

两个二[氧合-二(取代苯甲酸二丁基锡)]的微波溶剂热合成、晶体结构和体外抗癌活性

冯泳兰 邝代治* 张复兴 庾江喜 蒋伍玖 朱小明

(功能金属有机材料湖南省普通高等学校重点实验室, 衡阳师范学院化学与材料科学学院, 衡阳 421008)

摘要: 在微波甲醇溶剂热中, 二丁基氧化锡分别与 4-叔丁基苯甲酸和 3-甲基-4-氨基苯甲酸反应, 合成了具有 μ_3 -O 桥联的有机锡化合物 $[(\mu_3\text{-O})(n\text{-Bu}_2\text{Sn})_2(\text{O}_2\text{CR})_2]_2$ (R=4-(*t*-Bu)-C₆H₅ (**1**), (3-Me-4-NH₂)-C₆H₄ (**2**)), 并对它们的组成和结构进行了表征, X 射线晶体衍射表明, 化合物 **1**、**2** 的中心具有 Sn₂O₂ 四元环平面结构, 锡与配基原子构成畸形三角双锥六面体。人体外抗肿瘤活性的初步研究表明, 化合物 **1**、**2** 对人结肠癌(HT-29)、肝癌细胞(HepG2)、乳腺癌(MCF-7)、鼻咽癌(KB)和肺癌细胞(A549)均显示出比临床使用的顺铂还强的抗癌活性。

关键词: 有机锡化合物; 微波溶剂热合成; 体外抗肿瘤活性

中图分类号: O614.43*2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4861(2017)04-0589-06

DOI: 10.11862/CJIC.2017.071

Microwave-Solvothermal Syntheses, Crystal Structures and *in Vitro* Antitumor Activities of Two Bis[oxo-bis(aromatic carboxylato dibutyltin)]

FENG Yong-Lan KUANG Dai-Zhi* ZHANG Fu-Xing YU Jiang-Xi JIANG Wu-Jiu ZHU Xiao-Ming

(Key Laboratory of Functional Organometallic Materials of Hengyang Normal University, Colleges of Hunan Province, College of Chemistry and Material Science, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421008, China)

Abstract: Two di-*n*-butyltin compounds with μ_3 -O bridging the framework, $[(\mu_3\text{-O})(n\text{-Bu}_2\text{Sn})_2(\text{O}_2\text{CR})_2]_2$ (R=4-(*t*-Bu)-C₆H₅ (**1**), (3-Me-4-NH₂)-C₆H₄ (**2**)), were obtained by microwave-assisted solvothermal reaction of di-*n*-butyltin oxide precursor with the aromatic acid in methanol environments, which have been structurally characterized by elemental analysis, IR and NMR (¹H, ¹³C and ¹¹⁹Sn) spectra and X-ray crystallography diffraction analyses. This compound was of a centrosymmetric dimer structure mode with a four-membered central endo-cyclic Sn₂O₂ unit in which the bridging oxygen atoms were tri-coordinated. Each bridging oxygen atom also connects with an exo-cyclic tin atom. The endo-cyclic and exo-cyclic tin atoms all were five-coordinated with distorted trigonal bipyramid geometry. The compounds **1** and **2** have strong anti-tumor activity *in vitro*. CCDC: 838065, **1**; 838066, **2**.

Keywords: organotin compound; microwave solvothermal synthesis; *in vitro* antitumor activity

0 引言

有机锡化合物具有良好的生物活性, 被用于杀虫剂^[1]和防污涂料^[2]。自从 Brown^[3]发现有机锡化合物能抑制鼠癌细胞的生长和美国测试了 2000 多种有

机锡化合物的抗癌活性后, 在过去的几十年里, 人们对有机锡类化合物进行了广泛的研究, 备受关注^[4,5]。研究表明, 二烷基锡衍生物比相应的单烷基、三烷基及四烷基衍生物的抗 P388 白血病细胞株活性高^[6], 具有潜在的应用价值。

