

[成分分析]

香青藤乙酸乙酯部位化学成分及其体外抗肿瘤、抗氧化活性研究

韦桂宁^{1,2}, 翁杰^{1#}, 刘洪存¹, 谢木水³, 谭学才¹, 龚志强³, 杨立芳^{1*}

[1. 广西民族大学化学化工学院, 林产化学与工程国家民委重点实验室, 广西南宁 530006; 2. 广西中医药研究院, 广西中药质量标准研究重点实验室, 广西南宁 530022; 3. 广西中医药大学赛恩斯新医药学院, 中医药(民族医药)现代化重点实验室, 广西南宁 530200]

摘要: **目的** 研究壮药香青藤乙酸乙酯部位化学成分及其体外抗肿瘤、抗氧化活性。**方法** 通过硅胶、Sephadex LH-20、反相 ODS 柱色谱及半制备高效液相色谱进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构。采用 MTT 法测定化合物对人肝癌细胞 (HepG2) 的抑制活性, ABTS、DPPH 法评价抗氧化活性。**结果** 从中分离得到 22 个化合物, 分别鉴定为 pentacosane (1)、kadpolysperin J (2)、abiesanolide E (3)、manwuweizic acid (4)、longipedlactone J (5)、7β, 15β-dihydroxynigranoic acid (6)、xuetongsu (7)、phlegmanol K (8)、12-angeloyl wuweizidilactone I (9)、wuweizidilactone I (10)、xuetongdilactone D (11)、propindilactone R (12)、N-(2-苯乙基)肉桂酰胺 (13)、(-)-(6αS, 7R)-7-hydroxyactinodaphnine(14)、actinodaphnine(15)、cassythicine(16)、(+)-3, 11, 12-trihydroxycalamenene (17)、8, 9-dihydro-8, 9-dihydroxymegastigmatrienone (18)、(±)-trans-3-methylidenecyclopropane-1, 2-dicarboxylic acid (19)、2, 4-di-tert-butylphenol (20)、palmitic acid (21)、β-谷甾醇 (22)。化合物 5、14、15 对 HepG2 细胞的 IC₅₀ 值分别为 (5.23±0.93)、(25.84±2.50)、(25.69±2.87) μmol/L, 其中化合物 5 的活性优于阳性药苏尼替尼和盐酸阿霉素; 化合物 11 对 ABTS、DPPH 自由基的 IC₅₀ 值分别为 (36.3±1.26)、(72.0±5.81) μmol/L。**结论** 化合物 2~6、8~12 为首次从香青藤中分离得到。化合物 5 对 HepG2 细胞具有显著抑制作用, 11 具有良好的体外抗氧化活性。

关键词: 香青藤; 乙酸乙酯部位; 化学成分; 分离鉴定; 抗肿瘤活性; 抗氧化活性

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2026)09-2956-09
doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2026.09.015

Chemical constituents from the ethyl acetate fraction of *Illigera aromatica* and their *in vitro* anti-tumor, anti-oxidant activities

WEI Gui-ning^{1,2}, WENG Jie^{1#}, LIU Hong-cun¹, XIE Mu-shui³, TAN Xue-cai¹, GONG Zhi-qiang³, YANG Li-fang^{1*}

[1. State Ethnic Affairs Commission Key Laboratory of Forest Chemistry and Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Quality Standards, Guangxi Institute of Chinese Medicine & Pharmaceutical Science, Nanning 530022, China; 3. Key Laboratory of Modernization of Traditional Chinese Medicines (Ethnic Medicines), Faculty of Chinese Medicine Science Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China]

ABSTRACT: **AIM** To study the chemical constituents from the ethyl acetate fraction of *Illigera aromatica* S. Z. Huang et S. L. Mo and their *in vitro* anti-tumor, anti-oxidant activities. **METHODS** Separation and purification were performed using silica gel, Sephadex LH-20, reverse-phase ODS column chromatography and semi-preparative HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data.

收稿日期: 2026-01-22
基金项目: 国家自然科学基金项目 (82260776); 广西中药质量标准研究重点实验室 (广西壮族自治区中医药研究院) 开放基金 (桂中重开 202411); 广西中医药大学赛恩斯新医药学院中医药(民族医药)现代化重点实验室 (2025)
作者简介: 韦桂宁 (1973—), 男 (壮族), 博士在读, 研究方向为化学工程与技术及民族药活性筛选。E-mail: Weiguining2013@163.com
#共同第一作者: 翁杰 (1999—), 男, 硕士在读, 研究方向为化学工程与技术。E-mail: 13510111582@163.com
*通信作者: 杨立芳 (1969—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为天然产物次生代谢产物活性成分。E-mail: yanglf1990@163.com

The inhibitory activity of compounds on human hepatoma cells (HepG2) was determined by the MTT assay, and the anti-oxidant activity was evaluated by ABTS and DPPH methods. **RESULTS** Twenty-two compounds were isolated and identified as pentacosane (**1**), kadpolysperin J (**2**), abiesanolide E (**3**), manwuweizic acid (**4**), longipedlactone J (**5**), 7 β , 15 β -dihydroxynigranoic acid (**6**), xuetongsu (**7**), phlegmanol K (**8**), 12-angeloyl wuweizidilactone I (**9**), wuweizidilactone I (**10**), xuetongdilactone D (**11**), propindilactone R (**12**), *N*-(2-phenylethyl) cinnamamide (**13**), (-) - (6 α S, 7R) -7-hydroxyactinodaphnine (**14**), actinodaphnine (**15**), cassythicine (**16**), (+) -3, 11, 12-trihydroxycalamenene (**17**), 8, 9-dihydro-8, 9- dihydroxymegastigmatrienone (**18**), ($\pm$) -*trans*-3-methylidenecyclopropane-1, 2-dicarboxylic acid (**19**), 2, 4-di-tert-butylphenol (**20**), palmitic acid (**21**), and β -sitosterol (**22**). The IC₅₀ values of compounds **5**, **14** and **15** against HepG2 cells were (5.23 $\pm$ 0.93), (25.84 $\pm$ 2.50) and (25.69 $\pm$ 2.87) μ mol/L, respectively, among which compound **5** exhibited superior activity to the positive controls sunitinib and doxorubicin hydrochloride. IC₅₀ values of compound **11** on ABTS and DPPH radicals were (36.3 $\pm$ 1.26) and (72.0 $\pm$ 5.81) μ mol/L, respectively. **CONCLUSION** Compounds **2–6** and **8–12** are isolated from *I. aromatica* for the first time. Compound **5** has significant inhibitory activity against HepG2 cells, and **11** exhibits good *in vitro* anti-oxidant activity.

