

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КРЫМА»

МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ С.И. ГЕОРГИЕВСКОГО
ФГАОУ ВО «КФУ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО»

РЫЖИК МАСЛИЧНЫЙ (*CAMELINA SP.*) В КРЫМУ

В книге рассмотрены народнохозяйственное значение, распространение, морфобиологические особенности и технология возделывания рыжика (*Camelina sp.*). Приведены результаты обширного экспериментального материала, полученного в полевых, лабораторно-полевых и вегетационных опытах ФГБУН «НИИСХ Крыма» с сортами ярового и озимого рыжика. Отдельные разделы посвящены уборке и результатам биокоррекции биологической активности в ризосфере рыжика.

Книга предназначена для научных учреждений прикладного направления, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий Крыма различных форм собственности, студентов аграрных ВУЗов, органов управления агропромышленного комплекса.



Симферополь, 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»
Медицинская Академия имени С.И. Георгиевского
ФГАОУ ВО «КФУ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО»

Турина Е. Л., Дидович С. В., Соболевский И. В., Горгулько Т. В.,
Кувда Т. А., Постникова О. Н.

РЫЖИК МАСЛИЧНЫЙ **(*CAMELINA SP.*)** **В КРЫМУ**

Симферополь
ИТ «АРИАЛ»
2022

УДК 633.8
ББК 42.14
Р 93

Рекомендовано к печати Ученым советом ФГБУН
«Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»
Протокол № 6 от 17.11.2021 г.

Авторы: Турина Е. Л., Дидович С. В., Соболевский И. В., Горгулько Т. В.,
Кувейда Т. А., Постникова О. Н.

Рецензенты:

Гущина В. А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой растениеводства и лесного хозяйства ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ»;

Прахова Т. Я. – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур».

Р 93 **Рыжик** масличный (*Camelina sp.*) в Крыму / Е. Л. Турина [и др.]. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 96 с.

ISBN 978-5-907587-42-7

EDN YKGUVD

В книге рассмотрены народнохозяйственное значение, распространение, морфобиологические особенности и технология возделывания рыжика (*Camelina sp.*). Приведены результаты обширного экспериментального материала, полученного в полевых, лабораторно-полевых и вегетационных опытах ФГБУН «НИИСХ Крыма» с сортами ярового и озимого рыжика. Отдельные разделы посвящены уборке и результатам биокоррекции биологической активности в ризосфере рыжика.

Книга предназначена для научных учреждений прикладного направления, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий Крыма различных форм собственности, студентов аграрных ВУЗов, органов управления агропромышленного комплекса.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Минобрнауки России № 0834-2019-0011 «Разработать приемы повышения продуктивности масличных культур в целях конструирования высокопродуктивных агрофитоценозов при эффективном использовании природно-ресурсного потенциала Крыма», № 0834-2015-0005 «Научно-методические основы технологии культивирования микроорганизмов, получения полифункциональных микробных препаратов для использования в системе агротехнических мероприятий возделывания сельскохозяйственных культур» и гранта РФФИ №16-34-00365 «Биокоррекция ризо- и филосферы *Camelina sativa* L. и *Silybum marianum* L. как фактор продуктивного растительно-микробного взаимодействия в агроценозах Крыма».

УДК 633.8
ББК 42.14

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 2022

© Авторский коллектив, 2022

© ИТ «АРИАЛ», макет, оформление, 2022

ISBN 978-5-907587-42-7

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ.....	6
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ РЫЖИКА В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ МИРА.....	10
МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫЖИКА МАСЛИЧНОГО	14
ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ РЫЖИКА.....	17
Место рыжика в севообороте и обработка почвы.....	17
Подготовка семян к посеву.....	18
Посев.....	18
Уход за посевами.....	23
Борьба с сорной растительностью.....	27
УБОРКА УРОЖАЯ.....	28
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОРТОИСПЫТАНИЕ СОРТОВ РЫЖИКА.....	38
Изучение сортообразцов рыжика озимого в условиях Крыма.....	42
КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЯН, ЖМЫХА И МАСЛА РЫЖИКА...43	
Использование масла рыжика для получения биодизеля и биоавиокеросина....	58
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫЖИКА ОЗИМОГО.64	
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ <i>CAMELINA</i> В КРЫМУ.....	65
БИОКОРРЕКЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА <i>CAMELINA SATIVA</i> И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЕГО РИЗОСФЕРЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	67
ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РЫЖИКА ПОСЕВНОГО В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ <i>IN VIVO, IN VITRO</i>	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
ЛИТЕРАТУРА.....	87

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГТК – гидротермический коэффициент по Селянинову

г. – год

ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты

д.в./га – действующего вещества на гектар

кол-во – количество

млн – миллион

руб. – рубль

тыс. – тысяч

шт. – штук

КОЕ/г – колониеобразующая единица/грамм

а.с.п. – абсолютно сухая почва

Названия эколого-трофических групп микроорганизмов:

Амт – аминотрофы, Амф – аммонификаторы, Олг – олиготрофы, Азф – азотфиксаторы,

Фм – фосфатмобилизаторы, Акт – актиномицеты, Сп – спорообразующие бактерии, Цл – целлюлозоразрушающие, Мкм – микромицеты;

Ферменты: ПО – пероксидаза, ПФО – полифенооксидаза, Ктл – каталаза, Ин – инвертаза, Фз – фосфатаза;

СО₂ – интенсивность выделения диоксида углерода

К_{мин} – коэффициент минерализации

И_{олг} – индекс олиготрофности

К_{мтов} – коэффициент микробиологической трансформации органического вещества

УГК – условный коэффициент гумификации

ВВЕДЕНИЕ

Растительные масла являются важным компонентом как для пищевой (маргариновой, консервной, хлебопекарной, кондитерской), так и для других видов промышленности (производство моющих средств, биодизеля, лакокрасочных изделий, фармацевтических и косметических препаратов). Растительные жиры содержатся в растительной ткани, концентрируясь в семенах, мякоти, плодах, а также в клубнях или побегах.

Спрос на растительное масло растет с увеличением численности населения, а также благодаря разработке новых способов применения. Таким образом, для удовлетворения потребности в растительном масле необходимо не только наращивать его производство, но и расширять набор масличных растений, продукцию которых возможно использовать одновременно в нескольких областях народного хозяйства.

Одной из таких культур является рыжик – масличная культура семейства Капустных (Крестоцветных). Масло рыжика пригодно для получения биодизельного топлива и биоавиакеросина. Кроме того, его можно использовать в производстве лаков и олифы, смазок, полиолов, смол, композитов, покрытий, эластомеров, пластификаторов и клеев. Оно находит применение в пищевой промышленности, мыловарении, косметике и фармакопее, а жмых и мука в определенных количествах рекомендованы для составления рационов рыб и жвачных животных.

Засуха является одним из самых тяжелых абиотических стрессов для растений и значительно ограничивает их урожайность. Ввиду серьезных изменений в водообеспеченности Крыма, вызванных как глобальным потеплением, так и прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу, поиск масличных культур, способных в ужесточающихся аридных условиях давать стабильные высокие урожаи маслосемян, является приоритетным направлением.

Рыжик масличный, как засухоустойчивое растение, способное расти в условиях ограничения оросительной воды, приобретает огромное агрономическое значение на полуострове, способствуя увеличению биоразнообразия в растениеводстве.

Для Крыма рыжик является новой культурой: в изучении в ФГБУН «НИИСХ Крыма» рыжик озимый находится с 2015 г., яровой – с 2019 г. На данный момент рыжиком озимым заинтересовались и сельскохозяйственные товаропроизводители – в 2019 г. площади посева культуры в Крыму составили более 1 тыс. га, в 2020 г. площади расширились до 4 тыс. га, а основные посевы были сосредоточены в Первомайском, Раздольненском, Красноперекоском и Сакском районах.

Цель данной книги – оказать практическую помощь сельхозтоваропроизводителям на основе научно обоснованных элементов технологии выращивания рыжика масличного и оценить качество крымского рыжикового масла для различных направлений использования. В предлагаемом издании обобщены результаты исследований научных учреждений и производственный опыт хозяйств Республики Крым, свидетельствующие о широких возможностях культуры *Camelina*. Принимая во внимание обилие неблагоприятных факторов окружающей среды, считаем необходимым уделить должное внимание целесообразности потребления масла рыжика в профилактических целях для укрепления иммунитета.

Авторы благодарят доктора сельскохозяйственных наук, главного научного сотрудника лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» Прахову Татьяну Яковлевну за участие в обсуждении полученных результатов исследований, а также Ефименко Сергея Григорьевича, кандидата биологических наук, заведующего лабораторией биохимии ФГБНУ «ФНЦ ВНИИМК «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта», за предоставленную возможность провести анализ идентификации жирных кислот.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ

Археоботанические исследования, проводимые в Европе, выявили древнее происхождение рыжика (Larsson M., 2013). В Скандинавии семена этого растения часто находят в археологических памятниках железного века. Считается, что рыжик был в то время второстепенной культурой, рос, как сорняк в районах Юго-Восточной Европы и Юго-Западной Азии и засорял посевы льна и зерновых.

До сих пор ученые ведут споры – в какое время рыжик стали вводить в культуру. Высказаны предположения, что и лен и рыжик выращивали и использовали одновременно для получения пищевого масла и в качестве иллюминанта для светильников. Однако отдельные древние находки, содержащие исключительно семена рыжика, исключают эти предположения (Krzyżaniak M. et al., 2019).

Таким образом, период перехода рыжика от «сорняка к одомашниванию» ученые до сих пор не определили, однако, долгая история существования *Camelina* как в Европе, так и в Малой Азии, подтверждается многими археоботаническими находками.

Самые древние археологические раскопки с семенами рыжика в Европе находятся в Овернье (Швейцария) и датируются 4000 г. до нашей эры, а также в Оденсала-Прэстгор (Швеция), происхождение которых относят к бронзовому веку.

Первые сведения о возделывании рыжика как сельскохозяйственной культуры появились в XIX в. и относятся к России и Франции. Около 150 лет назад рыжиком во Франции засевалось около 5–6 тысяч га, но, позже, с введением в культуру других растений, более урожайных и с большим содержанием масла, его посевы в этой стране постепенно исчезли. На небольших площадях посевы рыжика можно было обнаружить накануне второй мировой войны в Германии, Бельгии, Голландии, Англии и на Балканском полуострове. Во время войны интерес к культуре рыжика в Западной Европе, в частности во Франции, усилился (Минкевич И.А. и др., 1955; Brock J.R., 2018).

В Польше самые ранние «следы» использования рыжикового масла обнаружены в Бискупине – древнеславянском поселении (городище), основанном 2500 лет назад.

Первые упоминания о культуре рыжика в России относят к периоду с 1880 по 1886 г. В дореволюционной России он был в основном культурой мелкого крестьянского хозяйства и возделывался на небольших площадях. Несколько большее распространение рыжик получил после революции, особенно в 1920–1930 гг., когда его высевали как масличную культуру второстепенного значения в районах центрально-черноземной полосы, в Поволжье и Сибири.

Накануне Великой Отечественной войны рыжик занимал в СССР несколько десятков тысяч гектаров, главным образом, в Западной и Восточной Сибири. Наибольшая доля посевов рыжика в 1940 г. приходилась на Омскую область – 42%, Новосибирскую – 21% и Украинскую ССР – 10%. После войны посевы рыжика в СССР значительно расширились и в 1945 г. превысили довоенную площадь более чем в 2,5 раза. В 50-х гг. в Польше в попытке возродить сельское хозяйство после Второй мировой войны начались серьезные исследования рыжика (1951–1956 гг.) под Познанью (Krzyżaniak M. et al., 2019). Отчет с подробным описанием результатов 478 экспериментов был опубликован в 1962 г., где рыжик был классифицирован как масличная культура с высоким содержанием масла, пригодным для пищевой и технической промышленности. Однако, в дальнейшем, рыжик почти полностью был вытеснен рапсом. В СССР в 1984–1987 гг. выращивание рыжика практически прекратилось – площади посева составляли всего 1,2–3,5 тыс. га.

В последнее время культура *Camelina* получила новый виток интереса, как со стороны научного сообщества, так и со стороны био-индустрии по всему миру, благодаря своей экологической адаптивности, удовлетворительным урожаям семян в сочетании с уникальным маслом, пригодным для множества использований на биологической основе.

Во-первых, рыжиковое масло является редким источником сравнительно высоких количеств альфа-линоленовой кислоты (около 30–40% от общего количества жирных

кислот), которая является незаменимой омега-3 жирной кислотой с рядом преимуществ для здоровья. Полезные свойства омега-3 широко известны – линоленовая кислота необходима для правильного физиологического функционирования и оказывает множество положительных эффектов на человеческий организм, будучи вовлеченной во многие метаболические процессы (Kris-Etherton M.P., 2003; Kavyani M. et al., 2021). Благодаря антигипертензивным, антиатерогенным, антиканцерогенным и другим свойствам, эта жирная кислота имеет огромное значение для правильной работы сердца, нервной и иммунной систем.

Наиболее важным источником омега-3 в питании человека является жирная рыба (особенно холодных морей). Тем не менее, употребление ее населением слишком низкое, чтобы соответствовать рекомендуемым уровням потребления. Другой продукт – рыбий жир, также обладает высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), особенно омега-3 (Damerou A., 2020). Но использование рыбьего жира в качестве пищевой добавки часто бывает ограничено физиологическим неприятием и неприятным вкусом. Поэтому усилия ученых в последнее время направлены на обогащение продуктов питания линоленовой кислотой и создание функциональных продуктов питания на основе рыжикового масла (Świątkiewicz S., 2020; Давидович Е.А., 2008).

Кроме линоленовой кислоты, рыжик содержит в своем составе линолевою (16–25%), эйкозеновую (15–19%) и олеиновую кислоты (13–16%). Для сравнения, содержание линолевой кислоты (омега-6) в рапсовом масле составляет 18,9–19,7%, в льняном – 11–16% (Kurasiak-Popowska D. et al., 2020). Все эти кислоты играют ключевую роль в регулировании гомеостаза организма.

Известно, что сбалансированное потребление ПНЖК необходимо для предотвращения хронических заболеваний и поддержания хорошего здоровья. Рекомендуемое диетическое соотношение омега-6 и омега-3 кислот составляет 1:1–2:1 (Kumar R. S. et al., 2018), в питании современного человека это соотношение составляет 15:1–16,7:1 (Simopoulos A.P., 2006). Такое несбалансированное соотношение способствует патогенезу многих заболеваний, включая сердечно-сосудистые и аутоиммунные заболевания, рак, остеопороз. В то же время, повышенный уровень омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (более низкое соотношение омега-6/омега-3) оказывает, напротив, подавляющее действие на опухоли и играет большое значение в профилактике и лечении хронических заболеваний.

Доказано, что употребление рыжикового масла оказывает благотворное действие на липидный обмен, снижает уровень холестерина в сыворотке крови, рекомендовано для нормального функционирования нервной системы, сердца и сетчатки глаза, а также при заболеваниях кожи (Musazadeh V. et al., 2021; Mariamenatu A.H. et al., 2021).

В составе масла рыжика идентифицируется и эруковая кислота, хотя содержание ее значительно меньше, чем, например, в масле крамбе или рапса. Эта кислота часто встречается в масле представителей семейства Капустных. В настоящее время считается доказанным отрицательное действие эруковой кислоты на организм человека и млекопитающих (Kurasiak-Popowska D. et al., 2020).

Максимально допустимое содержание эруковой кислоты в общем количестве жирных кислот в маслах составляет 5% в Европейском Союзе и Монголии (директива Совета 76/621 / ЕЕС, 1976) и 2% в США, Австралии и Новой Зеландии (Ibrahim F.M. et al., 2015; Bariashir S., 2013). В России содержание эруковой кислоты в масле регламентировано ГОСТ – массовая доля ее не должна быть более 5%. Исследования российских ученых показали, что масла отечественных сортов рыжика как озимого, так и ярового не превышают это значение (Прахова Т.Я., 2016; Прахова Т.Я., Турина Е.Л., Прахов В.А., 2020).

Рыжиковое масло содержит в своем составе витамины А и Е, фенольные соединения (в том числе фенольные кислоты и флавоноиды), токоферолы, витамины, фитостеролы, каротиноидные пигменты и фосфолипиды (Ibrahim F.M. et al., 2015). Все эти

биологические соединения не только приносят пользу человеческому организму, но и защищают ненасыщенные жирные кислоты от окисления и прогорклости. Полифенолы являются важными компонентами масла и имеют разнонаправленные функции – влияют на вкус и цвет, стабилизируют жиры и другие лабильные пищевые ингредиенты, а также обладают антиоксидантными свойствами.

Необходимо отметить, что масло *Camelina* необходимо использовать в пищу в качестве салатного, но оно не подходит для жарки при высокой температуре. Лейберова Н.В. с соавтором (2018) считают возможным использование его в рецептуре медово-горчичного соуса за счет оптимального соотношения жирных кислот, лучшей сочетаемости компонентов рецептурного состава, для увеличения линейки соусов на растительной основе, а Андреева С.В. с соавтором (2018) видят перспективу рыжикового масла в производстве мясных паштетов.

Современные исследования итальянских учёных (Silvia Tavarini et al., 2021) также показали целесообразность использования семян и жмыха рыжика в качестве потенциальных диетических источников полезных для здоровья соединений, способных сыграть важную роль в снижении заболеваемости неинфекционными заболеваниями, включая ожирение, диабет, рак и другие хронические заболевания. Авторы предлагают включать рыжик в рецептуры хлебобулочных изделий, детских продуктов и создавать биологически активные добавки, называя рыжик «инструментом для разработки новых экологически чистых функциональных продуктов питания».

Federica Zanetti с соавторами (2021) в обзоре «*Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe*» пишут о том, что употребление семян рыжика оказывает положительное влияние на желудочно-кишечные процессы у людей из-за высокого содержания слизи, сырой клетчатки и лигнина. Благоприятная роль этих ингредиентов в пищеварении подтверждается длительным потреблением человеком хлеба, обогащенного рыжиковым маслом, который продаётся в датских супермаркетах. Авторы подчеркивают, что эта слизь может найти не только пищевое, но и возможно, фармацевтическое применение.

Установлено, что жирнокислотный состав растительных масел может меняться в зависимости от почвенно-климатических условий, сорта, элементов агротехники (Yaga-Varón E. et al., 2017).

По мнению американских ученых, такая способность изменять жирнокислотный состав масла позволяет также изменять и жирнокислотный профиль мяса моногастритных животных, которые использовали в пищу те или иные виды растительных масел (Kris-Etherton M.P., 2003). Скармливая рационы с более высоким содержанием ПНЖК животным, ученые добились получения мяса и другой продукции (молоко, яйцо) с увеличенным количеством кислот, и употребление в пищу таких продуктов снижало уровень холестерина у людей. По этой причине, а также для улучшения качества кормов, рыжиковое масло и оставшийся после его извлечения жмых, применяют в определенных пропорциях для кормления животных: коров (Bayat A.R., 2015), птицы (Jaśkiewicz T. et al., 2014), овец (Cieslak A. et al., 2013), свиней (Adhikari P.A., et al. 2016) и в аквакультуре при выращивании морского леща (Ofori-Mensah S. et al., 2020), радужной форели (Lu J. et al., 2020) и тилапии (Toyes-Vargas E.A. et al., 2020).

В современном исследовании Scarlett Burrton с соавторами (2021) представлена информация о влиянии пищевых добавок с маслом рыжика на массу тела, показатели физиологического состояния, гематологии и биохимии у здоровых взрослых собак. Рапсовое и льняное масла уже считаются безопасными для использования в рационах собак, и различия в вышеупомянутых параметрах между этими контрольными и испытываемыми группами (употреблявших рыжик), были минимальными. Авторы рекомендуют использовать рыжиковое масло в питании собак, обосновывая выбор высоким содержанием омега-3 жирных кислот, а также тем, что лён тяжелее и дороже вырастить в условиях Северной Америки, чем рыжик.

Масло рыжика широко используется в технической промышленности при изготовлении красок и олиф. При варке олифы рыжиковое масло рекомендуется смешивать с льняным в пропорции 1:1. Такая олифа по качеству почти не уступает олифе, изготовленной из чистого льняного масла. Эпоксидированное масло может быть использовано в качестве исходного материала для целого ряда дополнительных химических производных.

В последние годы появляются и новые виды его применения. Так, ученые из Румынии добились получения ценных нанокompозитных материалов (Balanusca B. et al., 2014) и гидрофильных мономеров (Balanusca B. et al., 2015); польские исследователи изучают возможность замещения искусственных веществ, применяемых в лакокрасочном, строительном (декоративные штукатурки) и мебельном производстве на алкидные смолы, получаемые из масла *Camelina* (Nosal H., et al., 2015); в Америке рыжиковое масло называют «как одно из лучших для использования в современной нефтехимической полимерной промышленности» и успешно добывают на его основе экологически безопасные клеи (Kim N. et al., 2015). Это масло широко используют для получения различных смазочных материалов (веществ, используемых для смазки поверхностей, находящихся во взаимном контакте, чтобы облегчить перемещение компонентов и уменьшить трение и износ) которые необходимы практически для всех аспектов современного оборудования.

Рыжиковое масло приобретает все большее значение в косметике, особенно в последнее время, когда потребители стали заинтересованы в покупке продукции на основе натуральных компонентов (Zanetti F. et al., 2021). Высокий уровень антиоксидантной активности позволяет использовать масло рыжика в различных косметических средствах (кремы, шампуни, мыло). Имеются данные о получении натуральных ароматизаторов из жирных кислот, извлеченных из рафинированного рыжикового масла (компания Arkema).

Благодаря истощению ископаемого топлива и нежелательным изменениям климатических условий, увеличению загрязнения воздуха и воды, человечество начало изучать альтернативные способы удовлетворения растущих энергетических потребностей. Одним из вариантов является использование возобновляемых источников топлива – биотоплива. Подсчитано, что 350 видов растений подходят для производства биодизеля (Quintero J.A. et al., 2012), но усилия ученых до сих пор направлены на поиск оптимальных недорогих возобновляемых источников энергии.

Благодаря жирнокислотному составу с высоким содержанием длинноцепочечных жирных кислот, масло семян *Camelina* особенно хорошо подходит для производства биоавиокеросина и обеспечивает снижение выбросов CO₂ за воздушным судном до 75% по сравнению с традиционным реактивным топливом (Jouzani G.S. et al., 2018). Кроме того, оно значительно дешевле других растительных масел. Современные исследования в области энергетики показали, что физико-химические свойства биодизеля на основе масла *Camelina* соответствуют европейским (EN 14214) и американским (ASTM D6751) стандартам, а его метиловые эфиры являются перспективным сырьем для производства биодизельного топлива с низкими выбросами вредных веществ. Такой биодизель предлагается в качестве альтернативы дизельному топливу в немодифицированных двигателях (Oni B.A. et al., 2020; Dangol N. et al., 2020).

Одно из последних новейших применений рыжика в Чехии – получение из растений нитратно-щелочной целлюлозы для изготовления небеленой бумаги (Kateřina Hájková et al., 2021). Актуальность исследований авторы объясняют нехваткой древесных ресурсов в стране и ростом потребления бумаги и целлюлозной продукции.

Велико значение культуры в качестве фиторемидиатора. В настоящее время загрязнение почв тяжелыми металлами является чрезвычайно серьезной экологической проблемой, поэтому не прекращается поиск растений, которые вырабатывают различные механизмы детоксикации, чтобы защитить себя от высоких концентраций цинка (Zn), кадмия (Cd), кобальта (Co) и свинца (Pb) и других металлов.

Как российские (Трифонов М.Ф. и др., 2018; Бекузарова С.А. и др., 2019), так и зарубежные ученые (Silva J. et al., 2011; Park W. et al., 2015) относят *Camelina* к группе культур, которые можно успешно применять в фиторемедиации почв, в том числе в горных районах на месте разрушенных шахт по добыче урановых руд (Бекузарова С.А. и др., 2018).

Агрономическое значение рыжика раскрыто в научной работе Буянкина В.И. с соавтором (Буянкин В.И. и др., 2016). Благодаря поразительной особенности – способности адаптироваться к широкому спектру сред, его можно возделывать повсеместно, тем самым увеличивая биоразнообразие полеводства. Биологические особенности рыжика позволяют использовать его в качестве страховой культуры в тех регионах, где произошла гибель озимой пшеницы. Кроме того, прошли успешное испытание «бинарные» посевы рыжика с другими сельскохозяйственными культурами (Буянкин В.И. и др., 2016; Бекузарова С.А. и др., 2018; Лупова Е.И. и др. 2019; Federica Zanetti et al., 2021). Смешанное выращивание рыжика с соей, ячменем и чечевицей описано во Франции, России и Австрии.

Повышенная солеустойчивость проростков масличного рыжика указывает на возможное его выращивание на засоленных почвах (Буянкин В.И. и др. 2016; Morales D. et al., 2017), а по сообщению американских ученых, именно рыжик является наиболее солеустойчивым по сравнению с другими масличными культурами, что позволяет его оценить как «толерантную культуру к почвам со средней степенью засоления» (Matthees H.L. et al., 2018). Понимая, что глобальное потепление приведет в дальнейшем к увеличению засоления почв благодаря более высокому испарению и меньшему количеству осадков, необходимо учитывать факт толерантности *Camelina* к засолению, особенно в районах, подверженных этому процессу. По сообщению ученых, проблемы солёности, так или иначе затрагивают до 20% пашни в мире. Крым в этом отношении не исключение – наличие земель северного Присивашья, где возможна тенденция почвы ко вторичному засолению, еще раз подчеркивают актуальность проведения опытов с рыжиком масличным.

Немаловажным доводом введения рыжика, в частности озимого, в полевые севообороты, является его низкая требовательность к применению пестицидов (Буянкин В.И. и др., 2016). Рыжик – одна из немногих культур, способная подавлять самые опасные многолетние корнеотпрысковые сорняки, обеспечивая благоприятное фитосанитарное состояние полей.

Наконец, использование этой культуры возможно в пчеловодстве в качестве кормового ресурса для пчел-опылителей (Eberle C.A. et al., 2016).

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ РЫЖИКА В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ МИРА

Рыжик является довольно распространенной культурой в мире, так как хорошо приспособляется к различным почвенно-климатическим условиям, а значительное количество рецензируемых публикаций, крупных проектов и грантов, финансируемых в странах ЕС (ICON, ITAKA, CORE, COSMOS, FP7 и Horizon 2020), говорит о заинтересованности *Camelina* как научным сообществом, так и специалистами авиационной, топливной и пищевой промышленности.

По данным Zubr J. (2002) с соавтором, в мире эта культура не выращивается в больших масштабах, посевные площади ее очень варьируют по годам, поэтому сложно собрать статистические данные (Zubr J., Matthäus B., 2002). В то же время, благодаря универсальности применения масла и неприхотливости она заслуживает пристального внимания и возделывается во многих уголках мира.

Согласно зарубежным литературным источникам, самые высокие урожаи семян были отмечены в странах со средиземноморским климатом. Так, в регионах Чили Чильяне, Эль-Кармене, Лос-Анхелесе, Горбее, урожайность семян яровых сортов *Camelina* составила 2,3 т/га (Berti M. et al. 2011); на востоке Австрии – почти 3 т/га (Vollmann J. et al., 2007); в Дании собирают до 2,6–3,3 т/га (Zubr J., 1997).

Рыжик сеют и в Испании, причем даже в самой засушливой ее северо-восточной части (бассейн реки Эбро), где годовое количество осадков не превышает 350 мм (Rojo-Esnal A. et al., 2018). Предполагается, что изменение климата приведет к увеличению эвапотранспирации и уменьшению количества осадков. По этой причине испанское правительство продвигает новые засухоустойчивые культуры, способные в таких непростых условиях давать стабильные урожаи маслосемян. Согласно результатам исследований, урожайность семян рыжика здесь варьирует от 0,5 т/га до 2,3 т/га и очень зависима от погодных условий.

Полевые эксперименты, проведенные с яровыми сортами рыжика в умеренном климате Центральной Европы, показали возможность получения до 1,7 т/га ценных маслосемян на северо-востоке Польши (Krzyżaniak M. et al., 2019); а выращивание озимой формы в районе Пшещавы позволило собрать от 2,48 до 3,56 т/га (Mosio-Mosiewski J. et al., 2015; Czarnik M. et al., 2018).

Полевые испытания Christou M. с соавторами (2018), проходившие одновременно в нескольких странах Европы для выяснения возможной урожайности семян озимого и ярового рыжика в разных климатических зонах, показали, что самая высокая продуктивность была зафиксирована в Италии (до 2,1 т/га), а самая низкая – в Греции (0,56 т/га), причем озимые сорта были более эффективными. Эти данные подтверждает и Kurasiak-Popowska D. с соавторами – статистический анализ экспериментальных данных которых, позволил определить, что в условиях Центральной и Восточной Европы средняя урожайность озимых сортов рыжика на 46% выше, чем у яровых сортов (Kurasiak-Popowska D. et al., 2019).

Рыжик масличный культивируют по всей Канаде – урожайность в западных провинциях (Альберте, Онтарио) составляет в среднем 1,10–1,65 т/га, масличность семян – 34–42 % (Malhi S.S. et al., 2014), в восточных приморских провинциях (Новой Шотландии в районах Каннинг и Труро, остров Принца Эдвардса) – 1,5 т/га, масличность – от 30 до 40 % (Yang J. et al., 2016).

По сообщению Zanetti F. (2017) с соавторами, урожайность рыжика зависит больше от почвенно-климатических условий и в меньшей степени от сорта. Проведенные масштабные исследования в Канаде и Европе позволили сделать вывод о том, что эта культура лучше развивается в мягком климате со среднесуточной температурой воздуха 16–17 °С и количеством осадков 170 мм и более, выпавших за вегетационный период. Такими районами стали Саскатун (Канада) и Болонья (Италия) – здесь в благоприятном по влагообеспеченности 2015 г. урожайность семян рыжика составила 3,0 т/га, а это значение часто обозначают в литературных источниках как «верхнюю границу возможной урожайности», особенно при оценке яровых сортов.

Довольно много экспериментальных данных по культуре *Camelina* получено в США (Mohammed Y.A. et al., 2017; Lohaus R.H. et al., 2020; Pavlista A.D. et al., 2011; Berti M. et al., 2016). В настоящее время рыжик выращивают в штатах Миннесота, Нью-Йорк, Северная Дакота, Южная Дакота, Монтана, Калифорния, Вашингтон, Орегона, а также в Северной Неваде. Урожайность семян значительно варьирует – от 6,56 ц/га (Рено, штат Невада) до 22,00 ц/га (Великие равнины).

Для определения потенциальных районов возделывания рыжика в Аргентине Falasca S.L. с соавторами (2014) проведена комплексная оценка агроклиматических условий страны и сопоставление их с биологическими особенностями культуры. В результате работы была выстроена модель агроклиматического районирования и выявлены регионы Аргентины, наиболее пригодные для выращивания *Camelina* – это

провинции Неукен, Сальта, Жужуй, Ла-Риоха, Катамарка, Мендоса, Сан-Луис, Ла-Пампа, Рио-Негро и Буэнос-Айрес.

Согласно данным Топсеа I. с соавторами (2013), урожайность рыжика в Румынии в районе города Фундуля за 3 года исследований составила от 0,65 до 0,78 т/га с масличностью семян 32,7–35,9 %. Несмотря на относительно невысокую урожайность семян, в стране видят перспективу дальнейшего возделывания культуры в качестве источника для биотоплива.

Сравнение величин урожайности озимых и яровых сортов рыжика в условиях города Токат в Турции позволило ученым сделать вывод о целесообразности посева культуры под зиму – урожайность в этом случае составила 3,5 т/га, а масличность семян – 32,1–33,4% (Kinay A. et al., 2019). Яровая форма была менее эффективна, однако, при достаточном количестве осадков весной ее рекомендуют под весенний сев.

Рыжик считают перспективной культурой для выращивания в Австралии для получения масла, используемого в косметических целях, а также на экспорт (Francis C.M. et al., 2003). По сравнению с рапсом, *Camelina* здесь менее продуктивна (средняя урожайность – 1,7 т/га), однако учитывая привлекательные качества масла с точки зрения его биологической ценности для здоровья, Francis C.M. с соавтором (2003) предлагают усилить научные исследования с рыжиком в этой области.

Есть информация о возможности возделывания и получении высоких урожаев маслосемян рыжика в Словакии, главным образом, выращиваемого в качестве сырья для получения биотоплива (Ondrejickova P. Et al., 2019). К сожалению, закрытый профиль научной публикации не представляет возможным уточнить эти данные.

Рыжик внедрен в полеводство Индии, где успешно выращивается в Центральном гималайском районе. Предпринимаются усилия по разработке технологии возделывания в полузасушливой зоне (Дибер, Чичонди Патил, Ахмаднагар, Питхорагарх, Махарастра) (Soumai Kant Joshi et al., 2017). Урожайность семян здесь варьирует значительно – от 0,226–0,458 т/га до 1,481 т/га. Подробная разработка элементов технологии возделывания культуры в штате Андхра-Прадеш позволила получить 2,0–2,2 т/га с содержанием масла в семенах 27,6±0,5% (Lekha Charan Meher, 2014).

Из стран бывшего СССР рыжик возделывают в Казахстане и Украине. Современные исследования, проводимые в условиях Северного Казахстана в Костанайском НИИ сельского хозяйства, показали возможность выращивания яровых сортов с максимальной урожайностью 17,0 ц/га с масличностью семян 33,3–34,2% (Tulkubaeva S.A. et al., 2018).

В Украине рыжик масличный выращивают в основном в Полесье и Северной Лесостепи, средняя урожайность семян здесь составляет 1,0–1,2 т/га (Москва I.C. та ін., 2017). Согласно новейшим исследованиям, на дерново-подзолистых почвах Прикарпатья при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{45}K_{45}+N_{60}$ получена максимальная урожайность ярового сорта Хирский – 1,88 т/га, что на 0,89 т/га больше контроля (без удобрений) (Нрыгорив Y.Y. et al., 2020).

В настоящее время в Украине активно ведут исследования в области изучения рыжика как лекарственного растения с целью создания новых фитосредств на его основе (Цыкало Т.А. и др., 2018), а так же возможности расширения сырьевой базы для производства биодизельного топлива (Матвеева I.B. та ін., 2019).

По заключению российских ученых, в стране накоплен большой практический опыт культивирования рыжика на самых разных типах почв и в разных климатических условиях, а Российская Федерация располагает значительными площадями свободных земель (Буянкин В.И. и др., 2016). Согласно расчетам, под эту культуру только в степной зоне юго-востока можно отвести в перспективе более 500,0 тыс. га пашни.

Пик интереса к рыжику, как сельскохозяйственной культуре пришелся на 2014 г. – площади посева тогда достигали максимальных значений – 268 тыс. га (рисунок 1). В настоящее время доля его в структуре посевных площадей остается минимальной – 0,1%

(рисунок 2) [http://soyanews.info/news/posevnye_ploshchadi_po_kulturam_v_2020_godu_lidery_po_prirostu_i_sokrashcheniyu.html].

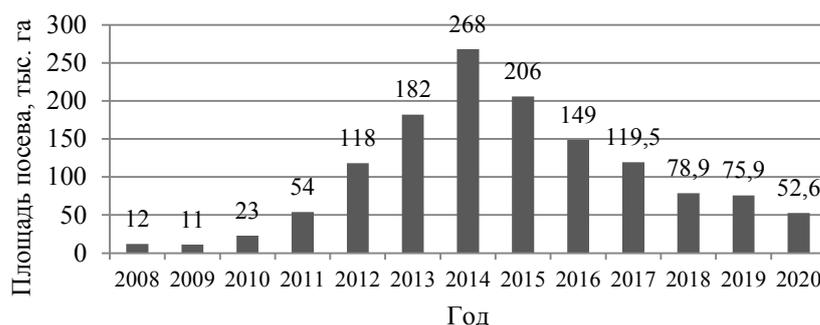


Рисунок 1 – Площади посева рыжика в России

Основными регионами в РФ, высевающими рыжик масличный, являются Волгоградская, Орловская и Саратовская области (Zakharchenko N.S. et al., 2019), ограничено его выращивают в Воронежской области, Татарстане и Северной Осетии (Буянкин В.И. и др., 2016).

Озимую форму рыжика стали возделывать в Крыму – площади посева в 2019 г. составили 1200 га, в 2020 г. – 3750 га. Научно-исследовательские институты разработали основные элементы технологии возделывания рыжика для условий Лесостепи Среднего Поволжья (Прахова Т.Я., 2019; Адамень Ф.Ф. и др., 2019; Алёнин П.Г. и др., 2015; Прахова Т.Я., 2018), Ростовской (Авдеенко А.П., 2015; Рябцева Н.А., 2015), Саратовской областей (Замкова Т.В. и др., 2014), Нечерноземной зоны России (включая Рязанскую область) (Виноградов Д.В. и др., 2019) Красноярского (Олейникова Е.Н. и др., 2018) и Краснодарского краев (Конькова Н.Г., 2019), а также Республики Крым (Кулинич Р.А. и др., 2016; Турина Е.Л., 2017; Турина Е.Л., 2020; Turina E.L. et al. 2020).

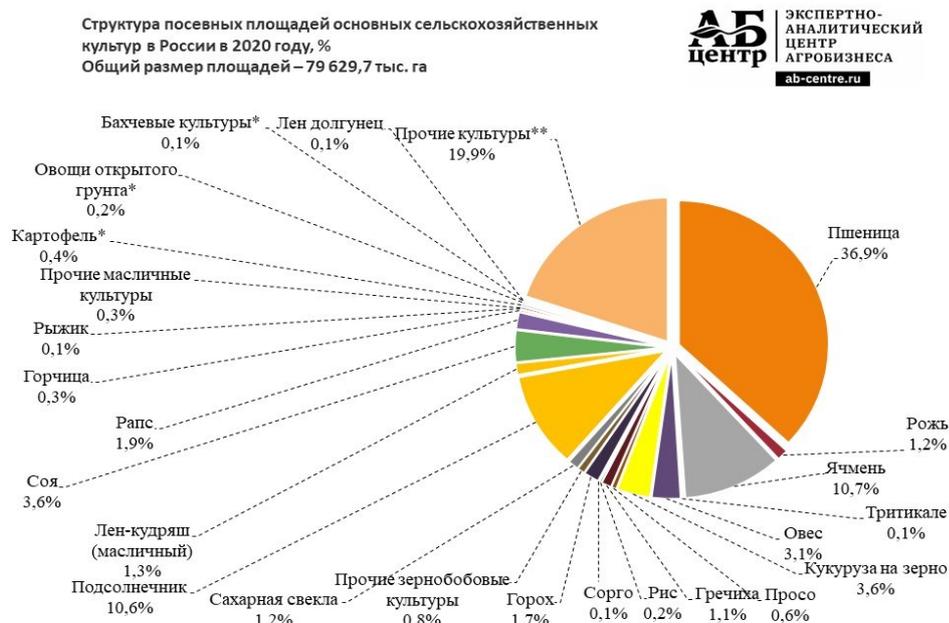


Рисунок 2 – Структура посевных площадей сельскохозяйственных культур, 2020 г.

МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫЖИКА МАСЛИЧНОГО

Таксономическое положение культуры:

Царство: Plantae (Растения)

Класс: Magnoliópsida (Двудольные)

Подкласс: Dilleniidae (Дилленииды)

Семейство: Brassicaceae (Капустные) или Cruciferae (Крестоцветные)

Род: Camelina (Рыжик)

Вид: *Camelina sativa* (L.) Crantz (рыжик посевной), *Camelina sylvestris* Wallr. (рыжик лесной) (Буянкин В.И. и др., 2016).

Рыжик – это однолетнее растение. В условиях Крыма в зависимости от погодных условий года рыжик озимый формирует стебель высотой 60–105 см, яровой – 40–65 см. Стебель ветвится. Рыжик озимый, в отличие от ярового, имеет более деревянистый и ветвящийся стебель. В наших исследованиях повышенные нормы высева (9–10 млн шт./га) приводили к тому, что растение ветвилось только в верхней части, а при более низких нормах высева ветвление начиналось на высоте от 2 до 6 см от поверхности почвы (рисунок 3).

Корневая система стрежневого типа в почву проникает неглубоко. Согласно данным George N. с соавторами, основная часть корней культуры – 70–80% располагается в слое 0–30 см и только около 6% – на глубине 60–100 м (George N. et al., 2018). Листья узкие ланцетные, с короткими черешками или сидячие, слабоопушенные. Цветки мелкие с бледно-желтым венчиком. Растение самоопыляющееся. Пыльца его созревает еще до раскрытия цветка. Соцветие – кисть. Плод – стручок (или стручочек) грушевидной формы. В условиях Крыма в зависимости от погодных условий в 1 стручке может формироваться от 7 до 16 семян.



А

Б

Рисунок 3 – Влияние норм высева на ветвление растений рыжика сорта Пензяк

Примечание. А – 5 млн, Б – 10 млн шт./га.

Семена мелкие (1,5–2,0 мм) красновато-коричневого цвета, в воде сильно ослизняются. Масса 1000 семян зависит от складывающихся условий в период вегетации. Так, в благоприятные годы по влагообеспеченности (ГТК=0,82–1,11) масса 1000 семян в наших опытах была наибольшей и составляла 1,00–1,10 г. В засушливые и экстремально сухие годы (ГТК=0,33) этот показатель находился в пределах 0,56–0,58 г.

