

瓦尼桑黄固体发酵产物的化学成分及其生物活性研究

吴 椰¹,高鹤萍¹,毛燕妍¹,
黄明慧¹,徐 帮²,邹 坤¹,刘呈雄^{1*},汪 蕾^{1*}

¹三峡大学生物与制药学院 天然产物研究与利用湖北省重点实验室(中国轻工业功能酵母重点实验室);

²三峡大学第一临床医学院,宜昌 443002

摘要:对瓦尼桑黄(*Sanghuangporus vaninii*)固体发酵产物的化学成分及生物活性进行研究。采用超声提取、柱层析以及半制备高效液相色谱等方法分离纯化,通过波谱数据鉴定了化合物的结构,并对所得单体化合物进行体外抗氧化活性、 α -葡萄糖苷酶和黄嘌呤氧化酶抑制活性筛选。从瓦尼桑黄固体发酵产物中分离得到17个化合物,分别为(2*Z*,4*E*)- γ -ionylideneacetic acid(**1**)、phellinulin E(**2**)、phellinulin F(**3**)、phellinulin G(**4**)、phellinulin J(**5**)、phellinulin L(**6**)、phellinulin M(**7**)、phellinulin N(**8**)、elgonenes D(**9**)、咖啡酸(**10**)、hispidin(**11**)、3-hydroxyhispidin(**12**)、原儿茶酸(**13**)、4-(3-ethoxy-4-hydroxyphenyl)but-3-en-2-one(**14**)、丁香酚(**15**)、亚油酸甲酯(**16**)、硬脂酸(**17**),其中化合物**1**~**9**为首次从瓦尼桑黄中分离得到。活性测试结果显示化合物**10**~**13**表现出良好的抗氧化活性,对DPPH自由基的半数抑制浓度(IC₅₀)分别为16.45、37.52、82.71、50.46 μ g/mL,对ABTS自由基的IC₅₀值分别为1.43、2.26、34.55、21.60 μ g/mL,对羟基自由基的IC₅₀值分别为38.43、49.46、86.74、69.16 μ g/mL。化合物**10**、**11**还对黄嘌呤氧化酶表现出良好的抑制作用,IC₅₀值分别为28.73和44.80 μ g/mL。化合物**17**具有一定的 α -葡萄糖苷酶抑制活性,其IC₅₀值2.31 μ g/mL。

关键词:瓦尼桑黄;化学成分;体外抗氧化活性; α -葡萄糖苷酶;黄嘌呤氧化酶

中图分类号:R284.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2024)4-0607-09

DOI:10.16333/j.1001-6880.2024.4.007

Chemical constituents and bioactivities of solid fermented products from *Sanghuangporus vaninni*

WU Ye¹,GAO He-ping¹,MAO Yan-yan¹,
HUANG Ming-hui¹,XU Bang²,ZOU Kun¹,LIU Cheng-xiong^{1*},WANG Lei^{1*}

¹Hubei Key Laboratory of Natural Products Research and Development,Key Laboratory of Functional Yeast (China National Light Industry),College of Biological and Pharmaceutical Sciences,China Three Gorges University;

²The First College of Clinical Medical Science,China Three Gorges University,Yichang 443002,China

Abstract: This paper investigated the chemical constituents and their bioactivities of solid fermentation products from *Sanghuangporus vaninni*. The chemical constituents were isolated by solution extraction, column chromatography and semi-preparative high performance liquid chromatography, and their structures were elucidated by spectral analysis. All these isolated compounds were screened for antioxidant activities and inhibitory effects on α -glucosidase and xanthine oxidase *in vitro*. A total of 17 compounds were isolated from the extracts of solid fermented products from *S. vaninni*, and identified as (2*Z*,4*E*)- γ -ionylideneacetic acid (**1**), phellinulin E (**2**), phellinulin F (**3**), phellinulin G (**4**), phellinulin J (**5**), phellinulin L (**6**), phellinulin M (**7**), phellinulin N (**8**), elgonenes D (**9**), caffeic acid (**10**), hispidin (**11**), 3-hydroxyhispidin (**12**), protocatechuic acid (**13**), 4-(3-ethoxy-4-hydroxyphenyl)but-3-en-2-one (**14**), eugenol (**15**), methyl linoleate (**16**) and stearic acid (**17**). Among them, compounds **1-9** were isolated from *S. vaninni* for the first time. Compounds **10-13** showed good an-

tioxidant activities *in vitro*. Their IC_{50} values for DPPH were respectively 16.45, 37.52, 82.71, 50.46 $\mu\text{g/mL}$, for ABTS were 1.43, 2.26, 34.55, 21.60 $\mu\text{g/mL}$ and for hydroxyl radicals were 38.43, 49.46, 86.74, 69.16 $\mu\text{g/mL}$. Compounds **10** and **11** also exhibited good inhibitory effects on xanthine oxidase, and their IC_{50} values were 28.73 $\mu\text{g/mL}$ and 44.80 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Compound **17** demonstrated certain inhibitory effect on α -glucosidase with IC_{50} 2.31 $\mu\text{g/mL}$.

Key words: *Sanghuangporus vaninni*; chemical constituents; antioxidant activity; α -glucosidase; xanthine oxidase

桑黄是一大类硬质多孔菌的总称,由于其生长在桑树树干上,且子实体为黄褐色而得名。作为中国著名传统药用真菌,桑黄的最早药用记录可追溯至《神农本草经》记载为“桑耳”,治疗女子崩中带下、月闭血凝,男子痲癖、兼疗伏血、下赤血^[1]。由于颜色相近且硬质的大型多孔菌种类较多,不易从外观鉴别,所以长期以来桑黄的种类认知争议颇多。近数十年学者们对桑黄的分类逐渐达成共识,认为其是隶属于担子菌门 Basidiomycota、蘑菇纲 Agaricomycetes、锈革菌目 Hymenochaetales、锈革菌科 Hymenochaetaceae 的大型多孔菌,并建立了新属桑黄孔菌属 *Sanghuangporus*^[2]。目前桑黄孔菌属中共有 14 个桑黄品种,与其他品种相比,瓦尼桑黄中的有效成分含量较高,生物活性广泛^[3],且具有易于人工栽培的优势,成为了市售最多的品种之一。