KEY WORDS: *Illigera aromatica* S. Z. Huang et S. L. Mo; ethyl acetate fraction; chemical constituents; isolation and identification; anti-tumor activity; anti-oxidant activity

香青藤 *Illigera aromatica* S. Z. Huang et S. L. Mo 为莲叶桐科青藤属植物，其干燥藤茎可入药，壮药名“勾林”，主产于广西百色地区喀斯特地貌的石灰岩山地，属于区域特色鲜明的民族药^[1]，其气香，性凉，味辛，壮族、瑶族长期用于祛风活血、解痉镇痛，主治风湿骨痛、跌打损伤等症^[2-3]。香青藤常见用法包括以茎泡茶镇痛止痢，浸酒外涂治疗关节炎及脊椎炎，或水煎坐浴用于痔漏的瑶浴疗法^[4]，显示了它具有悠久的历史应用历史和潜在的药用价值。

香青藤化学成分复杂，挥发油含量约为0.2%~0.5%，以倍半萜类为主^[5]，还含有生物碱、黄酮、甾体等化合物^[6-7]。药理研究表明，香青藤中的阿扑啡类生物碱具有良好的抗肿瘤、胆碱酯酶抑制作用^[8-9]，部分萜类具有 NO 抑制作用^[10]，其甲醇提取物对煎青枯雷尔氏菌和立枯丝核菌有显著的抑制效果^[11]。然而，目前对该植物的化学成分研究仍较为分散，物质基础解析尚未深入，尤其是与其传统功效相关的活性成分群尚未明确，制约了其药效机制的阐明与现代药用开发的推进。

因此，本研究采用现代色谱分离、结构鉴定技术，对香青藤乙酸乙酯部位进行分离纯化，并进行体外抗肿瘤、抗氧化活性评价，以期深入揭示药材药效物质基础，挖掘其特色化学成分。

1 材料

1.1 仪器 LC-10AT 高效液相色谱仪、SCL-10Avp 半制备型高效液相色谱仪 [岛津仪器 (苏州) 有

限公司]; Nco 400 MHz 核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司)。柱层析硅胶 (100~200、200~300 目，青岛海洋化工有限公司); ODS-C₁₈ 硅胶 (日本 YMC 公司)。

1.2 试剂与药材 氘代甲醇、氯仿、二甲基亚砜 (DMSO)、0.05% 四甲基硅烷 (TMS) (美国 NORELL 公司); 甲醇、乙腈 (色谱纯，美国赛默飞世尔科技公司); 三氟乙酸 (色谱纯，上海麦克林生化科技股份有限公司); 其他试剂均为分析纯 (成都市科隆化学品有限公司); 超纯水 (杭州娃哈哈集团有限公司)。香青藤采自广西壮族自治区百色市靖西市，经广西中医药大学朱意麟副教授鉴定为莲叶桐科青藤属香青藤 *Illigera aromatica* S. Z. Huang et S. L. Mo 的干燥藤茎。

2 提取与分离

取香青藤根茎 28.0 kg，粉碎，过 60 目筛，加入 4 倍量 95% 乙醇，回流提取 3 次，每次 2 h，合并提取液，减压回收乙醇，浓缩得到粗浸膏，加入热水制成混悬液，依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇进行萃取，分别得到石油醚部位浸膏 (160.1 g)、乙酸乙酯部位浸膏 (178.4 g) 和正丁醇部位浸膏 (226.4 g)。乙酸乙酯部位浸膏用甲醇、乙酸乙酯等溶解，加入 1.5 倍 200~300 目硅胶混合拌样，以石油醚-乙酸乙酯 (10:0~1:8) 梯度洗脱，经硫酸-茴香醛、碘化铋钾显色，检识合并相似组分，得到 Fr. 1~Fr. 12。

Fr. 1 (21.8 g) 经硅胶柱分离，以二氯甲烷-

甲醇(60:1~0:1)梯度洗脱,得到5个组分(Fr. 1-1~Fr. 1-5)。Fr. 1-2以甲醇-水(85:15)为流动相,经半制备HPLC(检测波长210 nm)纯化,得到化合物**21**(21.0 mg, t_R = 12.16 min); Fr. 1-3经丙酮重结晶纯化,得到化合物**9**(71.0 mg); Fr. 1-4以甲醇-0.1%三氟乙酸(80:20)为流动相,经半制备HPLC(检测波长230 nm)分离,得化合物**5**(112.6 mg, t_R = 14.18 min)、**11**(62.1 mg, t_R = 22.17 min)。

Fr. 5经硅胶柱分离,以石油醚-乙酸乙酯(10:1~0:1)梯度洗脱,得到5个组分(Fr. 5-1~Fr. 5-5)。Fr. 5-1以乙腈-水(65:35)为流动相,经半制备HPLC(检测波长250 nm)分离,得到化合物**13**(104.3 mg, t_R = 11.23 min); Fr. 5-4(2.1 g)以甲醇-0.1%三氟乙酸(90:10)为流动相,经半制备HPLC(检测波长240 nm)分离,得到化合物**19**(2.6 mg, t_R = 28.31 min)。

Fr. 6经硅胶柱分离,以石油醚-乙酸乙酯(10:1~0:1)梯度洗脱,得到3个组分(Fr. 6-1~Fr. 6-3)。Fr. 6-1以甲醇-0.1%三氟乙酸(80:20)为流动相,经半制备HPLC(检测波长270 nm)纯化,得到化合物**14**(36.9 mg, t_R = 15.02 min); Fr. 6-3经重结晶纯化,得到化合物**12**(8.3 mg)。

Fr. 7经硅胶柱分离,以石油醚-乙酸乙酯(10:1~1:1)梯度洗脱,得到5个组分(Fr. 7-1~Fr. 7-5)。Fr. 7-1经重结晶,得到化合物**4**(5.1 mg); Fr. 7-3以甲醇-0.1%三氟乙酸(75:25)为流动相,经半制备HPLC(检测波长220 nm)纯化,得到化合物**8**(5.3 mg, t_R = 11.02 min)。

Fr. 8经Sephadex LH-20凝胶柱分离,以甲醇-氯仿(1:1)为流动相,得到3个组分(Fr. 8-1~Fr. 8-3)。Fr. 8-1经重结晶纯化,得到化合物**18**(3.0 mg); Fr. 8-2以乙腈-0.1%三氟乙酸(25:75)为流动相,经半制备HPLC(检测波长270 nm)分离,得到化合物**16**(23.0 mg, t_R = 18.92 min)、**17**(4.5 mg, t_R = 26.37 min)。

Fr. 9以甲醇-0.1%三氟乙酸(50:50)为流动相,经半制备HPLC(检测波长240 nm)纯化,得到化合物**6**(8.2 mg, t_R = 11.29 min)、**7**(11.2 mg, t_R = 20.12 min)。

Fr. 10经反相ODS柱分离,以甲醇-水(20:80~0:100)梯度洗脱,得到5个组分(Fr. 10-1~Fr. 10-5)。Fr. 10-2经重结晶纯化,得到化合物**10**(6.3 mg); Fr. 10-3(0.9 g)经重结晶纯化,得到

