

УДК 635.3:576.7: 58.04

Перспективы использования вторичных метаболитов видов рода *Crambe* L. в хозяйственной деятельности

Чохели Василий Александрович¹, Бушкова Анастасия Аркадьевна¹,
Корниенко Игорь Валериевич^{1,2}, Степаненко Виктория Вячеславовна¹,
Дмитриев Павел Александрович¹, Арамова Ольга Юрьевна^{1,2}, Раджпут
Вишну Даял¹, Вардуни Татьяна Викторовна¹

¹ Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

² Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

vachokheli@sfedu.ru

DOI: 10.18522/2308-9709-2022-42-8

Аннотация:

Рассмотрены биохимические особенности шести видов рода *Crambe* L.: *C. abyssinica*, *C. steveniana*, *C. pinnatifida*, *C. cordifolia*, *C. koktebelica* и *C. aspera*. Большинство видов этого рода имеет практическое значение: пищевое, кормовое, витаминоносное, лекарственное, жирно-масличное, медоносное и декоративное. В растительном сырье видов рода *Crambe* выявлены группы фармакологически активных липофильных соединений: полиненасыщенные жирные кислоты, фитостерины, каротины и ксантофиллы, токоферолы. Показано, что содержание такой важной для получения биодизеля кислоты, как эруковая значительно в семенах *C. cordifolia*. Из-за высокого содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот растения рода *Crambe* являются очень перспективными для использования в качестве сырья фармакологического производства. Так, для семян *C. cordifolia* показано наибольшее содержание полиненасыщенных жирных кислот, в частности линолевой. Высокое содержание протеинов, а также свободного L-гистидина и связанных метаболически с гистидином

аминокислот (L-глутаминовой кислоты, глицина, L-аргинина, L-лейцина) позволяют выделить *C. cordifolia* среди прочих представителей данного рода. В обзоре представлены описания методов и условий культивирования *in vitro* пяти видов *C. aspera*, *C. abyssinica*, *C. koktebelica*, *C. tataria* и *C. maritima*. Показано, что в качестве эффективного регулятора роста может быть использован 6-бензиламинопурин. Выращивание *C. abyssinica* может быть использовано в фиторемедиации почв для поглощения мышьяка. В Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 5 сортов *C. abyssinica*.

Ключевые слова: Красная книга, редкие растения, эруковая кислота, линолевая кислота, *in vitro*

Prospects for the use of secondary metabolites of representatives of the genus *Crambe* L. in economic activity

Chokheli Vasily A.¹, Bushkova Anastasia A.¹, Kornienko Igor V.^{1,2}, Stepanenko Victoria V.¹, Dmitriev Pavel A.¹, Aramova Olga Y.^{1,2}, Rajput Vishnu D.¹, Varduni Tatiana V.¹

¹ *Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

² *Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

vachokheli@sfedu.ru

DOI: 10.18522/2308-9709-2022-42-8

Annotation:

Article discusses the biochemical features of six representatives of the genus *Crambe* L.: *C. abyssinica*, *C. steveniana*, *C. pinnatifida*, *C. cordifolia*, *C. koktebelica* and *C. aspera*. Most representatives of the genus *Crambe* L. have

practical significance as a food, fodder, vitamin-bearing, medicinal, fatty-oil, honey-bearing, and ornamental plant. Groups of pharmacologically active lipophilic compounds have been identified in the plant raw materials of the genus *Crambe*: polyunsaturated fatty acids, phytosterols, carotenes and xanthophylls, tocopherols. It has been shown that the content of such an important acid as erucic acid for the production of biodiesel is significant in *C. cordifolia* seeds. The high content of saturated and unsaturated fatty acids makes representatives of the genus *Crambe* L. promising for use as raw materials for pharmacological production. Thus, the highest content of polyunsaturated fatty acids, in particular linoleic acid, is shown for *C. cordifolia* seeds. High protein properties and the content of such a free amino acid as L-histidine and related amino acids (L-glutamic acid, glycine, L-arginine, L-leucine) make it possible to distinguish *C. cordifolia* among other representatives of this genus. The review describes the methods and conditions of in vitro cultivation of five representatives of the species *C. aspera*, *C. abyssinica*, *C. koktebelica*, *C. tataria* and *C. maritima*. It was shown that 6-benzylaminopurine was used as an effective growth regulator. It is shown that when growing *C. abyssinica*, phytoremediation of soils is possible due to the absorption of arsenic. Also, 5 varieties of *C. abyssinica* are included in the State Register of Breeding Achievements approved for Use.