现代研究表明桑黄具有抗炎和抗氧化、抗肿瘤和免疫调节、抗糖尿病、保肝和神经保护等多种生物活性^[4,5],是功能性食品和治疗药物的潜在来源。目前对瓦尼桑黄活性成分的研究主要集中在子实体,对于固体发酵产物中化学成分的研究较少。因此,本实验通过系统分离方法对瓦尼桑黄固体发酵产物中的化学成分进行研究,并对所得化合物进行体外抗氧化活性、黄嘌呤氧化酶和 α -葡萄糖苷酶抑制活性的评价,为瓦尼桑黄的进一步开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用菌株 QJF-8 采自湖北宜昌,由三峡大学生物与制药学院涂璇教授鉴定为瓦尼桑黄 (*Sanghuangporus vaninni*),保藏编号为 CGMCC No. 40120,于湖北省天然产物研究与利用重点实验室保藏。

LC-2030C 3D Plus 型高效液相色谱仪(日本岛津公司);P2050 半制备型液相色谱仪(广州睿柏仪器科技有限公司);Bruker AV 400 核磁共振波谱仪(瑞士布鲁克公司);Anton paar MCP 5100 高精度旋光仪(奥地利 Anton paar 公司);HIRAYAMA HVE-

50 压力蒸汽灭菌器(日本 Wade Stainless Kogyo 公司);SuPerMax 3100 型多功能酶标仪(上海闪谱生物科技有限公司);UV-5500PC 型分光光度计(上海元析仪器)。

C_{18} 反相色谱硅胶(YMC 公司);正相色谱硅胶(烟台化工研究所);薄层色谱硅胶 GF₂₅₄(青岛海洋化工有限公司);Sephadex LH-20(美国 GE 公司);Cosmosil MS-II RP- C_{18} 色谱柱(250 mm \times 10 mm, 10 μm , 半制备型;250 mm \times 4.6 mm, 5 μm , 分析型,日本 Cosmosil 公司)。2,2-联苯基-1-苦基胍基(DP-PH)(纯度 98%,批号:C14979013)、2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(ABTS)(纯度 98%,批号:C15306340)、L-抗坏血酸(维生素 C, Vc)(纯度 99%,批号:C14887426)、阿卡波糖(纯度 98%,批号:C13563906)(上海麦克林生化科技股份有限公司);水杨酸(纯度 99%,批号:20230321,科密欧试剂有限公司);别嘌呤醇(纯度 98%,批号:D17HS204211)、 α -葡萄糖苷酶(批号:N25HS202422)、4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)(纯度 99%,批号:K17A10B82914)、黄嘌呤(纯度 98%,批号:M06GS140821)(上海源叶生物科技有限公司);黄嘌呤氧化酶(批号:20230328,南京建成生物科技有限公司);乙腈(色谱纯,德国默克公司);所有分离用有机溶剂(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 瓦尼桑黄固体发酵物的制备

将瓦尼桑黄菌丝体接种于 PDA 培养基,恒温活化培养(28 $^{\circ}\text{C}$, 7 d),切块法取处于指数生长期的桑黄菌块(5 mm \times 5 mm)5 个,接种于 300 mL PDB 培养基中,28 $^{\circ}\text{C}$ 、120 r/min 培养 14 d;以 10% 接种量将瓦尼桑黄接种到固体培养基中(培养基配方(g/L):玉米粉 25,葡萄糖 15,蔗糖 20,蛋白胨 5,牛肉膏 2.5, MgSO_4 1.0, CaCl_2 1.5, ZnSO_4 1.0, MnSO_4 0.5, 次黄嘌呤 1.5,腺嘌呤 2.5,丙酮酸钠 3.5,槲皮素 0.25),28 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养 15 d,即得瓦尼桑黄固体发酵物。

1.2.2 提取与分离

将瓦尼桑黄发酵物置于 45 °C 干燥箱中烘干,干重 20 g,粉碎后以二氯甲烷-甲醇(1:1)溶液完全浸泡,40 °C 超声提取 1 h,收集滤液,此操作重复 3 次。合并滤液,经减压浓缩干燥后得到浸膏 116.7 g,加水混悬均匀,依次用石油醚、乙酸乙酯、正丁醇分级萃取,萃取液分别收集进行减压浓缩干燥。合并石油醚和乙酸乙酯部位(共 9.8 g),过正相硅胶柱色谱进行分离,以二氯甲烷-甲醇洗脱(梯度为 100:1→0:1),经高效液相色谱(HPLC)分析得到 10 个馏分,其中馏分 4 经半制备 HPLC 进一步分离,用 10%→100% 乙腈水 30 min 梯度洗脱得到化合物 **1**(3.2 mg)、化合物 **5**(3.7 mg)、化合物 **7**(2.4 mg)、化合物 **8**(1.8 mg)、化合物 **16**(3.0 mg)。合并馏分 7~10 过 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱进行分离,甲醇-水(1:1)等梯度洗脱,再以半制备 HPLC 经 10%→100% 乙腈水 30 min 梯度洗脱得到化合物 **2**(4.2 mg)、化合物 **3**(2.6 mg)、化合物 **4**(2.3 mg)、化合物 **6**(2.0 mg)、化合物 **9**(2.9 mg)、化合物 **17**(1.6 mg)。将正丁醇部位(20 g)过 C₁₈ 反相硅胶柱色谱进行分离,以 10%、30%、50%、70%、100% 甲醇-水进行洗脱,得到 5 个馏分(Fr. 1~Fr. 5),经 HPLC 分析,从 Fr. 1 馏分经半制备 HPLC(10%→60% 乙腈 15 min 梯度洗脱)得到化合物 **10**(5.8 mg),从 Fr. 2 经半制备 HPLC(乙腈:水=18:82)得到化合物 **14**(2.2 mg)、**15**(3.3 mg),合并 Fr. 3 和 Fr. 4 馏分过 Sephadex LH-20 葡聚糖凝胶柱色谱进行分离,再通过半制备 HPLC(10%→80% 乙腈 25 min 梯度洗脱)分离得到化合物 **11**(3.1 mg)、化合物 **12**(1.7 mg)、化合物 **13**(1.8 mg)。

