

山茛菪中 1 个新的降碳香根螺烷型倍半萜

赵浩余^{1,2}, 冯 芮^{1,2}, 周勤梅^{1,2,3}, 彭 成¹, 刘昭华⁴, 朱 欢^{1,2*}, 熊 亮^{1,2*}

1. 成都中医药大学药学院 西南特色中药资源国家重点实验室, 四川 成都 611137
2. 成都中医药大学 西南特色药材创新药物成分研究所, 四川 成都 611137
3. 成都中医药大学 中医药创新研究院, 四川 成都 611137
4. 成都第一制药有限公司, 四川 成都 610031

摘要: 目的 研究山茛菪 *Anisodus tanguticus* 的化学成分及其生物活性。方法 采用硅胶柱色谱、凝胶柱色谱、制备薄层色谱和半制备高效液相色谱等方法进行分离纯化, 运用多种现代波谱学手段对化合物进行结构鉴定, 进一步通过 X-ray 单晶衍射分析和计算电子圆二色光谱 (electronic circular dichroism, ECD) 确定其绝对构型; 采用 CCK-8 法测定化合物对人宫颈癌 HeLa 细胞、人胃癌 HGC-27 细胞和人肝癌 HepG2 细胞的细胞毒活性, 采用 Griess 法测定化合物对脂多糖 (lipopolysaccharides, LPS) 诱导小鼠单核巨噬细胞 RAW 264.7 释放 NO 的影响。结果 从山茛菪中分离得到 1 个新的降碳香根螺烷型倍半萜, 鉴定为 (2R,5R,6S,7R,8R)-15-降-香根螺烷-9(10),11(12)-二烯-7,8,13-三醇 (1); 活性评价显示化合物 1 无细胞毒和抗炎活性。结论 化合物 1 为从山茛菪中发现的新化合物, 命名为山茛菪醇 E, 其在香根螺烷型骨架的基础上, 经氧化脱羧失去 C-15 而成为降碳倍半萜。

关键词: 山茛菪; 倍半萜; 降碳香根螺烷型; 山茛菪醇 E; 绝对构型

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)04-0973-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.04.002

A novel *nor*-vetispirane sesquiterpenoid from *Anisodus tanguticus*

ZHAO Hao-yu^{1,2}, FENG Rui^{1,2}, ZHOU Qin-mei^{1,2,3}, PENG Cheng¹, LIU Zhao-hua⁴, ZHU Huan^{1,2}, XIONG Liang^{1,2}

1. State Key Laboratory of Southwestern Chinese Medicine Resources, School of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China
2. Institute of Innovative Medicine Ingredients of Southwest Specialty Medicinal Materials, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China
3. Innovative Institute of Chinese Medicine and Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China
4. Chengdu No.1 Pharmaceutical Co., Ltd., Chengdu 610031, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents and bioactivities of *Anisodus tanguticus*. **Methods** The compounds were separated and purified by silica gel, Sephadex LH-20 column chromatography, preparative TLC, and semi-preparative HPLC. The structures were determined by comprehensive spectroscopic techniques, and the absolute configuration was confirmed via single-crystal X-ray diffraction analysis and electronic circular dichroism (ECD) calculation. Furthermore, CCK-8 assay and Griess assay were used to evaluate the cytotoxic of the compounds against HeLa cells, HGC-27 cells, and HepG2 cells, and the effect of the compound on lipopolysaccharide (LPS)-induced nitric oxide (NO) production in RAW 264.7 cells, respectively. **Results** A novel *nor*-vetispirane sesquiterpenoid was isolated from *A. tanguticus*, which was determined to be (2R,5R,6S,7R,8R)-15-*nor*-vetispirane-9(10),11(12)-dien-7,8,13-triol (1). It showed no cytotoxic and anti-inflammatory activities. **Conclusion** Compound 1

