кислотой, подвергнутое тепловой обработке) не содержит белков и может безопасно употребляться людьми с аллергией на арахис. Однако арахисовое масло холодного отжима, обработанное при более низких температурах, может содержать следы арахисового белка, вызывая аллергические реакции у пациентов, чувствительных к арахису (Du Plessis, Steinman, 2004). Белок арахиса легко усваивается. Основная его масса состоит из глобулинов: арахина (до 25%) и конарахина (8%). Биологическая ценность белков арахиса связана с содержанием в них незаменимых аминокислот, которые необходимы для жизнедеятельности человека, но не могут быть синтезированы самим организмом. Высокое содержание основных жизненно необходимых аминокислот приближает белки арахиса

к животным белкам: аргинин – 9,9%, гистидин – 2,1%, лизин – 2,2%, триптофан – 1,0 %, цистин – 1,6%. Белки арахиса отличаются высоким содержанием водорастворимой фракции, что указывает на их высокую перевариваемость. Арахис относят к функциональным продуктам питания. В семенах содержится значительное количество витамина В₁ и небольшие количества витаминов РР и Е, медь, магний, флавоноиды и др. (Ермаков, Yarosh, 1976; Kris-Etherton et al., 1999). Арахисовое масло обладает высоким содержанием антиоксидантов и фитостеролов (Zaaboul et al., 2018). Жмых арахиса как побочный продукт масложировой промышленности содержит до 48% белка и 8% жира. Перемолотый жмых арахиса, или арахисовая мука, применяется в качестве примеси к пшеничной, кукурузной и другой муке в приготовлении бисквитов и кексов. Лучшие сорта жмыхов, а также целые и перемолотые семена арахиса находят чрезвычайно широкое использование в кондитерской промышленности (Vakhrusheva, Pereverzev, 1993). Известны сорта арахиса кондитерского направления использования – крупноплодные с улучшенными вкусовыми качествами. Это ‘Fleur 11’, ‘Chalimbana’, ‘CG7’, ‘ICGV 97041’, ‘ICGV 97047’, ‘ICGV 97049’, ‘ICGV 97065’, ‘ICGV 11310’, ‘ICGV 11326’, ‘ICGV 11327’ и др. (Monyo, Varshney, 2016). Арахис – ценный корм для животных. Использование жмыхов как концентрированного корма повышает удои и качество молока коров, ускоряет отложение жира у свиней. Высокое содержание лецитина в жмыхе способствует наилучшему росту и развитию животных, особенно молодняка. Вегетативная масса из стеблей и листьев арахиса в кормовом отношении не уступает таковой люцерны и клевера. Способность арахиса фиксировать атмосферный азот благотворно влияет на будущий урожай и позволяет использовать эту культуру как предшественник для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995).

Возделывание

Родина арахиса – Южная Америка. Первичный генцентр арахиса – Аргентина и Боливия (Zhukovsky, 1971). Из Америки он попал в Европу и Китай, затем его начали возделывать в тропиках Юго-Восточной Азии. По другим данным, из Южной Америки арахис был завезен в Индию и Японию, на Филиппинские острова и на Мадагаскар. В Китай арахис привезли португальцы, которые в 1560 г. основали в Кантоне свою колонию. В Западной Африке арахис появился в XVI веке. Полагают, что впервые бобы арахиса в Гвинею попали из Бразилии. Сенегал, Нигерия, Конго считаются вторичными центрами. Местные жители научились извлекать пищевое масло из семян арахиса, и площади посевов стали быстро увеличиваться. Из Индии и Китая арахис распространился в Испанию, Францию, Италию, где получил название «китайский орешек» (Vakhareva, 1978).

В России первые попытки возделывания арахиса относятся к 1825 г., когда он был высеян на территории Одесского ботанического сада (Luzina, 1954). В условиях Нижнего Поволжья пробные посевы были проведены в 20-х годах прошлого столетия. В Краснодарском крае первые посевы осуществлены в 1894 г. Далее арахис широко распространился в Закавказье и Среднюю Азию. Позднее (1926–1930 гг.) его с успехом возделывали в засушливых и полузасушливых районах юга Украины и России (на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье) (Ivanenko, 1989; Obydalo, Ogarkov, 2002).

