DOI:10.3724/SP.J.1008.2011.00469

·论 著·

中国南海紫柳珊瑚中过氧化甾醇类化学成分的研究

刘桃芳，汤 华，李 玲*，巩 伟，孙 鹏，张 文*
第二军医大学药学院海洋药物研究中心，上海 200433

[摘要] **目的** 对采自中国南海的紫柳珊瑚(*Muriceopsis flavida*)的生物活性成分进行研究。**方法** 应用硅胶柱色谱、Sephadex LH-20凝胶柱色谱、反相高效液相层析(RP-HPLC)等分离手段对紫柳珊瑚的乙醚提取物进行分离纯化，应用核磁共振(NMR)、质谱(MS)等波谱手段对得到的化合物进行结构鉴定，采用琼脂扩散试验法对分离得到的化合物进行体外抗微生物活性测试。**结果** 从紫柳珊瑚乙醚提取物中分离得到5种过氧化甾醇，分别鉴定为：(22*E*,24*S*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇(**1**)、(22*E*,24*R*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇(**2**)、(24*R*)-5α,8α-过氧化胆甾-24-乙基-6-烯-3β-醇(**3**)、(22*E*)-5α,8α-过氧化胆甾-6,22-二烯-3β-醇(**4**)、5α,8α-过氧化胆甾-6-烯-3β-醇(**5**)。体外抗微生物活性测试表明这5种化合物均有不同程度的抗微生物活性。**结论** 首次从中国南海紫柳珊瑚中得到5种过氧化甾醇，其中化合物**2**对微藻显示强烈的生长抑制活性，具有进一步研究的价值。

[关键词] 紫柳珊瑚；过氧化甾醇；抗菌活性；结构鉴定
[中图分类号] R 931.77 [文献标志码] A [文章编号] 0258-879X(2011)05-0469-04

5α,8α-epidioxy sterol components in gorgonian *Muriceopsis flavida* collected from the South China Sea

LIU Tao-fang, TANG Hua, LI Ling*, GONG Wei, SUN Peng, ZHANG Wen*
Research Center for Marine Drugs, School of Pharmacy, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the bioactive chemical constituents of gorgonian *Muriceopsis flavida* collected from the South China Sea. **Methods** The Et_2O extract of the sample was purified by repeated column chromatographies on silica gel, Sephadex LH-20, and RP-HPLC. The structures of the obtained compounds were elucidated based on detailed spectroscopic analysis using mass spectrometry (MS) and nuclear magnetic resonance (NMR). The *in vitro* antimicrobial activities of the identified compounds were assessed by an agar diffusion test. **Results** Five 5α, 8α-epidioxy sterols were isolated from the Et_2O extract (**1**-**5**), and their structures were determined as: (22*E*,24*S*)-5α,8α-epidioxy-24-methyl-cholesta-6,22-dien-3β-ol (**1**), (22*E*,24*R*)-5α,8α-epidioxy-24-methyl-cholesta-6,22-dien-3β-ol (**2**), (24*R*)-5α,8α-epidioxy-24-ethyl-cholesta-6-en-3β-ol (**3**), (22*E*)-5α,8α-epidioxy-cholest-6,22-dien-3β-ol (**4**), and 5α,8α-epidioxy-cholest-6-en-3β-ol (**5**). These compounds showed different degrees of antimicrobial activities in bioassay *in vitro*. **Conclusion** The five compounds have been identified for the first time from the gorgonian *Muriceopsis flavida*. Compounds **2** shows a strong anti-algae effect and is worth further studying.

[**Key words**] *Muriceopsis flavida*; epidioxy sterols; antibacterial activity; structural elucidation
[Acad J Sec Mil Med Univ, 2011, 32(5): 469-472]

珊瑚系低等腔肠门动物，全球共有6 100多种，生长在潮间带到深达4 000多米的海洋中，广泛分布于亚热带到两极的世界各地海域。柳珊瑚俗称海扇或海鞭，属珊瑚纲八放珊瑚亚纲动物，该亚纲可进一步分为2个亚目和11个科。我国海洋中生活有8科78种柳珊瑚，主要分布于广东、海南沿海海域[1-3]。国际上对柳珊瑚的研究始于20世纪60年代，从中发现了许多结构新颖且具有较好活性的化合物[1]。甾醇化合物是生物膜的重要组成部分，同时也是合成激素的前体化合物，具有抗肿瘤、抗炎、细胞毒、抗菌等多种生物学活性，广泛分布于珊瑚体内[4-5]。

