12. Plant-soil feedbacks: a meta-analytical review / A. Kulmatiski [et al.] // *Ecol Lett.* 2008. № 11. Pp. 980–992.
13. Qazi N. Hydrological functioning of forested catchments, Central Himalayan Region, India // *For. Ecosyst.* 2020. № 7. Pp. 63.
14. The global tree restoration potential / J.-F. Bastin [et al.] // *Science.* 2019. № 365 (6448). Pp. 76–79.
15. Xia J. B., Ren J. Y., Zhang S. Y. Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River Delta, China // *Geoderma.* 2019. № 349. Pp. 25–35.

Authors Information

Kulik Aleksey Konstantinovich, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Hydrology of Agroforest Landscapes of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Candidate of agricultural sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5927-7336>, e-mail: kulikak79@yandex.ru.

Vlasenko Marina Vladimirovna, Leading Researcher, Laboratory of Hydrology of Agroforest Landscapes of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Candidate of agricultural sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru.

Bulkushkin Roman Nikolaevich, junior researcher, Laboratory of Hydrology of Agroforest Landscapes of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Candidate of agricultural sciences (Russia, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0987-6263>, e-mail: balkushkin_r@vfanc.ru.

Информация об авторах

Кулик Алексей Константинович, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией гидрологии агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: 0000-0001-5927-7336, e-mail: kulikak79@yandex.ru.

Власенко Марина Владимировна, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6356-2225>, e-mail: vlasencomarina@mail.ru.

Балкушкин Роман Николаевич, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0987-6263>, e-mail: balkushkin_r@vfanc.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-08

NEW METHOD FOR SYNTHESIS OF (5R)-5-(2,2-DIMETHOXYETHYL)-6-METHYLHPT-6-EN-2-ONE – KEY COMPOUND IN PRODUCTION OF PHEROMONES OF *AONIDIELLA AURANTII* (RED SCALE) AND *PSEUDALACASPIS PENTAGONA* (MULBERRY SCALE)

A.Yu. Lobur, N.G. Todorov, K.A. Kuznetsov

Federal State Institution «All-Russian Plant Quarantine Center», Moscow region

Received 12.10.2021

Submitted 15.11.2021

Summary

This paper presents the results of the research into the methods of synthesis of a key compound in the production of synthetic sex pheromones of dangerous quarantine pests of *Aonidiella aurantii* (red scale) and *Pseudalacaspis pentagona* (mulberry scale) (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhepta-6-en-2-one. The study was carried out within the framework of the State Assignment (Research and Development Registration Number (NIOKTR): 121052600026-3). Improvement of the method of synthesis of this compound is necessary to eliminate the explosive stage and to provide the possibility of increasing the production of pheromones of these pests.

Abstract

Introduction. Pheromone traps are used in plantations to control the populations of *Aonidiella aurantii* and *Pseudalacaspis pentagona*. Synthesis of the sex pheromones of these pests is a rather complex multistep process. The synthesis schemes of these two pheromones coincide until (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one is obtained. The synthesis of this key compound is carried out via the explosive ozonide (+)-limonene, which does not allow an increase in synthesis load. **Object.** The subject of this study is a safe technological method for the preparation of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one. **Materials and methods.** A new method for the synthesis of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one was developed at the Laboratory of Pheromone Synthesis of the Federal State Institution «All-Russian Plant Quarantine Center». For this compound, the 1.2 monoxide (R)-(+)-limonene preparation reaction using monoperphthalate hexahydrate was applied for the first time. Dimethoxy ketoacetal was produced from ketoacetal in methanol using ammonium nitrate as a catalyst. **Results and conclusions.** In the course of this work, a safe technological methodology for the synthesis of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one, a key compound in the *Aonidiella aurantii* and the *Pseudalacaspis pentagona* sex pheromone synthesis schemes, was developed, which allows to increase the production of these pheromones.