Все исследователи характеризуют рыжик масличный как засухоустойчивую культуру. Кутикулярный воск, которым покрыто растение, защищает его от избыточной транспирации (Luo Z.N. et al., 2020).

Минимальная температура прорастания семян составляет 1°C. В благоприятные по влагообеспеченности годы посев рыжика в Крыму в конце сентября – первой декаде октября позволяет получать всходы через 7–8 дней. Озимые сорта морозостойки, переносят температуры до минус 15–20 °С без снежного покрова, а яровые – до минус 12–15 °С. В опытах Schillinger W.F. с соавторами (2012), всходы ярового рыжика подвергали воздействию низких температур до минус 23 °С без снежного покрова в течение 8 часов. Уровень выживаемости такого посева составил 70–75%.

Развитие растений проходит определенные фазы развития: всходы, образование розетки, стебление, бутонизацию, цветение и созревание.

Рыжик – растение длинного дня, созревание его при продвижении на север ускоряется. Liubchenko A. с соавторами (2020) установили, что необходимая сумма активных температур для *Camelina sativa* составляет 1300–1700°C, а дефицит влаги и повышенный температурный режим способствуют ускорению фаз онтогенетического развития и сокращению общего вегетационного периода растений. В наших исследованиях это подтвердилось. В Крыму длина вегетационного периода рыжика озимого составляет от 179 до 269 суток в зависимости от срока сева и погодных условий (рисунок 4).



Рисунок 4 – Длина вегетационного периода рыжика озимого в Крыму в зависимости от ГТК и срока сева, суток

Длина вегетационного периода рыжика ярового в Крыму также зависит от времени сева и складывающихся условий. В среднем в наших опытах по годам она варьировала от 97 до 100 суток. Изучение сроков сева рыжика озимого в Крыму показало, что полевая всхожесть семян культуры зависит от складывающихся погодных условий в период «посев–всходы» (таблица 1).

В этом отношении неблагоприятным в Крыму считается срок сева 15 сентября, при котором из 5 лет исследований три года полевая всхожесть варьировала в пределах от 0 до 5,3%, что связано с выпадением ливневых осадков в это время, с последующим образованием почвенной корки.

В 2019 г. подсчет полевой всхожести на самом позднем сроке совпал с негативными зимними явлениями – выпиранием и выдуванием растений ветром.

На рисунках 5–8 представлены фото растений озимого рыжика – в каком состоянии они, как правило, уходят в зиму в условиях Крыма: при посеве 15–30 сентября – это хорошо развитая розетка листьев, а при посеве 30 октября и 15 ноября – практически в фазе всходов. В отдельные годы всходы при поздних сроках сева появляются в течение января–февраля. Тем не менее, повреждений и гибели растений от морозов на всех сроках сева за 5 лет исследований не зафиксировано.

Таблица 1

Полевая всхожесть семян озимого рыжика в полевых опытах, %

Норма высева, млн шт./га	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
срок сева 15 сентября					
7	0	61,1	0	58,7	5,3
8	0	67,2	0	59,9	5,4
9	0	64,5	0	57,4	4,3
10	-	61,2	0	60,4	4,4
срок сева 30 сентября					
7	97,7	62,7	63,7	62,2	60,3
8	89,8	67,7	61,0	60,3	59,0
9	81,7	66,2	62,8	59,8	59,5
10	-	62,1	61,2	59,9	58,8
срок сева 15 октября					
7	98,4	86,7	60,4	63,8	67,0
8	88,8	83,6	60,3	58,4	67,5
9	87,9	81,0	60,0	60,4	65,1
10	-	74,9	60,1	58,1	63,9
срок сева 30 октября					
7	87,7	89,1	57,8	64,4	59,8
8	82,1	87,6	57,5	68,9	57,4
9	75,3	88,4	54,3	64,0	55,3
10	-	79,9	54,8	64,8	53,2
срок сева 15 ноября					
7	71,0	61,2	52,7	66,2	42,6*
8	72,6	68,6	52,6	62,3	20,5*
9	66,0	63,3	53,8	67,7	39,0*
10	-	58,4	50,6	62,4	18,9*

Примечание. * – на момент подсчета полевой всхожести отмечено выпирание и выдувание растений ветром.

Зимостойкость озимого рыжика в Крыму зависит от срока сева – при посеве 15 и 30 сентября и 15 октября она высокая и достигает 92–100%. Зимостойкость растений поздних сроков сева зависит от складывающихся погодных условий в зимний период – в отдельные годы она может быть высокой (98–99%), однако в годы, когда проявляются выпирание и выдувание растений ветром, зимостойкость снижается до 44–49 % при посеве 30 октября и до 20 % – при посеве 15 ноября (рисунки 5–9).



Рисунок 5 – Состояние растений озимого рыжика перед уходом в зиму при сроке сева 30 сентября



Рисунок 6 – Состояние растений озимого рыжика перед уходом в зиму при сроке сева 15 октября



Рисунок 7 – Состояние растений озимого рожьика перед уходом в зиму при сроке сева 30 октября



Рисунок 8 – Состояние растений озимого рожьика перед уходом в зиму при сроке сева 15 ноября



Рисунок 9 – Делянки рожьика, пострадавшие от выпирания и выдувания ветром

Таким образом, в условиях Крыма решающими факторами, влияющими на зимостойкость рожьика поздних сроков сева (30 октября, 15 ноября), являются такие неблагоприятные явления, как выпирание и выдувание растений ветром.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ РОЖЬИКА

Место рожьика в севообороте и обработка почвы. Севооборот является одним из наиболее сильных инструментов борьбы с сорняками и вносит свой вклад в комплексную борьбу с вредителями. В условиях Пензенской области идеальным предшественником под озимый рожьик считают чистый пар, а в южных регионах (Волгоградская область, Северный Кавказ) его высевают по полупару после озимых на зеленый корм (Буянкин В.И. и др., 2016). Рожьик является хорошим предшественником для озимых и яровых злаковых, пропашных и зернобобовых культур. Нельзя размещать его после рапса, горчицы и других крестоцветных. В Крыму чистые пары традиционно отводят для наиболее ценной культуры крымского полеводства – озимой пшеницы. Поэтому под него

стоит отводить поля после зерновых колосовых культур. В наших исследованиях рыжик озимый и яровой размещали после ярового ячменя.

Одним из главных вопросов, интересующих занимающихся рыжиком сельхозтоваропроизводителей, является его оценка как предшественника для озимой пшеницы. В России научных работ по изучению этого вопроса нет. В засушливых условиях Северных Великих равнин (США) установлено, что урожайность озимой пшеницы по предшественнику озимый рыжик была на 17,6–18,5% ниже по сравнению с чистым паром (Zanetti F. et al., 2021; Sintim H.Y. et al., 2020; Obour A.K. et al., 2018).

Основная обработка почвы носит зональный характер, в наших опытах она была поверхностной. Обязательно проводили в день посева предпосевную культивацию на минимально возможную глубину. В зависимости от состояния почвы в отдельные годы проводили допосевное прикатывание. Послепосевное прикатывание было обязательным.

Подготовка семян к посеву. В литературе имеется информация, что семена озимого рыжика имеют период послеуборочного дозревания, поэтому рекомендуется проводить сев семенами прошлого года (Буянкин В.И. и др., 2016). В условиях Крыма такого не наблюдали – ежегодно в полевых опытах мы сеяли семенами, полученными в этот же год.

Научные исследования сотрудников Пензенского НИИСХ показали, что семенной материал рыжика следует протравливать препаратами, рекомендованными для рапса и сурепицы – Витавакс 200, СП (норма 2 кг/т) и Апрон XL (1 л/т) (Буянкин В.И. и др., 2016). Для стимуляции роста и развития растений рекомендовано применение регуляторов роста (Альбит, ТПС из расчета 0,05 л/т), что обеспечит повышение всхожести семян ярового рыжика на 4–8%, озимого – на 2–3%. Совместное применение протравителей с регулятором роста увеличивает всхожесть семян на 7–9 и 4% соответственно. В наших опытах мы не применяли протравку семян.

Посев. В среднем за 5 лет исследований оптимальной нормой высева для озимого рыжика в условиях Крыма является 8 млн всхожих семян на га при посеве с междурядьями 15 см, что способствует формированию наибольшей урожайности семян при посеве 30 сентября и 15 октября – 1,32–1,35 т/га (таблица 2). На формирование урожайности большое влияние оказывают условия произрастания растений озимого рыжика. Стоит учесть, что за 3 года из 5 не был получен или был значительно снижен урожай маслосемян при посеве в самый ранний срок – 15 сентября. Именно в этот период после посева проходили дожди, часто носившие характер ливневых, что приводило к образованию почвенной корки, которая не давала возможность получить нормальные всходы. Снижение урожайности на посеве со сроком сева 15 ноября 2 года из 5 (2017 и 2019 гг.) обусловлено неблагоприятными зимними явлениями – выпиранием и выдуванием ветром неокрепших всходов. В 2019 г. это также проявилось и на делянках со сроком сева 30 октября.

Количество стручков на одном растении рыжика озимого изменялось прямо пропорционально норме высева (таблица 3). Исключение составляли варианты, где какие-либо неблагоприятные явления (почвенная корка в период «посев–всходы» или выпирание) влияли на густоту растений и нивелировали действие норм высева. Наибольшее количество стручков, как правило, формировалось на растениях в вариантах с нормами высева 5–6 млн/га, наименьшее – 10 млн/га.

Таким образом, в условиях Крыма получение стабильной высокой урожайности семян озимого рыжика возможно только в годы с ГТК за вегетационный период не ниже 0,6.

В экстремально засушливые годы урожайность резко падает, и в такие годы наибольшую урожайность (до 0,59 т/га) можно получить при посеве 30 октября низкими нормами высева – 5–6 млн/га. При изучении ярового рыжика в условиях степного Крыма установлено, что вегетационный период его в среднем составляет 97–100 дней (таблица 4). При этом всходы культуры появляются в среднем через 14–16 дней, но ежегодно этот показатель зависит от конкретных погодных условий, складывающихся в предпосевной период.

Таблица 2

**Урожайность рыжика озимого в зависимости от срока сева и нормы высева, т/га
(с. Клепинино, Красногвардейский район, Крым)**

Норма высева (В), млн шт./га	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее
срок сева (А1) 15 сентября						
5	-	-	0	0,53	0,08	0,31*
6	-	-	0	0,59	0,16	0,38*
7	0	1,14	0	0,46	0,09	0,56**
8	0	1,13	0	0,46	0,14	0,58**
9	0	1,11	0	0,39	0,11	0,54**
10	-	1,02	0	0,32	0,12	0,49**
Среднее по фактору А1	0	1,10	0	0,46	0,12	
срок сева (А2) 30 сентября						
5	-	-	1,60	0,57	0,79	0,99
6	-	-	1,65	0,59	0,79	1,01
1	2	3	4	5	6	7
7	1,36	1,20	1,66	0,46	0,94	1,12
8	1,61	1,21	2,24	0,46	1,10	1,32
9	1,40	1,18	1,98	0,42	0,81	1,16
10	-	1,09	1,50	0,37	0,68	0,91
Среднее по фактору А2	1,46	1,17	1,77	0,48	0,85	
срок сева (А3) 15 октября						
5	-	-	1,38	0,29	1,50	1,06
6	-	-	1,41	0,24	1,60	1,08
7	1,32	1,22	1,46	0,28	1,70	1,20
8	1,45	1,27	1,95	0,19	1,89	1,35
9	1,38	1,15	1,64	0,19	1,71	1,21
10	-	1,10	1,40	0,13	1,69	1,08
Среднее по фактору А3	1,38	1,19	1,54	0,22	1,68	
срок сева (А4) 30 октября						
5	-	-	0,69	0,27	0,65	0,54
6	-	-	0,93	0,30	0,91	0,71
7	0,95	1,39	1,09	0,31	0,92	0,93
8	1,29	1,40	1,18	0,26	0,92	1,01
9	1,16	1,11	1,18	0,26	0,89	0,92
10	-	1,07	0,82	0,12	0,69	0,68
Среднее по фактору А4	1,13	1,24	0,98	0,25	0,83	
срок сева (А5) 15 ноября						
5	-	-	0,49	0,39	0,66	0,51
6	-	-	0,45	0,39	0,73	0,52
7	1,09	1,22	0,59	0,25	0,73	0,78
8	1,19	1,22	0,47	0,26	0,73	0,77
9	1,29	1,06	0,58	0,09	0,75	0,75
10	-	1,08	0,45	0,08	0,69	0,68
Среднее по фактору	А5	1,19	1,15	0,51	0,24	0,72
	В1	-	-	0,83	0,41	0,74
	В2	-	-	0,89	0,42	0,84
	В3	0,94	1,23	0,96	0,35	0,88
	В4	1,11	1,25	1,17	0,33	0,96
	В5	1,05	1,12	1,08	0,27	0,85
В6	-	1,07	0,83	0,20	0,77	
НСР _{0,5} А	0,12	0,09	0,47	0,03	0,13	
НСР _{0,5} В	0,10	0,10	0,58	0,04	0,12	
НСР _{0,5} АВ	0,24	0,16	1,16	0,06	0,36	

Примечание. * – средние значения даны за 2018–2019 гг., ** – средние значения даны за 2016, 2018–2019 гг.

Таблица 3

Количество стручков в зависимости от сроков сева и норм высева, шт./растение

Норма высева (В), млн шт./га	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее
срок сева (А1) 15 сентября						
5	-	-	0	194,0	158,2	176,1*
6	-	-	0	161,0	144,8	152,9*
7	0	136,1	0	107,8	152,0	132,0**
8	0	125,9	0	95,5	145,2	122,2**
9	0	110,7	0	65,8	156,5	111,0**
10	-	94,2	0	63,5	144,2	100,6**
Среднее по фактору А1	0	116,7	0	114,6	150,2	
срок сева (А2) 30 сентября						
5	-	-	223,9	202,3	120,0	182,1
6	-	-	230,0	190,4	98,2	172,9
7	142	125,2	198,7	131,0	95,0	138,3
8	134	122,2	200,4	106,5	92,6	131,1
9	128	104,2	189,8	108,5	57,0	117,5
1	2	3	4	5	6	7
10	-	89,5	140,9	91,0	49,2	92,7
Среднее по фактору А2	134,7	110,3	197,3	138,2	85,3	
срок сева (А3) 15 октября						
5	-	-	202,8	37,3	165,7	135,3
1	2	3	4	5	6	7
6	-	-	208,2	29,5	142,0	126,6
7	140	127,0	179,8	22,8	138,3	121,6
8	135	124,9	159,9	24,2	136,5	116,1
9	130	99,7	158,6	22,7	103,6	102,9
10	-	89,9	133,3	17,5	97,1	84,5
Среднее по фактору А3	135,0	110,4	173,8	25,7	130,4	
срок сева (А4) 30 октября						
5	-	-	185,2	42,3	106,8	111,4
6	-	-	177,1	32,5	108,1	105,9
7	117	114,3	156,2	24,8	97,4	101,9
8	117	109,1	146,1	22,3	114,9	101,9
9	112	97,2	115,8	19,3	91,2	87,1
10	-	89,0	105,5	20,0	111,7	81,6
Среднее по фактору А4	115,3	102,4	147,7	26,9	105,0	
срок сева (А5) 15 ноября						
5	-	-	125,6	84,3	89,0	99,6
6	-	-	118,6	80,3	75,1	91,3
7	118	109,7	123,5	43,8	98,4	98,7
8	113	104,4	122,8	24,0	107,6	94,4
9	104	83,2	123,4	15,5	99,3	85,1
10	-	72,4	123,9	12,3	70,0	69,7
Среднее по фактору	А5	111,7	92,4	123,0	43,4	89,9
	В1	-	-	147,5	112,0	127,9
	В2	-	-	146,8	98,7	113,6
	В3	103,4	122,5	131,6	66,0	116,2
	В4	99,8	117,3	125,8	54,5	119,4
	В5	94,8	99,0	117,5	46,4	101,5
НСР ₀₅	В6	-	87,0	100,7	40,9	94,4
	А	8,2	8,0	7,3	10,7	5,5
	В	9,5	8,5	6,0	11,7	6,0
	АВ	16,5	15,5	14,6	26,3	13,4

Таблица 4

**Продолжительность межфазных и вегетационного периодов рыжика ярового
(среднее за 2019–2021 гг.)**

Срок сева	Продолжительность периодов вегетации, суток			
	посев- всходы	всходы- цветение	цветение- спелость	всходы- спелость
При первой возможности выхода в поле	16	45	52	97
3-я декада марта	14	46	54	100
1-я декада апреля	16	43	54	97

Определено, что наиболее высокая полевая всхожесть семян рыжика ярового достигается при раннем сроке сева – 62,7–66,3%, что обусловлено благоприятными условиями увлажнения почвы ко времени сева культуры (таблица 5).

При посеве в 3 декаде марта полевая всхожесть в зависимости от нормы высева снижается до 54,7–59,6%, в 1 декаде апреля – до 42,8–44,9%. Таким образом, более поздний сев способствует снижению полевой всхожести рыжика.

Таблица 5

Полевая всхожесть растений ярового рыжика

Срок сева	Норма высева семян, млн шт./га	Полевая всхожесть, %			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
1 срок (при первой возможности выхода в поле)	5	65,4	56,3	66,3	62,7
	6	66,6	56,8	66,1	63,2
	7	66,8	59,7	67,4	64,6
	8	67,9	61,3	68,5	65,9
	9	69,4	61,0	68,4	66,3
3-я декада марта	5	58,9	42,9	62,2	54,7
	6	59,9	43,6	64,2	55,9
	7	59,8	43,9	64,4	56,0
	8	63,2	45,6	66,3	58,4
	9	63,9	48,0	66,9	59,6
1-я декада апреля	5	46,9	34,9	46,6	42,8
	6	47,9	35,9	48,4	44,1
	7	48,2	36,0	48,9	44,4
	8	48,8	36,6	49,0	44,8
	9	48,9	36,0	49,9	44,9

Результаты наших исследований показали, что яровой рыжик в условиях степного Крыма малоурожаен. Так, наибольшая его урожайность была получена в 2019 г. при посеве в самый ранний срок – в среднем 6,36 ц/га (таблица 6). Урожайность семян при посеве во второй срок снизилась на 45,6%, в третий срок – на 72,6%. В условиях 2019 г. нормы высева не оказали влияния на этот показатель. В засушливом 2020 г. урожайность семян рыжика была очень низкой и максимального значения она достигла при посеве в 1-й срок – 2,58 ц/га, при посеве во 2-й срок она снизилась на 53,5%. Наиболее оптимальными номами высева при посеве культуры были 6–8 млн/га, что позволило получить в среднем по опыту 1,26–1,40 ц/га. Из контролируемых факторов, влияющих на урожайность, наиболее значимым был фактор А (срок сева), доля его влияния составила 0,96 %. Доля фактора В (норма высева) была незначительной – 0,03 %.

Необходимо акцентировать внимание, что в условиях 2020 г. урожайность семян рыжика ярового при посеве в 3-й срок сева не получена вследствие того, что на делянках этого срока сева растения не образовали в стручках семян. Мы предполагаем, что из-за жестких погодных условий (воздушной и водной засухи), произошла стерилизация цветков.

Несмотря на значительное количество осадков, выпавших за май и июнь 2021 г., урожайность рыжика также была низкой (таблица 6).

Известно, что рыжик яровой является засухоустойчивой культурой, который с момента прорастания до цветения предъявляет незначительные требования к влаге. Однако недостаток влаги в период цветения переносит плохо – сокращает период вегетации, образует мало побегов, в результате чего снижается продуктивность семян. Фаза цветения растений первых двух сроков сева в 2021 г. календарно пришлась на 1 декаду мая и продолжалась примерно 20 дней. Этот период характеризовался устойчивой жаркой погодой без осадков. Продолжительные дожди в период конец мая – июнь уже не оказали значительного влияния на урожайность культуры первых двух сроков сева.

Таблица 6

Урожайность ярового рыжика сорта Юбиляр в зависимости от срока сева

Срок сева (фактор А)	Норма высева семян, млн шт./га (фактор В)	Урожайность, ц/га			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
При первой возможности выхода в поле	5	5,2	2,3	2,6	3,4
	6	5,6	2,6	2,6	3,6
	7	7,4	2,9	2,9	4,4
	8	6,9	2,7	3,4	4,3
	9	6,7	2,4	3,1	4,1
Среднее по фактору А1		6,36	2,58	2,92	
3 декада марта	5	3,5	1,1	2,1	2,2
	6	3,5	1,3	2,4	2,4
	7	3,5	1,4	2,4	2,4
	8	3,4	1,1	2,9	2,5
	9	3,4	1,1	2,8	2,4
Среднее по фактору А2		3,46	1,20	2,52	
1 декада апреля	5	1,7	0,0	2,1	1,3
	6	1,8	0,0	2,1	1,3
	7	1,6	0,0	2,3	1,3
	8	2,0	0,0	2,4	1,4
	9	1,6	0,0	2,4	1,3
Среднее по фактору	А3	1,74	0,00	2,24	
	В1	3,46	1,13	2,26	
	В2	3,63	1,30	2,37	
	В3	4,16	1,40	2,53	
	В4	4,10	1,26	2,87	
	В5	3,90	1,16	2,76	
НСР ₀₅ А		0,45	0,11	0,02	
НСР ₀₅ В		$B = F_{\phi} < F_{0,5}$	0,14	0,02	
НСР ₀₅ АВ		$AB = F_{\phi} < F_{0,5}$	0,24	0,05	

Примечание. Посев ярового рыжика 1-го срока сева (при первой возможности выхода в поле) в 2019 г. был проведен 4 февраля, в 2020 г. – 2 марта, в 2021 г. – 6 марта.

Вследствие низкой полевой всхожести при посеве рыжика ярового в апреле (46–46%) урожайность, полученная при 3-м сроке сева, также была низкой. Еще одним значительным недостатком, приведшим к невысокой урожайности рыжика в 2021 г., была осыпаемость семян. Стоит отметить, что эта особенность проявилась на делянках со всеми сроками сева, и связана, вероятно, с погодными условиями.

Таким образом, рыжик яровой – малопродуктивная культура для Крыма. Проведенные исследования еще раз подтверждают, что Крым – зона озимого земледелия, и приоритет здесь должны иметь озимые и зимующие культуры, из капустных масличных – это озимый рыжик.

Анализ структуры урожая рыжика ярового показал, что высота растений и масса 1000 семян являются наиболее стабильными признаками, их коэффициенты вариации составили 4,6 и 4,9% соответственно. Остальные признаки характеризовались значительной изменчивостью, особенно число стручков на растении ($C_v=39,9\%$) (таблица 7).

Таблица 7

Показатели варьирования количественных признаков урожайности рыжика ярового при раннем сроке сева (при первой возможности выхода в поле) (среднее за 2019–2021 гг.).

Признак	min-max	\bar{X}	C_v , %
Высота растения, см	41,4–64,7	54,9	4,6
Число стручков на растении, шт.	61-174	129	39,9
Количество семян в стручке, шт.	7-14	8,1	11,6
Масса семян с 1 растения, г	0,79-1,61	1,13	31,8
Масса 1000 семян, г	0,96-1,16	1,08	4,9

Заделывают семена рыжика неглубоко – до 2–3 см, при пересыхании верхнего слоя почвы глубину заделки увеличивают до 4–5 см. В иностранных источниках указывается, что семена следует заделывать на глубину от $\leq 1,0$ до 3 см (Gesch R.W. et al., 2017).

Уход за посевами. В отличие от рапса и других крестоцветных, рыжик озимый практически не повреждается вредителями и болезнями. Польские ученые объясняют это выработкой растениями рыжика специальных фитоалексинов, которые выполняют защитную роль в фитоиммунитете культуры (Sobiech L. et al., 2020).

За время исследований в крымских условиях на посевах озимого и ярового рыжика отмечены только случаи в апреле–мае повреждения крестоцветными блошками (семейство листоедов). Это мелкие жуки длиной до 3,5 мм, надкрылья двуцветные – серые с желтой продольной полосой, или одноцветные, с металлическим блеском, черные, зеленоватые или темно синие. Задние ноги прыгательные. Личинки удлиненные, светло-желтые, с тремя парами грудных ног. Зимуют жуки под остатками растений, под опавшей листвой и в верхнем слое почвы. Выходят из мест зимовки рано весной, питаются на сорняках семейства крестоцветных, а затем, с появлением всходов культурных растений, переходят на них. Яйца откладывают в землю, личинки зимуют в почве, питаются мелкими корешками или объедая корнеплод у корневой шейки, не нанося существенного вреда. Яйцо развивается 3–12 дней, личинка – 15–30, окукливание в почве и развитие куколки длится 7–17 дней. Жуки нового поколения некоторое время питаются на различных крестоцветных и уходят на зимовку. Развиваются блошки в одном поколении. Повреждений озимого рыжика в условиях Крыма в осенний период не зафиксировано. Вредят жуки весной – выедают на листьях ткань небольшими участками в виде язвочек или выгрызают мелкие сквозные отверстия. Повреждения особенно опасны для всходов и в сухую жаркую погоду, когда жуки активны и прожорливы, а растения больше реагируют на повреждения. Тем не менее, их вредоносность на рыжике, по сравнению с другими культурами, невелика – в отдельные годы применение инсектицидов против них не проводили, а иногда использовали так называемый метод «ловчих растений», где в качестве приманки для вредителей по периметрам поля высевали рапс.

Из болезней рыжика в 2019 г. в Крыму проявилась белая ржавчина (*Albugo candida*) (рисунки 10, 11). Влажные погодные условия марта и апреля способствовали проявлению данной болезни, но она не наносит существенного вреда в нашей зоне, при условии, что постоянная относительная влажность воздуха не будет превышать 60 %. Белая ржавчина поражает листья, стебли, цветоносы, цветки и стручки. Особенно эта болезнь проявляет себя в период цветения: на верхней стороне листа появляются желтые пятна, а на нижней – формируются подушечки (пустулы гриба). На стеблях и цветоносах пустулы сливаются в виде длинных полос, стебли при этом могут искривляться. Возбудитель зимует на растительных остатках и весной при повышенной влажности воздуха возобновляет свое развитие. Из других болезней на рыжике возможны проявления ложной мучнистой росы (пероноспороз). Возбудитель болезни – гриб класса фикомицетов *Peronospora brassicaceae* Gaüm. При этом возможно поражение всех частей растений. На верхней стороне листьев и семядолей появляются расплывчатые бледно-желтые пятна, охватывающие целые листочки, а на нижней стороне пятен хорошо заметен белый рыхлый налет.



Рисунок 10 – Проявление белой ржавчины на листьях рыжика озимого (верхняя часть листа)



Рисунок 11 – Проявление белой ржавчины на листьях рыжика озимого (нижняя часть листа)

Больные растения отстают в росте, а развитию болезни способствует прохладная дождливая погода (Смирнов А.А. с соавт., 2014). Оптимальная температура для развития болезни – 10–15 °С. Интенсивное развитие заболевания происходит, в основном, после формирования стручков.

Если поражаются молодые стручки, они недоразвиваются, семена получаются щуплые, с низкой всхожестью или совсем не развиваются. Заболевание наиболее опасно при поражении на стадии всходов, при этом возможна гибель целых растений.

Поскольку рыжик озимый – новая и еще широко не распространенная культура в Крыму, потенциально опасными могут быть и другие вредители и болезни капустных, поэтому при его выращивании на производственных площадях следует проводить постоянный мониторинг на предмет выявления возможных вредоносных объектов.

Уход за растениями в условиях Крыма сводится к боронованию легкими боронами (на густых хорошо развитых посевах) и подкормке азотными удобрениями.

По данным Праховой Т.Я. (2022), в химическом составе зольных элементов растений рыжика азот преобладает над другими элементами, содержание которого в семенах и соломе рыжика достигает 4,57 и 1,12%, калия – 1,28 и 1,35% и фосфора – 0,85 и 0,18% (таблица 8).

Таблица 8

Среднее содержание и вынос элементов питания растениями рыжика озимого (2018–2020 гг.)

Элемент	Содержание элемента, % на сухое вещество		Вынос, кг/т		
	семена	солома	семена	солома	всего
N	4,57	1,12	45,72	22,42	68,15
P ₂ O ₅	0,85	0,18	8,53	3,69	12,22
K ₂ O	1,28	1,35	12,80	27,00	39,80

Одной из особенностей рыжика озимого является способность усваивать из почвы труднодоступные для других растений питательные вещества. При этом вынос элементов питания с урожаем рыжика небольшой. Больше всего растения рыжика с урожаем

выносят азот – 68,15 кг на 1 т основной и соответствующей продукции: из них 45,72 кг с семенами и 22,42 кг, соответственно, с соломой. Меньше всего растениями выносятся фосфор – всего 12,22 кг/т, в том числе с семенами (8,53 кг) и соломой (3,69 кг).

Несмотря на то, что рыжик считается нетребовательной к почвам культурой – может расти на легких и довольно бедных почвах (Буянкин В.И. и др., 2016), положительное действие азотных удобрений на его урожайность семян выявлено во всех природно-климатических зонах возделывания.

Так, в условиях северо-восточной Польши при внесении N 120 кг д.в-ва/га урожайность семян увеличивалась на 61% (Jankowski K.J. et al., 2020), а в Австрии увеличение нормы N с 60 до 130 кг/га способствовало получению прибавки на 30% (Agegnehu M. et al., 1996); минимальных норм азота (30 кг д.в-ва/га) было достаточно при выращивании рыжика на суходоле в различных регионах США (Putnam D.H. et al., 1996; Zubr J. et al., 1997). Согласно данным Malhi S.S. с соавторами (2014), в Румынии наиболее оптимальный уровень азотного питания сформировался при подкормке рыжика в дозе 100 кг д.-ва/га, в Ирландии – при 75 кг д.в-ва/га, в Чили – при 150 кг д.в-ва/га. Urbaniak et al. (2008) при выращивании рыжика в Труро в Нью-Йорке добились высоких урожаев при внесении азота в дозе 200 кг/га. В России в условиях Среднего Поволжья ранневесенняя подкормка озимого рыжика в дозе не менее 30 кг д.в-ва/га повышала урожай семян на 0,17 т/га (Прахова Т.Я., 2018).

Очевидно, что существенная разница в эффективности азотной подкормки обусловлена различными агрохимическими свойствами почв и погодными условиями. Urbaniak et al. (2008) утверждают, что при недостатке азота рыжик масличный формирует тонкие стебли, маленькие листья бледно-зеленого или даже бледно-желто-зеленого цвета.

Почва опытного поля НИИСХ Крыма, где располагались опыты, представлена южными слабогумусированными черноземами на желто-бурых лессовидных легких глинах. В среднем пахотный слой содержал подвижного фосфора – 5,6 мг/100 г, калия – 35,0 мг/100 г и легкогидролизуемого азота 2,2 мг/100 г почвы. Количество гумуса составило 2,6 %. Используя азотные удобрения в качестве подкормки весной в нашей зоне, следует знать, что вместе с положительным их эффектом в неблагоприятные по влагообеспеченности годы могут наблюдаться и негативные тенденции, а увеличение уровня азотного питания не всегда сопровождается адекватным приростом урожайности. Это связано с тем, что действие азота зависит от факторов внешней среды на протяжении всего периода вегетации растений и, в первую очередь, от влагообеспеченности.

Так, в условиях засухи 2018 г. изучение влияния норм азотных удобрений на урожайность семян рыжика озимого в Крыму показало лишь тенденцию к увеличению урожайности при внесении N₁₅ и N₃₀. При увеличении нормы азотного удобрения в дальнейшем происходило снижение урожайности до 2,1–3,4 ц/га (таблица 9).

Применение азотного минерального удобрения в 2019 и в 2020 гг. оказало положительное влияние на формирование урожая. Наибольшая урожайность маслосемян получена при внесении азота в дозах N₃₀–N₆₀, прибавка урожая в этом случае в 2019 г. составила 3,8–3,9 ц/га, в 2020 – 2,2–2,6 ц/га.

Таблица 9

Урожайность семян озимого рыжика при внесении азота в разных дозах в качестве подкормки (среднее за 2018–2020 гг.)

Доза N, кг д.в./га	Урожайность, т/га			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее за 3 года
Контроль	0,50	1,58	0,77	0,95
N ₁₅	0,51	1,62	0,80	0,98
N ₃₀	0,52	1,97	0,99	1,16
N ₄₅	0,34	1,96	1,01	1,10
N ₆₀	0,21	1,97	1,03	1,07
НСР ₀₅	0,02	0,10	0,04	

На рисунке 12 показано, что в условиях 2018 г. при внесении доз удобрений N₄₅ и N₆₀, растения находились в состоянии стресса – листовая аппарат почернел, отмечено резкое опадение листьев в период плодообразования. Таким образом, в засушливые годы в Крыму отрицательное действие засухи может сильнее проявиться на делянках с внесением азота N₄₅ и N₆₀ кг д.в-ва/га.

Анализ структуры урожая озимого рыжика показал, что количество стручков и масса семян с одного растения являются основными количественными признаками продуктивности культуры (таблица 10). Так, в среднем за 3 года при внесении азота в дозе N₃₀, N₄₅ и N₆₀ отмечено увеличение количества стручков на растении по сравнению с контролем на 20,4; 29,3 и 39,2 шт. соответственно. В этих же вариантах масса семян с 1 растения составила на 0,35 и 0,27 г больше, чем отмечено в варианте без внесения удобрений.



Рисунок 12 – Состояние растений рыжика озимого при внесении N₆₀ в качестве подкормки (10 мая 2018 г.)

Таблица 10

Влияние доз азотного удобрения на структуру урожайности озимого рыжика (2018–2020 гг.)

Уровень азотного питания, кг/га д.в.	Количество стручков, шт./растение	Количество семян в стручке, шт.	Масса семян с 1 растения, г	Масса 1000 семян, г
Контроль	140,2	12,6	1,40	0,87
N ₁₅	147,0	12,8	1,54	0,87
N ₃₀	184,6	12,5	1,75	0,88
N ₄₅	186,5	12,4	1,67	0,88
N ₆₀	189,8	12,5	1,67	0,87
НСР ₀₅	10,43	0,59	0,09	

Количество семян в стручке и масса 1000 семян изменялись по вариантам опыта незначительно. Вероятно, данные показатели выражены, в большей мере, генотипом сорта и мало зависят от приемов агротехники, в данном случае от применения удобрений.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что внесение N₃₀ в разные по погодным условиям годы было оптимальным, поскольку в этом варианте в острозасушливые годы не наблюдали снижение урожайности семян, а в благоприятные годы действие азота в дозе 30 кг по д.в-ва/га было равноценным внесению 45 и 60 кг д.в-ва/га. Следовательно, при организации рационального использования азотных удобрений для подкормки культуры важное значение должно придавать экономическому фактору, так как перед товаропроизводителем стоит задача не только повышать урожайность, но и добиться того, чтобы затраты на применение азотных удобрений окупились стоимостью прибавки. Для этой цели необходимо составлять ежегодные прогнозы, в основу которых

должны быть заложены цены, сложившиеся на удобрения и маслосемена, а также информация о долгосрочном прогнозе погоды.

Наши исследования показали, что подкормка азотными удобрениями также влияет на масличность семян. Если в контрольных вариантах без подкормки содержание жира в семенах по годам составило 34,8%, 39,9% и 33,0% соответственно, то при внесении удобрений этот показатель несколько уменьшался и варьировал в пределах: 33,6–34,6% в 2018 г., 38,2–39,5% в 2019 г. и 31,8–32,5% в 2020 г. (таблица 11).

Таблица 11
Масличность семян рыжика озимого в зависимости от доз азотного удобрения, %

Уровень азотного питания, кг/га д.в.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Контроль	34,8	39,9	33,0
N ₁₅	34,6	39,5	32,3
N ₃₀	33,6	39,4	31,9
N ₄₅	33,7	38,5	32,5
N ₆₀	33,6	38,2	31,8

Масличность сама по себе не может характеризовать уровень сбора масла с единицы площади. Валовой сбор масла определяется в большей мере урожаем семян. В среднем за годы исследований сбор масла с гектара варьировал значительно – от 0,10 т/га до 0,69 т/га. Наибольшего значения этот показатель достигал у рыжика озимого в 2019 г., когда при наиболее благоприятных погодных условиях сформировался высокий урожай семян (таблица 12).

Таблица 12
Сбор масла рыжика в зависимости от доз азотного удобрения, т/га

Уровень азотного питания, кг/га д.в.	Год			Среднее
	2018	2019	2020	
Контроль	0,15	0,56	0,23	0,31
N ₁₅	0,16	0,56	0,23	0,32
N ₃₀	0,16	0,69	0,23	0,36
N ₄₅	0,10	0,67	0,29	0,35
N ₆₀	0,06	0,67	0,29	

Борьба с сорной растительностью. Рыжик относится к той небольшой группе сельскохозяйственных растений, которая хорошо противостоит сорной растительности. Весной он быстро трогается в рост, значительно опережая сорняки. За 5 лет исследований в Крыму ни разу не было необходимости в применении гербицидов.

Несмотря на то, что в Австрии, Бельгии, Чехии, Германии, Голландии, Венгрии, Польше и Словакии не зарегистрировано ни одного действующего вещества для защиты растений *Camelina* от сорняков (Matyjaszczyk E., 2020), рыжик генерирует химические соединения, которые подавляют рост сорной растительности, тем самым сокращается или вовсе отпадает необходимость в применении химикатов. По мнению ученых, «гербицидное действие» рыжика краткосрочно и не влияет на урожай последующих культур (Dimitriu D., 2014).

Аллелопатические свойства рыжика были описаны в работах польских (Brijasak E. et al., 2020) и испанских (Royo-Esnal A., 2018) исследователей. По их оценкам, выращивание рыжика масличного в полусухом средиземноморском климате является прекрасным вариантом для подавления озимых сорняков. В то же время, необходимо подчеркнуть, что в Крыму без применения гербицидов можно вырастить только рыжик озимый. Яровые сорта не способны выдержать конкуренцию сорнякам!

В литературных источниках также имеется информация о том, что сорняки являются серьезной проблемой для выращивания *Camelina sativa* (рыжика ярового) (Leclère M. et al., 2020). Сообщалось, что как один из вариантов мер борьбы с сорняками в посевах с рыжиком на севере Франции предлагается увеличивать норму высева последнего, что способствует уменьшению биомассы сорной растительности.

В практических рекомендациях Смирнова А.А. с соавторами предлагается на поля, отводимые под рыжик, вносить заблаговременно гербицид сплошного действия (Раундап), что позволяет очистить поля от многолетних сорняков (Смирнов А.А. и др., 2014). В период вегетации, независимо от фазы культуры, авторы рекомендуют вносить гербициды на основе клопиралида (Лонтрел, Татрел).

УБОРКА УРОЖАЯ

Рыжик озимый в Крыму рекомендуется убирать прямым комбайнированием. К уборке рыжика приступают в фазе полной хозяйственной спелости, когда побуреют нижние стручки и семена в них затвердеют. Ко времени созревания листья опадают, и поле приобретает желто-бурый цвет (рисунок 13).

При уборке в более ранние сроки рыжик плохо обмолачивается, и отмечаются потери за счет семян, оставшихся в невымоленных стручках.

Не рекомендуется убирать в сырую погоду и по росе, так как семена его ослизняются, прилипают друг к другу.



Рисунок 13 – Поле рыжика, готовое к уборке

В литературных источниках часто указывается, что стручки рыжика не растрескиваются. В условиях Крыма это утверждение не всегда верно. Так, в отдельные годы, когда во время уборки культуры отмечаются резкие перепады дневных и ночных температур, происходило осыпание семян, что приводило к определенным потерям при уборке. Кроме того, что значительный урон посевам может нанести град, который периодически фиксируется в нашем регионе в июне месяце. Так, осадки в виде града, прошедшие летом 2020 г. накануне уборки рыжика (25 июня) в Раздольненском районе (с. Чехово), привели к значительному недобору урожайности семян – средняя урожайность составила 5 ц/га (ожидалась в 2 раза больше).

Рыжик, в отличие от других масличных культур, созревает равномерно, при этом имеет лёгкий обмолот, что дает возможность проводить уборку прямым комбайнированием. Когда доминируют влажные годы, рыжик рекомендовано убирать раздельно. Процесс уборки можно выполнять серийными зерновыми комбайнами (Уборка рыжика, электронный ресурс).

В отличие от озимого, яровой рыжик имеет большее количество сорных растений. Для него рекомендована раздельная уборка. Еще один недостаток у рыжика ярового –

быстрое осыпание. Поэтому для снижения потерь при обмолоте этой культуры как при прямом, так и при раздельном способе уборки, необходимо частоту вращения молотильного барабана понижать до диапазона 500–600 оборотов в минуту. Обязательно необходимо уменьшить до минимума частоту вращения вентилятора очистки. В дополнительной опции можно монтировать заглушки в кожухе вентилятора (Уборка масличных культур, электронный ресурс).

