

苏木种子的化学成分研究

周兴杨^{1,2}, 孙晓波², 许旭东², 李叶丹¹, 张洪洋¹, 王云卿³, 王亚芸², 代华年², 杨峻山², 马国需^{2*}

1. 哈尔滨商业大学 生命科学与环境科学研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076

2. 中国医学科学院 北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193

3. 广西师范学院化学与材料科学学院, 广西 南宁 530001

摘要: 目的 研究苏木 *Caesalpinia sappan* 种子的化学成分。方法 采用柱色谱方法对苏木种子 95% 甲醇提取物进行分离纯化, 结合波谱技术与化学方法进行结构鉴定。结果 从苏木种子 95% 甲醇提取物中分离得到了 14 个化合物, 结构鉴定为 phanginin F (1)、phanginin G (2)、phanginin H (3)、phanginin I (4)、phanginin J (5)、phanginin K (6)、phanginin L (7)、phanginin M (8)、柚皮素 (9)、homoeriodictyol (10)、steraric acid (11)、1*H*-azirino [1,2-*a*] indole (12)、serlyticin A (13)、山柰酚 (14)。结论 化合物 9~14 为首次从云实属植物中分离得到。

关键词: 云实属; 苏木; 柚皮素; serlyticin A; 山柰酚

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2016)10-1653-04

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2016.10.004

Chemical constituents from seeds of *Caesalpinia sappan*

ZHOU Xing-yang^{1, 2}, SUN Xiao-bo², XU Xu-dong², LI Ye-dan¹, ZHANG Hong-yang¹, WANG Yun-qing³, WANG Ya-yun², DAI Hua-nian², YANG Jun-shan², MA Guo-xu²

1. Center of Research and Development on Life Sciences and Environment Sciences, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China

2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

3. College of Chemistry and Materials Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents from the seeds of *Caesalpinia sappan*. **Methods** The constituents were isolated and purified by silica gel chromatography repeatedly from the seeds of *C. sappan*, and the structures were identified by spectral analysis and chemical methods. **Results** Fourteen compounds were isolated from the seeds of *C. sappan* and the structures were identified as phanginin F (1), phanginin G (2), phanginin H (3), phanginin I (4), phanginin J (5), phanginin K (6), phanginin L (7), phanginin M (8), naringenin (9), homoeriodictyol (10), steraric acid (11), 1*H*-azirino [1,2-*a*] indole (12), serlyticin A (13), and kaempferol (14). **Conclusion** Compounds 9~14 are obtained from the seeds of *C. sappan* and the plants of *Caesalpinia* Linn. for the first time.

Key words: *Caesalpinia* Linn.; *Caesalpinia sappan* Linn.; naringenin; serlyticin A; kaempferol

苏木 *Caesalpinia sappan* Linn. 是豆科 (Leguminosae) 云实属 *Caesalpinia* Linn. 植物苏木的干燥心材, 又名苏枋、芳方木、苏方。原产印度、缅甸、越南、马来半岛及斯里兰卡, 我国云南、贵州、广东、广西、福建和台湾省有栽培^[1-2]。苏木心材入药, 多于秋季采伐, 除去白色边材, 干燥, 即得。性甘、咸、平, 归心、肝、脾经, 具有活血祛

瘀、消肿止痛的作用, 用于跌打损伤、骨折筋伤、瘀滞肿痛、经闭痛经、产后瘀阻、胸腹刺痛、痈疽肿痛症状^[3]。近年来大量药理及临床研究证实, 苏木在细胞和分子水平均有免疫抑制作用, 另外还有抗炎、改善微循环、抗氧化等作用^[4-5]。此外, 苏木作为天然色素, 广泛应用于食品、日化、皮革及织物染色等行业, 在病理实验中还被用作细胞组织切

收稿日期: 2015-12-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81502945); 协和医学院青年基金 (3332015141)