С 1926 г. на селекционной станции «Круглик» в Краснодарском крае начали изучать биологию цветения и плодообразования арахиса, что позволило выработать приемы гибридизации. На основе селекционной станции был создан Всесоюзный (затем Всероссийский) институт масличных культур (ВНИИМК), и уже в 1934 г. в селекционных питомниках испытывался гибридный материал арахиса. Первые сорта арахиса ‘ВНИИМК 344’, ‘ВНИИМК 433’ и ‘Испанский улучшенный’ получены на основе сортоформ Испанский и Валенсия методом индивидуального отбора. Затем исходный материал начали создавать методом внутривидовой гибридизации. Сорт ‘Краснодарец 14’ крупноплодный и низколузжистый. Сорт ‘Краснодарец 13’ в условиях Краснодарского края в селекционном севообороте в 1995 г. дал урожай бобов 2,7–3,3 т/га (без орошения). По данным сотрудников ВНИИМК Д. И. Обыдало и И. А. Огаркова (Obydalo, Ogarkov, 2002), перспективные линии арахиса имели массу 1000 семян 600–900 г, а некоторые с особо крупными семенами достигали 1200 г. В 1940 г. посевы арахиса в стране достигали 23,1 тыс. га. В 2005 г. в Госреестр включен сорт арахиса ‘Отрадокубанский’, созданный сотрудниками ВИР, который по настоящее время остается единственным районированным сортом арахиса. В начале 2000-х годов производство арахиса в России практически прекратилось. Прекращена и селекционная работа. В то же время импорт арахиса в РФ превышает 100 тыс. т ежегодно (Tuz, 2018). В последние годы производство арахисовых бобов в мире возрастает за счет увеличения посевных площадей, использования высокоурожайных сортов и современной агротехники. По данным ФАОСТАТ, в 2017 г. площади посева под арахисом составили 32,6 млн га (<http://www.fao.org/faostat/en/#home>), в то время как в 2010 г. они составляли 24,6 млн га (Rami et al., 2014). Ведущие страны по производству арахиса на 2017 г. – Индия (5,3 млн га), Китай (4,6 млн га) и страны Африки: Нигерия (2,8 млн га), Судан (2,0 млн га), Танзания (1,1 млн га) и др. В экономике Сенегала, Нигерии, Танзании, Мозамбика, Уганды, Нигера и ряда других стран арахис имеет первостепенное значение. На Американском континенте наибольшие площади сосредоточены в Бразилии (154,3 тыс. га), Аргентине (334,05 тыс. га), Мексике (58,565 тыс. га), США (718,57 тыс. га).

Основные направления селекции

Селекция арахиса в мире сосредоточена на повышении урожайности, улучшении качества масла и продукции переработки растительного сырья, их безопасности (отсутствие токсинов и аллергенности), а также на устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. Но важнейшими задачами селекции остаются урожайность, содержание масла и его качество.

Урожайность арахиса значительно варьирует между регионами и странами в регионе. В Азии урожайность колеблется от 1,5 т/га в Индии до 3 т/га в Китае, Северной и Южной Америке до 3 т/га. В Африке самая низкая урожайность, в среднем 1 т/га (Rami et al., 2014). К 2017 г., по данным ФАО (<http://www.fao.org/faostat/en/#home>), урожаи арахиса значительно выросли и составили 4,0–4,5 т/га в США, Иране, Турции; 2,9–3,7 т/га – в Китае, 1,7 т/га – в Индии. Самые высокие урожаи бобов получают в Израиле (5,1 т/га в 2016; 5,9 т/га – в 2017 г.). В европейских странах урожаи ниже: в Испании – 2,6 т/га, в Болгарии – 1,7 т/га (<http://www.fao.org/faostat/en/#home>). Арахис на Украине в фермерских хо-

зайствах дает урожай 3 т/га на поливе. Возделываются сорта 'Валенсия', 'Валенсия 433', 'Степняк' (Peanut cultivation..., 2018).

Самый распространенный метод селекции арахиса – индивидуальный отбор. Именно этим методом выведены все первые отечественные сорта. Несмотря на сложность гибридизации, в селекции арахиса в мире используется внутри- и межвидовая гибридизация. Дикие виды являются источниками устойчивости ко многим болезням, а также к таким факторам, как холодостойкость, засухоустойчивость.