Keywords: Red Book, rare plants, erucic acid, linoleic acid, in vitro

Введение

Род *Crambe* L. является одним из самых многочисленных видов в трибе Brassiceae и включает 3 секции, содержащие 44 вида (Schulz, 1919; Francisco-Ortega et al., 1999; Prina, 2000; Warwick et al., 2006; Prina, Martine'z-Laborde, 2008). Секция *Sarcocrambe* DC. включает 19 видов – многолетников. Для них характерен гинецей без пестика, рыльце сидячее, ареал распространения: Евразийско-Азиатская область до Западных Гималаев. Секция *Leptocrambe*

DC – 7 видов и подвидов; от однолетников до низкорослых многолетников с ярко выраженным облиственным главным стеблем; ареал распространения: Средиземноморский регион и Восточная Африка. Секция *Dendrocrambe* DC. – 18 видов и подвидов; полукустарнички (3–4 м), сильно разветвленные, эндемики Макаронезийского архипелага (13 на Канарских островах, 2 на Мадейре) (Katam, Kole, 2011).

Большинство представителей рода *Crambe* имеет практическое значение как пищевое, кормовое, витаминоносное, лекарственное, жирно-масличное, медоносное, и декоративное растение (Красная Книга Ростовской области, 2014).

Для разных видов показан широкий спектр состава органических кислот (Аль-Рабади, 2018; Крыжко, 2019; Marchyshyn et al., 2021), применяющихся в различных областях, от получения субстанций для фармацевтических препаратов, до производства биодизеля (Каленская и др., 2013).

Некоторые виды рода *Crambe*, являющиеся лекарственными или хозяйственно-ценными, занесены в красные книги (Красная книга Российской Федерации, 2008; Красная Книга Ростовской области, 2014) вследствие хозяйственной деятельности человека. Очевидно, что потенциал их использования, за счёт ценной биомассы и высокого содержания вторичных метаболитов огромный. Но, в связи с узкой экологической амплитудой и сокращением площадей местообитаний при распашке степей (Красная Книга Ростовской области, 2014), потенциал растений невозможно использовать полностью. Однако, с применением современных биотехнологических методов возможно культивирование данных растений в биореакторах (Chokheli et al., 2020).

В настоящем обзоре обобщены данные по биохимическому составу шести представителей рода *Crambe* L.: *C. abyssinica*, *C. steveniana*, *C.*

pinnatifida, *C. cordifolia*, *C. koktebelica* и *C. aspera*, и для некоторых из них обобщены данные по культивированию в условиях *in vitro*.

Биохимия рода *Crambe*

В растительном сырье (семенах и плодах) рода *Crambe* выявлены группы фармакологически активных липофильных соединений: полиненасыщенные жирные кислоты (ЖК), фитостерины, каротины и ксантофиллы, токоферолы (Аль-Рабади, 2018; Щербаков, 2003).

Семена *Crambe abyssinica* содержат растительные масла с необычайно высоким содержанием эруковой (цис-13-докозановой) кислоты, концентрация которой в масле достигает 50 % от общего количества ЖК. Такое высокое содержание этой кислоты обуславливает исключительную устойчивость абиссинского масла к нагреванию. Кроме того, это масло обладает очень высоким коэффициентом устойчивости к окислению (Аль-Рабади, 2018). Кислотное число масла варьирует от 3,9 до 8,9 мг КОН на 1 г жира, число омыления составляет 175,2–179,0 мг КОН на 1 г жира (Уханов и др., 2018). Семена сорта «ВИР 1» содержат 45 % жира, из которых 65,2 % приходится на эруковую кислоту (Виноградов и др., 2010). Содержание жира в семенах сорта «Арфа» на сухое вещество – 45,2 %, валовой сбор масла – 659,2 кг/га (Волков, Зайцев, 2019). Жмых *C. abyssinica* содержит до 40 % белка и 0,4 % аскорбиновой кислоты при влажности 3,6 % (Игзакова и др., 2021). Кроме этого, исследования говорят о необычной способности *C. abyssinica* поглощать мышьяк (As) – 140 мг/кг в расчете на сухую массу листьев (Katam, Kole, 2011).

