无催化剂条件下合成喹啉并吡咯并喹啉衍生物

赵 群^a 姚昌盛^b 王香善^{*,b}^(a) 南京中医药大学药学院 南京 210023)^(b) 江苏师范大学化学化工学院 徐州 221116)

摘要 以芳醛、5-氨基吲哚和 4-羟基喹啉-2-酮为原料, 在回流的乙醇中, 无需加入任何催化剂, 可高产率得到一系列 13-芳基-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮衍生物, 并通过 X 射线单晶衍射分析确证了 **4b** 的结构。该方法简单, 容易操作, 为稠合五环含双喹啉杂环化合物提供了有效的合成方法。

关键词 喹啉并吡咯并喹啉; 5-氨基吲哚; 无催化剂; 合成

Synthesis of Quinopyrroloquinoline Derivatives under Catalyst-Free Conditions

Zhao, Qun^a Yao, Changsheng^b Wang, Xiangshan^{*,b}^(a) College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023)^(b) Jiangsu Key Laboratory of Green Synthesis for Functional Materials, School of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116)

Abstract In this paper, a series of 13-aryl-6,13-dihydro-3*H*-quino[4,3-*b*]pyrrolo[3,2-*f*]quinolin-12(11*H*)-one derivatives was synthesized in EtOH under catalyst-free conditions using aromatic aldehydes, 5-aminoindole and 4-hydroxyquinolin-2(1*H*)-one as reactants. The structure of **4b** was confirmed by X-ray diffraction analysis. This procedure has the advantages of simplicity and easy operation. An efficient method for the synthesis of fused pentacyclic heterocycles containing biquinolines moieties is provided.

Keywords quinopyrroloquinoline; 5-aminoindole; catalyst-free; synthesis

众所周知, 喹啉是最具有药用价值的活性分子之一。其中, 值得一提的是其抗疟活性^[1]。目前很多临床抗疟药物都是基于喹啉为母体, 例如氯喹(图 1)^[2], 自 1944 年开始就被应用于临床治疗疟疾。现在对于风湿关节炎的治疗, 也有一定效果。再如奎宁(图 1)^[3], 是一种天然生物碱, 最初分离于茜草科植物金鸡纳树及其同属植物的树皮中。该药物能与疟原虫的 DNA 结合, 形成复合物, 抑制其 DNA 的复制和 RNA 的转录, 广泛用于治疗疟疾。所以, 喹啉的构筑一直是有机合成化学的研究热点^[4]。最近采用多组分反应或多米诺反应, 逐渐被认为是构筑喹啉骨架的最有效方法之一^[5], 特别是利用活性的芳胺, 与苯甲醛、活性亚甲基化合物的三组分反应, 可以在无催化剂条件下进行, 并高产率获得结

构多样化的喹啉衍生物^[6]。该方法首先是利用芳醛与活性亚甲基化合物发生 Knoevenagel 缩合反应, 形成的 α,β -不饱和酮再与活性的芳胺(作为烯胺)发生 Michael 加成反应; 最后分子内的氨基与羰基缩合形成喹啉骨架。我们实验室在这个反应方面做了很多工作, 成功构筑了吡啶并喹啉、萘啶、吲哚并吡啶等含氮杂环骨架^[7]。最近, 我们采用 5-氨基吲哚作为活性的芳胺、4-羟基喹啉-2-酮作为活性亚甲基化合物, 与芳醛在回流的乙醇中反应, 可以成功构筑双喹啉骨架外, 结构中同时还具有吡咯的杂环。本文报道系列 13-芳基-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮衍生物的合成和产物 **4b** 的晶体结构。

* E-mail: xswang@jnsu.edu.cn

Received February 1, 2016; revised March 25, 2016; published online April 15, 2016.

Project supported by the Major Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. 14KJA150004), and a project funded by the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions.

江苏省高校重大基础研究基金(No. 14KJA150004)和江苏省高校优势学科建设工程资助项目。

图1 氯喹和奎宁的结构

Figure 1 Structures of chloroquine and quinine

1 结果与讨论

将等量的芳醛(**1**)、5-氨基吲哚(**2**)和 4-羟基喹啉-2-酮(**3**)置于无水乙醇中, 回流反应, 无需加入任何催化剂, 即可较高产率地得到 13-芳基-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮衍生物(**4**) (Eq. 1).

