

凤庆鸡血藤的化学成分研究

周三云, 李蓉涛, 李洪梅

(昆明理工大学 生命科学与技术学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 采用硅胶柱色谱, 羟丙基葡聚糖凝胶层析柱 Sephadex LH-20, ODS 反相柱色谱及 HPLC (高效液相色谱) 等分离纯化手段, 从凤庆鸡血藤 (*Kadsura interior*) 茎藤中分离并鉴定了 14 个化合物, 分别为 β -amyrin (1), germanicol C (2), α -amyrin (3), ursolic acid (4), lupenol (5), lupenone (6), isoliquiritigenin (7), isoflavonoids genisten (8), formononetin (9), 7-hydroxy-4', 8-dimethoxyisoflavone (10), 4', 7-dihydroxyflavone (11), schisantherin A (12), 7-oxositosterol (13) 和 β -sitosterol (14). 其中化合物 1~13 为首次从该植物中分离得到.

关键词: 鸡血藤; 化学成分; 南五味子属

中图分类号: O62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2008)05-0081-05

Study on Chemical Constituents of *Kadsura Interior*

ZHOU San-yun, LI Rong-tao, LI Hong-mei

(Faculty of Life Science and Biotechnology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: By means of several isolation and purification methods such as silica gel column chromatography, Sephadex LH-20, ODS and HPLC, fourteen compounds are isolated and identified from the stems of *Kadsura interior*. The known compounds are elucidated as: β -amyrin (1), germanicol C (2), α -amyrin (3), ursolic acid (4), lupenol (5), lupenone (6), isoliquiritigenin (7), isoflavonoids genisten (8), formononetin (9), 7-hydroxy-4', 8-dimethoxyisoflavone (10), 4', 7-dihydroxyflavone (11), schisantherin A (12), 7-oxositosterol (13) and β -sitosterol (14). Among them, compounds 1—13 are obtained from the title plant for the first time.

Key words: *Kadsura interior*; chemical constituents; *Kadsura*

0 引言

凤庆鸡血藤 (*Kadsura interior* A. C. Smith) 为五味子科 (Schisandraceae) 南五味子属 (*Kadsura*) 植物, 主要产于云南西南部 (保山、凤庆、临沧、耿马等地), 生于海拔 1 800 m 以下的林中, 为常绿木质藤本, 其根、茎可供药用, 具有补血活血、舒筋活络的功效, 用于月经不调、血虚萎黄、麻木瘫痪、风湿痹痛等症^[1,2]. 1990 年, 丁智慧对凤庆鸡血藤的化学成分进行了初步研究, 从中分离得到了 7 个化合物^[2]. 近年来, 陈道峰教授对鸡血藤膏及凤庆鸡血藤的水提部分的化学成分做过一些研究, 从中分离得到了 9 个新的联苯环辛烯类的木脂素, 其中 interiotherins C 和 D 显示出较好的抗肿瘤活性, interiotherins A 和 B 有抗 HIV 病毒活性^[3-7]. 为了进一步研究凤庆鸡血藤的有效活性成分, 为其开发利用提供化学物质基础, 我们对其茎藤的化学成分进行了研究, 从中分离得到了 14 个化合物, 经光谱数据分析鉴定了它们的结构分别为 β -amyrin (1), germanicol C (2), α -amyrin (3), ursolic acid (4), lupenol (5), lupenone (6), isoliquiritigenin (7), isoflavonoids genisten (8), formononetin (9), 7-hydroxy-4', 8-dimethoxyisoflavone (10), 4', 7-dihydroxyflavone (11), schisantherin A (12), 7-oxositosterol (13) 和 β -sitosterol (14), 本次实验的研究结果同前人比较, 在化学成分上存在较大差异, 除化合物 β -sitosterol (14) 之外, 其余化合物均为首次从

收稿日期: 2008-02-29. **基金项目:** 全国优秀博士学位论文作者专项基金 (200780), 教育部“新世纪优秀人才支持计划” (NECT-06-0824), 云南省中青年学术技术带头人后备人才培养基金 (项目编号: 2005py01-32).