化合物**2**(4.3 mg); Fr. 10-5以甲醇-0.1%三氟乙酸(60:40)为流动相,经半制备HPLC(检测波长240 nm)纯化,得到化合物**3**(7.4 mg, t_R = 16.32 min)。

Fr. 12经硅胶柱分离,以二氯甲烷-甲醇(50:1~0:1)梯度洗脱,得到5个组分(Fr. 12-1~Fr. 12-5)。Fr. 12-1经重结晶纯化,得到化合物**15**(27.1 mg); Fr. 12-2以甲醇-0.1%三氟乙酸(90:10)为流动相,经半制备HPLC(检测波长210 nm)纯化,得到化合物**20**(4.1 mg, t_R = 15.83 min)、**1**(3.9 mg, t_R = 21.18 min)。

Fr. 3经重结晶纯化,得到化合物**22**(710.8 mg)。

另外,本实验中半制备HPLC体积流量均为4.0 mL/min。

3 结构鉴定

化合物**1**:无色透明油状物,ESI-MS m/z : 353.41 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 1.25(46H, m, H-2~24), 0.89~0.86(6H, m, H-CH₃); ¹³C-NMR(100 MHz, CDCl₃) δ : 32.1(C-3, 23), 29.9(C-5~21), 29.5(C-4, 22), 22.9(C-2, 24), 14.3(C-1, 25)。以上数据与文献[12]报道基本一致,故鉴定为pentacosane。

化合物**2**:白色粉末,ESI-MS m/z : 484.36 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR(400 MHz, DMSO) δ : 5.90(1H, t, J = 7.5 Hz, H-24), 4.89(1H, m, H-30), 2.35~2.18(2H, m, H-23), 2.15~2.00(6H, m, H-2, 7, 11), 1.92(1H, s, H-27), 1.88~1.64(4H, m, H-1, 12), 1.65~1.56(2H, s, H-15), 1.51~1.44(2H, m, H-22), 1.40~1.21(3H, m, H-18), 1.20~1.02(6H, m, H-28, 29), 0.89(9H, d, J = 6.9 Hz, H-21); ¹³C-NMR(100 MHz, DMSO) δ : 174.9(C-3), 169.1(C-24), 147.0(C-4), 138.2(C-8), 129.2(C-9), 127.3(C-25), 113.8(C-30), 50.3(C-14), 49.8(C-17), 46.1(C-5), 43.9(C-13), 35.8(C-20), 35.4(C-22), 30.7(C-15), 29.1(C-2), 27.5(C-16), 25.9(C-23), 25.4(C-7), 24.9(C-28), 23.5(C-6), 22.9(C-29), 22.1(C-19), 21.2(C-11), 20.7(C-27), 18.4(C-21), 15.8(C-18)。以上数据与文献[13]报道基本一致,故鉴定为kadpolysperin J。

化合物**3**:白色粉末,ESI-MS m/z : 505.30 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR(400 MHz, CDCl₃) δ : 6.03~

5.93 (1H, m, H-7), 4.94 (1H, q, $J=1.7$ Hz, H-28), 2.52 (1H, dd, $J=11.2, 5.0$ Hz, H-5), 2.39 (1H, overlapped, H-22), 2.26~2.13 (1H, m, H-15), 2.08 (2H, m, H-1), 2.07~1.97 (1H, m, H-20), 1.78 (3H, s, H-29), 1.72~1.65 (1H, m, H-12), 1.68~1.46 (1H, overlapped, H-16), 1.50~1.33 (1H, overlapped, H-22), 1.33~1.10 (3H, m, H-30), 0.81 (3H, s, H-19); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 178.1 (C-3), 171.7 (C-26), 148.8 (C-24), 144.2 (C-14), 140.5 (C-4), 130.9 (C-25), 128.5 (C-6), 114.4 (C-28), 52.0 (C-23), 51.6 (C-5), 49.0 (C-17), 45.6 (C-13), 41.5 (C-22), 37.7 (C-9), 37.0 (C-10), 33.9 (C-16), 32.1 (C-20), 30.5 (C-12), 27.5 (C-2), 27.1 (C-1), 25.6 (C-29), 25.3 (C-15), 23.4 (C-19), 22.8 (C-30), 21.0 (C-11), 19.1 (C-21), 16.5 (C-18)。以上数据与文献 [14] 报道基本一致, 故鉴定为 abiesanolide E。

化合物 4: 白色粉末, ESI-MS m/z : 471.34 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.09 (1H, s, H-24), 4.90 (1H, s, H-28), 4.69 (1H, s, H-28), 1.90 (3H, s, H-27), 1.76 (3H, s, H-29), 0.96 (3H, d, $J=5.0$ Hz, H-19), 0.94 (3H, s, H-30), 0.74 (3H, s, H-18); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 181.0 (C-3), 147.5 (C-4), 139.6 (C-8), 129.5 (C-9), 125.9 (C-25), 51.0 (C-14), 49.5 (C-17), 45.3 (C-5), 44.5 (C-13), 40.6 (C-10), 36.1 (C-20), 35.7 (C-22), 32.3 (C-1), 31.2 (C-15), 31.1 (C-12), 29.7 (C-2), 28.0 (C-6), 26.1 (C-23), 26.0 (C-7), 25.5 (C-30), 24.1 (C-11), 23.1 (C-29), 22.3 (C-19), 21.8 (C-16), 20.6 (C-27), 18.7 (C-21), 16.0 (C-18)。以上数据与文献 [15] 报道基本一致, 故鉴定为 manwuweizic acid。

化合物 5: 无色油状物, ESI-MS m/z : 537.67 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, MeOD) δ : 6.82 (1H, s, H-1), 6.79 (1H, s, H-OH), 6.74 (2H, s, H-19), 6.40 (1H, s, H-24), 5.07 (1H, s, H-18 α), 4.50 (1H, s, H-5), 4.45 (1H, s, H-22), 2.93 (1H, s, H-12), 2.25 (1H, s, H-11 α), 2.20 (1H, s, H-23 β), 2.16 (1H, s, H-8), 2.13 (1H, s, H-7 β), 1.96 (1H, s, H-27), 1.94 (1H, s, H-23 α), 1.90 (1H, s, H-11 β), 1.57 (3H, s, H-30), 1.54 (3H, s, H-29), 1.16 (3H, s, H-28),

1.01 (3H, s, H-21); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, MeOD) δ : 172.0 (6-OCOCH₃), 169.5 (C-3), 168.2 (C-26), 149.3 (C-19), 149.2 (C-13), 148.3 (C-1), 141.6 (C-10), 141.6 (C-17), 140.8 (C-24), 128.9 (C-25), 126.4 (C-16), 118.6 (C-2), 108.7 (C-18), 82.5 (C-22), 81.8 (C-4), 80.2 (C-9), 70.0 (C-6), 54.0 (C-12), 51.5 (C-11), 51.2 (C-8), 50.7 (C-5), 44.4 (C-14), 40.9 (C-20), 38.1 (C-15), 32.2 (C-7), 30.0 (C-29), 27.5 (C-28), 27.0 (C-23), 26.1 (C-30), 21.0 (6-OCOCH₃), 16.9 (C-27), 15.7 (C-21)。以上数据与文献 [16] 报道基本一致, 故鉴定为 longipedlactone J。

