·基础研究·

银线草化学成分研究△

王传琦[1,2]，金新宇[1]，韩悦[1]，刘心雨[1]，柳莹[1]，庄鹏宇[1*]

1. 华北理工大学 药学院，河北　唐山　063200；

2. 唐山中心医院，河北　唐山　063200

［摘要］ **目的**：对金粟兰属植物银线草 *Chloranthus japonicus* Sieb. 全草的化学成分进行研究，以探究其药理活性物质基础。**方法**：采用硅胶、凝胶 Sephadex LH-20、半自动制备液相等色谱方法对银线草的乙酸乙酯部位进行分离纯化，通过 1D-NMR、紫外(UV)光谱、质谱(MS)技术对化合物的结构进行鉴定。**结果**：从银线草 75% 乙醇提取物的乙酸乙酯部位共分离得到 9 个化合物，分别鉴定为金合欢素(**1**)、千层纸素 A(**2**)、7*E*-3，4-二氧甲基苯并[2-苯基-胸苷](**3**)、落叶松脂素(**4**)、9α-羟基紫菀内酯(**5**)、银线草醇 B(**6**)、金粟兰素 C(**7**)、白术内酯Ⅲ(**8**)、白术内酯Ⅱ(**9**)。**结论**：化合物 **1**～**4** 为首次在金粟兰属中分离得到。

［关键词］ 银线草；金粟兰属；金合欢素；千层纸素 A；7*E*-3，4-二氧甲基苯并［2-苯基-胸苷］；落叶松脂素

［中图分类号］ R284.1　　［文献标识码］ A　　［文章编号］ 1673-4890(2021)03-0437-05

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20200423005

Study on Chemical Constituents of *Chloranthus japonicus*

WANG Chuan-qi[1,2], JIN Xin-yu[1], HAN Yue[1], LIU Xin-yu[1], LIU Ying[1], ZHUANG Peng-yu[1*]

1. *School of Pharmacy, North China University of Science and Technology, Tangshan* 063200, *China*;

2. *Tangshan Central Hospital, Tangshan* 063200, *China*

［**Abstract**］ **Objective**: To study chemical constituents of the whole plant of *Chloranthus japonicus* Sieb. and explore the basis of pharmacological substances. **Methods**: The compounds were isolated and purified by repeated silica gel, gel Sephadex LH-20 and semi-automatic preparative liquid chromatography form EtOAc extraction of *C. japonicus*. The structure of the compound was identified by 1D-NMR, UV and MS. **Results**: Nine compounds were isolated, which were identified as acacetin (**1**), 6-methoxybaicalein (**2**), 7*E*-3, 4-dioxymethylenzimtsaure-[2-phenyle-thylamid] (**3**), lariciresinol (**4**), 9α-hydroxyasterolide (**5**), shizukaol B (**6**), spicachlorantin C (**7**), atractylenolide Ⅲ (**8**), atractylenolide Ⅱ (**9**). **Conclusion**: Compounds **1**-**4** were isolated from japonicus for the first time.

［**Keywords**］ *Chloranthus japonicus* Sieb.; *Chloranthus*; acacetin; 6-methoxybaicalein; 7*E*-3, 4-dioxymethylenzimtsaure-[2-phenyle-thylamid]; lariciresinol

银线草 *Chloranthus japonicus* Sieb. 又名灯笼花、分叶芹、假细辛，为金粟兰科金粟兰属多年生草本植物。银线草产于我国吉林、辽宁、河北、山东、山西、陕西、甘肃，亦分布于俄罗斯远东地区、朝鲜、日本。其生于林下阴湿处，根状茎可提取芳香油，全株供药用，具有祛湿散寒、活血止痛、散瘀解毒等功效，用于治疗风寒咳嗽、跌打损伤、痈肿疮疖、妇女经闭等[1]。研究表明，银线草主要含有倍半萜、倍半萜多聚体和单萜类化学成分[2]。现代药理研究表明，银线草提取物具有抗菌、抗人免疫缺陷病毒(HIV)和抗炎等生物活性[3]。本研究对银线草化学成分进行分离与鉴定，从银线草 75% 乙醇提取物的乙酸乙酯部位共分离得到 9 个化合物，分别鉴定为金合欢素(**1**，acacetin)、千层纸素 A

△［基金项目］ 河北省自然科学基金项目(H2015209094，H2014209241)