Производство арахиса может быть сильно ограничено рядом заболеваний, вызванных вирусами, грибами, бактериями, а также повреждением насекомыми и другими вредителями. Поздняя пятнистость листьев, вызываемая *Cercosporidium personatum* (Berk. & Curt.) Deighton, является основным грибным заболеванием, ограничивающим производство арахиса во всем мире. Поражение растений этим патогеном приводит к снижению урожая на 30–70% (Singh et al., 2011; Woodward et al., 2014). Установлено, что устойчивость к *C. personatum* проявляет дикий вид *A. cardenasii* (Companu et al., 1982). Получены линии от межвидовых гибридов *A. cardenasii* и *A. hypogaea*. Инбредные рекомбинантные линии расщепляющейся популяции исследовали с помощью молекулярных маркеров и отобрали устойчивые формы с использованием маркеров количественных признаков (QTLs), связанных с устойчивостью к *C. personatum*. Другие патогены – это серая гниль (возбудитель – *Botrytis cinerea* Fr.) (устойчивый сорт 'Валенсия'); корневая и стеблевая гниль – *Sclerotium rolfsii* Curzi (устойчивые образцы с острова Ява, устойчивые сорта 'Virginia Runner', 'African') (Woodward et al., 2005; 2014). Ржавчина (возбудитель – *Puccinia arachidis* Speg.) также поражает арахис (Gowda et al., 1990). Ржавчина и пятнистость листьев часто встречаются вместе и вызывают до 50–70% потерь урожая (Subrahmanyam et al., 1985). В Индии в ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) с использованием молекулярных маркеров выявлены локусы QTL, контролирующие устойчивость к ржавчине у сортов арахиса 'ICGV 94114', 'JL24', 'TAG24'. Устойчивые к ржавчине линии, полученные на основе этих сортов, показали увеличение урожайности бобов от 56% до 96% в одних случаях и 39–79% – в других (Desmae et al., 2019).

Болезнь розеток (Rosette) арахиса, вызываемая вирусом розеток (GRV – the groundnut rosette virus), – заболевание, в результате которого зараженные растения становятся хлоротичными и очень низкорослыми (Subrahmanyam et al., 2001). Авторами в течение трех вегетационных сезонов на 116 образцах, представляющих 28 видов рода *Arachis* L., изучалась устойчивость к данному заболеванию и выявлено отсутствие поражения у 25 образцов 11 видов. Устойчивость к вирусу розеток определяется двумя независимыми рецессивными генами. Селекция с использованием этих форм привела к созданию позднеспелых сортов сорта типа Вирджиния и ранне- и среднеспелых сортов Испанского сорта типа (Desmae et al., 2019). Материал, устойчивый к болезни розеток – 'UGA 2', 'M572.801', 'ICG 14705', 'ICG 13099', 'ICG 9449' и др. (Monyo, Varshney, 2016).

В России актуальна селекция арахиса на устойчивость к фузариозному увяданию. Установлено, что все стелющиеся формы поражаются меньше, чем кустовые. (Vakhrusheva, 1998). Устойчивость к болезням у арахиса наследуется преимущественно качественно, в отли-

чие от таких признаков, как урожайность, качество и содержание масла, засухоустойчивость, которые наследуются количественно (Desmae et al., 2019).

Вредителями арахиса являются тли, распространяющие вирусные заболевания, вызывая увядание, а также майский хрущ, проволочный червь, нематоды. Устойчивые к нематоде формы были получены с помощью интрогрессии генов А-генома от *A. cardenasii*, дико-го диплоида, культивируемому арахису (Simpson et al., 1993).

Арахис может быть заражен штаммами патогенных грибов *Aspergillus flavus* Linkex Fr. и *A. parasiticus* Spreage, которые вырабатывают высокотоксичное вещество – афлатоксин, содержание которого делает невозможным пищевое и кормовое использование продукции (Diener, Davis, 1969). Загрязнение афлатоксином является серьезным препятствием для мировой торговли арахисом (Monyo et al., 2012). Теплый климат с небольшим количеством осадков обуславливает высокое содержание афлатоксигенных *Aspergillus* spp. в почве и высокий уровень афлатоксина в арахисе. Бобы и семена арахиса могут быть заражены *A. flavus* и в процессе высыхания после сбора урожая. Создание сортов арахиса с устойчивостью к проникновению гриба исключила бы возможность заражения. S. N. Nigam et al. (2009) описали большое количество линий арахиса, которые показали устойчивость к афлотоксину, включая пять элитных линий, рекомендованных для выращивания.

Более чем 70% площадей возделывания арахиса находятся в регионах, подверженных засухам, и засуха является основным производственным ограничением. Ранние засухи в середине и в конце сезона сильно влияют на урожайность, но наиболее критична засуха в конце сезона. Раннеспелость позволяет избежать стрессовых ситуаций, вызванных засухой (Desmae et al., 2019).