1.2.3 体外抗氧化活性试验

1.2.3.1 DPPH 自由基清除率测定

参考 Li 等^[6]的方法,用无水乙醇将 DPPH 配制成 0.1 mg/mL 的储备液,并将分离得到化合物样品用纯水配制成合适浓度,在 96 孔板中加入 50 μL 样品溶液和 150 μL DPPH 乙醇溶液,25 °C 避光反应 30 min,用酶标仪在 517 nm 下测定吸光度,以 Vc 为阳性对照,每组试验重复 3 次,按照公式(1)计算 DPPH 清除率(R_1)。

$$R_1 = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_1 为样品溶液与 DPPH 溶液反应后的吸光度; A_2 为以相同体积无水乙醇代替 DPPH 溶液测

得的吸光度; A_0 为以相同体积纯水代替样品溶液测得的吸光度。

1.2.3.2 ABTS 自由基清除率测定

参考 Ma 等^[7]的方法,将等量 7.4 mmol/L ABTS 溶液和 2.6 mmol/L 过硫酸钾溶液充分混匀,25 °C 避光反应过夜,制备 ABTS 自由基。使用前将 ABTS 自由基溶液用无水乙醇稀释至 734 nm 处的吸光度为 0.70 ± 0.02 。在 96 孔板中加入 50 μL 样品溶液和 150 μL ABTS 乙醇溶液,25 °C 避光反应 30 min,用酶标仪在 734 nm 下测定吸光度,以 Vc 为阳性对照,每组试验重复 3 次。按照公式(2)计算 ABTS 清除率(R_2)。

$$R_2 = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_1 为样品溶液与 ATBS 溶液反应后的吸光度; A_2 为以相同体积无水乙醇代替 ABTS 溶液测得的吸光度; A_0 为以相同体积纯水代替样品溶液测得的吸光度。

1.2.3.3 羟基自由基清除率测定

参考 Liu 等^[8]的方法,配制 9 mmol/L 的硫酸亚铁溶液和 9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液,各取 1 mL 充分混匀后加入 1 mL 样品溶液和 8.8 mmol/L H₂O₂,37 °C 反应 30 min 后,冷却至室温,用紫外-可见分光光度计在 510 nm 处测定吸光度,以 Vc 为阳性对照,每组试验重复 3 次。按照公式(3)计算羟基自由基清除率(R_3)。

$$R_3 = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100\% \quad (3)$$

式中: A_1 为各样品溶液的吸光度; A_2 为相同体积纯水代替 H₂O₂ 的吸光度; A_0 为相同体积纯水代替样品溶液的吸光度。

1.2.4 α-葡萄糖苷酶抑制活性测定

参考 Chen 等^[9]的方法,取 80 μL 样品置于 96 孔板中,加入 20 μL α-葡萄糖苷酶(2 U/mL)37 °C 恒温孵育 30 min,再加入底物 PNPG(5 mmol/L)20 μL,37 °C 反应 15 min 后加入 80 μL Na₂CO₃ 溶液(0.2 mol/L)终止反应,用酶标仪在 405 nm 下测定吸光度。以相同体积 PBS(pH=6.8)代替,同时设定阳性实验组(待测化合物 80 μL + 酶 20 μL + PNPG 20 μL),阳性空白组(待测化合物 80 μL + PBS 20 μL + PNPG 20 μL),阴性实验组(PBS 80 μL + 酶 20 μL + PNPG 20 μL),阴性空白组(PBS 100 μL + PNPG 20 μL),以阿卡波糖为阳性对照,每组试

验重复3次,根据各样品的抑制率及对应浓度计算相应化合物的 IC_{50} 值。按照公式(4)计算 α -葡萄糖苷酶抑制率(R_4)。

$$R_4 = \left[1 - \frac{A_i - A_j}{A_0 - A_1} \right] \times 100\% \quad (4)$$

式中: A_i 为阳性实验组的吸光度; A_j 为阳性空白组的吸光度; A_0 为阴性实验组的吸光度; A_1 为阴性空白组的吸光度。

1.2.5 黄嘌呤氧化酶抑制活性测定

参考Zhang等^[10]的方法,取50 μ L样品置于96孔板中,加入50 μ L黄嘌呤氧化酶(0.1 U/mL),37 $^{\circ}$ C恒温孵育30 min,再加入100 μ L黄嘌呤(0.1 mmol/L)启动反应,37 $^{\circ}$ C反应20 min后,用酶标仪在295 nm下测定吸光度。以相同体积PBS(pH = 7.4)代替,同时设定阳性实验组(待测化合物50 μ L + 酶50 μ L + 黄嘌呤100 μ L),阳性空白组(待测化合物50 μ L + PBS 50 μ L + 黄嘌呤100 μ L),阴性实验组(PBS 50 μ L + 酶50 μ L + 黄嘌呤100 μ L),阴性空白组(PBS 100 μ L + 黄嘌呤100 μ L),以别嘌呤醇为阳性对照,每组试验重复3次,根据各样品的抑制率及对应浓度计算相应化合物的 IC_{50} 值。按照公式(5)计算黄嘌呤氧化酶抑制率(R_5)。

$$R_5 = \left[1 - \frac{A_i - A_j}{A_0 - A_1} \right] \times 100\% \quad (5)$$

式中: A_i 为阳性实验组的吸光度; A_j 为阳性空白组的吸光度; A_0 为阴性实验组的吸光度; A_1 为阴性空白组的吸光度。

2 结果

2.1 结构鉴定

化合物 1 白色粉末, $[\alpha]_D^{25}$ -6.2 $^{\circ}$ (c 0.08, CH₃OH);ESI-MS: m/z 235.2 $[M + H]^+$,分子式为C₁₅H₂₂O₂; ¹H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.23 (1H, dd, J = 16.0, 9.6 Hz, H-7), 6.11 (1H, d, J = 16.0 Hz, H-8), 5.71 (1H, s, H-10), 4.74 (1H, s, H-13a), 4.54 (1H, s, H-13b), 2.56 (1H, d, J = 9.6 Hz, H-6), 2.30 (1H, m, H-4a), 2.25 (3H, m, H-4b), 2.23 (3H, s, H-12), 2.07 (1H, m, H-3a), 1.62 (1H, m, H-3b), 1.54 (1H, m, H-2a), 1.37 (1H, m, H-2b), 0.90 (3H, s, H-15), 0.85 (3H, s, H-14); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 38.6 (C-1), 35.7 (C-2), 23.3 (C-3), 34.2 (C-4), 149.8 (C-5), 58.7 (C-6), 136.1 (C-7), 135.8 (C-8), 150.1 (C-9), 115.2 (C-10), 171.5 (C-11), 13.9 (C-12), 109.2 (C-13), 23.9 (C-14),