化合物 6: 白色粉末, ESI-MS m/z : 537.67 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, MeOD) δ : 5.96 (1H, ddt, $J=7.6, 6.0, 1.6$ Hz, H-24), 4.92 (1H, s, H-28), 4.72 (1H, s, H-28), 2.49 (1H, d, $J=9.7$ Hz, H-23), 2.18 (2H, s, H-11), 2.09 (1H, s, H-1), 2.05 (1H, s, H-2), 1.87 (3H, s, H-26), 1.78 (2H, s, H-29), 1.74 (2H, s, H-11), 1.71 (2H, s, H-12), 1.65 (1H, s, H-6), 1.56 (1H, s, H-20), 1.34 (1H, s, H-16), 1.24 (1H, s, H-11), 1.00 (3H, s, H-30), 0.98 (3H, s, H-18), 0.96 (3H, d, $J=6.4$ Hz, H-21), 0.79 (3H, s, H-26); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, MeOD) δ : 178.1 (C-3), 171.7 (C-27), 148.7 (C-4), 144.2 (C-24), 128.5 (C-25), 114.4 (C-28), 52.0 (C-7), 51.6 (C-14), 48.2 (C-8), 46.3 (C-5), 45.6 (C-13), 41.5 (C-16), 37.6 (C-20), 37.0 (C-11), 33.9 (C-2), 32.4 (C-2), 32.1 (C-1), 30.5 (C-19), 29.1 (C-10), 27.5 (C-22), 25.6 (C-23), 23.4 (C-9), 21.0 (C-26), 19.1 (C-18), 16.5 (C-30)。以上数据与文献 [17] 报道基本一致, 故鉴定为 7 β , 15 β -dihydroxynigranoic acid。

化合物 7: 白色晶体, ESI-MS m/z : 469.66 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.61 (1H, d, $J=6.5$ Hz, H-24), 4.47 (1H, dt, $J=13.1, 3.5$ Hz, H-28), 1.94~1.90 (3H, m, H-27), 1.65 (3H, q, $J=7.2, 6.5$ Hz, H-29), 0.99 (3H, s, H-30), 0.97 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-21), 0.91 (3H, s, H-18); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 166.8 (C-26), 139.6 (C-24), 128.5 (C-25), 80.7 (C-22), 48.8 (C-14), 48.7 (C-17), 48.4

(C-8), 45.6 (C-5), 45.3 (C-13), 39.3 (C-20), 36.2 (C-12), 33.1 (C-15), 32.0 (C-1), 31.3 (C-19), 29.5 (C-16), 27.2 (C-7), 26.9 (C-10), 26.6 (C-11), 26.1 (C-2), 25.9 (C-6), 25.6 (C-23), 23.7 (C-23), 22.7 (C-18), 19.8 (C-29), 18.4 (C-30), 17.1 (C-27), 13.2 (C-21)。以上数据与文献 [18] 报道基本一致, 故鉴定为 *xuetongsu*。

化合物 **8**: 白色针状晶体, ESI-MS m/z : 623.42 $[M+H]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, MeOD) δ : 6.82 (1H, s, H-2'), 3.80 (1H, s, H-3), 3.78 (1H, s, H-21), 2.51 (1H, s, H-8'), 2.33 (3H, s, H-7'), 2.07 (1H, s, H-16), 1.83 (3H, s, H-11, 16, 19), 1.66 (2H, s, H-27), 1.54 (2H, s, H-6), 1.37 (2H, s, H-20), 1.28 (1H, s, H-17), 1.22 (1H, s, H-2), 1.14 (3H, s, H-23), 0.95 (3H, s, H-30); ^{13}C -NMR (100 MHz, MeOD) δ : 171.7 (C-9'), 143.4 (C-4'), 138.6 (C-14), 129.3 (C-1'), 123.2 (C-15), 117.4 (C-6'), 116.0 (C-2'), 113.8 (C-5'), 73.6 (C-21), 73.4 (C-3), 66.0 (C-24), 62.2 (C-9), 56.4 (C-13), 56.4 (C-27), 54.3 (C-5), 47.4 (C-17), 40.0 (C-22), 39.1 (C-1), 35.7 (C-19), 33.7 (C-22), 33.6 (C-18), 31.3 (C-7'), 28.4 (C-20), 28.2 (C-2), 26.9 (C-11), 25.9 (C-12), 24.3 (C-16), 23.7 (C-23), 19.2 (C-6), 18.5 (C-26), 14.1 (C-25), 13.6 (C-29), 12.4 (C-28)。以上数据与文献 [19] 报道基本一致, 故鉴定为 *phlegmanol K*。

化合物 **9**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 697.43 $[M+H]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.97 (1H, dt, $J=3.4, 1.7$ Hz, H-24), 6.18~6.08 (1H, m, H-3'), 5.42 (1H, ddd, $J=7.8, 5.9, 1.6$ Hz, H-3''), 4.95 (1H, dd, $J=3.7, 2.3$ Hz, H-23), 4.86~4.75 (1H, m, H-1), 4.16 (1H, d, $J=5.1$ Hz, H-22), 3.79~3.63 (1H, m, H-15), 3.56 (1H, d, $J=5.8$ Hz, H-2), 3.23 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-17), 2.65 (1H, s, H-20), 2.52 (1H, d, $J=1.7$ Hz, H-5), 2.09~1.98 (12H, m, H-4', 4'', 5', 5''), 1.95 (3H, dt, $J=4.7, 1.8$ Hz, H-6, 16), 1.85 (1H, q, $J=2.5$ Hz), 1.59 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-6), 1.27 (3H, s, H-30), 1.11 (3H, d, $J=3.1$ Hz, H-21), 1.00 (3H, dd, $J=9.8, 6.7$ Hz, H-29); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 174.3

(C-3), 173.6 (C-26), 171.4 (C-1''), 166.5 (C-1'), 145.4 (C-24), 144.8 (C-3''), 140.7 (C-2''), 131.8 (C-25), 127.30 (C-2'), 97.5 (C-10), 90.3 (C-13), 85.1 (C-22), 84.3 (C-4), 81.9 (C-1), 81.7 (C-23), 74.6 (C-9), 69.9 (C-7), 69.3 (C-14), 55.0 (C-15), 53.5 (C-5), 46.5 (C-8), 46.1 (C-19), 43.4 (C-17), 41.0 (C-11), 36.4 (C-20), 35.4 (C-2), 31.1 (C-6), 28.3 (C-30), 26.9 (C-16), 22.3 (C-29), 21.6 (C-4''), 20.9 (C-4'), 16.0 (C-5'), 12.2 (C-5''), 12.0 (C-21), 11.0 (C-27)。以上数据与文献 [20] 报道基本一致, 故鉴定为 12-angeloyl wuweizidilactone I。