Для повышения урожайности используют азофиксирующие бактерии. Установлена способность штаммов клубеньковых бактерий влиять на повышение активности симбиотической фиксации азота, что повышает урожай сортов и линий арахиса (Phillips et al., 1989; Badawi et al., 2011). Кроме того, способность аккумулировать азот клубеньками позволяет использовать культуру арахиса как сидерат и для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995). Сочетание компоста из арахисовой ботвы с комбинированной инокуляцией биоудобрений (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Phosphobacteria*, *Rhizobium*) приводит к повышению урожайности арахиса (Mathivanan, Jayagaman, 2019). Ризобактерии влияют на регуляторы роста растений, особенно ауксин, гиббереллин и цитокинин, то есть способствуют развитию растений. *Azotobacter* способен вырабатывать фунгицидные соединения, которые борются с болезнями растений, улучшают жизнеспособность и всхожесть и, как следствие, улучшают общий рост растений (Chen, 2006).

Для повышения продуктивности арахиса важную роль играют генетические исследования, а также успехи в геномике этой культуры, включая секвенирование генома, применение молекулярных маркеров, построение генетических карт, анализ локусов количественных признаков (QTL) и др. (Desmae et al., 2019). Интеграция геномного инструментария в селекционный процесс арахиса позволит преодолеть ограничения, связанные с применением методов традиционной селек-

ции, и обеспечит существенное повышение урожайности и создание сортов арахиса нового поколения интенсивного типа: устойчивых, с высокими показателями пищевых, кормовых и технологических качеств, высокотехнологичных, соответствующих современным требованиям рынка и агропроизводства.

Для России актуально создание скороспелых сортов арахиса. В странах Африки вегетационный период разных сортов арахиса составляет от 110 до 160 дней (Bakhareva, 1978). Д. П. Умену удалось сократить вегетационный период арахиса до 125–130 дней (сорт 'Желудь'), а затем до 115–120 у сорта 'Краснодарец 13' (Umen, 1967). Но для южных регионов России необходимы сорта с продолжительностью вегетационного периода 100–110 дней (Obudalo, Ogarkov, 2002). Для механизированной уборки требуются сорта кустовой или полукустовой форм, с компактным расположением бобов у основания куста и относительно прочным прикреплением их к гинофорам. Основные параметры идеального сорта арахиса для юга России: высокая урожайность – свыше 3 т/га без орошения, раннее созревание – 100–110 дней от всходов до уборочной спелости, масличность семян – 52–56 %, лужистость бобов – 23–27%, крупносемянность (масса 1000 семян – 600–700 г), хорошие вкусовые качества семян, приспособленность к механизированному возделыванию и уборке (Obudalo, Ogarkov, 2002). Для создания таких сортов арахиса необходимо привлечь мировые генетические ресурсы культуры.

Коллекции арахиса созданы в 9 странах мира. В Международном геномном банке ICRISAT в Индии к 2012 году насчитывалось 15 445 образцов арахиса, в том числе 477 образцов диких видов; в Институте масличных культур Китайской академии аграрных наук – 8083, в том числе 246 образцов диких видов; в Аргентине – 3640, в том числе 106 образцов диких видов; в Бразилии 2420 образцов, в том числе 1220 образцов диких видов; в США в университете Северной Каролины – 1146, из них 406 образцов дикорастущих видов (Pandey et al., 2012).

Коллекция ВИР насчитывает 1823 образца культурного арахиса из 74 стран. В коллекции представлены все сортотипы, описанные в литературе. Образцы коллекции различаются по продуктивности, размеру семян и бобов, количеству семян в бобе, окраске семенной кожуры, вкусовым качествам (Vakhrusheva, 1995), жирнокислотному составу (Gavrilova et al., 2020).

Таким образом, использование мировых генетических ресурсов арахиса будет способствовать возрождению селекционной работы и возделыванию культуры в России.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0001 «Коллекция масличных и прядильных культур ВИР: поддержание, изучение, расширение генетического разнообразия».

