

МАСЛИЧНОСТЬ РАПСА: БОТАНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПИЩЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ

Е.В. СОЛОМОНОВА, Е.Ю. ЕМБАТУРОВА, Ю.С. ЧЕРЯТОВА, С.Г. МОНАХОС

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Однолетнее растение рапс (*Brassica napus* L.) из семейства крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett) издавна используется как источник технического масла. Получение канадскими селекционерами в 70-е гг. XX в. низкоэруковых сортов (канола, менее 5% эруковой кислоты) превратило рапс в ценную перспективную масличную культуру. В Российской Федерации рапсовое масло, извлекаемое из семян зрелых стручков растения, в настоящее время по объему производства занимает 3 место после подсолнечного и соевого, превосходя их по ряду биохимических параметров: оптимальному соотношению ω -6: ω -3 жирных кислот (1:3–2:1), высокому содержанию олеиновой кислоты (до 79,57%), токоферолов (45–75 мг%), каротиноидов (0,30–0,57 мг%) и стеролов (0,5–1,0%). Высокий пищевой потенциал рапса объясняется наличием озимой и яровой форм, отечественных и зарубежных сортов и гибридов, успешной селекцией на повышенную масличность и устойчивость к заболеваниям, хорошей урожайностью во многих природных зонах России, рентабельностью 100–150% (иногда до 400% и более) несмотря на необходимость строгого соблюдения технологии возделывания и пр. В масложировой промышленности масличностью обозначают содержание сырого жира и сопровождающих его жироподобных веществ, переходящих из семян в эфирную вытяжку вместе с жиром. Клетки масличных семян рапса содержат структуры, накапливающие свободные липиды, запасаемые растением для использования растущим проростком: олеосомы и, возможно, капли масла в цитоплазме, а также пластоглобулы в пластидах. Образование нейтрального жира – универсальный механизм «выключения» избыточных продуктов первичного синтеза из растительного метаболизма. Качественный жирнокислотный состав масел семян разных видов растений (в отличие от масел, извлекаемых из плодовой мякоти сочных масличных плодов) достаточно однотипен; варьирует количество жирных кислот и извлекаемых с ними совместно жирорастворимых компонентов (антиокислители, витамины и пр.). Знание ботанической природы и биохимических особенностей масличности рапса позволит извлечь максимальную пищевую выгоду селекционными, агрономическими и технологическими приемами.

Ключевые слова: рапс, *Brassica napus*, масличность, олеосомы, пластоглобулы, жировые включения, рапсовое масло, полиненасыщенные жирные кислоты, линолевая кислота, линоленовая кислота, олеиновая кислота, эруковая кислота.

Введение

Масличность в широком смысле слова – это способность накапливать масло, проявляющаяся на разных уровнях растительного мира. К масличным культурам относят растения (масличные культуры, например, подсолнечник, соя, рапс и др.); масличными могут быть их отдельные структуры (например, семена или ткани плодовой мякоти); клетки (например, масляные клетки представителей семейств крестоцветных, лавровых и др.); клеточные органеллы (например, олеосомы и пластиды); включения (капли масла, кристаллы жира).

Научная литература содержит достаточно разрозненную информацию об обсуждаемом понятии, не всегда дающую целостное представление о процессах

образования, депонирования и локализации свободных липидов в клетках, тканях и органах растений, в том числе ввиду терминологических разночтений и сложностей. Обобщение и систематизация сведений о масличности в целом и масличности рапса в частности, представленные ниже, актуальны не только в фундаментальном аспекте – на них базируются прикладные знания о сырьевых источниках масел растительного происхождения, рапсового в том числе.

Ботаническая природа и биохимические особенности масличности. Известно, что в клетке наряду с входящими в состав мембран структурными липидами имеются запасные липиды, прежде всего – триацилглицерины (=триглицериды) с варьирующим жирнокислотным составом. Нейтральные жиры являются сложными эфирами глицерина и жирных кислот с числом атомов углерода, как правило, C_{12} - C_{14} и выше. В объектах природного происхождения обнаружено более 400 карбоновых кислот различного строения. Наиболее распространенными жирными кислотами растительных масел, обычно содержащими от 12 до 18 атомов углерода, являются пальмитиновая $C_{16}:0$, стеариновая $C_{18}:0$ (насыщенные), олеиновая $C_{18}:1$, линолевая $C_{18}:2$ и линоленовая $C_{18}:3$ (ненасыщенные; с 1, 2 и 3 двойными связями соответственно) кислоты.

В липофильных фракциях природного происхождения более 50% от общей массы кислот часто составляет олеиновая кислота, содержание которой в различных растительных маслах составляет редко менее 10%. В больших количествах, иногда превышающих 10–15%, во всех жирах обнаруживается пальмитиновая, а в жирах тропических растений (например, какао) – стеариновая кислота. Кислоты, в которых число атомов углерода превышает 24, обнаруживаются в восках. Несколько двойных связей образуется у полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Некоторые из них (линолевая; α - и γ -линоленовая; арахидоновая $C_{20}:4$; экзопентаеновая $C_{20}:5$ и др.) считаются незаменимыми (=эссенциальными), так как они необходимы для жизнедеятельности животного организма независимо от способности в нем синтезироваться. Устаревшим для суммы незаменимых ПНЖК является название «Витамин F». Примечательно, что доля ненасыщенных жирных кислот в составе липидов у разных видов растений увеличивается по мере понижения температуры в районах их произрастания [6, 17, 21, 43, 44, 61, 63].

Эссенциальные жирные кислоты подразделяют на два семейства: омега-3 (семейство α -линоленовой ω -3 кислоты) и менее устойчивое к пищевому дефициту – омега-6 (семейство линолевой ω -6 кислоты). Линолевая кислота значительно сильнее линоленовой кислоты по величине воздействия на организм. По рекомендациям ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», баланс между ω -6 и ω -3 кислотами должен составлять 10:1 для полноценного усваивания молодым здоровым организмом, от 3:1 до 5:1 – для лечебного питания; уровень потребления ω -3 и ω -6 жирных кислот – 11 г в сутки (из них ω -3 – 1 г). К сожалению, в рационе современного человека высока доля жиров, избыточно богатых ω -6 (соотношение ω -6: ω -3 в диапазоне 20–30:1, достигающем в подсолнечном масле, безальтернативно потребляемом отдельными группами населения, 933:1), а также насыщенных жиров (более 10% против рекомендуемых 6%).

Недостаточное и несбалансированное потребление ПНЖК с пониженной долей ω -3 жирных кислот нарушает жировой обмен, структуру и функционирование биологических мембран, сопровождая целый ряд соматических заболеваний, в ряде случаев алиментарно-зависимых (диабет, опухоли, инфаркт миокарда, тромбозы, воспалительные, аутоиммунные и другие заболевания), объясняя исключительную важность и необходимость поиска новых сырьевых источников для пищевого и фармацевтического использования ценных нутриентов, особенно незаменимых и уникальных ПНЖК, природных антиоксидантов и витаминов. Поскольку в настоящий

момент ни одно из вырабатываемых в России растительных масел не имеет необходимого соотношения ПНЖК, актуальным является смешивание (купажирование) различных по составу растительных масел для создания сбалансированных вариантов, а также получение витаминизированных растительных масел [2, 17, 26, 32, 40, 41, 46–48, 56, 60, 65].

