黑桑枝乙酸乙酯部分化学成分及其活性研究

赵玉兰[1], 黄雯晴[2], 阿亚江•吉恩斯[2], 池长圣[1], 阿里贝克•伊迪里斯[4], 庞克坚[1,3*], 杨新洲[2*]

(1. 石河子大学药学院, 新疆植物药资源利用教育部重点实验室, 新疆 石河子 832003; 2. 中南民族大学药学院, 湖北 武汉 430074; 3. 伊犁师范大学生物科学与技术学院, 新疆 伊宁 835000; 4. 阿里法拉比哈萨克国立大学, 生物医学研究中心, 阿拉木图 050040)

摘要: 综合应用正相硅胶柱色谱、Sephadex LH-20葡聚糖凝胶柱色谱及半制备高效液相色谱等技术, 对黑桑*Morus nigra* L.枝95%乙醇提取物的乙酸乙酯部位进行分离纯化。运用现代波谱技术(UV、IR、MS、NMR)进行结构鉴定得到14个化合物, 分别鉴定为nigrasin M (**1**)、nigrasin N (**2**)、sanggenol F (**3**)、sanggenon A (**4**)、nigrasin K (**5**)、nigrasin H (**6**)、petalopurpurenol (**7**)、solophenol D (**8**)、nigragenon A (**9**)、nigragenon I (**10**)、nigragenon J (**11**)、notabilisin A (**12**)、notabilisin C (**13**)、licoflavone C (**14**)。其中化合物**1**、**2**为新的黄酮类化合物, 化合物**13**、**14**为首次从黑桑枝中分离得到。为评价化合物**1**～**13**的降糖潜能, 本研究利用L6细胞模型进行了葡萄糖摄取活性筛选。结果表明, 化合物**6**、**9**、**11**及**12**能够显著增强L6细胞的葡萄糖摄取, 提示这些化合物具有潜在的降糖活性。

关键词: 黑桑; 化学成分; 分离鉴定; 黄酮类; 葡萄糖摄取

中图分类号: R284 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2026)05-1749-08

Study on chemical constituents and activities of ethyl acetate fraction from *Morus nigra* Branches

ZHAO Yu-lan[1], HUANG Wen-qing[2], AYAJIANG Jiensi[2], CHI Chang-sheng[1], ALIBEK Ydyrys[4], PANG Ke-jian[1,3*], YANG Xin-zhou[2*]

(*1. College of Pharmacy, Shihezi University, Ministry of Education Key Laboratoy for Xinjinag Phytomedicine Resource and Utilization, Shihezi 832003, China; 2. College of Pharmacy, South-Central Minzu University, Wuhan 430074, China; 3. College of Biological Sciences and Technology, Yili Normal University, Yining 835000, China; 4. Biomedical Research Centre, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan*)

Abstract: The ethyl acetate fraction of the 95% ethanol extract from black mulberry branches was isolated and purified by comprehensive application of chromatographic techniques, including normal-phase silica gel column chromatography, Sephadex LH-20 gel column chromatography, and semi-preparative high-performance liquid chromatography (semi-prep HPLC). Fourteen compounds were obtained, and their structures were identified using modern spectroscopic techniques (UV, IR, MS, NMR). These compounds were identified as nigrasin M (**1**), nigrasin N (**2**), sanggenol F (**3**), sanggenon A (**4**), nigrasin K (**5**), nigrasin H (**6**), petalopurpurenol (**7**), solophenol D (**8**), nigragenon A (**9**), nigragenon I (**10**), nigragenon J (**11**), notabilisin A (**12**), notabilisin C (**13**), and licoflavone C (**14**). Among them, compounds **1** and **2** are new flavonoids, while compounds **13** and **14** were isolated from *Morus nigra* branches for the first time. To evaluate the hypoglycemic potential of compounds **1**−**13**, a glucose uptake assay

收稿日期: 2025-11-04; 修回日期: 2026-01-20.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82160796).
*通讯作者 E-mail: arnebia@163.com; xzyang@mail.scuec.edu.cn
DOI: 10.16438/j.0513-4870.2025-1296

was performed using an L6 cell model. The results showed that compounds **6**, **9**, **11**, and **12** significantly enhanced glucose uptake in L6 cells, suggesting their potential hypoglycemic activity.

Key words: *Morus nigra*; chemical constituent; isolation and identification; flavonoid; glucose uptake

桑属 (*Morus* L.) 植物隶属于桑科 (Moraceae) 乔木植物, 属于温带、暖温带植物, 主要分布于东亚、西亚、北美、南美等地区[1]。黑桑 *Morus nigra* L. 为桑科桑属植物, 俗名为药桑。黑桑是罕见的体细胞染色体倍数性自然体22倍体半栽培类型野生桑树种质资源, 是独属于新疆地区的特色药材[2], 主要分布在新疆喀什、和田、吐鲁番和阿克苏等地[3]。黑桑作为维吾尔族的民间药材, 包含芪类、黄酮类、脂肪酸类、三萜类以及生物碱类等化学成分, 其药理作用有降血糖、镇痛、抗黑色素等活性[4,5]。为进一步提高黑桑枝的综合利用率, 本实验以黑桑枝醇提物的乙酸乙酯部位为研究对象, 对其进行系统的化学成分及相关活性研究, 从黑桑枝中分离鉴定出14个单体化合物, 结构见图1。本文对化合物**1**～**13**进行葡萄糖摄取活性研究。细胞葡萄糖摄取障碍是糖尿病关键病理环节, 而骨骼肌是胰岛素作用的主要靶组织, 负责约80%的餐后葡萄糖摄取。骨骼肌葡萄糖摄取减少或功能下降会加剧胰岛素抵抗, 从而促进2型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 的发生与发展[6]。

结果与讨论

1 结构鉴定

化合物**1** 黄色油状物; $[\alpha]_D^{25}$ 141° (*c* 0.4, MeOH); HR-ESI-MS $[M+H]^+$ *m*/*z* 457.185 8, 推测其分子式为 $C_{25}H_{28}O_8$, 不饱和度为12。^{1}H NMR (表1) 数据1组芳香氢质子信号 [δ_H 7.23 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6′), 6.44 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-5′) 和6.33 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-3′)] 提示有一组ABX系统的苯环 (B环) 存在, 1组芳香单线态信号 [δ_H 5.78 (1H, s, H-8)], 以及1个异戊烯基的质子信号 [δ_H 3.05 (1H, dd, *J* = 14.6, 9.0 Hz, H-9a), 2.72 (1H, dd, *J* = 14.6, 6.3 Hz, H-9b), 5.20 (1H, t, *J* = 7.2 Hz, H-10), 1.60 (3H, s, H-12), 1.50 (3H, s, H-13)]。^{13}C NMR 和DEPT (表1) 显示25个碳信号, 包括1个羰基碳信号 [δ_C 188.9 (C-4)]、4个甲基碳信号 [δ_C 18.1 (C-12), 25.9 (C-13), 28.8 (C-4″), 28.8 (C-5″)]、3个亚甲基碳信号 [δ_C 32.5 (C-9), 17.9 (C-1″), 43.2 (C-2″)]。在查阅相关文献[7]后, 发现化合物**1**与已知化合物 sanggenol F (**3**) 的信号相似。