收稿日期: 2021-11-06

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年科学基金 (82022072); 霍英东基金 (171037); 四川省科技计划重点研发项目 (2018JZ0081); 成都中医药大学“杏林学者”学科人才科研提升计划 (YXRC2018005); 成都中医药大学西南特色中药资源重点实验室开放研究基金资助项目 (2020XSGG015)

作者简介: 赵浩余, 硕士研究生, 研究方向为中药药效物质基础研究。Tel: 18408288129 E-mail: zhaohaoyu@163.com

***通信作者:** 熊 亮, 博士, 博士生导师, 研究员, 研究方向为中药药效物质及开发应用研究。Tel: (028)61800231 E-mail: xiling@cdutcm.edu.cn
朱 欢, 硕士, 研究方向为中药药效物质基础研究。Tel: 18482134471 E-mail: 18482134471@163.com

was a new sesquiterpenoid obtained from *A. tanguticus*, named anisotanol E. It lost C-15 after oxidation and decarboxylation on the vetispirane skeleton.

Key words: *Anisodus tanguticus* (Maxim.) Pascher; sesquiterpenoid; nor-vetispirane; anisotanol E; absolute configuration

山莨菪 *Anisodus tanguticus* (Maxim.) Pascher, 又名藏茄、樟柳怪、唐传那保, 为茄科 (Solanaceae) 山莨菪属多年生宿根草本。主要分布在我国青海、甘肃、西藏和四川西南部, 生于海拔 2800~4200 m 的山坡、草坡向阳处^[1-2]。其根可供药用, 具有镇痛解痉、活血祛瘀、止血生肌的功效, 可用于治疗跌打损伤、骨折、外伤出血、溃疡病、胃肠炎及胆石症等^[3-4]。目前国内外学者对山莨菪化学成分的研究多集中于生物碱类, 包括 18 个酰胺、14 个托品烷、2 个吡咯烷和 1 个亚精胺生物碱, 并报道了此类成分具有拮抗乙酰胆碱受体、激动 μ -阿片受体、抑制丁酰胆碱酯酶、抗氧化和镇痛等药理活性^[5-12], 其中山莨菪碱、樟柳碱和红古豆碱等生物碱的相应制剂已作为上市药物广泛应用于临床。通过文献调研发现, 山莨菪非生物碱类成分鲜有报道。课题组前期分离鉴定了 4 个具有新颖骨架的倍半萜类化合物^[13], 为进一步丰富山莨菪化学成分的多样性, 本研究利用多种色谱方法和波谱技术对山莨菪倍半萜类成分展开研究, 得到 1 个新的降碳香根螺烷型倍半萜, 命名为山莨菪醇 E (anisotanol E, **1**), 并对分离所得化合物进行细胞毒活性和抗炎活性评价。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Rudolph Autopol I 自动旋光仪 (美国 Rudolph 公司); Applied Photophysics Chirscan 圆二色光谱仪 (英国 Applied Photophysics 公司); Agilent Cary 600 FT-IR microscope 光谱仪 (美国 Agilent 公司); Bruker D8 Quest 单晶衍射仪 (美国 Bruker 公司); Bruker Avance NEO-600 核磁共振波谱仪; Waters Synapt G2 高分辨质谱仪 (美国 Waters 公司); BÜCHI M-565 熔点测定仪 (瑞士 BÜCHI 公司); Agilent 1220 高效液相色谱仪; Welch Ultimate XB-C₁₈ 色谱柱 (Welch 公司, 250 mm×10 mm, 5 μ m); Sartorius 分析天平 (德国 Sartorius 公司); SW-CJ-2F 双人双面净化工作台 (苏州净化设备有限公司); MCO-15AC CO₂ 细胞培养箱 (日本 SANYO 公司); Varioskan 多功能酶标仪 (美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