为开发利用我国的海洋生物资源，研究海洋生

[收稿日期] 2011-02-21 [接受日期] 2011-03-18
[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(30873200, 41076082)，上海市重点基础研究项目(08JC1405600)，上海市重点学科建设项目(B906)，上海市浦江人才计划(PJ2008). Supported by National Natural Science Foundation of China (30873200, 41076082), Key Basic Research Project of Shanghai (08JC1405600), Shanghai Leading Academic Discipline Project (B906), and Shanghai Pujiang Talent Project (PJ2008).
[作者简介] 刘桃芳，硕士生. E-mail: liu5012004008@sina.com.cn
*通信作者(Corresponding authors). Tel: 021-81871258-801, E-mail: lilingty@hotmail.com; Tel: 021-81871257, E-mail: zhangwen68@hotmail.com

物的生态活性物质，寻找具有生物活性及药用前景的海洋天然产物，我们课题组多年来一直对我国南海柳珊瑚的化学成分进行系统研究，并发现了一系列结构各异的甾体成分[6-9]。紫柳珊瑚（*Muriceopsis flavida*）是柳珊瑚目（Gorgonacea）丛柳珊瑚科（Plexauridae）动物，文献检索发现仅有 1 篇关于该种柳珊瑚化学成分的研究报道，从中分离得到一系列 4-甲基化甾醇[10]。

本研究运用常压凝胶柱色谱、硅胶柱色谱及 HPLC 等分离纯化技术，对紫柳珊瑚的化学成分进行了系统分离，得到 5 种过氧化甾醇化合物，采用 NMR、MS 等现代波谱技术对这些化合物进行分析鉴定，这些化合物的结构分别鉴定为：(22*E*,24*S*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇（**1**）、(22*E*,24*R*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇（**2**）、(24*R*)-5α,8α-过氧化胆甾-24-乙基-6-烯-3β-醇（**3**）、(22*E*)-5α,8α-过氧化胆甾-6,22-二烯-3β-醇（**4**）及 5α,8α-过氧化胆甾-6-烯-3β-醇（**5**），结构式见图 1。这些化合物均系首次从该属珊瑚中分离得到。

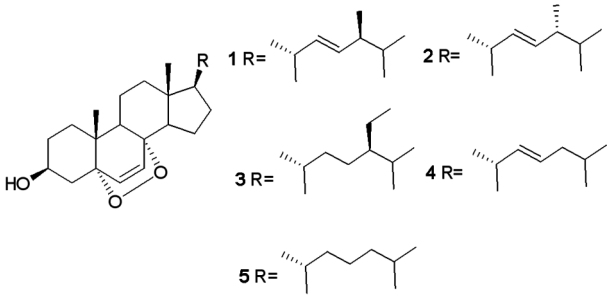

图 1　化合物 1～5 的结构式

Fig 1　Structures of compound 1-5

1　材料和方法

1.1　样品　实验样品于 2008 年 7 月采自我国广西北海海域水下 10 m 处，立即冷冻备用。种属由中国科学院南海海洋研究所李秀保助理研究员鉴定，样品标本保存于第二军医大学药学院海洋药物研究中心，编号 ZS-17。

1.2　主要仪器和试剂　NMR（Bruker Avance-500、Avance-400、Varian Inova-600）；MAT-212 质谱仪；XT5 显微熔点测定仪。柱色谱硅胶（200～300 目、400～600 目）和 TLC 薄层板均由烟台芝罘黄务硅胶开发试验厂提供；Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶由 Pharmacia 公司提供；HPLC[Aglient 1100，RID 检测器，Zorbax 300-C_{18} 柱（250 mm×9.4 mm）]，开放柱色谱所用试剂均为分析纯，HPLC 所用试剂为色谱纯，均由中国医药集团上海化学试剂公司生产。