Key words: California red scale, *Aonidiella aurantii*, mulberry scale, *Pseudalacaspis pentagona*, organic pheromone synthesis, scale pheromone, pheromone traps

Citation. Lobur A.Yu., Todorov N.G., Kuznetsov K.A. New method for synthesis of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one – key compound in production of pheromones of *Aonidiella aurantii* (red scale) and *Pseudalacaspis pentagona* (mulberry scale). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 77-84 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-08.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 632.91:595.752.3

НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА (5R)-5-(2,2-ДИМЕТОКСИЭТИЛ)-6-МЕТИЛГЕПТА-6-ЕН-2-ОНА – КЛЮЧЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФЕРОМОНОВ КРАСНОЙ ПОМЕРАНЦЕВОЙ И ТУТОВОЙ ЩИТОВОК

А. Ю. Лобур, кандидат химических наук

Н.Г. Тодоров, старший научный сотрудник, К.А. Кузнецов, младший научный сотрудник

Всероссийский центр карантина растений – ВНИИКР, р.п. Быково, Московская область

Дата поступления в редакцию 12.10.2021

Дата принятия к печати 15.11.2021

Аннотация. Представлены результаты исследования методов синтеза ключевого соединения при получении синтетических половых феромонов опасных карантинных вредителей – красной померанцевой и тутовой щитовок (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она. Настоящая работа выполнена в рамках Государственного задания (регистрационный номер НИОКТР: 121052600026-3). Совершенствование метода синтеза этого соединения необходимо для исключения взрывоопасной стадии и обеспечения возможности увеличения производства феромонов этих вредителей.

Актуальность. Для контроля численности красной померанцевой щитовки *Aonidiella aurantii* и тутовой щитовки *Pseudalacaspis pentagona* в посадках применяют феромонные ловушки. Синтез половых феромонов этих вредителей – довольно сложный многостадийный процесс. Схемы синтеза этих двух феромонов совпадают до получения (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она. Синтез этого ключевого соединения проводят через взрывоопасный озонид (+)-лимонена, что не позволяет увеличивать загрузки синтеза. **Объект.** Объектом данного исследования являлся безопасный технологичный способ получения (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она. **Материалы и методы.** Разработка новой методики синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она проводилась в лаборатории синтеза феромонов Всероссийского центра карантина растений. Для синтеза данного соединения впервые была применена реакция получения

1,2 монооксида (R)-(+)-лимонена с использованием бис-моноперфталата магния гексагидрата. Диметоксикетоацеталь получали из кетоацетала в метаноле с применением нитрата аммония в качестве катализатора. **Результаты и выводы.** В процессе работы была разработана безопасная технологичная методика синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она, ключевого соединения в схемах синтеза половых феромонов красной померанцевой и тутовой щитовок, что позволяет увеличить производство этих феромонов.

Ключевые слова: красная померанцевая щитовка, *Aonidiella aurantii*, тутовая щитовка, *Pseudalacaspis pentagona*, органический синтез феромонов, феромон щитовки, феромонные ловушки.

Цитирование. Лобур А. Ю., Тодоров Н. Г., Кузнецов К. А. Новый метод синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она – ключевого соединения при получении феромонов красной померанцевой и тутовой щитовок. *Известия НВ АУК*. 2021. 4(64). 77-84. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-08.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Красная померанцевая щитовка *Aonidiella aurantii* и тутовая щитовка *Pseudalacaspis pentagona* являются опасными карантинными вредителями. Оба вредителя относятся к одному семейству щитовок *Diaspididae*-семейство полужесткокрылых насекомых из надсемейства червецов, но к разным родам.

Красная померанцевая щитовка наибольший вред представляет для цитрусовых культур и растений семейства розоцветные, а тутовая щитовка является опасным карантинным вредителем косточковых и семечковых плодовых насаждений. Несмотря на то что эти насекомые относятся к разным родам, половой феромон обоих вредителей имеет близкую химическую структуру. В настоящее время метод контроля численности щитовок с помощью феромонных ловушек применяется во многих странах мира и является одним из лучших и самым экологически чистым.

Половым феромоном померанцевой щитовки, используемым в феромонных ловушках, является ацетат (3Z, 6R)-6-изопропенил-3-метилдека-3,9-диен-1-ола (I) (рисунок 1) [7]. Для отлова тутовой щитовки используют синтетический половой феромон пропионат (R,Z)-3,9-диметил-6-изопропенил-3,9-декадиен-1-ола (соединение II на рисунке 1) [4].