HMBC图谱显示 δ_H 2.58 (H-1″) 与 δ_C 162.8 (C-5),

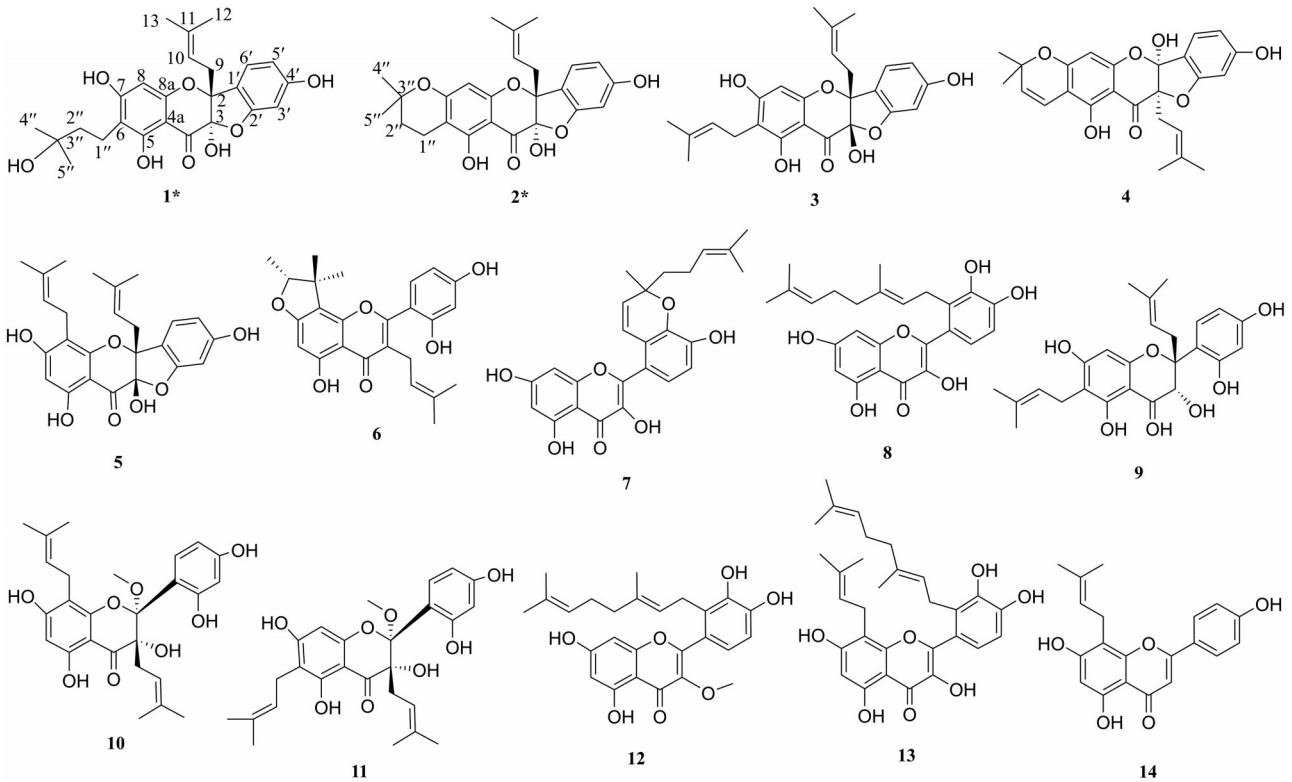


Figure 1 Structures of compounds **1**−**14**. *Indicates a novel compound

109.8 (C-6), 167.3 (C-7), 43.3 (C-2″), 71.7 (C-3″) 存在相关; δ_H 1.62 (H-2″) 与 δ_C 167.3 (C-7), 17.9 (C-1″), 71.7 (C-3″), 28.8 (C-4″) 存在相关; δ_H 1.24 (H-4″, H-5″) 与 δ_C 43.2 (C-2″), 71.7 (C-3″) 存在相关; 且^{1}H-^{1}H COSY 图谱中显示 δ_H 1.62 (H-2″) 与 δ_H 2.58 (H-1″) 存在相关 (图 2), 结合综上所述, 可推测两个化合物的主要区别是化合物 **3** 的 C-6 位上的异戊烯基单元被取代为 1,1-二甲基丙醇结构单元, 综上所述可确定化合物 **1** 的平面结构。通过电子圆二色谱 (electronic circular dichroism, ECD) 计算从而确定化合物 **1** 的绝对构型, 计算采用 Gaussian 16 软件完成, 通过选择 Boltzmann-opulation 超过 1% 的构象体。采用 B3LYP/6-311G (d) 的级别计算优化构型和振动频率, 在其基础上, ECD 采用 PBE0/def2-TZVP 级别计算, 计算过程中采用 SMD 模型来考虑 MeOH 溶液的溶剂效应。最后, 使用 SpecDis 软件生成玻尔兹曼平均 ECD 光谱。通过实验光谱和计算的 ECD 光谱进行对比 (图 3), 证实化合物 **1** 的绝对构型为 2*R*, 3*R*, 由此, 化合物 **1** 绝对立体结构被确定, 并对其命名为 nigrasin M。

