

УДК 633.853:631.527

НОВЫЙ СОРТ ЯРОВОГО РАПСА ВЕЛЕС

В.Т. Воловик¹, кандидат сельскохозяйственных наук
А.В. Широкова², кандидат сельскохозяйственных наук
С.Е. Сергеева¹, кандидат сельскохозяйственных наук
Л.М. Коровина¹, кандидат химических наук
Т.В. Леонидова¹, кандидат сельскохозяйственных наук
О.Н. Крутиус³, кандидат химических наук

¹ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»

141055, Россия, Московская обл., г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1,
vik_volovik@mail.ru

²ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства

143080, Россия, Московская обл., Одинцовский г.о., пос. ВНИССОК, ул. Селекционная, 14

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики РАН

119991, Россия, г. Москва, ул. Косыгина, 4

NEW VARIETY OF SPRING RAPESEED 'VELES'

V.T. Volovik¹, Candidate of Agricultural Sciences
A.V. Shirokova², Candidate of Agricultural Sciences
S.E. Sergeeva¹, Candidate of Agricultural Sciences
L.M. Korovina¹, Candidate of Chemical Sciences
T.V. Leonidova¹, Candidate of Agricultural Sciences
O.N. Krutius³, Candidate of Chemical Sciences

¹Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology

141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1,
vik_volovik@mail.ru

²Federal Research Center of Vegetable Growing

143080, Russia, Moscow region, Odintsovo g.o., VNISSOK, Seleksionnaya str., 14

³Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences

119991, Russia, Moscow, Kosygina str., 4

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-2-44-56>

Представлены результаты селекции перспективного сорта ярового рапса Велес. Сорт создан с использованием химического мутагенеза. В результате обработки семян сорта Викрос этилметансульфонатом в концентрации 0,03% с последующим отбором линий, отличающихся скороспелостью, устойчивостью к полеганию, улучшенным биохимическим составом семян, получен перспективный селекционный материал. Выделена линия № 834-16, отличающаяся ускоренным развитием, измененной архитектурой растения. Отрастание боковых побегов начинается от основания главного побега, нижние междоузлия укорочены, что увеличивает устойчивость растений к полеганию. Боковые побеги первого порядка начинают цветение почти одновременно с главным

побегом. Цветение семян на побегах различных порядков проходит одновременно с центральным, что способствует дружному созреванию и выравненности полученных семян. Семена отличаются высоким содержанием жира, содержат меньше клетчатки. Содержание сырого жира варьирует от 47,4 до 48,8%, сырого протеина — 19,7–24,4% сырой клетчатки — 6,52–7,62%. Содержание ценной олеиновой кислоты в составе жирных кислот на 7,15% выше, чем в исходном сорте. Средняя урожайность семян за три года испытаний составила 3,28 т/га, что на 0,64 т/га выше стандарта сорта Викрос. Линия передана в Госкомиссию по сортоиспытанию и охране селекционных достижений под названием Велес. По результатам двух лет испытаний с 2021 г. сорт допущен к использованию по четырем регионам России: Северо-Западному, Центральному, Уральскому и Западно-Сибирскому. Сорт устойчив к полеганию. Гарантирует получение 28–32 т/га зеленой массы с выходом до 6 т/га сухого вещества. Низкое содержание глюкозинолатов в семенах (11,6–13,9 мкмоль/г) позволит использовать семена, жмых и шрот при кормлении животных в повышенных дозах.

Ключевые слова: рапс яровой, химический мутагенез, сорт, жир, протеин, клетчатка, урожайность семян.

The results of breeding a promising variety of spring rapeseed 'Veles' are presented. The variety was created using chemical mutagenesis. The seeds of the 'Vikros' variety were treated with ethylmethanesulfonate at a concentration of 0.03%, followed by the selection of lines characterized by early maturity, resistance to lodging, and improved biochemical composition of the seeds. The line № 834-16 is distinguished by the accelerated development, the changed architectonics of the plant. The growth of lateral shoots begins from the base of the main shoot, the lower internodes are shortened, which increases the resistance of plants to lodging. Side shoots of the first order begin to bloom almost simultaneously with the main shoot. Flowering and maturation of seeds on shoots of different orders takes place simultaneously with the central one, which contributes to the friendly maturation and equalization of the obtained seeds. Seeds are characterized by an increased fat content, contain less fiber. The content of crude fat varies from 47.4 to 48.8%, crude protein — 19.7–24.4%, crude fiber — 6.52–7.62%. In the composition of fatty acids, the content of valuable oleic acid is 7.15% higher than of standard. The average seed yield for 3 years of testing is 3.28 t/ha, which is 0.64 t/ha higher than the standard. The line was transferred to the State Commission for Variety Testing and Protection of Breeding Achievements under the name 'Veles'. The variety is resistant to lodging. Guarantees the production of 28–32 t/ha of green mass with a yield of up to 6 t/ha of dry matter. The low content of glucosinolates in seeds (11.6–13.9 mmol/g) will allow the use of seeds, cake and meal when feeding animals in high doses. The variety is approved for use from 2021 in 4 regions of the Russian Federation: North-West, Central, Ural and West Siberian.

