

新型脱氢枞胺衍生物的合成及其抗自由基活性

陆 洲 刘超祥 余 星 林中祥*

(南京林业大学化学工程学院 南京 210037)

摘要 通过不同的方法在脱氢枞胺中引入酰肼、没食子酸、肟、异烟基等对清除自由基有效果的基团,设计合成了几种新型的脱氢枞胺衍生物.利用 ^1H NMR, ^{13}C NMR, IR 和 HRMS 对所有合成的化合物进行了结构表征.测试了所合成的化合物对清除超氧阴离子(O_2^-)和二苯代苦味酰基自由基(DPPH \cdot)的活性,其中 *N*-(3,4,5-三羟基苯甲酰基)-脱氢枞胺(6)对 O_2^- 的抑制率达到 38.18%,是常用抗氧化药物 Vc (18.35%)的两倍以上;对(DPPH \cdot)的半数抑制浓度为 0.002×10^3 mg/L,远优于 Vc (0.236×10^3 mg/L).

关键词 脱氢枞胺; 抗自由基; 酰肼; 没食子酸

Synthesis and Anti-free Radical Activities of Several Novel Derivatives of Dehydroabietylamine

Lu, Zhou Liu, Chaoxiang Yu, Xing Lin, Zhongxiang*

(College of Chemical Engineering Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract A series of novel derivatives of dehydroabietylamine were synthesized by introducing some groups with good free radical scavenging activities into the dehydroabietylamine, such as hydrazone, gallic acid, oxime and isoniazid. Structures of the synthesized compounds were characterized by IR, ^1H NMR, ^{13}C NMR, MS and HRMS techniques. All the compounds were tested the ability on scavenging superoxide anion radical (O_2^-) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH \cdot). The results indicate that the inhibitory rate of O_2^- by (6) (38.18%) is twice as much as that of Vc (18.35%), and its capacity on scavenging DPPH \cdot ($\text{IC}_{50}=0.002 \times 10^3$ mg/L) is much better than Vc ($\text{IC}_{50}=0.236 \times 10^3$ mg/L).

Keywords dehydroabietylamine; anti-free radical; acylhydrazone; gallic acid

自由基是一类具有高度活性的物质,研究表明它参与了动脉粥样硬化、阿尔茨海默病、高血压等多种疾病的发生^[1~2],而自由基清除剂能够清除自由基,保护机体免受氧化损害,研究开发新的抗自由基药物成为当今最热门的课题之一.脱氢枞胺是一种具有三环菲结构的松香改性产品,它是歧化松香胺的主要成分.近年来越来越多的学者对脱氢枞胺及其衍生物的抗菌、杀虫、抗病毒、抗肿瘤活性进行研究^[3~10],这些研究表明脱氢枞胺在药物研究和生物学等方面正显示出越来越重要的作用.但是,一直以来脱氢枞胺的抗自由基作用没有见文献报道,本工作通过连苯三酚法^[11]和 DPPH 法^[12]测试了脱氢枞胺清除超氧阴离子(O_2^-)和二苯代苦味酰基自由基(DPPH \cdot)的能力,测试结果表明脱氢枞胺虽然有抗

自由基能力,但和常用抗自由基药物 Vc^[13]相比并没有优势.为了提高其抗自由基效果,本工作采用不同的方法在脱氢枞胺中引入酰肼、没食子酸、肟基、硫脲、异烟基等有较好抗自由基活性的基团^[14~18],合成了几种结构新颖的脱氢枞胺衍生物(Scheme 1, Eq. 1),并测试了它们对自由基的清除作用.结果显示部分化合物清除自由基的效果远优于 Vc.希望这些研究能为后续开发脱氢枞胺类抗氧化药物提供参考.