化合物 **10**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 627.27 $[M+Na]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.97 (1H, m, $J=1.6$ Hz, H-24), 6.14 (1H, d, $J=7.1, 1.3$ Hz, H-3'), 5.45~5.39 (1H, m, H-7), 4.79 (1H, d, $J=3.8, 1.9$ Hz, H-23), 4.37 (1H, d, $J=11.0$ Hz, H-1), 4.16 (1H, d, $J=5.5$ Hz, H-12), 3.83 (1H, d, $J=2.9$ Hz, H-22), 3.80~3.66 (2H, m, H-15), 2.66~2.51 (1H, m, H-20), 2.49 (1H, d, $J=1.5$ Hz, H-5), 2.33 (1H, dd, $J=13.5, 5.1$ Hz, H-19), 2.26~2.14 (1H, m, H-11), 1.95 (3H, t, $J=1.8$ Hz, H-4'), 1.92~1.78 (2H, m, H-6, 16), 1.11 (3H, s, H-30), 1.01 (3H, d, $J=6.7$ Hz, H-29), 0.85 (3H, s, H-21); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ : 173.9 (C-3), 173.7 (C-26), 166.2 (C-1'), 145.4 (C-24), 141.1 (C-3'), 131.3 (C-25), 126.9 (C-2'), 97.2 (C-10), 91.8 (C-13), 84.3 (C-22), 84.1 (C-4), 81.4 (C-1), 81.0 (C-23), 69.8 (C-14), 69.4 (C-7), 55.0 (C-15), 54.1 (C-5), 46.6 (C-8), 46.4 (C-19), 42.7 (C-11), 42.4 (C-17), 36.4 (C-20), 35.1 (C-19), 30.7 (C-6), 28.0 (C-30), 26.9 (C-16), 21.8 (C-29), 20.8 (C-4'), 16.0 (C-5'), 12.0 (C-21), 11.0 (C-27)。以上数据与文献 [21] 报道基本一致, 故鉴定为 wuweizidilactone I。

化合物 **11**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 679.27 $[M+Na]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.18 (1H, t, $J=1.7$ Hz, H-24), 5.83 (1H, m, $J=7.2, 1.5$ Hz, H-3''), 5.68 (1H, dd, $J=7.9, 1.8$ Hz, H-7), 5.47 (1H, dd, $J=3.6, 2.3$ Hz, H-12), 5.03 (1H, dt, $J=3.7, 1.9$ Hz, H-23), 4.26 (1H, d,

$J=5.1$ Hz, H-1), 3.96 (1H, dd, $J=10.1$, 3.6 Hz, H-22), 3.80 (1H, s, H-15 α), 3.69 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-15 β), 3.06 (1H, dd, $J=18.0$, 5.2 Hz, H-2 β), 2.92 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-8), 2.78 (1H, d, $J=18.0$ Hz, H-2 α), 2.70 (1H, dd, $J=13.7$, 4.6 Hz), 2.56 (1H, td, $J=8.1$, 6.0 Hz, H-17), 2.36 (1H, dd, $J=15.1$, 2.4 Hz, H-11 β), 2.29~2.19 (3H, m, H-11 α , 19), 2.15~2.03 (9H, m, H-2', 4'', 5''), 1.99 (1H, dd, $J=14.3$, 8.3 Hz, H-16 α), 1.80 (3H, t, $J=1.8$ Hz, H-27), 1.67 (1H, dd, $J=8.1$, 1.4 Hz, H-16 β), 1.65 (1H, s, H-6 β), 1.22 (3H, s, H-30), 1.02 (3H, s, H-29), 0.88 (3H, d, $J=6.7$ Hz, H-21); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 175.2 (C-3), 174.4 (C-26), 171.2 (C-1'), 166.8 (C-1''), 147.0 (C-24), 139.7 (C-3''), 131.3 (C-25), 128.4 (C-2''), 98.5 (C-10), 91.1 (C-13), 85.4 (C-22), 84.6 (C-4), 82.4 (C-23), 81.8 (C-1), 75.6 (C-9), 70.8 (C-12), 70.5 (C-7), 70.1 (C-14), 55.6 (C-15), 54.2 (C-5), 46.6 (C-19), 46.5 (C-8), 44.0 (C-17), 41.9 (C-11), 36.9 (C-20), 36.0 (C-2), 31.3 (C-6), 28.7 (C-30), 27.3 (C-16), 22.5 (C-29), 21.8 (C-2'), 21.5 (C-4''), 16.3 (C-5''), 12.0 (C-21), 11.1 (C-27)。以上数据与文献 [22] 报道基本一致, 故鉴定为 xuetongdilactone D。

化合物 **12**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 655.29 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.71 (1H, q, $J=1.6$ Hz, H-24), 6.13 (1H, m, $J=8.6$, 7.2, 5.9, 1.3 Hz, H-12 β), 5.60 (1H, t, $J=2.9$ Hz, H-35), 5.41 (1H, dd, $J=7.9$, 1.7 Hz, H-7 β), 4.14 (1H, d, $J=5.1$ Hz, H-1), 3.54 (1H, s, H-15 β), 3.19 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-2 β), 2.73 (1H, dd, $J=18.3$, 5.2 Hz, H-2 α), 2.65 (1H, s, H-5 α), 2.48~2.39 (2H, m, H-17), 2.30 (1H, m, H-20), 2.13 (1H, s, H-19), 1.90~1.78 (2H, m, H-16), 1.56 (1H, m, H-22), 1.27 (3H, s, H-27), 1.10 (3H, s, H-30), 0.89 (3H, s, H-29); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 174.3 (C-3), 171.2 (C-26), 170.7 (C-31), 166.5 (C-33), 147.6 (C-24), 140.7 (C-34), 132.3 (C-25), 127.3 (C-35), 105.1 (C-23), 97.6 (C-10), 84.3 (C-4), 82.1 (C-13), 81.7 (C-1), 74.5 (C-9), 69.2 (C-7), 69.0 (C-14),

68.5 (C-12), 53.7 (C-5), 53.3 (C-15), 46.4 (C-19), 45.1 (C-8), 40.0 (C-11), 35.5 (C-2), 34.6 (C-17), 34.1 (C-22), 31.3 (C-6), 28.4 (C-30), 24.4 (C-16), 22.3 (C-20), 21.7 (C-29), 21.6 (C-32), 21.0 (C-26), 19.0 (C-21), 16.0 (C-37), 10.7 (C-27)。以上数据与文献 [23] 报道基本一致, 故鉴定为 propindilactone R。

