

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н. И. ВАВИЛОВА» (ВИР)

На правах рукописи

БЕМОВА

Виктория Дмитриевна

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ И
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ СИНТЕЗА ОПИНОВ У
АРАХИСА (*ARACHIS HYPOGAEA* L.)**

Специальности:

4.1.2 Селекция, семеноводство и биотехнология растений

1.5.7 Генетика

Диссертация

на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук

Гаврилова В.А.

Научный консультант:

доктор биологических наук

Матвеева Т.В.

Санкт-Петербург, 2025

Оглавление

Общая характеристика работы	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	8
1.1. Биологическая характеристика арахиса	8
1.1.1. Систематика	8
1.1.2. Биология арахиса	10
1.2. Использование арахиса	13
1.3. Возделывание	15
1.4. Основные направления селекции	18
1.5. Генетика признаков	21
1.6. Растительно-микробные взаимодействия	26
1.7. Особенности ризобиального симбиоза арахиса	30
1.8. Взаимодействие <i>Agrobacterium</i> с растениями и природная трансформация	35
1.9. Природно-трансгенные растения	38
1.10. Клеточная Т-ДНК арахиса	40
1.11. Перспективы исследования природных ГМО с точки зрения опиновой концепции регуляции растительно-микробных взаимодействий	43
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	47
2.1. Материалы	47
2.2. Методы	52
2.2.1. Метод полевого изучения	52
2.2.2. Статистическая обработка данных	53
2.2.3. Биохимические исследования	55
2.2.4. Молекулярно-генетические методы	56
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	58
3.1. Оценка коллекционных образцов арахиса по морфологическим признакам	58
3.2. Оценка коллекционных образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам	60
3.3. Анализ жирнокислотного состава масла	73
3.4. Анализ изменчивости количественных признаков при эколого-географическом испытании	78
3.4.1. Оценка изменчивости хозяйственно ценных признаков с использованием трехфакторного дисперсионного анализа	78

3.4.2. Оценка стабильности и пластичности образцов арахиса при помощи коэффициента регрессии на условия среды	82
3.5. Создание сортов арахиса	88
3.6. Изучение экспрессии гена <i>cis</i> , контролирующего синтез кукумопир-синтазы	94
3.7. Анализ взаимосвязи хозяйственно ценных признаков и уровня экспрессии гена <i>cis</i>	101
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
ВЫВОДЫ.....	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	137

Общая характеристика работы

Актуальность

Арахис обыкновенный (*Arachis hypogaea* L.), или земляной орех, однолетнее травянистое растение из семейства бобовых (Fabaceae). Арахис выращивается примерно в 120 странах мира на общей площади 25,7 млн. га с мировым производством 40,2 млн. тонн (FAOSTAT, 2024).

Арахис – ценная высокомасличная и высокобелковая культура. Семена арахиса содержат 40 — 60% масла и 20 — 30% белка (Ермаков, Ярош, 1976; Михайлов, 2008). Семена и масло арахиса активно используются в кондитерской промышленности.

В последние годы наблюдается заметный рост рынка арахиса во всем мире, и в России в частности. Размер мирового рынка арахиса оценивается в 90,42 миллиарда долларов США в 2024 году и, как ожидается, достигнет 102,81 миллиарда долларов США к 2029 году (mordorintelligence.com).

Россия входит в число крупнейших стран-покупателей арахиса, но промышленные посевы в стране отсутствуют (Туз и др., 2018). Импорт сырого арахиса в Россию за 2024 г. оценивался в 220,45 млн. USD (FAOSTAT, 2024). Основной импорт арахиса осуществляется из Бразилии (доля по стоимости - 62,81%, доля по массе - 63,46%), Аргентины (18,26% стоимости, 17,17% массы), Индии (13,79% стоимости, 14,89% массы), Китая и Никарагуа. Первые отечественные сорта арахиса были созданы в XX столетии во ВНИИ масличных культур в Краснодаре и на Кубанской опытной станции ВИР ('ВНИИМК 344', 'ВНИИМК 433', 'Испанский улучшенный'). На данный момент в Госреестр включены сорта 'Отрадокубанский', созданный сотрудниками ВИР, 'Астраханский 5' и 'Айпиджи Кьюар 14'. Образцы коллекции арахиса успешно репродуцируются в Краснодарском крае и в Астраханской области (Туз и др., 2018). Некоторые зоны юга РФ (Северный Кавказ, Южное Поволжье) соответствует требованиям к возделыванию арахиса (Вахрушева, 1998). Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что создание исходного материала и новых отечественных сортов актуально.

Арахис обыкновенный является природно-трансгенным растением. Природно-трансгенными называют растения с последовательностями Т-ДНК, называемой клеточной (клТ-ДНК), полученной в ходе эволюции от агробактерий. К началу 2021 года природно-трансгенные виды были описаны в 36 родах покрытосеменных растений. В составе клТ-ДНК в основном содержатся гены синтеза опинов. КлТ-ДНК арахиса содержит ген *cis*, кодирующий кукумопин-синтазу ответственную за синтез кукумопина. Функции клТ-ДНК до сих пор не выяснены, но предполагается, что она может давать растениям, ее содержащим, эволюционное преимущество. Возможно, синтез опинов в корнях арахиса влияет на микробное сообщество в ризосфере и на ризобии в клубеньках, изменяя хозяйственно ценные признаки.

Цель работы:

Охарактеризовать генетическое разнообразие и изменчивость арахиса культурного по важным для селекции биологическим признакам.

Задачи:

1. Эколого-географическое испытание коллекционных образцов арахиса в двух пунктах, различающихся по почвенно-климатическим условиям (полупустынная и степная зоны).
2. Анализ проявления хозяйственно ценных, морфологических признаков и биохимических показателей образцов арахиса в разных почвенно-климатических условиях.
3. Секвенирование генов синтеза опинов в коллекционных образцах арахиса, анализ уровня их экспрессии в разных органах растений и выявление взаимосвязи уровня их экспрессии с проявлением хозяйственно ценных признаков.

Методология и методы исследования. Методология исследования основана на традиционных и современных подходах к биологическим исследованиям, анализе теории и новых разработок, применяемых в современной науке. Используются следующие методы: сравнительно-

морфологическое описание растений, молекулярно-генетические методы (ПЦР, ПЦР в реальном времени, секвенирование по Сэнгеру), аналитический (стандартные методы *in silico* анализа данных и статистического анализа).

Научная новизна: впервые проведено трехлетнее эколого-географическое испытание 63 образцов арахиса коллекции ВИР и выявлены признаки, изменчивость которых определяется генотипом и признаки, в большей степени зависимые от условий среды. Впервые установлено, что во всех исследованных образцах арахиса в геноме А присутствует интактная последовательность гомолога гена кукумопин-синтазы. Продемонстрирована тканеспецифичная экспрессия гена, контролирующего синтез опина у арахиса, выявлена внутривидовая изменчивость по уровню его экспрессии.

Теоретическая и практическая значимость В результате проведенного секвенирования гомолога гена, контролирующего синтез кукумопинсинтазы (*cus*), выявлен полиморфизм нуклеотидной последовательности у разных образцов. Варианты аллелей депонированы в базе NCBI. У всех изученных образцов выявлена ненарушенная рамка считывания, что дает возможность синтеза полноразмерного белкового продукта.

По итогам трехлетнего полевого изучения выделены образцы с высокой продуктивностью и вызреваемостью в Краснодарском крае и Астраханской области, которые послужат исходным материалом для селекции новых сортов. Созданы и переданы в Государственную комиссию по сортоиспытанию сорта арахиса 'Бемоль' и 'Виктория'.

Полученные результаты используются в образовательных программах магистратуры кафедры Генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского университета, НТУ "Сириус", а также в курсах образовательных программ ВИР.

Положения, выносимые на защиту:

1. При создании исходного материала для селекции новых сортов арахиса необходимо первоначально вести отбор по массе 1000 семян и бобов, так как изменчивость этих признаков определяется генотипом на 70-75% и менее

других признаков зависит от условий внешней среды. На втором этапе отбора необходимо учитывать вызреваемость и продуктивность отбираемых образцов арахиса.

2. Созданные нами сорта арахиса 'Виктория' и 'Бемоль' пригодны для возделывания на юге РФ южнее 48⁰ северной широты.

3. Гомолог гена, контролирующего синтез кукумопина, экспрессируется в разных органах арахиса и самый высокий уровень экспрессии отмечен в корнях.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечена проведением исследований с использованием классических и современных методов, подтверждается их воспроизводимостью в ходе эксперимента и статистической обработкой данных. Интерпретация полученных результатов, научные положения и выводы подкреплены иллюстративным материалом и таблицами. Данные диссертационного исследования представлены на 5 международных и Российских конференциях.

Публикации. Результаты исследования опубликованы в 9 статьях в журналах, рекомендованных ВАК и входящих в международные системы цитирования Scopus и Web of Science.

Работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM – 2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования».

При поддержке грантов:

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения No 075-15-2020-922 от 16.11.2020 на создание и развитие Научного центра мирового уровня "Агротехнологии будущего". Мини-проект в составе НЦМУ «Агротехнологии будущего»: «Создание новых высокоурожайных сортов арахиса, пригодных для возделывания в условиях юга РФ» в рамках направления 2 «Разработка платформы для ускоренной

селекции высокоурожайных и устойчивых сортов и гибридов растений, обладающих заданными характеристиками качества»;

РНФ № 21-14-00050 – «Агробактериальная трансформация в эволюции растений».

Личный вклад автора. Основная часть исследовательской работы выполнена автором самостоятельно. Некоторые исследования выполнены в сотрудничестве с другими коллегами, что отражено в совместных публикациях.

Структура работы. Диссертация изложена на 181 странице. Состоит из введения, материалов и методов, основной части, содержащей 27 таблиц, 25 иллюстраций, заключения, списка литературы, который включает 158 наименований, из них 132 на иностранном языке, и 13 приложений.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Биологическая характеристика арахиса

1.1.1. Систематика

Систематика рода *Arachis* L. (семейство Fabaceae) неоднократно претерпевала изменения. Южноамериканский вид *A. hypogaea* был первоначально описан Линнеем в 1753 году. В 1841 году Бентам дал роду его первую расширенную таксономическую трактовку. К середине XX века было описано 30 видов арахиса (Krapovickas, 1969), произрастающих в Южной Америке (Zhukovsky, 1971). Ранние классификации основывались на особенностях роста и ветвления.

В настоящее время на основании морфологических характеристик, географического распространения и межвидового гибридного сродства род арахиса делится, по меньшей мере, на 80 видов, принадлежащих к 9 секциям, включая 30 диплоидных диких видов в секции *Arachis*, один тетраплоидный дикий вид *A. monticola* Krapov. & Rigoni (AABB, $2n = 4x = 40$) и один тетраплоидный культурный вид *A. hypogaea* (AABB, $2n = 4x = 40$) (Barkley et al., 2007). Дикие виды представлены как однолетними, так и многолетними формами. Происхождение культурного арахиса было спорным вопросом в

течение многих лет, но полученные позднее результаты секвенирования и анализа подтверждают образование этого вида путем гибридизации *A. duranensis* Krapov. & W.C. Greg и *A. ipaensis* Krapov. & W.C. Greg. (Bertioli et al., 2019).

Диплоидные виды арахиса сгруппированы в несколько типов генома (А, В, D, F, G и К) на основе кариотипических особенностей, паттернов гетерохроматиновых полос и локусов рДНК, а также данных скрещивания (Silvestri et al., 2015).

Большинство диплоидных видов арахиса имеют геном А (Stalker, 1991). У диких диплоидных видов *A. cardenasii* Krapov. et W.C. Gregory (Smartt et al., 1978), *A. duranensis* (Kochert et al., 1991), *A. correntina* (Burkart) Krapov. et W.C. Gregory (Murty, Jahnavi, 1986) и *A. villosa* Benth. (Raina et al., 2001) 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) выделил в *A. hypogaea* два подвида: *subsp. hypogaea* и *subsp. fastigiata* (Waldron) Krapov. et W.C. Gregory. Большинство дикорастущих видов – многолетники (Zhukovsky, 1971).

Все виды *Arachis* имеют надземные клейстогамные и хазмогамные цветки, но подземные плоды, что серьезно ограничивает распространение их семян. Виды в основном высокоавтогамны, а популяции в основном небольшие и изолированные, что ограничивает дрейф генов (Krapovickas and Gregory, 1994).

Идентификация видов *Arachis* осложняется скудностью отличительных морфологических признаков. Часто эти признаки проявляются в сочетании с другими диагностическими характеристиками с различной степенью выраженности, а часть видов демонстрирует высокую внутривидовую изменчивость, что усложняет их классификацию (Singh et al., 2004). Некоторые виды морфологически настолько похожи, что их считают видами-близнецами. Для выявления таких случаев необходимо наблюдение за ключевыми

морфологическими характеристиками растений на разных фенологических стадиях (Seijo et al., 2021).

Например, *A. magna* Краров. Et al. и *A. ipaensis* морфологически очень похожи и имеют полную репродуктивную совместимость (Moretzsohn et al., 2009). Их близость подтверждает гипотезу о том, что *A. ipaensis* был перенесен доисторическими людьми на юг из региона *A. magna* в ареал *A. duranensis*.

1.1.2. Биология арахиса

Арахис культурный – однолетнее травянистое растение. Корень стержневой, ветвистый. Стебли прямостоячие, слегка четырёх-пятигранные, голые или опушённые, с направленными вверх или с лежащими ветвями. Листья сложные, парноперистые, черешковые. Цветки мотылькового типа желтые или оранжевые, сидячие или на коротких цветоножках, клейстогамные и хазмогамные. (Лузина, 1941). Плоды арахиса – невскрывающиеся бобы различной величины и формы. Семян в бобе 1–6, но чаще 1-2. Семена округлые или удлинённо-овальные. Семенная кожура светло-розовая, розовато-коричневая, темно-красная, черно-фиолетовая, бобы образуются под землей.

При промышленном возделывании используется только вид *A. hypogaea* L., подразделяемый на три большие группы по типу габитуса: кустовую, полукустовую и стелющуюся (Лузина, 1954) Для механизированной уборки больше подходят сорта кустовой группы, к которой относятся сортотипы: Испанский, Улучшенный испанский, Валенсия, Яванский, Порто-аллегро, Теннесси белый и Теннесси красный (Лузина, 1954). Сортотип – совокупность признаков (куста, размера и окраски бобов) по которым различаются группы сортов. Стелющиеся формы более продуктивны, но не приспособлены к механизированной обработке почвы и уборке.

Биология цветения и характер плодообразования у арахиса сильно отличаются от других культурных растений и демонстрирует уникальный способ размножения – его бобы развиваются под землей (Smith, 1950). Арахис развивает воздушные клейстогамные цветы, но подземные геокарпические

плоды (стручки), что обеспечивает адаптацию к условиям окружающей среды. 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, но морфология цветков не отличается друг от друга.

Важной адаптивной чертой арахиса является образование гинофоров (рис. 1). Они развиваются после двойного оплодотворения из-за удлинения интеркалярных меристематических клеток, присутствующих в базальной области завязи (Moctezuma, 1998). Гинофоры обладают способностью к положительному гравитропизму, двигаются в направлении почвы и проникают в нее, образуя подземные бобы. Гинофор проникает в почву на глубину около 8–9 см и прекращает свой рост. Без проникновения гинофора в почву происходит аборт развивающегося эмбриона и урожайф значительно снижается. Поэтому производство арахиса критически зависит от образования гинофоров и их проникновения в почву (Luz et al., 2011).



Рис. 1. Гинофоры арахиса (обозначены красными стрелками) (Ветова, Matveeva, 2021).

Исследования показали важность типа почвы для развития гинофоров и бобов, оптимальным вариантом можно считать суглинистые почвы, по сравнению с глинистым и песчаным типом почвы. Суглинистая почва обеспечивает умеренную аэрацию и влажность наряду с сохранением плодородия, благоприятные условия для роста растений и гинофора (Zhao et al., 2015). Для оптимального роста подземных гинофоров и бобов требуется слегка кислая почва с pH от 6,0 до 6,5, но приемлемым является диапазон от 5,5 до 7,0.

Восприятие механического стимула при погружении в почву и отсутствие света имеют важное значение для превращения гинофора в боб - без этих сигналов эмбрион abortируется (Moctezuma, 2003), что приводит к образованию твердых одревесневших зеленых воздушных гинофоров, которые также можно наблюдать в условиях дефицита воды. Анатомия неоплодотворенного гинофора по сравнению с оплодотворенным сильно различается, причем у первого в клетках отсутствуют крахмальные гранулы (Moctezuma, Feldman, 1999). Воздушный гинофор состоит из многоклеточных трихом длиной от пяти до шести клеток, из которых конечная клетка удлиняется по сравнению с первыми четырьмя-пятью проксимальными клетками (Webb, Hanse, 1989). После того, как гинофор проникает в почву, на его поверхности развиваются одноклеточные волоски, похожие на корневые. Интересно, что анатомически гинофор похож на стебель, но его поведение и функциональность после проникновения в почву больше напоминают корень (Moctezuma, 2003). Исключительными особенностями воздушного гинофора являются гладкий эпидермис и наличие многочисленных устьиц и чечевичек, которые постепенно исчезают и скрываются волосками (Webb, Hanse, 1989).

Воздушный гинофор способен к фотосинтезу (Zhao et al., 2015). Картирование протеома на стадиях размножения арахиса выявило экспрессию приблизительно 34 белков, связанных с фотосинтезом в воздушном гинофоре, таких как белки, связывающие хлорофилл a/b фотосистемы II типа I, белок-

энхансер выделения кислорода $1/2$, рубиско-активаза и пластоцианин представляющие собой подмножество основных белков, участвующих в фотосинтезе (Zhu et al., 2014). Количество этих фотосинтетических белков было резко сокращается в подземном гинофоре. В подземной части гинофора идентифицированы белки, связанные с множественным энергетическим метаболизмом, например, белки гликолитического пути — фруктозобисфосфаталядолаза и триозофосфатизомераза. Эти исследования также выявили дифференциальную экспрессию белков, участвующих в биосинтезе ауксина, этилена и гиббереллина.

Свет является наиболее важным фактором, влияющим на развитие зародышей и бобов арахиса (Zharare et al., 1998). Длительное воздействие света может уменьшить объем цветения и количество гинофоров, а также образование бобов (Quamruzzaman et al., 2018). Фоторецепторные фитохромы играют центральную роль в фотоморфогенезе и также, вероятно, участвуют в гравитропизме. Было обнаружено, что дальний красный и темнота могут вызывать развитие бобов, подавляя удлинение гинофоров, что предполагает, что фитохромы могут контролировать развитие гинофоров (Moctezuma, 2003). Темнота вызывает потерю флавоноидов за счет снижения экспрессии гена халконсинтазы, ключевого фермента в пути биосинтеза флавоноидов (Xia et al., 2013), что способствует развитию лигнина в развивающемся бобе за счет перенаправления субстрата на биосинтез лигнина.

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.

1.2. Использование арахиса

Для рациона питания жителей многих стран арахис — источник высококачественных белка и жиров. Обычно в арахисовых семенах содержание масла по данным разных авторов колеблется от 35 до 56%, и 20–30% белка

(Обыдало, Огарков, 2002; Settaluri et al., 2012). Масло арахиса активно используется в пищевой, консервной и масложировой промышленности, в фармакологии и на технические цели. 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). Кроме того, арахисовое масло обладает высоким содержанием антиоксидантов и фитостеролов (Zaaboul et al., 2018).

Повышенное содержание олеиновой кислоты препятствует окислению масла. Также потребление высокоолеинового масла снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний (Jones et al., 2014). Высокое содержание линолевой кислоты приводит к быстрому окислению и порче продуктов питания. Правильно обработанное арахисовое масло не содержит белков и может безопасно употребляться людьми с аллергией на арахис (Du Plessis, Steinman, 2004).

Основная масса белка арахиса состоит из глобулинов: арахина (до 25%) и конарахина (8%). Биологическая ценность белков арахиса связана с содержанием в них незаменимых аминокислот (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. Кроме того, в семенах арахиса высокое содержание витамина В1 и небольшие количества витаминов РР и Е, меди, магния, флавоноидов. (Ермаков, Ярош, 1976).

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 (Вахрушева, Переверзев, 1993).

1.3. Возделывание

Впервые в России арахис был высеян на территории Одесского ботанического сада в 1825 г. (Лузина, 1954). В Краснодарском крае первые посеы появились в 1894 г. В условиях Нижнего Поволжья пробные посеы были проведены в 20-х годах прошлого столетия. В 1920-1930 гг. арахис успешно культивировался в южных регионах Украины и России, где преобладают засушливые и полусушливые климатические условия, в частности, на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье, как указывают Обыдало и Огарков (2002).

С 1926 г. на селекционной станции ‘Круглик’ в Краснодарском крае изучали арахис, что позволило разработать приемы гибридизации. На основе селекционной станции был создан Всесоюзный (затем Всероссийский) институт масличных культур (ВНИИМК), и уже в 1934 г. в результате этих работ получены сорта ‘ВНИИМК 344’, ‘ВНИИМК 433’ и ‘Испанский улучшенный’. Затем исходный материал начали создавать методом внутривидовой гибридизации (высокоурожайные сорта ‘Краснодарец 14’ и ‘Краснодарец 13’). По данным сотрудников ВНИИМК Д.И. Обыдало и И.А. Огаркова (Обыдало, Огарков, 2002), перспективные линии арахиса имели массу 1000 семян 600–900 г, а некоторые с особо крупными семенами достигали 1200 г. В 1940 г. посеы арахиса в стране достигали 23,1 тыс. га.

В начале 2000-х годов производство арахиса в России практически прекратилось. В последующие годы, начиная с 2005 года, были внесены в Госреестр два новых сорта арахиса: ‘Отрадокубанский’, разработанный специалистами ВИР, и ‘Астраханский 5’, созданный сотрудниками ПАФНЦ РАН. В то же время импорт арахиса в РФ превышает 100 тыс. т ежегодно (Туз, 2018). В глобальном масштабе арахис переживает период роста производства, обусловленный расширением посевных площадей, внедрением высокоурожайных сортов и передовыми агротехнологиями. По данным ФАОСТАТ в 2024 г. площади посева под арахисом составили 38,6 млн га

(FAOSTAT, 2024), 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. 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). (FAOSTAT, 2024).

Арахис – теплолюбивое растение, семена его начинают прорастать при температуре 14–15°C. Всходы погибают при минус 1°C, взрослое растение – при минус 2°C. Период вегетации арахиса – 130–150 дней, оптимальная сумма эффективных температур 2600–3500°C (Вахрушева, 1998). При наличии подходящей температуры и условий влажности период цветения наступает раньше у всех без исключения форм и сортов арахиса. Количество цветков на растении изменяется в зависимости от температурных условий, независимо от длины светового дня, а с повышением температуры процент оплодотворенных цветков увеличивается. (Асфандиярова, 2009). Арахис не может возделываться в районах, где резкая смена температуры в течении суток обычное явление, так как это отрицательно сказывается на росте и развитии (Лузина, 1954).

Для выращивания арахиса благоприятны легкие почвы, плодородные, равнинные, песчаные и слабоглинистые черноземы, но лучшим вариантом считаются структурированные высокоплодородные почвы. На тяжелых глинистых или менее структурно прочных и слабозасоленных малогумусированных черноземах арахис требует более тщательного ухода. Также арахис довольно хорошо переносит сравнительно близкие грунтовые (незасоленные) воды с залеганием не более 80–100 см от поверхности почвы. На тяжелых, засоленных или истощенных почвах араич выращивать не рекомендуется. (Вахрушева, 1998).

Арахис очень требователен к чистоте почвы, а предпочтительными предшественниками для него являются озимые культуры, в частности пшеница и ячмень. Пропашные культуры в качестве предшественников могут увеличить урожай арахиса и снизить засоренность поля. Подсолнечник, свекла и

зернобобовые также могут использоваться как предшественники для арахиса (Асфандиярова, 2009). Арахис считается хорошим предшественником практически для всех однолетних культур.

До образования клубеньков на корнях растений арахис может испытывать дефицит азота и для борьбы с ним применяют азотные удобрения, которые вносят в период образования двух настоящих листьев. Хорошие результаты дает заражение семян арахиса перед посевом бактериальной культурой *Rhizobium*. Калийные удобрения вносят редко, только на почвах с дефицитом обменного калия. Перед цветением и в период массового плодообразования рекомендуется применять подкормку при содержании азота в листьях менее 4 % сухой массы (Шеуджен и др., 2013).

Посев рекомендуется проводить очищенными семенами, а не бобами, так как при таком подходе количество проростков будет выше на 40%. (Гумбатов, Халилов, 2010). В южных районах и субтропиках посев обычно проводят при температуре 15 °С в 10-сантиметровый слой почвы. Расстояние между рядами варьируется в пределах 30–90 см, а расстояние между растениями составляет 15-20 см. (Сейидалиев, Намазова, 2022).

В начале цветения необходимо проводить окучивание растений, для проникновения гинофоров в почву и образования бобов. Окучивание проводится несколько раз, с интервалом 10-15 дней для повышения урожайности. (Сейидалиев, Намазова, 2022).

Зависимость арахиса от продолжительности светового дня изучена недостаточно. Позднеспелые сорта арахиса сильнее реагируют на короткий день, чем среднеспелые, или раннеспелые сорта. Также установлено, что урожайность увеличивается у сортов арахиса, цветущих при коротком дне и имеющих короткий вегетационный период (Сейидалиев, Намазова, 2022).

Оптимальная влажность почвы для арахиса в период интенсивного цветения - 32,5%. При развитии бобов необходимы условия минимального увлажнения, так как это ведет к заболеванию растений и снижению урожайности. Признаками созревания являются пожелтевшие листья и темные

жилки на внутренней стороне бобов. Влажные бобы обрывают и высушивают, обмолачивают и очищают от земли. Хранят бобы в сухих хорошо проветриваемых помещениях (Сейдалиев, Намазова, 2022).

1.4. Основные направления селекции

Среди основных направлений селекции арахиса можно выделить повышение урожайности, улучшение качества масла и его жирнокислотного состава, устойчивость к накоплению афлотоксина, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам.

Для механизированной уборки требуются сорта кустовой или полукустовой форм, с компактным расположением бобов у основания куста и относительно прочным соединением с гинофорами. 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 (Обыдало, Огарков, 2002). Для создания таких сортов арахиса необходимо привлекать мировые генетические ресурсы культуры.

В коллекции ВИР представлено 1823 образца культурного арахиса из 74 стран. Образцы коллекции различаются по хозяйственно ценным и морфологическим характеристикам, жирнокислотному составу семян, содержанию белка и масла (Вахрушева, 1995; Гаврилова, 2020). Использование мировых генетических ресурсов арахиса может способствовать возрождению селекционной работы и возделыванию культуры в России.

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, в Северной и Южной Америке до 3 т/га. В Африке самая низкая урожайность, в среднем 1 т/га (Rami et al., 2014). К 2024 г. по данным ФАО

(FAOSTAT, 2024) урожаи арахиса значительно выросли и составили 4,6–4,9 т/га в США, Иране, Турции; 3,9–4,7 т/га – в Китае, 2,9 т/га – в Индии. Самые высокие урожаи бобов получают в Израиле (6,2 т/га – в 2022 г.). В европейских странах урожаи ниже: в Испании – 2,8 т/га, в Болгарии – 1,8 т/га.

Самый распространенный метод селекции арахиса – индивидуальный отбор, этим методом выведены все первые отечественные сорта. В мировой практике часто используется внутри- и межвидовая гибридизация, а в качестве доноров полезных признаков могут использоваться дикие виды. Более чем 70% площадей возделывания арахиса находятся в регионах, подверженных засухам, что является основным производственным ограничением, но наиболее критична засуха в конце сезона (Desmae et al., 2019). Для России в условиях более короткого периода для выращивания арахиса актуально создание скороспелых сортов (100-110 дней) (Обыдало, Огарков, 2002). Д. П. Умену удалось сократить вегетационный период арахиса до 125–130 дней (сорт ‘Желудь’), а затем до 115–120 у сорта ‘Краснодарец 13’ (Умен, 1967). Во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) вели отбор на раннеспелость и достигли существенных успехов.

В странах Африки вегетационный период разных сортов арахиса составляет от 110 до 160 дней (Бахарева, 1978). Для России актуально создание скороспелых сортов арахиса. Д. П. Умену удалось сократить вегетационный период арахиса до 125–130 дней (сорт ‘Желудь’), а затем до 115–120 у сорта ‘Краснодарец 13’ (Умен, 1967). Но для южных регионов России необходимы сорта с продолжительностью вегетационного периода 100–110 дней (Обыдало, Огарков, 2002). Во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) вели отбор на раннеспелость и достигли существенных успехов.

На производство арахиса может сильно повлиять ряд заболеваний, вызванных вирусами, грибами, бактериями, а также повреждения насекомыми и другими вредителями. Наиболее часто встречается поздняя пятнистость

листьев, вызываемая *Cercosporidium personatum* Berk. & Curt. Deighton, снижает урожай на 30–70% (Singh et al., 2011; Woodward et al., 2014). Устойчивость к *C. personatum* проявляет дикий вид *A. cardenasii* (Company et al., 1982), который был использован в селекции и с помощью межвидовой гибридизации были устойчивые гибриды *A. cardenasii* и *A. hypogaea*. К другим заболеваниям относятся: серая гниль (*Botrytis cinerea* Fr), корневая и стеблевая гниль (*Sclerotium rolfsii* Curzi). Устойчивость к этим патогенам обнаружена у сортов ‘Валенсия’, ‘Virginia Runner’, ‘African’ (Woodward et al., 2005; 2014). Ржавчина (*Puccinia arachidis* Speg.) также поражает арахис (Gowda et al., 1990), часто встречается совместно с пятнистостью листьев и снижают урожай на 50–70% (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’. На основе этих сортов получены линии, демонстрирующие увеличение урожайности бобов от 56% до 96% (Desmae et al., 2019).

В России актуальна селекция арахиса на устойчивость к фузариозному увяданию. Установлено, что все стелющиеся формы поражаются меньше, чем кустовые (Вахрушева, 1998).

Распространенными вредителями арахиса являются тли, майский хрущ, проволочный червь и нематоды. С помощью межвидовой гибридизации *A. cardenasii* и *A. hypogaea* получены устойчивые к нематоды формы (Simpson et al., 1993).

Частой проблемой является накопление в бобах арахиса афлотоксина, вызванное заражением штаммами патогенных грибов *Aspergillus flavus* Linkex Fr. и *A. parasiticus* Speare, что делает невозможным пищевое и кормовое использование продукции (Diener, Davis, 1969). Загрязнение афлатоксином является серьезным препятствием для мировой торговли арахисом (Monyo et al., 2012). Благоприятными условиями для развития заболевания являются теплый климат и невысокая влажность. Также бобы и семена заражаются *A.*

flavus при неправильной обработке и хранении после сбора. В исследовании Nigam et al. (2009) было описано большое количество линий арахиса, устойчивых к накоплению афлотоксина, включая пять линий, рекомендованных для выращивания.

Для повышения урожайности используют азотфиксирующие 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). Можно использовать азотфиксирующий арахис для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995). Для повышения урожайности используют компост из арахисовой ботвы с комбинированной инокуляцией (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Phosphobacteria*, *Rhizobium*) (Mathivanan, Jayaraman, 2019). Ризобактерии способствуют развитию растений влияя на регуляторы роста (ауксин, гиббереллин, цитокинин). Кроме того, некоторые ризобактерии способны вырабатывать фунгицидные соединения, отпугивающие патогены (Chen, 2006).

В современных условиях значительный вклад в селекционный процесс вносит генетика. Применение современных молекулярно-генетических методов позволяет идентифицировать важные гены хозяйственно ценных признаков или гены устойчивости к патогенам, что облегчает создание новых высокопродуктивных сортов.

1.5. Генетика признаков

Культивируемый арахис имеет широкое географическое распространение, но узкую генетическую основу. Многие ценные гены были утрачены в процессе одомашнивания, что привело к слабой устойчивости к болезням и стрессу. Существующие культивируемые сорта тесно связаны, и создание новых сортов путем скрещивания ограничено. При анализе родословных среди 191 сорта арахиса в Китае сорта с генетическим фоном 'Shitouqi' и 'Fuhuasheng' составили 63,4 % (Yin, 1999). Различные заболевания,

такие как пятнистость листьев, ржавчина и бактериальное увядание, становятся все более серьезными для культивируемого арахиса.

Ресурсы дикого арахиса могут оказаться ценным источником для селекции. Введение генов из дикого арахиса в культивируемые сорта является основным подходом к решению проблемы ограниченных генетических ресурсов культивируемого арахиса. Кроме того, после решения проблемы генетической трансформации можно проводить точное редактирование непосредственно на реципиентах с хорошими агрономическими признаками, используя технологию редактирования генов для быстрого получения линий арахиса с определенными исключительными аллельными вариациями.

Согласно некоторым данным, экспрессия генов устойчивости к пятнистости листьев преимущественно связана с рецептороподобными киназами, рецептороподобными белками и рецептороподобными цитоплазматическими киназами, которые инициируют защитные реакции против патогенна (Dang et al., 2021).

Ratod et al. (2020) изучили дифференциальную экспрессию генов в устойчивых и восприимчивых к заражению листовой ржавчиной генотипах арахиса и идентифицировали дифференциально экспрессируемые гены, ответственные за устойчивость растений. Дифференциальная экспрессия генов белков, связанных с патогенезом (тауматин-подобный белок, полигалактуроноза, этиленчувствительный фактор, MLO-подобный белок и белок F-box), была повышена в устойчивом генотипе, в то время как гены, кодирующие β -глюкозидазу, факторы транскрипции (WRKY, MYB) и кофеат O-метилтрансферазу, низко экспрессировались в восприимчивом генотипе. Несколько генов, связанных с устойчивостью к заболеваниям, такие как гены цитохрома p450, хитиназы, глутатион S-трансферазы и белка TIR-NBS-LRR, демонстрировали высокую экспрессию в устойчивом генотипе, что предполагает их важную роль в механизме защиты растений.

Rathod et al. (2020) проанализировали дифференциально экспрессируемые гены в устойчивых и восприимчивых сортах арахиса при заражении *Cercospora*

arachidicola Hori. В устойчивом сорте при поражении патогенном обнаружили повышенную экспрессию генов, связанных с устойчивостью растений (гены белка PR, полигалактуроназы, факторы транскрипции (WRKY, мус), пероксидазы, гены, вторичного метаболизма). В исследовании Gong et al. (2020) выявлена экспрессия других, связанных с резистентностью генов, таких как гены устойчивости типа CC-NB-LRR и полифенолоксидазы, которые играют важную роль в механизме устойчивости.

На сегодняшний день не так много информации доступно об идентификации генов устойчивости к инфекции *Aspergillus flavus*. Guo et al. (2011) обнаружили шестьдесят два гена в устойчивом сорте. Например, гены белка PR10, дефензина, кальмодулина, металлотioneин-подобного белка и супероксиддисмутаза Cu/Zn.

Группа Wang et al. (2016) идентифицировала важнейшие гены защиты от патогенов: гены белков NB-LRR, киназ, митоген-активируемой протеинкиназы, белков-ингибиторов полигалактуроназы, факторов транскрипции и других генов, связанных с фенилпропаноидным путем. Cui et al. (2022) проанализировали транскриптомы устойчивых и восприимчивых генотипов арахиса в ответ на *A. flavus* и определили гены-концентраторы, положительно связанные с устойчивостью к *A. flavus* в арахисе. Их анализ также показал повышение экспрессии генов, кодирующих белок PR10, киназу MAPK, 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатоксидазу, серин/треониновую киназу, цитохром P450, пектинэстеразу, белок SNARE SYP121, которые играют важную роль в устойчивости к инфекциям *A. flavus*.

Ген циклофиллина (AdCyp), который был экспрессирован в диком арахисе *A. diogeni* во время заражения пятнистостью листьев, был включен в геном табака под конститутивным промотором, что привело к повышению устойчивости к *Ralstonia solanacearum* и снижению восприимчивости у табака к *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* (Kumar & Kirti, 2011). AdRSZ21 является геном фактора сплайсинга, который был идентифицирован в дифференциально экспрессированных генах при заражении патогеном в генотипе дикого арахиса.

Его временная условная экспрессия в листьях табака привела к гибели зараженных клеток. Гибель клеток, вызванная AdRSZ21, была связана с повышением экспрессии гена пататинподобного белка и других генов, что указывает на его решающую роль в защите растений (Kumar & Kirti, 2012).

Ферменты вакуолярной обработки (VPE) представляют собой цистеиновые протеазы, которые опосредуют гибель клеток и активируются во время патогенных инфекций. Было обнаружено, что ген *AdVPE* активируется в устойчивом генотипе арахиса в ответ на заражение пятнистостью листьев. Экспрессия *AdVPE* в табаке привела к повышенной устойчивости к *P. parasitica* var. *nicotianae*, *Alternaria alternata* var. *nicotianae* и *Rhizoctonia solani* (Kumar et al., 2016). Экспрессия генов цинксвязывающей алкогольдегидрогеназы 2 (*AdZADH2*) также была дифференциально повышена в *A. diogeni*, диком арахисе, при заражении патогеном пятнистости листьев. Временная повышенная экспрессия *AdZADH2* под действием индуцируемого эстрадиолом промотора показала гибель зараженных клеток, которая была связана с повышением регуляции антиоксидантных ферментов, таких как SOD, CAT и APX, и белков, связанных с патогенезом (Kumar et al., 2016).

Особый интерес представляет генетика признаков, связанных с качеством и количеством масла в семенах арахиса. Дикий вид *A. appressipila* Krapov., W.C.Greg. демонстрирует 62,90% содержания масла в семенах, что является самым высоким показателем, обнаруженным на сегодняшний день. Кроме того, дикий арахис имеет большее количество цветков, до 387 цветков у *A. pusilla* Benth., хотя некоторые цветки диких видов арахиса не образуют гинофоров (Yu et al., 2008).

Известны мутанты арахиса с высоким содержанием олеиновой кислоты (80%) F435-2-1 и F435-2-2, обнаруженные в США в 1987 году (Norden et al., 1987). Этот фенотип с высоким содержанием олеиновой кислоты обусловлен рецессивными мутациями в двух гомологичных генах *ahFAD2A* и *ahFAD2B*, которые кодируют десатуразу жирных кислот (Moore and Knauff, 1989). Инактивация этого фермента предотвращает преобразование олеиновой

кислоты в линолевую кислоту в процессе синтеза жирных кислот, что приводит к изменению соотношения олеиновой кислоты к линолевой. Ген *ahFAD2A*, расположенный в геноме А арахиса, имеет мутацию основания G в A в позиции 448, а ген *ahFAD2B*, расположенный в геноме В, имеет вставку основания в позиции 442 (Yu et al., 2008). Эти мутации приводят к более высокому содержанию олеиновой кислоты и более низкому содержанию линолевой.

В настоящее время молекулярные регуляторные механизмы других важных признаков, таких как содержание масла, высокое содержание белка, устойчивость к пятнистости листьев, ржавчине и т. д., все еще неясны. Большинство хозяйственно ценных признаков арахиса (урожайность, качество семян, высота растений, устойчивость к стрессу), являются количественными признаками, контролируемые несколькими генами в связи с чем их идентификация сильно затруднена.

Исследователи используют различные методы геномики для идентификации многочисленных локусов QTL и генов-кандидатов, связанных с важными признаками в различных популяциях. Однако функции большинства генов не были проверены или были проверены только на модельных растениях, таких как *Arabidopsis* или табак, что привело к неясному пониманию ключевых генов и регуляторных путей, участвующих в формировании важных агрономических признаков у арахиса.

Zhang et al. (2019) построили генетическую карту высокой плотности арахиса и идентифицировали 27 QTL, связанных с весом и размером ядра арахиса. Lu et al. (2019) использовали технологию QTL-seq для идентификации двух QTL, определяющих устойчивость арахиса к бактериальному увяданию на хромосоме В02 и десяти локусов QTL урожайности на хромосомах А09 и В02. Другими исследователями были получены также локусы QTL кодирующие устойчивость к пятнистости листьев у арахиса, массу семян, период покоя семян и устойчивостью к холоду у сеянцев арахиса на стадии прорастания (Clevenger et al., 2018; Wang et al., 2022; Kumar et al., 2020; San et al., 2022).

Значительный прогресс был достигнут в идентификации локусов QTL, связанных с важными признаками у арахиса, с помощью анализа GWAS (genome-wide association studies) на основе естественных популяций. Ouyama et al. (2022) провели анализ GWAS на 787 образцах арахиса и определили 10 локусов QTL, определяющих высокое содержание олеиновой кислоты. Van et al. (2019) идентифицировали локусы QTL и гены-кандидаты, связанные с признаками урожайности арахиса. Din et al. (2022) провели анализ GWAS на китайских ресурсах зародышевой плазмы арахиса и получили 16 локусов QTL, кодирующих устойчивость к накоплению афлатоксина.

Проведение исследований функции генов арахиса имеет большое значение для увеличения урожайности арахиса, повышения устойчивости к болезням и стрессам, а также улучшения качества семян.

1.6. Растительно-микробные взаимодействия

Одним из примеров взаимодействия генотип-среда являются взаимодействия между растениями и микроорганизмами, с ризосферной микробиотой в частности. Ризосфера включает в себя корни растений и окружающую почву, находящуюся под воздействием корневых экссудатов, поэтому бактерии, обитающие в ризосферной почве, на поверхности корней растений и в корневой эндосфере, были названы ризобактериями. Они могут выборочно создавать колонии как внутри, так и на поверхности корня. Ризобактерии колонизируют корень растения весьма гетерогенно, покрывая 10–40% его поверхности (Danhorn, Fuqua, 2007), а некоторые эндофитные бактерии также могут жить внутри корневой ткани. Среда ризосферы богата многими организмами, включая грибы, простейшие, вирусы и бактерии. Более того, в микробиоме ризосферы преобладают не растительные факторы, и он во многом зависит от факторов окружающей среды, таких как тип почвы, температура и влажность.

Растения выделяют 11–40% продуктов фотосинтеза в ризосферу в виде корневых экссудатов, что делает ризосферу привлекательным местом для

колонизации микроорганизмами. Несомненно, на колонизацию полезными ризобактериями большое влияние оказывают количество и состав корневых экссудатов (Zhalnina et al., 2018).

Корневые экссудаты можно разделить на низкомолекулярные и высокомолекулярные соединения. Низкомолекулярные соединения включают сахара, органические кислоты, аминокислоты, спирты, летучие соединения и некоторые вторичные метаболиты. Соединения с высокой молекулярной массой менее разнообразны, эти соединения в основном представляют собой полисахариды и белки (Chagas et al., 2018). Глюкоза, секретируемая корнями, может действовать как хемоаттрактант для многих полезных ризобактерий (Feng et al., 2019). Так, D-галактоза, секретируемая корнями огурца, усиливает хемотаксис штамма SQR9 (Liu et al., 2020).

Некоторые из низкомолекулярных соединений обладают антимикробной активностью (Feng et al., 2021). Например, активные формы кислорода, вырабатываемые корнями пшеницы, отпугивают ризобактерий (O'Neil et al., 2020).

Многие вторичные метаболиты растений и небольшие пептиды также обладают различной антимикробной активностью против патогенов (Chagas et al., 2018). Однако некоторые из этих соединений обладают избирательной антимикробной активностью и могут выступать в качестве источника углерода для полезных ризобактерий. Ризобактерии, которые могут метаболизировать антимикробные вещества, секретируемые корнями, демонстрируют более высокую эффективность колонизации ризосферы и корней. Выделяемые корнями токсичные соединения камалексин и бензоксазиноиды, которые являются признаками корневого иммунного ответа, способствуют колонизации полезными *Pseudomonas* (Koprivova et al., 2019). Терпены и терпеноиды, подавляющие рост патогенов, также могут способствовать росту специфических полезных ризобактерий (Schulz-Bohm et al., 2018). Ароматические соединения, выделяемые корнями, в качестве механизма защиты от патогенов также привлекают некоторые микроорганизмы, служа им

источниками углерода (Lattanzio et al., 2006). Leibs et al. (2015) продемонстрировали, что салициловая кислота, ароматическая сигнальная молекула, участвующая в защитной реакции растений, может использоваться полезными бактериальными штаммами как источник питательных веществ.

Некоторые исследователи предполагают, что растение, подвергнутое стрессу, может привлекать полезные бактерии для колонизации ризосферы (Rolfe et al., 2019).

Рост бактерий и питание являются наиболее важными факторами, влияющими на успех колонизации ризосферы. Способность использовать питательные вещества из корневых экссудатов имеет решающее значение для занятия ризобактериями ризосферных ниш (Lopes et al., 2023). Из-за большого количества организмов в ризосфере неизбежна конкуренция за ограниченные элементы, особенно за относительно дефицитные, необходимые для колонизации, такие как фосфор, железо, цинк и марганец (Zai, Shmidt, 2017). Так, дефицитное питательное вещество становится лимитирующим фактором для роста бактерий и образования биопленок. Кроме того, эти элементы необходимы растениям для роста, что приводит к жесткой конкуренции за фосфор и железо в ризосфере.

Питательные вещества из корневых экссудатов растений могут избирательно способствовать колонизации определенными ризобактериями (Wang et al., 2022). Например, Huang et al. (2019) обнаружили, что специализированные тритерпены (талианин), сложные эфиры талианиловых жирных кислот и арабидин в корневых экссудатах *Arabidopsis* влияют на микробиоту корня, усиливая или ингибируя рост специфических бактерий. Ризобактерии, которые могут избирательно метаболизировать определенные тритерпены в качестве источников углерода, демонстрируют более эффективную колонизацию ризосферы. Секретируемое корнями соединение 1-аминоциклопропан-1-карбоновая кислота (АСС), которое является предшественником этилена, может использоваться только бактериями с АСС-деаминазой. Эти бактерии могут разлагать АСС как источник азота, что дает

им значительное преимущество при колонизации ризосферы (Li et al., 2019). Было продемонстрировано, что инозитол, секретируемый растениями в качестве питательного вещества, также важен для регуляции колонизации ризобактериями (O'Banion et al., 2023), а консервативный кластер метаболизма инозитола у *Pseudomonas* способствует успешной конкуренции за питательные вещества в ризосфере (Sánchez-Gil et al., 2023).