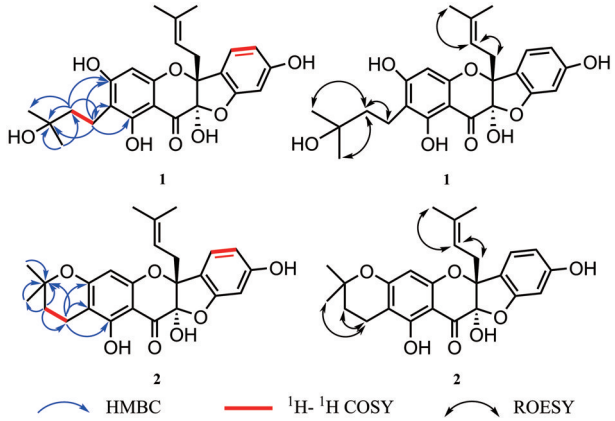


Figure 2 Key HMBC, ^{1}H-^{1}H COSY and ROESY of compounds **1** and **2**

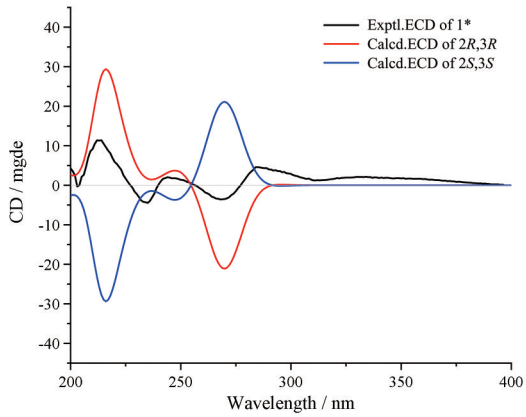


Figure 3 Experimental and calculated ECD spectra of compound **1**

化合物 **2** 黄色油状物; $[\alpha]_D^{25}$ 187.5° (*c* 0.4, MeOH); HR-ESI-MS $[M+H]^+$ *m/z* 439.175 1, 推测其分子式为 $C_{25}H_{26}O_7$, 不饱和度为 13。^{1}H NMR (表 1) 数据提示 1 组芳香族 ABX 自旋系统信号位于 δ_H 7.21 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6′), 6.42 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-5′) 和 δ_H 6.31 (1H, d, *J*=2.1 Hz, H-3′); 1 组芳香单线态位于 δ_H 5.69 (1H, s, H-8); 异戊烯基的质子信号包括 δ_H 5.19 (1H, t, *J* = 7.7 Hz, H-10) 的烯烃次甲基质子, δ_H 3.03 (1H, br dd, *J* = 9.0, 14.6 Hz, H-9a) 和 δ_H 2.70 (1H, br dd, *J* = 6.2, 14.6 Hz, H-9b) 的两个偶合亚甲基质子, 以及 δ_H 1.57 (3H, br s, H-12), δ_H 1.49 (3H, br s, H-13) 的两个甲基信号。^{13}C NMR 和 DEPT (表 1) 谱显示 25 个碳信号, 含 1 个羰基碳信号 [δ_C 189.4 (C-4)]、4 个甲基碳信号 [δ_C 18.0 (C-12), 25.9 (C-13), 27.1 (C-4″), 26.6 (C-5″)]、3 个亚甲基碳信号 [δ_C 32.5 (C-9), 32.6 (C-2″), 16.5 (C-1″)], 上述核磁共振数据表明化合物 **1** 具有桑根酮型黄烷酮的骨架结构。此外, 化合物 **1** 的^{1}H NMR 谱在 δ_H 1.77 (2H, t, *J* = 7.0 Hz, H-2″), 2.56 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-1″), 1.29 (3H, s, H-5″), 1.30 (3H, s, H-4″) 处的信号, 表明其结构中含有一个 2,2-二甲基二氢吡喃环。在查阅相关文献[8]后, 发现化合物 **2** 与 nigrasin A 结构相似。

HMBC 图谱显示 δ_H 2.56 (H-1″) 与 δ_C 162.9 (C-5), δ_C 102.8 (C-6), δ_C 165.4 (C-7), δ_C 32.6 (C-2″), δ_C 77.4 (C-3″) 存在相关; δ_H 1.77 (H-2″) 与 δ_C 102.8 (C-6), δ_C 77.4 (C-3″), δ_C 16.6 (C-1″), δ_C 26.6 (C-5″) 存在相关; δ_H 1.29 (H-5″)、δ_H 1.30 (H-4″) 与 δ_H 77.4 (C-3″) 远程相关, 再结合^{1}H-^{1}H COSY 图谱中显示 δ_H 1.77 (H-2″) 与 δ_H 2.56 (H-1″) 之间相关提示-$(CH_2)_2$-C(O)-$(CH_3)_2$ 的结构 (图 2)。关键的是, HMBC 中 H-1″与 δ_C 165.4 (C-7) 的相关性, 以及 H-2″与 δ_C 102.8 (C-6) 的相关性, 共同证实该侧链的 C-2″位通过 C-C 键与母核的 C-6 位相连, 且 C-1″位与 C-7 位相连, 从而形成了一个新的吡喃环。因此该环合过程可被认为是化合物 **1** 中 C-7 位羟基与侧链 C-3″位羟基发生分子内脱水反应的结果。综上所述, 可推测化合物 **2** 与 nigrasins A 的主要区别在于, 上述脱水环合导致化合物 nigrasins A 二氢吡喃环上的 C-3″位羟基被氢原子所取代, 由此进一步确定其结构。使用上述 ECD 的计算方法对其进行 ECD 谱图 (图 4) 计算确定绝对构型, 结果显示该化合物的绝对构型为 2*R*, 3*R*, 并对其命名为 nigrasin N。

2 活性评价

基于 L6 细胞的促葡萄糖摄取实验研究化合物 **1**～**13** 对 L6 骨骼肌细胞内葡萄糖摄取的影响, 以胰岛素 (insulin, INS) 为阳性对照, 设置空白对照组 (control) 和实验组, 结果见图 5。由此可知, 在质量浓度 50 mg·L^{-1}

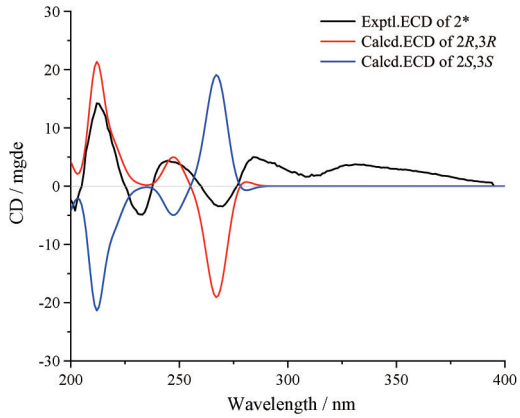


Figure 4 Experimental and calculated ECD spectra of compound **2**

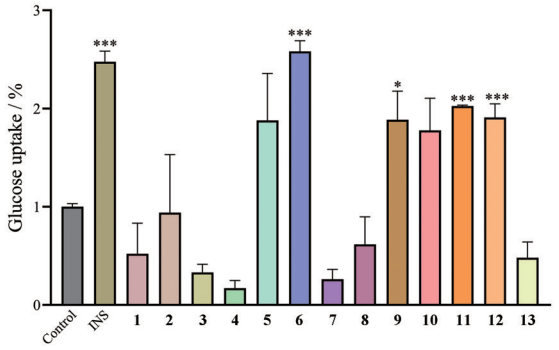


Figure 5 The effect of compounds on glucose uptake in L6 cells. Compounds **1** − **13** were tested at 50 mg·L^{-1} for glucose uptake activity. n = 3, $\bar{x} \pm s$. $^{*}P < 0.05$, $^{***}P < 0.001$ *vs* control group. INS: Insulin