References/Литература

- Badawi F.Sh.F, Biomy A.M.M., Desoky A.H. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*. 2011;56(1):17-25. DOI: org/10.1016/j.aas.2011.05.005
- Bakhareva S.N. Groundnuts in Western Africa (Arachis Zapadnoy Afriki.) *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1978;61(2):79-108. [in Russian] (Бахарева С.Н. Арахис Западной Африки. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1978;61(2):79-108).
- Barker N.P. A Review and Survey of Basicarpy, Geocarpy, and Amphicarpy in the African and Madagascan Flora *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 2005;92(4):445-462. Available from: <https://www.jstor.org/stable/40035737> [accessed Dec. 20, 2019].
- Bertioli D.J., Seijo G., Freitas F.O., Valls J.F.M., Leal-Bertioli S.C.M., Moretzsohn M.C. An overview of peanut and its wild relatives. *Plant Genetic Resources*. 2011;9(1):134-149. DOI: 10.1017/S1479262110000444
- Chen J.H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In: *International Workshop on Sustained Management of the Soil Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, October 16–26, 2006*. Bangkok, Thailand; 2006. p.1-11.
- Chen X., Li H., Pandey M.K., Yang Q., Wang X., Garg V. et al. Draft genome of the peanut A-genome progenitor (*Arachis duranensis*) provides insights into geocarpy, oil biosynthesis, and allergens. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016;113(24):6785-6790. DOI: org/10.1073/pnas.1600899113
- Chen X., Lu Q., Liu H., Zhang J., Hong Y., Lan H. et al. Sequencing of Cultivated Peanut, *Arachis hypogaea*, Yields Insights into Genome Evolution and Oil Improvement. *Molecular Plant*. 2019;12(7):920-934. DOI: 10.1016/j.molp.2019.03.005
- Chen Z., Wang M.L., Barkley N.A., Pittman R. A Simple Allele-Specific PCR Assay for Detecting *FAD2* Alleles in Both A and B Genomes of the Cultivated Peanut for High-Oleate Trait Selection. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2010;28:542-548. DOI: 10.1007/s11105-010-0181-5
- Company M., Stalker H.T., Wynne J.C. Cytology and leafspot resistance in *Arachis hypogaea* × wild species hybrids. *Euphytica*. 1982;31:885-893. DOI: 10.1007/BF00039228
- Desmae H., Janila P., Okori P., Pandey M.K., Motagi B.N., Monyo E. et al. Genetics, genomics and breeding of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breeding*. 2019;138(4):425-444. DOI: 10.1111/pbr.12645
- Diener U.L., Davis N.D. Aflatoxin formation by *Aspergillus flavus*. In: L.A. Godblatt (ed.). *Aflatoxin: scientific background, control and implications*. New York, NY: Academic Press; 1969. p.13-54. DOI: 10.1016/B978-0-12-395513-5.50007-6
- Du Plessis K., Steinman H. Practical aspects of adverse reactions to peanut. *Current Allergy and Clinical Immunology*. 2004;17(1):10-14.
- Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po soderzhaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Рыкова Р.П., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).
- Ermakov A.I., Yarosh N.P. Features and variability of oil seed quality in oil crops (Osobennosti i izmenchivost kachestva masla semyan maslichnykh kulturnykh rasteniy). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant*