最初根据 Knoevenagel 缩合反应和 Michael 反应发生的条件, 我们认为碱对这个反应能起到催化或促进作用, 所以向反应体系中加入少量的碱, 例如三乙胺、六氢吡啶或无机碱碳酸钠等, 发现反应的产率并没有得到提高. 反应的温度对产率影响很大, 乙醇的回流温度得到的产率最高(**4a**, 88%), 而且该反应的最大优点是反应的产物无需重结晶. 反应通过 TLC 检测到 5-氨基吲哚反应完全后, 冷却析出大量固体, 过滤即可得到纯净的产物 **4**.

同样在无催化的条件改变不同取代的苯甲醛, 例如无论是吸电子基的卤素, 还是供电子的甲基、甲氧基; 无论取代基在邻位、间位还是对位; 无论是单取代, 还是多取代的苯甲醛, 都给出很好的收率(表 1). 化合物的结构都通过氢谱、红外和高分辨质谱加以表征. 为了进一步确证产物的结构, 我们以 DMF 为溶剂, 培养和测定了产物 **4b** 的单晶. 产物 **4b** 的结构图见图 2.

X 光衍射分析表明新形成的吡啶环[C(4)—C(6)/C(14)/N(3)/C(15)]采用船式构象: 其中原子 C(4), C(6), C(14)和 C(15)共平面[平面 I, 平面上原子的平均偏差为 0.009(1) Å], 原子 C(5)和 N(3)偏离该平面的距离分别为 0.249(3)和 0.122(3) Å. 原先的吲哚环[平面 II,

表1 产物 4 的反应时间和产率

Table 1 The reaction time and yields of **4**^a

序号	Ar	反应时间/h	产物	产率/%
1	4-BrC ₆ H ₄	10	4a	88
2	3-ClC ₆ H ₄	8	4b	91
3	4-ClC ₆ H ₄	10	4c	84
4	3,5-(MeO) ₂ C ₆ H ₃	6	4d	87
5	3,4-(CH ₃) ₂ C ₆ H ₃	10	4e	85
6	2-MeOC ₆ H ₄	10	4f	90
7	3-MeOC ₆ H ₄	8	4g	87
8	4-MeC ₆ H ₄	9	4h	82
9	2,4,5-(MeO) ₃ C ₆ H ₂	12	4i	90

^a 反应条件: 醛(1.0 mmol); 5-氨基吲哚(132 mg, 1.0 mmol), 4-羟基喹啉-2-酮(161 mg, 1.0 mmol), 无水乙醇(10 mL), 回流.

图2 产物 4b 的晶体结构图

Figure 2 The crystal structure of product **4b**

图3 4b 中分子间氢键图

Figure 3 The intermolecular hydrogen bonds in **4b**

C(1)—C(4)/C(15)—C(18)/N(2)], 喹啉环[平面 III, C(6)—C(14)/N(1)]和苯环[平面 IV, C(19)—C(24)]均为平面结构. 新形成的吡啶环(平面 I)几乎平行于吲哚环(平

面 II)和喹啉环(平面 III), 形成的二面角分别为 9.0(1)和 6.1(1)°。该平面还几乎垂直于苯环(平面 IV), 形成的二面角为 82.1(1)°。

分子中存在三个 N—H 键, 都分别参与形成了氢键(表 2)。其中, 喹啉环中酰胺键形成了分子间氢键 N(1)—H(1)⋯O(1), 连接相邻的分子形成二聚体(图 3)。这个相邻的二聚体不能自行连接, 而是通过一分子的溶剂 DMF, 首尾倒置形成 N(3)—H(3)⋯O(4)分子间氢键, 像桥一样连接相邻二聚体, 沿着 *c* 轴拓展形成多聚体。另外分子的吡咯环上的 N(2)—H(2), 通过 N(2)—H(2)⋯O(3)氢键连接另外一个溶剂 DMF 分子。

根据产物的结构, 我们认为是醛 **1** 先与 2-羟基喹啉-2-酮(**3**)发生 Knoevenagel 缩合反应形成 α,β -不饱和酮 **5**; **5** 再与 5-氨基吡咯(**2**, 作为烯胺)发生 Michael 加成得到中间体 **6**; 接着 **6** 分子内的氨基和羰基进行亲核加成得到 **7**; **7** 最终脱去一分子水形成目标产物 **4**。具体过程见 Scheme 1。