化合物 **13**: 淡黄色粉末, ESI-MS m/z : 252.36 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.62 (1H, d, $J=15.6$ Hz, H-3), 7.48 (2H, m, H-5, 9), 7.34 (5H, m, H-4', 5'~8'), 7.23 (3H, m, H-6~8), 6.31 (1H, d, $J=15.6$ Hz, H-2), 5.62 (1H, m, H-NH), 3.67 (1H, q, $J=15.6$ Hz, H-1'), 2.90 (2H, t, $J=6.9$ Hz, H-2'); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 166.0 (C-1), 141.2 (C-3), 139.0 (C-4), 134.9 (C-3'), 129.8 (C-7), 128.9 (C-6, 8), 128.8 (C-5, 9), 127.9 (C-5', 7'), 126.7 (C-6'), 120.7 (C-2), 40.9 (C-1'), 35.8 (C-2')。以上数据与文献 [24] 报道基本一致, 故鉴定为 *N*-(2-苯乙基)肉桂酰胺。

化合物 **14**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 328.11 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.69 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-11), 6.77 (1H, s, H-2), 6.65 (1H, s, H-3), 6.14 (1H, d, $J=1.1$ Hz, H-OCH₂O-), 6.00 (1H, d, $J=1.0$ Hz, H-OCH₂O-), 4.39~4.30 (1H, m, H-6 α), 3.87 (3H, s, 10-OCH₃), 3.69 (1H, ddd, $J=12.3$, 6.2, 1.3 Hz, H-7); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 149.9 (C-10), 148.4 (C-2), 148.0 (C-9), 143.8 (C-1), 126.6 (C-7 α), 125.5 (C-3 α), 123.0 (C-11 α), 121.5 (C-4 β), 117.8 (C-8), 116.2 (C-11 β), 112.2 (C-11), 107.7 (C-3), 102.7 (-OCH₂O-), 56.6 (C-6 α), 54.5 (-OCH₃), 42.8 (C-5), 26.5 (C-4)。以上数据与文献 [25] 报道基本一致, 故鉴定为 (-)-(6 α S, 7R)-7-hydroxyactinodaphnine。

化合物 **15**: 白色晶体, ESI-MS m/z : 328.11 $[\text{M} + \text{H}]^+$ 。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.58 (1H, s, H-13), 6.77 (1H, d, $J=17.1$ Hz, H-10), 6.19 (1H, s, H-3), 6.05 (1H, s, H-OCH₂O-), 4.34 (1H, dd, $J=13.9$, 4.9 Hz, H-7), 3.59 (1H, dd, $J=12.3$, 6.0 Hz, H-6), 3.11 (1H, m, H-8), 2.85 (1H, dt, $J=21.4$, 9.2 Hz, H-8), 1.23 (3H, s, H-13); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 147.6 (C-2), 146.9 (C-12), 146.8

(C-11), 141.7 (C-1), 125.8 (C-9), 124.7 (C-4), 120.9 (C-14), 120.7 (C-16), 116.0 (C-15), 115.6 (C-10), 111.3 (C-13), 106.6 (C-3), 101.2 (C-OCH₂O-), 55.9 (-OCH₃), 51.9 (C-7), 40.5 (C-6), 31.9 (C-8), 25.1 (C-5)。以上数据与文献 [26] 报道基本一致, 故鉴定为 actinodaphnine。

化合物 **16**: 无色透明油状物, ESI-MS m/z : 326.13 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, DMSO) δ : 9.49 (1H, s, H-OH), 7.58 (1H, s, H-13), 6.80 (1H, s, H-10), 6.74 (1H, s, H-3), 6.18 (1H, d, $J=1.0$ Hz, H-OCH₂O), 6.04 (1H, d, $J=1.0$ Hz, H-OCH₂O-), 3.78 (3H, s, H-OCH₃), 3.56 (1H, dd, $J=11.8, 5.4$ Hz, H-5), 3.22 (1H, t, $J=12.5$ Hz, H-6), 3.11 (1H, td, $J=14.8, 12.7, 5.8$ Hz, H-8), 2.99 (1H, dd, $J=14.2, 5.0$ Hz, H-5), 2.93 ~ 2.80 (2H, m, H-6, 8); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO) δ : 148.0 (C-1), 147.3 (C-12), 147.2 (C-11), 142.1 (C-2), 126.2 (C-9), 125.1 (C-4), 121.3 (C-16), 121.1 (C-14), 116.4 (C-15), 116.0 (C-10), 111.7 (C-13), 107.0 (C-3), 101.6 (-OCH₂O-), 56.3 (-OCH₃), 52.3 (C-6), 32.3 (C-8), 25.4 (C-5)。以上数据与文献 [26] 报道基本一致, 故鉴定为 cassythicine。

化合物 **17**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 251.16 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, MeOD) δ : 7.05 (1H, s, H-5), 6.62 (1H, d, $J=0.9$ Hz, H-2 α), 3.49~3.37 (2H, m, H-12), 3.10 (1H, dd, $J=9.2, 4.8$ Hz, H-7 β), 2.65 (1H, q, $J=6.2, 5.4$ Hz, H-10 α), 2.13 (3H, s, H-15), 1.99 ~ 1.90 (3H, m, H-8, 9 β), 1.22 (3H, d, $J=6.9$ Hz, H-14), 0.98 (3H, s, H-13); ¹³C-NMR (100 MHz, MeOD) δ : 154.4 (C-3), 144.5 (C-1), 134.2 (C-5), 128.6 (C-6), 121.9 (C-4), 113.1 (C-2 α), 77.8 (C-11), 68.8 (C-12 α), 44.0 (C-7 β), 33.7 (C-10 α), 32.8 (C-9 α), 23.9 (C-8 α), 22.2 (C-13), 22.1 (C-14), 15.9 (C-15)。以上数据与文献 [27] 报道基本一致, 故鉴定为 (+)-3, 11, 12-trihydroxycalamenene。

化合物 **18**: 白色晶体, ESI-MS m/z : 225.14 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, MeOD) δ : 6.06 (1H, d, $J=9.3$ Hz, H-7), 5.96 (1H, s, H-4), 4.68 (1H, dd, $J=9.4, 5.1$ Hz, H-8), 3.78 (1H, m, H-9), 2.46~2.31 (2H, m, H-2), 2.15 (3H,

s, 13-CH₃), 1.39 (3H, s, 12-CH₃), 1.33 (3H, s, 11-CH₃), 1.21 (3H, s, 10-CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, MeOD) δ : 202.0 (C-3), 159.0 (C-5), 145.2 (C-6), 135.7 (C-7), 127.1 (C-4), 72.5 (C-8), 71.8 (C-9), 54.4 (C-2), 40.0 (C-1), 29.9 (C-12), 29.8 (C-11), 22.8 (C-13), 18.9 (C-10)。以上数据与文献 [28] 报道基本一致, 故鉴定为 8, 9-dihydro-8, 9-dihydroxymegastigmatrienone。

化合物 **19**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 143.03 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, DMSO) δ : 12.31 (2H, m, H-COOH), 6.71 (2H, s, H-CH₂), 2.50 (2H, s, H-CH); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO) δ : 173.7 (C-COOH), 166.0 (C-CH₂), 134.0 (C-CH₂), 28.8 (C-CH)。以上数据与文献 [29] 报道基本一致, 故鉴定为 ($\pm$)-*trans*-3-methylidenecyclopropane-1, 2-dicarboxylic acid。

