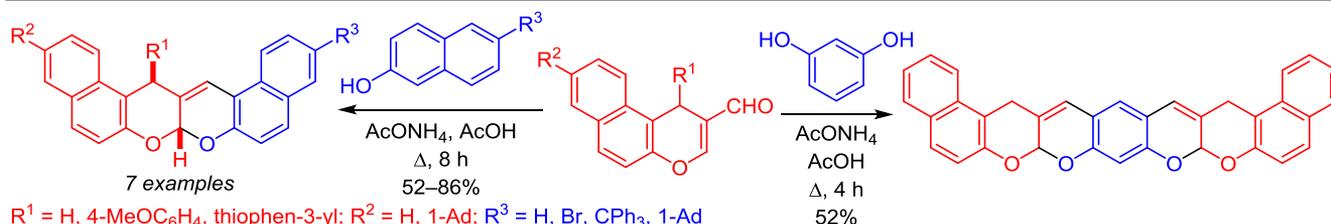


Окса-[3+3]-аннелирование 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегидов и 2-нафтолов: синтез 7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хроменов

Ирина А. Семенова¹, Виталий А. Осянин^{1*}, Дмитрий В. Осипов¹, Юрий Н. Климочкин¹

¹ Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, Самара 443100, Россия; e-mail: VOsyenin@mail.ru

Поступило 13.05.2021
Принято 9.06.2021



R¹ = H, 4-MeOC₆H₄, thiophen-3-yl; R² = H, 1-Ad; R³ = H, Br, CPh₃, 1-Ad

Разработан метод получения поликонденсированных хромено[2,3-*b*]хроменов, основанный на реакции формального [3+3]-циклоприсоединения между 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегидами и 2-нафтолами. В случае резорцина выделен продукт бис-аннелирования с участием обеих гидроксильных групп.

Ключевые слова: 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегиды, 2-нафтолы, хромено[2,3-*b*]хромены, формальное [3+3]-циклоприсоединение, электроциклизация.

Интерес к разработке методов получения хромено[2,3-*b*]хроменов обусловлен в первую очередь присутствием данного структурного фрагмента в составе многих соединений растительного происхождения, обладающих противоопухолевой,¹ антиплазмодийной,² нейропротекторной,³ противовоспалительной⁴ и другими видами биологической активности. В качестве примеров можно привести выделенные из растений рода *Morus* ингибитор α -глюкозидазы юнаненсин А,⁵ природный антиоксидант монголицин В,⁶ ингибитор фосфодиэстеразы I мезозиджин А,⁷ а также мулберрофуран F,⁸ проявляющий антибактериальную активность в отношении устойчивых к ванкомицину энтерококков (рис. 1).

Одним из наиболее распространенных способов получения хромено[2,3-*b*]хроменов является [4+2]-циклоприсоединение с участием генерируемых *in situ* *o*-хинонметидов⁹ и различных диенофилов, в том числе α -хлоракрилонитрила,¹⁰ 4*H*-хроменов,¹¹ 1,1-бис(морфолино)этилена,¹² а также димеризация 2*H*-хроменов.^{13,14} Известен синтез производных хромено[2,3-*b*]хромена на основе салициловых альдегидов и кетонов¹⁵ или хромонов.¹⁶ Кроме того, описано два примера получения хромено[2,3-*b*]хроменов в результате перегруппировки Кляйзена 2-(арилоксиметил)-1*H*-бензо[*f*]хромонов, которые, в свою очередь, синтезированы из