Keywords: spring rapeseed, chemical mutagenesis, variety, fat, protein, fiber, seed yield.

Введение. Рапс (*Brassica napus* L.) является третьим по значимости источником растительного масла в мире после пальмового и соевого [1]. Создание дву-нулевых (безэруковых, с низким содержанием глюкозинолатов) сортов сделало рапс одним из основных источников растительного масла на мировом рынке с постоянной тенденцией к увеличению его доли в производстве масличных культур [2; 3].

Повышение протеиновой питательности как объемистых, так и концентрированных кормов в лесной зоне возможно за счет расширения площадей посева капустных масличных культур, прежде всего рапса. Использование в производстве сортов рапса с сокращенным вегетационным периодом позволяет продвинуть культуру рапса на север, получать семена без предварительной десикации, сократить затраты на сушку. Селекция

на скороспелость играет важную роль в современных условиях интенсификации производства и экономии энергоресурсов [4; 5]. Скороспелость также важна в связи с тем, что в условиях умеренных широт уборка ранних сортов, как правило, приходится на сухой период. Качество масла у скороспелых сортов выше, поскольку незрелые семена содержат много хлорофилла и свободных жирных кислот, что снижает качества масличного сырья. Для производства требуются также неполегающие низкорослые компактные сорта с устойчивыми к растрескиванию стручками. Вследствие полегания растений и растрескивания стручков теряется до 25–50% урожая [6]. Еще одной задачей селекции рапса является улучшение жирнокислотного состава: повышение количества олеиновой и снижение линолевой и линоленовой кислот, быстро окисляющихся на воздухе. Для повышения питательной ценности рапсовых семян и концентрированных кормов с их участием актуально уменьшение содержания клетчатки, снижающей переваримость и усвояемость кормов, особенно у моногастричных животных.

Помимо урожайности семян, содержание масла в семенах является одним из самых требовательных критериев при разработке сортов рапса. Engqvist G.M. and Becker H.C. (1993) предложили одновременно улучшать урожайность семян и содержание масла и белка [7]. О важности одновременного повышения урожайности семян и содержания масла в рапсе писали Аутас и Кинаси (2009) [8].

Анализ литературы показывает, что в мире создано более 2700 мутантных сортов различных культур с улучшенными

агронOMICескими признаками [9; 10]. Метод мутагенеза также был успешно использован селекционерами растений на рапсе и горчице [11; 12]. С помощью мутагенеза Shah A.S. and Rehman K. (2009) удалось повысить содержание масла в мутанте рапса (43–47%) по сравнению с родительским сортом (41–43%) [13].

В селекционных программах часто используют химический мутагенез, который увеличивает генетическую изменчивость и открывает новые возможности для улучшения морфологических признаков, состава жирных кислот и повышения масличности семян [14]. Среди химических мутагенов алкилирующий агент этилметансульфонат (ЭМС) является наиболее часто используемым мутагеном для растений, поскольку он вызывает высокую частоту нуклеотидных замен, т. е. точечных мутаций. ЭМС применяют, как правило, в высоких концентрациях [15]. Так, для изменения жирнокислотного состава (ЖКС) рапсового масла исследователи использовали растворы ЭМС в концентрациях 0.4, 0.6 и 0.8% [16]; 0.3, 0.42 и 0.73% [17]; 1, 1.2, 1.4, 1.6% [18], 5% [19] или 2%, 5%, 8% [20]. По данным S. Channaoui et al. (2019), по сравнению с контрольными растениями, мутанты, полученные из семян, обработанных низкими дозами, а именно 1% ЭМС, раньше начинали цветение и созревание и имели более высокое количество стручков на растение. Кроме того, они были в целом более приспособлены, чем исходный сорт и другие мутанты, к стрессовым условиям, связанным с низким количеством осадков, высокой температурой и контрастными сроками посева. Это объясняет

фенотипическую стабильность и адаптивность этих мутантов в изучаемых средах [18]. В то же время методика, принятая в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова, предполагает использование мутагенов, в том числе ЭМС, в низких концентрациях: 0,02–0,1% [21; 22; 23].

