

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.852.52; 577.1
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104



Изучение биохимического состава образцов семян арахиса из коллекции ВИР

В. Д. Бемова¹, Т. В. Шеленга¹, М. Ш. Асфандиярова², Т. В. Якушева³, Н. В. Кишлян¹

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, Астраханская область, Россия

³ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктория Дмитриевна Бемова, viktoria.bemova@yandex.ru

Актуальность. Арахис – одна из важнейших масличных культур пищевого назначения. Натуральное арахисовое масло состоит в основном из двух ненасыщенных жирных кислот – олеиновой и линолевой, от соотношения которых зависит качество масла. Цель работы – выявление разнообразия содержания масла и его жирнокислотного состава у образцов арахиса коллекции ВИР, а также влияния почвенно-климатических и иных факторов на эти признаки, что актуально для получения новых высокомасличных сортов.

Материалы и методы. Изучены коллекционные образцы арахиса по содержанию масла и его жирнокислотному составу. Образцы репродуцировали в течение трех лет (2019–2021) в двух разных географических точках: в Краснодарском крае на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР) и Астраханской области в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук (ПАФНЦ). В качестве стандарта использовали сорт 'Отрадокубанский'. Для статистической обработки данных применяли двухфакторный дисперсионный анализ.

Результаты и обсуждение. Определено содержание 18 жирных кислот в масле арахиса, две из которых, олеиновая и линолевая, являются доминирующими. Содержание олеиновой кислоты зависит от генотипа на 42–53%, линолевой кислоты – на 50–71%; также на признак оказывают влияние место и год выращивания. Размах изменчивости за три года изучения содержания олеиновой и линолевой кислот: на КОС ВИР – 35,4–57,6% и 18,3–38,1%, в ПАФНЦ – 33,4–51,2% и 30,9–42,7% соответственно. Содержание масла на 81% зависит от генотипа и составляет 32,0–44,4%.

Ключевые слова: *Arachis hypogaea* L., жирнокислотный состав масла, олеиновая кислота, линолевая кислота

Благодарности: 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».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Бемова В.Д., Шеленга Т.В., Асфандиярова М.Ш., Якушева Т.В., Кишлян Н.В. Изучение биохимического состава образцов арахиса коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):94-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

Studying the biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection

Viktoriya D. Bemova¹, Tatiana V. Shelenga¹, Minira Sh. Asfandiyarova², Tamara V. Yakusheva,³ Natalya V. Kishlyan¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan Province, Russia

³ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station, Krasnodar Territory, Russia

Corresponding author: Viktoriya D. Bemova, viktoriya.bemova@yandex.ru

Background. Peanut is one of the most important oil crops for food purposes. Natural peanut butter contains two unsaturated fatty acids, oleic and linoleic, which make up to 80% of the total fatty acid content in peanut oil. The quality of oil depends on the ratio between these two acids. Analyzing the diversity of oil content and fatty acid composition in peanut accessions preserved at VIR and assessing the effect of soil, climate, and other factors on these characters is vital for the development of new peanut cultivars rich in oil.

Materials and methods. Peanut germplasm accessions were studied for their biochemical composition of fatty acids and the content of oil and protein. The accessions were reproduced for three years (2019–2021) at two ecogeographic locations: in Krasnodar Territory, and Astrakhan Province. Cv. 'Otradokubansky' was used as a reference. ANOVA was applied for statistical data processing.

Results and discussion. The percentage composition of 18 fatty acids was calculated in peanut oil, with oleic and linoleic acids dominating. The content of oleic acid depended on the genotype for 42–53%, and that of linoleic acid, for 50–71%. The latter was also influenced by the place and year of cultivation. The ranges of variation over the three years of studies in Krasnodar Territory were 35.4–57.6% for oleic acid, and 18.3–38.1% for linoleic acid, whereas in Astrakhan Province they were 33.4–51.2%, and 30.9–42.7%, respectively. Under unfavorable conditions, the content of oleic acid in peanut prevailed. The oil content depended on the genotype for 81%, and its percentage was 32.0–44.4%.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., peanut oil, fatty acid composition, oleic and linoleic acids

Acknowledgements: the studies were conducted within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0005 "Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis for theoretical research and their practical utilization".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Bemova V.D., Shelenga T.V., Asfandiyarova M.Sh., Yakusheva T.V., Kishlyan N.V. Studying the biochemical composition of peanut accessions from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):94-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-94-104

Введение

Арахис во всем мире ценится как источник масла высокого качества. Натуральное арахисовое масло содержит две основные ненасыщенные жирные кислоты – олеиновую (36–67%) и линолевою (15–43%), которые составляют 80% от общего количества жирных кислот (Wang et al., 2015). Качество масла зависит от их соотношения. Высокоолеиновое масло уменьшает уровень холестерина за счет снижения уровня липопротеидов низкой плотности в крови (Grundt, 1986) и артериального давления (Terés et al., 2008), обладает более высокой стабильностью к окислению и прогорканию. Линолевая кислота незаменима для человека, она не может быть синтезирована и должна поступать в организм с пищей. Арахисовое масло с высоким содержанием линолевой кислоты подвержено окислению, что приводит к неприятному запаху, вкусу, уменьшению срока годности полуфабрикатов на его основе продуктов питания и самого масла. Таким образом, в процессе селекции важно повышать содержание олеиновой кислоты и уменьшать долю линолевой. Остальные 20% жирных кислот представлены насыщенными и мононенасыщенными жирными кислотами. Их роль также велика для здорового питания человека (Crupkin, Zambelli, 2008).

