

УДК 547.597

ЭТЕРИФИКАЦИЯ 3-АЦЕТАТА БЕТУЛИНА В РАСПЛАВАХ МАЛЕИНОВОЙ И ЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТ*

© В.А. Левданский¹, Н.В. Гарынцева^{1,2}, А.В. Левданский^{1**}

¹ Институт химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50/24, Красноярск, 660036 (Россия),
e-mail: alexsander.l@mail.ru

² Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049 (Россия)

Сложные эфиры бетулина, содержащие остатки биоактивных ароматических и алифатических кислот, представляют интерес для химико-фармацевтической промышленности в качестве гепатопротекторов, противовоспалительных, противоязвенных и иммуномоделирующих веществ. Разработка новых эффективных, экологичных и экономичных способов синтеза сложных эфиров бетулина является актуальной задачей. Разработан новый «зеленый» способ получения 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетат-28-левулината бетулина. Впервые проведена этерификация 3-ацетата бетулина расплавами малеиновой кислоты и левулиновой кислоты при температуре 185–200 °С в течение 5–7 мин с получением соответственно 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина. Строение полученных эфиров бетулина установлено с помощью ИК- и ЯМР-спектроскопии, а состав – элементным анализом. Преимуществом разрабатываемого метода синтеза 3-ацетата-28-малеата и 3-ацетата-28-левулината бетулина, по сравнению с известными, являются следующие: синтез проводится в отсутствие вредных и опасных растворителей (пиридин, хлористый метилен, хлороформ), сокращение продолжительности синтеза с 15–40 ч до 5–7 мин. При получении 3-ацетата-28-малеата бетулина вместо малеинового ангидрида используют малеиновую кислоту.

Ключевые слова: 3-ацетат бетулина, этерификация, 3-ацетат-28-малеат бетулина, 3-ацетат-28-левулинат бетулина.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00336, <https://rscf.ru/project/23-23-00336/>.

В работе использовано оборудование Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Введение

Известно, что бетулин, аллобетулин, бетулиновая кислота и их производные нетоксичны и обладают широким спектром биологической активности [1–5], антифидантными свойствами и могут применяться для улучшения свойств существующих или создания новых продуктов в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности [6]. Интерес к данным тритерпеноидам обусловлен широкой доступностью бетулина, его содержание в бересте, внешнем слое коры березы, достигает 30% [7]. Среди производных лупановых тритерпеноидов со сложноэфирной связью обнаружены вещества с противовирусной активностью [8, 9]. Кроме того, известны лекарственные препараты на основе других тритерпеноидов, содержащие остатки биоактивных

кислот [1, 9]. Среди ацилов бетулина выявлены высокоактивные вещества, такие, как диникотинат, бисгемисукцинат, бисгемифталат бетулина и др. с гепатопротекторной и анти-ВИЧ-активностью [10, 11]. Известные способы получения диацилов бетулина в основном заключаются в ацилировании бетулина ангидридами или хлорангидридами соответствующих кислот в среде пиридина [10, 11].

Левданский Владимир Александрович – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vlevdanskij@mail.ru

Гарынцева Наталья Викторовна – кандидат химических наук, научный сотрудник, доцент, e-mail: garyntseva@icct.ru

Левданский Александр Владимирович – научный сотрудник, e-mail: alexsander.l@mail.ru

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20230412656s

** Автор, с которым следует вести переписку.

В патенте [12] описан способ синтеза 3,28-дималеата бетулина ацилированием бетулина малеиновым ангидридом в среде 1-метил-2-пирролидиона при 70 °С в течение 48 ч, а 28-малеат бетулина получают действием малеинового ангидрида в хлороформе при комнатной температуре в течение 40 ч. В работе [13] предложен способ получения 3,28-дилевулината бетулина ацилированием бетулина левулиновой кислотой в среде толуола в присутствии п-толуолсульфокислоты. Реакцию проводят при кипячении в течение 23 ч, используя насадку Дина-Старка. Выход 3,28-дилевулината бетулина составил 23%.

