

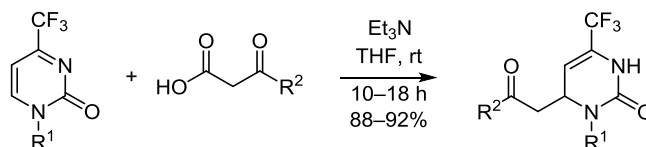
Присоединение β-кетокислот к 4-(трифторметил)пиримидин-2(1H)-онам с декарбоксилированием: эффективный метод синтеза 4-(2-оксоалкил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-онов

Виктор М. Ткачук^{1*}, Сергей В. Мельников¹, Владимир А. Сукач^{1,2}, Михаил В. Вовк¹

¹ Институт органической химии НАН Украины,
ул. Мурманская, 5, Киев 02094, Украина; e-mail: tkachukviktor@i.ua

² НПП "Енамин",
ул. Красноткацкая, 78, Киев 02094, Украина; e-mail: vsukach@gmail.com

Поступило 29.05.2017
Принято 24.06.2017



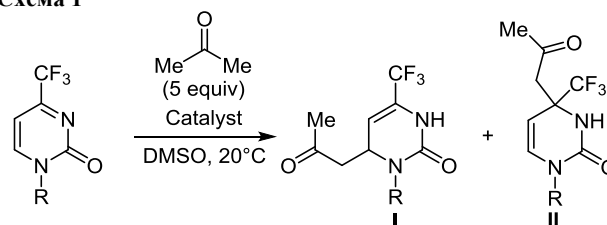
β-Кетокислоты реагируют с 4-(трифторметил)пиримидин-2(1H)-онами по схеме присоединение–декарбоксилирование по Михаэлю с образованием 4-(2-оксоалкил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-онов.

Ключевые слова: β-кетокислоты, 4-(2-оксоалкил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-оны, 4-(трифторметил)-пиримидин-2(1H)-оны, присоединение по Михаэлю.

В последние годы наблюдается значительное расширение сферы применения β-кетокислот в качестве синтетических эквивалентов кетонов в реакции Михаэля с разнообразными электрофильными субстратами. Несмотря на нестабильность β-кетокислот к нагреванию, действию кислот и оснований,^{1–3} они тем не менее склонны с высокой регио- и стереоселективностью образовывать углерод-углеродные связи за счет присоединения к электронодефицитным алкенам. В такие каталитические диастereo- и энантиоселективные превращения вовлекались нитроалкены,^{4,5} дициано- и дисульфониалкены,⁶ α,β-ненасыщенные кетоны,⁷ изатилиденмалонитрилы.^{8,9} Однако синтетический потенциал гетероциклов с эндоциклической связью C=C в реакции Михаэля с β-кетокислотами к настоящему времени остается неисследованным.

Ранее¹⁰ мы показали, что органокаталитическая реакция 4-(трифторметил)пиримидин-2-она с избытком ацетона реализуется по двум электрофильным центрам с образованием смеси региоизомерных продуктов присоединения по Михаэлю (соединение I) и Манниху (соединение II) (схема 1), соотношение которых контролируется как типом органокатализатора, так и временем протекания процесса. Также было установлено, что другие типы метилалкил(арил)кетонов не подвергаются подобному превращению.¹⁰ Поэтому для региоселективного введения ацил(ароил)метильных

Схема 1

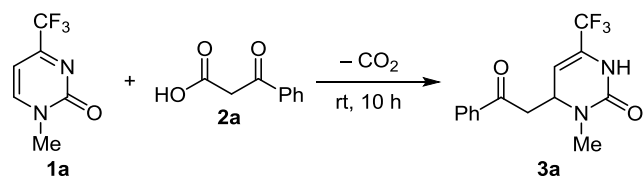


групп в пиримидиновый цикл представлялось целесообразным применить реакцию присоединения β-кетокислот к 4-(трифторметил)пиримидинонам.