Высокоолеиновые и высокомасличные сорта арахиса предпочтительны для масложировой промышленности, в то время как генотипы с низким содержанием масла – для пищевого производства продуктов с длительным сроком хранения (Wang et al., 2015).

На содержание масла и его состав влияют различные факторы. В масле бобов арахиса, развивающихся при более низких температурах, содержится больше ненасыщенных жирных кислот (Slack, Browse, 1984). Условия выращивания оказывают влияние на соотношение практически всех жирных кислот в масле, кроме лигноцериновой, эйкозеновой, бегеновой и арахисовой (Norden, 1987).

Цель настоящего исследования – выявить диапазон изменчивости содержания масла и его жирнокислотного состава у образцов арахиса коллекции ВИР для определения влияния почвенно-климатических факторов на хозяйственно ценные признаки и дальнейшего использования выявленных закономерностей при получении новых высокомаслических сортов арахиса с улучшенным качественным составом масла.

Материалы и методы исследования

Коллекционные образцы ВИР арахиса в течение трех лет (2019–2021) выращивали в двух географических точках: на Кубанской опытной станции – филиале ВИР (КОС ВИР, Краснодарский край) и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (ПАФНЦ, Астраханская обл.). Изучены содержание масла и его жирнокислотный состав у 16 образцов арахиса трех лет репродукции (2019–2021). В связи с разными почвенно-климатическими условиями выращивания важно показать влияние этих условий на биохимический состав образцов арахиса.

Погодные условия 2019–2021 гг. представлены на рисунке 1. Температура во все годы изучения на КОС ВИР и в ПАФНЦ была высокой, сумма эффективных температур за вегетационный период превышала среднееголетние значения (более 3500°C). В 2019 г. среднемесячная температура была выше на КОС ВИР, а в 2020, 2021 г. – в ПАФНЦ. Климат на КОС ВИР умеренно континенталь-

ный, с жарким летом и малым количеством осадков, почва представляет собой слабо выщелоченный чернозем. Количество выпавших осадков во все годы исследования было выше на КОС ВИР. В ПАФНЦ климат резко континентальный, экстремально засушливый. Почвенный покров характеризуется низким плодородием, представлен светло-каштановыми почвами, выращивание осуществляется с применением капельного полива.

Содержание 18 жирных кислот (лауриновой, миристиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой, маргаритиновой, стеариновой, олеиновой, вакценовой, линолевой, линоленовой, арахисовой, эйкозеновой, бегеновой, докозодиеновой, 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 Omega-wax 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).

Результаты исследования

Диапазон изменчивости содержания жирных кислот в изученных 16 образцах арахиса, репродуцированных в двух географических точках – на КОС ВИР и в ПАФНЦ, за 2019–2021 гг. был следующий: лауриновая кислота C12:0 – 0,00–0,38%; миристиновая C14:0 – 0,00–1,41%; пальмитиновая C16:0 – 8,79–14,38%; пальмитолеиновая C16:1 – 0,01–0,12%; маргаритиновая C17:0 – 0,00–1,68%; стеариновая C18:0 – 1,49–6,29%; олеиновая C18:1 – 35,00–57,60%; вакценовая C18:1 – 0,29–1,75%; линолевая C18:2 – 18,28–42,73%; линоленовая C18:3 – 0,00–3,55%; арахисовая C20:0 – 0,77–2,29%; эйкозеновая C20:1 – 0,03–2,15%; бегеновая C22:0 – 0,03–5,05%; докозодиеновая C22:2 – 0,00–0,60%; лигноцериновая C24:0 – 0,00–1,76%; нервоновая C24:1 – 0,00–0,40%; церотиновая C26:0 – 0,00–0,16%; монтановая C28:0 – 0,01–0,18%.

Преобладание олеиновой и линолевой кислот было характерно для всех образцов арахиса (табл. 1). Для масла семян образцов, выращенных на КОС ВИР, установлено более высокое содержание олеиновой (35,35–57,60%) и низкое линолевой кислоты (18,28–38,10%). Для репродукций ПАФНЦ наблюдалась обратная тенденция: показатели олеиновой и линолевой кислот были в пределах 33,52–51,15% и 30,67–42,73% соответственно.

Содержание олеиновой и линолевой кислот варьировало у разных образцов в зависимости от года и места выращивания. Визуализация данных представлена на рисунке 2. Так, у всех образцов на КОС ВИР в 2019 и 2021 г. содержание олеиновой кислоты было выше, чем линолевой.

Также можно заметить взаимосвязь между уровнями содержания двух кислот: чем больше олеиновой кислоты, тем меньше линолевой, и наоборот.

Определенные образцы чаще демонстрировали высокое содержание олеиновой кислоты независимо от года и места выращивания, в связи с чем можно предположить существенную долю влияния генотипа образца на соотношение жирных кислот, что в дальнейшем было подтверждено с помощью статистического анализа.