作者简介: 周兴杨 (1991—), 女, 黑龙江牡丹江人, 哈尔滨商业大学硕士, 研究方向为天然产物提取与分离。

Tel: 13126505073 E-mail: 1569770147@qq.com

*通信作者 马国需 (1987—), 男, 北京人, 助理研究员, 博士, 主要从事中药及天然药物研究与开发。E-mail: gxma@implad.ac.cn

片的染色剂^[6]。至今,国内外学者从苏木中分离得到了近百种化合物,包括高异黄酮类、黄酮类等多种结构类型,研究较为深入^[7]。然而,有关苏木种子的研究报道颇为少见,因此,本课题组选择苏木种子为研究对象,对其95%甲醇提取物进行系统研究,从中分离得到14个化合物,分别鉴定为phanginin F(1)、phanginin G(2)、phanginin H(3)、phanginin I(4)、phanginin J(5)、phanginin K(6)、phanginin L(7)、phanginin M(8)、柚皮素(naringenin, 9)、homoeriodictyol(10)、steraric acid(11)、1*H*-azirino [1,2-*a*] indole(12)、serlyticin A(13)、山柰酚(kaempferol, 14)。化合物9~14为首次从云实属植物中分离得到。

1 仪器与材料

BrukerAvance III 600 型核磁共振波谱仪(德国 Bruker 公司),赛默飞世尔 LTQ-Orbitrap XL 液质联用仪(美国 Thermo Fisher 公司),柱色谱硅胶(青岛海洋化工有限公司),柱色谱薄层色谱用硅胶 G、H、GF₂₅₄, Sephadex LH-20 凝胶(Pharmaciagongsi 公司),MCI(日本三菱化学公司),常规试剂均为分析纯。

苏木药材采集于广西南宁市,经广西药用植物园袁经权研究员鉴定为苏木 *Caesalpinia sappan* Linn. 干燥种子。样品(130854)保存于广西药用植物园。

2 提取与分离

苏木种子 5.0 kg,经过干燥粉碎,加入 95% 甲醇(约 20 L)加热回流提取 3 次,每次 3 h,合并提取液,减压浓缩得到总浸膏 1 267 g。苏木种子总浸膏用适量水进行分散处理后,分别用石油醚(60~90 °C)、氯仿、醋酸乙酯、正丁醇各萃取 3 次,每次 2 L,将萃取液减压浓缩至干,称量得石油醚部位总浸膏 374 g、氯仿部位总浸膏 201 g、醋酸乙酯部位总浸膏 56 g、正丁醇部位总浸膏 329 g。

对氯仿部位总浸膏 201 g 进行硅胶柱色谱分离,氯仿-甲醇(1:0→1:1)梯度洗脱,得到 11 个流分 Fr. SC1~SC11,对 Fr. SC4(12.4 g,氯仿-甲醇 1:0 部位)进行硅胶柱色谱反复分离纯化得到化合物 1(6.3 mg)、11(12.1 mg)、12(8.4 mg),对 Fr. SC5(8.7 g,氯仿-甲醇 100:1 部位)进行硅胶柱色谱反复分离纯化得到化合物 2(16.3 mg)、3(10.1 mg)、4(11.7 mg)、5(4.3 mg)、6(7.5 mg) 13(14.7 mg),对 Fr. SC6(5.3 g,氯仿-甲醇 80:1 部位)进行硅

胶柱色谱反复分离纯化得到化合物 14(19.4 mg),对 Fr. SC7(14.1 g,氯仿-甲醇 60:1 部位)进行硅胶柱色谱反复分离纯化得到化合物 7(2.6 mg)、8(7.4 mg)、9(3.7 mg)、10(2.1 mg)。

3 结构鉴定

化合物 1:白色粉末,易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 399 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 0.96 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 4.07, 4.22 (2H, d, $J = 12.0$ Hz, H-19), 5.47 (1H, s, H-20), 6.22 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.35 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.68 (3H, s, 18-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 33.9 (C-1), 20.4 (C-2), 37.7 (C-3), 45.0 (C-4), 46.3 (C-5), 23.8 (C-6), 28.2 (C-7), 38.5 (C-8), 43.4 (C-9), 40.9 (C-10), 71.1 (C-11), 147.9 (C-12), 129.0 (C-13), 31.8 (C-14), 109.2 (C-15), 143.2 (C-16), 14.0 (C-17), 174.4 (C-18), 70.0 (C-19), 104.6 (C-20), 51.6 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8],故鉴定化合物 1 为 phanginin F。