Целью настоящей работы было изучение линий с измененным типом ветвления, устойчивостью к полеганию и растрескиванию стручков, различной продолжительностью вегетационного периода, семенной продуктивностью и биохимическими свойствами; отбор и оценка лучших линий в конкурсном испытании, передача перспективной линии в Госкомиссию по сортоиспытанию и охране селекционных достижений в качестве нового сорта.

Материалы и методы. Работа проводилась на сорте ярового рапса Викрос селекции ВНИИ кормов (патент № 3038). Для индуцирования мутаций были использованы три мутагена: этилметансульфонат (ЭМС), диэтилсульфат (ДЭС) и диметилсульфат (ДМС). Семена обрабатывали в Институте химической физики имени Н.Н. Семенова в течение 16 часов в водных растворах мутагенов в следующих концентрациях: ЭМС 0,3, 0,2, 0,04, 0,03, 0,02%; ДМС 0,08, 0,06, 0,02% и ДЭС 0,06, 0,05%. В контрольном варианте семена замачивали в воде.

В результате воздействия ЭМС в концентрации 0,03% на семена рапса была получена и впервые выделена на Кропотовской биостанции ИБР РАН форма поколения M_2 , давшая начало линиям, сочетающим в себе положительные признаки. В поколении M_5 было отобрано 17 линий. Для дальнейшего

изучения использовали шесть максимально выровненных по габитусу самоопыленных линий с улучшенным биохимическим и жирнокислотным составом семян.

Растения выращивали в условиях теплицы и поля. В первом опыте семена проращивали в кассетах с перлитом, и сеянцы в фазе двух настоящих листьев пикировали в горшочки с почвой. Затем 25–30 дневную рассаду высаживали в поле в две строчки по схеме 45×15 см по 30 растений в трехкратной повторности. Во втором опыте семена высевали селекционной сеялкой на делянки площадью 10 м^2 с густотой стояния 70–80 растений в четырехкратной повторности. Самоопыление растений проводили с использованием изготовленных из ультрафиолетовых изоляторов.

Оценка проходила на Центральной экспериментальной базе ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Закладка питомников проводилась в соответствии с «Методическими рекомендациями по селекции и семеноводству масличных культур», наблюдения и учеты — по методике ВНИИ кормов и ВИР. Использовалась принятая для зоны агротехника: удобрения вносили в норме $N_{60}P_{20}K_{30}$, защита растений от вредителей проводилась в фазу розетки (от крестоцветной блошки) и в фазу бутонизации (от цветоеда) путем обработки посевов препаратом Децис Эксперт, КЭ (100 г/л) с нормой внесения 0,125 л/га.

Содержание общего азота определяли фотометрически с последующим пересчетом на белок, содержание жира — методом обезжиренного остатка, содержание сырой клетчатки — по Ганнебергу и Штоману. Жирнокислотный состав

масла определяли методом газожидкостной хроматографии на приборе Кристалл 2000 М с использованием капиллярной колонки ZB 50 длиной 30 м с компьютерной программой обработки данных. Для идентификации ЖК использовали стандарт Supelco 37 component Fame Mix 10 mg/ml in CH₂Cl₂ фирмы Supelco (USA). Содержание глюкозинолатов в семенах было определено палладиевым методом на спектрофотометре. Статистическая обработка результатов исследований проведена с использованием «Методики полевого опыта».

Результаты исследований. Исследованиями пакистанских ученых I Ali., H.M. Ahmed and S.A. Shah (2013) была показана эффективность отбора мутантных генотипов рапса с лучшим потенциалом урожайности в ранних поколениях [24]. В нашей работе форма, отобранная в M₂ и отличающаяся рядом морфологических признаков, позволила получить к пятому поколению целую серию интересных перспективных линий [25].

