



ОСНОВНОЙ И ПОБОЧНЫЙ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ 1-(2-НИТРОАРИЛ)-1H-БЕНЗОТРИАЗОЛА

Р. С. Бегунов, Л. И. Савина, А. И. Хлопотинин

Роман Сергеевич Бегунов, канд. хим. наук, доцент; Луиза Ильинична Савина, студент; Александр Игоревич Хлопотинин, аспирант
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия, begunov@bio.ac.ru

Ключевые слова:

восстановление, конденсация, алкилирование, 1-(2-аминоарил)-1H-бензотриазолы, азоксibenзол, алкиламины

Аннотация. Изучено влияние концентрации HCl на протекание основного и побочных процессов при восстановлении 1-(2-нитроарил)-1H-бензотриазола хлоридом олова (II) в кислой водно-спиртовой среде. При низком содержании HCl в реакционной массе отмечалось образование помимо целевого аминопроизводного еще и азоксисоединения. Использование 36%-ной соляной кислоты приводило к протеканию процесса алкилирования образующегося аминосоединения спиртом, который применялся в качестве растворителя.

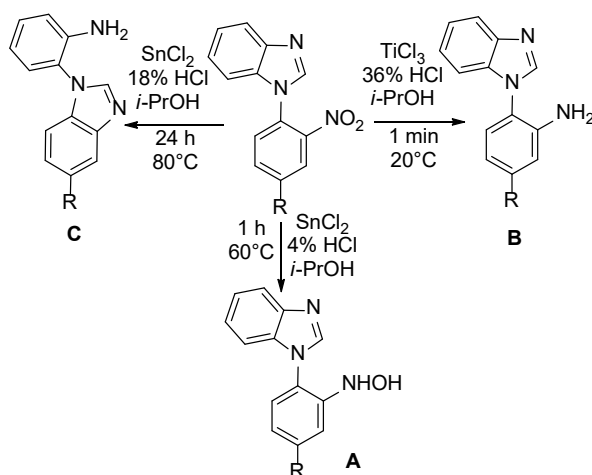
Для цитирования:

Бегунов Р.С., Савина Л.И., Хлопотинин А.И. Основной и побочный процессы при восстановлении 1-(2-нитроарил)-1H-бензотриазола // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2024. Т. 5, вып. 1. С. 33-39
URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/issue/view/2024-5-1>

Введение

Ранее нами был изучен процесс восстановления 1-(2-нитроарил)-1H-бензотриазола [1-3]. Было установлено, что в зависимости от условий реакции возможно образование нескольких продуктов: гидроксиламинопроизводного (А), целевого аминосоединения (В) и продукта его изомеризации (С). На региоселективность восстановления наиболее сильное влияние оказывало содержание HCl в реакционной массе.

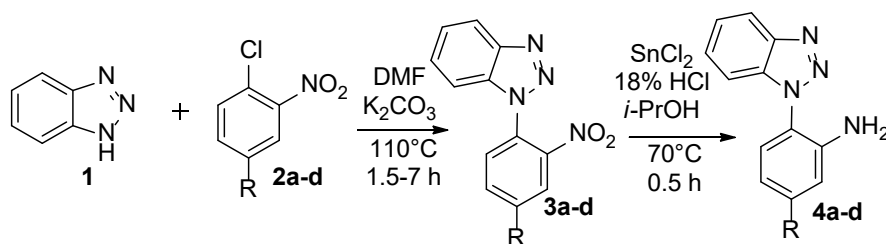
В продолжение этих исследований было изучено влияние этого фактора на восстановление 1-(2-нитроарил)-1H-бензотриазолов. Выбор данных субстратов обусловлен тем, что получаемые N-(аминоарил)производные бензотриазола широко используются при разработке лекарственных препаратов [4-7]. Также в ходе восстановления можно ожидать протекание процесса изомеризации.