Данные двухфакторного дисперсионного анализа, полученные для 16 коллекционных образцов арахиса КОС ВИР (2019–2021 гг.), показали, что доля влияния ге-

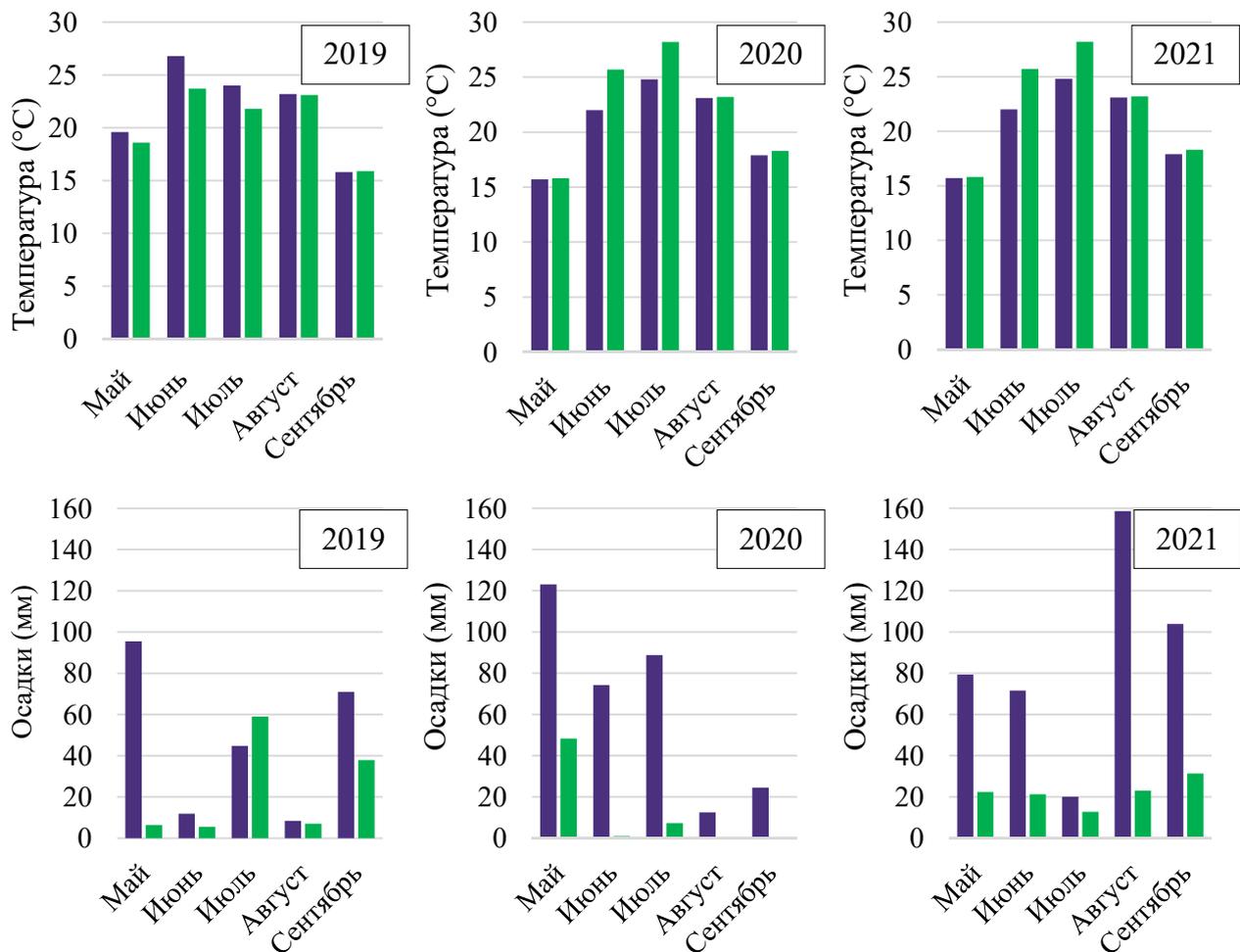


Рис. 1. Изменчивость температуры и осадков в период вегетации арахиса в 2019–2021 гг. на Кубанской опытной станции ВИР (фиолетовый) и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН (зеленый)

Fig. 1. Temperature and precipitation variability during peanut growing seasons in 2019–2021 at the Kuban Experiment Station of VIR (purple), and the Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS (green)

нотипа на содержание олеиновой кислоты – 52,96%, условий года репродукции – 15,05%, неучтенных факторов – 31,98% (рис. 3). Изменчивость признака (содержание олеиновой кислоты) в масле семян составила 35,35–57,60%.

Доля влияния генотипа на содержание олеиновой кислоты у образцов арахиса в ПАФНЦ (2019–2021 гг.) – 42,76%, условий года – 15,73%, других факторов – 41,93% (см. рис. 3). Диапазон содержания за три года – 33,4–51,2%.

Доля влияния генотипа на содержание линолевой кислоты в масле арахиса на КОС ВИР за три года изучения составила 49,73%, условий года выращивания – 15,35%, других факторов – 34,92% (рис. 4). Варьирование содержания линолевой кислоты на КОС ВИР за три года – 18,3–38,1%.

Доля влияния генотипа образцов арахиса на содержание линолевой кислоты в ПАФНЦ (2019–2021 гг.) – 36,28%, условий года – 22,30%, других факторов – 41,41% (см. рис. 4). Варьирование содержания линолевой кислоты в ПАФНЦ за три года – 30,7–42,7%.