Кроме того, соединения корневых экссудатов могут разлагаться специфическими бактериями, а образующиеся метаболиты будут способствовать колонизации другими бактериями. Предполагается, что этот эффект может в значительной степени участвовать в регуляции колонизации корней полезными ризобактериями (Sasse et al., 2018).

Как правило, несимбиотические полезные ризобактерии могут колонизировать широкий спектр растений. Однако для симбиотических и патогенных бактерий наблюдается относительно строгий отбор хозяев. Изоляты, принадлежащие к *Rhizobiaceae*, заражают только бобовые культуры с высокой специфичностью к растению-хозяину. Один штамм ризобий не может колонизировать разные сорта одного и того же вида растения-хозяина. Это мнение полностью подтверждается результатами Dong et al. (2021), которые обнаружили, что *Medicago truncatula* Gaertn. обладает программой SHR-SCR в кортикальных клетках, которая специфически взаимодействует с ризобиями для образования клубеньков. Ризобии в основном используют углеводы растений-хозяев в качестве ресурсов углерода и обогащают почву аммиаком во время симбиоза (Yang et al., 2022).

Влияние вторичных метаболитов на микробиоту у растений рода *Arachis* также довольно часто встречается в природе. Органические кислоты в корневых экссудатах арахиса, в том числе лимонная, яблочная и щавелевая кислоты, способствуют образованию в его ризосфере бактериальной биопленки полезного штамма ризобактерий *Burkholderia* (Han et al., 2023). Chen et al. (2014) обнаружили, что корень арахиса может чувствовать цианидный стресс,

вызываемый соседними растениями маниоки, и вырабатывать этилен, чтобы привлечь полезные ризобактерии и приспособиться к стрессовой среде.

Ризосферные микроорганизмы играют важную роль в росте и здоровье растений. Ризобактерии имеют большой потенциал для использования в сельскохозяйственном производстве, поскольку они выполняют множество полезных функций, таких как стимуляция роста растений и повышение их устойчивости к абиотическому стрессу путем секреции фитогормонов и некоторых специфических сигнальных молекул, а также защита растений-хозяев путем индукции системной устойчивости и прямого антагонизма с почвенными патогенами (Pieterse et al., 2014). Полезные ризобактерии могут быть использованы в сельском хозяйстве в качестве биоудобрений или биоинокулянтов.

Особенно важно изучение растительно-микробных взаимодействий для арахиса, так как это азотфиксирующее растение, на продуктивность которого влияет успешность инокуляции ризобактериями и образование клубеньков.

1.7. Особенности ризобияльного симбиоза арахиса

Основная цель селекционного процесса – повышение урожайности. Она может быть достигнута разными способами. Один из возможных путей для бобовых – увеличение эффективности симбиоза с азотфиксирующими почвенными бактериями, которые называются ризобиями. Для арахиса, как для азотфиксирующего растения, большое значение имеет симбиоз с ризобактериями и образование клубеньков. Синтез вторичных метаболитов корнями арахиса влияет на процесс инокуляции и, соответственно, на хозяйственно ценные признаки.

Симбиоз бобовых и ризобий начался около 58 млн лет назад. Органически фиксированный азот может быть использован непосредственно растением и, что выгодно, менее подвержен денитрификации, улетучиванию и выщелачиванию (Sprent, 2007).

Ризобии — диазотрофы, класс α -протеобактерий. Включает роды: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mmethylobacterium*, *Phyllobacterium*, *Ochrobactrum*, *Shinella* и *Devosia*. Описаны также некоторые другие клубеньковые бактерии, принадлежащие к родам *Burkholderia*, *Cupriavidus* и *Herbaspirillum*, относящиеся к классу β -протеобактерий (Weir, 2019).

Разные виды и штаммы ризобий взаимодействует только с определенными группами бобовых. Процесс образования клубеньков состоит из нескольких этапов взаимодействия между растением и бактериями, начиная от начального прикрепления ризобий и возникновения инфекции до развития клубеньков, характеризующегося сложной передачей сигналов между растениями и ризобиями.

Арахис образует клубеньки с ризобиями, принадлежащими к роду *Bradyrhizobium* (Nkot et al., 2008). Морфофизиологическими и молекулярными методами в разных географических регионах отмечен высокий уровень видового разнообразия и эффективности фиксации симбионтов (Mokgehle et al., 2014). Вариабельность эффективности фиксации, безусловно, связана с внутренними особенностями ризобий и способностью растений-хозяев распознавать и сохранять совместимость с ними. Возможно, этот процесс включает в себя сложное эволюционное явление, включающее горизонтальный перенос симбиотических генов в штаммы ризобий и специфические генотипы бобовых, расположенные в различных географических зонах. Например, анализ 35 штаммов рода *Bradyrhizobium* показал очень высокое сходство (95–100%), а также подтвердил, что *Bradyrhizobium* является основным симбиотиком арахиса во всем мире. Также известно, что клубеньки арахиса включают широкий спектр видов *Bradyrhizobium* (Chen et al., 2014).

Симбиоз корней и клубеньков позволяет бобовым растениям содержать диазотрофные бактерии внутриклеточно (Kistner et al., 2002). Установление симбиоза включает инвазию ризобий через эпидерму корня и органогенез клубеньков через клетки коры корня. Однако существует альтернативный

способ инвазии ризобий - проникновение в трещины, при котором ризобии проникают межклеточным путем через основание бокового корня. Примерно 25% бобовых адаптированы к «проникновению через трещины», например *Arachis sp.*, *Stylosanthes sp.* и *Aeschynomene sp* (Sprent, 2007). У этих видов ризобии напрямую получают доступ к кортикальным клеткам для развития зачатков клубеньков, а инфицированные клетки многократно делятся с образованием зрелого эскиноменоидного клубенька, в котором ядро инфицированной зоны остается отделенным от неинфицированных клеток ризобиями (Fabre et al., 2015). Эффективность фиксации азота арахисом относительно низка по сравнению с другими видами бобовых, что оставляет возможности для улучшения.

Симбиоз с ризобиями чувствителен к стрессу, что влияет на эффективность фиксации азота и урожайность растения-хозяина. Температура оказывает сильное влияние на выживаемость ризобий, так как арахис обычно растет в районах с температурой поверхности почвы выше 35 °C (Stalker, 1997). Благоприятная температура для ризобий в культуре 28–31 °C, многие из них не способны расти при 37 °C, в том числе некоторые симбионты арахиса (Kishinevsky et al., 1992). В случае арахиса при 37 °C сообщалось, что продукция биомассы ризобий несколько снижается, содержание в клетках низкомолекулярных олигосахаридов значительно увеличивается, а синтез нейтральных глюканов замедляется. Повышение температуры корня арахиса до 37 °C уменьшало фиксацию азота *Bradyrhizobium*, не влияя на клубенькование; однако при повышении температуры корня до 40 °C образование клубеньков полностью подавлялось (Dardanelli et al., 1997).

Осмотический и солевой стресс могут влиять на рост почвенных ризобий, ограничивая колонизацию корней, развитие клубеньков и их функционирование. У ризобий арахиса были обнаружены изменения липидного состава мембран в ответ на засоление и изменение содержания трегалозы в ответ на осмотический стресс. Применение 100 мМ NaCl полностью ингибировало образование клубеньков на арахисе штаммами *Bradyrhizobium*

(ATCC10317, TAL1000, SEMIA 6144), и только TAL1371 был способен индуцировать образование клубеньков, но эффективность клубенькообразования была значительно снижена. Однако, растения арахиса, подвергнутые осмотическому стрессу (20 мМ ПЭГ6000), показали нормальную структуру клубеньков (Dardanelli et al., 2009).

Angelini et al. (2015) показали, что рост ризобий арахиса в кислой почве отрицательно влияет на их способность колонизировать корни и образовывать корневые клубеньки. Интересно, что при инокуляции арахиса кислототолерантными изолятами уменьшения количества клубеньков не наблюдалось. Эти исследования показывают, что кислотоустойчивые изоляты могут использоваться в качестве источника штаммов для стимулирования производства арахиса на кислых почвах.

Пониженная влажность негативно влияет на клубенькообразование, даже при искусственном внесении в почву бактериальных препаратов клубеньковые бактерии развиваются плохо или полностью отсутствуют (Лузина, 1954).

Прежде чем проникнуть в ткани корня бобовых, ризобии колонизируются вблизи поверхности корня. До передачи сигнала о предварительной инфекции ризобии начинают агломерироваться вокруг корня в виде микробной биопленки. Бактериальная популяция внутри ризосферы взаимодействует друг с другом через секрецию молекул, передающих сигнал гомосерин-лактона. Бактериальные адгезины и лектины стенок растительных клеток могут способствовать прикреплению определенных классов бактерий к поверхности корня. Восприятие бактериального Nod-фактора приводит к морфологическим, физиологическим и молекулярным реакциям в корнях. Наибольшая эффективность прикрепления ризобий к корням наблюдалось на поздней логарифмической и ранней стационарной фазе развития бактерий (Chen et al., 2014). Также, Dardanelli et al. (2003) сообщили об участии белков на поверхности клеток *Bradyrhizobium* sp. во время инвазии.

Развитие ризобияльной инфекции требует наличия экзополисахаридов. Был использован мутант арахиса с нарушением экзополисахарида, чтобы

понять его роль во взаимодействии ризобий с корнями арахиса. Инокуляция арахиса этим мутантом вызывала развитие меньшего количества клубеньков, что приводило к снижению сухой массы побегов и снижению содержания азота в различных органах. Изучение узелков, индуцированных мутантом, подтвердило низкую заселенность узелков небольшим количеством бактериоидов и привело к образованию пустых, неазотфиксирующих узелков. Это указывает на то, что ризобиальный экзополисахарид играет важную роль в установлении эффективного симбиоза посредством проникновения в трещины (Mazur et al., 2002). Кроме того, поскольку в арахисе не образуются инфекционные нити, Morgante et al. (2007) предположили, что экзополисахариды участвуют в уклонении от защитных реакций растений. Это подтверждается также тем фактом, что по сравнению с ризобиями, которые заключены в инфекционные нити, ризобии, распространяющиеся между клетками, постоянно подвергаются воздействию защитной системы растения и, следовательно, требуют подавления защитной системы растения.

Успешное завершение органогенеза клубеньков после бактериальной интернализации приводит к активному клубеньку. Клубеньки развиваются в пазухах боковых выступов корней и имеют детерминированный характер, сплюснуто-сфероидную форму диаметром 1–5 мм, лишены вкраплений неинфицированных клеток в центральной части. После того, как инвазированные кортикальные клетки перестают делиться, брадиризобиальные клетки, ранее имеющие палочковидную форму, дифференцируются в опухшие сферические бактериоиды, которые изолированно инкапсулируются в перибактериальные мембранные мешочки (Corby et al., 1988).

После формирования симбиотически функциональных клубеньков дифференцированные бактерии (бактериоиды) преобразуют молекулярный азот в ионы аммония. В результате корни бобовых начинают выделять флавоноиды, которые накапливаются в ризосфере. Эти соединения активируют бактериальный белок-регулятор транскрипции NodD, который, в свою очередь, индуцирует транскрипцию других генов клубенька (*nod*, *nodI* и *nodJ*-генов),

продукты которых участвуют в синтезе и секреции основных сигналов клубенькования ризобий, называемых Nod-факторами (Nod-факторы).

Чтобы использовать современные технологии селекции, необходимо правильно фенотипировать разнообразный набор линий зародышевой плазмы на предмет клубнеобразования и его составляющих признаков в различных средах и структурах почвы. Не менее важно установить взаимосвязь между эффективностью образования клубеньков и урожайностью в дополнение к оценке доступности остаточного азота для следующего сельскохозяйственного сезона. Поэтому важно понимать все вышеупомянутые факторы, связанные с фиксацией азота арахисом, чтобы использовать имеющуюся генетическую изменчивость для разработки улучшенных сортов с высокой способностью к фиксации, а также для возможности экономии затрат.

Арахис является важным источником продуктов питания, кормов и пищевого масла. Его способность вступать в симбиотические отношения с азотфиксирующими ризобиями оказывает сильное влияние на окружающую среду. Улучшение процессов клубенькования и фиксации азота можно рассматривать как важнейший шаг на пути к повышению устойчивости сельского хозяйства, рециркуляции питательных веществ, биоразнообразия почвы и даже продовольственной безопасности.

1.8. Взаимодействие *Agrobacterium* с растениями и природная трансформация

Агробактерии – род почвенных бактерий, принадлежащих к семейству Rhizobiaceae, которые способны переносить T-ДНК в клетки растений. T-ДНК встраивается в растительный геном и индуцирует образование корневых галлов или бородатых корней, синтезирующих опины.

На основе математических моделей и данных полиморфизма длины амплифицированных фрагментов (AFLP), *Agrobacterium tumefaciens* были классифицированы на десять отдельных видов с прерывистой нумерацией, например, G1–G9, за которой следует G13, в результате реклассификации

некоторых ранее установленных видов в другой род, например, *Agrobacterium rhizogenes* в *Rhizobium rhizogenes* (Gan, Savka, 2018). На геномном уровне *Agrobacterium* определяется как род семейства Rhizobiaceae (Ormeno-Orrillo et al. 2015).

Когда-то принадлежавшие к трем разновидностям одного и того же рода, фитопатогенные *Agrobacterium tumefaciens*, *Agrobacterium vitis* (теперь *Allorhizobium vitis*) и *Agrobacterium rhizogenes* (теперь *Rhizobium rhizogenes*) теперь принадлежат к трем разным родам. Кроме того, с созданием рода *Neorhizobium*, который является сестринской группой для *Agrobacterium*, *Agrobacterium* теперь может оставаться подходящим названием рода для монофилетической клады в пределах семейства Rhizobiaceae (Gan, Savka, 2018).

Все три вида, заражая растение и трансформируя его своей Т-ДНК. *A. tumefaciens* вызывает образование корончатых галлов обычно на корнях растения, также как и *A. vitis*. *R. rhizogenes* вызывает образование сильноразветвленных агеотропных корней (“бородатого корня”) (Владимиров и др., 2015).

Патогенные штаммы агробактерий содержат крупную (около 200 т.п.н.) плазмиду (pTi или pRi), несущую гены, отвечающие за заражение растения и сегмент Т-ДНК. Т-ДНК содержит онкогены, индуцирующие образование опухолей и гены опин-синтаз.

Опины получили название от D (+) - октопина или N²- (1-D-карбоксиэтил) - L-аргинина из *Octopus vulgaris* Cuvier (Morizawa, 1927), являются продуктом конденсации аминокислот с кетокислотами или сахарами и относятся к N-карбоксиалкиламинокислотам.

Впервые продукция опинов в опухолях растений была обнаружена в 50-х годах XX в. В результате исследования было отмечено, что агробактерии используют опины для питания, а также могут употреблять только те опины, синтез которых происходит в опухоли, индуцированной данным штаммом. Также набор синтезируемых опинов зависит от агробактерии, а не от растения.

Эти наблюдения, позволили предположить горизонтальный перенос генов из агробактерий в растения (Schell et al., 1979).

Тип опинов, синтезируемых в опухоли, зависит от генов Т-ДНК. На pTi- и pRi-плазмидах располагаются также гены катаболизма опинов и гены их транспорта. Все pTi- и pRi-плазмиды разделяются на группы по типу опинов, гены которых они содержат. Большинство опинов синтезируются в одну стадию и для их синтеза нужен один фермент, закодированный одним геном Т-ДНК (Владимиров и др., 2015).

Опины, вырабатываемые в корончатых галлах и бородачатых корнях, используются агробактериями в качестве источника углерода и азота. Они были определены как штамм-специфические метаболиты, т.е. могут разлагаться только соответствующими бактериальными штаммами. Некоторые соединения, синтезируемые трансформированными клетками, такие как метиопин, не могут использоваться бактериями и поэтому были названы псевдоопинами (Flores-Mireles, 2012).

Агробактерии могут заражать различные виды растений и суммарно вызывают заболевания не менее чем у 1000 видов двудольных растений из 61 разного семейства (Otten, Matveeva, 2021).

Патогенность в значительной степени объясняется развитыми способностями к точному распознаванию и ответу на химические сигналы растительного происхождения. *Agrobacterium* воспринимает растительные сигналы для активации своих генов вирулентности, которые отвечают за перенос и интеграцию Т-ДНК из индуцирующей опухоль Ti-плазмиды в ядро растения. Экспрессия Т-ДНК в растениях-хозяевах приводит к продукции большого количества индол-3-уксусной кислоты, цитокинина и опинов. Индол-3-уксусная кислота и цитокинин стимулируют рост растений, что приводит к образованию корончатых галлов. В результате образуется трансгенная опухоль на нетрансгенном растении.

Agrobacterium и *Rhizobium* принадлежат к одному семейству и считаются таксономически близкими. Патологические и симбиотические состояния,

индуцированные этими двумя родами, также имеют много общих черт, включая способность перенаправлять морфогенез растений и наличие больших плазмид в геноме, участвующих во взаимодействии с растением. Так, перенос таких плазмид от *Rhizobium* к *Agrobacterium* или наоборот, приводит к экспрессии некоторых из кодируемых плазмидой симбиотических или патогенных генов в реципиенте-хозяине. Можно предположить, что присутствие опиноподобных соединений в *Rhizobium* также может быть использоваться бактериями для взаимодействия с растениями в симбиотических отношениях (Владимиров и др., 2015).

1.9. Природно-трансгенные растения

Горизонтальный перенос генов широко распространен у прокариот. Сравнительный и филогенетический анализ эукариотических геномов показывает, что значительное количество эукариотических генов также является результатом горизонтального переноса генов. Однако механизмы горизонтального переноса генов у эукариотических организмов изучены плохо. Доказательства генетического переноса от бактерий к многоклеточным эукариотам редки. Тесные контакты, часто обнаруживаемые в различных типах симбиозов, могут способствовать развитию горизонтального переноса генов между видами. Одним из наиболее изученных примеров естественного переноса от бактерий к растениям является перенос генов от *Agrobacterium sp.* к растениям. Растения с последовательностями клеточной Т-ДНК (кЛТ-ДНК) можно рассматривать как естественные генетически модифицированные организмы и называются природно-трансгенными.

КЛТ-ДНК впервые была обнаружена в 1982 году у представителя рода *Nicotiana*, *N. glauca* (Graham) Griseb. В 2012 году она также была найдена у *Linaria vulgaris* Mill. (Plantaginaceae) (Matveeva et al., 2012), а в 2014 году у *N. tomentosiformis* L. (последовательности ТА, ТВ, ТС и TD). Дополнительный тип последовательности (ТЕ) был обнаружен у *N. Otophora* Griseb. (Chen et al.,

2014). В 2015 году две последовательности (IbT-DNA1 и IbT-DNA2) найдены у *Ipomoea batatas* Lam. (Convolvulaceae) (Kyndt et al., 2015), но IbT-DNA1 не была обнаружена у диких видов батата. В результате этих исследований установлено, что перенос генов из агробактерий в различные виды растений происходил в природных условиях (Chen et al., 2017).

Согласно данным 2020 г. выявлены многочисленные примеры природно-трансгенных растений: новые Т-ДНК-подобные последовательности двудольных обнаружены у представителей 39 видов, 24 родов, 17 семейств и 12 порядков. Около 7% секвенированных видов двудольных трансформируются естественным путем. При предполагаемом количестве 175 000–200 000 видов двудольных можно предположить минимум 10 000 естественно трансформированных видов растений. Из 205 доступных последовательностей однодольных только последовательности *Dioscorea alata* L. и *Musa acuminata* Colla. содержат Т-ДНК-подобные последовательности (Matveeva, Otten, 2021).

Природные ГМО обнаружены в разных таксономических группах, в пределах порядков Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl., Fabales Bromhead, Rosales Bercht. & J. Presl., Cucurbitales Juss. ex Bercht. & J. Presl., Fagales Engl., Brassicales Bromhead, Myrtales Juss. ex Bercht. & J. Presl., Sapindales Dumortier, Caryophyllales Juss. ex Bercht. & J. Presl., Cornales Link, Ericales Bercht. & J. Presl., Lamiales Bromhead, Solanales Juss. ex Bercht. & J. Presl. К началу 2021 года в пределах 36 родов покрытосеменных растений были найдены природно-трансгенные виды. У большинства из них в составе клТ-ДНК содержатся гены синтеза опинов, на втором по численности месте виды содержащие в клТ-ДНК онкогены и гены опин-синтаз и у наименьшего числа видов в клТ-ДНК находятся только онкогены. Этому существует несколько объяснений. Например, при трансформации гены синтеза опинов первыми попадают в растительную клетку и в случае обрыва Т-ДНК в клетке остаются только гены опин-синтаз. Также возможно существование штаммов агробактерий, в Т-ДНК которых отсутствуют онкогены, но имеются гены кодирующие опин-синтазы.

По другой версии растения могли быть трансформированы протяженной Т-ДНК, но утратить онкогены в ходе эволюции (Matveeva, Otten, 2021).

Исследование последовательностей клТ-ДНК всех трех типов выявило, что некоторые гены сохранили свою исходную структуру, в то время как другие подверглись мутациям. Большинство интактных последовательностей отмечены среди генов, кодирующих опин-синтазы. В литературе и описанных видах природных трансгенов доминируют представители с *cus*-подобными последовательностями ДНК. На втором месте по частоте встречаемости находятся трансформанты с *mis*-подобными генами (Matveeva, Otten, 2021).

1.10. Клеточная Т-ДНК арахиса

Показано, что подгеномы арахиса эволюционировали ассимметрично, с подгеномом В, напоминающим состояние предков, и подгеномом А, претерпевающим больше нарушений гена, потерю, конверсию, пролиферацию транспозируемых элементов и снижение экспрессии генов в развитии семян.

В геномах видов рода *Arachis* выявлены гомологи агробактериальных генов, кодирующих гены синтеза опинов: кукумопин-синтазы (*cus*) и дезоксифруктозилглутаминсинтазы (*mas2'*), в геномах *A. hypogaea*, *A. duranensis* и *A. monticola* имеется полноразмерный ген *cus* с интактной *orf* (рис. 2).

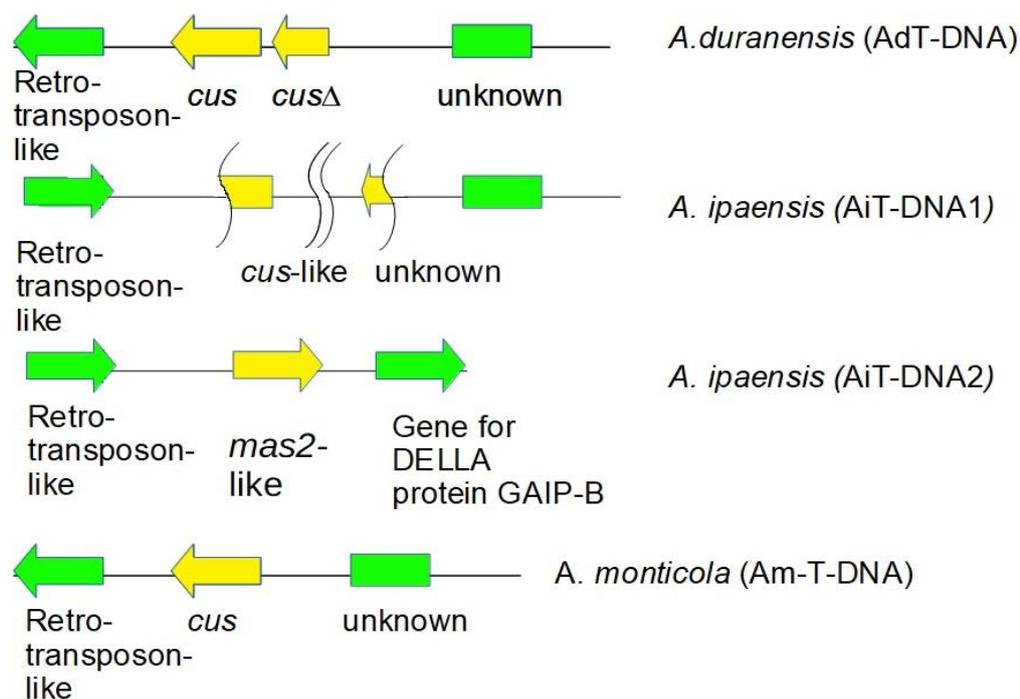


Рис. 2. Гомологи генов, контролирующих синтез опинов в клеточной Т-ДНК арахиса

В геноме А *A. hypogaea* ген интактный, в геноме В поврежден. Условно ген *cus* *A. ipaensis* можно разделить на три части. При сравнении интактного и поврежденного генов видно, что в геноме В его части располагаются в неправильном порядке. Первая часть гена находится в конце и отделена последовательностью протяженностью около 50 тыс. пар нуклеотидов, далее должны располагаться 1 и 2 части гена (рис.3). Возможно, это влияет на продуктивность растения, опины различного типа могут привлекать в ризосферу определенные микроорганизмы, которые ими питаются. Кроме того, так как ризобии и агробактерии близкородственны, синтез опинов также может влиять и на них.

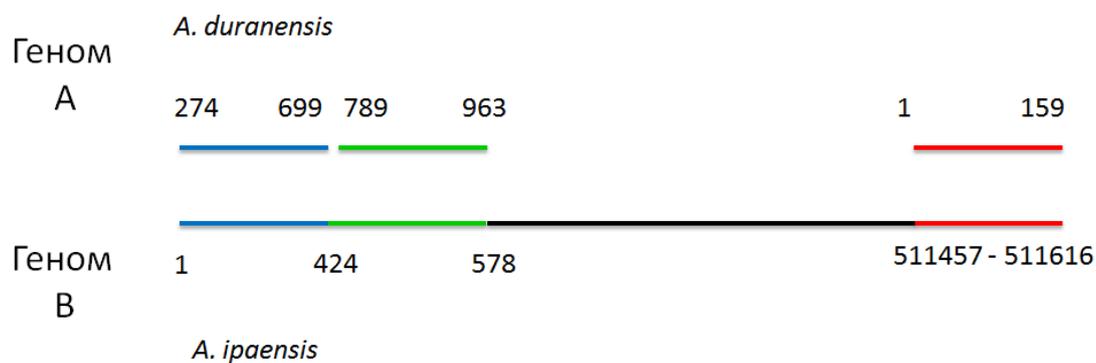


Рисунок 3. Сравнение генов *cus* *A. ipaensis* и *A. duranensis* (Matveeva et al., 2019).

При сравнении последовательностей частей гена видно, что они очень похожи, но все же немного отличаются (рис. 4-6; Matveeva et al., 2019).

```

A. duranensis      1  GTCCACAGTCTCTATAGTTAATAAAATTATCTGCTTTGTCTCAAAAGTGCTCTTCCAAC  60
A. ipaensis      511457 GTCCACAGTCTCTATAGTTAATAAAATTATCTGCTTTGTCTCAAAAGTGCTCTTCCAAC  511517
A. duranensis      61  GGCCTGCCAACTTCCCGAGCCTATCCCGTACTGCGGCAATATCTCACCAGAACCGG  120
A. ipaensis      511518 GGCCTGCCAACTTCCCGAGCCTATCCCGTACTGCGGCAATATCTCACCAGAACCGG  511577
A. duranensis     121  AGTTTCAATGTCTTCAGTCACCCGTCCTGACTGGACAAT  159
A. ipaensis     511578 AGTTTCAATGTCTTCAGTCACCCGTCCTGACTGGACAAT  511616

```

Рисунок 4. Сравнение последовательностей генов *cus* *A. ipaensis* и *A. duranensis*, часть 1

```

A. duranensis 274 TCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCC 333
  A. ipaensis    1 TCACCGCAGACCATGGTGTGATCTTGGACAACAGTAAACGGCAGCTCTCTCAACACATCG 60
A. duranensis 334 TCGCACAGCTCTGGATTTTCCCTTGGTTGCCAACGTGGCAACCACACCGATGCCCAATGGC 393
  A. ipaensis   61 TTGCAGAGATCCGGATTTTCAATTGGTTGTCAACGTGGCAATCACACTTATATCCAATGGC 120
A. duranensis 394 TGCCACGTGACGACGAACCTTTCTTCCGTGCGCCACGTGGACTCGACGAGAAAAGATCCGGA 453
  A. ipaensis  121 TGCCACGTTAGAAGAACCTTTTTTCCGTTGGAGATGTGGACTCGACGAGAAAATATC-TG- 178
A. duranensis 454 TCCGCGGGTGTGGCGATCGAGGCGGTGGTGAAGTGAAGTCAAGTCAAGTCAAGTCAAGTCAAGT 513
  A. ipaensis  179 T--GC--GTGTTGCGAACGCGGCGGTAGTGTAGCTGTAAGTCAAGTCAAGTCAAGTCAAGT 234
A. duranensis 514 CAAGGGAAGTAAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAGAACGTACGG 573
  A. ipaensis  235 CAAGGGAAGTGATGAAACGACCATGCCGCGAGACGGTTTATGTATGCCAAAAATGCGCGG 294
A. duranensis 574 ACGGCTTTACGGCCTCTTCGCGGGTGTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCG 633
  A. ipaensis  295 ACGGCTTTGACAGCCTCTTCGCGGGTGGTGGCAGCGGGAAGATGCTTGTGACTGCGGCG 354
A. duranensis 634 GCCAGCACCGCCATCTCTTGGAAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCG 693
  A. ipaensis  355 GCTAGGGCAGCCATTTCTTGGAAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGTACGGAGTAGTCG 414
A. duranensis 694 AAACGG 699
  A. ipaensis  415 AAGCGG 420

```

Рисунок 5. Сравнение генов *cus* *A. ipaensis* и *A. duranensis*, часть 2

```

A. duranensis 789 GATCATGCCGTTGACGAAATCCCAGGTGGTGAAGTACTGGTTGTTTGTACCGACGGGAAG 858
  A. ipaensis   424 GATCATGCCATTGACAAAATCCCAGGTGGTGAAGTATTGGCTGTTTGTGCCGACCGGAAG 483
A. duranensis 859 GCCGCCGGTGC GGATGCGTTTTGACCTCTTTGGGTTGCGGTGGTGAAGAATTGCATCGGTGGC 918
  A. ipaensis   484 GCCGCCGCTGTGGATGTGTTTGTATCTCTTTGGGTTGCGGTGGTGAAGAATTGCATCGGTGGC 543
A. duranensis 919 GGCCCTAACGGCGGTTACGAGCTCAGACAAGTTG 963
  A. ipaensis   544 GGCCCTAATGGCACGTACGAGCTCGGGCAAGTTG 578

```

Рис. 6. Сравнение генов *cus* *A. ipaensis* и *A. duranensis*, часть 3

Таким образом, в геноме *A. duranensis* обнаружен один целый ген *cus* и инвертированный повтор, в геноме *A. ipaensis* ген *cus* поврежден. Также обнаружен ген *mas2-like*. В геноме *A. monticola* также найден неповрежденный ген *cus*.

1.11. Перспективы исследования природных ГМО с точки зрения опиновой концепции регуляции растительно-микробных взаимодействий

Использование микроорганизмов в качестве биопестицидов или усилителей роста растений является привлекательной альтернативой

использованию химических пестицидов и удобрений. Однако внедрение бактерий, способствующих росту растений, в сельское хозяйство часто оказывается неудачным. Это объясняется низкой выживаемостью штамма-инокулянта в ризосфере, где он сталкивается с конкуренцией со стороны микроорганизмов почвенного сообщества, хорошо адаптированного к биологическим и физико-химическим свойствам среды (Thomashow, 1996). Поэтому крайне важно разработать методы увеличения приспособляемости и устойчивости инокулянтных микроорганизмов. Это может быть достигнуто за счет добавления в почву или выработки растением одного или нескольких субстратов, используемых только введенным штаммом. Этот подход успешно применялся для поддержания роста различных микроорганизмов в почве (Devliegher et al., 1995).

Корневая микробиота имеет важное значение для сельского хозяйства, поскольку ризобактерии, способствующие росту, могут растворять фосфат, вырабатывать гормоны роста растений, противодействовать патогенам, фиксировать азот и взаимодействовать с другими микроорганизмами. Учитывая важность корневой микробиоты для урожайности сельскохозяйственных культур, желательно искусственно регулировать эту среду для оптимизации сельскохозяйственной продуктивности (Hounayda et al., 2002).

Был предложен синтетический путь производства ризопин-сциллоинозамина в растениях. Продемонстрировано воспроизведение этого бактериального сигнала как у *Medicago truncatula*, так и у ячменя, и продемонстрировано его восприятие ризосферными бактериями. Это исследование заложило основу для создания синтетических сигнальных сетей между растениями и бактериями, позволяющих целенаправленно регулировать экспрессию бактериальных генов в ризосфере для регулирования их полезных функций (Hounayda et al., 2002).

С помощью этого механизма можно, например, активировать определенную часть микробиоты для фиксации азота, продуцирования антибиотиков или гормонов. Контроль над этими процессами со стороны

растения-хозяина предотвратит нецелевые эффекты у других видов, например, сорняков, которые могут быть вызваны конститутивной экспрессией.

Важным фактором, требующим контроля, является фиксация азота для снижения спроса на химические удобрения в сельском хозяйстве. Для достижения этой цели зерновые должны контролировать фиксацию азота ризобактериями. По аналогии с естественным механизмом, используемым бобовыми для контроля ризобияльных симбиозов, этот механизм может контролировать синтетические симбиозы для доставки азота сельскохозяйственным культурам (Barney et al., 2019).

В клубеньках люцерны, индуцированных штаммом L5-30 *Rhizobium meliloti*, синтезируется соединение L-3-0-метилциллоинозамин (3-0-MSI). Это соединение также специфически метаболизируется этим штаммом. Поэтому его биологические свойства аналогичны опином *Agrobacterium*. Чтобы ответить на вопрос, играют ли опиноподобные соединения роль в симбиотическом взаимодействии растений, были выделены гены катаболизма 3-0-MSI (ген *mos*) для индукции его синтеза в клубеньках. Было показано, что гены *mos* тесно связаны и расположены на *sim*-плазмиде L5-30, что позволяет предположить, что они эволюционировали совместно и могут играть важную роль в симбиозе. Расположение *mos*-генов в бактериях расширяет концепцию опинов, первоначально разработанную для патологического взаимодействия растений, до асимбиотической (Murphy et al, 1993).

В исследовании табака было показано, что бактериальный род *Arthrobacter* преобладает в его эндосфере и что это частично обосновано комбинацией двух классов специфичных для табака вторичных метаболитов, сантопина и никотина. В штаммах *Arthrobacter* из корней табака, обработанных этими метаболитами, были идентифицированы гены катаболизма сантопина и никотина, которые связаны со способностью к колонизации корней табака. Филогеномный и сравнительный анализ показали, что эти гены были получены в результате нескольких независимых событий интеграции, предположительно, вызванных адаптацией к определенной почвенной среде (Shimasaki et al., 2021).

Культура трансгенных растений *Lotus corniculatus* L., продуцирующих опины, которые являются субстратами для роста бактерий, приводит к отбору ризосферных бактерий, способных утилизировать эти субстраты. Были исследованы почвенные сообщества микроорганизмов, использующие эти опины, в различных экспериментальных условиях. Эти растения были извлечены из почвы, которая либо оставалась без растений, либо засаживалась диким типом *L. corniculatus*. Плотность опин-утилизирующих бактерий в незасаженных почвах оставалась практически неизменной на протяжении всего эксперимента, независимо от происхождения (почва, засеянная дикими или трансгенными растениями) (Oger et al., 2000).

Когда растения дикого типа использовались для замены их трансгенных аналогов, пострадали только популяции бактерий, способные утилизировать опины. Долгосрочные изменения, влияющие на бактериальное сообщество ризосферы, зависели от изучаемого опина. Концентрация утилизаторов нопалина снижалась при замене трансгенных растений до уровня, аналогичного уровню нормальных растений, в то время как концентрация утилизаторов маннопина снижалась до уровней, промежуточных между трансгенными и нормальными растениями (Oger et al., 2000).

Эти данные показывают, что популяции ризобактерий, использующих опины, можно контролировать с помощью изменений растительных экссудатов и взаимодействие между трансформированными растениями и ассоциированными с корнями микроорганизмами является специфичным для трансгена. Также изменения, вызванные культивированием трансгенных растений, иногда могут быть стойкими. Кроме того, популяции потребляющих опины ризобактерий можно контролировать с помощью севооборота. Следовательно, содействие росту микроорганизмов, представляющих агрономический интерес, с помощью стратегии на основе опинов представляется возможным.

Арахис – важная сельскохозяйственная культура, изучению которой в России уделяется мало внимания. Совокупность условий окружающей среды,

генотипа растения и взаимодействие с ризосферными микроорганизмами – все это в разной степени оказывает влияние на хозяйственно ценные признаки и закономерности этих взаимодействий необходимо изучать. Начиная от приемов возделывания и агротехники и заканчивая молекулярно-генетическими методами – все это позволяет оптимизировать селекционный процесс и получить стабильные высокопродуктивные сорта арахиса. Необходимо продолжать изучать и совершенствовать наши знания о культурном арахисе, особенно в сфере генетики, где остается еще много неизученных аспектов. Исследование взаимодействий между арахисом и ризосферными микроорганизмами позволит улучшить продуктивность растений и, возможно, устойчивость к патогенным микроорганизмам. Существенный вклад в этот процесс вносит изучение клТ-ДНК арахиса, что позволит понять не только ее возможные функции и роль в эволюции культурного арахиса, но и усовершенствовать процесс селекции.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. МАТЕРИАЛЫ

Для исследования проявления хозяйственно ценных признаков на уровне фенотипа проведено эколого-географическое испытание в двух пунктах, различающихся по климатическим и почвенным условиям. На Кубанской опытной станции - филиале ВИР (КОС ВИР), которая расположена в Краснодарском крае в зоне степей, почва - чернозем. Арахис выращивается без полива. И в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук (ПАФНЦ РАН), находящимся в Астраханской области в зоне полупустынь, почвы элювиальные (пойма реки Волга), разной степени солонцеватости. Арахис выращивается при поливе.

Коллекция арахиса ВИР составляет 1823 образца. Для проведения эколого-географических испытаний было отобрано 63 образца коллекции ВИР, различающихся по географическому происхождению, сортотипам,

морфологическим признакам бобов и семян и хозяйственно ценным признакам (табл.1).

Таблица 1. Список образцов арахиса, отобранных для эколого-географических испытаний

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение	Год включения в каталог ВИР	Организация донор
1	3	местный	США	1926	-
2	24	местный	Узбекистан	1926	-
3	41	Виргиния	США	1926	Experiment station Florence
4	46	Виргиния	США	1926	-
5	51	Джембо	США	1926	Вашингтон, Бюро растениеводства
6	53	Теннеси красный	США	1926	Вашингтон, Бюро растениеводства
7	64	Katjang tanah	Индонезия	1926	-
8	74	Sacahuate	Мексика	1926	-
9	126	Arachis communi	Италия	1928	-
10	154	Испанский	Краснодарский край, РФ	1928	С-х.ст. "Круглик"
11	163	местный	Грузия	1928	Кулашский с/х техникум
12	168	местный	Зап. Китай	1930	
13	173	Роксо	Бразилия	1930	Inst. Agronom. do Estadode Sao paulo
14	175	Rasteiro	Бразилия	1930	Inst. Agronom. do Estadode Sao paulo
15	178	Spanish	США	1930	Госторг. Новороссийская хлебная инспекция
16	179	Spanish Improved	США	1930	Госторг. Новороссийская хлебная инспекция
17	180	Сортотип Valencia	США	1930	Госторг. Новороссийская хлебная инспекция
18	202	земляной орех n3	Сев Манчжурия	1933	Наркоминдел
19	283	Сортотип Valencia	Узбекистан	1934	Зон.маслич.ст.Ташкент
20	300	Virginia Bunch	Трансвааль	1935	Agricultural Education and Extension (Egerton University)
21	317	Valencia	Зимбабве	1937	-
22	319	Spanish 32-76	Узбекистан	1937	Ташкентская центральная контрольно-семенная станция
23	354	Impr.Spanish 0162	Узбекистан	1939	Среднеазиатская станция ВИР

24	362	Перзуван 46/2 (Теннесси)	Азербайджан	1940	Закатальская зон.оп.ст.
25	416	Деур 199	Аргентина	1956	-
26	433	Saloum dresse 47-43	Сенегал	1957	-
27	555	местный	Индия	1960	-
28	596	Negrotipo 2 Parc.223 Manfredi	Аргентина	1960	-
29	597	Early Spanish 0833	Канада	1960	Ontario Dominion Seed House
30	626	Natal Ranner TMV3	Индия	1960	-
31	695	White Spanish n 32	Марокко	1963	Service de la recherche Agronomique et de l'experimentation Agricole
32	698	Sel.C.R.A.Issue de Куба 15237	Марокко	1963	Service de la recherche Agronomique et de l'experimentation Agricole
33	720	Virginia Red	Израиль	1963	-
34	747	<i>f. fostiata</i>	Румыния	1964	Hortus Botanicus
35	751	Spanish Bunch	Португалия	1964	Jardin e museu agricola do
36	793	Десертный	Краснодарский край, РФ	1969	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
37	868	Ntuku Kigezi	Уганда	1970	-
38	869	Kenya White Taro	Уганда	1970	-
39	903	Mambdeo	Танзания	1970	-
40	939	Tatiki	Бразилия	1971	-
41	1001	Star	Эквадор	1974	-
42	1026	местный	Мали	1976	-
43	1027	Линия 47-10	Мали	1976	-
44	1143	Blanco Rio Segundo	Аргентина	1977	-
45	1157	70-112	Камерун	1977	-
46	1252	Местный	Буркина-Фасо	1981	-
47	1533	№278	Мадагаскар	1987	-
48	1547	57-107	Мадагаскар	1987	-
49	1697	сортотип Теннесси белый	Вьетнам	1988	-
50	1713	сортотип Теннесси красный	Вьетнам	1988	-
51	1905	местный	Турция	1993	-
52	1942	Краснодарец 14 st	Краснодарский край, РФ	1997	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
53	1987	Отрадокубанский (стандарт)	Краснодарский край, РФ	2006	Кубанская опытная станция ВНИИР
54	1997	местный	Краснодарский край, РФ	2008	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта

55	2002	№20031	Краснодарский край, РФ	2009	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
56	2012	№19940	Краснодарский край, РФ	2009	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
57	2013	№19828	Краснодарский край, РФ	2009	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
58	2021	№19984	Краснодарский край, РФ	2009	Всероссийский НИИ масличных культур им.В.С.Пустовойта
59	2064	Bai Yuan Hua 2	Китай	2020	Institute of Industrial crops academy of agricultural sciences of Heilongjiang
60	2065	Hua Yu 20	Китай	2020	Institute of Industrial crops academy of agricultural sciences of Heilongjiang
61	2066	Long Hua Sheng 2	Китай	2020	Institute of Industrial crops academy of agricultural sciences of Heilongjiang
62	2067	местный	Китай	2020	Institute of Industrial crops academy of agricultural sciences of Heilongjiang
63	2068	местный	Китай	2020	Institute of Industrial crops academy of agricultural sciences of Heilongjiang

В молекулярно-генетических исследованиях использованы 10 образцов арахиса (*A. hypogaea*) коллекции ВИР (таблица 2).

Таблица 2. Список образцов арахиса коллекции ВИР, введенных в культуру *in vitro* и используемых в молекулярных исследованиях

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение
1	168	Местный	Китай
2	416	Деур 199	Аргентина
3	555	Местный	Индия
4	626	Natal Runner T.M.V.3	Австралия
5	751	Spanish Bunch	Португалия
6	939	Tatui	Бразилия
7	1157	70-112	Камерун
8	1252	Местный	Буркина-Фасо
9	1905	Местный	Турция

10	1987	Отрадокубанский (стандарт)	Краснодарский край, РФ
----	------	-------------------------------	---------------------------

Метеоусловия

Во время проведения опыта производилась оценка погодных условий на КОС ВИР и ПАФНЦ РАН для оценки влияния этих условий на хозяйственно ценные признаки арахиса. Источниками метеоданных для ПАФНЦ является метеостанция Черный Яр (код ВМО 34578, 15 км от места опыта) и метеопункт КОС ВИР, расположенный на полях станции.

В годы эксперимента средняя сумма активных температур в ПАФНЦ составила 3845°C, в КОС 3756°C, достоверных различий между пунктами наблюдений не было ($p=0,413$). Значительные различия ($p=0,018$) средних за 3 года наблюдались по суммам осадков – в ПАФНЦ средняя сумма осадков за период с температурами выше 10°C была достоверно ($p=0,018$) ниже, 120 мм, чем в КОС 387 мм (Рис. 7, 8).