的条件下以空白对照组为基准, INS促葡萄糖摄取倍数为2.48倍, 化合物**6**、**9**、**11**、**12**分别为2.58、1.89、2.02和1.91倍。以上结果表明, 化合物**6**、**9**、**11**、**12**表现出显著促进L6细胞葡萄糖摄取的能力, 提示以上化合物具有潜在治疗糖尿病的能力。

实验部分

Bruker DRX-600 MHz型核磁共振波谱仪 (德国Bruker公司); Waters ACQUITY SQD MS液相质谱联用仪、Waters 2535半制备高效液相色谱仪 (美国Waters公司); Silgreen C_{18}柱 (250 mm × 10 mm, 5 μm, 北京绿白草科技发展有限公司); COSMOSIL Cholester柱 (250 mm × 10 mm, 5 μm, 日本COSMOSIL公司); Phenomenex Gemini C_8柱 (250 mm × 10 mm, 5 μm, 美国Phenomenex公司); COSMOSIL 5PFP柱 (250 mm × 10 mm, 5 μm, 日本Nacalai Tesque); GF_{254}薄层硅胶板、硅胶粉 (烟台江友硅胶开发有限公司); Sephadex LH-20葡聚糖凝胶 (美国Amersham公司); HP20大孔吸附树脂 (日本三菱公司); 胎牛血清 (上海达特希尔生物科技有限公司); DMEM/HIGH GLUCOSE培养基 (美国

Table 1 ^{1}H (600 MHz) and ^{13}C (150 MHz) NMR data of compounds **1** and **2** (in CD_3OD)

	1		**2**	
Position	δ_H, J/Hz	δ_C	δ_H, J/Hz	δ_C
2	−	92.1	−	92.2
3	−	103.0	−	103.0
4	−	188.9	−	189.9
4a	−	100.5	−	100.7
5	−	162.8	−	162.9
6	−	109.8	−	102.8
7	−	167.3	−	165.4
8	5.78 (s, 1H)	95.2	5.69 (s, 1H)	96.8
8a	−	161.9	−	161.3
9	3.05 (dd, J = 14.6, 9.0 Hz, 1H)	32.5	3.03 (dd, J = 14.6, 9.0 Hz, 1H)	32.5
	2.72 (dd, J = 14.6, 6.3 Hz, 1H)		2.70 (dd, J = 14.6, 6.2 Hz, 1H)	
10	5.20 (t, J = 7.2 Hz, 1H)	119.0	5.19 (t, J = 7.7 Hz, 1H)	119.0
11	−	136.9	−	136.9
12	1.60 (s, 3H)	18.1	1.57 (s, 3H)	18.0
13	1.50 (s, 3H)	25.9	1.49 (s, 3H)	25.9
1′	−	121.6	−	121.5
2′	−	161.4	−	161.4
3′	6.33 (d, J = 2.1 Hz, 1H)	99.5	6.31 (d, J = 2.1 Hz, 1H)	99.5
4′	−	161.5	−	161.5
5′	6.44 (dd, J = 8.2, 2.1 Hz, 1H)	110.1	6.42 (dd, J = 8.2, 2.1 Hz, 1H)	109.8
6′	7.23 (d, J = 8.2 Hz, 1H)	125.6	7.21 (d, J = 8.2 Hz, 1H)	125.6
1″	2.58 (dd, J = 7.4, 4.1 Hz, 2H)	17.9	2.57 (t, J = 7.4 Hz, 2H)	16.5
2″	1.61 (m, 2H)	43.2	1.77 (t, J = 7.0 Hz, 2H)	32.6
3″	−	71.7	−	77.7
4″	1.24 (s, 3H)	28.8	1.29 (s, 3H)	27.1
5″	1.24 (s, 3H)	28.8	1.30 (s, 3H)	26.6

Hyclone公司); 青霉素-链霉素混合溶液 (美国索莱宝科技有限公司); PBS缓冲液 (武汉赛维尔生物科技有限公司); DMSO (美国MP Biomedicals公司); 葡萄糖测定试剂 (A154-1-1, 南京建成生物工程研究院, 南京, 中国); 乙腈 (色谱纯, 美国Tedia公司); 其他试剂均为分析纯。

黑桑枝于2021年6月购自新疆维吾尔自治区和田市, 经石河子大学药学院庞克坚高级工程师鉴定为桑科植物黑桑 *Morus nigra* L. 的干燥枝条, 凭证标本 (编号: SC0878) 保存于中南民族大学药学院植物标本库。

1 提取与分离

取干燥黑桑枝31 kg粉碎过筛后, 使用95%乙醇溶液室温下浸提6次 (200 L, 7 d/次), 提取液在经过减压浓缩后得到浸膏2.68 kg, 将浸膏在热水中均匀分散后, 使用乙酸乙酯和正丁醇分别进行多次萃取, 得到乙酸乙酯部位浸膏790 g、正丁醇部位浸膏190 g。取乙酸乙酯部位 (700 g) 过大孔树脂柱, 分别使用10%、20%、30%、35%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%乙醇溶液进行洗脱, 经薄层色谱法分析得到8个组分Fr.1～Fr.8。取Fr.5 (64.82 g) 通过正相硅胶柱色谱 (300～400目) 分离, 以二氯甲烷-甲醇 (100∶1→0∶100) 进行梯度洗脱, 薄层色谱点板合并, 得到8个组分 (Fr.5-1～Fr.5-8)。

Fr.5-3经正相硅胶柱色谱 (300～400目) 分离得到3个组分 (Fr.5-3-1～Fr.5-3-3), 将Fr.5-3-1用半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 58∶42, 流动相含有0.1%的甲酸) 分离得到化合物**2** (59 mg, t_R=44 min) 和化合物**4** (13.9 mg, t_R = 46 min)。Fr.5-3-2经正相硅胶分离得到9个组分 (Fr.5-3-2-1～Fr.5-3-2-9), Fr.5-3-2-8经过半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 分离得到化合物**5** (13 mg, t_R = 18 min)、化合物**3** (10.1 mg, t_R = 23 min) 和化合物**11** (37 mg, t_R = 38 min)。Fr.5-3-3经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 45∶55, 流动相含有0.1%的甲酸) 分离得到化合物**1** (96.6 mg, t_R = 15 min)。

Fr.5-4经Sephadex LH-20凝胶柱, 甲醇洗脱, 得到6个组分 (Fr.5-4-1～Fr.5-4-6), 其中Fr.5-4-5经用半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 64∶36, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**8** (16.1 mg, t_R = 13 min) 和化合物**7** (15.6 mg, t_R = 16 min)。Fr.5-4-4经Sephadex LH-20凝胶柱, 甲醇洗脱, 得到3个组分 (Fr.5-4-4-1～Fr.5-4-4-3), Fr.5-4-4-3经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 75∶35, 流动相含有0.1%的甲酸) 细分4个组分 (Fr.5-4-4-3-1～Fr.5-4-4-3-4), 其中Fr.5-4-4-3-2经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 细分成2个组分 (Fr.5-4-4-3-2-1、Fr.5-4-4-3-2-2)。Fr.5-4-4-3-2-1经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 30∶70, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**10** (44.7 mg, t_R = 15 min)。Fr.5-4-4-3-3经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**13** (9.3 mg, t_R = 16 min)。Fr.5-4-4-3-4经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 40∶60, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**6** (10.7 mg, t_R = 15 min)。