Стоит отметить, что способность эруковой кислоты снижать цетановое число топлива за счет ее устойчивости к нагреванию широко используется для производства биодизеля (Mascia et al., 2010; Каленская и др., 2013).

Таким образом высокое содержание эруковой кислоты в семенах *Crambe*

abyssinica позволяет рассматривать данный вид в качестве растительного сырья для получения биодизеля.

С помощью метода газовой хроматографии в масле семян и плодов рода *Crambe* обнаружена 21 ЖК. Среди них доминируют линолевая (26,1 % в семенах и плодах *C. steveniana*), линоленовая (9,4 % в семенах и плодах *C. pinnatifida*), олеиновая (30,9 % в семенах и плодах *C. cordifolia*) (Аль-Рабади, 2018).

Установлен химический состав семян нескольких видов рода *Crambe*: *C. tataria* показывает наибольшее значение жира – 53,3 %, у *C. abyssinica* наибольшее значение фосфора – 0,7 % и протеина – 26,7 %, у *C. steveniana* – наибольшее содержание золы – 8,4 %, в которой присутствуют кремнекислые соединения, нерастворимые в 10 % растворе соляной кислоты. В семенах *C. abyssinica* концентрация линолевой (ω -6) кислоты составляет 7,8–9,9 %, α -линоленовой (ω -3) – 7,1–8,5 %, содержание мононенасыщенной олеиновой кислоты – 15,3–16,1 %, пальмитиновой – 1,4–1,6 %, стеариновой – 0,5–0,8 %, эруковой кислоты колеблется от 57,6 до 60,1 % (Аль-Рабади, 2018; Прахова, 2013 а; Прахова, 2013 б). В масле семян *C. pinnatifida* содержится: олеиновая (28 %), эруковая (23,4 %), линолевая (22,6 %), эйкозеновая (15 %), линоэлодиновая (0,02 %), пентодекановая (0,02 %) и маргариновая (0,01 %) кислоты. Масло семян *C. cordifolia* содержит олеиновую (30,9 %), эруковую (25,6 %), линолевую (16,6 %) и эйкозеновую (15,8 %) и маргариновую (0,02 %) кислоты (Аль-Рабади, 2018).

Показатель содержания эруковой кислоты в масле семян больше для *C. cordifolia* по сравнению с *C. pinnatifida* (26 % и 23 % соответственно), так же, как и показатели линолевой кислоты (23 % по сравнению с 17 %).

В масле плодов *C. pinnatifida* содержится: олеиновая (27,8 %), эруковая (20 %), олеиновая (22,9 %), эйкозеновая (15 %), пентодекановая (0,03 %) и маргариновая (0,02 %) кислоты (Аль-Рабади, 2018). В масле плодов

*C. steveniana*e содержится: олеиновая (27,7 %), линолевая (21,7 %), эруковая (21 %), эйкозеновая (17 %), линоэлодиновая (0,04 %) и пентодекановая (0,02 %) кислоты (Аль-Рабади, 2018). Масло плодов *C. cordifolia* содержит: олеиновую (30,9 %), эруковую (25,4 %), линолевую (17 %), эйкозеновую (15,8 %), пентодекановую (0,03 %), линоэлодиновую (0,02 %), и маргариновую (0,02 %) кислоты (Аль-Рабади, 2018).

Также содержание эруковой кислоты в плодах для *C. cordifolia* выше, чем для *C. pinnatifida* и *C. steveniana*e (25 %, 20 % и 21 %, соответственно). Таким образом, для получения технической эруковой и линолевой кислот для фармакологических целей лучше использовать семена *C. cordifolia*.