Рисунок 1 – Половые феромоны красной померанцевой щитовки: ацетат (3Z, 6R)-6-изопропенил-3-метилдека-3,9-диен-1-ола (I) и тутовой щитовки: пропионат (R,Z)-3,9-диметил-6-изопропенил-3,9-декадиен-1-ола (II)

Figure 1 – The red scale sex pheromones: acetate (3Z, 6R)-6-isopropenyl-3- methyldeca-3,9-diene-1-ol (I) and mulberry scale: propionate (R, Z)-3,9- dimethyl-6-isopropenyl-3,9-decadiene-1-ol (II)

Близость химических структур этих феромонов обусловила то, что и наиболее удачные схемы их синтеза на начальных стадиях одинаковые [1, 4]. Ключевым соединением этих схем является (6R)-6-(2,2-диметоксиэтил)-7-метиокта-7-ен-2-он (соединение VI на рисунке 2). Это соединение получают трёхстадийным синтезом в одной колбе без выделения промежуточных соединений. Озонирование (R)-(+)-лимонена (III) проводят в при -70°C в метаноле. Разложение озонида (IV) проводят диметилсульфидом при комнатной температуре. Это очень взрывоопасная стадия, так как концентрация озонида в реакционной массе достигает 15-20 %. Снизить взрывоопасность реакционной смеси можно было бы разбавлением или снижением температуры. Снижение концентрации озонида разбавлением метанолом приводит к получению нежелательного продукта кетала (VII), а при более низкой температуре реакция не идёт, так как растворимость исходного лимонена оказывается недостаточной. Этот неприятный аспект делает практически невозможным безопасное увеличение загрузки этой реакции. Поэтому необходим альтернативный технологичный метод получения кетоацетала (VI) из лимонена.

Рисунок 2 – Схема синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она (VI)

Figure 2 – The synthesis scheme of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhepta-6-en-2-one (VI)

Материалы и методы. Синтез выполнялся в химической лаборатории отдела синтеза и применения феромонов Всероссийского центра карантина растений. Газохроматографический анализ проводился на хроматографе Agilent 7890A с пламенно-ионизационным детектором. Применялась колонка – HP-5. Масс-спектры записывались на хроматографе Agilent 7890A с масс-спектрометрической приставкой Agilent 5975C при

ионизирующем напряжении 70 eV. Применялась колонка – HP-5MSI, L = 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, газ-носитель – гелий. Лимонен, тетрагидрофуран (далее - ТГФ), метанол, диметилсульфид, петролейный эфир, гексан, бензол и пиридин перед использованием были высушены и перегнаны. Сульфат натрия был прокален в муфельной печи.

Получение **(R)-(+)-4-изопропенил-1-метил-7-оксабицикло [4.1.0]гептана (VIII)**. Раствор 250 г магния моноперфталата гексагидрата (85 % чистоты, 0,43 молей) в 900 мл воды прибавляли по каплям в течение 2 часов к раствору 109,0 г (0,80 моль) (R)-(+)-лимонена в 1900 мл этанола. Перемешивали ночь при комнатной температуре. Упаривали этанол в вакууме при температуре не выше +30 °С. Остаток отфильтровали, осадок промывали пентаном, объединенную жидкую фазу переливали в делительную воронку и отделяли органическую фазу. Водную фазу экстрагировали пентаном (2 x 150 мл), и объединенный органический слой сушили сульфатом натрия. Раствор упаривали и перегоняли в вакууме дважды. Второй раз перегоняли с длинным дефлегматором. Получали 87,7 г (72 %) моноэпоксида (VIII). Температура кипения 55-59 °С (5 mbar). Чистота по газожидкостному хроматографу (далее – ГЖХ) – 92 % – в виде смеси цис и трансизомеров. Масс-спектр (m/e): 152 (M⁺), 137 (M-15).

Получение **(R)-(+)-4-изопропенил-1-метилциклогексан-1,2-диола (IX)**. К охлажденному до 10 °С 1 % раствору серной кислоты (430 мл) при перемешивании добавили 87,7 г (0,58 моля) моноэпоксида (VIII). Реакционную массу перемешивали 1,5 часа при охлаждении в бане со льдом. Отфильтровали выпавшие кристаллы и растворили их в 60 мл диэтилового эфира. Фильтрат экстрагировали (3 x 60 мл) диэтиловым эфиром. Объединенные органические растворы промыли раствором бикарбоната натрия, насыщенным раствором хлорида натрия и сушили сульфатом натрия. Раствор упаривали. Получали 84,8 г (86 %) диола (IX) в виде смеси кристаллов и масла. Чистота по ГЖХ – 90 % содержание нужных изомеров. Масс-спектр (m/e): 170 (M⁺).