Fr.5-5经正相硅胶柱色谱 (300～400目) 分离6个组分 (Fr.5-5-1～Fr.5-5-6), Fr.5-5-3经Sephadex LH-20凝胶柱, 甲醇洗脱, 得到6个组分 (Fr.5-5-3-1～Fr.5-5-3-6), Fr.5-5-3-5经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 细分为6个组分 (Fr.5-5-3-5-1～Fr.5-5-3-5-6), 其中, Fr.5-5-3-5-1经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**14** (10.8 mg, t_R = 15 min)。Fr.5-5-3-2经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 细分为5个组分 (Fr. 5-5-3-2-1～Fr. 5-5-3-2-5), Fr.5-5-3-2-4经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 35∶65, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**9** (11.9 mg, t_R = 17 min)。Fr.5-5-5经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 细分成5个组分 (Fr.5-5-5-1～Fr.5-5-5-5), Fr.5-5-5-4经半制备高效液相色谱 (乙腈-水, 50∶50, 流动相含有0.1%的甲酸) 纯化得到化合物**12** (15.6 mg, t_R = 13 min)。

2 结构鉴定

化合物**1** 黄色油状物; $[\alpha]_D^{25}$ 141° (*c* 0.4, MeOH)。HR-ESI-MS [M+H] *m/z* 457.185 8 (Calcd. for 457.186 2, $C_{25}H_{29}O_8$)。UV λ_{max}^{MeOH} (logε): 235 (4.53)、315 (4.57) nm。IR ν_{max}^{KBr}: 2 972, 1 643, 1 604 cm^{-1}。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) 和 ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) 数据见表1。

化合物**2** 黄色油状物; $[\alpha]_D^{25}$ 187.5° (*c* 0.4, MeOH)。HR-ESI-MS $[M+H]^+$ *m/z* 439.175 1 (Calcd. for 439.175 7, $C_{25}H_{27}O_7$)。UV λ_{max}^{MeOH} (logε): 230 (4.31)、310 (4.32) nm。IR ν_{max}^{KBr}: 3 427, 2 978, 1 651 cm^{-1}。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) 和 ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) 数据见表1。

化合物**3** 黄色油状物; ESI-MS *m/z*: 438.166 8 $[M+H]^+$ (Calcd. for 438.167 8, $C_{25}H_{26}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.23 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6′), 6.44 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-5′), 6.33 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-3′), 5.77 (1H, s, H-8), 5.20 (1H, t, *J* = 9.1 Hz, H-2″), 5.16 (1H, t, *J* = 9.1 Hz, H-10), 3.18 (2H, d, *J* = 7.2 Hz, H-1″), 3.04 (1H, dd, *J* = 14.6, 9.0 Hz, H-9a), 2.71 (1H, dd, *J* = 14.5, 6.3 Hz, H-9b), 1.74 (3H, s, H-3″), 1.64 (3H, s, H-4″), 1.60 (3H, s, H-12), 1.50 (3H, s, H-13); ^{13}C NMR (150 MHz,

CD_3OD) δ_C: 188.8 (C-4), 167.3 (C-7), 162.8 (C-5), 161.9 (C-8a), 161.5 (C-2′), 161.4 (C-4′), 136.9 (C-11), 131.7 (C-3″), 125.6 (C-6′), 123.6 (C-2″), 121.6 (C-1′), 119.0 (C-10), 109.8 (C-5′), 109.5 (C-6), 103.0 (C-3), 100.6 (C-4a), 99.5 (C-3′), 95.2 (C-8), 92.1 (C-2), 32.5 (C-9), 25.9 (C-13), 25.9 (C-5″), 21.7 (C-1″), 18.1 (C-12), 17.8 (C-4″)。以上数据与文献[7]报道基本一致, 故鉴定为sanggenol F。

化合物**4** 淡黄色无定形粉末; ESI-MS *m*/*z*: 435.143 8 $[M-H]^-$ (Calcd. for 435.143 8, $C_{25}H_{24}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.26 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6′), 6.57 (1H, d, *J* = 10.0 Hz, H-1″), 6.46 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-5′), 6.34 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-2′), 5.72 (1H, s, H-8), 5.57 (1H, d, *J* = 10.0 Hz, H-2″), 5.18 (1H, t, *J* = 7.6 Hz, H-10), 3.09 (1H, dd, *J* = 14.5, 9.2 Hz, H-9a), 2.73 (1H, dd, *J* = 14.6, 6.2 Hz, H-9b), 1.61 (3H, s, H-12), 1.49 (3H, s, H-13), 1.40 (3H, s, H-4″), 1.39 (3H, s, H-5″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 189.5 (C-4), 164.5 (C-7), 163.6 (C-5), 161.6 (C-8a), 161.5 (C-4′), 159.7 (C-2′), 137.3 (C-11), 127.4 (C-2″), 125.6 (C-6′), 121.3 (C-1′), 118.9 (C-10), 115.8 (C-1″), 109.9 (C-5′), 103.5 (C-6), 102.7 (C-3), 101.0 (C-4a), 99.6 (C-3′), 96.6 (C-8), 92.9 (C-2), 79.6 (C-3″), 32.4 (C-9), 28.6 (C-4″), 28.5 (C-5″), 25.9 (C-12), 18.1 (C-13)。以上数据与文献[9]报道基本一致, 故鉴定为sanggenon A。

化合物**5** 黄色油状物; ESI-MS *m*/*z*: 438.168 9 $[M+H]^+$ (Calcd. for 438.167 9, $C_{25}H_{26}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.21 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6′), 6.42 (1H, dd, *J* = 8.2, 2.1 Hz, H-5′), 6.31 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-3′), 5.26 (1H, t, *J* = 7.2 Hz, H-10), 5.06 (1H, t, *J* = 7.1 Hz, H-2″), 3.18 (1H, dd, *J* = 14.2, 7.4 Hz, H-1″a), 3.10 (1H, dd, *J* = 14.1, 7.0 Hz, H-9a), 2.97 (1H, dd, *J* = 14.8, 8.1 Hz, H-1″b), 2.79 (1H, dd, *J* = 14.8, 6.9 Hz, H-9b), 1.66 (3H, s, H-4″), 1.59 (3H, s, H-12), 1.57 (3H, s, H-5″), 1.55 (3H, s, H-13); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 189.5 (C-4), 167.5 (C-7), 163.8 (C-5), 161.4 (C-2′), 161.2 (C-4′), 160.3 (C-8a), 136.5 (C-11), 131.5 (C-3″), 125.8 (C-6′), 123.8 (C-2″), 121.4 (C-1′), 119.0 (C-10), 109.7 (C-5′), 108.8 (C-8), 103.0 (C-3), 101.0 (C-4a), 99.4 (C-3′), 96.2 (C-6), 91.8 (C-2), 32.8 (C-9), 26.0 (C-13), 25.9 (C-5″), 22.3 (C-1″), 18.1 (C-12), 18.0 (C-4″)。以上数据与文献[10]报道基本一致, 故鉴定为nigrasin K。