29.5 (C-15)。以上数据与文献^[11]报道基本一致,故鉴定化合物**1**为(2*Z*,4*E*)- γ -ionylideneacetic acid。

化合物 2 无色油状, $[\alpha]_D^{25}$ -10.4 $^{\circ}$ (c 0.11, CH₃OH);ESI-MS: m/z 251.2 $[M + H]^+$,分子式为C₁₅H₂₂O₃; ¹H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.29 (1H, dd, J = 15.6, 9.8 Hz, H-7), 6.16 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-8), 5.74 (1H, s, H-10), 4.72 (1H, s, H-13a), 4.59 (1H, s, H-13b), 3.79 (H, m, H-2), 2.85 (1H, d, J = 9.8 Hz, H-6), 2.64 (1H, m, H-4a), 2.33 (1H, m, H-4b), 2.30 (3H, s, H-12), 1.96 (1H, m, H-3a), 1.75 (1H, m, H-3b), 1.06 (3H, s, H-15), 0.95 (3H, s, H-14); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 39.9 (C-1), 74.2 (C-2), 30.2 (C-3), 28.6 (C-4), 146.9 (C-5), 55.8 (C-6), 135.9 (C-7), 135.4 (C-8), 153.8 (C-9), 115.9 (C-10), 172.4 (C-11), 14.0 (C-12), 110.3 (C-13), 21.7 (C-14), 23.0 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物**2**为phellinulin E。

化合物 3 白色粉末, $[\alpha]_D^{25}$ -13.6 $^{\circ}$ (c 0.14, CH₃OH);ESI-MS: m/z 251.2 $[M + H]^+$,分子式为C₁₅H₂₂O₃; ¹H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.38 (1H, dd, J = 15.5, 9.8 Hz, H-7), 6.13 (1H, d, J = 15.5 Hz, H-8), 5.77 (1H, s, H-10), 4.80 (1H, s, H-13a), 4.62 (1H, s, H-13b), 3.70 (1H, m, H-3), 2.61 (1H, d, J = 9.8 Hz, H-6), 2.45 (1H, m, H-4a), 2.32 (3H, s, H-12), 2.08 (1H, m, H-4b), 1.50 (2H, m, H-2), 0.94 (3H, s, H-15), 0.90 (3H, s, H-14); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 33.9 (C-1), 44.3 (C-2), 70.8 (C-3), 42.3 (C-4), 145.7 (C-5), 57.9 (C-6), 136.8 (C-7), 135.5 (C-8), 151.6 (C-9), 118.4 (C-10), 169.8 (C-11), 13.9 (C-12), 109.8 (C-13), 28.3 (C-14), 30.1 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物**3**为phellinulin F。

化合物 4 无色油状, $[\alpha]_D^{25}$ -11.7 $^{\circ}$ (c 0.12, CH₃OH);ESI-MS: m/z 251.2 $[M + H]^+$,分子式为C₁₅H₂₂O₃; ¹H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.31 (1H, dd, J = 16.0, 10.1 Hz, H-7), 6.15 (1H, d, J = 16.0 Hz, H-8), 5.71 (1H, s, H-10), 4.90 (1H, s, H-13a), 4.72 (1H, s, H-13b), 3.85 (1H, m, H-3), 2.65 (1H, m, H-4a), 2.50 (1H, d, J = 10.1 Hz, H-6), 2.21 (3H, s, H-12), 1.96 (1H, m, H-4b), 1.79 (1H, m, H-2a), 1.32 (1H, m, H-2b), 0.93 (3H, s, H-15), 0.90

(3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 34.6 (C-1), 46.9 (C-2), 67.2 (C-3), 43.1 (C-4), 147.1 (C-5), 57.7 (C-6), 135.1 (C-7), 136.7 (C-8), 153.6 (C-9), 116.9 (C-10), 170.9 (C-11), 14.1 (C-12), 110.6 (C-13), 22.7 (C-14), 29.9 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **4** 为 phellinulin G。

化合物 5 无色油状, $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ -8.6° (c 0.08, CH₃OH);ESI-MS: m/z 237.2 [M + H]⁺,分子式为 C₁₅H₂₄O₂; ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 5.67 (1H, s, H-10), 4.80 (1H, s, H-13a), 4.55 (1H, s, H-13b), 2.15 (3H, s, H-12), 2.05 (2H, m, H-4), 1.97 (2H, m, H-8), 1.70 (1H, dd, J = 11.4, 3.4 Hz, H-6), 1.56 (1H, m, H-7a), 1.48 (1H, m, H-7b), 1.48 (2H, m, H-3), 1.21 (2H, m, H-2), 0.89 (3H, s, H-15), 0.83 (3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 32.2 (C-1), 35.1 (C-2), 23.6 (C-3), 36.0 (C-4), 148.8 (C-5), 53.4 (C-6), 24.3 (C-7), 39.2 (C-8), 163.1 (C-9), 115.7 (C-10), 170.3 (C-11), 18.8 (C-12), 109.8 (C-13), 28.6 (C-14), 26.5 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **5** 为 phellinulin J。

化合物 6 无色油状, $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ -6.9° (c 0.07, CH₃OH);ESI-MS: m/z 253.2 [M + H]⁺,分子式为 C₁₅H₂₄O₃; ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 5.75 (1H, s, H-10), 4.82 (1H, s, H-13a), 4.60 (1H, s, H-13b), 3.73 (1H, m, H-3), 2.45 (1H, m, H-4a), 2.17 (3H, s, H-12), 1.99 (1H, m, H-4b), 1.94 (2H, m, H-8), 1.76 (1H, m, H-6), 1.62 (1H, m, H-7a), 1.53 (1H, m, H-7b), 1.44 (1H, m, H-2a), 1.32 (1H, m, H-2b), 0.98 (3H, s, H-15), 0.90 (3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 34.2 (C-1), 43.7 (C-2), 67.7 (C-3), 40.7 (C-4), 146.0 (C-5), 53.4 (C-6), 23.6 (C-7), 39.1 (C-8), 163.2 (C-9), 115.2 (C-10), 170.6 (C-11), 19.2 (C-12), 110.4 (C-13), 28.6 (C-14), 28.3 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **6** 为 phellinulin L。