收稿日期: 2016-09-25。收修改稿日期: 2017-01-07。

湖南省高校创新平台开放基金(No.16K011, 14K014)和湖南省自然科学基金(No.13JJ3112)资助项目。

*通信联系人。E-mail: hnkccq@qq.com; 会员登记号: S06N8374M1012。

锡具有特殊的成键作用,可与含氧(氮、硫等)原子的配体形成配合物,构筑高配位、多锡核结构的有机锡化合物^[7],使得有机锡化合物的结构、反应性丰富多样^[8]。随着人们不断合成出新的有机锡化合物,新结构、新性能和新反应不断发掘,以含氧配体有机酸与有机锡氧(氯)化物或氢氧化物反应^[9-11]形成以 $(\mu_2\text{-O})\text{Sn}_2$ 或 $(\mu_3\text{-O})\text{Sn}_3$ 构筑的 $(\text{Sn}_2\text{O}_2)_x$ 四元环聚锡氧簇合物^[8,12-13],发展成有机锡氧簇合物的一类新型化合物。本文在微波甲醇溶剂热反应中,以二丁基氧化锡($n\text{-Bu}_2\text{Sn=O}$)与 4-叔丁基苯甲酸、3-甲基-4-氨基苯甲酸反应,合成 2 个中心具有四元环骨架的化合物二[氧合-二(取代苯甲酸二丁基锡)],对化合物的组成和结构进行了表征。初步测试了化合物对 5 种肿瘤的人体外抗肿瘤活性。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

合成反应在微波有机合成系统 (Micro SYNT Labstation for Microwave assisted, 意大利)完成。化合物的 C、H 和 N 组成用 PE-2400(II)元素分析仪,红外光谱用 Prestige-21(岛津,400~4 000 cm^{-1})光谱仪,¹H 和 ¹³C NMR 核磁共振波谱在 Bruker INOVA-400 NMR、¹¹⁹Sn NMR 用 Bruker INOVA-500 NMR 光谱仪测定,四甲基硅烷(TMS)和四甲基锡(Me_4Sn)作内标。晶体分子结构测定用 Bruker Smart Apex II CCD 单晶衍射仪。热稳定性分析用德国 NETZSCH TG 209 F3 热重分析仪;化合物的熔点用北京泰克 XT-4 双目体视显微熔点仪测定(温度计未经校正)。试剂购自上海太阳化学科技有限公司和上海晶纯试剂有限公司。

1.2 化合物的合成

取 1 mmol 二(正丁基)氧化锡、1 mmol 4-叔丁基苯甲酸或 3-甲基-4-氨基苯甲酸、30 mL 甲醇,置于聚氟乙烯反应瓶中,设置微波有机合成系统 120 °C 微波辐射反应 2 h,冷却至室温,过滤,减压蒸发溶剂,固体重结晶得产物,在适当溶剂中培养晶体,用于晶体结构测定。

无色晶体 **1**, 产率:52.3%(基于 $n\text{-Bu}_2\text{SnO}$), m.p. 192~193 °C。¹H NMR (CDCl_3 , 400 MHz): δ 0.86(t, 24H, $J=6.8$, - CH_3 , 丁基 H), 1.36~1.73(m, 84H, $\text{SnCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$, -C(CH_3), 丁基和叔丁基 H), 7.49(s, 8H, Ar-H), 7.97(m, 8H, Ar-H); ¹³C NMR (CDCl_3 , 100 MHz): δ 13.67~29.73 ($n\text{-Bu-C}$), 31.29, 35.09 ($t\text{-Bu-C}$), 125.15, 129.84, 130.72,

155.53 (Ar-C), 172.80 (-COO); ¹¹⁹Sn NMR (CDCl_3 , 186 MHz): δ -213.57, -213.74; IR (KBr, cm^{-1}): ν_{as} (COO-) 1 624, 1 539; ν_{s} (COO-) 1 404, 1 340; ν (Sn-O-Sn) 636; ν (Sn-C) 545; ν (Sn-O) 419。元素分析按 $\text{C}_{76}\text{H}_{124}\text{O}_{10}\text{Sn}_4$ 计算值(%):C 54.57, H 7.47; 实验值(%):C 54.41, H 7.48。