*［通信作者］ 庄鹏宇，副教授，研究方向：药物化学(包括天然药物化学)；Tel：(0315)8805808，E-mail：zhuangpengyu@ncst.edu.com

（**2**，6-methoxybaicalein）、7*E*-3，4-二氧甲基苯并[2-苯基-胸苷]｛**3**，7*E*-3，4-dioxymethylenzimtsaure-[2-phenyle-thylamid]｝、落叶松脂素（**4**，lariciresinol）、9α-羟基紫菀内酯（**5**，9α-hydroxyasterolide），银线草醇 B（**6**，shizukaol B）、金粟兰素 C（**7**，spicachlorantin C）、白术内酯Ⅲ（**8**，atractylenolide Ⅲ）、白术内酯Ⅱ（**9**，atractylenolide Ⅱ）。其中，化合物 **1**～**4** 为首次在金粟兰属中分离得到。

1　材料

1.1　试药

银线草的全草采自陕西省安康市宁陕县，经华北理工大学药学院庄鹏宇副教授鉴定为 *Chloranthus japonicus* Sieb.，样品留样保存于华北理工大学药学院天然药物研究室（标本号：ID2016-1）。

硅藻土（烟台化学研究所）；75% 乙醇、无水乙醇、石油醚、乙酸乙酯、二氯甲烷、甲醇、乙腈（天津天力化学试剂公司）；纯净水（杭州娃哈哈集团有限公司）。

1.2　仪器

JASCO-V650 型紫外分析仪（北京金先锋光电科技有限公司）；1260 型分析型高效液相色谱仪（美国 Agilent 公司）；6AT 型半自动制备型高效液相色谱仪（日本岛津公司）；Avance ⅡHD 600 型核磁共振仪（德国 Bruker 公司）；柱色谱硅胶 400～500 目、薄层色谱硅胶 H（青岛海洋化工有限公司）。

2　提取与分离

银线草全草（4 kg）干燥粉碎，用 75% 乙醇水回流提取（8 倍量溶剂，回流 4 h，2 次），40 ℃减压干燥得到 48 g 浸膏。浸膏用甲醇复溶吸附于等量的硅藻土上并完全干燥，依次用石油醚、乙酸乙酯进行洗脱（4 次），分别得到石油醚洗脱部分 720 g 和乙酸乙酯洗脱部分 700 g。取乙酸乙酯洗脱部分进行硅胶柱色谱分离，洗脱剂为二氯甲烷-甲醇，梯度洗脱（100∶0→0∶100），根据薄层色谱检测结果进行相似成分合并，得到 YEA～YEF 5 个组分。YEA 经过凝胶柱色谱纯化，甲醇-水（30∶70）洗脱，得到化合物 **1**（12.5 mg）和 **2**（6.1 mg）；YEB 经过硅胶柱色谱（石油醚-乙酸乙酯，10∶1）洗脱，得到化合物 **3**（5.2 mg）和 **4**（7.6 mg）；YEC 经过硅胶柱色谱（石油醚-乙酸乙酯，5∶1）洗脱，得到化合物 **5**（20.6 mg）和 **6**（40.8 mg）；YED 经过凝胶柱色谱（二氯甲烷-石油醚-甲醇，4∶4∶1）洗脱，得到化合物 **7**（25.6 mg）。化合物 **7** 母液经半自动制备液相纯化（乙腈-水，45∶55）得到化合物 **8**（5.2 mg）和 **9**（2.3 mg）。

3　结果

化合物 **1**：黄色粉末，ESI-MS *m/z* 285 $[M+H]^+$，提示分子式为 $C_{16}H_{12}O_5$；^{1}H-NMR（600 MHz，$CDCl_3$）δ：7.28（1H，s，H-3），6.47（1H，s，H-6），6.72（1H，s，H-8），7.58（2H，d，*J* = 7.3 Hz，H-2′，6′），7.94（2H，d，*J* = 7.3 Hz，H-13，15），3.91（3H，s，OMe）；^{13}C-NMR（150 MHz，$CDCl_3$）δ：157.8（C-2），105.9（C-3），182.5（C-4），155.3（C-5），131.3（C-6），163.6（C-7），98.9（C-8），148.9（C-9），105.3（C-10），126.9（C-1′），129.3（C-2′），126.2（C-3′），132.0（C-4′），126.2（C-5′），129.3（C-6′），62.1（C-OMe）。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **1** 为金合欢素[4]。