化合物 7 无色油状, $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ -9.1° (c 0.10, CH₃OH);ESI-MS: m/z 239.2 [M + H]⁺,分子式为 C₁₅H₂₆O₂; ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 4.74 (1H, s, H-13a), 4.51 (1H, s, H-13b), 2.41 (1H, m, H-10a), 2.17 (1H, m, H-10b), 2.02 (2H, m, H-4),

1.97 (1H, m, H-9), 1.65 (1H, dd, J = 10.2, 4.1 Hz, H-6), 1.49 (2H, m, H-8), 1.41 (2H, m, H-7), 1.37 (2H, m, H-3), 1.15 (2H, m, H-2), 1.00 (3H, d, J = 6.0 Hz, H-12), 0.92 (3H, s, H-15), 0.84 (3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 35.2 (C-1), 35.4 (C-2), 22.6 (C-3), 36.1 (C-4), 149.5 (C-5), 54.1 (C-6), 23.7 (C-7), 32.3 (C-8), 30.5 (C-9), 42.3 (C-10), 178.5 (C-11), 19.9 (C-12), 109.3 (C-13), 26.5 (C-14), 28.7 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **7** 为 phellinulin M。

化合物 8 白色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ -13.7° (c 0.12, CH₃OH);ESI-MS: m/z 255.2 [M + H]⁺,分子式为 C₁₅H₂₆O₃; ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 4.71 (H, s, H-13a), 4.54 (1H, s, H-13b), 3.49 (1H, dd, J = 11.9, 4.7 Hz, H-2), 2.33 (1H, m, H-10a), 2.15 (2H, m, H-4), 2.12 (1H, m, H-10b), 1.92 (1H, m, H-9), 1.80 (1H, dd, J = 14.9, 2.7 Hz, H-6), 1.44 (2H, m, H-7), 1.50 (1H, m, H-3a), 1.31 (1H, m, H-3b), 1.21 (2H, m, H-8), 0.98 (3H, s, H-15), 0.95 (3H, d, J = 6.6 Hz, H-12), 0.81 (3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO- d_6) δ : 39.3 (C-1), 72.5 (C-2), 28.5 (C-3), 32.0 (C-4), 149.4 (C-5), 53.9 (C-6), 23.4 (C-7), 35.4 (C-8), 30.3 (C-9), 41.7 (C-10), 177.9 (C-11), 20.2 (C-12), 109.2 (C-13), 23.1 (C-14), 24.2 (C-15)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **8** 为 phellinulin N。

化合物 9 无色油状, $[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ -9.6° (c 0.09, CH₃OH);ESI-MS: m/z 269.2 [M + H]⁺,分子式为 C₁₅H₂₄O₄; ^1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.80 (1H, m, H-10), 5.34 (1H, m, H-4), 3.95 (1H, dd, J = 10.0, 2.9 Hz, H-8), 2.65 (1H, m, H-9a), 2.33 (1H, m, H-9b), 2.10 (2H, m, H-5), 2.02 (3H, s, H-13), 1.94 (2H, m, H-2), 1.76 (1H, m, H-1a), 1.73 (1H, m, H-6), 1.59 (3H, s, H-15), 1.35 (1H, m, H-1b), 1.18 (3H, s, H-14); ^{13}C NMR (100MHz, DMSO- d_6) δ : 23.7 (C-1), 31.7 (C-2), 133.1 (C-3), 121.9 (C-4), 25.7 (C-5), 40.6 (C-6), 74.6 (C-7), 76.5 (C-8), 31.2 (C-9), 143.9 (C-10), 129.8 (C-11), 171.1 (C-12), 14.0 (C-13), 19.4 (C-14), 23.5 (C-15)。以上数据与文献^[13]报道基本一致,故鉴定化合物 **9** 为 elgonenes D。

化合物 10 白色粉末,ESI-MS: m/z 181.1 [M

+H]⁺, 分子式为 C₉H₈O₄; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 7.39 (1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-7), 7.02 (1H, d, *J* = 2.2 Hz, H-5), 6.95 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-2), 6.75 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-1), 6.17 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 121.5 (C-1), 116.2 (C-2), 148.6 (C-3), 146.1 (C-4), 115.0 (C-5), 126.2 (C-6), 144.5 (C-7), 116.8 (C-8), 170.1 (C-9)。以上数据与文献^[14]报道基本一致, 故鉴定化合物 **10** 为咖啡酸。

化合物 11 白色粉末, ESI-MS: *m/z* 247.1 [M + H]⁺, 分子式为 C₁₃H₁₀O₅; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 7.07 (1H, s, H-5), 6.93 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-7), 6.90 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-8), 6.85 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-1), 6.68 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2), 6.28 (1H, s, H-10), 5.34 (1H, s, H-12); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 120.1 (C-1), 116.4 (C-2), 146.6 (C-3), 145.4 (C-4), 115.3 (C-5), 127.8 (C-6), 135.5 (C-7), 116.0 (C-8), 167.3 (C-9), 112.2 (C-10), 161.7 (C-11), 99.5 (C-12), 169.2 (C-13)。以上数据与文献^[15]报道基本一致, 故鉴定化合物 **11** 为 hispidin。

化合物 12 白色粉末, ESI-MS: *m/z* 263.1 [M + H]⁺, 分子式为 C₁₃H₁₀O₆; ¹H NMR (400 MHz, acetone-*d*₆) δ: 7.10 (1H, s, H-5), 6.91 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-7), 6.87 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-8), 6.85 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-2), 6.75 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-1), 6.32 (1H, s, H-10); ¹³C NMR (100 MHz, acetone-*d*₆) δ: 120.9 (C-1), 116.3 (C-2), 147.1 (C-3), 145.4 (C-4), 113.4 (C-5), 127.2 (C-6), 135.1 (C-7), 115.3 (C-8), 158.6 (C-9), 102.5 (C-10), 161.5 (C-11), 168.6 (C-13)。以上数据文献^[15]报道基本一致, 故鉴定化合物 **12** 为 3-hydroxyhispidin。