红色晶体 **2**, 产率:51.5%(基于 $n\text{-Bu}_2\text{SnO}$), m.p. 194~195 °C。¹H NMR (CDCl_3 , 400 MHz): δ 0.87 (t, 24H, $J=7.2$, - CH_3 , 丁基 H), 1.37~1.72 (m, 48H, $\text{SnCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$, 丁基 H), 2.19 (s, 12H, Ar- CH_3), 3.87~4.02 (m, 8H, Ar- NH_2), 6.67 (s, 4H, Ar-H), 7.76~7.87 (m, 8H, Ar-H); ¹³C NMR (CDCl_3 , 100 MHz): δ 13.69~29.56 ($n\text{-Bu-C}$), 17.33 (Ar- CH_3), 113.69, 120.87, 123.19, 129.72, 132.78, 148.35 (Ar-C), 172.96 (-COO); ¹¹⁹Sn NMR (CDCl_3 , 186 MHz): δ -215.18, -215.96; IR (KBr, cm^{-1}): ν_{as} (COO-) 1 624, 1 529; ν_{s} (COO-) 1 385, 1 351; ν (Sn-O-Sn) 638; ν (Sn-C) 547; ν (Sn-O) 436。元素分析按 $\text{C}_{64}\text{H}_{104}\text{N}_4\text{O}_{10}\text{Sn}_4$ 计算值(%):C 49.14, H 6.70, N 3.58; 实验值(%):C 49.19, H 6.73, N 3.55。

1.3 X 射线单晶衍射

选取大小分别为 0.2 mm×0.2 mm×0.2 mm (**1**)和 0.27 mm×0.21 mm×0.18 mm (**2**)的晶体,在 Bruker Smart Apex II CCD 单晶衍射仪上,采用经石墨单色化的 $\text{Mo K}\alpha$ 射线($\lambda=0.071\ 073$ nm),于 296(2) K,以 $\varphi\sim\omega$ 扫描方式收集衍射数据。**1** 在 3.962°~54.944°范围内收集衍射点;**2** 在 3.46°~50°范围内收集衍射点。衍射强度数据经多重扫描吸收校正,晶体结构中大部分非氢原子由直接法解出,其余部分非氢原子在随后的差值傅立叶合成中陆续确定,对所有非氢原子坐标及其温度因子采用全矩阵最小二乘法精修。由理论加氢法给出氢原子在晶胞中的位置坐标,对氢原子和非氢原子分别采用各向同性和各向异性热参数精修,全部结构分析工作在 SHELXL-97 程序完成^[14]。化合物的主要晶体学数据列于表 1。

CCDC:838065, **1**; 838066, **2**。

1.4 抗肿瘤活性测定

HT-29, HEPG2, MCF-7, KB 和 A549 细胞取自美国组织培养库,用含 10% 牛胎血清的 RPMI1640 培养液,在含 5% CO_2 (体积分数)的培养箱内于 37 °C 下培养,用 MTT 法检测细胞增殖与生长抑制情况,调整实验细胞数量使在 570 nm 获得 1.3 到 2.2 的吸光度,将化合物测试药液 ($0.1\ \text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}\sim 10$