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

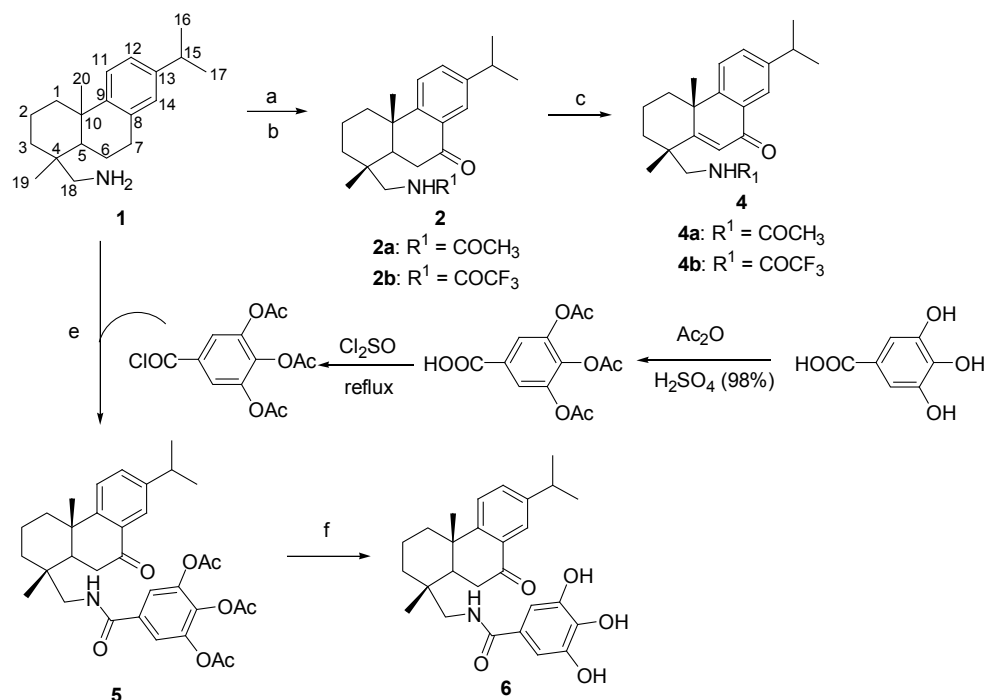
脱氢枞胺,用桂林松泉林化工业有限责任公司生产

* E-mail: linzhongxiang36@gmail.com

Received November 9, 2012; revised December 6, 2012; published online December 10, 2012.

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 31170536) and the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions.

国家自然科学基金(No. 31170536)和江苏高校优势学科建设工程资助项目.



Scheme 1

目)(青岛海洋化工厂生产)。

1.2 合成

1.2.1 化合物 2a, 2b 的合成

中间产物乙酰脱氢枞胺-7-酮(2a)和三氟乙酰脱氢枞胺-7-酮(2b)的合成可以参考文献[20], 分两步合成。

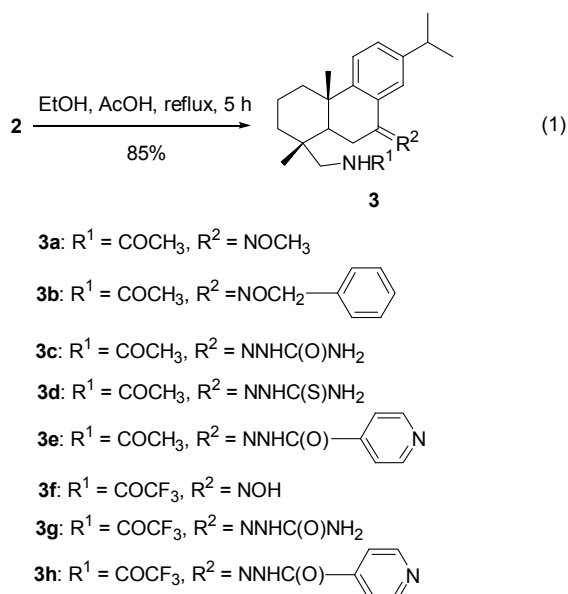
1.2.2 化合物 3a~3h 的合成

以目标化合物 3a 的合成为例, 将 8.79 mmol 2a 用 50 mL 乙醇溶解, 加入 150 mL 四口瓶中, 再加入 8.8 mmol 甲氧胺盐酸盐和少量醋酸, 加热回流 8 h。反应结束后减压蒸除溶剂, 残留物用硅胶柱层析[洗脱剂: $V(\text{石油醚}) : V(\text{乙酸乙酯}) = 5 : 5$]分离得到目标产物 3a。用类似的方法得到产物 3b~3h。