化合物 2:白色粉末,易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 383 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 0.94 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 1.25 (3H, s, H-19), 5.52 (1H, s, H-20), 6.23 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.33 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.69 (3H, s, 18-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 36.0 (C-1), 19.0 (C-2), 37.1 (C-3), 48.1 (C-4), 48.5 (C-5), 24.8 (C-6), 29.9 (C-7), 38.2 (C-8), 48.7 (C-9), 47.9 (C-10), 69.3 (C-11), 147.0 (C-12), 128.0 (C-13), 32.2 (C-14), 109.3 (C-15), 142.8 (C-16), 14.4 (C-17), 179.0 (C-18), 17.3 (C-19), 103.3 (C-20), 51.9 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8],故将化合物 2 鉴定为 phanginin G。

化合物 3:白色粉末,易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 367 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 0.97 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 0.99 (3H, s, H-19), 5.52 (1H, s, H-20), 3.92, 3.97 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-20), 6.23 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.31 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.69 (3H, s, 18-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 36.0 (C-1), 18.3 (C-2), 36.8 (C-3), 47.6 (C-4), 47.5 (C-5), 25.0 (C-6), 30.1 (C-7), 37.1 (C-8), 49.4 (C-9), 45.9 (C-10), 68.7 (C-11), 148.3 (C-12), 127.3 (C-13), 32.2 (C-14), 109.1 (C-15), 142.8 (C-16), 14.7 (C-17), 178.5 (C-18), 15.8 (C-19), 70.3 (C-20), 51.9 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8],

故将化合物 **3** 鉴定为 phanginin H。

化合物 **4**: 白色粉末, 易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 367 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.00 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 1.04 (3H, s, H-19), 10.2 (1H, s, H-20), 6.15 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.19 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.69 (3H, s, 18-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 31.9 (C-1), 18.3 (C-2), 36.6 (C-3), 51.4 (C-4), 49.9 (C-5), 23.1 (C-6), 30.8 (C-7), 36.7 (C-8), 44.4 (C-9), 47.3 (C-10), 23.0 (C-11), 148.3 (C-12), 122.3 (C-13), 31.5 (C-14), 109.4 (C-15), 140.7 (C-16), 16.7 (C-17), 178.2 (C-18), 15.8 (C-19), 208.4 (C-20), 51.9 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8], 故将化合物 **4** 鉴定为 phanginin I。

化合物 **5**: 白色粉末, 易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 381 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.00 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 9.68 (1H, s, H-19), 9.98 (1H, s, H-20), 6.16 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.19 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.77 (3H, s, 18-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 31.8 (C-1), 19.0 (C-2), 30.6 (C-3), 60.7 (C-4), 48.1 (C-5), 23.1 (C-6), 31.1 (C-7), 36.7 (C-8), 44.1 (C-9), 50.8 (C-10), 23.2 (C-11), 147.8 (C-12), 122.4 (C-13), 31.5 (C-14), 109.4 (C-15), 140.7 (C-16), 17.1 (C-17), 173.2 (C-18), 198.5 (C-19), 206.4 (C-20), 52.7 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8], 故将化合物 **5** 鉴定为 phanginin J。

化合物 **6**: 白色粉末, 易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 411 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.01 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 10.04 (1H, s, H-20), 6.17 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.21 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.70 (3H, s, 18-OCH₃), 3.74 (3H, s, 19-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 32.3 (C-1), 20.0 (C-2), 34.1 (C-3), 58.7 (C-4), 50.1 (C-5), 24.1 (C-6), 31.2 (C-7), 36.9 (C-8), 44.2 (C-9), 51.4 (C-10), 23.5 (C-11), 148.1 (C-12), 122.4 (C-13), 31.5 (C-14), 109.4 (C-15), 140.7 (C-16), 17.1 (C-17), 171.2 (C-18), 172.8 (C-19), 206.4 (C-20), 52.1 (18-OCH₃), 52.7 (19-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[8], 故将化合物 **6** 鉴定为 phanginin K。

化合物 **7**: 白色粉末, 易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 425 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.00 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 1.07 (3H, s, H-19), 10.2 (1H, s, H-20), 1.98 (3H, s, 3-OAc), 6.15 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.20 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.70