表 1 化合物的晶体学数据
Table 1 Crystallographic data of the compounds

| Compound | 1 | 2 |
|---|--|---|
| Empirical formula | C ₇₆ H ₁₂₄ O ₁₀ Sn ₄ | C ₆₄ H ₁₀₄ N ₄ O ₁₀ Sn ₄ |
| Formula weight | 1 672.51 | 1 564.27 |
| Crystal system | Monoclinic | Triclinic |
| Space group | <i>P</i> 2 ₁ / <i>n</i> | <i>P</i> $\bar{1}$ |
| <i>a</i> / nm | 1.638 35(6) | 1.193 24(6) |
| <i>b</i> / nm | 1.163 61(4) | 1.239 07(6) |
| <i>c</i> / nm | 2.198 97(7) | 1.387 17(7) |
| α / (°) | 90 | 87.390(2) |
| β / (°) | 94.611(2) | 65.673(2) |
| γ / (°) | 90 | 72.115(2) |
| <i>V</i> / nm ³ | 4.178 5(2) | 1.770 76(15) |
| <i>Z</i> | 2 | 1 |
| <i>D</i> _c / (Mg·m ⁻³) | 1.329 | 1.467 |
| Absorption coefficient / mm ⁻¹ | 1.231 | 1.448 |
| <i>F</i> (000) | 1 720 | 796 |
| Limiting indices (<i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>) | -21~18, -15~13, -28~28 | -14~15, -16~15, -18~18 |
| Reflections collected | 26 708 | 20 713 |
| Unique reflections (<i>R</i> _{int}) | 9 382 (0.022 8) | 8 047 (0.020 7) |
| Data with <i>I</i> >2 σ (<i>I</i>) | 7 156 | 6 425 |
| Data, restraints, parameters | 9 382, 109, 444 | 8 047, 61, 372 |
| Goodness of fit on <i>F</i> ² | 1.043 | 1.065 |
| Completeness | 0.981 | 0.981 |
| <i>R</i> ₁ , <i>wR</i> ₂ [<i>I</i> >2 σ (<i>I</i>)] | 0.038 0, 0.054 9 | 0.040 9, 0.053 4 |
| <i>R</i> ₁ , <i>wR</i> ₂ (all data) | 0.099 1, 0.112 6 | 0.100 0, 0.111 6 |
| ($\Delta\rho$) _{max} , ($\Delta\rho$) _{min} / (e·nm ⁻³) | 749, -680 | 1 072, -1 375 |

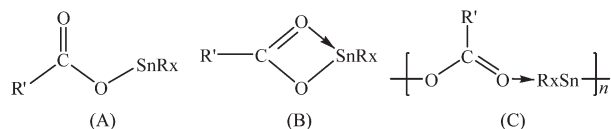
$\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)设置 6 个浓度,每个浓度至少 3 个平行和 3 次重复实验。应用 GraphPad Prism 5.0 软件统计分析确定 IC₅₀ 值。

2 结果与讨论

2.1 合成

羧基与有机锡反应形成有机锡羧酸酯 A (Scheme 1),在 A 型基础上,还可通过羰基氧与锡配位(>C=O→Sn)螯合成 B 型或羧基配位桥联有机锡配合物(C),C 型又可成链状、环状,以及 μ_2 -O, μ_3 -O 桥联多锡形成多样结构的有机锡化合物。