1.3　化合物的提取与分离　将湿质量 1.4 kg 的紫柳珊瑚样品切碎，用丙酮（acetone）超声提取，每次 2 L，提取 6 次至无色，合并提取液并减压浓缩至干，得丙酮粗提物 10.2 g，将粗提物用 1 L 蒸馏水混悬，依次用等体积乙醚和正丁醇萃取 4 次，合并萃取液并减压浓缩至干，分别得乙醚层浸膏 7.3 g 及正丁醇层浸膏 1.8 g。乙醚层浸膏（7.3 g）经硅胶柱层析梯度洗脱（石油醚：乙酸乙酯 99∶1～纯乙酸乙酯），将其分成 14 个部分（Fr.1～Fr.14）。Fr.6（500 mg）再经过 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱（Et_2O∶$CHCl_3$∶MeOH＝2∶1∶1）、正相硅胶柱色谱（400～600 目硅胶、正己烷∶丙酮＝5∶1 洗脱）、RP-HPLC（Zorbax 300-C_{18} 柱，流动相：95% 甲醇-水；流速：1.5 ml/min；柱温：30℃）进一步纯化，分离得到化合物 **1～5**：化合物 **1**（2 mg）、化合物 **2**（4 mg）、化合物 **3**（5 mg）、化合物 **4**（7 mg）、化合物 **5**（3 mg）。

1.4　抗菌活性试验　采用琼脂扩散试验法，以青霉素（penicillin）、链霉素（streptomycin）、酮康唑（ketoconazole）为阳性对照，溶剂丙酮为阴性对照，测定了化合物 **1～5** 对花药黑粉菌（*Microbotryum violaceum*）、灰霉菌（*Botrytis cinerea*）、壳针孢叶枯病菌（*Septoria tritici*）、大肠杆菌（*Escherichia coli*）、巨大芽孢杆菌（*Bacillus megaterium*）和小球藻（*Chlorella fusca*）的抑制活性。按抑菌圈直径大小评价其抗菌活性，平行实验 3 次，取平均值。

2　结　果

2.1　化合物 **1** 的结构鉴定　白色针状结晶（25℃，$CHCl_3$），m.p. 178～180℃；$[\alpha]_D^{20}$＝－28°（*c* 0.16，$CHCl_3$）；ESI-MS（*m*/*z*）：429.33（$[M+H]^+$）；^{1}HNMR（400 MHz，$CDCl_3$）：3.96（1H，tt，*J*＝11.3，5.0 Hz，H-3），6.24（1H，d，*J*＝8.5 Hz，H-6），6.50（1H，d，*J*＝8.5 Hz，H-7），0.82（3H，s，H-18），0.89（3H，s，H-19），0.99（3H，d，*J*＝6.6 Hz，H-21），5.13（H，dd，*J*＝15.1，7.7 Hz，H-22），5.20（1H，dd，*J*＝15.1，7.7 Hz，H-23），0.81（3H，d，*J*＝6.9 Hz，H-26），0.82（3H，d，*J*＝7.0 Hz，H-27），0.91（3H，d，*J*＝6.8 Hz，H-28）；^{13}CNMR（100 MHz，$CDCl_3$）：34.7（t，C-1），30.1（t，C-2），66.5（d，C-3），36.9（t，C-4），82.2（s，C-5），135.4（d，C-6），130.8（d，C-7），79.4（s，C-8），51.1（d，C-9），37.0（s，C-10），23.4（t，C-11），39.4（t，C-12），44.6（s，C-13），51.7（d，C-14），20.7（t，C-15），28.9（t，C-16），56.2（d，C-17），12.9（q，C-18），18.2（q，C-19），39.8（d，C-20），20.9（q，C-21），135.4（d，C-22），132.4（d，C-23），43.1（d，C-24），33.2（d，C-

25),19.7 (q,C-26),20.1 (q,C-27),18.0 (q,C-28)。^{1}HNMR 和^{13}CNMR 数据与文献[11-13]一致,确定其结构为(22*E*,24*S*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇。

