

Обзорная статья/Review Article

УДК 619:615.285

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-80-91

Михаил Алексеевич Левченко

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

levchenko-m-a@mail.ru

ПОТЕНЦИАЛ 2-УНДЕКАНОНА В БОРЬБЕ С ВРЕДИТЕЛЯМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО, МЕДИЦИНСКОГО И ВЕТЕРИНАРНОГО ЗНАЧЕНИЯ (ОБЗОР)

Цель работы – провести обзор опубликованных научных статей об эффективности 2-ундеканона, химического соединения из класса кетонов растительного происхождения, против вредителей сельскохозяйственного, медицинского и ветеринарного значения и возможных источников получения этого вещества. Для этого использовались данные информационных баз: Medline, Pubmed, WebofScience, Scopus и GoogleScholar за 1988–2022 гг. Поисковые слова включали в себя «2-ундеканон», «инсектицид», «акарицид», «пестицид». Материал статей учитывался, если работа была выполнена с отдельно взятым или выделенным веществом 2-ундеканона. По результатам работы выявлено, что больше всего его содержится в надземных частях растений *Ruta chalepensis* L. и *Ruta montana* L., собранных в Иране, Индии (север), Тунисе (север) и Алжире. Установлено, что при получении его методом гидродистилляции больше всего 2-ундеканона содержится в надземных частях растений *Ruta chalepensis* L. и *Ruta montana* L., от 52,5 до 82,74 % и от 27,2 до 86,77 % соответственно, собранных в Иране, Индии (север), Тунисе (север) и Алжире. Выявлено, что 2-ундеканон обладает нематоцидной, фузигантной и репеллентной активностью против некоторых вредителей сельскохозяйственного, медицинского и ветеринарного значения. Также по результатам литературных источников отмечено, что при сравнении 2-ундеканона с коммерческими химическими веществами, такими как N,N-диэтил-мета-толуамидом (ДЭТА), хлорпирифосом, в исследованиях репеллентного действия против комнатных и мясных мух (*Musca domestica* L., *Cochliomyia macellaria* F. и *Sarcophaga bullata* P.) и ларвицидного против азиатского тигрового комара *Aedes albopictus* L. по своей эффективности уступает им незначительно.

Ключевые слова: растительные инсектициды, 2-ундеканон, источники получения, вредители, биоактивность

Для цитирования: Левченко М.А. Потенциал 2-ундеканона в борьбе с вредителями сельскохозяйственного, медицинского и ветеринарного значения (обзор) // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10. С. 80–91. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-80-91.

Благодарности: статья подготовлена в соответствии с планом НИР по программе фундаментальных научных исследований РАН (№ 121042000076-5) «Разработка методов научно обоснованного применения средств дезинсекции, химической и биологической регуляции численности паразитов с целью сохранения эпизоотического благополучия и качества здоровья сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц».

Mikhail Alekseevich Levchenko

All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

levchenko-m-a@mail.ru

© Левченко М.А., 2022

Вестник КрасГАУ. 2022. № 10. С. 80–91.

Bulliten KrasSAU. 2022;(10):80–91.

2-UNDECANON POTENTIAL IN PEST CONTROL OF AGRICULTURAL, MEDICAL AND VETERINARY IMPORTANCE (REVIEW)

The aim of the study is to review published scientific papers on the effectiveness of 2-undecanone, a chemical compound from the class of plant ketones, against pests of agricultural, medical and veterinary importance and possible sources of this substance. For this, data from the information bases were used: Medline, Pubmed, WebofScience, Scopus and GoogleScholar for 1988–2022. Search terms included "2-undecanone", "insecticide", "acaricide", "pesticide". The material of the papers was taken into account if the work was performed with a single or isolated substance 2-undecanone. According to the results of the study, it was found that most of it is contained in the aerial parts of plants *Ruta chalepensis* L. and *Ruta montana* L., collected in Iran, India (north), Tunisia (north) and Algeria. It has been established that when it is obtained by hydrodistillation, the most 2-undecanone is contained in the aerial parts of the plants *Ruta chalepensis* L. and *Ruta montana* L., from 52.5 to 82.74 % and from 27.2 to 86.77 %, respectively, collected in Iran, India (north), Tunisia (north) and Algeria. It was revealed that 2-undecanone has nematocidal, fumigant and repellent activity against some pests of agricultural, medical and veterinary importance. Also, according to the results of literature sources, it was noted that when comparing 2-undecanone with commercial chemicals, such as *N,N*-diethyl-meta-toluamide (DEET), chlorpyrifos, in studies of repellent action against houseflies and blowflies (*Musca domestica* L., *Cochliomyia macellaria* F. and *Sarcophaga bullata* P.) and larvicidal against the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* L. are slightly inferior in their effectiveness.

Keywords: plant insecticides, 2-undecanone, sources of production, pests, bioactivity

For citation: Levchenko M.A. 2-undecanon potential in pest control of agricultural, medical and veterinary importance (review) // Bulliten KrasSAU. 2022;(10): 80–91. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-10-80-91.

Acknowledgments: the paper has been prepared in accordance with the research plan for the program of fundamental scientific research of the Russian Academy of Sciences (No. 121042000076-5) "Development of methods for the scientifically based use of pest control agents, chemical and biological regulation of the number of parasites in order to preserve the epizootic well-being and quality of health of agricultural and unproductive animals, bees and birds".