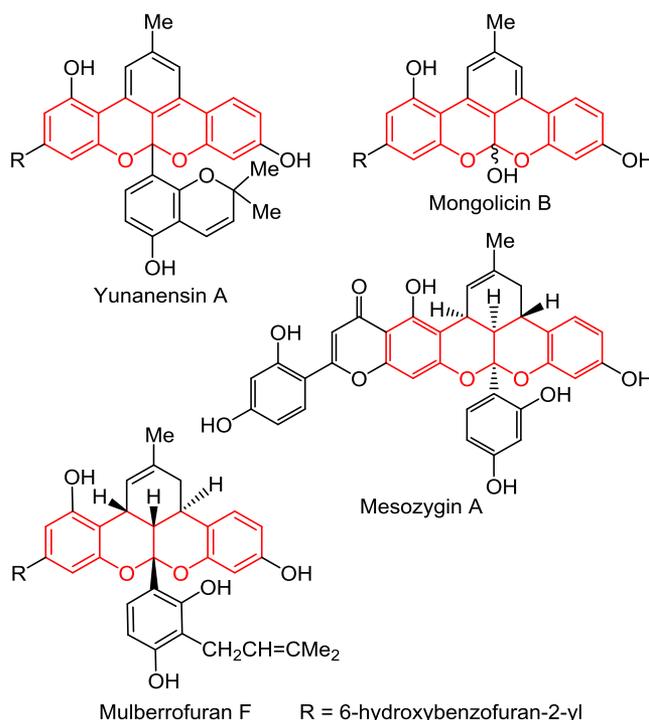
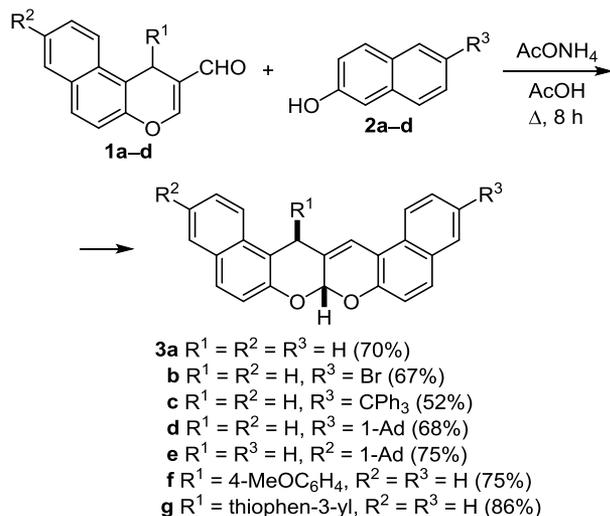


Рисунок 1. Биологически активные хромено[2,3-*b*]хромены природного происхождения.

1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегида в три стадии.¹⁷ При этом сама перегруппировка протекает в достаточно жестких условиях при длительном кипячении в *N,N*-диэтиланилине.

В настоящей работе предложен одностадийный способ получения поликонденсированных 7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хроменов **3a–g** из 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегидов **1a–d** и 2-нафтолов **2a–d** (схема 1). Реакции проводили при нагревании эквимолярной смеси исходных соединений **1** и **2** в кипящей AcOH в течение 8 ч в присутствии AcONH_4 . При этом выходы 7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хроменов **3a–g** варьировались от 52 до 86%. На примере взаимодействия 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегида **1a** с незамещенным 2-нафтолом **2a** было установлено, что наилучший выход продукта **3a** (70%) достигается при использовании 2 экв. AcONH_4 . В присутствии 1.5 экв. AcONH_4 время реакции увеличивается до 20 ч и выход хромено[2,3-*b*]хромена **3a** составляет 62%. В отсутствие AcONH_4 реакция не протекает. Использование *p*-TsOH вместо AcONH_4 привело лишь к осмолению реакционной смеси. Следует отметить, что в случае 1-замещенных альдегидов **1c,d** реакция протекает диастереоселективно с образованием *транс*-изомеров **3f,g**.

Схема 1



По всей видимости, присутствие AcONH_4 необходимо для активации карбонильной группы альдегида за счет его превращения в более электрофильную иминиевую соль. Последующая нуклеофильная атака нафтолом и дезаминирование приводят к генерированию высокорекционноспособного 1,2-нафтохинон-1-метида **A**, который подвергается дисротаторной окса-6π-электроциклизации (схема 2).

