

微波辐射促进选择性合成 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-
酮和嘧啶-2(1H)-酮安琳 张玲 郑友广 薛运生
牟杰 刘玲 刘毅*

(徐州医学院药学院 徐州 221004)

摘要 探讨了在微波加热条件下, 芳香醛、取代苯乙酮和尿素的三组分反应在 *N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)中制得 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮类化合物, 收率为 68%~84%。若在反应体系中加入三甲氯硅烷, 该三组分反应则高产率(66%~87%)地生成相应的脱氢产物 4,6-二芳基嘧啶-2(1H)-酮类化合物。该反应具有反应条件温和、产物收率高、操作方便等优点, 为 4,6-二芳基-嘧啶-2(1H)-酮类药物中间体的合成提供了一条全新的路线。

关键词 嘧啶酮; 3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮; 微波合成; 多组分反应; Biginelli 反应

Microwave Irradiation Assisted Selective Synthesis of 4,6-Diaryl-3,4-dihydropyrimidin-2(1H)-ones and Pyrimidin-2(1H)-ones

An, Lin Zhang, Ling Zheng, Youguang Xue, Yunsheng
Mou, Jie Liu, Ling Liu, Yi*

(School of Pharmacy, Xuzhou Medical College, Xuzhou 221004)

Abstract Under microwave irradiation, the three-component reaction of aromatic aldehydes, substituted acetophenones and urea in *N,N*-dimethyl formamide (DMF) resulted in 4,6-diaryl-3,4-dihydro-pyrimidin-2(1H)-ones in 68%~84% yields. In the presence of chlorotrimethylsilane, the three-component reactions gave the corresponding dehydrogenated 4,6-diaryl-pyrimidin-2(1H)-ones in satisfactory yields (66%~87%). This method of microwave irradiation for the preparation of 4,6-diaryl pyrimidin-2(1H)-ones was simple, efficient and reaction time-saving.

Keywords pyrimidinone; 3,4-dihydropyrimidinone; microwave synthesis; multicomponent reaction; Biginelli reaction

近年来研究发现, 3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮衍生物(DHPMS)具有钙拮抗、降压、 α_{1a} -拮抗和抗癌等活性, 可用作钙通道剂、抗过敏剂、降压剂、拮抗剂^[1~3]。此外, 还可以作为研制抗癌药物的先导物^[4]。Biginelli 反应作为多组分反应(MCRs)之一, 是合成 3,4-二氢嘧啶-2-酮的最重要的方法。该法通常是将苯甲醛、 β -二羰基化合物、尿素, 在 Lewis 酸催化下, 采用“一锅煮法”得到 3,4-二氢嘧啶酮衍生物。尽管其在合成上的意义重大, 但该方法存在反应时间过长, 收率过低的问题。近年来, 大

量文献报道了用于制备这一类药物中间体的各种改进合成方法, 主要可分为催化合成法^[5~11]、微波促进合成法^[12,13]、固相合成法^[14,15]等。继续寻求新的反应体系仍是 Biginelli 反应合成 3,4-二氢嘧啶酮类药物中间体不断发展的要求。这里, 我们将采用微波辐射技术, 以取代芳香醛、取代芳酮和尿素为原料, 以未见文献报道的 DMF 为溶剂, 选择性地合成了 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮及其脱氢产物 4,6-二芳基嘧啶-2(1H)-酮。

* E-mail: anlinhx@sina.com

Received November 28, 2011; revised December 22, 2011; published online February 4, 2012.

Project supported by the Natural Science Foundation of the Jiangsu Higher Education Institutions of China (No. 11KJB350005), the Presidential Foundation of Xuzhou Medical College of China (No. 2010YKJ008), the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD), and the Natural Science Foundation of Xuzhou City (Nos. XF11C062, XZZD1055).

江苏省高校自然科学基金(No. 11KJB350005)、徐州医学院药学院院长基金(No. 2010YKJ008)、江苏高校优势学科建设工程、徐州市科技计划(Nos. XF11C062, XZZD1055)资助项目。

1 实验部分

1.1 仪器及试剂

^1H NMR 用 Bruker Advance-600 型核磁共振仪测定, TMS 为内标, CDCl_3 为溶剂; IR 谱用 FTIR-8400 红外光谱仪测定, 检测范围为 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$; 熔点用 YRT-3 型显微熔点测定仪 XRC-1 显微熔点测定仪测定, 数据未校正; 反应进程用 TLC 跟踪检测. 微波加热采用陵江 LMMC-201 微波反应器(南京). 所用试剂均为化学纯或分析纯.