Введение. Использование синтетических продуктов для борьбы с вредителями в сельском хозяйстве становится все более проблематичным. Проблемы заключаются в устойчивости вредителей к применяемым средствам, задержании их остатков в сельскохозяйственных продуктах и окружающей среде [1], также они могут оказывать негативное влияние на здоровье людей и вызывать их смерть [2]. Продукты растительного происхождения, обладающие инсектоакарицидным эффектом, как правило, обладают низкой токсичностью для млекопитающих, непродолжительным задержанием в окружающей среде и, вероятно, должны ограничить развитие устойчивости к ним вредителей [3]. Согласно литературным источникам, потенциал продуктов растительного происхождения для борьбы с вредителями в сельском хозяйстве и медицине очень высок [4–10]. Известны 656 видов растений, обладающих значительным инсектицидным эффектом, в их составе упоминаются 119 инсектицидных химических веществ [2]. Отдельные соединения этих расте-

ний представляют больший интерес, так как они обладают более стабильным инсектицидным действием по сравнению с продуктами экстракции, которые могут различаться по качеству, количеству и составу в зависимости от климата, состава почвы, органа растения, возраста и стадии вегетативного цикла [11, 12]. Известны литературные обзоры о потенциале в борьбе с вредителями этих фитохимических активных соединений, таких как эвгенол, линалоол, цинеол [1, 2], но в данных материалах нет упоминания о 2-ундеканоне. Это соединение в 2007 г. получило регистрацию в Агентстве по охране окружающей среды США (EPA) в качестве био-пестицида BioUD с содержанием активного вещества 7,5 %, первоначально полученного из диких помидоров (*Lycopersicon hirsutum* Dunal f. *Glabratum*. C.H. Mall [13]), оно относится к химическим соединениям класса кетонов [14].

Цель исследований – обзор литературных данных об источниках получения 2-ундеканона и его биоактивности.

Материалы и методы. Использовался материал опубликованных научных статей об эффективности 2-ундеканона против вредителей в сельском хозяйстве и медицине из баз данных Medline, Pubmed, Web of Science, Scopus, Google Scholar и eLibrary.Ru за 1988–2021 гг., поисковые слова включали в себя «2-ундеканон», «инсектицид», «акарицид», «пестицид». Материал статей учитывался, если работа была выполнена с отдельно взятым или выделенным веществом 2-ундеканона.

Результаты и их обсуждение. Все найденные литературные сведения об источниках 2-ундеканона связаны с получением его методом гидродистилляции и определением его концентрации методом ГХ/МС из растений *Ruta chalepensis* L., *Ruta montana* L., *Ruta graveolens*, *Philodendron acutatum*, *H. virgatum* Spach, *Zanthoxylum rhoifolium* (Rutaceae), *Zanthoxylum acanthopodium*, *Siparuna guianensis* Aublet, добытых в различных частях мира (табл. 1). Так, по данным A. Rustaiyan et al. (2002), из собранных надземных частей *Ruta chalepensis* L. на высоте 1200–1600 м на горе Хавтчан южного Ирана выделено 52,5 % 2-ундеканона [15]. Из надземных частей этого же растения, собранных в Алжире S. Merghache et al. (2008), этого вещества получили в диапазоне 79,06–82,74 % [16], а из плодов и листьев разного периода роста, добытых в северной Индии Bagchi et al. (2003), на уровне 41,3–67,8 % [17]. По данным Mohammedi et al. (2020), в стадии цветения надземных частей алжирской *Ruta montana* L. из семи различных регионов Алжира (Бусерга, Бумердес; Драа Бен Хедда, Тизи Узу; Серия, Блида; Айн-Турк, Буйра; Ченуа, Типаза; Джебель Мессаад, М'сила; Дар Чиух, Гелфа), характери-

зующихся различными климатическими условиями, содержат 2-ундеканона на уровне 27,2–81,7 % [18]. Другими исследователями получено 86,77 и 16,35 % этого вещества из надземных частей растений в период цветения *Ruta montana* L. и *Ruta graveolens* соответственно, с горы Натхор близ Бизерты в Тунисе [19]. Viana et al. (2002a) установили содержание 2-ундеканона на уровне 0–2,7 % из шести образцов, полученных в три разные даты из корней *Philodendron acutatum*, добытого на севере Бразилии [20]. Из надземных частей другого растения – *H. virgatum* Spach., произрастающего в Иране, выделено этого вещества на уровне 21,5 % [21]. Исследования других авторов показывают, что листья *Zanthoxylum rhoifolium* (Rutaceae) из Монтеверде в Коста-Рике содержат 9,2 % 2-ундеканона [22], а из свежих листьев этого же растения, собранных в Импахале (Манипур, Северо-Восточная Индия), выделено 7,3 % 2-ундеканона [23]. Обнаружили данное вещество F. Viana et al. (2002b) на уровне 52,7 % из растений *Siparuna guianensis* Aublet, произрастающих в Ботаническом саду северной части Бразилии [24], а из этого же растения, собранного в экспериментальном заповеднике ботанического института Сан-Паулу в Моги-Гуасу на юго-востоке Бразилии, Fischer et al. (2005), определили 2-ундеканона на уровне 32,5 % [25]. Таким образом, наибольшее содержание 2-ундеканона выявлено из надземных частей растения *Ruta chalepensis* L. и *Ruta montana* L., собранных в Иране, Индии (север), Тунисе (север) и Алжире, где содержание этого вещества колеблется от 52,5 до 82,74 % и от 27,2 до 86,77 % соответственно.