В реакции альдегида **1a** с резорцином (в соотношении 2:1) в присутствии AcONH_4 (2 экв.) был выделен продукт симметричного строения **4** с выходом 52% (схема 3). Введение в данное превращение флороглюцина привело к сложной смеси неидентифицированных соединений, а реакции с менее нуклеофильными гидрохиноном, пирокатехином и одно-

Схема 2

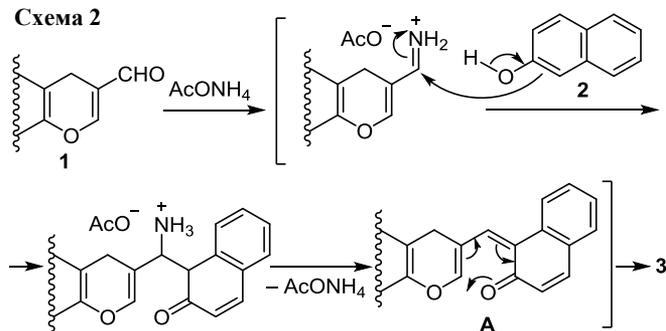
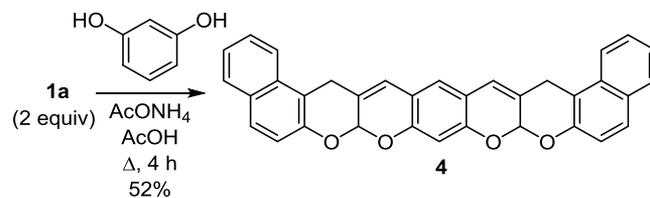


Схема 3



атомными фенолами (4-*tert*-бутил-, 2-метокси- и 3,5-диметилфенолами) не протекали.

В спектрах ЯМР ^1H соединений **3a–e** диастереотопные метиленовые протоны проявляются в виде двух отдельных дублетов в интервалах 4.02–4.06 и 4.17–4.19 м. д. с КССВ 17.9–18.1 Гц. Для спектров соединений **3f,g** характерным является сигнал протона 15-CH в виде синглета при 5.63–5.73 м. д. Сигнал ацетального протона 7*a*-CH в спектрах хроменохроменов **3a–g** обнаруживается в области 6.65–6.79 м. д. В спектрах ЯМР ^{13}C метиленовый (продукты **3a–e**, **4**) и ацетальный (продукты **3a–g**, **4**) атомы углерода резонируют соответственно в интервалах 30.6–31.4 и 93.3–96.1 м. д. На основании установленной конфигурации ранее полученных тioxромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-онов,¹⁸ а также отсутствия в спектрах NOESY соединений **3f,g** кросс-пиков, отвечающих взаимодействию протонов 7*a*-CH и 15-CH, им было приписано *транс*-расположение по отношению друг к другу.

Таким образом, нами разработан способ получения 7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хроменов, основанный на гетеро-домино-реакции, включающей электрофильное замещение в 2-нафтолах и окса-6π-электроциклизацию с участием генерируемых *in situ* 1,2-нафтохинон-1-метилов.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C (400 и 100 МГц соответственно), DEPT-135 зарегистрированы на спектрометре JEOL JNM-ECX400 в $\text{DMCO-}d_6$ (соединения **3b,c,f,g** и **4**) или CDCl_3 (соединения **3a,d,e**), внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителя ($\text{DMCO-}d_6$: 2.50 м. д. для ядер ^1H и 39.5 м. д. для ядер ^{13}C ; CDCl_3 : 7.26 м. д. для ядер ^1H и 77.0 м. д. для ядер ^{13}C). Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе EuroVector EA-3000. Температуры плавления определены капиллярным методом на приборе SRS OptiMelt MPA100. Контроль за ходом реакций и чистотой

той полученных соединений осуществлен методом ТСХ на пластинах Merck Silica gel 60 F₂₅₄, элюент СНСl₃, проявление в УФ свете и парах I₂.