化合物 **20**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 207.17 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 7.40 (1H, m, H-3), 7.19 (1H, dd, $J=1.7, 0.9$ Hz, H-5), 1.43 (3H, s, 7-CH₃), 1.30 (3H, s, 8-CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 148.0 (C-1), 125.0 (C-3), 124.6 (C-5), 118.9 (C-6), 35.0 (C-8), 34.8 (C-7), 31.6 (8-CH₃), 30.5 (7-CH₃)。以上数据与文献 [30] 报道基本一致, 故鉴定为 2, 4-di-*tert*-butylphenol。

化合物 **21**: 无色透明油状物, ESI-MS m/z : 257.24 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 1.25 (12H, s, H-4~9), 0.86 (3H, dtd, $J=12.1, 6.6, 3.2$ Hz, H-16); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 32.9 (C-2), 32.1 (C-14), 30.3 (C-6-12), 30.2 (C-5), 29.9 (C-13), 29.5 (C-4), 27.3 (C-3), 22.9 (C-15), 14.3 (C-16)。以上数据与文献 [31] 报道基本一致, 故鉴定为 palmitic acid。

化合物 **22**: 白色针晶, ESI-MS m/z : 412.70 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 5.35 (1H, m, H-6), 3.52 (1H, m, H-3), 1.00 (3H, s, H-19), 0.92 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-21), 0.84 (6H, m, H-26, 29), 0.80 (3H, s, H-27), 0.67 (3H, s, H-18); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 140.9 (C-5), 121.9 (C-6), 72.0 (C-3), 56.9 (C-14), 56.2 (C-17), 50.3 (C-9), 46.0 (C-24), 42.5 (C-13), 42.4 (C-4), 39.9 (C-12), 37.4 (C-1), 36.6 (C-10), 36.3 (C-20), 34.1 (C-22), 32.0 (C-7, 8), 31.8 (C-2), 29.3 (C-

25), 28.4 (C-23), 26.7 (C-23), 24.4 (C-15), 23.2 (C-28), 21.2 (C-11), 20.0 (C-26), 19.5 (C-19), 19.2 (C-27), 18.9 (C-21), 12.1 (C-29), 12.0 (C-18)。以上数据与文献 [32] 报道基本一致, 故鉴定为 β -谷甾醇。

4 药理活性评价

4.1 体外抗肿瘤活性 采用 MTT 法测定化合物对人肝癌细胞系 HepG2 细胞活性的影响。取传代、复苏后的 HepG2 细胞悬浮液, 按 1×10^5 个/mL 密度接种于 96 孔板, 恒温箱中培养 12 h, 加入不同浓度化合物, 继续孵育 24 h, 每孔分别加入 20 μ L MTT 溶液, 继续培养 4 h, 弃去上清液, 每孔加入 150 μ L DMSO, 振荡 15 s, 在 570、630 nm 波长处测定吸光度, 计算 IC₅₀ 值。由表 1 可知, 化合物 5、14、15 对 HepG2 细胞均具有较强的抑制活性, 其中化合物 5 效果优于阳性药苏尼替尼和盐酸阿霉素。

表 1 各化合物对 HepG2 细胞的 IC₅₀ 值 (μ mol/L, $\bar{x} \pm s$, $n=3$)

化合物	IC ₅₀ 值
5	5.23±0.93
14	25.84±2.50
15	25.69±2.87
盐酸阿霉素	11.18±0.47
苏尼替尼	8.33±0.46

4.2 体外抗氧化活性 选取化合物最高质量浓度 800 μ g/mL, 分别开展 ABTS、DPPH 自由基清除活性筛选, 以维生素 C 为阳性对照。2 种检测体系均设置实验组 (100 μ L ABTS/DPPH+100 μ L 化合物)、空白组 (100 μ L 化合物+100 μ L 蒸馏水) 及对照组 (100 μ L ABTS/DPPH+100 μ L 蒸馏水), 混匀后室温避光反应 30 min, 分别在 734 nm (ABTS 体系)、517 nm (DPPH 体系) 波长处测定吸光度, 计算自由基清除率, 公式为清除率= $[1-(A_{\text{实验组}}-A_{\text{空白组}})/A_{\text{对照}}] \times 100\%$ 。由表 2 可知, 化合物 11 具有良好的抗氧化作用, 16、20 对 ABTS、DPPH 自由基清除作用较弱。

5 讨论与结论

本研究对壮瑶香青藤进行了系统的化学成分分离与生物活性评价, 采用多种现代色谱技术及波谱分析方法, 从中共分得 22 个化合物, 包括 8 个萜类、4 个生物碱、4 个甾体、6 个脂肪烃及小分子酚酸。其中, 化合物 2~6、8~12 为首次从该药材中分离得到, 这一发现进一步丰富了香青藤属植物

表 2 各化合物对 ABTS、DPPH 自由基的 IC₅₀ 值 (μ mol/L, $\bar{x} \pm s$, $n=3$)

Tab. 2 IC₅₀ values of various compounds on ABTS and DPPH free radicals (μ mol/L, $\bar{x} \pm s$, $n=3$)

化合物	IC ₅₀ 值	
	ABTS 自由基	DPPH 自由基
11	36.3±1.26	72.0±5.81
16	80.7±6.21	81.6±7.12
20	73.9±4.76	86.2±6.48
维生素 C	18.5±1.22	4.88±0.72

的化学成分数据库, 提示其代谢产物具有多样性, 也为其专属成分指认与质量标准提升提供了参考。

在体外抗肿瘤活性筛选中, 部分化合物对 HepG2 表现出选择性抑制活性, 其中化合物 5 更突出, 显著优于阳性药苏尼替尼与盐酸阿霉素, 化合物 14、15 也显示出中等程度的抑制活性。文献 [33] 报道, 具有萹类骈七元草内酯、三萜母核结构的化合物, 包括 longipedlactone A、longipedlactone F 等均表现出显著的细胞毒性, 常通过诱导细胞凋亡、阻滞细胞周期或抑制迁移侵袭等途径来发挥抗肿瘤作用。另外, 化合物 5 的强效活性提示它可能成为一种有潜力的先导成分, 其构效关系与作用机制值得深入研究。

在抗氧化活性方面, 化合物 11、16、20 对 ABTS、DPPH 自由基均表现出清除活性, 并呈明显的剂量依赖性, 尤其是化合物 11 对 ABTS 自由基, 其活性虽不及经典抗氧化剂维生素 C, 但优于许多天然多酚类提取物。该类成分抗氧化活性通常与其结构中的酚羟基数目、共轭体系及电子给予能力密切相关, 上述结果为进一步筛选天然抗氧化剂提供了结构依据。

综上所述, 本研究首次系统揭示了香青藤化学成分及其生物活性, 不仅为阐释该民族药的药效物质提供了依据, 也为后续其开发利用与质量控制奠定了基础, 有助于推动其走向标准化、现代化, 从而为相关创新药物研发与产业化发展提供支撑。

参考文献:

[1] 黄燮才. 广西青藤属一新种及同属药用植物[J]. 广西植物, 1985(1): 17-20.
[2] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志 (第 31 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
[3] 袁阿兴, 覃 凌, 康书华. 黑吹风化学成分的研究[J]. 植物学报 (英文版), 1987(3): 324-326.
[4] 广西科学院广西植物研究所. 广西植物志 (第一卷) [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1991.