二丁基氧化锡与有机酸在溶剂中回流分水反

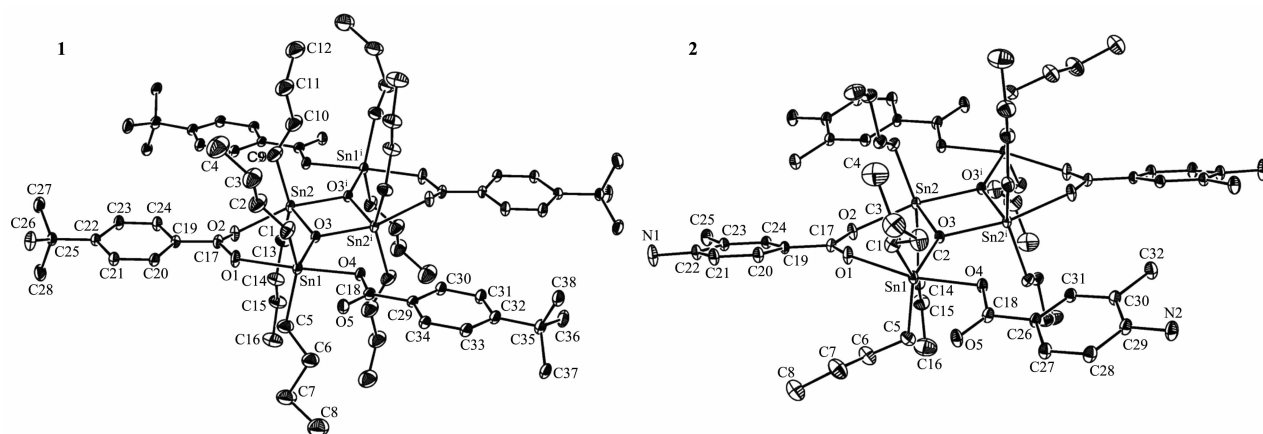


Scheme 1

应可形成多种结构产物^[15],在我们的实验条件下,二丁基氧化锡与有机芳香酸反应,获得具有 μ_3 -O 桥联 3 锡、中心四元环结构的有机锡化合物。

2.2 晶体结构

化合物的晶体分子结构见图 1,其主要键长和键角见表 2,键参数和晶体分子结构表明,芳香酸与二丁基氧化锡反应,形成(μ_2 -氧)二[(芳香酸)(丁基)锡],2 个这样的独立单元结构通过 Sn-O 交叉二聚,成为中心含 Sn₂O₂ 四元锡氧环的化合物,聚合氧原子由(μ_2 -O) 桥合 2 个 Sn 变为 μ_3 -O 桥合 3 个 Sn 原子。在这四元环中,Sn2-O3ⁱ 与 Sn2ⁱ-O3、Sn2-O3 与 Sn2ⁱ-O3ⁱ 相等,Sn2-O3ⁱ 键大于 Sn2-O3 键,两对角分别相等,且二面角 \angle O3-Sn2-O3-Sn2 为 0,Sn₂O₂ 的 4 个原子共平面,四元环的中心是分子的对称中心。Sn1 和 Sn2 分别与碳、氧原子组成的键长、键角均不相等,其 Sn2...O4 和 Sn1...O5 大于 0.28 nm,明显超



Ellipsoids probability level: 5%; Symmetry codes: $^i -x+1, -y+2, -z$ for **1**; $^i -x+1, -y+2, -z+1$ for **2**