Процесс скоса выполняется в фазе полной спелости с влажностью семян рыжика 8–12%. Валковые жатки модели ЖВН-6А в основном применяют при скосе в свал. Для снижения потерь при скосе в свал необходимо устанавливать лопасти мотовила таким образом, чтобы наклон стеблевой массы к режущему аппарату обеспечивался с минимальными ударными нагрузками на неё самих лопастей. Дополнительно для смягчения ударного воздействия планок мотовила при низкорослом стеблестое необходимо на сами планки устанавливать прорезиненные ремни шириной 70–80 мм. Данное техническое решение уменьшит вымолот семян мотовилом жатки. Дополнительно необходимо снизить рабочую скорость движения комбайна до 8 км/час и сместить мотовило на 2–4 см назад и вверх. Рано скос рыжика выполнять не рекомендуется, иначе это может привести к снижению массы семян и, как следствие, уменьшению выхода масла на 15–25% (Культура возделывания рыжика, электронный ресурс). При прямом комбайнировании обмолот рыжика рекомендуется выполнять утром, вечером либо ночью. В этот период времени семена более устойчивы к осыпанию.

Наибольшее распространение для подбора и обмолота валков рыжика масличного получили комбайны «Нива», «Дон-091», «Енисей», «Дон-1500», «Claas», «New Holland». Все эти комбайны должны быть оборудованы специальными подборщиками и приспособлениями: РСМ-091.50 – подборщик предназначен для уборки крупяных культур, мелкосеменных масличных культур; ПКК-10 – приспособление, предназначенное для уборки крупяных и мелкосемянных масличных культур (Пронин В.М., 2013).

Приспособление РСМ-091.55 к комбайну «Дон-091» состоит из отдельных узлов, которые монтируются на комбайн. Они применяются в различных вариантах, в зависимости от убираемой культуры:

1. Накладка деки необходима для улучшения процесса вытирающего действия молотильного устройства и предотвращения сепарации. Дека состоит из стального листа с приваренными под определённым углом ребрами. Устройство закрепляется с помощью специальных упоров поверх подбарабана в его передней части.

2. Колодка терочная дополнительно дооборудуется к домолачивающему устройству. Она состоит из сменной крышки, которая оснащена терочным устройством.

3. Взамен нижнего жалюзийного решета комбайна устанавливается специальное решето пробивное с диаметрами 2,5–3,2 мм. Устройство снижает содержание сорной примеси в бункерной массе.

4. Для повышения производительности транспортирующих узлов молотилки в процессе уборки легкосыпучих семян устанавливается цепь-транспортёр зернового элеватора с ковшовыми скребками.

Для снижения потерь семян рыжика комбайн «Дон-1500» дооборудуют приспособлением ПКК-10. Данное приспособление состоит из контрпривода вентилятора, который понижает скорость воздушного потока, надставки деки с приводом домолачивающего устройства, которое необходимо для снижения количества травмированных семян. Дополнительно приспособление дооборудуют специальными подсевными решетками, надставкой стрясной доски и пробивным решето, которые необходимы для снижения процента засоренности бункерного зерна (Пронин В.М., 2013).

Существует еще одна проблема первичной переработки рыжика. В процессе его обмолота очень большое количество недомолоченных створок стручков попадают в бункер. При этом соотношение масс створок стручков к семенам может находиться в диапазоне 15–20%. На небольших площадях в среднем до 100 га данную проблему

очистки решают путем использования ОВС-25. Однако, если общая площадь достигает более 1000 га, суммарные потери на транспортировку и доочистку возрастают, чему способствует значительный выброс недомолоченных створок стручков рыжика из молотильно-сепарирующего устройства на копнитель.

Данную проблему частично решили ученые Всесоюзного НИИ масличных культур (Краснодар). Они разработали к комбайну СК-4 специальное приспособление модели 34-109 (ПГР). ПГР давало возможность снизить общие потери масличных семян рыжика посредством решетчатого стана. В результате произошло снижение травмирования семян до 1,2%, а также повышение чистоты обмолоченных семян в бункере до 98%. Процесс происходил следующим образом. В зависимости от условий уборки и уровня урожая устанавливались специальные съёмные решета. В поле производилась непосредственная регулировка вентилятора в зависимости от скорости ветра для снижения суммарного воздушного потока во избежание сдува семян в поле. Дополнительно, в первую очередь на стыках узлов между жатвенной частью и молотильно-сепарирующим устройством устранялись все щели во избежание возможных потерь семян в процессе их перемещения (Буянкин В.И., 2016).

Как показывает общая классификация потерь семян рыжика при его уборке их подразделяют на биологические и механические.

Для биологических потерь характерны: осыпание семян либо обламывание стручков, прорастание семян на корню или в валках, а также уменьшение урожая в результате воздействия вредителей грызунов и птиц. Для механических потерь характерны: потери за подборщиками при отдельной уборке, потери за молотилкой при обмолоте стеблевой массы рыжика. В качестве косвенных механических потерь можно отнести повреждение семян рабочими органами, что отрицательно будет влиять на устойчивость семян продолжительному хранению, а также на его товарные – масличные и посевные качества (Рекомендации по снижению потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая, 2012). Классификация видов потерь семян рыжика очень значительная (рисунок 14).

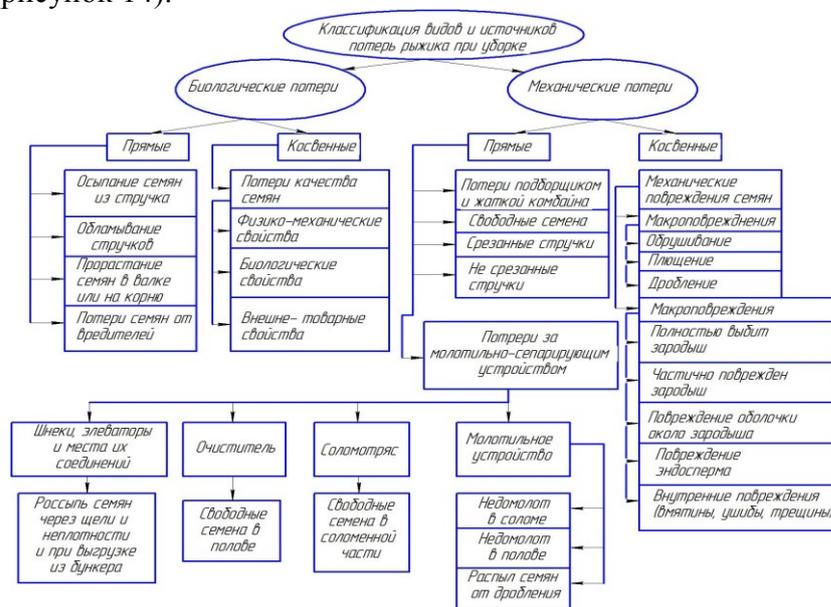


Рисунок 14 – Классификация видов потерь семян рыжика

Соотношение биологических и механических потерь может быть равным или превышать друг друга. Необходимо знать, что растягивание сроков уборки рыжика приведет к более значительному возрастанию прямых механических потерь в сравнении с биологическими. При этом все потери семян в поле в период уборки считаются невозвратными.

Анализ классификации основных факторов, влияющих на потери семян рыжика при его уборке, показал их взаимосвязь (рисунок 15) (Рекомендации по снижению потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая, 2012). Первый фактор – природные и климатические условия уборки рыжика. Данный фактор характеризует зональные особенности уборки рыжика (общее состояние погоды, рельеф убираемых полей). Все это предопределяет взаимосвязь всех остальных семи факторов. Со временем этот фактор может быть улучшен, в соответствии с регламентируемыми агротребованиями к условиям уборки рыжика.

Второй фактор – общее состояние агрофона, биологические особенности семенной массы, физико-механические свойства компонентов обмолачиваемого вороха. Этот фактор предопределяет создание такого агрофона, биологического состояния семян и физико-механических свойств семенной и стеблевой массы, которые должны быть адаптированы к механизированной уборке с минимальными потерями и травмированием.

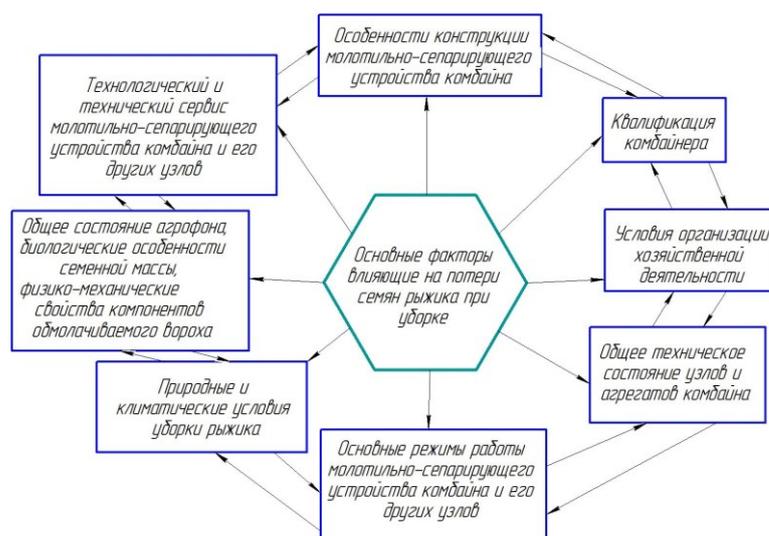


Рисунок 15 – Классификация основных факторов, влияющих на потери семян рыжика при его уборке

Третий фактор – технологический и технический сервис молотильно-сепарирующего устройства комбайна и его других узлов. Здесь мастер-наладчик совместно с комбайнером должны выбрать оптимальные технические и технологические регулировки узлов и агрегатов комбайна с учетом его конструктивных особенностей, обеспечения минимальных значений механических повреждений и потерь семян рыжика.

Четвертый фактор – особенности конструкции молотильно-сепарирующего устройства комбайна. Данный фактор характеризуется новыми перспективными конструктивными особенностями зерноуборочных комбайнов. Этот фактор взаимосвязан со всеми предыдущими факторами.

Пятый фактор – квалификация комбайнера. Он характеризует профессиональные индивидуальные качества и навыки работы комбайнера при уборке данной масличной культуры. Это фактор формирует прогрессивную систему взаимосвязей «Человек-комбайн-биологические особенности семенной массы».

Шестой фактор – условия организации хозяйственной деятельности. Здесь заложен фундамент всех восьми факторов, которые взаимодействуют между собой для достижения максимального положительного эффекта.

Седьмой фактор – общее техническое состояние узлов и агрегатов комбайна. Общее состояние, с коэффициентом оперативной технической готовности, достигающее 80% всех рабочих органов комбайна, является качественным залогом снижения механических повреждений семян рыжика и общих потерь при уборке.

Восьмой фактор – основные режимы работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна и его других узлов. В общем этот фактор совмещает в себе предыдущие факторы, обуславливающие оптимальный режим работы комбайна, который должен зависеть от общего состояния обмолачиваемой семенной массы с учетом особенностей конструкций отдельных узлов и агрегатов молотильно-сепарирующего устройства. Обязательно необходимо учитывать квалификацию комбайнера, которая практически всегда будет предопределять рациональный режим эксплуатации молотильно-сепарирующего устройства и комбайна в целом. Однако, как показывает анализ существующих исследований, необходимо более подробное рассмотрение всех мест потерь семян в комбайне. Для этого проанализируем обобщенную схему потерь семян рыжика в зерноуборочном комбайне (рисунок 16).

Итак, в жатвенной части в сочленении узлов «Стык транспортных лент» (1) возможна утечка смен в продольных зазорах между лентами подборщика. Устраняется данная проблема путем монтажа щитка, изготовленного из листовой стали толщиной 1,5–2 мм, высотой до 70 мм и длиной до 350 мм. Монтаж должен производиться над продольным зазором между лентами (Буянкин В.И., 2016).

В соединении «Подборщик жатка» (2) потеря семян рыжика происходит в проеме между нижней наклонной ветвью транспортера и нижним кожухом жатки. Между этими элементами конструкции существует зазор в поперечной плоскости диапазоном 60–70 мм. Данный зазор можно устранить путем монтажа в нижней части проема брезентового либо металлического фартука с шириной 500–600 мм по его всей длине.

Утечки семян в непроваренные щели, либо деформированные стыки и задиры возникают в соединениях «Жатка, каркас и днище» (3). Устранение данного дефекта возможно рихтовкой или заваркой поврежденных элементов конструкции. Дополнительно в полевых условиях используют замазку и пеноуплотнитель (Буянкин В.И., 2016).

В процессе перемещения семенного вороха шнеком жатки к камере наклонного транспортера происходит значительное сгруживание семян на днище в «Зоне пальцев шнека» (4) и их вынос пальцами в поле. Устранить такой конструктивный недостаток возможно двумя способами. Первый заключается в монтаже козырька над центральной частью шнека, который можно изготовить из брезента или из металла. Второй способ – это закрепление на шнеке перед пальцами упругих лопастей из изношенных ремней шириной 160 мм и длиной 800 мм (Буянкин В.И., 2016).

Большие потери семян либо стручков растений рыжика возникают благодаря их перебросу через «Заднюю стенку жатки» (5). Устранить данный дефект возможно установкой ветрового щитка из брезента либо тонкого листа металла по всей ширине задней стенки жатки. Также возможность выброса семян возникает в соединении верхней зоны «Жатка-наклонная камера» (6). Для устранения этой утечки необходимо в верхней части над щелью произвести монтаж упругого щитка, выполненного из брезента или резины. Он должен располагаться по всей ширине наклонной камеры.

В фартуке наклонной камеры, а точнее, в «Нижней зоне» (7), утечка семян рыжика происходит через зазоры. Поэтому обязательно необходимо проверять, и при необходимости выполнять установку плотно прилегающего фартука с использованием ветоши для её набивки в щели.

В «Боковых зонах» (8) щитка жатки так же происходит утечка семян через большие зазоры. Необходимо щитки отрихтовать, а там, где это не возможно, уплотнить специальной ветошью.

Через окна-пазы в «Натяжном устройстве транспортера» (9) наклонной камеры происходит утечка в местах регулировочных винтов, с двух сторон. Во избежание данных потерь необходимо изготовить заглушку окна-паза из пористой резины или губки.

«Днище и боковины» (10) наклонной камеры также имеют отверстия, через которые семена из-за своих размеров просыпаются на поле. Эти технологические шесть отверстий можно либо заварить, либо обработать пеноуплотнителем (Буянкин В.И., 2016).

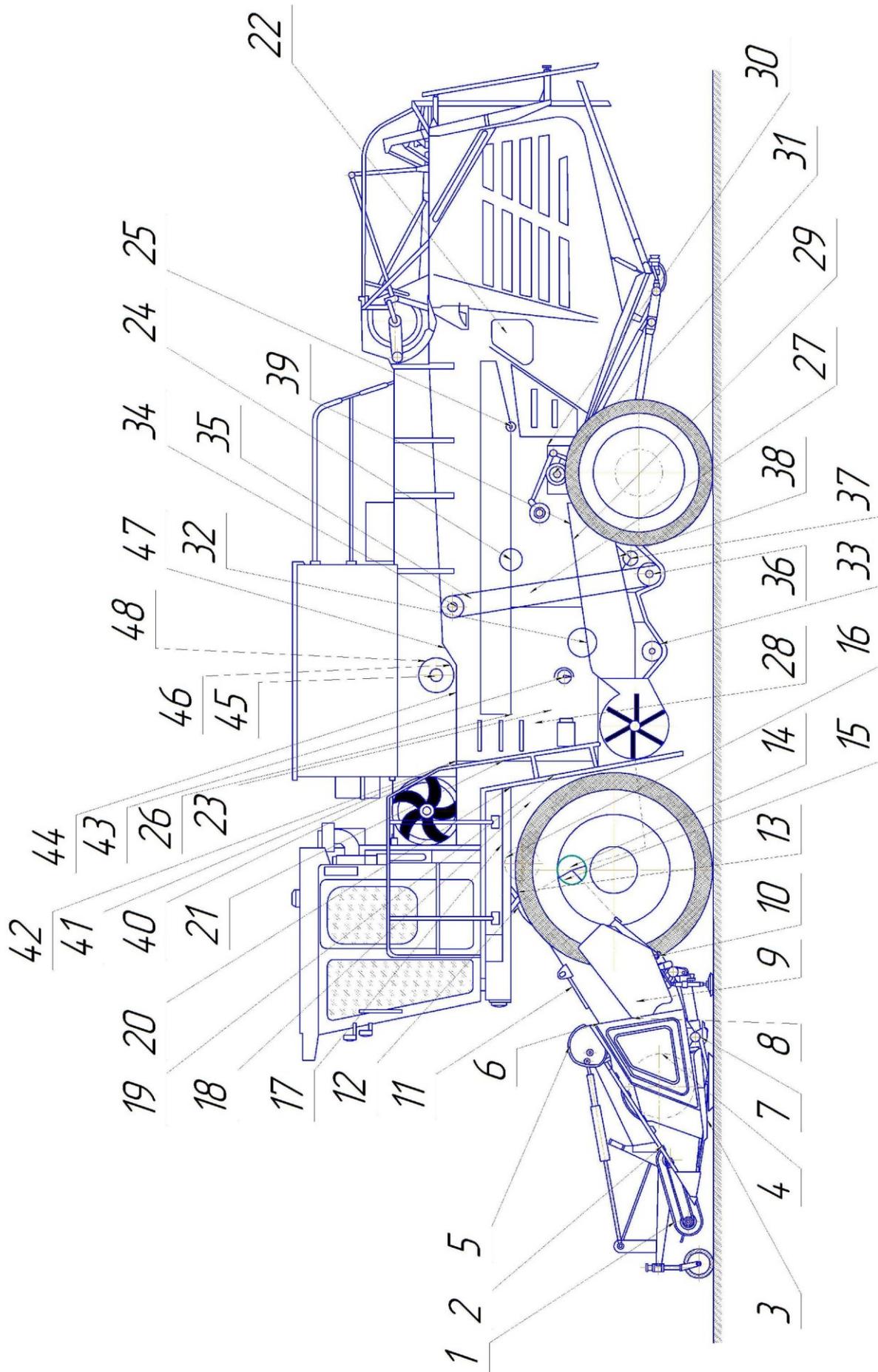


Рисунок 16 – Обобщенная схема потерь семян рыжика в зерноуборочном комбайне

Сверху наклонной камеры установлена «Крышка с наклонной осью» (11). Выброс семян происходит в процессе перемещения транспортером семенного вороха, из которого они выделяются и вылетают через неплотности по периметру крышки.

В соединении «Накладки камеры» (12) с «молотилкой–верхний стык» возможна утечка, вследствие погнутости стыковых элементов конструкции. Устранить дефект возможно рихтовкой и правкой стыковых элементов конструкции.

В зазорах «Боковых стыков» (13) также происходит утечка семян. Устранить этот дефект можно постановкой прорезиненных щитков и ветоши.

Особенно большие потери в «Нижнем стыке» (14) соединения наклонной камеры с комбайном. Для устранения утечки из-за неплотности соединения возможно монтажом щитка из резины либо металла под козырек на всю ширину наклонной камеры. Если ничего подобного нет, то можно использовать простую ветошь (Уборка рыжика, электронный ресурс).

Молотильный аппарат зерноуборочных комбайнов также имеет ряд конструктивных недостатков, которые очень сильно влияют на потери семян рыжика при его обмолоте. «Камнеуловитель» (15), расположенный перед молотильными барабанами, имеет неплотности, устранить которые возможно путем рихтовки корпуса либо закрытием соответствующих зазоров пеноуплотнителем.

В «Подшипниках приемного бitera» (16) имеются зазоры в боковинах, через которые семена в процессе своего перемещения выбрасываются из молотильного аппарата. Устранить данную проблему возможно путем наполнения соответствующих зазоров вязкой замазкой.

Утечка семян через зазоры «Капота окна барабана с осью» (17) происходит по периметру всей крышки. Устранить данную проблему можно либо рихтовкой самой крышки, либо постановкой пористой прокладки.

В молотильном аппарате имеются специальные «Смотровые люки» (18), позволяющие наблюдать за процессом обмолота. Однако в шести люках могут наблюдаться неплотности. Их устраняют путем рихтовкой люков, замазкой, нанесением пеноуплотнителя (Буянкин В.И., 2016).

У подбарабання имеются соответствующие валы. Здесь утечка семян происходит посредством четырех «Окон-пазов» (19). Для устранения утечки необходимо использовать соответствующий щиток.

В процессе интенсивного обмолота семена рыжика, выделяемые из створок стручков, получают большое инерционное ускорение в основном в направлении вращения барабана, но и в других направлениях тоже. В частности, семена могут попадать в зону «Подшипников барабана» (20). Здесь утечка может происходить через зазоры размером 2–3 мм по обеим сторонам комбайна. Для предохранения таких потерь необходимо использовать либо вязкую замазку, либо пеноуплотнитель.

В зоне соломотряса также возникают большие потери семян рыжика. Здесь потери возникают в местах нахождения «Подшипников отбойного бitera» (21). С двух сторон комбайна имеются боковины, в которые вмонтированы подшипники с определённым зазором. Данный зазор не рассчитан на уборку таких мелкосемянных культур. Поэтому предотвращение утечки семян в подобных местах также рекомендуется устранять вязкой замазкой либо пеноуплотнителем.

В процессе работы клавишного соломотряса на четырех клавишах происходит выброс семян через их «Торцовые отверстия» (22). Для устранения данного дефекта необходимо выполнить закрытие отверстий накладкой, выполненной из прорезиненного материала.

В «Зоне под клавишами» (23) происходит значительный выброс семян из молотильного аппарата. Для устранения необходимо производить монтаж ветрового фартука, выполненного из брезента по всей ширине рабочей зоны камеры.

Также в этой зоне имеются дополнительные «Смотровые люки» (24). Они необходимы для визуального осмотра на наличие повреждений клавишного соломотряса. Однако через неплотности в данных смотровых люках семена просыпаются наружу. Предотвращение этих потерь возможно путем рихтовки, уплотнением замазкой или пеной (Уборка масличных культур, электронный ресурс).

«Подшипники валов соломотряса» (25) испытывают значительные переменные динамические нагрузки. Из-за этого у них возникают значительные зазоры по обеим сторонам комбайна. Через эти зазоры в 10–20 мм семена рыжика легко выносятся наружу. Закрытие данных зазоров возможно путем нанесения пеноуплотнителя.

У переднего вала клавишного соломотряса имеется «Смотровой люк» (26). Если он прилегает неплотно, возможна утечка семян. Устранить данный дефект возможно рихтовкой либо вязкой замазкой или пеноуплотнителем.

Отливы стрясной доски «Грохота» (27) имеют зазоры между боковинами комбайна. Через данные зазоры происходит утечка семян. Во избежание потерь в этой зоне необходимо выполнить рихтование и подготовку отливов к работе с данной мелкосемянной культурой.

Для устранения утечки семян в стыковом соединении «Стрясной доски и верхнего решета» (28) через его неплотности необходимо произвести подгонку стыка до минимальных размеров.

Через зазоры «Смотровых люков грохота» (29) утечка семян происходит в результате значительных зазоров. Устранить данные зазоры необходимо вязкой замазкой или пеноуплотнителем.

«Удлинитель верхнего решета – грохота» (30) имеет неплотности. Через них семена просыпаются вниз. Чтобы избежать утечки семян в этих местах, необходимо поверх неплотностей наклеить накладки из резины.

У решетного стана также имеются «отливы» (31), как и у «грохота». Через их неплотности семена рыжика просыпаются наружу. Поэтому во избежание потерь необходимо отливы рихтовать или подгонять.

«Люки решетного стана» (32) позволяют своевременно определить неисправности в системе очистки семенного вороха и их устранить. Однако и у них самих есть дефекты – неплотности. Борьба с неплотностями заключается в своевременной подгонке люков либо закрытии зазоров специальной вязкой замазкой (Буянкин В.И., 2016).

Для перемещения семян в комбайнах предусмотрены специальные шнеки и элеваторы. Их основными функциями являются перемещение домолоченных семян в семенной бункер или перемещение недомолоченных семян на их домолот и затем опять в семенной бункер.

Здесь утечка семян возможна в «Нижних и верхних головках элеваторов» (33). Она возникает в результате неплотности в данных головках. Для исправления такого дефекта необходимо отрихтовать стыки корпуса головки элеватора и последующее закрытие зазоров соответствующей замазкой.

В «Распределительном шнеке» (34) утечка семян возможна через неплотности. Устранить дефект возможно замазкой или пеноуплотнителем.

Между корпусом элеватора и «Щитком зернового колосового шнека» (35) утечка происходит через зазоры. Для исправления этого дефекта необходимо своевременно произвести подгонку данных щитков и закрыть неплотности соответствующей замазкой.

В кожухе молотилки возможна потеря семян через зазоры. Поэтому, в «Зерновом шнеке и его кожухе» (36), соединенным с кожухом молотилки, необходимо монтировать уплотняющий щиток из прорезиненного материала с его подгонкой по месту.

У элеваторов для оценки качества перемещения очищенного семенного материала имеются специальные «Смотровые люки» (37). В результате различных вибраций, ударов и других видов динамических нагрузок в люках возникают деформации – погнутости.

Данные дефекты способствуют выбросу семян наружу. Поэтому люки необходимо своевременно рихтовать и подгонять по месту с обработкой вязкой замазкой.

Самым важным технологическим процессом выделения семян из листостебельной массы является обмолот. Он выполняется молотильным аппаратом, который находится почти в середине комбайна. При обмолоте семян возникают значительные ударные нагрузки, которые вызывают вибрации. Такие негативные явления приводят к ослаблениям «Креплений каркаса и опор корпуса» (38) молотильного аппарата. В ослаблениях болтовых соединений опор возникают зазоры, которые также приводят к потерям. Необходима своевременная перетяжка болтовых соединений.

Наличие большого количества «Угловых соединений» (39), между которыми из-за деформаций защитных кожухов возникают неплотности, также приводящие к потерям семян. Такие неплотности в соединениях устраняются заваркой или нанесением замазки.

В «Местах соединений листов боковин с уголком» (40), также происходит просыпание семян через неплотности в соединениях. Данная проблема может решаться с использованием сварки либо закрытием неплотностей непосредственно замазкой.

Утечка семян рыжика происходит с обеих сторон комбайна в зазорах «Подшипников половонабивателя и боковых корпусов» (41). В этих местах необходимо производить монтаж накладок из резины, ткани или закрытие пеноуплотнителем (Уборка рыжика, электронный ресурс).

Также в процессе изготовления комбайна часто обнаруживаются зазоры между «бункером каркасом и кожухом» (42) из-за непроваров стыков, через которые семена в процессе своего перемещения выносятся наружу. Такие зазоры необходимо закрывать вязкой замазкой.

В соединении «Шнека с бункером» (43) происходит потеря семян в результате наличия такого дефекта, как неплотности соединения. Устранить такие зазоры необходимо, применив вязкую замазку.

В корпусах шнеков имеются специальные «Сливные отверстия» (44). В таких соединениях потеря семян происходит через щели между шплинтом и кромками отверстий. Устранение данного дефекта возможно при использовании вязкой замазки (Буянкин В.И., 2016).

В выгрузном шнеке имеется «Патрубок» (45) (рисунок 16), где выброс семян происходит через неплотности по периметру самого патрубка. Закрываем неплотности замазкой.

Потери семян рыжика возникают в «Стыке шнека с патрубком» (46) (рисунок 16) в результате образующихся неплотностей, расположенных по периметру патрубка. Используем вязкую замазку для закрытия неплотностей.

В «Накладке и ковше» (47) также из-за непровара возникают зазоры, через которые происходит потеря семян рыжика. Их также необходимо устранить вязкой замазкой.

В процессе работы шнека семена рыжика перемещаются по всему периметру внутренней полости кожуха шнека. В результате в зоне верхней головки шнека происходит разброс, который и приводит к соответствующим потерям. Для устранения такого дефекта необходимо производить соответствующий монтаж ветрового рукава, изготовленного из брезента длиной не менее 1 метра (Пронин В.М., 2013).

Если должным образом не произвести герметизацию комбайнов в соответствии с обобщенной схемой потерь семян рыжика, то они могут возрасти до 50% от общего урожая семян. Для герметизации можно использовать также рекомендуемый заводом-изготовителем промышленно изготавливаемый комплект деталей и прокладок. Если завод не поставляет такие изделия, то необходимо использовать подручные материалы, с помощью которых можно проводить заделку щелей пенополиуретаном, чтобы закрыть каналы просыпания зерна (Горшенин В.И. и др., 2006).

Можно применять брезент, поролон, губчатую резину, прорезиненную ленту и другие доступные материалы. Дополнительная герметизация комбайна может

выполняться с использованием специального клея или дополнительных болтовых соединений.

Для проверки комбайнов на герметичность применяют два этапа: на стационаре при окончании подготовки комбайна к уборочным работам и при самой работе комбайна, но в загоне. Для своевременного и качественного определения герметичности и мест просыпания семян рыжика на стационаре комбайн необходимо установить на брезент. Брезент должен покрывать всю площадь от стыка корпуса подборщика, жатки с наклонной камерой до управляемых колес комбайна. При этом сходы с очистки, а также с соломотряса попадать на брезент не должны.

На жатвенную часть вручную равномерно необходимо подавать стеблевую часть с коробочками и семенами рапса из расчета 1 кг семян на 1,5 кг стеблевой части. Заранее необходимо отключить привода для режущего аппарата и мотовила. Обязательно необходимо максимально вверх приподнять. Во время проведения проверки общее количество подаваемой массы не должно быть менее 200 кг. Общее время, затрачиваемое на подачу, должно варьироваться 40–60 секунд (Горшенин В.И. и др., 2006).

По окончании прохода подаваемого сырья необходимо определить и устранить все места утечки семян на разложенный брезент.

Общие потери семян через оставшиеся неплотности не должны быть более 0,1% от их общей массы, поступившей вместе со стеблевой частью.

При проведении соответствующей проверки герметичности комбайна в полевых условиях необходимо непосредственно перед самым заездом в загонку, под молотилку и наклонную камеру жатки подвесить брезент. Далее комбайн намолачивает в бункер определенное количество семян рапса.

После намолота выгружаем из бункера семена и взвешиваем. Отдельно взвешиваем семена, просыпавшиеся на брезент. Общие потери семян рапса через неплотности в сопряжениях комбайна при его полной нагрузке не должны быть более 0,1% (Горшенин В.И. и др., 2006). Очень важно данную методику устранения дефектов для минимизации потерь семян применять в устаревших моделях эксплуатируемых или восстановленных комбайнов. Современные отечественные и зарубежные комбайны практически не нуждаются в дополнительных мерах воздействия на свои конструкции с целью избегания потерь. Заблаговременно необходимо выполнить соответствующие настройки всех узлов и агрегатов под убираемую эфиромасличную культуру.

Рассмотрим более подробно линейку современных комбайнов, которые рекомендуются для уборки мелкосемянных масличных культур. РСМ-181 TORUM-740 (рисунок 17).



Рисунок 17 – Общий вид зерноуборочного комбайна РСМ-181 TORUM-740 [59]

Данный комбайн с дополнительной платформой-подборщиком, а также комплектом сменных частей может выполнять уборку мелкосемянной масличной крестоцветной культуры.

Комбайн TUCANO 450 КЛААС (рисунок 18) с дополнительной платформой-подборщиком RAKE UP, предназначенной для подбора и обмолота валков при раздельной уборке, и специальными приспособлениями с дополнительным оборудованием для изменения режимов работы молотильного устройства и системы очистки рекомендован для уборки масличных культур, а также семенников трав, рапса и сои.



Рисунок 18 – Общий вид зерноуборочного комбайна TUCANO 450 CLAAS [59]

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОРТОИСПЫТАНИЕ СОРТОВ РЫЖИКА

Сорт – важный ресурс повышения урожайности культуры. В одних и тех же почвенно-климатических условиях и при одинаковой агротехнике зачастую получают различные урожаи только потому, что были посеяны различные сорта.

По мировым подсчетам уровень повышения урожайности за счет внедрения новых сортов может увеличиться до 50%. Селекция не стоит на месте, появляются новые, наиболее адаптированные к конкретным условиям сорта. В руках агронома сорт – мощный рычаг, влияющий на увеличение урожайности. Важно отметить, что качество получаемого урожая, в зависимости от сорта, также различается.

В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, включены 7 сортов озимого рыжика (таблица 13). В основном это сорта, полученные методами классической селекции, то есть путем отбора лучших растений и скрещиванием между собой.

Таблица 13

Оригинаторы сортов озимого рыжика

Сорт	Оригинатор
Пензяк	ФГБНУ «Пензенский НИИСХ»
Козырь	ФГБНУ «Пензенский НИИСХ»
Карат	ФГБНУ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта»
Передовик	ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы»
Барон	ФГБНУ «Пензенский НИИСХ»
САГ 2014	ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы»
Адамас	ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы» ООО ВП «Покровское»; Жужукин Валерий Иванович

Сорт *Пензяк* наиболее старый, хорошо зарекомендовавший себя по всем зонам возделывания культуры сорт. Раннеспелый, обладает высокой зимо- (92–97%) и морозостойкостью (95–99%). Масличность семян – 38–40%. Семена мелкие, масса 1000 семян составляет 0,9–1,2 г. Устойчив к засухе, осыпанию на корню и полеганию.

Козырь допущен к использованию по всем зонам возделывания озимого рыжика. Сорт раннеспелый, зимостойкость высокая – 94–97%. Содержание жира, как правило, варьирует в пределах 39,0–40,5%. Масса 1000 семян 1,2–1,4 г. Устойчив к засухе, осыпанию на корню и полеганию.

Барон включен в Госреестр по Российской Федерации по всем зонам возделывания культуры с 2016 г. Обладает высокой зимостойкостью, устойчив к мучнистой росе, осыпанию, засухе. Масличность семян 40,0–40,5%. Довольно крупные семена – масса 1000 семян – 1,60–1,65 г.

Карат содержит в своих семенах до 40,2% жира. Обладает высокой зимостойкостью, устойчив к мучнистой росе, полеганию, засухе.

Передовик включен в Госреестр по Российской Федерации по всем зонам возделывания культуры с 2015 г. Содержание жира – 38,8–43,2% (эруковой кислоты в масле – 0,90–2,99%). Осыпаемость слабая. Полегаемость слабая. Зимостойкость высокая. Устойчив к мучнистой росе и альтернариозу.

САГ 2014 – масличность семян, согласно данным оригинатора – 43,1–48,0%. Содержание эруковой кислоты в масле – 1,63%, глюкозинолатов в шроте – 22,7 мкмоль/г. Масса 1000 семян 1,1–1,4 г. Зимостойкость высокая. Устойчив к вредителям крестоцветных культур. Устойчив к полеганию, осыпанию, засухе.

Адамас содержит в своих семенах жира – 43,9–44,5% (эруковой кислоты в масле – до 2,94%), глюкозинолатов в шроте – 20,4 мкм/г. Масса 1000 семян – 1,3–1,4 г. Зимостойкость высокая. Устойчив к вредителям крестоцветных культур. Устойчив к полеганию, осыпанию, засухе. Пригоден к механизированной уборке.

Наиболее урожайными в условиях Крыма являются сорта Пензяк, Адамас, Карат и Барон (рисунок 19).

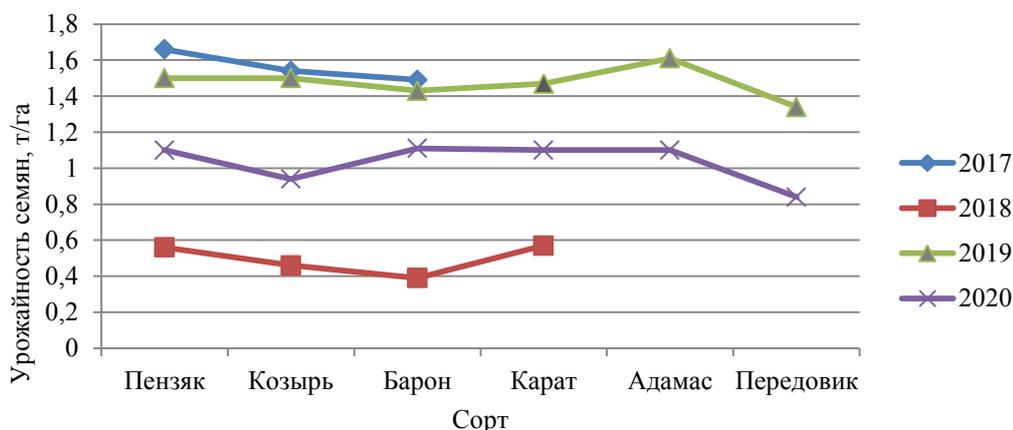


Рисунок 19 – Урожайность сортов рыжика озимого в полевых опытах (с. Клепинино, Красногвардейский район, РК)

Примечание. НСР₀₅ в 2017 г. = 0,10; НСР₀₅ в 2018 г. = 0,05; НСР₀₅ в 2019 г. = 0,09; НСР₀₅ в 2020 г. = 0,05.

Масличность семян зависит, в первую очередь, от погодных условий. Наибольшей она была в 2017 г. в условиях достаточного влагообеспечения и варьировала по сортам от 41,25 до 43,90%, а наименьшей – в 2018 г. – 33,90–35,60% (таблица 14).

Выход масла зависит, главным образом, от урожайности. Наибольший показатель по этому параметру был отмечен в 2017 г. – выход масла сортов рыжика варьировал в пределах 0,58–0,61 т/га, а наименьший в 2018 г. – всего 0,12–0,18 т/га.

В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, вошли яровые сорта рыжика: ВНИИМК-520, Омич, Чулымский, Юбиляр, Ужурский, Екатерининский, Исилькулец, Дебют, Кристалл, Велес, Вилла (таблица 15).

Таблица 14

**Масличность семян сортов озимого рыжика и выход масла
(с. Клепонино, Красногвардейский район, РК)**

Сорт	Масличность, %				Выход масла, т/га			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Пензяк	41,25	33,90	39,54	34,90	0,61	0,17	0,53	0,34
Козырь	43,50	33,60	39,09	35,80	0,60	0,14	0,52	0,30
Барон	43,90	35,60	39,72	35,40	0,58	0,12	0,51	0,35
Карат	-	35,31	40,36	34,51	-	0,18	0,53	0,34
Адамас	-	-	39,74	35,60	-	-	0,57	0,35
Передовик	-	-	38,79	34,30	-	-	0,46	0,26

Таблица 15

Оригинаторы сортов ярового рыжика

Сорт	Оригинатор
ВНИИМК-520	ФГБНУ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта»
Омич	Сибирская опытная станция масличных культур ФГБНУ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта»
Юбиляр	ФГБНУ «Пензенский НИИСХ»
Дебют	ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы»
Чулымский	ФГБУН «Сибирский Федеральный научный Центр агробиотехнологий РАН»
Исилькулец	Сибирский филиал ВНИИМК и НПО «Масличные культуры»
Екатерининский	ФГБНУ «Федеральный НИИ Центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» и Екатеринбургская ОС ВИР
Ужурский	Институт биофизики СО РАН, ФГОУ ВПО «Сибирский Федеральный университет», ФГБУН «Сибирский Федеральный научный Центр агробиотехнологий РАН»
Вилла	CAMELINA COMPANY ESPANA S.L. <i>*Источник: https://dacha-dacha.ru/company/1211 Адрес оригинатора: VIA LIMITE 7, ZIP CODE 28029. MADRID-SPAIN</i>
Велес	ФГБНУ «Пензенский НИИСХ» <i>*Источник: https://dacha-dacha.ru/sorta/ryzhik-yarovoj/atoll</i>
Кристалл	ФГБНУ «ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта»
Атолл	ФГБНУ «Российский НИПТИ сорго и кукурузы», ООО ОВП «Покровское», Жужукин Валерий Иванович

Юбиляр – первый яровой сорт, созданный для всех зон возделывания культуры. Сорт раннеспелый. Содержание жира в семенах до 40,1%. Семена крупные, масса 1000 семян до 2,0 г. Устойчив к засухе и полеганию. Слабо поражается крестоцветными блошками. Созревает дружно.

Велес – сорт раннеспелый, содержание жира в семенах – 41,0–41,5%, содержание эруковой кислоты – 1,64%. Масса 1000 семян – 1,39–1,45 г. Сорт обладает устойчивостью к засухе и полеганию. Устойчивость к полеганию – 4,9 балла, к осыпанию – 4,7 балла, к засухе – 4,7 балла.

Омич – среднеспелый сорт, с содержанием жира в семенах до 42,2%, эруковой кислоты в масле – 2,48%. Масса 1000 семян средняя. Сорт устойчив к полеганию, среднеустойчив к засухе. Скороспелый, хорошо приспособлен к природно-климатическим условиям Сибири. Скороспелость сорта дает возможность проводить уборку рыжика на 15–20 дней раньше зерновых культур. Растения этого сорта в неблагоприятные для роста и развития годы поражаются белой ржавчиной до 10%, но лабораторная всхожесть и качество семян не ухудшается. Пригоден для выращивания семян с целью получения пищевого растительного масла и жмыха (шрота) для кормления животных. Масса 1000 семян – 1,3–1,4 г. Во влажные годы, при высоте растений более 90 см устойчив к полеганию. Среднеустойчив к засухе, устойчив к повреждению вредителями, дружно созревает, пригоден к механизированной уборке.

