

三组分一锅法合成 3,4-二氢喹唑啉衍生物

赵 龙 阳茂林 陈皓冉 丁明武*

(华中师范大学 农药与化学生物学教育部重点实验室 武汉 430079)

摘要 提出了一种通过偶氮二甲酸二乙酯(DEAD)促进的氧化 Ugi/氮杂 Wittig 反应合成 3,4-二氢喹唑啉的新方法. 该方法应用膦亚胺 **5** 与 *N*-芳基-1,2,3,4-四氢异喹啉 **6** 和羧酸 **7** 在 DEAD 存在下发生串联氧化型 Ugi/氮杂 Wittig 反应, 以中等到良好的产率生成 3-(四氢异喹啉-1-甲酰基)取代的 3,4-二氢喹唑啉 **8**.

关键词 3,4-二氢喹唑啉; 膦亚胺; 异腈; 氧化型 Ugi 反应; 氮杂 Wittig 反应

One-Pot Three-Component Synthesis of 3,4-Dihydroquinazoline Derivatives

Zhao, Long Yang, Maolin Chen, Haoran Ding, Mingwu*

(Key Laboratory of Pesticide & Chemical Biology of Ministry of Education, Central China Normal University, Wuhan 430079)

Abstract A new one-pot synthesis of 3,4-dihydroquinazolines by diethyl azodicarboxylate (DEAD)-promoted oxidative Ugi/aza-Wittig reaction was developed. The reactions of iminophosphoranes **5**, *N*-aryl-1,2,3,4-tetrahydroisoquinolines **6** and acids **7** produced 3-(tetrahydroisoquinolin-1-formyl) substituted 3,4-dihydroquinazolines **8** in moderate to good yields in the presence of DEAD by tandem oxidative Ugi/aza-Wittig reaction.

Keywords 3,4-dihydroquinazoline-one; iminophosphorane; isocyanide; oxidative Ugi reaction; aza-Wittig reaction

3,4-二氢喹唑啉是一种非常重要的含氮杂环, 具有良好的生物活性和药用价值. 例如一些 3,4-二氢喹唑啉衍生物可用作抗病毒剂^[1]、抗肿瘤剂^[2]、T 型钙通道阻滞剂^[3]、锥虫肽甘肽还原酶抑制剂^[4]、巨细胞病毒抑制剂^[5]及抗生素等^[6]. 此外, 3,4-二氢喹唑啉也广泛存在于自然界中, 如天然产物 Vasicine^[7]和 Deoxyvasicine^[8]. 因此, 3,4-二氢喹唑啉的合成方法在过去的几十年里备受关注. 文献已经报道了许多制备 3,4-二氢喹唑啉的方法^[9-13], 然而大多条件比较苛刻, 要用到金属催化或特殊试剂, 我们尝试找到一种条件温和且高效合成 3,4-二氢喹唑啉衍生物的新方法.

多组分反应(MCR)具有原子利用率高、底物适用范围广且操作简单等优点, 在新药研发和材料合成等方面备受人们的青睐^[14-16]. 近年来, Ugi 多组分反应广泛应用于杂环化合物的合成^[17]. 其中一种氧化型 Ugi 反应以叔胺为原料, 在氧化剂存在下, 与酸和异腈一锅法反应,

可用于合成二酰亚胺类化合物^[18]. 我们课题组利用连续的氧化型 Ugi/(氮杂)Wittig 反应, 相继合成了噁唑^[19]、1,3,4-噁二唑^[20]、喹唑啉酮^[21]和异喹啉衍生物^[22]. 这里我们进一步报道基于这种串联氧化型 Ugi/氮杂 Wittig 反应, 三组分一锅法合成 3,4-二氢喹唑啉的新方法.

1 结果与讨论

1.1 中间体膦亚胺 **5** 的合成

文献曾经报道^[23], 当邻叠氮苯基异腈 **1** 与三苯基膦发生 Staudinger 反应时, 生成的膦亚胺 **2** 不稳定, 会迅速发生进一步的成环反应, 得到苯并咪唑衍生物 **3** (Scheme 1).

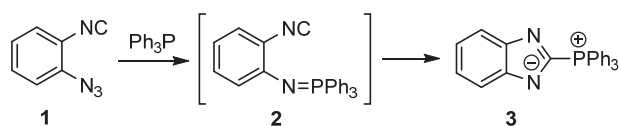
然而当应用邻叠氮苯基异腈 **4**^[24]与三苯基膦发生 Staudinger 反应时, 却以 85%~90%的产率顺利得到含异腈基团的膦亚胺 **5** (Scheme 2). 膦亚胺 **5** 无气味且很稳定, 没有进一步发生上述成环反应.

* Corresponding author. E-mail: mwding@ccnu.edu.cn

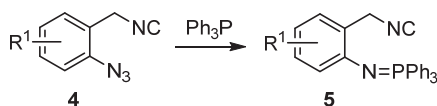
Received April 25, 2022; revised June 28, 2022; published online July 20, 2022.

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 21572075).

国家自然科学基金(No. 21572075)资助项目.