2.2 化合物 **2** 的结构鉴定 白色结晶(25℃,$CHCl_3$),m.p.177~179℃;$[\alpha]_D^{20}$=−25°(*c* 0.16,$CHCl_3$);ESI-MS (*m*/*z*):429.33 ($[M+H]^+$);^{1}HNMR (500 MHz,$CDCl_3$):3.97 (1H,tt,*J*=11.0,5.0 Hz,H-3),6.24 (1H,d,*J*=8.5 Hz,H-6),6.50 (1H,d,*J*=8.5 Hz,H-7),0.82 (3H,s,H-18),0.88 (3H,s,H-19),1.00 (3H,d,*J*=6.5 Hz,H-21),5.15 (1H,dd,*J*=15.1,8.0 Hz,H-22),5.22 (1H,dd,*J*=15.1,7.7 Hz,H-23),0.81 (3H,d,*J*=6.9 Hz,H-26),0.82 (3H,d,*J*=7.0 Hz,H-27),0.91 (3H,d,*J*=7.0 Hz,H-28);^{13}CNMR (125 MHz,$CDCl_3$):34.7 (t,C-1),30.1 (t,C-2),66.5 (d,C-3),36.9 (t,C-4),82.2 (s,C-5),135.4 (d,C-6),130.7 (d,C-7),79.4 (s,C-8),51.1 (d,C-9),37.0 (s,C-10),23.4 (t,C-11),39.4 (t,C-12),44.6 (s,C-13),51.7 (d,C-14),20.6 (t,C-15),28.6 (t,C-16),56.2 (d,C-17),12.9 (q,C-18),18.2 (q,C-19),39.7 (d,C-20),20.9 (q,C-21),135.2 (d,C-22),132.3 (d,C-23),42.8 (d,C-24),33.1 (d,C-25),19.9 (q,C-26),19.6 (q,C-27),17.6 (q,C-28)。^{1}HNMR 和^{13}CNMR 数据与文献[13-15]一致,确定其结构为(22*E*,24*R*)-5α,8α-过氧化麦角甾-6,22-二烯-3β-醇。

2.3 化合物 **3** 的结构鉴定 白色粉末,m.p.145~147℃;$[\alpha]_D^{20}$=0.0°(*c* 0.16,$CHCl_3$);ESI-MS (*m*/*z*):443.5 ($[M+H]^+$);^{1}HNMR (500 MHz,$CDCl_3$):3.97 (1H,tt,*J*=11.0,5.3 Hz,H-3),6.23 (1H,d,*J*=8.5 Hz,H-6),6.51 (1H,d,*J*=8.5 Hz,H-7),0.80 (3H,s,H-18),0.88 (3H,s,H-19),0.91 (3H,d,*J*=6.5 Hz,H-21),0.83 (3H,d,*J*=6.7 Hz,H-26),0.82 (3H,d,*J*=7.0 Hz,H-27),0.85 (3H,t,*J*=7.1 Hz,H-29);^{13}CNMR (125 MHz,$CDCl_3$):34.7 (t,C-1),30.1 (t,C-2),66.5 (d,C-3),36.9 (t,C-4),82.2 (s,C-5),135.4 (d,C-6),130.8 (d,C-7),79.5 (s,C-8),51.1 (d,C-9),37.0 (s,C-10),23.4 (t,C-11),39.4 (t,C-12),44.7 (s,C-13),51.6 (d,C-14),20.6 (t,C-15),28.3 (t,C-16),56.3 (d,C-17),12.6 (q,C-18),18.2 (q,C-19),35.6 (d,C-20),18.6 (q,C-21),33.7 (t,C-22),26.1 (t,C-23),45.8 (d,C-24),29.2 (d,C-25),19.8 (q,C-26),19.0 (q,C-27),23.0 (t,C-28),12.0 (q,C-29)。根据^{1}HNMR 和^{13}CNMR 数据并结合文献[11-13],得出化合物 **3** 的结构为(24*R*)-5α,8α-过氧化胆甾-24-乙基-6-烯-3β-醇。