化合物**6** 黄色无定型粉末; ESI-MS *m*/*z*: 422.172 9 $[M+H]^+$ (Calcd. for 422.172 9, $C_{25}H_{26}O_6$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.12 (1H, d, *J* = 8.3 Hz, H-6′), 6.43 (1H, d, *J* = 2.1 Hz, H-3′), 6.40 (1H, dd, *J* = 8.3, 2.1 Hz, H-5′), 6.14 (1H, s, H-6), 5.12 (1H, t, *J* = 4.2 Hz, H-10), 4.49 (1H, q, *J* = 6.5 Hz, H-2″), 3.12 (2H, d, *J* = 7.1 Hz, H-9), 1.60 (3H, s, H-13), 1.42 (3H, s, H-12), 1.41 (3H, s, H-5″), 1.36 (3H, d, *J* = 6.6 Hz, H-4″), 1.19 (3H, s, H-6″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 183.8 (C-4), 166.0 (C-7), 163.7 (C-2), 163.0 (C-4′), 162.0 (C-5), 158.1 (C-2′), 154.6 (C-8a), 132.7 (C-6′), 132.4 (C-11), 122.9 (C-10), 121.4 (C-3), 113.6 (C-8), 113.1 (C-1′), 107.9 (C-5′), 106.0 (C-4a), 103.8 (C-3′), 94.6 (C-6), 92.0 (C-2″), 44.7 (C-3″), 26.1 (C-5″), 25.8 (C-13), 24.9 (C-9), 21.5 (C-6″), 17.7 (C-12), 14.5 (C-4″)。以上数据与文献[8]报道基本一致, 故鉴定为nigrasin H。

化合物**7** 黄色固体; ESI-MS *m*/*z*: 436.152 4 $[M+H]^+$ (Calcd. for 436.152 2, $C_{25}H_{24}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.00 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2′), 6.80 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-3′), 6.35 (1H, d, *J* = 9.9 Hz, H-1″), 6.29 (1H, s, H-8), 6.19 (1H, s, H-6), 5.71 (1H, d, *J* = 9.9 Hz, H-2″), 5.12 (1H, s, H-3‴), 2.16 (2H, m, H-2‴), 1.77 (2H m, H-1‴), 1.65 (3H, s, H-4″), 1.58 (3H, s, H-5‴), 1.44 (3H, s, H-6‴); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 177.7 (C-4), 165.6 (C-7), 162.7 (C-5), 158.8 (C-9), 149.3 (C-2), 148.3 (C-4′), 141.8 (C-5′,), 138.1 (C-3), 132.5 (C-4‴), 131.5 (C-2″), 125.2 (C-3‴), 123.4 (C-6′), 122.1 (C-1″), 122.0 (C-2′), 120.0 (C-1′), 116.1 (C-3′), 105.0 (C-10), 99.3 (C-6), 94.5 (C-8), 79.5 (C-3″), 41.7 (C-2‴), 26.4 (3″-CH_3), 25.8 (C-6‴), 23.8 (C-1‴), 17.6 (C-5‴)。以上数据与文献[11]报道基本一致, 故鉴定为petalopurpurenol。

化合物**8** 黄色油状物; ESI-MS *m*/*z*: 437.157 6 $[M-H]^-$ (Calcd. for 436.154 2, $C_{25}H_{25}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 6.84 (1H, d, *J* = 8.2 Hz H-2′), 6.75 (1H, d, *J* = 8.1 Hz H-3′), 6.25 (1H, s, H-8), 6.18 (1H, s, H-6), 5.07 (1H, t, *J* = 6.0 Hz H-10), 4.97 (1H, t, *J* = 6.5 Hz, H-2″), 3.44 (2H, d, *J* = 6.8 Hz, H-9), 1.83 (2H, m, H-13), 1.76 (2H, m, H-1″), 1.59 (3H, s, H-4″), 1.50 (3H, s, H-5″), 1.42 (3H, s, H-12); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 177.8 (C-4), 165.4 (C-7), 162.7 (C-5), 158.7 (C-8a), 152.0 (C-2), 147.9 (C-4′), 144.6 (C-5′), 137.8 (C-3), 135.7 (C-11), 132.0 (C-3″), 129.9 (C-6′), 125.4 (C-2″), 124.0 (C-1′), 123.5 (C-10), 122.8 (C-2′), 113.1 (C-3′), 105.1 (C-4a), 99.2 (C-6), 94.5 (C-8), 40.7 (C-13), 27.7 (C-1″), 26.7 (C-9), 25.8 (C-4″), 17.7 (C-5″), 16.3 (C-12)。以上数据与文献[12]报道基本一致, 故鉴定为solophenol D。

化合物**9** 棕黄色粉末; ESI-MS *m*/*z*: 439.175 4 $[M-H]^-$ (Calcd. for 436.175 7, $C_{25}H_{27}O_7$)。^{1}H NMR

(600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.22 (1H, d, J = 8.5 Hz, H-6′), 6.24 (1H, d, J = 2.4 Hz, H-3′), 6.22 (1H, dd, J = 8.6, 2.5 Hz, H-5′), 6.00 (1H, s, H-8), 5.17 (1H, t, J = 3.8 Hz, H-10), 5.13 (1H, t, J = 8.6 Hz, H-2″), 4.81 (1H, s, H-3), 3.17 (2H, d, J = 7.1 Hz, H-1″), 2.89 (1H, dd, J = 15.0, 6.8 Hz, H-9a), 2.76 (1H, dd, J = 15.0, 7.9 Hz, H-9b), 1.73 (3H, s, H-5″), 1.64 (3H, s, H-12), 1.63 (3H, s, H-13), 1.48 (3H, s, H-4″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 197.3 (C-4), 166.1 (C-7), 161.8 (C-5), 159.8 (C-8a), 159.0 (C-4′), 156.0 (C-2′), 136.0 (C-11), 131.6 (C-3″), 130.6 (C-6′), 123.8 (C-2″), 119.1 (C-10), 117.4 (C-1′), 109.5 (C-6), 107.5 (C-5′), 104.6 (C-3′), 102.0 (C-4a), 96.1 (C-8), 89.1 (C-2), 75.1 (C-3), 34.9 (C-9), 26.1 (C-12), 25.9 (C-4″), 21.8 (C-1″), 18.0 (C-13), 17.8 (C-5″)。以上数据与文献[13]报道基本一致, 故鉴定为nigragenon A。