第一作者简介: 周三云 (1983-), 女, 硕士研究生. 主要研究方向: 天然药物化学. **E-mail:** abcdoor@163.com

凤庆鸡血藤中分离得到. 究其原因, 可能是因为生境、采收期的不同导致了其次生代谢产物的多样性.

1 实验仪器与材料

^1H -NMR、 ^{13}C -NMR 谱由 Bruker AM-400 及 DRX-500 型超导核磁共振仪测定, TMS 作为内标, δ 为 10^{-6} , J 为 Hz; MS 谱在 VG AUTO Spec-3000 质谱仪上测定; HPLC 分析仪器为 Agilent 1200 型高效液相色谱仪 10^{-6} , 色谱柱为 Agilent 公司的 ZORBAX SB-C18 反相柱; 反相填充材料 RP-18 为 $40\sim 60\ \mu\text{m}$, Merck 公司生产; Sephadex LH-20 为瑞典生产, 柱色谱填料柱层析硅胶 ($200\sim 150\ \mu\text{m}$, $150\sim 74\ \mu\text{m}$, $74\sim 48\ \mu\text{m}$), 青岛海洋化工厂生产; 层析用 GF₂₅₄ 型和 G 型高效硅胶薄层板, 青岛海洋化工厂生产. 凤庆鸡血藤 2006 年 9 月购于昆明市菊花村药材市场.

2 提取与分离

凤庆鸡血藤茎藤样品 12 kg, 经干燥粉碎后用 70% 的丙酮水溶液室温浸泡 3 次 (每次约 70 L), 每次浸泡 2 d, 合并提取液, 减压蒸馏除去大部分丙酮, 静置过夜, 滤液用乙酸乙酯萃取 3~5 次, 减压回收乙酸乙酯萃取液, 得乙酸乙酯部分 662 g. 利用硅胶柱层析, 以氯仿-丙酮梯度 (1:0→0:1) 洗脱, 合并氯仿洗脱物, 经反复柱层析分离得化合物 1 (6 mg), 2 (15 mg), 3 (3 mg), 5 (15 mg), 6 (426 mg); 合并氯仿-丙酮 (10:1) 洗脱物前段, 经反复分离纯化得化合物 9 (24 mg), 10 (6 mg), 14 (186 mg); 合并氯仿-丙酮 (10:1) 洗脱物后段和氯仿-丙酮 (8:2) 洗脱物前段, 经类似上述操作分离得化合物 4 (5 mg), 7 (3 mg), 8 (3 mg), 11 (12 mg), 12 (12 mg), 13 (32 mg).

3 结构鉴定

化合物 1, $\text{C}_{30}\text{H}_{50}\text{O}$, 白色粉末, 产出率: $5\times 10^{-5}\%$, ^1H -NMR (CDCl_3) δ : 0.73, 0.77, 0.79, 0.83, 0.87, 1.00, 0.96, 0.93 (各 3H, s), 5.18 (1H, t, $J=3.2\ \text{Hz}$, H-12); ^{13}C -NMR (CDCl_3) 的相关碳谱数据如表 1. 综合以上数据与文献对照^[8], 确定化合物 1 为 β -amyrin.

化合物 2, $\text{C}_{30}\text{H}_{50}\text{O}$, 白色粉末, 产出率: $1.25\times 10^{-4}\%$, ^1H -NMR (CDCl_3) δ : 0.71, 0.73, 0.87, 0.93, 0.97, 0.99, 1.01, 1.07 (各 3H, s), 4.85 (1H, s, H-19), ^{13}C -NMR (CDCl_3) 给出的数据如表 1. 根据以上数据确定该化合物 2 为 germanicol C^[9].