Перечисленные выше методы получения сложных эфиров бетулина требуют применения токсичных и дорогостоящих реагентов (в основном используют ангидриды и хлорангидриды соответствующих кислот) и продолжительны во времени. Вследствие этого поиск и разработка новых и экономичных способов синтеза сложных эфиров бетулина является актуальной задачей.

Цель исследования – разработка нового способа синтеза 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина без использования токсичных растворителей.

Экспериментальная часть

Используемый для этерификации бетулин получен из бересты – наружного слоя коры березы (*Betula pendula Roth*) по методике [14]. 3-Ацетат бетулина получен в две стадии, первая стадия – получение 3,28-диацетата бетулина по методике [15], вторая – деацетилирование 3,28-диацетата бетулина до 3-ацетата бетулина [16].

Органические кислоты: малеиновая и левулиновая произведены компанией Merck (Sigma-Aldrich), чистота >98% (для синтеза).

ИК-спектр регистрировали на Фурье ИК-спектрометре Tensor-27 (Bruker, Германия) в области длин волн 400–4000 см⁻¹ в таблетках KBr (3 мг образца / 300 мг KBr). Спектры ¹³C ЯМР – на спектрометре Bruker Avance III 600 МГц в (CD₃)₂CO, 0 – ТМС.

Элементный анализ выполнен на элементном анализаторе Flash EATM – 1112 (Thermo Quest, Italia), одновременно определяющем количество (%) С, Н, О. Измерение T_{пл} проводили на приборе Electrothermal A9100.

ТСХ-анализ проводили на пластинках Silufol (Chemapol, Чехия), используя систему растворителей хлороформ – метанол – муравьиная кислота (100 : 2 : 05). Вещество обнаруживали 20% раствором фосфорновольфрамовой кислоты в этаноле с последующим нагреванием при 100–120 °С в течение 2–3 мин, а также в парах I₂.

Синтез 3-ацетата-28-малеата бетулина. В грушевидную колбу объемом 30 мл загружали 1 ммоль (0.48 г) 3-ацетата бетулина, добавляли 2 ммоль (0.23 г) малеиновой кислоты и тщательно перемешивали. Затем колбу помещали в термостат, нагретый до температуры 190–200 °С, и выдерживали при перемешивании в течение 5–7 мин. Ход реакции контролировали методом ТСХ. Реакционную массу охлаждали до 60–70 °С, растворяли в 10–15 мл этанола, горячий раствор отфильтровывали, переносили в стакан для кристаллизации. Выход 0.49 г (84%), T_{пл} 141–143 °С; Найдено, %: С 74.11; Н 9.15. С₃₆Н₅₄О₆. Вычислено, %: С 74.23; Н 9.28. ИК-спектр (KBr, ν, см⁻¹): 3059, 2943, 2872, 1732, 1639, 1590, 1432, 1392, 1374, 1246, 1164, 1106, 1021, 979, 948, 863. Спектр ЯМР ¹³C ((CD₃)₂CO, δ, м.д.): 14.2, 15.2, 16.4, 16.6, 18.9, 19.4, 21.1, 21.6, 24.5, 25.7, 26.6, 27.9, 28.3, 29.8, 34.9, 35.1, 37.9, 38.5, 38.6, 39.1, 41.8, 43.5, 47.3, 48.5, 49.7, 51.1, 56.2, 64.0 (C-28), 81.1 (C-3), 110.3 (C-29), 133.0 (C=C), 134.6 (C=C), 151.1 (C-20), 166.0 (C=O), 167.3 (COOH), 170.7 (C=O).