化合物**10** 黄色油状物; ESI-MS m/z: 469.186 6 $[M-H]^-$ (Calcd. for 469.186 2, $C_{26}H_{30}O_8$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.61 (1H, d, J = 8.3 Hz, H-6′), 6.43 (1H, dd, J = 8.3, 2.1 Hz, H-5′)), 6.35 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-3′), 6.02 (1H, s, H-6), 5.19 (1H, t, J = 6.2 Hz, H-2″), 4.99 (1H, t, J = 7.6 Hz, H-10), 3.44 (1H, dd, J = 14.6, 7.5 Hz, H-1″a), 3.25 (1H, dd, J = 14.5, 6.2 Hz, H-1″b), 3.02 (3H, s, H-6″), 2.42 (1H, dd, J = 14.7, 8.5 Hz, H-9a), 2.12 (1H, dd, J = 14.8, 6.9 Hz, H-9b), 1.73 (3H, s, H-5″), 1.66 (3H, s, H-13), 1.55 (3H, s, H-12), 1.25 (3H, s, H-4″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 199.1 (C-4), 166.18 (C-7), 162.02 (C-5), 161.17 (C-2′), 157.37 (C-4′), 155.48 (C-8a), 136.4 (C-11), 132.1 (C-6′), 131.8 (C-3″), 124.3 (C-2″), 117.5 (C-10), 112.5 (C-1′), 109.8 (C-8), 109.0 (C-2), 108.1 (C-5′), 105.2 (C-3′), 101.4 (C-4a), 97.0 (C-6), 82.1 (C-3), 51.0 (C-6″), 35.2 (C-9), 26.0 (C-4″), 25.9 (C-12), 22.5 (C-1″), 18.2 (C-5″), 17.5 (C-13)。以上数据与文献[14]报道基本一致, 故鉴定为nigragenon I。

化合物**11** 黄色油状物; ESI-MS m/z: 469.185 8 $[M-H]^-$ (Calcd. for 469.186 2, $C_{26}H_{30}O_8$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 7.53 (1H, d, J = 8.7 Hz, H-6′), 6.43 (1H, dd, J = 8.7, 2.5 Hz, H-5′), 6.34 (1H, d, J = 2.5 Hz, H-3′), 6.09 (1H, s, H-8), 5.20 (1H, t, J = 6.4 Hz, H-10), 4.99 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-2″), 3.23 (2H, d, J = 7.3 Hz, H-1″), 3.06 (3H, s, H-6″), 2.45 (1H, dd, J = 14.7, 8.5 Hz, H-9a), 2.10 (1H, dd, J = 14.7, 6.7 Hz, H-9b), 1.76 (3H, s, H-5″), 1.66 (3H, s, H-13), 1.56 (3H, s, H-12), 1.24 (3H, s, H-4″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 199.0 (C-4), 165.8 (C-7), 161.3 (C-2′), 161.1 (C-5), 157.3 (C-4′), 156.5 (C-8a), 136.5 (C-11), 131.9 (C-3″), 131.8 (C-6′), 123.6 (C-2″), 117.4 (C-10), 112.4 (C-1′), 110.5 (C-6), 109.2 (C-2), 108.2 (C-5′), 105.1 (C-3′), 101.3 (C-4a), 96.1 (C-8), 82.4 (C-3), 51.1 (C-6″), 35.1 (C-9), 26.0 (C-12), 25.9 (C-4″), 21.8 (C-1″), 17.8 (C-5″), 17.5 (C-13)。以上数据与文献[14]报道基本一致, 故鉴定为nigragenon J。

化合物**12** 黄色油状物; ESI-MS m/z: 452.183 4 $[M+H]^+$ (Calcd. for 452.183 5, $C_{26}H_{28}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H 6.84 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-6′), 6.76 (1H, d, J = 8.2 Hz, H-5′), 6.29 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-8), 6.21 (1H, d, J = 2.0 Hz, H-6), 5.06 (1H, t, J = 6.2 Hz, H-10), 4.96 (1H, t, J = 6.9 Hz, H-2″), 3.57 (3H, s, H-6″), 3.44 (2H, d, J = 6.7 Hz, H-9), 1.83 (2H, m, H-1″), 1.76 (2H, t, J = 5.1 Hz, H-13), 1.59 (3H, s, H-18), 1.50 (3H, s, H-17), 1.41 (3H, s, H-12); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ: 180.1 (C-4), 165.9 (C-7), 163.1 (C-5), 161.7 (C-2), 158.8 (C-8a), 148.4 (C-4′), 144.7 (C-5′), 140.4 (C-3), 136.0 (C-11), 132.1 (C-3″), 129.6 (C-6′), 125.2 (C-2″), 123.8 (C-10), 122.9 (C-1′), 122.7 (C-2′), 113.1 (C-3′), 106.2 (C-4a), 99.8 (C-6), 94.9 (C-8), 60.9 (C-6″), 40.6 (C-13), 27.6 (C-1″), 26.5 (C-9), 25.8 (C-4″), 17.7 (C-5″), 16.3 (C-12)。以上数据与文献[15]报道基本一致, 故鉴定为notabilisin A。

化合物**13** 黄色油状物; ESI-MS m/z: 506.231 0 $[M+H]^+$ (Calcd. for 506.230 5, $C_{30}H_{34}O_7$)。^{1}H NMR (600 MHz, CD_3OD) δ_H: 6.80 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-2′), 6.76 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-3′), 6.24 (1H, s, H-6), 5.11 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-10), 5.02 (1H, t, J = 6.8 Hz, H-2″), 4.93 (1H, t, J = 4.0 Hz, H-7″), 3.47 (2H, d, J = 6.8 Hz, H-1″), 3.33 (2H, d, J = 7.1 Hz, H-9), 1.76 (2H, m, H-6″), 1.70 (2H, t, J = 5.5 Hz, H-5″), 1.59 (3H, s, H-12), 1.58 (3H, s, H-9″), 1.51 (3H, s, H-13), 1.47 (3H s, H-4″), 1.36 (3H, s, H-10″); ^{13}C NMR (150 MHz, CD_3OD) δ_C: 178.1 (C-4), 162.5 (C-7), 160.1 (C-5), 156.2 (C-8a), 152.1 (C-2), 147.8 (C-4′), 144.4 (C-5′), 137.7 (C-3), 135.8 (C-3″), 132.1 (C-11), 131.9 (C-8″), 130.0 (C-6′), 125.4 (C-7″), 124.0 (C-2″), 123.9 (C-1′), 123.4 (C-10), 122.7 (C-2′), 113.1 (C-3′), 107.5 (C-8), 105.1 (C-4a), 98.7 (C-6), 40.7 (C-5″), 27.7 (C-1″), 26.5 (C-13), 26.0 (C-6″), 25.8 (C-9″), 22.4 (C-9), 17.8 (C-12), 17.7 (C-10″), 16.1 (C-4″)。以上数据与文献[16]报道基本一致, 故鉴定为notabilisin C。