Таблица 1

Источники 2-ундеканона в различных частях мира

Регион	Растение	Часть растения	Содержание, %	Авторы
1	2	3	4	5
Иран	<i>Ruta chalepensis</i> L.	Надземная	52,5	Rustaiyan et al., 2002
Индия (север)	<i>Ruta chalepensis</i> L.	Плоды и листья	41,3–67,8	Bagchi et al., 2003
Алжир	<i>Ruta chalepensis</i> L.	Надземная	79,06–82,74	Merghache et al. 2008
Алжир (из семи различных регионов)	<i>Ruta montana</i> L.	Надземная (стадия цветения)	27,2–81,7	Mohammedi et al. 2020
Тунис (север)	<i>Ruta montana</i> L. и <i>Ruta graveolens</i>	Надземная (стадия цветения)	86,77 и 16,35	Yosra et al., 2019

1	2	3	4	5
Бразилия (север)	<i>Philodendron acutatum</i>	Корни	0–12,7	Viana et al., 2002a
Иран	<i>H. virgatum</i> Spach	Надземная	21,5	Biniyaz et al., 2007
Коста-Рика (Монтеверде)	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> (Rutaceae)	Листья	9,2	Boehme et al., 2008
Индия (Манипур, Северо-Восток)	<i>Zanthoxylum acanthopodium</i>	Листья	7,3	Rana et al., 2008
Бразилия (регион Амазонки)	<i>Siparuna guianensis</i> Aublet	Свежие листья, кора стебля, корни, плоды	52,7	Viana et al., 2002
Бразилия (юго-восток)	<i>Siparuna guianensis</i> Aublet	Плоды и листья	32,5	Fischer et al., 2005

Биоактивность вещества. Все выявленные материалы исследований, касающиеся 2-ундеканона, были протестированы против вредителей сельского хозяйства, ветеринарного и медицинского значения в качестве фумигантов, контактного токсического и репеллентного действия. Их можно разделить на объекты воздействия: против вредителей хранимой продукции, растительных нематод, комаров и клещей (табл. 2).

Эффективность 2-ундеканона против вредителей сельскохозяйственного значения. Согласно литературным сведениям, 2-ундеканон показывает высокую эффективность против вредителей зерновых культур. Так, при воздействии этого вещества, предварительно растворенного в этаноле и распыленного на пшеницу с вредителями *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) и *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae), N. Ntalli et al. (2021) было установлено, что он вызывал смертность личинок и взрослых 87,8 и 98,9 % соответственно у особей обоих видов в дозе 1000 мкл/кг зерна на 7-й день, а при 500 мкл/кг пшеницы 47,8 % личинок и 6,7 % взрослых особей за этот же период времени [26]. Достаточно широко эффективность 2-ундеканона показана в научных работах против другой группы опасных вредителей растений сельскохозяйственного назначения – нематод. Согласно публикациям, это вещество вызывает высокую смертность данных патогенов. Например, в ходе экспериментов с различными концентрациями в 96-луночном планшете против распространенного по всему миру паразита *Meloidogyne incognita*, вызывающими тяжелый окислительный стресс у этих

вредителей, M. Ayaz et al. (2021) установили 100 % смертность в дозе до 200 мкг/мл предварительно разбавленного этанола и затем добавленного к воде, содержащей полисорбатное поверхностно-активное вещество Твин 20. Также авторами в данной работе отмечается другое немаловажное действие 2-ундеканона. Оказалось, что в концентрациях до 150 мкг/мл значительно увеличивался рост томата с точки зрения длины побегов (38 %), длины корня (31 %), веса в сыром виде (40 %) и веса в сухом состоянии (2 %) [27]. Против этого же вредителя показано воздействие 2-ундеканона и в работе Y. Zhai et al. (2018), где при его смешивании с метанолом и Tween-20 в 96-луночном планшете фумигантная активность вещества составила ЛД90 на уровне 672,244 мг/л, а нематоцидная ЛД50 – 27,810 мг/л, (при учете через 24 ч) [28]. В изучении поведенческих реакций *Meloidogyne incognita* R. Sobkowiak et al. (2018) установили аттрактантное действие 2-ундеканона для взрослых червей, где по результатам экспериментов оказалось, что внесение 1 мкл тестового раствора в стандартные чашки Петри, содержащие среду NGM (для выращивания нематод), вызывает активность у червей, и они двигаются без какой-либо задержки к препарату, что, по мнению авторов, является преимуществом в борьбе с этими вредителями [29].

Эффективность 2-ундеканона против вредителей ветеринарного и медицинского значения. При скрининге новых агрохимикатов X. Liu et al. (2015) установили ларвицидную активность 2-ундеканона в сочетании с вспомогательным веществом (диметилсульфоксид ме-

нее 0,2 %) против азиатского тигрового комара *Aedes albopictus* L., где ЛД50 составила 9,95 мкг/мл, а при его сравнении с коммерческим хлорпирифосом (положительный контроль) в этих же опытах для которого установили ЛД50 на уровне 1,86 мкг/мл [30]. В работе А. Ali et al. (2013) против комаров *Aedes aegypti* обнаружено репеллентное действие 2-ундеканона в дозе 108,9 мкг/см² с использованием самок в возрасте от 5 до 9 дней при нанесении на тканевый пластырь, а у ДЭТА, используемого в качестве положительного контроля, в дозе 11,1 мкг/см². Учет в этих опытах проводился по минимальной эффективной дозе (МЭД), которую необходимо было определить в течение одноминутного периода, при котором достигается совершение укуса 1 % насекомых (5 укусов) на руке человека в клетке от общего количества (500 самок) при воздействии веществом [31].