1.2 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮的合成

在 50 mL 的锥形瓶中, 依次加入取代芳醛 **1** (1.0 mmol)、取代芳酮 **2** (1.0 mmol)、尿素 (1.5 mmol) 和 DMF (2.0 mL), 混合均匀. 放入微波化学反应器, 先在 75 W 微波功率下预热 0.5 min, 之后视反应情况逐渐提高功率, 直到反应完全. 在反应过程中, 每加热 6 s, 要振荡一次锥形瓶, 使反应物受热均匀. TLC 跟踪反应进程, 反应约 3 min 结束. 待反应完成后, 取出反应瓶冷却, 然后加入 30 mL 水. 过滤得粗产品, 用乙醇重结晶得固体产品 **3a~3g**.

4,6-二(4-氯苯基)-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3a**): 白色固体, 产率 84%. m.p. $238\sim 240\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 8.12 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, NH), 8.03 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 2H, ArH), 7.81 (s, 1H, PyH), 7.67 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 1H, ArH), 7.54~7.48 (m, 5H, ArH), 7.41~7.37 (m, 1H, PyH); IR (KBr) ν : 3391, 3217, 3099, 1691, 1664, 1615, 1490, 1444, 1339, 1243, 1164, 1092, 1012, 858, 820, 789 (cm^{-1}); MS m/z (%): 318.53 (22).

4-(4-甲氧基苯基)-6-苯基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3b**): 白色固体, 产率 78%. m.p. $183\sim 184\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 7.44 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 2H, ArH), 7.37 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 3H, PhH), 7.31 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, ArH), 6.99 (s, 1H, PyH), 6.90 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, PhH), 5.43 (s, 1H, PyH), 5.24 (s, 1H, NH), 5.05 (s, 1H, NH), 3.82 (s, 3H, OCH_3); IR (KBr) ν : 3385, 3244, 3114, 1672, 1610, 1509, 1462, 1332, 1242, 1170, 1109, 1030, 970, 845, 817, 787, 750 cm^{-1} ; MS m/z (%): 279.40 (76).

4-(4-氯苯基)-6-(4-甲基苯基)-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3c**): 白色固体, 产率 75%. m.p. $190\sim 193\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 7.34~7.31 (m, 6H, ArH), 7.29 (s, 1H, PyH), 7.17 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 2H, ArH), 5.98 (s, 1H, PyH), 5.21 (s, 1H, NH), 4.98 (s, 1H, NH), 2.34 (s, 3H, CH_3); IR (KBr) ν : 3222, 3094, 2916, 1692, 1618, 1487, 1449, 1337, 1293, 1254, 1190, 1157, 1088, 1015, 973, 905, 820, 779 cm^{-1} ; MS m/z (%): 299.20 (18).

4-(4-甲氧基苯基)-6-(4-氯苯基)-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3d**): 白色固体, 产率 80%. m.p. $176\sim 178\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 8.12 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 3H, ArH), 8.04 (br, 1H, NH), 7.82 (s, 1H, PyH), 7.69 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, ArH), 7.48 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 3H, ArH), 7.06 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, NH, PyH), 3.90 (s, 3H, OCH_3); IR (KBr disc) ν : 3436, 3006, 1603, 1544, 1513, 1491, 1465, 1426, 1385, 1292, 1252, 1178, 1089, 1011, 877, 825, 713 cm^{-1} ; MS m/z (%): 314.53 (12).

4-(4-甲基苯基)-6-(4-甲氧基苯基)-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3e**): 白色固体, 产率 77%. m.p. $182\sim 184\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 8.15 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 2H, ArH), 8.05 (br, 1H, NH), 7.93 (br, 1H, NH), 7.76 (s, 1H, PyH), 7.64 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 1H, ArH), 7.38~7.33 (m, 2H, ArH), 7.03 (d, $J=8.4\text{ Hz}$, 3H, ArH), 5.30 (s, 1H, PyH), 3.88 (s, 3H, OCH_3), 2.44 (s, 3H, CH_3); IR (KBr) ν : 3393, 3218, 3072, 1689, 1664, 1605, 1512, 1447, 1340, 1290, 1245, 1178, 1115, 1027, 813 cm^{-1} ; MS m/z (%): 293.67 (17).