Синтез 3-ацетата-28-левулината бетулина. В грушевидную колбу объемом 20 мл загружали 2 ммоль (0.23 г) левулиновой кислоты и нагревали в термостате до 90–100 °С, затем при перемешивании постепенно добавляли 0.5 ммоль (0.24 г) 3-ацетата бетулина. Температуру поднимали до 185–190 °С и выдерживали при перемешивании в течение 5–6 мин, затем охлаждали, растворяли в 10 мл этанола и выливали в 20–25 мл воды. Осадок отфильтровывали, промывали на фильтре водой и сушили. Сухой осадок растворяли в 20 мл этанола и кипятили с активированным углем, отфильтровывали от угля и испарили при комнатной температуре. Выход 0.21 г (73%), T_{пл} 97–99 °С, Найдено, %: С 76.15; Н 9.81. С₃₇Н₅₈О₅. Вычислено, %: С 76.29; Н 9.97. ИК-спектр (KBr, ν, см⁻¹): 3070, 2943, 2871, 1733, 1641, 1455, 1390, 1366, 1246, 1182, 1156, 1106, 1029, 980, 883. Спектр ЯМР ¹³C ((CD₃)₂CO, δ, м.д.): 14.3, 15.2, 16.4, 16.6, 16.9, 18.9, 19.4, 20.8, 21.1, 21.6, 24.5, 26.1, 27.9, 28.3, 28.7, 29.3, 29.8, 34.9, 35.2, 37.9, 38.4, 38.5, 39.1, 41.8, 43.5, 47.4, 48.6, 49.6, 51.1, 56.1, 62.9 (C-28), 81.1 (C-3), 110.3 (C-29), 151.2 (C-20), 170.7 (C=O), 173.3 (C=O), 206.4 (C=O).

Результаты и обсуждение

Ранее в работах [17, 18] нами было описано получение диацилов бетулина сплавлением бетулина с некоторыми органическими кислотами. В продолжение работы по синтезу сложных эфиров бетулина изучены реакции этерификации 3-ацетата бетулина в расплавах левулиновой и малеиновой кислот при 185–200 °С с получением 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина (рис.).

Состав 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина подтвержден элементным анализом, строение – методами ИК- и ЯМР-спектроскопии и сравнением полученных данных с литературными [12, 13] для близких по строению соединений. Отсутствие полос поглощения в ИК-спектрах 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина области $3400\text{--}3450\text{ см}^{-1}$ указывает на замещение первичной гидроксильной группы при С-28 в молекуле 3-ацетата бетулина на ацильные группы. Анализ ЯМР-спектров полученных эфиров 3-ацетата бетулина подтвердил их строение. Присутствие в ^1H ЯМР спектре сигналов двух протонов концевой двойной связи в области 4.70–4.73 м.д. и 4.55–4.62 м.д. для полученных эфиров свидетельствует об устойчивости концевой двойной связи изопренового фрагмента при С-19 к изомеризации и окислению в выбранных условиях проведения реакции.

Известно, что в результате образования сложноэфирной связи в ^{13}C ЯМР-спектре эфиров тритерпеноидов происходит слабopольный сдвиг сигналов С-3 и С-28 на 3.0–4.5 м.д. по сравнению с сигналами атомов исходных тритерпеновых спиртов [6]. Анализ ^{13}C ЯМР-спектров 3-ацетата-28-малеата бетулина и 3-ацетата-28-левулината бетулина показал, что сигнал атома С-28 сместился в слабое поле с 58.7 м.д. до 64.0 м.д. и 62.9 м.д. соответственно, что подтверждает присутствие ацильных групп при С-28 в полученных сложных эфирах бетулина.

В работе [13] изучено получение 3,28-дилевулината бетулина. Показано, что в ^{13}C ЯМР-спектре 3,28-дилевулината бетулина сигналы атомов углерода кетогруппы остатков левулиновой кислоты присутствуют в области 206.6 м.д. и 206.7 м.д. Полученный нами 3-ацетат-28-левулинат также в ^{13}C ЯМР спектре имеет сигнал атома углерода кетогруппы в области 206.4 м.д., что подтверждает замещение первичной гидроксильной группы в молекуле 3-ацетата бетулина на остаток левулиновой кислоты.