Достаточную репеллентную эффективность для *Aedes aegypti* и *Aedes albopictus* Skuse, а также против американского собачьего клеща *Dermacentor variabilis* получили в своей работе Witting-Bissinger et al. (2008) при изучении 2-ундеканона. Так, авторами проведены опыты с коммерческим препаратом (BiteBlocker, HOMSLЛД) BioUD, содержащим 7,75 % активного вещества 2-ундеканона, а в качестве положительного контроля использовался OFF! Active IV (25 % ДЭТА, SC Johnson, Racine, WI). Сравнительную эффективность этих двух препаратов проводили по средней репеллентности или укусам насекомых за разный период времени при обработке различных тестовых поверхностей, в том числе ткани и кожи человека. По результатам опытов установлено, что 2-ундеканон не уступал ДЭТА и через 6 часов после нанесения, а в ряде случаев превосходил по защитному действию от комаров (полевые испытания проводили на людях в Северной Каролине, США, и Онтарио, Канада, сравнивая репеллентность BioUD с ДЭТА содержащими 25 и 30 %) [13]. В следующих тестах против клещей, вызывающих болезнь Лайма Witting-Bissinger et al. (2008), сравнили 15 % ДЭТА с BioUD на фильтровальной бумаге, результаты которых показали, что BioUD обладал более значительным репеллентным действием, чем ДЭТА [13].

В целом, по заключению авторов, BioUD является эффективной альтернативой ДЭТА по его репеллентной эффективности [13]. Также с целью поиска безопасных альтернативных источников пестицидов J. Deguenon et al. (2019) изучили фумигантную и репеллентную активность растительных метиловых кетонов, в том числе 2-ундеканона, против *Musca domestica* L., *Cochliomyia macellaria* (F.), and *Sarcophaga bullata* (Parker). При испытании его в больших клетках 1,22 м с каждой стороны, построенных из пиломатериалов размером 5,1 на 5,1 см (внутренний объем 1,81 м³), в дозе 1,7, 2,3 и 2,8 мкг/см³ обеспечивал гибель соответственно 60,4, 82,2 и 94,4 % *Musca domestica* L.; 56,9, 75,6 и 92,5 % *Cochliomyia macellaria* (F.) и 62,1, 84,5 и 97,9 % *Sarcophaga bullata* (Parker) после 2-часового воздействия. А в поведенческом анализе с двумя вариантами ответов тестируемого соединения в дозе 194,6 мкг/см² на обработанной и необработанной поверхности при сравнении с положительным контролем средняя эффективность отпугивания для мясных мух составила 84,7 % для 2-ундеканона и 87,6 % для N,N-диэтил-мета-толуамида (ДЭТА), а для домашних мух соответственно 80,7 и 84,9 % [14]. Установили фумигационное действие 2-ундеканона против *Solenopsis invicta* Buren – одного из самых опасных в мире инвазивных видов муравьев, обладающих сильным жалом и ядом, в своей работе J. Zhu et al. (2017). В этих опытах камера для фумигации была сконструирована из двух пластиковых чашек Петри диаметром 8,6 см и высотой 3,6 см с общим объемом 210 см³, где при проведении тестов ЛД50 составила 8,21 мкг/см³. По заключению авторов данного исследования, это вещество имеет потенциал, чтобы быть альтернативой существующим фумигантам [32]. В другой исследовательской работе при изучении репеллентного действия 2-ундеканона N. Kimps et al. (2011) путем нанесения его на двухслойную хлопчатобумажную марлю в дозировке 0,63 мг/см² против клещей *Amblyomma americanum* и *Dermacentor variabilis* установили его отталкивающее (репеллентное) действие на уровне 74 и 75 % соответственно по истечении двух часов после применения [33].

Эффективность 2-ундеканона против различных вредителей сельскохозяйственного, медицинского и ветеринарного значения