На основе трехлетнего изучения на КОС ВИР выделены источники высокого содержания олеиновой кислоты. Ниже приведены средние показатели за три года наблюдения. Наиболее высокие значения были установлены

для образцов к-2012 №19940 (Россия) – 50,45%, к-793 'Десертный' (Россия) – 49,21%, которые были чуть выше или практически на уровне аналогичного параметра стандарта к-1987 'Отрадокубанский' (Россия) – 49,72%. Отдельную группу составляли образцы с показателями олеиновой кислоты в масле семян, приближающимися к стандартным: к-2013 №19828 (Россия) – 47,75%, к-168 (Западный Китай) – 46,8%, к-555 (Индия) – 45,78%, к-1547 (Мадагаскар) – 44,24%, к-1001 (Эквадор) – 44,22%, к-596 (Аргентина) – 43,97%.

Кроме олеиновой и линолевой кислот, в масле образцов арахиса представляют интерес еще две насыщенные кислоты: пальмитиновая и стеариновая. Их суммарное содержание достигало 15 и более процентов жирнокислотного состава масла арахиса. Варьирование содержания пальмитиновой кислоты за три года изучения составило: на КОС ВИР – 8,20–14,38%, в ПАФНЦ – 9,02–14,19%. Содержание стеариновой кислоты было ниже: на КОС ВИР – 1,26–6,29%, в ПАФНЦ – 1,52–5,08%. Более высокое содержание пальмитиновой и стеариновой кислот у образцов арахиса отмечали в 2020 г.

За три года самые высокие показатели пальмитиновой кислоты были отмечены у образцов к-168 (Западный Китай) – 10,74%, к-354 (Узбекистан) – 14,19%, к-793 'Десертный' (Россия) – 14,38%, стеариновой кислоты –

Таблица 1. Содержание олеиновой и линолевой кислот (%) у образцов арахиса за три года изучения (Кубанская опытная станция ВИР и Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2019–2021 гг.)

Table 1. The content of oleic and linoleic acids (%) in peanut accessions across the three years of studies (Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, 2019–2021)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Происхождение / Origin	КОС ВИР / KES VIR						ПАФЦ / SAFRC					
		Олеиновая / Oleic (C18:1)			Линолевая / Linoleic (C18:2)			Олеиновая / Oleic (C18:1)			Линолевая / Linoleic (C18:2)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
168	Западный 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	Южная 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	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