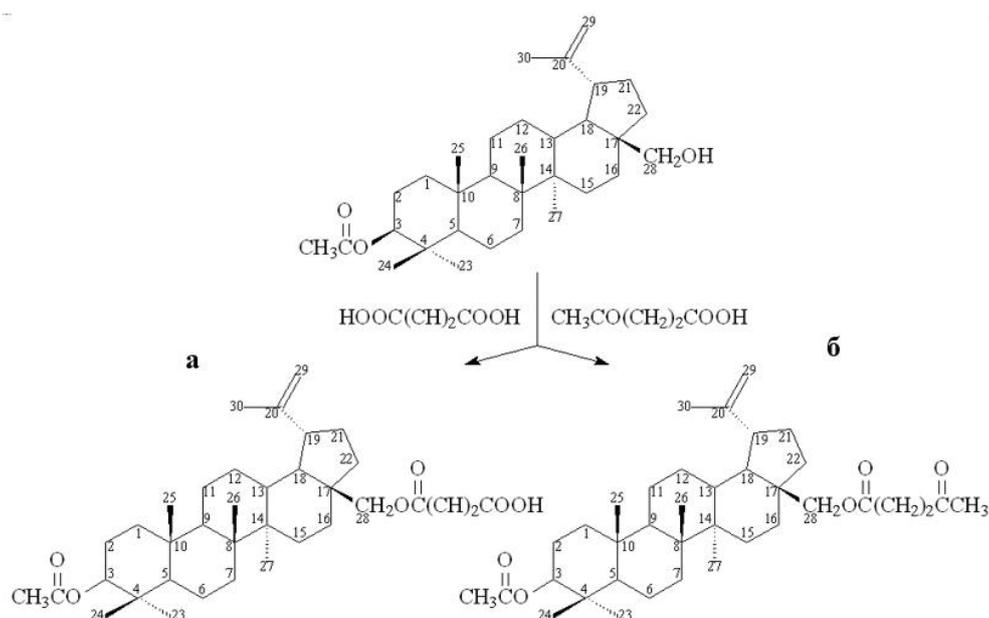


Схема синтеза 3-ацетата-28-малеата бетулина (а) и 3-ацетата-28-левулината бетулина (б)

Заключение

Разработан новый «зеленый» способ получения потенциально биологически активных эфиров бетулина 3-ацетата-28-малеата и 3-ацетата-28-левулината, основанный на этерификации 3-ацетата бетулина расплавами малеиновой и левулиновой кислот при температуре $185\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5–7 мин. С использованием данного способа достигается высокий выход эфиров: 84% для 3-ацетата-28-малеата бетулина и 73% для 3-ацетата-28-левулината бетулина. Состав и строение полученных эфиров установлен методами ИК- и ЯМР-спектроскопии, элементным анализом. Преимущество разработанного метода, по сравнению с известными, заключается в отсутствии вредных и опасных растворителей (пиридин, хлороформ и др.), сокращение продолжительности синтеза с 15–40 ч до 5–7 мин, использование органических кислот вместо дефицитных и нестойких ангидридов и хлорангидридов кислот.