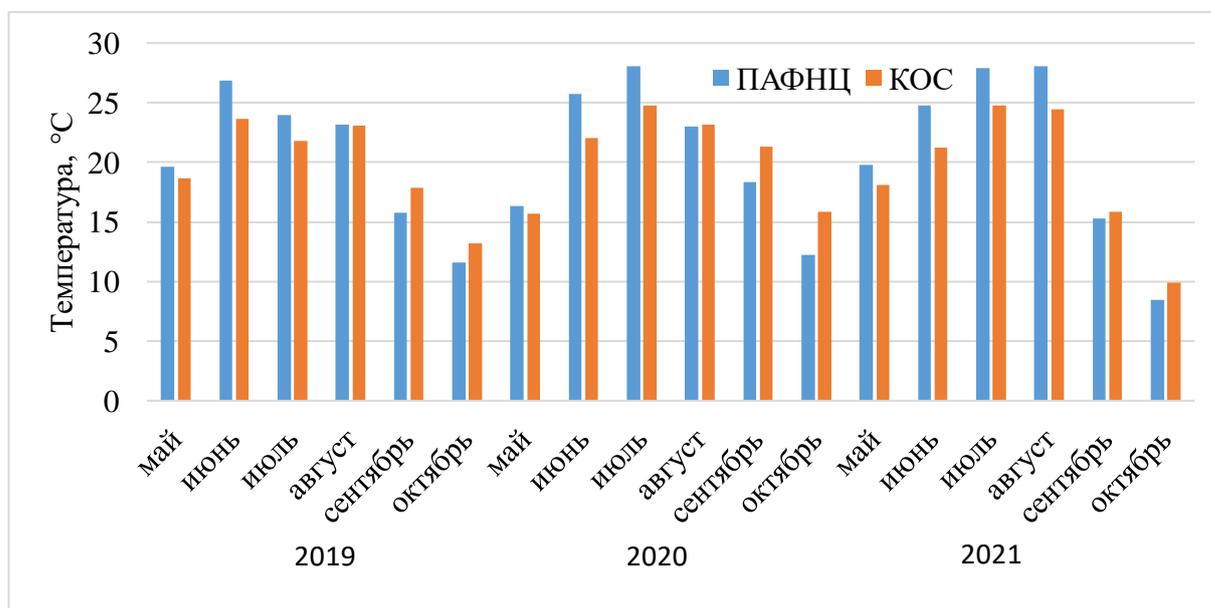


Рис. 7. Сумма активных температур выше 10°C в период вегетации в ПАФНЦ и КОС ВИР в 2019 – 2021 гг.

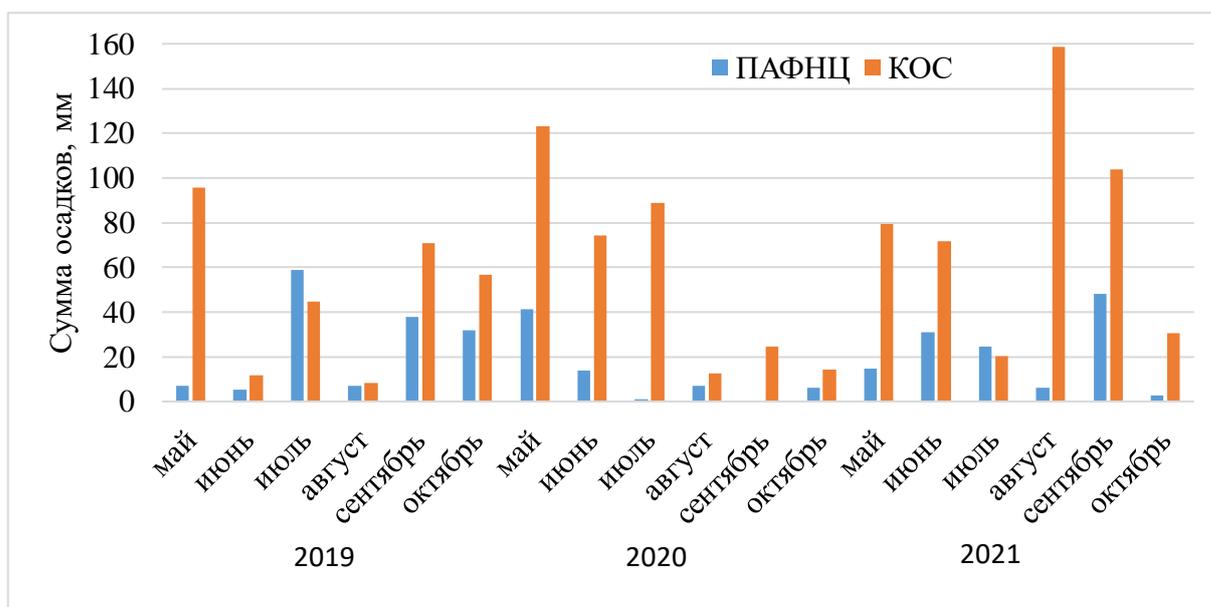


Рис. 8. Сумма осадков в период вегетации в ПАФНЦ и КОС ВИР в 2019 – 2021 гг. с температурами выше 10°C.

2.2. МЕТОДЫ

2.2.1. Метод полевого изучения

Посев осуществляется луцеными семенами по 2 семени в лунку во влажную почву на глубине 5 см. Расстояние между лунками 20 см, междурядье шириной 70 см. При появлении полных всходов для изучения в лунке оставляется по 1 растению, для восстановления всхожести или размножения - по 2 растения. Проводится рыхление, окучивание и прополка. Уборка осуществляется в солнечную, сухую погоду, до наступления дождей и первых осенних заморозков.

Оценка морфологических и хозяйственно ценных признаков проводилась согласно классификатору вида *Arachis hypogaea*. (Вахрушева, Иваненко, 1985) и методическим указаниям «Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.)» (Вахрушева, 1995).

Оцениваемые хозяйственно ценные признаки: продуктивность, (урожай с одного растения), вызреваемость, масса 1000 семян, масса 1000 бобов, лужистость.

Для расчета продуктивности взвешиваются вызревшие бобы с 5 растений каждого образца и высчитывается среднее значение для одного растения.

Для определения вызреваемости на учетных растениях (5 растений) проводится подсчет бобов – выполненных и щуплых и проводят расчет по формуле 1:

$$C = \frac{b}{a} \times 100, \quad (1)$$

где

C - вызреваемость бобов образца; а – общее число бобов на одном растении; b – число зрелых бобов на одном растении.

Определение массы 1000 семян у арахиса, проводится после высушивания урожая при естественной влажности и лущения бобов, путем взятия 2-х навесок по 100 семян из средней пробы. Взвешивается и определяется средний вес 100 семян с последующим пересчетом на 1000 семян. Определение массы 1000 бобов проводится по аналогичной схеме.

Определение лужистости (% , процент лужги от общей массы бобов) проводится путем взятия навески 50 бобов из средней пробы: взвешивают пробу в 50 бобов, лущат, взвешивают лужгу от 50 бобов. Лужистость определяется по формуле 2:

$$C = 100 - \left(\frac{b}{a} \times 100 \right) \quad (2)$$

где

C – лужистость в %; а – масса 50 бобов; b – масса семян от 50 бобов.

За стандарт при изучении коллекции принят районированный сорт ‘Отрадокубанский’ (к-1987).

2.2.2 Статистическая обработка данных

Для оценки влияния факторов окружающей среды и генотипа образцов на вызреваемость был проведен двухфакторный дисперсионный анализ.

Для оценки стабильности характеристик продуктивности и вызреваемости использовались: ошибка средней, стандартное отклонение (s),

коэффициент вариации (Cv) и коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (b_i) (Eberhart, Russell, 1966; Кильчевский, Хотылева, 1989).

Коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (b_i) рассчитывается следующим образом (формула 3):

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}, \quad (3)$$

Где Y_{ij} - среднее значение урожайности i -го сорта в j -й среде ($i = 1, \dots, v$; $j = 1, \dots, n$); μ_i - среднее значение i -го сорта по всем средам; b_i - коэффициент регрессии, который измеряет реакцию i -го сорта к изменяющимся условиям; δ_{ij} - отклонение от регрессии i -го сорта в j -й среде; I_j - экологический индекс j -й среды, рассчитываемый по формуле 4:

$$I_j = \frac{\sum_i Y_{ij}}{v} - \frac{\sum_i \sum_j Y_{ij}}{vn}. \quad (4)$$

Коэффициент регрессии b_i является первым параметром стабильности генотипа (формула 5):

$$b_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2} \quad (5)$$

Вторым параметром стабильности является дисперсия отклонения от линии регрессии (формула 6):

$$s_{d_i}^2 = \frac{\sum_j \hat{\delta}_{ij}^2}{n-2} - \frac{s_e^2}{r} \quad (6)$$

где s_e^2 – оценка объединенной ошибки, r - количество повторений. Сумма квадратов отклонений от регрессии вычисляется по формуле 7:

$$\sum_j \hat{\delta}_{ij}^2 = \left(\sum_j Y_{ij}^2 - (\sum_j Y_{ij})^2 / n \right) - (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2 \quad (7)$$

Генотип с $b_i = 1$, $s_{d_i}^2 = 0$ считается стабильным.

Подсчет средней величины осуществлялся с помощью формулы СРЗНАЧ.

Ошибка средней (SE) оценивалась по формуле 8:

$$SE = \frac{\text{СТАНДОТКЛОН}}{\sqrt{\text{СЧЕТ}}} \quad (8)$$

Коэффициент вариации (CV) рассчитывался по формуле 9:

$$CV = \frac{\text{СТАНДОТКЛОН}}{\text{СРЗНАЧ}} \times 100 \quad (9)$$

Сравнение сред (совокупность условий года выращивания и климата места репродукции) и сортов по продуктивности проведено с использованием коэффициента на условия среды, вызреваемости – критерием Т-Стьюдента, т.к. встречались значения этого показателя, близкие к 100%.

Расчеты проводились в программе Microsoft Office Excel, версия 365: 2002 (16.0.12527.20278).

Трехфакторный дисперсионный анализ, Т-критерий Стьюдента и U-критерий Манна-Уитни рассчитывались с помощью программного пакета Statistica, версия 12.6.

2.2.3. Биохимические исследования

В отделе биохимии ВИР проводили изучение содержания белка и масла 25 образцов арахиса и состава жирных кислот репродукции семян 2019, 2020 и 2021 гг. КОС ВИР и ПАФНЦ.

Содержание 18 жирных кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой, маргариновой, стеариновой, олеиновой, вакценовой, линолевой, линоленовой, арахиновой, эйкозеновой, бегеновой, докозациеновой, лигноцериновой, нервоновой, церотиновой, монтановой) в масле арахиса определяли с помощью газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией на приборе Agilent 6850A (США). Метилловые эфиры жирных кислот разделяли на колонке Omegawax ТМ 250 (полиэтиленгликоль, 30,0 мкм, 250,00 мкм, 0,25 мкм; США) при нагревании от 170°C до 220°C со скоростью нагрева 3°C/мин; объем вводимой пробы составлял 0,5 мкл, скорость потока гелия – 1,5 мл/мин (Shelenga et al., 2020).

Содержание белка определяли по методу Кьельдаля. Общее содержание белка рассчитывали по содержанию азота с использованием коэффициента 5.5. В качестве катализатора использовали препарат Kjeltabs Foss (Hoganas, Швеция). (Ермаков и др., 1987).

2.2.4. Молекулярно-генетические методы

ДНК экстрагировали из свежих 2-недельных проростков *A. hypogaea*, культивируемых в асептических условиях *in vitro*, согласно протоколу СТАВ для выделения ДНК из тканей растений.

Для экстракции РНК использовали трехнедельные асептические растения *A. hypogaea* (по три растения на каждую линию). Все растения были примерно одинакового размера и находились в одинаково здоровых условиях по окраске листьев и отсутствию признаков увядания. Всего для каждого растения было выделено три образца РНК: из листьев, корней и междоузлий. Сразу после сбора образцы подвергали быстрой заморозке и гомогенизировали в жидком азоте.

Выделение РНК осуществлялось с помощью набора Total RNA Purification Plus Kit (Norgen Biotek). ПЦР - Real-time проводили в объеме 20 мкл. В состав смеси входили: SsoAdvanced™ Universal SYBR® Green Supermix (BioRad, Hercules, CA, USA) (10 мкл), прямой праймер 10 пикоМоль, обратный праймер 10 пикоМоль, кДНК (1 мкл). Амплификация включала начальную денатурацию при 94°C (5 мин.), за которой следовали 40 циклов, включающих денатурацию при 94°C (30 сек), отжиг праймеров при 55°C (40 сек) и элонгацию при 72°C (1 мин), и затем финальную элонгацию при 72°C (5 мин).

Реакции амплификации (40 мкл) содержали образец ДНК, 20 мкл DreamTaq PCR Master Mix (2×) (Thermo Fisher, Уолтем, Массачусетс, США) и 10 пмоль каждого праймера. ПЦР проводили с использованием ДНК-амплификатора «Терцък» («ДНК-технология», Москва, Россия) по следующей программе: 5 мин при 94 °С; 35 циклов по 15 с при 94 °С; 30 с при 55 °С; и 60 с при 72 °С; затем 10 минут при 72°C. Продукты ПЦР разделяли на агарозном геле в 1x буфере TBE и визуализировали с помощью GelDoc Go (BioRad, Hercules, CA, USA).

Праймеры, используемые для амплификации гена кукумопин-синтазы представлены в таблице 3. Подбор праймеров осуществлялся в программе

Vector NTI Suite 10.00. Все праймеры синтезированы фирмой «Евроген» (Москва, Россия).

Таблица 3. Праймеры, используемые для амплификации гена *cis*.

Название	Последовательность
a_durF	GGGGGTTGCTACTAGAGTAT
a_durR	TCTGCCCCACAAATACCAT
ar_reR	GCTAGCTCCGCCACCACATT
ar_reF	GGTTGCACCGTTGGTGTGG

Обратную транскрипцию проводили в объеме 10 мкл. В состав смеси входили: 5x iScript™ Reverse Transcription Supermix (BioRad, Hercules, CA, USA) (2 мкл), прямой праймер 10 пикоМоль, обратный праймер 10 пикоМоль, РНК (1 мкл).

Выращивание образцов арахиса проводили на среде Мурасиге-Скуга.

Полученные ПЦР-продукты визуализировали методом горизонтального электрофореза в агарозном геле (1%), его состав: 1 г агарозы (LE 2, Helicon), 100 мл 1X буфера TAE, 5-10 мкл раствора бромистого этидия (0,1%). Использовали маркер молекулярного веса 100 bp+ DNA Ladder NL 002, Evrogen. Параметры электрофореза: 120 В, 80 Вт, 30 минут с использованием источника тока.

Количественную оценку проводили в трех экземплярах. Относительные уровни экспрессии рассчитывали методом 2-ΔΔСТ для каждого образца, а затем рассчитывали средние значения для трех растений.

ПЦР-фрагменты секвенировали с использованием метода Сэнгера и набора для циклического секвенирования BrilliantDye™ Terminator (v3.1) (NimaGen, Неймеген, Нидерланды). Затем смеси для секвенирования анализировали с использованием секвенатора ABI Prism 3500 xl (Applied Biosystems, Уолтем, Массачусетс, США)

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Оценка коллекционных образцов арахиса по морфологическим признакам

Проведено полевое изучение 63 образцов арахиса. Среди них выявлено только 8 образцов стелящихся и 10 полукустовых. Остальные имеют кустовую форму. Проведено морфологическое описание образцов арахиса на Кубанской опытной станции по таким признакам как: высота растения, степень выраженности стебля, величина междоузлий, степень опушения стебля, наличие антоциановой окраски, размера листьев, форма листьев, окраска листа, длина черешка, форма прилистников, величина цветка, форма чашечки, размер чашечки, окраска чашечки, опушение чашечки в соответствии с классификатором. А также описаны морфологические признаки бобов и семян по следующим характеристикам: величина, окраска и форма боба, характер поверхности, наличие перехвата, форма, величина семени, окраска семенной кожуры, число семян в бобе. Описание морфологии бобов и семян представлено в приложении А. Разнообразие окраски семенной кожуры представлено на рисунке 10. Некоторые морфологические признаки слабовариабельны: величина цветка, форма, размер и окраска чашечки практически не отличаются у разных образцов (приложение Б). У всех образцов отмечена форма боба: коконообразная (26,5 % из всех исследованных образцов), цилиндрическая (9,3 %), вальковато-цилиндрическая (57,8 %), вздутая (4,6 %) и горбатая-вальковатая (1,5 %) с ячеистой или слабячеистой поверхностью с перехватом разной степени выраженности. Было выявлено разнообразие по окраске семян: светло-розовая (55,5 % из всех исследованных образцов), розовато-коричневая (22,2 %), ярко красная (9,5 %), буро-красная (6,3 %), черно-фиолетовая (4,76 %) и светло-желтая (1 %). Вероятно, для производства арахиса в шоколаде фиолетовая окраска будет предпочтительнее, а использования семян арахиса для употребления в пищу в сыром или жареном виде лучше использовать традиционную светло-розовую окраску. Количество

семян в бобе немного, от одного до трех. Для крупноплодных форм характерно удлинненно-овальная или овальная форма семени, а для мелкоплодных – круглая, при этом крупных семян округлой формы не встречается.

Описание морфологических признаков помогает представить все разнообразие образцов арахиса культурного в коллекции ВИР. Кроме того, нет никаких литературных данных о влиянии кукумопин-синтазы на проявление какого-либо признака арахиса. В связи с этим все морфологические признаки в закодированном виде были использованы в факторном анализе для выявления их зависимости от экспрессии гена синтеза опиона.

По форме куста нами отмечены образцы кустовые (67,2 %), полукустовые (18,1 %) и стелющиеся (14,5 %) (приложение В). Высота растения у разных образцов в среднем за три года составляла от 23 до 74,8 см. Не выявлено связи между формой куста и высотой растения. Однако, образцы со стелющейся формой куста не превышали по высоте растения 50-60 см (кк- 41,51,168, 202,596, 720, 747, 1252), тогда как среди кустовых встречались как высокорослые (от 70 до 90 см (кк – 3, 126, 175, 300, 317, 868), так и низкорослые (кк –2021, 2064).

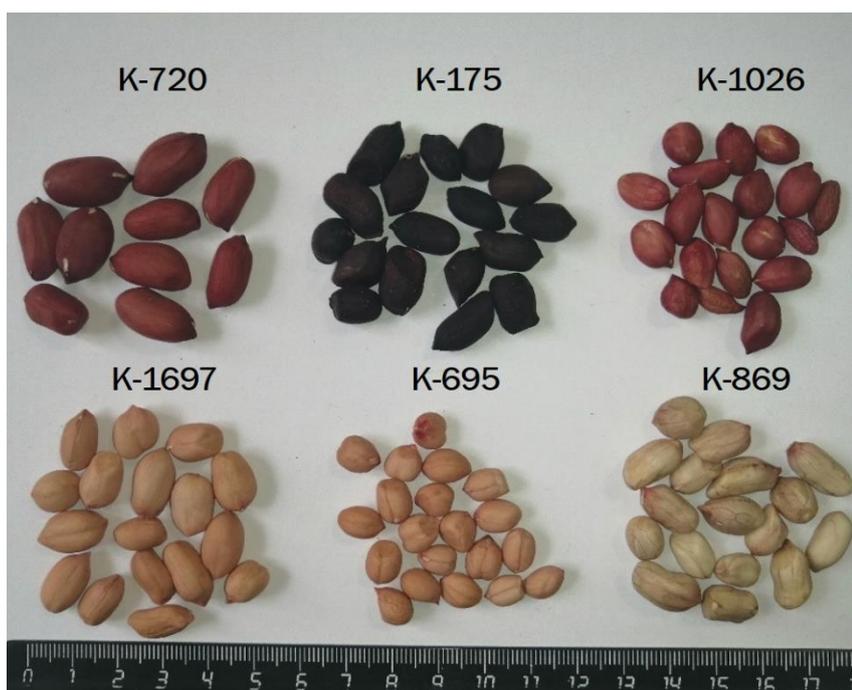


Рисунок 9. Разнообразие семян и окраски семенной кожуры образцов арахиса коллекции ВИР.

На рисунке 9 представлены образцы арахиса, отличающиеся размером семян и окраской семенной кожуры. Наиболее часто встречаются светло-розовая, розовато-коричневая окраски; желтая окраска обнаружена только у одного (к-869) из 63 образцов, отобранных для изучения.

3.2. Оценка коллекционных образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам

Проведена оценка по хозяйственно ценным признакам за 2019-2021 года для образцов арахиса в ПАФНЦ и на Кубанской опытной станции: продолжительность периода посев-всходы и всходы-цветение, вызреваемость, продуктивность, масса 1000 бобов и 1000 семян, лужистость, урожайность, и вычислен коэффициент регрессии на условия среды.

Результаты оценки за 2019 г. представлены в приложении Г. Продолжительность периода всходы-цветение больше в ПАФНЦ (в среднем 29 дней). Однако, есть образцы - кк-3 (США), 175 (Бразилия), 180 (США), 300 (Трансвааль), 317 (Зимбабве), 793 (Россия), 868 (Уганда), 903 (Танзания), 1027 (Мали), 1547 (Мадагаскар), 2067 (Китай), у которых продолжительность периода всходы-цветения больше на Кубанской опытной станции или не отличается.

Вызреваемость в ПАФНЦ высокая (85,2%), что, вероятно, обусловлено почвенными условиями (гинофор легко проникает в почву), дополнительным поливом и более подходящими климатическими условиями. Наиболее высокую вызреваемость в ПАФНЦ (более 90%) можно отметить у образцов под номерами кк-64 (Индонезия), 126 (Италия), 163 (Грузия), 175 (Бразилия), 179 (США), 180 (США), 300 (Трансвааль), 317 (Зимбабве), 433 (Сенегал), 597 (Канада), 695 (Марокко), 698 (Марокко), 720 (Израиль), 793 (Россия), 868 (Уганда), 869 (Уганда), 939 (Бразилия), 1027 (Мали), 1533 (Мадагаскар), 1942 (Россия), 2013 (Россия), 2021 (Россия), 2065 (Китай) и 2067 (Китай) (всего 24

образца из 60). На Кубанской опытной станции вызреваемость средняя и низкая, не превышает 77%. Лучшая вызреваемость на КОС ВИР (более 70%) отмечена у семи образцов: кк-179 (США), 300 (Трансвааль), 596 (Судан), 597 (Канада), 903 (Танзания), 939 (Бразилия), 1001 (Эквадор), 2002 (Россия). Коэффициент вариации этого признака в целом ниже у образцов, выращенных в ПАФНЦ, это говорит о том, что все растения одного образца имеют стабильную и примерно одинаковую вызреваемость.

Образец к-64 (Ява) отличается очень высокой вызреваемостью (99%) в ПАФНЦ РАН и хорошей продуктивностью. Образец к-1547 (Мадагаскар) также имеет высокую вызреваемость в ПАФНЦ (88%). Можно выделить образец к-2002 (Россия), который проявляет хорошую вызреваемость в обоих пунктах (ПАФНЦ– 88%, КОС ВИР – 71%), имеет самую высокую продуктивность с одного растения (45г). Наибольшая масса 1000 семян у образца к-698 (Марокко) (800г), однако, продуктивность с одного растения средняя (32,3г).

Результаты оценки за 2020 г. представлены в приложении Д. Оценить некоторые хозяйственно ценные признаки 22 образцов в двух точках за 2020 г. не представляется возможным, так как в связи с неблагоприятными условиями не удалось вырастить их на КОС ВИР. Число дней от посева до всходов у всех образцов больше на КОС ВИР (в среднем 25 дней), что вероятно связано с большим количеством осадков в мае во время посева (около 120 мм).

В целом, вызреваемость выше на ПАФНЦ РАН: из 62 38 имеют вызреваемость более 90%, а 23 образца демонстрируют вызреваемость более 80%, только один образец (к-64, Индонезия) имеет более низкий показатель – 47.5%. Вызреваемость всех образцов на КОС ВИР, кроме к-51 (США) и к-74 (Мексика), существенно ниже, чем в ПАФНЦ. Из 40 образцов вызреваемость ниже 50% только у двух: к-3 (США) и к-1143 (Аргентина), у семи образцов вызреваемость больше 80%; у к-626 вызреваемость около 90%. Показатель вызреваемости остальных 30 образцов находится в пределах 50-80%. Коэффициент вариации вызреваемости ниже у образцов, выращенных в

ПАФНЦ (у большинства меньше 10), это говорит о том, что все растения одного образца имеют стабильную и примерно одинаковую вызреваемость.

Продолжительность периода всходы-цветение мало отличается у всех образцов (26,6 дней); у кк-3 (США), 41 (США), 46 (США), 51 (США), 53 (США), 126 (Италия), 154 (Россия), 168 (Зап. Китай), 698 (Марокко), 1027 (Мали), 1533 (Мадагаскар), 1697 (Вьетнам), 1942 (Россия) продолжительность этого периода в двух точках отличается примерно на 9-10 и более дней.

Показатель продуктивности также более высокий на ПАФНЦ (в среднем 27,7 г) у большинства образцов, кроме кк-51 (США), 154 (Россия), 1942 (Россия), 2065 (Китай) и 2066 (Китай). Почти одинаковую продуктивность в обеих пунктах показали к-698 (Марокко) и к-720 (Израиль).

Данные за 2021 г. представлены в приложении Е. В 2021 г. продолжительность периода посев-всходы примерно одинаковая в обеих точках; продолжительность этого периода длиннее в ПАФНЦ более чем на 10 дней у кк-154 (Россия), 168 (Зап. Китай), 720 (Израиль), 747 (Румыния), 1905 (Турция), 2065 (Китай) и 2066 (Китай). Продолжительность периода всходы-цветение у большинства образцов на ПАФНЦ РАН существенно длиннее в 2021 году, чем на КОС ВИР, разница варьирует от незначительной 1-4 дня, до 26 дней.

Вызреваемость всех образцов, кроме к-597 в ПАФНЦ РАН выше, чем на КОС ВИР. Ниже 70% вызреваемость только у образцов кк-597 (Канада), 1905 (Турция); у 14 образцов вызреваемость более 90%; у остальных этот показатель варьирует в пределах 70-90%. На КОС ВИР вызреваемость 80% отмечена только у образца к-3 – это самый высокий результат. Еще 6 образцов демонстрируют результат более 50%, у остальных вызреваемость ниже; самые низкие результаты у кк-24 (Узбекистан), 178 (США), 695 (Марокко) – менее 20%. Коэффициент вариации вызреваемости на КОС ВИР у многих образцов очень высокий (достигает 98), что говорит о большой разнице в процентах вызреваемости даже на одной делянке в пределах одного образца.

Отобраны образцы показывшие самую высокую вызреваемость в двух точках за каждый год изучения. Результаты представлены в таблицах 4-6. Выделены образцы, показавшие высокую вызреваемость в течение трех лет исследований в обоих пунктах проведения опыта, они показаны в таблице 7. Отличия показателей образцов от стандарта (к-1987) за три года исследований представлены в приложении Ж.

Были отобраны образцы, показавшие наибольшую продуктивность в двух пунктах исследования за каждый год. 2020 год оказался очень неблагоприятным для выращивания арахиса и продуктивность у всех образцов в обеих точках была низкая. Поэтому в качестве лучших удалось отобрать всего 4 образца: кк-51 (США), 698 (Марокко), 868 (Уганда) и 2066 (Китай).

Удалось выделить образцы, показавшие высокую продуктивность в каждой из точек в течение трех лет. Вероятно, в связи с различиями в условиях выращивания на ПАФНЦ РАН и КОС ВИР было отобрано малое количество образцов с высокой продуктивностью в обоих пунктах за каждый год (7 за 2019 г., 5 за 2020 г. и 10 за 2021 г.) (таблицы 8-10). Однако, удалось отобрать образцы с высокой продуктивностью в течение трех лет для каждой из двух точек в отдельности, они показаны в таблице 11.

Таблица 4. Характеристика образцов арахиса с наиболее высокой вызреваемостью в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2019г

№ п/п	Номер каталога ВИР	ПАФЦ РАН 2019									КОС ВИР 2019						
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	СУ продуктивности
1	1987 (стандарт)	12	30	83,2±2,6	7	28	693	1031	32,8	52,5±1,4	6	22	21	55±7,9	32	80,2±19,7	54
2	3	12	28	86,4±1,7	4	28,3	507	676	25,2	46,6±0,9	4	14	33	66,5±4,6	13	36,5±4,2	23
3	24	12	28	87,6±3,6	9	7,5	469	821	30,7	32±2,1	14	19	26	60±6,6	22	39±12,5	64
4	175	12	25	98,8±1,2	2	24	628	780	25,5	58,4±1,8	6	19	29	61,6±9,9	36	33,6±7,8	52
5	178	16	31	86±2,8	7	23,1	568	715	27,2	42,8±1,8	9	19	29	61±6	13	39,5±1,5	5
6	179	12	34	92±4,2	1	19,4	524	676	26,8	39,2±1,5	9	19	29	76,4±1,2	3	50,2±9,5	42
7	180	12	25	96,8±1,3	3	31,1	513	1261	24,2	57,2±2,2	11	14	34	60,8±4,8	17	40,4±16	88
8	283	12	25	86,2±5	13	11	494	681	27,5	45,2±0,6	3	24	19	63,8±3,8	13	56,2±13	51
9	300	12	23	91,6±3,7	9	30,0	514	669	23,2	56,8±3,4	7	19	25	76,6±7,4	21	36,8±2,5	15
10	317	12	28	92,2±1,1	2	34,8	554	739	25,1	56,6±1,5	6	14	30	61,8±3,6	13	40±6,2	34
11	354	12	30	84,2±4,5	13	11,0	461	1682	72,6	36,6±0,5	3	19	24	67±1,2	4	25,8±1,5	13
12	433	12	30	91,8±2,4	6	20,6	532	700	24,1	49,2±0,8	3	19	21	63±2,7	9	41,6±2,7	14
13	596	16	26	85,8±4	1	19,2	448	621	27,9	60±1,3	7	14	26	74±1,7	5	47,4±9,2	43
14	597	12	30	95±2	4	22,3	382	501	23,8	46,8±1,1	5	14	29	76±3,2	9	42,2±8,7	46
15	626	12	30	86±3,4	8	13,6	554	792	30,1	37,8±1	6	14	29	63,2±2,3	8	55,6±7,5	45
16	793	12	23	92,4±1	2	35,0	613	808	24,2	38,6±1,3,	7	14	33	67,5±3,5	1	57,75±5,7	19

17	868	12	28	91±3	7	28,9	712	1015	29,9	67±4	13	14	29	66,6±11,5	38	28,8±4,4	34
18	903	12	28	87,2±4,6	11	26,3	551	718	23,2	57,2±1,2	5	14	29	76,2±3,6	1	28,4±2,6	21
19	939	16	26	92±2,1	5	14,8	562	750	25,1	45,8±1,6	8	17	26	70,2±2,9	9	27±4,9	40
20	1027	12	28	92±1,3	3	36,3	513	710	27,8	43,2±1,5	8	17	33	63,4±6	21	23,4±7,4	71
21	1157	16	31	86,2±3,2	8	16,7	363	669	45,8	43,4±2,4	12	20	27	61,8±5,3	19	62±13,2	47
22	1547	16	24	88,8±4,2	14	42,9	677	968	30,1	45,6±1,6	8	20	27	63±7,2	25	33,4±9,4	63
23	2002	12	30	88,4±2,3	6	45,0	675	995	32,3	46,2±3,2	15	22	21	71±5,5	15	40,5±17,2	50
24	2012	12	30	89,2±4,6	11	29,0	646	878	26,5	40±1,5	8	14	29	63±6,4	22	62,2±3,9	14
25	2013	11	29	91,8±2,4	5	11,0	590	763	22,7	42,8±1,5	8	14	29	62,6±4,2	15	48±7,8	36
Наименьшая существенная разница		0,7	1,2	1,7	-	4,5	4,5	107,2	4,5	3,8	-	1,4	1,7	2,6	-	6,0	-

Таблица 5. Характеристика образцов арахиса с наиболее высокой вызреваемостью в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2020г

№ П/П	Номер кагалога ВИР	ПАФНЦ РАН 2020										КОС ВИР 2020								
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	SV вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Лужкистость (%)	Средняя высота растений (см)	SV роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	SV вызреваемости	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Лужкистость (%)	Продуктивность (г)	SV продуктивности
1	1987 (стандарт)	20	26	93,5±4,3	10	29,4	786	1140	31,1	38,8±0,8	5	27	25	65,2±3,2	16	884	1636	34,2	11,5±6	12

2	3	19	23	93,4±3,4	8	10,7	411	572	28,2	34,8±3,4	22	25	32	45,5±10	52	805	1366	41,1	13,6±4,1	42
3	24	20	26	92,3, ±3,6	9	23,7	478	678	29,5	44±2,2	12	25	32	61,4±5	18	636	950	36,8	19,7±2,3	27
4	53	18	24	92,5±3,5	8	18,0	494	713	30,8	34,2±2	13	25	34	73,8±3,9	11	1027	1631	37,4	25,4±7,1	63
5	180	20	26	94,9±1,1	3	16,8	418	589	29,1	44,2±1,9	10	25	31	73,6±12,5	38	667	1131	41,9	11,5±2,5	50
6	283	20	22	94,2±1,4	4	19,1	444	622	28,7	43,4±2,6	14	25	26	74,6±8	24	1158	1703	32,9	26,2±6,1	52
7	300	19	23	99,3±0,6	1	20,7	419	574	27,1	56,6±1	4	25	27	87,4±3,7	9	685	1106	38,1	16,3±3,3	46
8	416	18	24	96,5±2	5	28,0	454	619	26,7	54,8±5,3	22	26	26	67±10,8	27	874	1303	33	16,5±3,8	41
9	433	20	24	93,3±0,6	1	22,3	417	550	24,3	45,2±2,9	15	26	27	74,6±5,1	15	574	833	31,3	14,6±2,9	45
10	597	20	22	94±1,2	3	38,5	333	422	21,1	49,4±1,9	9	26	29	69±5	16	222	342	35,2	4,6±1	52
11	626	20	26	93,6±2,1	5	28,8	550	798	31,1	37,4±2,8	17	25	28	90,2±5	14	714	1276	44,8	7,6±2,3	68
12	695	20	24	96,2±1,1	3	39,6	336	443	24,2	51±1,5	7	27	28	66,8±7,8	25	590	663	10,8	16,9±4,2	57
13	793	20	23	94,3±1,5	4	28,1	540	745	27,6	31,6±2	15	26	26	71,6±10,3	24	607	881	31,8	13,2±5	40
14	903	18	28	94,5±1,9	5	31,7	581	766	24,2	53,6±1,6	7	24	28	71,4±3	9	659	985	33,6	10,6±2	43
15	1252	20	30	94,5±1,9	5	20,1	489	732	33,2	39,8±2,4	14	25	34	75,6±6,8	20	900	1406	36,2	31,7±9,6	68
16	1533	20	40	92,9±0,8	2	26,3	474	723	34,5	38,2±0,8	5	25	31	76,2±7,5	22	924	1360	32,3	18,7±7,2	86
17	2065	20	26	94,8±3,7	9	21,6	708	972	27,2	36,6±2	12	25	28	85±3,6	11	1196	1685	29,6	57,6±11	43
Наименьшая существенная разница		0,4	2,4	0,9	-	4,3	59,8	93,1	2,0	4,3	-	0,4	1,6	5,6	-	122,2	208,5	4,1	4,6	-

Таблица 6. Характеристика образцов арахиса с наиболее высокой вызреваемостью в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2021 г.

№ п/п	Номер каталога ВИР	ПАФЦ РАН 2021										КОС ВИР 2021									
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	СУ продуктивности	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)	
1	1987 (стандарт)	11	36	89,2±5,2	13	27,3	751	1148	34,6	63,2±2	7	14	32	33,8±9,5	63	91,7±27,5	6	1392	2170	33,62	
2	3	9	43	98,2±1,8	4	17,8	443	615	28	74,8±0,3	1	10	25	80±4,7	13	34,8±4,9	31	770	1160	31,84	
3	154	26	27	88±1,1	2	29	470	656	28,4	52,6±1,2	5	11	29	35±14	98	40±8,3	51	668	930	28,17	
4	168	26	34	86±2	5	19,5	667	1164	42,7	53,2±4,3	18	13	29	69±12,5	4	22,2±8,3	84	1024	1717	40,36	
5	173	11	39	86,2±2,8	7	35,5	772	1191	35,2	68,4±1,9	6	14	29	44,2±6,5	33	21,8±3,7	38	1086	1728	37,15	
6	175	11	39	88,6±6,3	15	18,6	513	763	32,8	74,6±1,4	4	14	29	46,6±8,4	57	55,4±8,6	34	972	1584	38,64	
7	317	11	42	89±5,6	14	18,3	432	609	29,1	76,4±2,1	6	12	31	51,6±11,5	5	14,6±7	7	662	985	32,73	
8	698	11	39	96±2,5	5	11,5	464	674	31,2	60,8±1,5	6	14	30	37,1±5	33	29,6±9,2	76	1220	1972	38,1	
9	793	5	45	97±1,2	2	31,5	550	726	24,3	39,6±2,6	15	13	26	40±5	28	41,8±5,6	3	975	1307	25,37	
10	868	11	39	87,6±2,1	5	23,9	637	946	32,7	73,2±1,3	4	12	41	37,8±5	29	37,26±7,4	44	740	1368	45,91	
11	1026	11	39	89,6±3,4	8	15,6	421	664	36,6	63,4±1,5	5	13	37	40,8±13,8	75	19,88±7,2	81	680	1100	38,18	
12	1252	11	39	88,4±4,7	11	14,4	727	1259	42,3	49,4±2,2	10	12	29	34,4±6,8	44	44±5,1	26	838	1262	33,6	
13	1533	11	42	91,4±4,2	10	9,8	615	990	37,9	52,2±2,5	11	12	29	45±4,8	24	35,8±6	37	716	1084	33,87	
14	1697	11	39	88,8±1,6	4	18,1	599	891	32,8	63,6±1,7	6	12	30	33,2±11,9	80	37±5	3	800	1180	32,2	
15	2013	9	48	89,2±4,3	10	17,9	587	772	24	34±0,7	5	14	25	40,6±9,8	54	73,2±5,4	16	1007	1327	24,11	
16	2021	6	47	96,2±2,5	5	21	614	771	20,4	29,4±1	8	13	26	53,4±8,1	34	43,6±9,4	48	1270	1602	20,72	

17	2065	26	24	89,2±2,3	6	18,3	703	992	29,2	46,4±0,9	5	13	30	33±7,1	48	57,4±12,5	48	1102	1576	30,08
	Наименьшая существенная разница	3,5	3,3	2,0	-	3,7	62,3	118,2	3,3	7,8	-	0,6	2,1	7,0	-	10,6	-	122,4	188,9	3,4

Таблица 7. Характеристика образцов арахиса с наиболее высокой вызреваемостью в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) за три года изучения (2019-2021)

Место репродукции	Номер каталога ВИР	Вызреваемость бобов (%)			Среднее (%)	Отличия от стандарта (значимо при T > 2,13)
		2019	2020	2021		
ПАФНЦ РАН	1987 (стандарт)	83,2±2,6	93,5±4,3	89,2±5,2	88,6	-
	3	86,4±1,7	93,4±3,4	98,2±1,8	92,6	0,88
	793	92,4±1	94,3±1,5	97±1,2	94,5	1,81
КОС ВИР	1987 (стандарт)	55±7,9	65,2±3,2	33,8±9,5	48,0	-
	3	66,5±4,6	45,5±10	80±4,7	64,0	1,3
	793	67,5±3,5	71,6±10,3	40±5	59,7	0,95

Таблица 8. Характеристика образцов арахиса, выделившихся по продуктивности в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2019 г.

№ п / п	Номер каталога ВИР	ПАФЦ РАН 2019										КОС ВИР 2019					
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Лужжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	СУ продуктивности
1	1987 (стандарт)	12	30	83,2±2,6	7	28	693	1031	32,8	52,5±1,4	6	22	21	55±7,9	32	80,2±19,7	54
2	41	16	31	69,8±6,4	2	27,3	562	889	31,6	58±3,4	13	19	29	51±4	11	144±8	7
3	555	12	35	87,6±1,9	5	32,2	638	899	29,1	65±4,4	15	19	25	55±4,3	17	80,4±16,6	46
4	698	12	34	92,2±2,3	5	32,3	800	1215	34,2	48±3,4	1	19	24	52,8±3,5	15	95,8±15,2	35
5	793	12	23	92,4±1	2	35,0	613	808	24,2	38,6±1,3,	7	14	33	67,5±3,5	1	57,75±5,7	19
6	2012	12	30	89,2±4,6	11	29,0	646	878	26,5	40±1,5	8	14	29	63±6,4	22	62,2±3,9	14
7	2021	11	29	91,8±2,9	7	35,0	642	929	30,9	36,2±1,5	9	15	28	54,6±5,6	17	44,5±13,5	42
	Наименьшая существенная разница	1,3	3,2	6,8	-	2,7	62,8	113,5	2,9	9,1	-	2,6	3,3	5,0	8,0	27,5	15,0

Таблица 9. Характеристика образцов арахиса, выделившихся по продуктивности в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2020 г.

№ п/п	Номер каталога ВИР	ПАФЦ РАН 2020										КОС ВИР 2020									
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дузжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дузжистость (%)	Продуктивность (г)	СУ продуктивности	
1	1987 (стандарт)	20	26	93,5±4,3	10	29,4	786	1140	31,1	38,8±0,8	5	27	25	55,2±3,2	16	884	1636	34,2	11,5±6	12	
2	51	18	42	47,5±0,5	2	31,8	557	860	35,3	48,2±2	9	25	33	64	1	897	1693	47,3	52,4	1	
3	698	20	22	91,3±3,5	9	35,9	516	704	26,8	59,8±2,2	8	25	31	-	-	1471	2298	36,6	60,2±15,3	57	
4	868	18	24	88,2±2	5	35,3	650	927	29,9	73,2±1,3	4	24	26	86,5±5,7	13	999	1586	37,9	41,6±8,3	49	
5	2066	20	25	89,5±3,6	9	31,2	695	897	22,6	27,2±0,4	4	28	22	76,6±5	14	1256	1698	26	51,9±11	47	
Наименьшая существенная разница		1,0	8,0	19,3	-	2,7	107,7	156,2	4,7	17,8	-	1,6	4,4	15,3	-	254,2	291,1	7,6	19,0	-	

Таблица 10. Характеристика образцов арахиса, выделившихся по продуктивности в двух точках испытания (ПАФЦ РАН и КОС) в 2021 г.

№ п/п	Номер каталога ВИР	ПАФЦ РАН 2021										КОС ВИР 2021								
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости	Продуктивность (г)	СУ продуктивности	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужжистость (%)
1	1987 (стандарт)	11	36	89,2±5,2	13	27,3	751	1148	34,6	63,2±2	7	14	32	33,8±9,5	63	91,7±27,5	6	1392	2170	33,6
2	175	11	39	88,6±6,3	15	18,6	513	763	32,8	74,6±1,4	4	14	29	46,6±8,4	57	55,4±8,6	34	972	1584	38,6
3	626	11	39	98±2	4	20,8	584	915	36,2	61,4±1	4	11	33	27,6±3,4	27	60,4±8,1	3	1028	1522	32,4
4	720	26	34	85,4±7,4	19	18,5	851	1220	30,3	48,8±1,1	5	14	30	36,4±8,9	55	44,2±7,2	36	1334	1988	32,9
5	747	26	39	89,7±5,3	11	20,1	740	1225	39,6	49,5±1,3	6	14	31	22±4	41	46,8±13	62	854	1318	35,2
6	1942	5	45	92,2±7,3	1	28,7	662	880	24,8	39,2±1,3	8	12	30	23,6±3	28	64±8,8	31	794	1192	39,1
7	2002	6	51	83,8±5	13	20,3	534	719	25,8	36,2±1,1	7	13	26	44,2±7,4	37	48,1±11	5	1156	1520	23,9
8	2021	6	47	96,2±2,5	5	21	614	771	20,4	29,4±1	8	13	26	53,4±8,1	34	43,6±9,4	48	1270	1602	20,7
9	2064	26	24	91,2±3,3	8	21,3	701	968	27,6	25,4±1,3	12	13	29	22,2±2,7	27	79,8±8,6	24	1412	1946	27,4
10	2065	26	24	89,2±2,3	6	18,3	703	992	29,2	46,4±0,9	5	13	30	33±7,1	48	57,4±12,5	48	1102	1576	30,0
	Наименьшая существенная разница	6,6	6,2	3,0	-	2,5	74,2	131,9	4,0	11,0	-	0,7	1,6	7,7	-	11,1	-	155,0	215,0	4,2

Таблица 11. Характеристика образцов арахиса, выделившихся по продуктивности в двух точках испытания и достоверность различий образцов от стандарта (к-1987) (ПАФНЦ РАН и КОС) за три года изучения (2019-2021).

Место репродукции	Номер каталога ВИР	2019	2020	2021	Среднее (г)	Отличия от стандарта (значимо при $T > 2,13$)
		Продуктивность (г)	Продуктивность (г)	Продуктивность (г)		
ПАФНЦ РАН	1987 (стандарт)	28	29,4	27,3	28,2	-
	317	34,8	35,8	18,3	29,6	-0,24
	868	28,9	35,3	23,9	29,3	-0,33
КОС ВИР	1987 (стандарт)	80,2	11,5	91,7	61,31	-
	283	56,2	26,2	45,8	42,7	0,69
	1157	62	33,1	61,2	52,1	0,33

Если исключить из выборки худший по результатам анализа 2020 год, то лучших по продуктивности образцов за 2019 и 2021 годы будет значительно больше. Результаты представлены в таблице 12.

Таблица 12. Лучшие по продуктивности в КОС ВИР и ПАФНЦ РАН и достоверность различий образцов от стандарта (к-1987) за 2019 и 2021 гг.