Получение **(3R)-4-метил-3-(3-оксобутил)пента-4-еналь (X)**. К раствору 84,8 г (0,50 моля) диола (IX) в 80 мл ТГФ добавляли раствор 111,6 г (0,52 моля) периодата натрия в 750 мл воды. Эту смесь перемешивали под аргоном при комнатной температуре 16 ч. Отгоняли на роторе ТГФ. Остаток экстрагировали диэтиловым эфиром (3 x 250 мл) и сушили сульфатом натрия. Упаривали на роторе растворитель и получали 70,6 г (84 %) сырого продукта кетоальдегида (X) с чистотой по ГЖХ – 89 %.

Получение **(5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она (VI)**. К раствору 70,6 г (0,42 моля) сырого кетоальдегида (X) в 600 мл абсолютного метанола в атмосфере аргона при перемешивании добавляли 0,3 г нитрата аммония и нагревали реакционную массу до 30 °С. Ход реакции контролировали с помощью ТСХ. Перемешивали от 30 до 60 минут. Как только реакция прошла – добавляли 2 г поташа, охлаждали до 15-20 °С и перемешивали 1 час. Упаривали на роторе растворитель, остаток растворяли в пентане (250 мл), промывали водой (2 x 50 мл) и насыщенным раствором хлорида натрия (30 мл). Сушили раствор сульфатом натрия, упаривали растворитель, остаток перегоняли в вакууме с дефлегматором. Получали 68,3 г (76 %) продукта (VI), т. кип. 65-70 °С (0,12 mbar). Масс-спектр (m/e): 182 (M⁺-32), 150 (M⁺-64). Чистота по ГЖХ – 95 %.

Результаты и обсуждение. Волынски и Баркер описали получение кетоальдегида (V) из монооксида лимонена путём его гидролиза до диола и последующим расщепление диола периодатом натрия [12]. Получение монооксида лимонена авторы не приводят. Обычно для эпоксидирования двойной связи используют метахлорпербензойную кислоту (mCPBA). В структуре молекулы лимонена две двойные связи, и при использовании этого окислителя в основном получается диэпоксид [8]. Описанные успешные случаи получения монооксида в положении 1,2 структурных аналогов лимонена с помощью mCPBA относят-

ся к его производным со стерическими заместителями в окружении терминальной двойной связи [3, 5, 9]. Недавно был разработан метод эпоксицирования лимонена без использования органических растворителей в каталитическом комплексе $[PTC]_3[PW_4O_{24}]$ (PTC- метил трикаприл аммония хлорид) с использованием H_2O_2 в качестве окислителя [10]. Однако один из авторов, Дэвидсон, в другой своей работе [8] отмечает, что отделение катализатора от продукта сопряжено с большими трудностями. Поэтому они проводили следующую стадию без выделения эпоксида и катализатор безвозвратно терялся.

Ещё одним эффективным реагентом эпоксицирования двойных связей является бис-монопериоксифталат магния гесагидрат (MMPP) [2]. Эпоксицирование лимонена этим реагентом не описано, поэтому было интересно проверить возможность получения монооксида лимонена в положении 1,2. Окислитель MMPP растворим в воде. Поэтому 10 % раствор (R)-(+)-лимонена в этаноле добавляли к 20-% водному раствору MMPP. Реакцию проводили при комнатной температуре. Контролировали ход реакции с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ). Реакция завершалась через 8-12 часов. Эпоксид получался в виде смеси *цис*, *транс* изомеров в соотношении близком к 1 : 1. В реакционной массе присутствовал в количестве до 5 % продукт эпоксицирования по другой двойной связи также в виде смеси *цис*- и *транс* изомеров. Схема получения кетоацетала (VI) из лимонена приведена на рисунке 3.