乙酰脱氢枞胺-7-(*O*-甲基羟)(3a): 淡黄色固体, 产率 85%。m.p. $88.5\sim 89.7^\circ\text{C}$; ^1H NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 7.76 (s, 1H, ArH), 7.17 (d, $J=12.2$ Hz, 2H, ArH), 5.48 (s, 1H, NH), 4.11~3.92 (s, 3H, OCH_3), 3.31 (dt, $J=18.9, 9.5$ Hz, 9.5 Hz, 1H), 2.98 (s, 1H), 2.88~2.80 (s, 1H), 2.25~2.56 (m, 2H), 1.95 (s, 3H), 1.78~1.71 (m, 2H), 1.51 (dd, $J=13.5, 5.0$ Hz, 2H), 1.33~1.17 (m, 9H), 1.15~1.00 (m, 6H); ^{13}C NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 170.41 (C=O), 154.25 (C=N), 148.78 (C-9), 146.46 (C-13), 128.87 (C-12), 127.64 (C-8), 122.89 (C-14), 122.29 (C-11), 61.98 (OCH_3), 49.39, 42.08, 37.50, 37.46, 36.87, 36.12, 33.65, 24.14, 23.66, 23.46, 23.03, 22.34,

的歧化松香胺按文献[19]提纯得到; 其它化学试剂为分析纯。

美国 Nicolet 360 傅立叶红外光谱仪(KBr 压片); Bruker-AVANCE AV500 核磁共振波谱仪(CDCl_3 为溶剂, TMS 为内标); BIFLEX III 型 MALDI-TOF 质谱仪; XT6 显微熔点测定仪(上海荆和分析仪器有限公司); TU-1900 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。柱层析采用柱层析硅胶(200~300



NH₂), 3.00~2.81 (m, 3H), 2.58 (dd, $J=18.5, 13.4$ Hz, 1H), 2.30 (d, $J=12.6$ Hz, 1H), 1.83~1.75 (m, 2H), 1.67~1.57 (m, 3H), 1.29~1.22 (m, 8H), 1.19~1.11 (m, 6H); ¹³C NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 159.20 (COCF₃), 157.64 (CONH₂), 148.51 (C-9), 146.64 (C-13), 145.88 (C-12), 130.74 (C-8), 127.55 (C-14), 122.77 (C-11), 122.49 (CF₃), 51.35, 44.77, 38.14, 37.40, 36.81, 36.27, 33.75, 24.69, 24.09, 23.80, 23.01, 18.08, 17.07; IR (KBr) ν : 3500, 3450, 3377, 1961, 2929, 2870, 1724, 1689, 1670, 1569, 1421, 1121, 1155 cm⁻¹; ESI-MS (+) m/z : 453.3 [M+H]⁺, 475.4 [M+Na]⁺; HRMS (EI) calcd for C₂₃H₃₁F₃N₄O₂ 453.2481, found 453.2477.

三氟乙酰脱氢枞胺-7-异烟酰胺(**3h**): 淡黄色粉末, 产率 74%. m.p. 182.2~183.5 °C; ¹H NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 10.17 (s, 1H, NNHC=O), 8.73 (d, $J=5.2$ Hz, 2H, PyH), 7.77 (d, $J=5.6$ Hz, 2H, PyH), 7.60 (s, 1H, ArH), 7.15 (d, $J=17.4$ Hz, 2H, ArH), 6.62 (s, 1H, NH), 4.42~3.30 (m, 2H), 3.12~2.94 (m, 1H), 2.92~2.76 (m, 2H), 1.85~1.76 (m, 2H), 1.54~1.68 (m, 2H), 1.50 (s, 1H), 1.31 (d, $J=18.0$ Hz, 1H), 1.25 (s, 1H), 1.20 (t, $J=7.8$ Hz, 6H), 1.13 (s, 3H), 1.07 (s, 3H); ¹³C NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 169.24 (NHCO), 157.04 (COCF₃), 150.19 (Py-C), 149.54 (Py-C), 149.22 (C-9), 148.99 (C-13), 146.63 (C=N), 141.34 (Py-C), 128.90 (C-12), 123.84 (C-8), 123.23 (C-14), 122.88 (C-11), 122.37 (Py-C), 121.42 (Py-C), 113.90 (CF₃), 60.31, 49.80, 42.79, 37.89, 37.17, 36.11, 33.39, 23.69, 23.57, 23.41, 18.31, 17.94, 14.09; IR (KBr) ν : 3424, 3255, 1961, 2927, 2870, 1720, 1660, 1385, 1208, 1152 cm⁻¹; ESI-MS (+) m/z : 515.3 [M+H]⁺, 537.3 [M+Na]⁺; HRMS (EI) calcd for C₂₈H₃₃F₃N₄O₂ 515.2638, found 515.2634.