化合物**14** 黄色粉末状; ESI-MS m/z: 338.115 4 $[M+H]^+$ (Calcd. for 338.115 4, $C_{20}H_{18}O_5$)。^{1}H NMR (600 MHz, DMSO-d_6) δ_H: 12.89 (1H, s 5-OH), 7.89 (2H, d, J = 8.4 Hz, H-2′, H-6′), 6.93 (2H, d, J = 8.3 Hz, H-3′,

H-5′), 6.76 (1H, s, H-3), 6.28 (1H, s, H-6), 5.19 (1H, t, J = 6.3 Hz, H-10), 3.43 (2H, d, J = 6.9 Hz, H-9), 1.76 (3H, s, H-12), 1.62 (3H, s, H-13); ^{13}C NMR (150 MHz, DMSO-d_6) δ_C: 182.0 (C-4), 163.6 (C-2), 161.7 (C-7), 161.1 (C-4′), 159.0 (C-5), 154.5 (C-8a), 130.9 (C-11), 128.3 (C-2′, C-6′), 122.5 (C-10), 121.5 (C-9), 116.0 (C-3′, C-5′), 106.1 (C-8), 103.5 (C-4a), 102.6 (C-3), 98.4 (C-6), 25.4 (C-12), 21.3 (C-9), 17.8 (C-13)。以上数据与文献[17]报道基本一致, 故鉴定为licoflavone C。

3 葡萄糖摄取实验

L6细胞为大鼠骨骼肌成肌细胞, 将L6细胞在含10%胎牛血清和1%青霉素−链霉素的α-MEM培养基中于37 ℃、5% CO_2条件下培养。当细胞汇合度达70%～80%时, 换含2%胎牛血清的α-MEM培养基中分化5～7天, 形成肌管细胞。然后用DMSO、胰岛素和待测化合物处理肌管细胞12 h。使用葡萄糖测定试剂测定培养基中的葡萄糖浓度, 并将葡萄糖摄取量计算为初始葡萄糖和残余葡萄糖之间的差异, 标准化为空白。

作者贡献: 赵玉兰为本文第一作者, 负责化合物分离、数据分析以及文章的撰写; 黄雯晴和阿亚江•吉恩斯负责活性筛选; 池长圣和阿里贝克•伊迪里斯为本实验过程提供建议; 庞克坚为本文的通讯作者, 对药材的购买和鉴定提供帮助; 杨新洲为本文的通讯作者, 负责文章的审阅和提出论文写作的建议, 并最终定稿。

利益冲突: 所有作者均声明无利益冲突。

References

[1] Zhang HR, Tu YX, Li QS, et al. Feature comparison and phylogenetic analysis of chloroplast genome of *Morus* plants [J]. Jiangsu Agric Sci (江苏农业科学), 2024, 52: 34-40.

[2] Wang H, Han AZ, Jia QH, et al. Analysis of nutrient components and active ingredients of *Morus nigra* L. and *M. alba* L. var. *tatarica* in Xinjiang Autonomous Region [J]. Food Sci (食品科学), 2016, 37: 91-96.

[3] Yikemu A, Saimi, K. Distribution and current status of development and utilization of medicinal mulberry in Xinjiang [J]. Prot For Sci Technol (防护林科技), 2012, (6): 98-100.

[4] Gao W, Wei F, Tang H, et al. Chemical constituents from twigs of *Morus nigra* [J]. J Chin Med Mater (中药材), 2023, 46: 1937-1941

[5] Zhou YK, Zhang YT, Gao W, et al. Chemical constituents from the ethyl acetate fraction of branches of *Morus nigra* and their glucose uptake activities [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2024, 46: 3316-3323.

[6] Vlavcheski F, Baron D, Vlachogiannis IA, et al. Carnosol increases skeletal muscle cell glucose uptake *via* AMPK-dependent GLUT4 glucose transporter translocation [J]. Int J Mol Sci, 2018, 19: 1321.

[7] Fukai T, Pei Y, Nomura T, et al. Isoprenylated flavanones from *Morus cathayana* [J]. Phytochemistry, 1998, 47: 273-280.

[8] Hu X, Wu J, Zhang X, et al. Isoprenylated flavonoids and adipogenesis-promoting constituents from *Morus nigra* [J]. J Nat Prod, 2011, 74: 816-824.

[9] Chang Y, Jin H, Lee H, et al. Phytochemical constituents of the root bark from *Morus alba* and their Il-6 inhibitory activity [J]. Nat Prod Sci, 2019, 25: 268-274.

[10] Hu X, Yu M, Yan G, et al. Isoprenylated phenolic compounds with tyrosinase inhibition from *Morus nigra* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2018, 20: 488-493.

[11] Huang L, Fullas F, McGivney RJ, et al. A new prenylated flavonol from the root of *Petalostemon purpureus* [J]. J Nat Prod, 1996, 59: 290-292.

[12] Inui S, Hosoya T, Shimamura Y, et al. Solophenols B－D and solomonin: New prenylated polyphenols isolated from propolis collected from the Solomon Islands and their antibacterial activity [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60: 11765-11770.

[13] Xu L, Yu M, Huang C, et al. Isoprenylated flavonoids from *Morus nigra* and their PPARγ agonistic activities [J]. Fitoterapia, 2018, 127: 109-114.

[14] Wang L, Wang J, Ma M, et al. Prenylated flavonoids from *Morus nigra* and their insulin sensitizing activity [J]. Phytochemistry, 2022, 203: 113398.

[15] Zhen P, Ni G, Guo WQ, et al. Isolation and identification of pharmaceutical chemical constituents from the branches of *Morus notabilis* [J] Acta Sericol Sin (蚕业科学), 2016, 42: 307-312.

[16] Hu X, Ji J, Wang M, et al. New isoprenylated flavonoids and adipogenesis-promoting constituents from *Morus notabilis* [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2011, 21: 4441-4446.

[17] Edziri H, Mastouri M, Mahjoub MA, et al. Antibacterial, antifungal and cytotoxic activities of two flavonoids from *Retama raetam* flowers [J]. Molecules, 2012, 17: 7284-7293.