Одними из значительных отличий между мутантными формами и растениями дикого типа являются время прохождения фаз развития и характер ветвления. Мутантные растения зацветали на пять–семь дней раньше, чем растения дикого типа. У 50% растений мутантных линий соцветия на главных побегах зацветали через 52–55 дней (от всходов) при выращивании из рассады, и через 44–46 дней при прямом посеве. В пазухах первой пары и второго–третьего настоящих листьев развивались мощные боковые побеги первого порядка (4–5 шт.), которые зацветали на всем растении одновременно через 62–64 дня (из

рассады) и через 53–55 дней при прямом посеве. В то же время у растений дикого типа цветение боковых побегов начиналось только через 14–20 дней после зацветания главного соцветия. Для контрольных растений рапса было характерно акротонное ветвление, при котором образование побегов первого порядка происходит сверху вниз, то есть начинается в пазухах листьев, расположенных ближе к главному соцветию, а позднее формируются побеги из нижних узлов. Нижние побеги отрастают на высоте около 15–25 см от корневой шейки, причем нижние междоузлия на главном побеге — не менее 7–10 см. Последние 4–5 междоузлий до главного соцветия укороченные, около 3–5 см. Для мутантных форм с ускоренным типом развития было характерно базитонное ветвление (в направлении снизу вверх). Отрастание боковых побегов начиналось от основания главного стебля. Нижние междоузлия были укороченные, и первые 5–6 побегов первого порядка расположены на расстоянии 1–3 см от корневой шейки (рис. 1). Было отмечено, что изменение архитектуры растения способствует большей устойчивости растений рапса к полеганию. При дружном зацветании нескольких побегов почти одновременно с главным сокращались сроки созревания основной массы семян.

Основная масса стручков отобранных мутантных линий образуется на мощных, хорошо развитых нижних побегах, цветение и созревание семян происходит в равных погодных условиях, не растянуто по времени, что исключает матрикальную разнокачественность семян, причиной которой является асин-

хронность органообразовательных процессов [26]. Согласно результатам исследований мутантов озимого рапса по гену *Wrinkled1* [27] с ускоренным развитием и цветением боковых побегов, его действие обуславливает повышенный синтез и накопление углеводов и их отток из листьев в семена, что способствует

увеличению содержания жира в семенах и повышению содержания олеиновой кислоты. Семена наших лучших мутантных линий отличались повышенным содержанием жира, пониженным содержанием клетчатки и улучшенным ЖКС. Линия 834-16 была выделена по этим признакам (табл. 1).



Рис. 1. Цветущее растение ярового рапса Велес

1. Биохимический состав семян перспективной линии 834-16

Образец	Содержание, %								
	жир			белок			клетчатка		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Викрос	46,84	45,07	46,55	19,53	26,77	23,94	9,35	7,82	8,34
834-16	47,43	48,1	48,48	19,69	24,4	22,88	7,13	6,52	7,62

Линия 834-16 отличалась по сравнению со стандартом повышенным содержанием ценной олеиновой кислоты (C_{18:1}) на 7,15% и пониженным на 4,7% линолевой (C_{18:2}) и на 2,6% линоленовой (C_{18:3}) кислот (табл. 2). Эруковая кислота

(C_{22:1}) отсутствовала.

Урожайность семян перспективного образца 834-16 в конкурсном сортоиспытании варьировала от 2,52 до 3,28 т/га и превысила сорт-стандарт Викрос в среднем за три года на 0,64 т/га.

2. Жирнокислотный состав перспективной линии 834-16

Линия	Основные жирные кислоты, %						
	C _{16:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:0}	C _{20:1}	C _{22:0}
Викрос	4,1	64,12	19,86	9,82	0,62	1,51	0,34
834-16	3,89	71,27	15,18	7,24	0,58	1,17	0,26

По содержанию жира образец 834-16 на 1,6% превышал стандарт, а по содержанию протеина на 1,2% уступал стандарту.

По сбору масла перспективный образец превышал стандарт на 0,35 т/га (на 29%), а по сбору протеина — на 0,11 т/га (на 18%) (табл. 3).

3. Урожайность семян, сбор жира и белка перспективного образца ярового рапса в конкурсном сортоиспытании, ЦЭБ ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»

Образец	Урожайность семян, т/га				Сбор жира, т/га				Сбор белка, т/га			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	средняя	2016 г.	2017 г.	2018 г.	средний	2016 г.	2017 г.	2018 г.	средний
Викрос	2,75	2,70	2,46	2,64	1,29	1,22	1,14	1,22	0,54	0,72	0,59	0,62
834-16	3,71	3,62	2,52	3,28	1,76	1,74	1,22	1,57	0,73	0,88	0,58	0,73
НСР ₀₅	0,27	0,21	0,26	—	0,15	0,14	0,10	—	0,10	0,09	0,08	—

Вегетационный период до созревания за годы испытаний составлял 101–106 дней, что на 3–5 дней раньше стандарта (рис. 2).