1.2.3 目标化合物 **4a** 和 **4b** 的合成

以目标化合物 **4a** 的合成为例, 将 3 mmol 的 **2a** 用 40 mL 醋酸溶解加入 250 mL 四口烧瓶, 升温到 70 °C, 然后将 10 mmol 的二氧化硒用醋酸溶解, 缓慢滴加到四口烧瓶中, 滴加完毕, 升温到回流, 继续反应 5 h. 反应结束后过滤除去反应生成的硒粉, 滤液减压蒸除溶剂, 残留物后用硅胶柱层析[洗脱剂: $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯})=7:3$]分离得到目标产物. 用类似的方法得到产物 **4b**.

乙酰脱氢枞胺-(5,6-烯)-7-酮(**4a**): 淡黄色固体, 产率 50%. m.p. 123.1~124.3 °C; ¹H NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 7.91 (d, $J=7.2$ Hz, 1H, ArH), 7.44 (s, 2H, ArH), 6.40 (s, 1H, H-6), 5.80 (s, 1H, CONH), 3.68 (dd, $J=14.3, 9.0$ Hz, 1H), 3.34 (dd, $J=14.2, 3.0$ Hz, 1H),

3.01~2.86 (m, 2H), 2.11~1.98 (s, 1H), 1.94 (d, $J=12.6$ Hz, 3H, 3H), 1.89~1.70 (m, 1H), 1.70~1.58 (m, 3H), 1.52 (s, 3H), 1.37 (s, 3H), 1.30~1.23 (m, 6H); ¹³C NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 185.25 (C-7), 170.99 (NHCO), 170.38 (C-5), 150.97 (C-9), 147.13 (C-13), 131.52 (C-12), 129.92 (C-14), 124.80 (C-11), 124.55 (C-6), 123.53 (C-8), 48.54, 41.87, 41.19, 35.96, 34.08, 34.03, 33.58, 27.01, 23.75, 23.69, 23.30, 17.62; IR (KBr) ν : 3360, 3072, 2960, 2931, 2869, 1652, 1607, 1545, 1495, 1276, 1099, 885, 596 cm⁻¹; ESI-MS (+) m/z : 340.1 [M+H]⁺, 360.1 [M+Na]⁺; HRMS (EI) calcd for C₂₂H₂₉NO₂ 340.2277, found 340.2280.

三氟乙酰脱氢枞胺-(5,6-烯)-7-酮(**4b**): 淡黄色固体, 产率 45%. m.p. 95.1~96.3 °C; ¹H NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 7.96 (t, $J=6.1$ Hz, 1H, ArH), 7.49~7.41 (m, 2H, ArH), 6.38 (s, 2H, H-6, NH), 3.76~3.63 (m, 1H), 3.51 (dd, $J=14.2, 3.8$ Hz, 1H), 2.97 (dd, $J=14.5, 7.0$ Hz, 1H), 2.68~2.52 (m, 1H), 2.13~2.00 (m, 1H), 1.94~1.77 (m, 1H), 1.72~1.58 (m, 3H), 1.57~1.50 (m, 4H), 1.44~1.40 (m, 3H), 1.31~1.24 (m, 7H); ¹³C NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 185.02 (C-7), 169.59 (C-5), 157.83 (NHCO), 150.71 (C-9), 147.39 (C-13), 131.79 (C-12), 129.79 (C-8), 124.73 (C-11), 124.59 (C-14), 123.78 (C-6), 48.79, 41.67, 41.20, 35.86, 34.06, 34.00, 33.66, 26.78, 23.75, 17.52; IR (KBr) ν : 3326, 2960, 2934, 2817, 1773, 1650, 1559, 1458, 1358, 1209, 1161, 757 cm⁻¹; ESI-MS (+) m/z : 394.4 [M+H]⁺, 416.4 [M+Na]⁺; HRMS (EI) calcd for C₂₂H₂₆F₃NO₂ 394.1994, found 394.1997.