Вилла – включен в реестр в 2017 г. Содержание жира в семенах – 39,22%. Содержание эруковой кислоты в масле – 3,25 %, аллилового масла – менее 20 мкм/г,

глюкозинолатов в шроте – менее 20 мкм/г. Масса 1000 семян – 1,03–1,28 г. Устойчив к вредителям крестоцветных культур. Устойчив к полеганию, осыпанию, засухе. Пригоден к механизированной уборке.

Исилькулец внесен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию в производстве по всем зонам возделывания культуры с 1996 г. Сорт скороспелый. Растения этого сорта в неблагоприятные для роста и развития годы поражаются белой ржавчиной до 20%, в результате чего несколько снижается урожайность, но всхожесть и качество семян не ухудшаются. Пригоден для выращивания семян с целью получения пищевого растительного масла и жмыха (шрота) для кормления животных. Масличность семян – 42,0–44,0%, имеет улучшенный жирно-кислотный состав масла и повышенную устойчивость к белой ржавчине. По содержанию олеиновой кислоты в масле сорт превышает существующие сорта рыжика на 2–4%, а эруковой кислоты содержит меньше на 2–3%. Семена красновато-коричневые, овальные. Масса 1000 семян – 1,3 г. Во влажные годы, при высоте растений более 90 см, возможно слабое полегание. Среднеустойчив к засухе, устойчив к поражению вредителями, дружно созревает, пригоден к механизированной уборке.

Дебют – включен в Государственный реестр селекционных достижений для зон возделывания культуры для возделывания на семена. Масса 1000 семян – 1,3 г. Содержание жира – 44,3%. Содержание эруковой кислоты – 2,97%. По данным заявителя, устойчив к вредителям и основным болезням крестоцветных культур. Устойчив к полеганию, осыпанию, засухе.

Чулымский – низкоэруковый сорт – 1,4–2,0%. Масса 1000 семян 1,9 г. Содержание жира в семенах – 37,6–43,6%, белка – 22–29%, йодное число – 145–147. Устойчивость к полеганию и осыпанию – 5 баллов.

Екатерининский включен в Госреестр по Российской Федерации для зон возделывания культуры. Сорт 0-типа. Содержание эруковой кислоты в масле – 1,2%. Масса 1000 семян средняя. Содержание жира в семенах – 31,5%. Устойчив к полеганию и осыпанию. Тип развития – яровой. По данным заявителя, болезнями не поражен.

Ужурский – содержание жира в семенах – 36–40%. Содержание эруковой кислоты в масле – 1,2%. Масса 1000 семян – 1,35 г. Устойчив к полеганию. Пригоден к механизированной уборке, технологичный. В полевых условиях незначительно поражен болезнями.

ВНИИМК-520 рекомендован к возделыванию в Западно-Сибирском (10) и Восточно-Сибирском (11) регионах. Устойчив к полеганию, к засухе, поражению вредителями и болезнями. Масса 1000 семян – 0,9–1,3 г. Используется для получения пищевого и технического масла, а также высокопитательного жмыха (после тепловой обработки). Содержание масла в семенах – 39–44%, эруковой кислоты в масле – 4,2%. Урожайный, технологичный.

Кристалл. Масличность семян – 40,5%, отличается повышенной толерантностью к основным патогенам, большей устойчивостью к полеганию, выравненностью растений по высоте, дружности цветения и созревания. Масло, получаемое из семян сорта Кристалл, содержит 3,0% эруковой кислоты и может использоваться на пищевые и технические цели. Содержание глюкозинолатов в семенах нового сорта составляет 11–12 мкмоль/г. Жмых и шрот являются высококачественным белковым кормом для животных.

Атолл включен в Госреестр в 2017 г. для всех зон возделывания культуры с целью использования на маслосемена. Содержание жира в семенах – 43,1–44,7%. Содержание эруковой кислоты в масле – 2,87 %, глюкозинолатов в шроте – 24,3 мкм/г. Масса 1000 семян – 1,3–1,4 г. Устойчив к вредителям крестоцветных культур. Устойчив к полеганию, осыпанию, засухе.

Результаты экологического сортоиспытания показали, что урожайность сортов ярового рыжика в Крыму довольно низкая – в среднем от 2,0 до 4,2 ц/га (таблица 16).

Наибольшую урожайность семян сформировал сорт Юбиляр в 2019 г. (индекс условий среды составил 2,32) – 7,4 ц/га. При этом экологическая пластичность сорта Юбиляр значительно выше единицы – $b_i=1,31$, что говорит об интенсивности сорта и требовательности к условиям выращивания.

Наиболее стабильным и пластичным сортом в условиях степной зоны Крыма следует считать ВНИИМК 520 – $b_i=0,95$, $\sigma_{dr}^2=0,06$.

Таблица 16

Результаты экологического сортоиспытания ярового рыжика

Сорт	Урожайность, ц/га				Экологическая пластичность (b_i)	Стабильность (σ_{dr}^2)
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее		
среднерусский тип						
Юбиляр	7,4	2,7	2,6	4,2	1,31	0,68
Велес	5,6	1,8	2,1	3,2	1,02	0,14
сибирский тип						
Омич	3,5	0,5	2,0	2,0	0,69	0,46
южный тип						
Кристалл	5,1	1,8	2,0	3,0	0,89	0,14
ВНИИМК 520	5,0	1,2	2,3	2,8	0,95	0,06
НСР ₀₅	0,31	0,13	0,13			
Индекс Ij	2,32	-1,56	-0,76			

Масличность сортов ярового рыжика, выращенного в Крыму, в среднем за 3 года исследований варьировала в пределах 37,41–42,64% (таблица 17). При этом по содержанию жира выделился сорт Омич, масличность которого варьировала от 41,35 до 44,63%.

Следует отметить, что условия 2021 г. были наиболее благоприятны для накопления жира в семенах, и его содержание по всем сортам превысило характеристики, заявляемые учреждениями-оригинаторами.

Таблица 17

Масличность рыжика ярового, %

Сорт	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Юбиляр	37,47	33,55	41,20	37,41
Велес	36,89	36,12	42,71	38,57
Омич	41,35	41,94	44,63	42,64
Кристалл	39,75	36,64	44,26	40,22
ВНИИМК 520	38,41	36,80	44,57	39,93

Вследствие невысокой урожайности выход масла ярового рыжика также низкий – в среднем он составил 0,76–1,41 ц/га (таблица 18).

Таблица 18

Сбор масла рыжика ярового, ц/га

Сорт	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Юбиляр	2,47	0,81	0,95	1,41
Велес	1,84	0,58	0,80	1,07
Омич	1,29	0,19	0,79	0,76
Кристалл	1,80	0,59	0,79	1,06
ВНИИМК 520	1,71	0,39	0,91	1,00

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что яровой рыжик в условиях степной зоны Крыма является малопродуктивной культурой, что еще раз доказывает, что Крым является зоной озимого земледелия.

Изучение сортообразцов рыжика озимого в условиях Крыма.

В условиях степной зоны Крыма был проведен опыт по изучению сортообразцов озимого рыжика. Методом индивидуального отбора в 2009 г. из коллекционных

сортообразцов рыжика различного эколого-географического происхождения в Пензенском НИИСХ был создан исходный материал для селекции озимого рыжика. Выделенные линии в 2014 г. переданы для экологического испытания в НИИСХ Крыма для изучения.

Исследования проводили в 2015–2017 гг. в отделении полевых культур НИИСХ Крыма (с. Клепинино Красногвардейского района). Объектом исследований были сорта Пензяк, Козырь, Барон и сортообразцы: и.о.-4172, и.о.-1357, и.о.-2219, и.о.-4155, и.о.-4164, и.о.-4156, и.о.-4175, и.о.-3290, и.о.-4165 и Дикий рыжика озимого различного эколого-географического происхождения. Стандартом служил сорт Пензяк, селекции Пензенского НИИ сельского хозяйства (Пензенская обл., р.п. Лунино).

Результаты исследований показали довольно высокую зимостойкость всех сортообразцов в условиях степного Крыма – 92,3–96,9 %, а наибольший показатель был отмечен у сорта Барон и селекционной линии и.о.-4156, которые превышал сорт-стандарт соответственно на 0,8 и 1,0 %.

Выделены сортообразцы, которые по продуктивности существенно превосходили сорт Пензяк – это образец Дикий, и.о.-3290 (Алтай) и и.о.-1357 (Франция) – урожайность семян составила 1,83; 1,73 и 1,74 т/га соответственно (таблица 19).

Содержание масла в семенах варьировало от 35,61 до 43,90%. Наиболее масличными оказались сорта Барон и Козырь – соответственно 43,90 и 43,50 %.

Таблица 19

**Урожайность и масличность сортов и сортообразцов рыжика озимого
(*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing., 2015–2017 гг.)**

Сортообразец	Происхождение	Урожайность, т/га	Масличность семян, %
Пензяк (St.)	Пенза	1,64	41,25
Козырь	Пенза	1,66	43,50
Барон	Пенза	1,59	43,90
Дикий	Астрахань	1,83	38,19
и.о.-4172	Свердловск	1,54	36,71
и.о.-1357	Франция	1,74	38,03
и.о.-2219	Украина	1,57	35,61
и.о.-4155	Дагестан	1,66	37,79
и.о.-4164	Швеция	1,67	38,70
и.о.-4156	Марий Эл	1,69	38,37
и.о.-4175	Чехословакия	1,56	36,95
и.о.-3290	Алтай	1,73	38,29
и.о.-4165	Германия	1,67	38,27
НСР ₀₅		0,04	1,12

Подсчитано, что наиболее стабильными и пластичными в условиях Крыма были сортообразцы Дикий ($b_i=0,99$) и и.о.-3290 ($b_i=0,95$), которые оказались более адаптированы к различным, в том числе и неблагоприятным условиям вегетации. Таким образом, данные образцы можно в дальнейшем использовать для создания сортов с высокой стабильной продуктивностью и адаптивностью.

КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЯН, ЖМЫХА И МАСЛА РЫЖИКА

Растительное масло веками использовалось людьми для приготовления пищи, в медицине, в качестве иллюминента, а в последнее десятилетие масличные культуры привлекают еще больше внимания, так как появились совершенно новые сферы применения. Промышленное применение в настоящее время включают фармацевтическую, косметическую, химическую, строительную промышленность и другие отрасли. Использование масел для получения биотоплива также экономически релевантно.

Возросший научный и производственный интерес привел к расширению посевных площадей под масличными культурами в мире на 82% и увеличению производства масел на 240% за последние 30 лет (Rahman M. et al., 2016).

По подсчетам ученых, среднегодовое потребление растительного масла до недавнего времени составляло около 168 млн тонн, а к 2024 г. ожидается увеличение до 210 млн тонн. Общее его потребление на душу населения изменяется в разных странах, в среднем составляет 22,0 кг в год (в России – до 24,0 кг в год).

Основными растительными маслами в мире считаются: кокосовое, хлопковое, пальмовое, соевое, пальмоядровое, рапсовое, арахисовое и подсолнечное. Пальмовое масло имеет самый высокий объем производства – 75,45 млн тонн.

Выбор растительного масла варьирует от региона к региону в зависимости от социальных, экологических, экономических и агроэкологических параметров. Так, например, кунжутное масло наиболее популярно в Судане, Уганде, Эфиопии и Мьянме, арахисовое – в Судане, Гане, Вьетнаме, Сенегале, Танзании и Бенине, кокосовое распространено на Филиппинах, Шри-Ланке, Вьетнаме и Мексике, оливковое – в странах Средиземноморья, хлопковое – Центральной Азии, Сахеле, Пакистане, Турции и Сирии, а соевое, кукурузное и рапсовое чаще всего используют американцы.

Основными химическими составляющими растительного жира является углерод (75–79%), водород (11–13%) и кислород (10–12%) (Гаврилюк М.М. с соавт., 2008). Калорийность жира обратно пропорциональна содержанию в нем все кислорода.

Многие из масел, присоединяя кислород воздуха, высыхают и превращаются в твердую эластичную пленку. Способность масла высыхать является важным показателем качества. На возможности быстрого окисления ненасыщенных жирных кислот масел базируется определение их высыхающей способности. Этот показатель характеризуется йодным числом, которое показывает количество граммов йода, необходимое для окисления 100 г масла. Таким образом, йодное число связано с высыхающей способностью масла – чем оно выше, тем лучше высыхает масло.

По классификации Иванова Л.С. растительные масла разделяют на три группы:

1. Высыхающие (йодное число выше 130). Масла используют, в основном, на технические цели: конопляное, льняное, маковое, периллы, ляллеманции.

2. Полувысыхающие или слабобысыхающие (с йодным числом свыше 85): подсолнечное, рапсовое, горчичное, сафлоровое, соевое, хлопковое. В эту же группу входит и мало рыжика. Часто используют в пищевой и кондитерской промышленности.

3. Невысыхающие (с йодным числом ниже 85): арахисовое, миндальное, оливковое, которые могут использоваться на пищевые цели, и масло из семян клещевины, которое применяется как техническое и в лекарственных целях.

Растительные масла характеризуются и другими химическими константами: кислотным числом и числом омыления.

Кислотное число – количество миллиграммов едкого калия (КОН), необходимое для нейтрализации свободных жирных кислот, которые содержатся в 1 г жира. Кислотное число – важный показатель свойств жира, характеризует содержание жирных кислот в масле. Хорошие пищевые и технические масла должны содержать минимальное количество свободных жирных кислот; наличие их вызывает необходимость дополнительной обработки масла (Гаврилюк М.М. с соавт., 2008). Кислотное число рыжикового масла находится в пределах 0,2–13,8.

Многие виды масел являются сырьем для мыловарения, ведь им присуща способность к омылению. Эта способность определяется числом омыления. Число омыления – количество миллиграммов едкого калия (КОН), необходимая для нейтрализации как свободных, так и связанных с глицерином жирных кислот, получаемых при омылении 1 г жира. Для большинства растительных масел число омыления составляет 170–210. На основании определения числа омыления может быть высчитана средняя

молекулярная масса жирных кислот. Число омыления масла из семян рыжика варьирует в пределах 181–188.

Масла являются наиболее концентрированным видом энергии, которую могут использовать все живые организмы (Karoui I.J. et al., 2020). Пригодность масла на те, или иные цели (конкретное назначение) определяется его характеристиками, в первую очередь жирно-кислотным составом, а используя знания о биохимических качествах семян, можно предположить их потенциальное использование.

Наши исследования показали, что в условиях 2019 г. содержание жира в сортах рыжика озимого в пересчете на сухое вещество варьировало в пределах 39,54–39,09%, сырого протеина – 28,71–30,45%, клетчатки – 16,76–17,22%, золы – 4,12–4,17%, безазотистых экстрактивных веществ – 9,12–10,82% (таблица 20).

Таблица 20

Основные показатели химического состава семян рыжика озимого в пересчете на сухое вещество, % (с. Клепинино, Красногвардейский район, 2019 г.)

Сорт	Жир	Сырой протеин	Клетчатка	Зола	БЭВ*
Пензяк	39,54	28,71	16,76	4,17	10,82
Козырь	39,09	30,45	17,22	4,12	9,12

Примечание. * Безазотистые экстрактивные вещества.

Согласно собранным данным Ibrahim F. M. с соавтором (2015), среднее содержание протеина в шроте рыжика составляет 30–35%.

Монгольские ученые определили, что семена рыжика из минеральных элементов содержат кальций (0,56%), фосфор (1,22%), калий (1,39%), магний (0,53%) и незначительное количество железа, цинка, марганца и меди (Bariashir C. Et al., 2013).

Содержание лигнина в семенах рыжика составляет 7,4% (Zubr J., 2010). Такое высокое содержание лигнина, а также клетчатки, по мнению ученых, указывает на то, что рыжик может оказывать положительное воздействие на процессы, происходящие в желудочно-кишечном тракте млекопитающих. В качестве доказательства, авторы приводят пример эксперимента, где длительное употребление человеком хлеба с добавлением муки из рыжика оказывало благотворную роль этого ингредиента в пищеварении.

Аминокислоты являются фундаментальной структурной единицей белковых молекул и играют важную роль в организме. Они являются основой, на которой формируются белки. В дальнейшем они могут быть преобразованы в другие вещества в организме (кетокислоты, гидроксикислоты, алкалоиды, амины, гормоны, амиды и т. д.), способствуя, таким образом, установлению метаболических связей между различными химическими соединениями. В настоящее время известно около 400 аминокислот, но только 20–24 из них встречаются в природных, растительных и животных белках и называются протеиногенными аминокислотами; остальные находятся в некоторых пептидах и в непротеиновых веществах и называются непротеиногенными (или случайными аминокислотами). Незаменимые аминокислоты синтезируются только растениями, животные не могут их синтезировать и должны получать из пищи, но они играют значительную роль в росте и развитии. Поэтому понимание аминокислотного состава семян и полноценность протеинов играет большое значение при составлении рационов питания различным видам животных.

Белки семян рыжика отличаются высоким содержанием глутамина, лейцина, аргинина. Кроме того, анализ показал довольно высокое содержание серосодержащей кислоты – метионина, что делает семена рыжика желательным компонентом пищевых рационов (таблица 21).

Количественное содержание аминокислот в семенах рыжика проводили в научно-исследовательской лаборатории Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» (НД на

метод испытания – М04-38-2009 (ФР.1.31.2010.07015), с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105», водяной бани и планшетного ридера для иммуноферментного анализа GloMax Multi. Условия проведения исследований: 752 мм. рт. ст., 23 °С, 40 %.

Таблица 21

**Аминокислотный состав семян рыжика озимого сорта Пензяк, %
(с. Клепонино, Красногвардейский район, 2018 г.)**

Аминокслота	Содержание
Аланин	0,93±0,24
Аргинин	1,88±0,75
Валин	1,01±0,40
Гистидин	Менее 0,5
Глицин	1,13±0,38
Серин	1,00±0,26
Тирозин	0,49±0,15
Треонин	1,10±0,44
Фенилаланин	0,80±0,24
Метионин	3,40±0,11
Пролин	1,02±0,27
Лизин	1,07±0,36
Цистин	0,58±0,29
массовая доля	
Аспарагина и аспарагиновой кислоты (суммарно)	1,68±0,67
Глутамина и глутаминовой кислоты (суммарно)	3,54±1,42
Лейцина и изолейцина (суммарно)	2,14±0,56
Триптофана	0,32±0,10

Ученые Банатского университета сельскохозяйственных наук и ветеринарной медицины (Румыния) при изучении аминокислотного состава семян рыжика ярового пришли к выводу, что и здесь эта культура сохраняет свою уникальность и универсальность использования: наличие в семенах важных аминокислот (глутамин, цистеин, тирозин, лейцин) делает пригодными семена не только для кормления животных, но и возможным в питании человека, поскольку эти вещества имеют большое значение в обменных процессах в организме (Bâtrîna Ș.L. et al., 2020). Исследователи предлагают развивать это направление и подчеркивают, что примерно одинаковые значения содержания аминокислот имеют сорта рыжика, выращенные в различных климатических условиях.

Рыжиковый жмых – побочный продукт, оставшийся после извлечения масла, содержит около 35% белка и 10–20% жира. Кроме того, рыжиковый жмых является источником витаминов В1 (тиамин), В3 (ниацин) и В5 (пантотеновая кислота) (Ibrahim F. M. et al., 2015). Содержание тиамина в *Camelina* значительно выше (18 мкг/г), чем в льняном семени (6 мкг/г) и рапсе (8 мкг/г); ниацин в рыжике преобладает среди витаминов и его примерно в два раза выше (194 мкг/г), чем в льняном семени (91 мкг/г); содержание пантотеновой кислоты идентично льняному (11 мкг/г) и меньше, чем рапсе (16 мкг/г).

Известно, что *Camelina* имеет более низкий уровень глюкозинолатов, чем другие культуры семейства Brassicaceae. Антинутриционные соединения – глюкозинолаты влияют на функцию щитовидной железы и печени, подавляют рост животных, вызывают раздражение слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта, приводящее к локальным очагам некроза. Также в рыжиковый жмых имеет еще один недостаток – достаточно высокое содержание некрахмалистых полисахаридов, плохо переваривающихся в желудочно-кишечном тракте животных и птицы. Для устранения данной проблемы ученые предлагают обогащать корма ферментными препаратами.

Низкое содержание триптофана и фенилаланина приводит к незначительному уровню содержания в семенах рыжика глюкобрасицина (тип глюкозинолата, который часто встречается у представителей семейства Капустные). Согласно литературным

данным, в семенах рыжика обнаружено 3 типа глюкозинолатов – глюкоарабин, глюкокамелинин и глюконеслиапаникулатин. Так как высокое содержание глюкозинолатов может быть токсично для животных, поэтому рекомендуется скармливать сбалансированный корм! Наши исследования подтвердили безопасность сырья рыжика по этому показателю (таблица 22).

Таблица 22

**Содержание глюкозинолатов в семенах рыжика ярового
(с. Клепонино, Красногвардейский район, 2019 г.)**

Параметр	Сорт			
	Кристалл	Омич	Велес	Юбиляр
Общее содержание глюкозинолатов, мкмоль/г	13,2	12,8	12,3	13,2

Семена рыжика также характеризуются наличием синапина (Quero A. et al., 2016) Синапин – это сложный эфир холина синапиновой кислоты. Присутствие этого алкалоида в кормах для животных нежелательно, поскольку он придает горький вкус и считается антипитательным соединением. Синапин в своем составе содержит большинство представителей семейства Brassicaceae. Мониторинг содержания синапина в период формирования семян у *Camelina sativa* показал, что он присутствует только в следовых количествах, что является несомненным плюсом.

Ниже приведена обзорная информация о возможности использования рыжикового жмыха в кормлении всех различных видов животных.

В птицеводстве. Для реализации генетического потенциала современных кроссов птицы кроме обеспечения зоотехнических и зоогиgienических параметров существования необходимо обеспечить рацион, сбалансированный по всем основным веществам. Большинство затрат при выращивании животных и птицы (до 70%) закладывается на формирование кормовой базы. Наиболее остро стоит проблема для белковых кормов. На данный момент в животноводстве и, в частности, птицеводстве наметилась тенденция частичного отказа от использования белков животного происхождения в связи с «прионными» скандалами, и с целью удешевления таковых кормов. Эту проблему пытаются ликвидировать при помощи сои (шрота и иных производных), но 90% сои завозят из других стран, и в ценообразование конечного продукта добавляется логистика. Поэтому на данном этапе развития животноводства и птицеводства проблема поиска нетрадиционных кормов, не уступающим по биологической полноценности кормам животного происхождения и классическим растительного (соя), актуально.

Куриные яйца – необходимый, вкусный и относительно недорогой продукт, используемый людьми во всем мире. Стремясь удовлетворить потребительский интерес к пищевым продуктам, обогащенными функциональными питательными веществами, и, в первую очередь, омега-3 жирными кислотами, ученые используют различные источники ПНЖК для кормления птицы: рыбий жир, семена льна и рыжика, микроводоросли. Употребление в пищу двух таких яиц может обеспечить рацион более 300 мг омега-3 жирными кислотами, а ВОЗ рекомендует ежедневное потребление 300–500 мг для взрослого человека. Таким образом, употребление двух яиц от кур, рацион которых обогащен ПНЖК, может обеспечить в рационе 30–50% необходимых ценных соединений.

Исследования показали, что скармливание рыжика курам-несушкам способствует повышению яйценоскости при одновременном обогащении яиц омега-3 жирными кислотами. В частности, в жирнокислотном составе яичного белка увеличивалось содержание α -линоленовой, эйкозеновой и докозапентаеновой кислоты, а количество линолевой кислоты и общего количества омега-6 жирных кислот в яйцах при этом не повысилось, что положительно повлияло на соотношение омега-3/омега-6 в продукте.

В новейших исследованиях Lollì S. с соавторами (2020) установлено, что включение в рацион кормления кур несушек до 20% жмыха рыжика масличного,

содержащий низкий уровень глюкозинолатов, положительно влияет на качество яичной скорлупы. Качество яичной скорлупы – довольно острый вопрос для рынка яиц, ведь, чтобы предотвратить потери продукта при обработке и транспортировке, необходимо обеспечить её механические свойства.

По мнению John F. Tarlton с соавторами (2013), основной рацион кур, основанный на применении зерновых культур (пшеница, рис, кукуруза, подсолнечник и соя), приводит к значительному дефициту омега-3 жирных кислот. ПНЖК являются предшественниками ряда медиаторов воспаления и оказывают значительное влияние на биологию костной ткани. Хрупкость костей из-за остеопоротических изменений у кур-несушек является серьезной проблемой, но рацион, дополненный омега-3 с использованием жмыха рыжика, способствует снижению случаев переломов килевых костей у кур-несушек на 62%.

Sylwia Orczewska-Dudek с соавтором (2019), работая в направлении изучения влияния рыжикового масла и жмыха, включенных в рационы цыплят-бройлеров на показатели их роста и качество мяса, отметили благоприятные изменения в составе жирных кислот мяса без ущерба для здоровья птицы. Кроме того, масло рыжика благотворно влияло на сочность мяса, в то время как жмых несколько ухудшал его вкус и аромат.

В исследованиях Шмакова П.Ф. с соавторами (2010) включение рыжикового жмыха в состав комбикормов при выращивании цыплят-бройлеров оказало положительное влияние на химический состав и энергетическую питательность грудных и ножных мышц птицы. Мясо, полученное при убое цыплят-бройлеров, потреблявших комбикорма с рыжиковым жмыхом, характеризовалось, как полноценное и сбалансированное по аминокислотному составу, пригодное для пищевых целей, содержащее все необходимые аминокислоты.

Предлагается включать в состав рационов цыплят-бройлеров рыжиковый жмых в количестве 5 и 7% к основному рациону. В результате данного эксперимента авторы зафиксировали повышение живой массы бройлеров на 1,64–2,22%, уровня рентабельности производства – на 5,29–8,34%, снижение затрат на корма – не менее 0,57%. Наиболее высокий экономический эффект был достигнут при использовании в рационах цыплят-бройлеров 7% рыжикового жмыха и ферментного препарата ЦеллоЛюкса-Р в количестве 100 г/т, что позволило увеличить прирост живой массы на 6,31%, а уровень рентабельности – на 9,90%.

Есть рекомендации применения рыжикового жмыха в качестве стартового корма при кормлении перепелов и молодых индеек в первые 4 недели жизни.

В кролиководстве. Несмотря на то, что мясо кролика – очень ценный и легко усвояемый диетический продукт, научных статей о кормовой ценности рыжика при откорме этого вида сельскохозяйственных животных очень мало. Мясо кролика богато белком с высоким содержанием незаменимых аминокислот и низким содержанием жира, с благоприятной пропорцией между насыщенными, мононенасыщенными и полиненасыщенными жирными кислотами. В то же время, улучшить качество мяса представляется возможным путем скармливания жмыха льна и рыжика, листьев тутового дерева, семян чиа.

Согласно результатам экспериментов Peiretti P.G. (2007) с соавтором, использование рыжикового жмыха (до 15% в рационе) приводит к получению мяса с более благоприятным жирнокислотным составом для потребителей, без существенного отрицательного влияния на ростовые показатели и характеристики туши.

В козоводстве. В литературных источниках, как в отечественных, так и иностранных, показано, что в рационах лактирующих коз эквивалентная по протеину замена подсолнечного и соевого жмыха на рыжиковый жмых не оказывает отрицательного влияния на физиологическое состояние животных, достоверно повышает молочную продуктивность коз и массовую долю белка в молоке. При этом оптимальным количеством рыжикового жмыха в составе комбикорма называют 10 %.

В исследованиях польских ученых, проводимых на Польской белой улучшенной породе коз, показано, что использование жмыха рыжика в рационе животных, приводило к получению молока с повышенным содержанием ПНСЖ в жировой фракции (практически на 50%). Подобные результаты были получены и у итальянских исследователей, которые описывают положительные преимущества и улучшение сенсорных свойств, не только молока, но и других молочных продуктов – сыворотки, кефира, качотта (мягкого сыра). Питательные и оздоровительные свойства таких продуктов, были получены при использовании естественных пастбищ с подсевом рыжика.

В овцеводстве. Овечьё молоко имеет большую питательную ценность, чем коровье или даже козье. Оно характеризуется высоким содержанием питательных веществ и биологически активных компонентов, таких как иммуноглобулины, лизоцим и лактоферрин. Жир овечьего молока содержит больше конъюгированной линолевой кислоты. Все эти соединения снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний, обладают антиканцерогенным действием и антисклеротическими свойствами. И если у нас этот продукт, не очень популярен, то на Балканах, в Турции, Средней Азии, в странах Ближнего Востока и Средиземноморья, из овечьего молока делают даже йогурты, сыры, сыворотку. Влияние добавления рапсового и льняного жмыха в рационы мелких жвачных животных на состав жирных кислот в молоке хорошо описано в научной литературе. Изучение же рыжика в качестве добавки для корма началось относительно недавно. Тем не менее, в этом случае, ученые получают овечьё молоко с повышенным содержанием биоактивных компонентов, в первую очередь ПНЖК. Кроме того, положительные изменения в составе жирных кислот были обнаружены и в йогурте, полученном из молока в экспериментальной группе, как сразу после его производства, так и после 21 дня хранения.

Значительных успехов в этом направлении добились ученые из Австралии. Эта страна является экспортёром баранины в страны Азии, Ближнего Востока и США. В 2018/2019 гг. Австралия экспортировала 447 000 тонн мяса овец на международные рынки в виде замороженных или охлажденных продуктов. С ростом международного спроса на продукты из красного мяса премиум-класса все большее значение приобретают условия хранения и транспортировки продуктов. Необходимы новые технологии производства и переработки, чтобы продлить срок хранения таких продуктов в охлажденных до полумороженных условиях между убоем и потреблением. Поддержание сенсорных свойств мяса в течение этих длительных периодов хранения имеет важное значение. Установлено, что питание животных (рацион) и тип животного (порода) могут влиять на эти показатели.

Для того, чтобы австралийская мясная промышленность продолжала и дальше наращивать экспорт, а продукция была полезной и соответствовала ожиданиям потребителей, ученые пересматривают рационы питания, но, основой служат, как правило, естественные кормовые угодья (пастбища). Для повышения продуктивности животных и пищевой ценности мяса (увеличения незаменимых жирных кислот) в периоды низкой продуктивности пастбищ, как вариант, предлагается использование зеленой массы или сена рыжика масличного.

В исследованиях Ponnampalam E.N. с соавторами (2021), установлено положительное влияние рационов овец, содержащих сено и жмых рыжика на качество мяса баранины, хранящегося в течение короткого, среднего или длительного периода – 2 дня (свежее), 45 дней и 90 дней, в охлажденном и замороженном состоянии.

Другим вектором, обусловившим проведение научных экспериментов на овцах в Австралии, названо изменение климата, которое в будущем всё больше будет влиять на продовольствие. Исследования в области животноводства призваны сыграть определенную роль в оказании помощи производителям животноводческой продукции в адаптации к изменчивости климата и снижении выбросов метана (CH₄), а рыжик масличный как культура-космополит с невысокими требованиями к окружающей среде и с низкими затратами на производство, позволит выполнить вышеназванные задачи.

Для крупного рогатого скота. Включение в состав комбикормов-концентратов для лактирующих коров рыжикового жмыха в исследованиях Зотеева В.С. (2016), обеспечивало повышение конверсии корма и улучшение усвоения и переваримости питательных веществ рациона. Нормализация обмена веществ в организме коров опытных групп сопровождалась ростом молочной продуктивности, при этом в состав комбикорма экономически целесообразно было включать 15% рыжикового жмыха.

Питательные и реологические свойства сливочного масла зависят от жирнокислотного состава молока. Поэтому исследование Hurtaud С. с соавтором (2020), было направлено на изучение рыжика в качестве компонента кормов для лактирующих коров. Установлено, что такой рацион не оказывал влияния на выработку молока и несколько снижал содержание молочного белка, однако имел значительное влияние на состав жирных кислот (увеличивалось количество омега-3 ПНЖК). Физические свойства получаемого сливочного масла также претерпевали изменения – увеличивалось время сбивания, масло стало более текучим. А эстонские ученые добились улучшения жирнокислотного состава сыра, благодаря различным вариантам скармливания рыжика.

Для более интенсивного роста телят, и повышения их сохранности Кучерова Н.А. (2014) рекомендует включать в рацион телят-молочников рыжиковый жмых в количестве 0,1–0,6 кг, на голову в сутки; премикс ЗП61-1Р (наполнитель рыжиковый жмых) 1 % от массы комбикорма.

В свиноводстве. Большинство авторов склоняются к выводу, что применение рыжикового жмыха в рационах свиней не оказывает влияния на потребление корма и средний прирост массы тела, однако выявлена тенденция снижения холестерина в плазме крови. Эти результаты указывают на то, что жмых рыжика, богатый ω -3 ПНЖК, обладает способностью моделировать системный метаболизм и влиять на функцию клеток селезенки.

В связи с большим интересом к использованию насекомых в кормах для животных, жмых рыжика недавно был протестирован в рецептуре рациона для мух (*Hermetia illucens*) с многообещающими результатами.

Немаловажным направлением использования жмыха рыжика является применение в аквакультуре. Производство рыбы продолжает расти во всем мире, постоянно ведется поиск новых ингредиентов морского и наземного происхождения для удовлетворения растущего спроса рыбной кормовой промышленности. Рыба и рыбные продукты считаются наиболее важными диетическими источниками ПНЖК и витамина D для человека. Дефицит витамина D является глобальной проблемой в мировом масштабе, особенно в северных странах, а также среди пожилых людей и групп этнических меньшинств. Как правило, ежедневные рекомендации варьируют от 5 до 20 мкг в Европе в зависимости от страны, возраста и физиологического состояния. Лишь немногие продукты содержат натуральный витамин D, и рыба является одной из самых важных! Витамин D является гормоноподобным витамином, и его дефицит у людей распространен во всем мире. Наиболее известной функцией витамина D является его антирахитическое свойство, но он также выполняет множество некальциемических функций в организме.

Считается, что семена рыжика являются безопасным кормовым ингредиентом. Кроме того, в опытах Juha Koskela с соавторами (2021), показано, что использование рыжика в кормлении радужной форели благоприятно отразилось на жирнокислотном составе мышц – уменьшилось содержание омега-6 и увеличилось количество омега-3 жирных кислот. А результаты гистологического анализа Bullerwell С.N. с соавторами (2016) на той же радужной форели, указывают на отсутствие изменений в морфологии кишечника рыб из-за включения в рацион жмыха рыжика. Это важно, поскольку в других исследованиях, посвященных включению растительных белков, таких как соевый шрот или концентрат картофельного белка, наблюдали морфологические различия у рыб, получавших эти кормовые ингредиенты, по сравнению с рыбами, контрольной группы. Такой эффект авторы объясняют антинутриентами, содержащимися растительных

соединениях (сапонины и алкалоиды), ни один из которых, как сообщалось, не присутствовал в рыжике.

Тилапия является второй по значимости рыбой, выращиваемой в мире. Кроме того, тилапия – быстрорастущая рыба и, будучи всеядной, выращивается на различных рационах: планктон, водоросли, макрофиты или растительные вещества. Тем не менее, эта рыба не считается высококачественной. Для улучшения качества тилапии также предлагается к использованию рыжиковый жмых. Подобные исследования были так же поставлены с золотистым спаром или, как еще его называют, дорада (*Sparus aurata*). Ofori-Mensah S. (2020) с соавтором описали положительные характеристики состава жирных кислот этой рыбы, получавшей в качестве корма рыжик.

Рыжиковый жмых рекомендуют использовать при выращивании рыб семейства лососевых канадские ученые (Lu J. с соавторами, 2020). Учитывая результаты своих исследований (показатели роста, жирнокислотный состав филе), авторы предлагают заменить в рационах лососевых до 100% использование рыбьего жира рыжиковым маслом и жмыхом, но указывают при этом, что рыбе потребуется длительный период акклиматизации, чтобы приспособиться к такому питанию. Первые положительные результаты применения рыжика в кормлении *Pagrus major* (красный пагр или красный морской карась) описали Kumbukani Mzengereza с соавторами (2021).

Хорошо известно, что печень трески является основным местом отложения и хранения липидов и богата, в первую очередь триацилглицерином, поэтому она наиболее часто изучается и представляет интерес при определении изменений в составе жирных кислот из-за кормовых добавок. Stefanie M. Nixson с соавторами (2013) рекомендует к использованию рыжиковое масло и жмых в рационах атлантической трески, и высказывают озабоченность тем фактом, что в настоящее время не существует правил, регулирующих включение информации на этикетках о питании промышленных рыб при продаже потребителям (своеобразная маркировка). Тем самым, покупатель не осведомлен об улучшении качества рыбного филе, и возможно, правила включения подобной информации, способствовало бы увеличению числа потребителей, которые покупают рыбу не только для питания, но и в медицинских целях.

Масличность семян. Под масличностью семян понимают содержание в них сырого жира и сопровождающих его жироподобных веществ, переходящих вместе с жиром в эфирную вытяжку из исследуемых семян. Масло рыжика может быть извлечено из семян различными способами, используют метод экстракции и прессование. Прессование – более древний способ, усовершенствованный в наше время применением гидравлических прессов, которые выжимают масло из растительного сырья при низких температурах (холодное и горячее прессование). Масла, полученные этим способом, сохраняют ряд ценных свойств. При экстракции масло изымается с помощью органических соединений, которые затем удаляют. Экстракция, как правило, меняет цвет масла на более темный и до некоторой степени ухудшает его качество.

Содержание масла в семенах зависит от вида растения, погодных условий, особенностей сорта, вносимых удобрений, водного режима, почвы и других показателей.

Для количественного определения масла в растительном сырье существует еще несколько методов, но все они основаны на способности жиров растворяться в органических растворителях – в эфире, бензине, спирте и др. Чаще всего пользуются серным или петролейным эфирами. В них частично растворяются также другие химические соединения (фосфаты, воск, эфирные масла, фитостерины).

Анализ динамики маслонакопления в семенах рыжика в различные по погодным условиям годы в Крыму показывает, что в условиях достаточной влагообеспеченности (Гидротермический коэффициент по Селянинову = 1,11) рыжик реализует потенциальные возможности в отношении образования масла и накапливает наиболее оптимальное содержание жира, (рисунки 20, 21).

Так, в 2015 г. масличность сортов Пензяк и Козырь была наибольшей и превысила 44%. При снижении показателя ГТК снижалось и содержание масла. А в экстремально засушливый год (ГТК 0,33) уровень маслонакопления был снижен до 33,6–33,9%.

Для масличной культуры содержание масла и его жирно-кислотный состав являются наиболее важными показателями качества. Как уже отмечалось выше, рыжиковое масло является хорошим источником полиненасыщенных жирных кислот.

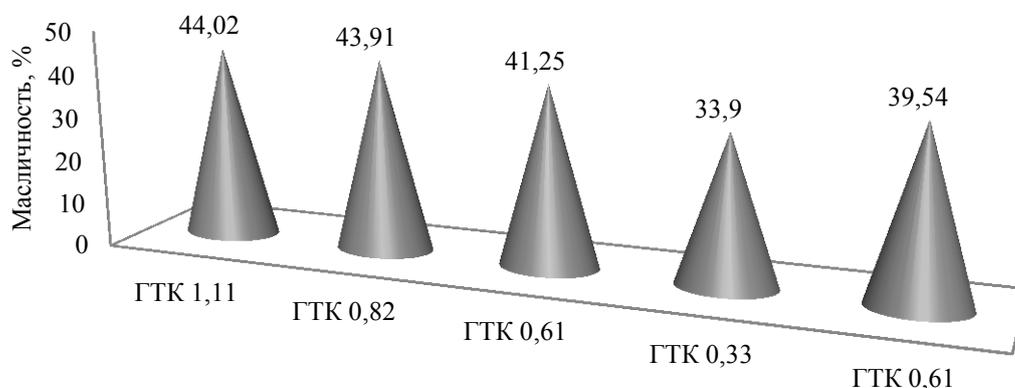


Рисунок 20 – Накопление масла семенами рыжика озимого сорта Пензяк в зависимости от условий влагообеспеченности (с. Клепинино, Красногвардейский район)

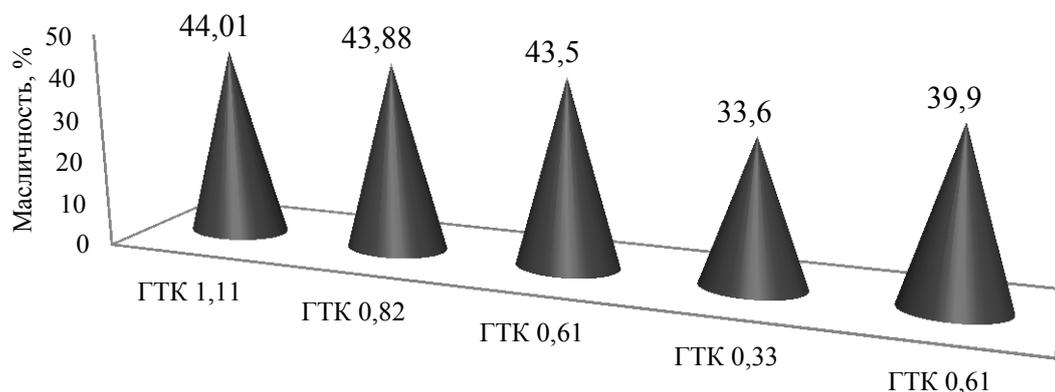


Рисунок 21 – Накопление масла семенами озимого рыжика сорта Козырь в зависимости от условий влагообеспеченности (с. Клепинино, Красногвардейский район)

Глобальный спрос на омега-3 (ω -3) – длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты значительно возрос за последние два десятилетия на основе их доказанной пользы для здоровья при сердечно-сосудистых, когнитивных и других заболеваниях, а также во время беременности и в детстве. Кроме того, ожидается, что к 2050 г. население мира увеличится до 9,1 миллиарда человек, что приведет к еще большему увеличению их потребления (Mariamenatu A.H. et al., 2021).