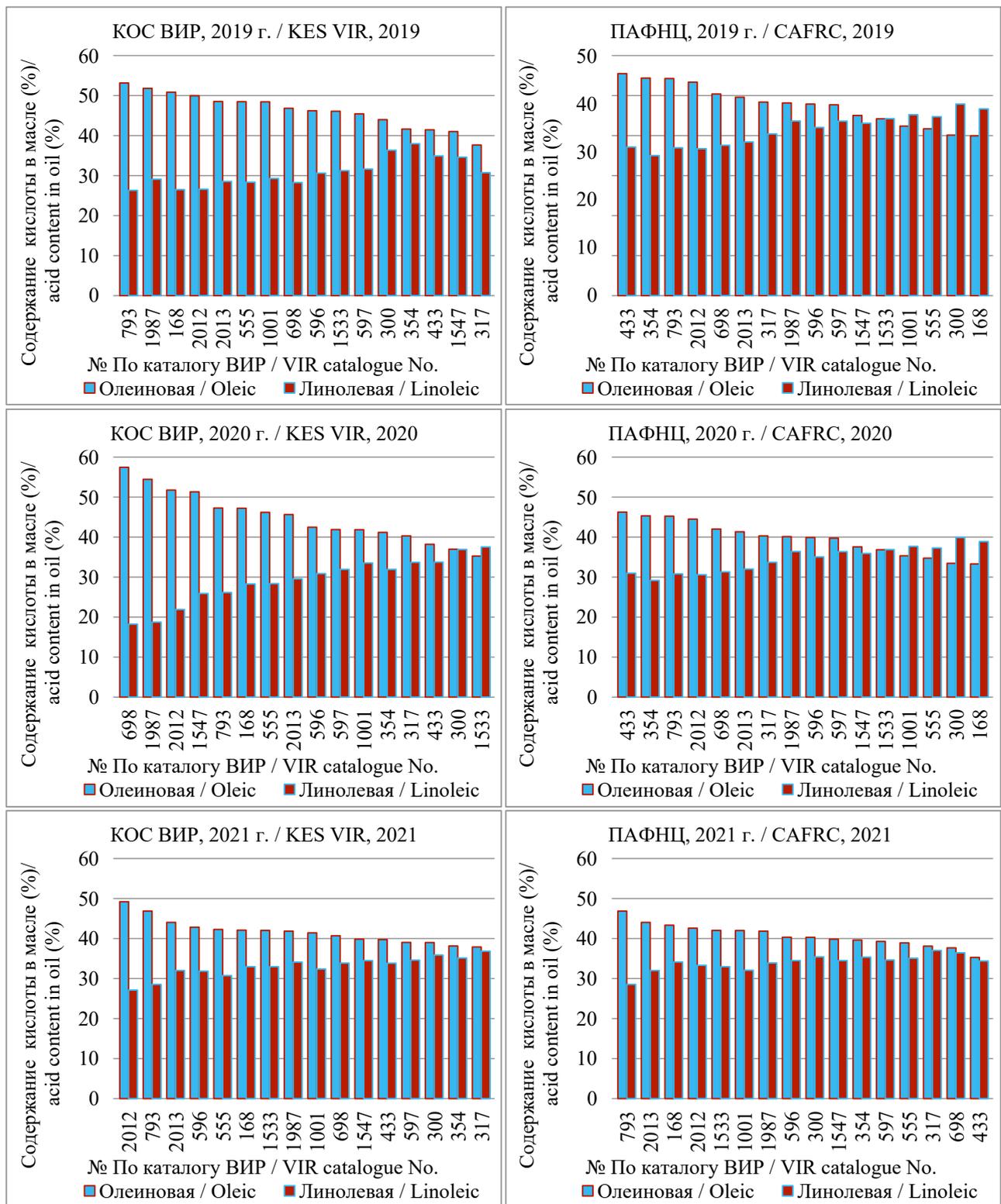


Рис. 2. Содержание олеиновой и линолевой кислот в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг. (образцы ранжированы по убыванию содержания олеиновой кислоты)

Fig. 2. The content of oleic and linoleic acids in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021 (accessions are ranked in descending order for oleic acid content)

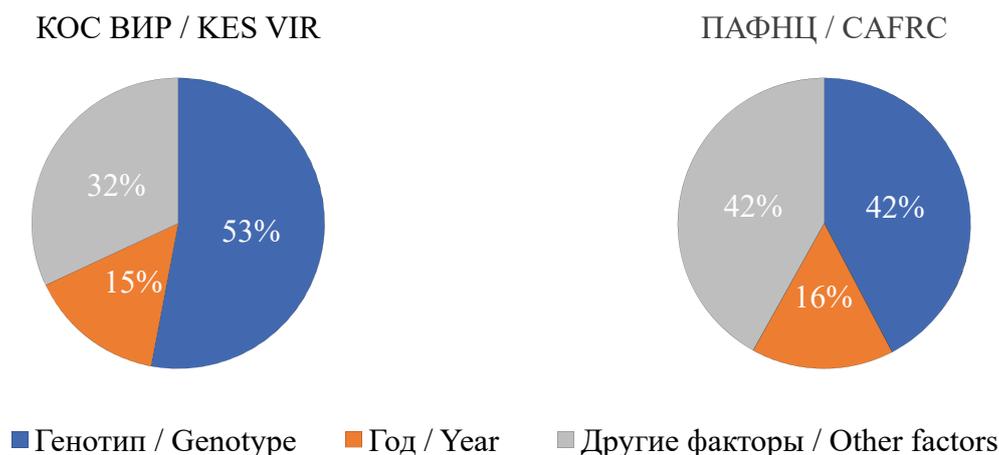


Рис. 3. Влияние генотипа, года и других факторов на содержание олеиновой кислоты в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг. (влияние достоверно при $p \leq 0,05$)

Fig. 3. The effect of the genotype, year, and other factors on oleic acid content in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021 (the effect is significant at $p \leq 0,05$)

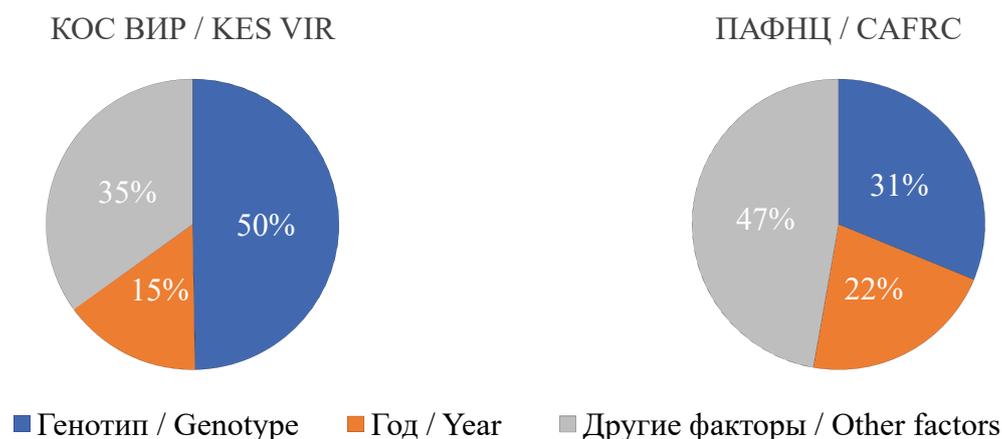


Рис. 4. Влияние генотипа, года и других факторов на содержание линолевой кислоты в образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2019–2021 гг. (влияние достоверно при $p \leq 0,05$)

Fig. 4. The effect of the genotype, year, and other factors on linoleic acid content in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2019–2021 (the effect is significant at $p \leq 0,05$)

у к-168 (Западный Китай) – 5,08%, к-433 (Сенегал) – 5,24%, к-698 (Марокко) – 6,29%, к-793 'Десертный' (Россия) – 5,40%.