1.2.4 目标化合物 **5** 的合成

参照文献[21]先合成三乙酰基没食子酰氯. 取 17.5 mmol 脱氢枞胺(**1**)用 60 mL 二氯甲烷溶解后加入 250 mL 四口烧瓶中, 再取 18 mmol 的三乙酰基没食子酰氯用 20 mL 二氯甲烷溶解, 并缓慢滴加到四口烧瓶中, 滴加完毕, 室温下搅拌反应 4 h. 反应结束后减压蒸除溶剂, 残留物用硅胶柱层析[洗脱剂: $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯})=6:4$]分离得到目标产物 *N*-(3,4,5-三乙酰氧基苯甲酰基)-脱氢枞胺(**5**). 白色固体, 产率 89%. m.p. 195.1~196.3 °C; ¹H NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 7.49~7.46 (m, 2H, ArH), 7.16 (d, $J=8.2$ Hz, 1H, ArH), 6.98 (dd, $J=8.1, 1.7$ Hz, 1H, ArH), 6.88 (s, 1H, ArH), 6.12 (d, $J=20.8$ Hz, 1H, CONH), 3.32 (t, $J=7.9$ Hz, 2H), 3.03~2.91 (m, 1H), 2.82~2.77 (m, 2H), 2.27 (s, 9H, OAc), 1.94~1.78 (m, 1H), 1.71~1.67 (m, 1H), 1.48~1.64 (m, 2H), 1.45~1.38 (m, 2H), 1.37~1.34 (m, 1H), 1.31~1.26 (m, 1H), 1.24 (d, $J=7.2$ Hz, 1H), 1.22 (s, 6H), 1.21 (s, 3H), 0.98 (s, 3H);

^{13}C NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 167.56 (CH_3CO), 167.54 (CH_3CO), 166.42 (CH_3CO), 165.30 (NHCO), 146.96, 145.57 (C-9), 143.48, 137.10, 134.67 (C-13), 133.12, 126.93 (C-8), 125.95 (C-14), 124.10 (C-11), 123.80 (C-12), 119.45, 114.94, 50.71, 46.03, 38.28, 37.63, 37.51, 36.35, 33.38, 30.26, 25.36, 23.92, 23.89, 20.51, 20.07, 19.85, 19.51, 19.08, 18.54; IR (KBr) ν : 3442, 2931, 2869, 1776, 1658, 1489, 1375, 1222, 1188, 1053, 550 cm^{-1} ; ESI-MS (+) m/z : 564.2 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 586.2 $[\text{M}+\text{Na}]^+$; HRMS (EI) calcd for $\text{C}_{33}\text{H}_{41}\text{NO}_7$ 564.2966, found 564.2975.