Место репродукции	Номер каталога ВИР	2019	2021	Среднее (г)	Отличия от стандарта (значимо при $T > 2,9$)
		Продуктивность (г)	Продуктивность (г)		
ПАФНЦ РАН	1987 (стандарт)	28	27,3	27,6	-
	154	23,2	29	26,1	-0,53
	175	24	18,6	21,3	-2,33
	317	34,8	18,3	26,55	-0,10
	793	35,0	31,5	33,25	3,13
	868	28,9	23,9	26,4	-0,49
	2002	45,0	20,3	32,65	0,40
	2021	35,0	21	28	0,04
КОС ВИР	1987 (стандарт)	80,2	91,7	85,9	-
	41	144±8	43,6±8,4	93,8	-0,15
	46	52,4±3,8	44,2±10,2	48,3	5,30
	283	56,2±13	45,8±4,4	51	4,51
	626	55,6±7,5	60,4±8,1	58	4,40
	747	43±8,6	46,8±13	44,9	6,77

	751	59,2±15,4	55±9,2	57,1	4,71
	1157	62±13,2	61,2±15	61,6	4,22
	2012	62,2±3,9	48,1±5,2	55,15	3,38
	2013	48±7,8	73,2±5,4	60,6	1,83
	2021	44,5±13,5	43,6±9,4	44,05	7,26

3.3. Анализ жирнокислотного состава масла

Проведен анализ жирно-кислотного состава масла 16 образцов выращенных в КОС ВИР и ПАФНЦ в 2020 г. Результаты представлены в таблице 13.

Как характерно для арахиса в целом, преобладающими кислотами в данных образцах являются линолевая и олеиновая. Различие заключается в том, что в одних образцах преобладает линолевая, в других олеиновая. Образцы с большим содержанием олеиновой кислоты предпочтительнее для пищевого использования. Масло арахиса с высоким содержанием линолевой кислоты уязвимо к окислению, приводит к короткому сроку годности при хранении масла и других продуктов из арахиса. Кроме олеиновой и линолевой кислот, от 8,23 до 11,32 % в образцах содержится пальмитиновой кислоты, 1,85-3,8 % - стеариновой, 2,11-4,40 % бегеновой и менее 3% - арахисовой, лигноцереновой, линоленовой, эйкозеновой, и менее 1% - миристиновой, пальмитолеиновой. Также в малом количестве были обнаружены маргариновая, лауриновая, вакценовая, эйкозодиеновая, докозодиеновая, нервоновая, церотиновая и монтановая кислоты. Визуализация данных представлена на рисунке 10. Достоверность различий между образцами и стандартом (к-1987) по жирнокислотному составу представлены в приложении 3.

Содержание олеиновой и линолевой кислоты у разных образцов варьирует, в зависимости от места репродукции. Уровень олеиновой кислоты выше у образцов, выращенных на КОС ВИР, а линолевой – на ПАФНЦ РАН. Предположительно повышенный синтез линолевой кислоты связан с более высокими температурами на ПАФНЦ РАН в период образования бобов.

Таблица 13. Сравнение жирнокислотного состава семян арахиса, выращенных на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (Краснодарский край) и ПАФНЦ РАН (Астраханская обл.).

№ по каталогу ВИР	Происхождение	КОС ВИР						ПАФНЦ					
		Олеиновая (С18:1)			Линолевая (С18:2)			Олеиновая (С18:1)			Линолевая (С18:2)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
168	Зап. Китай	50,98	47,32	42,2	26,57	28,34	33,06	48,44	33,36	43,45	32,38	38,99	34,25
300	Трансвааль	44,12	37,06	39,10	36,43	37,00	35,97	37,74	33,52	40,42	40,17	40,00	35,50
317	Юж. Родезия	37,75	40,42	37,98	30,81	33,78	36,94	38,50	40,42	38,22	40,98	33,78	37,14
354	Узбекистан	41,73	41,28	38,25	38,10	32,01	35,22	40,66	45,43	39,73	41,30	29,25	35,44
433	Сенегал	41,55	38,31	39,86	35,01	33,84	33,93	41,54	46,37	35,38	41,41	31,04	34,49
555	Индия	48,61	46,32	42,41	28,42	28,44	30,84	45,43	34,83	39,04	36,93	37,38	35,18
596	Аргентина	46,34	42,60	42,97	30,70	30,95	31,94	43,50	40,00	40,45	37,99	35,13	34,59
597	Канада	45,55	-	39,15	31,72	-	34,70	40,23	39,85	39,40	42,36	36,44	34,74
698	Марокко	46,96	57,60	40,83	28,35	18,28	33,96	39,78	42,11	37,78	42,73	31,39	36,54
793	Россия	53,27	47,38	46,99	26,39	26,21	28,63	51,15	45,35	41,42	31,73	30,89	33,76

1001	Эквадор	48,58	41,96	42,13	29,35	33,63	32,17	43,36	35,42	41,53	37,82	37,78	32,48
1533	Мадагаскар	46,22	35,35	41,99	31,32	37,62	33,83	44,71	36,94	42,14	37,47	36,96	33,05
1547	Мадагаскар	41,12	51,45	40,16	34,70	25,97	34,82	38,02	37,64	39,96	41,37	36,00	34,59
1987 (стандарт)	Россия	51,96	54,58	42,62	29,17	18,78	33,41	47,16	40,24	41,97	34,49	36,48	34,20
2012	Россия	50,10	51,88	49,36	26,67	21,95	32,09	49,31	44,59	42,71	33,47	30,67	33,41
2013	Россия	48,65	45,76	48,83	28,62	29,65	32,95	50,23	41,44	44,17	32,68	32,10	32,09
Среднее значение		46,47	45,28	42,18	30,77	29,10	33,40	43,74	39,84	40,49	37,83	34,64	34,47
Наименьшая существенная разница		2,42	7,47	1,95	2,01	5,36	1,13	2,51	2,39	1,26	2,14	1,87	0,75

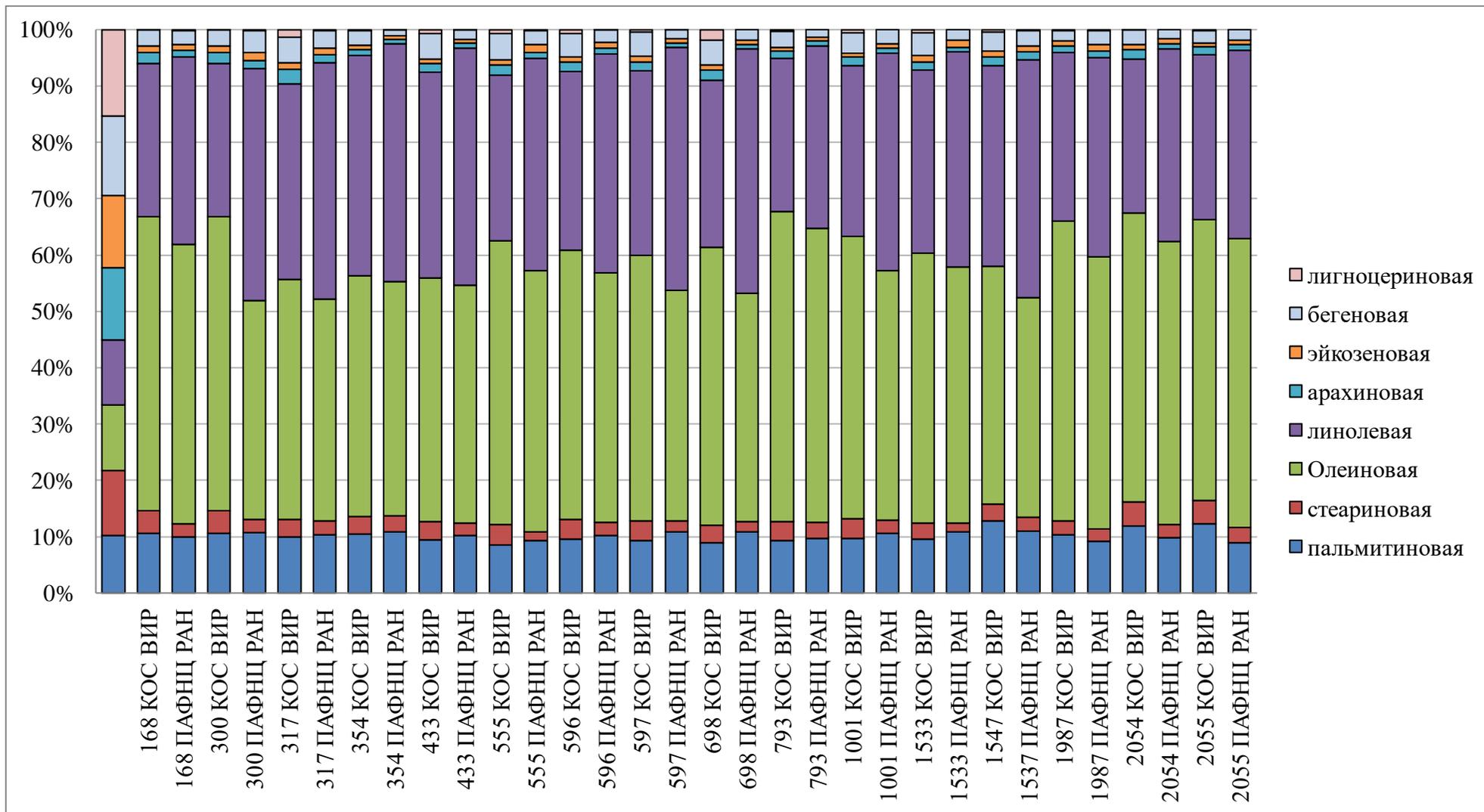


Рис. 10. Сравнение жирнокислотного состава семян арахиса, выращенных на КОС ВИР и ПАФНЦ РАН.

Кроме того, выполнен анализ содержания белка и масла в семенах 14 образцов арахиса, полученных на Кубанской опытной станции – филиале ВИР в 2021 году (таблица 14).

Таблица 14. Содержание белка и масла в образцах арахиса, урожай 2021 г., КОС ВИР.

№ п/п	Номер каталога ВИР	Название	Белок	Масло
1	1987 (стандарт)	Отрадокубанский	22,24	41,64
2	168	Местный	20,89	37,81
3	416	Деур 199	24,1	37,9
4	555	Местный	17,1	33,4
11	596	Negrotipo 2 Parc.223 Manfredi	27,2	37,62
12	597	Early Spanish 0833	27,36	39,16
5	626	Natal Runner T.M.V.3	29,1	39,7
13	698	Sel.C.R.A.Issue de Куба 15237	22,28	38,1
6	751	Spanish Bunch	22,6	36,88
7	939	Tatui	28,62	38,75
8	1157	70-112	19,38	34,98
9	1252	Местный	20,8	39,4
10	1905	Местный	22,4	35,6
14	2002	№20031	23,2	38,03

Содержание белка в разных образцах сильно варьирует (от 17,1 до 29,1). Можно выделить несколько высокобелковых образцов: кк-596 (Судан), 597 (Канада), 626 (Индия), 939 (Бразилия). Содержание масла по образцам не так сильно различается (от 33,4 до 41,64), в среднем около 36%. Как самые высокомасличные можно выделить кк-1987 (Россия; стандарт), 597 (Канада), 626 (Индия), 1252 (Буркина-Фасо).

3.4. Анализ изменчивости количественных признаков при эколого-географическом испытании

3.4.1. Оценка изменчивости хозяйственно ценных признаков с использованием трехфакторного дисперсионного анализа

Во всех вариантах анализа использованы данные для 30 образцов, из 63 образцов только для этих 30 были получены результаты за три года в 2-х точках проведения опыта. Для проверки влияния места репродукции на вызреваемость образцов был проведен трехфакторный дисперсионный анализ по данным полученным в двух точках изучения (ПАФНЦ РАН и КОС ВИР) за 2019, 2020 и 2021 годы для всех образцов арахиса.

Вызреваемость образцов арахиса, выращенных в двух разных точках изучения (ПАФНЦ РАН и КОС ВИР) существенно отличается. Согласно результатам трехфакторного дисперсионного анализа за три года наибольшее влияние на вызреваемость оказывает место репродукции и, соответственно разные условия выращивания (44,12%), в значительно меньшей степени на этот признак влияют условия года изучения и генотип образцов. Результаты анализа представлены в таблице 15. Визуализация данных дисперсионного анализа представлена на рисунке 12.

Таблица 15. Трехфакторный дисперсионный анализ доли влияния генотипа образца, места и года репродукции на вызреваемость за 3 года исследования.

Фактор	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния фактора
Место	1	89463	89463	747,73	0,000000	44,12
Год	2	7477	3738	31,24	0,000000	3,69
Генотип	22	9763	444	3,71	0,000000	4,81
Место*год	2	88	44	0,37	0,692715	0,04
Место*генотип	22	9948	452	3,78	0,000000	4,91
Год*генотип	44	7686	175	1,46	0,031197	3,79
Место*год*генотип	44	12309	280	2,34	0,000006	6,07
Ошибка	552	66045	120			32,57

Примечание. SS – сумма квадратов, df – степени свободы, MS – средний квадрат, F – эмпирический критерий Фишера, p – вероятность H_0

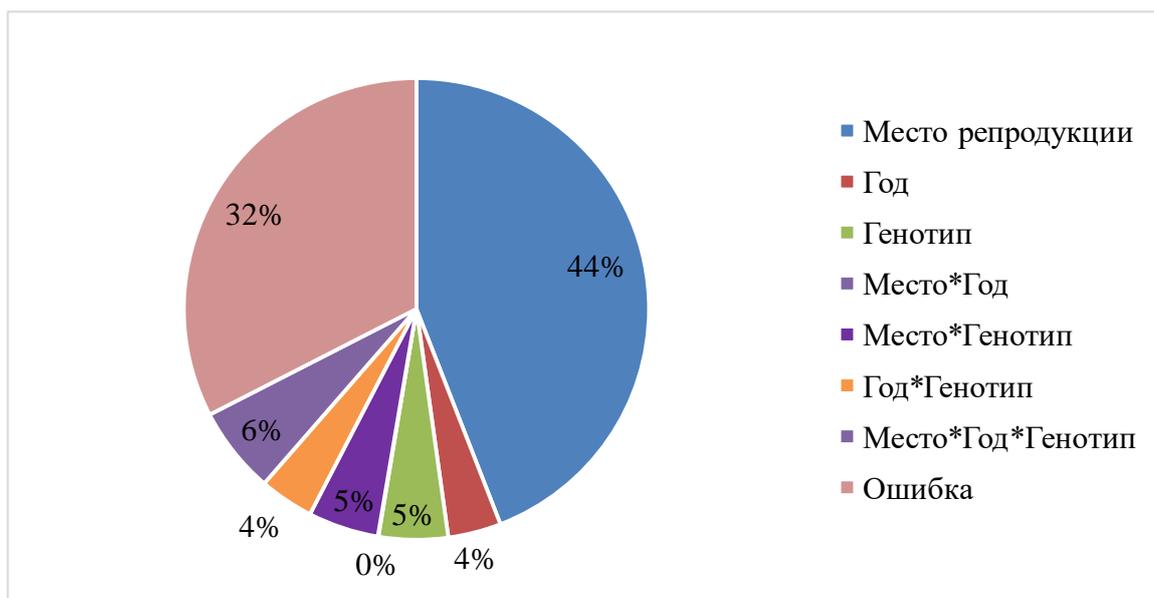


Рисунок 11. Влияния факторов на вызреваемость при анализе данных за три года (2019-2021)

Если сравнить с помощью трехфакторного дисперсионного анализа данные за два года (2019 и 2021), которые отличились более благоприятными условиями для выращивания арахиса и сходными погодными показателями, то наибольшее влияние на вызреваемость снова оказывает место репродукции (42,63%), год не влияет совсем, а генотип растений оказывает более существенное влияние. Результаты анализа представлены в таблице 16. Визуализация данных дисперсионного анализа представлена на рисунке 13.

Таблица 16. Трехфакторный дисперсионный анализ доли влияния генотипа образца, места и года репродукции на вызреваемость (2019, 2021 гг.).

Фактор	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния фактора
Место репродукции	1	125679	125679	951,81	0,000000	42,63
Год	1	44	44	0,33	0,564512	0,01
Генотип	38	23575	620	4,70	0,000000	8,00
Место*год	1	12	12	0,09	0,762561	0,00
Место*генотип	38	35808	942	7,14	0,000000	12,15
Год*генотип	38	13654	359	2,72	0,000000	4,63
Место*год*генотип	38	13630	359	2,72	0,000000	4,62
Ошибка	624	82394	132			27,95

Примечание. SS – сумма квадратов, Df – степени свободы, MS – средний квадрат, F – эмпирический критерий Фишера, p – вероятность H_0

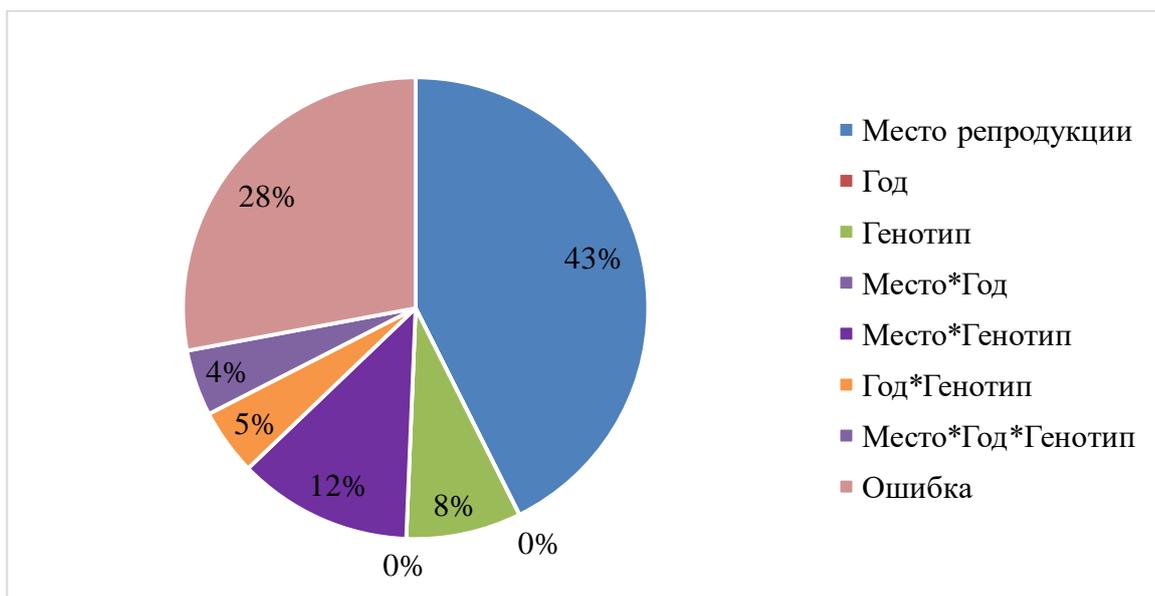


Рисунок 12. Доля влияния факторов на вызреваемость при анализе данных за два года (2019, 2021).

Также в ходе анализа выделились образцы под номерами каталога 300 (Трансвааль) и 1001 (Эквадор). У образца к-1001 в 2019 году была отмечена очень низкая вызреваемость в ПАФНЦ ($13 \pm 4,6\%$). Образец к-300 демонстрировал очень высокую вызреваемость в ПАФНЦ РАН (до 99%) в течение трех лет изучения.

Для оценки влияния года репродукции на массу 1000 семян был проведен трехфакторный дисперсионный анализ по данным полученным в двух точках изучения (ПАФНЦ РАН и КОС ВИР) для всех образцов арахиса. Результаты анализа представлены в таблице 17. На основе анализа установлено большое влияние генотипа на массу 1000 семян. На графике представлены данные трехфакторного дисперсионного анализа массы 1000 семян на КОС ВИР и ПАФНЦ (Рис. 15).

Таблица 17. Трехфакторный дисперсионный анализ доли влияния генотипа образца, места и года репродукции на массу 1000 семян (2019-2021 гг.).

Фактор	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния
Место репродукции	0	0	0	0,00	0,000000	0,00
Год	1	54614	54614	17,23	0,053410	22,84
Генотип	55	4779007	86891	27,42	0,035785	36,35
Место*год	1	77709	77709	24,52	0,038438	32,5
Место*генотип	55	610389	11097	3,50	0,247256	4,64
Год*генотип	111	317012	2855	0,90	0,666626	1,19
Место*год*генотип	111	297611	2681	0,84	0,689431	1,12
Ошибка	2	6337	3168			1,32

Примечание. SS – сумма квадратов, df – степени свободы, MS – средний квадрат, F – эмпирический критерий Фишера, p – вероятность H_0

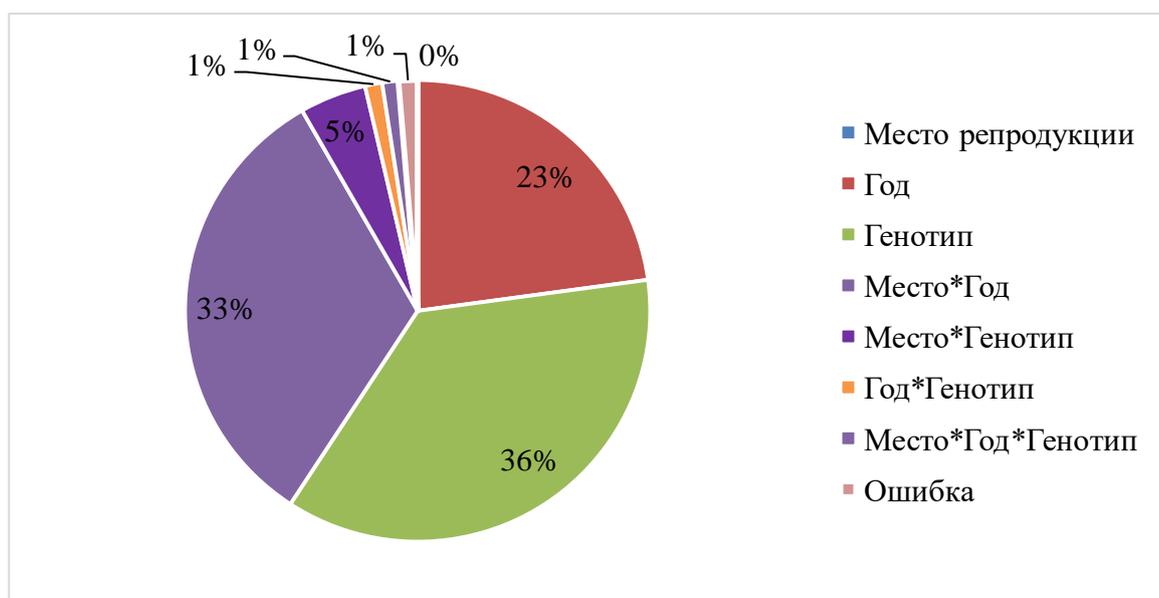


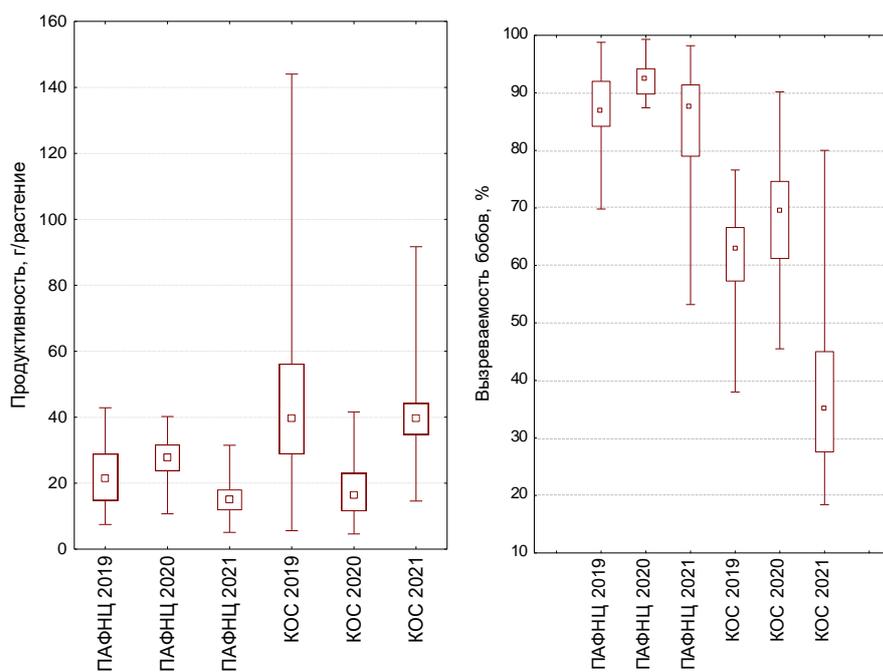
Рисунок 13. Доля влияния факторов на массу 1000 семян при анализе данных за три года (2019-2021 гг.).

В результате проведенного анализа отмечена существенная (78%) доля влияния генотипа на массу 1000 семян. Доля влияния условий года выращивания – 1%, а места репродукции 0%. Следовательно, масса 1000 семян является наиболее стабильным признаком, по которому можно проводить отбор лучших образцов для дальнейшего использования в селекции. По массе 1000

семян за три года выделились образцы кк-173, 720, 747, 1942, 1987 (стандарт), 2064, 2065.

3.4.2. Оценка стабильности и пластичности образцов арахиса при помощи коэффициента регрессии на условия среды

С помощью однофакторного дисперсионного анализа было показано, что фактор «среда» (под которым понимаются 6 сочетаний пункт × год) оказал влияние на все исследованные признаки: продолжительность всходы-цветение, вызреваемость и продуктивность на уровне значимости $p < 0.001$ (рис. 14). Наибольшая средняя продуктивность (по критерию Тьюки) была на КОС ВИР в 2019 г (44,9 г/растение) и 2021 (41,6 г/растение), что было обусловлено достаточным количеством осадков в июне. Продуктивность в остальных вариантах была достоверно ниже: КОС в 2020 г (17,8 г/растение), ПАФНЦ в 2021 г (15,8 г/растение), ПАФНЦ в 2019 г (22,6 г/растение), ПАФНЦ в 2020 г (27,5 г/растение). Продуктивность в КОС характеризовалась значительной вариабельностью, в 2019 г различия между образцами составили 138,4 г/растение (от 5,6 до 144,0 г/растение), в 2021 77,1 г/растение (от 14,6 до 91,7 г/растение). Наибольшая продолжительность периода всходы-цветение наблюдалась в ПАФНЦ 2021 (40,4 сут.), достоверно превышая остальные варианты, в которых среднее по образцам составило 26,4-30,1 сут. Средняя продуктивность в ПАФНЦ составила (21,9 г/растение), в КОС (34,8 г/растение), но различия между ними были недостоверны на фоне значительной межгодовой вариабельности ($p=0,235$).



а)

б)

Рисунок 14. Агробиологические показатели 30 образцов арахиса при выращивании в ПАФНЦ и КОС в 2019-2021 гг: а) продуктивность; б) вызреваемость бобов

Продуктивность в ПАФНЦ и КОС не коррелировала ($r=-0.02$) (рис. 15).

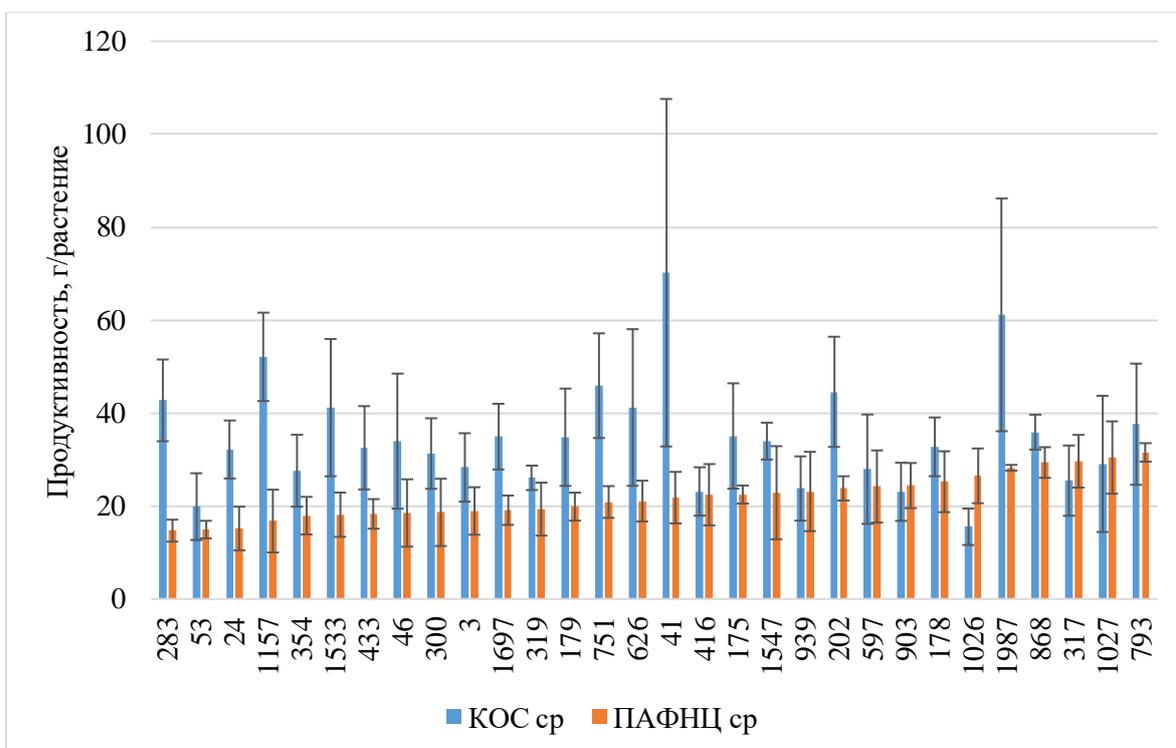


Рисунок 15. Продуктивность образцов в ПАФАНЦ и КОС, показаны средние и стандартные отклонения продуктивности (образцы расположены в порядке возрастания продуктивности в ПАФАНЦ)

Опыт в контрастных условиях позволил выявить пластичные и стабильные по продуктивности генотипы (таблица 18). Коэффициент вариации продуктивности по 6 средам исследования составил от 20,0 до 106,9%, в среднем 53,4%. Коэффициент регрессии на условия среды b_i варьировал в выборке 30 образцов от -0,1 до 3,2. Остаточная ошибка от регрессии на средовой индекс $s_{d_i}^2$ варьировала от 3,1 до 1102,6, в среднем составила 115,8.

Наиболее стабильные по Эберхарту и Расселу генотипы имеют $b_i=1$ и $s_{d_i}^2=0$. С учетом минимальности коэффициента вариации C_v к таким могут быть отнесены генотипы: к-178 (США) ($C_v=37.2\%$, $b_i=0.8$, $s_{d_i}^2=27.3$), к-24 (Узбекистан) ($C_v=53.4\%$, $b_i=0.9$, $s_{d_i}^2=39.9$), к-1697 (Вьетнам) ($C_v=44.9\%$, $b_i=0.9$, $s_{d_i}^2=25.8$), к-300 (Трансвааль) ($C_v=53.7\%$, $b_i=1$, $s_{d_i}^2=52.8$), к-175 (Бразилия) ($C_v=50,0\%$, $b_i =1$, $s_{d_i}^2=84.3$), к-793 (Россия) ($C_v=42.9\%$, $b_i=1$, $s_{d_i}^2=89.5$), к-433 (Сенегал) ($C_v=51.2\%$, $b_i=1.1$, $s_{d_i}^2=3.1$), к-179 (США) ($C_v=52.9\%$, $b=1.2$, $s_{d_i}^2=7.8$). Визуализация данных представлена на рисунке 16.

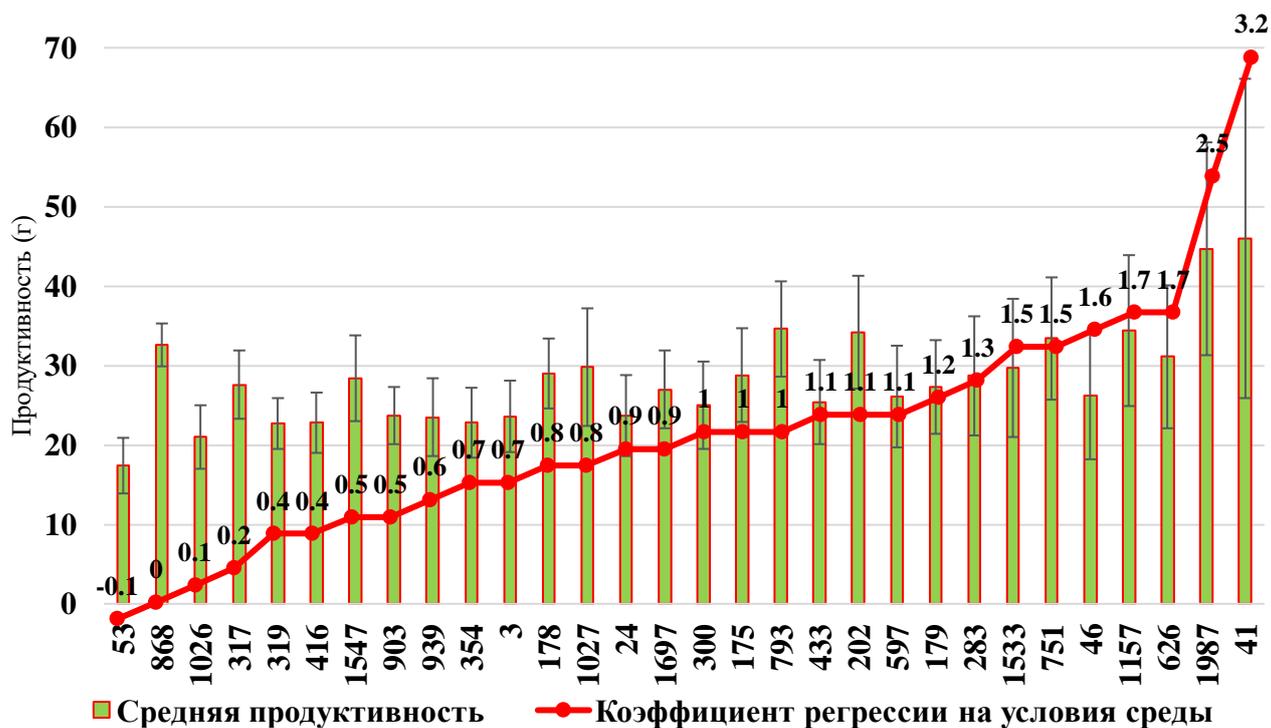


Рисунок 16. Характеристика образцов арахиса по показателям стабильности продуктивности.

Таблица 18. Характеристика образцов арахиса по показателям стабильности продуктивности (2019 – 2021гг.)

N п/п	Номер каталога	Продуктивность			CV, %	b_i	$s_{d_i}^2$
		ПАФНЦ	КОС	Средняя			
1	53	14.9±1.9	19.9±7.2	17,4±3,5	49,3	-0,1	91,4
2	868	29.4±3.3	35.9±3.8	32,6±2,7	20,0	0,0	53,1
3	1026	26.5±5.9	15.5±3.9	21,0±4,0	46,7	0,1	118,6
4	317	29.6±5.7	25.5±7.6	27,6±4,3	38,5	0,2	131,7
5	319	19.3±5.7	26.1±2.6	22,7±3,2	34,4	0,4	39,7
6	416	22.4±6.6	23.1±5.2	22,8±3,8	40,4	0,4	80,8
7	1547	22.9±10	34±4	28,4±5,4	46,7	0,5	170,2
8	903	24.4±4.9	23.1±6.3	23,7±3,6	36,7	0,5	45,1
9	939	23.1±8.5	23.8±6.9	23,5±4,9	51,3	0,6	104,2

10	354	17.9±4	27.6±7.7	22,8±4,4	48,0	0,7	62,8
11	3	18.9±5.1	28.3±7.4	23,6±4,5	46,9	0,7	62,3
12	178	25.2±6.6	32.7±6.3	29,0±4,4	37,2	0,8	27,3
13	1027	30.4±7.8	29.1±14.7	29,8±7,4	61,2	0,8	281,7
14	24	15.2±4.7	32.2±6.2	23,7±5,1	53,4	0,9	39,9
15	1697	19.1±3.2	34.9±7.1	27,0±4,9	44,9	0,9	25,8
16	300	18.6±7.2	31.3±7.6	25,0±5,5	53,7	1,0	52,8
17	175	22.5±1.9	35.1±11.3	28,8±5,9	50,0	1,0	84,3
18	793	31.5±2	37.6±13	34,6±6,0	42,9	1,0	89,5
19	433	18.3±3.2	32.5±9	25,4±5,3	51,2	1,1	3,1
20	202	23.8±2.6	44.6±11.9	34,2±7,1	51,2	1,1	134,2
21	597	24.2±7.8	27.9±11.8	26,1±6,4	59,8	1,1	75,3
22	179	19.9±3,0	34.8±10.5	27,3±5,9	52,9	1,2	7,8
23	283	14.7±2.4	42.7±8.8	28,7±7,5	63,8	1,3	84,5
24	1533	18.1±4.8	41.2±14.8	29,7±8,7	71,4	1,5	107,7
25	751	20.9±3.4	45.9±11.3	33,4±7,7	56,4	1,5	29,6
26	46	18.5±7.3	34±14.5	26,2±8,0	75,1	1,6	25,9
27	1157	16.8±6.8	52.1±9.5	34,4±9,5	67,3	1,7	109,3
28	626	21.1±4.4	41.2±16.9	31,1±9,0	70,8	1,7	68,6
29	1987 (стандарт)	28.2±0.6	61.1±25	44,7±13,4	73,5	2,5	163,5
30	41	21.8±5.6	70.2±37.4	46,0±20,1	106,9	3,2	1102,6

Примечание: сорта отсортированы в порядке возрастания b_i

Сорта интенсивного типа, сильно реагирующие на условия среды, имеют высокие b_i . К таким относятся 8 образцов с порядковыми номерами 23-30 (таблица 20), с распределением с b_i от 1,3 до 3,2: кк- 283 (Узбекистан), 1533 (Мадагаскар), 46 (США), 1157 (Камерун), 626 (Индия), 1987 (Россия) и 41 (США) среди них есть и показавшие тенденцию к высокой продуктивности (к-

41 и к-1987 - сорт-стандарт 'Отрадокубанский') на КОС. Такие генотипы лучше проявляют себя в узком диапазоне благоприятных сред, но уменьшают урожайность при отклонении от узкой зоны оптимума (Пакудин, 1976; Кильчевский, Хотылева, 1989; Мальчиков и др., 2016; Лоскутов, 2020).

Различия между 6 средами исследования по вызреваемости были достоверны ($p < 0,001$). Наблюдаются также достоверные различия пунктов по результатам трех лет исследований ($p = 0,032$). Вызреваемость составила в среднем в ПАФНЦ 88,2%, а в КОС 55,7%. Высокая вызреваемость в ПАФНЦ, вероятно, обусловлена дополнительным поливом и более подходящими почвенно-климатическими условиями. Наибольшие значения вызреваемости отмечены в обоих пунктах в 2020 г (рис. 14), что связано с наименьшим количеством осадков в период созревания, в августе-октябре. Вызревание бобов составило в 2020 г в ПАФНЦ 92,5%, что достоверно не отличается от 2019 г (86,9%), но выше 2021 г (36,7%) и значений этого показателя во все годы эксперимента в КОС (2019 61,6%, 2020 68,8%, 2021 36,7%). По вызреваемости нет достоверных различий между образцами ни в КОС ($p = 0,997$), ни в ПАФНЦ ($p = 0,226$). Однако в качестве наиболее перспективных могут быть предложены образцы, показавшие наиболее высокую вызреваемость в данном опыте (табл. 7-10).

Наиболее высокую вызреваемость в ПАФНЦ (более 90%) можно отметить у образцов под номерами кк-64 (Индонезия), 126 (Италия), 163 (Грузия), 175 (Бразилия), 179 (США), 180 (США), 300 (Трансвааль), 317 (Зимбабве), 433 (Сенегал), 597 (Канада), 695 (Марокко), 698 (Марокко), 720 (Израиль), 793 (Россия), 868 (Уганда), 869 (Уганда), 939 (Бразилия), 1027 (Мали), 1533 (Мадагаскар), 1942 (Россия), 2013 (Россия), 2021 (Россия), 2065 (Китай) и 2067 (Китай) (всего 24 образца из 60). Коэффициент вариации этого признака в целом ниже в ПАФНЦ. Высокая вызреваемость отмечена для образцов, полученных в коллекцию ВИР из Краснодарского края РФ, США, Китая, Бразилии, Южной Родезии и Мадагаскара. (табл. 7-9).

Таким образом, условия большей увлажненности в КОС ВИР способствовали меньшей вызреваемости бобов, при этом продуктивность и продолжительность всходы-цветение в двух пунктах изучения достоверно не различалась. Продуктивность арахиса в КОС в 2019 и 2021 гг достигала существенно больших значений (до 144 и 91,7 г, соответственно), чем в других исследованных средах (пунктах и годах) и характеризовалась в эти годы большим размахом изменчивости между образцами.

В результате исследования показано, что арахис можно возделывать на юге РФ, а именно в Астраханской области и Краснодарском крае. Выделены образцы арахиса, которые более продуктивны в Астраханской области, другие – более продуктивны в Краснодарском крае, выделены образцы с лучшей продуктивностью в обеих точках за каждый год. Образцы к-317 (Зимбабве) и к-868 (Уганда) отмечены как самые высокопродуктивные на ПАФНЦ РАН за три года; образцы к-283 (Узбекистан) и к-1157 (Камерун) показали высокую продуктивность в течение трех лет на КОС ВИР. На орошаемых землях урожай более стабилен, продуктивность отдельных образцов выше на более плодородных почвах Краснодарского края. В результате нашего исследования выявлены стабильные генотипы: кк – 41 (США), 751 (Португалия), 283 (Узбекистан), 626 (Индия), 1533 (Мадагаскар), 1987 (Россия) которые могут служить исходным материалом для селекции новых отечественных сортов.

Признак «вызреваемость» использован в связи с тем, что продолжительности периода вегетации на юге РФ недостаточно для полного вызревания всех завязавшихся бобов. И провести оценку продолжительности вегетационного периода не представляется возможным. К лучшим образцам по вызреваемости в двух точках исследования относятся к-3 (США) и к-793 (Россия).

3.5. Создание сортов арахиса

В ходе работы также были отобраны перспективные образцы арахиса для создания сортов: крупносемянные (табл. 21) и мелкосемянные (табл.22).

Создание новых сортов проводили путем отбора лучших типичных растений с самыми высокими наблюдаемыми характеристиками хозяйственно ценных признаков каждого образца и последующим высевом семян, полученных от этих растений. Отбор проводили, сравнивая показатели образцов в течение трех лет исследования, учитывая прежде всего продуктивность, вызреваемость, стабильность и пластичность образцов.

В создании сортов можно выделить несколько этапов. Сначала проведение эколого-географического испытания образцов арахиса, их морфологического описания и оценки хозяйственно ценных признаков: продолжительность вегетационного периода, вызреваемость, продуктивность, лужистость, масса 1000 бобов и масса 1000 семян. Проведение эколого-географических испытаний необходимо в связи с варьированием признаков в зависимости от погодных условий во время выращивания в разные годы. Исходя из трехлетних данных проводится отбор образцов с наилучшими показателями хозяйственно ценных признаков за три года с учетом коэффициентов регрессии на условия среды.

Морфологическое описание растений проводится с целью отбора кустовых форм, наиболее удобных для промышленного выращивания и сбора урожая. Проведение морфологического описания бобов и семян необходимо для отбора наиболее крупно- и мелкосемянных образцов для дальнейшей работы.

При отборе перспективных образцов сорт 'Отрадокубанский' является стандартом. Параметры оцениваемых признаков, отобранных крупносемянных образцов в сравнении со стандартом должны превышать его показатели. Для мелкосемянных образцов такие параметры как продуктивность, масса 1000 бобов и масса 1000 семян могут незначительно уступать в показателях стандарту.

Таблица 19. Крупносемянные образцы, отобранные для создания сорта.

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение	Продуктивность (г)	Вызреваемость (%)	Масса 1000 семян (г)
1	1987	Отрадокубанский (стандарт)	Россия	44,6±13,4	68,3±9,7	703,0±33,4
2	698	Sel.C.R.A.Issue de Куба 15237	Марокко	41,0±14,3	71,6±10,1	610,0±58,5
3	2002	№20031	ВНИИМК	35,6±5,6	75,4±8,4	615,8±30,7
4	2064	Bai Yuan Hua 2	Китай	37,0±14,5	71,8±18,5	749,4±22,1

Все образцы (табл. 19) характеризуются очень крупным размером семян (около 1,5 см в длину). Образец к-698 отмечен как один из наиболее высокопродуктивных в двух точках исследования за 2019 и 2020 годы; также был отмечен как один из лучших по вызреваемости в 2021 г. Была произведена оценка жирнокислотного состава данного образца: содержание линолевой кислоты в пределах 28-42%, содержание олеиновой кислоты 39-46% в зависимости от условий выращивания. Образцы к-2002 и к-2064 отличились очень высокой продуктивностью в 2021 году. Образец к-2002 показал высокую вызреваемость в 2019 г. Также в течение всех трех лет исследования выбранные образцы показывали хорошие результаты по вызреваемости, продуктивности и массе 1000 семян и 1000 бобов. Формы отобранных образцов кустовые, что удобно для промышленного выращивания и сбора урожая.

Таблица 20. Мелкосемянные образцы, отобранные для создания сорта.