Исходные 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегиды **1a–d** получены по известным методикам.^{18,19}

Получение 7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хроменов 3a–g (общая методика). Смесь 1 ммоль 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегида **1a–d**, 1 ммоль 2-нафтола **2a–d** и 155 мг (2 ммоль) АсОНН₄ в 5 мл АсОН кипятят в течение 8 ч. После охлаждения до комнатной температуры выпавший осадок отфильтровывают, промывают 2 мл ледяного МеОН и перекристаллизовывают из АсОН.

7*aH*,15*H*-Бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3a). Выход 235 мг (70%), бесцветные кристаллы, т. пл. 210–211°C (т. пл. 194°C¹⁷). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 4.03 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 4.18 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 6.67 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.12 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.30 (1*H*, д, *J* = 8.7, Н Ar); 7.36–7.43 (2*H*, м, Н Ar); 7.44 (1*H*, с, 16-CH); 7.49–7.57 (2*H*, м, Н Ar); 7.67 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.73 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.78–7.84 (3*H*, м, Н Ar); 8.05 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 31.4 (CH₂); 96.0 (7*a*-CH); 111.2; 114.5; 115.7 (CH); 117.4 (CH); 119.2 (CH); 121.0 (CH); 122.0 (CH); 124.1 (CH); 124.2 (CH); 125.7; 126.9 (3CH); 128.7 (2CH); 128.8 (CH); 129.4; 129.5; 129.6 (CH); 130.0; 132.3; 148.2; 150.9. Найдено, %: С 85.60; Н 4.84. С₂₄Н₁₆О₂. Вычислено, %: С 85.69; Н 4.79.

3-Бром-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3b). Выход 280 мг (67%), бесцветные кристаллы, т. пл. 233–234°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 4.06 (1*H*, д, *J* = 17.9, CH₂); 4.19 (1*H*, д, *J* = 17.9, CH₂); 6.79 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.05 (1*H*, д, *J* = 8.7, Н Ar); 7.35 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar); 7.38–7.42 (1*H*, м, Н Ar); 7.55–7.59 (1*H*, м, Н Ar); 7.64 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar); 7.70–7.75 (2*H*, м, 16-CH, Н Ar); 7.83–7.89 (3*H*, м, Н Ar); 8.16–8.21 (2*H*, м, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 31.1 (CH₂); 95.5 (7*a*-CH); 112.0; 115.2 (CH); 115.4; 117.9; 118.8 (CH); 119.1 (CH); 122.8 (CH); 124.5 (CH); 124.6 (CH); 127.5 (CH); 127.9; 128.1; 128.9 (2CH); 129.2 (CH); 129.4; 130.3 (CH); 130.8 (CH); 131.3; 132.3; 148.2; 150.7. Найдено, %: С 69.45; Н 3.61. С₂₄Н₁₅BrO₂. Вычислено, %: С 69.41; Н 3.64.

3-Тритил-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3c). Выход 300 мг (52%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 185–186°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 4.03 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 4.18 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 6.76 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.05 (1*H*, д, *J* = 9.0, Н Ar); 7.15–7.31 (17*H*, м, Н Ar); 7.39 (1*H*, т, *J* = 7.4, Н Ar); 7.55 (1*H*, т, *J* = 7.1, Н Ar); 7.61 (1*H*, с, 16-CH); 7.65 (1*H*, д, *J* = 1.8, Н-4); 7.68 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.72 (1*H*, д, *J* = 9.0, Н Ar); 7.83 (1*H*, д, *J* = 7.8, Н Ar); 7.86 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar); 8.09 (1*H*, д, *J* = 9.0, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 31.2 (CH₂); 64.9 (СPh₃); 95.6 (7*a*-CH); 111.6; 115.4 (CH); 115.5; 117.6 (CH); 119.2 (CH); 121.3 (CH); 122.8 (CH); 124.5 (CH); 126.6 (3CH Ph); 127.5 (2CH); 127.6; 128.4 (6CH Ph); 128.8 (CH); 128.9 (2CH); 129.3; 129.4; 130.3 (CH); 131.1 (6CH Ph); 131.5 (CH); 132.4; 142.9; 146.7 (3C Ph); 148.1; 150.8. Найдено, %: С 89.31; Н 5.19. С₄₃Н₃₀О₂. Вычислено, %: С 89.25; Н 5.23.