1.2.5 目标化合物 6 的合成

取 10 mmol 化合物 5 用 60 mL 二氯甲烷溶解, 加入 250 mL 四口烧瓶, 然后往四口烧瓶中滴加两滴水合肼, 在室温下搅拌反应 30 min, 反应结束后用 30 mL 水洗 3 次, 将下层液减压蒸馏得到产物 *N*-(3,4,5-三羟苯基)-脱氢枞胺(6). 淡黄色固体, 产率 70%. m.p. 153.5~154.7 $^{\circ}\text{C}$; ^1H NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 7.17~7.03 (m, 1H, ArH), 6.92 (t, $J=15.0$ Hz, 1H, ArH), 6.81 (t, $J=15.7$ Hz, 3H, ArH), 6.39 (s, 1H, NH), 5.67~5.43 (m, 3H, OH), 3.70 (q, $J=7.0$ Hz, 1H), 3.40 (s, 1H), 3.06 (s, 1H), 2.84~2.77 (m, 2H), 1.83~1.78 (m, 1H), 1.66 (s, 2H), 1.57 (s, 1H), 1.34~1.44 (m, 2H), 1.31~1.26 (m, 1H), 1.22~1.24 (m, 2H), 1.20~1.18 (m, 6H), 1.13 (s, 3H), 0.92~0.85 (m, 3H); ^{13}C NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 169.33 (NHCO), 146.91, 145.64 (C-9), 145.55 (C-13), 144.82, 136.20, 134.53 (C-8), 126.87, 125.23 (C-14), 124.11 (C-11), 123.80 (C-12), 107.46, 107.25, 51.20, 46.71, 38.30, 37.67, 37.47, 36.35, 33.39, 30.22, 25.26, 23.94, 23.80, 19.12, 18.54, 18.05; IR (KBr) ν : 3334, 2957, 2926, 2867, 1603, 1519, 1501, 1443, 1374, 1342, 1281, 1201, 1038 cm^{-1} ; ESI-MS (+) m/z : 438.2 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 460.2 $[\text{M}+\text{Na}]^+$; HRMS (EI) calcd for $\text{C}_{27}\text{H}_{35}\text{NO}_4$ 438.2647, found 438.2644.

1.3 抗自由基活性测试

1.3.1 清除超氧阴离子(O_2^-)实验

参考文献[22, 23]方法测试目标化合物清除超氧阴离子(O_2^-)的能力. 在 10 mL 的比色皿中加入 5.7 mL 浓度 50 mmol/L 的 Tris-HCl 缓冲液(pH 8.20), 再加入 0.2 mL 浓度为 0.1000 g/L 的样品, 于 25 $^{\circ}\text{C}$ 保温 10 min, 然后加入 25 $^{\circ}\text{C}$ 预热的 6 mmol/L 邻苯三酚 0.1 mL, 总体积 6.0 mL, 迅速摇匀后用紫外可见分光光度计测定反应 1 min 时 320 nm 处的吸光度, 此后每隔 30 s 读取一次吸光度 A , 到 300 s 时停止. 以 Tris-HCl 缓冲液为空白调零, 无样品液为阳性对照, 测试所有样品. 样品对 O_2^- 的抑

制率按如下公式计算:

$$\text{抑制率} = [(\Delta A/\Delta t)_{\text{对照}} - (\Delta A/\Delta t)]/(\Delta A/\Delta t)_{\text{对照}} \times 100\%$$

1.3.2 清除二苯代苦味酰基自由基(DPPH \cdot)实验

参考文献[24~27]方法测试目标化合物清除二苯代苦味酰基自由基(DPPH \cdot)的能力. 分别配制不同浓度的样品溶液, 取 2 mL 的样品溶液与比色管中, 再加入 8.62×10^{-5} mol/L 的 DPPH 溶液 2 mL, 使混合液总体积为 4 mL, 充分摇匀在室温下反应 30 min 后用紫外分光光度计测定 517 nm 处的吸光度 A (用样品溶液调零后测量). 在 2 mL DPPH 溶液中加入 2 mL 乙醇溶液, 测定吸光度 A_0 . 样品对 DPPH \cdot 的清除率计算公式如下:

$$\text{清除率} = [(A_0 - A)/A_0] \times 100\%$$

2 结果与讨论

2.1 合成方法

实验先通过在脱氢枞胺 7 位引入羰基, 成功合成了一系列含 Schiff 和酰胺基团的新型脱氢枞胺衍生物, 研究过程中发现加入少量醋酸作催化剂能有效地促进反应的进行, 以化合物 3e 的合成为例, 在未加催化剂时, 反应 12 h 收率只有 30%, 但加入醋酸后反应 5 h 收率高达 85%.

在对 4a~4b 的合成研究中, 预期结果是在脱氢枞胺 6 位再引入羰基, 实际产物却是在 5, 6 位形成了烯键, 尝试多种方法未能在 6 位引入羰基, 烯键的形成说明氧化产生的中间产物不稳定, 中间产物经脱氢形成烯键. 另外在产物 6 的合成研究中, 原先设计路线是没食子酸直接和脱氢枞胺反应, 实际操作中发现没食子酸苯环上的三个羟基在反应过程中容易变异, 因此采用了现在的合成方法.