Содержание масла в образцах арахиса представлено в таблице 2. На КOC ВИР содержание масла у арахиса в 2021 г. изменялось в диапазоне от 36,86 до 41,89%, в ПАФНЦ – от 31,99 до 44,36%. Высоким содержанием масла отличались образцы арахиса: к-433 (Сенегал) – 41,0%, к-596 (Аргентина) – 41,3%, к-597 (Канада) – 41,7%,

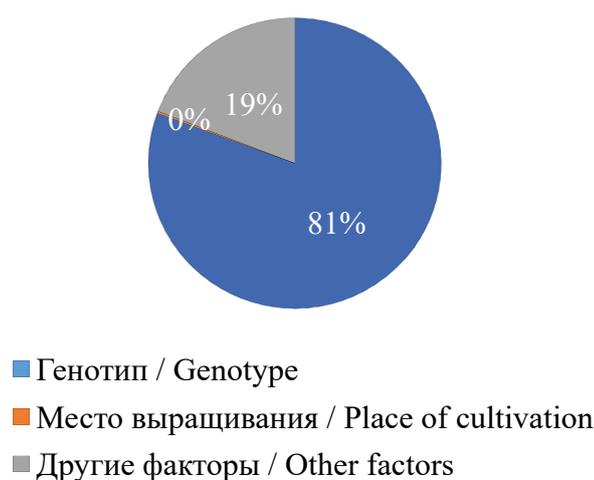
к-793, 'Десертный' (Россия) – 41,6%, к-2012 (Россия) – 41,9% и к-2013 (Россия) – 42,5%. Для масла семян вышеперечисленных образцов было установлено высокое содержание олеиновой кислоты.

На основе двухфакторного дисперсионного анализа установили, что содержание масла в образцах арахиса, выращенных на КOC ВИР и в ПАФНЦ (репродукция 2021 г.), на 81% зависит от генотипа и на 19% – от места выращивания (рис. 5).

Таблица 2. Содержание масла в коллекционных образцах арахиса на Кубанской опытной станции ВИР и в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН в 2021 г.**Table 2.** The content of oil in peanut accessions at the Kuban Experiment Station of VIR, and Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, in 2021

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Содержание масла / Oil content (%)	
			КОС ВИР / KES VIR	ПАФНЦ / CAFRC
168		Западный Китай	37,81	31,99
300	Virginia Bunch	Трансвааль	38,94	38,94
317		Южная Родезия	39,78	40,28
354	Улучшенный Испанский 0162	Узбекистан	39,36	39,61
433	Saloum dresse 47-43	Сенегал	41,00	40,03
555		Индия	37,24	39,17
596	Negro tipo 2 Parcela № 223 de coleccion Manfredi	Аргентина	41,40	40,84
597	Early Spanish 0833	Канада	42,18	40,13
698	Selection C.R.A. Issue de Cuba 15237	Марокко	39,38	39,77
793	'Десертный'	Россия	40,16	42,32
1001	Star	Эквадор	38,71	41,79
1533	№278	Мадагаскар	37,42	33,16
1547	57-107	Мадагаскар	36,86	38,58
1987	'Отрадокубанский'	Россия	40,42	40,64
2012	№19940	Россия	40,95	43,43
2013	№19828	Россия	41,89	44,36

Содержание масла (%) / Oil content (%)

**Рис. 5.** Влияние генотипа и места выращивания на содержание масла в образцах арахиса в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре РАН и на Кубанской опытной станции ВИР, репродукция 2021 г. (влияние достоверно при $p \leq 0,05$)**Fig. 5.** The effect of the genotype and the place of cultivation on oil content in peanut accessions at the Caspian Agrarian Federal Research Center of the RAS, and Kuban Experiment Station of VIR, reproduction of 2021 (the effect is significant at $p \leq 0,05$)

Обсуждение

На основе проведенного изучения содержания масла и его жирнокислотного состава 16 образцов арахиса, выращенных в двух географических точках (КОС ВИР, ПАФНЦ) в 2019–2021 гг., можно сделать следующие выводы.

Содержание олеиновой кислоты у образцов арахиса на КОС ВИР (35,35–57,60%) было выше, чем в ПАФНЦ (33,52–51,15%). Преобладающее влияние на этот признак в обеих точках оказывал генотип изученных образцов (КОС ВИР – 53%, ПАФНЦ – 43%).

Содержание линолевой кислоты за три года изучения было выше в ПАФНЦ (31,04–42,73%), чем на КОС ВИР (18,28–38,10%). Доля влияния генотипа на содержание линолевой кислоты на КОС ВИР – 50,73%, в ПАФНЦ – 36,28%.

В результате анализа полученных нами данных удалось установить влияние эколого-географических условий выращивания и генотипа образцов на содержание масла в семенах арахиса.

Из литературных источников известно, что на содержание жирных кислот в арахисовом масле влияют такие факторы, как генотип, температура воздуха и почвы, наличие влаги, состав почвы. В своих исследованиях М. J. Hinds (1995) показала, что более низкий уровень линолевой кислоты в семенах арахиса наблюдался из-за воздействия засухи и высокой температуры. Zhong Haiyan et al. (2007) продемонстрировали, что при более высоких уровнях температуры активность $\Delta 12$ -десатуразы ингибируется, что приводит к снижению содержания линолевой кислоты. В нашем исследовании более высокие температуры в 2020–2021 гг. преобладали на ПАФНЦ, однако образцы продемонстрировали высокое содержание линолевой кислоты. Возможно, это связано с применением капельного полива, который свел к минимуму воздействию высокотемпературного стресса и недостатка влаги на растения и не дал ему возможности отразиться на жирнокислотном составе масла.