В листьях *C. cordifolia* методом высокоэффективной жидкостной хроматографии идентифицировано 5 карбоновых кислот: пировиноградная (40,66 мг/г), изолимонная (12,88 мг/г), лимонная (8,71 мг/г), яблочная (0,75 мг/г) и янтарная (38,03 мг/г). А также было обнаружено, что листья *C. cordifolia* содержат насыщенные (7,79 мг/г, 38,5 %) и ненасыщенные (12,43 мг/г, 61,5 %) ЖК. Основными компонентами сырья являются линоленовая кислота (9,68 мг/г; 47,9 %), пальмитиновая кислота (4,88 мг/г; 24,1 %) и линолевая кислота (1,84 мг/г; 9,1 %). Кроме этого, листья *C. cordifolia* являются источником омега-3 (линоленовая кислота) и омега-6 (линолевая кислота) незаменимых ЖК (Marchyshyn et al., 2021).

С помощью ВЭЖХ был идентифицирован аминокислотный состав *C. cordifolia* и *C. koktebelica*. В листьях *C. cordifolia* обнаружено 15 свободных аминокислот, среди которых доминирует L-гистидин, его содержание составило 12,19 мкг/мг. Содержание других аминокислот было значительно меньше. В свободном виде глицин не был обнаружен. В листьях *C. koktebelica* самым высоким было содержание свободных L-аргинина, L-валина, L-фенилаланина, L-изолейцина и составило 2,23 мкг/мг, 2,04 мкг/мг, 1,74 мкг/мг и 1,50 мкг/мг соответственно. В сырье изученных видов было

обнаружено шестнадцать связанных аминокислот. Наиболее высоким было содержание связанной L-глутаминовой кислоты, глицина, L-аргинина, L-лейцина. *C. cordifolia* содержит большое количество протеина – наивысшее среди возделываемых в настоящее время культур (Аль-Рабади, 2018).

Таким образом, в связи с высоким содержанием насыщенных и ненасыщенных (омега-3, омега-6) ЖК, участвующих в большинстве физиологических процессов (Назаров и др., 2009), виды рода *Crambe* весьма перспективны для использования в качестве сырья для фармакологического производства.

Известно содержание потенциально антимикробных соединений у *C. maritima* – глюкозинолатов, основным из которых является эপিпрогоитрин (в этиолированных проростках содержится 80–85 %, в семенах 95 %), кроме него в проростках обнаружены 6 других глюкозинолатов (прогоитрин, глюконапин, глюкобрассикапан, синалбин, глюконастуртин и глюкобрассицин), и 5 в семенах (Крыжко, 2019). Исключительно в семенах идентифицирован глюкоалиссин (Sanyal, Decocq, 2015).

Для вида *C. aspera* была установлена разница биохимического состава между растениями из асептических и грунтовых условий. Общее количество флавоноидов у растений, выращенных *in vitro*, было примерно в три раза выше, чем у растений, выращенных *in vivo*. Количественная оценка содержания полифенольных соединений выявила еще большую разницу – в растениях, выращенных *in vitro*, накапливалось в шесть раз больше полифенолов. Газо-жидкостные хроматограммы эфиров ЖК из листьев асептических и неасептических растений показали наличие таких насыщенных ЖК, как лауриновая кислота (C12:0), пальмитиновая кислота (C16:0), стеариновая кислота (C18:0) и лигноцериновая кислота. (C24:0), обнаружены мононенасыщенные ЖК (олеиновая кислота (C18:1 Δ9, ω9) и полиненасыщенные ЖК (линолевая (18:2 Δ9, 12, ω6), α-линоленовая (18:3 Δ9,

12, 15, ω3). Образцы асептических растений имели более высокое содержание ЖК ($4,78 \pm 1,93$ мг/г), чем неасептические растения ($3,56 \pm 0,06$ мг/г). Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии эруковой кислоты в листьях растений, культивируемых как *in vitro*, так и *in vivo* (Pushkarova et al., 2019).