Вредитель	Доза	Эффективность	Тип воздействия	Авторы
1	2	3	4	5
<i>Вредители сельскохозяйственного значения</i>				
<i>Tenebrio molitor</i> (<i>Coleoptera:</i> <i>Tenebrionidae</i>)	1000 мкл/кг пшеницы	87,8 % личинок, 98,9 % взрослых особей	Контактное через 7 дней	N. Ntalli et al., 2021
	500 мкл/кг пшеницы	47,8 % личинок, 6,7 % взрослых особей	Контактное через 7 дней	
<i>Trogoderma granarium</i> (<i>Coleoptera:</i> <i>Dermestidae</i>)	1000 мкл/кг пшеницы	75,6 % личинок 94,4 % взрослых особей	Контактное через 7 дней. Контактное на 6-й день	
	500 мкл/кг пшеницы	46,7 % личинок, 81,1 % взрослых особей	Контактное через 7 дней	
<i>Meloidogyne incognita</i>	200 кг/мл среды	100 %	Контактное	Ayaz et al., 2021
	672,244 мг/л	ЛД90	Фумигантное	Zhai et al., 2018
	27,810 мг/л	ЛД50	Нематоцидное через 24 ч	Zhai et al., 2018
	1 мкл of 5 mM тестового раствора	–	Аттрактантное	Sobkowiak et al., 2018
<i>Вредители ветеринарного и медицинского значения</i>				
<i>Aedes albopictus</i> L.	5 мкг/мл	ЛД50 личинок	Контактное через 24 ч	Liu et al., 2015
<i>Aedes aegypti</i>	108,9 мкг/см ²	Minimum effective dose (MED)	Репеллентное	Ali et al., 2013
<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes albopictus</i> Skuse	BioUD, 7,75 %	68,2 % 76,3 %	Репеллентное после 6 часов	Witting-Bissinger et al., 2008
<i>Dermacentor variabilis</i>	BioUD, 7,75 %	1	Репеллентное (индекс репеллентности (RI), где 1 обозначили репеллентность, 1 указали на притяжение и 0 указали на нейтральный ответ)	
<i>Musca domestica</i>	9,21 мкг/см ³ 15,59 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в чашках Петри	Deguenon et al., 2019
<i>Cochliomyia macellaria</i>	2,95 мкг/см ³ 4,93 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в чашках Петри	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
<i>Sarcophaga bullata</i>	12,40 мкг/см ³ 28,37 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в чашках Петри	Deguenon et al., 2019
<i>Musca domestica</i>	1,55 мкг/см ³ 2,57 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в герметичных клет- ках	
<i>Cochliomyia macellaria</i>	1,56 мкг/см ³ 2,38 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в герметичных клет- ках	
<i>Sarcophaga bullata</i>	1,62 мкг/см ³ 2,78 мкг/см ³	ЛД50 ЛД90	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в герметичных клет- ках	
<i>Musca domestica</i>	58.1 мкг на особь.	80,7 %	Репеллентное (об- щая средняя репел- лентность)	
<i>Solenopsis invicta</i> Buren	8,21 мкг/см ³	ЛД50	Фумигантное через 24 ч взрослых насекомых в чашках Петри	Zhu et al., 2017
<i>Amblyomma americanum</i> и <i>Dermacentor variabilis</i>	0,63 мкг/см ³	74 и 75 % соответственно	Репеллентное дей- ствие через 2 часа на марле	Kimps et al., 2011

Заключение. Литературные данные об источниках получения и эффективности 2-ундеканона против вредителей представлены достаточно широко. Установлено, что при получении его методом гидродистилляции больше всего 2-ундеканона содержится в надземных частях растения *Ruta chalepensis* L. и *Ruta montana* L. – от 52,5 до 82,74 % и от 27,2 до 86,77 % соответственно, собранных в Иране, Индии (север), Тунисе (север) и Алжире. Представлена нематоцидная, фумигантная и репеллентная активность 2-ундеканона против некоторых вредителей сельскохозяйственного, медицинского и ветеринарного значения. Также по результатам литературных источников отмечено, что 2-ундеканон в сравнении с коммерческими химически-

ми веществами, такими как N,N-диэтил-метолуамидом (ДЭТА), хлорпирифосом, в исследованиях соответственно репеллентного действия против комнатных и мясных мух (*Musca domestica* L., *Cochliomyia macellaria* F. и *Sarcophaga bullata* P.) и ларвицидного против азиатского тигрового комара *Aedes albopictus* L. по своей эффективности уступает им незначительно. На основании зарубежных исследований подтвержден высокий потенциал 2-ундеканона в борьбе с вредителями, что свидетельствует о перспективности рассмотрения для более широкого изучения и применения растительных инсектицидов, репеллентов и т.д. на основе этого вещества в нашей стране.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Present and future potential of plant-derived products to control arthropods of veterinary and medical significance / D.R. George [et al.] // Parasites & Vectors. 2014. V. 7(1) P. 28. DOI: 10.1186/1756-3305-7-28.
2. Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: a review / I. Boulogne [et al.] // Environmental Chemistry Letters. 2012. V. 10(4). P. 325–347. DOI: 10.1007/s10311-012-0359-1.
3. Miresmailli S., Bradbury R., Isman M.B. Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants // Pest Manag Sci. 2006. V. 62. P. 366–371. DOI: 10.1002/ps.1157.
4. Essential oils from three Algerian medicinal plants (*Artemisia campestris*, *Pulicaria arabica*, and *Saccocalyx satureioides*) as new botanical insecticides? / S. Ammar [et al.] // Environmental science and pollution research. 2020. V. 27(21). P. 26594–26604. DOI: 10.1007/s11356-020-09064-w.
5. In vitro Safety and Efficacy of Lavender Essential Oil (*Lamiales: Lamiaceae*) as an Insecticide Against Houseflies (*Diptera: Muscidae*) and Blowflies (*Diptera: Calliphoridae*) / Luciana F. Cossetin [et al.] // Journal of economic entomology. 2018. V. 111(4). P. 1974–1982. DOI: 10.1093/jee/toy145.
6. Crude extract of the tropical tree *Gallesia integrifolia* (*Phytolaccaceae*) for the control of *Aedes aegypti* (*Diptera: Culicidae*) larvae / Wanessa de Campos Bortolucci [et al.] // Revista de biologia tropical. 2021. V. 69. I. 1. P. 153–169. DOI: 10.15517/rbt.v69i1.41225.
7. Essential Oil of *Aristolochia trilobata*: Synthesis, Routes of Exposure, Acute Toxicity, Binary Mixtures and Behavioral Effects on Leaf-Cutting Ants / B. De Oliveira [et al.] // Molecules. 2017. V. 25;22(3):335. DOI: 10.3390/molecules22030335.
8. Insecticidal activity of an essential oil of *Tagetes patula* L. (*Asteraceae*) on common bed bug *Cimex lectularius* L. and molecular docking of major compounds at the catalytic site of CIACHE1 / F.A.S. Politi [et al.] // Parasitology research. 2017. V. 116. I. 1. P. 415–424. DOI: 10.1007/s00436-016-5305-x.
9. Phytochemical Properties and Insecticidal Potential of Volatile Oils from *Tanacetum persicum* and *Achillea kellalensis* Against Two Medically Important Mosquitoes / M. Soleimani-Ahmadi [et al.] // Journal of essential oil bearing plants. 2017. V. 20. I. 5. P. 1254–1265. DOI: 10.1080/0972060X.2017.1388752.
10. Chemical composition of *Cinnamosma madagascariensis* (*Cannellaceae*) essential oil and its larvicidal potential against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus* Say / R. Pavela [et al.] // South african journal of botany. 2017. V. 108. P. 359–363. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.08.017.
11. Seasonal and phenological variations of the essential oil from the narrow endemic species *Artemisia molinieri* and its biological activities / V. Masotti [et al.] // J of Agricultural and Food Chemistry. 2003. V. 51. P. 7115–7121. DOI: 10.1021/jf034621y.
12. Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers / A. Angioni [et al.] // J of Agricultural and Food Chemistry. 2006. V. 54(12). P. 4364–4370. DOI:10.1021/jf0603329.
13. Novel arthropod repellent, BioUD, is an efficacious alternative to deet / B.E. Witting-Bissinger [et al.] // J of Med Entomology. 2008. V. 45(5). P. 891–898. DOI: 10.1603/0022-2585(2008)45[891:narbia]2.0.co;2.
14. Control of Filth Flies, *Cochliomyia macellaria* (*Diptera: Calliphoridae*), *Musca domestica* (*Diptera: Muscidae*), and *Sarcophaga bullata* (*Diptera: Sarcophagidae*), Using Novel Plant-Derived Methyl Ketones / J.M. Deguenon [et al.] // J of Med Entomol. 2019. V. 56(6). P. 1704–1714. DOI: 10.1093/jme/tjz107.
15. Constituents of the essential oil of *Ruta chalepensis* L. from Iran / A. Rustaiyan [et al.] // J of Essential oil Research. 2002. V. 14(5). P. 378–379. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699892.
16. Merghache S., Hamza A., Bendahou M. Chemical composition and antimicrobial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil from Al-