化合物 3, $\text{C}_{30}\text{H}_{50}\text{O}$, 白色粉末, 产出率: $2.5\times 10^{-5}\%$, ^1H -NMR (CDCl_3) δ : 0.79 (3H, s), 0.80 (3H, s), 0.91 (3H, s), 0.92 (3H, s), 0.95 (3H, s), 0.99 (3H, s), 1.00 (3H, s), 1.07 (3H, s), 5.12 (1H, t, $J=3.5\ \text{Hz}$, H-12); 有关 ^{13}C -NMR (CDCl_3) 数据如表 1. 光谱数据与文献报道基本一致, 确定化合物 3 为 α -amyrin^[9].

化合物 4, $\text{C}_{30}\text{H}_{48}\text{O}_3$, 白色粉末, 产出率: $4.2\times 10^{-5}\%$, ^1H -NMR ($\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 5.48 (1H, H-12), 0.84, 0.87, 0.93, 0.95, 0.96, 1.01, 1.04 (各 3H, s), ^{13}C -NMR ($\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) 图谱给出的数据如表 1. 以上数据与文献报道的 ursolic acid 的数据基本一致^[10].

化合物 5, $\text{C}_{30}\text{H}_{50}\text{O}$, 白色粉末, 产出率: $1.25\times 10^{-4}\%$, ^1H -NMR (CDCl_3) δ : 0.76 (3H, s), 0.78 (3H, s), 0.82 (3H, s), 0.94 (3H, s), 0.96 (3H, s), 1.02 (3H, s), 1.35 (3H, s), 4.68 (1H, d, $J=1.9\ \text{Hz}$, H-29a), 4.56 (1H, d, $J=1.9\ \text{Hz}$, H-29b); ^{13}C -NMR (CDCl_3) 数据如表 1. 其光谱数据与文献报道基本一致^[11], 故确定化合物 5 为 lupenol.

化合物 6, $\text{C}_{30}\text{H}_{48}\text{O}$, 白色粉末, 产出率: $3.55\times 10^{-3}\%$, ^1H -NMR (CDCl_3) δ : 0.78 (3H, s), 0.92 (3H, s), 0.94 (3H, s), 1.01 (3H, s), 1.06 (3H, s), 1.70 (3H, s); 相应的 ^{13}C -NMR (CDCl_3) 数据如表 1. 基于以上数据确定该化合物为文献报道的 lupenone^[12].

化合物 7, $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_4$, 淡黄色粉末, 产出率: $2.5\times 10^{-5}\%$, ^1H -NMR ($\text{CO}(\text{CD}_3)_2$) δ : 7.73 (2H, dd, $J=2.5/8.6\ \text{Hz}$, H-2, H-6), 6.92 (2H, d, $J=8.6\ \text{Hz}$, H-3, H-5), 6.36 (1H, d, $J=2.3\ \text{Hz}$, H-3'), 6.46 (1H, dd, $J=2.3/8.8\ \text{Hz}$, H-5'), 8.11 (1H, d, $J=8.8\ \text{Hz}$, H-6'), 7.79 (1H, d, $J=15.3\ \text{Hz}$, H- α), 7.83 (1H, d, $J=15.3\ \text{Hz}$, H- β); ^{13}C -NMR ($\text{CO}(\text{CD}_3)_2$) δ : 118.2 (d, C- α), 145.1 (d, C- β), 192.8 (s, C- β'), 114.4 (s, C-1'), 165.6 (s, C-2'), 103.7 (d, C-3'), 167.6 (s, C-4'), 108.7 (d, C-5'),

133.2(d, C-6'), 127.5(s, C-1), 131.8(d, C-2), 116.8(d, C-3), 161.0(s, C-4), 116.8(d, C-5), 131.8(d, C-6). 综合以上数据,与参考文献对照,确定化合物7为 isoliquiritigenin^[13].

化合物8, C₁₅H₁₀O₅, 淡黄色粉末, 产出率: 2.5 × 10⁻⁵%, ¹H-NMR (CO(CD₃)₂) δ: 7.44(2H, d, J = 8.1 Hz, H-2', H-6'), 6.89(2H, d, J = 8.1 Hz, H-3', H-5'), 6.40(1H, s, H-6), 6.27(1H, s, H-8), 8.14(1H, s, H-2); 有关¹³C-NMR(CO(CD₃)₂)图谱数据如表2. 基于以上数据鉴定化合物8为文献报道的 isoflavonoids genisten^[14].