2 结论

本文在回流的乙醇中, 无需加入任何额外的催化剂, 可以通过醛、5-氨基吡咯和 4-羟基喹啉-2-酮的三组分反应, 一步构建稠合五环的喹啉并吡咯并喹啉衍生物。X-光衍射分析表明新形成的 1,4-二氢吡啶环采用经典的船式构象, 并详细讨论了平面之间的夹角和分子与溶剂之间的氢键连接关系。

3 实验部分

3.1 仪器与试剂

熔点测定使用 XT-5 型数字熔点仪; 红外光谱采用 TENSOR 27 型红外光谱仪测定(KBr 压片); 核磁共振氢谱采用 Bruker AVANCE DPX-400 型核磁共振仪测定, DMSO-*d*₆ 为溶剂, TMS 为内标; 高分辨质谱在 Bruker-micro-TOF-Q-MS 质谱仪上测定。

3.2 产物 4 的合成

干燥的 50 mL 烧瓶中加入芳醛 **1** (1.0 mmol), 5-氨基吡咯(**2**) (132 mg, 1.0 mmol), 4-羟基喹啉-2-酮(**3**) (161 mg, 1.0 mmol)和无水乙醇 (10 mL)。搅拌加热回流反应保持 6~12 h, 通过 TLC 监测反应的进程。反应结束后, 冷却到室温, 析出大量固体, 通过简单的过滤即可得到纯净的化合物 **4**。

13-(4-溴苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4a**): m.p. > 300 °C; ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 400 MHz) δ : 5.65 (s, 1H, CH), 6.40 (s, 1H, ArH), 7.20~7.31 (m, 9H, ArH), 7.46 (t, *J*=7.6 Hz, 1H, ArH), 8.28 (d, *J*=8.0 Hz, 1H, ArH), 9.22 (s, 1H, NH), 11.03 (s, 1H, NH), 11.12 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3311, 3164, 3093, 3044, 3959, 2929, 2868, 1672, 1638, 1602, 1485, 1459, 1407, 1371, 1349, 1099, 1072, 1013, 866, 839,

表 2 晶体结构 **4b** 中的氢键数据

Table 2 The hydrogen bond data in the crystal structure of **4b**

序号	D—H⋯A/Å	<i>d</i> (D—H)/Å	<i>d</i> (H⋯A)/Å	$\angle$ DHA/(°)	<i>d</i> (D⋯A)/Å	对称操作
1	N(3)—H(3)⋯O(4)	0.852	2.085	168.41	2.924	<i>X</i> −1, <i>y</i> , <i>z</i> −1
2	N(2)—H(2)⋯O(3')	0.881	1.759	174.52	2.638	<i>x</i> , <i>y</i> , <i>z</i> −1
3	N(2)—H(2)⋯O(3)	0.881	1.997	166.82	2.862	<i>x</i> , <i>y</i> , <i>z</i> −1
4	N(1)—H(1)⋯O(1)	0.796	2.058	170.90	2.847	− <i>x</i> , <i>y</i> , − <i>z</i> +1/2

图式 1 Synthesis of compound **4**

Scheme 1 化合物 **4** 的合成

805, 750, 694 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{24}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{OBr}$ $[\text{M}-\text{H}]^-$ 440.0398, found 440.0415.

13-(3-氯苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4b**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 5.72 (s, 1H, CH), 6.46 (s, 1H, ArH), 7.08 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 7.15~7.18 (m, 1H, ArH), 7.24~7.33 (m, 7H, ArH), 7.47~7.51 (m, 1H, ArH), 8.30 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 9.28 (s, 1H, NH), 11.07 (s, 1H, NH), 11.14 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3276, 3169, 3096, 3051, 2954, 2930, 2875, 2824, 1667, 1636, 1594, 1564, 1487, 1460, 1409, 1390, 1351, 1242, 1101, 888, 777, 748, 692 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{24}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{OCl}$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 396.0904, found 396.0905.