[5] 谢丽莎, 李 娉, 龚志强, 等. 香青藤化学成分研究[J]. 当代医学, 2011, 17(27): 31-32.

[6] 葛一超. 香青藤化学成分及生物活性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2018.

[7] 甘 杰, 谭钦刚. 青藤属植物化学成分和药理作用研究进展[J]. 中南药学, 2021, 19(4): 679-685.

[8] Zhang X, Zhang H J, Ge Y C, *et al.* Alkaloids and flavonoids from *Illigera aromatica*[J]. *Chem Nat Comp*, 2020, 56(3): 580-582.

[9] Huy T T, Hien N T, Felix M T. Integrated analysis of vietnamese *Illigera trifoliata* ssp. *cucullata* (Merr.) Kubitzki, leaf and stem essential oils by GC-FID/GC-MS and ¹³C-NMR[J]. *Rec Nat Prod*, 2022, 16(6): 657-662.

[10] Zhou M, Zhang R Q, Zeng X L, *et al.* Cordatols A-D, four new anti-inflammatory bis-monoterpenoids from *Illigera cordata*[J]. *Bio Chem*, 2019, 86(5): 674-678.

[11] 余俐佳. 十万大山 25 种植物抑菌除草活性筛选[D]. 南宁: 广西大学, 2012.

[12] de Assis L R, Garcez F R, Garcez W S, *et al.* Pregnanes and other constituents of the roots of *Macrosiphonia petraea* (A. St. -Hil.) Kuntze (Apocynaceae) pregnanos e outros constituintes das raízes de *Macrosiphonia petraea* (A. St. -Hil.) Kuntze (Apocynaceae) [J]. *Química Nova*, 2013, 36(4): 519-523.

[13] Dong K, Pu J X, Du X, *et al.* Kadpolysperins A-N, lanostane triterpene acids possessing rich structure types from *Kadsura polysperma*[J]. *Tetrahedron*, 2012, 68(24): 4820-4829.

[14] Gao H Y, Wu L J, Nakane T, *et al.* Novel lanostane and rearranged lanostane-type triterpenoids from *Abies sachalinensis*-II[J]. *Chem Pharm Bull*, 2008, 56(4): 554-558.

[15] Li D X, Li J, Yin Y P, *et al.* Two new 3, 4-seco-lanostane triterpenoids from stems of *Kadsura heteroclita*[J]. *Chin Herb Med*, 2015, 7(3): 283-286.

[16] Pu J X, Yang L M, Xiao W L, *et al.* Compounds from *Kadsura heteroclita* and related anti-HIV activity[J]. *Phytochemistry*, 2007, 69(5): 1266-1272.

[17] Dong J Y, Chen Y G, Song H C, *et al.* Hydroxylation of the triterpenoid nigranoic acid by the fungus *Gliocladium roseum* YMF1.00133[J]. *Chem Bio*, 2007, 4(2): 112-117.

[18] Deng Y S, Zheng H, Liu S Q, *et al.* Effective extraction of Xuetongsu and its role in preventing RA synovial hyperplasia by targeting synovial cell migration and apoptosis[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 23345.

[19] Wang C, Yang X Z, Mellick G D, *et al.* Phlegmacaritones A and B, a pair of serratane-related triterpenoid epimers with an unprecedented carbon skeleton from *Phlegmariurus carinatus*[J]. *J Nat Prod*, 2022, 85(4): 899-909.

[20] Xu Y L, Wang Y J, Jiang S P, *et al.* Chemical constituents from the fruit of *Schisandra chinensis*[J]. *J Chin Pharm Sci*, 2020, 29(7): 480-486.

[21] Xue Y B, Zhang Y L, Yang J H, *et al.* Nortriterpenoids and lignans from the fruit of *Schisandra chinensis*[J]. *Chem Pharm Bull*, 2010, 58(12): 1606-1611.

[22] Cao L, Shehla N, Li B, *et al.* Schinortriterpenoids from Tujia ethnomedicine Xuetong—the stems of *Kadsura heteroclita*[J]. *Phytochemistry*, 2020, 169(C): 112178.

[23] Lei C, Huang S X, Xiao W L, *et al.* Bisnortriterpenoids possessing an 18-nor-schiartane skeleton from *Schisandra propinqua* var. *propinqua*[J]. *Planta Med*, 2010, 76(14): 1611-1615.

[24] Wang T S, Wu X P, Liu Y P, *et al.* Chemical constituents from ethanol extract of *Polyalthia rumphii* branches and their cytotoxicity evaluation[J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2018, 28(2): 235-238.

[25] Lee S S, Wu D Y, Tsai S F, *et al.* Anti-acetylcholinesterase alkaloids from *Annona glabra* leaf[J]. *Nat Prod Com*, 2015, 10(6): 891-893.

[26] 施义民, 李晓霞, 刘 娜, 等. 红皮木姜子的化学成分研究 (II) [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2014, 36(4): 564-570.

[27] Cao L, Shehla N, Tasneem S, *et al.* New cadinane sesquiterpenes from the stems of *Kadsura heteroclita*[J]. *Molecules*, 2019, 24(9): 1664.

[28] Xiao W L, Chen W H, Zhang J Y, *et al.* Ionone-type sesquiterpenoids from the stems of *Ficus pumila*[J]. *Chem Nat Compd*, 2016, 52(3): 531-533.

[29] Al-Majid A M A, Al-Othman Z A, Islam M S. Synthesis of some C₂-symmetric bidentate ligands and their complexes derived from Feist’s acid[J]. *Helvetica Chimica Acta*, 2012, 95(2): 268-277.

[30] 韦建华, 莫惠雯, 蒙秋艳, 等. 壮药龙脷叶化学成分研究 (II) [J]. 中草药, 2016, 47(20): 3560-3564.

[31] 罗日措, 张馨予, 钟国跃, 等. 大黄橐吾化学成分及其抗炎活性研究[J]. 中成药, 2024, 46(6): 1882-1888.

[32] Huang X A, Yang R Z. A new hydroquinone diglucoside from *Lysimachia fordiana*[J]. *Chem Nat Compd*, 2004, 40(5): 457-459.

[33] Xu L J, Peng Z G, Chen H S, *et al.* Bioactive triterpenoids from *Kadsura heteroclita*[J]. *Chem Biodivers*, 2010, 7(9): 2289-2296.