图 1 化合物 **1** 和 **2** 的分子结构

Fig.1 Molecular structures of **1** and **2**

表 2 化合物的部分键长和键角

Table 2 Selected bond lengths (nm) and angles ($^\circ$) for **1** and **2**

| | 1 | 2 | | 1 | 2 |
|------------|-------------|-------------|-------------------------|------------|------------|
| Sn1-C1 | 0.211 6(5) | 0.213 9(6) | Sn2-O3 ⁱ | 0.204 1(2) | 0.217 2(3) |
| Sn1-C5 | 0.211 0(5) | 0.212 9(6) | Sn2 ⁱ -O3 | 0.204 1(2) | 0.217 2(3) |
| Sn2-C9 | 0.212 6(4) | 0.212 9(5) | C17-O1 | 0.121 8(5) | 0.125 1(6) |
| Sn2-C13 | 0.211 4(14) | 0.211 8(5) | C17-O2 | 0.130 5(9) | 0.127 4(6) |
| Sn1-O1 | 0.226 5(3) | 0.222 9(3) | C18-O4 | 0.129 2(4) | 0.129 6(5) |
| Sn1-O3 | 0.203 8(2) | 0.203 5(3) | C18-O5 | 0.123 2(5) | 0.121 7(6) |
| Sn1-O4 | 0.218 0(2) | 0.217 2(3) | Sn2 ⁱ ...O4 | 0.279 9 | 0.286 9 |
| Sn2-O2 | 0.224 1(7) | 0.224 7(3) | Sn1...O5 | 0.287 0 | 0.290 2 |
| Sn2-O3 | 0.215 6(2) | 0.203 1(3) | | | |
| O3-Sn1-C5 | 110.65(18) | 105.5(2) | C9-Sn2-C13 | 144.7(5) | 140.4(2) |
| O3-Sn1-C1 | 112.2(2) | 112.8(2) | O3-Sn2-O3 ⁱ | 76.62(10) | 75.96(12) |
| C5-Sn1-C1 | 136.5(3) | 141.2(3) | C9-Sn2-O3 ⁱ | 97.04(16) | 97.41(18) |
| O3-Sn1-O4 | 80.51(9) | 81.32(11) | C13-Sn2-O3 ⁱ | 102.4(5) | 95.18(17) |
| C5-Sn1-O4 | 96.28(16) | 94.6(2) | O3-Sn2-O2 | 91.8(2) | 92.65(13) |
| C1-Sn1-O4 | 97.94(18) | 81.32(11) | C9-Sn2-O2 | 80.9(3) | 91.09(19) |
| O3-Sn1-O1 | 90.78(10) | 88.99(13) | C13-Sn2-O2 | 85.9(5) | 83.93(17)) |
| C5-Sn1-O1 | 89.11(17) | 94.5(2) | O3 ⁱ -Sn2-O2 | 167.0(2) | 167.46(13) |
| C1-Sn1-O1 | 82.96(18) | 80.2(2) | Sn1-O3-Sn2 | 135.61(11) | 134.35(17) |
| O4-Sn1-O1 | 170.94(11) | 168.21(14)) | Sn1-O3-Sn2 ⁱ | 120.63(11) | 121.55(13) |
| O3-Sn2-C9 | 108.64(15) | 108.23(17) | Sn2-O3-Sn2 ⁱ | 103.38(10) | 104.04(12) |
| O3-Sn2-C13 | 104.3(4) | 111.20(18) | O3-Sn2-O3-Sn2 | 0.00 | 0.000 |

Ellipsoids probability level: 5%; Symmetry codes: $^i -x+1, -y+2, -z$ for **1**; $^i -x+1, -y+2, -z+1$ for **2**

出 Sn-O 共价距离,为弱作用,因此,配基原子与锡原子构成畸形三角双锥六面体。

化合物中,羧基与锡存在 2 种作用形式,其中一个芳香酸与二丁基锡形成羧酸酯 (A 型),另一

个芳香酸由羧基桥联 2 个 Sn 原子(C 型)并组成为 (-CO₂Sn₂O)的锡氧六元杂环,受(μ_3 -O-Sn₃)空间效应和四元环牵制的影响,六元杂环呈扭曲的椅式构型。

2.3 谱学性质

羧基与有机锡前体反应形成有机锡化合物,其羧基的 $\nu_{\text{as}}(\text{COO})$ 与 $\nu_{\text{s}}(\text{COO})$ 红外光谱特征峰之差 $\Delta\nu$ 往往反映出羧基与锡的作用方式,当 $\Delta\nu > 200 \text{ cm}^{-1}$ 时形成A型单齿化合物, $\Delta\nu \leq 200 \text{ cm}^{-1}$ 时形成B、C型桥联双齿结构^[16]。在标题化合物的红外光谱具有2组 $\Delta\nu$ 值:220和 199 cm^{-1} (**1**);239和 178 cm^{-1} (**2**)。预示着化合物**1**、**2**的羧基与锡有单齿、双齿2种作用模式,这与X射线晶体衍射实验结果相符。此外,红外光谱在 $\nu(\text{Sn-C})=545 \text{ cm}^{-1}$ (**1**), 547 cm^{-1} (**2**)^[17], $\nu(\text{Sn-O})=419 \text{ cm}^{-1}$ (**1**), 436 cm^{-1} (**2**)和 $\nu(\text{Sn-O-Sn})=636 \text{ cm}^{-1}$ (**1**), 638 cm^{-1} (**2**)^[15,18-19]出现化合物的特征峰,进一步支持了化合物的结构特征。