- geria // Asian Journal of Chemistry. 2008. V. 20(4). P. 2989–2996.
17. Variations in essential oil constituents at different growth stages of *Ruta chalepensis* on cultivation at north Indian plains / G.D. Bagchi [et al.] // J of Essential oil Research. 2003. V. 15(4). P. 263–264. DOI: 10.1080/10412905.2003.9712137.
 18. Mohammedi H., Mecherara-Idjeri S., Hassani A. Variability in essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ruta montana* L. collected from different geographical regions in Algeria // J of Essential oil Research. 2020. V. 32(1). P. 23–36. DOI: 10.1080/10412905.2019.1660238.
 19. Yosra B., Manef A., Sameh A. Biological Study from Ruta Plants Extracts Growing in Tunisia // Iranian J of Chemistry & Chemical Engineering. 2019. V. 38(2). P. 85–89. DOI: 10.30492/IJCCE.2019.37124.
 20. Chemical composition of the essential oil from roots of *Philodendron acutatum* schott / F.A. Viana [et al.] // J of Essential oil Research. 2002a. V. 14(3). P. 172–174. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699814.
 21. Composition of the essential oils of *Haplophyllum furfuraceum* Bge. ex Boiss. and *Haplophyllum virgatum* Spach. from Iran / T. Biniyaz [et al.] // J of Essential oil Research. 2007. V. 19(1). P. 49–51. DOI: 10.1080/10412905.2007.9699229.
 22. Bioactivity and chemical composition of the leaf essential oils of *Zanthoxylum rhoifolium* and *Zanthoxylum setulosum* from Monteverde, Costa Rica / A.K. Boehme [et al.] // Natural Product Research. 2008. V. 22(1). P. 31–36. DOI: 10.1080/14786410601130224.
 23. Rana V.S, Amparo B.M. Terpenoid Constituents of *Zanthoxylum acanthopodium* DC. Leaves // J of Essential oil Research. 2008. V. 20(6). P. 515–516. DOI: 10.1080/10412905.2008.9700075.
 24. Essential oil of *Siparuna guianensis* Aublet from the Amazon region of Brazil / F.A. Viana [et al.] // J of Essential oil Research. 2002b. V. 14(1). P. 60–62. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699765.
 25. Essential oils from fruits and leaves of *Siparuna guianensis* (Aubl.) Tulasne from southeastern Brazil / D.C.H. Fischer [et al.] // J of Essential. 2005. V. 17(1). P. 101–102. DOI: 10.1080/10412905.2005.9698844.
 26. Five natural compounds of botanical origin as wheat protectants against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. and *Trogoderma granarium* Everts / N. Ntalli [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13592-4.
 27. Nematicidal Volatiles from *Bacillus atropheus* GBSC56 Promote Growth and Stimulate Induced Systemic Resistance in Tomato against *Meloidogyne incognita* International / M. Ayaz [et al.] // J of Molecular Sciences. 2021. V. 22(9). P. 2049. DOI: 10.3390/ijms22095049.
 28. Multiple Modes of Nematode Control by Volatiles of *Pseudomonas putida* 1A00316 from Antarctic Soil against *Meloidogyne incognita* / Y. Zhai [et al.] // Frontiers In Microbiology. 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00253.
 29. Chemoreception of botanical nematicides by *Meloidogyne incognita* and *Caenorhabditis elegans* / R. Sobkowiak [et al.] // J of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. 2018. V. 53(8). P. 493–502. DOI: 10.1080/03601234.2018.1462936.
 30. Larvicidal activity of the essential oil from *Tetradium glabrifolium* fruits and its constituents against *Aedes albopictus* / X.C. Liu [et al.] // Pest Management Science. 2015. V. 71(11). P. 1582–1586. DOI: 10.1002/ps.3964.
 31. Biting Deterrence, Repellency, and Larvicidal Activity of *Ruta chalepensis* (Sapindales: Rutaceae) Essential Oil and Its Major Individual Constituents Against Mosquitoes / A. Ali [et al.] // J of Med Entomol. 2013. V. 50(6). P. 1267–1274. DOI: 10.1603/me12177.
 32. Novel use of aliphatic n-methyl ketones as a fumigant and alternative to methyl bromide for insect control / J. Zhu [et al.] // Pest Management Science. 2017. V. 4(3). P. 648–657. DOI: 10.1002/ps.4749.
 33. First report of the repellency of 2-tridecanone against ticks / N.W. Kimps [et al.] // Med and Vet Entom. 2011. V. 25(2). P. 202–208. DOI: 10.1111/j.1365-2915.2010.00918.x.