№ п/п	№ каталога ВИР	Название	Происхождение	Продуктивность (г)	Вызреваемость (%)	Масса 1000 семян (г)
1	1987	Отрадокубанский (стандарт)	Россия	44,6±13,4	68,3±9,7	703,0±33,4
2	596	Negrotipo 2 Parc.223 Manfredi	Судан	27,8±5,8	81,9±3,9	355,6±27,4
3	597	Early Spanish 0833	Канада	26,0±6,3	74,5±7,0	268,8±43,4

Мелкосемянные образцы (таблица 20) характеризуются очень малым размером семян (около 5-7 мм в длину). Образец к-596 обладает черно-фиолетовым цветом семенной кожуры, один из лучших по вызреваемости за 2019 г. И, несмотря на небольшой размер массу 1000 семян, вошел в число лучших по продуктивности на КОС ВИР в 2019 г., на ПАФНЦ РАН в 2020 г. Образец был оценен по жирнокислотному составу, согласно данным биохимического анализа содержание линолевой кислоты варьирует в пределах 30-37%, а содержание олеиновой – 43-46%. Образец к-597 отмечен как один из лучших по вызреваемости в двух точках исследования за 2019 и 2020 годы. Показал высокую продуктивность на КОС ВИР в 2019 г. (42,2г с растения) и ПАФНЦ РАН в 2020 г. (38,7г с растения). Окраска семенной кожуры светорозовая. Оценка жирнокислотного состава показала содержание линолевой кислоты в пределах 31-42% и содержание олеиновой кислоты 40-45%. Можно сказать, что жирнокислотный состав образцов оптимален. Формы обоих образцов кустовые.

В 2022 г. для более тщательной оценки было проведено повторное испытание и размножение 5 предсортов арахиса в сравнении со стандартом ‘Отрадокубанским’ на КОС ВИР, оценивались по 30 растений каждого образца. Результаты представлены в таблице 21.

Таблица 21. Результаты испытание линий арахиса на КОС ВИР, 2022 г.

№ линии	Вызреваемость (%)	CV вызреваемости (%)	Отличие от стандарта по T-критерию (значимо при T>1,6)	Продуктивность (г)	CV продуктивности (%)	Отличие от стандарта по T-критерию (значимо при T>1,6)	Число вызревших бобов с растения
к-1987 (стандарт)	61,08±2,88	25,83	-	48,43±5,16	58,45	-	21,80
596/1	93,64±2,72	15,95	8,2	44,23±3,57	36,78	-0,6	34,53

597/2	67,32±2,89	23,55	1,5	17,70±1,60	49,70	-5,6	31,96
698/3	54,37±2,36	23,81	-1,8	64,83±4,47	37,82	2,3	24,53
2002/4	77,27±2,8	19,88	4,0	26,43±2,15	44,69	-3,9	30,16
2064/5	77,61±3,07	21,68	3,9	43,03±2,88	36,74	-0,9	23,70

Наиболее высокая продуктивность отмечена у линий, отобранных из к-596 (мелкосемянный), к-698 и к-2064 (крупносемянные). Однако из-за плохих погодных условий во время уборки объективно оценить признаки образцов к-597 и к-698 не удалось, оба показывают низкую вызреваемость.

В 2023 г. было проведено еще одно испытание 5 образцов арахиса в сравнении со стандартом 'Отрадокубанским' на КОС ВИР, оценивались по 30 лучших растений каждого образца. Результаты представлены в таблице 22.

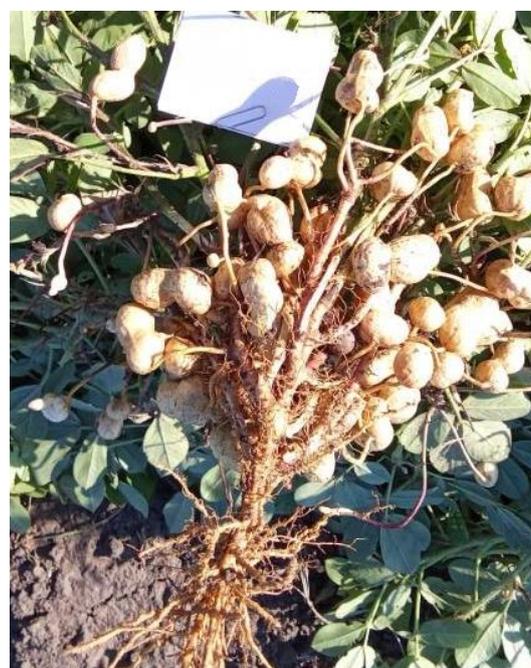
Таблица 22. Результаты испытания новых сортов арахиса на КОС ВИР в 2023 г.

№ линии	Вызреваемость (%)	CV вызреваемости (%)	Отличие от стандарта по T-критерию (значимо при T>1,6)	Продуктивность (г)	CV продуктивности (%)	Отличие от стандарта по T-критерию (значимо при T>1,6)	Число вызревших бобов с растения
к-1987 (стандарт)	72,16±2,00	10,41	-	60,92±3,97	24,41	-	54,30
596/1	69,04±1,99	15,84	-0,9	32,05±2,14	36,57	-10,1	56,33
597/2	76,11±1,86	13,43	1,2	26,65±1,40	28,78	-8,7	35,10
698/3	43,00±1,86	23,80	-9,5	27,92±1,79	35,22	4,3	70,06
2002/4	82,70±1,19	7,90	4,7	81,71±2,70	18,11	-0,2	42,20
2064/5	77,08±1,70	12,10	1,7	59,92±2,22	20,35	-0,3	38,71

Среди крупносемянных линий, отобранная из к-2064 (№ 2064/5) в 2023 г. показывает продуктивность и вызреваемость на уровне стандарта и, кроме того, превышает его по крупноплодности. Линия № 698/3, отобранная из к-698 второй год демонстрирует самый низкий, из исследуемых линий, процент вызреваемости и невысокую продуктивность. Линия № 2002/4, из к-2002 по продуктивности и вызреваемости значительно превышает стандарт.

Линия № 596/1 из к-596 в 2023 г. имеет вызреваемость на уровне стандарта, продуктивность немного снижена в сравнении с прошлым годом, однако, число бобов с растения в среднем высокое. Линия № 597/2 из к-597 показала хорошую вызреваемость и продуктивность несколько выше, чем в 2022 г. В целом, учитывая мелкий размер и низкую массу 1000 бобов в сравнении с крупносемянными предсортом, средний вес урожая с растения (32,05 г) хороший.

Путем двукратного отбора были созданы линии №№ 596/1; 597/2; 2002/4; 2064/5 из образцов кк-596, 597, 2002 и 2064 (соответственно). На основе линий № 2002/4 и № 2064/5 были созданы сорта (рис. 17).



А)

Б)

Рисунок 17. Линии арахиса КОС ВИР, 2022 г. (А-№2064/5; Б-№2002/4)

Линия под номером № 2064/5, полученная из образца к-2064 была зарегистрирована в ГСИ в качестве сорта под названием 'Виктория' (номер патента 13872 от 30 сентября 2024г.). По продуктивности и вызреваемости сорт не уступает стандарту и превосходит его по размеру семян и бобов. Линия № 2002/4 планируется к регистрации в качестве сорта 'Бемоль'.

Селекция арахиса в России в последние годы практически не велась. В Госреестре на данный момент всего три сорта, все крупносемянные. Создание мелкосемянных образцов арахиса в России ранее не проводилось. Новый сорт арахиса 'Виктория' по размеру и массе 1000 семян превосходит стандарт 'Отрадокубанский', и не уступает ему по вызреваемости, продуктивности, жирнокислотному составу, содержанию белка и масла. Мелкосемянные предсорта, несмотря на небольшую массу 1000 семян, имеют высокую продуктивность, сравнимую с сортом 'Отрадокубанский'.

Исходя из всего выше сказанного можно выделить следующие рекомендации для создания сортов арахиса:

1. При создании новых крупноплодных сортов первичный отбор среди исходного материала проводить по массе 1000 бобов и семян, затем отбирать более продуктивные с наибольшим процентом вызреваемости бобов
2. При создании мелкоплодных сортов для специфических нужд кондитерской промышленности необходимо вести отбор по наибольшей продуктивности
3. Для селекции сортов арахиса, пригодных для возделывания в разных условиях, использовать селекционный материал с высокой степенью пластичности.

3.6. Изучение гена *cis*, контролирующего синтез кукумопин-синтазы

Проведено секвенирование нуклеотидных последовательностей гена *cis* 13 образцов арахиса. Номера последовательностей представлены в таблице 23. Полная нуклеотидная последовательность представлена в приложении И. Все

последовательности сохранили открытые рамки считывания, что дает возможность оценивать их экспрессию.

В последовательностях присутствуют однонуклеотидные замены. У к-1987 ('Отрадокубанский', стандарт) в положении 278 нуклеотид С заменен на G, замена синонимичная. В образцах кк-168, 555, 626 и 939 в положении 240 присутствует синонимичная замена нуклеотида G на C. Также в образцах кк-168, 555 и 939 в положении 250 нуклеотид G заменен на A, что приводит к замене аминокислоты глицин на серин. Образец к-168 демонстрирует высокий уровень экспрессии гена *cis* во всех органах, а кк-555 и 939 – низкий, что говорит о том, что эта замена не оказывает влияния на работу гена.

Таблица 23. Номера секвенированных последовательностей гена *cis* депонированных нами в базе данных NCBI.

п/п	№ по каталогу ВИР	№ в базе NCBI
1	168	OL840908.1
2	416	OL840909.1
3	555	OL840910.1
4	596	-
5	597	-
6	626	-
7	751	OL840911.1
8	939	OL840912.1
9	1157	OR905615.1
10	1252	-
11	1905	OR905616.1
12	1987 (стандарт)	-
13	2002	-

Исследована экспрессия гена кукумопин-синтазы (*cis*) различных органах растений десяти образцов культурного арахиса из коллекции ВИР, имеющих разное географическое происхождение и отличающиеся по

морфологическим признакам. Оценка проводилась по трем растениям каждого образца, в корнях, листьях и стебле. Результаты представлены на рисунках 18-20.

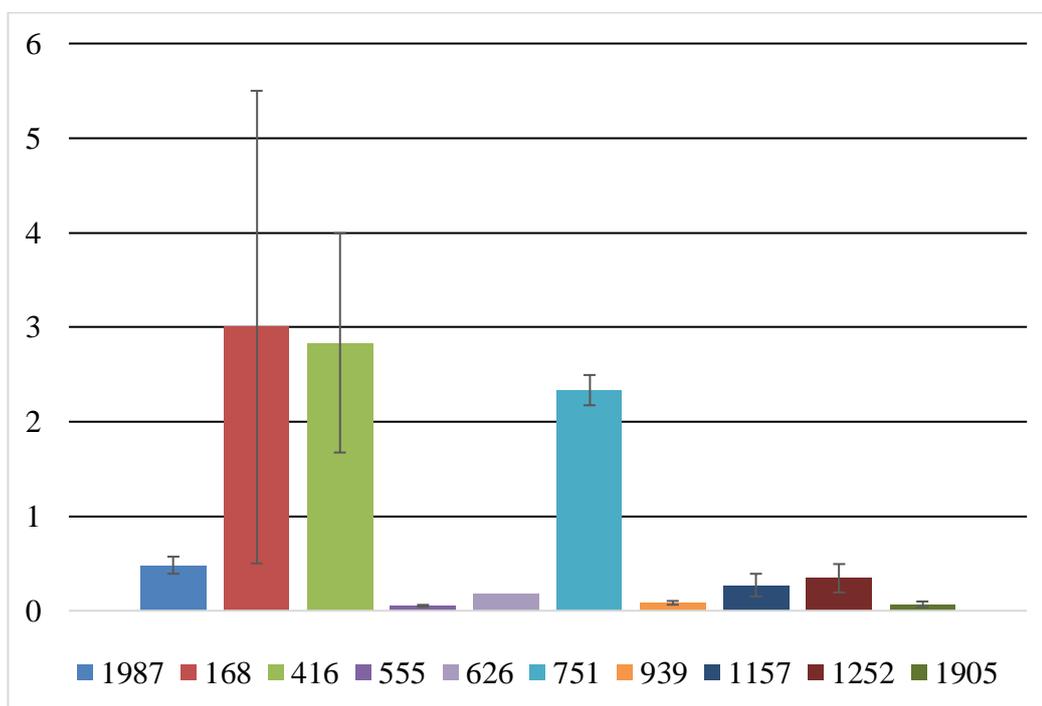


Рисунок 18. Уровень экспрессии гена кукумопин-синтазы (*cus*) в корнях.

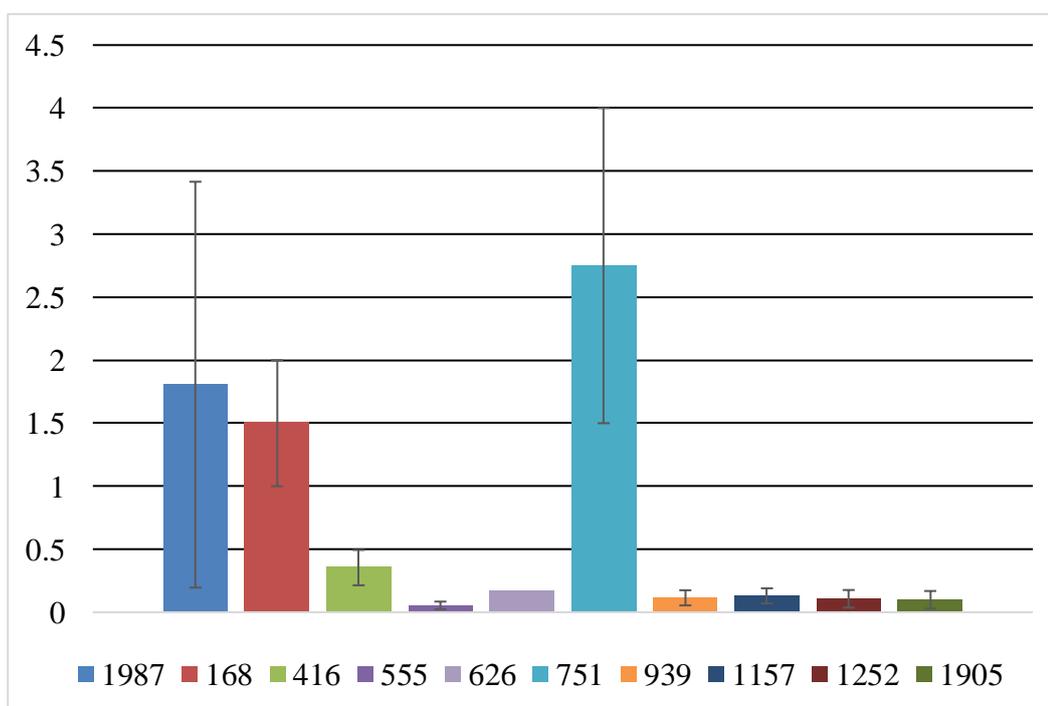


Рисунок 19. Уровень экспрессии гена кукумопин-синтазы (*cus*) в листьях.

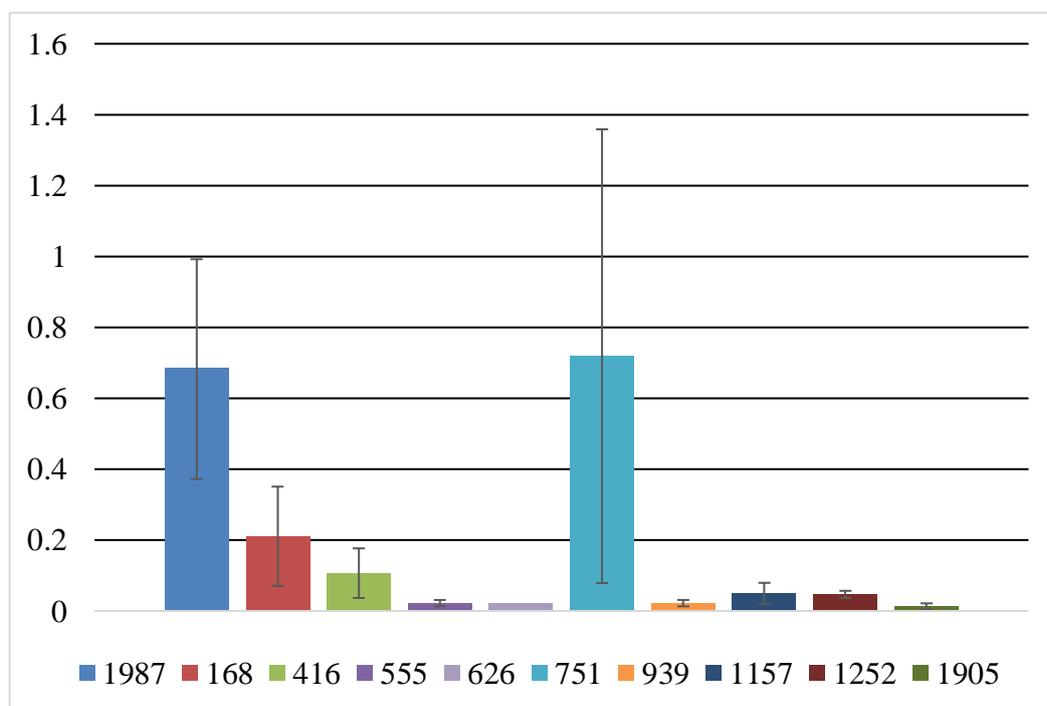


Рисунок 20. Уровень экспрессии гена кукумопин-синтазы (*cus*) в стебле.

В ходе работы выявлена тканеспецифичная экспрессия гена *cus* в образцах арахиса и обнаружены образцы контрастные по уровню его экспрессии. Наиболее высокая экспрессия отмечена в корнях, что позволяет предположить, что ген *cus* через синтез опинов может иметь отношение к взаимодействию с клубеньковыми бактериями и влиять на продуктивность арахиса.

Высокая экспрессия отмечается в корнях образцов кк-168, 416, 751. У образца к-168 отмечается повышенная экспрессия в корнях и листьях; у образцов к-751 и к-1987 ('Отрадокубанский', стандарт) уровень экспрессии в листьях и стебле наиболее высокий, в сравнении с другими. У образцов кк-555, 626, 939, 1157, 1252, 1905 экспрессия гена *cus* незначительная во всех органах. Отличия уровней экспрессии в разных органах представлены в приложении Н.

Исследована экспрессия гена *cus* в корнях двух образцов на разных этапах вегетационного периода. Образец к-168 ранее показывал высокий уровень экспрессия гена *cus*, а к-1157 – низкий. Образцы корней для анализа брали через 3 недели после прорастания семян (22 июля) и во время цветения (13 сентября). Результаты представлены на рисунке 21.

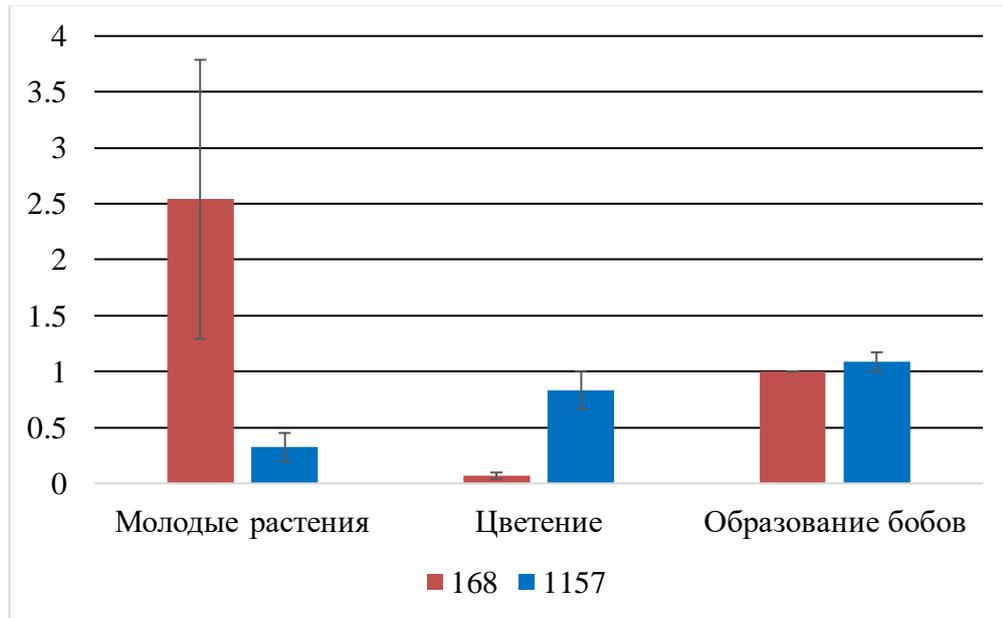


Рисунок 21. Уровень экспрессии гена кукумопин-синтазы (*cus*) в разные периоды.

Оба образца демонстрируют изменение уровня экспрессии гена *cus* в зависимости от стадии развития растения. Наиболее высокий уровень отмечен у трехнедельных растений образца к-168, далее во время цветения уровень экспрессии у этого образца значительно снижается и снова поднимается в период образования плодов. Образец к-1157 изначально демонстрирует низкий уровень экспрессии в трехнедельных растениях, затем экспрессия также начинает увеличиваться во время цветения и, во время образования плодов, его экспрессия превосходит уровень образца к-168 на той же стадии.

Уровень экспрессии генов сильно варьирует между линиями. Так как последовательности по итоговому аминокислотному составу не отличаются, различия следует искать в генетике образцов арахиса, а не в структуре трансгена. Кроме того, можно отметить тенденцию к более высокой экспрессии трансгена в корнях по сравнению с другими органами растений, что согласуется с литературными данными для других видов. Например, высокая экспрессия генов клТ-ДНК также отмечалась в корнях табака (Naphizova et al., 2023; Otten et al., 2020).

До недавнего времени клТ-ДНК была описана только у культивируемого арахиса *A. hypogaea*, его предков *A. duranensis* и *A. ipaensis* и близкородственных *A. monticola* и *A. stenosperma*. В рамках исследования Bogomaz et al. (2024) с использованием алгоритма BLAST были описаны последовательности клТ-ДНК в данных WGS для 6 образцов *A. hypogaea*, 5 образцов *A. duranensis*, 4 образцов *A. ipaensis*, по 1 образцу каждого из *A. monticola*, *A. stenosperma* и *A. cardenasii*. Последовательности, гомологичные гену *cus*, присутствуют во всех этих геномах и расположены на хромосоме 8 в общем сайте интеграции, что указывает на то, что все эти последовательности являются результатом одного акта трансформации. Природные ГМО были обнаружены в секциях *Arachis*, *Erectoides*, *Extranervosae*, *Procumbentes*, *Caulorrhizae*, *Heteranthae*, *Procumbentes*, что указывает на то, что их общий предок трансформировался до того, как секции разошлись. У культурного арахиса из 28 описанных аллелей гена только три содержали мутации, несовместимые с функцией, что говорит в пользу их эволюционного значения.

На филогенетическом дереве (рисунок 22) четко выделяются две крупные клады, соответствующие изучаемым последовательностям из геномов А и В культивируемого арахиса.

Меньшая дивергенция последовательностей генома А может быть связана с функциональностью генов и стабилизацией отбора в пользу интактных аллелей. В этом случае можно ожидать экспрессии гена. Поэтому мы оценили экспрессию в нескольких линиях арахиса.

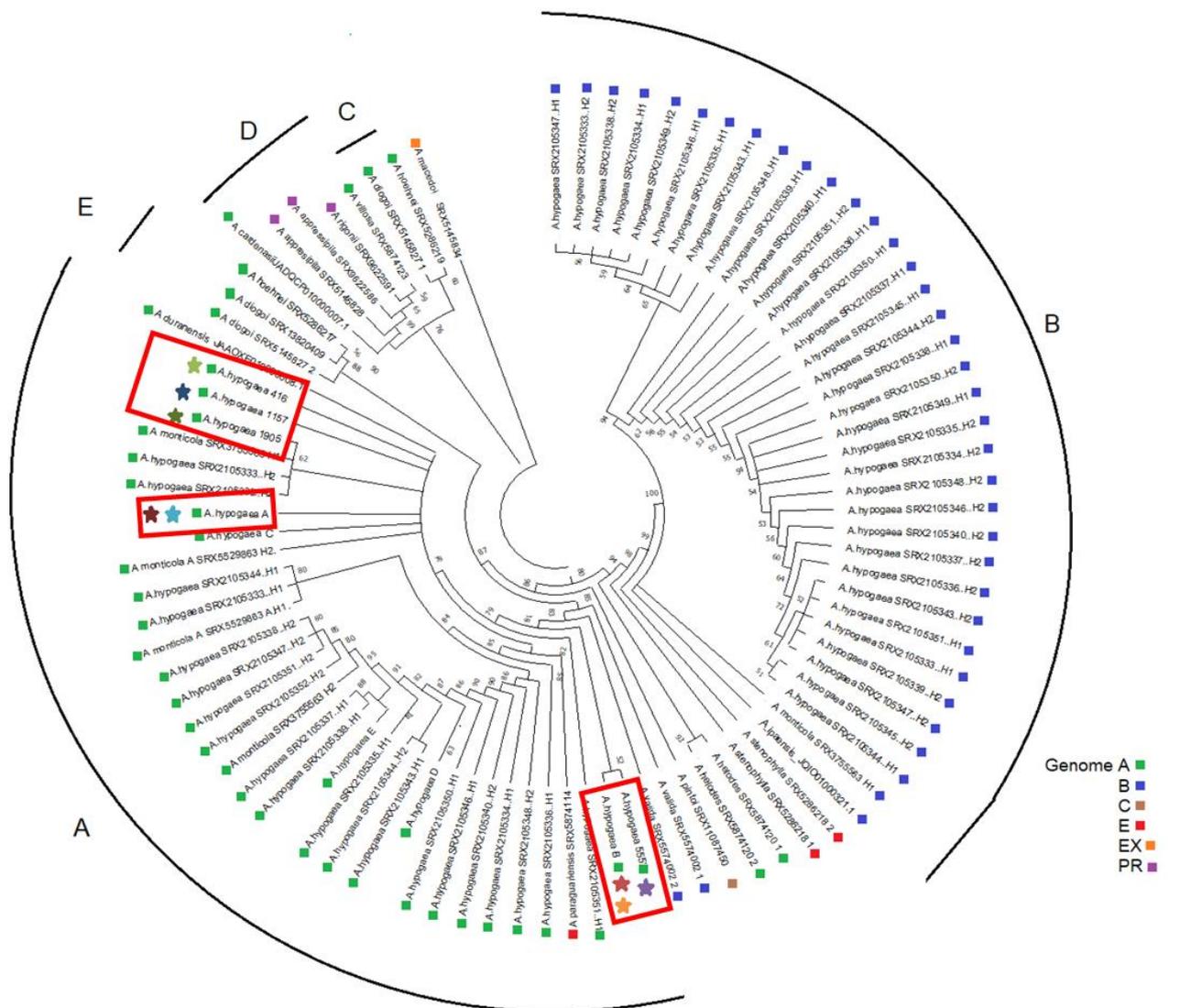


Рисунок 22. Филогенетические взаимоотношения между *cus*-подобными последовательностями разных видов *Arachis*. Красным выделены образцы из коллекции ВИР (Vogomaz et al., 2024)

Дальнейшие исследования функционирования природных трансгенов с использованием генетического материала, контрастного по экспрессии трансгенов, позволят приблизиться к пониманию их функции. Поскольку известно, что опины могут секретироваться в окружающую среду из растительных клеток.

3.7. Анализ взаимосвязи хозяйственно ценных признаков и уровня экспрессии гена *cus*

Проведена оценка изменчивости хозяйственно ценных признаков в зависимости от уровня экспрессии гена *cus* в разных органах арахиса с использованием U-критерия Манна-Уитни, результаты анализа представлены в табл. 24 (полные расчеты в приложении К-Н).

Таблица 24. Результаты оценки хозяйственно ценных характеристик 10 образцов арахиса относительно уровня экспрессии гена *cus* в корнях.

Признак	Характеристика группы						U-критерий Манна-Уитни	
	Низкая экспрессия			Высокая экспрессия			Z adjusted	p-level
	Valid N	Mean \pm Se	Rank Sum	Valid N	Mean \pm Se	Rank Sum		
Период всходы-цветение (дни)	6	30,0+0,4	44	4	27,6+0,74	11	2,38	0,02
Масса 1000 бобов (г)	6	1118+83	23	4	1651+142	32	-2,13	0,03
Уровень экспрессии в стеблях	6	0,04+0,01	21	4	1,32+0,55	34	-2,57	0,01
Уровень экспрессии в листьях	6	0,12+0,01	21	4	1,23+0,44	34	-2,57	0,01

Примечание: Valid N – число повторностей варианта эксперимента; Mean \pm Se – среднее с доверительным интервалом (\pm стандартная ошибка) варианта опыта; Z adjusted – эмпирическое значение стандартизированной переменной U-критерия Манна – Уитни; p – уровень значимости. В таблице приведены только варианты экспериментов, достоверно отличающиеся друг от друга.

Оценка по уровню экспрессии в корнях выявила значимые различия в продолжительности периода всходы-цветение на КОС ВИР, при более высокой экспрессии продолжительность короче, а масса 1000 бобов в среднем выше. Анализ уровня экспрессии в листьях не показал значимого влияния на проявление хозяйственных признаков. Также не было обнаружено какой-либо

взаимосвязи экспрессии гена кукумопин-синтазы и морфологических признаков.

Уровень экспрессии в стеблях, листьях и корнях связан между собой – в контрастных по данному признаку образцах более высокая экспрессия наблюдается одновременно во всех органах, также, как и низкая экспрессия.

Можно предположить, что взаимосвязь между некоторыми хозяйственно ценными признаками и уровнем экспрессии гена *cis* проявилась только на КОС ВИР или ПАФНЦ в связи с определенными климатическими условиями, которые стимулировали работу гена. Самыми явными различиями на КОС ВИР и ПАФНЦ являются условия увлажнения, разница в температуре и свойства почвы.

Мы использовали факторный анализ для того, чтобы оценить совместную изменчивость признаков под действием совокупного влияния внешних условий. В первый вариант факторного анализа были включены средние значения всех измерений количественных признаков за три года исследований и зашифрованные значения морфологических признаков, приведенных в таблицах 4 и 5. Факторный анализ с использованием количественных признаков был проведен отдельно для данных, полученных в ПАФНЦ (таблица 25) и КОС (таблица 26). Во всех вариантах факторного анализа использованы данные для 30 образцов анализа, так как уже говорилось ранее из 63 образцов только для этих 30 были получены результаты за три года в 2-х точках проведения опыта.

Таблица 25. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса в ПАФНЦ РАН (2019-2021 гг.).

Название признака	Символ признака	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака
Форма куста	fb	0,65	-0,05	-0,04	0,35	Кустовая – полукустовая - стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	0,66	-0,24	-0,20	0,04	Слабая – средняя - сильная

Длина междоузлий	intn	-0,58	0,25	-0,05	0,14	1,4-8,0 (см)
Степень опушения	pbs	0,14	0,24	-0,10	0,50	Слабая – средняя - сильная
Антоциановая окраска	cn c	-0,72	-0,23	-0,28	0,15	Отсутствует - слабая – средняя - сильная
Величина листочков	s.lft	-0,56	0,30	0,26	0,27	3,0-9,0 (см)
Форма листочков	f.lft	-0,28	0,14	0,031	0,39	Обратнойцевидная – эллиптическая – широкоэллиптическая – удлинненно-овальная
Окраска листа	lfc	-0,09	-0,28	-0,61	-0,19	Светло-зеленая – темно-зеленая
Длина черешка	lpt	-0,67	0,33	-0,05	-0,15	2,0-10,0 (см)
Форма прилистника	fbct	-0,22	0,19	0,17	-0,41	Линейноланцетная - клювовидная
Величина цветка	sfl	-0,09	-0,39	0,51	0,28	0,5-2,0 (см)
Форма чашечки	fcl	-0,20	-0,18	-0,21	0,38	Длиннозубчатая - короткозубчатая
Размер чашечки	scl	-0,01	-0,32	0,45	0,54	0,3-1,0 (см)
Окраска чашечки	ccl	0,07	0,26	0,46	-0,28	Светло-зеленая – темно-зеленая
Опушение чашечки	pbcl	0,06	0,47	-0,13	0,60	Слабое – среднее - сильное
Высота растения	H	-0,54	-0,15	-0,01	-0,17	22,8-85,4 (см)
Лузжистость	lj1	0,53	-0,28	-0,05	0,04	18,8-75,6 (%)
Период всходы-цветение	gm-fr1	0,64	-0,34	-0,24	-0,04	21-51 дней
Вызреваемость	mt%	-0,64	0,18	-0,28	0,22	47,5-100 (%)
Продуктивность	p	-0,30	-0,03	0,25	0,04	3,5-51,1 (г)

Масса 1000 семян	ms1000	-0,34	-0,68	0,34	0,07	244-851 (г)
Масса 1000 бобов	mp1000	-0,43	-0,74	-0,02	0,05	366-1719 (г)
Величина боба	sp	-0,26	-0,67	-0,20	0,21	1,5 – 6,0 (см)
Форма боба	fp	-0,09	0,16	-0,52	0,12	Коконообразная – вальковато-цилиндрическая - вздутая
Число семян	Ns	-0,40	-0,10	-0,19	0,15	1-5 (шт.)
Наличие перехвата боба	Phv	0,01	-0,08	0,49	0,32	Невыраженный - слабый – средний - сильный
Форма семени	fs	-0,35	-0,19	0,36	-0,52	Округлая - удлиненно- овальная - овальная
Величина семени	ss	-0,15	-0,66	-0,24	-0,13	0,4-2,0 (см)
Окраска семени	cs	-0,39	0,17	-0,32	-0,13	Светло-розовая – розовато- коричневая – буро-красная – черно-фиолетовая
Expl.Var		5,09	3,47	2,61	2,46	
Prp.Totl		0,17	0,11	0,09	0,08	

Установлено, что основную часть дисперсии определяют четыре фактора (18% - F1, 12% - F2, 9% - F3, 9% - F4). В первом из них максимальные нагрузки несут показатели, характеризующие габитус растения (длина черешка (-0,67), длина междоузлий (-0,58), степень выраженности стебля (0,66), форма куста (0,65), антоциановая окраска стебля (-0,72), а также показатели, связанные с продолжительностью вегетационного периода (период всходы-цветение (0,64), вызреваемость (-0,64). Во втором факторе максимальные нагрузки несут показатели продуктивности (масса 1000 бобов (-0,74) и 1000 семян (-0,68), величина боба (-0,67) и величина семени (-0,66)).

С третьим фактором связана изменчивость морфологических признаков, не влияющих на хозяйственно ценные показатели арахиса (форма боба (-0,52), величина цветка (0,51), окраска листа (-0,61)). Четвертый фактор определяет опушение чашечки (0,60), размер чашечки (0,54), степень опушения растения (0,50), форма семени (-0,52).

Наиболее значимые для оценки образцов арахиса признаки находятся в первых двух факторах. Процент вызреваемости бобов арахиса сильно зависит от длины вегетационного периода, что подтверждается нашим анализом. Вероятно, скороспелые растения имеют более развитый габитус. Показатели продуктивности закономерно связаны между собой. Масса 1000 бобов закономерно коррелирует с массой 1000 семян: чем крупнее бобы, тем больше семена.

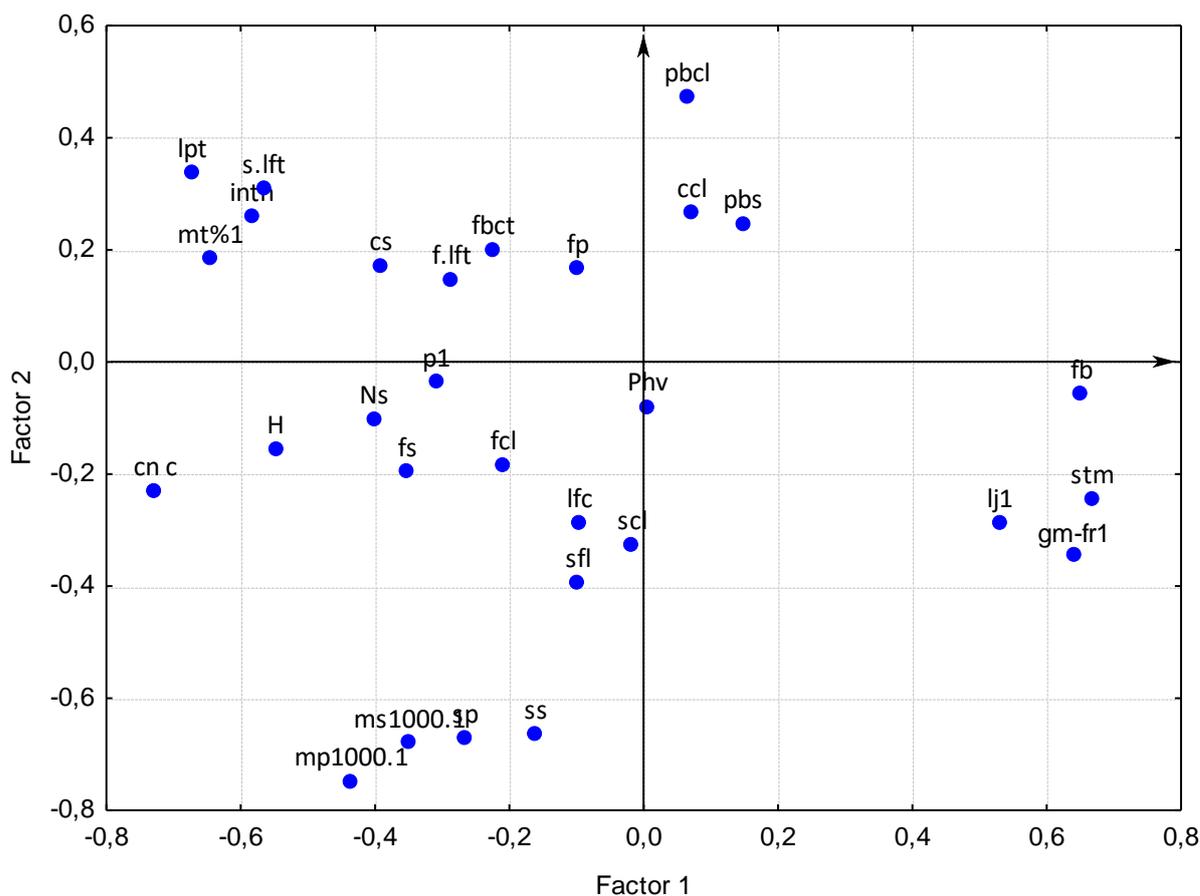


Рисунок 23. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса в ПАФНЦ РАН (2019-2021 гг.).

При анализе характеристик, полученных для образцов в КОС ВИР видны схожие паттерны – те же хозяйственно ценные признаки объединяются в один фактор. Основную часть дисперсии определяют четыре фактора (16% - F1; 14% - F2; 9% - F3; 8% - F4). В системе координат первого и второго фактора представлены показатели продуктивности (масса 1000 бобов (-0,83) и семян (-0,83), продуктивность (-0,69), величина боба (-0,62), величина семени (-0,55). На первый фактор приходится максимальная дисперсия признака продолжительность периода всходы-цветение (0,43). Вероятно, из-за почвенно-климатических условий на КОС ВИР (отсутствие полива, более плотная структура почвы) по сравнению с ПАФНЦ, продуктивность арахиса сильнее зависит от продолжительности вегетационного периода. Со вторым фактором связаны признаки габитуса растения: форма куста (-0,73), степень выраженности стебля (-0,63), длина черешка (0,66), антоциановая окраска (0,70). В третьем факторе наибольшую дисперсию имеют признаки опушения (опушение чашечки (-0,60) и степень опушения растения (-0,58)) и процент лужистости (-0,60). В четвертом факторе находятся морфологические признаки (окраска листа (-0,59), наличие перехвата боба (0,61), величина цветка (0,57), размер чашечки (0,51)).

Таблица 26. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса в КОС ВИР (2019-2021 гг.).

Название признака	Символ признака	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака
Форма куста	fb	-0,23	-0,73	-0,36	0,01	Кустовая – полукустовая - стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	-0,36	-0,63	-0,09	-0,32	Слабая – средняя - сильная
Длина междоузлий	intn	0,35	0,45	-0,21	0,13	1,4-8,0 (см)
Степень	pbs	0,11	-0,28	-0,58	0,15	Слабая – средняя -

опушения						сильная
Антоциановая окраска	cp c	-0,10	0,70	-0,35	-0,17	Отсутствует - слабая – средняя - сильная
Величина листочков	s.lft	0,25	0,48	-0,20	0,48	3,0-9,0 (см)
Форма листочков	f.lft	0,01	0,27	-0,30	0,29	Обратнойцевидная – эллиптическая – широкоэллиптическая – удлинненно-овальная
Окраска листа	lfc	-0,20	0,24	0,09	-0,59	Светло-зеленая – темно-зеленая
Длина черешка	lpt	0,49	0,66	0,09	0,03	2,0-10,0 (см)
Форма прилистника	fbct	0,34	0,13	0,27	0,03	Линейноланцетная - клювовидная
Величина цветка	sfl	-0,53	0,17	0,01	0,57	0,5-2,0 (см)
Форма чашечки	fcl	-0,19	0,17	-0,42	-0,03	Длиннозубчатая - короткозубчатая
Размер чашечки	scl	-0,45	0,05	-0,31	0,51	0,3-1,0 (см)
Окраска чашечки	ccl	0,30	-0,19	0,23	0,33	Светло-зеленая – темно-зеленая
Опушение чашечки	pbcl	0,29	-0,26	-0,60	0,10	Слабое – среднее - сильное
Лузжистость	lj2	-0,33	0,13	-0,60	-0,13	18,8-75,6 (%)
Период всходы-цветение	gm-fr2	0,43	-0,14	-0,29	-0,06	21-51 дней
Вызреваемость	mt%2	0,39	0,36	-0,14	0,08	47,5-100 (%)
Продуктивность	p2	-0,69	-0,32	-0,16	0,26	3,5-51,1 (г)
Масса 1000 семян	ms1000.2	-0,83	0,17	0,26	0,06	244-851 (г)
Масса 1000 бобов	mp1000.2	-0,83	0,42	-0,01	-0,02	366-1719 (г)

Величина боба	sp	-0,62	0,47	-0,17	-0,20	1,5 – 6,0 (см)
Форма боба	fp	0,23	0,14	-0,46	-0,40	Коконообразная – вальковато- цилиндрическая - вздутая
Число семян	Ns	0,04	0,44	-0,28	-0,13	1-5 (шт.)
Наличие перехвата боба	Phv	-0,13	0,05	0,01	0,61	Невыраженный - слабый – средний - сильный
Форма семени	fs	-0,11	0,38	0,40	0,19	Округлая - удлиненно- овальная - овальная
Величина семени	ss	-0,55	0,23	0,09	-0,36	0,4-2,0 (см)
Окраска семени	cs	0,15	0,28	-0,06	-0,24	Светло-розовая – розовато-коричневая – буро-красная – черно- фиолетовая
Expl. Var		4,66	3,96	2,66	2,50	
Prp. Totl		0,16	0,14	0,09	0,08	

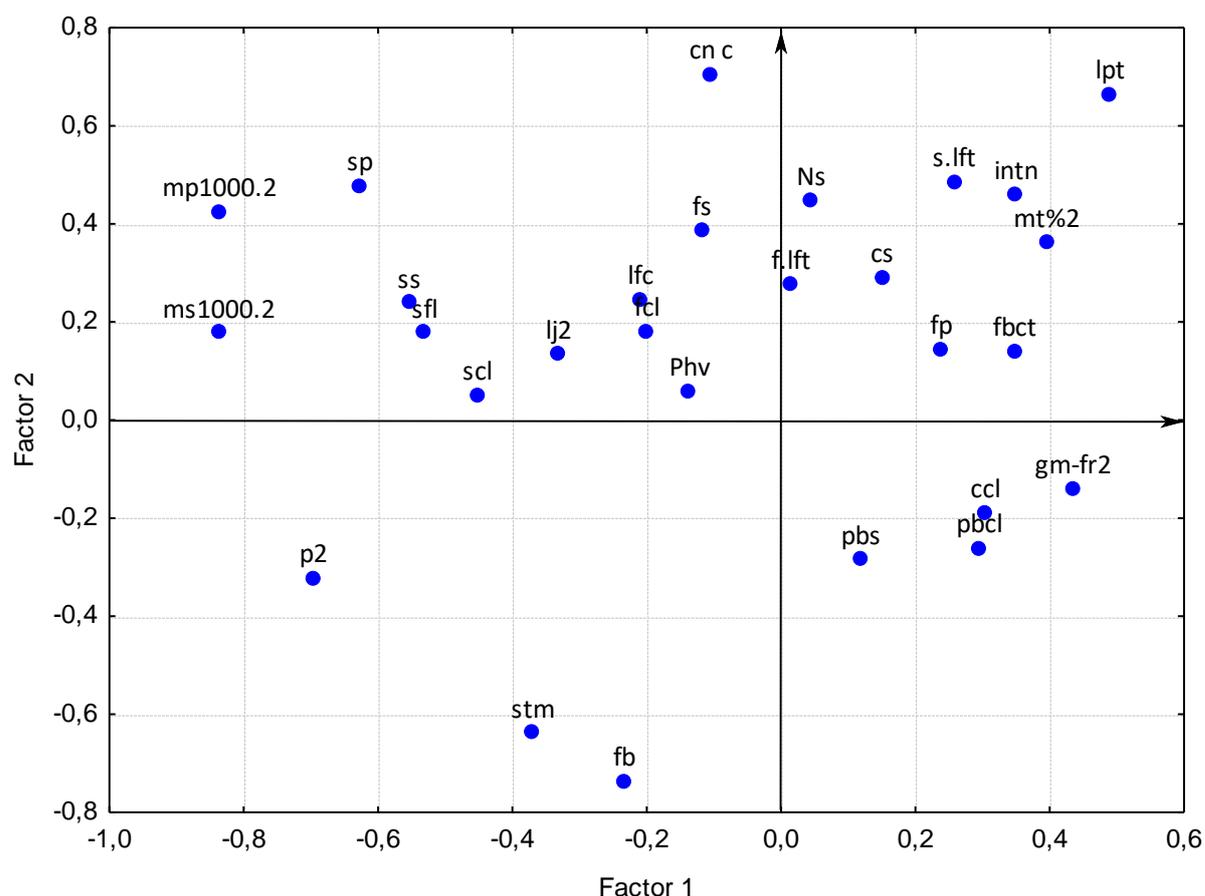


Рисунок 24. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса в КОС ВИР (2019-2021 гг.).