Основная часть

Синтез 1-(2-нитроарил)-1*H*-бензотриазолов проводили при взаимодействии 1*H*-бензотриазола (**1**) с 1-хлор-2-нитроаренами **2a-d** в ДМФА в присутствии K_2CO_3 . Согласно данным работ [8, 9] при осуществлении реакции S_NAr **1** с 2,4-динитрофторбензолом в данных условиях при 95 °С наблюдалось образование двух продуктов: 1- и 2-замещенных бензотриазолов в соотношении 3 : 1. Однако, как оказалось, в ходе реакции **1** с нитрохлорпроизводными при 110 °С в реакционной массе присутствовали лишь следовые количества 2-(2-нитроарил)-2*H*-бензотриазола. После перекристаллизации в изопропанол выход нитросоединений **3a-d** составил 89–94%.

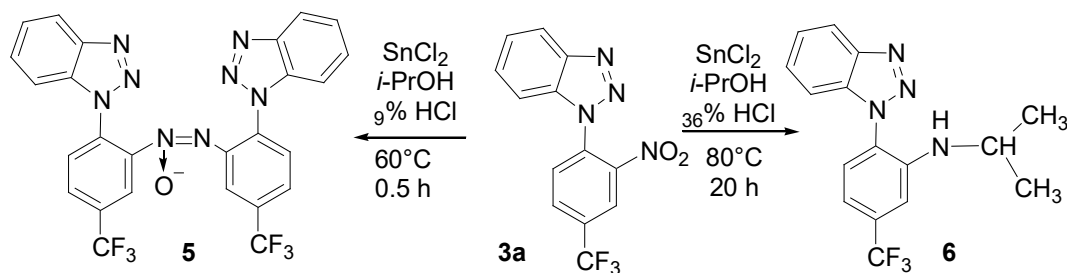


где R = a) CF_3 , b) CN, c) $COOEt$, d) Cl

Восстановление 1-(2-нитроарил)-1*H*-бензотриазолов **3a-d** проводили хлоридом олова (II) в кислой водно-спиртовой среде. Использование данной восстанавливающей системы позволяло эффективно получать различные аминоарены [10, 11].

В качестве растворителя использовали изопропанол, в котором *N*-(2-нитроарил)бензотриазолы растворялись при нагревании. Применение уксусной кислоты было нежелательным из-за трудностей с выделением продукта. В других протонных растворителях не все нитросоединения растворялись. К полученному раствору нитросубстрата **3** при 70 °С приливали раствор $SnCl_2$ в 9-, 18- или 36%-ной HCl. В качестве модельного соединения было выбрано вещество **3a**.

При восстановлении **3a** в смеси *i*-PrOH и 9%-ной HCl протекал побочный процесс конденсации промежуточно образующихся нитрозо- и гидросиламинопроизводных. Так из реакционной смеси было выделено соединение с Т.пл. 241–246 °С, имевшее значение m/z $[M]^+$ 568 Да. В 1H ЯМР-спектре вещества присутствовало два комплекта из 7 сигналов ароматических протонов от двух *N*-арилбензотриазольных фрагментов молекулы. Сигналы протонов одного *N*-арильного заместителя были смещены относительно другого в более слабое поле. Это характерно для ароматических азоксисоединений [12, 13]. В ^{13}C ЯМР-спектре присутствовало 26 сигналов атомов С. Причем сигналы четырех атомов углерода $(C-CF_3)_2$ имели вид квартета. На основании этих данных выделенное вещество было идентифицировано как 1,2-бис[2-(1*H*-бензотриазол-1-ил)-5-(трифторметил)фенил]дiazен оксид (**5**).





Использование 36%-ной соляной кислоты способствовало образованию побочного продукта алкилирования аминогруппы спиртом. На рис. 1 приведен ^1H ЯМР-спектр 1-{2-[(пропан-2-ил)амино]-4-(трифторметил)фенил}-1*H*-бензотриазола (**6**). В ^1H ЯМР-спектре данного соединения присутствовали сигналы протонов NH -, CH - и CH_3 -групп, появляющихся в структуре в ходе нуклеофильного замещения OH -группы амином. С увеличением времени и температуры реакции до $80\text{ }^\circ\text{C}$ количество продукта алкилирования возрастало.