Наиболее важными омега-3-ПНЖК являются α -линоленовая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты.

Источником α -линоленовой кислоты являются морепродукты: лосось, скумбрия, сардины, анчоусы, сельдь и радужная форель, печень нежирной рыбы (треска), кальмары, криль, растительные масла, орехи, некоторые семена (лён, конопля, зародыши овса). Таким образом, у людей, которые едят мало рыбы, содержание в рационе ПНЖК снижено. Ежедневное потребление омега-3 ПНЖК является очень важным с точки зрения здорового

развития человеческого организма и его функций и профилактики возникновения заболеваний.

Потребление омега-3 – это профилактика сердечно-сосудистых заболеваний и рака молочной железы; она улучшает функции мозга, применяется при лечении расстройств внимания, депрессии и тревоги, уменьшении признаков воспаления при бронхите, болезни Крона, остеоартрита, показана при синдроме «сухих глаз», часто возникающем при работе за компьютером, имеет омолаживающее действие и способствует развитию мышечной массы.

По мнению врачей, во время беременности несбалансированное соотношение омега-3 и омега-6 может нанести ущерб росту плода и нарушений функций мозга новорожденных (Suk-yu Yau, 2022).

По мнению ученых, за последние 150–160 лет произошли серьезные изменения в рационе питания человека, особенно в типе и потребляемых количествах как незаменимых, так и условно незаменимых жирных кислот. Сегодня, следуя западным стилям питания, наш рацион характеризуется ростом потребления омега-6 ПНЖК и довольно значимой доли в нём зерновых культур. Одновременно снижается потребление омега-3 ПНЖК, клетчатки, белка, кальция и витамина D, а фрукты и овощи занимают незначительную часть рациона питания.

Наши предки в период палеолита потребляли омега-3 и омега-6 в соотношении 1–2/1, что считается идеальным и сбалансированным соотношением жирных кислот. С эволюцией наблюдалось постепенное изменение этого соотношения. Подсчитано, что в период между 1935 и 1939 гг. в среднем соотношение омега-3 и омега-6 составляло 1/8,4; в 1985 году это соотношение составляло 1/10,3–12,4. Позже, в период с 2001 по 2011 гг., среднее соотношение омега-3 и омега-6 достигло 1/15–16,7. Сегодня среднестатистический человек потребляет рацион, где среднее соотношение составляет до 1/20, а в Южной Азии – до 1/50 (Mariamenatu A.N. et al., 2021). Поэтому распространенность неинфекционных заболеваний, связанных с питанием, увеличивается. Ишемическую болезнь сердца, ожирение, гипертонию, некоторые виды рака, болезнь Альцгеймера, диабет 2 типа, артрит и другие аутоиммунные и нейродегенеративные заболевания ученые характеризуют как одно из следствий многофакторного процесса – ухудшения экологии, преобладания западного стиля питания, снижения двигательной активности человека.

В современном сельском хозяйстве акцент делается на производстве, то есть на продовольственной безопасности, а не на функциональной продовольственной безопасности. Растительное масло рафинируют и дезодорируют; в пищевых продуктах, купленных в обычном магазине, не всегда можно проследить информацию о составе изделия; рыба и морепродукты являются дорогими; ранее животные выпасались, а сейчас их рацион состоит в основном из зерновых культур, и, конечно, меняется состав получаемой продукции (мясо, молоко, яйцо); современная аквакультура производит рыбу, которая содержит меньше омега-3 ПНЖК, чем рыба, выращенная естественным путем в океанах, реках и озерах.

Вызывает озабоченность и текущая сейчас в мире пандемия COVID-19, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2 – респираторное заболевание, которое впервые было выявлено в декабре 2019 г. в Ухане, столице китайской провинции Хубэй. С тех пор вирус распространился по всему миру. В настоящее время коронавирусная инфекция представляет собой беспрецедентную проблему для современного общественного здравоохранения и медицины неотложной помощи во всем мире. Новая инфекция может вызывать у людей широкий спектр симптомов, в то время как другие пациенты могут оставаться бессимптомными, даже имея положительный тест на вирус. Возможные клинические проявления могут включать лихорадку, усталость, боль в горле, потерю обоняния, сухой кашель, одышку, боли в теле, заложенность носа, боль в животе и диарею, сообщались и другие, менее распространенные проявления болезни. Из тяжелых

осложнений могут возникнуть: пневмония, септический шок, респираторный дистресс-синдром взрослых, инсульт, диссеминированное внутрисосудистое свертывание крови и полиорганная недостаточность. Поразительно, что даже бессимптомные пациенты, как полагают, способны распространять болезнь. Кроме того, велика вероятность появления неконтролируемого высвобождения иммунных клеток и чрезмерного высвобождения провоспалительных цитокинов (так называемый «цитокиновый шторм»). Несмотря на разработку ряда вакцин против COVID-19, сохраняется необходимость в профилактике и лечении вируса SARS-CoV-2 и последующего заболевания COVID-19.

Последние современные обзоры по биологически активным добавкам и нутрицевтикам, датирующиеся 2021 г. (Arnardottir H. et al.), показывают благотворное воздействие омега-3 ПНЖК на вирусные инфекции, в том числе, короновиральную. Таким образом, увеличение омега-3 ПНЖК и уменьшение потребления омега-6 ПНЖК представляет собой возможное средство для смещения иммунного ответа в сторону разрешения воспаления.

Вакцины редко на 100% предотвращают передачу инфекции и заражение людей заболеванием, кроме того, существуют потенциальные проблемы с мутациями штаммов коронавируса и, как следствие, снижением эффективности вакцин. Однако, по мнению многих ученых (Michael J. Story, 2021; Arnardottir H. et al.), ключ к противодействию вирусу заключается в противодействии чрезмерному воспалению, и в определенной степени, это можно решить за счет поддержания достаточного количества необходимых питательных веществ, в первую очередь ω -3 ПНЖК, потребляемых человеком для профилактики, так и во время болезни.

Крымское рыжиковое масло содержит в своём составе эти уникальные ценные соединения, а соотношение омега-3 и омега-6 жирных кислот независимо от условий года всегда находится в оптимальном соотношении.

В среднем за 4 года исследований, масло семян из рыжика озимого сорта Пензяк, выращенного в Крыму, содержало в своём составе: линоленовой кислоты (C18:3) – 31,54%, линолевой (C18:2) – 19,06%, эйкозеновой (C20:1) – 15,46%, олеиновой (C18:1) – 17,49%, пальмитиновой (C16:0) – 5,44%, эруковой (C22:1) – 2,92%, стеариновой (C18:0) – 2,36 %, миристиновой (C14:0) – 0,05%, арахиновой (C20:0) – 1,60% (рисунок 22).

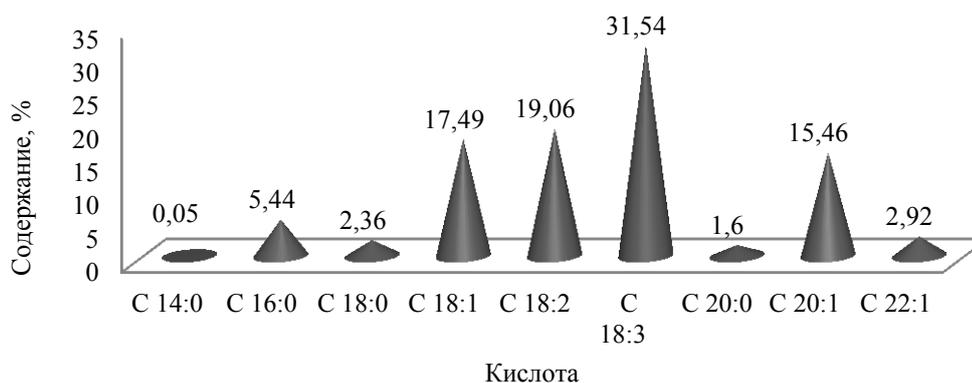


Рисунок 22 – Жирнокислотный состав маслосемян рыжика озимого сорта Пензяк, выращенного в Крыму (среднее за 2017–2020 гг.)

Интересно, что содержание эруковой кислоты по годам практически не изменялось, что говорит о стабильном проявлении данного признака.

Наши исследования показали, что эту культуру можно возделывать в Крыму без применения гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и т.д., что позволяет не только снизить затраты на производство культуры, но и получать экологически чистый продукт.

Все изучаемые сорта озимого рыжика характеризовались высоким содержанием линоленовой (29,96–32,02%), линолевой (18,87–20,08%), олеиновой (17,65–18,78%) и

эйкозеновой кислот (14,77–15,20%) и низким содержанием эруковой кислоты (2,73–3,06%) (таблица 23).

Таблица 23

**Жирнокислотный состав масла сортов озимого рыжика
(с. Клепонино, Красногвардейский район РК, 2019 г.)**

Кислота	Сорт				
	Адамас	Барон	Карат	Козырь	Передовик
Пальмитиновая	5,52	5,53	5,22	5,54	5,55
Пальмитолеиновая	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10
Стеариновая	2,42	2,45	2,40	2,44	2,42
Олеиновая	18,78	18,69	17,65	18,60	18,42
Линолевая	20,04	20,02	18,87	19,89	20,08
Линоленовая	29,96	30,55	32,02	30,12	30,52
Арахидиновая	1,61	1,58	1,66	1,63	1,60
Эйкозеновая	15,15	14,77	15,14	15,20	15,02
Эйкозодиеновая	1,57	1,53	1,68	1,58	1,55
Эйкозатриеновая	0,94	0,94	1,10	0,93	0,95
Бегеновая	0,34	0,34	0,37	0,34	0,34
Эруковая	2,89	2,80	3,06	2,91	2,73
Лигноцериновая	0,15	0,16	0,18	0,16	0,17
Селахолевая	0,56	0,57	0,59	0,59	0,60

Срок сева незначительно влияет на изменение компонентного состава масла, однако отмечена тенденция увеличения содержания эруковой кислоты с более поздним посевом как озимого (таблица 24), так и ярового рыжика (таблица 25).

Таблица 24

**Жирнокислотный состав масла озимого рыжика сорта Пензяк в зависимости от
срока сева, % (с. Клепонино Красногвардейский район, 2017 г.)**

Кислота	Дата посева			
	30.09.2016	17.10.2016	01.11.2016	22.11.2016
Миристиновая	0,04	0,04	0,05	0,04
Пальмитиновая	4,89	4,90	5,07	5,09
Пальмитолеиновая	0,07	0,07	0,08	0,08
Стеариновая	2,38	2,40	2,29	2,21
Олеиновая	17,88	18,18	17,42	16,78
Линолевая	18,17	18,38	18,78	18,60
Линоленовая	32,92	32,50	32,38	33,15
Арахидиновая	1,58	1,56	1,59	1,55
Эйкозеновая	15,35	15,39	15,51	15,57
Эйкозодиеновая	1,73	1,74	1,73	1,78
Эйкозатриеновая	1,16	1,12	1,11	1,16
Бегеновая	0,33	0,32	0,33	0,33
Эруковая	2,78	2,72	2,92	2,94
Лигноцериновая	0,13	0,13	0,15	0,13
Селахолевая	0,58	0,55	0,59	0,59
Миристиновая	0,04	0,04	0,05	0,04
Сумма, %	100	100	100	100
Масличность, %	41,14	40,23	40,06	38,78

Нужно отметить, что содержание жира в семенах ярового и озимого рыжика при более поздних сроках сева уменьшается.

Эруковая кислота токсична для животного и человеческого организма, поэтому ее содержание строго регламентируют ГОСТ. Масло как ярового, так и озимого рыжика, выращенного в Крыму, безопасно, так как содержание эруковой кислоты за годы исследований не превышало 3,5%.

Таблица 25

Жирнокислотный состав масла ярового рыжика сорта Юбиляр в зависимости от срока сева (с. Клепонино, Красногвардейский район, 2021 г.)

Кислота	Срок сева		
	При первой возможности выхода в поле	III декада марта	I декада апреля
Миристиновая	0,05	0,05	0,06
Пальмитиновая	5,21	5,24	5,71
Пальмитолеиновая	0,08	0,09	0,11
Стеариновая	2,14	2,15	2,29
Олеиновая	15,18	15,14	15,89
Линолевая	18,17	19,09	21,31
Линоленовая	34,65	33,60	30,31
Арахидиновая	1,50	1,64	1,83
Эйкозеновая	14,49	14,27	14,05
Эйкозодиеновая	2,06	2,06	1,97
Эйкозатриеновая	1,38	1,30	1,03
Бегеновая	0,34	0,37	0,42
Эруковая	3,24	3,42	3,46
Докозодиеновая	0,18	0,19	0,20
Докозатриеновая	0,52	0,54	0,48
Лигноцериновая	0,20	0,22	0,22
Селахолевая	0,61	0,63	0,64
Сумма, %	100	100	100
Масличность, %	40,72	39,98	38,03

Масло сортов ярового рыжика также отличается высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (таблица 26). В среднем за 2019–2020 гг. содержание линолевой кислоты по сортам составило 18,14–20,17%, линоленовой – 31,58–34,83%, олеиновой – 15,49–16,68%, эйкозеновой – 14,11–15,15%, эруковой – 3,09–3,19%, стеариновой – 2,06–2,19%, пальмитиновой – 4,89–5,58%.

Таблица 26

Жирнокислотный состав масла сортов ярового рыжика, выращенного в Крыму, % (среднее за 2019–2020 гг.)

Кислота	Сорт			
	Велес	Омич	Юбиляр	Кристалл
Миристиновая	0,05	0,06	0,06	0,06
Пальмитиновая	5,32	4,89	5,58	5,37
Пальмитолеиновая	0,09	0,09	0,12	0,1
Стеариновая	2,10	2,06	2,08	2,19
Олеиновая	16,68	15,49	15,90	16,57
Линолевая	19,76	18,14	20,17	20,15
Линоленовая	32,72	34,83	33,18	31,58
Арахидиновая	1,64	1,42	1,64	1,66
Эйкозеновая	14,53	15,15	14,11	14,70
Эйкозодиеновая	1,68	1,98	1,76	1,84
Эйкозатриеновая	1,06	1,32	1,12	1,1
Бегеновая	0,38	0,34	0,38	0,39
Эруковая	3,12	3,19	3,09	3,19
Лигноцериновая	0,20	0,22	0,22	0,20
Селахолевая	0,67	0,82	0,59	0,90

К потребительским свойствам рыжикового масла следует отнести достаточно высокое общее содержание токоферолов по сравнению с подсолнечным и рапсовым (таблица 27). Исследование содержания биологически активных веществ (токоферолов) в

масле проводили, используя метод тонкослойной хроматографии в лаборатории биохимии ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта».

Таблица 27

**Содержание токоферолов в масле сортов ярового рыжика
(с. Клепинино, Красногвардейский район, 2019 г.)**

Параметр		Сорт			
		Кристалл	Омич	Велес	Юбиляр
Общее содержание токоферолов, мг на 100 г масла		92,3	88,7	91,2	90,6
Состав токоферолов, %	α	11,8	7,5	9,3	10,4
	γ	88,2	92,5	90,7	89,6

Состав токоферолов рыжикового масла представлен в основном γ-токоферолом, что и обуславливает высокий уровень окислительной стабильности масла в процессе хранения, несмотря на значительное содержание полиненасыщенных жирных кислот, таких как линоленовая и эйкозатриеновая.

Наши исследования показали, что в условиях сезона 2021 г. сложились уникальные погодные условия, оказавшие влияние на состав токоферолов в масле семян рыжика. Это проявилось в полном отсутствии α-токоферола (таблица 28). Для наглядности приводим тонкослойную хроматограмму с разделением двух стандартов различных форм токоферолов и в двух повторностях трех сроков сева рыжика (рисунок 23). Таким образом, присутствие в масле рыжика токоферолов, в относительно больших количествах (до 92,4 мг на 100 г масла), является дополнительным преимуществом.

Таблица 28

Содержание токоферолов в масле рыжика ярового сорта Юбиляр в зависимости от сроков сева (2021 гг.)

Параметр		Срок сева		
		при первой возможности выхода в поле	III декада марта	I декада апреля
Общее содержание токоферолов, мг на 100 г масла		90,7	91,5	92,4
Состав токоферолов, %	α	-	-	-
	γ	100	100	100

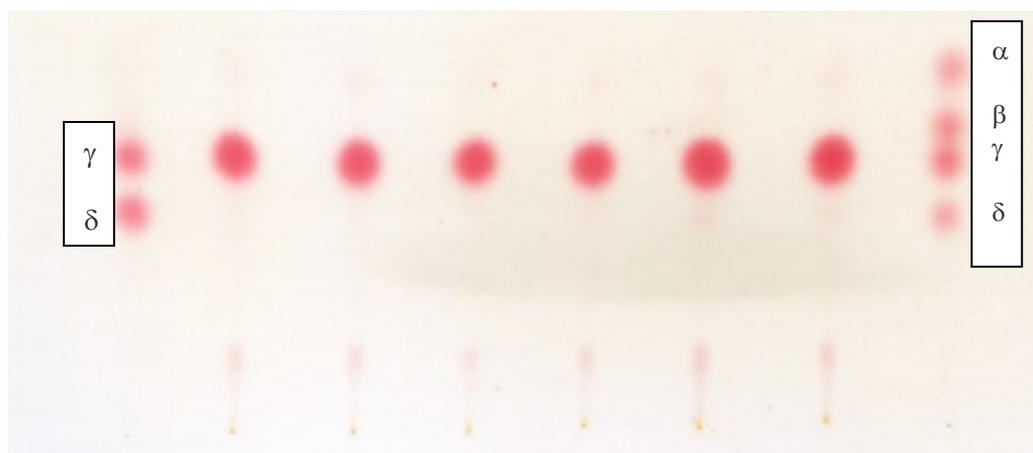


Рисунок 23 – Тонкослойная хроматограмма состава токоферолов масла ярового рыжика сорта Юбиляр в зависимости от срока сева (2021 г.)

Примечание. 1 – стандарт (54 % – γ- и 46 % – δ-токоферола); 2, 3 – 1 срок; 4, 5 – 2 срок; 6, 7 – 3 срок; 8 – стандарт (24 % – α-, 26 % – β-, 34 % – γ- и 16 % – δ-токоферола).

Как было сказано выше, биологическая ценность масел зависит и от наличия в них минорных компонентов (витамины, каротиноиды, стероиды) и других биологически активных веществ. Результаты анализа маслосемян рыжика озимого представлены в таблице 29.

Таблица 29

**Содержание биологически активных компонентов в рыжике озимом сорта Пензяк %
(с. Клепонино, Красногвардейский район, 2019 г.)**

Компонент	Семена	Масло
Каротиноиды	0,0009	0,002
Стероиды	0,064	0,145
Сквален	0,04	0,09

Содержание каротиноидов в семенах рыжика озимого невелико, и составляет 0,0009%, в масле – 0,002%. Каротиноиды являются биологическими предшественниками витамина А, защищают масла от фотоокисления, способствуют синтезу некоторых аминокислот.

Определение биологически активных веществ каротиноидов, стероидов и сквалена проводили во ВНИИ жиров (г. Санкт-Петербург). Выделение масла из измельченных семян рыжика осуществляли методом их исчерпывающей экстракции хлороформом. Определение содержания исследуемых компонентов проводили во фракции неомыляемых веществ масел следующими методами: каротиноиды – спектральным методом, стероиды – тонкослойной хроматографией + спектроскопией, сквален – методом колоночной хроматографии.

Содержание сквалена, который является предшественником стероидов, в рыжике составило: в семенах – 0,04%, в масле – 0,09%, а массовая доля самих стероидов в масле озимого рыжика была достаточно высокой – 0,145%. Сквален – углеводород тритерпенового ряда, обладающий сильными антиоксидантными и антибактериальными свойствами. Благодаря полезным для здоровья человека особенностям, часто является предметом исследований. Основным источником сквалена является печень акул и китов, где на его долю приходится 70–80% липидной фракции. Среди масел растительный сквален в значительных количествах присутствует в амарантовом (2–8%), оливковом (0,7%) и тыквенном (0,9-1%) маслах (Obiedzińska A., 2012).

Резюмируя вышесказанное, мы пришли к следующим выводам. Неблагоприятная эпидемиологическая обстановка в мире заставляет уделять все больше внимания тем аспектам жизни, которые улучшают ее качество. Поэтому питание, кроме образа жизни, должно быть одним из важнейших составляющих здоровья и благополучия человека. Осведомленный выбор потребителя растительных масел должен быть основан на знаниях об их качестве, подтвержденного научными исследованиями.

Поскольку крымское рыжиковое масло является богатым источником ненасыщенных жирных кислот, в первую очередь, незаменимых жирных кислот – линолевой и альфа-линоленовой, содержит биоактивные соединения, такие как токоферолы, каротиноиды, сквален, которые очень ценны для питания человека, это масло следует считать важным продуктом для отдыхающих и местного населения Крымского полуострова. По содержанию в маслосеменах биологически активных веществ озимый рыжик соответствует современным требованиям, что позволяет использовать их на кормовые цели.

Использование масла рыжика для получения биодизеля и биоавиакеросина.

Глобальное потепление, связанное с неконтролируемым выбросом парниковых газов, на сегодняшний день является серьезной проблемой мирового масштаба. Подсчитано, что в 2018 г. в мире 81,3% первичной энергии получено из ископаемых ресурсов – нефти, угля, природного газа (Vaitilingom G. Et al., 2021). Вместе с серьезными экологическими проблемами экспоненциальный рост потребления полезных ископаемых

ведет к зависимости экономики одних государств от экспорта углеводов других. Кроме того, население планеты растет, и увеличение его численности примерно на 10 млрд человек к 2050 г. значительно увеличит спрос на углеводороды примерно на 24 млрд тонн угольного эквивалента в год (Dar R.A. et al., 2021). Поэтому, поиск альтернативных источников энергии стал настоящей необходимостью.

По прогнозам, изменение климата приведет к повышению среднегодовой температуры воздуха в диапазоне от 1,6 до 6 °С, вызывая множество нежелательных погодных явлений – засуху, аномальную жару и т.д. (Jarvis A. et al., 2009). Ожидается, что эти прогнозируемые изменения окажут глобальное воздействие на сельское хозяйство, причем наиболее уязвимыми районами окажутся Африка, Азия и Латинская Америка, а в дальнейшем и регионы Европы. Появляется все больше суждений о том, что климатические изменения повлияют на годовое количество осадков, что, в свою очередь, будет определять урожайность сельскохозяйственных растений и, в целом, биоразнообразие. Моделирование тенденций глобального потепления показывает, что в будущем будут происходить длительные засухи более чем на 30% суши, кроме того, к середине XXI в. прогнозируется пятикратное увеличение дефицита на воду (Naumann G. et al., 2018).

По данным Европейского агентства по окружающей среде основным фактором, вызывающим выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в Европе, является автомобильный, воздушный, железнодорожный и водный транспорт. Увеличение количества автомобилей во всем мире привело к значительному спросу на топливо, в первую очередь, на бензин, который получают из нефти. По подсчетам Vaitilingom G. с соавторами (2021), нефть обеспечивает 96% потребности транспортной отрасли в энергии. Транспортный сектор является одним из основных источников выбросов углекислого газа. На авиационную промышленность приходится от 2 до 3,5% всех выбросов CO₂ в атмосферу (Stemonez P.A. et al., 2015). Несмотря на относительно невысокую цифру, непрерывное расширение этой отрасли, по прогнозам ученых, приведет к ежегодному увеличению выбросов CO₂ с 705 млн т (в настоящее время) до 3100 млн т к 2050 г. (Johnson E.N. et al., 2019). Именно отрасль воздушного транспорта обеспечивает около 12 млн квалифицированных рабочих мест и приносит более 700 млрд евро только в экономику Европы. Среднегодовые темпы роста мирового рынка воздушных перевозок прогнозируются на уровне 2% в период с 2017 г. по 2040 г. Поэтому сокращение выбросов авиационной промышленностью позволило бы существенно снизить экологическую напряженность транспортной отрасли.

В Пятом Докладе об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) отмечено, что если в такой ситуации не предпринимать никаких шагов, то к 2100 г. повышение температуры воздуха произойдет на 4,8 °С (Ghial I. et al., 2021). По мнению ученых, негативные явления будут благоприятствовать расширению засушливых земель и географическому перераспределению растений.

Международная ассоциация воздушного транспорта поставила цель сократить выбросы углекислого газа до 50% к 2050 г. (базовый 2005 г.) и стабилизировать выбросы углекислого газа на уровне 2020 г. (Akter H.A. et al., 2021). Основными мерами, направленными на достижение этой цели, являются: техническое улучшение аэродинамики и материалов двигателей и самолетов, повышение топливной экономичности, улучшение организации воздушного движения и использование альтернативных видов топлива. В отличие от других видов транспорта (например, автомобильного или морского) авиация обладает меньшей гибкостью в отношении использования альтернативных вариантов топлива (сжиженный природный газ).

Биотопливо производят из органического материала – биомассы. Термин «биомасса» относится ко всему органическому веществу в биосфере, как растительного, так и животного происхождения, а также к материалам, полученным путем его естественного или искусственного преобразования (Гафуров Н.М. с соавтором, 2016). Биомасса подвергается биохимическим, термохимическим и биологическим процессам

превращения, в результате чего получаются жидкие и газовые виды топлива (биоэтанол, биодизель, биогаз). До сих пор биотопливо производилось в основном путем спиртового брожения крахмальных продуктов (этанол), коммунальных отходов, осадки сточных вод и др. (биогаз), сухой перегонки древесины (метанол) и переэтерификации высших жирных кислот (биодизель). Такие виды топлива считаются топливом первого поколения, и прогнозируется, что они будут доминировать в течение многих лет, так как такое топливо подходит для существующих немодифицированных двигателей, а их производство нетрудоёмкое (технология может быть реализована как на стационарных заводских, так и передвижных установках) и экономически выгодное (Kurowska K. et al., 2020). Биодизель – это наиболее ценная форма возобновляемой энергии, которая может быть использована непосредственно в любом существующем немодифицированном двигателе. Биодизельное топливо горит гораздо чище с низкими выбросами загрязняющих веществ, чем нефтяное дизельное топливо. При сгорании оно выделяет меньше вредных веществ, таких как окись углерода, твердые частицы углеводородов, диоксид серы и др.

Но есть и другая сторона вопроса – этическая. По оценкам ученых, почти 700 млн человек во всем мире страдают от нехватки продовольствия (Kurowska K. et al., 2020). Пища является основной потребностью человека. И если часть почвенных ресурсов будет занята энергетическими культурами, потенциал производства продовольствия ослабится, что может привести к росту цен на пищевые продукты и их дефицит в глобальном масштабе.

Конкуренция за почвенные ресурсы влечет за собой конкуренцию за воду, потребление удобрений, пестицидов, сельскохозяйственных машин, рабочей силы и др. Косвенное изменение землепользования означает, что природные экосистемы могут быть превращены в сельскохозяйственные угодья для создания плантаций сельскохозяйственных культур (для выращивания кормов для животных или производства продуктов питания), которые были потеряны из-за производства биотоплива. В 2006–2008 гг. производство биотоплива упоминалось как один из основных факторов, ответственных за продовольственные кризисы (Kurowska K. et al., 2020).

Однако в последние годы появились сообщения, в которых биотопливу приписывается значительно меньшая негативная роль влияния на ценообразование сельскохозяйственной продукции. Так, согласно Simon J. (1998), автору книги «The Ultimate Resource», принципы спроса и предложения на продукты функционируют как естественный механизм: уменьшение ресурсов любого материала влечет за собой повышение его цены. Цены являются основными экономическими сигналами текущих или будущих изменений в количестве и качестве продуктов питания, а колебания цен отражают стабильность продовольственной безопасности: сильные колебания или резкие изменения цен предполагают резкие изменения в доступности продуктов питания. Тем не менее, уровни и изменчивость цен являются неполными показателями продовольственной безопасности, так как цены являются и результатом, и детерминантой изменения на продовольственном рынке.

Кроме того, по мнению Kurowska K. с соавторами (2020), часто стремительный рост цен (как в 2011 г.) бывает вызван неблагоприятными погодными условиями, приведшими к резкому снижению урожайности в России, Казахстане и Канаде. В таком случае выращивание энергетических культур на эти процессы не повлияло. Обращает на себя внимание и тот факт, что по мере роста цен на нефть, растут и цены на пшеницу, кукурузу, масличные культуры (рапс и сою). Эта связь может сохраниться и в будущем.

Биотопливо второго поколения получают из древесной или волокнистой массы, отходов сельскохозяйственного производства или деревообрабатывающей промышленности. Считается, что потенциал такого биотоплива для замены нефтяного топлива в два–три раза выше, чем у первого поколения. European Council постановил, что по меньшей мере 27% всего его энергопотребления должно приходиться на возобновляемые источники энергии, такие как биомасса, в которой не менее 0,5% поставок топлива для транспортной отрасли

должно приходиться к 2030 г. на биотопливо второго поколения. Аналогичные цели были поставлены США, Колумбии (в 2001 г. правительство санкционировало введение 10%-ной смеси биоэтанола в городах с населением свыше 500 000 жителей), Индонезии (к 2025 г. планируется использовать 15% биоэтанола).

Наконец, поколение передового биотоплива третьего поколения или, так называемого, альготоплива, основано на применении микроводорослей и цианобактерий, производящих жирные кислоты, которые могут быть извлечены и превращены в биодизельное топливо. Это относительно новая разработка. Водоросли имеют ряд преимуществ перед наземными источниками биомассы, в частности, увеличение на порядок темпов роста, ограниченное использование земли, небольшое количество необходимых удобрений или пестицидов, использование отходов в качестве питательных веществ, а кроме того, их выращивание не зависит от погодных внешних условий, как это происходит при возделывании сельскохозяйственных растений. Трудности в этом направлении заключаются в отделении воды от биомассы из-за небольших клеток водорослей (2–10 мкм в длину и 2–8 мкм в ширину). Кроме этого, извлечение полезного биотоплива требует лизиса клеточной стенки водорослей для высвобождения глицеридов, углеводов и другого ценного сырья, что может быть сложной задачей из-за обилия высокостабильной целлюлозы в клеточной стенке. Методы производства биотоплива 3-го поколения в настоящее время являются преимущественно концептуальными, но имеют большой потенциал в будущем.

Использование биотоплива не является новым изобретением. Заправка растительными маслами или этанолом была популярна задолго до появления двигателя внутреннего сгорания. Издавна использовали лампы на растительном и животном масле.

Топливо используется с первых дней появления автомобилей. Рудольф Дизель испытал свой первый двигатель на арахисовом масле на Всемирной выставке «Exposition Universelle Internationale» 1900 г. в Париже, а первый прототип автомобиля Генри Форда, “Квадрицикл”, в 1880-х гг. мог работать на этаноле в качестве топлива. В 1920-е гг. производители дизельных двигателей заменили свои двигатели дизельным топливом нефтяного происхождения из-за более низких цен и низкой вязкости (вязкость растительного масла примерно на порядок выше), в результате чего улучшилось распыливание топлива в камере сгорания двигателя (Simon J., 1998; Knothe G. et al., 2001).

В последние десятилетия внимание ученых вновь привлекают возобновляемые ресурсы для получения биодизеля, и в первую очередь, это энергетические сельскохозяйственные культуры: сорго, кукуруза, сахарный тростник, рапс, однолетние и многолетние травы.

По подсчетам Родькина А.О. с соавторами (2016), начиная с 90-х гг. прошлого века площади посевов энергетических культур возрастают. Это связано с тем, что их высевают на обширных полях вблизи энергетических объектов, что позволяет улучшить логистику их использования, и, кроме того, возможно выращивание энергетических растений на неудобьях и внесевооборотных участках, на деградированных землях, где другие культуры вовсе не растут.

Наибольшее распространение в качестве сырья для производства биодизеля получили различные масличные культуры. Основными используемыми культурами являются рапс (в странах Европейского Союза), подсолнечник (во Франции, Италии), соя (в США, Бразилии и странах Африки), канола (в Канаде), пальмовое масло (в Индонезии, Малайзии) и ятрофа (в Индии и некоторых странах Африки) (Белозерцева Н.Е. и др., 2020).

Каждая из энергетических культур имеет свои биологические особенности, предъявляет свои требования к экологическим факторам (Родькин О.И. и др., 2019). Необходимо отметить, что традиционные биоэнергетические культуры, чаще всего используемые для производства биоэтанола, такие как кукуруза и сахарный тростник, имеют значительные потребности в воде. В связи с аридизацией климата и прекращением работы Северо-Крымского канала кукуруза практически вышла из структуры посевных

площадей в Крыму. Стоит отметить, что рапс – еще одна важная энергетическая культура, ранее широко возделываемая на полуострове, на данный момент имеет ограниченные площади, так как получение всходов рапса без всходовывызывающего полива в Крыму проблематично. Поэтому на сегодняшний день существует необходимость поиска жаро- и засухоустойчивых биоэнергетических культур, способных выдерживать высокие летние температуры и не предъявляющие требований к влаге.

Одной из таких культур является рыжик. Согласно исследованиям, биокеросин, полученный из масла *Camelina*, отвечает всем требованиям, касающимся эксплуатационных характеристик и безопасности для использования в авиации (Petcu S. et al., 2016). Начиная с 2009 г. ВВС США успешно испытывают на боевых самолетах и совершенствуют такой биоавиокеросин. Более того, пассажирские авиакомпании KLM и Japan Airlines выполняют свои полеты с использованием топливных смесей классического реактивного топлива и биокеросина из рыжика. С 2011 г. известная немецкая авиационная компания «Люфтганза» также наращивает долю возобновляемого топлива на основе рыжика.

Показано, что по сравнению с использованием обычных видов топлива, смешивание биотоплива, полученного из сырья рыжика, сокращает количество частиц и массовые выбросы неблагоприятных веществ для атмосферы непосредственно за воздушным судном от 40 до 70%, что, по мнению ученых, является одним из главных векторов стратегии по смягчению изменений климата (Manis S. et al., 2017; Balsam T. Mohammad et al., 2018).

Рыжик содержит в составе масла значительное количество длинноцепочечных жирных кислот (эйкозеновой и эруковой), характеризующихся высокой теплотой сгорания – 37,8 и 38,3 МДж/кг соответственно (Прахова Т.Я. и др., 2018) (рисунок 24).

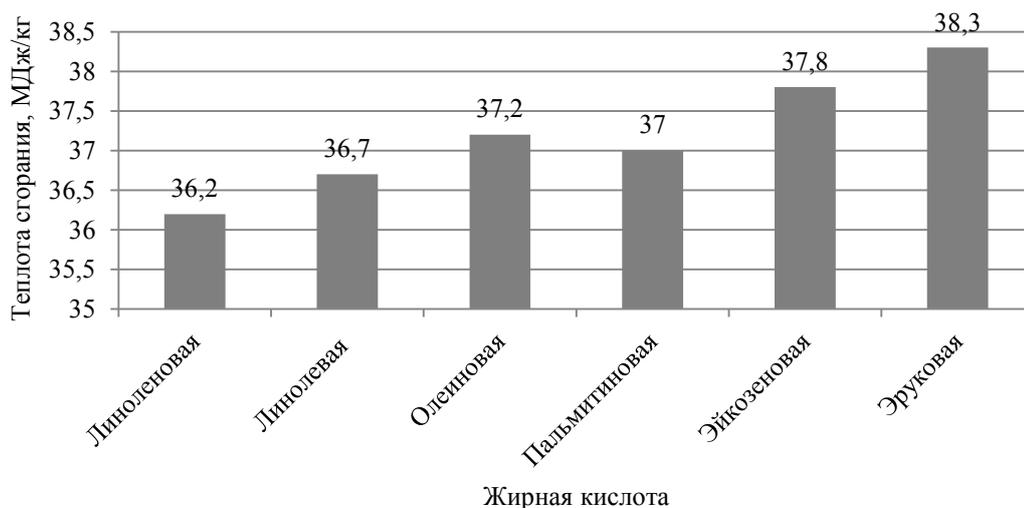
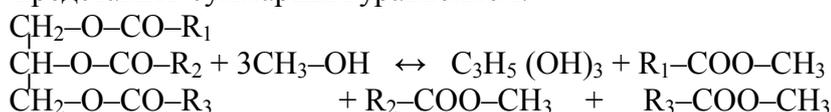


Рисунок 24 – Теплота сгорания жирных кислот

Наиболее распространенным методом получения биодизельного топлива является каталитический процесс переэтерификации триацилглицеринов с образованием эфиров жирных кислот, которые составляют основной компонент смесового дизельного топлива.

В основе процесса синтеза биодизельного топлива могут находиться два типа реакций: переэтерификация триацилглицеринов растительных масел или этерификации жирных кислот, полученных при гидролизе триацилглицеринов растительных масел.

Существующие в настоящее время технологии получения биодизельного топлива используют, как правило, процесс переэтерификации, протекающий по реакции, которую можно представить суммарным уравнением:



По способу активации технологии этого процесса могут быть разделены на каталитические и безкаталитические.

Для оценки возможности использования масла крымского рыжика для биотоплива во «Всероссийском научно-исследовательском институте использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» был проведен синтез биотоплива. В опыте использовали растительные масла рыжика, подсолнечника и рапса. После установления качественного и количественного состава компонентов жирных кислот в исследуемых маслах, идентифицирован их молекулярный состав с помощью метода молекулярной спектроскопии в области инфракрасного излучения, с использованием ИК-Фурье спектрометра «Infracum FT-801». Регистрацию спектров производили по лицензионной программе «ZaIR3.5», заложенной в память компьютера прибора, количество сканов – 16, разрешение – 4см^{-1} , усиление – 1.

Анализ ИК-спектров жидких жиров показал идентичность их структуры, так как их составы довольно близки между собой, а функциональные группы, присутствующие в молекулах триглицеридов жиров, тождественны. Несколько различаются на этих спектрах частотные характеристики сигналов, соответствующих углеродному скелету жирнокислотных фрагментов молекулы, что легко объяснимо имеющимися различиями в количественном составе жирных кислот.

Триглицериды представляют собой сложные эфиры трехатомного спирта глицерина и высших алифатических кислот. Для сложных эфиров прежде всего характерны полосы валентных колебаний карбонильной группы (связи $\text{C}=\text{O}$). К ним следует отнести сильную полосу при 1744 см^{-1} . Для эфиров высших карбоновых кислот характерны также валентные колебания связи $-\text{C}-\text{O}$ в области $1200\text{--}1170\text{ см}^{-1}$. Этим колебаниям в спектре жиров, вероятно, соответствуют полосы при 1165 см^{-1} или 1238 см^{-1} .

Существование группы $-\text{OCH}_3$, симметричные валентные колебания которой обычно располагаются в области $2850\text{--}2815\text{ см}^{-1}$, подтверждает полоса при 2855 см^{-1} . Для карбоновых кислот эти же колебания находятся в интервале $1725\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ (димеры кислот) или при 1760 см^{-1} (мономеры кислот). Кроме того, для кислот характерны колебания свободной или связанной гидроксильной группы, лежащие в области $3550\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ (свободная группа), $3300\text{--}2500\text{ см}^{-1}$ (широкая слабая полоса связанной гидроксильной группы), $955\text{--}890\text{ см}^{-1}$ (любая гидроксильная группа). Наличие характеристических полос гидроксильной группы свидетельствует о наличии в смеси свободных карбоновых кислот.

Наличие двойных связей типа $\text{CHR}=\text{CHR}'$ характеризуется набором соответствующих полос. Полосы деформационных колебаний располагаются, как правило, для транс-изомеров в области $1310\text{--}1290\text{ см}^{-1}$, для цис-изомеров в области $1420\text{--}1400\text{ см}^{-1}$. Полосы валентных колебаний располагаются и для транс-изомеров и для цис-изомеров в области $3040\text{--}3010\text{ см}^{-1}$. Присутствие в спектре триглицеридов жиров полосы при 3009 см^{-1} позволяют судить о наличии непредельных соединений преимущественно в цис-конфигурации.

Полосы колебаний 2924 , 2855 и 1462 см^{-1} следует отнести соответственно к асимметричным, симметричным и ножничным валентным колебаниям групп $-\text{CH}_2-$. Поскольку в исследуемых соединениях присутствуют фрагменты высших алифатических кислот, то в спектрах появляются колебания в области 725 (721 см^{-1}) см^{-1} , соответствующие маятниковым колебаниям нескольких связанных групп $-\text{CH}_2-$.

Присутствие очень слабых полос при 3676 и 3464 см^{-1} может означать наличие в смеси небольших количеств моно- и диглицеридов (свободные гидроксильные группы в виде мономеров и димеров). Широкая полоса в области $3400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$, характерная для полиассоциированных гидроксильных групп, в спектре отсутствует, что позволяет исключить присутствие в смеси молекул свободного глицерина.