13-(4-氯苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4c**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 5.68 (s, 1H, CH), 6.43 (s, 1H, ArH), 7.18 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, ArH), 7.21~7.24 (m, 3H, ArH), 7.27 (d, $J=7.6$ Hz, 2H, ArH), 7.33 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, ArH), 7.47~7.50 (m, 1H, ArH), 8.30 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 9.26 (s, 1H, NH), 11.06 (s, 1H, NH), 11.15 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3313, 3163, 3105, 3045, 2963, 2930, 2870, 1672, 1639, 1594, 1560, 1488, 1459, 1410, 1350, 1288, 1244, 1102, 1085, 1016, 887, 843, 802, 744, 692 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{24}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{OCl}$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 398.1062, found 398.1064.

13-(3,5-二甲氧基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4d**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 3.60 (s, 6H, 2OCH₃), 5.65 (s, 1H, CH), 6.19 (s, 1H, ArH), 6.46~6.49 (m, 3H, ArH), 7.21~7.29 (m, 5H, ArH), 7.46~7.50 (m, 1H, ArH), 8.28 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 9.21 (s, 1H, NH), 11.03 (s, 1H, NH), 11.13 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3331, 3223, 2957, 2932, 2887, 2835, 1663, 1591, 1557, 1489, 1465, 1409, 1351, 1309, 1243, 1195, 1094, 1066, 1048, 942, 879, 854, 821, 783, 755, 724, 692 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{26}\text{H}_{22}\text{N}_3\text{O}_3$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 424.1663, found 424.1670.

13-(3,4-二甲基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4e**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 2.04 (d, $J=6.4$ Hz, 6H, 2CH₃), 5.61 (s, 1H, CH), 6.44 (s, 1H, ArH), 6.86 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 7.02 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 7.09 (s, 1H, ArH), 7.20~7.24 (m, 4H, ArH), 7.27 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 7.47 (t, $J=7.6$ Hz, 1H, ArH), 8.29 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 9.17 (s, 1H, NH), 11.00 (s, 1H, NH), 11.08 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3409, 3297, 3174, 3108, 3013, 2963,

2918, 1633, 1613, 1560, 1543, 1501, 1480, 1455, 1390, 1355, 1258, 1234, 1150, 1101, 812, 782, 746, 722 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{26}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{O}$ $[\text{M}-\text{H}]^-$ 390.1606, found 390.1625.

13-(2-甲氧基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4f**): m.p. 252~254 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 3.90 (s, 3H, OCH₃), 6.05 (s, 1H, CH), 6.58 (s, 1H, ArH), 6.63~6.37 (m, 1H, ArH), 6.86 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 6.94~6.98 (m, 1H, ArH), 7.14~7.21 (m, 5H, ArH), 7.24 (d, $J=8.8$ Hz, 1H, ArH), 7.43~7.47 (m, 1H, ArH), 8.29 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 9.08 (s, 1H, NH), 10.92 (s, 2H, 2NH); IR (KBr) ν : 3289, 3094, 2991, 2942, 2899, 2869, 2829, 1661, 1636, 1595, 1560, 1490, 1461, 1421, 1352, 1332, 1290, 1242, 1157, 1102, 1031, 865, 799, 751, 696 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{25}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{O}_2$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 394.1557, found 394.1579.

13-(3-甲氧基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4g**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 3.60 (s, 3H, OCH₃), 5.65 (s, 1H, CH), 6.45 (s, 1H, ArH), 6.57 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 6.84~6.87 (m, 2H, ArH), 6.99~7.02 (m, 1H, ArH), 7.22~7.26 (m, 5H, ArH), 7.44~7.46 (m, 1H, ArH), 8.27 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 9.19 (s, 1H, NH), 11.00 (s, 1H, NH), 11.10 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3346, 3238, 3101, 3053, 2993, 2954, 2870, 2834, 1666, 1605, 1563, 1547, 1488, 1460, 1397, 1355, 1264, 1240, 1132, 1099, 1052, 852, 811, 756, 695 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{25}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{O}_2$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 394.1557, found 394.1572.

13-(4-甲基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4h**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 2.12 (s, 3H, CH₃), 5.64 (s, 1H, CH), 6.43 (s, 1H, ArH), 6.91 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, ArH), 7.19 (s, 1H, ArH), 7.21~7.24 (m, 5H, ArH), 7.27 (d, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 7.47 (t, $J=7.6$ Hz, 1H, ArH), 8.29 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 9.17 (s, 1H, NH), 11.00 (s, 1H, NH), 11.09 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3286, 3180, 3016, 2971, 2928, 2896, 2866, 1670, 1603, 1561, 1500, 1487, 1458, 1406, 1349, 1288, 1244, 1161, 1101, 1081, 1047, 886, 852, 803, 780, 746, 723 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{25}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{O}$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 378.1608, found 378.1614.