2.2 抗自由基测试结果与分析

对合成化合物的抗自由基活性测试结果如表 1. 实验结果发现, 脱氢枞胺本身具有一定清除自由基能力, 但不是很强, 其对(DPPH \cdot)的清除能力($\text{IC}_{50} = 4.580 \times 10^3$ mg/L)比没食子酸($\text{IC}_{50} = 0.001 \times 10^3$ mg/L)弱很多. 从化合物 5 和 6 的测试结果可以看出引入多羟基的没食子酸能够大幅度提高脱氢枞胺抗自由基能力, 特别是化合物 6, 其对超氧阴离子(O_2^-)的抑制率为 38.18%, 几乎是 Vc (23.25%) 的两倍, 对自由基(DPPH \cdot)的清除能力($\text{IC}_{50} = 0.002 \times 10^3$ mg/L)比 Vc ($\text{IC}_{50} = 0.236 \times 10^3$ mg/L)强 118 倍, 化合物 5 因为羟基被羰基保护使得清除自由基能力有所下降; 化合物 3c 和 3d 对 (DPPH \cdot)的半数清除浓度分别为 3.124×10^3 和 0.087×10^3 mg/L, 对比后可以发现 C=S 键清除 (DPPH \cdot)自由基能力很强; 化合物

3f 和 **3h** 对(DPPH•)的半数清除浓度分别为 0.325×10^3 , 0.223×10^3 mg/L, 表明脒基和异烟基对(DPPH•)自由基有较好的清除作用; 化合物 **3c** 和 **3g** 对 O_2^- 抑制率分别为 0.86% 和 19.25%, 对比中可以发现 CF_3 对 O_2^- 有一定的抑制作用, **3e** (5.35%) 和 **3h** (10.91%) 的对比也说明了这点。

综上所述, 本研究的研究确认了脱氢枞胺清除自由基的能力, 并且合成的几种新型脱氢枞胺衍生物表现出良好的抗自由基性能, 为后续研究提供了方向和依据, 为拓展脱氢枞胺的应用开辟了新的途径。

表 1 化合物清除自由基活性^a

Table 1 Scavenging free radicals activity of the target compounds

Compd.	O_2^- 抑制率/%	清除 DPPH•能力 $IC_{50}/(mg \cdot L^{-1})$
脱氢枞胺	23.21	4.580×10^3
2a	7.87	0.598×10^3
3a	2.46	$>5.000 \times 10^3$
3b	11.87	$>5.000 \times 10^3$
3c	0.86	3.124×10^3
3d	24.71	0.087×10^3
3e	5.35	0.555×10^3
3f	14.01	0.325×10^3
3g	19.25	2.988×10^3
3h	10.91	0.223×10^3
4a	7.56	0.586×10^3
4b	8.54	0.577×10^3
5	28.98	0.067×10^3
6	38.18	0.002×10^3
没食子酸	10.11	0.001×10^3
Vc	18.35	0.236×10^3