В 2018 г. образец был передан в Государственную комиссию по испытанию и охране селекционных достижений под названием Велес (рис. 3).

Преимуществом сорта, наряду с отсутствием эруковой кислоты в масле, яв-

ляется низкое содержание глюкозинолатов в семенах — 11,6–13,9 мкмоль/г, что позволит использовать семена, жмых и шрот при кормлении животных в повышенных дозах. Сорт отличается равномерным цветением и созреванием (рис. 4); устойчивость к полеганию — 4,5–5 баллов, устойчивость к поражению альтернариозом и пероноспорозом — средняя.



Рис. 2. Начало цветения рапса Велес



Рис. 3. Рапс яровой Велес



Рис. 4. Рапс яровой сорта Велес, фаза начала созревания

Масса 1000 семян за годы испытаний колебалась от 3,8 до 4,2 г, высота растений 100–120 см, прикрепление нижнего стручка отмечалось на высоте 35–50 см. Использование сорта гарантирует получение 28–32 т/га зеленой массы с выходом до 6 т/га сухого вещества.

Заключение. С 2021 г. сорт Велес решением экспертной комиссии ФГБУ «Госсорткомиссия» допущен к использованию по Северо-Западному (2), Центральному (3), Уральскому (9) и Западно-Сибирскому (10) регионам.

Литература

1. Beckman C. (2005). Vegetable oils: competition in a changing market. *Bi-weekly Bulletin. Agriculture and Agri-Food Canada*. 18 (11). Available at http://www.agr.gc.ca/mad-dam/e/bulletine/v18e/v18n11_e.htm.
2. Downy R.K. and G. Rakow. Rapeseed and mustard. In: Fehr W.R. (Ed.). *Principles of Cultivar Development*. 2. *Crop Species*. Mcmillan Pub. Company, New York. 1987. Pp. 437–486.
3. Bartkowiak-Broda I., K. Milkolajczyk, S. Spasibionek and T. Cegielska-Taras. Genetic and breeding research timing at increasing the value of rapeseed oil as a source of renewable energy. In: Jezowski, S., K.M. Wojciechowicz and E. Zenkteler (Eds.). *Alternative plants for sustainable agriculture*. Institute of Plant Genetics, PAS, Poland. 2005. Pp. 129–139.
4. Воловик В.Т., Шпаков А.С. Производство рапса в Центральной России: состояние и перспективы // Кормопроизводство. –2020. – № 10 – С. 3–8.