4,6-二苯基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3f**): 白色固体, 产率 68%. m.p. $208\sim 210\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 8.58 (s, 1H, NH), 7.52 (d, $J=6.6\text{ Hz}$, 2H, PhH), 7.39~7.33 (m, 7H, PhH), 7.29~7.62 (m, 2H, PhH, PyH), 5.17 (d, $J=4.8\text{ Hz}$, 1H, PyH), 5.13 (s, 1H, NH); IR (KBr) ν : 3227, 3087, 2919, 1684, 1486, 1449, 1337, 1291, 1154, 910, 829, 758 cm^{-1} .

4-苯基-6-(4-甲基苯基)-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮(**3g**): 白色固体, 产率 81%. m.p. $198\sim 199\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (600 MHz, CDCl_3) δ : 8.54 (s, 1H, NH), 8.16~8.08 (m, 1H, PyH), 7.55~7.59 (m, 1H, PhH), 7.41 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 2H, PhH), 7.37~7.34 (m, 4H, ArH), 7.16 (d, $J=1.8\text{ Hz}$, 2H, PhH), 5.12 (s, 2H, NH, PyH), 2.29 (s, 3H, CH_3); IR (KBr) ν : 3232 (m), 3095 (m), 2918 (w), 1634, 1620, 1485, 1459, 1291, 1155, 1022, 819, 773 cm^{-1} ; MS m/z (%): 263.47 (26).

1.3 4,6-二芳基嘧啶-2(1H)-酮的合成

在 50 mL 的锥形瓶中, 加入芳醛 **1** (1.0 mmol)、芳酮 **2** (1.0 mmol)、尿素 (1.5 mmol) 和 DMF (2.0 mL)、三甲基氯硅烷 (1.5 mmol), 混合均匀. 反应步骤类似于上述微波反应, 反应约 3 min 结束, 待反应完成后, 取出反应瓶冷却, 然后加入 30 mL 水. 过滤得粗产品, 用乙醇重结晶得固体产品 **4a~4g**.

4,6-二(4-氯苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4a**): 白色固体, 产率 75%. m.p. $>250\text{ }^\circ\text{C}$; ^1H NMR (DMSO , 600 MHz) δ : 12.15 (s, 1H, OH), 8.22 (d, $J=7.8\text{ Hz}$, 4H, ArH), 7.74 (d,

$J=15$ Hz, 1H, PyH), 7.63 (d, $J=8.4$ Hz, 4H, ArH); IR (KBr disc) ν : 3102, 2851, 1617, 1490, 1444, 1417, 1386, 1338, 1094, 1010, 992, 821 cm^{-1} ; MS m/z (%): 315.33 (10).

4-(4-甲氧基苯基)-6-苯基嘧啶-2(1H)-酮(**4b**): 白色固体, 产率 87%. m.p. 243~246 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 13.41 (br, 1H, NH), 8.11 (d, $J=8.4$ Hz, 4H, ArH), 7.58 (d, $J=1.8$ Hz, 3H, PhH), 7.11 (s, 1H, PyH), 7.08 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, PhH), 3.91 (s, 3H, OCH_3); IR (KBr) ν : 3098, 2903, 1612, 1512, 457, 1426, 1393, 1338, 1303, 1255, 1176, 1029, 990, 823, 775 cm^{-1} ; MS m/z (%): 277.33 (100).

4-(4-氯苯基)-6-(4-甲基苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4c**): 白色固体, 产率 84%. m.p. >250 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (600 MHz, CDCl_3) δ : 8.07 (d, $J=8.4$ Hz, 2H, ArH), 7.91 (d, $J=7.2$ Hz, 2H, ArH), 7.54 (d, $J=7.8$ Hz, 2H, ArH), 7.41 (d, $J=7.8$ Hz, 2H, ArH), 7.10 (s, 1H, PyH), 2.48 (s, 3H, CH_3); IR (KBr) ν : 3104, 2909, 1618, 1446, 1339, 1093, 998, 811 cm^{-1} ; MS m/z (%): 296.75 (43).

4-(4-甲氧基苯基)-6-(4-氯苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4d**): 白色固体, 产率 66%. m.p. >250 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 8.06 (d, $J=6.6$ Hz, 4H, ArH), 7.54 (d, $J=7.2$ Hz, 2H, ArH), 7.10 (d, $J=7.2$ Hz, 2H, ArH), 7.08 (s, 1H, PyH), 3.93 (s, 3H, OCH_3); IR (KBr) ν : 3104, 2909, 1618, 1446, 1339, 1093, 998, 811 cm^{-1} ; MS m/z (%): 312.00 (100).