13-(2,4,5-三甲氧基苯基)-6,13-二氢化-3*H*-喹啉并[4,3-*b*]吡咯并[3,2-*f*]喹啉-12(11*H*)-酮(**4i**): m.p. > 300 °C; ^1H NMR ($\text{DMSO}-d_6$, 400 MHz) δ : 3.43 (s, 3H, OCH₃), 3.67 (s, 3H, OCH₃), 3.89 (s, 3H, OCH₃), 5.95 (s, 1H, CH), 6.56 (s, 1H, ArH), 6.60~6.61 (m, 1H, ArH), 6.75 (s, 1H,

ArH), 7.17~7.21 (m, 3H, ArH), 7.23 (d, $J=8.0$ Hz, 1H, ArH), 7.27 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 7.45~7.49 (m, 1H, ArH), 8.30 (d, $J=8.4$ Hz, 1H, ArH), 9.13 (s, 1H, NH), 10.93 (s, 1H, NH), 10.96 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3364, 3286, 3100, 2950, 2937, 2871, 2833, 1669, 1638, 1597, 1550, 1506, 1462, 1429, 1390, 1352, 1315, 1243, 1206, 1098, 1032, 865, 798, 753 cm^{-1} . HRMS (ESI) calcd for $\text{C}_{27}\text{H}_{24}\text{N}_3\text{O}_4$ $[\text{M}+\text{H}]^+$ 454.1768, found 454.1787.

3.3 产物 4b 单晶的实验方法

晶体学数据和衍射强度数据的收集在 Bruker 型四圆衍射仪上进行。将 $0.176\text{ mm}\times 0.142\text{ mm}\times 0.098\text{ mm}$ 的无色长方形单晶置于装有单色器的四圆衍射仪上, 用 $\text{Mo K}\alpha$ ($\lambda=0.71073\text{ \AA}$) 辐射和 $\varphi\omega$ 扫描方式收集衍射数据, 在 $5.90^\circ<2\theta<50.04^\circ$ 范围内共收集 4414 个独立衍射点, 可观测衍射点 3302 个 [$I>2\sigma(I)$], 数据经 Lp 校正。晶体结构由直接法 (SHELXTL 程序) 解出, 经多轮 Fourier 合成获得全部非氢原子, 全部氢原子由理论后直接加氢而得到。全部非氢原子的坐标及各向异性热参数, 采用 $w=1/[\sigma^2(F_o^2)+(0.0778P)^2+3.2673P]$, $P=(F_o^2+2F_c^2)/3$, 经全矩阵最小二乘法修正及收敛。最终的偏离因子为 $R=0.0495$, $wR=0.0672$ 。最终差值电子密度的最高峰为 $0.460\text{ e}\cdot\text{\AA}^{-3}$, 最低峰为 $-0.471\text{ e}\cdot\text{\AA}^{-3}$ 。
(Δ/σ)_{max} = 0.000, $S=1.032$ 。

辅助材料(Supporting Information) 化合物 4a~4i 的 ^1H NMR 图谱和化合物 4b 的 cif 文件。这些材料可以免费从本刊网站(<http://sioc-journal.cn>)上下载。