Второй вариант факторного анализа был предпринят с участием тех же морфологических и хозяйственно ценных признаков и признаков, характеризующих экспрессию гена синтеза кукумопина, а также с использованием данных биохимического анализа (33 признака). Данные по уровню экспрессии в разных органах получены для 10 образцов из 30 ранее проанализированных. Результаты факторного анализа образцов для 33 признаков арахиса представлены в таблице 27. Поскольку в молекулярных исследованиях использованы семена образцов полученные на Кубанской опытной станции, мы сочли возможным объединить в факторном анализе результаты по экспрессии гена *cus* с данными, полученными на КОС.

Таблица 27. Значения факторов по результатам факторного анализа по методу главных компонент для 33 признаков (30 морфологических и хозяйственно ценных и 3, характеризующих экспрессию гена *cis*) арахиса.

Название признака	Символ признака	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Варьирование проявления признака
Период всходы – цветение	gm-fr	0,55	-0,11	-0,07	0,23	26-31,5 дней
Вызреваемость	mt%	0,33	0,20	0,14	-0,27	41,4-60,6 (%)
Продуктивность	p	-0,34	-0,06	0,71	0,13	23,0-61,1 (г)
Лужистость	lj	0,27	-0,49	0,47	-0,54	30,4-42,7 (%)
Масса 1000 семян	ms1000	-0,56	0,07	0,54	-0,58	301,0-589,0 (г)
Масса 1000 бобов	mp1000	-0,79	0,30	0,30	0,04	891,0-1903,0 (г)
Величина боба	sp	-0,61	-0,01	0,41	0,09	1,5 -6,0 (см)
Форма боба	fp	0,60	0,02	0,10	0,27	Коконообразная – вальковато-цилиндрическая - вздутая
Число семян	Ns	0,63	0,35	0,47	-0,22	1-5 (шт.)
Наличие перехвата	Phv	0,39	0,33	0,67	-0,28	Невыраженный - слабый – средний - сильный
Форма семени	fs	-0,84	-0,20	0,02	0,34	Округлая - удлинненно-овальная - овальная
Величина семени	ss	-0,52	-0,11	0,11	0,15	0,4-2,0 (см)
Окраска семени	cs	0,16	-0,50	0,17	-0,73	Светло-розовая – розовато-коричневая – буро-красная – черно-фиолетовая
Форма куста	fb	0,22	-0,84	0,38	-0,14	Кустовая – полукустовая -

						стелющаяся
Степень выраженности стебля	stm	0,06	-0,92	-0,03	-0,10	Слабая – средняя - сильная
Длина междоузлий	intn	-0,18	-0,83	-0,15	-0,10	1,4-8,0 (см)
Степень опушения	pbs	-0,78	0,36	-0,11	0,03	Слабая – средняя - сильная
Антоциановая окраска	cn c	-0,47	-0,19	0,457	-0,41	Отсутствует - слабая – средняя - сильная
Величина листочков	s.lft	-0,11	0,76	0,35	-0,47	3,0-9,0 (см)
Форма листочков	f.lft	-0,34	0,20	0,29	0,68	Обратнойцевидная – эллиптическая – широкоэллиптическая – удлиненно-овальная
Окраска листа	lfc	-0,16	-0,74	0,43	0,03	Светло-зеленая – темно-зеленая
Длина черешка	lpt	0,07	0,71	-0,37	-0,19	2,0-10,0 (см)
Форма прилистника	fbct	-0,53	0,14	-0,56	-0,19	Линейноланцетная - клювовидная
Величина цветка	sfl	0,14	0,13	0,76	0,14	0,5-2,0 (см)
Размер чашечки	fcl	0,13	0,01	0,87	0,31	0,3-1,0 (см)
Опушение чашечки	pbcl	0,50	0,10	-0,28	0,07	Слабое – среднее - сильное
Содержание белка	PR	0,42	0,68	-0,13	-0,47	17,1-28,62 (%)
Содержание масла	O	-0,10	0,64	0,25	-0,62	33,4-41,64 (%)
Содержание олеиновой жирной кислоты	OA	0,18	-0,44	-0,52	-0,36	32,12-42,2 (%)
Содержание линолевой	LA	0,77	-0,25	0,11	-0,16	28,45-35,2 (%)

жирной кислоты						
Экспрессия гена <i>cis</i> в стебле	ES	-0,34	-0,02	-0,42	-0,50	0,01-2,79
Экспрессия гена <i>cis</i> в корнях	ER	-0,48	-0,32	-0,27	-0,66	0,06-3,14
Экспрессия гена <i>cis</i> в листьях	EL	-0,63	-0,03	-0,01	-0,32	0,06-2,42
Expl. Var		7,12	6,36	5,37	4,40	
Prp.Totl		0,21	0,19	0,16	0,13	

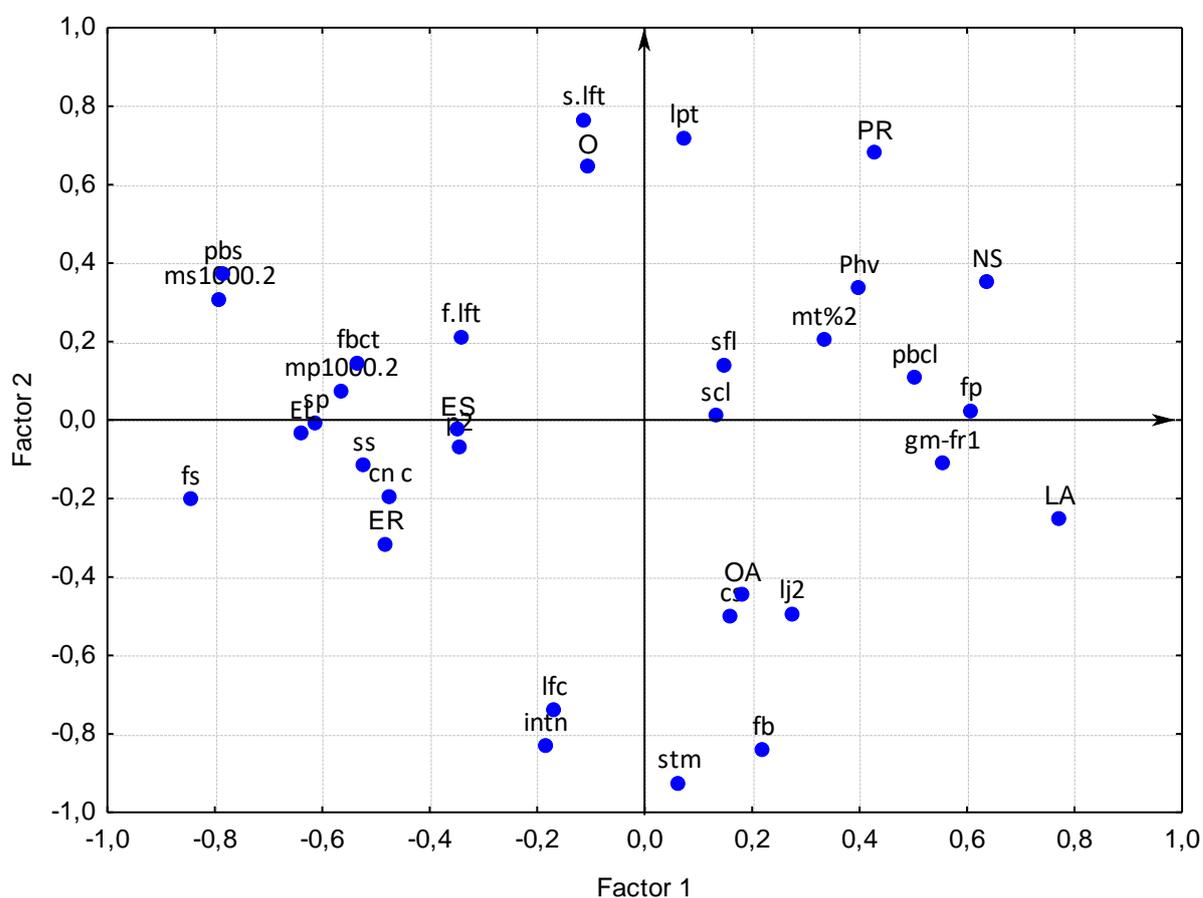


Рисунок 25. Факторные нагрузки для 30 хозяйственно ценных признаков арахиса в КОС ВИР и уровня экспрессии гена *cis* в системе координат первого (F1) и второго фактора (F2)

Основную часть дисперсии определяют четыре фактора (21% - F1, 19% - F2, 16% - F3, 13% - F4). С первым фактором связаны важные хозяйственно ценные признаки: масса 1000 бобов (-0,79), величина боба (-0,61), содержание линолевой жирной кислоты (0,77), число семян в бобе (0,63), продолжительность периода всходы – цветение (0,55), а также некоторые морфологические: форма семени (-0,84), степень опушения (-0,78), форма боба (0,60). Вместе с этими признаками в первом факторе максимальную дисперсию демонстрирует признак экспрессии гена *sis* в листьях (-0,63), что свидетельствует о его взаимосвязи с вышеперечисленными показателями.

Во втором факторе выделяются признаки габитуса растения: степень выраженности стебля (-0,92), форма куста (-0,84), длина междоузлий (-0,83), окраска листа (-0,74), величина листочков (0,76), длина черешка (0,71) и показатели содержания белка и масла в семенах арахиса. Это может свидетельствовать о том, что растения с более развитым габитусом накапливают больше питательных веществ.

Третий фактор объединяет изменчивость морфологических признаков - форма прилистника (-0,56), размер чашечки (0,87), величина цветка (0,76), наличие перехвата на бобе (0,67), а также несет максимальную дисперсию признаков продуктивности и содержания олеиновой жирной кислоты.

Четвертый фактор содержит как морфологические (окраска семени (-0,73), форма листочков (0,68)), так и важные хозяйственно-ценные признаки (содержание масла в семенах (-0,62), масса 1000 семян (-0,58), лужистость (-0,54)) вместе с наибольшей дисперсией экспрессии гена *sis* в корнях (-0,66). Нахождение всех этих признаков в одном факторе однозначно говорит в пользу их взаимосвязи. Таким образом, результаты факторного анализа показывают взаимосвязь экспрессии гена *sis* и некоторых других проанализированных нами признаков арахиса.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено комплексное эколого-географическое изучение 63 образцов арахиса коллекции ВИР. Для исследования отобраны образцы разного происхождения, таким образом, чтобы был охвачен весь ареал вида арахиса культурного (*A. hypogaea*). Впервые проведена оценка стабильности и пластичности 30 образцов арахиса коллекции ВИР, обнаружены перспективные стабильные генотипы, которые можно использовать для дальнейшей селекционной работы.

Путем многоступенчатого отбора выделены селекционные номера арахиса, отвечающие требованиям кондитерской промышленности на основе полной оценки хозяйственно ценных признаков. На их основе созданы и переданы в Государственную комиссию по сортоиспытанию два крупносемянных сорта 'Виктория' и 'Бемоль', превосходящие стандартный сорт 'Отрадокубанский' по продуктивности, массе 1000 бобов и массе 1000 семян. Впервые в России созданы два сорта мелкосемянного арахиса, которые по продуктивности не уступают крупносемянным, а по количеству бобов с растения – превосходят.

Биохимический анализ выявил закономерности в накоплении жирных кислот в зависимости от места репродукции: на ПАФНЦ РАН содержание в семенах линолевой кислоты выше, а олеиновой ниже, на КОС ВИР наоборот.

Впервые показана экспрессия гена кукумопин-синтазы у арахиса. Кроме того, доказано наличие целой рамки считывания гена *cus*, что дает нам возможность оценивать работу гена. Наиболее высокая экспрессия отмечена в корнях, что позволяет предположить, что ген *cus* через синтез опинов может иметь отношение к взаимодействию с клубеньковыми бактериями и влиять на продуктивность арахиса или другие его хозяйственно ценные признаки.

Впервые показана взаимосвязь между высоким уровнем экспрессии гена кукумопин-синтазы и хозяйственно ценными признаками (продуктивность, продолжительность периода всходы-цветение, масса 1000 бобов), которая

проявляется в зависимости от условий выращивания растений арахиса. Показан более высокий уровень экспрессии у образцов из умеренного светового пояса.

Полная всесторонняя оценка наиболее значимых характеристик образцов арахиса коллекции ВИР позволила выявить закономерности не только в проявлении хозяйственно ценных признаков в разных условиях, но и в работе генов *cis*, контролирующих синтез кукумопин-синтазы.

ВЫВОДЫ

1. В результате эколого-географического испытания показано, что вызреваемость бобов арахиса в большой степени (63%) определяются условиями внешней среды.

2. Выявлены пластичные образцы с коэффициентом регрессии на условия среды (b_i) менее единицы, показывающие высокую продуктивность и вызреваемость при различных условиях выращивания. Получен исходный материал для селекции новых высокоурожайных сортов арахиса, пригодных для возделывания как в отдельных регионах, так и с широким спектром адаптации в условиях юга РФ.

3. Отбор исходного материала для создания новых сортов арахиса для условий юга РФ необходимо вести по массе 1000 семян, поскольку изменчивость этого признака находится в большей степени (78%) под контролем генотипа. Выявлены образцы с наибольшей массой 1000 семян: кк-173, 720, 747, 1252, 1905, 1987 (стандарт), 2064, 2065, 2066.

4. Созданы сорта крупноплодного арахиса 'Виктория' (номер патента 13872 от 30 сентября 2024г.) и 'Бемоль', которые характеризуется очень крупным размером семян (около 1,5 см в длину) и в течение трех лет исследования, демонстрировали высокие результаты по вызреваемости, продуктивности и массе 1000 семян и 1000 бобов.

5. На основе образцов коллекции ВИР получены высокоурожайные мелкосемянные селекционные номера арахиса для специфических нужд кондитерской промышленности.

6. Впервые проведено секвенирование у 15 образцов культурного арахиса гомолога гена *cis*, кодирующего синтез кукумопин-синтазы. Выявлен полиморфизм нуклеотидной последовательности гена. У всех аллелей выявлена ненарушенная рамка считывания.

7. Впервые показана экспрессия гомологов гена *cis*, выявлена ее тканеспецифичность. Установлен самый высокий уровень экспрессии в корнях.

8. Обнаружена взаимосвязь между уровнем экспрессии гомолога гена *cis* и хозяйственно ценными признаками (продуктивность, продолжительность периода всходы-цветение, масса 1000 бобов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Angelini J. Peanut nodulation kinetics in response to low pH / J. Angelini, T. Taurian, C. Morgante, F. Ibañez, S. Castro, A. Fabra, // *Plant Physiol. Biochem.* — 2005. — №. 43. — P. 754–759.
2. Badawi F.Sh.F. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions / F.Sh.F. Badawi, A.M.M. Biomy, A.H. Desoky // *Annals of Agricultural Sciences.* – 2011 - 56(1). – P. 17-25. DOI: org/10.1016/j. aoas.2011.05.005
3. Barker N.P. A Review and Survey of Basicarpy, Geocarpy, and Amphicarpy in the African and Madagascan / N.P. Barker // *Flora Annals of the Missouri Botanical Garden.* — 2005. — №. 92(4). — C. 445-462.
4. Barkley N.A. Genetic diversity of cultivated and wild-type peanuts evaluated with M13-tailed SSR markers and sequencing / N. A. Barkley, R. E. Dean, R. N. Pittman, M. L. Wang, C. C. Holbrook, G. A. Pederson // *Genetical Research.* – 2007. - 89(02). – P. 93. doi:10.1017/s0016672307008695
5. Bertioli D. J. C. The Use of SNP Markers for Linkage Mapping in Diploid and Tetraploid Peanuts. / D. J. Bertioli, P. Ozias-Akins, Y. Chu, K. M. Dantas, S. P. Santos, E. Gouvea, M. C. Moretzsohn // *G3: Genes|Genomes|Genetics.* – 2013. - 4(1). – P. 89–96. doi:10.1534/g3.113.007617
6. Bertioli D. J. The genome sequence of segmental allotetraploid peanut *Arachis hypogaea* / D. J. Bertioli, J. Jenkins, J. Clevenger, O. Dudchenko, D. Gao, G. Seijo, J. Schmutz // *Nature Genetics.* -2019. - 51(5). – P. 877–884. doi:10.1038/s41588-019-0405-z
7. Bogomaz, O.D. Evolutionary Fate of the Opine Synthesis Genes in the *Arachis L. Genomes* / O.D. Bogomaz, V.D. Bemova, N.A. Mirgorodskii, T.V. Matveeva // *Biology.* – 2024. – 13(8). – P. 601. DOI: 10.3390/biology13080601

8. Chagas F.O. Chemical signaling involved in plant-microbe interactions / F.O. Chagas, R.D.C. Pessotti, A.M. Caraballo-Rodríguez // *Chem Soc Rev* 2018. – 47. - 1652–704.
9. Chen J.H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility / J.H. Chen // In: *International Workshop on Sustained Management of the Soil Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use*. - October 16–26, 2006. - Bangkok, Thailand - . p.1-11.
10. Chen X. Draft genome of the peanut A-genome progenitor (*Arachis duranensis*) provides insights into geocarpy, oil biosynthesis, and allergens. / X. Chen, H. Li, M.K. Pandey, Q. Yang, X. Wang, V. Garg // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2016. - 113(24). – P. 6785-6790. DOI: [org/10.1073/pnas.1600899113](https://doi.org/10.1073/pnas.1600899113)
11. Chen X. Sequencing of Cultivated Peanut, *Arachis hypogaea*, Yields Insights into Genome Evolution and Oil Improvement. / X. Chen, Q. Lu, H. Liu, J. Zhang, Y. Hong, H. Lan // *Molecular Plant*. – 2019. - 12(7). – P. 920-934. DOI: [10.1016/j.molp.2019.03.005](https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.03.005)
12. Chen, J.Y. Wild peanut *Arachis duranensis* are nodulated by diverse and novel Bradyrhizobium species in acid soils / J.Y. Chen, J. Gu, E.T. Wang, X.X. Ma, S.T. Kang, L.Z. Huang, X.P. Cao, L.B. Li, Y.L. Wu // *Syst. Appl. Microbiol.* — 2014. — №. 37. — P. 525–532.
13. Chung S.-Y. Allergenicity of Maillard Reaction Products from Peanut Proteins. / S.-Y. Chung, E. T. Champagne // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1999. - 47(12). – P. 5227–5231. doi:[10.1021/jf9904416](https://doi.org/10.1021/jf9904416)
14. Ciprandi G. Peanut anaphylaxis: the usefulness of molecular — based allergy diagnostics / G. Ciprandi, A. Pistorio, A. Silvestri // *J Allergy Clin Immunol.* — 2015. — №. 70. — P. 129-130.
15. Clevenger J.P., Korani, W., Ozias-Akins, P., Jackson, S., 2018b. Haplotype-based genotyping in polyploids / J.P. Clevenger, W. Korani, P. Ozias-Akins, S. Jackson // *Front. in Plant Sci.* – 2018. – 9. - 564.

16. Corby H.D.L Types of rhizobial nodules and their distribution among Leguminosae / H.D.L Corby // *Kirkia*. — 1988. — №. 13. — P. 53–124.
17. Cui Y. Analysis of the Transcriptional Dynamics of Regulatory Genes During Peanut Pod Development Caused by Darkness and Mechanical Stress / Y. Cui, J. Bian, Y. Lv, J. Li, X.W. Deng, X. Liu // *Plant Sci*. — 2022. — №. 13. — C. 904162. doi: 10.3389/fpls.2022.904162.
18. Dang P. M. Association of differentially expressed R-gene candidates with leaf spot resistance in peanut (*Arachis hypogaea* L.). / P. M. Dang, M.C. Lamb, C. Y. Chen // *Molecular Biology Reports*. — 2021. — 48(1). — P. 323–334. doi:10.1007/s11033-020-06049-3
19. Danhorn T. Biofilm formation by plant-associated bacteria / T. Danhorn, C. Fuqua // *Annu Rev Microbiol*. — 2007. — №. 61. — P. 401–422.
20. Dardanelli M. A calcium-dependent bacterial surface protein is involved in the attachment of rhizobia to peanut roots / M. Dardanelli, J. Angelini, A. Fabra // *Can. J. Microbiol*. — 2003. — №. 49. — C. 399–405.
21. Dardanelli M.S. Effects of peanut rhizobia on the growth and symbiotic performance of *Arachis hypogaea* under abiotic stress / M.S. Dardanelli, P.S. González, D.B. Medeot, N.S. Paulucci, M.Á. Bueno, M.B. Garcia, // *Symbiosis*. — 2009. — №. 47. — P. 175–180.
22. Dardanelli M.S. The effects of nonionic hyper osmolarity and of high temperature on cell-associated low molecular weight saccharides from two peanut rhizobia strains / M.S. Dardanelli, M.R. Woelke, P.S. Gonzalez, L.M. Bueno, N.E. Ghittoni // *Symbiosis*. — 1997. — №. 23. — P. 73–84.
23. Desmae H. Genetics, genomics and breeding of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). / H. Desmae, P. Janila, P. Okori, M.K. Pandey, B.N. Motagi, E. Monyo // *Plant Breeding*. — 2019. — 138(4). — P. 425–444. DOI: 10.1111/pbr.12645
24. Ding Y. Comprehensive evaluation of Chinese peanut mini-mini core collection and QTL mapping for aflatoxin resistance / Y. Ding, X. Qiu, H. Luo, L. Huang, J. Guo, B. Yu, H. Sudini, M. Pandey, Y. Kang, N. Liu, X. Zhou, W. Chen, Y.

Chen, X. Wang, D. Huai, L. Yan, Y. Lei, H. Jiang, R. Varshney, K. Liu, B. Liao // BMC. Plant. Biol. — 2022. — №. 22. — P. 207.

25. Dong W. An SHR–SCR module specifies legume cortical cell fate to enable nodulation / W. Dong, Y. Zhu, H. Chang // Nature. - 2021. - 589. - 586–90.

26. Du Plessis K. Practical aspects of adverse reactions to peanut. / K. Du Plessis, H. Steinman // Current Allergy and Clinical Immunology. – 2004. - 17(1). – P. 10-14.

27. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russel // Crop Science. - 1966. - Vol. 6. - P. 36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.

28. Fabre, S. Nod Factor-Independent Nodulation in *Aeschynomene evenia* Required the Common Plant-Microbe Symbiotic Toolkit1 / S. Fabre, D. Gully, A. Poitout, D. Patrel, J.-F. Arrighi, E. Giraud, P. Czernic, F. Cartieaux // Plant Physiol. — 2015. — №. 169. — P. 2654–2664.

29. FAOSTAT, 2024 FAOSTAT: Food and agriculture data. Available from: [http:// www.fao.org/faostat/en/#home](http://www.fao.org/faostat/en/#home) [accessed Dec. 13, 2024]

30. Feng H. Recognition of dominant attractants by key chemoreceptors mediates recruitment of plant growth promoting rhizobacteria / H. Feng, N. Zhang, R. Fu. // Environ Microbiol. 2019. – 21. - 402–15.

31. Feng Y. Suppression of LjBAK1-mediated immunity by SymRK promotes rhizobial infection in *Lotus japonicus* / Y. Feng, P. Wu, C. Liu // Mol Plant. – 2021. – 14. - 1935–50.

32. FloresMireles A.L. *Agrobacterium tumefaciens* can obtain sulphur from an opine that is synthesized by octopine synthase using S-methylmethionine as a substrate / A.L. FloresMireles, A. Eberhard, S.C. Winans // Mol. Microbiol. — 2012. — №. 84. — C. 845–856.

33. Gan H.M. One more decade of *Agrobacterium* taxonomy / H.M. Gan, M.A. Savka // Curr Top Microbiol Immunol. — 2018. — №. 39. — P. 75-85.

34. Gavrilova V.A. The diversity of fatty acids composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. / V.A. Gavrilova, T.V. Shelenga, E.A.

Porokhovinova, A.G. Dubovskaya, N.G. Konkova, S.V. Grigoryev // Biological Communications. - 2020.

35. Gong L. Transcriptomic analyses reveal the expression and regulation of genes associated with resistance to early leaf spot in peanut. / L. Gong, S. Han, M. Yuan, X. Ma, A. Hagan, G. He // BMC Research Notes. -2020. - 13(1). doi:10.1186/s13104-020-05225-9

36. Gowda M.V.C. Rust resistance and its stability in lines of varying productivity in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). / M.V.C. Gowda, V. Arunahalam, A. Bandyopadhyay // Plant Breeding. – 1990. - 105(3). P. 229-237. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1990.tb01200.x

37. Guo B. Gene Expression Profiling and Identification of Resistance Genes to *Aspergillus flavus* Infection in Peanut through EST and Microarray Strategies. / B. Guo, N. D. Fedorova, X. Chen, C.-H. Wan, W. Wang, W. C. Nierman, J. Yu // Toxins. – 2011. - 3(7). – P. 737–753. doi:10.3390/toxins3070737

38. Han L. The peanut root exudate increases the transport and metabolism of nutrients and enhances the plant growth-promoting effects of *Burkholderia pyrrocinia* strain P10 / L. Han, H. Zhang, X. Bai // BMC Microbiol. – 2023. – 23. - 85.

39. Huang A.C. A specialized metabolic network selectively modulates *Arabidopsis* root microbiota / Huang A.C., T. Jiang, Y.X. Liu // Science. – 2019. – 364. - eaau6389.

40. Jones J.B. A randomized trial on the effects of flavorings on the health benefits of daily peanut consumption. / J.B. Jones, M. Provost, L. Keaver, C. Breen, M.-J. Ludy, R.D. Mattes // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2014. - 99(3). – P. 490-496. DOI: 10.3945/ajcn.113.069401

41. Kishinevsky B.D. Effect of high root temperature on *Bradyrhizobium*-peanut symbiosis / B.D. Kishinevsky, D. Sen, R.W. Weaver // Plant Soil. — 1992. — №. 143. — P. 275–282.

42. Kistner C. Evolution of signal transduction in intracellular symbiosis / C. Kistner, M. Parniske // Trends Plant Sci. — 2002. — №. 7. — P. 511–518.

43. Kochert G. RFLP variability in peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars and wild species. / G. Kochert, T. Halward, W. D. Branch, C. E. Simpson // Theoretical and Applied Genetics. - 1991 - 81(5). DOI: 10.1007/bf00226719
44. Koprivova A. Root-specific camalexin biosynthesis controls the plant growth-promoting effects of multiple bacterial strains / A. Koprivova, S. Schuck, R. P. Jacoby, S. Kopriva // Biological sciences. – 2019. - 116(31). – P. 15735-15744 doi.org/10.1073/pnas.1818604116
45. Krapovickas A. (1994) Taxonomia del genero / A. Krapovickas, W. Gregory // Bomplandia. – 1994. – 8. - P. 1–186.
46. Krapovickas A. Origen, Variabilidad y Diffusion del Mani (*Arachis hypogaea*). Actas Y Memorias Cong. Inter. Americanistas 2, 517534. Buenos Aires. Eng. tr., The Origin, Variability and Spread of the Groundnut (*Arachis hypogaea*) / A. Krapovickas // Ucko P. J., Falk I. S. (eds.), The Domestication and Exploitation of Plants and Animals. Gerald Duckworth Co., Ltd., London. - 1969. - P. 427–441.
47. Krapovickas A. Variabilidad y Diffusion del Mani (*Arachis hypogaea*) / A. Krapovickas // The Domestication and Exploitation of Plants and Animals. — 1969. — C. 427–441.
48. Kumar D. A novel zinc-binding alcohol dehydrogenase 2 from *Arachis diogeni*, expressed in resistance responses against late leaf spot pathogen, induces cell death when transexpressed in tobacco. / D. Kumar, S. Rampuria, N. K. Singh, P. B. Kirti // FEBS Open Bio. – 2016. - 6(3). – P. 200–210. DOI: 10.1002/2211-5463.12040
49. Kumar K. R. R. Differential gene expression in *Arachis diogeni* upon interaction with peanut late leaf spot pathogen, *Phaeoisariopsis personata* and characterization of a pathogen induced cyclophilin. / K. R. R. Kumar, P. B. Kirti // Plant Molecular Biology. – 2011. - 75(4-5). – P. 497–513. DOI: 10.1007/s11103-011-9747-3
50. Kumar K. R. R. Novel role for a serine/arginine-rich splicing factor, AdRSZ21 in plant defense and HR-like cell death. / K. R. R. Kumar, P. B. Kirti //

Plant Molecular Biology. – 2012. - 80(4-5). – P. 461–476. DOI: 10.1007/s11103-012-9960-8

51. Kumar R. Whole-genome resequencing-based QTL-seq identified candidate genes and molecular markers for fresh seed dormancy in groundnut / R. Kumar, P. Janila, M.K. Vishwakarma, A.W. Khan, S.S. Manohar, S.S. Gangurde, M.T. Variath, Y. Shasidhar, M.K. Pandey, R.K. Varshney, // Plant Biotechnol. — 2020. — №. 18. — P. 992–1003.

52. Kyndt T. The genome of cultivated sweet potato contains Agrobacterium T-DNAs with expressed genes: an example of a naturally transgenic food crop. / T. Kyndt, D. Quispe, H. Zhai // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2015. – 112. – P. 5844–5849

53. Lattanzio V. Plant phenolics—secondary metabolites with diverse functions / V. Lattanzio, P.A. Kroon, S. Quideau // Recent advances in polyphenol research. — 2008. — P. 1–35.

54. Lebeis S.L. Salicylic acid modulates colonization of the root microbiome by specific bacterial taxa / S.L. Lebeis, S.H. Paredes, D.S. Lundberg // Science. – 2015. – 349. – P. 860–4.

55. Li T. 1-aminocyclopropane-1-carboxylate: a novel and strong chemoattractant for the plant beneficial rhizobacterium *Pseudomonas putida* UW4 / T. Li, J. Zhang, C. Shen // MPMI. – 2019. – 32. – P. 750–9.

56. Liu Y. Induced root-secreted D-galactose functions as a chemoattractant and enhances the biofilm formation of *Bacillus velezensis* SQR9 in an McpA-dependent manner / Y. Liu, H. Feng, R. Fu // Appl Microbiol Biotechnol. – 2020. – 104. – P. 785–97.

57. López J. L. Growth rate is a dominant factor predicting the rhizosphere effect / J. L. López, A. Fourie, S. W. M. Poppeliers, N. Pappas, J. J. Sánchez-Gil, R. de Jonge, B. E. Dutilh // 2023. - 17(9). – P.1396-1405. doi: 10.1038/s41396-023-01453-6

58. Lu Q. Genome-wide identification of microsatellite markers from cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) / Q. Lu, Y. Hong, S. Li, H. Liu, H. Li, J.

Zhang, H. Lan, H. Liu, X. Li, S. Wen, G. Zhou, R.K. Varshney, H. Jiang, X. Chen, X. Liang // BMC Genomics. — 2019. — №. 20. — C. 799.

59. Luz L. N., Santos, R. C., and Melo Filho, P. D. (2011). Correlations and path analysis of peanut traits associated with the peg / L. N. Luz, R. C. Santos, P. D. Melo Filho // Crop Breed. Appl. Biot. – 2011. - (1). - 88–95. DOI: 10.1590/S1984-70332011000100013

60. Matveeva T., Otten L. Opine biosynthesis in naturally transgenic plants: Genes and products. / T. Matveeva, L. Otten // Phytochemistry. 2021 Sep;189:112813. doi: 10.1016/j.phytochem.2021.112813. Epub 2021 Jun 27.

61. Matveeva T.V. Horizontal gene transfer from genus Agrobacterium to the plant Linaria in nature / T.V. Matveeva, D.I. Bogomaz, O.A. Pavlova, L.A. Lutova // Molecular Plant-Microbe Interactions. — 2012. — №. 25. — P. 1542-1551.

62. Matveeva T.V., Otten L. Widespread Occurrence Of Natural Genetic Transformation Of Plants By Agrobacterium / T.V. Matveeva, L. Otten // Plant Molecular Biology. — 2019. — №. 101. — C. 4-5.

63. Mazur A. Rhizobium leguminosarum bv. trifolii PssP protein is required for exopolysaccharide biosynthesis and polymerization / A. Mazur, J.E. Król, J. Wielbo, T. Urbanik-Sypniewska, A. Skorupska, // Mol. Plant-Microbe. Interact. — 2002. — №. 15. — P. 388–397.

64. Moctezuma E. (1999). The role of amyloplasts during gravity perception in gynophores of the peanut plant (*Arachis hypogaea*) / E. Moctezuma, L. J. Feldman // Ann. Bot. (London). – 1999. – 84. - 709–714. DOI: 10.1006/anbo.1999.0963

65. Moctezuma E. Gravitropic mechanisms of the peanut gynophore / E. Moctezuma // Berkeley, California: Ph.D. thesis, Department of Plant and Microbial Biology. University of California. – 1998.

66. Moctezuma E. The peanut gynophore: a developmental and physiological perspective / E. Moctezuma // Can J Bot. – 2003. - 81 (3). - 183–190. DOI: 10.1139/b03-024

67. Mokgehle S.N. Variation in N₂ fixation and N contribution by 25 groundnut (*Arachis hypogaea* L.) varieties grown in different agro-ecologies,

measured using ^{15}N natural abundance / S.N. Mokgehle, F.D. Dakora, C. Mathews // *Agric. Ecosyst. Environ.* — 2014. — №. 195. — P. 161–172.

68. Monyo E.S. Occurrence and distribution of aflatoxin contamination in groundnuts (*Arachis hypogaea* L) and population densities of Aflatoxigenic *Aspergilli* in Malawi / E.S. Monyo, S.M.C. Njoroge, R. Coe, M. Osiru, F. Madinda, F. Waliyar // *Crop Protection.* — 2012. — №. 42. — P. 149-155. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.07.004

69. Monyo E.S. Seven seasons of learning and engaging small holder farmers in the drought-prone areas of sub-Saharan Africa and South Asia through Tropical Legumes / E.S. Monyo, R.K. Varshney // *Patancheru.* — 2016. — C. 2007-2014.

70. Moore K. M. The Inheritance of High Oleic Acid in Peanut / K. M. Moore, D. A. Knauff, // *Journal of Heredity.* — 1989. — №. 80(3). — P. 252–253. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a110845

71. Moretzsohn M. C. A linkage map for the B-genome of *Arachis* (Fabaceae) and its synteny to the A-genome / M. C. Moretzsohn, A. V. Barbosa, D. M. Alves-Freitas, C. Teixeira, S. C. Leal-Bertioli, P. M. Guimarães, // *BMC Plant Biology.* — 2009. — №. 9(1). — P. 40. DOI: 10.1186/1471-2229-9-40

72. Morgante C. Role of rhizobial EPS in the evasion of peanut defense response during the crack-entry infection process / C. Morgante, S. Castro, A. Fabra // *Soil Biol. Biochem.* — 2007. — №. 39. — P. 1222–1225.

73. Murphy P.J. Genes for the catabolism and synthesis of an opine-like compound in *Rhizobium meliloti* are closely linked and on the Sym plasmid / P.J. Murphy, N. Heycke, Z. Banfalvi // *Proc Natl Acad Sci USA.* — 1993. — №. 84. — P. 493–497.

74. Murty U.R. The ‘A’ genome of *Arachis hypogaea* L. / U.R. Murty, M.R. Jahnavi // *Cytologia.* — 1986. — 51. — P. 241-250.

75. Nkot L.N. Genetic diversity of rhizobia nodulating *Arachis hypogaea* L. in diverse land use systems of humid forest zone in Cameroon / L.N. Nkot, T.

Krasova-Wade, F. Etoa, S. Sylla, D. Nwaga // *Appl. Soil Ecol.* — 2008. — №. 40. — P. 411–416.

76. Norden A.J. Variability in oil quality among peanut genotypes in the Florida breeding program / A.J. Norden, D.W. Gorbet, D.A. Knauft, C.T. Young, // *Peanut Sci.* — 1987. — №. 14. — P. 7-11.

77. O'Banion B.S. Plant myo-inositol transport influences bacterial colonization phenotypes / B.S. O'Banion, P. Jones, A.A. Demetros // *Curr Biol.* — 2023. — 33. - 3111–3124.e5.

78. O'Neal L. Alexandre Specific root exudate compounds sensed by dedicated chemoreceptors shape *Azospirillum brasilense* chemotaxis in the rhizosphere / L. O'Neal, L. Vo, G. Alexandre // *Appl Environ Microb.* — 2020. — 86. - e01026–20.

79. Oger P. Effect of crop rotation and soil cover on alteration of the soil microflora generated by the culture of transgenic plants producing opines / P. Oger, H. Mansouri, Y. Dessaux // *Mol Ecol.* — 2000. — №. 9. — C. 881–890.

80. Ormeño-Orrillo E. Taxonomy of rhizobia and agrobacteria from the Rhizobiaceae family in light of genomics / E. Ormeño-Orrillo, L. E. Servín-Garcidueñas, M. A. Rogel, V. González, H. Peralta, J. Mora, // *Systematic and Applied Microbiology.* — 2015. — №. 38(4). — P. 287–291.

81. Otyama P. I. Genome-wide approaches delineate the additive, epistatic, and pleiotropic nature of variants controlling fatty acid composition in peanut (*Arachis hypogaea* L.) / P. I. Otyama, K. Chamberlin, P. Ozias-Akins, M. A. Graham, E. K. S. Cannon, S. B. Cannon, G. E. MacDonald, N. L. Anglin // *Mol Ecol.* - 2022. — 19(1). — P. 136–142. doi: 10.1093/g3journal/jkab382

82. Pandey M.K. Advances in *Arachis* genomics for peanut improvement / M.K. Pandey, E. Monyo, P. Ozias-Akins, X. Liang, P. Guimarães, S.N. Nigam // *Biotechnology Advances.* — 2012. — №. 30(3). — P. 639651. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.11.001

83. Pandey S. Total bacterial and fungal population after chlorpyrifos and quinalphos treatments in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) soil / S. Pandey, D. K. Singh // *Chemosphere*. — 2004. — №. 55(2). — C. 197–205. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2003.10.014
84. Paul I. O. Genome-wide approaches delineate the additive, epistatic, and pleiotropic nature of variants controlling fatty acid composition in peanut (*Arachis hypogaea* L.). / I. O. Paul, C. Kelly, O. Peggy, A. G. Michelle, K. S. C. Ethalinda, B. C. Steven, E. M. Gregory, L. A. Noelle // *Plant Breeding*. — 2022. DOI: 10.1093/g3journal/jkab382
85. Phillips T.D. Effect of Bradyrhizobium Strain on Combining Ability for Nitrogen Fixation in Peanut (*Arachis hypogaea* L.) / T.D. Phillips, J.C. Wynne, G.H. Elkan, T.J. Schneeweis // *Plant Breeding*. — 1989. — №. 103(2). — P. 141-148. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00362.x
86. Pieterse C.M.J. Induced systemic resistance by beneficial microbes / C.M.J. Pieterse, C. Zamioudis, R.L. Berendsen // *Annu Rev Phytopathol*. — 2014. — 52. - 347–75.
87. Quamruzzaman M. Reproductive development of two groundnut cultivars as influenced by boron and light / M. Quamruzzaman, M. J. Ullah, M. F. Karim, N. Islam, M. J. Rahman, M. D. Sarkar // *Inf. Process. Agric*. - 2018. - 5 (2). - 289–293. DOI: 10.1016/j.inpa.2017.12.004
88. Raina S. N. 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. / S. N. Raina, V. Rani, T. Kojima, Y. Ogihara, K. P. Singh, R. M. Devarumath // *Genome*. — 2001. - 44(5). — P. 763–772. DOI: 10.1139/g01-064
89. Rami J.-F. Gene Transfer in Groundnut / J.-F. Rami, S.C.M. Leal-Bertioli, D. Foncéka, M.C. Moretzsohn, D.J. Bertioli In: A. Pratap, J. A. Kumar // *Crop Plants. Achievements and Impacts*. Philadelphia: Springer. — 2014. — №. 2. — P. 253-279. DOI: 10.1007/978-1-4614-9572-7_12

90. Rathod V. Comparative RNA-Seq profiling of a resistant and susceptible peanut (*Arachis hypogaea*) genotypes in response to leaf rust infection caused by *Puccinia arachidis* / V. Rathod, R. Hamid, R. S. Tomar, R. Patel, S. Padhiyar, J. Kheni, // *Biotech.* — 2020. — №. 10(6). DOI: 10.1007/s13205-020-02270-w
91. Rolfe S. A. Crying out for help with root exudates: adaptive mechanisms by which stressed plants assemble health-promoting soil microbiomes / S. A. Rolfe, J. Griffiths, J. Ton, // *Curr. Opin. Microbiol.* — 2019. — №. 49. — P. 73–82.
92. Sánchez-Gil J. J. The conserved iol gene cluster in *Pseudomonas* is involved in rhizosphere competence / J. J. Sánchez-Gil, S. W. M. Poppeliers, J. Vacheron, H. Zhang, B. Odijk, C. Keel, R. de Jonge // *Curr Biol.* — 2023. — 7;33(15). — P.3097-3110.e6. doi: 10.1016/j.cub.2023.05.057
93. Sasse J. Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome? / J. Sasse, E. Martinoia, T. Northen // *Trends Plant Sci.* — 2017. — 23(1). P. 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.tplansci.2017.09.003>
94. Sato M. Distribution of opine dehydrogenases and lactate dehydrogenase activities in marine animals / M. Sato, N. Takeuchi, E. Kanno, Y. S. Nagahisa // *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry.* — 19027. — №. 106(4). — P. 955-960.
95. Schell J. Interaction and DNA transfer between *Agrobacterium tumefaciens*, the Ti-plasmid and the plant host / J. Schell, M. van Montagu, M. Beuckeleer // *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* — 1979. — №. 204. — P. 251-266.
96. Schulz-Bohm K. Calling from distance: attraction of soil bacteria by plant root volatiles. / K. Schulz-Bohm, S. Gerards, M. Hundscheid, J. Melenhorst, W. de Boer, P. Garbeva // *The ISME Journal.* — 2018. — 12(5). — P.1252–1262. doi:10.1038/s41396-017-0035-3
97. Seijo M. Development of physical activity and food built environment quality indicators for chronic diseases in Argentina / M. Seijo, C. Spira, M. Chaparro, N. Elorriaga, A. Rubinstein, E. García-Elorrio, V. Irazola // *Health Promot Int.* — 2021. — №. 36(6). — C. 1554-1565. doi: 10.1093/heapro/daaa138.

98. Settaluri V.S. Peanuts and Their Nutritional Aspects – A Review. / V.S. Settaluri, C.V.K. Kandala, N. Puppala, J. Sundaram // Food and Nutrition Sciences. — 2012. — №. 3(12). — C. 1644-1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215
99. Shelenga T.V. Seed oil biochemical composition of cultivated Cucurbita L. Species from the vir collections grown in the astrakhan province of the russian federation / T.V. Shelenga, T.M. Piskunova, L.L. Malyshev, A.A. Taipakova, A.E.Solovyeva // Agronomy. - 2020. – 10. - C. 1491.
100. Shimasaki T. Tobacco root endophytic *Arthrobacter* harbors genomic features enabling the catabolism of host-specific plant specialized metabolites / T. Shimasaki, S. Masuda, R. Garrido-Oter, T. Kawasaki, Y. Aoki, A. Shibata, W. Suda, K. Shirasu, K. Yazaki, R.T. Nakano, A. Sugiyama // mBio. — 2021. — №. 12. — C. e00846-21.
101. Singh M.P. Late Leaf Spot Effects on Growth, Photosynthesis, and Yield in Peanut Cultivars of Differing Resistance / M.P. Singh, J.E. Erickson, K.J. Boote, B.J. Tillman, J.W. Jones, A.H.C. van Bruggen // Agronomy Journal. — 2011. — №. 103(1). — P. 8591. DOI: 10.2134/agronj2010.0322
102. Singh, A. K., & Moss, J. P. Utilisation of wild relatives in the genetic improvement of *Arachis hypogaea* L. / A. K. Singh, J. P. Moss, // Theoretical And Applied Genetics. — 1984. — №. 68(4). — P. 355–364. DOI: 10.1007/bf00267889
103. Smartt J. The genomes of *Arachis hypogaea* L. / J. Smartt, W.C. Gregory, M. Pfluge Gregory // Cytogenetic studies of putative genome donors. Euphytica. – 1978. – 27. – P. 665-675. DOI: 10.1007/ bf00023701
104. Smith B.W. *Arachis hypogaea*. Aerial flower and subterranean fruit. / B.W. Smith // American Journal of Botany. — 1950. — №. 37(10). — P. 802815. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1950.tb11073.x
105. Sprent J.I. Evolving ideas of legume evolution and diversity: A taxonomic perspective on the occurrence of nodulation / J.I. Sprent // New Phytol. — 2007. — №. 174. — C. 11–25.
106. Sprent J.I. Legume Evolution: Where Do Nodules and Mycorrhizas Fit In? / J.I. Sprent, E.K. James // Plant Physiol. — 2007. — №. 144. — P. 575–581.