表1 化合物1~6的¹³C-NMR谱(100 MHz, 10⁻⁶)数据

Tab. 1 ¹³C-NMR(100 MHz, 10⁻⁶) spectral data of compounds 1-6

序号	1	2	3	4	5	6
1	38.6 t	38.4 t	38.7 t	39.1 t	38.7 t	39.6 t
2	27.2 t	27.4 t	27.2 t	28.2 t	27.4 t	34.1 t
3	79.0 d	79.0 d	79.0 d	78.1 d	79.0 d	218.2 s
4	38.7 s	38.9 s	38.7 s	40.0 s	38.8 s	47.3 s
5	55.1 d	55.5 d	55.1 d	55.8 d	55.3 d	54.9 d
6	18.4 t	18.2 t	18.3 t	18.9 t	18.3 t	19.6 t
7	32.6 t	34.6 t	32.9 t	33.6 t	34.2 t	33.5 t
8	39.8 s	40.7 s	40.0 s	39.4 d	40.8 s	40.8 s
9	47.6 d	51.2 d	47.7 d	48.1 s	50.4 d	49.7 d
10	37.6 s	37.3 s	36.9 s	37.5 s	37.2 s	36.9 s
11	27.4 t	21.0 t	23.2 t	23.6 t	20.9 t	21.4 t
12	121.7 d	26.2 t	124.4 d	125.8 d	25.4 t	25.1 t
13	145.2 s	38.9 d	139.6 s	139.3 s	38.0 d	38.1 d
14	41.7 s	43.3 s	42.0 s	42.5 s	42.8 s	42.9 s
15	26.1 t	27.5 t	26.6 t	28.7 t	27.4 t	27.4 t
16	28.2 t	37.7 t	28.7 t	24.9 t	35.6 t	35.5 t
17	32.5 s	34.2 s	33.7 s	48.3 s	42.9 s	42.8 s
18	47.2 d	142.7 s	59.0 d	53.6 d	48.3 d	48.2 d
19	46.8 t	129.7 d	39.6 d	39.5 d	48.0 d	47.9 d
20	31.1 s	32.2 s	39.6 d	39.4 d	151.0 s	150.8 s
21	34.7 t	33.3 t	31.2 t	30.1 t	29.8 t	29.8 t
22	37.2 t	37.3 t	41.5 t	37.4 t	40.0 t	39.9 t
23	28.1 q	28.0 q	28.1 q	28.8 q	28.0 q	26.9 q
24	15.5 q	15.4 q	15.7 q	15.7 q	15.4 q	21.0 q
25	15.6 q	16.1 q	15.6 q	16.6 q	16.1 q	15.9 q
26	16.8 q	16.7 q	16.8 q	17.5 q	16.0 q	15.7 q
27	26.0 q	14.6 q	23.3 q	24.0 q	14.5 q	14.4 q
28	28.4 q	25.2 q	28.1 q	180.0 s	18.0 q	18.0 q
29	33.3 q	31.3 q	17.5 q	17.6 q	109.3 t	109.4 t
30	23.7 q	29.2 q	21.4 q	21.4 q	19.3 q	19.3 q

10⁻⁴%, ¹H-NMR (CO(CD₃)₂) δ: 7.38(2H, d, J = 8.5 Hz, H-2', H-6'), 6.87(2H, dd, J = 2.7/8.5 Hz, H-3', H-5'), 8.6(1H, s, 4'-OH), 7.71(1H, d, J = 8.8 Hz, H-5), 6.57(1H, dd, J = 2.2/8.8 Hz, H-6), 6.41