5. Воловик В.Т. Результаты исследований по масличным капустным культурам (ГНУ ВИК Россельхозакадемии, этапы 30-летнего пути) // Адаптивное кормопроизводство. – 2012. – № 4 (12). – С. 13–24. (URL: <http://www.adaptagro.ru>).
6. Hossain S., Kadkol G.P., Raman R., Salisbury P.A. and H. Raman (2012). Breeding *Brassica napus* for Shatter Resistance. In: *Plant Breeding*, Dr. Ibromkhim Abdurakhmonov (Ed.). Pp. 313–332. ISBN: 978-953-307-932-5, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/plant-breeding/breeding-brassica-napus-for-shatter-resistance>. DOI:10.5772/29051.
7. Engqvist G.M. and Becker H.C. Correlation studies for agronomic characters in segregating families of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Hereditas*. 1993. 118: 211–216.
8. Aytac Z. and Kinaci G. Genetic variability and association studies of some quantitative characters in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 2009. 8: 3547–3554.
9. Maluszynski M., Nichterlein K.L., Zanten V. and Ahloowalia B.S. Officially released mutant varieties. The FAO/IAEA Database. *Mut. Breed. Rev.* No. 12. IAEA, Vienna, Austria, 2000. Pp. 1–84.
10. Shu Q.Y. A Summary of the International Symposium on Induced Mutations in Plants. In: Shu, Q.Y. (Ed.), *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2009. Pp. 13–14.
11. Naz R.M.A. and Islam R.Z. Effect of irradiation of *Brassica trilocularis* (yellow sarson). *Pak. J. Agric. Res.* 1979. 17: 87–93.
12. Javed M.A., A. Khatri, I.A. Khan, M. Ahmad, M.A. Siddiqui, A.G. Arain. Utilization of gamma irradiation for the genetic improvement of oriental mustard (*Brassica juncea* L.). *Coss. Pakistan J. Bot.* 2000. 32: 77–83.
13. Shah A.S. and Rehman K. Development of improved varieties of rapeseed and mustard through in vivo mutagenesis and hybridization in Pakistan. In: Shu, Q.Y. (Ed.), *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 2009. Pp. 376–378.
14. Wu G., Wu Y., Xiao L., Li X., Lu C. Zero erucic acid trait of rapeseed (*Brassica napus* L.) results from a deletion of four base pairs in the fatty acid elongase 1 gene. *Theor. Appl. Genet.* 2008. Vol. 116. Issue 4. Pp. 491–499.
15. Shu Q.Y., Forster B.P. and Nakagawa H. Plant mutation breeding and biotechnology. Wallingford, UK: CABI, 2012, 608 pp. Plant Breeding and Genetic Section. Joint FAO/IAEA Division of nuclear techniques in Food and Agricultural. doi:10.1017/S001447971300001X.
16. Wells R., Trick M., Soumpourou E., Clissold L., Morgan C., Werner P., Gibbard C., Clarke M., Jenaway R., Bancroft I. The control of seed oil polyunsaturate content in the polyploid crop species *Brassica napus*. *Mol. Breed.* 2014. 33 (2): 349–362. Published online 2013 Sept. 21. doi: 10.1007/s11032-013-9954-5.
17. Yadav P., Meena H.P., Meena P.D., Kumar A., Gupta R., Jambhulkar S., Rani R. and Singh D. Determination of LD₅₀ of ethylmethanesulfonate (EMS) for induction of mutations in rapeseed-mustard. *J. Oilseed Brassica*. 2016. 7. 77–82.
18. Channaoui S., Labhilili M., Mazouz H., Mohamed El.F., Nabloussi A. Assessment of novel EMS-induced genetic variability in rapeseed (*Brassica napus* L.) and selection of promising mutants. *Pakistan Journal of Botany*. 2019. 51. Pp. 1–8. doi: 10.30848/PJB2019-5(15).
19. Spasibionek S. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition. *Plant Breeding*. 2006. Vol. 125. Pp. 259–267.
20. Auld D.L., Heikkinen M.K., Erickson D.A., Sernyk J.L. and Juan R.E. Rapeseed Mutants with Reduced Levels of Polyunsaturated Fatty Acids and Increased Levels of Oleic Acid. *Crop Science. Crop Breeding, Genetick and Cytology*. 1992. No. 32. Vol. 3. Pp. 657–662. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030016x>.
21. Эффективность химических мутагенов в селекции: сб. статей / отв. ред. И.А. Рапопорт, Т.В. Сальникова и др. – М.: Наука, 1976. – 351 с.

22. Зоз Н.Н. Методика использования химических мутагенов в селекции сельскохозяйственных культур // Мутационная селекция : сб. статей. – М. : Наука, 1968. – С. 217–230.
23. Shirokova A.V., Volovik V.T., Zagoskina N.V., Zaitsev G.P., Khudyakova H.K., Korovina L.M., Krutius O.N., Nikolaeva T.N., Simonova O.B., Alekseev A.A., Baranova E.N. From dimness to glossiness-characteristics of the spring rapeseed mutant form without glaucous bloom (*Brassica napus* L.). *Agronomy*. 2020. Vol. 10. Pp. 1563. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101563>.
24. Ali I., Ahmed H.M. and Shah S.A. Evaluation and selection of rapeseed (*Brassica napus* L.) mutant lines for yield performance using augmented desing. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 23 (4): 2013. Pp. 1125–1130. ISSN: 1018-7081.
25. Широкова А., Воловик В., Коровина Л., Крутиус О., Шевцов А. Изменение содержания жира в семенах мутантных линий ярового рапса с ускоренным развитием базальных побегов, полученных в результате воздействия этилметансульфонатом в низкой концентрации // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза : сборник трудов XXIII Международной научной конференции (г. Варшава, 19–20 сентября 2017 г.). Т. XXIII. – Варшава : Институт технологических и естественных наук в Фалентах, 2017. – С. 182–185.
26. Куперман Ф.М. Экспериментальный морфогенез культурных растений. – М., 1972. – 245 с.
27. Li Q., Shao J., Tang S., Shen Q., Wang T., Chen W. and Hong Y. Wrinkled1 Accelerates Flowering and Regulates Lipid Homeostasis between Oil Accumulation and Membrane Lipid Anabolism in *Brassica napus*. *Front Plant Sci*. 2015. 6: 1015. doi:10.3389/fpls.2015.01015.