Результаты физико-химических свойств полученных образцов биотоплива, синтезированного из рыжикового, рапсового и подсолнечного масел представлены в таблице 30.

Все показатели синтезированных эфиров соответствуют требованиям EN 14214-2003, и их можно использовать при приготовлении смесового моторного топлива. Поэтому масло из семян рыжика, выращенного в Крыму, по своему составу и свойствам подходит для синтеза биодизельного топлива путем реакции метанолиза с использованием гомогенного щелочного катализатора. Полученный биодизель по физико-химическим свойствам аналогичен биодизелю из подсолнечного или рапсового масел. Следует учесть, что выращивание рыжика в Крыму значительно дешевле, чем других масличных культур, вследствие отсутствия или незначительного использования средств защиты растений.

Таблица 30

Физико-химические свойства биотоплива, синтезированного из различных типов масел

Параметр	Требования EN 14214-2003	Масло		
		рыжиковое	подсолнечное	рапсовое
Плотность, кг/м ³	860-900	880	900	900
Вязкость, 40 °С, мм ² /с	3,5-5,0	4,0	4,8	4,8
Температура застывания, °С	не выше -20	-19	-19	-19
Температура вспышки, °С	не ниже 120	161	150	155
Содержание серы, мг/кг	не более 10	менее 10	менее 10	менее 10
Содержание воды, мг/кг	не более 500	100	105	95
Содержание мехпримесей, мг/кг	не более 24	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Кислотное число, мгКОН/г	не более 0,5	0,5	0,35	0,45
Содержание моноацилглицеринов, %	не более 0,8	0,5	0,5	0,6
Содержание диацилглицеринов, %	не более 0,2	0,105	0,1	0,1
Содержание триацилглицеринов, %	не более 0,2	0,002	0,002	0,002
Йодное число, г I ₂ /100г	не более 120	111	100	95
Зольность, %	не более 0,02	0,01	0,01	0,01

Несмотря на многочисленные положительные свойства рыжика как сырья для производства биотоплива, по мнению иностранных ученых, он по-прежнему нуждается в улучшении своих агрономических качеств (Neumann N.G. et al., 2021). По их мнению, изменения в составе жирных кислот значительно улучшат полезность масла, которое склонно к окислению из-за высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот. Кроме того, ведутся работы над увеличением индексом стабильности масла (OSI) и повышением функциональности биотоплива.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫЖИКА ОЗИМОГО

Для принятия управленческого решения о введении рыжика в состав возделываемых культур любой хозяйственный руководитель должен быть уверен в его коммерческой привлекательности. Заниматься производством нового вида растениеводческой продукции или продолжать выращивать только традиционные культуры – этот вопрос является одним из важнейших для бизнеса. Сложность ответа на этот вопрос заключается в необходимости выбора между культурами, по которым не только отлажена технология, но и пользующихся устойчивым спросом. Низкая закупочная цена и нестабильный спрос на маслосемена в Крыму приводят и к невысокой доходности возделывания рыжика озимого.

Экономические расчеты были показаны на примере НИИСХ Крыма в условиях 2019 г. Затраты на 1 га посева рыжика озимого сорта Барон (общая площадь посева 78 га) составили 11874,97 руб., а уровень рентабельности при урожайности семян 1,14 т/га – 44,0% (таблица 31).

В структуре затрат основное место занимали затраты на ГСМ – 25,26%, затраты на наем комбайна – 21,05% и очистку семян – 20,98% (рисунок 25). Денежных средств на средства защиты растений потрачено не было.

Таблица 31

Экономическая эффективность выращивания 1 га рыжика озимого при использовании азотных удобрений и урожайности семян 1,14 т/га (НИИСХ Крыма, 2019 г.)

Показатель	Сумма, руб.
Затраты на 1 га	11874,97
Себестоимость 1 тонны	10416,64
Цена реализации 1 тонны	15000,00
Выручка от реализации с 1 га	17100,00
Прибыль	5225,03
Рентабельность	44,0 %

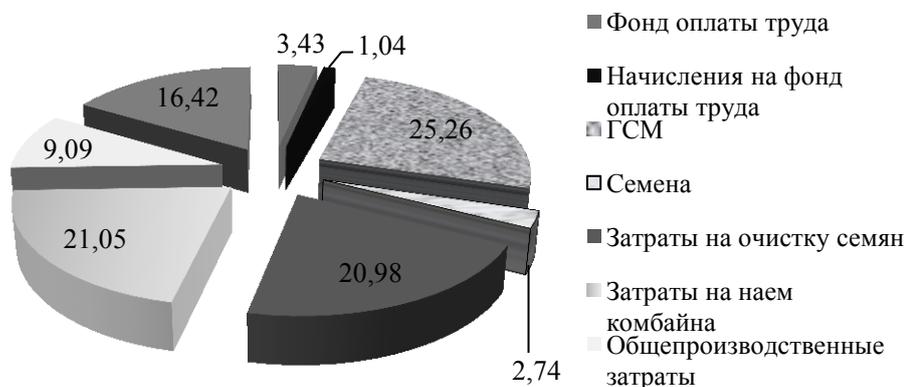


Рисунок 25 – Структура затрат на 1 га производственного посева рыжика озимого при использовании азотных удобрений, %, 2019 г.

В Крыму в Красногвардейском районе работает ООО «Первый Крымский Маслозавод» – современное предприятие, готовое принимать масличное сырье различных сельхозкультур. Это тоже немаловажно, поскольку отсутствие перерабатывающих мощностей на разумных расстояниях от производственных центров всегда сдерживает выращивание нетрадиционных растений. В то же время, считаем, что для повышения интереса крымских сельхозтоваропроизводителей к этой культуре необходимо создавать целевые финансовые поддержки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ *CAMELINA* В КРЫМУ

Являясь одним из основных абиотических стрессов, засуха серьезно ограничивает продуктивность сельскохозяйственных культур. Ограниченные водные ресурсы крымского полуострова и повышенный спрос на пищевые масла диктуют необходимость оценки и коммерческого внедрения устойчивых к засухе альтернативных масличных культур, таких как *Camelina*.

Отрицательное действие процессов глобального потепления в Крыму усугубляется прекращением подачи воды по Северо-Крымскому каналу, из-за чего сельхозтоваропроизводителям пришлось полностью пересматривать существующую структуру посевных площадей. В настоящее время на полуострове не выращивают рис, ограничены посевы сои, кукурузы, люцерны, рапса. Таким образом, на фоне изменяющихся погодных условий появилась проблема поиска предшественников для основных сельскохозяйственных культур крымского полеводства – озимой пшеницы и ячменя.

Испытание рыжика озимого в полевых опытах на протяжении 5 лет показало, что эта культура обладает многими параметрами, определяющими ее коммерческую привлекательность. Во-первых, культивирование рыжика в Крыму не требует внесения гербицидов, поскольку он хорошо подавляет сорную растительность. Устойчивость его к вредителям и болезням позволяет сократить расходы на средства защиты растений. Во-вторых, использование рыжика в севооборотах повышает биоразнообразие в растениеводстве. Немаловажным плюсом культуры является его малая осыпаемость при созревании и возможность уборки прямым комбайнированием.

Перечисленные достоинства культуры заинтересовали сельскохозяйственных производителей Крыма и в 2019 г. впервые в Крыму было высеяно более 1 тыс. га. Рыжик выращивали как по традиционной технологии, так и по ноу-тилл, в Красногвардейском, Раздольненском, Первомайском и Красноперекопском районах. Урожайность, масличность и жирнокислотный состав масла предоставлены в таблицах 32–33.

Таблица 32

**Урожайность и масличность сортов озимого рыжика в роизводственных посевах
Крыма, 2019 г.**

№	Район Крыма, название предприятия	Площадь поля, га	Сорт	Срок сева	Норма высева, кг/га	Подкормка азотными удобрениями, доза по д.в.-ву, кг/га	Масличность, %	Урожайность, т/га
1	Красногвардейский, с. Клепинино, ФГБУН «НИИСХ Крыма»	78	Барон	III декада сентября	7	30	43,60	1,14
2	Красногвардейский, с. Клепинино, ФГБУН «НИИСХ Крыма»	10	Карат	I декада октября	7	0	40,80	0,90
3	Раздольненский, с. Кукушкино, КФХ Кунденюк, посев по традиционной системе земледелия	100	Пензяк	I декада октября	7	40-50	40,93	1,4
4	Первомайский, с. Островское, СПК Колос II	200	Пензяк	III декада сентября	7-8	50	42,69	1,1
5	Красноперекопский, ООО «Днестровский», Рисовый чек 2	86	Пензяк	III декада сентября	8-9	50	39,81	1,2
6	Раздольненский, с. Кукушкино, КФХ Кунденюк, посев по системе no-till	100	Пензяк	I декада октября	7	40-50	40,02	1,0
7	Красноперекопский, ООО «Днестровский», Рисовый чек 4	84	Пензяк	III декада сентября	7-8	50	40,03	1,2

Анализ полученных данных на производственных участках Крыма показывает перспективность выращивания озимого рыжика на полуострове. Наивысшая урожайность культуры была получена в Раздольненском районе в КФХ «Кунденок» – 1,4 т/га с масличностью семян 40,93%. В целом по Крыму на производственных площадях урожайность маслосемян варьировала от 0,90 до 1,4 т/га, масличность – 39,81–43,60%. Таким образом, переход от фундаментальных и прикладных исследований к коммерческому продукту произошел успешно.

Таблица 33

Жирнокислотный состав масла различных сортов рыжика озимого в производственных посевах Крыма, %, 2019 г.

Кислота	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Миристиновая	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Пальмитиновая	5,19	5,15	5,28	5,23	5,26	5,21	5,21
Пальмитолеиновая	0,08	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Стеариновая	2,50	2,28	2,44	2,45	2,34	2,40	2,35
Олеиновая	18,55	17,23	17,30	18,71	17,32	17,37	17,43
Линолевая	17,97	19,22	18,86	18,79	17,85	19,12	17,86
Линоленовая	32,90	32,95	32,86	31,49	33,47	32,40	33,27
Арахидиновая	1,44	1,48	1,48	1,49	1,53	1,54	1,52
Эйкозеновая	14,91	14,99	15,07	15,29	15,18	15,12	15,23
Эйкозодиеновая	1,71	1,73	1,77	1,71	1,79	1,74	1,77
Эйкозатриеновая	1,16	1,09	1,10	1,07	1,22	1,07	1,21
Бегеновая	0,30	0,31	0,30	0,31	0,33	0,33	0,33
Эруковая	2,61	2,72	2,74	2,69	2,89	2,86	2,94
Лигноцериновая	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16
Селахоловая	0,52	0,54	0,54	0,52	0,56	0,56	0,61

БИОКОРРЕКЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА *CAMELINA SATIVA* И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЕГО РИЗОСФЕРЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАСТИТЕЛЬНО-МИКРОБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В настоящее время особое внимание уделяется поддержанию стабильности агроэкосистем, рациональному природопользованию, экологической безопасности земледелия, что подтверждает «Комплексная программа развития технологической платформы «БиоТех-2030», Доктрина продовольственной безопасности РФ (Указ Президента РФ № 120 от 30 января 2010 г.) и Федеральный закон №280-ФЗ «Об органической продукции», вступивший в силу с 1 января 2020 года.

Многие научные публикации указывают на значимость фундаментальных биологических процессов азотфиксации, фосфатмобилизации, синтеза биологически активных веществ, трансформации органического вещества в почве с участием микроорганизмов, растительно-микробного взаимодействия, эволюции метагенома с участием растения, раскрывая роль микробных сообществ, оказывающих существенное действие на формирование и генезис почвы, определяющих уровень ее плодородия и продуктивность агроценозов (Завалин А.А. и др., 2015; Андронов Е.Е. и др., 2017; Берестецкий О.А., 1975; Добровольская Т.Г., 2002; Емцев В.Т., 1986; Grego Stefano, 2012).

Интродукция агрономически полезных микроорганизмов в ризосферу растений позволяет корректировать направленность микробиологических процессов, повысить потенциал и эффективность растительно-микробного взаимодействия (Дидович С.В. и др., 2015; Миненко А.К., 2010; Корвиго И.О. и др., 2016; Зяблых Р.Ю., 2008; Bashan Y., 2008; Tikhonovich I.A. et al. 2016; Ton Bisseling, 2012; Wiggins B.E. et al., 2005). Однако

недостаточно изучена теоретическая сущность таких механизмов в условиях современных агроценозов сельскохозяйственных культур, интродуцированных в определенные почвенно-климатические условия. К таким культурам можно отнести рыжик (*Camelina sativa* L.), который в Крыму возделывается впервые и уже имеет перспективы в сухоходольном земледелии полуострова.

В сельскохозяйственной практике существует богатый опыт применения микробных препаратов удобрительного и защитного действия при выращивании сельскохозяйственных культур. По данным международных информационно-аналитических центров основными производителями биопрепаратов в настоящее время являются: Северная Америка (США, Канада, Мексика), Европа (Франция, Италия, Испания), Азия (Япония, Китай, Индия, Южная Корея, Тайвань) (Маркетинговые отчеты, электронный ресурс). Огромный ассортимент удобрительных и биопротекторных препаратов для растениеводства предлагают такие компании как: «Bayer», «Aventis», «ICN», «AgriLife», «Antibiotics S.A.», «Madras Fertilizers Ltd.», «Novozymes», «Gujrat State Fertilizers & Chemical Ltd.», «LallemandInc.», «Symborg S.L.», «Plant Health Care», «Becker Underwood» и другие.

В России и странах ближнего зарубежья разработками биопрепаратов различной функциональной направленности занимаются как научные учреждения, так и частные компании. Например, в Украине широко применяются Полимиксобактерин, который разработан в ИСМАВ НААН (Чернигов); Планриз, Гаупсин разработаны ООО «Центр Биотехника» (Одесса); оригигатором Фитоспорина является ИМВ НАН (Киев) и т.д. В Республике Беларусь биопрепараты Ризофос, Полибакт, Биопродуктин разработаны и выпускаются Институтом микробиологии НАН Беларуси; Бактоцид – РУП «Институт защиты растений» (Минск) и т.д. В России биотехнологией микробных препаратов занимается ФГБНУ ВНИИ СХМ (Санкт-Петербург), ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Симферополь) и др. Основными производителями биопрепаратов являются сотни отечественных компаний, среди которых НПО «Иммунопрепарат», ООО ПО «Сиббиофарм», ООО «Бисолби-Интер», ООО «Промышленные инновации», НПО «НПО ЭМ-ЦЕНТР» и т.д. (Тихонович И. А. и др., 2005; Патица В.П. и др., 1993; Шерстобоева Е. В., 2000; Завалин А.А. и др., 2010). В ФГБУН «НИИСХ Крыма» создана и поддерживается Крымская коллекция микроорганизмов – Уникальная научная установка (<http://www.ckr-rf.ru>), которая включает более 200 агрономически полезных штаммов микроорганизмов разной функциональной направленности. На основе данных штаммов разрабатываются микробные препараты для растениеводства и земледелия. Применение таких препаратов повышает продуктивность сельскохозяйственных культур, улучшает фитосанитарное состояние посевов, способствует устойчивости растений к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, сохранению и возобновлению плодородия почв.

Известно, что в агротехнологии выращивания рыжика успешно применяется предпосевная обработка стимуляторами роста Альбит и Гумат-К/Na для улучшения посевных свойств семян, есть опыт внесения микроудобрений Силиплант, Микроплант, ЭкоФус, Омекс и др. для повышения продуктивности и улучшения качества семян (Прахова Т.Я. и др., 2017; Аленин П. Г. и др., 2016).

В наших исследованиях изучали эффективность применения микробных препаратов в агротехнологии выращивания рыжика (*Camelina sativa* L.) и их влияние на биологическую активность почвы агроценоза, продуктивность растений при выращивании в предгорной зоне Крыма.

Эксперименты проводили в условиях вегетационного и полевого опыта, использовали семена *Camelina sativa* L., штаммы микроорганизмов из коллекции Отдела сельскохозяйственной микробиологии ФГБУН «НИИСХ Крыма»: *Bacillus amololiguesfaciens* 01-1 – ростстимулирующая бактерия и антагонист фитопатогенов; *Rhizobium radiobacter* 204 – азотфиксирующий и ростстимулирующий микроорганизм; *Lelliottia nimipressuralis* 32-3 – фосфатмобилизирующая и ростстимулирующая

бактерия; *Nostoc linckia* 144 – азотфиксирующая цианобактерия с микроорганизмами – ассоциантами, обладающими азотфиксирующим, фосфатмобилизирующим и ростстимулирующим свойствами.

Семена бактеризовали в день закладки опыта суспензией 3-суточной культуры штамма микроорганизма из расчета 10^6 бактерий/семя. Плотность суспензии для дозирования инокуляционной нагрузки определяли на спектрофотометре. Инокуляционная нагрузка при бактеризации штаммом цианобактерий 144 составляла 0,021 мг абсолютно сухой биомассы/семя. В вегетационном опыте контролем была дистиллированная вода, в полевом опыте – проточная вода. Повторность вегетационного опыта – шестикратная, полевого – четырехкратная.

В вегетационном опыте растения выращивали в теплице в пластиковых сосудах объемом 300 мл на черноземе южном (рисунок 26), содержащем 1,85% гумуса; подвижного фосфора (P_2O_5) – 7,2 мг/100 г и обменного калия (K_2O) – 30,0-39,0 мг/100 г; легкогидролизуемого азота 1,28 мг/100 г; рН солевой вытяжки была 7,7; рН водной – 8,3. Данные агрохимические показатели определяли общепринятыми методами: содержание гумуса проводили по Тюрину, подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) по Мачигину, легкогидролизуемого азота по ГОСТу 26213-91. Показатели рН определяли по ДСТУ 10390-2001. Сверху субстрат присыпали слюдяной крошкой – вермикулитом во избежание появления почвенной корки между поливами.

Опытные полевые участки были расположены в умеренном предгорном агроклиматическом районе Крыма, где климат умеренно холодный, полусухой, континентальный, с большими годовыми и суточными колебаниями температуры. Для данного района характерна переменчивая зима со значительными колебаниями температуры, весна здесь наступает рано, за две декады марта средняя многолетняя температура воздуха повышается до 3,4 °С, но потепление часто сменяется низкими температурами, заморозками.

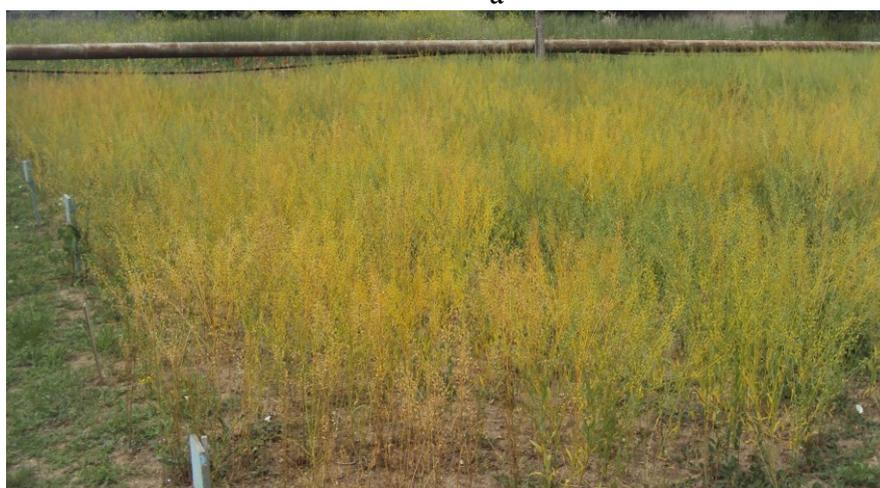


Рисунок 26 – Вегетационный опыт с *Camelina sativa* L.

В марте–апреле ветры достигают наибольшей скорости, что приводит к быстрому испарению влаги и высушиванию почвы. Лето жаркое и сухое с максимальной температурой 35 –39 °С, часто отмечаются суховеи. Осадков выпадает мало – 400–450 мм за год. Максимальное количество осадков приходится на летне-осенний период, несмотря на это, их недостаточно в связи с сильными испарениями в результате высоких температур. Сумма эффективных температур выше 10 °С за 190 дней составляет 3400 °С. Основным лимитирующим фактором является недостаток влаги, которая определяет урожайность сельскохозяйственных культур. Почва – чернозем южный с характеристикой аналогичной субстрату вегетационного опыта. Площадь делянки – 200 м². Полевой опыт закладывали в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова (1985) и согласно методике проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами (2010) (рисунок 27). Полевой опыт проводили в 2017 г.



а



б

Рисунок 27 – Полевой опыт: а – фаза стеблевания, б – фаза начала созревания рыжика, 2017 г.

Используя общепринятые микробиологические методы, анализировали биологическую активность почвы, численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов в ризосфере растений (Звягинцев Д.Г., 1978; Возняковская Ю.М., 1982; Волкогон В.В. и др., 2010). Индекс олиготрофности определяли по методике Д.И. Никитина (1978), ферментативную активность в ризосфере – согласно методам биологических и агрохимических исследований почвы (Грицаенко З.М., 2003) в растениях – биохимическими методами (Практикум, 2000; Ермаков А.И. и др., 1987). В вегетационном опыте учеты проводили в ризосфере рыжика в фазе стеблевания. В полевом эксперименте – в три фазы развития растений: стеблевания, цветения, созревания.

Результаты вегетационного опыта показали, что в фазе интенсивного развития рыжика численность микроорганизмов эколого-трофических групп менялась в зависимости от интродуцированных штаммов. Количество аминотрофов, усваивающих минеральный азот и участвующих в минерализации органического вещества, повышалось в 3,1–6,6 раза при бактериализации полифункциональными штаммами в сравнении с контролем ($16,4 \times 10^6$ КОЕ/г а.с.п.) (таблица 34). Численность аммонификаторов, участвующих в синтезе органического вещества, повышалась в 1,3 раза в варианте с бактериализацией штаммом *L. nimipressuralis* 32-3. Соотношение численности этих двух эколого-трофических групп позволяет оценить интенсивность минерализационных процессов в почве.

Таблица 34

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами микроорганизмов на численность некоторых эколого-трофических групп в ризосфере *Camelina sativa* L., млн КОЕ/1 г а.с.п. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Амино-трофы	Аммонификаторы	Олиготрофы	Азот-фиксаторы	Фосфат-мобилизаторы
Контроль (вода)	16,4±11,9	84,2±5,6	0,2±0,03	1,4±0,2	3,8±0,3
<i>N. linkia</i> 144	86,5±38,9	96,1±0,3	0,2±0,09	1,3±0,02	1,0±0,3
<i>R. radiobacter</i> 204	108,6±1,1	94,7±2,9	0,3±0,07	15,6±0,4	1,9±0,7
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	51,8±1,8	106,6±0,5	3,1±0,03	1,4±0,05	2,3±0,5
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	55,8±34,2	82,8±0,5	0,2±0,01	1,5±0,1	2,8±0,1

Олиготрофные микроорганизмы ассимилируют из рассеянного состояния зольные элементы питания и характеризуют обеднение почвы на питательные вещества (Звягинцев Д.Г., 1978). Увеличение численности этой группы микроорганизмов наблюдали в варианте с бактериализацией штаммом 01-1 ($3,1 \times 10^6$ КОЕ/г а.с.п.). Количество азотфиксаторов, фиксирующих атмосферный азот, повышалось на порядок при бактериализации азотфиксирующего штамма 204 ($15,6 \times 10^6$ КОЕ/г а.с.п.). Бактериализация спорообразующим штаммом 01-1 обеспечила повышение спорообразующих бактерий в ризосфере в 2,3-10,0 раза в сравнении с контролем и другими штаммами (таблица 35).

Таблица 35

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами микроорганизмов на численность некоторых эколого-трофических групп и спорообразующих бактерий в ризосфере *Camelina sativa*, КОЕ/1 г а.с.п. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Актиномицеты	Спорообразующие бактерии	Целлюлозоразрушающие	Микромицеты
	млн, КОЕ/1 г а.с.п.		КОЕ/1 г а.с.п.	
Контроль (вода)	2,8±0,6	0,2±0,001	0,14±0,01	0,001±0,06
<i>N. linkia</i> 144	2,3±1,1	0,4±0,06	0,012±0,01	0,008±0,06
<i>R. radiobacter</i> 204	3,4±0,001	0,6±0,2	0,012±0,03	0,006±0,006
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	4,8±0,001	1,9±0,4	0,021±0,02	0,008±0,06
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	1,8±0,6	0,8±0,2	0,014±0,02	0,005±0,01

Необходимо отметить наличие в ризосфере единичных клеток (0,001–0,008 КОЕ/г а.с.п.) целлюлозолитиков и микромицетов, трансформирующих растительные остатки, которых в этой фазе развития рыжика еще не было.

Оценивая минерализационные процессы (деструкции органического вещества) в ризосфере растений рыжика, можно сказать об их интенсивности в варианте со штаммом 204 ($K_{\text{МИН}} = 1,1$) (таблица 36).

Таблица 36

Направленность микробиологических процессов в ризосфере *Camelina sativa* L., (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Показатель *			
	$K_{\text{МИН}}$	$I_{\text{ОЛГ}}$	$K_{\text{МТОВ}}$	УКГ
Контроль (вода)	0,2	0,002	503,0	31,0
<i>N. linkia</i> 144	0,9	0,001	202,9	7,3
<i>R. radiobacter</i> 204	1,1	0,001	184,8	21,0
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,5	0,02	316,8	11,8
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,7	0,001	198,0	24,5

Примечание. * $K_{\text{МИН}}$ – коэффициент минерализации, $I_{\text{ОЛГ}}$ – индекс олиготрофности, $K_{\text{МТОВ}}$ – коэффициент микробиологической трансформации органического вещества, УКГ – условный коэффициент гумификации.

Максимальная трансформация органического вещества в ризосфере отмечена в контроле ($K_{\text{МТОВ}} = 503$), которая в большей степени была направлена на гумификацию (УГК=31), чем на питание растений. Индекс олиготрофности во всех вариантах был ниже единицы и свидетельствовал о высокой обеспеченности питанием почвенной микрофлоры.

Активность инвертазы, участвующей в круговороте углерода и характеризующей интенсивность превращения безазотистых органических соединений в ризосфере рыжика, отмечена во всех вариантах бактериализации, где была выше на 19–73% (в 1,2–1,7 раза) в сравнении с контролем (таблица 37).

Таблица 37

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в ризосфере *Camelina sativa* L. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Инвертазная активность, мл глюкозы/г почвы	Фосфатазная активность, мг P_2O_5 /100г почвы
Контроль (вода)	13,7±0,9	0,5±0,01
<i>N. linkia</i> 144	16,3±0,005	0,6±0,01
<i>R. radiobacter</i> 204	19,2±1,7	0,9±0,02
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	17,5±0,005	0,7±0,05
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	23,7±1,9	0,3±0,01

Активность пероксидаз в ризосфере, катализирующих окисление органического вещества почвы, в том числе полифенолов, за счет кислорода перекиси водорода, образующегося в результате жизнедеятельности микроорганизмов, была выше в 2,3–2,9 раза при бактериализации в сравнении с контролем (таблица 38).

Таблица 38

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в ризосфере *Camelina sativa* L. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Пероксидазная активность, мкмоль гваякола/г почвы	Полифенолоксидазная активность, мл KJO_3 /100 г почвы	Термолабильная каталазная активность, мл O_2 /минуту
Контроль (вода)	0,6±0,01	18,6±2,9	2,3±0,8
<i>N. linkia</i> 144	5,8±4,7	42,5±11,1	3,8±1,1
<i>R. radiobacter</i> 204	2,5±2,0	52,4±5,4	10,6±2,8
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	4,5±0,2	53,2±5,8	3,7±0,3
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,8±0,3	19,6±5,7	4,5±1,3

Активность полифенолоксидаз, окисляющих ароматические соединения в гуминовые вещества в присутствии кислорода воздуха, была также выше при бактериализации в 4,2–9,7 раза в сравнении с контролем.

Интенсивность дыхания (выделения диоксида углерода) в вегетационном опыте в ризосфере рыжика была на уровне 0,87–1,05 мг CO_2 /г почвы в сутки (таблица 39). Возможно предположить, что при бактериализации выделяемая углекислота использовалась микроорганизмами в результате взаимодействия с растением и микробоценозом ее ризосферной почвы, в связи с чем эмиссия диоксида углерода была меньше на 10,5–17,1%.

Оценку физиологического статуса растений проводили, исследуя активность ферментов – оксидаз: полифенолоксидаз, пероксидаз, каталаз, которые определяют характер биохимических и физиологических процессов, участвуют в формировании первичных ответных реакций, обуславливающих степень адаптации, устойчивости и дыхание растений (Газарян И.Г. и др., 2006; Карташова Е.Р. и др., 2000).

Установлено, что высокая полифенолоксидазная активность наблюдалась в варианте с бактериризацией штаммом 32-3, где была в 1,2–1,7 раза выше в сравнении с контролем и бактериризацией остальными исследуемыми штаммами (таблица 40).

Таблица 39

Влияние бактерилизации полифункциональными штаммами на интенсивность выделения диоксида углерода в ризосфере растений *Camelina sativa* L., мг CO₂ /г почвы в сутки (вегетационный опыт, чернозем южный)

Вариант опыта	Фаза стеблевания, начало цветения
Контроль (вода)	1,05±0,03
<i>N. linkia</i> 144	0,87±0,01
<i>R. radiobacter</i> 204	0,87±0,03
<i>B. amololiguelafaciens</i> 01-1	0,87±0,03
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,94±0,07

Таблица 40

Влияние бактерилизации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в растениях *Camelina sativa* L. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Полифенол-оксидаза, мкмоль C ₆ H ₈ O ₆ /г/минуту	Пероксидаза, мкмоль гваякола/г/минуту	Каталаза, мкмоль H ₂ O ₂ /г/минуту
Контроль (вода)	29,3±1,9	4,8±0,3	64,0±35,8
<i>N. linkia</i> 144	22,7±0,1	3,3±0,03	33,0±1,7
<i>R. radiobacter</i> 204	21,5±0,3	1,7±0,06	72,0±21,9
<i>B. amololiguelafaciens</i> 01-1	23,4±0,9	2,2±0,001	98,0±0,01
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	36,6±6,8	3,3±0,06	29,0±7,5

В варианте со штаммом 204 установлена самая низкая пероксидазная активность, меньше в 1,2–1,9 раза в сравнении с бактериризацией другими штаммами и в 2,8 раза в сравнении с обработкой водой. Уровень каталаз был высоким в вариантах со штаммами 204 и 01-1, который превосходил контроль соответственно в 1,1 и 1,5 раза.

Интегрирующим показателем эффективности растительно-микробного взаимодействия является урожайность растений, которая была достоверной только в варианте со штаммом *N. linkia* 144 при средних показателях ферментативной активности в почве и растении. Прибавка составила 0,17 г/растение – в 2,2 раза (121%) превышала контроль (таблица 41).

Таким образом, в результате проведенного исследования в условиях вегетационного опыта показана возможность повышения биологической активности почвенной ризосферы и создания высокопродуктивной полифункциональной растительно-микробной системы *Camelina sativa* L. путем интродукции в ризосферу штаммов полезных микроорганизмов PGPPM (Plant Growth-Promoting and Protecting Microorganisms) Крымской коллекции отдела сельскохозяйственной микробиологии.

Таблица 41

Влияние бактерилизации полифункциональными штаммами микроорганизмов на продуктивность растений *Camelina sativa* L. (вегетационный опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Фитомасса, г/растение	Высота, см/растение
Контроль (вода)	0,14	6,6
<i>N. linkia</i> 144	0,31	7,8
<i>R. radiobacter</i> 204	0,25	6,2
<i>B. amololiguelafaciens</i> 01-1	0,22	7,9
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,25	9,6
НСР ₀₅	0,12	2,15

Данные исследуемые штаммы и вариант препаративной формы на основе штаммов *N. linkia* 144 и *R. radiobacter* 204 включены в схему полевого эксперимента для выявления эффективности растительно-микробного взаимодействия в ризосфере *Camelina sativa* L. в условиях агроценоза.

Анализ эколого-трофических сообществ микробоценоза ризосферы при выращивании на черноземе южном *Camelina sativa* L. в предгорной зоне показал снижение количества микроорганизмов, усваивающих минеральные и органические формы азота к концу вегетации растений (таблица 42).

Таблица 42

Влияние бактеризации полифункциональными штаммами микроорганизмов на численность некоторых эколого-трофических групп в ризосфере *Camelina sativa* L., КОЕ/г а.с.п. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Аминотрофы	Аммонификаторы	Олиготрофы	Азотфиксаторы
	млн, КОЕ/г а.с.п.			
фаза стеблевания				
Контроль	13,3±0,6	81,8±12,2	29,0±16,2	60,9±28,4
<i>N. linkia</i> 144	15,5±3,3	88,3±3,9	16,6±3,3	66,6±13,3
<i>R. radiobacter</i> 204	8,1±0,001	92,8±3,5	15,7±1,8	45,3±10,5
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	5,0±0,01	85,2±19,1	16,8±5,6	63,8±1,1
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	14,3±1,7	100,9±5,1	20,5±2,3	60,4±3,4
144+204	11,2±1,1	71,7±2,3	20,7±2,8	66,6±2,8
фаза цветения				
Контроль	4,8±0,001	37,8±0,6	10,8±0,001	2,4±0,001
<i>N. linkia</i> 144	23,2±4,6	37,2±12,0	12,0±3,6	9,6±1,2
<i>R. radiobacter</i> 204	7,8±1,8	16,2±3,0	9,6±0,001	14,4±0,001
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	3,0±0,6	19,8±6,6	9,0±3,0	1,2±0,001
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	25,5±5,7	188,4±3,6	12,6±1,8	9,0±0,6
144+204	5,4±0,6	10,2±4,2	5,4±0,6	20,4±4,8
фаза созревания				
Контроль	≤1	7,4±2,3	10,8±2,9	23,2±0,6
<i>N. linkia</i> 144	2,2±0,06	24,6±2,8	6,6±2,2	16,4±3,3
<i>R. radiobacter</i> 204	2,7±0,6	22,9±1,1	3,9±0,6	20,8±4,4
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	4,8±0,5	23,4±1,1	8,5±2,1	28,7±1,1
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	1,1±0,001	22,5±1,1	2,7±1,6	19,8±3,7
144+204	2,7±0,6	25,1±4,4	10,9±1,1	22,3±1,6

В контроле численность аминотрофов уменьшалась на несколько порядков, в фазу стеблевания растений с 13,3 до 4,8 к фазе цветения и менее 1 млн КОЕ/г а.с.п. к фазе созревания растений в сравнении с бактеризацией; численность аммонификаторов во всех вариантах обработки снижалась в 2–5 раз к фазе цветения растений, кроме варианта с бактеризацией штаммом 32-3, где снижение в 4,5–8,3 раза наблюдалось к концу вегетации растений.

Численность азотфиксаторов максимальной была в период стеблевания растений и составляла 45,3–66,6 млн КОЕ/г а.с.п., в зависимости от обработки снижалась к фазе цветения в контрольном варианте в 25 раз, в варианте со штаммами 144 и 32-3 в 7 раз, со штаммом 204 в 13 раз, со штаммом 01-1 в 53 раза, в варианте с комплексом 144+204 в 3 раза.

Обеднение почвы на минеральные и органические вещества установлено только в контроле, использование бактеризации имело тенденцию к снижению численности олиготрофных микроорганизмов в процессе вегетации рыжика.

На количество микроорганизмов, трансформирующих почвенные фосфаты, существенно влияла обработка штаммом 204, 01-1 и комплексом 144+204, при которой наблюдали снижение численности фосфатмобилизаторов на 1-2 порядка к фазе цветения растений, что могло свидетельствовать об интенсивности потребления фосфора растениями в этот период (таблица 43).

Таблица 43

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами микроорганизмов на численность некоторых эколого-трофических групп и споровых микроорганизмов в ризосфере *Camelina sativa* L., КОЕ/г а.с.п. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Фосфат-мобилизаторы	Спорообразующие бактерии	Целлюлозо-разрушающие	Микромицеты
	млн, КОЕ/г а.с.п.		тыс. КОЕ/г а.с.п.	
фаза стеблевания				
Контроль	33,6±0,001	62,1±0,6	24,4±3,5	4,8±0,4
<i>N. linckia</i> 144	24,9±1,7	51,7±0,6	39,4±16,0	2,7±0,2
<i>R. radiobacter</i> 204	27,3±1,8	54,5±5,8	22,6±7,5	2,2±0,9
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	39,2±3,4	28,0±1,1	27,4±0,6	1,7±0,3
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	28,5±5,7	47,3±0,6	59,2±2,6	1,1±0,01
144+204	45,4±2,8	42,0±12,9	52,1±24,0	4,9±0,1
фаза цветения				
Контроль	10,2±0,6	10,8±1,2	31,2±6,0	1,1±0,1
<i>N. linckia</i> 144	13,2±1,2	28,2±12,6	36,0±8,4	0,9±0,1
1	2	3	4	5
<i>R. radiobacter</i> 204	9,0±0,6	11,4±3,0	19,2±0,001	2,8±0,07
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	9,0±3,0	7,2±0,001	24,0±2,4	1,6±0,1
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	10,8±1,2	4,8±3,6	10,2±1,9	2,5±0,1
144+204	8,4±0,001	21,0±12,6	13,2±1,2	1,1±0,3
фаза созревания				
Контроль	16,4±4,2	6,8±2,3	12,4±1,1	2,7±0,5
<i>N. linckia</i> 144	37,1±2,2	4,9±1,6	4,9±0,6	1,3±0,06
<i>R. radiobacter</i> 204	≤1	7,7±1,1	19,6±4,4	0,9±0,001
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	38,7±3,8	5,8±0,5	15,4±4,6	1,8±0,3
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	27,9±1,1	8,0±2,2	9,6±3,1	2,1±0,5
144+204	20,7±2,2	22,5±2,7	13,6±0,6	0,9±0,02

Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов была в пределах одного порядка на уровне 10–59 тыс КОЕ/г а.с.п., и только в варианте со штаммом 144 снижалась на один порядок и составляла 4,9 тыс. КОЕ/г а.с.п. к концу вегетационного периода растений.

Количество спорообразующих микроорганизмов по вариантам снижалось к концу вегетации на один порядок и было на уровне 4,9–22,5млн КОЕ/г а.с.п. Численность микромицетов в ризосфере растений изменялась не существенно.

В период вегетации рыжика в ризосферной почве отмечали синтез органического вещества, о чем свидетельствует коэффициент минерализации, который был меньше единицы (таблица 44).

Индекс олиготрофности во всех вариантах был больше единицы (кроме варианта с штаммом *L. nimipressuralis* 32-3 в фазу цветения). Существенное обеднение почвы на питательные вещества наблюдали в контроле в начале вегетации и в фазу цветения растений ($I_{\text{ОЛГ}}$ 3,0 и 2,5), в вариантах с обработкой штаммом 204 ($I_{\text{ОЛГ}}$ 4,0) в фазу цветения, а также к концу вегетации в вариантах со штаммами 144 и 01-1 ($I_{\text{ОЛГ}}$ 2,5 и 3,0) и с использованием комплекса 144+204 на протяжении вегетации растений ($I_{\text{ОЛГ}}$ 2,5-3,9).

Интенсивность микробиологической трансформации органического вещества была максимальной в начале вегетации в вариантах со штаммами 204 и 01-1 ($K_{\text{МТОВ}}$ 1121 и 1503), в фазу цветения в варианте со штаммом 32-3 ($K_{\text{МТОВ}}$ 1528). Установлено, что к концу вегетации растений процессы гумификации (УКГ) проходили в 3,3–5,8 раз активнее в сравнении с остальными фазами развития растений.

Бактериализация способствовала повышению на 6,6–17,5 и 8,8–20,0% активности инвертаз в ризосферной почве в фазу цветения и созревания растений рыжика в сравнении с контролем (таблица 45). Фосфатазная активность в вариантах с бактериализацией была на уровне контроля или снижалась на 0,06-0,65 мг $P_2O_5/100$ г почвы (1,0–27,7%).

Таблица 44

**Направленность микробиологических процессов в ризосфере *Camelina sativa* L.
(полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)**

Вариант опыта	Показатель*			
	К _{МИН}	И _{ОЛГ}	К _{МТОВ}	УКГ
фаза стеблевания				
Контроль	0,16	3,0	594,4	0,87
<i>N. linckia</i> 144	0,18	1,6	576,7	0,93
<i>R. radiobacter</i> 204	0,09	1,6	1121,1	1,11
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,06	1,9	1503,3	1,01
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,14	1,8	822,9	0,55
144+204	0,16	2,5	518,1	0,98
фаза цветения				
Контроль	0,13	2,5	327,7	1,29
<i>N. linckia</i> 144	0,62	1,9	97,4	0,10
<i>R. radiobacter</i> 204	0,48	4,0	50,0	1,19
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,15	3,9	152,0	0,21
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,14	0,6	1527,9	1,53
144+204	0,53	3,5	29,4	1,83
фаза созревания				
Контроль	0,12	1,3	69,2	3,97
<i>N. linckia</i> 144	0,09	2,5	297,8	5,42
<i>R. radiobacter</i> 204	0,12	1,5	213,3	5,75
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,21	3,0	134,3	3,25
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,05	1,1	472,0	3,10
144+204	0,11	3,9	252,7	3,31

Примечание. К_{МИН} – коэффициент минерализации, И_{ОЛГ} – индекс олиготрофности, К_{МТОВ} – коэффициент микробиологической трансформации органического вещества, УКГ – условный коэффициент гумификации.