4-(4-甲基苯基)-6-(4-甲氧基苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4e**): 白色固体, 产率 73%. m.p. >250 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 12.99 (br, 1H, NH), 8.10 (d, $J=1.8$ Hz, 2H, ArH), 7.98 (d, $J=6.6$ Hz, 2H, ArH), 7.09 (s, 2H, ArH), 7.07 (s, 1H, PyH), 3.92 (s, 3H, OCH_3), 2.46 (s, 3H, CH_3); IR (KBr) ν : 3105, 2909, 1611, 1510, 1443, 1393, 1339, 1306, 1253, 1177, 1030, 812 cm^{-1} ; MS m/z (%): 291.47 (100).

4-苯基-6-(4-氯苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4f**): 白色固体, 产率 81%. m.p. 233~235 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 13.50 (br, 1H, NH), 8.07 (d, $J=7.2$ Hz, 4H, ArH), 7.57-7.79 (br, 3H, PhH), 7.54 (d, $J=7.8$ Hz, 2H, PhH), 7.12 (s, 1H, PyH); IR (KBr) ν : 2895, 1616, 1492, 1445, 1394, 1334, 1241, 1090, 998, 769 cm^{-1} ; MS m/z (%): 281.33 (12).

4,6-二苯基-嘧啶-2(1H)-酮(**4g**): 白色固体, 产率 80%. m.p. 234~236 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (CDCl_3 , 600 MHz) δ : 13.04 (br, 1H, NH), 7.94 (d, $J=5.4$ Hz, 4H, PhH), 7.34~7.58 (br, 5H, PhH), 7.13 (s, 1H, PyH), 7.00 (s, 1H, PhH);

IR (KBr) ν : 3086, 2918, 1618, 1487, 1337, 1291, 1155, 1076, 971, 912, 828, 763 cm^{-1} ; MS m/z (%): 248.43 (64).

1.4 4-(4-氯苯基)-6-(4-甲基苯基)嘧啶-2(1H)-酮(**4c**)的晶体结构测定

以乙醇为溶剂培养出化合物 **4c** 的单晶, 在 Bruker Smart CCD 型 X 衍射单晶分析仪上测定. **4c** 的分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{13}\text{ClN}_2\text{O}$; 分子量为 296.74. 晶体大小为 0.23 mm $\times$ 0.21 mm $\times$ 0.20 mm. 化合物 **4c** 属正交晶系, 空间群为 $Pbca$ (No. 61). $2.7^{\circ} < \theta < 25.0^{\circ}$, $-8 \leq h \leq 8$, $-15 \leq k \leq 15$, $-35 \leq l \leq 35$; 总的衍射点数目为 19599 个, 其中独立衍射点数目 2563 个; 晶胞参数为: $a=7.2608(8)$ Å, $b=13.3519(14)$ Å, $c=30.156(3)$ Å, $\alpha=90^{\circ}$, $\beta=90^{\circ}$, $\gamma=90^{\circ}$; $Z=8$, $V=2923.5(5)$ Å³, $D_c=1.348$ g $\cdot$ cm⁻³; $R_1=0.0699$, $wR_2=0.2448$ ($I > 2\sigma(I)$); $R_1=0.0829$, $wR_2=0.2556$.

2 结果与讨论

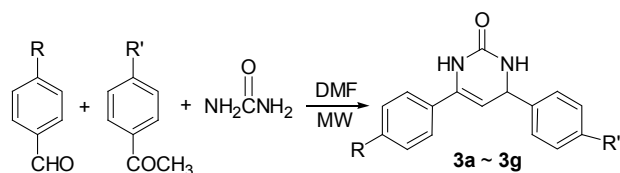
在研究取代芳醛、取代芳酮和尿素这三组分反应时, 在溶剂的选择上, 已有文献[10]报道使用乙腈、乙醇、二氯甲烷、THF、醋酸、乙二醇等作为反应溶剂, 可得到中等甚至超过 90% 的收率, 但还需要使用催化剂. 而 N,N -二甲基甲酰胺(DMF)则未见文献报道. 本研究使用 DMF 作溶剂的优点是: 作为质子溶剂, 能在反应中提供氢质子; 沸点高, 能提高反应温度, 缩短反应时间; 能和水混溶, 反应后, 可向体系加水过滤即得粗产物, 能简化后处理操作, 提高收率. 微波辐射技术目前已被广泛应用于有机合成反应. 利用微波辐射合成 3,4-二氢嘧啶酮衍生物已有文献报道[16,17]. 本研究将在 N,N -二甲基甲酰胺(DMF)溶剂中, 采用微波辐射, 以期在短时间内高效完成反应.