107. Stalker H. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) / H. Stalker // *Field Crop. Res.* — 1997. — №. 53. — P. 205–217.
108. Stalker H.T. A new species in section *Arachis* of peanuts with a D genome. / H.T. Stalker // *American Journal of Botany.* – 1991. - 78(5). - 630637. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1991.tb12587.x
109. Subrahmanyam P. Resistance to groundnut rosette disease in wild *Arachis* species / P. Subrahmanyam, R. Anaidu, L.J. Reddy, P.L. Kumar, M.E. Ferguson // *Annals of Applied Biology.* — 2001. — №. 139(1). — P. 45-50. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2001.tb00129.x
110. Subrahmanyam P. Resistance to leaf spot caused by *Cercosporidium personatum* in wild *Arachis* species. / P. Subrahmanyam, J.P. Moss, D. McDonald, P.V.S. Rao, V.R. Rao // *Plant Disease.* — 1985. — №. 69. — P. 951954. DOI: 10.1094/PD-69-951
111. Sun Z. QTL mapping of quality traits in peanut using whole-genome resequencing / Z. Sun, F. Qi, H. Liu, L. Qin, J. Xu, L. Shi, Z. Zhang, L. Miao, B. Huang, W. Dong // *Crop J.* — 2022. — №. 10. — P. 177–184.
112. Thomashow M.F. Molecular basis for the auxin-independent phenotype of crown gall tumor tissue. / M.F. Thomashow, S. Hugly, W.G. Buchholz // *Science.* – 1986. - 231. – P. 616–618
113. Toomsan B. Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand / B. Toomsan, J.F. McDonagh, V. Limpinuntana, K.E. Giller // *Plant and Soil.* - 1995. - 175(1). – P. 45-56. DOI: 10.1007/bf02413009
114. Wan S. Exploring new approaches to reduce costs and increase efficiency in China's peanut industry / S. Wan, J. Zhang, // *Chinese Journal of Oil Crop Sci.* — 2019. — №. 41. — P. 657–662.
115. Wang H. Functional Genomic Analysis of *Aspergillus flavus* Interacting with Resistant and Susceptible Peanut / H. Wang, Y. Lei, L. Yan, L. Wan, X. Ren, S. Chen, // *Toxins.* — 2016. — №. 8(2). — P. 46. DOI: 10.3390/toxins8020046

116. Wang M.L. Genetic Mapping of QTLs Controlling Fatty Acids Provided Insights into the Genetic Control of Fatty Acid Synthesis Pathway in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). / M.L. Wang, P. Khera, M.K. Pandey, H. Wang, L. Qiao, S. Feng // PLOS ONE. — 2015. — №. 10(4). — P. e0119454. DOI: 10.1371/journal.pone.0119454
117. Wang W. Root exudates enhanced rhizobacteria complexity and microbial carbon metabolism of toxic plants / W. Wang, T. Jia, T. Qi // iScience. — 2022. — 25. - 105243.
118. Wang Z. 2022. Detection of a major QTL and development of KASP markers for seed weight by combining QTL-seq, QTL-mapping and RNA-seq in peanut / Z. Wang, L. Yan, Y. Chen, X. Wang, D. Huai, Y. Kang, H. Jiang, K. Liu, Y. Lei, B. Liao, // Theor Appl Genet. — 2022. — 135. - 1779–1795. DOI: 10.1007/s00122-022-04069-0.
119. Webb A. J. Histological changes of the peanut (*Arachis hypogaea*) gynophore and fruit surface during development, and their potential significance for nutrient uptake / A. J. Webb, A. P. Hanse // Ann. Bot. (London). — 1989. — 59. - 351–357. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087851
120. Weir B.S. The Current Taxonomy of Rhizobia. / B.S. Weir // NZ Rhizobia Website. Available online: <https://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia> (accessed on 25 November 2023).
121. Woodward J.E. First Report of Botrytis Blight of Peanut Caused by *Botrytis cinerea* in Georgia. / J.E. Woodward, T.B. Brenneman, Jr. R.C. Kemerait, A.K. Culbreath, J.R. Clark // Plant Disease. — 2005. — №. 89(8). — P. 910. DOI: 10.1094/PD-89-0910C
122. Woodward J.E. On-Farm Evaluations of Reduced Input Fungicide Programs in Peanut Fields with Low, Moderate, or High Levels of Disease Risk / J.E. Woodward, T.B. Brenneman, R.C. Kemerait, A.K. Culbreath, N.B. Smith // Peanut Science. — 2014. — №. 41(1). — P. 50-57. DOI: 10.3146/PS11-23R2.1
123. Xia H. Transcriptome profiling of peanut gynophores revealed global reprogramming of gene expression during early pod development in darkness / H.

- Xia, C. Zhao, L. Hou, A. Li, S. Zhao, Y. Bi // *BMC Genomics*. – 2013. - 14 (1). - 517. DOI: 10.1186/1471-2164-14-517
124. Yang J. Mechanisms underlying legume–rhizobium symbioses / J. Yang, L. Lan, Y. Jin // *JIPB*. – 2022. – 64. - 244–67.
125. Yu S. Comparison of the $\Delta 12$ fatty acid desaturase gene between high-oleic and normal-oleic peanut genotypes / S. Yu, L. Pan, Q. Yang, P. Min, Z. Ren, H. Zhang, // *Journal of Genetics and Genomics*. — 2008. — №. 35(11). — P. 679–685. DOI: 10.1016/s1673-8527(08)60090-9
126. Zaaboul F. Characterization of Peanut Oil Bodies Integral Proteins, Lipids, and Their Associated Phytochemicals. / F. Zaaboul, H. Raza, C. Chen, Y. Liu // *Journal of Food Science*. — 2018. — №. 83(1). — P. 93100. DOI: 10.1111/1750-3841.13995
127. Zhang H. GWAS and coexpression network reveal ionic Variation in cultivated Peanut / H. Zhang, M.L. Wang, R. Schaefer, P. Dang, T. Jiang, C. Chen // *J. Agric. Food Chem*. 2019. – 67. - 12026–12036. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b04939.
128. Zhang Y. Characterization of peanut phytochromes and their possible regulating roles in early peanut pod development. / Y. Zhang, J. Sun, H. Xia, C. Zhao, L. Hou, B. Wang // *PLOS ONE*.. — 2018. — №. 13(5). — P. e0198041. DOI: 10.1371/journal.pone.0198041
129. Zhao C. Proteomics analysis reveals differentially activated pathways that operate in peanut gynophores at different developmental stages / C. Zhao, S. Zhao, L. Hou, H. Xia, J. Wang, C. Li // *BMC Plant Biol*. – 2015. - 15 (1). - 188. DOI: 10.1186/s12870-015-0582-6
130. Zhao C. X. Effects of different soil texture on peanut growth and development / C. X. Zhao, L. H. Jia, Y. F. Wang, M. L. Wang, M. E. Jr. McGiffen // *Commun. Soil Sci Plan*. – 2015. - 46 (18). - 2249–2257. DOI: 10.1080/00103624.2015.1059845
131. Zharare G.E. Initiation and Morphogenesis of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Pods in Solution Culture. / G.E. Zharare, F.P.C. Blamey, C.J. Asher // *Annals of Botany*. - 1998. - №81(3) - P. 391-396. DOI: 10.1006/anbo.1997.0569

132. Zhu W. Comparative transcriptome analysis of aerial and subterranean pods development provides insights into seed abortion in peanut / W. Zhu, X. Chen, H. Li, F. Zhu, Y. Hong, R. K. Varshney // *Plant Mol. Biol.* – 2014. - 85 (4–5). - 395–409. DOI: 10.1007/s11103-014-0193-x
133. Анализ размера и доли рынка арахиса – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) // Source: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/peanuts-market>
134. Асфандиярова М. Ш. Методические рекомендации по возделыванию арахиса в Астраханской области / М. Ш. Асфандиярова, Р. К. Туз, А. Г. Дубовская // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук.* — М., 2009.
135. Бахарева С.Н. Арахис Западной Африки. / С.Н. Бахарева // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* – 1978. - 61(2). – С. 79-108.
136. Вахрушева Т.Е. Арахис. / Т.Е. Вахрушева // В кн.: *Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент).* Санкт-Петербург: ВИР. - 1998. - С.20-23.
137. Вахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса (*Arachis hipogaea* L.). / Т.Е. Вахрушева // *Методические указания.* Санкт-Петербург: ВИР; 1995.
138. Вахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса (*Arachis hipogaea* L.). *Методические указания* / Т.Е. Вахрушева // Санкт-Петербург: ВИР. - 1995.
139. Вахрушева Т.Е. Использование арахиса в кондитерской промышленности. / Т.Е. Вахрушева, Д.С. Переверзев // *АгроНИИТЭИПП.* — 1993. — №. 17(2). — С. 30.
140. Вахрушева Т.Е. Классификатор вида *Arachis hipogaea* L (Арахис подземный или земляной орех) / Т.Е. Вахрушева, Е.Н. Иваненко // Ленинград: ВИР. - 1985.
141. Владимиров И.А., Матвеева Т.В., Лутова Л.А. Гены биосинтеза и катаболизма опинов *Agrobacterium Tumefaciens* и *Agrobacterium Rhizogenes* / И.А. Владимиров, Т.В. Матвеева, Л.А. Лутова // *Генетика.* — 2015. — №. 51(2). — С. 137.

142. Гумбатов Х. С. Технические растения. / Х. С. Гумбатов, Х. Г. Халилов // Баку. - 2010. - 415 с
143. Ермаков А.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. / А.И. Ермаков, Г.Г. Давидян, Н.П. Ярош, А.В. Анащенко, Н.К. Лемешев, Р.П. Рыкова, О.М. Мегорская // Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. - Ленинград: ВИР. - 1982.
144. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош // Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. - 1987.
145. Ермаков А.И. Особенности и изменчивость качества масла семян масличных культурных растений. / А.И. Ермаков, Н.П. Ярош // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. - 1976. - 56(3). - С. 3-56.
146. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. / П.М. Жуковский // Ленинград. - 1971.
147. Кильчевский А.В. Генотип и среда в селекции растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева // Минск: Наука и техника. - 1989.
148. Кильчевский А.В. Генотип и среда в селекции растений. / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева // Минск: Наука и техника. - 1989. - 192 с.
149. Лоскутов И.Г. Эколого-географические подходы к изучению генетического разнообразия ячменя и овса из коллекции ВИР / И.Г. Лоскутов, Л.Ю. Новикова, О.Н. Ковалёва // Экологическая генетика. - 2020. -18(1). - С. 89-102. DOI: 10.17816/ecogen16128
150. Лузина З.А. *Arachis L.* / З.А. Лузина // Арахис. В кн: Культурная флора СССР. Т. 7. Масличные. Москва; Ленинград. - 1941. - С.136-192.
151. Лузина З.А. Арахис. / З.А. Лузина // Москва; Ленинград: Сельхозгиз. - 1954
152. Мальчиков П.Н. Оценка в эколого-географическом эксперименте адаптивности генотипов твердой пшеницы и дифференцирующей способности условий среды (годы, пункты) / П.Н. Мальчиков, В.С. Сидоренко, М.Г. Мясникова // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2016. - № 2. - С. 120-126.

153. Обыдало Д.И. Арахис: из тропиков – в умеренные широты. / Д.И. Обыдало, И.А. Огарков // В кн.: История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет. Краснодар. - 2002. - С.88-94.
154. Пакудин В.З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов. В кн.: Теория отбора в популяциях растений / В.З. Пакудин // Новосибирск: Наука. - 1976. С.178-189.
155. Сейидалиев Н.Я. Влияние технологий возделывания на структурные показатели арахиса / Н.Я. Сейидалиев, Р.В. Намазова // Бюллетень науки и практики. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 184-191. DOI: 10.33619/2414-2948/77/21
156. Туз Р.К. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях Астраханской области. / Р.К. Туз, Л.П. Подольная, М.Ш. Асфандиярова, А.Г. Дубовская, В.А. Еремин, Е.О. Мигачева // Научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2018. - 4(176). – С. 64-67. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67
157. Умен Д.П. Арахис. / Д.П. Умен // Руководство по селекции и семеноводству масличных культур. – Москва. - 1967.
158. Шеуджен А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек // Майкоп. - 2013.-572 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Характеристика бобов и семян арахиса по морфологическим признакам.

№ п/п	Номер каталога ВИР	Величина боба	Форма боба	Число семян	Характер поверхности боба	Наличие перехвата	Форма семени	Величина семени	Окраска семени
1	3	Крупный	Цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Среднее	Розовато-коричневая
2	24	Мелкий	Вздутая	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Удлиненно-овальная	Среднее	Светло-розовая
3	41	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Овальная	Крупное	Розовато-коричневая
4	46	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Овальная	Крупное	Светло-розовая
5	51	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Средний	Удлиненно-овальная	Крупное	Буро-красная
6	53	Крупный	Цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Округлая	Среднее	Ярко-красный
7	64	Средний	Коконообразная	Малое	Слабаячеистая	Слабый	Округлая	Мелкое	Буро-красная
8	74	Крупный	Коконообразная	Малое	Слабаячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
9	126	Средняя	Цилиндрическая	Малое	Слабаячеистая	Невыраженный	Овальная	Крупное	Ярко-красный
10	154	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Овальная	Среднее	Светло-розовая
11	163	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Овальная	Мелкое	Светло-розовая
12	168	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
13	173	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
14	175	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Овальная	Среднее	Черно-фиолетовая
15	178	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
16	179	Мелкий	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Среднее	Светло-розовая
17	180	Средняя	Цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Ярко-красный
18	202	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
19	283	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Среднее	Светло-розовая
20	300	Средняя	Цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Невыраженный	Удлиненно-овальная	Крупное	Ярко-красный
21	317	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Ярко-красный
22	319	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
23	354	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Овальная	Среднее	Светло-розовая
24	362	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Средний	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая
25	416	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Округлая	Среднее	Черно-фиолетовая
26	433	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Овальная	Среднее	Светло-розовая

27	555	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
28	596	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Овальная	Мелкое	Черно-фиолетовая
29	597	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
30	626	Средняя	Горбато-вальковатая	Среднее	Ячеистая	Сильный	Овальная	Среднее	Светло-розовая
31	695	Мелкий	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Мелкое	Розовато-коричневая
32	698	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
33	720	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Ярко-красный
34	747	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
35	751	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Розовато-коричневая
36	793	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Крупное	Светло-розовая
37	868	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
38	869	Средняя	Коконообразная	Среднее	Слабоячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Среднее	Светло-желтая
39	903	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
40	939	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Округлая	Среднее	Светло-розовая
41	1001	Мелкий	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
42	1026	Крупный	Цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Светло-розовая
43	1027	Мелкий	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
44	1143	Средняя	Коконообразная	Среднее	Слабоячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая
45	1157	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Округлая	Мелкое	Светло-розовая
46	1252	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Среднее	Светло-розовая
47	1533	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Светло-розовая
48	1547	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Слабый	Округлая	Среднее	Буро-красная
49	1697	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Среднее	Ячеистая	Слабый	Овальная	Среднее	Светло-розовая
50	1713	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Светло-розовая
51	1905	Крупный	Вздутая	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Удлиненно-овальная	Крупное	Буро-красная
52	1942	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Розовато-коричневая
53	1987 (стандарт)	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Среднее	Светло-розовая
54	1997	Крупный	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Слабый	Удлиненно-овальная	Крупное	Розовато-коричневая
55	2002	Средняя	Коконообразная	Малое	Слабоячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая
56	2012	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Светло-розовая
57	2013	Средняя	Коконообразная	Малое	Слабоячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Светло-розовая
58	2021	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Светло-розовая

59	2064	Крупный	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Удлиненно-овальная	Крупное	Розовато-коричневая
60	2065	Средняя	Вальковато-цилиндрическая	Малое	Ячеистая	Средний	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая
61	2066	Средняя	Коконообразная	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Округлая	Среднее	Розовато-коричневая
62	2067	Крупный	Вздутая	Малое	Ячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая
63	2068	Крупный	Коконообразная	Среднее	Слабаячеистая	Невыраженный	Овальная	Среднее	Розовато-коричневая

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Морфологическое описание листьев и цветков арахиса (КОС ВИР, 2019).

№ п/п	Номер каталога	Величина листьев	Форма листьев	Длина черешка	Форма прилистника	Величина цветка	Форма чашечки	Размер чашечки	Окраска чашечки	Опушение чашечки
1	3	Средние	Обратнойцевидные	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Длиннозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
2	24	Средние	Обратнойцевидные	Длинный	Линейноланцетная	Крупный	Длиннозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
3	41	Мелкие	Обратнойцевидные	Короткий	Клювовидная	Мелкий	Длиннозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
4	46	Мелкие	Обратнойцевидные	Средний	Клювовидная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Антоциановая	Слабое
5	51	Средние	Удлиненно-овальная	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
6	53	Крупные	Обратнойцевидные	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
7	74	Средние	Обратнойцевидные	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
8	126	Средние	Удлиненно-овальная	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
9	154	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
10	168	Средние	Обратнойцевидные	Короткий	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Средняя	Светло-зеленая	Слабое
11	173	Средние	Обратнойцевидные	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
12	175	Крупные	Эллиптическая	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Длиннозубчатая	Средняя	Антоциановая	Сильное
13	178	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
14	179	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Клювовидная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
15	180	Крупные	Широкоэллиптическая	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Средняя	Антоциановая	Слабое
16	202	Мелкие	Обратнойцевидные	Средний	Линейноланцетная	Крупный	Короткозубчатая	Крупная	Светло-зеленая	Слабое
17	283	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Клювовидная	Крупный	Короткозубчатая	Средняя	Светло-зеленая	Слабое
18	300	Средние	Эллиптическая	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
19	317	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
20	319	Средние	Удлиненно-овальная	Длинный	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Слабое
21	354	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
22	416	Средние	Обратнойцевидные	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее
23	433	Средние	Широкоэллиптическая	Средний	Линейноланцетная	Мелкий	Короткозубчатая	Мелкая	Светло-зеленая	Среднее

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Морфологическое описание растений арахиса (КОС ВИР, 2019).

№ п/п	Номер каталога	Форма куста	Степень выраженности стебля	Величина междоузлий	Степень опушения	Антоциановая окраска
1	3	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Среднее	Средняя
2	24	Полукустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
3	41	Стелящийся	Невыраженный	Укороченные	Среднее	Отсутствует
4	46	Кустовой	Невыраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
5	51	Стелющийся	Невыраженный	Средние	Сильное	Средняя
6	53	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
7	74	Полукустовой	Невыраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
8	126	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Слабая
9	154	Полукустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
10	168	Стелющийся	Невыраженный	Средние	Слабое	Средняя
11	173	Полукустовой	Невыраженный	Средние	Сильное	Средняя
12	175	Кустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Сильная
13	178	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Среднее	Отсутствует
14	179	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Сильное	Отсутствует
15	180	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Среднее	Средняя
16	202	Стелющийся	Невыраженный	Укороченные	Слабое	Слабая
17	283	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
18	300	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Средняя
19	317	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Слабая
20	319	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
21	354	Полукустовой	Невыраженный	Средние	Среднее	Отсутствует
22	416	Кустовой	Невыраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует

23	433	Кустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Отсутствует
24	555	Стелющийся	Невыраженный	Укороченные	Сильное	Отсутствует
25	596	Кустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Слабая
26	597	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
27	626	Полукустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Отсутствует
28	698	Полукустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Сильная
29	720	Стелющийся	Выраженный	Укороченные	Среднее	Средняя
30	747	Стелющийся	Невыраженный	Укороченные	Среднее	Средняя
31	751	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Среднее	Отсутствует
32	793	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Слабая
33	868	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Слабая
34	903	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
35	939	Кустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Отсутствует
36	1001	Кустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Отсутствует
37	1026	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Слабая
38	1027	Полукустовой	Невыраженный	Укороченные	Сильное	Отсутствует
39	1157	Полукустовой	Невыраженный	Укороченные	Сильное	Отсутствует
40	1252	Стелющийся	Выраженный	Средние	Среднее	Слабая
41	1533	Полукустовой	Выраженный	Средние	Сильное	Отсутствует
42	1547	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Средняя
43	1697	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
44	1713	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
45	1987 (стандарт)	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Слабая
46	2002	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
47	2012	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Отсутствует
48	2013	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Отсутствует
49	2021	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Отсутствует
50	2064	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
51	2067	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
52	2065	Кустовой	Выраженный	Укороченные	Слабое	Отсутствует
53	2068	Кустовой	Выраженный	Средние	Слабое	Отсутствует
54	2066	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Отсутствует
55	2063	Кустовой	Выраженный	Средние	Среднее	Отсутствует

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Данные по хозяйственно ценным признакам полученные в ПАФНЦ РАН и КОС ВИР за 2019 г.

№ п/п	Номер каталога ВИР	ПАФНЦ РАН 2019										КОС ВИР 2019					
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений (%)	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости (%)	Продуктивность (г)	СУ продуктивности (%)
1	1987	12	30	83,2±2,6	7	28	693	1176	32,8	52,5±1,4	6	22	21	55±7,9	32	80,2±19,7	54
2	3	12	28	86,4±1,7	4	28,3	507	1072	25,2	46,6±0,9	4	14	33	66,5±4,6	13	36,5±4,2	23
3	24	12	28	87,6±3,6	9	7,5	469	500	30,7	32±2,1	14	19	26	60±6,6	22	39±12,5	64
4	41	16	31	69,8±6,4	2	27,3	562	892	31,6	58±3,4	13	19	29	51±4	11	144±8	7
5	46	16	31	86,6±2,9	7	14	628	1061	29,4	48,8±1,1	5	13	20	43,4±2,5	13	52,4±3,8	16
6	51	12	35	50±3,9	2	9,5	553	659	29,1	53,6±2,5	1	19	-	-	-	-	-
7	53	12	35	87,6±5,6	14	15,3	542	841	30,9	36,6±1,8	11	19	25	48,8±13,	6	5,6±1,9	78
8	64	11	29	99,2±0,8	1	38,1	575	1108	23,2	62,4±2,5	9	-	-	-	-	-	-
9	74	12	35	82,2±3,4	8	17,7	711	835	35,8	58,4±2,9	11	14	30	52±12	32	42±3	10
10	126	12	28	93,6±2,6	6	14	484	1077	23,5	50,2±1,7	7	19	25	44,6±17,	86	24,8±4,1	37
11	154	13	27	85±3,8	1	23,2	490	703	26	42,6±1,3	7	19	25	49,6±5,6	25	27±8	66
12	163	16	31	90,6±2	4	19,2	566	857	28,5	39,2±0,9	5	14	-	-	-	-	-
13	168	12	35	69±4,8	15	14,3	597	694	70,5	44,6±1,9	9	14	30	52,5±7	26	75,75±125	33
14	173	12	30	83±7	18	18,8	782	847	34,7	55,2±2,4	1	19	29	52,3±2,1	7	120,6±40,3	57

15	175	12	25	98,8±1,2	2	24	628	1348	25,5	58,4±1,8	6	19	29	61,6±9,9	36	33,6±7,8	52
16	178	16	31	86±2,8	7	23,1	568	971	27,2	42,8±1,8	9	19	29	61±6	13	39,5±1,5	5
17	179	12	34	92±4,2	1	19,4	524	770	26,8	39,2±1,5	9	19	29	76,4±1,2	3	50,2±9,5	42
18	180	12	25	96,8±1,3	3	31,1	513	1119	24,2	57,2±2,2	11	14	34	60,8±4,8	17	40,4±16	88
19	202	14	35	70±8	16	19,5	534	791	41,8	63±7	15	22	21	38	-	67	0
20	283	12	25	86,2±5	13	11	494	591	27,5	45,2±0,6	3	24	19	63,8±3,8	13	56,2±13	51
21	300	12	23	91,6±3,7	9	30,0	514	1500	23,2	56,8±3,4	7	19	25	76,6±7,4	21	36,8±2,5	15
22	317	12	28	92,2±1,1	2	34,8	554	1094	25,1	56,6±1,5	6	14	30	61,8±3,6	13	40±6,2	34
23	319	13	34	81±4,4	12	10,7	428	530	75,6	32±1	6	14	29	65±5,6	19	28,8±3,3	25
24	354	12	30	84,2±4,5	13	11,0	461	625	72,6	36,6±0,5	3	19	24	67±1,2	4	25,8±1,5	13
25	362	14	28	86,2±5,1	13	13,0	506	575	68,9	37,2±0,6	3	26	-	-	-	-	-
26	416	12	28	86,2±1,5	4	30,0	551	1376	25,6	53,8±1,3	5	22	21	51±6,9	27	19,5±5	13
27	433	12	30	91,8±2,4	6	20,6	432	531	24,1	49,2±0,8	3	19	21	63±2,7	9	41,6±2,7	14
28	555	12	35	87,6±1,9	5	32,2	638	890	29,1	65±4,4	15	19	25	55±4,3	17	80,4±16,6	46
29	596	16	26	85,8±4	1	19,2	418	468	27,9	60±1,3	7	14	26	74±1,7	5	47,4±9,2	43
30	597	12	30	95±2	4	22,3	382	491	23,8	46,8±1,1	5	14	29	76±3,2	9	42,2±8,7	46
31	626	12	30	86±3,4	8	13,6	554	602	30,1	37,8±1	6	14	29	63,2±2,3	8	55,6±7,5	45
32	695	16	31	93,4±1,2	2	26,6	417	545	26,7	48,2±1,4	6	-	-	-	-	-	-
33	698	12	34	92,2±2,3	5	32,3	800	1682	34,2	48±3,4	1	19	24	52,8±3,5	15	95,8±15,2	35
34	720	12	35	100	0	3,5	530	820	28,1	35,6±1,3	8	22	21	62±3,9	14	37,4±7,5	45
35	747	12	35	80±4,1	11	18,2	748	1022	35,9	55,2±1,1	4	14	29	38,2±8	46	43±8,6	44
36	751	12	35	79±4,4	12	17,5	604	678	33,7	49±2,2	10	22	25	62,8±6,6	23	59,2±15,4	58
37	793	12	23	92,4±1	2	35,0	613	732	24,2	38,6±1,3,	7	14	33	67,5±3,5	1	57,75±5,7	19
38	868	12	28	91±3	7	28,9	712	1290	29,9	67±4	13	14	29	66,6±11,	38	28,8±4,4	34
39	869	13	29	90,4±4,1	1	12,7	450	602	33	48±2,3	1	-	-	-	-	-	-
40	903	12	28	87,2±4,6	11	26,3	551	802	23,2	57,2±1,2	5	14	29	76,2±3,6	1	28,4±2,6	21
41	939	16	26	92±2,1	5	14,8	562	661	25,1	45,8±1,6	8	17	26	70,2±2,9	9	27±4,9	40
42	1001	16	30	13±4,6	79	25,9	485	704	24,8	49,2±1,6	7	22	23	77,2±4	11	37,4±6,2	37
43	1026	13	27	82,4±5,7	15	35,8	561	1201	23,3	54,6±2,3	9	24	21	60,8±12,	47	19±11,1	31
44	1027	12	28	92±1,3	3	36,3	513	829	27,8	43,2±1,5	8	17	33	63,4±6	21	23,4±7,4	71
45	1143	17	30	74,8±7,2	21	17,2	486	705	29,5	36,6±2,2	13	-	-	-	-	9	0
46	1157	16	31	86,2±3,2	8	16,7	363	592	45,8	43,4±2,4	12	20	27	61,8±5,3	19	62±13,2	47
47	1252	14	33	80±8,2	23	25,0	535	962	44,2	44,2±1,8	9	22	-	-	-	-	-

48	1533	15	39	92,8±3,2	7	18,3	562	906	43,3	43,2±3,1	16	18	33	48,3±7,7	32	69±17,4	50
49	1547	16	24	88,8±4,2	14	42,9	677	1123	30,1	45,6±1,6	8	20	27	63±7,2	25	33,4±9,4	63
50	1697	12	28	81,4±5,2	0	14,2	566	1029	27,3	35,4±1,2	7	23	22	57,3±8,9	27	46±1,5	5
51	1713	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	29	62,8±7,8	27	41,6±10,3	55
52	1905	12	37	79,4±2,7	7	18,0	738	891	38,1	41,8±1,5	8	-	-	-	-	-	-
53	1942	12	28	91±2,5	6	24,0	588	770	30	39,8±1	5	-	-	-	-	-	-
54	1997	12	28	89,4±0,6	8	23,4	491	900	30,1	52,2±3,5	15	-	-	-	-	-	-
55	2002	12	30	88,4±2,3	6	45,0	675	907	32,3	46,2±3,2	15	22	21	71±5,5	15	40,5±17,2	50
56	2012	12	30	89,2±4,6	11	29,0	646	775	26,5	40±1,5	8	14	29	63±6,4	22	62,2±3,9	14
57	2013	11	29	91,8±2,4	5	11,0	244	590	22,7	42,8±1,5	8	14	29	62,6±4,2	15	48±7,8	36
58	2021	11	29	91,8±2,9	7	35,0	642	1017	30,9	36,2±1,5	9	15	28	54,6±5,6	17	44,5±13,5	42
59	2064	12	28	79±4	11	17,0	739	765	25,3	30,6±1,4	10	22	21	-	-	-	-
60	2065	12	25	90,8±2,7	6	22,3	800	921	25,8	34±1,5	9	24	19	-	-	-	-
61	2066	12	35	82,6±2,9	7	23,8	632	1190	22,7	24,8±0,5	5	14	29	-	-	-	-
62	2068	12	25	79,6±5,1	14	15,8	675	810	27,5	47,4±0,5	2	22	21	-	-	-	-
63	2067	12	28	91,6±4,4	1	27,5	551	1719	24,2	25,2±0,8	7	14	29	-	-	-	-
Среднее значение		12	29	85,2	8	22,3	564,7	882,8	31,9	46,2	7	18	26	60,3	19	47,2	37
НСР		0,7	1,6	4,9	-	2,7	38,7	88,5	3,8	3,3	-	2,1	3,5	9,7	-	9,1	-

Примечание: НСР – наименьшая существенная разница; CV – коэффициент вариации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица 5. Данные по хозяйственно ценным признакам полученные в ПАФНЦ РАН и КОС ВИР в 2020 г.

№ П/П	Номер каталога ВИР	ПАФНЦ РАН 2020										КОС ВИР 2020									
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Лужжистость (%)	Средняя высота растений (см)	СУ роста растений (%)	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	СУ вызреваемости (%)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Лужжистость (%)	Продуктивность (г)	СУ продуктивности (%)	
1	1987	20	26	93,5±4,3	10	29,4	786	1140	31,1	38,8±0,8	5	27	25	55,2±3,	16	589	1636	34,2	11,5±6	12	
2	3	19	23	93,4±3,4	8	10,7	411	572	28,2	34,8±3,4	22	25	32	45,5±10	52	312	1366	41,1	13,6±4,1	42	
3	24	20	26	92,3, ±3,6	9	23,7	478	678	29,5	44±2,2	12	25	32	61,4±5	18	360	950	36,8	19,7±2,3	27	
4	41	19	38	89,3±3,1	8	27,4	473	675	30,0	40,6±3,4	19	24	27	55,4±5,	20	420	1325	36,3	23±0,6	7	
5	46	19	41	90,2±3,7	9	32,7	522	777	32,9	40,2±1,7	10	25	32	50	0	619	1766	32,9	5,3	0	
6	51	18	42	47,5±0,5	2	31,8	557	860	35,3	48,2±2	9	25	33	64	0	553	1693	47,3	52,4	0	
7	53	18	24	92,5±3,5	8	18,0	494	713	30,8	34,2±2	13	25	34	73,8±3,	11	469	1631	37,4	25,4±7,1	63	
8	64	19	27	94,6±2,6	6	18,3	359	509	29,6	31,4±4,5	32	-	-	-	-	344	-	-	27,8±7	56	
9	74	20	30	81,1±6,1	17	35,1	723	1080	33,1	53±1,5	7	24	37	87,4±3,	8	581	1522	38,8	-	-	
10	126	18	21	93,7±2	5	28,8	844	1126	25,1	57,6±1	7	24	37	-	-	417	1425	31,6	24,5±3,6	33	
11	154	20	22	94,9±3,8	9	18,8	395	550	28,2	28,8±2,1	17	24	41	-	-	309	980	33,6	159,7	0	
12	163	18	28	92,9±2,2	6	26,2	325	459	29,2	34,6±1,5	10	-	-	-	-	358	-	-	27,7±4,5	37	
13	168	20	37	84,1±5,1	14	18,4	651	996	34,7	51,4±2,6	12	26	27	-	-	642	1970	45,1	42,5±10,3	54	
14	173	20	30	85,7±3,5	9	47,4	716	1127	36,5	61±3,8	14	25	27	-	-	645	1967	41,3	21,6±5,9	61	

15	175	18	24	98,6±0,8	2	24,8	480	680	29,5	47,2±3,9	19	25	27	60±7,7	28	438	1628	40,7	16,2±2,6	37
16	178	19	26	92,4±1,4	3	37,5	474	636	25,5	42,6±1,4	8	25	27	64,4±7	27	326	976	32,9	20,1±4,6	52
17	179	19	27	89,8±4,5	11	25,3	455	609	25,4	43,8±1	5	25	31	62,6±7	26	316	938	37,6	14,8±2,4	37
18	180	20	26	94,9±1,1	3	16,8	418	589	29,1	44,2±1,9	10	25	31	73,6±1	38	246	1131	41,9	11,5±2,5	50
19	202	20	30	88,6±2,9	7	23,4	596	894	33,4	61±4,4	16	25	32	80±5	14	638	2156	40,9	26,7±15,5	30
20	283	20	22	94,2±1,4	4	19,1	444	622	28,7	43,4±2,6	14	25	26	74,6±8	24	507	1703	32,9	26,2±6,1	52
21	300	19	23	99,3±0,6	1	20,7	419	574	27,1	56,6±1	4	25	27	87,4±3	9	341	1106	38,1	16,3±3,3	46
22	317	20	25	89,1±5,9	15	35,8	447	607	26,4	76,4±2,1	6	26	26	73±3,3	10	356	1496	34,2	21,8±4,5	46
23	319	20	26	91,8±3,4	8	30,1	418	561	25,6	52,4±1,6	7	26	25	80,8±3	10	380	1043	26,9	20,8±5,1	55
24	354	20	26	89,9±4,1	10	25,0	418	592	29,4	51,4±1,2	5	25	28	69,8±9	29	332	1060	33,9	15,2±4,9	73
25	362	20	25	91,3±2	5	25,4	494	784	37,0	51,4±1,5	7	24	29	77,4±3	11	424	1595	35,8	29,3±2,7	21
26	416	18	24	96,5±2	5	28,0	454	619	26,7	54,8±5,3	22	26	26	67±10,	27	260	1303	33	16,5±3,8	41
27	433	20	24	93,3±0,6	1	22,3	417	550	24,3	45,2±2,9	15	26	27	74,6±5	15	326	833	31,3	14,6±2,9	45
28	555	20	30	89,6±4,3	11	24,4	439	634	30,8	51±4,1	18	26	29	-	-	328	1043	36,5	19,1±5,7	67
29	596	20	22	91,2±2	5	35,3	400	551	27,5	56,2±4,9	20	30	21	-	-	289	801	30	19,2±4	47
30	597	20	22	94±1,2	3	38,5	333	422	21,1	49,4±1,9	9	26	29	69±5	16	133	342	35,2	4,6±1	52
31	626	20	26	93,6±2,1	5	28,8	550	798	31,1	37,4±2,8	17	25	28	90,2±5	14	313	1276	44,8	7,6±2,3	68
32	695	20	24	96,2±1,1	3	39,6	336	443	24,2	51±1,5	7	27	28	66,8±7	25	249	663	10,8	16,9±4,2	57
33	698	20	22	91,3±3,5	9	35,9	516	704	26,8	59,8±2,2	8	25	31	-	-	659	2298	36,6	60,2±15,3	57
34	720	20	30	83,5±2,6	7	21,5	796	1068	25,5	37,4±1,2	7	25	34	-	-	767	2185	38,5	37,1±9,8	59
35	747	18	28	84,8±5,5	15	25,4	799	1171	31,8	53,2±1,9	8	25	35	-	-	337	1200	43,3	-	66
36	751	20	30	87,4±3,9	10	27,7	590	868	32,1	45±2,5	13	26	34	66,6±7	19	613	1644	28,6	23,5±8,9	66
37	793	20	23	94,3±1,5	4	28,1	540	745	27,6	31,6±2	15	26	26	71,6±1	24	312	881	31,8	13,2±5	40
38	868	18	24	88,2±2	5	35,3	650	927	29,9	73,2±1,3	4	24	26	86,5±5	13	535	1586	37,9	41,6±8,3	49
39	869	20	22	85,6±3	8	34,2	500	710	29,6	62,8±1,8	6	-	-	-	-	405	-	-	4,3±1	49
40	903	18	28	94,5±1,9	5	31,7	581	766	24,2	53,6±1,6	7	24	28	71,4±3	9	314	985	33,6	10,6±2	43
41	939	18	24	96,5±1,8	4	40,2	483	657	26,5	49±2,7	12	24	27	61,2±1	46	368	975	34	10,5±3,7	79
42	1001	20	25	87±3,6	9	36,1	418	561	25,5	53±2	9	25	27	-	-	170	616	47,5	10,1±2,9	64
43	1026	20	22	96,7±1,5	3	28,1	405	557	27,4	47,4±1	5	26	29	56,4±5	19	260	1343	35	7,7±2,2	65
44	1027	18	24	91±1,6	4	40,0	389	546	28,8	36,2±1,8	12	25	34	59,8±5	21	295	788	43,5	7±1,9	61
45	1143	18	24	95,4±1,6	4	51,1	396	538	18,8	52,4±2,1	9	25	37	33	0	276	1091	12,8	4,3	0
46	1157	20	30	91±1,7	4	28,5	430	654	34,3	43,4±2,4	13	25	36	70,6±5	17	377	1183	41,5	33,1±13,1	89
47	1252	20	30	94,5±1,9	5	20,1	489	732	33,2	39,8±2,4	14	25	34	75,6±6	20	413	1406	36,2	31,7±9,6	68

48	1533	20	40	92,9±0,8	2	26,3	474	723	34,5	38,2±0,8	5	25	31	76,2±7	22	477	1360	32,3	18,7±7,2	86
49	1547	19	27	89,2±2,8	7	13,0	501	742	32,5	42±2,5	14	25	31	83,6±5	13	454	1386	36,9	27,4±4	33
50	1697	19	26	89,8±5,3	13	25,0	600	841	28,7	40,4±1	6	24	36	65±5,7	19	425	1585	32,2	21,8±5,3	55
51	1905	20	30	82,3±4,7	13	25,3	654	956	31,6	43,4±3,7	19	-	-	-	-	558	-	-	-	-
52	1942	20	22	89,6±2,1	5	29,4	686	973	29,5	38±1,5	9	24	32	67±3,6	35	932	2250	34,2	58,5±9,3	28
53	1997	20	26	88,4±5,1	13	25,1	628	918	31,6	37,8±1,1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	2002	20	26	89,6±3,5	9	24,1	570	774	26,4	37,4±0,9	6	24	26	-	-	604	1413	24,8	-	-
55	2012	20	26	92±1	2	23,8	555	715	22,4	40±1,3	7	29	20	-	-	354	1101	32,7	-	-
56	2013	20	26	94,8±2,9	7	20,8	543	759	28,5	28,6±1,2	9	25	26	-	-	543	1415	22,6	-	-
57	2021	20	26	88,1±3,7	10	17,3	554	698	20,7	26,8±1,1	10	26	25	-	-	632	1580	19,6	-	-
58	2064	20	24	94,9±2,7	7	30,0	710	968	26,7	29,6±1,3	10	25	28	-	-	776	2241	31,2	-	-
59	2065	20	26	94,8±3,7	9	21,6	708	972	27,2	36,6±2	12	25	28	85±3,6	11	647	1685	29,6	57,6±11	43
60	2066	20	25	89,5±3,6	9	31,2	695	897	22,6	27,2±0,4	4	28	22	76,6±5	14	628	1698	26	51,9±11	47
61	2068	19	24	96,5±1,4	3	20,2	655	836	29,5	50,4±3,2	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	2067	18	23	99±1	2	33,6	474	1185	27,7	33,6±1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Среднее значение		19	6	90,9	6	27,7	527,7	751,4	28,7	45,2	11	25	29	69,3	18	439,8	1367,6	34,5	25,5	46
НСР		0,2	1,4	2,0	-	2,2	36,1	55,7	1,1	3,1	-	2,6	3	13,0	-	55,8	189,5	4,1	7,8	-

Примечание: НСР – наименьшая существенная разница; CV – коэффициент вариации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица 6. Данные по хозяйственно ценным признакам полученные в ПАФНЦ РАН и КОС ВИР в 2021 г.

№/П	Номер каталога ВИР	ПАФНЦ РАН 2021										КОС ВИР 2021									
		Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	SV вызреваемости (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)	Средняя высота растений (см)	SV роста растений (%)	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	SV вызреваемости (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)		
1	1987	11	36	89,2±5,2	13	27,3	751	1148	34,6	63,2±2	7	14	32	33,8±9,5	63	91,7±27,5	6	696	2170	33,6	
2	3	9	43	98,2±1,8	4	17,8	443	615	28	74,8±0,3	1	10	25	80±4,7	13	34,8±4,9	31	306	1160	31,8	
3	24	11	39	93,2±2,8	6	14,3	536	764	29,9	63,2±2	7	10	25	19±4,5	28	37,8±8,2	48	319	804	33,1	
4	41	11	39	85,4±5,5	14	10,7	444	664	33,2	54,4±0,8	4	10	25	37±3,6	22	43,6±8,4	43	382	1086	34,7	
5	46	11	49	73,6±9,4	28	8,8	363	667	45,6	47,4±1,2	6	11	29	46±7,5	36	44,2±10,2	52	543	1446	35,3	
6	51	11	49	82±6,2	17	11,8	510	861	40,8	46,4±1,3	6	13	27	46±7,5	36	38±10,7	63	519	1460	36,0	
7	53	11	49	79,8±6,2	17	11,5	440	715	38,5	53,2±3,5	15	12	27	46±6,8	33	28,6±7,9	62	370	1332	34,6	
8	64	11	39	83,8±2,7	7	15,9	446	635	29,8	64,4±5	1	9	27	22±5	5	36,6±7,2	44	309	1286	33,3	
9	74	11	49	73,2±5,9	18	13,8	499	881	43,4	48,4±2,6	1	13	27	-	-	-	-	-	-	-	
10	126	11	24	84,2±4,5	12	23,5	415	571	27,4	79±0,6	2	9	26	32,8±6,6	45	37,8±11,3	66	345	1192	33,3	
11	154	26	27	88±1,1	2	29	470	656	28,4	52,6±1,2	5	11	29	35±14	98	40±8,3	51	348	930	28,1	
12	163	11	39	75,4±3,9	11	24,9	555	825	32,8	54,4±0,8	4	14	26	33±11	7	30,8±5,3	39	386	1100	31,2	
13	168	26	34	86±2	5	19,5	667	1164	42,7	53,2±4,3	1	13	29	69±12,5	4	22,2±8,3	84	522	1717	40,3	
14	173	11	39	86,2±2,8	7	35,5	772	1191	35,2	68,4±1,9	6	14	29	44,2±6,5	33	21,8±3,7	38	578	1728	37,1	
15	175	11	39	88,6±6,3	15	18,6	513	763	32,8	74,6±1,4	4	14	29	46,6±8,4	57	55,4±8,6	34	345	1584	38,6	

16	178	11	39	72,2±7,4	23	15,1	537	772	30,5	53,4±1,2	5	13	29	18,4±6	73	38,6±7,3	42	350	970	30,7
17	179	11	42	77,6±5,4	15	14,9	471	684	31,2	48,6±1,4	7	12	32	36±16,5	2	39,4±9	51	352	898	30,9
18	180	11	42	85,4±2,2	5	8,2	398	622	36,1	62±1,7	6	11	29	-	-	-	-	340	1384	36,7
19	202	11	39	78±2,6	7	28,5	684	1151	40,6	47±1,1	5	11	30	63,4±1,3	4	40±8,5	47	591	1620	35,0
20	283	11	39	93,8±3,9	9	14	494	724	31,8	69,2±2	7	11	29	23,6±4,6	44	45,8±4,4	21	403	1532	34,2
21	300	11	39	95±2,3	5	5,2	492	744	33,9	85,4±2,1	6	13	28	29,2±6,5	5	40,8±12,9	71	342	1475	31,5
22	317	11	42	89±5,6	14	18,3	432	609	29,1	76,4±2,1	6	12	31	51,6±11,5	5	14,6±7	7	331	985	32,7
23	319	11	39	86,4±2,4	6	17,2	424	576	26,4	62,4±1,4	5	12	29	40±2,3	13	28,6±6	47	361	886	27,5
24	354	11	39	84,2±1,5	4	17,8	509	715	28,9	56,6±0,7	3	12	28	27,6±2,6	21	41,8±8,2	44	330	963	31,4
25	362	11	39	95,8±2,6	6	16,3	515	782	34,2	59,4±1,5	6	12	29	31,6±7,5	53	37,8±8,4	49	447	1440	36,1
26	416	11	39	89,8±3,3	8	9,3	416	648	35,9	58,4±1,	6	11	33	25,6±5,1	44	33,4±4,2	28	342	1264	35,6
27	433	11	42	80,4±2,7	7	12	394	563	30,1	54,8±0,8	3	12	32	28,4±8,6	68	41,4±13,9	75	278	777	28,5
28	555	11	39	89±4,5	1	10,7	467	681	31,5	49,6±2,7	1	11	33	27,8±6,3	51	29,6±6,9	52	385	1124	32,2
29	596	11	39	77,2±5,4	1	18,3	380	552	31,2	62,2±2,8	1	12	27	-	-	-	-	291	827	29,6
30	597	11	39	53,2±2,2	9	11,8	275	366	24,9	52,8±0,5	2	11	32	60±12,9	48	37±6,7	4	221	598	26,0
31	626	11	39	98±2	4	20,8	584	915	36,2	61,4±1	4	11	33	27,6±3,4	27	60,4±8,1	3	432	1522	32,4
32	695	11	39	88,2±4	10	15,3	309	443	30,3	45,4±1,2	6	12	31	17±1,8	23	34±5,5	36	245	670	26,2
33	698	11	39	96±2,5	5	11,5	464	674	31,2	60,8±1,5	6	14	30	37,1±5	33	29,6±9,2	76	611	1972	38,1
34	720	26	34	85,4±7,4	19	18,5	851	1220	30,3	48,8±1,1	5	14	30	36,4±8,9	55	44,2±7,2	36	681	1988	32,9
35	747	26	39	89,7±5,3	11	20,1	740	1225	39,6	49,5±1,3	6	14	31	22±4	41	46,8±13	62	445	1318	35,2
36	751	11	39	71,4±6,8	21	17,4	619	962	35,7	44±1,5	8	10	28	18,8±4,9	58	55±9,2	37	513	1500	32,2
37	793	5	45	97±1,2	2	31,5	550	726	24,3	39,6±2,6	1	13	26	40±5	28	41,82±5,6	3	488	1307	25,3
38	868	11	39	87,6±2,1	5	23,9	637	946	32,7	73,2±1,3	4	12	41	37,8±5	29	37,26±7,4	44	385	1368	45,9
39	869	11	46	82,6±6,4	17	14	491	726	32,4	62,8±1,8	6	12	32	29,4±4,9	37	52,6±10	42	409	1458	36,6
40	903	11	39	94±2,2	5	15,2	415	588	29,5	59,8±,9	4	10	29	23±5,5	54	30,2±4	29	319	862	29,0
41	939	11	39	85±3,6	9	14,4	582	845	31,2	65,4±1,6	6	12	37	29±6	46	33,8±4,3	28	368	1040	29,2
42	1001	11	39	86,6±3,5	9	12,7	373	509	26,8	53±2	9	13	37	22,2±5,3	53	34,4±14	91	263	752	30,1
43	1026	11	39	89,6±3,4	8	15,6	421	664	36,6	63,4±1,5	5	13	37	40,8±13,8	75	19,88±7,2	81	272	1100	38,1
44	1027	11	39	75,6±6,3	18	15	432	675	36	58,8±2,5	1	14	29	30,6±3,4	24	56,8±9,1	36	314	892	30,2
45	1143	11	42	79,6±2,5	7	24,6	416	603	31,1	66,8±0,9	3	12	29	37,2±4,8	29	24±5,1	47	257	866	34,1
46	1157	11	42	79±8,2	25	5,1	277	589	53	50,8±2,9	1	12	29	38,4±3,4	19	61,2±15	54	263	804	38,5
47	1252	11	39	88,4±4,7	11	14,4	727	1259	42,3	49,4±2,2	1	12	29	34,4±6,8	44	44±5,1	26	349	1262	33,6
48	1533	11	42	91,4±4,2	10	9,8	615	990	37,9	52,2±2,5	1	12	29	45±4,8	24	35,8±6	37	359	1084	33,8

49	1547	11	39	87,8±3,1	7	12,7	575	826	30,4	62,4±1,8	7	12	30	23,8±3,2	32	41,1±8,2	49	444	1344	33,8
50	1697	11	39	88,8±1,6	4	18,1	599	891	32,8	63,6±1,7	6	12	30	33,2±11,9	80	37±5	3	396	1180	32,2
51	1905	26	34	59,2±5,2	19	19,8	701	1139	38,5	47±1,1	5	12	29	55,5±12,7	46	30,44±11,7	86	-	1782	40,2
52	1942	5	45	92,2±7,3	1	28,7	662	880	24,8	39,2±1,3	8	12	30	23,6±3	28	64±8,8	31	732	1192	39,1
53	2002	6	51	83,8±5	13	20,3	534	719	25,8	36,2±1,1	7	13	26	44,2±7,4	37	48,1±11	5	696	1520	23,9
54	2012	6	51	84,4±4,5	11	17	589	766	23,2	30,6±2,5	18	14	25	39,5±10	50	48,1±5,2	24	527	1429	26,2
55	2013	9	48	89,2±4,3	10	17,9	587	772	24	34±0,7	5	14	25	40,6±9,8	54	73,2±5,4	16	504	1327	24,1
56	2021	6	47	96,2±2,5	5	21	614	771	20,4	29,4±1	8	13	26	53,4±8,1	34	43,6±9,4	48	648	1602	20,7
57	2064	26	24	91,2±3,3	8	21,3	701	968	27,6	25,4±1,3	12	13	29	22,2±2,7	27	79,8±8,6	24	821	1946	27,4
58	2065	26	24	89,2±2,3	6	18,3	703	992	29,2	46,4±0,9	5	13	30	33±7,1	48	57,4±12,5	48	562	1576	30,0
59	2066	11	39	90±3,4	8	22,9	700	953	26,6	22,8±0,9	10	13	29	-	-	-	-	605	1512	23,9
Среднее значение		12	39	85,3	9	17,3	528,5	788,9	32,5	54,9	7	12	29	36,2	37	41,8	41	425,3	1274,4	32
НСР		1,5	1,7	2,5	-	1,8	37,4	60,3	1,8	3,8	-	0,4	0,9	4,7	-	5,2	-	46,5	114,3	1,9

Примечание: НСР – наименьшая существенная разница; CV – коэффициент вариации.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Средние значения хозяйственно ценных признаков образцов арахиса и достоверность отличий от стандарта (к-1987) за три года изучения по Т-критерию (значимо при $T > 2,13$).