Таким образом, для получения вторичных метаболитов, в перспективе может быть использовано выращивание биомассы растений в культуре *in vitro*, путём депонирования суспензии клеток.

Урожайность *Crambe*

В Португалии средняя урожайность *Crambe abyssinica* сорта FMS Brillhante составляет 0,74 т/га, при этом содержание масла в семенах варьирует от 26 до 34 % (Costa et al., 2019). В Польше урожайность *C. abyssinica* варьирует в пределах 1,19–1,78 т/га, при этом наблюдается зависимость урожайности от влагообеспеченности (Stolarski, 2018). В Италии в условиях Южной Сицилии получена наибольшая урожайность семян *C. abyssinica* для местных сортов Galactica, Nebula и Mario составляет 2,29 т/га. Установлено, что продуктивность семян выше в северных районах Италии, чем в южных (Zanetti et al., 2016).

В Чехии урожайность *C. abyssinica* находится на уровне 1,38–1,95 т/га с масличностью 32–34 % (Ionov et al., 2013). В Бразилии наивысший показатель урожайности семян *C. abyssinica* составил 2,12 т/га (Viana et al., 2015). В Австралии потенциал наибольшей урожайности *C. abyssinica* достигает 3,1 т/га, с масличностью 32 % (Francis, Campbell, 2003). В Китае урожайность *C. abyssinica* варьировала в пределах от 1,4 до 5,0 т/га, масличность – 34,5 %, содержание эруковой кислоты – до 62 % (Wang и др., 2000)

В США средняя урожайность *C. abyssinica* 0,9 т/га с масличностью 35 % и содержанием эруковой кислоты 60 % (Zanetti et al., 2016). Средняя урожайность *C. abyssinica* в условиях Восточной Лесостепи Украины составляла 1,32 т/га (Kurt et al., 2018). Российские исследования показывают различную урожайность в разных регионах. В Пензенской области возможно получение урожайности *C. abyssinica* 3,0 т/га и выше, при этом масличность плодов составляет 39,7 %, а семян – 47,7 %; в Башкортостане урожайность составляет 1,79–2,41 т/га с содержанием масла в семенах до 43,5 %, в Крыму урожайность – до 2,16 т/га с масличностью 23,3–33,6 % (Прахова, 2017; Турина и др., 2019).

По состоянию на 2022 год в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 5 сортов *C. abyssinica*: ВИР 1 и ВИР 2 (ГНУ ГНЦ ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова, ГНУ Екатеринбургская опытная станция ВНИИР, ЗАО НП фирма «Российские семена»), Полет и Деметра (выведены Пензенским ИСХ), Арфа (ФГБНУ Российский НИПТИ сорго и кукурузы, ООО ОВП «Покровское») (Турина Е. Л., 2021). Сорт «Полёт» создан методом индивидуального отбора из коллекционного сортообразца американского происхождения в 2011 году. Он характеризуется как раннеспелый, с вегетационными периодом 87–95 дней, устойчив к болезням и вредителям (Прахова, 2013а, б). Сорт «Арфа» низкорослый, скороспелый; созревает раньше, чем «Полёт» на 2 дня и на 23 дня раньше, чем «ВИР 1» (Волков, Зайцев, 2019). «ВИР 1» – растение до 122 см высотой, листья раскидистые, средней длины, перисто-раздельные. Вегетационный период 112 дней (Виноградов и др., 2010).

Из-за проблем культивирования растений в условиях *in vivo*, связанных с сезонностью (особенно это касается регионов РФ) в перспективе возможен переход на получение большей биомассы растений путём наращивания каллусной массы в условиях *in vitro*.