Рисунок 3 – Схема синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она (VI)

Figure 3 – Scheme of synthesis of (5R)-5-(2,2-dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one

Описано расщепление эпоксидного цикла монооксида (L)-лимонена KOH в смеси ДМСО с водой в течение 18 ч при 110 °C [6]. Интересная схема расщепления монооксида (R)-лимонена в системе ТГФ / H_2O с помощью сильноокислой ионообменной смолы приве-

дена в работе Лосел и др. [11]. К сожалению, экспериментальная часть в работе отсутствует и нет возможности оценить этот метод. В кислых условиях расщепление проходит довольно быстро в более мягких условиях при комнатной температуре в течение 1-2 часов. В работе [12] описано получение диола IX гидролизом эпоксида лимонена в 1 % водном растворе серной кислоты с 25 % выходом. Низкий выход, возможно, обусловлен тем, что авторы отделяли выпавший в осадок продукт, но не экстрагировали его из раствора. После экстракции растворов нам удалось выделить диол IX с 86 % выходом. Расщепление диола проводили периодатом натрия, как в работе [12], но сократили время реакции с трёх суток до 16 часов. Получение диметилацеталя VI из кетоацеталя X проводили в метаноле при 30 °C с нитром аммония в качестве катализатора. Ход реакции контролировали с помощью ТСХ. Суммарный выход на 4 стадии составил 40 %.

Выводы. Авторы полагают, что разработанная новая методика синтеза (5R)-5-(2,2-диметоксиэтил)-6-метилгепта-6-ен-2-она – ключевого соединения синтеза синтетических половых феромонов красной померанцевой и тутовой щитовок, позволит безопасно производить большее количество этих феромонов для мониторинга сельскохозяйственных территорий и борьбы с этими вредителями.

Библиографический список / Reference

1. Красная померанцевая щитовка и новый усовершенствованный метод синтеза её феромона / А. Ю. Лобур [и др.] // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. 2020. Вып. 60. № 4. 1-11. / 1. Krasnaya pomerancevaya schitovka i novyj usovershenstvovannyj metod sinteza ejo feromona / A. Yu. Lobur [i dr.] // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2020. Vol. 60. № 4. P. 1-11.
2. Carvahio J. F. S., Silva M. M. C., Melo M. L. S. Highly efficient epoxidation of unsaturated steroids using magnesium bis(monoperoxyphthalate) hexahydrate // Teyrahedron. 2009. Vol. 65. Iss. 14. P. 2773-2781.
3. Gigure R. J., Hoffmann H. M. R. Oxydation limonene analogs. Preparation of tetramethylated carvone and carveols via regiocontrolled opening of tetramethyl limonene oxide // Tetr. Let. 1981. Vol. 22. № 50. H. 5039-5042.
4. Heath R. R., Doolittle R. E., Sonnet P. E. Sex pheromone of the white peach scale: Highly stereoselective synthesis of the stereoisomers of pentagonol propionate // The Journal of Organic Chemistry. 1980. V. 45. №. 14. P. 2910-2912.
5. Hoffman H. M. R., Vathke-Ernst H. Acid catalyzed dehydrative cyclodimerization of 2,4-dimethyl-3-penten-2-ol in now phases. Biomimetic one-pot preparation of 3,3,5,5-tetramethylimonen (4-isopropenyl-1,3,3,5,5-pentamethyl-1-cyclohexane) // Chem. Ber. 1981. V. 114. P. 1182-1186.
6. Kido F., Abiko T., Kato M. New entry to *cis*-fused bicyclic ring system by a [2,3]sigmatropic rearrangement *via* cyclic aallylsulfonium ylids. Synthesis of the *cis*-2-oxa-9-vynyldecalin skeleton // J. chem. Soc. Perkin Trans. 1995. Iss. 23. P. 2989-2994.
7. Roelofs W. L., Gieselmann M. J., Cardé A. M. Sex pheromone of the California red scale, *Aonidiella aurantii* // Nature. 1977. V. 267. №. 5613. P. 698-699.
8. Selective catalytic synthesis of 1,2-and 8,9-cyclic limonene carbonaes as versatile building blocks for novel hydroxyurethanes / K. A. Maltby [et al.] // Chem. Eur. J. 2020. V. 26. P. 7405-7415.
9. Suemune H., Kawahara T., Sakai K. Convesion of limonene to prostanoic acid and 8-isoprostanoic acid // Chem. Pharm. Bull. 1986. Vol. 34. № 2. P. 550-557.
10. Sustainable catalytic protocols for the solvent free epoxidation and *anti*-dihydroxylation of the alkene bonds of biorenewable terpene feedstocks using H₂O₂ as oxidant / W. B. Cunningham [et al.] // Green Chem. 2020. V. 22. P. 513-524.
11. The potential of semiochemicals for control of *Phorodon humuli* (Homoptera: Aphididae) / P. M. Losel [et al.] // Pestic. Sci. 1996. V. 48. P. 293-303.
12. Wolinsky J., Barker W. The Synthesis of 1-Acetyl-4-Isopropenyl-1-Cyclopentene // J. Am. Chem. Soc. 1960. V. 82. P. 636-638.