3-(Адамантан-1-ил)-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3d). Выход 320 мг (68%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 185–186°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.76–1.84 (6*H*, м, CH₂ Ad); 2.01 (6*H*, уш. с, CH₂ Ad); 2.14 (3*H*, уш. с, CH Ad); 4.03 (1*H*, д, *J* = 17.9, CH₂); 4.17 (1*H*, д, *J* = 17.9, CH₂); 6.66 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.12 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.27 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.38–7.43 (2*H*, м, 16-CH, Н Ar); 7.53–7.57 (1*H*, м, Н Ar); 7.61 (1*H*, д, *J* = 8.9, *J* = 1.6, Н Ar); 7.65–7.68 (2*H*, м, Н Ar); 7.71 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.79 (1*H*, д, *J* = 8.2, Н Ar); 7.82 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar); 8.00 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 29.0 (3CH Ad); 31.4 (CH₂); 36.2 (C Ad); 36.9 (3CH₂ Ad); 43.2 (3CH₂ Ad); 96.1 (7*a*-CH); 111.0; 114.6; 115.8 (CH); 117.1 (CH); 119.2 (CH); 120.8 (CH); 122.0 (CH); 123.7 (CH); 124.0 (CH); 125.1 (CH); 125.4; 126.9 (CH); 127.6; 128.7 (2CH); 129.5; 129.6 (CH); 130.0; 132.3; 147.1; 147.8; 150.9. Найдено, %: С 86.82; Н 6.35. С₃₄Н₃₀О₂. Вычислено, %: С 86.78; Н 6.43.

12-(Адамантан-1-ил)-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3e). Выход 353 мг (75%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 209–210°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.77–1.85 (6*H*, м, CH₂ Ad); 2.02 (6*H*, уш. с, CH₂ Ad); 2.14 (3*H*, уш. с, CH Ad); 4.02 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 4.17 (1*H*, д, *J* = 18.1, CH₂); 6.65 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.09 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.30 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.36–7.40 (1*H*, м, Н Ar); 7.43 (1*H*, с, 16-CH); 7.49–7.53 (1*H*, м, Н Ar); 7.63–7.67 (3*H*, м, Н Ar); 7.73 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.77–7.80 (2*H*, м, Н Ar); 8.05 (1*H*, д, *J* = 8.7, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 29.0 (3CH Ad); 31.4 (CH₂); 36.2 (C Ad); 36.9 (3CH₂ Ad); 43.2 (3CH₂ Ad); 96.0 (7*a*-CH); 111.3; 114.3; 115.5 (CH); 117.4 (CH); 119.0 (CH); 121.1 (CH); 121.8 (CH); 123.8 (CH); 124.1 (CH); 125.1 (CH); 125.9; 126.9 (CH); 128.7 (2CH); 129.4; 129.5 (CH, C); 130.0; 130.4; 147.0; 148.2; 150.4. Найдено, %: С 86.85; Н 6.37. С₃₄Н₃₀О₂. Вычислено, %: С 86.78; Н 6.43.

транс-15-(4-Метоксифенил)-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3f). Выход 330 мг (75%), бесцветные кристаллы, т. пл. 243–244°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 3.65 (3*H*, с, OCH₃); 5.63 (1*H*, с, 15-CH); 6.55 (1*H*, с, 7*a*-CH); 6.84 (2*H*, д, *J* = 8.7, Н Ar); 7.15 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.20 (2*H*, д, *J* = 8.7, Н Ar); 7.24 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.29–7.33 (1*H*, м, Н Ar); 7.36–7.42 (2*H*, м, Н Ar); 7.52–7.58 (2*H*, м, Н Ar); 7.78–7.87 (4*H*, м, Н Ar); 8.02 (1*H*, с, 16-CH); 8.25 (1*H*, д, *J* = 8.5, Н Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 45.5 (15-CH); 55.6 (OCH₃); 93.3 (7*a*-CH); 111.7; 114.7 (2CH); 115.4 (CH); 116.3; 117.4 (CH); 119.2 (CH); 121.9 (CH); 123.6 (CH); 124.4 (CH); 124.9 (CH); 127.5 (CH); 127.7 (CH); 129.1 (2CH); 129.4 (2CH); 129.6; 129.7; 129.9; 130.0; 130.3 (2CH); 132.1; 134.0; 147.7; 150.8; 158.8. Найдено, %: С 84.06; Н 4.96. С₃₁Н₂₂О₃. Вычислено, %: С 84.14; Н 5.01.