有机锡化合物的 ^{119}Sn NMR化学位移,不仅取决于与锡相连的烷基,还与配体的类型和配位数有关^[20],标题化合物 ^{119}Sn NMR分别出现2种 ^{119}Sn 谱信号: $-213.57, -213.74$ (**1**); $-215.18, -215.96$ (**2**),表明存在2种化学环境的锡。氧对羧基碳的影响较大,羧基碳 ^{13}C NMR在 $\delta=173$ 较低场处出现特征谱线^[17]。在**1**和**2**的 ^1H NMR谱,质子的化学位移 δ 有3部分:丁基的亚甲基在 $1.36\sim 1.73$ 和甲基在 $0.86\sim 0.87$ ^[21-22];芳烃取代基:化合物**1**中叔丁基H与丁基H的化学位移重叠形成复杂多峰,化合物**2**苯环上甲基H受苯的影响于 2.19 形成单峰,氨基H则在 $3.87\sim 4.02$ 出现多重峰;苯环H处于 $7\sim 8$ 低场。这些谱学特征与晶体分子结构相吻合。

2.4 化合物1的热稳定性

采用热重分析仪,在空气氛下,以 $20 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的加热速度和 $20 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 气体流速,在 $40\sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,对化合物**1**进行热重测试,研究其热稳定性,结果如图2。可见随温度的升高,化合物**1**在

$40\sim 220 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围几乎未发现失重,但在大于 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ 时化合物明显失重, $440 \text{ }^\circ\text{C}$ 后残余物恒重在 36.1% ,在 $220\sim 440 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围失重 73.9% ,若以化合物分解失去有机基团,残余物为 SnO_2 计算,理论值为 36.04% ,与实验结果相吻合,因此,化合物**1**在低于 $220 \text{ }^\circ\text{C}$ 可稳定存在。

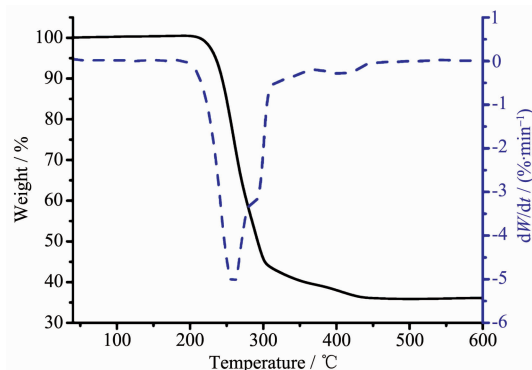


图2 化合物**1**的TG-DTG曲线

Fig.2 TG-DTG curve of the thermal decomposition for **1**

2.5 抗肿瘤活性

以顺铂对照,测试了化合物**1**、**2**对肿瘤细胞:人结肠癌(HT-29)、肝癌(HepG2)、乳腺癌(MCF-7)、鼻咽癌(KB)和肺癌细胞(A549)的体外生长抑制活性,结果见表3。结果表明,化合物对所有细胞均显示了强的抗癌活性,甚至比广泛用于临床的顺铂还强^[17],尤其对HT-29抑制作用明显,与二丁基锡化合物具有较强抗肿瘤活性的结论相符^[4],预示着二[氧合-(二取代苯甲酸二丁基锡)]通过R促进化合物跨膜运动进入癌细胞形成活性体,与癌细胞DNA分子作用,妨碍DNA的复制而发挥抗癌活性,可望作为广谱抗癌的候选化合物。

表3 化合物和顺铂对肿瘤细胞的体外半抑制率

Table 3 IC50 value of the compounds and cisplatin on tumor cells *in vitro*

| Compound | IC50 | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | HT-29 | HepG2 | MCF-7 | KB | A549 |
| 1 | 0.018 | 0.434 | 0.262 | 0.361 | 0.822 |
| 2 | 0.024 | 0.456 | 0.228 | 0.334 | 0.777 |
| cisplatin ^[23-25] | 58 | 65 | 88 | 2.65 | 1.51 |

3 结论

在微波甲醇溶剂热条件下,合成了2个具有四元锡氧环结构的二[氧合-(二取代苯甲酸二丁基锡)]