化合物 **2**：黄色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 285 $[M+H]^+$，提示分子式为 $C_{16}H_{12}O_5$；^{1}H-NMR（600 MHz，$CDCl_3$）δ：6.72（1H，s，H-3），6.48（1H，s，H-8），7.96～7.92（2H，m，H-12，16），7.59（3H，dq，*J* = 8.7，6.8 Hz，H-13～15），4.07（3H，s，OMe）；^{13}C-NMR（150 MHz，$CDCl_3$）δ：163.6（C-2），105.9（C-3），182.5（C-4），155.4（C-5），98.9（C-6），157.8（C-7），126.2（C-8），148.9（C-9），105.3（C-10），129.3（C-1′），131.3（C-2′），126.9（C-3′），132.0（C-4′），126.9（C-5′），131.3（C-6′），62.1（OMe）。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **2** 为千层纸素 A[5]。

化合物 **3**：白色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 296 $[M+H]^+$，提示分子式为 $C_{18}H_{17}NO_3$；^{1}H-NMR（600 MHz，$CDCl_3$）δ：7.52（1H，d，*J* = 15.4 Hz，H-1），6.15（1H，d，*J* = 15.4 Hz，H-2），3.69～3.60（2H，m，H-4），2.88（2H，t，*J* = 6.8 Hz，H-5），6.96（2H，d，*J* = 8.7 Hz，H-2′），6.78（1H，d，*J* = 7.8 Hz，H-5′），6.96（2H，d，*J* = 8.7 Hz，H-6′），7.28～7.19（4H，m，H-2″，3″，5″，6″），7.32（1H，dd，*J* = 8.3，6.9 Hz，H-4″），5.63（1H，d，*J* = 6.1 Hz，NH），5.97（2H，d，*J* = 1.3 Hz，OCH_2O）；

^{13}C-NMR(150 MHz, $CDCl_3$)δ: 140.9(C-1), 118.5(C-2), 166.1(C-3), 40.8(C-4), 35.7(C-5), 126.6(C-1′), 109.7(C-2′), 149.1(C-3′), 150.6(C-4′), 111.1(C-5′), 122.0(C-6′), 139.0(C-1″), 127.8(C-2″), 128.8(C-3″), 126.6(C-4″), 128.7(C-5″), 127.8(C-6″), 56.0(OMe), 55.9(OMe)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **3** 为 7*E*-3，4-二氧甲基苯并［2-苯基-胸苷］[6]。

化合物 **4**：白色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 361［M + H］$^+$，提示分子式为 $C_{20}H_{24}O_6$；^{1}H-NMR(600 MHz, $CDCl_3$) δ: 2.57 (1H, dd, *J* = 13.7, 10.7 Hz, H-7α), 2.94(1H, dd, *J* = 13.7, 5.2 Hz, H-7β), 2.81 ~ 2.70 (1H, m, H-8), 3.78 (2H, ddd, *J* = 14.7, 9.6, 6.3 Hz, H-9α, 9′α), 4.07 (1H, dd, *J* = 8.6, 6.6 Hz, H-9β), 4.81(1H, d, *J* = 6.6 Hz, H-7′), 2.43(1H, p, *J* = 6.9 Hz, H-8′), 3.95 ~ 3.91(1H, m, H-9′β), 6.95 ~ 6.62(6H, m, H-Arom), 3.89 (3H, s, 3-OMe), 3.91 (3H, s, 3′-OMe); 132.3(C-1), 111.2(C-2), 146.5(C-3), 144.0(C-4), 114.4(C-5), 121.2(C-6), 134.8(C-1′), 108.3(C-2′), 146.6(C-3′), 145.1(C-4′), 114.2(C-5′), 118.8(C-6′), 33.4(C-7), 42.4(C-8), 72.9(C-9), 82.8(C-7′), 52.6(C-8′), 61.0(C-9′), 56.0(OMe)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **4** 为落叶松脂素[7]。