- Breeding*. 1976;56(3):3-56. [in Russian] (Ермаков А.И., Ярош Н.П. Особенности и изменчивость качества масла семян масличных культурных растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976;56(3):3-56).
- FAOSTAT: Food and agriculture data. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> [accessed Dec. 13, 2019].
- Gavrilova V.A., Shelenga T.V., Porokhvinova E.A., Dubovskaya A.G., Konkova N.G., Grigoryev S.V. et al. The diversity of fatty acids composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biological Communications* [preprint] 2020.
- Gowda M.V.C., Arunahalam V., Bandyopadhyay A. Rust resistance and its stability in lines of varying productivity in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) *Plant Breeding*. 1990;105(3):229-237. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1990.tb01200.x
- Husted L. Cytological studies of the peanut *Arachis*. I. Chromosome number and morphology. *Cytologia*. 1933;5(1):109-117. DOI: 10.1508/cytologia.5.109
- Ivanenko E.N. Groundnut: a promising oilseed crop (Arachis – перспективная масличная культура) *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1989;125:31-35. [in Russian] (Иваненко Е.Н. Арахис – перспективная масличная культура. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1989;125:31-35).
- Jones J.B., Provost M., Keaver L., Breen C., Ludy M.-J., Mattes R.D. A randomized trial on the effects of flavorings on the health benefits of daily peanut consumption. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2014;99(3):490-496. DOI: 10.3945/ajcn.113.069401
- Jung S., Tate P.L., Horn R., Kochert G., Moore K., Abbott A.G. The Phylogenetic Relationship of Possible Progenitors of the Cultivated Peanut *Journal of Heredity*. 2003;94(4):334-340. DOI: 10.1093/jhered/94.4.334
- Kochert G., Halward T., Branch W.D., Simpson C.E. RFLP variability in peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars and wild species. *Theoretical and Applied Genetics*. 1991;81:565-570. DOI: 10.1007/bf00226719
- Krapovickas A., Gregory W.C. Taxonomia del género *Arachis* (Leguminosae). *Bonplandia*. 1994;8(1-4):1-186. [in Spanish]
- Kris-Etherton P.M., Yu-Poth S., Sabate J., Ratcliffe H.E., Zhao G., Etherton T.D. Nuts and their bioactive constituents: effects on serum lipids and other factors that affect disease risk. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1999;70(3):504-511. DOI: 10.1093/ajcn/70.3.504s
- Luzina Z.A. *Arachis* L. – Peanut (Arachis). In: E.V. Vulf (ed.). *Flora of Cultivated Plants of the USSR. Vol. 7. Oil crops (Kulturnaya flora SSSR. T. 7. Maslichnye)*. Moscow; Leningrad; 1941. p.136-192. [in Russian] (Лузина З.А. *Arachis* L. – Арахис. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 7. Масличные / под ред. Е.В. Вульфа*. Москва; Ленинград; 1941. С.136-192).
- Luzina Z.A. Peanut (Arachis). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1954. [in Russian] (Лузина З.А. Арахис. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1954).
- Mathivanan J., Jayaraman P. Enhancement of Growth and Yield of *Arachis hypogaea* L. Using Different Biofertilizers. *International Letters of Natural Sciences*. 2019;74:1-9. DOI: 10.18052/www.scipress.com/ilns.74.1
- Matveeva T.V., Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium*. *Plant Molecular Biology*. 2019;101(4-5):415-437. DOI: 10.1007/s11103-019-00913-y
- Matveeva T.V., Sokornova S.V. Biological traits of naturally transgenic plants and their evolutionary roles. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017;64(5):635-648.
- Monyo E.S., Njoroge S.M.C., Coe R., Osiru M., Madinda F., Waliyar F. et al. Occurrence and distribution of aflatoxin contamination in groundnuts (*Arachis hypogaea* L.) and population densities of Aflatoxigenic *Aspergilli* in Malawi. *Crop Protection*. 2012;42:149-155. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.07.004
- Monyo E.S., Varshney R.K. Seven seasons of learning and engaging small holder farmers in the drought-prone areas of sub-Saharan Africa and South Asia through Tropical Legumes, 2007-2014. *Patancheru: ICRISAT*; 2016.
- Murty U.R., Jahnvi M.R. The 'A' genome of *Arachis hypogaea* L. *Cytologia*. 1986;51:241-250.
- Nigam S.N., Waliyar F., Aruna F.R., Reddy S.V., Kumar L.P., Craufurd P.Q. et al. Breeding Peanut for Resistance to Aflatoxin Contamination at ICRISAT. *Peanut Science*. 2009;36(1): 42-49. DOI: 10.3146/AT07-008
- Obydalo D.I., Ogarkov I.A. Peanuts: from the tropics to the temperate latitudes (Arachis: iz tropikov – v umerennye shiroti). In: *History of Scientific Research in VNIIMK for 90 years (Istoriya nauchnykh issledovaniy vo VNIIMK za 90 let)*. Krasnodar; 2002. p.88-94. [in Russian] (Обыдало Д.И., Огарков И.А. Арахис: из тропиков – в умеренные широты. В кн.: *История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет*. Краснодар; 2002. С.88-94).
- Paik-Ro O.G., Smith R.L., Knauff D.A. Restriction fragment length polymorphism evaluation of six peanut species within the *Arachis* section. *Theoretical and Applied Genetics*. 1992;84:201-208. DOI: 10.1007/bf00224001
- Pandey M.K., Monyo E., Ozias-Akins P., Liang X., Guimarães P., Nigam S.N. et al. Advances in *Arachis* genomics for peanut improvement *Biotechnology Advances*. 2012;30(3):639-651. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.11.001
- Peanut cultivation gains more and more popularity in Ukraine (V Ukraine vse bolshey populyarnosti nabyraet vyrashchyvaniya arakhysa). *AgroReview*. 2018. [in Russian] (В Украине все большей популярности набирает выращивания арахиса. *AgroReview*. 2018). URL: <https://agroreview.com/ru/news/v-ukrayne-vse-bolshej-populyarnosty-nabyraet-vyrashchyvaniya-arakhysa> [дата обращения: 13.12.2019].
- Phillips T.D., Wynne J.C., Elkan G.H., Schneeweis T.J. Effect of Bradyrhizobium Strain on Combining Ability for Nitrogen Fixation in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breeding*. 1989;103(2):141-148. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00362.x
- Raina S.N., Mukai Y. Detection of a variable number of 18S-5.8S-26S and 5S ribosomal DNA loci by fluorescent *in situ* hybridization in diploid and tetraploid *Arachis* species. *Genome*. 2011;42(1):52-59. DOI: 10.1139/g98-092
- Raina S.N., Rani V., Kojima T., Ogihara Y., Singh K.P., Devarumath R.M. RAPD and ISSR fingerprints as useful genetic markers for analysis of genetic diversity, varietal identification, and phylogenetic relationships in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivars and wild species. *Genome*. 2001;44(5):763-772.
- Rami J.-F., Leal-Bertioli S.C.M., Foncéca D., Moretzsohn M.C., Bertioli D.J. Groundnut In: A. Pratap, J. Kumar (eds). *Alien Gene Transfer in Crop Plants. Vol. 2. Achievements and Impacts*. Philadelphia: Springer; 2014. p.253-279. DOI: 10.1007/978-1-4614-9572-7_12
- Settaluri V.S., Kandala C.V.K., Puppala N., Sundaram J. Peanuts and Their Nutritional Aspects – A Review.