Для обозначения липидов, включающих в себя нейтральные жиры и близкие к ним вещества, используют термин «жиры». Кристаллический жир встречается редко (например, в виде коротких игловидных кристаллов в клетках эндосперма некоторых пальм). Жидкие при комнатной температуре жиры встречаются чаще, называются «масла» и откладываются в форме капель различного размера, рассеянных по цитоплазме или собранных в крупные массы (например, в клетках эндосперма и зародыша семян подсолнечника, арахиса и др., в клетках плодовой мякоти облепихи, оливы и др.). Жиры и масла являются продуктами первичного метаболизма растительной клетки, выводимыми из обмена веществ в запас. Липидные включения, называемые также липидными гранулами, жировыми включениями, каплями масла, относят к типичным видам непротоплазматических, то есть лишенных признаков живого, питательных компонентов цитоплазмы и классифицируют как эргастические вещества. При необходимости липиды способны превращаться в сахара под действием ферментов глиоксилатного цикла, содержащихся в глиоксисомах (например, в период поддержания роста проростков запасными жирами клеток эндосперма или семядолей семян масличных растений). Близкие к жирам воски, суберин, кутин часто встречаются в клеточной стенке или на ее поверхности, играя защитную роль [6, 39, 50, 53].

Синтез масла – сложный биохимический процесс, включающий в себя биосинтез жирных кислот (в пластидах), сборку триацилглицеринов (в эндоплазматической сети) и их хранение (в цитоплазме). Синтезированные жирные кислоты пересекают мембраны посредством челночного перемещения с участием транспортеров, поступая в ЭПР для сборки нейтральных жиров на глицериновом каркасе. Обнаружены некоторые ключевые для селекции на масличность гены-переносчики, способные усиливать накопление масла в семенах рапса [58, 62].

В накапливающих жиры растительных клетках запасные липиды способны аккумулироваться в гиалоплазме в виде органелл олеосом, а также жировых включений, в пластидах – в виде пластоглобул. В эпидермальных клетках надземных частей растений иногда встречаются жировые капельки, рассеянные по всей толще молодой клеточной стенки, а также поверхностные отложения масла. Олеосомы (=сферосомы – устаревшее название, основанное на форме органелл) – это округлые масляные тельца (=капельки) диаметром 0,5–2 мкм; содержат липиды и ферменты; образуются, отшнуровываясь пузырьками (=везикулами) от гладкой ЭПС; окружены липопротеидной мембраной, содержащей белки олеозины, участвующие в мобилизации запасных липидов; характерны для клеток эндосперма семян масличных растений. Жировые включения (=капли масла, =липидные капли), накапливающиеся в гиалоплазме, внешне сходны с олеосомами, но в отличие от них не окружены мембраной и способны сливаться друг с другом. Пластоглобулами называют липидные капли без ограничивающей мембраны, обнаруживаемые в стромах всех форм пластид: хлоропластов; элайопластов, то есть запасующих липиды лейкопластов; хромопластов глобулярного типа. Однородные пластоглобулы шаровидных хромопластов, возникающих из хлоропластов за счет разрушения хлорофиллов, окрашены каротиноидами.

Установлено, что именно пластиды, точнее их внутренняя мембрана, являются преимущественным местом синтеза липидов в растительных клетках. Наконец, существуют клетки, относящиеся к тканям внутренней секреции, почти целиком

состоящие из масла. Их протопласты дегенерируют по мере созревания. Сферическая внутриклеточная полость заполняется маслянистым экскретом, ограниченным мембраной и, возможно, целлюлозной оболочкой, связанными целлюлозной ножкой с нередко опробковеваяющими клеточными стенками. В результате образуются разбросанные по растению одиночные масляные клетки, являющиеся разновидностью секреторных идиобластов.

Липиды – самые калорийные вещества, широко распространенные в теле растения. В небольших количествах они встречаются, вероятно, в каждой растительной клетке. Повышенное содержание включений жиров и масел наблюдается в меристематических клетках. Запасание резервных липидов наряду с другими типичными включениями (крахмальными и алейроновыми зернами) происходит в некоторых дифференцированных тканях вегетативных органов (например, в запасающей паренхиме некоторых «мясистых» корнеплодов, клубней и луковиц, в паренхиме первичной коры, в сердцевинной и древесинной паренхиме). В весьма больших количествах жиры накапливаются в генеративных структурах: в спорах; в семенах включая их зародыши; в плодах однолетних, а также во внесеменных частях особой группы сочных масляных плодов многолетних растений. Жир обнаруживается в семенах примерно 90% покрытосеменных, часто составляет до 70% их сухого веса; как правило, является жидким у растений умеренного климата (лен, подсолнечник, рапс и др.) и твердым у тропических растений (какао, кокосовая пальма и др.).

Семена некоторых растений являются основой питания человека и животных. Из семян добывают основную массу растительных жиров, используемых в пищу (подсолнечное, льняное, конопляное, хлопковое, кукурузное, горчичное, рапсовое масла, масло грецкого ореха, лещины и др.), в медицине (касторовое масло из семян клещевины и др.), для производства мыла, олифы, лаков и др. [5, 6, 37, 38, 50–53].

Под маслячностью семян масляных культур, используемых в качестве сырья для маслодобывающей промышленности, понимают содержание в них сырого жира и сопровождающих его жироподобных веществ, переходящих вместе с жиром в эфирную вытяжку из исследуемых семян [12]. Жирнокислотный состав липидов масел семян часто практически идентичен по качественному составу, различаясь соотношением жирных кислот [29, 42]. Существуют разные методики измерения маслячности растительных объектов и определения жирнокислотного состава масел (экстракционный метод, ИК-спектрометрия, ядерный магнитный резонанс, хроматография и др.), которые постоянно совершенствуются [16, 30, 33].

Биологическая ценность масел зависит не только от величины сумм насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, но и от наличия в них минорных компонентов: стероидов, жирорастворимых витаминов и других биологически активных веществ. Природные масла обычно содержат комплекс соединений, предохраняющих их от окисления. Особенно активными антиоксидантами являются токоферолы (витамин Е) или их гомологи, поддерживающие высокий уровень стабильности к окислению в процессе хранения масел. Антиоксидантные свойства токоферолов способны усиливаться в синергизме с другими компонентами – например, каротиноидами (биологические предшественники витамина А).

Существуют разные методы извлечения масел из растительного сырья: экстракция дифторхлорметаном, хлороформом и другими реагентами, центрифугирование, ферментативный гидролиз и пр. От способа выделения масла зависит степень его биологической активности, связанная с глицеридным составом конечного продукта, в том числе с содержанием наиболее важных биологически активных составляющих – полиненасыщенных глицеридов [10, 27, 28, 35, 36, 54, 59].

Выявлена естественная группа сочных масличных плодов – плодов, накапливающих в клетках сочных внесеменных тканей жирные масла, отличающиеся от масел семян жирнокислотным составом, зачастую содержащим уникальные жирные кислоты. Изучение масличности сочных плодов расширяет возможности поиска источников растительных масел, традиционно сосредоточенного у нас и за рубежом на семенах [8, 11, 22, 24, 29, 38, 41].

Масличность и пищевой потенциал рапса. Рапс (*Brassica napus* L.) – это однолетнее растение семейства крестоцветных (Brassicaceae Burnett), появившееся примерно 10 тыс. лет назад как не встречающийся в диком виде спонтанный природный амфидиплоидный гибрид сурепицы обыкновенной (*Brassica campestris* L.) и капусты огородной (*Brassica oleracea* L.), начиная с IV тысячелетия до н.э. широко культивируемое в Индии, затем в Китае и Японии, попавшее в Европу в XIII в. В настоящее время является масличной, кормовой, сидеральной и медоносной культурой. В течение последних 30 лет рапс превратился в одну из самых перспективных культур, его рентабельность варьирует от 100 до 150%, достигая 400% и более. Для производства масла используют семена рапса яровых (кольза) и озимых сортов. Рапсовое масло составляет около 13,3% от общего потребления растительного масла в мире.