图式 1 邻叠氮苯基异腈 **1** 与三苯基膦的反应

Scheme 1 Reaction of 2-azidophenylisocyanide **1** with triphenylphosphine

图式 2 膦亚胺 **5** 的制备

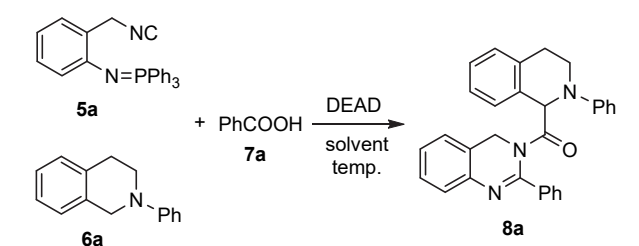
Scheme 2 Preparation of iminophosphoranes **5**

1.2 3,4-二氢喹唑啉 **8** 的合成

选用偶氮二甲酸二乙酯(DEAD)作为氧化剂^[18], 利用膦亚胺 **5a**、2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉(**6a**)、苯甲酸(**7a**)来探讨氧化 Ugi/aza-Wittig 串联反应的最优条件(表 1)。在室温下, 首先对反应溶剂进行筛选, 将上述四种化合物在 CH₂Cl₂ 中搅拌 24 h, 最终以 75% 的收率得到 3,4-二氢喹唑啉酮 **8a**; 当溶剂改为 CH₃CN、1,4-二氧六烷、甲苯、四氢呋喃(THF)、*N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)(表 1, Entries 2~6)时, 其产率不同程度下降(35%~68%), 确定最佳的溶剂是 CH₂Cl₂。随即探究温度对其产率的影响, 以 CH₂Cl₂ 为溶剂、反应温度为 0 或 40 °C 时(表 1, Entries 7, 8), 产率并未得到提高(70%~74%)。因此, 以表 1 中的 Entry 1 作为最优反应条件。

表 1 氧化型 Ugi/aza-Wittig 反应条件筛选

Table 1 Screening reaction conditions for oxidative Ugi/aza-Wittig reaction



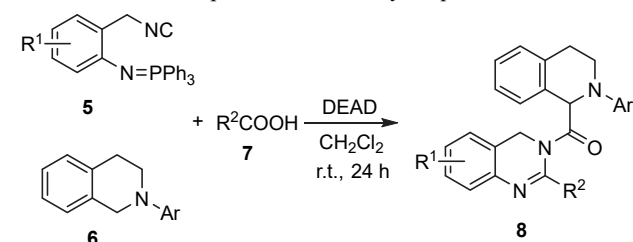
Entry ^a	Solvent	Temp./°C	Yield ^b /%
1	CH ₂ Cl ₂	25	75
2	CH ₃ CN	25	68
3	1,4-Dioxane	25	67
4	Toluene	25	60
5	THF	25	55
6	DMF	25	35
7	CH ₂ Cl ₂	0	70
8	CH ₂ Cl ₂	40	74

^a Iminophosphorane **5a** (1 mmol), 2-phenyl-1,2,3,4-tetrahydroisoquinoline **6a** (1 mmol), benzoic acid **7a** (1 mmol), DEAD (1.1 mmol), solvent (5 mL). r.t., 24 h. ^b Purified yields.

使用得到的最优反应条件, 探讨了不同底物的适用范围。在室温及 CH₂Cl₂ 作为溶剂的条件下, 以 DEAD 为氧化剂, 应用不同的膦亚胺 **5**、2-芳基-1,2,3,4-四氢异喹啉 **6**、酸 **7** 进行三组分反应, 可以 49%~80% 的产率顺利制得 3,4-二氢喹唑啉酮 **8**(表 2)。从表 2 中可以看出, 膦亚胺 **5** 上的取代基对于反应产率没有太大的影响; 2-芳基-1,2,3,4-四氢异喹啉 **6** 芳基上的不同取代基都能以较好的收率得到产物, 但是芳基的对位是具有很强的吸电子性硝基取代时, 没有得到相应的产物(化合物 **8t**, 0%)。不同的酸 **7**(取代基 R²)对于产率影响较大: 当应用芳基羧酸时, 无论苯环上有给电子还是吸电子基取代, 得到的产率均较好(61%~80%), 使用 2-噻吩羧酸时亦得到良好的产率(化合物 **8i**, 80%); 烷基羧酸中, 使用乙酸效果最好(化合物 **8f**, 80%), 戊酸次之(化合物 **8g**, 69%), 位阻较大的烷基羧酸(R² 为异丙基和环己基)产率中等(化合物 **8h**、**8j**、**8q**, 49%~56%)。

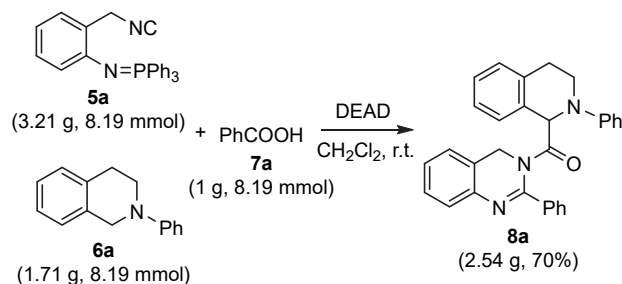
表 2 3,4-二氢喹唑啉酮 **8** 的制备

Table 2 Preparation of 3,4-dihydroquinazolinones **8**



Product	R ¹	Ar	R ²	Yield ^a /%
8a	H	Ph	Ph	75
8b	H	Ph	4-CH ₃ C ₆ H ₄	73
8c	H	Ph	4-ClC ₆ H ₄	72
8d	H	4-BrC ₆ H ₄	2-BrC ₆ H ₄	63
8e	H	4-BrC ₆ H ₄	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	64
8f	H	4-BrC ₆ H ₄	CH ₃	80
8g	H	4-BrC ₆ H ₄	Bu	69
8h	H	4-BrC ₆ H ₄	<i>i</i> -Pr	49
8i	H	4-CH ₃ C ₆ H ₄	Thiophen-2-yl	80
8j	H	4-CH ₃ C ₆ H ₄	Cyclohexyl	56
8k	4-CH ₃	Ph	Ph	74
8l	5-Cl	Ph	Ph	78
8m	4-CH ₃	4-CH ₃ C ₆ H ₄	4-ClC ₆ H ₄	77
8n	4-CH ₃	4-BrC ₆ H ₄	4-CH ₃ C ₆ H ₄	73
8o	4-CH ₃	2-ClC ₆ H ₄	Ph	61
8p	4-CH ₃	4-BrC ₆ H ₄	4-NCC ₆ H ₄	71
8q	4-CH ₃	4-BrC ₆ H ₄	<i>i</i> -Pr	55
8r	5-Cl	4-BrC ₆ H ₄	4-CH ₃ C ₆ H ₄	77
8s	H	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	Ph	50
8t	H	4-NO ₂ C ₆ H ₄	Ph	0