Список литературы

1. Толстикова Г.А., Флехтер О.Б., Шульц Э.Э., Балтина Л.А., Толстикова А.Г. Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. №1. С. 1–30.
2. Jonnalagadda S.C., Suman P., Morgan D.C., Seay N.J. Recent developments on the synthesis and Applications of betulin and betulinic acid derivatives as therapeutic agents // Studies in Natural Products Chemistry. 2017. Vol. 53. Pp. 45–84. DOI: 10.1016/B978-0-444-63930-1.00002-8.
3. Воробьева О.А., Малыгина Д.С., Грубова Е.В., Мельникова Н.Б. Производные бетулина. Биологическая активность и повышение растворимости // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 407–430. DOI: 10.14258/jcprm.2019045419.
4. Bildziukevich U., Özdemir Z., Wimmer Z. Recent achievements in medicinal and supramolecular chemistry of betulinic acid and its derivatives // Molecules. 2019. Vol. 24. 3546. DOI: 10.3390/molecules24193546.
5. Amiri S., Dastghaib S., Ahmadi M., Mehrbod P., Khadem F., Behrouj H., Aghanoori M.-R., Machaj F., Ghamsari M., Rosik J., Hudecki A., Afkhami A., Hashemi M., Los M.J., Mokarram P., Madrakian T., Ghavami S. Betulin and its derivatives as novel compounds with different pharmacological effects // Biotechnol. Adv. 2020. Vol. 38. 107409. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2019.06.008.
6. Flekhter O.B., Medvedeva N.I., Karachurina L.T., Baltina L.A., Zarudii F.S., Galin F.Z., Tolstikov G.A. Synthesis and antiinflammatory activity of new acylated betulin derivatives // Pharm. Chem. J. 2002. Vol. 36. Pp. 29–32. DOI: 10.1023/A:1021896722692.
7. Tolstikova T.G., Sorokina I.V., Tolstikov G.A., Flekhter O.B. Biological activity and pharmacological prospects of lupine terpenoids: I. Natural lupine derivatives // Russ. J. Bioorg. Chem. 2006. Vol. 32. Pp. 37–49. DOI: 10.1134/S1068162006010031.
8. Chue K.-T., Chang M.-S., Ten L.N. Synthesis and antibacterial activity of betulin esters // Chem. Nat. Compd. 2011. Vol. 47. Pp. 583–586. DOI: 10.1007/s10600-011-0001-7.
9. Flekhter O.B., Boreco E.I., Nigmatullina L.R., Pavlova N.I., Medvedeva N.I., Nikolaeva S.N., Ashavina O.A., Savinova O.V., Baltina L.A., Galin F.Z., Tolstikov G.A. Synthesis and antiviral activity of lupane triterpenoids and their derivatives // Pharm. Chem. J. 2004. Vol. 38. Pp. 355–358. DOI: 10.1023/B:PHAC.0000048431.65649.bd.
10. Flekhter O.B., Karachurina L.T., Nigmatullina L.R., Sapozhnikova T.A., Baltina L.A., Zarudii F.S., Galin F.Z., Spirikhin L.V., Tolstikov G.A., Plyasunova O.A., Pokrovskii A.G. Synthesis and pharmacological activity of betulin dinicotinate // Russ. J. Bioorg. Chem. 2002. Vol. 28. Pp. 494–500. DOI: 10.1023/A:1021297600187.
11. Flekhter O.B., Medvedeva N.I., Karachurina L.T., Baltina L.A., Galin F.Z., Zarudii F.S., Tolstikov G.A. Synthesis and pharmacological activity of betulin, betulinic acid, and allobetulin esters // Pharm. Chem. J. 2005. Vol. 39. Pp. 401–404. DOI: 10.1007/s11094-005-0167-z.
12. Patent 6642217 (US). Triterpenes having human antifungal and antiyeast activity / P.A. Krasutsky, R.M. Carlson, R. Karim. – 04.11.2003.
13. Pohjala L., Alakurtti S., Ahola T., Yli-Kauhaluoma J., Tammela P. Betulin-derived compounds as inhibitors of alpha-virus replication // J. Nat. Prod. 2009. Vol. 72. Pp. 1917–1926. DOI: 10.1021/np9003245.
14. Левданский В.А., Левданский А.В. Экстракция бетулина алифатическими спиртами C₃-C₄ из бересты березы, гидролизованной в водном растворе щелочи // Химия растительного сырья. 2014. №1. С. 131–137. DOI: 10.14258/jcprm.1401131.
15. Левданский В.А., Кондрасенко А.А., Левданский А.В., Кузнецов Б.Н. Синтез диацетата и дипропионата бетулина // Журнал СФУ. Химия. 2016. Т. 9. №3. С. 337–344. DOI: 10.17516/1998-2836-2016-9-3-337-344.
16. Левданский В.А., Левданский А.В., Кузнецов Б.Н. Сульфатирование 3-ацетата бетулина хлорсульфоновой кислотой в диоксане и диметилформамиде // Журнал СФУ. Химия. 2012. Т. 5. №3. С. 274–280.
17. Levdansky V.A., Levdansky A.V., Kuznetsov B.N. Synthesis of betulin dibenzoate and diphtalate // Chem. Nat. Compd. 2017. Vol. 53. Pp. 310–311. DOI: 10.1007/s10600-017-1976-5.
18. Levdansky V.A., Kondrasenko A.A., Levdansky A.V., Kuznetsov B.N. Synthesis of betulin bromobenzoate, dicinnamate, and disuccinate in melts of the corresponding acids // Chem. Nat. Compd. 2020. Vol. 56. Pp. 951–952. DOI: 10.1007/s10600-020-03197-7.