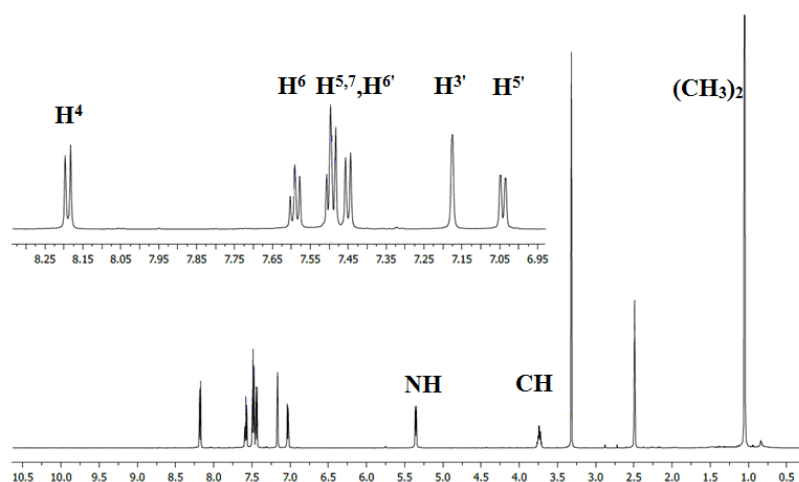


Рис. 1. ^1H ЯМР-спектр 1-{2-[(пропан-2-ил)амино]-4-(трифторметил)фенил}-1*H*-бензотриазола (**6**)

В индивидуальном виде аминосоединения **4** были получены при использовании 18%-ной HCl . Выход аминов **4** составил 94–98%. Продуктов изомеризации *N*-(2-аминоарил)бензотриазолов при различном содержании HCl в реакционной массе, как это было отмечено при восстановлении *N*-(2-нитроарил)бензимидазолов SnCl_2 в кислой водно-спиртовой среде, не наблюдалось.

Структура бензотриазолов **4** была доказана с помощью ^1H , ^{13}C ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии высокого разрешения. Полное отнесение сигналов протонов дано с помощью ^1H - ^1H ЯМР-спектроскопии. На рис. 2 представлен ^1H ЯМР-спектр соединения **4a**.

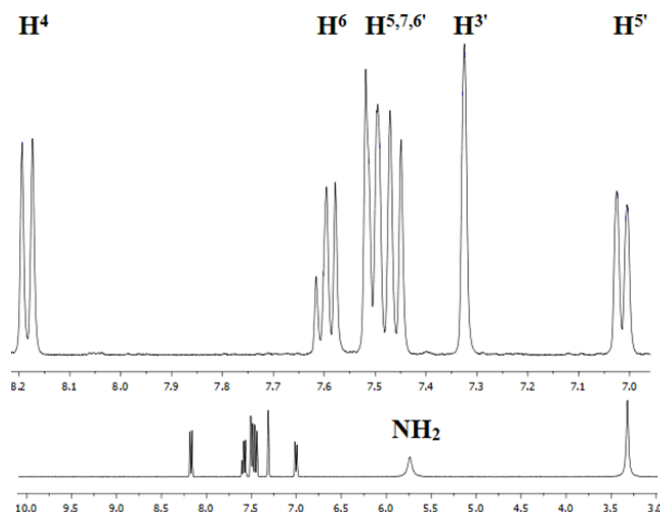


Рис. 2. ^1H ЯМР-спектр 1-[2-амино-4-(трифторметил)фенил]-1*H*-бензотриазола (**4a**)



В ^1H ЯМР-спектре **4a** присутствовали сигнал двух протонов аминогруппы при 5.53 м.д., имеющий вид широкого синглета, и 7 сигналов ароматических протонов, выходящих в спектре в интервале 7.01–8.18 м.д. Полосы поглощения протонов N-фенильного фрагмента значительно смещались в область сильного поля: H^3 на 1.75 м.д., H^5 на 1.8 м.д. и менее всего H^6 на 1.35 м.д. по сравнению с соответствующим нитросоединением. В самой сильнополевой области спектра выходил сигнал *para*-расположенного к аминогруппе H^5 , имеющего вид дублета дублетов. В самой слабополевой при 8.18 м.д. – сигнал H^4 бензотриазольного цикла, сильно дезэкранированный атомом азота триазольного кольца. Такие же закономерности расположения и вид сигналов протонов в ^1H ЯМР-спектрах наблюдались и для других N-(2-аминоарил)бензотриазолов.