По мнению некоторых авторов (Burkey et al., 2007), на состав и качество семян арахиса, особенно на содержание жирных кислот, влияют климатические факторы и эффективность орошения (Ghannadzadeh et al., 2015). Известны опыты по выращиванию арахиса с биугольными добавками, что позволило значительно, на 10–25%, увеличить масличность семян, при этом существенно, до 70%, повысив долю олеиновой кислоты. Это было связано с изменением структуры почвы, ее способности к удержанию и доступности влаги (Liu et al., 2024). По данным М. F. Seleiman et al. (2019), содержание масла и олеиновой кислоты может снижаться на 18% и 26% соответственно при сильном водном дефиците по сравнению с нормальными условиями.

На жирнокислотный состав может оказывать влияние время сбора урожая. С приближением периода созревания семян содержание стеариновой, олеиновой и линолевой кислот увеличивается до определенного момента, а затем начинает падать, тогда как количество полиненасыщенных жирных кислот, таких как линоленовая, уменьшается по мере созревания. Уровень накопления масла напрямую связан со степенью спелости семян арахиса (Salamatullah et al., 2021).

В исследовании Li Weilan et al. (2022) была выявлена взаимосвязь между морфометрическими характеристиками семян и жирнокислотным составом. Так, увеличение содержания олеиновой и снижение содержания ли-

нолевой кислоты коррелировало с увеличением массы 100 семян. Некоторые крупносемянные образцы в нашем исследовании также имели более высокое содержание олеиновой кислоты относительно мелкосемянных, независимо от места и года выращивания. Это говорит о существенной доле влияния генотипа на изучаемые признаки.

Зависимость содержания олеиновой и линолевой кислот объясняется этапами их синтеза: в зародышевой плазме арахиса пальмитоил-КоА удлиняется до стеариол-КоА с образованием олеиновой кислоты. Затем под действием олеилфосфатидилхолиндесатуразы ($\Delta 12$ -десатуразы) происходит синтез линолевой кислоты из олеиновой (Andersen, Gorbet, 2002). Эта закономерность хорошо прослеживается у изученных нами образцов: чем выше содержание олеиновой кислоты, тем меньше содержание линолевой, так как уменьшается доля преобразования олеиновой кислоты в линолевую.

Содержание масла в образцах арахиса, по данным нашего исследования, составило от 32 до 44%; оно на 81% зависит от генотипа и на 19% – от места выращивания. По данным изучения Е. Н. Иваненко и Т. Е. Вахрушевой коллекционных образцов арахиса репродукции 1983–1986 гг., выращенного в условиях бывшего Среднеазиатского филиала ВИР в Ташкентской области Узбекистана, выделялись образцы с более высоким содержанием масла – до 52,8% (Ivanenko, Vakhrusheva, 1987). Содержание масла в семенах арахиса может достигать 45–57%, белка – до 30% (Ivanenko, 1989). По данным А. И. Ермакова с соавторами (Ermakov et al., 1982), содержание олеиновой и линолевой кислот у образцов арахиса, репродуцированных в Среднеазиатском филиале ВИР, составляло до 40,5–44,8% и 41,3–42,7% соответственно, а содержание масла – до 54,6%. Таким образом, условия Среднеазиатского филиала ВИР способствовали более высокой масличности семян.

По результатам нашего изучения для образцов арахиса с высоким содержанием масла (41–44%) были характерны также высокие значения олеиновой кислоты: к-793 'Десертный' (Россия) – 49,21%, к-2012 №19940 (Россия) – 50,45%, к-2013 №19828 (Россия) – 47,75%, к-1987 'Отрадокубанский' (Россия) – 49,72%.

Таким образом, на содержание масла семян арахиса и его жирнокислотный состав влияют многие факторы: генотип образца, почвенно-климатические особенности места выращивания, год репродукции.

Заключение

По результатам изучения содержания масла и его жирнокислотного состава у 16 коллекционных образцов арахиса, выращенных в двух разных эколого-географических точках (КОС ВИР, Краснодарский край, и ПАФНЦ, Астраханская обл.) в 2019–2021 гг., установлено, что доминирующими кислотами являются олеиновая и линолевая: их доля составляет 80% жирнокислотного состава масла арахиса. Выявлено влияние генотипа, года и места выращивания на содержание масла и его состав. Показан размах изменчивости этих признаков. Доля влияния генотипа на содержание олеиновой кислоты у образцов репродукции КОС ВИР составила 53%, ПАФНЦ – 42%; содержание линолевой кислоты при репродукции арахиса на КОС ВИР – 50,73%, ПАФНЦ – 36,28%. Содержание масла в образцах арахиса на 81% зависит от генотипа. На основе трехлетнего изучения выделены источники высокого содержания масла и олеиновой кислоты: к-597 (Канада),

к-793 'Десертный' (Россия), к-2012 №19940 (Россия), к-2013 №19828 (Россия).

References / Литература.