Род *Crambe* в культуре ткани

Для *C. maritima* проведены работы по быстрому выращиванию в условиях *in vitro*. В проведенных исследованиях образование каллуса из эксплантата черешка требует высокой концентрации цитокинина в культуральной среде. Образование каллуса с последующим органогенезом наиболее эффективно при 0,5 мг/л ИУК, 6,0 мг/л и 1,5 мг/л БАП. Быстрое побегообразование наблюдалось в среде с 7,0 мг/л БАП или 5,0 мг/л и 3,0 мг/л БАП. Ризогенез активно наблюдался в среде с 0,7 мг/л НУК и 0,3 мг/л ИМК (Peron, 1987). Проведены работы по подбору условий индукции каллусообразования и дальнейшего пассирования каллуса на питательной среде Мурасиге и Скуга, дополненной 2,0 мг/л 2,4-Д, 0,5 мг/л 6-БАП и 0,5 мг/л кинетином. Первые признаки каллусообразования обнаруживаются на 12–14 сутки культивирования (Бугара и др., 2018). Проведены работы по культивированию суспензионных культур *C. maritima* на различных средах для изучения антимикробной активности. Показано, что синтез антимикробных веществ зависит от среды, на которой была получена суспензионная культура (Крыжко и др, 2019).

Для вида *C. aspera* были подобраны эффективные протоколы поверхностной стерилизации семян, разработаны методы микроклонального размножения и получения каллусной культуры на среде MS с различным составом регуляторов роста. Изучение морфогенного потенциала эксплантата листа, черешка и корня показало, что в связи с его наибольшим потенциалом образования проростков для быстрого микроклонального размножения весьма целесообразно использование черешка (МС с БК 1 мг/л и НУК 0,1 мг/л или МС с БК 5 мг/л и НУК 1 мг/л) (Pushkarova et al., 2019).

Для *C. abyssinica* разработан протокол микроклонального размножения с использованием апикальных сегментов в качестве эксплантатов для

поддержания генетической стабильности. Этот стандартизированный протокол микроразмножения можно использовать с минимальной возможностью внесения изменчивости в ходе процесса *in vitro* (Werner et al., 2015).

Для *C. koktebelica* и *C. tataria* изучена регенеративная способность трех видов эксплантов на средах с различным составом регуляторов роста, подобраны оптимальные условия быстрого микрклонального размножения. В результате проведенных исследований установлена наивысшая эффективность регенерации черешковых эксплантов. Каллусогенез, ризогенез и регенерация проростков *de novo* были обнаружены на трех типах эксплантов, корни демонстрируют самую высокую активность пролиферации каллуса, листья показывают самую высокую частоту ризогенеза, а черешки – самую высокую частоту регенерации проростков. Также показана роль в морфогенном ответе выбранного типа, добавленного в среду цитокинина. Культивирование на среде с БА приводит к более высокой пролиферации каллуса, а с кинетином – к более высокой частоте ризогенеза (Pushkarova et al., 2018).

Исходя из вышеизложенного, в качестве цитокинина, показывающего лучшую пролиферацию тканей, при культивировании эксплантов различных видов рода *Crambe* лучше использовать небольшие концентрации 6-БАП. В качестве минеральной основы подходит универсальная среда Мурасиге и Скуга (MS).

Заключение

Род *Crambe* включает виды, которые благодаря своим экологическим особенностям способны расти на территории Ростовской области (*C. abyssinica*, *C. tataria*, *C. koktebelica*, *C. pinnatifida*, *C. aspera*, *C. steveniana*, *C. cordifolia*), что позволяет выращивать *Crambe* в качестве

сельскохозяйственной культуры. При этом, при выращивании *C. abyssinica* возможна фиторемедиация почв за счет поглощения мышьяка. Кроме этого, разработаны методики быстрого микрклонального размножения с исключением генетической нестабильности и методики выращивания суспензионных культур *Crambe* для получения вторичных метаболитов. Биохимические исследования показывают, что *Crambe* благодаря уникальному составу масла с высоким содержанием ЖК, высокому уровню протеинов, а также фармакологически активных веществ, перспективен для использования в пищевой, химической и фармацевтической промышленности. Наиболее перспективным видом является *C. cordifolia*. Немаловажной является перспектива использования *Crambe* для производства экологически чистого, дешевого биодизельного топлива.