^a 表中 Vc 的测得值与文献[28]报道相近。

References

- [1] Stuart, O.; Philip, B. *Account. Org. Soc.* **1985**, *10*, 211.
- [2] Cumming, R. B.; Marva, F. W. *Food Cosmet. Toxicol.* **1973**, *11*, 547.
- [3] Wang, Y.; Yang, C.-G.; Zhou, Y.-H. *Nat. Prod. Res. Dev.* **1997**, *4*, 59 (in Chinese).
(王延, 杨成根, 周永红, 天然产物研究与开发, **1997**, *4*, 59.)
- [4] Zhou, Z.; Lin, Z. X. *Molecules* **2012**, *17*, 4209.
- [5] Lei, Q.; Feng, S.-B.; Zhang, Y. *Chin. J. Org. Chem.* **2011**, *31*, 1468 (in Chinese).
- [6] Sui, Y.; Liu, D. S.; Hu, R. H. *J. Mater. Chem.* **2011**, *21*, 38.
- [7] Wendell, W.; Wilkerson, W. G.; Indawati, D.; Ricard, R. H. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **1993**, *3*, 2087.
- [8] Cristiano, B.; Laura, F.; Barbara, M.; Marco P.; Ermanno, V. *Tetrahedron: Asymmetry* **2003**, *14*, 3779.
- [9] Bang, S. D.; Johnson, S. K.; Park, J. C. S. *US 5248696*, **1993** [*Chem. Abstr.* **1993**, *118*, 32926].
- [10] Lin, L. Y.; Bao, Y. L.; Chen, Y.; Sun, L. G.; Yang, X. G.; Liu, B.; Lin, Z. X.; Zhang, Y. W.; Yu, C. L.; Wu, Y.; Li, Y. X. *Chem. Biol. Interact.* **2012**, *199*, 63.
- [11] Stefan, M.; Gudrun, M. *Eur. J. Biochem.* **1974**, *47*, 469.
- [12] Tuanjai, N.; Supalax, S.; Thawatchai, T.; Wittaya, N. *Food Res. Int.* **2011**, *44*, 798.
- [13] Pantelidis, G. E.; Vasilakakis, M.; Manganaris, G. A.; Diamantidis, G. *Food Chem.* **2007**, *102*, 777.
- [14] Wang, Q.-R.; Zhang, R.-M.; He, X.-Y.; Zhen, J.-H. *J. Shantou Univ. Med. College* **2010**, *23*, 193 (in Chinese).
(王钦荣, 张鲁勉, 何小英, 郑锦鸿, 汕头大学医学院学报, **2010**, *23*, 193.)
- [15] Okezie, I.; Aruoma, A.; Murcia, J.; Butler, B.; Halliwell, B. *J. Agric. Food Chem.* **1993**, *41*, 1880.
- [16] Türkkan, B.; Özyürek, M.; Bener, M.; Güçlü, K.; Reşat, A. *Chem. Biol. Int.* **2009**, *177*, 153.
- [17] Thomas, P. A.; Alan, W.; Terry I.; Frank, A. M.; Charles, C.; Donald, V. G.; David, W. *Ind. Crops Prod.* **2002**, *16*, 43.
- [18] Girish, B.; Maru, S. V.; Bhide, V. *Cancer Lett.* **1982**, *17*, 75.
- [19] Chen, Y.; Guo, B.; Zhang, D.-H.; Zhou, J. *Chem. Ind. Times* **2009**, *23*, 71 (in Chinese).
(陈泳, 郭斌, 张丹红, 周洁, 化工时刊, **2009**, *23*, 71.)
- [20] Chen, Y.; Lin, Z.-X. *J. Nanjing Forestry Univ. (Nat. Sci. Ed.)* **2012**, *36*, 101 (in Chinese).
(陈泳, 林中祥, 南京林业大学学报(自然科学版), **2012**, *36*, 101.)
- [21] Zhang, W.-J.; Xiong, D.-Y.; Liu, X.-M. *Appl. Chem. Ind.* **2010**, *39*, 1894 (in Chinese).
(张文君, 熊德元, 刘雄民, 应用化工, **2010**, *39*, 1894.)
- [22] El-Toumy, S. A.; El-Souda, S. S.; Mohamed, T. K.; Brouard, I.; Bermejo, J. *Carbohydr. Res.* **2012**, *360*, 47.
- [23] Chamundeeswari, D.; Vasantha, G.; Gopalakrishnan, S.; Sukumar, E. *J. Ethnopharmacol.* **2003**, *88*, 51.
- [24] Andrzej, L.; Dawidowicz, D. W.; Małgorzata, O. *Food Chem.* **2012**, *131*, 1037.
- [25] Shizuka, S.; Jun, K. *Tetrahedron* **2005**, *61*, 8101.
- [26] Oyais, A. C.; Muzaffar, H. N.; Mohammad, A. M.; Ghulam, M. R.; Aijaz, A. D. *J. Colloid Interface Sci.* **2011**, *355*, 140.
- [27] Li, K.; Li, X. M.; Ji, N. Y.; Wang, B. G. *Bioorg. Med. Chem.* **2007**, *15*, 6627.
- [28] Om, P. S.; Tej, K. B. *Food Chem.* **2009**, *113*, 1202.

(Zhao, C.)