为验证该方法的可行性进行了放大实验, 在克级合成上以 70% 的收率得到 3,4-二氢喹唑啉酮 **8a** (Scheme 3)。

图式 3 克级反应合成 **8a**Scheme 3 Gram-scale synthesis of **8a**

1.3 3,4-二氢喹啉 **8** 的生成机理

基于实验结果和参考文献[18], 提出了产物 3,4-二氢喹啉酮 **8** 的可能形成机理(Scheme 4). 首先 2-芳基-1,2,3,4-四氢异喹啉 **6** 在 DEAD 的存在下发生亲核加成生成 **9**, 随后引发脱氢反应生成 2-芳基-3,4-二氢异喹啉的亚胺离子 **10**, 并生成 1H-DEAD 阴离子 **11**, 其作为有机碱使酸 **7** 去质子化得到羧酸阴离子; 然后亚胺离子 **10** 受到异腈 **5** 进攻生成中间体 **12**, 同时中间体 **12** 受到羧酸阴离子的进攻得到 **13**, **13** 再通过 Mumm 重排反应产生二酰亚胺中间体 **14**; 最后, 中间体 **14** 发生分子内 *aza*-Wittig 反应, 生成产物 3,4-二氢喹啉酮 **8** 和三苯基氧膦.

2 结论

综上所述, 我们基于连续的 DEAD 促进的氧化型 Ugi/*aza*-Wittig 反应策略, 以含异腈基团的磷亚胺为起

始原料, 三组分一锅法合成了 3-(四氢异喹啉-1-甲酰基)取代的 3,4-二氢喹啉. 该方法反应操作简单, 条件温和, 为 3,4-二氢喹啉类衍生物的合成提供了新途径.

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

熔点用北京第三光学仪器厂生产的 X4 型熔点仪测定, 温度计未经校正; ^1H NMR 和 ^{13}C NMR 由 Varian Mercury 600 型核磁共振仪测定和表征, 以 CDCl_3 为溶剂, TMS 为内标; HRMS 使用 Agilent 6224 TOF LC/MS 表征.

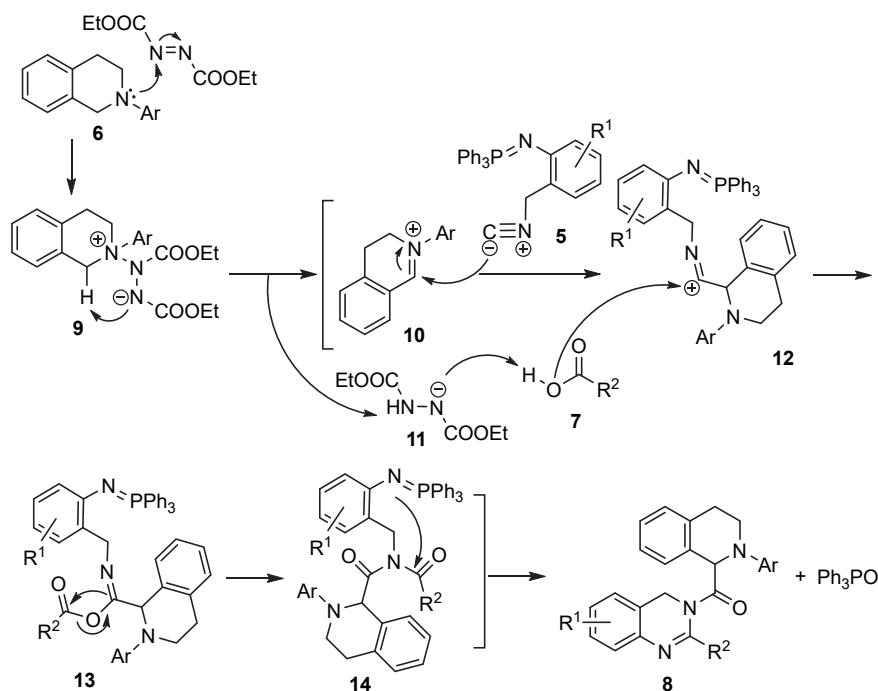
柱层析使用 200~300 目硅胶, 薄层色谱(TLC)检测使用商业制备的 100~400 目硅胶板(GF254). 其他商品化试剂购买后, 无需纯化直接使用. 化合物 **4** 参照文献[24]方法制得.

3.2 实验方法

3.2.1 磷亚胺 **5** 的合成

将邻叠氮基苄基异腈 **4** (1 mmol)溶解于 CH_2Cl_2 (3 mL)中, 在室温及良好搅拌下缓慢滴加 PPh_3 (0.262 g, 1 mmol)的 CH_2Cl_2 (3 mL)溶液. 搅拌反应 4~6 h 后, 减压脱去溶剂, 残余物使用乙醚和石油醚重结晶得到磷亚胺 **5**.