(3H, s, 18-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 32.3 (C-1), 23.8 (C-2), 76.2 (C-3), 51.9 (C-4), 50.2 (C-5), 22.6 (C-6), 30.6 (C-7), 36.6 (C-8), 44.2 (C-9), 50.8 (C-10), 23.2 (C-11), 147.8 (C-12), 122.4 (C-13), 31.5 (C-14), 109.4 (C-15), 140.9 (C-16), 17.0 (C-17), 175.5 (C-18), 11.0 (C-19), 207.2 (C-20), 52.4 (18-OCH₃), 21.0, 169.9 (3-OAc)。以上数据与文献报道一致^[9], 故将化合物 **7** 鉴定为 phanginin L。

化合物 **8**: 白色粉末, 易溶于氯仿、甲醇。ESI-MS m/z : 395 $[M+Na]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.05 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 9.92 (1H, s, H-19), 6.27 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-15), 7.38 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-16), 3.74 (3H, s, 18-OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 29.9 (C-1), 18.8 (C-2), 29.5 (C-3), 59.8 (C-4), 45.7 (C-5), 26.0 (C-6), 32.6 (C-7), 38.7 (C-8), 45.7 (C-9), 49.2 (C-10), 69.3 (C-11), 144.5 (C-12), 131.0 (C-13), 31.9 (C-14), 109.4 (C-15), 144.3 (C-16), 15.0 (C-17), 173.7 (C-18), 195.3 (C-19), 176.7 (C-20), 52.7 (18-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[9], 故将化合物 **8** 鉴定为 phanginin M。

化合物 **9**: 淡黄色粉末, 易溶于甲醇。ESI-MS m/z : 273 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 2.64 (1H, dd, $J = 18.0, 3.6$ Hz, H-3), 2.95 (1H, dd, $J = 18.0, 12.6$ Hz, H-3), 5.26 (1H, dd, $J = 12.6, 3.6$ Hz, H-2), 6.28 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-6), 6.34 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-8), 6.81 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-3', 5'), 7.30 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2', 6')。以上数据与文献报道一致^[10], 故将化合物 **9** 鉴定为柚皮素。

化合物 **10**: 淡黄色粉末, 易溶于甲醇。ESI-MS m/z : 303 $[M+H]^+$ 。 1H -NMR (600 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 2.72 (1H, dd, $J = 18.0, 3.6$ Hz, H-3), 3.01 (1H, dd, $J = 18.0, 12.6$ Hz, H-3), 5.32 (1H, dd, $J = 12.6, 3.6$ Hz, H-2), 6.28 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-6), 6.34 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-8), 6.87 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-2'), 6.72 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5'), 6.75 (1H, dd, $J = 8.4, 1.2$ Hz, H-6'), 3.68 (3H, s, 5'-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[11], 故将化合物 **10** 鉴定为 homoeriodictyol。

化合物 **11**: 无色粉末, EI-MS m/z : 284 $[M]^+$, 241, 285 (22), 129 (51), 115 (16)。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 0.88 (3H, dd, $J = 5.4, 6.8$ Hz, H-18), 2.34 (2H, t, $J = 7.2$ Hz, H-2), 1.64 (2H, m, H-3), 1.25~1.31 (28H, m, H-4~17); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 14.1 (C-18), 22.7 (C-17), 24.7 (C-3), 29.1,

29.2, 29.4, 29.4, 29.6, 29.7 (C-15), 31.9 (C-16), 33.9 (C-2), 179.5 (C-1)。以上数据与文献报道一致^[12], 故将化合物 **11** 鉴定为 *steraric acid*。

化合物 **12**: 淡黄色粉末, 易溶于氯仿。ESI-MS m/z : 152 $[M+Na]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 6.38 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-3), 6.53 (1H, m, H-4), 6.92 (1H, m, H-5), 7.08 (1H, d, $J=7.8$ Hz, H-6), 5.69 (1H, s, H-1), 3.73 (2H, s, H-9); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 118.7 (C-1), 150.4 (C-2), 113.4 (C-3), 128.8 (C-4), 117.1 (C-5), 127.2 (C-6), 98.1 (C-7), 139.7 (C-8), 50.8 (C-9)。以上数据与文献报道一致^[13], 故将化合物 **12** 鉴定为 *1H-azirino [1,2-a] indole*。