В России в настоящее время рапс в качестве масличной культуры занимает третье место после подсолнечника и сои. Рапс выращивается во всех федеральных округах страны, преимущественно в Красноярском и Алтайском краях, Кемеровской, Новосибирской и Брянской областях. В 2021 г. валовый сбор рапса составил 2,79 млн т (+8,1% к 2020 г.); посевные площади достигли 1,68 млн га (+13% к 2020 г.), причем прирост площадей пришелся на яровую, а не на озимый рапс. В связи с существенным увеличением площадей показатели выросли, о чем свидетельствуют данные на 2023 г. (площадь 2,3 млн га +39,2% к уровню 2021 г.а; валовой сбор культуры – 4,6 млн т (+63,2%), в том числе озимого рапса – 1,6 млн т.). Имеются противоречивые сведения о том, какие сорта являются более урожайными и масличными. При этом отмечается, что рапс очень требователен к технологии возделывания, а озимый рапс менее подвержен различным заболеваниям и поражению вредителями. В 2020 г. Российская Федерация экспортировала примерно 670 тыс. т рапсового масла на 640 млн долл. Прогнозируется дальнейший рост объемов экспортируемого масла [2, 4, 5, 8, 15, 20, 21, 26, 32, 65].

На одном растении рапса формируется до 450–500 цветков, собранных в соцветие кисть, некоторые по мере созревания развиваются в плоды. Плод – стручок 5–14 × 0,4–0,6 см, расположенный на цветоножке длиной 1–3 см, становящийся по мере созревания коричневым. В каждом стручке на центральной внутренней перегородке, разделяющей продольно плод на два отделения, образуется 18–36 темноокрашенных округлых семян диаметром 0,4–3,0 мм. Масса 1 000 семян яровой формы рапса обычно не превышает 5, а озимого – 7 г [3, 64].

Урожайность, масличность и содержание основных жирных кислот (пальметиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой) зависят от гидротермических условий всех межфазных периодов роста и развития растения, что детально изучено на примере районированного в условиях Западной Сибири, широко распространенного рапса ярового сорта Юбилейный, от географического положения, климата, почвы, технологии возделывания и прочих факторов [13, 18, 19].

В России научное обеспечение селекции рапса с 1993 г. координировал Всероссийский НИИ рапса (в настоящее время – ФГБНУ «ВНИИ рапса»). Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар выведен в 2000–2017 гг. Активно проводится селекционная работа на повышение урожайности и масличности семян ярового безэрукового рапса (0,02% эруковой кислоты), достигающих в новых

сортах в среднем 1,81 т/га и 51,4% при сборе масла 1122 кг/га, что превосходит исходные сорта. Урожайность некоторых гибридов рапса, возделываемых по эффективной технологии Clearfield (комбинация гербицида Нопасаран и высокоурожайных гибридов рапса, устойчивых к этому гербициду), отличается высокими значениями: 2,71 т/га при масличности 47,3%. Наивысшая урожайность рапса (3,19 т/га) отмечена в 2019 г. в Калининградской области.

В 2019 г. отмечалось, что около 60% всех посевных площадей засеивались гибридами иностранной селекции, хотя преимущество сортов заключается в их дешевизне и возможности оставлять часть урожая на семена. Селекция рапса пищевого направления в настоящее время нацелена на оптимизацию содержания в семенах линоленовой и олеиновой жирных кислот параллельно с минимизацией количества не только эруковой (ввиду неполного разложения в организме человека приводит к дистрофии почек и скелетных мышц, липидозу миокарда, циррозу печени и пр.), но и линоленовой кислот (вызывает скорое прогоркание масла, одновременно являясь дефицитной ω -3 кислотой, о чем сказано выше); а в случае выращивания рапса, идущего на производство маргарина, – на повышение содержания пальмитиновой и стеариновой кислот. Создаются высокоолеиновые сорта (более 75% олеиновой кислоты в масле) и гибриды рапса (например, гибриды НИКСХ2022КЛ, НИКСХ213КЛС и НИКСХ9610КЛВ компании Corteva Agriscience). Вместе с тем селекция рапса направлена на снижение содержания в семенах серосодержащих тиогликозидов, способных в виде образующихся из них токсичных соединений переходить в масло при некоторых технологических режимах переработки семян, обнаруживаемых в количестве от 180–200 до 12,8–17,5 мкмоль/г, при установленном безопасном уровне 18–20 мкмоль/г семян.

Изначально рапсовое масло содержало до 56% эруковой кислоты, являясь исключительно техническим. В 1974 г. канадские селекционеры лицензировали новый низкоэруковый сорт рапса «Канола», из семян которого было получено пищевое масло, в настоящее время перешедшее из разряда нетрадиционных растительных масел в разряд популярных у потребителей, производителей, нутрициологов и других специалистов. Основой для современных селекционных работ, направленных на повышение качества семян рапса в России, стали допущенные к использованию в начале 2000 гг. 53 «двунулевых» сорта (= «00», то есть содержащих малые количества эруковой кислоты (0–2%) и глюкозинолатов (менее 20 мкмоль/г)) ярового и 20 – озимого рапса, в том числе 11 и 14 иностранных.

В 2018 г. в Госреестр РФ было занесено 240 сортов и гибридов рапса, из них 167 – иностранной селекции. К 2023 г. впервые включены в Государственный реестр селекционных достижений сорта и гибриды озимого рапса (Оливин) и ярового рапса (Светозар, Сибиряк 60, Яркий), допущенные к использованию с 2023 г. Отмечается, что современные российские сорта озимого и ярового рапса практически не уступают в урожайности иностранным, причем минимальная разница в урожайности между гибридами и линейными сортами составляет 10%, оправдывая более высокую стоимость гибридов. Рапс успешно поддается генному модифицированию; существуют резистентные к гербицидам трансгенные линии рапса (не разрешенные для выращивания в России), в которых, по мнению канадских фермеров, урожайность увеличивается в среднем на 10% [3, 4, 9, 13, 14, 20, 23, 29, 31, 34, 55].

Сорта рапса демонстрируют широкий диапазон содержания масла в зрелых семенах – от 33,4 до 51,4%. Отсутствуют достаточные сведения о взаимосвязи структуры олеосом и различий в содержании масла. В растущих зародышах семян сортов с пониженным содержанием масла обнаружено сопровождаемое низким уровнем

накопления белка олеозина образование необычно больших олеосом (более 5,0 мкм), расходуемых более медленно, чем у высокомасличных сортов, после прорастания семян [66].

Технологически правильно извлеченное из семян рапса масло пользуется потребительским спросом как одно из лучших растительных масел, так как приравнивается к оливковому по вкусу, сбалансировано по жирнокислотному составу, содержит природные формы антиоксидантов и их синергистов (токоферолов, стеролов и каротиноидов), устойчиво к окислению, долго сохраняет прозрачность, не приобретает неприятный запах под воздействием воздуха.