Кроме того в дальнейшем, возможна разработка более эффективных протоколов культивирования представителей рода *Crambe*, с использованием менее сильных синтетических аналогов 6-БАП. Применение методов геномного редактирования в перспективе позволит получить клеточные линии с повышенным содержанием эруковой и линолевой кислот.

Список использованной литературы

1. Аль-Рабади, Е. Е. Морфо-биохимическое исследование плодов и семян катрана (*Crambe* L.): магист. дис.: специальность, ПГУ. Пенза, 2018. 79 с. URL: <https://elib.pnzgu.ru/> (дата обращения: 13.07.2022).
2. Бугара И. А. и др. Получение каллусных культур *Crambe maritima* L. и их цитологическая характеристика // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 2018. Т. 4. №. 2. С. 3–10.
3. Виноградов З. С., Конькова Н. Г., Панкратов Н. Н. Крамбе

(*Crambe abyssinica* Hochst. ex RE Fr.). ВИР 1. – 2010.

4. Волков Д. П., Зайцев С. А. Новый сорт крамбе "арфа", рекомендуемый для регионов возделывания культуры // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных и других технических культур, 2019. С. 28–33.

5. Игзакова З. И. и др. Перспективы изучения *Crambe Abyssinica* Hochst // Ароматические и лекарственные растения: интродукция, селекция, агротехника, биологически активные вещества, влияние на человека. 2021. С. 13–13.

6. Каленская С. М., Юник А. В., Каленский В. П., Макарявичене В. З., Сенджикене Э. А. Альтернативное растительное сырье для производства биодизеля // Известия ТСХА, 2013. В. 6. С. 31–39.

7. Красная Книга Российской Федерации. Растения и грибы. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2008. 855 с.

8. Красная книга Ростовской области: в 2 т. / Изд-е 2-е. Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области, 2014. Т. 2. Растения и грибы. 344 с.

9. Крыжко А. В. и др. Антибактериальная активность суспензионных культур катрана приморского (*Crambe maritima* L.) относительно штаммов энтомопатогенных бактерий *Bacillus thuringiensis* // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия, 2019. Т. 5. № 4. С. 41–49.

10. Назаров П. Е., Мягкова Г. И., Гроза Н. В. Полиненасыщенные жирные кислоты как универсальные эндогенные биорегуляторы // Вестник МИТХТ, 2009. Т. 4. № 5. С. 3–19.

11. Прахова Т. Я. Крамбе абиссинская (*Crambe abyssinica* Hochst.). 2017.

12. Прахова Т. Я. Новая нетрадиционная масличная культура – крамбе абиссинская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2013 а. №. 8 (106). С. 008–010.
13. Прахова Т. Я. Перспективная масличная культура *Crambe abyssinica* // Достижения науки и техники АПК, 2013 б. №. 8. С. 31–33.
14. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Ефименко С. Г. Возделывание крамбе абиссинской (*Crambe abyssinica* Hochst.) в условиях степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки, 2019. №. 2. С. 103–110.
15. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Радченко Л. А. Значение крамбе абиссинской (*Crambe Abyssinica*) и ее урожайность в различных странах мира (обзор) // Зерновое хозяйство России, 2021. №. 4. С. 66–72.
16. Уханов А. П. и др. Показатели физико-химических, теплотворных, трибологических свойств масла крамбе абиссинской и дизельного смесового топлива // Нива Поволжья, 2018. №. 2 (47). С. 141–148.
17. Щербаков В. Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. М.: КолосС, 2003. 360 с.
18. Chokheli V.A., Dmitriev P.A., Rajput V.D., Bakulin S.D., Azarov A.S., Varduni T.V., Stepanenko V.V., Tarigholizadeh S., Singh R.K., Verma K.K., Minkina T.M. Recent Development in Micropropagation Techniques for Rare Plant Species // Plants, 2020. V. 9. 1733. doi:10.3390/plants9121733
19. Costa E. et al. Cultivation of *Crambe abyssinica* non-food crop in Portugal for bioenergy purposes: Agronomic and environmental assessment // Industrial crops and Products, 2019. Т. 139. С. 111501.
20. Francis C. M., Campbell M. C. New high quality oil seed crops for temperate and tropical Australia // Canberra: Rural Industries Research

and Development Corporation. 2003.