2.4 化合物 **4** 的结构鉴定 白色粉末,m.p.168~170℃;$[\alpha]_D^{20}$=12°(*c* 0.13,$CHCl_3$);ESI-MS (*m*/*z*):413.3 ($[M+H]^+$);^{1}HNMR (600 MHz,$CDCl_3$):3.98 (1H,tt,*J*=10.8,5.8 Hz,H-3),6.25 (1H,d,*J*=8.4 Hz,H-6),6.51 (1H,d,*J*=8.4 Hz,H-7),0.82 (3H,s,H-18),0.89 (3H,s,H-19),0.96 (3H,d,*J*=6.6 Hz,H-21),5.16 (1H,dd,*J*=15.1,8.0 Hz,H-22),5.28 (1H,dd,*J*=15.1,8.1 Hz,H-23),0.85 (3H,d,*J*=6.6 Hz,H-26),0.86 (3H,d,*J*=6.8 Hz,H-27);^{13}CNMR (125 MHz,$CDCl_3$):34.6 (t,C-1),30.1 (t,C-2),66.5 (d,C-3),36.9 (t,C-4),82.1 (s,C-5),135.4 (d,C-6),130.7 (d,C-7),79.4 (s,C-8),51.1 (d,C-9),37.0 (s,C-10),23.4 (t,C-11),39.3 (t,C-12),44.5 (s,C-13),51.6 (d,C-14),20.6 (t,C-15),28.7 (t,C-16),56.3 (d,C-17),12.8 (q,C-18),18.2 (q,C-19),39.7 (d,C-20),20.6 (q,C-21),137.7 (d,C-22),126.6 (d,C-23),41.8 (t,C-24),28.5 (d,C-25),22.3 (q,C-26),22.3 (q,C-27)。^{1}HNMR 数据与文献[11]一致,确定化合物 **4** 的结构为(22*E*)-5α,8α-过氧化胆甾-6,22-二烯-3β-醇。

2.5 化合物 **5** 的结构鉴定 白色无定形粉末,m.p.150~152℃;$[\alpha]_D^{20}$=−6.0°(*c* 0.15,$CHCl_3$);ESI-MS (*m*/*z*):417 ($[M+H]^+$);^{1}HNMR (600 MHz,$CDCl_3$):3.97 (1H,tt,*J*=11.6,6.0 Hz,H-3),6.25 (1H,d,*J*=8.4 Hz,H-6),6.51 (1H,d,*J*=8.4 Hz,H-7),0.82 (3H,s,H-18),0.88 (3H,s,H-19),0.90 (3H,d,*J*=6.6 Hz,H-21),0.86 (3H,d,*J*=6.6 Hz,H-26),0.87 (3H,d,*J*=6.6 Hz,H-27);^{13}CNMR (125 MHz,$CDCl_3$):34.7 (t,C-1),30.1 (t,C-2),66.5 (d,C-3),37.0 (t,C-4),82.2 (s,C-5),135.4 (d,C-6),130.8 (d,C-7),79.4 (s,C-8),51.1 (d,C-9),37.0 (s,C-10),23.4 (t,C-11),39.4 (t,C-12),44.7 (s,C-13),51.6 (d,C-14),20.6 (t,C-15),28.3 (t,C-16),56.4 (d,C-17),12.6 (q,C-18),18.2 (q,C-19),35.2 (d,C-20),18.6 (q,C-21),36.0 (t,C-22),23.8 (t,C-23),39.4 (t,C-24),28.1 (d,C-25),22.5 (q,C-26),22.8 (q,C-27)。结合文献[11],推断出化合物 **5** 的结构为5α,8α-过氧化胆甾-6-烯-3β-醇。

2.6 抗菌活性测定结果 结果(表 1)显示:这些化合物对受试微生物的生长均有不同程度的抑制活性,化合物 **4**、**5** 对巨大芽孢杆菌的抑制作用较强,化合物 **2** 对小球藻的抑制活性最强。

表 1　琼脂扩散实验活性筛选

Tab 1　Agar diffusion assays for antibacterial, antifungal and antialgal activities

(d/cm)

	Fungus			Bacteria		Alga
	Microbotryum violaceum	*Botrytis cinerea*	*Septoria tritici*	*Escherichia coli*	*Bacillus megaterium*	*Chlorella fusca*
Compound **1**	1.2	—	1.4	1.3	1.2	1.6
Compound **2**	1.3	—	1.4	1.2	1.4	1.8
Compound **3**	1.6	—	1.4	1.4	1.6	1.1
Compound **4**	1.8	1.1	1.2	1.1	2.0	1.4
Compound **5**	1.4	—	0.8	1.1	1.9	1.5
Penicillin	2.0	—	1.6	2.2	2.6	1.7
Streptomycin	1.8	—	1.2	1.8	1.2	1.3
Ketoconazole	3.0	3.5	3.0	1.8	1.7	1.0
Acetone	1.2	—	1.1	1.1	1.0	1.0

0.6 mg of the test or control substances dissolved in acetone were applied to a filter disc and sprayed with the respective test organism.