При переработке рапса для производства масла в качестве побочного продукта получают рапсовый шрот с высоким содержанием белка, а также рапсовый жмых, успешно используемые в кормлении домашних животных и птиц. В соответствии с существующей классификацией масел, основанной на содержании жирных кислот в составе триглицеридов, рапсовое масло относится к маслам эруковой группы вместе с горчичным и сурепным маслами. Рекомендуемое содержание эруковой кислоты $C_{22}:1$ для пищевых сортов рапса (канола) – не более 5%, для технических сортов – 55–68%. Благодаря современной селекции и внедрению новых технологий обработки семян содержание эруковой кислоты в рапсе снижено до 0–2%. Горчичное и низкоэруковое рапсовое масла в сравнении с льняным, оливковым и амарантовым имеют преимущество по соотношению полиненасыщенных жирных кислот ω -6: ω -3, приближенному к оптимальному (3:1; 1:3–2:1; 1:4; 13:1 и 28:1 соответственно). Рапсовое масло, как и все масла семейства крестоцветных, богато линолевой и линоленовой кислотами. Последнее является особенно ценным, так как во многих странах наблюдается постоянный дефицит ω -3 жирных кислот в рационе. Жирнокислотный состав масла, получаемого из сортов и гибридов выращенного в России рапса, хорошо изучен и варьирует в зависимости от региона возделывания, погодных условий и других факторов. Насыщенные жирные кислоты составляют 5,00–6,93% включая пальмитиновую, стеариновую, арахидоновую $C_{20}:0$, бегеновую $C_{22}:0$, а также лигноцериновую кислоты $C_{24}:0$ (3,43–5,41%; 1,45–1,77%; 0,31% и менее; 0,21–0,27%, а также 0,14% соответственно); мононенасыщенные (58,40–65,61%) представлены в основном олеиновой кислотой (ω -9) и незначительным количеством пальмитолеиновой $C_{16}:1$, гадолеиновой $C_{20}:1$ и эруковой кислот (54,62–68,40%; 0,31–0,34%; 1,03% и 0,02–1,17% соответственно); полиненасыщенные (27,23–33,61%) включают в себя линолевую (ω -6), линоленовую (ω -3) и эйкозодиеновую $C_{20}:2$ кислоты (16,00–23,34%; 6,30–11,92% и следы соответственно).

Существуют безэруковые высокоолеиновые сорта ярового рапса селекции ВНИИМК, в масле семян которых содержание олеиновой кислоты достигает 75,18–79,57%, а линолевой и линоленовой кислот – 9,17–12,42% и 4,41–5,43% соответственно [1–3, 9, 15, 19, 25, 32, 45, 46, 57]. В научной литературе встречаются и совершенно иные, вероятно, ошибочные сведения о жирнокислотном составе пищевого рапсового масла, содержащего пальмитиновую, стеариновую, элаидиновую, олеиновую, ленолелаидиновую и эруковую жирные кислоты (40%; 50%; 3,0%; 4,0%; 2,1% и 1,0% соответственно) [49].

Пищевое рапсовое масло богато токоферолами (45–75 мг%) с повышенным содержанием наиболее активных антиоксидантов γ -токоферолов в сравнении с α - и β -токоферолами (46–65%; 25–40% и 7–13% от общей суммы соответственно); снижающими уровень холестерина в крови стеролами (0,5–1,0%); придающими маслу желтую окраску каротиноидами (0,30–0,57 мг%); затрудняющими рафинируемость и дающими нежелательную окраску хлорофиллами (от $1 \cdot 10^{-3}$... $9 \cdot 10^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^{-3}$... $5,2 \cdot 10^{-3}$ в желтосемянных сортах рапса) [23].

Выводы

Рапс, благодаря высоким показателям рентабельности, возможностям ускоренной селекции, в том числе на масличность, является перспективным масличным сырьем с высоким пищевым потенциалом, составляя достойную конкуренцию подсолнечнику и сое. Включения масла (олеосомы в гиалоплазме и пластоглобулы в пластидах) в больших количествах накапливаются в клетках семян как запасные вещества первичного метаболизма, извлекаются разными технологическими способами, влияющими на качественный и количественный состав масла. Рапсовое масло отличается сбалансированным жирнокислотным составом с оптимальным соотношением ω -6: ω -3 жирных кислот и комплексом жирорастворимых антиоксидантов и витаминов (токоферолы и каротиноиды).

Повышать и качественно корректировать масличность рапса (увеличение уровня олеиновой и минимизация содержания эруковой и ценной, но вызывающей прогоркание масла линоленовой жирных кислот) можно путем селекции, создавая озимые и яровые, высокоурожайные, устойчивые к заболеваниям сорта и гибриды. Получение максимального выхода масла коррелирует с параметрами: ветвление растения, способного обеспечить максимальное образование стручков; увеличение числа, размеров и массы плодов и семян на растении; регуляция метаболизма олеозинов в связи с их способностью увеличивать размеры олеосом; усиление синтеза масла путем действия на гены, контролирующие белки – транспортеры жирных кислот; выявление наиболее эффективного способа извлечения масла; строгое соблюдение технологии возделывания рапса и пр.

Для дальнейшей успешной селекции рапса рекомендуем наряду с общепринятыми селекционными приемами анализировать процессы формирования масличности (размеры, время образования, клеточная природа жировых включений) в развивающихся семенах рапса классическими методами световой микроскопии, морфометрии и гистохимии.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075–15–2023–220 на поддержку программы развития университета «Приоритет-2030».

Библиографический список

1. *Остриков А.Н. и др.* Анализ жирнокислотного состава рапсового масла // *Масложировая промышленность*. – 2016. – № 6. – С. 18–21.
2. *Артемов И.В., Карпачев В.В.* Результаты исследований в области селекции, семеноводства и производства рапса в Российской Федерации // *Масличные культуры*. – 2003. – № 1 (128). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniy-v-oblasti-selektсии-semenovodstva-i-proizvodstva-rapsa-v-rossiyskoj-federatsii> (дата обращения: 19.09.2023).
3. *Афанасьева В.А., Алферов С.В.* Определение соотношения полиненасыщенных жирных кислот в пищевых маслах // *Известия ТулГУ. Естественные науки*. – 2018. – Вып. 4. – С. 76–83.
4. *Баюров Л.И.* Рапс – культура будущего! // *Научный журнал КубГАУ*. – 2021. – № 167 (03). – С. 1–19.
5. *Борисов Н.* Рапс – возможности и перспективы // *АгроФорум*. – 2020. – № 7. – С. 26–31.
6. *Савинов И.А., Соломонова Е.В., Ембатурова Е.Ю., Ноздрин Т.Д.* Ботаника. Систематика растений и грибов. Практикум: Учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 84 с.

7. *Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кернер К.* Ботаника: Учебник для вузов (на основе учебника Э. Страсбургера и др.): В 4 т. – М.: Издательский центр Академия, 2007. – 368 с.

8. В каких регионах собрали самый высокий урожай масличных в 2021 году? / oilworld.ru. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/327345/> (дата обращения: 25.04.2023).

9. *Вандышев В.В., Трусов Н.А., Созонова Л.И., Шейченко В.И.* Изучение масличности семян и присемянников *Euonymus europaea* L. и *Euonymus verrucosa* Scop. и состава триацилглицеридов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Медицина». – 2004. – № 4. – С. 279–285.

10. *Вертелецкий И.А.* Качество масличного сырья и урожайность отечественных и зарубежных сортов ярового рапса // Вестник ФГ БОУ ВПО РГ АТУ. – 2014. – № 3 (23). – С. 84–87.

11. *Горемыкина Н.В., Верещагин А.Л., Кошелев Ю.А., Першин Н.С.* Состав глицеридов облепихового масла Алтайского края, полученного различными способами // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 194–197.