Таким образом, в ходе изучения влияния температуры, времени реакции и концентрации HCl на селективность восстановления 1-(2-нитроарил)-1*H*-бензотриазола хлоридом олова (II) в кислой водно-спиртовой среде установлено, что помимо синтеза целевого аминосоединения возможна реализация побочных процессов конденсации промежуточных продуктов неполного восстановления нитрогруппы и алкилирования образующегося аминосоединения спиртом, который применялся в качестве растворителя.

Экспериментальная часть

Температуры плавления определяли на приборе Poly-Therm A со скоростью нагревания 3 °C/мин и не корректировали. Спектры ЯМР регистрировали на приборе BrukerDRX-400 для растворов $\text{DMSO-}d_6$. В качестве эталона для отсчёта химических сдвигов использовали сигналы остаточных протонов растворителя в ^1H ЯМР (δ 2.50 м.д.). Масс-спектры были записаны на приборе FINNIGAN MAT.INCOS 50, энергия электронного потока 70 эВ.

Методика синтеза 1-(2-нитроарил)-1*H*-бензотриазолов **3a-d**.

Реакционную смесь, содержащую 2 г (0,017 моль) бензотриазола **1**, 3,5 г (0,026 моль) безводного K_2CO_3 и 0,017 моль *орто*-нитрогалогенарена **2 a-d** нагревали до 110 °C и перемешивали 1,5 ч для синтеза **3a,b**, 2 ч для **3c** и 7 часов для **3d**. Охлаждали и выливали в воду. Выпавший осадок отфильтровывали, несколько раз промывали водой и сушили. Перекристаллизовывали в изопропанол.

1-(2-нитро-4-(трифторметил)фенил)-1*H*-бензотриазол (3a). Выход 93%. Т.пл. 133–136 °C. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMSO-}d_6$, δ , м.д., J /Гц): 7.61 (тд, 1H, H^5 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.77 (тд, 1H, H^6 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.85 (д, 1H, H^7 , J 8.4 Гц), 8.28 (д, 1H, H^4 , J 8.4 Гц), 8.40 (д, 1H, H^6 , J 8.8 Гц), 8.81 (дд, 1H, H^5 , J 8.8, 2.5 Гц), 9.07 (д, 1H, H^3 , J 2.6 Гц). HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{13}\text{H}_7\text{F}_3\text{N}_4\text{O}_2$ 309.2196 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 309.2191.

1-(4-циано-2-нитрофенил)-1*H*-бензотриазол (3b). Выход 94%. Т.пл. 221–223 °C. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMSO-}d_6$, δ , м.д., J /Гц): 7.61 (тд, 1H, H^5 , J 8.3, 1.5 Гц), 7.73 (тд, 1H, H^6 , J 8.3, 1.2 Гц), 7.83 (д, 1H, H^7 , J 8.4 Гц), 8.25 (д, 1H, H^4 , J 8.3 Гц), 8.35 (д, 1H, H^6 , J 8.5 Гц), 8.54 (дд, 1H, H^5 , J 8.3, 1.5 Гц), 8.96 (д, 1H, H^3 , J 1.8 Гц). HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{13}\text{H}_7\text{N}_5\text{O}_2$ 266.2320 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 266.2315.



1-[2-нитро-4-(этоксикарбонил)фенил]-1H-бензотриазол (3b). Выход 91%. Т.пл. 115–119 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 1.39 (м, 3H, CH_3), 4.45 (м, 2H, CH_2), 7.58 (тд, 1H, H^5 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.72 (тд, 1H, H^6 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.81 (д, 1H, H^7 , J 8.2 Гц), 8.24 (м, 2H, $\text{H}^{4,6}$), 8.49 (дд, 1H, H^5 , J 8.5, 1.5 Гц), 8.72 (д, 1H, H^3 , J 1.8 Гц). HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}_4$ 313.2850 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 313.2845.

1-(2-нитро-4-хлорфенил)-1H-бензотриазол (3a). Выход 89%. Т.пл. 118–121 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 7.58 (тд, 1H, H^5 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.69 (тд, 1H, H^6 , J 8.3, 1.0 Гц), 7.76 (д, 1H, H^7 , J 8.2 Гц), 8.14 (м, 2H, $\text{H}^{4,5}$), 8.25 (д, 1H, H^6 , J 8.5 Гц), 8.51 (д, 1H, H^3 , J 1.8 Гц). HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{12}\text{H}_7\text{N}_4\text{O}_2\text{Cl}$ 275.6650 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 275.6632.