21. Francisco-Ortega J. et al. Internal Transcribed Spacer Sequence Phylogeny of *Crambe* L. (*Brassicaceae*): Molecular Data Reveal Two Old World Disjunctions // *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 1999. Т. 11. №. 3. P. 361–380.

22. Ionov M. et al. Growth, development and yield of *Crambe abyssinica* under saline irrigation in the greenhouse // *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2013. Т. 199. №. 5. P. 331–339.

23. Katam R. C. Kole (ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Oilseeds*, DOI 10.1007/978-3-642-14871-2_1,# Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011 // *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Oilseeds*. 2011. Т. 3. P. 1.

24. Kurt O., Özyilmaz T., Göre M. Determination of yield and yield components of some *Crambe* genotypes in the world *Crambe* collection // *Scientific Papers-Series A, Agronomy*, 2018. Т. 61. №. 1. P. 304–309.

25. Marchyshyn S. et al. Analysis of carboxylic acids of *Crambe cordifolia* Steven // *Pharmacia*, 2021. Т. 68. P. 15.

26. Mascia, P. N.; Scheffran, J.; Widholm, J. M. *Plant Biotechnology for Sustainable Production of Energy and co-products. Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 231 p. ISBN 978-3-642-13440-1.

27. Peron J. Y. Regnier E. *In vitro* propagation of *Crambe maritima* // *Canadian Journal of Botany*, 1987. 65(1). P. 72–75.

28. Prina A. A taxonomic revision of *Crambe*, sect. *Leptocrambe* (*Brassicaceae*) // *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2000. Т. 133. № 4. P. 509–524.

29. Prina A. O., Martinez-Laborde J. B. A taxonomic revision of *Crambe* section *Dendrocrambe* (*Brassicaceae*) // *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2008. Т. 156. №. 2. P. 291–304.
30. Pushkarova N. O. et al. *Crambe aspera* plants in vitro propagation and its effect on fatty acids and phenolic compounds content and genome stability // *Biopolymers and Cell*, 2019.
31. Pushkarova N. O. et al. Peculiarities of Regeneration and Genetic Variability of *Crambe koktebelica* and *Crambe tataria* Plants in vitro // *Cytology and Genetics*, 2018. Т. 52. №. 4. P. 269–275.
32. Sanyal A., Decocq G. Biological flora of the British Isles: *Crambe maritima* // *Journal of ecology*, 2015. Т. 103. №. 3. P. 769–788.
33. Schulz O. E. *Cruciferae-Brassicaceae*. Pars prima. Subtribus I. Brassicinae et II. Raphaninae. In: Engler, Das Pflanzenreich [...][Heft 70] IV. 105. 1919.
34. Stolarski M. J. et al. Energy and economic efficiency of camelina and *Crambe* biomass production on a large-scale farm in north-eastern Poland // *Energy*, 2018. Т. 150. P. 770–780.
35. Viana O. H. et al. *Crambe* ('*Crambe abyssinica*' H.) development and productivity under different sowing densities // *Australian Journal of Crop Science*, 2015. Т. 9. №. 8. P. 690–695.
36. Wang Y. P. et al. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses // *Industrial Crops and Products*, 2000. Т. 12. №. 1. P. 47–52.
37. Warwick S. I., Francis A., Al-Shehbaz I. A. *Brassicaceae*: species checklist and database on CD-Rom // *Plant Systematics and Evolution*, 2006. Т. 259. №. 2. P. 249–258.
38. Werner E. T. et al. Genetic stability of micropropagated plants of *Crambe abyssinica* Hochst using ISSR markers // *Genet Mol Res.*, 2015.

Т. 14. №. 4. P. 16450–60.

39. Zanetti F. et al. *Crambe abyssinica* a non-food crop with potential for the Mediterranean climate: Insights on productive performances and root growth // *Industrial Crops and Products*, 2016. Т. 90. P. 152–160.