12. *Горемыкина Н.В., Верещагин А.Л., Кошелев Ю.А., Першин Н.С.* Состав глицеридов облепихового масла различных частей растения // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 190–194.

13. *Горлова Л.А., Бочкарёва Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Поморова Ю.Ю.* Первый отечественный желтосемянный сорт рапса ярового Кенар // Масличные культуры. – 2019. – № 3 (179). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pervyyu-otechestvennyu-zheltosemyannyu-sort-rapsa-yarovogo-kenar> (дата обращения: 19.09.2023).

14. ГОСТ 10857–64. Семена масличные. Методы определения масличности: введ. 1964–07–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 74 с.

15. *Гущина В.А., Лыкова А.С.* Особенности формирования урожайности и качества маслосемян ярового рапса в зависимости от густоты посева // Нива Поволжья. – 2015. – № 4 (37). – С. 27–33.

16. *Долгих Л.А., Абугалиева А.И.* Рапс и его идентификация согласно УРОВ // Масличные культуры. – 2009. – № 1 (140). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raps-i-ego-identifikatsiya-soglasno-upov> (дата обращения: 19.09.2023).

17. *Егорова Т.А., Ленкова Т.Н.* Рапс (*Brassica napus* L.) и перспективы его использования в кормлении птицы // Сельхозбиология. – 2015. – № 2. – С. 172–182.

18. *Еременко С.Г., Головань В.Т.* Питательность ярового рапса // Сборник научных трудов СКНИИЖ. – 2013. – № 2. – С. 73–76.

19. *Ефименко С.Г., Ефименко С.К.* Экспресс-оценка содержания масла и влаги в семенах масличного льна с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 63–70.

20. *Запорожская Л.И., Гаммель И.В.* Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных // Медицинский совет. – 2012. – № 12. – С. 134–136.

21. *Карпачев В.В.* Научное обеспечение производства рапса в России // Земледелие. – 2009. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnoe-obespechenie-proizvodstva-rapsa-v-rossii> (дата обращения: 19.09.2023).

22. *Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С.* Продуктивность сортов рапса ярового в условиях среднего Предуралья // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-sortov-rapsa-yarovogo-v-usloviyah-srednego-preduralya> (дата обращения: 19.09.2023).

23. *Кононенко С.* Рапсовый жмых – источник полноценного белка // Животноводство России. – 2009. – № 6. – С. 54–59.

24. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Влияние климатических условий на урожайность, масличность и жирнокислотный состав рапса ярового // *International agricultural journal*. – 2021. – № 2. – С. 84–94.
25. Кузнецова Г.Н., Полякова Р.С. Новый сорт рапса ярового Сибиряк 60 // *Масличные культуры*. – 2021. – Вып. 2 (186). – С. 101–104.
26. Лобаева Т.А. Изучение состава и содержания жирных кислот в фитопрепаратах // *Вестник РУДН. Серия «Медицина»*. – 2015. – № 2. – С. 9–16.
27. Лукомец В.М., Зеленцов С.В., Кривошлыков К.М. Перспективы и Резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // *Масличные культуры*. – 2015. – № 4 (164). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-rezervy-rasshireniya-proizvodstva-maslichnyh-kultur-v-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 19.09.2023).
28. Малинкина Е.В., Кислухина О.В., Румянцев В.Ю. Сочные плоды дикорастущих и культурных растений как сырье для получения витаминизированных масел // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. – М. – Пушкино: РУДН, 2001. – Т. III. – С. 532–534.
29. Монахос С.Г., Нгуен М.Л., Безбожная А.В., Монахос Г.Ф. Связь пloidности с числом хлоропластов в замыкающих клетках устьиц у диплоидных и амфидиплоидных видов Brassica // *Сельхозбиология, S-h biol, Sel-hoz biol, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology*. – 2014. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-ploidnosti-s-chislom-hloroplastov-v-zamykayuschih-kletkah-ustits-u-diploidnyh-i-amfidiploidnyh-vidov-brassica> (дата обращения: 19.09.2023).
30. Мхитарьянц Л.А., Мхитарьянц Г.А., Марашева А.Н., Тимофеев Т.И. Особенности химического состава семян рапса современных селекционных сортов // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2012. – № 4. – С. 33–36.
31. Ноздрина Т.Д., Трусов Н.А., Солнышкова А.А., Соломонова Е.В. Плоды бересклетов как источник масел // *День Науки: Общеуниверситетская научная конференция молодых ученых и специалистов*. – М.: МГУПП, 2016. – С. 81–82.
32. Остриков А.Н., Горбатова А.В., Копылов М.В. Показатели качества рапсового масла холодного отжима // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 9. – С. 52–55.
33. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Колпакова В.В. *Пищевая химия: Учебник*. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2015. – 672 с.
34. Прахова Т.Я., Турина Е.Л. Биохимические характеристики маслосемян рыжика озимого в зависимости от региона возделывания // *Химия растительного сырья*. – 2022. – № 3. – С. 159–166.
35. Прахова Т.Я., Зеленина О.Н. Качественная характеристика маслосемян озимого рыжика // *Нива Поволжья*. – 2009. – № 3 (12). – С. 88–90.
36. Владыкина Д.С., Ламоткин С.А., Колногоров К.П. и др. Разработка купажей растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом // *Труды БГТУ*. – 2015. – № 4. – С. 240–245.
37. Сергеева А.С., Парфенова Е.Г., Голынец О.С. Разработка первичной референтной методики измерений и стандартных образцов массовой доли жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе // *Measurement standards. Reference Materials*. – 2020. – Vol. 16, № 3. – С. 37–51.
38. Рапс: от посева до уборки // *АгроФорум*. – 2019. – № 7. – С. 48–51.
39. Долголюк И.В., Терещук Л.В., Трубникова М.А. и др. Растительные масла – функциональные продукты питания // *Техника и технология пищевых производств*. – 2014. – № 2. – С. 122–125.
40. Агафонов О.С., Прудников С.М. Расширение функциональных возможностей ЯМР-анализатора АМВ-1006М // *Научное приборостроение*. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 29–35.