Поступила в редакцию 14 марта 2023 г.

После переработки 15 сентября 2023 г.

Принята к публикации 2 октября 2023 г.

Для цитирования: Левданский В.А., Гарынцева Н.В., Левданский А.В. Этерификация 3-ацетата бетулина в расплавах малеиновой и левулиновой кислот // Химия растительного сырья. 2023. №4. С. 361–365. DOI: 10.14258/jcprm.20230412656.

Levdanskiy V.A.¹, Garyntseva N.V.^{1,2}, Levdanskiy A.V.^{1*} ESTERIFICATION OF BETULIN 3-ACETATE IN MELTS OF THE MALEIC AND LEVULINIC ACIDS

¹ Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Federal Research Center KSC SB RAS, Akademgorodok, 50/24, Krasnoyarsk, 660036 (Russia), e-mail: alexsander.1@mail.ru

² Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049 (Russia)

Esters of betulin containing residues of bioactive aromatic and aliphatic acids are of interest to the chemical and pharmaceutical industry as hepatoprotectors, anti-inflammatory, antiulcer and immunomodulatory substances. The development of new efficient, ecological and economical methods for the synthesis of betulin esters is an actual task. A new "green" method for the production of betulin 3-acetate-28-maleate and betulin 3-acetate-28-levulinate has been developed. For the first time, esterification of betulin 3-acetate with melts of maleic acid and levulinic acids was carried out at a temperature of 185-200°C for 5-7 minutes to obtain betulin 3-acetate-28-maleate and betulin 3-acetate-28-levulinate, respectively. The structure of the resulting betulin esters was determined using IR and NMR spectroscopy, and the composition was determined by elemental analysis. The advantage of the developed method for the synthesis of 3-acetate-28-maleate and 3-acetate-28-levulinate of betulin in comparison with the known ones is: the synthesis is carried out in the absence of harmful and hazardous solvents (pyridine, methylene chloride, chloroform), a reduction in the duration of synthesis from 15-40 hours to 5-7 minutes. Maleic anhydride is used instead of maleic anhydride on the preparation of betulin 3-acetate-28-maleate.

Keywords: betulin 3-acetate, esterification, betulin 3-acetate-28-maleate, betulin 3-acetate-28-levulinate.