References

- [1] (a) Keri, R. S.; Patil, S. A. *Biomed. Pharmacother.* **2014**, *68*, 1161.
(b) Muregi, F. W.; Wamakima, H. N.; Kimani, F. T. *Curr. Pharm. Des.* **2012**, *18*, 3505.
(c) Chauhan, S. S.; Sharma, M.; Chauhan, P. M. S. *Drug News Perspect* **2010**, *23*, 632.
(d) Weissbuch, I.; Leiserowitz, L. *Chem. Rev.* **2008**, *108*, 4899.
- [2] Pascolo, S. *Eur. J. Pharm.* **2016**, *771*, 139.
- [3] Babalonis, S.; Hampson, A. J.; Lofwall, M. R.; Nuzzo, P. A.; Walsh, S. L. *J. Clin. Pharm.* **2015**, *55*, 1332.
- (a) Zhang, S.-S.; Jiang, C.-Y.; Wu, J.-Q.; Liu, X.-G.; Li, Q.; Huang, Z.-S.; Li, D.; Wang, H. *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 10240.
(b) Tan, C.; Xiang, H.; He, Q.; Yang, C. *Eur. J. Org. Chem.* **2015**, (17), 3656.
(c) Heravi, M. M.; Hosseini, M.; Oskooie, H. A.; Baghernejad, B.; Farzaneh, F. *Chin. J. Chem.* **2010**, *28*, 2045.
(d) Ranjbar-Karimi, R.; Hashemi-Uderji, S.; Bazmandegan-Shamili, A. *Chin. J. Chem.* **2011**, *29*, 1624.
(e) Du, B. X.; Li, Y. L.; Wang, X. S.; Zhang, M. M.; Shi, D. Q.; Tu, S. J. *Chin. J. Org. Chem.* **2006**, *26*, 698 (in Chinese).
(杜百祥, 李玉玲, 王香善, 张梅梅, 史达清, 屠树江, 有机化学, **2006**, *26*, 698.)
(f) Li, Y. X. *Chin. J. Org. Chem.* **2013**, *33*, 2334 (in Chinese).
(李元祥, 有机化学, **2013**, *33*, 2334.)
- [4] (a) Chen, Y.; Tu, S. J.; Jiang, B.; Li, C. M. *Chin. J. Org. Chem.* **2007**, *27*, 1288 (in Chinese).
(陈艳, 屠树江, 姜波, 李春梅, 有机化学, **2007**, *27*, 1288.)
(b) Hua, G. P.; Xu, J. N.; Tu, S. J.; Wang, Q.; Zhang, J. P.; Zhu, X. T.; Li, T. J.; Zhu, S. L.; Zhang, X. J. *Chin. J. Org. Chem.* **2005**, *25*, 1610 (in Chinese).
(华国平, 徐佳宁, 屠树江, 王倩, 张金鹏, 朱晓彤, 李团结, 朱松磊, 章晓镜, 有机化学, **2005**, *25*, 1610.)
(c) Liu, J.; Liu, G.; Tian, X. H.; Cao, L. H. *Chin. J. Org. Chem.* **2008**, *28*, 73 (in Chinese).
(刘俊, 刘罡, 田晓红, 曹玲华, 有机化学, **2008**, *28*, 73.)
(d) Shi, D. Q.; Shi, J. W.; Yao, H.; Jiang, H.; Wang, X. S. *Chin. J. Org. Chem.* **2008**, *28*, 261 (in Chinese).
(史达清, 拾景文, 姚浩, 蒋虹, 王香善, 有机化学, **2008**, *28*, 261.)
- [5] (a) Wang, X. S.; Zhang, M. M.; Zeng, Z. S.; Shi, D. Q.; Tu, S. J.; Wei, X. Y.; Zong, Z. M. *Tetrahedron Lett.* **2005**, *46*, 7169.
(b) Peng, J.; Hao, W.; Wang, X.; Tu, S. J.; Ma, N.; Zhang, G. *Chin. J. Chem.* **2009**, *27*, 1707.
(c) Zhou, Y. J.; Chen, D. S.; Li, Y. L.; Liu, Y.; Wang, X. S. *ACS Comb. Sci.* **2013**, *15*, 498.
(d) Shi, F.; Yan, S.; Zhou, D.; Tu, S.; Zou, X.; Hao, W.; Zhang, X.; Han, Z.; Wu, S.; Cao, X. *J. Heterocycl. Chem.* **2009**, *46*, 563.
- [6] (a) Chen, D. S.; Zhou, Y. J.; Li, Y. L.; Yao, C. S.; Wang, X. S. *Comb. Chem. High Throughput Screening* **2013**, *16*, 550.
(b) Li, C.; Mu, X. Y.; Li, Y. L.; Liu, Y.; Wang, X. S. *ACS Comb. Sci.* **2013**, *15*, 267.
(c) Zhang, M. M.; Wang, W.; Wang, X. S. *J. Heterocycl. Chem.* **2014**, *51*, E349.
(d) Lu, W. Q.; Zhuang, R.; Chen, D. S.; Wang, X. S. *Polycyclic Aromat. Compd.* **2014**, *34*, 606.

(Lu, Y.)