化合物 **5**：白色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 249［M+H］$^+$，提示分子式为 $C_{15}H_{20}O_3$；^{1}H-NMR(600 MHz, $CDCl_3$)δ: 1.73(1H, ddq, *J* = 12.9, 4.9, 2.3 Hz, H-1α), 1.35(1H, dp, *J* = 13.5, 2.0 Hz, H-1β), 1.99(1H, td, *J* = 13.4, 5.4 Hz, H-2α), 1.68 ~ 1.57(1H, m, H-2β), 2.45 ~ 2.39(1H, m, H-3α), 2.39 ~ 2.32(2H, m, H-2β, 6β), 2.10(1H, td, *J* = 13.6, 4.5 Hz, H-5), 2.70(1H, dd, *J* = 13.6, 3.5 Hz, H-6α), 3.92(1H, d, *J* = 3.6 Hz, H-8), 5.02(1H, dt, *J* = 3.7, 1.8 Hz, H-9), 3.51(3H, s, H-13), 0.93(3H, d, *J* = 0.9 Hz, H-14), 4.91(1H, q, *J* = 1.5 Hz, H-15α), 4.63(1H, q, *J* = 1.5 Hz, H-15β); ^{13}C-NMR(150 MHz, $CDCl_3$)δ: 41.0(C-1), 22.2(C-2), 36.2(C-3), 148.9(C-4), 42.2(C-5), 25.6(C-6), 159.1(C-7), 79.9(C-8), 75.4(C-9), 34.5(C-10), 121.9(C-11), 175.2(C-12), 8.3(C-13), 15.6(C-14), 107.4(C-15)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **5** 为 9α-羟基紫菀内酯[8]。

化合物 **6**：白色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 733［M + H］$^+$，提示分子式为 $C_{40}H_{44}O_{13}$；^{1}H-NMR(600 MHz, $CDCl_3$)δ: 2.10 ~ 2.05(1H, m, H-1), 1.02(1H, overlapped, H-2α), 0.35 ~ 0.30(1H, m, H-2β), 1.85 ~ 1.82(2H, m, H-3), 3.98(1H, d, *J* = 3.7 Hz, H-6), 3.90(1H, s, H-9), 1.97(3H, s, H-13), 1.02(3H, s, H-14), 2.97 ~ 2.44(6H, m, H-15, 6′, f, g), 1.63(1H, td, *J* = 8.1, 4.1 Hz, H-1′), 0.76(1H, td, *J* = 8.8, 5.8 Hz, H-2′α), 1.36(1H, dt, *J* = 5.8, 3.9 Hz, H-2′β), 1.42(1H, m, H-3′), 1.85 ~ 1.82(2H, m, H-5′), 1.90 ~ 1.88(1H, m, H-9′), 4.61 ~ 4.51(2H, m, H-13′α, 15′α), 5.12 ~ 5.05(2H, m, H-13′β, e), 0.84(3H, s, H-14′), 3.66(1H, d, *J* = 11.8 Hz, H-15′β), 6.64(1H, t, *J* = 6.7 Hz, H-c), 4.69 ~ 4.62(1H, m, H-d); ^{13}C-NMR(150 MHz, $CDCl_3$)δ: 26.0(C-1), 16.0(C-2), 24.8(C-3), 142.5(C-4), 132.2(C-5), 41.1(C-6), 131.3(C-7), 200.7(C-8), 79.9(C-9), 51.0(C-10), 147.5(C-11), 170.2(C-12), 20.1(C-13), 15.3(C-14), 25.3(C-15), 25.6(C-1′), 11.7(C-2′), 27.8(C-3′), 77.1(C-4′), 61.2(C-5′), 23.4(C-6′), 174.5(C-7′), 93.2(C-8′), 55.5(C-9′), 44.9(C-10′), 123.4(C-11′), 171.7(C-12′), 54.3(C-13′), 26.0(C-14′), 72.0(C-15′), 167.0(C-a), 129.2(C-b), 135.5(C-c), 61.6(C-d), 171.5(C-e), 28.6(C-f), 29.2(C-g), 172.0(C-h), 13.0(Me-b), 52.4(OMe)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **6** 为银线草醇 B[9]。