4-Трифторметилсодержащие пиримидоны^{11,12} являются оригинальными циклическими винилацилиминными структурами с тремя электрофильными центрами, в которых атомы углерода в положениях 4 и 6 могут быть местами атаки енольной формы кетокислоты¹³ или же енола кетона, образующегося в процессе декарбоксилирования кетокислоты под действием третичных аминов.⁷

На примере модельной реакции пиримидинона 1a с бензоилуксусной кислотой 2a методом спектроскопии ЯМР ¹⁹F было определено влияние условий протекания реакции на процентное содержание в реакционной смеси продукта присоединения по Михаэлю – 3-метил-4-(2-оксо-2-фенилэтил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-она (3a) (схема 2). Для выбора оптималь-

Схема 2

Таблица 1. Оптимизация условий реакции пиримидинона **1a** с бензоилуксусной кислотой **2a**

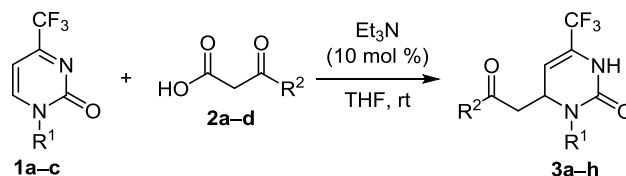
Опыт	Растворитель	Катализатор (моль. %)	Кислота, экв.	T , °C	Содержание 3a , %
1	PhMe	Et ₃ N (10)	2	20	<20
2	MeCN	Et ₃ N (10)	2	20	39
3	DMCO	Et ₃ N (10)	2	20	41
4	CH ₂ Cl ₂	Et ₃ N (10)	2	20	50
5	EtOAc	Et ₃ N (10)	2	20	72
6	ТГФ	Et ₃ N (10)	2	20	79
7	ТГФ	–	2	20	0
8	ТГФ	Et ₃ N (50)	2	20	71
9	ТГФ	Et ₃ N (100)	2	20	70
10	ТГФ	(<i>i</i> -Pr) ₂ EtN (10)	2	20	47
11	ТГФ	Py (10)	2	20	16
12	ТГФ	DBU (10)	2	20	34
13	ТГФ	DABCO (10)	2	20	54
14	ТГФ	Et ₃ N (10)	3	20	93
15	ТГФ	Et ₃ N (10)	3	40	48
16	ТГФ	Et ₃ N (10)	3	60	42
17	ТГФ	Et ₃ N (10)	4.5	20	100

ных условий был проведен поиск катализаторов, растворителей, температуры и количества β-кетокислоты (табл. 1) при выдержке реакционной смеси в течение 10 ч.

При соотношении реагентов пиримидинон–кислота 1:2 наиболее приемлемыми представляются результаты, полученные при проведении реакции в ТГФ при использовании 10 моль. % NEt₃ в качестве катализатора (опыт 6). В отсутствие последнего реакция не протекает, а при увеличении его содержания до эквимолярного количества образование целевого продукта снижается до 70% (опыт 9). Увеличение количества кислоты до 3 экв. приводит к выходу продукта **3a** 93% (опыт 14). Однако при повышении температуры наблюдается уменьшение конверсии до 42% (опыт 16), что связано с нестабильностью самой кислоты и протеканием побочной реакции декарбоксилирования. Полного превращения субстрата **1a** в целевой продукт **3a** удается достичь при комнатной температуре только в присутствии 4.5-кратного избытка кислоты **2a** (опыт 17).

Найденные оптимальные условия синтеза соединений **3a** были экстраполированы на реакции 4-CF₃-пиримидинов **1a–c** с β-кетокислотами **2a–d** (схема 3, табл. 2). Установлено, что в аналогичных каталитических условиях структура соответствующей кислоты влияет на ее необходимое количество и время протекания

Схема 3

Таблица 2. Условия синтеза и выходы соединений **3a–h**

Соединение	R ¹	R ²	Кислота, экв.	Время, ч	Выход, %
3a	Me	Ph	4.5	10	90
3b	Me	Me	7.0	14	90
3c	Me	Et	5.5	14	92
3d	Me	<i>i</i> -Pr	5.5	16	88
3e	Et	Et	5.5	14	91
3f	Et	Ph	4.5	16	90
3g	4-MeOC ₆ H ₄ CH ₂	<i>i</i> -Pr	5.5	18	92
3h	4-MeOC ₆ H ₄ CH ₂	Ph	4.5	18	92