有机锡化合物,发现化合物对人结肠癌(HT-29)、肝癌细胞(HepG2)、乳腺癌(MCF-7)、鼻咽癌(KB)和肺癌细胞(A549)均显示出比临床使用的顺铂还强的体外抗癌活性,可望作为广谱抗癌的候选化合物。

参考文献:

- [1] Hadjikakou S K, Hadjiliadis N. *Coord. Chem. Rev.*, **2009**, 253:235-249
- [2] Evans C J, Smith P J. *Chemistry of Tin*. London: Blackie Academic and Professional, **1998**:442
- [3] Gielen M. *Tin-Based Antitumor Drugs*. Berlin: Springer Verlag, **1990**:69-75
- [4] SHANG Xian-Mei(尚先梅), WU Jun (吴军), LI Qing-Shan (李青山). *Sci. China B: Chem.*(中国科学 B 辑:化学), **2008**, **38**(5):429-440
- [5] JIANG Wu-Jiu(蒋伍玖), TAN YU-Xing(谭宇星), YU Jiang-Xi(庾江喜), et al. *Chinese J. Inorg. Chem.*(无机化学学报), **2016**,**32**(8):1383-1390
- [6] Gielen M, Boualam M B, Tiekink E B T. *Appl. Organomet. Chem.*, **1994**,**8**:19-23
- [7] Vadapali C, Viswanathan B, Alexander S, et al. *Organometallics*, **2002**,**21**:4528
- [8] Chandrasekhar P, Gopal K, Thilagar P. *Acc. Chem. Res.*, **2007**,**40**:420-434
- [9] Chandrasekhar V, Mohapatra C, Butche R J. *Cryst. Growth Des.*, **2012**,**12**:3285-3295
- [10] Chandrasekhar V, Nagendran S, Baskar V. *Coord. Chem. Rev.*, **2002**,**235**:1-52
- [11] Chandrasekhar V, Thilagar P, Bickley J F, et al. *J. Am. Chem. Soc.*, **2005**,**127**:11556-11557
- [12] Sougoule A S, Mei Z, Xiao X, et al. *J. Organomet. Chem.*, **2014**,**758**:19-24
- [13] Xiao X, Shao K Z, Yan L S, et al. *Dalton Trans.*, **2013**,**42**:15387-15390
- [14] Sheldrick G M. *SHELXL-97, Program for the Refinement of Crystal Structures*, University of Göttingen, Germany, **1997**.
- [15] YIN Han-Dong(尹汉东), WANG Chuan-Hua(王传华), XING Qiu-Ju(邢秋菊). *Chinese J. Org. Chem.*(有机化学), **2004**,**24**(7):770-774
- [16] Ma C, Sun J, Zhang R, et al. *Inorg. Chim. Acta*, **2006**,**359**:4179-4190
- [17] Chandrasekhar V, Thirumoorathi R, Metre R K, et al. *J. Organomet. Chem.*, **2011**,**696**:600-606
- [18] Ruan B, Tian Y, Zhou H, et al. *Inorg. Chim. Acta*, **2011**, **365**:302-308
- [19] Xiao X, Du D, Tian M, et al. *J. Organomet. Chem.*, **2012**, **715**:54-63
- [20] Yoder C H, Margolis L A, Horne J M. *J. Organomet. Chem.*, **2001**,**633**:33-38
- [21] Delavaux-Nicot B, Kaeser A, Hahn U, et al. *J. Mater. Chem.*, **2008**,**18**:1547-1554
- [22] Ma C, Zhang Q, Zhang R, et al. *Chem. Eur. J.*, **2006**,**12**:420-428
- [23] Shang X, Ding N, Xiang G. *Eur. J. Med. Chem.*, **2012**,**48**:305-312
- [24] Motswainyana W M, Onani M O, Madiehe A M. *Polyhedron*, **2012**,**41**:44-51
- [25] Kaluđerović G N, Paschke R, Prashar S, et al. *J. Organomet. Chem.*, **2010**,**695**:1883-1890