N-(2-(异氰基甲基)苯基)-1,1,1-三苯基- λ^5 -磷亚胺 (**5a**): 白色固体, 0.353 g, 产率 90%. m.p. 112~114 $^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 7.74 (s, 1H, ArH), 7.72

图式 4 产物 **8** 的可能形成机理Scheme 4 Proposed mechanism for the formation of **8**

(d, $J=4.8$ Hz, 3H, ArH), 7.71 (s, 2H, ArH), 7.53 (t, $J=7.8$ Hz, 3H, ArH), 7.46~7.43 (m, 6H, ArH), 7.37 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 6.87 (t, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 6.70 (t, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 6.42 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 4.94 (s, 2H, CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 155.3, 148.5, 132.5, 132.4, 131.9, 131.1, 130.5, 128.8, 128.7, 128.2, 126.8, 126.4, 126.2, 120.4, 117.1, 44.0; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₆H₂₁N₂PNa [M+Na]⁺ 415.1334, found 415.1328.

N-(2-(异氰基甲基)-4-甲基苯基)-1,1,1-三苯基- λ^5 -磷亚胺(**5b**): 白色固体, 0.362 g, 产率 89%. m.p. 152~153 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.73 (s, 1H, ArH), 7.72 (d, $J=4.2$ Hz, 3H, ArH), 7.70 (s, 2H, ArH), 7.52 (t, $J=7.8$ Hz, 3H, ArH), 7.46~7.43 (m, 6H, ArH), 7.19 (s, 1H, ArH), 6.68 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 6.33 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 4.92 (s, 2H, CH₂), 2.22 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 155.2, 145.7, 132.4, 132.4, 131.8, 131.3, 130.6, 128.7, 128.6, 127.5, 126.4, 126.1, 125.9, 120.2, 43.9, 20.6; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₇H₂₃N₂PNa [M+Na]⁺ 429.1491, found 429.1491.

N-(5-氯-2-(异氰基甲基)苯基)-1,1,1-三苯基- λ^5 -磷亚胺(**5c**): 白色固体, 0.363 g, 产率 85%. m.p. 107~109 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.73 (s, 1H, ArH), 7.71 (d, $J=4.2$ Hz, 3H, ArH), 7.69 (s, 2H, ArH), 7.55 (t, $J=7.8$ Hz, 3H, ArH), 7.48 (t, $J=8.4$ Hz, 6H, ArH), 7.25 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 6.66 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 6.32 (s, 1H, ArH), 4.87 (s, 2H, CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 155.8, 149.8, 133.5, 132.4, 132.3, 132.1, 130.4, 129.7, 128.9, 128.8, 127.7, 125.0, 124.9, 119.9, 119.8, 116.9, 43.5; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₆H₂₀ClN₂PNa [M+Na]⁺ 449.0945, found 449.0951.

3.2.2 3,4-二氢喹啉 **8** 的合成

将磷亚胺 **5** (1 mmol)、**6** (1 mmol)和羧酸 **7** (1 mmol)溶解于 CH₂Cl₂ (5 mL)中, 在室温及搅拌下滴加 DEAD (0.192 g, 1.1 mmol), 继续搅拌反应 24 h. 减压脱去溶剂, 残余物经柱层析纯化, 洗脱剂为石油醚/乙酸乙酯(*V*:*V*=20:1~15:1), 分离得到产物 3,4-二氢喹啉 **8**.

(2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-苯基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8a**): 白色固体, 0.333 g, 产率 75%. m.p. 190~192 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.53~6.95 (m, 15H, ArH), 6.80~6.46 (m, 3H, ArH), 5.27 (s, 1H, CH₂^a), 4.95 (s, 1H, CH), 4.53 (s, 1H, CH₂^b), 3.35 (d, $J=13.8$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.01 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.59 (d, $J=18.0$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.43 (s, 1H, 1/2CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 173.1, 154.3, 148.0, 142.7, 134.8, 134.5, 131.3, 130.7, 129.0, 128.8, 128.4, 128.3, 127.4,

126.6, 126.4, 125.8, 124.8, 124.7, 120.9, 117.9, 62.4, 45.9, 44.6, 25.2; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₀H₂₅N₃ONa [M+Na]⁺ 466.1890, found 466.1895.

(2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-(对甲苯基)喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8b**): 白色固体, 0.334 g, 产率 73%. m.p. 147~148 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.42~7.32 (m, 4H, ArH), 7.12~6.94 (m, 10H, ArH), 6.79~6.45 (m, 3H, ArH), 5.22 (s, 1H, CH₂^a), 4.99 (s, 1H, CH), 4.54 (s, 1H, CH₂^b), 3.34 (d, $J=13.2$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.06 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.59 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.42 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.29 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 173.2, 154.3, 148.1, 142.8, 141.2, 134.6, 132.1, 131.5, 129.0, 128.7, 128.4, 128.2, 127.3, 126.7, 126.2, 125.7, 124.8, 124.6, 120.7, 118.0, 62.3, 45.7, 44.6, 25.2, 21.5; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₁H₂₇N₃ONa [M+Na]⁺ 480.2046, found 480.2038.