化合物 13 黄色粉末, ESI-MS: *m/z* 155.0 [M + H]⁺, 分子式为 C₇H₆O₄; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 7.39 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2), 7.20 (1H, dd, *J* = 8.0, 2.0 Hz, H-6), 6.95 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-5); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 122.9 (C-1), 116.2 (C-2), 146.0 (C-3), 150.5 (C-4), 115.1 (C-5), 122.1 (C-6), 166.0 (C-7)。以上数据与文献^[16]报道基本一致, 故鉴定化合物 **13** 为原儿茶酸。

化合物 14 白色粉末, ESI-MS: *m/z* 207.1 [M + H]⁺, 分子式为 C₁₂H₁₄O₃; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 7.45 (1H, d, *J* = 16.2 Hz, H-7), 7.06 (1H,

s, H-1), 7.01 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-4), 6.78 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.59 (1H, d, *J* = 16.2 Hz, H-8), 4.13 (2H, q, *J* = 7.0 Hz, H-11), 2.28 (3H, s, H-10), 1.26 (3H, t, *J* = 7.0 Hz, H-12); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 115.3 (C-1), 148.9 (C-2), 146.1 (C-3), 116.3 (C-4), 122.0 (C-5), 124.4 (C-6), 144.5 (C-7), 126.2 (C-8), 198.2 (C-9), 27.6 (C-10), 56.5 (C-11), 19.0 (C-12)。以上数据与文献^[17]报道基本一致, 故鉴定化合物 **14** 为 4-(3-ethoxy-4-hydroxyphenyl)but-3-en-2-one。

化合物 15 无色液体, ESI-MS: *m/z* 165.1 [M + H]⁺, 分子式为 C₁₀H₁₂O₂; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 6.79 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2), 6.65 (1H, d, *J* = 8.4 Hz, H-1), 6.64 (1H, s, H-5), 5.99 (1H, m, H-8), 5.01 (2H, m, H-9), 3.78 (3H, s, 4-OMe), 3.33 (2H, d, *J* = 7.8 Hz, H-7); ¹³C NMR (100 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 122.1 (C-1), 115.9 (C-2), 145.2 (C-3), 147.3 (C-4), 112.6 (C-5), 133.4 (C-6), 40.2 (C-7), 136.3 (C-8), 115.5 (C-9), 58.5 (C-10)。以上数据与文献^[18]报道基本一致, 故鉴定化合物 **15** 为丁子香酚。

化合物 16 无色油状, ESI-MS: *m/z* 295.3 [M + H]⁺, 分子式 C₁₉H₃₄O₂; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 5.40 ~ 5.30 (4H, m, H-6, 7, 9, 10), 3.61 (3H, s, H-19), 2.74 (2H, t, *J* = 6.2 Hz, H-8), 2.33 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-17), 2.10 (4H, dd, *J* = 14.5, 14.0 Hz, H-5, 11), 1.64 (2H, m, H-16), 1.40 ~ 1.21 (14H, m, H-2, 3, 4, 12, 13, 14, 15), 0.85 (3H, m, H-1); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 14.4 (C-1), 22.5 (C-2), 29.2 (C-3, 4, 12, 13, 14, 15), 28.1 (C-5, 11), 130.1 (C-6, 10), 126.2 (C-7, 9), 26.5 (C-8, 16), 34.2 (C-17), 175.0 (C-18), 51.0 (C-19)。以上数据与文献^[19]报道基本一致, 故鉴定化合物 **16** 为亚油酸甲酯。

化合物 17 无色油状, ESI-MS: *m/z* 285.3 [M + H]⁺, 分子式 C₁₈H₃₆O₂; ¹H NMR (400 MHz, DM-SO-*d*₆) δ: 2.18 (2H, t, *J* = 8.0 Hz, H-2), 1.50 (2H, m, H-3), 1.30 ~ 1.21 (28H, m, CH₂), 0.85 (3H, t, *J* = 6.7 Hz, H-18); ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 175.1 (C-1), 34.2 (C-2), 24.9 (C-3), 28.8 (C-4), 29.0 (C5 ~ C13), 28.9 (C-14), 31.0 (C-15), 32.6 (C-16), 22.4 (C-17), 14.4 (C-18)。上数据与文献^[20]报道基本一致, 故鉴定化合物 **17** 为硬脂酸。

化合物 **1** ~ **17** 的结构见图 1。

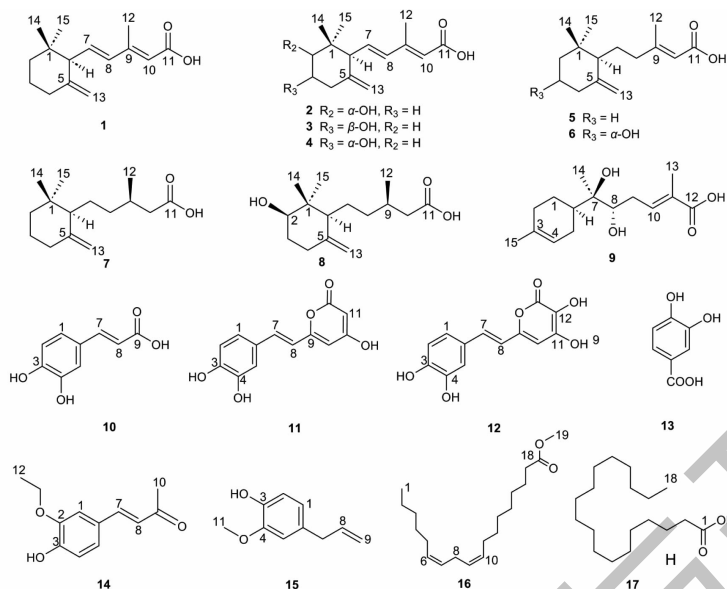


图1 化合物1~17的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1-17

2.2 化合物1~17生物活性测试结果

对分离所得化合物1~17分别进行体外抗氧化活性、 α -葡萄糖苷酶抑制活性及黄嘌呤氧化酶抑制

活性筛选。在浓度为100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,各化合物活性结果如表1所示。

表1 化合物1~17活性筛选结果($\bar{x} \pm s, n=3$)Table 1 Biological activity screening results of compounds 1-17 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