Методика синтеза 1-(2-аминоарил)-1H-бензотриазолов (4a-d).

К раствору 0.011 моль **3a-г** в 50 мл *i*-PrOH при 70 °С при перемешивании вносили раствор 0.034 моль $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в 50 мл 18 %-ной HCl. Через 0.5 ч *i*-PrOH упаривали. После этого реакционную массу охлаждали, обрабатывали NH_4OH до pH = 8 и экстрагировали горячим хлороформом (Σ = 250 мл). После отгонки хлороформа получали аминсоединения **4a-d**.

1-[2-Амино-4-(трифторметил)фенил]-1H-бензотриазол (4a). Выход 98%. Т.пл. 136–139 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 5.75 (с, 2H, NH_2), 7.01 (дд, 1H, H^5 , J = 1.8, J = 8.2); 7.32 (д, 1H, H^3 , J = 1.7); 7.46 (д, 1H, H^6 , J = 8.3); 7.49-7.53 (м, 2H, $\text{H}^{5,7}$); 7.56 (т, 1H, H^6 , J = 9.4); 8.18 (д, 1H, H^4 , J = 8.1). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): Спектр ^{13}C ЯМР (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 111.4, 112.5 (кв, J = 4), 113.44, 120.4, 123.3, 124.7 (кв, J = 271), 125.0, 129.0, 129.3, 131.7 (кв, J = 31), 133.7, 145.5, 145.9. HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{F}_3\text{N}_4$ 279.2400 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 279.2398.

1-(2-Амино-4-цианофенил)-1H-бензотриазол (4b). Выход 97%. Т.пл. 154–156 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 5.78 (с, 2H, NH_2), 7.12 (дд, 1H, H^5 , J = 1.8, J = 8.1); 7.34 (д, 1H, H^3 , J = 1.8); 7.45 (д, 1H, H^6 , J = 8.2); 7.47-7.51 (м, 2H, $\text{H}^{5,7}$); 7.59 (т, 1H, H^6 , J = 9.2); 8.19 (д, 1H, H^4 , J = 8.2). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 111.13, 113.98, 119.42, 120.24, 124.37, 125.21, 129.11, 129.46, 133.62, 145.53, 145.97. HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{N}_5$ 236.2516 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 236.2518.

1-(2-Амино-4-этоксикарбонилфенил)-1H-бензотриазол (4c). Выход 95%. Т.пл. 132–136 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 1.34 (м, 3H, CH_3), 4.35 (м, 2H, CH_2), 5.62 (с, 2H, NH_2), 7.29 (дд, 1H, H^5 , J = 1.9, J = 8.2), 7.37 (д, 1H, H^6 , J = 8.2), 7.48 (м, 2H, $\text{H}^{5,7}$), 7.59 (т, 1H, H^6 , J = 8.4), 7.65 (д, 1H, H^3 , J = 1.7), 8.17 (д, 1H, H^4 , J = 8.2). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 14.69, 61.51, 111.52, 117.19, 117.98, 120.26, 124.31, 125.02, 128.32, 128.84, 132.48, 133.61, 144.79, 145.97, 166.27. HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_4\text{O}$ 267.3053 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 267.3051.

1-(2-Амино-4-хлорфенил)-1H-бензотриазол (4d). Выход 94%. Т.пл. 154–156 °С. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д., $J/\text{Гц}$): 5.53 (с, 2H, NH_2), 6.73 (дд, 1H, H^5 , J = 1.7, J = 8.1); 7.03 (д, 1H, H^3 , J = 1.7); 7.24 (д, 1H, H^6 , J = 8.1); 7.46 (м, 2H, $\text{H}^{5,7}$); 7.57 (т, 1H, H^6 , J = 9.3); 8.16 (д, 1H, H^4 , J = 8.2). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 111.29, 116.11, 116.29, 119.62, 120.21, 124.78, 128.81, 129.76, 133.98, 135.67, 145.79, 146.43. HRMS: m/z вычислено $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{ClN}_4$ 245.6871 $[\text{M}+\text{H}]^+$, найдено 245.6873.