реакции для получения целевых продуктов **3a–h** с выходами 88–92%.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения β-кетокислот в качестве синтетических эквивалентов кетонов в реакции присоединения по Михаэлю к пиримидиновым системам с активированной эндоциклической связью C=C. Такое превращение позволяет избежать конкурирующего присоединения по Манниху. Наиболее вероятно, что высокая региоселективность реакции обусловлена ее протеканием по схеме присоединение–декарбоксилирование.¹⁴ При этом первая обратимая стадия присоединения является кинетически контролируемой и поэтому приводит исключительно к интермедиату Михаэля,¹⁰ который быстро и необратимо декарбоксилируется в конечный продукт. Особенностью найденной реакции, как и в случае других C-нуклеофилов,^{10,15,16} является то, что на стадии присоединения протонирование реализуется не по атому C-5, а по атому N-1 исходного пиримидинового цикла. Этот факт подтверждается наличием в спектрах ЯМР ¹H синтезированных соединений дублетных сигналов протонов 5-CH в диапазоне 5.43–5.64 м. д. и уширенных синглетов протонов NH в диапазоне 7.11–7.65 м. д., а в спектрах ЯМР ¹³C – наличием в интервале 102.4–103.8 м. д. сигналов атомов C-5 в виде квартетов за счет расщепления на атомах фтора группы CF₃.

Таким образом, нами найдены условия селективного присоединения β-кетокислот к 4-(трифторметил)-пиримидин-2(1H)-онам по Михаэлю и разработан эффективный метод синтеза 4-(2-оксоалкил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-онов.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на приборе Bruker Vertex 70 в таблетках KBr. Спектры ЯМР ¹H и ¹³C записаны на спектрометре Varian VXR-400 (400 и

125 МГц соответственно) в импульсном фурье-режиме в CDCl_3 . Спектры ЯМР ^{19}F зарегистрированы на спектрометре Varian Mercury-400 (376.5 МГц) в CDCl_3 , внутренний стандарт C_6F_6 ($\delta_{\text{F}} -162.9$ м. д. относительно CFCl_3). Масс-спектры записаны на приборе Agilent LC/MSD SL, колонка Zorbax SB-C18, 4.6×15 мм, 1.8 мкм (PN 82(c)75-932), растворитель ДМСО, ионизация электро-распылением при атмосферном давлении (70 эВ). Элементный анализ выполнен на приборе PerkinElmer CHN-Analyzer серии 2400 в аналитической лаборатории Института органической химии НАН Украины. Температуры плавления определены на столике Кофлера и не исправлены. Пиримидиноны **1a–c** синтезированы по методу,¹¹ кетоислоты **2a–d** – по методу.²

4-(2-Оксоалкил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2-оны 3a–h (общая методика). К раствору 1 ммоль 4-(трифторметил)пиримидин-2-она **1a–c** и 0.014 мл (0.1 ммоль) Et_3N в 2 мл ТГФ при перемешивании добавляют 4.5–7.0 ммоль соответствующей β -кетоислоты **2a–d** (табл. 2) и перемешивают при комнатной температуре в течение 10–18 ч (табл. 2). Растворитель упаривают, остаток растворяют в 10 мл CH_2Cl_2 , промывают 10% раствором HCl (2×5 мл), органический слой сушат над Na_2SO_4 , упаривают и кристаллизуют из гексана.