транс-15-(Тиофен-3-ил)-7*aH*,15*H*-бензо[*f*]бензо[5,6]хромено[2,3-*b*]хромен (3g). Выход 360 мг (86%), бесцветные кристаллы, т. пл. 212–213°C. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 5.73 (1*H*, с, 15-CH); 6.63 (1*H*, с, 7*a*-CH); 7.04 (1*H*, уш. с, Н тиофен); 7.13 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.17 (1*H*, д, *J* = 4.8, Н тиофен); 7.26 (1*H*, д, *J* = 8.9, Н Ar); 7.31–7.35 (1*H*, м, Н Ar); 7.39–7.44 (2*H*, м, Н Ar); 7.51 (Н, д, д, *J* = 4.8, *J* = 3.0, Н тиофен); 7.55–7.59 (1*H*,

м, Н Ar); 7.62 (1H, д, $J = 8.5$, Н Ar); 7.81–7.88 (4H, м, Н Ar); 7.98 (1H, с, 16-CH); 8.23 (1H, д, $J = 8.5$, Н Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 42.1 (15-CH); 93.5 (7a-CH); 111.7; 115.9 (CH); 117.0; 117.4 (CH); 119.2 (CH); 121.9 (CH); 123.4 (2CH); 124.4 (CH); 124.9 (CH); 127.5 (2CH); 127.7 (CH); 128.2 (CH); 128.7; 129.1 (2CH); 129.6; 129.8; 130.0; 130.3 (CH); 130.4 (CH); 132.0; 143.0; 147.8; 150.3. Найдено, %: С 80.42; Н 4.31; S 7.55. $\text{C}_{28}\text{H}_{18}\text{O}_2\text{S}$. Вычислено, %: С 80.36; Н 4.34; S 7.66.

7aH, 10aH, 18H, 22H-Бензо[5,6]хромено[2,3-b]бензо-[5',6']хромено[3',2':5,6]пирано[3,2-g]хромен (4). Смесь 210 мг (1 ммоль) 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегида **1a**, 55 мг (0.5 ммоль) резорцина и 155 мг (2 ммоль) AcONH_4 в 5 мл AcOH кипятят в течение 4 ч. После охлаждения до комнатной температуры выпавший осадок отфильтровывают и перекристаллизовывают из AcOH . Выход 255 мг (52%), бесцветные кристаллы, т. пл. 303–304°C. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.93 (2H, д, $J = 18.1$, CH_2); 4.06 (2H, д, $J = 18.1$, CH_2); 6.62 (2H, с, 7a,10a-CH); 6.75 (1H, с, Н Ar); 6.80 (2H, с, 19,21-CH); 7.05 (2H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 7.08 (1H, с, Н Ar); 7.36–7.40 (2H, м, Н Ar); 7.51–7.55 (2H, м, Н Ar); 7.72 (2H, д, $J = 9.1$, Н Ar); 7.82–7.86 (4H, м, Н Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 30.6 (2 CH_2); 95.5 (7a,10a-CH); 114.1; 115.3; 119.1; 122.9; 124.5; 124.8; 125.7; 127.4; 128.9; 132.3; 150.7; 150.8. Из-за плохой растворимости в большинстве органических растворителей и низкой интенсивности сигналов атомов углерода в спектре ЯМР ^{13}C не все сигналы удается выявить. Найдено, %: С 82.51; Н 4.53. $\text{C}_{34}\text{H}_{22}\text{O}_4$. Вычислено, %: С 82.58; Н 4.48.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 19-13-00421) с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования "Исследование физико-химических свойств веществ и материалов" Самарского государственного технического университета.