我们研究了对位分别被甲基、甲氧基和氯原子取代的苯甲醛和取代苯乙酮及尿素在该反应中的应用, 合成了一系列 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶酮类化合物 **3a~3g**, 见表 1. 对产物的结构进行 IR, ^1H NMR 和 HPLC-MS 的表征, 结构鉴定数据与文献数值基本一致. IR 吸收在 1690~1630 cm^{-1} 范围出现强或非常强的吸收峰应归为 C=O 伸缩振动产生的吸收峰, 而嘧啶酮结构中两个 NH 的存在可由在 3300~3200, 3090~3070 cm^{-1} 出现的中等强度或稍弱的吸收峰来佐证. 在 ^1H NMR 中, **3a~3g** 由于受到 4-位和 6-位苯环对位的吸电子基或给电子基电子效应的影响不同, 导致 N 上 H 质子的化学位移有一定的变化, 多出现在 δ 8.50~8.10 区间. 二氢嘧啶环 C(6)上的质子信号一般出现在 δ 5.00~5.25 范围.

我们发现如果在上述反应体系中, 加入强 Lewis 酸三甲基氯硅烷, 芳香醛、取代苯乙酮和尿素在微波加热条件下, 生成了脱去一分子氢的 4,6-二芳基嘧啶-2-酮衍

表1 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶-2(1H)-酮 3a~3g 的合成

Table 1 Synthesis of 4,6-diaryl-3,4-dihydro-pyrimidin-2(1H)-ones 3a~3g

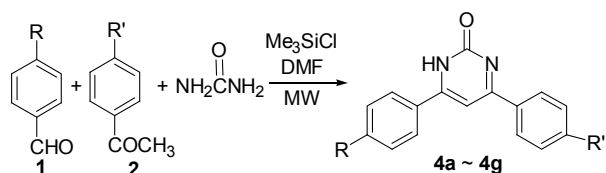


Entry	R	R'	Product	Yield/%
1	Cl	Cl	3a	84
2	OCH ₃	H	3b	78
3	Cl	CH ₃	3c	75
4	OCH ₃	Cl	3d	80
5	CH ₃	OCH ₃	3e	77
6	H	H	3f	68
7	H	CH ₃	3g	81

生物 4a~4g(表 2), 收率也非常好(66%~87%)。三甲基氯硅烷的作用是提供强酸性环境, 在微波加热情况下使原来形成的二氢嘧啶环化合物发生脱氢反应, 进一步生成具有芳香性的嘧啶环。4,6-二芳基嘧啶-2-酮衍生物 4a~4g 的结构不仅经过 ¹H NMR, IR, HPLC-MS 谱的表征, 而且还通过化合物 4c 的 X 衍射单晶结构分析确证(图 1)。在化合物 4a~4g 的 IR 光谱中, 在 1620 cm⁻¹ 左右出现羰基的强吸收峰, 表明嘧啶酮环仍然以酮式存在, 其 ¹H NMR 中一般在 δ 13.10 处显现酰胺质子的吸收峰, 也表明以酮式结构存在, 而不是以烯醇形式存在。4c 的 X 衍射单晶结构图明确表明分子中存在酮式结构。

表2 4,6-二芳基嘧啶-2(1H)-酮 4a~4g 的合成

Table 2 Synthesis of 4,6-diaryl pyrimidin-2(1H)-ones 4a~4g



Entry	R	R'	Product	Yield/%
1	Cl	Cl	4a	75
2	OCH ₃	H	4b	87
3	Cl	CH ₃	4c	84
4	OCH ₃	Cl	4d	66
5	CH ₃	OCH ₃	4e	73
6	H	Cl	4f	81
7	H	H	4g	80