化合物 Compound	DPPH 自由基清除率 DPPH radical clearance rate (%)	ABTS 自由基清除率 ABTS radical clearance rate (%)	羟基自由基清除率 Hydroxyl radical clearance rate (%)	α -葡萄糖苷酶抑制率 Inhibition rate on α -glucosidase (%)	黄嘌呤氧化酶抑制率 Inhibition rate on xanthine oxidase (%)
1	4.62 \pm 0.11	3.19 \pm 0.25	5.89 \pm 0.05	5.59 \pm 0.02	10.28 \pm 0.01
2	18.32 \pm 0.72	56.93 \pm 0.17	10.02 \pm 0.03	8.66 \pm 0.11	12.11 \pm 0.05
3	9.08 \pm 0.36	10.30 \pm 0.09	6.34 \pm 0.12	7.27 \pm 0.03	4.88 \pm 0.06
4	23.38 \pm 0.21	66.35 \pm 0.08	10.77 \pm 0.08	8.95 \pm 0.03	8.32 \pm 0.06
5	6.65 \pm 0.52	6.69 \pm 0.11	9.28 \pm 0.10	-	2.21 \pm 0.06
6	14.31 \pm 0.64	11.96 \pm 0.15	8.83 \pm 0.22	8.12 \pm 0.04	12.61 \pm 0.08
7	-	-	-	45.05 \pm 0.12	8.45 \pm 0.07
8	-	-	-	36.96 \pm 0.11	7.97 \pm 0.07
9	7.79 \pm 0.13	5.30 \pm 0.07	4.43 \pm 0.13	44.20 \pm 0.01	8.25 \pm 0.04
10	98.67 \pm 0.09	99.78 \pm 0.13	93.75 \pm 0.26	10.12 \pm 0.07	99.35 \pm 0.01
11	97.89 \pm 0.05	99.19 \pm 0.12	84.07 \pm 0.24	33.12 \pm 0.02	87.32 \pm 0.10
12	96.39 \pm 0.14	97.55 \pm 0.06	56.12 \pm 0.08	18.50 \pm 0.06	10.63 \pm 0.02
13	97.95 \pm 0.07	99.12 \pm 0.04	67.48 \pm 0.10	9.59 \pm 0.02	3.66 \pm 0.03
14	40.66 \pm 0.16	46.35 \pm 0.14	25.67 \pm 0.04	4.18 \pm 0.03	3.35 \pm 0.12
15	46.23 \pm 0.08	51.22 \pm 0.09	23.55 \pm 0.06	13.59 \pm 0.19	10.27 \pm 0.11
16	-	-	-	9.99 \pm 0.13	10.57 \pm 0.03
17	-	-	-	95.98 \pm 0.01	8.22 \pm 0.07

注:“-”表示无活性。

Note:“-” represents no activity.

2.2.1 体外抗氧化活性

实验结果发现,仅化合物 **10** ~ **13** 具有较好的体外抗氧化能力,其中化合物 **10** 对三种自由基的清除

能力与阳性药 Vc 相当(见表 2),其余化合物在测试浓度下均未表现出明显的自由基清除作用。

表 2 化合物 **10** ~ **13** 对三种自由基清除能力的 IC₅₀ 值($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 2 IC₅₀ values of compounds **10-13** on scavenging three kinds of free radicals($\bar{x} \pm s, n = 3$)

化合物 Compound	IC ₅₀ (μg/mL)		
	ABTS 自由基 ABTS radical	DPPH 自由基 DPPH radical	羟基自由基 Hydroxyl radical
10	1.43 ± 0.26	16.45 ± 0.11	38.43 ± 0.19
11	2.26 ± 0.16	37.52 ± 0.17	49.46 ± 0.24
12	34.55 ± 0.25	82.71 ± 0.38	86.74 ± 0.16
13	21.60 ± 0.17	50.46 ± 0.29	69.16 ± 0.25
Vc	2.14 ± 0.12	25.61 ± 0.12	39.73 ± 0.13

2.2.2 α-葡萄糖苷酶抑制活性

活性筛选试验结果显示,在浓度为 100 μg/mL 时,仅化合物 **17** 对 α-葡萄糖苷酶表现出明显的抑制作用,化合物 **7**、**8**、**9**、**11** 表现出微弱抑制作用,抑制率在 30% ~ 45%,其余化合物未表现出明显活性,抑制率均在 20% 以下。对化合物 **17** 进一步测试,计算其 IC₅₀ 值为 2.31 μg/mL,阳性药阿卡波糖 IC₅₀ 值为 0.11 μg/mL。

2.2.3 黄嘌呤氧化酶抑制活性

活性筛选试验结果显示,在浓度为 100 μg/mL 时,化合物 **10**、**11** 对黄嘌呤氧化酶表现出明显的抑制作用,其余化合物均未表现出显著抑制活性,抑制率在 15% 以下。对化合物 **10** 和 **11** 进一步测试,计算其 IC₅₀ 值为 28.73 和 44.80 μg/mL,阳性药别嘌呤醇 IC₅₀ 值为 12.58 μg/mL。

3 结论

桑黄类真菌中的多酚类、萜类、多糖类等物质具有丰富的药理活性,应用前景广阔。然而查阅文献发现,桑黄化学成分的研究主要集中于子实体,对发酵来源的桑黄中化学成分的研究较少。因此本实验以瓦尼桑黄固体发酵产物为材料分离得到了 17 个化合物,并对其进行了体外抗氧化活性、α-葡萄糖苷酶抑制活性和黄嘌呤氧化酶抑制活性筛选。化合物 **1** ~ **9** 为首次从瓦尼桑黄中分离得到,属于紫罗兰酮衍生物,在上述活性筛选试验中仅化合物 **7** ~ **9** 表现出微弱的 α-葡萄糖苷酶抑制作用。化合物 **10** ~ **13** 对 ABTS、DPPH 和羟基自由基均具有较高清除率,表明其具有良好的体外抗氧化活性,其中化合物 **10** 和 **13** 属于小分子酚酸类物质,化合物 **11**、**12** 属于桑