化合物 **7**：白色无定形粉末，ESI-MS *m/z* 767［M + H］$^+$，提示分子式为 $C_{40}H_{46}O_{15}$，^{1}H-NMR(600 MHz, $CDCl_3$)δ: 2.08 ~ 2.04(1H, m, H-1), 1.32 ~ 1.28(1H, m, H-2α), 0.98(1H, td, *J* = 8.4, 5.8 Hz, H-2β), 1.88 ~ 1.84(1H, m, H-3), 3.75(1H, overlapped, H-9), 1.83(3H, s, H-13), 1.06(3H, s, H-14), 3.08(1H, dd, *J* = 14.2, 7.1 Hz, H-15α), 1.65 ~ 1.58(1H, m, H-15β), 1.65 ~ 1.58(1H, m, H-1′), 1.26(1H, dt, *J* = 5.7, 4.1 Hz, H-2′α), 0.65(1H, td, *J* = 9.0, 5.6 Hz, H-2′β), 1.51 ~ 1.46(1H, m, H-3′), 1.65 ~ 1.58(1H, m, H-5′), 2.94 ~ 2.85(1H, m, H-6′α), 2.43 ~ 2.37(1H, m, H-6′β), 2.60 ~ 2.56(1H, m, H-9′),

5.27(1H, dd, J = 12.2, 1.2 Hz, H-13′α), 4.57 (1H, d, J = 12.2 Hz, H-13′β), 0.94 (3H, s, H-14′), 4.40(1H, d, J=11.8 Hz, H-15′α), 3.89 (1H, d, J = 11.7 Hz, H-15′β), 6.59 (1H, ddt, J=6.4, 3.4, 1.0 Hz, H-c), 5.16 ~ 5.08(1H, m, H-dα), 4.63 (1H, ddd, J = 14.4, 7.2, 1.1 Hz, H-dβ), 2.82 ~ 2.77 (1H, m, H-fα), 2.67 (1H, ddd, J = 16.9, 8.1, 2.4 Hz, H-fβ), 2.94 ~ 2.85 (1H, m, H-gα), 2.56 ~ 2.51 (1H, m, H-gβ), 1.95(3H, s, Me-b), 3.75(3H, s, OMe); ^{13}C-NMR (150 MHz, $CDCl_3$)δ: 26.0(C-1), 8.2(C-2), 27.7 (C-3), 90.5 (C-4), 158.5 (C-5), 126.7 (C-6), 142.4(C-7), 199.0(C-8), 77.8(C-9), 50.1(C-10), 129.5(C-11), 169.5(C-12), 20.7(C-13), 15.1 (C-14), 36.8(C-15), 27.3(C-1′), 10.1(C-2′), 28.6(C-3′), 77.1(C-4′), 56.9(C-5′), 23.6(C-6′), 172.7(C-7′), 87.2(C-8′), 52.5(C-9′), 45.4(C-10′), 124.7(C-11′), 171.8(C-12′), 54.0(C-13′), 23.8 (C-14′), 73.3(C-15′), 166.7(C-a), 129.5(C-b), 135.6(C-c), 61.4(C-d), 171.5(C-e), 29.1(C-f), 28.7(C-g), 172.0(C-h), 12.8(Me-b), 52.5 (OMe)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **7** 为金粟兰素 C[10]。

化合物 **8**：白色无定形粉末，ESI-MS m/z 249 [M + H]$^+$，提示分子式为 $C_{15}H_{20}O_3$，^{1}H-NMR (600 MHz, $CDCl_3$)δ: 1.25(1H, td, J = 12.7, 5.7 Hz, H-1α), 1.70 ~ 1.53 (3H, m, H-1β, 6β, 9α), 1.97 (1H, td, J = 12.7, 7.0 Hz, H-2β), 2.37 (1H, ddt, J = 15.1, 4.2, 1.8 Hz, H-3α), 2.43 (1H, tq, J = 13.0, 1.5 Hz, H-3β), 2.62 (1H, dd, J=13.2, 3.2, H-6α), 2.26(1H, d, J=13.7 Hz, H-9β), 1.89 ~ 1.80(4H, m, H-5, 13), 1.03 (3H, s, H-14), 4.60 (1H, q, J = 1.5 Hz, H-15α), 4.87(1H, q, J=1.5 Hz, H-15β); ^{13}C-NMR (150 MHz, $CDCl_3$)δ: 51.3(C-1), 22.3(C-2), 36.7 (C-3), 148.5 (C-4), 51.3 (C-5), 24.6 (C-6), 160.8(C-7), 103.4(C-8), 41.3(C-9), 36.1(C-10), 122.3(C-11), 171.9(C-12), 8.2(C-13), 16.6(C-14), 106.9(C-15)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **8** 为白术内酯Ⅲ[11]。