表2 化合物8~11的¹³C-NMR谱(100 MHz, 10⁻⁶)数据

Tab. 2 ¹³C-NMR(100 MHz, 10⁻⁶) spectral data of compounds 8-11

序号	8	9	10	11
2	154.2 d	152.9 d	153.2 d	80.5 d
3	123.0 s	125.4 s	125.3 s	44.6 t
4	181.6 s	175.7 s	175.7 s	190.6 s
5	163.8 s	128.3 d	121.9 d	129.4 d
6	99.9 d	116.0 d	115.6 d	103.6 d
7	165.4 s	164.2 s	155.4 s	165.3 s
8	94.5 d	123.0 d	146.3 s	111.2 d
9	159.0 s	128.6 s	151.2 s	164.5 s
10	106.0 s	118.0 s	119.2 s	115.1 s
1'	124.0 s	124.7 s	124.7 s	131.2 s
2'	131.1 d	130.9 d	131.0 d	128.9 d
3'	115.9 d	114.3 d	114.3 d	116.1 d
4'	158.4 s	160.0 s	160.4 s	158.6 s
5'	115.9 d	114.3 d	114.3 d	116.1 d
6'	131.1 d	130.9 d	131.0 d	128.9 d
-OCH ₃		55.3	55.5,	61.6

化合物9, C₁₆H₁₂O₄, 淡黄色粉末, 产出率: 2 × 10⁻⁴%, ¹H-NMR (CO(CD₃)₂) δ: 7.42(2H, d, J = 8.5 Hz, H-3', H-5'), 8.13(2H, d, J = 8.5 Hz, H-2', H-6'), 8.79(1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 7.31(1H, d, J = 8.1 Hz, H-6), 7.56(1H, d, J = 2.8 Hz, H-8), 8.51(1H, s, H-2); 相应的¹³C-NMR(CO(CD₃)₂)信号如表2. 综合上述数据与文献对照, 确定化合物9为 formononetin^[15].

化合物10, C₁₇H₁₄O₅, 淡黄色粉末, 产出率: 5 × 10⁻⁵%, FAB⁺-MS m/z (%): 299[M + H]⁺(100); ¹H-NMR (CO(CD₃)₂) δ: 6.97(2H, dd, J = 2.1/6.8 Hz, H-3', H-5'), 7.55(2H, dd, J = 2.1/6.8 Hz, H-2', H-6'), 7.80(1H, d, J = 8.8 Hz, H-5), 7.03(1H, d, J = 8.8 Hz, H-6), 8.26(1H, s, H-2), 3.95, 3.74 (each 3H, s, 2 × OCH₃); 相关的¹³C-NMR(CO(CD₃)₂)的图谱数据如表2. 基于上述数据确定化合物10为 7-hydroxy-4',8-dimethoxyisoflavone^[16].

化合物11, C₁₅H₁₂O₄, 淡黄色粉末, 产出率: 1 ×

(1H, d, $J = 2.2$ Hz, H - 8), 5.43 (1H, dd, $J = 2.8/13$ Hz, H - 2), 2.66 (1H, dd, $J = 2.7/16$ Hz, H - 3a), 3.05 (1H, d, $J = 13$ Hz, H - 3b); ^{13}C -NMR (CO(CD₃)₂) 的图谱数据如表2. 依据以上光谱数据, 鉴定化合物11为文献报道的4',7-二羟基黄酮^[12].