化合物 **13**: 淡黄色粉末, 易溶于氯仿, 甲醇。ESI-MS m/z : 381 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 3.68 (2H, s, H-2), 7.14 (1H, s, H-3), 7.54 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-6), 6.99 (1H, dd, $J=8.0, 8.0$ Hz, H-6), 7.07 (1H, dd, $J=8.0, 8.0$ Hz, H-7), 7.33 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 177.5 (C-1), 32.8 (C-2), 124.4 (C-3), 109.6 (C-4), 128.8 (C-4a), 119.5 (C-5), 119.7 (C-6), 122.3 (C-7), 112.1 (C-8), 138.0 (C-8a)。以上数据与文献报道一致^[14], 故将化合物 **13** 鉴定为 *serlyticin A*。

化合物 **14**: 黄色粉末, 易溶于甲醇。ESI-MS m/z : 287 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.19 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-6), 6.44 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-8), 6.92 (2H, d, $J=9.6$ Hz, H-3', 5'), 8.03 (2H, d, $J=9.6$ Hz, H-2', 6'); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 146.9 (C-2), 135.8 (C-3), 176.0 (C-4), 156.3 (C-5), 98.4 (C-6), 164.0 (C-7), 93.7 (C-8), 160.8 (C-9), 103.2 (C-10), 121.8 (C-1'), 129.7 (C-2', 6'), 115.6 (C-3', 5'), 159.3 (C-4')。以上数据与文献报道一致^[15], 故将化合物 **14** 鉴定为 *山柰酚*。

参考文献

[1] 刘慧灵, 马国需, 杨峻山, 等. 苏木种子的二萜类化学

成分研究 [J]. 中草药, 2014, 45(20): 2900-2903.

- [2] 江苏新医学院. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977.
- [3] Shui S H, Deng A J, Li Z H, *et al.* Two novel biphenyldimers from the heartwood of *Caesalpinia sappan* [J]. *Fitoterapia*, 2011, 82(8): 762-766.
- [4] Hu C M, Kang J J, Lee C C, *et al.* Induction of vasorelaxation through activation of nitric oxide synthase in endothelial cells by brazilin [J]. *Eur J Pharm*, 2003, 468(1): 37-45.
- [5] 窦有业, 杜 蓉. 苏木抗肿瘤及免疫抑制作用的研究 [J]. 中国药业, 2008, 17(15): 78-79.
- [6] 赵焕新, 王元书, 刘爱芹, 等. 苏木研究进展 [J]. 齐鲁药事, 2007, 26(2): 102-105.
- [7] 王振月, 王宗权, 周亚滨, 等. 苏木化学成分的研究 (I) [J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(4): 590-593.
- [8] Yadsaoue O, Cheenpracha S, Karalai C, *et al.* Phanginin A-K, diterpenoids from the seeds of *Caesalpinia sappan* Linn [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69(5): 1242-1249.
- [9] Zhang J Y, Wu F H, Qu W, *et al.* Two new cassanediterpenoids from the seeds of *Caesalpinia sappan* Linn [J]. *Chin J Nat Med*, 2012, 10(3): 218-221.
- [10] 陈靖宇, 陈建民, 肖培根. 茵风轮的化学成分研究 [J]. 天然产物研究与开发, 1997, 9(3): 5-8.
- [11] 孔德云, 罗思齐, 李惠庭, 等. 榭寄生化学成分的研究 I [J]. 医药工业, 1987, 18(3): 123-127.
- [12] EPA/NIH. *Mass Spectral Base Data*, 4776 [M]. Washington: US Government Printing Office, 1980.
- [13] Taguri T, Yamakawa R, Adachi Y, *et al.* Improved synthesis of three methyl-branched pheromone components produced by the female lichen moth [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2010, 74(1): 119-124.
- [14] Kuo Y H, Hsu H C, Chen Y C, *et al.* A novel compound with antioxidant activity produced by *Serratia ureilytica* TKU013 [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(36): 9043-9047.
- [15] 苏 聪, 杨万青, 蒋 丹, 等. 地桃花中黄酮类成分研究 [J]. 中草药, 2015, 46(14): 2034-2039.