References

1. Beckman C. (2005). Vegetable oils: competition in a changing market. *Bi-weekly Bulletin. Agriculture and Agri-Food Canada*. 18 (11). Available at http://www.agr.gc.ca/mad-dam/e/bulletine/v18e/v18n11_e.htm.
2. Downy R.K. and G. Rakow. Rapeseed and mustard. In: Fehr W.R. (Ed.). *Principles of Cultivar Development. 2. Crop Species*. Mcmillan Pub. Company, New York. 1987. Pp. 437–486.
3. Bartkowiak-Broda I., K. Milkolajczyk, S. Spasibionek and T. Cegielska-Taras. Genetic and breeding research timing at increasing the value of rapeseed oil as a source of renewable energy. In: Jezowski S., K.M. Wojciechowicz and E. Zenkteler (Eds.). *Alternative plants for sustainable agriculture*. Institute of Plant Genetics, PAS, Poland. 2005. Pp. 129–139.
4. Volovik V.T., Shpakov A.S. Proizvodstvo rapsa v Tsentral'noy Rossii: sostoyaniye i perspektivy [Rapeseed production in Central Russia: status and prospects]. *Kormoproizvodstvo [Fodder production]*, 2020, no. 10, pp. 3–8.
5. Volovik V.T. Rezul'taty issledovaniy po maslichnym kapustnym kul'turam (GNU VIK Ros-sel'khozakademii, etapy 30-letnego puti) [Results of research on oilseed cabbage crops («All-Russian Williams Fodder Research Institute» of the Russian Agricultural Academy, stages of the 30-year path)]. *Adaptivnoye kormoproizvodstvo [Adaptive fodder production]*, 2012, no. 4 (12), pp. 13–24. (URL: <http://www.adaptagro.ru>).
6. Hossain S., Kadkol G.P., Raman R., Salisbury P.A. and H. Raman (2012). Breeding *Brassica napus* for Shatter Resistance. In: *Plant Breeding*, Dr. Ibromkhim Abdurakhmonov (Ed.). Pp. 313–332. ISBN: 978-953-307-932-5, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/plant-breeding/ breeding-brassica-napus-for-shatter-resistance>. DOI:10.5772/29051.
7. Engqvist G.M. and Becker H.C. Correlation studies for agronomic characters in segregating families of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Hereditas*. 1993. 118: 211–216.
8. Aytac Z. and Kinaci G. Genetic variability and association studies of some quantitative characters in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Afr. J. Biotechnol*. 2009. 8: 3547–3554.
9. Maluszynski M., Nichterlein K.L., Zanten V. and Ahloowalia B.S.. Officially released mutant varieties. The FAO/IAEA Database. *Mut. Breed. Rev.* No. 12., IAEA, Vienna, Austria, 2000. pp:1-84..