	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)	Средняя высота растений (см)	Число дней от посева до всходов	Число дней от всходов до цветения	Вызреваемость бобов (%)	Продуктивность (г)	Масса 1000 семян (г)	Масса 1000 бобов (г)	Дужкистость (%)
1987 (стандарт)	14,3	30,7	88,6	28,2	743,3	1154,7	32,8	51,5	21,0	26,0	48,0	61,1	696,0	1903,0	33,9
3	13,3	31,3	92,7	18,9	453,7*	753,0*	27,1*	52,1	16,3	30,0	64,0	28,3	306,0*	1263,0*	36,5
24	14,3	31,0	91,0	15,2*	494,3*	647,3*	30,0*	46,4	18,0	27,7	46,8	32,2	319,0*	877,0*	35,0
41	15,3	36,0	81,5	21,8	493,0*	743,7*	31,6	51,0	17,7	27,0	47,8	70,2	382,0*	1205,5*	35,5*
46	15,3	40,3	83,5	18,5	504,3*	835,0*	36,0	45,5	16,3	27,0	46,5	34,0	543,0	1606,0	34,1
51	13,7	42,0*	59,8*	17,7	540,0*	793,3*	35,1	49,4	19,0	30,0	55,0	45,2	519,0*	1576,5	41,7*
53	13,7	36,0	86,6	14,9*	492,0*	756,3*	33,4	41,3	18,7	28,7	56,2	19,9	370,0*	1481,5*	36,0*
64	13,7	31,7	92,5	24,1	460,0*	750,7*	27,5*	52,7	9,0	27,0	22,0	32,2	309,0*	1286,0	33,4
74	14,3	38,0	78,8*	22,2	644,3	932,0*	37,4	53,3	17,0	31,3	69,7	42,0	-	1522,0	38,8

126	13,7	24,3	90,5	22,1	581,0	924,7	25,3*	62,3	17,3	29,3	38,7	29,0	345,0*	1308,5*	32,5*
154	19,7	25,3	89,3	23,7	451,7*	636,3*	27,5*	41,3	18,0	31,7	42,3	75,6	348,0*	955,0*	30,9
163	15,0	32,7	86,3	23,4*	482,0*	713,7*	30,2	42,7	14,0	26,0	33,0	29,3	386,0*	1100,0	31,3
168	19,3	35,3	79,7	17,4*	638,3*	951,3	49,3	49,7	17,7	28,7	60,8	46,8	522,0	1843,5	42,7*
173	14,3	33,0	85,0	33,9	756,7	1055,0	35,5*	61,5	19,3	28,3	48,3	54,7	578,0	1847,5	39,2*
175	13,7	29,3	95,3	22,5*	540,3*	930,3	29,3	60,1	19,3	28,3	56,1	35,1	345,0*	1606,0	39,7*
178	15,3	32,0	83,5	25,2	526,3*	793,0*	27,7*	46,3	19,0	28,3	47,9	32,7	350,0*	973,0*	31,8*
179	14,0	34,3	86,5	19,9*	483,3*	687,7*	27,8*	43,9	18,7	30,7	58,3	34,8	352,0*	918,0*	34,3
180	14,3	31,0	92,4	18,7	443,0*	776,7*	29,8	54,5	16,7	31,3	67,2	26,0	340,0*	1257,5*	39,3*
202	15,0	34,7	78,9	23,8	604,7*	945,3	38,6	57,0	19,3	27,7	60,5	44,6	591,0	1888,0	38,0*
283	14,3	28,7	91,4	14,7*	477,3*	645,7*	29,3*	52,6	20,0	24,7	54,0	42,7	403,0*	1617,5	33,6
300	14,0	28,3	95,3	18,6	475,0*	939,3	28,1	66,3	19,0	26,7	64,4	31,3	342,0*	1290,5*	34,8
317	14,3	31,7	90,1	29,6	477,7*	770,0*	26,9*	69,8	17,3	29,0	62,1	25,5	331,0*	1240,5*	33,5
319	14,7	33,0	86,4	19,3	423,3*	555,7*	42,5	48,9	17,3	27,7	61,9	26,1	361,0*	964,5*	27,2*
354	14,3	31,7	86,1	17,9*	462,7*	644,0*	43,6	48,2	18,7	26,7	54,8	27,6	330,0*	1011,5*	32,7
362	15,0	30,7	91,1	18,2*	505,0*	713,7*	46,7	49,3	20,7	29,0	54,5	33,6	447,0*	1517,5*	36,0*
416	13,7	30,3	90,8	22,4	473,7*	881,0	29,4	55,7	19,7	26,7	47,9	23,1	342,0*	1283,5*	34,3
433	14,3	32,0	88,5	18,3*	414,3*	548,0*	26,2*	49,7	19,0	26,7	55,3	32,5	278,0*	805,0*	29,9*

555	14,3	34,7	88,7	22,4	514,7*	735,0*	30,5	55,2	18,7	29,0	41,4	43,0	385,0*	1083,5*	34,4
596	15,7	29,0	84,7	24,3	399,3*	523,7*	28,9*	59,5	18,7	24,7	74,0	33,3	291,0*	814,0*	29,8*
597	14,3	30,3	80,7	24,2	330,0*	426,3*	23,3*	49,7	17,0	30,0	68,3*	27,9	221,0*	470,0*	30,6
626	14,3	31,7	92,5	21,1	562,7*	771,7*	32,5	45,5	16,7	30,0	60,3	41,2	432,0*	1399,0*	38,6
695	15,7	31,3	92,6	27,2	354,0*	477,0*	27,1*	48,2	19,5	29,5	41,9	25,5	245,0*	666,5*	18,5*
698	14,3	31,7	93,2	26,6	593,3	1020,0	30,7	56,2	19,3	28,3	45,0	61,9	611,0	2135,0	37,4*
720	19,3	33,0	89,6	14,5*	725,7	1036,0	28,0*	40,6	20,3	28,3	49,2	39,6	681,0	2086,5	35,7
747	18,7	34,0	84,8	21,2*	762,3	1139,3	35,8	52,6	17,7	31,7	30,1	44,9	445,0*	1259,0*	39,3*
751	14,3	34,7	79,3	20,9*	604,3*	836,0*	33,8	46,0	19,3	29,0	49,4	45,9	513,0	1572,0	30,4*
793	12,3	30,3	94,6	31,5	567,7*	734,3*	25,4*	36,6	17,7	28,3	59,7	37,6	488,0*	1094,0*	28,6*
868	13,7	30,3	88,9	29,4	666,3*	1054,3	30,8	71,1*	16,7	32,0	63,6	35,9	385,0*	1477,0*	41,9*
869	14,7	32,3	86,2	20,3	480,3*	679,3*	31,7	57,9	12,0	32,0	29,4	28,5	409,0*	1458,0	36,6
903	13,7	31,7	91,9	24,4	515,7*	718,7*	25,6*	56,9	16,0	28,7	56,9	23,1	319,0*	923,5*	31,3
939	15,0	29,7	91,2	23,1	542,3*	721,0*	27,6*	53,4	17,7	30,0	53,5	23,8	368,0*	1007,5*	31,6
1001	15,7	31,3	62,2	24,9	425,3*	591,3*	25,7*	51,7	20,0	29,0	49,7	27,3	263,0	684,0*	38,8
1026	14,7	29,3	89,6	26,5	462,3*	807,3	29,1	55,1	21,0	29,0	52,7	15,5	272,0*	1221,5*	36,6*
1027	13,7	30,3	86,2	30,4	444,7*	683,3*	30,9	46,1	18,7	32,0	51,3	29,1	314,0*	840,0*	36,9
1143	15,3	32,0	83,3	31,0	432,7*	615,3*	26,5	51,9	18,5	33,0	35,1	12,4	257,0*	978,5*	23,5

1157	15,7	34,3	85,4	16,8	356,7*	611,7*	44,4*	45,9	19,0	30,7	56,9	52,1	263,0*	993,5*	40,0*
1252	15,0	34,0	87,6	19,8*	583,7	984,3	39,9	44,5	19,7	31,5	55,0	37,9	349,0*	1334,0*	34,9
1533	15,3	40,3*	92,4	18,1*	550,3*	873,0*	38,6	44,5	18,3	31,0	56,5	41,2	359,0*	1222,0*	33,1
1547	15,3	30,0	88,6	22,9	584,3*	897,0*	31,0	50,0	19,0	29,3	56,8	34,0	444,0*	1365,0*	35,4
1697	14,0	31,0	86,7	19,1*	588,3*	920,3*	29,6	46,5	19,7	29,3	51,8	34,9	396,0*	1382,5*	32,2*
1905	19,3	33,7	73,6	21,0*	697,7	995,3*	36,1	44,1	12,0	29,0	55,5	30,4	-	1782,0	40,2
1942	12,3	31,7	90,9	27,4	645,3*	874,3*	28,1*	39,0	18,0	31,0	45,3	61,3	732,0*	1721,0	36,7
2002	12,7	35,7	87,3	29,8	593,0*	800,0*	28,2	39,9	19,7	24,3	57,6	44,3	696,0	1466,5	24,4
2012	12,7	35,7	88,5	23,3	596,7*	752,0*	24,0*	36,9	19,0	24,7	51,3	55,2	527,0	1265,0*	29,5*
2013	13,3	34,3	91,9	16,6*	458,0*	707,0*	25,1*	35,1	17,7	26,7	51,6	60,6	504,0*	1371,0*	23,4*
2021	12,3	34,0	92,0	24,4	603,3*	828,7*	24,0*	30,8*	18,0	26,3	54,0	44,1	648,0	1591,0*	20,2*
2064	19,3	25,3	88,4	22,8	716,7	900,3*	26,5*	28,5*	20,0	26,0	22,2	79,8	821,0	2093,5	29,3*
2065	19,3	25,0	91,6	20,7*	737,0	961,7*	27,4*	39,0	20,7	25,7	59,0	57,5	562,0	1630,5	29,8*
2066	14,3	33,0	87,4	26,0	675,7	1013,3	24,0*	24,9*	18,3	26,7	76,6	51,9	605,0	1605,0	25,0*

Примечание: достоверные отличия от стандарта отмечены *.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Достоверность различий между образцами арахиса и стандартом (к-1987) по жирнокислотному составу по Т-критерию (значимо при $T > 2,13$).

№ по каталогу ВИР	Происхождение	КОС ВИР		ПАФНЦ	
		Олеиновая (С18:1)	Линолевая (С18:2)	Олеиновая (С18:1)	Линолевая (С18:2)
168	Зап. Китай	-0,65	0,46	-0,28	0,07
300	Трансвааль	-2,29	2,14	-2,03	2,07
317	Юж. Родезия	-2,95	1,43	-1,86	1,01
354	Узбекистан	-2,45	1,7	-0,43	0,07
433	Сенегал	-2,61	1,63	-0,53	0,18
555	Индия	-0,97	0,47	-0,9	1,46
596	Аргентина	-1,50	0,93	-0,76	0,66
597	Канада	-1,83	1,1	-1,57	1,15
698	Марокко	-0,20	-0,04	-1,33	0,54
793	Россия	-0,12	-0,01	0,81	-2,63
1001	Эквадор	-1,29	1,01	-0,95	0,5
1533	Мадагаскар	-1,77	1,51	-0,6	0,49
1547	Мадагаскар	-1,06	0,89	-2,08	1,03

2012	Россия	0,19	-0,04	0,84	-2,17
2013	Россия	-0,52	0,72	0,64	-3,72

ПРИЛОЖЕНИЕ И

п/п	№ по каталогу ВИР	№ в базе NCBI	Последовательность
1	168	MAMN01003931.1	<p>CGTACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTGCGCCTGTGAATACCGA ATGCGTCCGACCGGAGCATCACATTGACGCTCCTTCACATGCA CGGGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCATGCATACATGGATTC ACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAATACTAAAAGGCAGC TCCCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTGGATTTTCCTTTGTTGC CAACGTGGCAACCACACAGATGCCCAATGGCTGCCACGTCAGA CGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGTGGACTCGACGAGAAAGAT CCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCGAGGCGGTGGTGTAACTGTA AGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGGAAGTAATGAAACAAC CACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAGAACGTACGGACG GCTTTCACTGCCTCTTCGCGGGTTTTGGGAGTGGGGAGATGCTT GGTCAATGCAGCGGGCCAGCACCGCCATCTCTTGGAAGCCGCT GTACCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCGAAGCGGT</p>
2	416	JQIO01000321.1	<p>GCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCCCGGTAAGTGCAGCAATA TCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAATGTCTTCAGTCACCCGTCCG TACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTGCGCCTGTGAATACCGAAT GCGTCCGACCGGAGCATCACATTGACGCTCCTTCACATGCACG GGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCATGCATACATGGATTCAC CGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAATACTAAAAGGCAGCTC CCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTGGATTTTCCTTTGTTGCCA</p>

			<p>ACGTGGCAACCACACAGATGCCCAATGGCTGCCACGTCAGACG AACCTTTCTTCCGTCGGCCACGTGGACTCGACGAGAAAGATCC GGATCCGCGGGTGTGGGGATCGAGGCGGTGGTGTAACTGTAAG TCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGGGAAGTAATGAAACAACCA CGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAGAACGTACGGACGGC TTTCACTGCCTCTTCGCGGGTTTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGG TCAATGCAGCGGCCAGCACCGCCATCTCTTGGAAGCCGCTGTA GCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCGAAGCGGTGGACGAG GGCGCAGCACTGGTCCAAAGAGAAACGCTCGTCTTCAAAGGTG TTCAAGAGAGAGTACCAGGTGCAGGTGGAATGGTCGCGGATCA TGCCGTTGACGAAATCCAATGGTCGCGGATCATGCCGTTGACG AAATCCCAGGGTGGTGAAGTACTGGTTGTTTGTACCGACGGGA AGGCCGCCGGTGC GGA</p>
3	555	JQIO01000351.1	<p>AATCCCGGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTC AATGTCCTTCAGTCACCCGTCCGTA CTGGACAATGATCTTGT TTC CTGTGCGCCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACA TTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGC GCCCATGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTG AATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGC TCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCC CAATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGT GGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCG</p>

			<p>AGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCA AGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTA GGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTGCCTCTTCGCGGGTT TTGGGAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGGCCAGCACC GCCATCTCTTGAAGCCGCTGTACCGAAGAAAGTTGGAGAAGG TGTAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAG</p>
4	596	-	<p>TAGTCCACAGTCTCTATAGTTAATAAAAATTATCTGCTTTGTCTC AAAGGTGCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTA TCCCGGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAA TGTCTTCAGTCACCCGTCCGTAAGTGGACAATGATCTTGTTTCCT GTCGCCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACATT GACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGGCGC CCATGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGA ATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGCT CTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCCC AATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGT GGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCG AGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCA AGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTA GGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTGCCTCTTCGCGGGTT TTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGGCCAGCACCG CCATCTCTTGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGGT</p>

			GTAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAGA GAAACGCTCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTACCAGGTG CAGGTGGAATGGTCGCGGATCATG
5	597	-	AGGTGCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCC CGGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAATGT CTTCAGTCACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTC GCCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACATTGAC GCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCA TGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATA ATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTG GATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCCCAAT GGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGTGGA CTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCGAGG CGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGG GAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGC CAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTACTGCCTCTTCGCGGGTTTTGG CAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACCGCTGC CTCTTCGCGGGTTTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCA GCGGCCAGCACCG
6	626		ACAGTCTCTATAGTTAATAAAAATTATCTGCTTTGTCTCAAAGGT GCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCCCGGT ACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAATGTCTTC

			AGTCACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTCGCCT GTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACATTGACGCTC CTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCATGCA TACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAATACT AAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTGGATTT TCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCCCAATGGCT GCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCCGCCACGTGGACTCG ACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCGAGGCGGT GGTGTAAGTGTAAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGGGAAG TAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAG AACGTACGGACGGCTTTCCTGCTCTTCGCGGGTTTTGGCAGT GGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACCGCCATCTCT TGGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCG AAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAGAGAAACGC TCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTACCAGGTGCAGGTGG AATGGTCGCGGATC
7	751	QBTX01000007.1	GAAAGAAGTTTTGTAAAATTGCTAGAAGTCCGATGAGGTGTCA CTCTAAATTTAACTGAATGACAATGGGTTGCTCTTAGTCCACAG TCTCTATAGTTAATAAAATTATCTGCTTTGTCTCAAAGGTGCTC TTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCCCGGTACTG CAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAATGTCTTCAGTC ACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTCGCCTGTGA

			<p>ATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACATTGACGCTCCTTC ACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCATGCATACA TGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAATACTAAA AGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTGGATTTTCTT TTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCCCAATGGCTGCCA CGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGTGGACTCGACGA GAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGCGATCGAGGCAGTGGTGT AACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGGGAAGTAATG AAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAGAACGT ACGGACGGCTTTCACTGCCTCTTCGCGGGTTTTGGCAGTGGGG AGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACCGCCATCTCTTGA AGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCGAAGC GGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAGAGAAACGCTCGT CTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTWCCAGGTGCAGGTGGAAT GGTCGCGGATCATGCCGTTGACGAAATCCCAGGTGGTGAAGTA CTGGTTGTTTGTACCGACGGGAAGGCCGCGGTGCGGATGCGT TTGACCTCTTTGGGTTCGGTGGTGAGAATTGCATCGGTGGCGGC CTTAACG</p>
8	939	PIVG0100008.1	<p>CGCGATGATATTATACTTTTCTCAAGAAACAGAAAGAAGTTTT GTAAAATTGCTAGAAGTCCGATGAGGTGTCACTCTAAATTTAA CTGAATGACAATGGGTGCTCTTAGTCCACAGTCTCTATAGTTA ATAAAATTATCTGCTTTGTCTCAAAGGTGCTCTTCAAACGGCG</p>

			<p>CTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCCCGGTA CTGCAGCAATATCTC ACCGAGAATCGGAGTTTCAATGTCTTCAGTCACCCGTCCGTACT GGACAATGATCTTGTTTCCTGTGCGCTGTGAATACCGAATGCGT CCGACCGGAGCATCACATTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTG CAGTGCTAACCACAGGCGCCATGCATACATGGATTCACCGCT CACCACCGCGTGATCTTGAATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTC AACACATCCTCGCACAGCTCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGT GGCAACCACACAGATGCCCAATGGCTGCCACGTCAGACGAACC TTTCTTCCGTCGGCCACGTGGACTCGACGAGAAAGATCCGGAT CCGCGGGTGTGGCGATCGAGGCAGTGGTGTA ACTGTAAGTCAG ATGCTTTCCAATGTTCCAAGGGAAGTAATGAAACAACCACGCT GCGAGACGGTTAAGGTAGGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCA CTGCCTCTTCGCGGGTTTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAAT GCAGCGGCCAGCACCGCCATCTCTTGGAAGCCGCTGTAGCGAA GAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGC AGCACTGGTCCAAAGAGAAACGCTCGTCTTCAAAGGTGTTCAA GAGAGAGTWCCAGGTGCAGGTGGAATGGTCGCGGATCATGCC GTTGACGAAATCCCAGGTGGTGAAGTACTGGTTGTTTGTACCG ACGGGAAGGCCCGCGGTGCGGATGCGTTTGACCTCTTTGGGTT CGGTGGTGAGAATTGCATCGGTGGCGGCCTTAACGGCGGTTAC GAGCTCAGACAAG</p>
9	1157	PIVG01000018.1	CTCAAAGGTGCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGC

			<p>CTATCCCGGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTT CAATGTCTTCAGTCACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTT CCTGTCGCCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCAC ATTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGG CGCCATGCATACATGGATTCACCGCTCACACC GCGTGATCTT GAATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAG CTCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGC CCAATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCCGCCAC GTGGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATC GAGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCC AAGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGT AGGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTACTGCCTCTTCGCGGGT TTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACC GCCATCTCTTGGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGG TGTAAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAG AGAAACGCTCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTACCAGGT GCAGGTGGAATGGTCGCGGATCATGCCGTTGACGAAATCCAAT GGTCGCGGATCATGCCGTTGACGAAATCCCAGGGTGGTGAAGT ACTGGTTGTTTGTACCGACGGGAAGGCCCGCGGTGCGGATGCG TTTGACCTCTTTGGGTTCCGGTGGTGAAGAATTGCATCGGTGGGGG CCTTAACGGCGGTTACGAGCTCAGACAAGTTGGAGAAG</p>
10	1252	QBTX01000030.1	TCTCAAAGGTGCTCTTCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAG

			<p> CCTATCCCGGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTT CAATGTCTTCAGTCACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTT CCTGTCGCCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCAC ATTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGG CGCCATGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTT GAATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAG CTCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGC CCAATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCCGCCAC GTGGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATC GAGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCC AAGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGT AGGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTACTGCCTCTTCGCGGGT TTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACC GCCATCTCTTGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGG TGTAAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAG AGAAACGCTCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTACCAGGT GCAGGTGGAATGGTCGCGGATCATGCCGTTGACGAAATCCCAG GTGGTGAAGTACTGGTTGTTTGTACCGACGGGAAGGCCGCCG GTGCGGATGCGTTTGACCTCTTTGGGTTCGGTGGGAGAATTGCT TCGGGGCGGCCTTAACGGCGGTTACGAGCTCAGACAAGTTGGA GAAGGAGG </p>
11	1905	PIVG01000082.1	CTTTGTCTCAAAGGTGCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCC

			<p>CCGAGCCTATCCCGGTA CTGCAGCAATATCTCCACCGAGAATC GGAGTTTCAATGTCTTCAGTCACCCGTCCGTA CTGGACAATGAT CTTGTTTCCTGTGCGCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAG CATCACATTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAAC CACAGGCGCCATGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCG TGATCTTGAATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCT CGCACAGCTCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACA CAGATGCCCAATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTC GGCCACGTGGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTG GGGATCGAGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAA TGTTCCAAGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTT AAGGTAGGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCACTGCCTCTTCG CGGGTTTTGGCAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCA GCACCGCCATCTCTTGGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGA GAAGGTGTAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTC CAAAGAGAAACGCTCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTAC CAGGTGCAGGTGGAATGGTCGCGGATCATGCCGTTGACGAAAT CCCAGGTGGTGAAGTTACTGTTG</p>
12	1987	QBTX01000020.1	<p>AATCCCGGTA CTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTC AATGTCTTCAGTCACCCGTCCGTA CTGGACAATGATCTTGTTTC CTGTGCGCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACA TTGACGCTCCTTCACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGC</p>

			<p>GCCCATGCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTG AATAATACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGC TCTGGATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCC CAATGGCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGT GGACTCGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCG AGGCGGTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCA AGGGAAGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTA GGCCAAGAACGTACGGACGGCTTTCCTGCTTTCGCGGGTT TTGGGAGTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGGCCAGCACC GCCATCTCTTGGAAGCCGCTGTACCGAAGAAAGTTGGAGAAGG TGTAAGTCGAAGCGGTGGACGAGGGCGCAG</p>
13	2002	-	<p>GGTGCTCTTCCAAACGGCGCTGCCAACTTCCCCGAGCCTATCCC GGTACTGCAGCAATATCTCACCGAGAATCGGAGTTTCAATGTC TTCAGTCACCCGTCCGTACTGGACAATGATCTTGTTTCCTGTCG CCTGTGAATACCGAATGCGTCCGACCGGAGCATCACATTGACG CTCCTTACATGCACGGGTGCAGTGCTAACCACAGGCGCCCAT GCATACATGGATTCACCGCTCACCACCGCGTGATCTTGAATAA TACTAAAAGGCAGCTCCCTCAACACATCCTCGCACAGCTCTGG ATTTTCCTTTGTTGCCAACGTGGCAACCACACAGATGCCCAATG GCTGCCACGTCAGACGAACCTTTCTTCCGTCGGCCACGTGGACT CGACGAGAAAGATCCGGATCCGCGGGTGTGGGGATCGAGGCG GTGGTGTAACTGTAAGTCAGATGCTTTCCAATGTTCCAAGGGA</p>

			AGTAATGAAACAACCACGCTGCGAGACGGTTAAGGTAGGCCA AGAACGTACGGACGGCTTTCCTGCTCTTCGCGGGTTTTGGCA GTGGGGAGATGCTTGGTCAATGCAGCGGCCAGCACCGCCATCT CTTGGAAGCCGCTGTAGCGAAGAAAGTTGGAGAAGGTGTAGTC GAAGCGGTGGACGAGGGCGCAGCACTGGTCCAAAGAGAAACG CTCGTCTTCAAAGGTGTTCAAGAGAGAGTACCAGGTGCAGGT
--	--	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Результаты оценки хозяйственно ценных, морфологических и биохимических характеристик 10 образцов арахиса по U-критерию Манна-Уитни относительно уровня экспрессии гена *cis* в стеблях.

Признак	Rank Sum Group 1	Rank Sum Group 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1 sided exact p
Период посев-всходы (ПАФНЦ)	47,0	8,0	2,0	1,94	0,05	2,01	0,04	7	3	0,07
Период всходы-цветение (ПАФНЦ)	41,5	13,5	7,5	0,68	0,49	0,69	0,49	7	3	0,52
Вызреваемость (ПАФНЦ)	39,0	16,0	10,0	0,11	0,91	0,11	0,91	7	3	1,00
Продуктивность (ПАФНЦ)	32,0	23,0	4,0	-1,48	0,14	-1,48	0,14	7	3	0,18
Лузжистость (ПАФНЦ)	42,0	13,0	7,0	0,80	0,43	0,80	0,43	7	3	0,52
Масса 1000 бобов (ПАФНЦ)	34,0	21,0	6,0	-1,03	0,31	-1,03	0,31	7	3	0,38

Масса 1000 семян (ПАФНЦ)	37,0	18,0	9,0	-0,34	0,73	-0,34	0,73	7	3	0,83
Высота растения	33,0	22,0	5,0	-1,25	0,21	-1,25	0,21	7	3	0,27
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	29,5	25,5	1,5	-2,05	0,04	-2,06	0,04	7	3	0,03
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	47,0	8,0	2,0	1,94	0,05	1,97	0,05	7	3	0,07
Вызреваемость (КОС ВИР)	46,0	9,0	3,0	1,71	0,09	1,71	0,09	7	3	0,12
Продуктивность (КОС ВИР)	37,0	18,0	9,0	-0,34	0,73	-0,34	0,73	7	3	0,83
Лузжистость (КОС ВИР)	44,0	11,0	5,0	1,25	0,21	1,25	0,21	7	3	0,27
Масса 1000 бобов (КОС ВИР)	32,0	23,0	4,0	-1,48	0,14	-1,48	0,14	7	3	0,18
Масса 1000 семян (КОС ВИР)	36,0	19,0	8,0	-0,57	0,57	-0,57	0,57	7	3	0,67
Размер бобов	37,0	18,0	9,0	-0,34	0,73	-0,39	0,70	7	3	0,83
Форма бобов	43,0	12,0	6,0	1,03	0,31	1,26	0,21	7	3	0,38
Количество семян	40,0	15,0	9,0	0,34	0,73	0,65	0,51	7	3	0,83
Характер поверхности боба	38,5	16,5	10,5	0,00	1,00	-	-	7	3	-
Наличие перетяжки	40,0	15,0	9,0	0,34	0,73	0,39	0,70	7	3	0,83
Форма семян	37,0	18,0	9,0	-0,34	0,73	-0,39	0,70	7	3	0,83

Размер семян	38,5	16,5	10,5	0,00	1,00	0,00	1,00	7	3	1,00
Окраска семенной кожуры	38,0	17,0	10,0	-0,11	0,91	-0,13	0,90	7	3	1,00
Форма куста	43,5	11,5	5,5	1,14	0,25	1,22	0,22	7	3	0,27
Выраженность стебля	39,5	15,5	9,5	0,23	0,82	0,27	0,79	7	3	0,83
Размер междоузлий	36,0	19,0	8,0	-0,57	0,57	-0,65	0,51	7	3	0,67
Степень опушения	32,5	22,5	4,5	-1,37	0,17	-1,46	0,14	7	3	0,18
Окраска опушения	38,5	16,5	10,5	0,00	1,00	-	-	7	3	-
Антоциановая окраска	38,5	16,5	10,5	0,00	1,00	0,00	1,00	7	3	1,00
Размер листьев	34,5	20,5	6,5	-0,91	0,36	-1,04	0,30	7	3	0,38
Форма листьев	35,5	19,5	7,5	-0,68	0,49	-0,73	0,46	7	3	0,52
Окраска листьев	41,5	13,5	7,5	0,68	0,49	0,98	0,33	7	3	0,52
Длина черешка	34,0	21,0	6,0	-1,03	0,31	-1,13	0,26	7	3	0,38
Форма прилистника	35,5	19,5	7,5	-0,68	0,49	-0,98	0,33	7	3	0,52
Размер цветка	38,0	17,0	10,0	-0,11	0,91	-0,14	0,89	7	3	1,00
Размер чашечки	42,0	13,0	7,0	0,80	0,43	0,85	0,40	7	3	0,52
Опушение чашечки	41,0	14,0	8,0	0,57	0,57	0,65	0,51	7	3	0,67
Содержание белка	35,0	20,0	7,0	-0,80	0,43	-0,80	0,43	7	3	0,52
Содержание масла	35,0	20,0	7,0	-0,80	0,43	-0,80	0,43	7	3	0,52

Содержание олеиновой кислоты	40,0	15,0	9,0	0,34	0,73	0,34	0,73	7	3	0,83
Содержание линолевой кислоты	46,0	9,0	3,0	1,71	0,09	1,71	0,09	7	3	0,12
Уровень экспрессии в корнях	30,0	25,0	2,0	-1,94	0,05	-1,94	0,05	7	3	0,07
Уровень экспрессии в листьях	30,0	25,0	2,0	-1,94	0,05	-1,94	0,05	7	3	0,07

Примечание: Valid N – число повторностей варианта эксперимента; Mean \pm Se – среднее с доверительным интервалом (\pm стандартная ошибка) варианта опыта; Z adjusted – эмпирическое значение стандартизированной переменной U-критерия Манна – Уитни; p – уровень значимости. В таблице приведены только варианты экспериментов, достоверно отличающиеся друг от друга

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Результаты оценки хозяйственно ценных, морфологических и биохимических характеристик 10 образцов арахиса по U-критерию Манна-Уитни относительно уровня экспрессии гена *cis* в корнях.

Признак	Rank Sum	Rank Sum	U	Z	p-level	Z	p-level	Valid N	Valid N	2*1 sided
Период посев-всходы (ПАФНЦ)	37,5	17,5	7,5	0,96	0,34	1,00	0,32	6	4	0,35
Период всходы-цветение (ПАФНЦ)	31,5	23,5	10,5	-0,32	0,75	-0,32	0,75	6	4	0,76
Вызреваемость (ПАФНЦ)	36,0	19,0	9,0	0,64	0,52	0,64	0,52	6	4	0,61
Продуктивность (ПАФНЦ)	30,0	25,0	9,0	-0,64	0,52	-0,64	0,52	6	4	0,61
Лужистость (ПАФНЦ)	34,0	21,0	11,0	0,21	0,83	0,21	0,83	6	4	0,91
Масса 1000 бобов (ПАФНЦ)	25,0	30,0	4,0	-1,71	0,09	-1,71	0,09	6	4	0,11
Масса 1000 семян (ПАФНЦ)	29,0	26,0	8,0	-0,85	0,39	-0,85	0,39	6	4	0,48
Высота растения	27,0	28,0	6,0	-1,28	0,20	-1,28	0,20	6	4	0,26
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	26,0	29,0	5,0	-1,49	0,14	-1,50	0,13	6	4	0,17
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	44,0	11,0	1,0	2,35	0,02	2,38	0,02	6	4	0,02
Вызреваемость (КОС ВИР)	36,0	19,0	9,0	0,64	0,52	0,64	0,52	6	4	0,61

Продуктивность (КОС ВИР)	29,0	26,0	8,0	-0,85	0,39	-0,85	0,39	6	4	0,48
Лужистость (КОС ВИР)	34,0	21,0	11,0	0,21	0,83	0,21	0,83	6	4	0,91
Масса 1000 бобов (КОС ВИР)	23,0	32,0	2,0	-2,13	0,03	-2,13	0,03	6	4	0,04
Масса 1000 семян (КОС ВИР)	27,0	28,0	6,0	-1,28	0,20	-1,28	0,20	6	4	0,26
Размер бобов	28,0	27,0	7,0	-1,07	0,29	-1,22	0,22	6	4	0,35
Форма бобов	39,0	16,0	6,0	1,28	0,20	1,57	0,12	6	4	0,26
Количество семян	35,0	20,0	10,0	0,43	0,67	0,82	0,41	6	4	0,76
Характер поверхности боба	33,0	22,0	12,0	0,00	1,00	-	-	6	4	-
Наличие перетяжки	33,5	21,5	11,5	0,11	0,92	0,12	0,90	6	4	0,91
Форма семян	29,5	25,5	8,5	-0,75	0,46	-0,85	0,39	6	4	0,48
Размер семян	30,0	25,0	9,0	-0,64	0,52	-0,71	0,48	6	4	0,61
Окраска семенной кожуры	28,5	26,5	7,5	-0,96	0,34	-1,09	0,28	6	4	0,35
Форма куста	34,0	21,0	11,0	0,21	0,83	0,23	0,82	6	4	0,91
Выраженность стебля	31,0	24,0	10,0	-0,43	0,67	-0,50	0,62	6	4	0,76
Размер междоузлий	28,0	27,0	7,0	-1,07	0,29	-1,22	0,22	6	4	0,35
Степень опушения	27,0	28,0	6,0	-1,28	0,20	-1,37	0,17	6	4	0,26

Окраска опушения	33,0	22,0	12,0	0,00	1,00	-	-	6	4	-
Антоциановая окраска	28,5	26,5	7,5	-0,96	0,34	-1,19	0,24	6	4	0,35
Размер листьев	29,0	26,0	8,0	-0,85	0,39	-0,97	0,33	6	4	0,48
Форма листьев	33,0	22,0	12,0	0,00	1,00	0,00	1,00	6	4	1,00
Окраска листьев	32,0	23,0	11,0	-0,21	0,83	-0,31	0,76	6	4	0,91
Длина черешка	31,5	23,5	10,5	-0,32	0,75	-0,35	0,72	6	4	0,76
Форма прилистника	29,0	26,0	8,0	-0,85	0,39	-1,22	0,22	6	4	0,48
Размер цветка	34,0	21,0	11,0	0,21	0,83	0,27	0,79	6	4	0,91
Размер чашечки	36,5	18,5	8,5	0,75	0,46	0,79	0,43	6	4	0,48
Опушение чашечки	38,0	17,0	7,0	1,07	0,29	1,22	0,22	6	4	0,35
Содержание белка	31,0	24,0	10,0	-0,43	0,67	-0,43	0,67	6	4	0,76
Содержание масла	30,0	25,0	9,0	-0,64	0,52	-0,64	0,52	6	4	0,61
Содержание олеиновой кислоты	31,0	24,0	10,0	-0,43	0,67	-0,43	0,67	6	4	0,76
Содержание линолевой кислоты	39,0	16,0	6,0	1,28	0,20	1,28	0,20	6	4	0,26
Уровень экспрессии в стеблях	21,0	34,0	0,0	-2,56	0,01	-2,57	0,01	6	4	0,01
Уровень экспрессии в	21,0	34,0	0,0	-2,56	0,01	-2,57	0,01	6	4	0,01

ЛИСТЯХ										
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Результаты оценки хозяйственно ценных, морфологических и биохимических характеристик 10 образцов арахиса по U-критерию Манна-Уитни относительно уровня экспрессии гена *cis* в листьях.

Признак	Rank Sum Group 1	Rank Sum Group 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1 sided exact p
Период посев-всходы (ПАФНЦ)	42,0	13,0	6,0	-0,52	0,60	-0,54	0,59	8	2	0,71
Период всходы-цветение (ПАФНЦ)	36,5	18,5	0,5	-1,96	0,05	-1,96	0,05	8	2	0,04
Вызреваемость (ПАФНЦ)	50,0	5,0	2,0	1,57	0,12	1,57	0,12	8	2	0,18
Продуктивность (ПАФНЦ)	49,0	6,0	3,0	1,31	0,19	1,31	0,19	8	2	0,27
Лужистость (ПАФНЦ)	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-0,78	0,43	8	2	0,53
Масса 1000 бобов (ПАФНЦ)	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-0,78	0,43	8	2	0,53
Масса 1000 семян (ПАФНЦ)	40,0	15,0	4,0	-1,04	0,30	-1,04	0,30	8	2	0,40
Высота растения	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	0,00	1,00	8	2	1,00
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	44,5	10,5	7,5	0,13	0,90	0,13	0,90	8	2	0,89
Период всходы-цветение (КОС ВИР)	47,0	8,0	5,0	0,78	0,43	0,80	0,43	8	2	0,53
Вызреваемость (КОС ВИР)	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-0,78	0,43	8	2	0,53

Продуктивность (КОС ВИР)	40,0	15,0	4,0	-1,04	0,30	-1,04	0,30	8	2	0,40
Лузжистость (КОС ВИР)	43,0	12,0	7,0	-0,26	0,79	-0,26	0,79	8	2	0,89
Масса 1000 бобов (КОС ВИР)	38,0	17,0	2,0	-1,57	0,12	-1,57	0,12	8	2	0,18
Масса 1000 семян (КОС ВИР)	38,0	17,0	2,0	-1,57	0,12	-1,57	0,12	8	2	0,18
Размер бобов	41,5	13,5	5,5	-0,65	0,51	-0,75	0,46	8	2	0,53
Форма бобов	47,0	8,0	5,0	0,78	0,43	0,96	0,34	8	2	0,53
Количество семян	45,0	10,0	7,0	0,26	0,79	0,50	0,62	8	2	0,89
Характер поверхности боба	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	-	-	8	2	-
Наличие перетяжки	42,0	13,0	6,0	-0,52	0,60	-0,60	0,55	8	2	0,71
Форма семян	40,0	15,0	4,0	-1,04	0,30	-1,20	0,23	8	2	0,40
Размер семян	38,0	17,0	2,0	-1,57	0,12	-1,73	0,08	8	2	0,18
Окраска семенной кожуры	43,5	11,5	7,5	-0,13	0,90	-0,15	0,88	8	2	0,89
Форма куста	43,0	12,0	7,0	-0,26	0,79	-0,28	0,78	8	2	0,89
Выраженность стебля	43,0	12,0	7,0	-0,26	0,79	-0,31	0,76	8	2	0,89
Размер междоузлий	39,0	16,0	3,0	-1,31	0,19	-1,50	0,13	8	2	0,27
Степень опушения	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-0,84	0,40	8	2	0,53

Окраска опушения	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	-	-	8	2	-
Антоциановая окраска	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-0,97	0,33	8	2	0,53
Размер листьев	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	0,00	1,00	8	2	1,00
Форма листьев	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	0,00	1,00	8	2	1,00
Окраска листьев	41,0	14,0	5,0	-0,78	0,43	-1,13	0,26	8	2	0,53
Длина черешка	45,5	9,5	6,5	0,39	0,70	0,43	0,67	8	2	0,71
Форма прилистника	42,0	13,0	6,0	-0,52	0,60	-0,75	0,45	8	2	0,71
Размер цветка	47,0	8,0	5,0	0,78	0,43	0,98	0,33	8	2	0,53
Размер чашечки	47,5	7,5	4,5	0,91	0,36	0,97	0,33	8	2	0,40
Опушение чашечки	49,0	6,0	3,0	1,31	0,19	1,50	0,13	8	2	0,27
Содержание белка	44,0	11,0	8,0	0,00	1,00	0,00	1,00	8	2	1,00
Содержание масла	46,0	9,0	6,0	0,52	0,60	0,52	0,60	8	2	0,71
Содержание олеиновой кислоты	42,0	13,0	6,0	-0,52	0,60	-0,52	0,60	8	2	0,71
Содержание линолевой кислоты	45,0	10,0	7,0	0,26	0,79	0,26	0,79	8	2	0,89
Уровень экспрессии в стеблях	39,0	16,0	3,0	-1,31	0,19	-1,31	0,19	8	2	0,27
Уровень экспрессии в корнях	38,0	17,0	2,0	-1,57	0,12	-1,57	0,12	8	2	0,18

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Результаты оценки уровней экспрессии гена *cis* в разных органах 10 образцов арахиса по U-критерию Манна-Уитни относительно друг друга.

Признак	Rank Sum Group 1	Rank Sum Group 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1sided exact p
Уровень экспрессии в стеблях	28,0	27,0	0,0	-2,39	0,02	-2,41	0,02	7	3	0,02
Уровень экспрессии в корнях	21,0	34,0	0,0	-2,56	0,01	-2,56	0,01	6	4	0,01
Уровень экспрессии в листьях	36,0	19,0	0,0	-2,09	0,04	-2,10	0,04	8	2	0,04