3-Метил-4-(2-оксо-2-фенилэтил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3a). Выход 268 мг (90%), белый порошок, т. пл. 122–124 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1672 (C=O), 1683 (C=O), 3112 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.98 (3H, с, 3- CH_3); 3.30 (1H, д, д, $^2J = 17.2$, $^3J = 8.8$, CH_2CH); 3.42 (1H, д, д, $^2J = 17.8$, $^3J = 3.4$, CH_2CH); 4.60–4.71 (1H, м, 4-CH); 5.58 (1H, д, $^3J = 2.8$, 5-CH); 7.49 (2H, т, $^3J = 7.8$, H Ph); 7.60 (1H, т, $^3J = 7.2$, H Ph); 7.84 (1H, уш. с, NH); 7.93 (2H, д, $^3J = 7.6$, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 33.2; 42.5; 54.3; 102.8 (кв, $^3J_{\text{CF}} = 5.0$, C-5); 119.7 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 271.0$, CF_3); 128.0 (кв, $^2J_{\text{CF}} = 36.0$, C-6); 128.1; 128.8; 133.8; 136.3; 153.8 (C-2); 196.9 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.7 (CF_3). Масс-спектр, m/z : 179 $[\text{M}+\text{H}-\text{Ph}(\text{C}=\text{O})\text{Me}]^+$. Найдено, %: C 56.46; H 4.35; N 9.34. $\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 56.38; H 4.39; N 9.39.

3-Метил-4-(2-оксопропил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3b). Выход 210 мг (90%), белый порошок, т. пл. 133–134 °С (т. пл. 134–135 °С¹⁰). Спектральные характеристики соответствуют литературным.¹⁰

3-Метил-4-(2-оксобутил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3c). Выход 230 мг (92%), белый порошок, т. пл. 136–138 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1700 (C=O), 1703 (C=O), 3109 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.05 (3H, т, $^3J = 7.2$, CH_3CH_2); 2.34–2.53 (2H, м, CH_3CH_2); 2.71 (1H, д, д, $^2J = 17.0$, $^3J = 9.0$, CH_2CH); 2.83–2.95 (4H, м, CH_2CH , 3- CH_3); 4.40–4.48 (1H, м, 4-CH); 5.45 (1H, д, $^3J = 4.0$, 5-CH); 7.65 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 7.5; 33.0; 36.9; 45.9; 53.8; 102.4 (кв, $^3J_{\text{CF}} = 4.4$, C-5); 119.6 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 271.3$, CF_3); 128.0 (кв, $^2J_{\text{CF}} = 36.3$, C-6); 153.5 (C-2); 208.3 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.8 (CF_3). Масс-спектр, m/z : 251 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 179 $[\text{M}+\text{H}-\text{Et}(\text{C}=\text{O})\text{Me}]^+$.

Найдено, %: C 48.09; H 5.20; N 11.24. $\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 48.00; H 5.24; N 11.20.

3-Метил-4-(3-метил-2-оксобутил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3d). Выход 232 мг (88%), белый порошок, т. пл. 108–110 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1706 (C=O), 1711 (C=O), 3115 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.05–1.15 (6H, м, 2 CH_3); 2.50–2.62 (1H, м, $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$); 2.75 (1H, д, д, $^2J = 17.0$, $^3J = 9.0$, CH_2CH); 2.85–2.95 (4H, м, CH_2CH , 3- CH_3); 4.40–4.50 (1H, м, 4-CH); 5.43 (1H, д, $^3J = 3.2$, 5-CH); 7.65 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 17.8 (2 CH_3); 33.1; 41.6; 43.9; 53.9; 102.5 (кв, $^3J_{\text{CF}} = 4.4$, C-5); 119.6 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 271.3$, CF_3); 128.0 (кв, $^2J_{\text{CF}} = 36.3$, C-6); 153.5 (C-2); 211.6 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.8 (CF_3). Масс-спектр, m/z : 265 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 179 $[\text{M}+\text{H}-i\text{-Pr}(\text{C}=\text{O})\text{Me}]^+$. Найдено, %: C 49.92; H 5.71; N 10.65. $\text{C}_{11}\text{H}_{15}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 50.00; H 5.72; N 10.60.