10. Shu Q.Y. A Summary of the International Symposium on Induced Mutations in Plants. *In*: Shu, Q.Y. (Ed.), *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2009. Pp. 13–14.
11. Naz R.M.A. and Islam R.Z. Effect of irradiation of *Brassica trilocularis* (yellow sarson). *Pak. J. Agric. Res.* 1979. 17: 87–93.
12. Javed M.A., A. Khatri, I.A. Khan, M. Ahmad, M.A. Siddiqui, A.G. Arain. Utilization of gamma irradiation for the genetic improvement of oriental mustard (*Brassica juncea* L.) *Coss. Pakistan J. Bot.*, 2000. 32: 77–83.
13. Shah A.S. and Rehman K. Development of improved varieties of rapeseed and mustard through in vivo mutagenesis and hybridization in Pakistan. *In*: Shu, Q.Y. (Ed.), *Induced Plant Mutations in the Genomics Era*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 2009. Pp. 376–378.
14. Wu G., Wu Y., Xiao L., Li X., Lu C. Zero erucic acid trait of rapeseed (*Brassica napus* L.) results from a deletion of four base pairs in the fatty acid elongase 1 gene. *Theor. Appl. Genet.* 2008. Vol. 116. Issue 4. Pp. 491–499.
15. Shu Q.Y., Forster B.P. and Nakagawa H. Plant mutation breeding and biotechnology. Wallingford, UK: CABI, 2012, 608 pp. Plant Breeding and Genetic Section. Joint FAO/IAEA Division of nuclear techniques in Food and Agricultural. doi:10.1017/S001447971300001X.
16. Wells R., Trick M., Soumpourou E., Clissold L., Morgan C., Werner P., Gibbard C., Clarke M., Jenaway R., Bancroft I. The control of seed oil polyunsaturate content in the polyploid crop species *Brassica napus*. *Mol Breed.* 2014. 33 (2): 349–362. Published online 2013 Sept. 21. doi: 10.1007/s11032-013-9954-5.
17. Yadav P., Meena H.P., Meena P.D., Kumar A., Gupta R., Jambhulkar S., Rani R. and Singh D. Determination of LD₅₀ of ethyl methanesulfonate (EMS) for induction of mutations in rapeseed-mustard. *J. Oilseed Brassica.* 2016. 7. 77–82.
18. Channaoui S., Labhilili M., Mazouz H., Mohamed El.F., Nabloussi A. Assessment of novel EMS-induced genetic variability in rapeseed (*Brassica napus* L.) and selection of promising mutants. *Pakistan Journal of Botany.* 2019. 51. Pp. 1–8. doi: 10.30848/PJB2019-5(15).
19. Spasibionek S. New mutants of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) with changed fatty acid composition. *Plant Breeding.* 2006. Vol. 125. Pp. 259–267.
20. Auld D.L., Heikkinen M.K., Erickson D.A., Sernyk J.L. and Juan R.E. Rapeseed Mutants with Reduced Levels of Polyunsaturated Fatty Acids and Increased Levels of Oleic Acid. *Crop Science. Crop Breeding, Genetick and Cytology.* 1992. No. 32. Vol. 3. Pp. 657–662. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030016x>.
21. Rapoport I.A., Salmnikova T.V. and others (Eds.). *Effektivnost' khimicheskikh mutagenov v selektsii* [The effectiveness of chemical mutagens in breeding: collection of articles]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 351 p.
22. Zoz N.N. Metodika ispol'zovaniya khimicheskikh mutagenov v selektsii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Methods of using chemical mutagens in crop breeding]. *Mutatsionnaya selektsiya* [Mutational breeding: collection of articles]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 217–230.
23. Shirokova A.V., Volovik V.T., Zagoskina N.V., Zaitsev G.P., Khudyakova H.K., Korovina L.M., Krutius O.N., Nikolaeva T.N., Simonova O.B., Alekseev A.A., Baranova E.N. From dimness to glossiness-characteristics of the spring rapeseed mutant form without glaucous bloom (*Brassica napus* L.). *Agronomy.* 2020. Vol. 10. Pp. 1563. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101563>.
24. Ali I., Ahmed H.M. and Shah S.A. Evaluation and selection of rapeseed (*Brassica napus* L.) mutant lines for yield performance using augmented desing. *The Journal of Animal & Plant Sciences.* 23 (4): 2013. Pp. 1125–1130. ISSN: 1018-7081.
25. Shirokova A., Volovik V., Korovina L., Krutius O., Shevtsov A. Izmeneniye soderzhaniya zhira v semenakh mutantnykh liniy yarovogo rapsa s uskorennym razvitiyem bazal'nykh pobegov, poluchennykh v rezul'tate vozdeystviya [Changes in fat content in seeds of mutant lines of spring

- rape with accelerated development of basal shoots obtained as a result of exposure to ethyl methanesulfonate in low concentration]. *Problemy intensifikatsii zhivotnovodstva s uchetom okhrany okruzhayushchey sredy i proizvodstva al'ternativnykh istochnikov energii, v tom chisle biogaza* [*Problems of intensification of animal husbandry, taking into account environmental protection and the production of alternative energy sources, including biogas: a collection of proceedings of the XXIII International Scientific Conference (Warsaw, September 19–20, 2017)*]. Warsaw: Institute of Technological and Natural Sciences in Falenty, 2017. Pp. 182–185.
26. Kuperman F.M. Eksperimental'nyy morfogenez kul'turnykh rasteniy [Experimental morphogenesis of cultivated plants]. Moscow, 1972, 245 p.
 27. Li Q., Shao J., Tang S., Shen Q., Wang T., Chen W. and Hong Y. Wrinkled1 Accelerates Flowering and Regulates Lipid Homeostasis between Oil Accumulation and Membrane Lipid Anabolism in *Brassica napus*. *Front Plant Sci.* 2015. 6: 1015. doi: 10.3389/fpls.2015.01015.