(2-(4-氯苯基)喹啉-3(4*H*)-基)(2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8c**): 黄色固体, 0.344 g, 产率 72%. m.p. 200~202 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.42~7.31 (m, 4H, ArH), 7.13~6.96 (m, 10H, ArH), 6.87~6.54 (m, 3H, ArH), 5.16 (s, 1H, CH₂^a), 4.98 (s, 1H, CH), 4.60 (s, 1H, CH₂^b), 3.37~3.33 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.03 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.62 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.50 (s, 1H, 1/2CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 172.9, 153.3, 148.0, 142.5, 136.7, 134.3, 133.2, 131.1, 129.2, 129.1, 128.9, 128.5, 128.3, 127.5, 126.6, 126.4, 125.9, 124.8, 124.7, 121.3, 118.1, 62.6, 46.4, 44.6, 25.5; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₀H₂₄ClN₃ONa [M+Na]⁺ 500.1500, found 500.1495.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-(2-溴苯基)喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8d**): 黄色固体, 0.378 g, 产率 63%. m.p. 108~110 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.57 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.50 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.40 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.36 (t, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.25~7.09 (m, 7H, ArH), 7.05 (d, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 6.98 (t, $J=9.6$ Hz, 2H, ArH), 6.47 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, ArH), 5.12 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, CH₂^a), 4.96 (s, 1H, CH), 4.68 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, CH₂^b), 3.44 (d, $J=13.8$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.38 (d, $J=12.6$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.69~2.63 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.55 (d, $J=16.2$ Hz, 1H, 1/2CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 170.7, 152.4, 147.8, 141.6, 136.6, 134.7, 133.1, 132.5, 131.7, 131.3, 130.9, 129.1, 128.6, 128.1, 127.7, 127.6, 127.3, 126.0, 125.7, 125.2, 125.0, 120.9, 120.4, 113.6, 62.0, 45.9, 44.1, 25.3; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₀H₂₃Br₂N₃ONa [M+Na]⁺ 622.0100, found 622.0124.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-(4-甲氧基苯基)喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8e**): 白色固体, 0.353 g, 产率 64%. m.p. 187~189 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.54~7.33 (m, 4H, ArH), 7.12~6.94 (m, 8H, ArH), 6.72~6.30 (m, 4H, ArH), 5.20 (s, 1H, CH₂^a), 4.95 (s, 1H, CH), 4.50 (s, 1H, CH₂^b), 3.80 (s, 3H, OCH₃), 3.28 (d, *J*=13.2 Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.06 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.57 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.42 (s, 1H, 1/2CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 172.7, 161.9, 153.6, 147.3, 142.8, 134.4, 131.5, 131.1, 130.0, 129.1, 128.4, 127.5, 127.3, 126.6, 126.1, 125.9, 124.8, 124.4, 119.5, 113.7, 112.9, 62.1, 55.4, 45.6, 44.5, 25.2; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₁H₂₆BrN₃O₂Na [M+Na]⁺ 574.1100, found 574.1098.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-甲基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8f**): 棕黄色固体, 0.367 g, 产率 80%. m.p. 136~138 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.41 (d, *J*=6.6 Hz, 1H, ArH), 7.33 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 7.24~7.13 (m, 6H, ArH), 6.98 (d, *J*=7.2 Hz, 1H, ArH), 6.90 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 6.62 (s, 1H, CH), 4.16 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, CH₂^a), 3.98 (d, *J*=15.6 Hz, 1H, CH₂^b), 3.79 (t, *J*=5.4 Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.52~3.48 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.20 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.97 (d, *J*=15.6 Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.17 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 170.5, 157.1, 148.4, 140.9, 135.7, 134.8, 131.7, 128.7, 128.1, 127.4, 126.9, 126.2, 125.7, 125.1, 124.4, 116.7, 109.9, 60.4, 45.9, 43.2, 28.1, 23.0; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₅H₂₂BrN₃ONa [M+Na]⁺ 482.0838, found 482.0857.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-丁基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8g**): 棕黄色固体, 0.346 g, 产率 69%. m.p. 127~129 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.40 (d, *J*=7.8 Hz, 1H, ArH), 7.31 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 7.22~7.08 (m, 6H, ArH), 6.96 (d, *J*=7.2 Hz, 1H, ArH), 6.88 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 6.63 (s, 1H, CH), 4.15 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, CH₂^a), 3.95 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, CH₂^b), 3.77 (t, *J*=7.8 Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.49~3.45 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.20~3.15 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.96~2.92 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.37~2.25 (m, 2H, CH₂), 1.72~1.24 (m, 4H, 2CH₂), 1.01 (t, *J*=7.8 Hz, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 173.0, 157.3, 148.5, 141.0, 135.6, 134.9, 131.7, 128.7, 128.1, 127.5, 127.3, 126.8, 126.1, 125.7, 125.2, 124.3, 116.7, 109.8, 60.5, 45.1, 43.0, 36.5, 29.7, 28.0, 18.1, 13.9; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₈H₂₈BrN₃ONa [M+Na]⁺ 524.1308, found 524.1293.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-异丙基喹

啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8h**): 棕色固体, 0.239 g, 产率 49%. m.p. 115~117 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.41 (d, *J*=7.8 Hz, 1H, ArH), 7.32 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 7.25~7.12 (m, 6H, ArH), 6.99 (d, *J*=7.2 Hz, 1H, ArH), 6.89 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 6.60 (s, 1H, CH), 4.25 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, CH₂^a), 3.99 (d, *J*=15.0 Hz, 1H, CH₂^b), 3.83~3.79 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.52~3.48 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.22~3.17 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.97~2.93 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.80~2.76 (m, 1H, CH), 1.16 (t, *J*=7.8 Hz, 6H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 177.0, 157.9, 148.4, 141.1, 135.8, 135.1, 131.7, 128.7, 128.0, 127.7, 127.5, 126.9, 126.1, 125.7, 125.4, 124.2, 116.2, 109.5, 60.6, 45.3, 43.3, 31.7, 27.9, 19.2, 19.0; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₇H₂₆BrN₃ONa [M+Na]⁺ 510.1151, found 510.1171.

(2-(噻吩-2-基)喹啉-3(4*H*)-基)(2-(对甲苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8i**): 黄色固体, 0.371 g, 产率 80%. m.p. 136~138 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.347.28 (m, 3H, ArH), 7.12~6.49 (m, 12H, ArH), 5.24 (s, 2H, CH, CH₂^a), 4.63 (s, 1H, CH₂^b), 3.25 (d, *J*=13.2 Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.99 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.59 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.40 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.21 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 173.3, 149.0, 145.9, 142.7, 139.8, 134.6, 131.5, 130.2, 129.6, 129.3, 129.0, 128.3, 127.3, 127.1, 126.6, 126.1, 125.8, 124.8, 124.4, 118.2, 62.7, 46.3, 44.7, 25.5, 20.6; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₂₉H₂₅N₃OSNa [M+Na]⁺ 486.1610, found 486.1611.