1.2 材料

Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶 (40~70 μ m, 瑞典 Amersham Pharmacia 公司); 柱色谱硅胶 (200~300 目, 烟台江友硅胶开发有限公司); 高效薄层色谱硅胶板 (GF₂₅₄ 硅胶, 安徽良臣硅源材料有限公司); 制备薄层色谱硅胶板 (GF₂₅₄ 硅胶, 安徽良臣硅源材料有限公司); 色谱纯甲醇 (美国 Sigma 公司); 其余试剂均为分析纯 (成都科隆化学品有限公司); Gibco DMEM 培养基 (美国 Thermo Fisher Scientific 公司); Gibco 胰蛋白酶; Biosharp PBS 缓冲液 (北京兰杰柯科技有限公司); 胎牛血清 (杭州四季青生物工程材料有限公司); CCK-8 试剂盒 (上海陶术生物科技有限公司, 批号 C0005); 脂多糖 (lipopolysaccharides, LPS, 美国 Sigma 公司, 批号 039M4004V); 一氧化氮检测试剂盒 (上海碧云天生物技术有限公司, 批号 022421210712)。人宫颈癌 HeLa 细胞、人胃癌 HGC-27 细胞、人肝癌 HepG2 细胞和小鼠单核巨噬细胞 RAW 264.7 均购自美国模式培养物集存库。

1.3 药材来源

山莨菪药材采于四川省阿坝藏族羌族自治州, 经成都中医药大学高继海副教授鉴定为山莨菪 *A. tanguticus* (Maxim.) Pascher 的干燥根, 植物标本 (AT-20171010) 保存于成都第一制药有限公司。

2 方法与结果

2.1 提取与分离

山莨菪药材 (500 kg) 粉碎后加入 8% 氨水 (250 L) 润湿, 用甲醛酯 (3×10³ L) 常温逆流提取 2 h, 浸提液加入 20% 硫酸调节 pH 至 4.0, 静置分层。酸水层用于纯化制备樟柳碱、山莨菪碱和红古豆碱等生物碱供药品生产; 甲醛酯层减压浓缩后得到非生物碱浸膏 (3 kg)。将部分浸膏 (1 kg) 分散于水中, 依次用石油醚、醋酸乙酯和正丁醇萃取, 回收溶剂得到石油醚浸膏 (800 g)、醋酸乙酯浸膏 (60 g) 和正丁醇浸膏 (60 g)。将醋酸乙酯萃取物 (60 g) 用硅胶柱色谱分离, 以石油醚-醋酸乙酯 (50:1~1:1) 和醋酸乙酯-甲醇 (1:0~0:1) 梯度洗脱得到 9 个洗脱部分 (Fr. 1~9)。其中, Fr. 7 (17.9 g) 经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱, 以石油醚-二氯甲烷-

甲醇(5:5:1)洗脱,得到12个流分(Fr. 7-1~7-12)。随后,将Fr. 7-12(500 mg)用硅胶柱色谱分离,以二氯甲烷-甲醇(100:1~10:1)梯度洗脱得到5个洗脱部分(Fr. 7-12-1~7-12-5)。Fr. 7-12-4(30 mg)依次经制备薄层色谱[二氯甲烷-丙酮(3:1)]和反相高效液相色谱(40%甲醇水溶液)分离得到化合物**1**(5 mg, t_R =68.5 min, 1.5 mL/min)。