- Andersen P.C., Gorbet D.W. Influence of year and planting date on fatty acid chemistry of high oleic and normal peanut genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(5):1298-1305. DOI: 10.1021/jf0113171
- Burkey K.O., Booker F.L., Pursley W.A., Heagle A.S. Elevated carbon dioxide and ozone effects on peanut: II. Seed yield and quality. *Crop Science*. 2007;47(4):1488-1497. DOI: 10.2135/cropsci2006.08.0538
- Cherif A.O., Pepe C., Messaouda M.B. Fatty acids profile of wild and cultivar Tunisian peanut oilseeds (*A. hypogaea* L.) at different developmental stages. *Journal of Oleo Science*. 2023;72(4):379-387. DOI: 10.5650/jos.ess22400
- Crupkin M., Zambelli A. Detrimental impact of trans-fats on human health: stearic acid-rich fats as possible substitutes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2008;7(3):271-279. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00045.x
- Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR global collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content. (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po sodержaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Рыкова Р.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).
- Ghannadzadeh M.A., Faridhosseini A., Alizadeh A., Amiri E. The effect of irrigation regime and nitrogen fertilizer on seed yield and qualitative characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L.) (case study of Gilan Province, Iran). *Agricultural and Food Sciences*. 2015;21(4):1-8.
- Grundy S.M. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *The New England Journal of Medicine*. 1986;314(12):745-748. DOI: 10.1056/nejm198603203141204
- Hinds M.J. Fatty acid composition of Caribbean-grown peanuts (*Arachis hypogaea* L.) at three maturity stages. *Food Chemistry*. 1995;53(1):7-14. DOI: 10.1016/0308-8146(95)95779-6
- Ivanenko E.N. Peanuts are a promising oil crop. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1989;125:31-35. [in Russian] (Иваненко Е.Н. Арахис – перспективная масличная культура. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1989;125:31-35).
- Ivanenko E.N., Vakhrusheva T.E. Study of new samples of peanuts by economically valuable traits. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1987;113:77-82. [in Russian] (Иваненко Е.Н., Вахрушева Т.Е. Изучение новых образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1987;113:77-82).
- Li W., Yoo E., Lee S., Sung J., Noh H.J., Hwang S.J. et al. Seed weight and genotype influence the total oil content and fatty acid composition of peanut seeds. *Foods*. 2022;11(21):3463. DOI: 10.3390/foods11213463
- Liu C., Tian J., Chen L., He Q., Liu X., Bian R. et al. Biochar boosted high oleic peanut production with enhanced root development and biological N fixation by diazotrophs in a sand-loamy Primisol. *Science of the Total Environment*. 2024;932:173061. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173061
- Norden A.J., Gorbet D.W., Knauff D.A., Young C.T. Variability in oil quality among peanut genotypes in the Florida breeding program. *Peanut Science*. 1987;14(1):7-11. DOI: 10.3146/i0095-3679-14-1-3
- Salamatullah A.M., Alkaltham M.S., Özcan M.M., Uslu N., Hayat K. Effect of maturing stages on bioactive properties, fatty acid compositions, and phenolic compounds of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernels harvested at different harvest times. *Journal of Oleo Science*. 2021;70(4):471-478. DOI: 10.5650/jos.ess20320
- Seleiman M.F., Refay Y., Al-Suhaibani N., Al-Ashkar I., El-Hendawy S., Hafez E.M. Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of *Helianthus annuus* L. grown under water deficit stress. *Agronomy*. 2019;9(10):637. DOI: 10.3390/agronomy9100637
- Shelenga T.V.; Piskunova T.M.; Malyshev L.L.; Taipakova A.A.; Solovyeva A.E. Seed oil biochemical composition of cultivated *Cucurbita* L. species from the VIR collections grown in the Astrakhan Province of the Russian Federation. *Agronomy*. 2020,10(10):1491. DOI: 10.3390/agronomy10101491
- Slack S.R., Browse J.A. Synthesis of storage lipids in developing seeds. In: D.R. Murray (ed.). *Seed Physiology*. Vol. 1: Development. Sydney: Academic Press; 1984. p.209-244.
- Terés S., Barceló-Coblijn G., Benet M., Álvarez R., Bressani R., Halver J.E. et al. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008;105(37):13811-13816. DOI: 10.1073/pnas.0807500105
- Wang M.L., Khera P., Pandey M.K., Wang H., Qiao L., Feng S. et al. Genetic mapping of QTLs controlling fatty acids provided insights into the genetic control of fatty acid synthesis pathway in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *PLoS One*. 2015;10(4):e0119454. DOI: 10.1371/journal.pone.0119454
- Zhong H., Bedgood Jr. D.R., Bishop A.G., Prenzler P.D., Robards K. Endogenous biophenol, fatty acid and volatile profiles of selected oils. *Food Chemistry*. 2007;100(4):1544-1551. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.039

Информация об авторах

Виктория Дмитриевна Бемова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, viktoriam.bemova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Минира Шаймардановна Асфандиярова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251 Россия, Астраханская обл., Черноярский р-н, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8, rtuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3801-3734>

Тамара Владимировна Якушева, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2, kos-vir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>

Наталья Васильевна Кишлян, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, natalya-kishlyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4454-6948>

Information about the authors

Viktoria D. Bemova, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, viktoriamemova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Minira Sh. Asfandiyarova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny Block, Solenoe Zaimishche, Chernoyarsky District, Astrakhan Province 416251, Russia, rtuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3801-3734>

Tamara V. Yakusheva, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station – branch of VIR, 2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia, kos-vir@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2661-2377>

Natalya V. Kishlyan, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, natalya-kishlyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4454-6948>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.07.2024; одобрена после рецензирования 08.08.2024; принята к публикации 04.09.2024. The article was submitted on 05.07.2024; approved after reviewing on 08.08.2024; accepted for publication on 04.09.2024.