3-Этил-4-(2-оксобутил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3e). Выход 240 мг (91%), белый порошок, т. пл. 98–100 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1703 (C=O), 1705 (C=O), 3113 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.06 (3H, т, $^3J = 7.2$, CH_3CH_2); 1.16 (3H, т, $^3J = 7.2$, CH_3CH_2); 2.32–2.52 (2H, м, CH_3CH_2); 2.70–2.85 (2H, м, CH_2CH); 2.85–2.97 (1H, м, CH_2N); 3.71–3.84 (1H, м, CH_2N); 4.43–4.53 (1H, м, 4-CH); 5.48 (1H, д, $^3J = 4.4$, 5-CH); 7.62 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 7.5; 13.1; 36.9; 40.3; 46.8; 51.1; 102.8 (кв, $^3J_{\text{CF}} = 4.4$, C-5); 119.7 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 271.3$, CF_3); 128.1 (кв, $^2J_{\text{CF}} = 36.3$, C-6); 153.3 (C-2); 208.4 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.8 (CF_3). Масс-спектр, m/z : 265 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 193 $[\text{M}+\text{H}-\text{Et}(\text{C}=\text{O})\text{Me}]^+$. Найдено, %: C 50.07; H 5.70; N 10.67. $\text{C}_{11}\text{H}_{15}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 50.00; H 5.72; N 10.60.

3-Этил-4-(2-оксо-2-фенилэтил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3f). Выход 280 мг (90%), белый порошок, т. пл. 132–134 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1673 (C=O), 1681 (C=O), 3113 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.21 (3H, т, $^3J = 7.2$, CH_3CH_2); 2.93–3.04 (1H, м, CH_2N); 3.29–3.43 (2H, м, CH_2CH); 3.81–3.91 (1H, м, CH_2N); 4.65–4.73 (1H, м, 4-CH); 5.64 (1H, д, $^3J = 4.4$, 5-CH); 7.11 (1H, уш. с, NH); 7.49 (2H, т, $^3J = 7.6$, H Ph); 7.61 (1H, т, $^3J = 7.6$, H Ph); 7.94 (2H, д, $^3J = 7.2$, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 13.2; 40.4; 43.4; 51.5; 103.3 (кв, $^3J_{\text{CF}} = 4.4$, C-5); 119.7 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 271.3$, CF_3); 128.1; 128.2 (кв, $^2J_{\text{CF}} = 36.3$, C-6); 128.8; 133.8; 136.3; 153.4 (C-2); 197.0 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.7 (CF_3). Масс-спектр, m/z : 193 $[\text{M}+\text{H}-\text{Ph}(\text{C}=\text{O})\text{Me}]^+$. Найдено, %: C 57.75; H 4.80; N 9.03. $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{F}_3\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 57.69; H 4.84; N 8.97.

4-(3-Метил-2-оксобутил)-3-(4-метоксибензил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3g). Выход 340 мг (92%), белый порошок, т. пл. 87–89 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1712 (C=O), 1715 (C=O), 3114 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.04 (6H, д, $^3J = 6.0$, 2 CH_3); 2.40–2.52 (1H, м, $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$); 2.67–2.80 (2H, м, CH_2CH); 3.80 (3H, с, OCH_3); 4.14 (1H, д, $^2J = 13.6$, CH_2N); 4.38–4.47 (1H, м, 4-CH); 4.84 (1H, д, $^2J = 13.6$, CH_2N); 5.43 (1H, д, $^3J = 2.4$, 5-CH); 6.86 (2H, д, $^3J = 7.6$, H Ar); 7.23 (2H, д, $^3J = 8.4$, H Ar); 7.39 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 17.8 (2 CH_3); 41.4; 44.3;

48.2; 50.8; 55.3; 103.5 (кв, $^3J_{CF} = 4.4$, C-5); 114.2; 119.7 (кв, $^1J_{CF} = 271.3$, CF₃); 128.0 (кв, $^2J_{CF} = 36.3$, C-6); 128.9; 129.5; 153.7 (C-2); 159.3; 211.6 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.7 (CF₃). Масс-спектр, m/z : 283 [M-*i*-Pr(C=O)Me]⁻. Найдено, %: C 58.42; H 5.71; N 7.65. C₁₈H₂₁F₃N₂O₃. Вычислено, %: C 58.37; H 5.72; N 7.56.