References

1. Present and future potential of plant-derived products to control arthropods of veterinary and medical significance / *D.R. George* [et al.] // *Parasites & Vectors*. 2014. V. 7(1) P. 28. DOI: 10.1186/1756-3305-7-28.
2. Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: a review / *I. Boulogne* [et al.] // *Environmental Chemistry Letters*. 2012. V. 10(4). P. 325–347. DOI: 10.1007/s10311-012-0359-1.
3. *Miresmailli S., Bradbury R., Isman M.B.* Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) on two different host plants // *Pest Manag Sci*. 2006. V. 62. P. 366–371. DOI: 10.1002/ps.1157.
4. Essential oils from three Algerian medicinal plants (*Artemisia campestris*, *Pulicaria arabica*, and *Saccocalyx satureioides*) as new botanical insecticides? / *S. Ammar* [et al.] // *Environmental science and pollution research*. 2020. V. 27(21). P. 26594–26604. DOI: 10.1007/s11356-020-09064-w.
5. In vitro Safety and Efficacy of Lavender Essential Oil (*Lamiales: Lamiaceae*) as an Insecticide Against Houseflies (*Diptera: Muscidae*) and Blowflies (*Diptera: Calliphoridae*) / *Luciana F. Cossetin* [et al.] // *Journal of economic entomology*. 2018. V. 111(4). P. 1974–1982. DOI: 10.1093/jee/toy145.
6. Crude extract of the tropical tree *Gallesia integrifolia* (*Phytolaccaceae*) for the control of *Aedes aegypti* (*Diptera: Culicidae*) larvae / *Wanessa de Campos Bortolucci* [et al.] // *Revista de biologia tropical*. 2021. V. 69. I. 1. P. 153–169. DOI: 10.15517/rbt.v69i1.41225.
7. Essential Oil of *Aristolochia trilobata*: Synthesis, Routes of Exposure, Acute Toxicity, Binary Mixtures and Behavioral Effects on Leaf-Cutting Ants / *B. De Oliveira* [et al.] // *Molecules*. 2017. V. 25;22(3):335. DOI: 10.3390/molecules22030335.
8. Insecticidal activity of an essential oil of *Tagetes patula* L. (*Asteraceae*) on common bed bug *Cimex lectularius* L. and molecular docking of major compounds at the catalytic site of CIACHE1 / *F.A.S. Politi* [et al.] // *Parasitology research*. 2017. V. 116. I. 1. P. 415–424. DOI: 10.1007/s00436-016-5305-x.
9. Phytochemical Properties and Insecticidal Potential of Volatile Oils from *Tanacetum persicum* and *Achillea kellalensis* Against Two Medically Important Mosquitoes / *M. Soleimani-Ahmadi* [et al.] // *Journal of essential oil bearing plants*. 2017. V. 20. I. 5. P. 1254–1265. DOI: 10.1080/0972060X.2017.1388752.
10. Chemical composition of *Cinnamosma madagascariensis* (*Cannellaceae*) essential oil and its larvicidal potential against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus* Say / *R. Pavela* [at al.] // *South african journal of botany*. 2017. V. 108. P. 359–363. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.08.017.
11. Seasonal and phenological variations of the essential oil from the narrow endemic species *Artemisia molinieri* and its biological activities / *V. Masotti* [et al.] // *J of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. V. 51. P. 7115–7121. DOI: 10.1021/jf034621y.
12. Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers / *A. Angioni* [et al.] // *J of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. V. 54(12). P. 4364–4370. DOI:10.1021/jf0603329.
13. Novel arthropod repellent, BioUD, is an efficacious alternative to deet / *B.E. Witting-Bissinger* [et al.] // *J of Med Entomology*. 2008. V. 45(5). P. 891–898. DOI: 10.1603/0022-2585(2008)45[891:narbia]2.0.co;2.
14. Control of Filth Flies, *Cochliomyia macellaria* (*Diptera: Calliphoridae*), *Musca domestica* (*Diptera: Muscidae*), and *Sarcophaga bullata* (*Diptera: Sarcophagidae*), Using Novel Plant-Derived Methyl Ketones / *J.M. Deguenon* [et al.] // *J of Med Entomol*. 2019. V. 56(6). P. 1704–1714. DOI: 10.1093/jme/tjz107.
15. Constituents of the essential oil of *Ruta chalepensis* L. from Iran / *A. Rustaiyan* [et al.] // *J of Essential oil Research*. 2002. V. 14(5). P. 378–379. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699892.
16. *Merghache S., Hamza A., Bendahou M.* Chemical composition and antimicrobial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil from Al-