Conclusions. The authors believe that the developed new technique for the synthesis of (5R)-5-(2,2-Dimethoxyethyl)-6-methylhept-6-en-2-one, the key compound of synthetic sex pheromones of red scale and mulberry scale, will allow the safe production of more of these pheromones for monitoring agricultural areas and controlling these pests.

Authors Information

Lobur Aleksandr Yur'evich – All-Russian Plant Quarantine Center – FGBU “VNIKR” (140150, Moscow, Bykovo, ul. Pogranichnaya 32), the Synthesis and Application of Pheromones Department, PhD in Chemical Sciences, Senior Researcher, tel. +7 905 785-84-31; e-mail: alex-lobur@yandex.ru.

Todorov Nikolai Georgievich – All-Russian Plant Quarantine Center – FGBU “VNIKR” (140150, Moscow, Bykovo, ul. Pogranichnaya 32), the Synthesis and Application of Pheromones Department, Senior Researcher, Head of the Department, tel. +7 905 521-19-46; e-mail: todor-kol@mail.ru.

Kuznetsov Konstantin Alekseevich – All-Russian Plant Quarantine Center – FGBU “VNIKR” (140150, Moscow, Bykovo, ul. Pogranichnaya 32), the Synthesis and Application of Pheromones Department, Junior Researcher, tel. +7 915 493-28-24; e-mail: kyznetsov88@ro.ru.

Информация об авторах

Лобур Александр Юрьевич – к. х. н., старший научный сотрудник отдела синтеза и применения феромонов Всероссийского центра карантина растений – ФГБУ «ВНИИКР» (140150, Московская область, пос. Быково, ул. Пограничная, 32), тел. +7 905 785-84-31; e-mail: alex-lobur@yandex.ru.

Тодоров Николай Георгиевич – начальник отдела синтеза и применения феромонов, старший научный сотрудник Всероссийского центра карантина растений – ФГБУ «ВНИИКР» (140150, Московская область, пос. Быково, ул. Пограничная, 32), , тел. +7 905 521-19-46; e-mail: todor-kol@mail.ru.

Кузнецов Константин Алексеевич – младший научный сотрудник отдела синтеза и применения феромонов Всероссийского центра карантина растений – ФГБУ «ВНИИКР» (140150, Московская область, пос. Быково, ул. Пограничная, 32), тел. +7 915 493-28-24; e-mail: kyznetsov88@ro.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-09

THE IMPACT OF AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS, MINERAL FERTILIZERS, PREDECESSORS AND SOIL MOISTURE ON THE YIELD OF SPRING BARLEY GRAIN IN THE STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS

D.V. Mitrofanov, T.A. Tkacheva

*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agro-Technologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg
Orenburg State University, Orenburg*

Received 01.09.2021

Submitted 10.11.2021

The research work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 0761-2019-0003

Summary

The manuscript shows the results of studying the influence of agrometeorological conditions and productive moisture reserves on the formation of the yield of spring barley grain when cultivated in the steppe zone of the Southern Urals. Changes in weather factors (precipitation, temperature, dry days), soil moisture content, grain yield, coefficient indicators (GTC, correlation, regression, Student, determination) and the significance criterion of the equation were revealed.

Abstract

Introduction. Creation of a new mathematical model that shows the influence of spring humidity in a layer of 0-100 cm of soil on the yield of spring barley grain. With proper management of the model, it is possible to make a yield forecast based on long-term soil moisture data as a result of repeated arid conditions of the Orenburg Urals. The purpose of the study is to determine the influence of weather conditions, mineral fertilizers and soil moisture on the yield of spring barley grain in crop rotations and permanent sowing on the