(2-环己基喹啉-3(4*H*)-基)(2-(对甲苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8j**): 棕色固体, 0.259 g, 产率 56%. m.p. 89~91 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ: 7.59 (d, *J*=7.2 Hz, 1H, ArH), 7.24~7.16 (m, 5H, ArH), 7.11 (t, *J*=6.6 Hz, 1H, ArH), 7.06 (d, *J*=7.8 Hz, 2H, ArH), 6.98 (d, *J*=7.8 Hz, 1H, ArH), 6.93 (d, *J*=8.4 Hz, 2H, ArH), 6.43 (s, 1H, CH), 4.03 (d, *J*=14.4 Hz, 1H, CH₂^a), 3.98 (d, *J*=15.6 Hz, 1H, CH₂^b), 3.78~3.74 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.49~3.46 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.07~2.98 (m, 2H, CH₂), 2.37~2.33 (m, 1H, CH), 2.27 (s, 3H, CH₃), 1.80~1.11 (m, 10H, 5CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ: 176.2, 158.1, 147.6, 141.3, 135.2, 135.0, 129.6, 128.5, 128.3, 127.8, 126.9, 126.6, 125.8, 125.8, 125.4, 124.3, 117.0, 103.8, 62.0, 44.5, 42.2, 29.4, 29.1, 28.3, 25.7, 25.5, 20.5; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₁H₃₃N₃ONa [M+Na]⁺ 486.2516, found 486.2538.

(6-甲基-2-苯基喹啉-3(4*H*)-基)(2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8k**): 淡黄色固体, 0.338 g, 产率 74%. m.p. 119~121 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ:

7.50~7.31 (m, 3H, ArH), 7.28 (t, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.16~6.95 (m, 9H, ArH), 6.81~6.47 (m, 4H, ArH), 5.20 (s, 1H, CH₂^a), 4.95 (s, 1H, CH), 4.52 (s, 1H, CH₂^b), 3.37 (d, $J=13.8$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.06 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.61 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.45 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.32 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 173.0, 153.6, 148.1, 140.4, 136.3, 134.9, 134.5, 131.5, 130.5, 129.0, 128.8, 128.5, 128.3, 128.1, 127.3, 126.5, 125.8, 125.5, 124.5, 120.8, 118.0, 62.5, 46.1, 44.6, 25.3, 21.3; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₁H₂₇N₃ONa [M+Na]⁺ 480.2046, found 480.2053.

(7-氯-2-苯基喹啉-3(4*H*)-基)(2-苯基-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8l**): 白色固体, 0.372 g, 产率 78%. m.p. 202~204 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.51~7.40 (m, 3H, ArH), 7.31 (t, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 7.17~6.94 (m, 9H, ArH), 6.82~6.46 (m, 3H, ArH), 5.24 (s, 1H, CH₂^a), 4.94 (s, 1H, CH), 4.47 (s, 1H, CH₂^b), 3.36 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.99 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.58 (t, $J=13.8$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.42 (s, 1H, 1/2CH₂); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 173.0, 155.4, 147.9, 143.8, 134.5, 134.4, 133.7, 131.1, 129.1, 128.8, 128.3, 127.5, 126.1, 125.8, 125.1, 124.7, 121.1, 118.0, 62.6, 46.0, 44.1, 25.4; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₀H₂₄ClN₃ONa [M+Na]⁺ 500.1500, found 500.1509.

(2-(4-氯苯基)-6-甲基喹啉-3(4*H*)-基)(2-(对甲苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)甲酮(**8m**): 白色固体, 0.388 g, 产率 77%. m.p. 202~203 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.36~7.24 (m, 3H, ArH), 7.13~6.91 (m, 9H, ArH), 6.64~6.54 (m, 3H, ArH), 5.00 (s, 2H, CH, CH₂^a), 4.72 (s, 1H, CH₂^b), 3.30~3.16 (m, 2H, CH₂), 2.64 (s, 2H, CH₂), 2.29 (s, 3H, CH₃), 2.27 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 172.7, 152.6, 146.1, 140.1, 136.5, 134.3, 133.5, 131.3, 129.5, 129.3, 129.1, 129.0, 128.3, 127.9, 127.3, 126.3, 125.9, 125.3, 124.5, 118.9, 63.3, 48.0, 44.6, 26.1, 21.2, 20.6; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₂H₂₈ClN₃ONa [M+Na]⁺ 528.1813, found 528.1809.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(6-甲基-2-(对甲苯基)喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8n**): 白色固体, 0.401 g, 产率 73%. m.p. 199~201 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.48~7.27 (m, 3H, ArH), 7.14~7.06 (m, 6H, ArH), 7.00 (d, $J=7.2$ Hz, 2H, ArH), 6.95 (d, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 6.84~6.30 (m, 3H, ArH), 5.12 (s, 1H, CH₂^a), 4.97 (s, 1H, CH), 4.52 (s, 1H, CH₂^b), 3.30 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.15 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.58 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.45 (d, $J=19.2$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 2.34 (s, 3H, CH₃), 2.33 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ :

172.5, 153.1, 147.4, 141.4, 140.4, 136.3, 134.5, 132.4, 131.5, 131.2, 129.11, 129.0, 128.2, 127.4, 126.4, 125.8, 125.5, 124.5, 119.6, 113.0, 62.1, 45.7, 44.5, 25.4, 21.5, 21.3; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₂H₂₈BrN₃ONa [M+Na]⁺ 572.1308, found 572.1305.