- Food and Nutrition Sciences*. 2012;3(12):1644-1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215
- Simpson C.E., Nelson S.C., Star J.L., Woodard K.E., Smith O.D. Registration of TxAg-6 and TxAG-7 peanut germplasm lines. *Crop Science*. 1993;33(6):1418. DOI: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300060079x
- Singh A.K. Putative genome donors of *Arachis hypogaea* (Fabaceae), evidence from crosses with synthetic amphidiploids. *Plant Systematics and Evolution*. 1988;160:143-151. DOI: 10.1007/bf00936041
- Singh A.K., Moss J.P. Utilization of wild relatives in genetic improvement of *Arachis hypogaea* L.: 5. Genome analysis in section *Arachis* and its implication in gene transfer. *Theoretical and Applied Genetics*. 1984;68:355-364. DOI: 10.1007/bf00267889
- Singh A.K., Moss J.P. Utilization of wild relatives in genetic improvement of *Arachis hypogaea* L.: Part 2: chromosome complement of species in section *Arachis*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1982;61:305-314. DOI: 10.1007/bf00272846
- Singh M.P., Erickson J.E., Boote K.J., Tillman B.J., Jones J.W., van Bruggen A.H.C. Late Leaf Spot Effects on Growth, Photosynthesis, and Yield in Peanut Cultivars of Differing Resistance. *Agronomy Journal*. 2011;103(1):85-91. DOI: 10.2134/agronj2010.0322
- Smartt J., Gregory W.C., Pfluge Gregory M. The genomes of *Arachis hypogaea* L. Cytogenetic studies of putative genome donors. *Euphytica*. 1978;27:665-675. DOI: 10.1007/bf00023701
- Smith B.W. *Arachis hypogaea*. Aerial flower and subterranean fruit. *American Journal of Botany* 1950;37(10):802-815. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1950.tb11073.x
- Stalker H.T. A new species in section *Arachis* of peanuts with a D genome. *American Journal of Botany*. 1991;78(5):630-637. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1991.tb12587.x
- Strebbs G.L. Genetics, evolution and plant breeding. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 1957;17:129-141.
- Subrahmanyam P., Anaidu R., Reddy L.J., Lava Kumar P., Ferguson M.E. Resistance to groundnut rosette disease in wild *Arachis* species. *Annals of Applied Biology*. 2001;139(1):45-50. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2001.tb00129.x
- Subrahmanyam P., Moss J.P., McDonald D., Rao P.V.S., Rao V.R. Resistance to leaf spot caused by *Cercosporidium personatum* in wild *Arachis* species. *Plant Disease*. 1985;69:951-954. DOI: 10.1094/PD-69-951
- Thompson L.K., Burgess C.L., Skinner E.N. Localization of phytochrome during peanut (*Arachis hypogaea*) gynophore and ovule development. *American Journal of Botany* 1992;79(7):828-832. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1992.tb13660.x
- Thompson L.K., Ziv M., Deitzer G.F. Photocontrol of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Embryo and Ovule Development in Vitro. *Plant Physiology*. 1985;78(2):370-373. DOI: 10.1104/pp.78.2.370
- Toomsan B., McDonagh J.F., Limpinuntana V., Giller K.E. Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand. *Plant and Soil*. 1995;175(1):45-56. DOI: 10.1007/bf02413009
- Tuz R.K., Podolnaya L.P., Asfandiyarova M.Sh., Dubovskaya A.G., Eremin V.A., Migacheva E.O. Variability of peanut samples of VNIIMK's breeding in the conditions of the Astrakhan region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2018;4(176):64-67. [in Russian] (Туз Р.К., Подольная Л.П., Асфандиярова М.Ш., Дубовская А.Г., Еремин В.А., Мигачева Е.О. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях Астраханской области. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК* 2018;4(176):64-67). DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67