黄酚类成分中典型的苯乙烯-α-吡喃酮衍生物,提示化合物 **10** ~ **13** 的抗氧化活性来源于结构中的酚羟基。化合物 **10** 和 **11** 还对黄嘌呤氧化酶表现出较好的抑制作用,化合物 **17** 对 α-葡萄糖苷酶具有较好的抑制活性。综上,本研究丰富了瓦尼桑黄固体发酵产物的化学成分,为其开发利用奠定了基础,但所得化合物的生物活性还有待进一步探索。

参考文献

- Zan LF, et al. Review on polyphenol components from medicinal fungi "Sanghuang" and their biological activity[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2016, 28: 147-155.
- Wu SH, Dai YC. Species clarification of the medicinal fungus Sanghuang[J]. Mycosystema(菌物学报), 2020, 39: 781-794.
- Fu LZ, Lu N, Yan J, et al. Analyses and evaluation of nutrition, active component and antioxidant activities of fruiting bodies of three species of *Sanghuangporus*[J]. Mycosystema(菌物学报), 2021, 40: 2148-2158.
- Wang QB, Yang Y, Feng N, et al. Separation, purification and structural analysis of antioxidative compound from *Phellinus baumii*[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2013, 25: 17-21.
- Chen WH, et al. A review: the bioactivities and pharmacological applications of *Phellinus linteus*[J]. Molecules, 2019, 24(10): 1888.
- Li XJ, Duan SL, Cao KH, et al. Preparation process and antioxidant activity of selenium-containing *Dendrobium officinale* polysaccharide[J]. Southwest Chin J Agric Sci(西南农业学报), 2022, 35: 1548-1554.
- Ma L, Zhao YN, Yu J, et al. Characterization of se-enriched

- Pleurotus ostreatus* polysaccharides and their antioxidant effects in vitro[J]. Int J Biol Macromol,2018,111:421-429.
- 8 Liu Y, Du YQ, Wang JH, et al. Structural analysis and antioxidant activities of polysaccharide isolated from Jinqian mushroom[J]. Int J Biol Macromol,2014,64:63-68.
- 9 Chen JW, Lin F, Jin G, et al. Iridoid glycosides from *Menyanthes trifoliata* L. and their α -glucosidase inhibitory activities [J]. J Cent China Norm Univ, Nat Sci(华中师范大学学报:自科版),2021,55:76-81.
- 10 Zhang W, Wu CZ, Fan SY. Chemical constituents from *Gnaphalium affine* and their xanthine oxidase inhibitory activity[J]. Chin J Nat Medicines,2018,16:347-353.
- 11 Han DQ, Wu HT, Wang TJ, et al. Chemical constituents from *Inonotus sanghuang* fermentation broth [J]. Chin Tradit Pat Med(中成药),2018,40:126-129.
- 12 Huang SC, Wang PW, Kuo PC, et al. Hepatoprotective principles and other chemical constituents from the mycelium of *Phellinus linteus*[J]. Molecules,2018,23:1705-1719.
- 13 Cheng T, Chepkirui C, Decock C, et al. Sesquiterpenes from an Eastern African medicinal mushroom belonging to the genus *Sanghuangporus*[J]. J Nat Prod,2019,82:1283-1291.
- 14 Jiang SR, Wang LY, Jia JW, et al. Study on phenolic acids and α -glucosidase inhibitory activity of *Nitraria tangutorum* fruit[J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药),2023,54:1719-1727.
- 15 Purto KV, Petushkov VN, Baranov MS, et al. The Chemical basis of fungal bioluminescence [J]. Angew Chem Int Edit, 2015, 54:8124-8128.
- 16 Xu ZQ, He MZ, Yao M, et al. Study on chemical constituents of *Ainsliaea fragrans*[J]. Chin Tradit Herb Drug(中草药), 2023, 54:1728-1735.
- 17 Tatsuzaki J, Bastow KF, Nakagawa-Goto K, et al. Dehydrozingerone, chalcone and isoeugenol analogues as *in vitro* anti-cancer agents[J]. J Nat Prod,2006,69:1445-1449.
- 18 Li YX, Chen XT, Liang H, et al. Analysis and structural identification of the flavonoid compounds in fruit of *Citrus reticulata* Blanco cv. Ougan from China[J]. Asian J Chem,2012, 24:53-57.
- 19 Zhu Z, Ma L, Zhu HY, et al. Studies on the chemical constituents of *Laportea bulbifera*[J]. J Chin Med Mater(中药材), 2011, 34:223-225.
- 20 Wang X, Hu Y W, Yuan D, et al. Chemical constituents from the flowers of *Rhododendron molle* G. Don[J]. J Chin Pharm Sci,2014,23:94-98.

《天然产物研究与开发》青年编委会

青年编委(以姓氏笔划为序)

Members

王 扣	王红兵	戈惠明	尹文兵	尹 胜	吕兆林
WANG Kou	WANG Hongbing	GE Huiming	YIN Wenbing	YIN Sheng	LYU Zhaolin
刘相国	孙昊鹏	孙桂波	李良成	李国友	邱 莉
LIU Xiangguo	SUN Haopeng	SUN Guibo	LI Liangcheng	LI Guoyou	QIU Li
汪海波	沐万孟	张炳火	张德武	陈益华	林昌俊
WANG Haibo	MU Wanmeng	ZHANG Binghuo	ZHANG Dewu	CHEN Yihua	LIN Changjun
欧阳杰	易华西	罗应刚	周 文	胡友财	袁 涛
OUYANG Jie	YI Huaxi	LUO Yinggang	ZHOU Wen	HU Youcai	YUAN Tao
夏永刚	高慧敏	唐金山	黄胜雄	韩秀珍	韩淑燕
XIA Yonggang	GAO Huimin	TANG Jinshan	HUANG Shengxiong	HAN Xiuzhen	HAN Shuyan
曾克武	蓝蔚青	廖晨钟	薛永波		
ZENG Kewu	LAN Weiqing	LIAO Chenzhong	XUE Yongbo		