化合物12, C₃₀H₃₂O₉, 无色方晶(甲醇), 产出率: $1 \times 10^{-4}\%$, ^1H -NMR (CDCl₃) δ : 1.37 (3H, s, Me - 18), 1.18 (3H, d, $J = 7.1$ Hz, Me - 17), 3.30, 3.57, 3.88, 3.90 (each 3H, s, 4 \times -OCH₃), 5.77, 5.64 (each 1H, -OCH₂O-), 5.82 (1H, s, H - 6), 2.08 - 2.14 (1H, m, H - 8), 2.20 - 2.32 (1H, m, H - 9 α), 2.32 - 2.38 (1H, m, H - 9 β), 6.59 (1H, s, H - 4), 6.82 (1H, s, H - 11), 7.26 - 7.52 (5H, m) [Ph - C = O -]; ^{13}C -NMR (CDCl₃) δ : 141.1 (s, C - 1), 135.1 (s, C - 2), 148.8 (s, C - 3), 102.4 (d, C - 4), 129.3 (s, C - 5), 84.8 (s, C - 6), 72.2 (s, C - 7), 42.7 (d, C - 8), 36.4 (t, C - 9), 134.1 (s, C - 10), 109.9 (d, C - 11), 152.2 (s, C - 12), 140.2 (s, C - 13), 151.9 (s, C - 14), 122.2 (s, C - 15), 121.0 (s, C - 16), 18.9 (q, C - 17), 28.1 (q, C - 18), 100.4 (t, -OCH₂O-), 60.8, 60.7, 58.6, 55.9 (each q, 4 \times -OCH₃), 164.8 (s, OCO - Ph), 130.3 (s, C - 1'), 129.5 (d, C - 2', C - 6'), 127.8 (d, C - 3', C - 5'), 132.9 (d, C - 4'). 根据以上数据与参考文献对照, 确定化合物12为 schisantherin A^[17].

化合物13, C₂₉H₄₈O₂, 白色针晶(甲醇), 产出率: $2.67 \times 10^{-4}\%$, ^1H -NMR (CDCl₃) δ : 3.67 (1H, m, H - 3), 5.69 (1H, s, H - 6), 0.68 (3H, s, Me - 18), 1.20 (3H, s, Me - 19), 0.93 (3H, d, $J = 6.4$ Hz, Me - 21), 0.80 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, Me - 26), 0.83 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, Me - 27), 0.85 (3H, d, $J = 7.8$ Hz, Me - 29); ^{13}C -NMR (CDCl₃) δ : 36.1 (t, C - 1), 31.1 (t, C - 2), 70.4 (d, C - 3), 41.8 (t, C - 4), 165.4 (s, C - 5), 126.0 (d, C - 6), 202.5 (s, C - 7), 45.4 (d, C - 8), 49.9 (d, C - 9), 38.4 (s, C - 10), 21.2 (t, C - 11), 38.7 (t, C - 12), 42.9 (s, C - 13), 49.9 (d, C - 14), 26.1 (t, C - 15), 28.5 (t, C - 16), 54.7 (d, C - 17), 11.9 (q, C - 18), 17.3 (q, C - 19), 36.3 (d, C - 20), 18.9 (q, C - 21), 33.9 (t, C - 22), 26.3 (t, C - 23), 45.8 (d, C - 24), 29.1 (d, C - 25), 19.8 (q, C - 26), 19.0 (q, C - 27), 23.0 (t, C - 28), 11.9 (q, C - 29). FAB + -MS m/z (%): 429 [M + H]⁺ (100). 基于上述光谱数据与参考文献对照^[18], 确定化合物13为7-oxositosterol.