Таблица 45

Влияние бактеризации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в ризосфере *Camelina sativa* L. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Инвертазная активность, мл глюкозы/г почвы	Фосфатазная активность, мг P ₂ O ₅ /100г почвы
	фаза стеблевания	
Контроль	7,3±0,29	3,76±0,001
<i>N. linckia</i> 144	7,1±0,2	3,2±0,3
<i>R. radiobacter</i> 204	6,5±0,001	3,59±0,07
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	7,3±0,29	3,58±0,01
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	8,87±0,78	3,65±0,07
144+204	6,8±0,3	3,6±0,001
фаза цветения		
Контроль	4,57±0,03	2,35±0,27
<i>N. linckia</i> 144	5,0±0,06	1,7±0,02
<i>R. radiobacter</i> 204	4,87±0,03	2,06±0,14
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	4,87±0,09	2,16±0,09
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	5,37±0,26	2,31±0,39
144+204	4,6±0,3	2,1±0,1
фаза созревания		
Контроль	4,5±0,03	5,75±0,23
<i>N. linckia</i> 144	5,4±0,03	5,5±0,04
<i>R. radiobacter</i> 204	5,0±0,06	5,69±0,11
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	4,9±0,03	6,95±0,74
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	5,4±0,03	5,46±0,3
144+204	5,1±0,03	7,8±0,7

По результатам исследования активности пероксидаз, полифенолоксидаз в ризосфере рыжика установлено, что три штамма: 144, 204 и 01-1 увеличивали пероксидазную активность в 6,3-15,8 раза в фазу цветения растений в сравнении с

контролем (0,49 мкмоль гваякола/г почвы); полифенолоксидазную активность в 1,1–1,5 раз в фазе созревания растений по сравнению с контролем (123,2 мл КЮ₃/100 г почвы) (таблица 46).

Таблица 46

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в ризосфере *Camelina sativa* L. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Пероксидазная активность, мкмоль гваякола/г почвы	Полифенолок-сидазная активность, мл КЮ ₃ /100 г почвы	Термолабильная каталазная активность, мл О ₂ /мин
фаза стеблевания			
Контроль	0,34±0,01	29,5±4,94	1,8±0,001
<i>N. linckia</i> 144	0,33±0,001	30,8±2,2	2,5±0,02
<i>R. radiobacter</i> 204	0,33±0,001	36,7±0,43	0,7±0,05
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	0,31±0,001	31,4±0,5	1,9±0,3
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,53±0,2	29,2±1,4	1,0±0,4
144+204	2,55±0,001	25,0±0,5	2,0±0,2
фаза цветения			
Контроль	0,49±0,13	63,6±0,69	1,5±0,1
<i>N. linckia</i> 144	7,78±6,5	77,5±2,9	3,3±1,1
<i>R. radiobacter</i> 204	3,19±0,001	62,4±0,001	1,1±0,1
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	3,13±0,001	67,2±0,001	2,6±0,2
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,36±0,001	55,2±4,2	0,9±0,1
144+204	0,36±0,001	66,0±2,1	1,3±0,3
фаза созревания			
Контроль	0,31±0,03	123,2±4,6	8,2±0,2
<i>N. linckia</i> 144	0,32±0,001	173,3±5,7	13,3±0,05
<i>R. radiobacter</i> 204	0,32±0,01	184,2±62,1	9,6±0,4
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	0,41±0,13	133,6±29,4	8,4±0,2
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,32±0,001	99,5±5,5	7,1±0,9
144+204	0,30±0,02	99,2±0,6	5,3±0,5

Уровень каталазной активности сильно варьировал, однако зависел как от фазы развития, так и от использования бактериального инокулята. В фазе созревания растений каталазная активность была на уровне 5,3–13,3 мл О₂/мин, что в среднем больше в 2,7–5,9 раз в сравнении с каталазной активностью в другие фазы развития растений. Штамм 144 обеспечил максимальную каталазную активность в ризосфере рыжика – 13,3 мл О₂/мин, согласно шкале оценки биологической активности по Звягинцеву Д.Г. (1978), биологическая активность была повышена со слабого до высокого уровня.

Данные по дыханию почвы свидетельствуют о возможности повышения биологической активности путем бактериализации полифункциональными штаммами (таблица 47).

Во всех вариантах опыта бактериализация существенно увеличивала выделение углекислого газа: в 1,8–3,2 раза в фазе стеблевания культуры, в 1,2–3,1 раза в фазе цветения и в 1,04–1,6 раза в конце вегетации растений в сравнении с контролем (соответственно 0,27; 0,19; 0,91 мг СО₂/г почвы в сутки), при этом биологическая активность повысилась до среднего уровня, а в случае с обработкой штаммом 144 была ближе к высокому уровню активности (Звягинцев Д.Г., 1978).

Оценивали физиологический статус растений рыжика по ферментативной активности оксидоредуктаз – ферментов каталаз, катализирующих реакцию разложения токсичных перекисей, участвующих в дыхании; пероксидаз, контролирующих адаптационный потенциал; полифенолоксидаз, участвующих в регуляции окислительных процессов.

Таблица 47

Влияние бактеризации полифункциональными штаммами на интенсивность выделения диоксида углерода в ризосфере растений *Camelina sativa* L. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Выделение CO ₂ , мг CO ₂ /г почвы в сутки
фаза стеблевания	
Контроль	0,27±0,03
<i>N. linckia</i> 144	0,55±0,1
<i>R. radiobacter</i> 204	0,49±0,20
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,80±0,02
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,86±0,04
144+204	0,79±0,001
фаза цветения	
Контроль	0,19±0,07
<i>N. linckia</i> 144	0,51±0,01
<i>R. radiobacter</i> 204	0,30±0,03
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,58±0,07
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,23±0,07
144+204	0,57±0,24
фаза созревания	
Контроль	0,91±0,03
<i>N. linckia</i> 144	1,47±0,07
<i>R. radiobacter</i> 204	1,31±0,06
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,95±0,05
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	1,21±0,08
144+204	1,24±0,20

Бактеризация штаммами 144 и 204 повышала в 1,1–1,5 раз уровень полифенолоксидаз в тканях растений в сравнении с контролем (3,78 мкмоль C₆H₈O₆/г/мин) (таблица 48). Использование инокуляции повышало в 1,2 пероксидазную активность и снижало в 1,1 раза каталазную активность в растениях по сравнению с контролем (2,03 мкмоль гваякола/г/мин и 136,3 мкмоль H₂O₂/г/мин соответственно).

Таблица 48

Влияние бактеризации полифункциональными штаммами на ферментативную активность в растениях *Camelina sativa* L. (полевой опыт, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Полифенол-оксидаза, моль C ₆ H ₈ O ₆ /г/мин	Пероксидаза, 78моль гваякола/ г/мин	Каталаза, 78моль H ₂ O ₂ /г/мин
Контроль	3,78±0,001	2,03±0,3	136,3±0,001
<i>N. linckia</i> 144	4,03±0,001	2,48±0,01	129,2±0,7
<i>R. radiobacter</i> 204	5,72±1,56	2,35±0,07	118,9±0,001
<i>B. amololiguefaciens</i> 01-1	0,95±0,001	2,43±0,01	126,7±0,1
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	0,56±0,27	2,36±0,01	125,4±0,2
144+204	3,35±0,001	2,13±0,2	128,4±2,0

Результаты исследований показывают, что обработка полифункциональными штаммами влияла не только на биологическую активность и ферментативную систему растений рыжика, но и на урожайность семян (таблица 49). Бактеризация штаммами 144, 204 и препаративной формой на основе данных штаммов повысила семенную продуктивность растений на 0,67–77,9 т/га (16,0–18%), однако прибавка была в пределах ошибки опыта, т. е. мы отмечаем тенденцию увеличения урожайности в данных условиях полевого эксперимента.

Таким образом, в результате проведенного исследования эффективности бактеризации при выращивании *Camelina sativa* L. можно заключить следующее: использование предпосевной инокуляции семян полифункциональными штаммами агрономически полезных микроорганизмов позволяет провести биокоррекцию структуры микробоценоза, оптимизировать направленность микробиологических процессов и

интенсивность выделения диоксида углерода, повысить активность ферментов в ризосферной почве и в растении, выявить перспективные высокопродуктивные и комплементарные ассоциативные растительно-микробные системы.

Таблица 49

Влияние бактериализации полифункциональными штаммами на биологическую урожайность семян *Camelina sativa* L. (полевой опыт в предгорной зоне Крыма, чернозем южный, 2017 г.)

Вариант опыта	Биологическая урожайность семян	
	г/м ²	т/га
Контроль	428,7	4,29
<i>N. linckia</i> 144	496,4	4,96
<i>R. radiobacter</i> 204	497,3	4,97
<i>B. amololiguesfaciens</i> 01-1	406,7	4,07
<i>L. nimipressuralis</i> 32-3	414,9	4,15
144+204	506,6	5,07
НСР ₀₅	81,80	0,820

По результатам исследования выращивания рыжика на черноземе южном в предгорной зоне Крыма установлены корреляционные связи в системе растительно-микробного взаимодействия.

В агроценозе рыжика показатели биологической активности почвы, ферментативной системы растений и продуктивности имели около 50 значимых взаимосвязей, среди которых максимальное количество высоких корреляций зафиксировано для почвенных фосфатаз с пероксидазами ($r = -0,99$), ПФО ($r = -0,85$), каталазами почвы ($r = -0,74$), УКГ ($r = -0,78$) и семенной продуктивностью ($r = -0,77$); коэффициента гумификации с количеством микроорганизмов аммонификаторов ($r = 0,75$), почвенных пероксидаз ($r = -0,81$) и фосфатаз ($r = -0,78$), дыханием почвы ($r = -0,79$) и с интенсивностью трансформации органического вещества ($r = -0,81$) (таблица 50). Установлено, что количество азотфиксирующих и спорообразующих микроорганизмов в ризосфере рыжика влияло на семенную продуктивность ($r = 0,77; 0,74$).

Таблица 50

Корреляции в системе «потенциал биологической активности почвы – биологический потенциал *Camelina sativa* L.»

	Амт	Амф	Олг	Азф	Фм	Цл	Мкм	Сп	ПО	ПФО	Ктл	Ин	Фз	СО ₂	К _{МИН}	И _{ОЛГ}	КМТОВ	УКГ	г/м ²
Амт	1,00	0,73	0,48	0,14	-0,31	0,39	0,16	0,40	0,37	-0,51	-0,55	0,31	-0,58	-0,57	0,46	-0,28	0,40	-0,53	-0,08
Амф	0,73	1,00	0,54	0,38	-0,15	0,23	0,24	0,42	-0,25	-0,58	-0,56	0,54	-0,37	-0,44	-0,20	-0,48	0,87	-0,37	0,30
Олг	0,48	0,54	1,00	0,71	-0,19	0,54	0,57	0,84	-0,09	-0,74	-0,61	0,74	-0,33	-0,53	-0,00	0,06	0,43	-0,57	-0,28
Азф	0,14	0,38	0,71	1,00	0,22	0,48	0,38	0,81	-0,40	-0,49	-0,26	0,88	0,14	0,01	-0,28	-0,17	0,47	-0,20	-0,68
Фм	-0,31	-0,15	-0,19	0,22	1,00	-0,09	-0,22	-0,02	-0,34	0,55	0,51	0,10	0,58	0,62	-0,31	-0,21	-0,03	0,66	0,64
Цл	0,39	0,23	0,54	0,48	-0,09	1,00	-0,21	0,62	0,22	-0,58	-0,56	0,65	-0,43	-0,29	0,22	0,03	0,11	-0,59	-0,04
Мкм	0,16	0,24	0,57	0,38	-0,22	-0,21	1,00	0,42	-0,25	-0,39	-0,27	0,21	-0,03	-0,42	-0,06	0,13	0,13	-0,22	-0,77
Сп	0,40	0,42	0,84	0,81	-0,02	0,62	0,42	1,00	-0,05	-0,68	-0,53	0,80	-0,25	-0,35	0,01	-0,06	0,35	-0,50	-0,20
ПО	0,37	-0,25	-0,09	-0,40	-0,34	0,22	-0,25	-0,05	1,00	-0,08	-0,19	-0,29	-0,55	-0,26	0,88	0,30	-0,39	-0,45	-0,48
ПФО	-0,51	-0,58	-0,74	-0,49	0,55	-0,58	-0,39	-0,68	-0,08	1,00	0,93	-0,60	0,68	0,75	-0,08	-0,04	-0,54	0,90	0,91
Ктл	-0,55	-0,56	-0,61	-0,26	0,51	-0,56	-0,27	-0,53	-0,19	0,93	1,00	-0,41	0,80	0,86	-0,21	-0,09	-0,47	0,92	0,80
Ин	0,31	0,54	0,74	0,88	0,10	0,65	0,21	0,80	-0,29	-0,60	-0,41	1,00	-0,09	-0,05	-0,26	-0,17	0,57	-0,36	0,29
Фз	-0,58	-0,37	-0,33	0,14	0,58	-0,43	-0,03	-0,25	-0,55	0,68	0,80	-0,09	1,00	0,78	-0,48	-0,20	-0,21	0,82	-0,51
СО ₂	-0,57	-0,44	-0,53	0,01	0,62	-0,29	-0,42	-0,35	-0,26	0,75	0,86	-0,05	0,78	1,00	-0,36	-0,22	-0,23	0,80	0,81

Примечание. Эколого-трофические группы микроорганизмов: Амт – аминотрофы, Амф – аммонификаторы, Олг – олиготрофы, Азф – азотфиксаторы, Фм – фосфатмобилизаторы, Цл – целлюлозолитики, Мкм – микромицеты; Сп – споровые формы микроорганизмов; ферментативная активность почвы: ПО – пероксидазы, ПФО – полифенолоксидазы, Ктл – каталазы, Ин – инвертазы; СО₂ – выделение СО₂; К_{МИН} – коэффициент минерализации; И_{ОЛГ} – индекс олиготрофности; КМТОВ – коэффициент микробиологической трансформации органического вещества; УКГ – условный коэффициент гумификации; г/м² – биологическая урожайность семян.

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РЫЖИКА ПОСЕВНОГО В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ *IN VIVO*, *IN VITRO*

По биохимическому составу и пищевой ценности рыжиковое масло схоже со знаменитым кедровым маслом и отличается высоким содержанием каротиноидов, витамина Е, а также фосфолипидов и незаменимых жирных кислот. Также масло рыжика содержит значительное количество магния, хлорофилла, фитостероидов. Нерафинированное масло обладает выраженными антиоксидантными свойствами.

Антиоксиданты – молекулы, которые способны блокировать реакции свободнорадикального окисления, восстанавливая разрушенные соединения. Свободные радикалы – это молекулы с неспаренными электронами, находящимися на внешней оболочке атома, обладающие очень высокой реакционной способностью и, как следствие, выраженным повреждающим действием на клеточные структуры. Свободные радикалы являются постоянными продуктами кислородного метаболизма в живых клетках. В настоящее время считается, что свободные радикалы ответственны за патогенез многих заболеваний.

Антиоксидантная способность организма – это сложный механизм, функционирующий в живых организмах на протяжении всей жизни. Существует баланс между природными антиоксидантами и прооксидантами, вырабатываемыми в организме (Sheu S.S. et al., 2006). Эта эндогенная антиоксидантная система истощается с возрастом на фоне постепенного накопления активных форм кислорода и накапливающегося окислительного стресса (Ikediobi C. et al., 2004). Предполагается, что возрастное, по своей сути естественное, снижение антиоксидантной системы организма является основной причиной любых возрастных заболеваний (Vijayala Kshmi B. et al., 2008).

Использование растительных ресурсов в качестве экзогенного источника биологически активных веществ является эффективной профилактикой различных заболеваний, провоцируемых свободными радикалами (Al-Attar A.M., 2010).

Целью нашего исследования являлось изучение действия масла *Camelina sativa* на морфо-физиологические показатели организма крыс.

Эксперименты проводили на крысах самцах линии Wistar возрастом 3 месяца и весом 180 г. Все животные содержались в стандартных условиях вивария со свободным доступом к воде и пище и 12-часовым световым днем. Животных разделили на группы блочным методом. Первую, контрольную, группу составили животные, получавшие корм без добавок, вторая группа ежедневно получала пищевую добавку в виде раствора масла рыжика в количестве 0,01 г на 100 г зерна, третья – в два раза большую дозу масла (0,02 г). Кроме сухого корма животные всех групп имели в рационе свежие овощи и зелень.

Для оценки морфометрических свойств желудка крыс через три недели животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом, отделяли желудок, фиксировали в 10% забуференном формалине, подвергали дегидратации и пропитке парафином на микроволновом гистопротессоре LOGOS (Mielstone, Италия). Из полученных парафиновых блоков изготавливали срезы, окрашивали их гематоксилином и эозином и просматривали в светлом поле под микроскопом DM 2000 (Leica, Германия) с объективами Plan 10x и Plan 40x и камерой DFC295. На полученных изображениях измеряли высоту покровного эпителия желудка, глубину собственных желез, толщину слизистого слоя желудка, количество эпителиоцитов в покровном эпителии (на 1 ворсинке), относительное количество главных и обкладочных желез желудка. Полученные данные обрабатывали методами описательной статистики (с определением нормальности распределения методом Шапиро-Уилка, вычислением среднего арифметического, доверительного интервала, ошибки среднего) и непараметрической статистики (определение различий между группами путем множественного сравнения нескольких групп методом Краскела-Уоллиса). Достоверными считали отличия при $p \leq 0,05$.

Также определяли бактерицидную активность плазмы крови крыс (БАСК), которая является интегральным показателем иммунного статуса организма. Бактерицидную активность определяли в экспериментах *in vitro* в отношении музейных тест-штаммов грамположительных (*S. aureus* ATCC 25923) и грамотрицательных (*E. coli* ATCC 25922) бактерий. Динамику роста суточных тест-культур исследовали в 96-луночном планшете с помощью прибора Multiskan в течение 24 ч с интервалом 1 ч. Длина волны составляла 540 нм. Использовали разведения плазмы 1:5 и 1:10. Показатель бактерицидности оценивали в процентах по отношению к контрольному образцу без плазмы по формуле:

$$БАСК = \frac{E_{оп3} - E_{оп0}}{E_{к3} - E_{к0}} \times 100$$

где БАСК – усл. ед. %; $E_{оп0}$ – оптическая плотность опытной пробы до инкубации; $E_{оп3}$ – оптическая плотность опытной пробы через 3 часа инкубации; $E_{к0}$ – оптическая плотность контрольной пробы до инкубации; $E_{к3}$ – оптическая плотность контрольной пробы через 3 часа инкубации.

Так как в любых биотопах организма бактерии существуют в виде биоплёнок, изучали действие плазмы крыс контрольной и опытных групп на образование биопленок условно-патогенных грамположительных (*S. aureus* ATCC 25923) и грамотрицательных (*E. coli* ATCC 25922) бактерий *in vitro*. Биоплёнки стандартных музейных культур *S. aureus* и *E. coli* получали по методу G.O.Toole & R.Kolter, 1998), для чего суспензию суточной культуры бактерий с образцами сыворотки крыс вносили в лунки 96-луночного планшета, инкубировали в течение 24 ч, затем планктонную фазу культуры удаляли из лунок, в лунки после промывки буфером вносили 0,1% водный кристаллвиолет на 15 мин, краситель удаляли, планшет снова промывали. Для учёта связанного биоплёнкой красителя вносили этанол и определяли оптическую плотность при длине волны 570 нм. Результаты выражали в процентах по отношению к контролю без плазмы.

Непосредственное действие масла рыжика на рост данных тест-культур оценивали в соответствии с Европейским Стандартом определения скорости инактивации микроорганизмов исследуемым веществом (European Standard EN 1040, 1997), а также диск-диффузионным методом, нанося цельное масло и его разведение 1:10 на стерильный диск.

Результаты исследований. Главная функция покровного эпителия желудка – защитная. Его толщина в норме составляет порядка 150 мкм у крыс и начинает увеличиваться при воздействии на него патогенных факторов, как физических, так и химических. В группах животных, употреблявших масло, толщина покровного эпителия была несколько ниже контрольных значений, при этом не носила каких-либо признаков атрофии. Глубина желез также стала несколько меньше, что в целом отразилось на общей толщине слизистого слоя. Наиболее выражены эти изменения в 1 группе, потреблявшей меньшее количество масла. В целом толщина слизистого слоя оставалась в пределах нормы для данной возрастной группы животных (Федченко С.Н. и др., 2013). Количество эпителиоцитов в покровном эпителии, главных и обкладочных клеток в железах фундальной части желудка в контрольной группе также согласуется с литературными данными (Федченко С.Н. и др., 2013). При этом в группах, получавших масло рыжика, количество клеток незначительно уменьшилось, отличия не носят достоверного характера (таблица 51). Количество же главных клеток наоборот, возрастает, что может свидетельствовать о большей ферментативной активности и, следовательно, улучшению функционирования желудка. Биохимия крови крыс на 21 день эксперимента представлена в таблице 52.

При исследовании влияния масла рыжика на печень установлено, что печень крыс всех групп сохраняла типичное строение. Применение масел в качестве подкормки привело к сужению синусно-капиллярной сети, на гистологических препаратах они стали выглядеть менее прозрачно, что может говорить о насыщенности синусов жирами.

Таблица 51

Морфометрические характеристики желудка крыс

Группа	Высота эпителия, мкм	Толщина желез, мкм	Толщина слизистого слоя стенки желудка, мкм	Количество эпителиоцитов, ед.	Количество главных клеток, ед.	Количество обкладочных клеток, ед.
Контроль	152,64±5,54	479,70±10,92	632,34±12,03	21,2±76	34,2±8,014	51,4±10,14
1	141,36±10,92	269,56±8,56	410,93±11,13	18,2±0,62	53,4±5,30	26,8±6,30
2	120,74±2,79	333,68±8,65	454,42±15,38	19,5±0,63	52,4±2,56	32,4±3,93

Примечание. * достоверное при $p \leq 0,05$.

Таблица 52

Биохимия крови крыс на 21 день эксперимента (n=3)

Показатель	Группа					
	контроль		1 опытная		2 опытная	
	X±m _x	C _v , %	X±m _x	C _v , %	X±m _x	C _v , %
Аланинамино-трансфераза (АЛТ)	59,3±1,3	3,7	56,1±2,4	7,5	64,5±4,3	11,4
Аспаргатамино-трансфераза (АСТ)	207,3±7,8***	6,5	135,3 ±4,0	5,1	134,2±2,7	3,5
Общий билирубин	2,4±0,3	20,7	2,5±0,2	11,0	2,0±0,2	14,0
Мочевина	6,3±0,3	8,5	12,6 ±0,4***	5,5	12,2±0,3***	3,9
Щелочная фосфатаза	323,7±3,3	1,8	326,7±10,9	5,8	322,7±18,0	9,6
Креатинин	46,7±2,1	7,9	41,3 ±3,0	12,5	45,2 ±2,1	7,9
Глюкоза	8,9±0,2	4,5	9,4 ±0,3	5,5	9,5 ±0,3	5,3
Общий белок	67,0±1,2	3,0	80,2 ±1,7***	3,7	79,0 ±1,1***	2,5
Альбумины	29,3±0,2	1,3	37,4 ±1,5***	6,8	31,3 ±1,4	8,0

Примечание. * достоверно при: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

При исследовании некоторых показателей неспецифической резистентности, таких как БАСК, нами были получены результаты, подтверждающие положительное влияние масла рыжика на организм крысы в качестве иммунопротектора (в эксперимент брали кровь крыс контрольной и первой группы, получавшей меньшее количество масла рыжика в основном рационе).

Бактерицидная активность крови (БАК, БАСК) – это обобщающий, интегральный показатель, по которому можно судить о состоянии организма в целом, способности противостоять заболеваниям. Он является весьма информативным в ветеринарной и гуманитарной медицине. Чем выше показатель БАК (БАСК), тем активнее сыворотка (или плазма) ингибирует рост микроорганизмов, то есть выше уровень резистентности организма.

Обычно БАК (БАСК) наибольшая в первые 2–3 часа инкубации. В результате наших опытов в группах крыс, потреблявших масло рыжика, наблюдается пролонгированное антибактериальное действие плазмы крови даже в течение 5 ч при различных вариантах разведений: как при разведении плазмы 1:10 в отношении *S. aureus* (таблица 53), так и в отношении *E. coli* при аналогичном разведении (таблица 55), при разведении плазмы 1:5 в отношении *S. aureus* (таблица 57) аналогичная картина наблюдалась и в отношении *E. coli* при таком же разведении (таблица 59).

Таблица 53

**Бактерицидная активность плазмы крыс в отношении *S. aureus*
(разведение плазмы 1:10)**

Вариант	БАК (%) (среднее из 8 повторений)											
	время инкубации культуры с плазмой крыс (ч)											
	0		2		3		4		5		6	
Контроль	0,10	-	0,22	-	0,34	-	0,48	-	0,58	-	0,62	-
Опыт	0,14	-	0,17	83	0,18	83	0,19	87	0,19	87	0,20	88

Примечание. Здесь и далее в таблицах 53–60 – *Оптическая плотность измеряется в условных единицах оптической плотности.

Способность сывороток крови к разрушению биопленок является одним из факторов иммунитета, снижение которого способствует развитию инфекционных процессов. Чем активнее действие биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в крови (сыворотке, плазме), тем меньше плотность биоплёнки микроорганизма. Добавление масла рыжика в корм усиливало активность сыворотки крови в отношении растущих биоплёнок, положительная динамика этой активности наблюдалась в течении всего опыта. Плотность биоплёнок оценивали через 24 ч при разведении плазмы 1:10 по отношению к *S. aureus* (таблица 54), по отношению к *E. coli* при аналогичном разведении и временном промежутке (таблица 56), по отношению к *S. aureus* через 24 ч при разведении плазмы 1:5 (таблица 58), и в отношении *E. coli* через 24 ч при аналогичном разведении плазмы (таблица 60).

Таблица 54

Плотность биоплёнок *S. aureus* через 24 ч (разведение плазмы 1:10)

Показатель	Вариант	
	контроль	опыт
Оптическая плотность	0,11	0,11
В % к контролю	-	100

Таблица 55

Бактерицидная активность плазмы крыс в отношении *E. coli* (разведение плазмы 1:10)

Вариант	БАК (%) (среднее из 8 повторений)											
	время инкубации культуры с плазмой крыс (ч)											
	0		2		3		4		5		6	
Контроль	0,10	-	0,25	-	0,36	-	0,51	-	0,60	-	0,62	-
Опыт	0,14	-	0,20	60	0,29	42	0,34	51	0,38	52	0,43	44

Таблица 56

Плотность биоплёнок *E. coli* через 24 ч (разведение плазмы 1:10)

Показатель	Вариант	
	контроль	опыт
Оптическая плотность	0,25	0,10
В % к контролю	-	40

Таблица 57

**Бактерицидная активность плазмы крыс в отношении *S. aureus*
(разведение плазмы 1:5)**

Вариант	БАК (%) (среднее из 8 повторений)									
	время инкубации культуры с плазмой крыс (ч)									
	0		2		3		4		5	
Контроль	0,10	-	0,17	-	0,31	-	0,47	-	0,57	-
Опыт	0,17	-	0,18	85,7	0,20	85,7	0,21	89,2	0,21	91,5

Таблица 58

Плотность биоплёнок *S. aureus* через 24 ч (разведение плазмы 1:5)

Показатель	Вариант	
	Контроль	Опыт
Оптическая плотность	0,24	0,11
В % к контролю	-	45,8

Таблица 59

Бактерицидная активность плазмы крыс в отношении *E. coli* (разведение плазмы 1:5)

Вариант	БАК (%) (среднее из 8 повторений)									
	время инкубации культуры с плазмой крыс (ч)									
	0	2	3	4	5					
Контроль	0,10	-	0,22	-	0,35	-	0,51	-	0,57	-
Опыт	0,14	-	0,17	75	0,24	60	0,36	46	0,55	11

Таблица 60

Плотность биоплёнок *E. coli* через 24 ч (разведение плазмы 1:5)

Показатель	Вариант	
	контроль	опыт (1:5)
Оптическая плотность	0,14	0,10
В % к контролю	-	28,6

Как видно из представленных данных, плазма крови крыс, получавших масло рыжика в качестве пищевой добавки, обладала выраженными антибактериальными свойствами: ингибировала рост бактерий и подавляла образование ими биопленок. Обнаружена положительная зависимость «доза-эффект» при изменении концентрации плазмы.

Изучено прямое действие масла рыжика на тест-культуры стафилококка и кишечной палочки при инкубации культур с разведениями масла, последующим посевом на питательную среду и подсчетом колоний, а также диск-диффузионным методом. Во всех опытах прямой антимикробный эффект отсутствовал независимо от изучаемой концентрации масла.

Таким образом, употребление растительного масла рыжика в качестве пищевой добавки не наносит вреда слизистой желудка, способствуя его ферментативной активности, также отмечается положительное опосредованное действие масла рыжика на процессы метаболизма и выработку защитных факторов крови, многие из которых образуются в печени, однако, при этом возрастает функциональная нагрузка на печень, что следует иметь в виду при дисфункции печени и/или желчного пузыря. Антиоксидантное действие масла рыжика находится в стадии изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Агроклиматические ресурсы Крыма позволяют успешно интродуцировать рыжик озимый, отличающийся широкой агроэкологической устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессовым факторам. Сорта рыжика озимого хорошо адаптируются в Крыму и способны формировать удовлетворительную урожайность в широком календарном диапазоне. Средняя урожайность маслосемян рыжика озимого за годы исследований составила 1,32–1,35 т/га. Корректируя те или иные элементы технологии с учетом метеорологических условий, можно создавать предпосылки для более полной реализации потенциальной продуктивности культуры на полуострове.

Полученные данные об урожайности и качестве маслосемян на производственных

посевах Красногвардейского, Первомайского, Красноперекоского и Раздольненского районов Крыма, наглядно подтвердили закономерности, установленные опытным путем. Самая высокая урожайность семян озимого рыжика была зафиксирована в КФХ «Кунденок» Раздольненского района – 1,4 т/га с содержанием жира в семенах 40,93%.

Рыжик яровой зарекомендовал себя как малопродуктивная культура для условий Центральной степи Крыма. Средняя урожайность яровых сортов за 3 года исследований составила всего от 2,8 до 4,2 ц/га. Вырастить яровой рыжик без применения гербицидов в наших условиях не представляется возможным, поэтому невысокая урожайность яровой формы *Camelina* сопровождается и увеличением денежных средств на защиту растений.

В то же время, обобщение и систематизация обширного экспериментального материала позволяет отнести масло как озимого, так и ярового рыжика к уникальным пищевым растительным маслам. Употребление его в пищу не только оправдано, но и целесообразно для повышения иммунитета и профилактики ряда заболеваний, что позволяет повысить биологическую ценность рациона питания, путем изменения пропорций омега-3 и омега-6 жирных кислот, а множество потенциальных преимуществ масла *Camelina* для здоровья человека делают его важным компонентом биологически ценной пищевой добавки. Учитывая тот факт, что в Крыму озимый рыжик выращивается без применения гербицидов, его масло может найти применение в рационе жителей полуострова и отдыхающих, поскольку без обеспечения населения Крыма и гостей полуострова разнообразными и экологически чистыми продуктами питания невозможно развивать санитарно-курортный комплекс – приоритетную отрасль экономики.

Рыжик играет значительную роль в энергетическом секторе, будучи одним из ресурсов получения возобновляемого топлива. Появление новых видов применения и подробное изучение уже существующих, будет только продолжать увеличивать его ценность.

Проведенные первичные исследования подтвердили научную гипотезу о возможности биокоррекции биологической активности в ризосфере рыжика и физиологического статуса ценной масличной культуры *Camelina sativa* L. с помощью интродукции агрономически полезных штаммов микроорганизмов в условиях агроценоза.

Установлено, что фазы развития рыжика, а также интродукция полифункциональных микробных штаммов влияли на структурно-функциональную организацию почвенного микробиоценоза, ферментативную активность, выделение диоксида углерода в ризосфере рыжика при выращивании на черноземе южном в почвенно-климатических условиях предгорной зоны Крыма. Взаимосвязь микробиологических и ферментативных процессов, дыхания в ризосферной почве, активности оксидазных растительных ферментов рыжика подтверждена корреляционными связями с семенной продуктивностью и трансформацией органического вещества в системе растительно-микробного взаимодействия. Получены новые экспериментальные данные о возможности создания биосистемы «микроорганизмы – растения – агроценоз» с максимальной реализацией потенциала биологической активности почвы и физиологического ресурса растений в аридных условиях Крыма.

Необходимо отметить новизну и практическую ценность данного исследования, однако следует продолжить изучение эффективности применения микробных препаратов при выращивании рыжика в Крыму для получения экспериментальных данных нескольких лет с учетом разных климатических условий года, что позволит сделать рекомендации производству.

Масло рыжика обладает выявленным и подтвержденным иммуномодулирующим действием, может употребляться для активации процессов метаболизма, в связи с чем, является весьма интересным для дальнейшего исследования в качестве потенциального иммунопротектора растительного происхождения с весьма скромной стоимостью и практически отсутствующим побочным действием. Нами были получены первые, весьма обнадеживающие результаты, подтверждающие антиоксидантное действие масла рыжика, исследования в данном направлении будут продолжены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев А.П. Продуктивность рожка озимого в условиях Ростовской области // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – №10-3 (41). – С. 9–11. DOI: 10.18454/IRJ.2015.41.075.
2. Адамень Ф.Ф., Прахова Т.Я., Турина Е.Л., Прахов В.А. Агрэкологические особенности формирования семян рожка озимого // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2019. – № 17 (180). – С. 65–74.
3. Аленин П.Г. Продуктивность рожка озимого в зависимости от предпосевной обработки семян стимуляторами роста / П. Г. Аленин, И.А. Воронова // Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии в АПК: теория и практика». – Пенза: МНИЦ ПГСХА, 2016. – С. 16–19.
4. Аленин П.Г., Прахова Т.Я., Сафронкин А.Е. Влияние микроудобрений и регуляторов роста на продуктивность рожка озимого сорта Пензяк // Нива Поволжья. – 2015. – № 3 (36). – С. 13–18.
5. Андреева С.В., Жемкова А.Н. Применение белково-жировой эмульсии в производстве мясных паштетов // Материалы 5-й Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». – Воронеж: Воронежский ГУИТ. – 2018. – С. 269–273.
6. Андронов Е.Е., Иголкина А.А., Кимеклис А.К., Чирак Е.Р., Копать В.В., Проворов Н.А. Эволюция почвенного микробиома, контролируемая растением // I-й Российский Микробиологический конгресс. Сборник тезисов. М.: Издательский дом «Вода: химия и экология». – 2017. – С. 25.
7. Бекузарова С.А., Дулаев Т.А., Датиева И.А. Повышение семенной продуктивности рожка озимого в бинарных смесях с клевером однолетним // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 42-2. – С. 31–33.
8. Бекузарова С.А., Датиева И.А., Дулаев Т.А. Снижение содержания мышьяка в почве // В сборнике: «Отходы, причины их образования и перспективы использования» по материалам Международной научной экологической конференции. – Краснодар: КГАУ им. И.Т. Трубилина. – 2019. – С. 204–206.
9. Бекузарова С.А., Дулаев Т.А., Качмазов Д.Г. Снижение радиации на горных сенокосах и пастбищах // Advances in Agricultural and Biological Sciences. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 21–26. DOI: 10.22406/aabs-18-4.2-21-26.
10. Белозерцева Н.Е., Богданов И.А., Алтынов А.А., Бальжанова А.Т., Белинская Н.С., Киргина М.В. Выбор наиболее предпочтительного сырья для синтеза биодизельного топлива с позиции его выхода и физико-химических свойств // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 20. – №1. – С. 114–123. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-114-123.
11. Берестецкий О.А. Изменение состава микробных сообществ под влиянием окультуривания почв в условиях прогрессивной системы земледелия. / В кн.: Экология почвенных микроорганизмов и микробиологические аспекты применения пестицидов в сельском хозяйстве. М.: АН СССР, 1975. – С. 33–35
12. Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве: сборник научных работ / Науч. ред. И. А. Тихонович, Ю. В. Круглова. – М.: ВНИИСХМ, 2005. – 154 с.
13. Буянкин В.И., Прахова Т.Я. Рожок масличный (*Camelina* sp. L). Монография / В.И. Буянкин, Т.Я. Прахова. – Волгоград: ООО «Сфера», 2016. – 116 с.
14. Виноградов Д.В., Мажайский Ю.А., Евтишина Е.В., Лупова Е.И. Приемы повышения продуктивности рожка посевного (*Camelina sativa* (L.) Crantz в условиях Нечерноземной зоны России // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 4. – С. 18–21. DOI: 10.31857/S2500-26272019418-21.
15. Газарян И.Г. Особенности структуры и механизма действия пероксидаз растений / И.Г. Газарян, Д.М. Хушпулян., В.И. Тишков // Успехи биол. химии. – 2006. – Т.46. – С. 303–322.
16. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Особенности производства биодизельного топлива из биомассы // Инновационная наука. – 2016. – №5. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proizvodstva-biodizelnogo-topliva-iz-biomassy/viewer> (дата обращения 03.03.2021).
17. Грицаенко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів / З. М. Грицаенко, А. О. Грицаенко, В. П. Карпенко – К.: Нічлава, 2003. – 320 с.
18. Давидович Е.А. Технология производства крекера с комбинированной жировой фазой // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2008. – №1. – С. 123.
19. Дидович С.В. Влияние бактериализации семян на микробиологические процессы и продуктивность бобовых культур в агроценозах Крыма / С.В. Дидович, А.Н. Дидович // Сб. ст. по материалам ХЛП междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в науке» – Новосибирск: Изд. «СибАК». – № 2 (39). 2015. – С. 66–72.
20. Добровольская Т.Г. Структура бактериальных сообществ почв. – М.: Академкнига, 2002. – 285 с.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 308 с.
22. Емцев В.Т. Биотехнология почв. Микроорганизмы в сельском хозяйстве. Тез. докл. III Всесоюзн. науч. конф. М.: МГУ, 1986. – С. 9–10.
23. Замкова Т.В., Злобина Ю.С., Игнатьева С.С. Управление производством и переработкой озимого рожка в условиях Саратовской области // Факторы успеха. – 2014. – № 1 (2). – С. 22–25.
24. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – №6. – С. 48.