41. *Резвицкий Т.Х., Тикиджан Р.А., Митлаш А.В. и др.* Направления селекции рапса // *The scientific heritage*. – 2020. – № 54. – С. 7–9.
42. *Саркисян В.А., Смирнова Е.А., Кочеткова А.А., Бессонов В.В.* Синергические взаимодействия антиоксидантов в жировых продуктах // *Пищевая промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 14–17.
43. *Сизова Н.В.* Снижение концентрации токоферолов в процессе окисления жирных масел // *Химия растительного сырья*. – 2009. – № 1. – С. 117–119.
44. *Созонова Л.И., Трусов Н.А., Соломонова Е.В.* О классификации и номенклатуре сочных плодов // *Бюллетень Главного ботанического сада*. – 2012. – № 3 (198). – С. 65–67.
45. *Созонова Л.И.* Сочные масличные плоды, закономерности развития и строения в связи с накоплением масла: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1992. – 36 с.
46. *Созонова Л.И., Трусов Н.А.* Клетки и ткани растений, световая микроскопия: Учебное пособие. – М.: РУДН, 2007. – 64 с.
47. *Соколов Б.К., Гончаренко Е.В., Лисняк В.Е.* Масло нашего здоровья // *Масло-жировая промышленность*. – 2003. – № 3. – С. 56–59.
48. *Соломонова Е.В., Трусов Н.А.* Поиск и перспективы использования сочных масличных плодов лесных растений // *Лесохозяйственная информация*. – 2017. – № 1. – С. 78–87.
49. *Байбеков Р.Ф., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И. и др.* Сравнительная характеристика состава жирных кислот в липидах масел из семян технических культур // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33, № 6. – С. 62–65.
50. *Строев Е.А.* Биологическая химия: М. – М.: Высшая школа, 1986. – 479 с.
51. *Таганович А.Д.* Биологическая химия: М. – Минск: Бинум, 2008. – 688 с.
52. *Терещук Л.В., Старовойтова К.В., Лобова Т.В. и др.* Технологические аспекты производства кислоты олеиновой из рапсового масла // *Техника и технология пищевых производств*. – 2013. – № 2. – С. 62–67.
53. *Паршакова Л.П., Попель С.С., Кропотова Ж.С. и др.* Технология производства растительных масел со сбалансированным жирнокислотным составом // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 5. – С. 25–27.
54. *Тохириён Б., Протасова Л.Г.* Оценка значимости жирнокислотного состава растительных масел для здорового питания // *Известия УрГЭУ*. – 2014. – № 5 (55). – С. 115–119.
55. *Тохириён Б., Позняковский В.М.* Разработка состава и технологии получения комбинированного растительного масла для здорового питания // *Индустрия питания*. – 2017. – № 4. – С. 32–37.
56. *Хамракулова М.Х., Иброхимова Ф.Э.* Изучение местного рапсового масла для пищевой цели // *Universum: технические науки: Электронный научный журнал*. – 2021. – № 3 (84). – С. 79–82.
57. *Андреева И.И., Козловская Л.Н., Посытанова В.Н. и др.* Цитология растительной клетки. Краткий словарь терминов: Методическое пособие по курсу ботаники для студентов 1-го курса вечернего и заочного отделений. – М., 2007. – 42 с.
58. *Черятова Ю.С.* Анатомия лекарственных и эфиромасличных растений: М. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 133 с.
59. *Черятова Ю.С.* Иллюстрированный словарь-справочник по анатомии растений. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – 80 с.
60. *Эзау К.* Анатомия семенных растений: В 2 кн. / Пер. с англ. А.Е. Васильева и др.; Под ред. А.Л. Тахтаджяна. – М.: Мир, 1980. – 558 с.
61. *Abramovič H., Abram V.* Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil // *Food Technology and Biotechnology*. – 2005. – Vol. 43. – Pp. 63–70.

62. *Bonjean A.P., Dequidt C., Sang T.* Rapeseed in China // OCL. – 2016. – № 23 (6).
63. *Campos H., Baylin A., Willett W.C.* Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction // *Circulation*. – 2008. – Vol. 118. – Pp. 339–345.
64. *Christine W., Simon H., Walter V.* Various concentrations of erucic acid in mustard oil and mustard // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 153. – Pp. 393–397.
65. *Li Y., Ali U., Cao Z. et al.* Fatty acid exporter 1 enhances seed oil content in *Brassica napus* // *Mol Breeding*. – 2022. – Vol. 42. – Pp. 69–75.
66. *Sipeniece E., Misina I., Qian Y. et al.* Fatty acid profile and squalene, tocopherol, carotenoid, sterol content of seven selected consumed Legumes // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 2021. – Vol. 76. – Pp. 53–59.
67. *Solomonova E.V., Nozdrina T.D., Trusov N.A. et al.* Food potential of alternative pome fruit trees cultivated in Moscow region // *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. – 2019. – Vol. 20, № 4. – Pp. 597–607.
68. *Friedrich W.* Vitamins. – Berlin; New York: de Gruyter, 1988. – 1058 p.
69. *Song J.M., Zhang Y., Zhou Z.W. et al.* Oil plant genomes: current state of the science // *J Exp Bot*. – 2022. – № 73 (9). – Pp. 2859–2874.
70. *Schagen S.K., Zampeli V.A., Makrantonaki E. et al.* Discovering the link between nutrition and skin aging // *Dermatoendocrinology*. – 2012. – Vol. 4, № 3. – Pp. 298–307.
71. *Snowdon R., Lühs W., Friedt W.* Oilseed Rape // *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. – 2006. – Vol. 2. – Pp. 54–56.
72. *Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D.* Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. – 2021. – Vol. 16, № 1. – Pp. 18–29.
73. *Hu Z., Wang X., Zhan G. et al.* Unusually large oilbodies are highly correlated with lower oil content in *Brassica napus* // *Plant Cell Rep*. – 2009. – № 28. – Pp. 541–549.

OIL YIELD OF RAPESEED PLANT – BOTANICAL NATURE, BIOCHEMICAL FEATURES AND NUTRITIONAL POTENTIAL

E.V. SOLOMONOVA, E.YU. YEMBATUROVA, YU.S. CHERYATOVA, S.G. MONAKHOS

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The annual rapeseed (Brassica napus L.), a member of the Brassicaceae family, has long been used as a source of technical oil. The development of low-erucic varieties (canola, less than 5% erucic acid) by Canadian breeders in the 1970s made rapeseed a valuable and promising oilseed crop. In the Russian Federation, rapeseed oil, extracted from the seeds of the mature pods of the plant, currently ranks third after sunflower and soybean oil in terms of production volume, surpassing them in a number of biochemical parameters: optimal ratio of ω -6: ω -3 fatty acids (1:3–2:1), high content of oleic acid (up to 79.57%), tocopherols (45–75 mg%), carotenoids (0.30–0.57 mg%) and sterols (0.5–1.0%). The high nutritional potential of rapeseed is explained by the availability of winter and spring forms, domestic and foreign varieties and hybrids, successful breeding for increased oil content and resistance to diseases, good yields in many natural zones of Russia, profitability of 100–150%, sometimes up to 400% and more, despite the need for strict adherence to cultivation technology, etc. In the fatty oil industry, oil yield refers to the content of crude fat and accompanying fat-like substances that pass from the seeds into the ether extract along with the fat. The cells of oil rapeseeds contain structures, that accumulate free lipids stored by the plant for use by the growing seedling: oleosomes and possibly fat inclusions in the cytoplasm, and plastoglobules in the plastids. The formation of neutral fats is a universal mechanism

for “switching off” excess primary synthesis products from plant metabolism. The qualitative fatty acid composition of seed oils of different plant species (in contrast to oils extracted from the non-seed parts of the fleshy oil fruits) is quite similar; the amount of fatty acids and the fat-soluble components extracted with them (antioxidants, vitamins, etc.) is variable. Knowledge of the botanical nature and biochemical characteristics of the oil content of rapeseed will make it possible to obtain maximum nutritional benefits through breeding, agronomic and technological methods.

Key words: rapeseed, *Brassica napus*, oil content, oleosomes, plastoglobules, fatty inclusions, rapeseed oil, polyunsaturated fatty acids, linoleic acid, linolenic acid, oleic acid, erucic acid.

Acknowledgements. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement No. 075–15–2023–220 to support the University’s development program “Priority-2030”.