References

1. Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Shul'ts E.E., Baltina L.A., Tolstikov A.G. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2005, vol. 13, no. 1, pp. 1–30. (in Russ.).
2. Jonnalagadda S.C., Suman P., Morgan D.C., Seay N.J. *Studies in Natural Products Chemistry*, 2017, vol. 53, pp. 45–84. DOI: 10.1016/B978-0-444-63930-1.00002-8.
3. Vorob'yeva O.A., Malygina D.S., Grubova Ye.V., Mel'nikova N.B. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 407–430. DOI: 10.14258/jcprm.2019045419. (in Russ.).
4. Bildziukevich U., Özdemir Z., Wimmer Z. *Molecules*, 2019, vol. 24, 3546. DOI: 10.3390/molecules24193546.
5. Amiri S., Dastghaib S., Ahmadi M., Mehrbod P., Khadem F., Behrouj H., Aghanoori M.-R., Machaj F., Ghamsari M., Rosik J., Hudecki A., Afkhami A., Hashemi M., Los M.J., Mokarram P., Madrakian T., Ghavami S. *Biotechnol. Adv.*, 2020, vol. 38, 107409. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2019.06.008.
6. Flekhter O.B., Medvedeva N.I., Karachurina L.T., Baltina L.A., Zarudii F.S., Galin F.Z., Tolstikov G.A. *Pharm. Chem. J.*, 2002, vol. 36, pp. 29–32. DOI: 10.1023/A:1021896722692.
7. Tolstikova T.G., Sorokina I.V., Tolstikov G.A., Flekhter O.B. *Russ. J. Bioorg. Chem.*, 2006, vol. 32, pp. 37–49. DOI: 10.1134/S1068162006010031.
8. Chue K.-T., Chang M.-S., Ten L.N. *Chem. Nat. Compd.*, 2011, vol. 47, pp. 583–586. DOI: 10.1007/s10600-011-0001-7.
9. Flekhter O.B., Boreco E.I., Nigmatullina L.R., Pavlova N.I., Medvedeva N.I., Nikolaeva S.N., Ashavina O.A., Savinova O.V., Baltina L.A., Galin F.Z., Tolstikov G.A. *Pharm. Chem. J.*, 2004, vol. 38, pp. 355–358. DOI: 10.1023/B:PHAC.0000048431.65649.bd.
10. Flekhter O.B., Karachurina L.T., Nigmatullina L.R., Sapozhnikova T.A., Baltina L.A., Zarudii F.S., Galin F.Z., Spirikhin L.V., Tolstikov G.A., Plyasunova O.A., Pokrovskii A.G. *Russ. J. Bioorg. Chem.*, 2002, vol. 28, pp. 494–500. DOI: 10.1023/A:1021297600187.
11. Flekhter O.B., Medvedeva N.I., Karachurina L.T., Baltina L.A., Galin F.Z., Zarudii F.S., Tolstikov G.A. *Pharm. Chem. J.*, 2005, vol. 39, pp. 401–404. DOI: 10.1007/s11094-005-0167-z.
12. Patent 6642217 (US). 04.11.2003.
13. Pohjala L., Alakurtti S., Ahola T., Yli-Kauhaluoma J., Tammela P. *J. Nat. Prod.*, 2009, vol. 72, pp. 1917–1926. DOI: 10.1021/np9003245.
14. Levdanskiy V.A., Levdanskiy A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 1, pp. 131–137. DOI: 10.14258/jcprm.1401131. (in Russ.).
15. Levdanskiy V.A., Kondrasenko A.A., Levdanskiy A.V., Kuznetsov B.N. *Zhurnal SFU. Khimiya*, 2016, vol. 9, no. 3, pp. 337–344. DOI: 10.17516/1998-2836-2016-9-3-337-344. (in Russ.).
16. Levdanskiy V.A., Levdanskiy A.V., Kuznetsov B.N. *Zhurnal SFU. Khimiya*, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 274–280. (in Russ.).
17. Levdansky V.A., Levdansky A.V., Kuznetsov B.N. *Chem. Nat. Compd.*, 2017, vol. 53, pp. 310–311. DOI: 10.1007/s10600-017-1976-5.
18. Levdansky V.A., Kondrasenko A.A., Levdansky A.V., Kuznetsov B.N. *Chem. Nat. Compd.*, 2020, vol. 56, pp. 951–952. DOI: 10.1007/s10600-020-03197-7.

Received March 14, 2023

Revised September 15, 2023

Accepted October 2, 2023

For citing: Levdanskiy V.A., Garyntseva N.V., Levdanskiy A.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 4, pp. 361–365. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230412656.

* Corresponding author.