(2-(2-氯苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(6-甲基-2-苯基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8o**): 白色固体, 0.300 g, 产率 61%. m.p. 189~190 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.56~7.32 (m, 3H, ArH), 7.28 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.24 (d, $J=13.2$ Hz, 2H, ArH), 7.14~6.94 (m, 7H, ArH), 6.83~6.37 (m, 3H, ArH), 5.17 (s, 1H, CH₂^a), 4.92 (s, 1H, CH), 4.49 (s, 1H, CH₂^b), 3.29 (d, $J=13.8$ Hz, 1H, 1/2CH₂), 3.09 (s, 1H, 1/2CH₂), 2.61~2.46 (m, 2H, CH₂), 2.33 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 172.4, 153.2, 146.8, 140.3, 136.5, 135.1, 134.4, 131.1, 130.8, 129.0, 128.7, 128.4, 128.2, 127.5, 126.3, 125.9, 125.8, 125.4, 124.6, 119.2, 62.6, 45.9, 44.5, 25.4, 21.3; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₁H₂₆ClN₃ONa [M+Na]⁺ 514.1656, found 514.1662.

4-(6-甲基-3-(2-(对甲苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-羰基)-3,4-二氢喹啉-2-基)苄腈(**8p**): 淡黄色固体, 0.352 g, 产率 71%. m.p. 209~210 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.45~7.35 (m, 4H, ArH), 7.25 (t, $J=6.6$ Hz, 1H, ArH), 7.13 (t, $J=4.8$ Hz, 1H, ArH), 7.09 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.02~6.63 (m, 8H, ArH), 5.03 (s, 1H, CH), 4.85 (s, 2H, CH₂), 3.30~3.27 (m, 2H, CH₂), 2.68 (s, 2H, CH₂), 2.29 (s, 3H, CH₃), 2.27 (s, 3H, CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 172.4, 151.8, 146.1, 139.7, 139.1, 137.3, 134.0, 131.7, 131.1, 129.7, 129.1, 128.2, 127.7, 127.4, 126.1, 125.3, 124.9, 119.4, 118.5, 113.1, 63.9, 48.8, 44.5, 26.6, 21.2, 20.6; HRMS (ESI-TOF) calcd for C₃₃H₂₈N₄ONa [M+Na]⁺ 519.2155, found 519.2162.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-异丙基-6-甲基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8q**): 白色固体, 0.276 g, 产率 55%. m.p. 170~171 °C; ¹H NMR (CDCl₃, 600 MHz) δ : 7.41 (d, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 7.32 (d, $J=9.0$ Hz, 2H, ArH), 7.24~7.16 (m, 3H, ArH), 7.09 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 7.04 (d, $J=7.8$ Hz, 1H, ArH), 6.89 (d, $J=9.0$ Hz, 2H, ArH), 6.80 (s, 1H, ArH), 6.58 (s, 1H, CH), 4.20 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, CH₂^a), 3.97 (d, $J=15.0$ Hz, 1H, CH₂^b), 3.83~3.79 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.52~3.48 (m, 1H, 1/2CH₂), 3.20~3.16 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.98~2.93 (m, 1H, 1/2CH₂), 2.80~2.76 (m, 1H, CH), 2.29 (s, 3H, CH₃), 1.16 (t, $J=7.2$ Hz, 6H, 2CH₃); ¹³C NMR (CDCl₃, 150 MHz) δ : 176.9, 157.0, 148.4, 138.9, 137.0, 135.8, 135.2, 131.7, 129.3,

127.9, 127.7, 127.4, 126.0, 125.5, 125.3, 124.8, 116.2, 109.5, 76.8, 60.6, 45.3, 43.2, 31.7, 27.9, 21.1, 19.2, 19.00; HRMS (ESI-TOF) calcd for $C_{28}H_{28}BrN_3ONa$ $[M+Na]^+$ 524.1308, found 524.1335.

(2-(4-溴苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(7-氯-2-(对甲苯基)喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8r**): 白色固体, 0.437 g, 产率 77%. m.p. 207~209 °C; 1H NMR ($CDCl_3$, 600 MHz) δ : 7.47~7.39 (m, 3H, ArH), 7.13~7.07 (m, 5H, ArH), 7.02 (d, $J=7.2$ Hz, 2H, ArH), 6.97 (s, 1H, ArH), 6.95~6.28 (m, 4H, ArH), 5.17 (s, 1H, CH_2^a), 4.94 (s, 1H, CH), 4.45 (s, 1H, CH_2^b), 3.30 (d, $J=13.2$ Hz, 1H, 1/2 CH_2), 3.06 (s, 1H, 1/2 CH_2), 2.60~2.43 (m, 2H, CH_2), 2.33 (s, 3H, CH_3); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 150 MHz) δ : 172.6, 155.0, 147.1, 143.8, 142.1, 134.4, 133.8, 131.8, 131.5, 130.9, 129.1, 128.4, 127.6, 126.1, 125.9, 125.8, 125.0, 124.8, 124.6, 119.5, 113.2, 62.2, 45.6, 44.0, 25.3, 21.5; HRMS (ESI-TOF) calcd for $C_{31}H_{25}BrClN_3ONa$ $[M+Na]^+$ 592.0762, found 592.0766.