References

1. Ostrikov A.N. et al. Analysis of fatty acid composition of rapeseed oil. *Maslozhirovaya promyshlennost’*. 2016; 6: 18–21. (In Rus.)
2. Artemov I.V., Karpachev V.V. Research results in the field of rapeseed breeding, seed breeding and production in the Russian Federation. *Oil Crops*. 2003; 1 (128). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniy-v-oblasti-selektivnoy-semenovodstva-i-proizvodstva-rapsa-v-rossiyskoy-federatsii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
3. Afanas’eva V.A., Alferov S.V. Determination of the ratio of polyunsaturated fatty acids in edible oils. *Izvestiya TulGU. Estestvennye nauki*. 2018; 4: 76–83. (In Rus.)
4. Bayurov L.I. Rapeseed is the crop of the future! *Nauchnyi Zhurnal KubGAU*. 2021; 167 (03): 1–19. (In Rus.)
5. Borisov N. Rapeseed – opportunities and prospects. *AgroForum*. 2020; 7: 26–31. (In Rus.)
6. Savinov I.A., Solomonova E.V., Embaturova E.Yu., Nozdrina T.D. Botany. Systematics of plants and mushrooms. Textbook for universities. Sankt-Peterburg: Lan’, 2022: 84. (In Rus.)
7. Zitte P., Vayler E.V., Kaderayt J.V., Brezinski A., Kerner K. based on the textbook by E Strasburger et al. Botany. Textbook for universities: in 4 vol. M.: Izdatel’skiy tsentr Akademiya, 2007: 368. (In Rus.)
8. What regions have the highest oilseed harvests in 2021? [Electronic source]. URL: <https://www.oilworld.ru/analytics/localmarket/327345/> (Access date: 25.04.2023). (In Rus.)
9. Vandyshv V.V., Trusov N.A., Sozonova L.I., Sheychenko V.I. Study of oil content of seeds and seeds of *Euonymus europaea* L. and *Euonymus verrucosa* Scop. and triacylglyceride composition. *RUDN Journal of Medicine*. 2004; 4: 279–285. (In Rus.)
10. Verteletskiy I.A. Oilseed quality and yield of domestic and foreign varieties of spring rapeseed. *Vestnik FGBOU VPO RGATU*. 2014; 3 (23): 84–87. (In Rus.)
11. Goremykina N.V., Vereshhagin A.L., Koshelev Yu.A., Pershin N.S. Composition of glycerides of the Altai sea buckthorn oil obtained by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2014; 3: 194–197. (In Rus.)
12. Goremykina N.V., Vereshhagin A.L., Koshelev Yu.A., Pershin N.S. Composition of glycerides of the Altai sea buckthorn oil obtained by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2014; 3: 190–194. (In Rus.)
13. Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strel’nikov E.A., Pomorova Yu.Yu. The first domestic yellow-seeded spring rape variety Kenar. *Oil Crops*. 2019; 3 (179).

- URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pervyy-otechestvennyy-zheltosemyannyi-sort-rapsa-yarovogo-kenar> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
14. GOST 10857–64 Oilseeds. Methods for determination of oil content: date of introduction 1964–07–01. M.: Standartinform, 2010: 74. (In Rus.)
 15. *Gushchina V.A., Lykova A.S.* Features of formation of yield and quality of spring rape oilseeds depending on sowing density. *Volga Region Farmland*. 2015; 4 (37): 27–33. (In Rus.)
 16. *Dolgikh L.A., Abugalieva A.I.* Rapeseed and its identification according to UPOV. *Oil Crops*. 2009; 1 (140). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raps-i-ego-identifikatsiya-soglasno-upov> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
 17. *Egorova T.A., Lenkova T.N.* Rapeseed (*Brassica napus* L.) and prospects of its use in poultry feeding. *Agricultural Biology*. 2015; 2: 172–182. (In Rus.)
 18. *Eremenko S.G., Golovan', V.T.* Nutrition of spring rape. *Sbornik Nauchnykh Trudov SKNIIZh*. 2013; 2: 73–76. (In Rus.)
 19. *Efimenko S.G., Efimenko S.K.* Rapid assessment of oil and moisture content in oilseed flax seeds by IR spectrometry. *Oil Crops*. 2020; 3 (183): 63–70. (In Rus.)
 20. *Zaporozhskaya L.I., Gammel', I.V.* Characterisation and biological role of essential polyunsaturated fats. *Medical Council*. 2012; 12: 134–136. (In Rus.)
 21. *Karpachev V.V.* Scientific support of rapeseed production in Russia. *Zemledelie*. 2009; 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnoe-obespechenie-proizvodstva-rapsa-v-rossii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
 22. *Kasatkina N.I., Nelyubina Zh.S.* Productivity of spring rape varieties in the conditions of the middle Urals. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2016; 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-sortov-rapsa-yarovogo-v-usloviyah-srednego-preduralya> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
 23. *Kononenko S.* Rapeseed cake is a source of complete protein. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2009; 6: 54–59. (In Rus.)
 24. *Kuznetsova G.N., Polyakova R.S.* Effect of climatic conditions on yield, oil content and fatty acid composition of spring rapeseed. *International Agricultural Journal*. 2021; 2: 84–94. (In Rus.)
 25. *Kuznetsova G.N., Polyakova R.S.* New variety of spring rapeseed Sibiryak 60. *Oil Crops*. 2021; 2 (186): 101–104. (In Rus.)
 26. *Lobaeva T.A.* Study of composition and content of fatty acids in phytopreparations. *RUDN Journal of Medicine*. 2015; 2: 9–16. (In Rus.)
 27. *Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Krivoslykhov K.M.* Prospects and reserves for expansion of oilseeds production in the Russian Federation. *Oil Crops*. 2015; 4 (164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-rezervy-rashireniya-proizvodstva-maslichnyh-kultur-v-rossiyskoy-federatsii> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
 28. *Malinkina E.V., Kislukhina O.V., Rumyantsev V.Yu.* Juicy fruits of wild and cultivated plants as raw material for obtaining vitaminised oils. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya. V. III*. M.: Pushchino: RUDN, 2001: 532–534. (In Rus.)
 29. *Monakhos S.G., Nguen M.L., Bezbozhnaya A.V., Monakhos G.F.* Relation of ploidy to the number of chloroplasts in stomata closing cells in diploid and amphidiploid Brassica species. *Agricultural Biology*. 2014; 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-ploidnosti-s-chislom-hloroplastov-v-zamykayuschih-kletkah-ustits-u-diploidnyh-i-amfidiploidnyh-vidov-brassica> (Access date: 19.09.2023). (In Rus.)
 30. *Mkhitar'yants L.A., Mkhitar'yants G.A., Marasheva A.N., Timofeenko T.I.* Peculiarities of chemical composition of rape seeds of modern breeding varieties. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2012; 4: 33–36. (In Rus.)