3-(4-Метоксibenзил)-4-(2-оксо-2-фенилэтил)-6-(трифторметил)-3,4-дигидропиримидин-2(1H)-он (3h). Выход 370 мг (92%), белый порошок, т. пл. 117–119 °С. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1683 (C=O), 1685 (C=O), 3112 (NH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 3.29 (2H, д, $^3J = 5.6$, CH₂CH); 3.78 (3H, с, OCH₃); 4.17 (1H, д, $^2J = 14.0$, CH₂N); 4.57–4.67 (1H, м, 4-CH); 4.95 (1H, д, $^2J = 14.0$, CH₂N); 5.58 (1H, д, $^3J = 2.4$, 5-CH); 6.85 (2H, д, $^3J = 8.0$, H Ar); 7.24 (2H, д, $^3J = 7.6$, H Ar), 7.46 (2H, т, $^3J = 7.2$, H Ph); 7.58 (2H, уш. с, H Ph, NH); 7.85 (2H, д, $^3J = 8.0$, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (*J*, Гц): 42.9; 48.2; 51.2; 55.3; 103.8 (кв, $^3J_{CF} = 4.4$, C-5); 114.3; 119.7 (кв, $^1J_{CF} = 271.3$, CF₃); 128.0 (кв, $^2J_{CF} = 36.3$, C-6); 128.0; 128.7; 128.8; 129.5; 133.7; 136.3; 153.6 (C-2); 159.4; 196.8 (C=O). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: -71.6 (CF₃). Масс-спектр, m/z : 285 [M+H-Ph(C=O)Me]⁺. Найдено, %: C 62.30; H 4.76; N 6.98. C₂₁H₁₉F₃N₂O₃. Вычислено, %: C 62.37; H 4.74; N 6.93.

Список литературы

1. Hay, R. W.; Bond, M. A. *Austr. J. Chem.* **1967**, 20, 1823.
2. Grayson, D. H.; Tuite, M. R. *J. J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1986**, 2137.
3. Kourouli, T.; Kefalas, P.; Ragoussis, N.; Ragoussis, V. *J. Org. Chem.* **2002**, 67, 4615.
4. Evans, D. A.; Mito S.; Seidel, D. *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129, 11583.
5. Moon, H. W.; Kim, D. Y. *Tetrahedron Lett.* **2012**, 53, 6569.
6. Wei, Y.; Guo, R.; Dang, Y.; Nie, J.; Ma, J.-A. *Adv. Synth. Catal.* **2016**, 358, 2721.
7. Kang, Y. K.; Lee, H. J.; Moon, H. W.; Kim, D. Y. *RSC Adv.* **2013**, 3, 1332.
8. Guo, Y.-L.; Li, Y.-H.; Chang, H.-H.; Kuo, T.-S.; Han, J.-L. *RSC Adv.* **2016**, 6, 74683.
9. Kaur, J.; Kumari, A.; Chimni, S. S. *Tetrahedron* **2017**, 73, 802.
10. Sukach, V. A.; Tkachuk, V. M.; Shoba, V. M.; Pirozhenko, V. V.; Rusanov, E. B.; Chekotilo, A. A.; Rösenthaller, G.-V.; Vovk, M. V. *Eur. J. Org. Chem.* **2014**, 7, 1452.
11. Zanatta, N.; Faoro, D.; Fernandes, L. S.; Brondani, P. B.; Flores, D. C.; Flores, A. F. C.; Bonacorso, H. G.; Martins, M. A. P. *Eur. J. Org. Chem.* **2008**, 34, 5832.
12. Gerus, I. I.; Vdovenko, S. I.; Gorbunova, M. G.; Kukhar, V. P. *Chem. Heterocycl. Compd.* **1991**, 27, 398. [*Химия гетероцикл. соединений* **1991**, 502.]
13. Yuan, H.-N.; Wang, S.; Nie, J.; Meng, W.; Yao, Q.; Ma, J.-A. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2013**, 52, 3869.
14. Blaquiere, N.; Shore, D. G.; Rousseaux, S.; Fagnou, K. *J. Org. Chem.* **2009**, 74, 6190.
15. Tkachuk, V. M.; Sukach, V. A.; Kovalchuk, K. V.; Vovk, M. V.; Nenajdenko, V. G. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, 13, 1420.
16. Sukach, V. A.; Resetnic, A. A.; Tkachuk, V. M.; Lin, Z.; Kortz, U.; Vovk, M. V.; Rösenthaller, G.-V. *Eur. J. Org. Chem.* **2015**, 6, 1290.