**Методика синтеза 1,2-бис[2-(1H-бензотриазол-1-ил)-5-(трифторметил)фенил]диазена оксида (5).**

Восстановление проводили аналогично вышеописанной методике синтеза аминосоединений, используя вместо 18%-ной 9%-ную соляную кислоту. Полученную после отгонки хлороформа сухую смесь продуктов нагревали в ДМФА, при охлаждении, из которого выпадало азоксисоединение. Выход 17%. Т.пл. 241–246 °С. Спектр ЯМР ¹H (ДМСО-*d*₆, δ, м.д., J/Гц): 7.48-7.61 (м, 7 H), 7.66 (д, 1H, J = 1.7), 7.78 (дд, 1H, J = 1.9, J = 9.2), 7.91 (д, 1H, J = 9.1), 7.96 (дд, 1H, J = 1.9, J = 9.2), 8.03 (д, 1H, J = 9.1), 8.17 (д, 2H, J = 9.2). Спектр ЯМР ¹³C (ДМСО-*d*₆, δ, м.д.): 110.7, 111.6, 120.7, 123.9, 125.5, 125.7, 125.9, 128.6, 129.8, 129.8, 129.9, 130.4, 130.6, 130.9, 133.9, 134.2, 134.4, 134.9, 135.2, 135.9, 139.7, 144.9, 146.2. HRMS: *m/z* вычислено C₂₆H₁₅F₆N₈O 569.4401 [M+H]⁺, найдено 569.3989

Методика синтеза 1-{2-[(пропан-2-ил)амино]-4-(трифторметил)фенил}-1H-бензотриазола (6).

Восстановление проводили аналогично вышеописанной методике синтеза аминосоединений, используя вместо 18%-ной 36%-ную соляную кислоту. Полученную после отгонки хлороформа сухую смесь продуктов разделяли с помощью ТСХ. Элюенты - этилацетат : гексан = 7 : 1. R_f = 0.294. Выход 11%. Т.пл. 102–107 °С. ¹H ЯМР (ДМСО-*d*₆, δ, м.д., J/Гц): 1.06 (д, 6H, CH(CH₃)₂, J = 6.3), 3.76 (дсепт, 1H, CH(CH₃)₂, J = 8.1, J = 6.3), 5.37 (д, 1H, NH, J = 8.1), 7.04 (дд, 1H, H⁵, J = 1.9, J = 8.1), 7.18 (д, 1H, H³, J = 1.9), 7.45 (д, 1H, H⁶, J = 8.1), 7.47–7.53 (м, 2H, H⁵, H⁷), 7.59 (ддд, 1H, H⁶, J = 1.0, J = 6.9, J = 8.2), 8.19 (д, 1H, H⁴, J = 8.5). ¹³C ЯМР (ДМСО-*d*₆, δ, м.д.): 21.8 (CH(CH₃)₂), 43.3 (CH(CH₃)₂), 108.6 (к, C³, J = 3.9 Гц), 110.8 (C⁷), 111.5 (к, C⁵, J = 3.9), 119.6 (C⁴), 123.9 (к, C¹, J = 1.4 Гц), 124.1 (к, CF₃, J = 272.6), 124.4 (C⁵), 128.2 (C⁶), 128.7 (C⁶), 131.3 (к, C⁴, J = 31.6 Гц), 133.1 (C^{7a}), 143.2 (C²), 145.3 (C^{3a}). Спектр ЯМР ¹⁹F (ДМСО-*d*₆, δ, м.д.): - 62.27. HRMS: *m/z* вычислено C₁₆H₁₆F₃N₄ 321.1329 [M+H]⁺, найдено 321.1323