31. *Nozdrina T.D., Trusov N.A., Solnyshkova A.A., Solomonova E.V.* Birch bark fruits as a source of oils. Den' Nauki: Obsheuniversitetskaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov. M: MGUPP, 2016: 81–82. (In Rus.)
32. *Ostrikov A.N., Gorbatova A.V., Kopylov M.V.* Quality indicators of cold-pressed rapeseed oil. Food Industry. 2017; 9: 52–55. (In Rus.)
33. *Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A., Kolpakova V.V.* Food chemistry: textbook. Sankt-Peterburg: GIOR, 2015: 672. (In Rus.)
34. *Prakhova T.Ya., Turina E.L.* Biochemical characteristics of winter rye oilseeds depending on the region of cultivation. Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2022; 3: 159–166. (In Rus.)
35. *Prakhova T.Ya., Zelenina O.N.* Qualitative characterisation of winter ginger oilseeds. Volga Region Farmland. 2009; 3 (12): 88–90. (In Rus.)
36. *Vladykina D.S., Lamotkin S.A., Kolnogorov K.P. et al.* Development of vegetable oil blends with balanced fatty acid composition. Proceedings of BSTU. 2015; 4: 240–245. (In Rus.)
37. *Sergeeva A.S., Parfenova E.G., Golynets O.S.* Development of primary reference methodology of measurements and standard samples of mass fraction of fat (oil content) in oilseeds and products based on them. Measurement standards. Reference Materials. 2020; 16; 3: 37–51. (In Rus.)
38. Rapeseed: from sowing to harvesting. AgroForum. 2019; 7: 48–51. (In Rus.)
39. *Dolgolyuk I.V., Tereshchuk L.V., Trubnikova M.A. et al.* Vegetable oils are functional foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2014; 2: 122–125. (In Rus.)
40. *Agafonov O.S., Prudnikov S.M.* Expansion of NMR-analyser AMV-1006M functionality. Nauchnoe priborostroenie. 2018; 28; 3: 29–35. (In Rus.)
41. *Rezvitskiy T.X., Tikidzhan R.A., Mitlash A.V. et al.* Trends in rapeseed breeding. The Scientific Heritage. 2020; 54: 7–9. (In Rus.)
42. *Sarkisyan V.A., Smirnova E.A., Kochetkova A.A., Bessonov V.V.* Synergistic interactions of antioxidants in fatty foods. Food Industry. 2013; 3: 14–17. (In Rus.)
43. *Sizova N.V.* Decrease in the concentration of tocopherols in the oxidation of fatty oils. Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2009; 1: 117–119. (In Rus.)
44. *Sozonova L.I., Trusov N.A., Solomonova E.V.* On classification and nomenclature of juicy fruits. Byulleten' Glavnogo Botanicheskogo Sada. 2012; 3 (198): 65–67. (In Rus.)
45. *Sozonova L.I.* Juicy oil fruits, patterns of development and structure in relation to oil accumulation. DSc (Bio) thesis: 03.00.05. Moscow, 1992: 36. (In Rus.)
46. *Sozonova L.I., Trusov N.A.* Plant cells and tissues, light microscopy: textbook. M.: RUDN, 2007: 64. (In Rus.)
47. *Sokolov B.K., Goncharenko E.V., Lisnyak V.E.* Oil of our health. Maslozhirovaya promyshlennost'. 2003; 3: 56–59. (In Rus.)
48. *Solomonova E.V., Trusov N.A.* Search and prospects of utilisation of juicy oilseeded fruits of forest plants. Forestry Information. 2017; 1: 78–87. (In Rus.)
49. *Baybekov R.F., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I. et al.* Comparative characterisation of fatty acid composition in lipids of oils from industrial seeds. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019; 33; 6: 62–65. (In Rus.)
50. *Stroev E.A.* Biological chemistry. M.: Vysshaya shkola, 1986: 479. (In Rus.)
51. *Taganovich A.D.* Biological chemistry. Minsk: Binom, 2008: 688. (In Rus.)
52. *Tereshchuk L.V., Starovoytova K.V., Lobova T.V. et al.* Technological aspects of oleic acid production from rapeseed oil. Food Processing: Techniques and Technology. 2013; 2: 62–67. (In Rus.)
53. *Parshakova L.P., Popel'S S., Kropotova Zh.S. et al.* Production technology of vegetable oils with balanced fatty acid composition. Food Industry. 2017; 5: 25–27. (In Rus.)

54. Tokhirien B., Protasova L.G. Assessment of the importance of fatty acid composition of vegetable oils for healthy nutrition. *Journal of the Ural State University of Economics*. 2014; 5 (55): 115–119. (In Rus.)
55. Tokhirien B., Poznyakovskiy V.M. Development of composition and technology for production of combined vegetable oil for healthy nutrition. *Food Industry*. 2017; 4: 32–37. (In Rus.)
56. Khamrakulova M.Kh., Ibrokhimova F.E. Study of local rapeseed oil for food purpose. *Universum: tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* 2021; 3(84): 79–82. (In Rus.)
57. Andreeva I.I., Kozlovskaya L.N., Posypanova V.N. et al. Cytology of a plant cell. A brief glossary of terms: Methodological manual on the course of botany for students of the 1st year of evening and correspondence departments. Moscow, 2007: 42. (In Rus.)
58. Cheryatova Yu.S. Anatomy of medicinal and essential oil plants. M.: RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2015: 133. (In Rus.)
59. Cheryatova Yu.S. Illustrated glossary of plant anatomy. M.: RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2018: 80. (In Rus.)
60. Ezau K., Vasil'eva A.E. et al. Anatomy of seed plants: in two books. Translated from English. Ed. by A.L. Takhtadzhyan. M.: Mir, 1980: 558. (In Rus.)
61. Abramovič H., Abram V. Physico-chemical properties, composition and oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Food Technology and Biotechnology*. 2005; 43: 63–70.
62. Bonjean A.P., Dequidt C., Sang T. Rapeseed in China. *OCL*. 2016; 23 (6).
63. Campos H., Baylin A., Willett W.C. Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction. *Circulation*. 2008; 118: 339–345.
64. Christine W., Simon H., Walter V. Various concentrations of erucic acid in mustard oil and mustard. *Food Chemistry*. 2014; 153: 393–397.
65. Li Y., Ali U., Cao Z. et al. Fatty acid exporter 1 enhances seed oil content in *Brassica napus*. *Mol Breeding*. 2022; 42: 69–75.
66. Sipeniece E., Misina I., Qian Y. et al. Fatty acid profile and squalene, tocopherol, carotenoid, sterol content of seven selected consumed Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021; 76: 53–59.
67. Solomonova E.V., Nozdrina T.D., Trusov N.A. et al. Food potential of alternative pome fruit trees cultivated in Moscow region. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2019; 20; 4: 597–607.
68. Friedrich W. Vitamins. Berlin; New York: de Gruyter, 1988: 1058.
69. Song J.M., Zhang Y., Zhou Z.W. et al. Oil plant genomes: current state of the science. *J Exp Bot*. 2022; 73 (9): 2859–2874.
70. Schagen S.K., Zampeli V.A., Makrantonaki E. et al. Discovering the link between nutrition and skin. *Dermatoendocrinology*. 2012; 4; 3: 298–307.
71. Snowdon R., Lühs W., Friedt W. Oilseed Rape. *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. 2006; 2: 54–56.
72. Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D. Search for alternative plant raw materials for food industry and environmentally safe animal breeding. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16; 1: 18–29.
73. Hu Z., Wang X., Zhan G. et al. Unusually large oilbodies are highly correlated with lower oil content in *Brassica napus*. *Plant Cell Rep*. 2009; 28: 541–549.

Екатерина Владимировна Соломонова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук, доцент; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: solomonova@rgau-msha.ru; тел.: (903) 173–55–54

Елена Юрьевна Ембатурова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: e.embaturova@rgau-msha.ru; тел.: (916) 670–14–79

Юлия Сергеевна Черятова, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, канд. биол. наук, доцент; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru; тел.: (916) 218–86–35

Сократ Григорьевич Моначос, профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, д-р с.-х. наук, профессор РАН; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: monakhos@rgau-msha.ru; тел.: (926) 562–32–32

Ekaterina V. Solomonova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (903) 173–55–54; E-mail: solomonova@rgau-msha.ru)

Elena Yu. Yembaturova, CSc (Bio), Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (916) 670–14–79; E-mail: e.embaturova@rgau-msha.ru)

Yulia S. Cheryatova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (916) 218–86–35; E-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru)

Sokrat G. Monakhos, DSc (Ag), Professor of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (926) 562–32–32; E-mail: monakhos@rgau-msha.ru)