2.2 结构鉴定

化合物**1**: 无色片状结晶(甲醇), mp 104~109 °C。HR-ESI-MS 给出准分子离子峰 m/z 261.146 7 $[M+Na]^+$ (计算值 $C_{14}H_{22}O_3Na$, 261.146 7), 推测其分子式为 $C_{14}H_{22}O_3$, 不饱和度为 4。 $[\alpha]_D^{20}$ -5.0° (c 0.04, MeOH); ECD (MeCN) 193 ($\Delta\epsilon$ -31.13) nm; IR ν_{max}^{KBr} (cm⁻¹): 3434, 2924, 2854, 1647, 1466, 1384, 1261, 1027, 897, 801。 ^{13}C -NMR (150 MHz, acetone- d_6) 和 DEPT 谱显示该化合物共有 14 个碳信号(表 1), 可归属为 $1\times CH_3$ 、 $5\times CH_2$ [包含 1 个连氧亚甲基 (δ_C 65.3) 和 1 个烯碳 (δ_C 106.5)]、 $6\times CH$ [包含 2 个连氧次甲基 (δ_C 76.8, 74.8) 和 2 个烯碳 (δ_C 140.5, 125.9)] 和 2 个季碳 [包含 1 个烯碳(δ_C 153.7)] 信号。 1H -NMR (600 MHz, acetone- d_6) 和 HSQC 谱显示了与上述 CH_3 、 CH_2 和 CH 对应的质子信号, 此外还显示出 3 个活泼氢信号 [δ_H 3.83 (1H, brs), 3.77 (1H, t, J = 5.4 Hz), 3.71 (1H, brs)] (表 1)。在 1H - 1H COSY 谱中可观察到 2 组自旋偶合体系: $-CH_2CHCH_2CH_2-$ 和 $-CH(CH_3)CHCHCH=CH-$ (图 1), 结合 HMBC 谱中 H_2 -1 和 H_2 -4 同时与 C-5、C-6、C-10 相关, H -6 和 H -10 同时与 C-5 相关, H_2 -1 和 H_2 -3 与 C-11 相关, H_2 -12 与 C-2、C-11、C-13 相关(图 1), 推测化合物**1** 为 1 个降碳的香根螺烷型倍半萜。通过 1H - 1H COSY 相关信号 H -7/OH-7、 H -8/OH-8 和 H_2 -13/OH-13, 以及 HMBC 谱中 OH-13 与 C-11 和 C-13 相关信号, 确定 3 个羟基分别取代于 C-7、C-8 和 C-13 位。

化合物**1** 的相对构型通过 NOESY 谱和偶合常数确定。NOESY 谱中 H -2 与 H_3 -14 相关, H -6 与 H -8 相关以及 H -7 与 H_2 -4 和 H_3 -14 相关, 表明 H -2, H_2 -4, H -7 和 H_3 -14 位于同侧, 而与 H -6 和 H -8 位于异侧(图 1)。较大的偶合常数 ($J_{6,7}$ = 10.2 Hz 和 $J_{7,8}$ = 8.4 Hz) 也说明了 H -6 和 H -7, H -7 和 H -8 位于相反的一侧。同时该化合物的单晶测定结果验证了上述相对构型(图 2)。进一步通过对比实验 ECD 和计算 ECD 确定化合物**1** 的绝对构型。如图 2 所

表 1 化合物**1** 的 1H -NMR 及 ^{13}C -NMR 数据 (600/150 MHz, acetone- d_6)

Table 1 1H -NMR and ^{13}C -NMR data for compound **1** (600/150 MHz, acetone- d_6)

碳位	δ_H	δ_C
1	1.91 (1H, dd, J = 13.2, 9.0 Hz) 1.49 (1H, dd, J = 13.2, 10.2 Hz)	45.2
2	2.58 (1H, m)	44.5
3	1.83 (1H, overlapped), 1.63 (1H, m)	32.3
4	1.87 (1H, overlapped) 1.41 (1H, ddd, J = 12.6, 7.2, 1.2 Hz)	34.5
5	—	48.7
6	1.72 (1H, dq, J = 10.2, 6.6 Hz)	43.9
7	3.21 (1H, dd, J = 10.2, 8.4 Hz)	76.8
8	3.90 (1H, brd, J = 8.4 Hz)	74.8
9	5.32 (1H, dd, J = 10.2, 1.8 Hz)	125.9
10	5.63 (1H, dd, J = 10.2, 1.8 Hz)	140.5
11	—	153.7
12	5.02 (1H, s), 4.85 (1H, s)	106.5
13	4.05 (2H, d, J = 5.4 Hz)	65.3
14	1.03 (3H, d, J = 6.6 Hz)	12.0
7-OH	3.71 (1H, brs)	
8-OH	3.83 (1H, brs)	
13-OH	3.77 (1H, t, J = 5.4 Hz)	