25. Зяблых Р.Ю. Консорциумы микроорганизмов на основе почвенных азотфиксирующих цианобактерий и их агробιοтехнологический потенциал: автореферат диссертации на соискание научной степени кандидата биологических наук: 03.00.07. – Ставрополь, 2008. – 18 с.
26. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / В.В. Волкогон, О.В. Надкернична, Л.М. Токмакова та ін. – К.: Аграрна наука, 2010. – 464 с.
27. Карташова Е.Р. Полифункциональность растительных пероксидаз и их практическое использование / Е.Р. Карташова, Г.Н. Руденская, Е.В. Юрина // Сельскохозяйственная биология. – 2000. – № 1. – С.63–70.
28. Конькова Н.Г. Возделывание ярового рыжика (*Camelina sativa* (L.) Crantz) в условиях Краснодарского края // Материалы Международной конференции «125 лет прикладной ботаники в России». Санкт-Петербург: ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», 2019. – С. 151.
29. Кулинич Р.А., Турина Е.Л. Выращивание озимого рыжика и крамбе абиссинской в Центральной степи Крыма в 2014–2015 гг. // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России». Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. – 2016. – С. 152–155
30. Кучерова И.А. Использование рыжикового жмыха в качестве наполнителя премиксов в кормлении телят: дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград: ФГОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет». – 2014. – 116 с.
31. Культура возделывания Рыжика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sarepta.ru/suppliers/kultura-vozdelyvaniya-ryzhika/> (дата обращения 26.04.2021).
32. Лейберова Н.В., Донская Л.А. Применение рыжикового масла в рецептуре соуса на растительной основе // Индустрия питания. – 2018. – Т.3. – № 4. – С. 25–29. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-4-2.
33. Лупова Е.И., Терентьев А.С., Виноградов Д.С., Соколов А.А. Производство семян рыжика ярового и чечевицы в смешанных посевах // Известия Дагестанского ГАУ. – 2019. – №2 (2). – С. 152–156.
34. Маркетинговые отчеты за 2010, 2012, 2017 гг. Промышленные биопрепараты [Электронный ресурс]. http://abercade.ru/research/reports/themeid_63.html (дата обращения 01.02.2021).
35. Матвеева И.В., Яковлева А.В., Зубенко С.О., Гудзь А.В. Перспективы розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні // Наукоємні технології. – 2019. – Т. 41. – № 1. – С. 69–76. DOI: 10.18372/2310-5461.41.13531.
36. Машины для уборки зерновых культур: Учебное пособие / Горшенин В.И., Михеев Н.В. и др. – Мичуринск – наукоград РФ: Изд-во Мичуринского государственного аграрного университета, 2006. – 214 с.
37. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / Под ред. В.М. Лукомца. – Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2010. – 327 с.
38. Методы биохимического исследования растений / Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. и др. – Л: Агропромиздат, 1987. – 345 с.
39. Миненко А.К. К вопросу о показателях биологической активности дерново-подзолистой почвы в агротехнических опытах // АгроЭкоИнфо. – 2010. – № 2 (7). [Электронный ресурс] <http://www.agroecoinfo.narod.ru/journal/index.html> (дата обращения 01.02.2021).
40. Минкевич И.А., Борковский В.Е. Масличные культуры. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1955. – 414 с.
41. Москва І.С., Сирота К.О., Гамаюнова В.В., Іскакова О.Ш. Перспективи вирощування рижію ярого в умовах південного Степу України // Стан і перспективи впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур: Матеріали ІІ міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро: ДДАЕУ, 2017. – С. 86–89.
42. Некоторые новые методы количественного учета почвенных микроорганизмов и изучения их свойств: метод. рекомендации / Под ред. Ю.М. Возняковской. Л.: ВАСХНИЛ, ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, 1982. – 54 с.
43. Никитин Д.И. Процессы очищения окружающей среды и паразиты бактерий (род *Bdellovibrio*) / Д.И. Никитин, Э.С. Никитина. – М.: Наука, 1978. – 205 с.
44. Олейникова Е.Н., Янова М.А., Бопп В.Л. Особенности возделывания и перспективы использования продуктов переработки рыжика посевного в Красноярском крае // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2018. – № 4 (53). – С. 17–24.
45. Оценка длительного воздействия агротехнологических приемов и сельскохозяйственных культур на почвенные микробные сообщества / Корвиг И.О., Першина Е.В., Иванова Е.А. и др. // Микробиология. – 2016. – Т. 85. – № 2. – С. 199–210.
46. Пати́ка В.П., Тихонович І.А., Філіп'єв І.Д., Гамаюнова В.В., Андрусенко І.І. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. – К.: Урожай, 1993. – 176 с.
47. Прахова Т.Я. Посевные качества рыжика посевного и крамбе абиссинской в зависимости от регуляторов роста / Т.Я. Прахова, И.И. Плужникова // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции с международным участием «Достижения современной аграрной науки

- сельскохозяйственному производству». Калуга: ФГБНУ «Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», 2017. – 2017. – С. 134–138.
48. Прахова Т.Я. Сортоиспытание рыжика ярового и его приспособленность к условиям Среднего Поволжья // Нива Поволжья. – 2016. – № 2 (39). – С. 40–43.
49. Прахова Т.Я. Перспективные нетрадиционные масличные культуры в условиях Среднего Поволжья // Материалы IV международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки», Симферополь: АРИАЛ. – 2019. – С. 187–189. DOI: 10.33952/09.09.2019.89.
50. Прахова Т.Я., Прахов В.А., Батрякова Л.П. Влияние минеральных удобрений на продуктивность *Camelina sativa* в условиях Средневожского региона // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – № 2–3 (82). – С. 578–582.
51. Прахова Т.Я., Прахов А.А. Масличные культуры семейства Brassicaceae в условиях Среднего Поволжья. Монография. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 220 с.
52. Прахова Т.Я., Турина Е.Л., Прахов В.А. Жирнокислотный состав озимого рыжика в зависимости от региона возделывания // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 4(24). – С. 152–160. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-152-160
53. Рекомендации по снижению потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая // Ловчиков А.П., Коновалов С.М., Константинов М.М., Клаузер Л.А., Питин Н.С. Омск: ЗАО «Полиграф», 2012. – 40 с.
54. Родькин О.И., Черенок Е.В., Саевич К.Ф. Перспективы производства биотоплива на основе энергетических культур. Экономические и экологические аспекты // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экология и экологический менеджмент». – 2016. – №4. – С. 102–110.
55. Родькин О.И., Шабанов А.А., Родькин А.О. Оценка эффективности возделывания энергетических культур как источников биотоплива // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экология и экологический менеджмент». – 2019. – №1. – С. 33–44.
56. Рябцева Н.А. Возможности возделывания *Camelina sativa* Waller в Ростовской области // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2015. – №1 (40). – С. 14–17.
57. Рябцева Н.А. Опыт возделывания *Camelina sylvestris* Waller в Ростовской области // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2015. – № 13. – С. 2006–2010.
58. Смирнов А.А., Прахова Т.Я., Плужникова И.И., Вельмисева Л.Е., Долженко Д.О., Кабунин А.А. Рыжик посевной. Технологии возделывания, перспективы агробизнеса: Практические рекомендации. – Пенза: ОАО ИПК «Пензенская правда», 2014. – 36 с.
59. Теоретические и практические основы организации сравнительных испытаний / Под общ. ред. председателя ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники и технологий (АИСТ) В.М. Пронина. – М.: Изд-во Минсельхоза РФ, 2013. – 376 с.
60. Потоки азота в агрофитоценозе на дерново-подзолистых почвах: (к 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова) / А.А. Завалин, О.А. Соколов и др. – М.: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2015. – 95 с.
61. Трифонова М.Ф., Бекузарова С.А., Буянкин В.И., Дулаев Т.А. Рыжик озимый – ремедиатор токсичности почв // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 39. – С. 209–211.
62. Турина Е.Л. Повышение продуктивности рыжика озимого при эффективном использовании природно-ресурсного потенциала Крыма // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству». – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет. – 2017. – С. 307–308.
63. Турина Е.Л. Разработка элементов технологии возделывания рыжика озимого (*Camelina sylvestris*) в Крыму // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития». – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. – С. 53.
64. Уборка рыжика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sosvniimk.narod.ru/Articles/Rigik/harvesting.htm> (дата обращения 03.04.2021).
65. Уборка масличных культур. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://direct.farm/post/4061> (дата обращения 28.04.2021).
66. Федченко С.Н., Кондаурова А.Ю. Морфометрические показатели слизистой оболочки желудка крыс в постнатальном онтогенезе // Український журнал клінічної та лабораторної медицини. – 2013. – Т. 8. – №3. – С.136–138.
67. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Сост. Г.Н. Чупихина. – Калининград: Калининградский университет, 2000. – 48 с.
68. Цыкало Т.А., Тржецинский С.Д., Гришина Е.В., Рябчун В.К. Исследование элементного состава рыжика посевного (*Camelina sativa* (L.) Crantz и рыжика мелкоплодного (*Camelina microcarpa* Andr.) // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. – 2018. – Т. 11. – №3(28). – С. 318–321. DOI: 10.14739/2409-2932.2018.3.145249.
69. Шерстобоева Е. В. Современные микробные препараты для сельского хозяйства // Оптимізація структури агроландшафтів і раціональне використання ґрунтових ресурсів: збірник наукових праць – К.: ДІА, 2000. – С. 92–93.

70. Шмаков П.Ф., Мальцев А.Б., Лошкомоиных И.А. Эффективность использования рыжикового жмыха в комбикормах цыплят-бройлеров // Фермер.ру. – 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fermer.ru/sovets/ptitsevodstvo/95144> (дата обращения 30.09.2021).
71. Эффективность применения биопрепаратов в севообороте / А. А. Завалин, Н. С. Алметов [и др.] // Агрехимия: Ежемесячный научный журнал. – 2010. – №6. – С. 28–37.
72. Abbott P., Baines J., Fox P., Graf L., Kelly L., Stanley G., Tomaska L. Review of the regulations for contaminants and natural toxicants // Food Control. 2003. – Vol.14. – No. 6. – P. 383–389. DOI: 10.1016/S0956-7135(03)00040-9.
73. Adhikari P.A., Heo J.M., Nyachoti C.M. Standardized total tract digestibility of phosphorus in camelina (*Camelina sativa*) meal fed to growing pigs without or phytase supplementation // Animal Feed Science and Technology. – 2016. – Vol. 214. – P. 104–109. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2016.02.018.
74. Agarwal A., Arya M.C., Ahmed Z. Influence of sowing time, environment and spacing on seed yield and oil recovery in Camelina (*Camelina sativa*) // Indian Journal of Agricultural Research. – 2013. – Vol. 83(7). – P. 724–727.
75. Arnardottir H., Pawelzik S.C., Wistbacka U.O., Artiach G., Hofmann R., Reinholdsson I., Braunschweig F., Tornvall P., Religa D., Back M. Stimulating the Resolution of Inflammation Through Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in COVID-19: Rationale for the COVID-Omega-F Trial // Frontiers in Physiology. – 2021. – Vol. 11. – No. 624657. DOI: 10.3389/fphys.2020.624657.
76. Agegnehu M., Honermeier B. Effects of seeding rates and nitrogen fertilization on seed yield, seed quality and yield components of false flax (*Camelina sativa* Crantz.) // Die Bodenkultur. – 1997. Vol. 48. – P. 15–20.
77. Akter H.A., Dwivedi P., Anderson W., Lamb M. Economics of intercropping loblolly pine and oilseed crops for bio-jet fuel production in the Southern United States // Agroforestry Systems. – Early Access: Jan. – 2021. DOI: 10.1007/s10457-020-00584-5.
78. Al-Attar A.M. Physiological and histopathological investigations on the effects of alpha lipoic acid in rats // Journal of Biomedicine and Biotechnology. – 2010. – Vol. 503. – P. 201–209.
79. Balanuca B., Lungu A., Hanganu A.M., Stan L.R., Vasile E., Iovu H. Hybrid nanocomposites based on POSS and networks of methacrylated *Camelina* oil and various PEG derivatives // European Journal of Lipid Science and Technology. – 2014. – Vol. 116. – P. 458–469. DOI: 10.1002/ejlt.201300370.
80. Balanuca B., Stan R., Hanganu A., Lungu A., Iovu H. Design of new *Camelina* oil-based hydrophilic monomers for novel polymeric materials // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2015. – Vol. 92. – P. 881–891. DOI: 10.1007/s11746-015-2654-z.
81. Balsam T., Mohammad, Mohammad Al-Shannag, Mohammad Alnaief, Lakhveer Singh, Eric Singasaas, Malek Alkasrawi Production of multiple biofuels from whole *Camelina* material: a renewable energy crop // BioResources. – 2018. – Vol. 13. – No.3. – P. 4870–4883. DOI: 10.15376/biores.13.34870-4883.
82. Bâtrina Ș.L., Popescu I., Marin F., Imbrea I.M., Crista F., Pop G., Imbrea F. *Camelina sativa*: a study on amino acid content // Romanian Biotechnological Letters. – 2020. – Vol. 25 (1). – P. 1136–1142. DOI: 10.25083/rbl/25.1/1136.1142.
83. Bariashir C., Otgonbayar Ch., Enkhtungalag O., Odonmajig P. Physical and chemical characteristics and fatty acids composition of seeds oil isolated from *Camelina sativa* (L.) cultivated in Mongolia // Mongolian Journal of Chemistry. – 2013. – Vol. 14. (40). – P. 80–83. DOI: 10.5564/mjc.v14i0.205.
84. Bashan Y. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture // Biotechnology Advances. 1998. – Vol. 16. – P.729–770.
85. Bayat A.R., Kairenius P., Stefański T., Leskinen H., Comtet-Marre S., Forano E., Chaucheyras F., Durand, Shingfield K. K. J. Effect of *Camelina* oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98. – Iss. 5. – P. 3166–3181. DOI: 10.3168/jds.2014-7976.
86. Berti M., Gesch R., Eynck C., Anderson J., Cermak S. Camelina uses, genetics, genomics, production, and management // Industrial Crops and Products. – 2016. – Vol. 94. – P. 690–710. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.09.034.
87. Berti M., Wilckens R., Fischer S., Solis A., Johnson B. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile // Industrial Crops and Products. – 2011. – Vol. 34. – No.2. – P. 1358–1365. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.12.008.
88. Brijack E., Koscak L., Sostarcic V., Kljak K., Scepanovic M. Sensitivity of yellow foxtail (*Setaria glauca*L.) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.) to aqueous extracts or dry biomass of cover crops // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2020. – DOI: 10.1002/jsfa.10603.
89. Brock J.R., Dönmez A.A., Beilstein M.A., Olsen K.M. Phylogenetics of *Camelina* Crantz. (Brassicaceae) and insights on the origin of gold-of-pleasure (*Camelina sativa*) // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2018. – Vol. 127. – P. 834–842. DOI: 10.1016/j.ympev.2018.06.031.
90. Christou M., Alexopoulou E., Zanetti F., Krzyzaniak M., Stolarski M., Righini D., Monti A. Sowing dates effect on *Camelina* growing in different in EU climatic zones // Papers of the 26-th European Biomass Conference: Setting the course for a biobased economy. – Copenhagen, Denmark, 2018. – P. 133–135.
91. Cieslak A., Stanis M., Wojtowski J., Pers-Kamczyc E., Szczechowiak J., El-Sherbiny M., Szumacher-Strabel M. *Camelina sativa* affects the fatty acid contents in *M. longissimus* muscle of lambs //

- European Journal of Lipid Science and Technology. – 2013. – Vol. 115. – No. 11. – P. 1258–1265. DOI: 10.1002/ejlt.201200119.
92. Cremonese P.A., Feroldi M., Araújo A.V., Borges M.N., Meier T.W., Feiden A., Teleken J.G. Biofuels in Brazilian aviation: Current scenario and prospects // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – Vol. 43. – P. 1063–1072. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.097.
93. Czarnik M., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. Reakcja ozimych odmian lnianki siewnej (*Camelina sativa* (L.) Crantz) na różnicowany termin siewu // *Journal of Central European Agriculture*. – 2018. – No. 19 (3). – P. 571–586. DOI: /10.5513/JCEA01/19.3.2054
94. Eberle C.A., Thom M.D., Nemeček K.T., Forcella F., Lundgren J.G., Gesch R.W., Riedell W.E., Papiernik S.K., Wagner A., Peterson D.H., Eklund J.J. Using *Pennycress*, *Camelina*, and *Canola* cash cover crops to provision pollinators // *Industrial Crops and Products*. – 2016. – Vol. 75 (B). – P. 20–25. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.06.026.
95. European Committee for Standardization. Chemical disinfectants and antiseptics - Quantitative suspension test for the evaluation of basic bactericidal activity of chemical disinfectants and antiseptics - Test method and requirements (phase 1) EN 1040:2005. Brussels: European Committee for Standardization. Date of Availability (DAV): 2005-12-07.
96. Damerou A., Ahonen E., Kortensniemi M., Pugaenen A., Tarvainen M., Linderborg K.M. Evaluation of the composition and oxidative status of omega-3 fatty acid supplements on the Finnish market using NMR and SPME-GC-MS in comparison with conventional methods // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 330. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127194.
97. Dangol N., Shrestha D.S., Duffield J.A. Life-cycle energy, GHG and cost comparison of Camelina-based biodiesel and biojetfuel // *Biofuels-UK*. – 2020. – Vol. 11. – No. 3. – P. 399–407. DOI: 10.1080/17597269.2017.1369632.
98. Dar R.A., Parmar M., Dar E.A., Sani R.K., Phutela U.G. Biomethanation of agricultural residues: Potential, limitations and possible solutions // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 135. – Art. No. 110217. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110217.
99. Dimitriu D. Restoration of heavy metals soils case study. *Camelina* // *AgroLife Scientific Journal*. – 2014. – Vol. 3. – P. 29–38.
100. Falasca S.L., del Fresno M.C., Waldman C. Developing an agro-climatic zoning model to determine potential growing areas for *Camelina sativa* in Argentina // *QScience Connect*. – 2014. – Vol. 1. DOI: 10.5339/connect.2014.4.
101. Francis C.M., Campbell M.C. New high quality oil seed crops for temperate and tropical Australia. University of Western Australia, 2003. – 27 p.
102. George N., Thompson S.E., Hollingsworth J., Orloff S., Kaffka S. Measurement and simulation of water-use by *Canola* and *Camelina* under cool-season conditions in California // *Agricultural Water Management*. – 2018. – Vol. 196. – P. 15–23. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.09.015.
103. Ghiat I., Mahmood F., Govindan R., Al-Ansari T. CO₂ utilisation in agricultural greenhouses: A novel 'plant to plant' approach driven by bioenergy with carbon capture systems within the energy, water and food Nexus // *Energy Conversion and Management*. – 2021. – Vol. 228. – Art. No. 113668. – DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113668.
104. Grego Stefano. Toward a sustainable agriculture // *ESNA Meeting 2012 and the Recent Advances in Plant Biotechnology Workshop*. – Stara Lesna, Slovak Republic, 24–28th September, 2012. – P. 17.
105. Hajkova K., Prochazka P., Kalous P., Budsky D. Nitrate-alkaline pulp from non-wood plants // *Materials*. – 2021. – Vol. 14. – No.13. – Art. No. 3673. DOI: 10.3390/ma14133673.
106. Hryhoriv Y.Y., Butenko S.O., Masyk I.M., Onychko V.I., Onychko T.O., Pshychenko O.I., Komar V.I., Berezniak O.P. Influence of mineral fertilization level on productivity of *Camelina sativa* in the conditions of Prycarpattia // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2020. – Vol. 10. – No.2. – P. 28–32. DOI: 10.15421/2020_59.
107. Ibrahim F.M., Habbasha E.L. Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of *Camelina* (*Camelina sativa*): review // *International Journal of PharmTech Research*. – 2015. – Vol. – 8. No. 10. – P. 114–122.
108. Ikediobi C., Badisa V., Ayuk T., Latinwo L., West J. Response of antioxidant enzymes and redox metabolites to cadmium-induced oxidative stress in CRL-1439 normal rat liver cells // *International Journal of Molecular Medicine*. – 2004. – Vol. 14. – P. 87–92.
109. Jankowski K.J., Sokólski M., Kordan B. *Camelina*: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 141. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111776.
110. Jarvis A., Upadhyaya H., Gowda C., Aggarwal P., Fujisaka S., Anderson B. Climate change and its effect on conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture and associated biodiversity for food security. – 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e16.pdf>. (дата обращения 24.02.2021).
111. Jaśkiewicz T., Sagan A., Puzio I. Effect of the *Camelina sativa* oil on the performance, essential fatty acid level in tissues and fat-soluble vitamins content in the livers of broiler chickens // *Livestock Science*. – 2014. – Vol. 165. – C. 74–79. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.04.003.

112. Jouzani G.S., Sharafi R., Soheilvand S. Fueling the future; plant genetic engineering for sustainable biodiesel production // *Biofuel Research Journal*. – 2018. – Vol. 5. – No. 3. – P. 829–845. DOI: 10.18331/BRJ2018.5.3.3.
113. Johnson E.N., Wang L., Blackshaw R.E., Cutforth H., Gan Y. Plant establishment, yield and yield components of Brassicaceae oilseeds as potential biofuel feedstock // *Industrial Crops and Products*. – 2019.– Vol. 141. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111800
114. Kavyani M., Saleh-Ghadimi S., Dehghan P., Farhangi M.A. Khoshbaten M. Co-supplementation of Camelina oil and a prebiotic is more effective for in improving cardiometabolic risk factors and mental health in patients with NAFLD: a randomized clinical trial // *FOOD & FUNCTION*. – 2021. – DOI: 10.1039/d1fo00448d.
115. Koskela J., Leskinen H., Mattila P., Airaksinen S., Rinne M., Pihlava J.M., Pihlanto A. The effect of gradual addition of Camelina seeds in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on growth, feed efficiency and meat quality // *Aquaculture Research*. – 2021. – Vol. 52. – No.10. – P. 4681–4692. DOI: 10.1111/are.15302.
116. Kris-Etherton M.P., Etherton T.D. The impact of the changing fatty acid profile of fats on diet assessment and health // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2003. – Vol. 16. – No. 3. – P. 373–378. DOI: 10.1016/S0889-1575(03)00052-8.
117. M., Stolarski M.J., Tworkowski J., Puttick D., Eynck C., Zaluski D., Kwiatkowski J. Yield and seed composition of 10 spring *Camelina* genotypes cultivated in the temperate climate of Central Europe // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 138. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.06.006.
118. Kurasiak-Popowska D., Graczyk M., Stuper-Szablewska K. Winter camelina seeds as a raw material for the production of erucic acid-free oil // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 330. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127265.
119. Karoui I.J., Ayari J., Ghazouani N., Abderrabba M. Physicochemical and biochemical characterizations of some Tunisian seed oils // *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. – 2020. – Vol. 27. – DOI: 10.1051/ocl/2019035.
120. Kim N., Li Y., Sun X.S. Epoxidation of *Camelina sativa* oil and peel adhesion properties // *Industrial Crops and Products*. – 2015. – Vol. 64. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.10.025.
121. Kinay A., Yilmaz G., Ayisigi S., Dokulen S. Yield and quality parameters of winter and summer-sown different *Camelina* (*Camelina sativa* L.) Genotypes // *Turkish Journal of field crops*. – 2019. – Vol. 24. – No.2. – P. 164–169. DOI: 10.17557/tjfc.631133.
122. Knothe G. Historical perspectives on vegetable oil-based Diesel fuels. *inform*, 2001. – Vol.12. – P. 1103–1107.
123. Kon'kova N.G., Shelenga T.V., Gridnev G.A., Dubovskaya A.G., Malyshev L.L. Stability and Variability of *Camelina sativa* (L.) Crantz Economically valuable traits in various eco-geographical conditions of the Russian Federation // *AGRONOMY-BASEL*. – 2021. – Vol. 11. – No.2. –332. – DOI: 10.3390/agronomy11020332.
124. Kumar R. S., Keum Y.-S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance – a review // *Life Sciences*. – 2018. – Vol. 203. – P. 255–267. DOI: 10.1016/j.lfs.2018.04.049.
125. Kurasiak-Popowska D., Sokólski M., Kordan B. *Camelina*: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 141. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111776.
126. Kurowska K., Marks-Bielska R., Bielski S., Kryszk H., Jasinskas A. Food Security in the Context of Liquid Biofuels // *Energies*. – 2020. – Vol.13. – Iss.23. – 6247. DOI: 10.3390/en13236247.
127. Larsson M. Cultivation and processing of *Linum usitatissimum* and *Camelina sativa* in southern Scandinavia during the Roman Iron Age // *Vegetation History and Archaeobotany* volume. – 2013. – Vol. 22. – P. 509–520.
128. Lekha Charan Meher Studies of Feasibility of Intercropping of *Camelina sativa* in *Jatropha Plantation* in Semi – arid climate in Andhra Pradesh, India // *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. – 2014. – Vol. 2(2). – P. 23–26.
129. Leclère M., Jeuffroy M.-H., Butier A., Chatain C., Loyce C. Controlling weeds in camelina with innovative herbicide-free crop management routes across various environments // *Industrial Crops and Products*. – 2019.– Vol. 140. – Art. No. 11160515. – 10.1016/j.indcrop.2019.111605.
130. Liubchenko A., Liubchenko I., Riabovol I., Riabovol L., Serzhuk O., Chernov O., Vyshnevskaya L. Analysis of the duration of the vegetation period and phases of development of Somaclonal lines of *Camelina sativa* // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2020. – Vol. 10. – No.3. – P.1–5. DOI: 10.15421/2020_124.
131. Lohaus R.H., Neupane D., Mengistu M.A., Solomon J.K.Q., Cushman J.C. Five-Year Field Trial of Eight *Camelina sativa* Cultivars for Biomass to be Used in Biofuel under Irrigated Conditions in a Semi-Arid Climate // *Agronomy-Basel*. – 2020. – Vol. 10. – No.4. – DOI: 10.3390/agronomy10040562.
132. Lolli S., Grilli G., Ferrari L., Battelli G., Pozzo S., Galasso I., Russo R., Brasca M., Reggiani R., Ferrante V. Effect of different percentage of *Camelina sativa* Cake in laying hens diet: Performance, welfare, and eggshell quality // *Animals*. – 2020. – Vol. 10. – No.8. – 1396. DOI 10.3390/ani10081396.
133. Lu J., Tibbetts S.M., Lall S.P., Anderson D.M. Use of dietary oil, solvent-extracted meal and protein concentrate from *Camelina sativa* for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, at the early fry stage // *Aquaculture*. – 2020. – Vol. 524. – [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=26&SID=F5TyrpVIRP2kkL4cGSaN&page=1&doc=3 (дата обращения 01.09.2020).

134. Luo Z.N., Tomasi P., Fahlgren N., Abdel-Haleem H. Genome-wide association study (GWAS) of leaf cuticular wax components in *Camelina sativa* identifies genetic loci related to intracellular wax transport // BMC Plant Biology. – 2019. – Vol. 19. – 187. – DOI: 10.1186/s12870-019-1776-0.

135. Matthees H. L., Thom M.D., Gesch R.W., Forcella F. Salinity tolerance of germinating alternative oilseeds // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 113. – P. 358–367. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.01.042.

136. Manis S., Anjali J., Ahlawat S.P., Darshna C., Ranjana J., Pawan J.K. Advances in genetic improvement of *Camelina sativa* for biofuel and industrial bio-products // Renewable and sustainable energy reviews. – 2017. – Vol. 68. (P1). – P. 623–637. DOI: 10.1016/j.rser.2016.10.023.

137. Mariamenatu A.H., Abdu E.M. Overconsumption of Omega-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) versus deficiency of Omega-3 PUFAs in modern-day diets: The disturbing factor for their "Balanced Antagonistic Metabolic Functions" in the human body // Journal of Lipids. – 2021. – 8848161. DOI: 10.1155/2021/8848161.

138. Malhi S. S., Johnson E. N., Hall L.M., May W. E., Phelps S., B. Nybo Effect of nitrogen fertilizer application on seed yield, N uptake, and seed quality of *Camelina sativa* // Canadian Journal of Soil Science. – 2014. – Vol. 94. – P. 35–47. DOI: 10.4141/CJSS2012-086.

139. Matyjaszczyk E. Protection possibilities of agricultural minor crops in the European Union: a case study of Soybean, Lupin and Camelina // Journal of Plant Diseases and Protection. – 2020. – Vol.127. P. 55–61. DOI: 10.1007/s41348-019-00273-1.

140. Mohammed Y. A., Chen C., Afshar R.K. Nutrient Requirements of Camelina for Biodiesel Feedstock in Central Montana // Agronomy Journal. – 2017. – Vol. 109. – No.1. – P. 309–316. DOI: 10.2134/agronj2016.03.0163.

141. Morales D., Potlakayala S., Soliman M., Daramola J., Weeden H., Jones A., Kovak E., Lowry E., Patel P., Puthiyaparambil J., Goldman S., Rudrabhatla S. Effect of biochemical and physiological response to salt stress in *Camelina sativa* // Communication in soil Science and Plant analysis. – 2017. – Vol. 48. – No. 7. – P. 716–729. DOI: 10.1080/00103624.2016.125423.

142. Mosio-Mosiewski J., Warzala M., Łuczkiwicz T., Nawracała J. Research on utilization of *Camelina* seed to produce biodiesel // Przemysł Chemiczny. – 2015. – No.94 (3). – P. 369–373 DOI: 10.15199/62.2015.3.22.

143. Musazadeh V., Dehghan P., Saleh-Ghadimi S., Farhangi M.A. Omega 3-rich Camelina sativa oil in the context of a weight loss program improves glucose homeostasis, inflammation and oxidative stress in patients with NAFLD: A randomised placebo-controlled clinical trial // International Journal of Clinical Practice. – 2021. – e14744. – DOI: 10.1111/ijcp.14744.

144. Nosal H., Nowicki J., Warzala M., Nowakowska-Bogdan E., Zarębska M. Synthesis and characterization of alkyd resins based on *Camelina sativa* oil and polyglycerol // Progress in Organic Coatings. 2015. – Vol. 86. – P. 59–70. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.04.009.

145. Naumann G., Alfieri L., Wyser K., Mentaschi L., Betts R. A., Carrao H., Spinoni J., Vogt J., Feyen L. Global changes in drought conditions under different levels of warming // Geophysical Research Letters. – 2018. – Vol.45 (7). – P. 3285–3296. DOI: 10.1002/2017GL07652.

146. Neumann N.G., Nazareus T.J., Aznar-Moreno J.A., Rodriguez-Aponte S.A., Veintidos V.A.M., Comai L., Durrett T.P., Cahoon E.B. Generation of camelina mid-oleic acid seed oil by identification and stacking of fatty acid biosynthetic mutants // Industrial crops and Products. – 2021. – Vol. 159. – Art. No. 113074. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113074.

147. Obour A.K., Chen C., Sintim H.Y., McVay K., Lamb P., Obeng E., Mohammed Y. A., Khan Q., Afshar R.K., Zheljzkov V.D. *Camelina sativa* as a fallow replacement crop in wheat-based crop production systems in the US Great Plains // Industrial Crops and Products.– 2018. – Vol. 111. – P. 22–29. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.10.001.

148. Ofori-Mensah S., Yıldız M., Arslan M., Eldem V. Fish oil replacement with different vegetable oils in gilthead seabream, Sparus aurata diets: Effects on fatty acid metabolism based on whole-body fatty acid balance method and genes expression // Aquaculture. – 2020. – Vol. 529. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735177.

149. Ondrejickova P., Bujnovský R., Holickova M. Spring Camelina sativa – Perspective cultivation as biofuel feedstock in Slovakia // Industrial Crops and Products. – 2020. – Vol. 154. – 112634. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112634

150. Oni B.A., Oluwatosin D. Emission characteristics and performance of neem seed (*Azadirachta indica*) and Camelina (*Camelina sativa*) based biodiesel in diesel engine // Renewable Energy. – 2020. – Vol. 149. – P. 725–734. DOI: 10.1016/j.renene.2019.12.012

151. Orczewska-Dudek S., Pietras M. The Effect of dietary Camelina sativa oil or cake in the diets of broiler chickens on growth performance, fatty acid profile, and sensory quality of meat // Animals. – 2019. – Vol. 9. – No.10. – 734. DOI: 10.3390/ani9100734.

152. Park W., Feng Y., Kim H., Suh M.C., Ahn S.J. Changes in fatty acid content and composition between wild type and CsHMA3 overexpressing Camelina sativa under heavy-metal stress // Plant cell Reports. – 2015. – Vol. 34. – No.9 – P. 1489–1498. DOI: 10.1007/s00299-015-1801-1.

153. Pavlista A.D., Isbell T.A., Baltensperger D.D., Hergert G.W. Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, brown mustard and *Camelina* // *Industrial Crops and Products*. – 2011. – Vol. 33 – No.2. – P. 451–456. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.10.029.
154. Petcu C., Florean F.G., Porumbel I., Berbente C., Silvestru V. Experiments regarding the combustion of Camelina oil/kerosene mixtures on a burner // *Energy for Sustainable Development*. – 2016. – Vol. 33. – P. 149–154. DOI: 10.1016/j.esd.2016.05.004.
155. Ponnampalam E.N., Butler K.L., Muir S.K., Plozza T.E., Kerr M.G., Brown W.G., Jacobs J.L., Knight M.I. lipid oxidation and colour stability of lamb and yearling meat (Muscle longissimus lumborum) from sheep supplemented with Camelina-Based diets after short-, medium-, and long-term storage // *Antioxidants*. – 2021. – Vol. 10. – No.2. – P. 166. DOI: 10.3390/antiox10020166.
156. Putnam D.H., Budin J.T., Field L.A., Breene W.M. Camelina: a promising low-input oilseed // *New Crops*. – 1996. – Vol. 6. – P. 314–322.
157. Quero A., Molinie R., Mathiron D., Thiombiano B., Fontaine J.X., Brancourt D., Van Wuytswinkel O., Petit E., Demailly H., Mongelard G., Pilard S., Thomasset B., Mesnard F. Metabolite profiling of developing *Camelina sativa* seeds // *Metabolomics*. – 2016. – Vol. 12. – No. 12. DOI: 10.1007/s11306-016-1135-1.
158. Rahman M., Jiménez M.M. Chapter 15 – Designer Oil Crops // *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production. Opportunities and Constraints*. – 2016. – P. 361–376. DOI: 10.1016/B978-0-12-801309-0.00015-X.
159. Royo-Esnal A., Valencia-Gredilla F. Camelina as a Rotation Crop for Weed Control in Organic Farming in a Semiarid Mediterranean Climate // *Agriculture*. – 2018. – Vol. 8(10). – No.156. DOI: 10.3390/agriculture8100156.
160. Schillinger W. F., Wysocki D. J., Chastain T. G., Guy S. O., Karow R. S. Camelina: Planting date and method effects on stand establishment and seed yield // *Field Crops Research*. – 2012. – Vol. 130. – P. 138–144. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.02.019.
161. Sintim H.Y., Jeliakov V.D., Obour A.K., Garcia y Garcia A., Foulke T.K. *Camelina* as a Replacement for Fallow in Wheat-Fallow Rotation // *Conference: ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting*. – 2014. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/269113320_Camelina_as_a_replacement_for_fallow_in_wheat-fallow_rotation (дата обращения 19.10.2020)
162. Silva J., Teixeira A.-M. Fortes, Gomes F. M., Pinto T. T., Bonamigo T., Parisoto Boiago N. Allelopathy of *Camelina sativa* Boiss. (*Brassicaceae*) on germination and early development of *Bidens pilosa* (L.) and *Glycine max* (L.) Merr // *Biotemas*. – 2011. – No.24 (4). – P. 17–24.
163. Simon J. *The Ultimate Resource II: People, Materials, and Environment*; Princeton University Press: Princeton, MA, USA., 1998. 129 p.
164. Simopoulos A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. – 2006. – Vol. 60. – No. 9. – P. 502–507. DOI: 10.1016/j.biopha.2006.07.080.
165. Sheu S.S., Nauduri D., Anders M.W. 2006. Targeting antioxidants to mitochondria: A new therapeutic direction // *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*. – 2006. – Vol. 1762. – P. 256–265.
166. Sobiech Ł., Grzanka M., Kurasiak-Popowska D., Radzikowska D. Phytotoxic Effect of Herbicides on Various Camelina [*Camelina sativa* (L.) Crantz] Genotypes and Plant Chlorophyll Fluorescence // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10. – Art. No. 185. DOI: 10.3390/agriculture10050185.
167. Soumai Kant Joshi, Sharif Ahmada, Lekha Charan Meher, Ankur Agarwal, Mohammed Nasim Growth and yield response of *Camelina sativa* to inorganic fertilizers and farmyard manure in hot semi-arid climate of India // *Advances in Plants & Agriculture Research*. – 2017. – No.7 – (3). P. 305–309. DOI: 10.15406/apar.2017.07.00258.
168. Story M.J. Essential sufficiency of zinc, omega-3 polyunsaturated fatty acids, vitamin D and magnesium for prevention and treatment of COVID-19, diabetes, cardiovascular diseases, lung diseases and cancer // *Biochimie*. – 2021. – Vol. 187. – P. 94–109 DOI: 10.1016/j.biochi.2021.05.013.
169. Świątkiewicz S., Arczewska-Włosek A., Szczurek W., Calik J., Bederska-Łojewska D., Orczewska-Dudek S., Muszyński S., Tomaszewska E., Józefiak D. Algal oils as source of polyunsaturated fatty acids in laying hens nutrition: effect on egg performance, egg quality indices and fatty acid composition of egg yolk lipids // *Annals of Animal Science*. – 2020. – Vol. 20. – No. 3. – P. 961–973. DOI: 10.2478/aoas-2020-0019.
170. Tarlton J.F., Wilkins L. J., Toscano M.J., Avery N.C., Knott L. Reduced bone breakage and increased bone strength in free range laying hens fed omega-3 polyunsaturated fatty acid supplemented diets // *Bone*. – 2013. – Vol. 52. – No.2. – P. 578–586. DOI: 10.1016/j.bone.2012.11.003.
171. Tikhonovich I.A. Microevolutionary processes in plant-microde symbiosis / I.A. Tikhonovich, E.E. Andronov, N.A. Provorov / В книге: *Genetics, Evolution and Radiation: Crossing Borders, The Interdisciplinary Legacy of Nikolay W. Timofeeff-Ressovsky* Cham: Springer Nature, 2016. – С. 441–454.
172. Ton Bisseling Evolution of rhizobium nodulation; from nodule specific genes (nodulins) to recruitment of common processes // *Abstract 10- th Nitrogen Fixation Conference –Munich, Germany, 2012.* – P. 24.
173. Toncea I., Necseriu D., Prisecaru T., Balint L.-N., Ghilvacs M.-I., Popa M. The seed's and oil composition of Camelia – first Romanian cultivar of Camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) // *Romanian Biotechnological Letters*. – 2013. – Vol. 18. – No.5. – P. 8594–8602.

174. Toyes-Vargas E.A., Parrish C.C., Viana M.T., Carreon-Palau L., Magallon-Servin P., Magallon-Barajas F.J. Replacement of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil in diets for juvenile tilapia (var. GIFT *Oreochromis niloticus*) and its effect on growth, feed utilization and muscle lipid composition // *Aquaculture*. – 2020. – Vol. 522. – DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735235.
175. Tulkubaeva S.A., Vasin V.G. Camelina (*Camelina sativa*) cultivation in the North of Kazakhstan // *International Journal of Pharmaceutical Research*. – 2018. – Vol. 10. – No.4. – P. 798–802. DOI: 10.31838/ijpr/2018.10.04.138.
176. Turina E.L., Pashtetsky V.S., Prakhova T.Ya., Efimenko S.G., Turin E.N. *Camelina* sp. L. in field trials and crop production of Crimea // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great. – 2020. – Art. No. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012011.
177. Vaitilingom G., Mouloungui Z., Benoist A., Broust F., Daho T., Piriou B. Towards a "greener" generation of biodiesels // *OCL-Oilseeds Ilseeds and Fats Crops and Lipids*. – 2021. – Vol. 8. – №2. – DOI: 10.1051/ocl/2020067.
178. Vijayala Kshmi B., Chandrasekhar M. Oxidative stress and there resultant products as the target molecules in clinical diagnose of age related disease // *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*. – 2008. – Vol.2. – P.239–250.
179. Vollmann J., Moritz T., Kargl C., Baumgartner S., Wagenstrisl H. Agronomic evaluation of Camelina genotypes selected for seed quality characteristics // *Industrial Crops and Products*. – 2007. – Vol. 26. – No.3. – P.270–277. DOI: 10.1016/j.indcrop.2007.03.017.
180. Wiggins B.E., Kinkel L.L. Green manures and crop sequences influence potato diseases and pathogen inhibitory activity of indigenous streptomycetes // *Phytopathology*. – 2005. – No. 95 – P. 178–185.
181. Yang J., Caldwell C., Corscadden K., He S.Q., Li J. An evaluation of biodiesel production from *Camelina sativa* grown in Nova Scotia // *Industrial Crops and Products*. – 2016. – Vol. 81. – P. 162–168. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.11.073.
182. Yara-Varón E., Li Y., Balcells M., Canela-Garayoa R., Fabiano-Tixier A., Chemat F. Vegetable oils as alternative solvents for green oleo-extraction, purification and formulation of Food and Natural Products // *Molecules*. 2017. Vol. 22(9). – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/9/1474/htm> (дата обращения 01.09.2020).
183. Zakharchenko N.S., Furs O.V., Pigoleva S.V., Dyachenko O.V., Aripovskii A.V., Buryanov Y.I., Shevchuk T.V. Obtainment and analysis of marker-free oil plants *Camelina sativa* (L.) expressing of antimicrobial peptide Cecropin P1 Gene // *Applied biochemistry and microbiology*. – 2019. – Vol. 55. – No.9. – P. 888–898. DOI: 10.1134/S0003683819090096.
184. Zanetti F., Alberghini B., Jeromela A.M., Grahovac N., Rajkovic D., Kiproviski B., Monti A. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2021. – Vol. 41. – No.1. DOI: 10.1007/s13593-020-00663-y.
185. Zanetti F., Eynck C., Christou M., Krzyżaniak M., Righinia D., Alexopoulou E., Stolarski M.J., Van Loo E.N., Puttick D., Montia A. Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada // *Industrial Crops & Products*. – 2017. – Vol. 107. – P. 602–608. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.06.022.
186. Zubr J. Carbohydrates, vitamins and minerals of *Camelina sativa* seed // *Nutrition & Food Science*. – 2010. – Vol. 40 (5). – P. 523–531. DOI: 10.1108/00346651011077036.
187. Zubr J., Matthäus B. Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil // *Industrial Crops and Products*. – 2002. – Vol. 15. – No.2. – P. 155–162. DOI: 10.1016/S0926-6690(01)00106-6.
188. Zubr J. Oil-seed crop: Camelina sativa // *Industrial Crops and Products*. – 1997. – Vol. 6. – P. 113–119.

Научное издание

Авторы: Турина Е. Л., Дидович С. В., Соболевский И. В., Горгулько Т. В.,
Кувда Т. А., Постникова О. Н.

**РЫЖИК МАСЛИЧНЫЙ
(CAMELINA SP.)
В КРЫМУ**

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,58. Тираж 500 экз.
Знаков без пробелов: 251 882; знаков с пробелами: 287 561; печ.л.: 7,19

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТИПОГРАФИЯ «АРИАЛ».
295015, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2,
тел.: +7 978 71 72 901, e-mail: it.arial@yandex.ru, www.arial.3652.ru

Отпечатано с оригинал-макета в типографии «ИТ «АРИАЛ».
295015, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2,
тел.: +7 978 71 72 901, e-mail: it.arial@yandex.ru, www.arial.3652.ru