—: No activities were detected in agar diffusion assays

3　讨　论

本研究对中国南海紫柳珊瑚的化学成分进行了初步研究，5 种过氧化甾醇均为首次从该属珊瑚中分离得到。体外活性测试结果表明，化合物 **1**～**5** 对花药黑粉菌、灰霉菌、壳针孢叶枯病菌、大肠杆菌、巨大芽孢杆菌和小球藻均显示不同程度的抗生长抑制活性，提示这些化合物在紫柳珊瑚的化学防御过程中可能发挥重要作用。化合物 **4**、**5** 对巨大芽孢杆菌显示较强的生长抑制活性，化合物 **2** 对小球藻的生长抑制作用强于所有的对照药，具有进一步研究的价值。

[参 考 文 献]

[1] 张　文，郭跃伟. 海洋生物柳珊瑚的化学成分及生物活性研究进展[J]. 中国天然药物，2003，1：69-75.

[2] 黄　晖，李秀保，何建国，邹仁林. 湛江徐闻西海岸柳珊瑚的物种多样性和分布研究[J]. 热带海洋学报，2007，26：60-67.

[3] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京：海洋出版社，2008：300-326.

[4] Blunt J W, Copp B R, Hu W P, Munro M H, Northcote P T, Prinsep M R. Marine natural products[J]. Nat Prod Rep, 2007, 24: 31-86.

[5] Zhang W, Guo Y W, Gu Y. Secondary metabolites from the South China Sea invertebrates: chemistry and biological activity [J]. Curr Med Chem, 2006, 13: 2041-2090.

[6] Zhang W, Guo Y W, Mollo E, Fontana A, Cimino G. Acanthovagasteroids A-D, four new 19-hydroxylated steroids from the South China Sea gorgonian *Acanthogorgia vagae Aurivillius* [J]. J Nat Prod, 2004, 67: 2083-2085.

[7] Zhang W, Guo Y W, Gavagnin M, Mollo E, Cimino G. Suberoretisteroids A-E, five new uncommon polyoxygenated steroid 24-ketals from the Hainan Gorgonian *Suberogorgia reticulata*[J]. Helvetica Chimica Acta, 2005, 88: 87-94.

[8] Zhang W, Huang H, Ding Y, Gavagnin M, Mollo E, Cimino G, et al. Three new polyoxygenated steroids from two species of South China Sea Gorgonian *Muricella flexuosa* and *Menella verrucosa* (Brundin)[J]. Helvetica Chimica Acta, 2006, 89: 813-820.

[9] 徐圆缘，李　玲，易杨华，张　文. 块花柳珊瑚化学成分的研究[J]. 第二军医大学学报，2010，31：421-424.
Xu Y Y, Li L, Yi Y H, Zhang W. Studies on chemical constituents of *Anthogorgia sp.* [J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2010, 31: 421-424.

[10] Kokke W C M C, Bohlin L, Fenical W, Djerassi C. Novel dinoflagaellate 4α-methylated sterols from four *Caribbean gorgonians* [J]. Phytochemistry, 1982, 21: 881-887.

[11] Ioannou E, Abdel-Razik A F, Zervou M, Christofidis D, Alexi X, Vagias C, et al. 5α, 8α-Epidioxysterols from the gorgonian *Eunicell cavolini* and the ascidian *Trididemnum inarmatum*: isolation and evaluation of their antiproliferative activity[J]. Steroids, 2009, 74: 73-80.

[12] Leslie Gunatilaka A A, Gopichand Y, Schmitz F J, Djerassi C. Minor and trace sterols in marine invertebrates. 26. Isolation and structure elucidation of nine new 5α, 8α-epidioxy sterols from four marine organisms[J]. J Org Chem, 1981, 46: 3860-3866.

[13] Wright J L C, Mcinnes A G, Shimizu S, Smith D G, Walter J A. Identification of C-24 alkyl epimers of marine sterols by ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. Can J Chem, 1978, 56: 1898-1903.

[14] 宋珊珊，王乃利，高　昊，刘宏伟，张庆华，姚新生. 海洋真菌 96F197 抗癌活性成分研究[J]. 中国药物化学杂志，2006，16：93-98.

[15] Krzyczkowski W, Malinowska E, Suchocki P, Kleps J, Olejnik M, Herold F. Isolation and quantitative determination of ergosterol peroxide in various edible mushroom species[J]. Food Chemistry, 2009, 113: 351-355.

[本文编辑]　贾泽军