示, 在 190~260 nm 内, 理论计算的 (2*R*,5*R*,6*S*,7*R*,8*R*)-**1** ECD 谱与实测的 ECD 谱吻合。因此, 化合物**1** 的绝对构型确定为 2*R*,5*R*,6*S*,7*R*,8*R*, 化合物**1** 的结构鉴定为 (2*R*,5*R*,6*S*,7*R*,8*R*)-15-降-香根螺烷-9(10), 11(12)-二烯-7,8,13-三醇。

化合物**1** 的 X-ray 单晶衍射数据: $C_{14}H_{22}O_3$, M = 238, 单斜晶系 (monoclinic), a = 0.980 06(9) nm, b = 0.654 91(5) nm, c = 1.101 51(8) nm, α = 90°, β = 109.890(5)°, γ = 90°, V = 0.664 83(9) nm³, space group $P2_1$, T = 293(2) K, Z = 2, μ (Cu K α) = 0.657 mm⁻¹。收集 6097 次单晶反射数据 (reflections collected), 其中 2297 个可用数据 (independent reflections), R_{int} = 0.080 2, R_1 = 0.055 0 [$I > 2\sigma(I)$], wR_2 = 0.123 4 [$I > 2\sigma(I)$], R_1 = 0.098 9 (all data), wR_2 = 0.148 6 (all data), F^2 = 1.002, Flack parameter = -0.3(4)。CCDC: 2 113 414。

2.3 药理活性研究

2.3.1 细胞毒活性筛选 采用 CCK-8 法测定化合物**1** 体外抑制 HeLa 细胞、HGC-27 细胞和 HepG2 细胞增殖活性^[14]。取对数生长期的 HeLa/HGC-27/

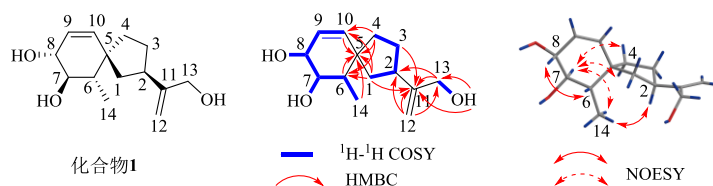
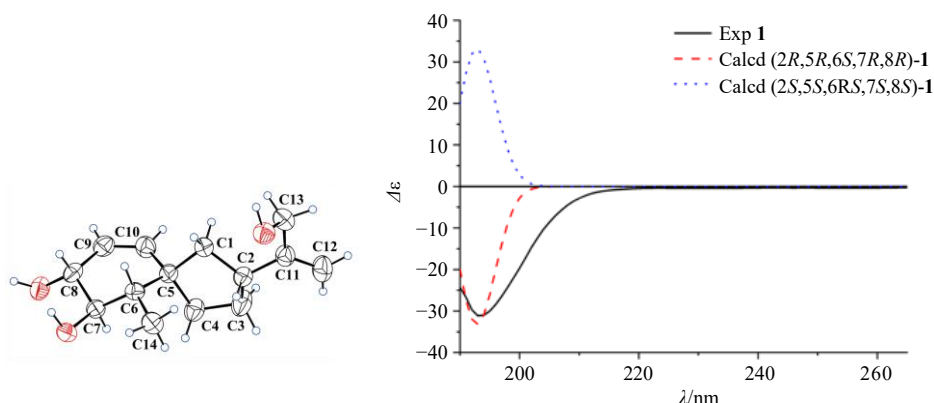
图1 化合物1的结构及主要 HMBC、 ^1H - ^1H COSY 和 NOESY 信号Fig. 1 Structure and key HMBC, ^1H - ^1H COSY and NOESY correlations of compound 1

图2 化合物1的X-ray 单晶衍射结构(左)和ECD谱(右)