3 结论

总之, 我们采用微波辐射技术, 使得芳香醛、取代

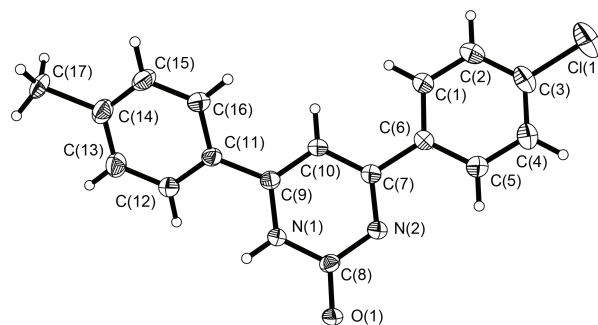


图1 嘧啶酮衍生物 4c 的单晶分子结构

Figure 1 X-ray structure of pyrimidin-2(1H)-ones derivative 4c

芳香酮和尿素的三组分反应顺利进行, 高产率的合成了 4,6-二芳基-3,4-二氢嘧啶酮衍生物。在反应中加入三甲基氯硅烷, 进一步选择性地合成了 4,6-二芳基嘧啶酮类化合物。该方法反应试剂易得, 操作方法简单, 后处理方便, 拓展了 Biginelli 反应可使用溶剂范围, 为多取代嘧啶酮类化合物的合成提供了简捷合成方法。

References

- [1] Atwal, K. S.; Swanson, B. N.; Unger, S. E.; Floyd, D. M.; Moreland, S.; Hedberg, A.; O'Reilly, B. C. *J. Med. Chem.* **1991**, 34(2), 806.
- [2] Kappe, C. O.; Fabian, W. M. F. *Tetrahedron* **1997**, 53(8), 2803.
- [3] Atwal, K. S.; Rovnyak, G. C.; O'Reilly, B. C.; Schwartz, J. J. *Org. Chem.* **1989**, 54(25), 5898.
- [4] Mayer, T. U.; Kapoor, T. M.; Haggarty, S. J.; King, R. W.; Schreiber, S. L.; Mitchison, T. J. *Science* **1999**, 286(541), 971.
- [5] Hu, E. H.; Sidler, D. R.; Dolling, U. H. *J. Org. Chem.* **1998**, 63(10), 3454.
- [6] Ma, Y.; Qian, C. T.; Wang, L. M.; Yang, M. *J. Org. Chem.* **2000**, 65(12), 3864.
- [7] Ranu, B. C.; Hajra, A.; Jana, U. *J. Org. Chem.* **2000**, 65(19), 6270.
- [8] Lu, J.; Wang, F.-L.; Bai, Y.-J.; Li, W.-H. *Chin. J. Org. Chem.* **2002**, 22, 111 (in Chinese).
(路军, 王飞利, 白银娟, 李万华, 有机化学, **2002**, 22, 111.)
- [9] Salehi, P.; Dabiri, M.; Zolfigol, M.; Fard, M. A. B. *Tetrahedron Lett.* **2003**, 44(14), 2889.
- [10] Niknam, K.; Zolfigol, M. A.; Hossieninejad, Z.; Daneshvar, N. *J. Chin. Catal.* **2007**, 28(7), 591 (in Chinese).
(Niknam, K.; Zolfigol, M. A.; Hossieninejad, Z.; Daneshvar, N., 催化学报, **2007**, 28(7), 591.)
- [11] Tang, W.-Y.; Jiang, H. J.; Zhuang, Y.-G.; Hong, Z.; Huang, G.-B. *Sci. Technol. Eng.* **2010**, 10(14), 3534 (in Chinese).
(唐文渊, 蒋华江, 庄玉国, 洪志, 黄国波, 科学技术与工程, **2010**, 10(14), 3534.)
- [12] Gupta, R.; Gupta, A. K.; Paul, S. *Indian J. Chem.* **1995**, 34B, 151.
- [13] Stefani, H. A.; Gatti, P. M. *Synth. Commun.* **2000**, 30(12), 2165.
- [14] Wipf, P.; Cunningham, A. *Tetrahedron Lett.* **1995**, 36(43), 7819.
- [15] Studer, A.; Hadida, S.; Ferritto, R.; Kim, S. Y.; Jeger, P.; Wipf, P.; Curran, D. P. *J. Org. Chem.* **1997**, 275(5301), 823.
- [16] Stadler, A.; Kappe, C. O. *J. Comb. Chem.* **2001**, 3(6), 624.
- [17] Shaabani, A.; Bazgir, A. *Tetrahedron Lett.* **2004**, 45(12), 2575.

(Lu, Y.)