- Umen D.P. Peanuts. A guide to the breeding and seed production of oilseeds (Arakhis. Rukovodstvo po selektsii i semenovodstvu maslichnykh kultur). Moscow; 1967. [in Russian] (Умен Д.П. Арахис. Руководство по селекции и семеноводству масличных культур. Москва; 1967).
- Vakhrusheva T.E. Evaluation of peanut collection (*Arachis hypogaea* L.). Guidelines (Izucheniye kolektsii arakhisa (*Arachis hypogaea* L.). Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).
- Vakhrusheva T.E. Peanut (Arakhis). In: *Oil Crops for Food Purposes in Russia (Breeding Problems and Assortment) (Maslichnye kultury dlya pishchevogo ispolzovaniya v Rossii [problemy selektsii, sortiment])*. St. Petersburg: VIR; 1998. p.20-23. [in Russian] (Вахрушева Т.Е. Арахис. В кн.: *Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.20-23).
- Vakhrusheva T.E., Pereverzev D.S. The use of peanuts in the confectionery industry (Ispolzovaniye arakhisa v konditerskoj promyshlennosti) *AgroNIITEIPP*. 1993;17(2):30. [in Russian] (Вахрушева Т.Е., Переверзев Д.С. Использование арахиса в кондитерской промышленности. *АгроНИИТЭИПП*. 1993;17(2):30).
- Valls J.F.M., Simpson C.E. New species of *Arachis* (Leguminosae) from Brazil, Paraguay and Bolivia. *Bonplandia*. 2005;14(1-2):35-63. DOI: 10.30972/bon.141-21387
- Wang M.L., Khera P., Pandey M.K., Wang H., Qiao L., Feng S. et al. Genetic Mapping of QTLs Controlling Fatty Acids Provided Insights into the Genetic Control of Fatty Acid Synthesis Pathway in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *PLOS ONE* 2015;10(4):e0119454. DOI: 10.1371/journal.pone.0119454
- Woodward J.E., Brenneman T.B., Kemerait Jr. R.C., Culbreath A.K., Clark J.R. First Report of Botrytis Blight of Peanut Caused by *Botrytis cinerea* in Georgia. *Plant Disease*. 2005;89(8):910. DOI: 10.1094/PD-89-0910C
- Woodward J.E., Brenneman T.B., Kemerait R.C., Culbreath A.K., Smith N.B. On-Farm Evaluations of Reduced Input Fungicide Programs in Peanut Fields with Low, Moderate, or High Levels of Disease Risk. *Peanut Science*. 2014;41(1):50-57. DOI: 10.3146/PS11-23R2.1
- Zaaboul F., Raza H., Chen C., Liu Y. Characterization of Peanut Oil Bodies Integral Proteins, Lipids, and Their Associated Phytochemicals. *Journal of Food Science*. 2018;83(1):93-100. DOI: 10.1111/1750-3841.13995
- Zhang Y., Sun J., Xia H., Zhao C., Hou L., Wang B. et al. Characterization of peanut phytochromes and their possible regulating roles in early peanut pod development. *PLOS ONE*. 2018;13(5):e0198041. DOI: 10.1371/journal.pone.0198041
- Zharare G.E., Blamey F.P.C., Asher C.J. Initiation and Morphogenesis of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Pods in Solution Culture. *Annals of Botany*. 1998;81(3):391-396. DOI: 10.1006/anbo.1997.0569
- Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi). Leningrad; 1971. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. Ленинград; 1971).

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования/How to cite this article

Кишлян Н.В., Бемова В.Д., Матвеева Т.В., Гаврилова В.А. Биологические особенности и возделывание арахиса (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):119-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119-127

Kishlyan N.V., Bemova V.D., Matveeva T.V., Gavrilova V.A. Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):119-127. DOI:10.30901/2227-8834-2020-1-119-127

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-119-127>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest

ORCID

Kishlyan N.V. <http://orcid.org/0000-0003-4454-6948>

Bemova V.D. <http://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

Matveeva T. V. <http://orcid.org/0000-0001-8569-6665>

Gavrilova V.A. <http://orcid.org/0000-0002-8110-9168>