- geria // Asian Journal of Chemistry. 2008. V. 20(4). P. 2989–2996.
17. Variations in essential oil constituents at different growth stages of *Ruta chalepensis* on cultivation at north Indian plains / G.D. Bagchi [et al.] // J of Essential oil Research. 2003. V. 15(4). P. 263–264. DOI: 10.1080/10412905.2003.9712137.
 18. Mohammedi H., Mecherara-Idjeri S., Hassani A. Variability in essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ruta montana* L. collected from different geographical regions in Algeria // J of Essential oil Research. 2020. V. 32(1). P. 23–36. DOI: 10.1080/10412905.2019.1660238.
 19. Yosra B., Manef A., Sameh A. Biological Study from Ruta Plants Extracts Growing in Tunisia // Iranian J of Chemistry & Chemical Engineering. 2019. V. 38(2). P. 85–89. DOI: 10.30492/IJCCE.2019.37124.
 20. Chemical composition of the essential oil from roots of *Philodendron acutatum* schott / F.A. Viana [et al.] // J of Essential oil Research. 2002a. V. 14(3). P. 172–174. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699814.
 21. Composition of the essential oils of *Haplophyllum furfuraceum* Bge. ex Boiss. and *Haplophyllum virgatum* Spach. from Iran / T. Biniyaz [et al.] // J of Essential oil Research. 2007. V. 19(1). P. 49–51. DOI: 10.1080/10412905.2007.9699229.
 22. Bioactivity and chemical composition of the leaf essential oils of *Zanthoxylum rhoifolium* and *Zanthoxylum setulosum* from Monteverde, Costa Rica / A.K. Boehme [et al.] // Natural Product Research. 2008. V. 22(1). P. 31–36. DOI: 10.1080/14786410601130224.
 23. Rana V.S., Amparo B.M. Terpenoid Constituents of *Zanthoxylum acanthopodium* DC. Leaves // J of Essential oil Research. 2008. V. 20(6). P. 515–516. DOI: 10.1080/10412905.2008.9700075.
 24. Essential oil of *Siparuna guianensis* Aublet from the Amazon region of Brazil / F.A. Viana [et al.] // J of Essential oil Research. 2002b. V. 14(1). P. 60–62. DOI: 10.1080/10412905.2002.9699765.
 25. Essential oils from fruits and leaves of *Siparuna guianensis* (Aubl.) Tulasne from southeastern Brazil / D.C.H. Fischer [et al.] // J of Essential. 2005. V. 17(1). P. 101–102. DOI: 10.1080/10412905.2005.9698844.
 26. Five natural compounds of botanical origin as wheat protectants against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. and *Trogoderma granarium* Everts / N. Ntalli [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13592-4.
 27. Nematicidal Volatiles from *Bacillus atrophaeus* GBSC56 Promote Growth and Stimulate Induced Systemic Resistance in Tomato against *Meloidogyne incognita* International / M. Ayaz [et al.] // J of Molecular Sciences. 2021. V. 22(9). P. 2049. DOI: 10.3390/ijms22095049.
 28. Multiple Modes of Nematode Control by Volatiles of *Pseudomonas putida* 1A00316 from Antarctic Soil against *Meloidogyne incognita* / Y. Zhai [et al.] // Frontiers In Microbiology. 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00253.
 29. Chemoreception of botanical nematicides by *Meloidogyne incognita* and *Caenorhabditis elegans* / R. Sobkowiak [et al.] // J of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. 2018. V. 53(8). P. 493–502. DOI: 10.1080/03601234.2018.1462936.
 30. Larvicidal activity of the essential oil from *Tetradium glabrifolium* fruits and its constituents against *Aedes albopictus* / X.C. Liu [et al.] // Pest Management Science. 2015. V. 71(11). P. 1582–1586. DOI: 10.1002/ps.3964.
 31. Biting Deterrence, Repellency, and Larvicidal Activity of *Ruta chalepensis* (Sapindales: Rutaceae) Essential Oil and Its Major Individual Constituents Against Mosquitoes / A. Ali [et al.] // J of Med Entomol. 2013. V. 50(6). P. 1267–1274. DOI: 10.1603/me12177.
 32. Novel use of aliphatic n-methyl ketones as a fumigant and alternative to methyl bromide for insect control / J. Zhu [et al.] // Pest Management Science. 2017. V. 4(3). P. 648–657. DOI: 10.1002/ps.4749.
 33. First report of the repellency of 2-tridecanone against ticks / N.W. Kimps [et al.] // Med and Vet Entom. 2011. V. 25(2). P. 202–208. DOI: 10.1111/j.1365-2915.2010.00918.x.

Информация об авторах:

Михаил Алексеевич Левченко, заведующий лабораторией ветеринарных проблем в животноводстве

Information about the authors:

Mikhail Alekseevich Levchenko, Head of the Laboratory of Veterinary Problems in Animal Husbandry