Fig. 2 X-ray crystal structure (left) and ECD spectra (right) of compound 1

HepG2 细胞,以 4000 个/孔接种于 96 孔板上并孵育 24 h,空白组加入不含药物的培养基,药物组加入浓度为 3.13、6.25、12.5、25 和 50 $\mu\text{mol/L}$ 的受试化合物,每个浓度设 4 个复孔。培养 48 h 后,每孔加入 10 μL CCK-8,在 37 $^{\circ}\text{C}$ 下孵育 1 h 后,使用酶标仪在 450 nm 处测定吸光度并计算细胞存活率。结果表明,化合物 1 对 3 种人类肿瘤细胞系 HeLa、HGC-27 和 HepG2 细胞未表现出细胞毒活性。

2.3.2 NO 抑制活性测定 采用 Griess 法评价化合物 1 抑制 RAW 264.7 细胞释放 NO 的作用^[15]。取对数生长期的 RAW 264.7 细胞,以 5×10^4 个/孔接种于 96 孔板上并孵育 24 h,空白组加入不含药物的培养基,模型组加入 1 $\mu\text{g/mL}$ LPS,药物组加入浓度为 3.13、6.25、12.5、25 和 50 $\mu\text{mol/L}$ 的受试化合物,每个浓度设立 4 个复孔。培养 48 h 后,按照试剂盒说明检测细胞上清液中 NO 水平。结果表明,化合物 1 对 LPS 诱导 RAW 264.7 细胞释放 NO 无抑制作用。

3 讨论

山莨菪含有大量生物碱类成分,而非生物碱类成分鲜有研究,除课题组前期分离得到的 4 个山莨菪烷型倍半萜外^[13],仅 2 个香豆素苷被报道^[16]。本研究采用多种色谱分离方法从山莨菪中获得 1 个新的降碳香根螺烷型倍半萜(1),并通过 X-ray 单晶

衍射法和 ECD 计算确定其绝对构型。香根螺烷型倍半萜多报道于茄科和菊科植物,目前共分离鉴定 60 余个,其中降碳倍半萜较为少见^[17-19]。本论文首次从茄科植物山莨菪中发现香根螺烷型倍半萜,其在香根螺烷型骨架的基础上,经氧化脱羧失去 C-15 而成为降碳倍半萜。药理研究表明此类倍半萜具有显著的抗肿瘤、抗炎、抗真菌和保肝活性^[19-21]。本论文研究发现化合物 1 对 3 种人类肿瘤细胞系 HeLa、HGC-27 和 HepG2 细胞未表现出细胞毒活性,对 LPS 诱导 RAW 264.7 细胞释放 NO 无抑制作用。结合文献研究,推测 8-酮羰基可能是决定香根螺烷型倍半萜发挥细胞毒和抗炎活性的重要结构^[19,22-23]。此外,六元环上羟基的引入可能会显著降低这种细胞毒和抗炎作用^[24]。综上所述,本研究丰富了山莨菪的化学成分类型,为山莨菪倍半萜类成分的后续研究提供参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Wan D S, Feng J J, Jiang D C, *et al.* The Quaternary evolutionary history, potential distribution dynamics, and conservation implications for a Qinghai-Tibet Plateau endemic herbaceous perennial, *Anisodus tanguticus* (Solanaceae) [J]. *Ecol Evol*, 2016, 6(7): 1977-1995.

- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第七卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 26.
- [3] 谢宗万. 全国中草药汇编(上册) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1996: 113.
- [4] Ma L J, Gu R H, Tang L, *et al.* Important poisonous plants in Tibetan ethnomedicine [J]. *Toxins*, 2015, 7(1): 138-155.
- [5] Wang J X, Zhao Y P, Du N N, *et al.* Scocycamides, a pair of macrocyclic dicaffeoylspermidines with butyrylcholinesterase inhibition and antioxidation activity from the roots of *Scopolia tangutica* [J]. *Org Lett*, 2020, 22(21): 8240-8244.
- [6] Zhao H Y, Liu J, Zhu H, *et al.* New amides from the roots of *Anisodus tanguticus* [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2020, 91: 104082.
- [7] Du N N, Zhou W J, Jin H L, *et al.* Characterization of tropane and cinnamamide alkaloids from *Scopolia tangutica* by high-performance liquid chromatography with quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry [J]. *J Sep Sci*, 2019, 42(6): 1163-1173.
- [8] Du N N, Liu Y F, Zhang X L, *et al.* Discovery of new muscarinic acetylcholine receptor antagonists from *Scopolia tangutica* [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 46067.
- [9] Zhang Y, Long Z, Guo Z M, *et al.* Hydroxycinnamic acid amides from *Scopolia tangutica* inhibit the activity of M1 muscarinic acetylcholine receptor *in vitro* [J]. *Fitoterapia*, 2016, 108: 9-12.
- [10] Long Z, Zhang Y, Guo Z M, *et al.* Amide alkaloids from *Scopolia tangutica* [J]. *Planta Med*, 2014, 80(13): 1124-1130.
- [11] Ghani A. Cuscohygrine from some solanaceous plants [J]. *Indian J Pharmaceut Sci*, 1985, 47(3): 127-129.
- [12] 杨峻山, 陈玉武, 冯孝章. 唐古特山莨菪根中微量生物碱的研究 [J]. 中草药, 1981, 12(2): 4-7.
- [13] Zhao H Y, Zhou Q M, Zhu H, *et al.* Anisotanols A—D, four norsesquiterpenoids with an unprecedented sesquiterpenoid skeleton from *Anisodus tanguticus* [J]. *Chin J Chem*, 2021, 39(12): 3375-3380.
- [14] 陈金凤, 熊亮, 刘菲, 等. 蓬莪术姜黄素类化学成分研究 [J]. 中草药, 2020, 51(1): 16-20.
- [15] Li X R, Liu J, Peng C, *et al.* Polyacetylene glucosides from the florets of *Carthamus tinctorius* and their anti-inflammatory activity [J]. *Phytochemistry*, 2021, 187: 112770.
- [16] Jiang Y B, Zhong M, Hu M X, *et al.* Spectrum-effect relationships between high performance liquid chromatography fingerprint and analgesic property of *Anisodus tanguticus* (Maxim) Pascher (Solanaceae) roots [J]. *Trop J Pharm Res*, 2017, 16(2): 379-386.
- [17] 谭金燕, 程艳刚, 王佳敏, 等. 茄科倍半萜类化学成分及其药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(16): 5062-5077.
- [18] 王艺萌, 王知斌, 孙延平, 等. 苍术属植物中倍半萜类化合物化学结构和生物活性研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52(1): 299-309.
- [19] Guo R, Liu Y, Pan J, *et al.* A new sesquiterpenoid with cytotoxic and anti-inflammatory activity from the leaves of *Datura metel* L [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(4): 607-613.
- [20] Xu K, Jiang J S, Feng Z M, *et al.* Bioactive sesquiterpenoid and polyacetylene glycosides from *Atractylodes lancea* [J]. *J Nat Prod*, 2016, 79(6): 1567-1575.
- [21] Nagaoka T, Goto K, Watanabe A, *et al.* Sesquiterpenoids in root exudates of *Solanum aethiopicum* [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2001, 56(9/10): 707-713.
- [22] Zhang L, Li G S, Yao F, *et al.* Three new sesquiterpenoids from *Solanum septemlobum* with cytotoxic activities [J]. *Phytochem Lett*, 2015, 11: 173-176.
- [23] Li G S, Yao F, Zhang L, *et al.* New sesquiterpenoid derivatives from *Solanum lyratum* and their cytotoxicities [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2014, 16(2): 129-134.
- [24] Yin X, Liu Y, Pan J, *et al.* Melongenaterpenes A-L, vetispirane-type sesquiterpenoids from the roots of *Solanum melongena* [J]. *J Nat Prod*, 2019, 82(12): 3242-3248.

[责任编辑 王文倩]