Список источников

1. Begunov R.S., Shebunina T.V., Yakovleva Y.S., Firgang S.I. An interesting recyclization in the course of reduction of 1-(2-nitro-4-R-phenyl)-1H-benzimidazoles with tin(II) chloride // *Mendeleev Commun.* 2013. Vol. 23, no. 6. P. 354-355. DOI: 10.1016/j.mencom.2013.11.018.
2. Begunov R.S., Sokolov A.A., Fakhruddinov A.N. Recyclization-isomerization in the reduction of 1-(2-nitro(het)aryl)benzimidazoles // *ChemistrySelect.* 2020. Vol. 5, no. 12. P. 3544-3550. DOI: 10.1002/slct.201904898
3. Begunov R.S., Chetvertakova A.V., Neganova M.E. Regioselective synthesis of 2-(1H-benzimidazol-1-yl)-5-nitro- and 2-(5-nitro-1H-benzimidazol-1-yl)anilines // *Mendeleev Communications.* 2023. Vol. 33, no. 5. P. 650-652. DOI: 10.1016/j.mencom.2023.09.020.
4. Corona P., Piras S., Ibba R., Riu F., Murineddu G., Sanna G., Madeddu S., Delogu I., Loddo R., Carta A. Antiviral Activity of Benzotriazole Based Derivatives // *The Open Medicinal Chemistry Journal.* 2020. Vol. 14, no. 1. P. 83-98. DOI: 10.2174/1874104502014010083.
5. Piras S., Sanna G., Carta A., Corona P., Ibba R., Loddo R., Madeddu S., Caria P., Aulic S., Laurini E., Fermeglia M., Pricl S. Dichloro-Phenyl-Benzotriazoles: A New Selective Class of Human Respiratory Syncytial Virus Entry Inhibitors // *Frontiers in chemistry.* 2019. Vol. 7. P. 247. DOI: 10.3389/fchem.2019.00247.
6. Ibba R., Piras S., Corona P., Riu F., Loddo R., Delogu I., Collu G., Sanna G., Caria P., Dettori T., Carta A. Synthesis, Antitumor and Antiviral In Vitro Activities of New Benzotriazole-Dicarboxamide Derivatives // *Frontiers in Chemistry.* 2021. Vol. 9. Art. 660424. DOI: 10.3389/fchem.2021.660424.



7. **Wu C.Y., King K.Y., Kuo C.J., Fang J.M., Wu Y.T., Ho M.Y., Liao C.L., Shie J.J., Liang P.H., Wong C.H.** Stable benzotriazole esters as mechanism-based inactivators of the severe acute respiratory syndrome 3CL protease // *Chemistry & biology*. 2006. Vol. 13, no. 3. P. 261-268. DOI: 10.1016/j.chembiol.2005.12.008.
8. **Santa María M.D., Claramunt R.M., Garcia M.A., Elguero J.** Synthesis, structure, and isomerism of N-2,4-dinitrophenylbenzotriazoles // *Tetrahedron*. 2007. V. 63. No. 18. P. 3737-3744. DOI: 10.1016/j.tet.2007.02.083.
9. **Wilshire J.F.K.** The reaction of 1-fluoro-2,4-dinitrobenzene with some NH-heteroaromatic compounds // *Aust. J. Chem.* 1966. Vol. 19, no. 10. P. 1935-1945. DOI: 10.1071/CH9661935.
10. **Богданова Д.М., Савина Л.И., Бегунов Р.С.** Синтез и функционализация аминопроизводных пиридо[1,2-а]бензимидазола // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2022. Т. 3, № 4. С. 30-38. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2022-3-4>
11. **Богданова Д.М., Савина Л.И., Бегунов Р.С.** Ориентация моновосстановления динитропроизводных бензофенона // *От химии к технологии шаг за шагом*. 2023. Т. 4, № 1. С. 43-50. URL: <http://che-mintech.ru/index.php/tor/2023>
12. **Chen Y.F., Chen J., Lin L.J., Chuang G.J.** Synthesis of azoxybenzenes by reductive dimerization of nitrosobenzene // *J. Org. Chem.* 2017. Vol. 82, no. 21. P. 11626-11630. DOI: 10.1021/acs.joc.7b01887.
13. **Yang F., Wang Z., Zhang X., Jiang L., Li Y., Wang L.** A green chemoenzymatic process for the synthesis of azoxybenzenes // *ChemCatChem*. 2015. Vol. 7, no. 21. P. 3450-3453. DOI: 10.1002/cctc.201500720/.

Поступила в редакцию 14.02.2024

Одобрена после рецензирования 28.02.2024

Принята к опубликованию 12.03.2024