Список литературы

1. (a) Kikuchi, T.; Nihei, M.; Nagai, H.; Fukushi, H.; Tabata, K.; Suzuki, T.; Akihisa, T. *Chem. Pharm. Bull.* **2010**, 58, 568.
- (b) Abdel Bar, F. M.; Abbas, G. M.; Gohar, A. A.;

- Lahloub, M.-F. I. *Nat. Prod. Res.* **2020**, 34, 3506. (c) Ni, G.; Zhang, Q.-J.; Wang, Y.-H.; Chen, R.-Y.; Zheng, Z.-F.; Yu, D.-Q. *J. Asian Nat. Prod. Res.* **2010**, 12, 505.
2. Devakaram, R.; Black, D. StC.; Choomuenwai, V.; Davis, R. A.; Kumar, N. *Bioorg. Med. Chem.* **2012**, 20, 1527.
3. Paudel, P.; Park, S. E.; Seong, S. H.; Jung, H. A.; Choi, J. S. *Int. J. Mol. Sci.* **2019**, 20, 6232.
4. Shim, S.-Y.; Sung, S. H.; Lee, M. *Int. Immunopharmacol.* **2018**, 58, 117.
5. Ha, M. T.; Seong, S. H.; Nguyen, T. D.; Cho, W.-K.; Ah, K. J.; Ma, J. Y.; Woo, M. H.; Choi, J. S.; Min, B. S. *Phytochemistry* **2018**, 155, 114.
6. Kang, J.; Chen, R.-Y.; Yu, D.-Q. *Planta Med.* **2006**, 72, 52.
7. Fozing, C. D. A.; Ali, Z.; Ngadjui, B. T.; Choudhary, M. I.; Kapche, G. D. W. F.; Abegaz, B. M.; Khan, I. A. *Planta Med.* **2012**, 78, 154.
8. Fukai, T.; Oku, Y.; Hano, Y.; Terada, S. *Planta Med.* **2004**, 70, 685.
9. Osyanin, V. A.; Lukashenko, A. V.; Osipov, D. V. *Russ. Chem. Rev.* **2021**, 90, 324. [*Успехи химии* **2021**, 90, 324.]
10. Balasubramanian, K. K.; Selvaraj, S. *J. Org. Chem.* **1980**, 45, 3726.
11. Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Borisov, D. D.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2013**, 49, 683. [Химия гетероцикл. соединений **2013**, 732.]
12. Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Demidov, M. R.; Krasnikov, P. E.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 1310. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 1310.]
13. Luan, Y.; Sun, H.; Schaus, S. E. *Org. Lett.* **2011**, 13, 6480.
14. Devakaram, R.; Black, D. StC.; Kumar, N. *Tetrahedron Lett.* **2010**, 51, 3636.
15. Wang, F.; Qu, M.; Lu, X.; Chen, F.; Chen, F.; Shi, M. *Chem. Commun.* **2012**, 48, 6259.
16. Sosnovskikh, V. Ya.; Korotaev, V. Yu.; Chizhov, D. L.; Kutyashev, I. B.; Yachevskii, D. S.; Kazheva, O. N.; Dyachenko, O. A.; Charushin, V. N. *J. Org. Chem.* **2006**, 71, 4538.
17. Selvaraj, S.; Sanjeevi Babu, K. G.; Balasubramanian, K. K.; Rajagapolan, K. *Tetrahedron Lett.* **1983**, 24, 2509.
18. Semenova, I. A.; Osipov, D. V.; Popova, Yu. V.; Osyanin, V. A.; Demidov, O. P.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2020**, 56, 1218. [Химия гетероцикл. соединений **2020**, 56, 1218.]
19. Lukashenko, A. V.; Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 711. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, 52, 711.]