(2-(4-甲氧基苯基)-1,2,3,4-四氢异喹啉-1-基)(2-苯基喹啉-3(4*H*)-基)甲酮(**8s**): 白色固体, 0.237 g, 产率 50%. m.p. 162~164 °C; 1H NMR ($CDCl_3$, 600 MHz) δ : 7.49~6.99 (m, 12H, ArH), 6.89~6.49 (m, 5H, ArH), 5.09 (s, 1H, CH_2^a), 4.92 (s, 1H, CH), 4.67 (s, 1H, CH_2^b), 3.74 (s, 3H, OCH_3), 3.19~3.16 (m, 1H, 1/2 CH_2), 3.11 (s, 1H, 1/2 CH_2), 2.61 (s, 1H, 1/2 CH_2), 2.49 (s, 1H, 1/2 CH_3); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 150 MHz) δ : 172.8, 154.8, 154.3, 142.6, 142.3, 135.2, 134.4, 131.5, 130.6, 129.1, 128.3, 127.8, 127.3, 126.5, 126.3, 125.8, 124.7, 120.6, 114.1, 64.0, 55.5, 47.5, 44.5, 25.6; HRMS (ESI-TOF) calcd for $C_{31}H_{27}N_3O_2Na$ $[M+Na]^+$ 496.2001, found 496.1983.

辅助材料(Supporting Information) 化合物 **5a~5c** 和 **8a~8s** 的 1H NMR 和 ^{13}C NMR 谱图, 这些材料可以免费从本刊网站(<http://sioc-journal.cn/>)上下载。

References

- [1] Jin, K. J.; Sang, Y. L.; Han, S.; Clercq, E. D.; Pannecouque, C.; Meng, G.; Chen, F. E. *Eur. J. Med. Chem.* **2019**, *176*, 11.
- [2] Kumar, P.; Tomar, V.; Joshi, R. K.; Nemiwal, M. *Synth. Commun.* **2022**, *52*, 795.
- [3] Lee, Y. S.; Lee, B. H.; Park, S. J.; Kang, S. B.; Rhim, H.; Park, J. Y.; Lee, J. H.; Jeong, S. W.; Lee, J. Y. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2004**, *14*, 3379.
- [4] Patterson, S.; Alpey, M. S.; Jones, D. C.; Shanks, E. J.; Street, I. P.; Frearson, J. A.; Wyatt, P. G.; Gilbert, I. H.; Fairlamb, A. H. *J. Med. Chem.* **2011**, *54*, 6514.
- [5] Goldner, T.; Hewlett, G.; Ettischer, N.; Ruebsamen-Schaeff, H.; Zimmermann, H.; Lischka, P. *J. Virol.* **2011**, *85*, 10884.
- [6] Li, W. J.; Li, Q.; Liu, D. L.; Ding, M. W. *J. Agric. Food. Chem.* **2013**, *61*, 1419.
- [7] Nepali, K.; Sharma, S.; Ojha, R.; Dhar, K. L. *Med. Chem. Res.* **2013**, *22*, 1.
- [8] Liu, W.; Wang, Y. L.; He, D. D.; Li, S. P.; Zhu, Y. D.; Jiang, B.; Cheng, X. M.; Wang, Z. T.; Wang, C. H. *Phytomedicine* **2015**, *22*, 1088.
- [9] Gruber, N.; Diaz, J. E.; Orelli, L. R. *Beilstein J. Org. Chem.* **2018**, *14*, 2510.
- [10] Ren, J.; Pi, C.; Wu, Y. J.; Cui, X. L. *Org. Lett.* **2019**, *21*, 4067.
- [11] Meng, X. H.; Yang, M.; Peng, J. Y.; Zhao, Y. L. *Adv. Synth. Catal.* **2020**, *363*, 244.
- [12] Campbell, M. V.; Iretskii, A. V.; Mosey, R. A. *J. Org. Chem.* **2020**, *85*, 11211.
- [13] Zhang, X. Y.; Luo, C. J.; Chen, X. Y.; Ma, W. L.; Li, B.; Lin, Z. R.; Chen, X. W.; Li, Y. B.; Xie, F. *Tetrahedron Lett.* **2021**, *66*, 152835.
- [14] Giustiniano, M.; Basso, A.; Mercalli, V.; Massarotti, A.; Novellino, E.; Tron, G. C.; Zhu, J. P. *Chem. Soc. Rev.* **2017**, *46*, 1295.
- [15] Amador-Sánchez, Y. A.; Hernández-Vázquez, E.; González-Mojica, N.; Ramírez-Apan, M. T.; Miranda, L. D. *Tetrahedron* **2020**, *76*, 131383.
- [16] Song, K. X.; Qin, X. Y.; Ma, Z. X.; Geng, F. Z.; Hao, W. J.; Tu, S. J.; Jiang, B. *Org. Chem. Front.* **2021**, *8*, 5681.
- [17] Ren, Z. L.; Lu, W. T.; Cai, S.; Xiao, M. M.; Yuan, Y. F.; Ping, H.; Ding, M. W. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 14911.
- [18] Wang, J. K.; Sun, Y. L.; Wang, G. J.; Zhen, L. *Eur. J. Org. Chem.* **2017**, *2017*, 6338.
- [19] Sun, M.; Zhao, L.; Ding, M. W. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 14313.
- [20] Sun, M.; Zhao, L.; Yu, Y. L.; Ding, M. W. *Synthesis* **2020**, *53*, 1365.
- [21] Sun, M.; Yu, Y. L.; Zhao, L.; Ding, M. W. *Tetrahedron* **2021**, *96*, 132368.
- [22] Zhao, L.; Yang, M. L.; Sun, M.; Ding, M. W. *Synlett* **2022**, *33*, 66.
- [23] Hahn, F. E.; Langenhahn, V.; Meier, N.; Lügger, T.; Fehlhammer, W. P. *Chem. Eur. J.* **2003**, *9*, 704.
- [24] Xiong, J.; Wei, X.; Yan, Y. M.; Ding, M. W. *Tetrahedron* **2017**, *73*, 5720.

(Cheng, F.)