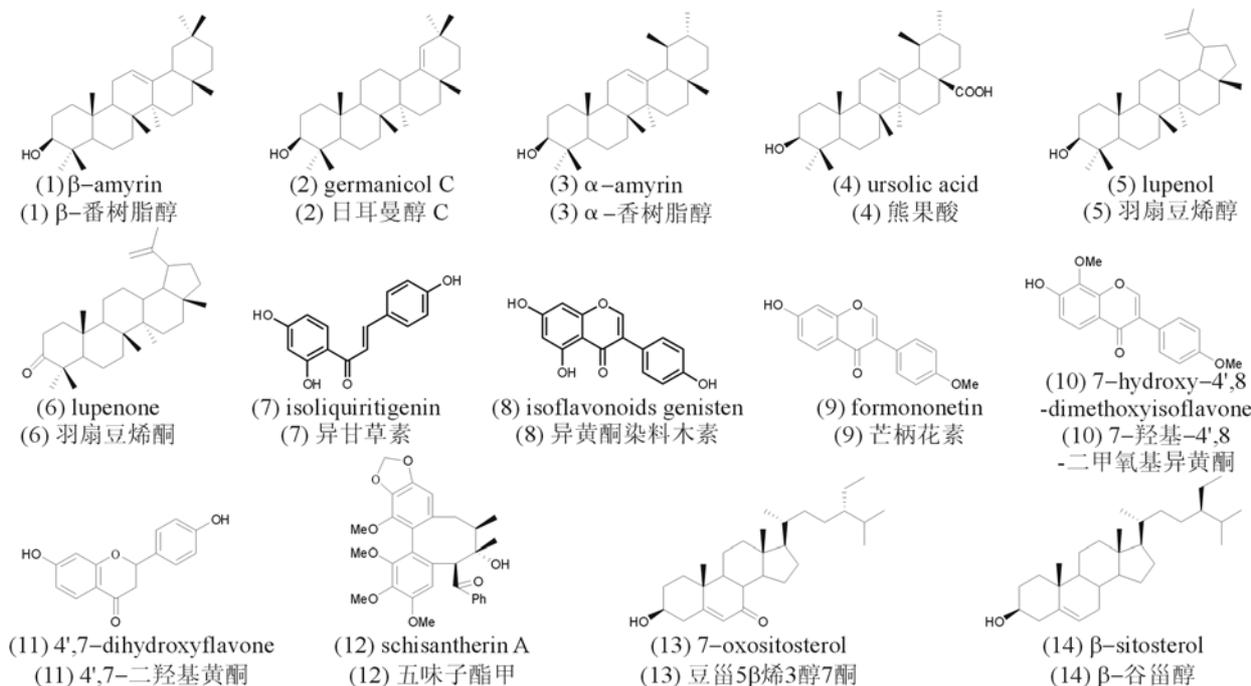


图1 从凤庆鸡血藤茎藤中分离得到的化合物
Fig.1 Compounds isolated from *Kadsura interior*

化合物14, 白色针晶(甲醇), 产出率: $1.55 \times 10^{-3}\%$, 与 β -sitosterol 标准品共薄层, 两者的比移值 (R_f) 完全相同, 故鉴定该化合物为 β -sitosterol.

参考文献:

- [1] 陈道峰. 南五味子属药用植物的化学成分及生物活[J]. 中国天然药物, 2007, 5(1): 15 - 19.
- [2] 丁智慧, 罗士德. 内南五味子的化学成分研究[J]. 化学学报, 1990, 48(11): 1075 - 1079.
- [3] Lu Y, Chen D F. Kadsutherin A - C: Three new dibenzocyclooctane lignans from the stems of *Kadsura speice*[J]. *Helvetica chimica acta*, 2006, 89: 895 - 901.
- [4] Jia Zh W, Liao Zh X, Chen D F. Two new dibenzocyclooctane lignans from the water extract of *Kadsura spp*[J]. *Helvetica chimica acta*, 2005, 88: 2288 - 2293. [5] Chen D F, Zhang S X, Chen K, et al. Two New Lignans Interiotherins A and B as Anti - HIV Principles from *Kadsura interior*[J]. *J. Nat. Prod.*, 1996, 59(11): 1066 - 1068.
- [6] Chen D F, Zhang S X, Xie L, et al. Anti - AIDS Agents - XXVI Structure activity Correlations of GomisinG Related Anti - HIV Lignans from *Kadsura interior* and of Related Synthetic Analogs[J]. *Bioorg Med Chem*, 1997, 5(8): 1715 - 1723.
- [7] Chen D F, Zhang S X, Kozuka M, et al. Interiotherins C and D, Two New Lignans from *Kadsura interior* and Antitumor - promoting Effects of Related Neolignans on Epstein Barr Virus Activation[J]. *J. Nat. Prod.*, 2002, 65(7): 1242 - 1245.
- [8] Knight S A. Carbon - 13 NMR spectra of some tetra - and pentacyclic triterpenoids[J]. *Organic Magnietic Resonance*, 1974, 6: 603 - 611.
- [9] Antonio G G, Braulio M F, et al. ¹³ C NMR spectra of olean - 18 - ene derivatives[J]. *Phytochemistry*, 1981, 20(8): 1919 - 1921.
- [10] 戴胜军. 烈香杜鹃和光叶桑化学成分及生物活性的研究[D]. 北京: 中国协和医科大学, 2005.
- [11] 杨淑敏. 水杨柳根的化学成分[J]. 药学学报, 2007, 42(3): 292 - 296.
- [12] 于德泉, 杨峻山. 分析化学手册(第七分册 - 核磁共振波谱分析)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [13] Markham K R. ¹³ C NMR of flavonoids - II flavonoids other then flavone and flavonol aglycones[J]. *Tetrahedron*, 1976, 32: 2607 - 2612.
- [14] Innocento. Anyanwuraku, Eric Zirbes, et al. Isoflavonoids from Streptomycetes: Origins of Genistein, 8 - Chlorogenistein and 6,8 - Dichlorogenistein[J]. *J. Nat. Prod.* 1992, 55(10): 1498 - 1504.
- [15] Eranest W, Hugo E G. Carbon - 13 nuclear magnetic resonance spectroscopy of flavonoid and isoflavonoid compounds[J]. *Phytochemistry*, 1977, 16(11): 1811 - 1816.
- [16] Chen C C, Chen Y L, Yu H P, et al. A study of the constituents of *Millettia reticulata*[J]. *Taiwan Yaoxue Zazhi*, 1983, 35(1): 89 - 93.
- [17] 李玉林, 廖志新. 急弯棘豆化学成分的研究[J]. 中草药, 1998, 29(3): 149 - 150.
- [18] Greca M D, Monaco P, et al. Stigmasterols from *Typha latifolia*[J]. *J Nat Prod*, 1990, 53(6): 1430 - 1435.

(上接第 67 页)

2) 投加硅藻土在一定程度上也可以改善污泥的脱水性能, 虽然调理效果比粉煤灰略差, 但投加 26 g/100 mL 时, 也可以使污泥比阻值下降 95.5%.

3) 粉煤灰与硅藻土 1:1 联合投加效果与单独投加硅藻土相近, 最佳投药量在 22 g/100 mL, 可使污泥比阻值下降 94.0%, 泥饼含水率的变化范围在 55% ~ 60% 之间.

本次实验采用粉煤灰、硅藻土以及按照 1:1 比例同时投加的方法对污泥脱水性能进行调理. 虽然联合投加的调理效果并不理想(较差于粉煤灰的单独投加), 但它为我们提供了一种思路, 即对污泥的调理可以考虑更多种的加药方案, 如可考虑将煤屑、木屑等加入待脱水污泥中, 研究其脱水性能变化等, 这为找到适合某种污泥较为经济的脱水方案提供依据. 但是, 粉煤灰以及硅藻土的添加会增加待处理的污泥量, 给污泥的处置带来新问题. 研究表明: 污泥与普通土壤混合, 可以使小白菜的出芽时间由 3 ~ 4 d 缩短为 2 d, 且随着脱水污泥添加比例的增加, 最终小白菜的重量也随之增加, 这说明污泥中的营养物质对植物的生长是十分有利的. 若将其应用到景观类等观赏性植物的栽种, 会给解决大量污泥的处置问题带来希望.

参考文献:

- [1] 温琰茂, 韦照韬. 广州市污泥和土壤重金属含量及其有效性研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1996, 35(增刊): 219.
- [2] 杨艳琼, 廉文君, 袁莹, 等. 硅藻土处理废水的应用研究[J]. 云南化工, 2007, 2(34): 47 - 49.
- [3] 张望军. 硅藻土处理城市生活污水可行性探讨[J]. 西南给排水, 2003, 24(2): 9 - 11.
- [4] 何晶晶, 顾国维, 李笃中. 城市污泥处理与利用[J]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] 赵庆祥. 污泥资源化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] 王静, 宋存义, 孙文亮, 等. 添加粉煤灰对污泥比阻影响研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(3): 65 - 67.