化合物 **9**：白色无定形粉末，ESI-MS m/z 233 [M + H]$^+$，提示分子式为 $C_{15}H_{20}O_2$，^{1}H-NMR (600 MHz, $CDCl_3$)δ: 1.34(1H, td, J = 13.3, 12.9, 5.2 Hz, H-1α), 1.72 ~ 1.56(3H, m, H-1β, 2), 2.04 ~ 1.96(1H, m, H-3α), 2.40(1H, ddt, J = 13.2, 4.2, 2.0 Hz, H-3β), 1.89 ~ 1.85(1H, m, H-5), 2.75(1H, dd, J = 13.9, 3.7 Hz, H-6α), 2.36 ~ 2.29(2H, m, H-6β, 9β), 4.87 ~ 4.81(1H, m, H-8), 1.19 ~ 1.12(1H, m, H-9α), 1.84(3H, t, J = 1.7 Hz, H-13), 0.92 (3H, s, H-14), 4.62 (1H, q, J = 1.5 Hz, H-15α), 4.89(1H, q, J = 1.6 Hz, H-15β); ^{13}C-NMR (150 MHz, $CDCl_3$)δ: 41.1(C-1), 22.4(C-2), 36.3(C-3), 149.3(C-4), 41.5(C-5), 25.7(C-6), 162.0(C-7), 78.0(C-8), 47.6(C-9), 37.0(C-10), 119.5(C-11), 174.2(C-12), 8.3(C-13), 16.5(C-14), 106.9(C-15)。以上核磁数据与文献报道一致，鉴定化合物 **9** 为白术内酯Ⅱ[12]。

4　讨论

本研究在银线草 75% 乙醇提取物的乙酸乙酯溶性部位中分离得到 9 个化合物，其中化合物 **1** ~ **4** 为首次在金粟兰属中分离得到，丰富了金粟兰属的化学成分，为其药理活性研究提供参考。

参考文献

[1] 杨秀伟. 金粟兰属药用植物的物质基础[J]. 中国现代中药, 2017, 19(4): 459-481.

[2] 房平磊. 银线草化学成分及药理学研究进展[J]. 吉林农业, 2011(5): 317-318.

[3] 罗永明, 李创军, 黄璐琦. 金粟兰科药用植物的研究概况[J]. 江西中医学院学报, 2007, 19(1): 64-68.

[4] NATH L R, GORANTLA J N, JOSEPH S M, et al. Kaempferide, the most active among the four flavonoids isolated and characterized from *Chromolaena odorata*, induces apoptosis in cervical cancer cells while being pharmacologically safe [J]. RSC Adv, 2015, 5 (122): 100912-100922.

[5] BUSCHI C A, POMILIO A B, GROS E G. 5, 6, 7-Trisubstituted flavones from *Gomphrena martiana* [J]. Phytochemistry, 1981, 20(5): 1178-1179.

[6] BOHLMANN F, ZDERO C, KING R M, et al. Phenylethylamide aus *Critoniella acuminata* [J]. Planta Med, 1984, 50(2): 187-188.

[7] DUH C Y, PHOEBE C H J, PEZZUTO J M, et al. Plant anticancer agents, XLII. Cytotoxic constituents from *Wikstroemia elliptica*[J]. J Nat Prod, 1986, 49(4): 706-709.

(下转第 452 页)

CabHLH94 在应答青枯菌侵染中的作用[D]. 延安:延安大学,2019.

[26] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:207.

[27] 陈士林,宋经元. 本草基因组学[J]. 中国中药杂志,2016,41(21):3881-3889.

[28] 宋经元,徐志超,陈士林. 本草基因组学专辑简介[J]. 中国科学:生命科学,2018,48(4):349-351.

[29] KOMATSU K, MAEKAWA M, UJIIE S, et al. LAX and SPA:Major regulators of shoot branching in rice[J]. Proc Natl Acad Sci USA,2003,100(20):11765-11770.

[30] SEO J S, JOO J, KIM M J, et al. OsbHLH148, a basic helix-loop-helix protein, interacts with OsJAZ proteins in a jasmonate signaling pathway leading to drought tolerance in rice[J]. Plant J,2011,65(6):907-921.

[31] WANG Y J, ZHANG Z G, HE X J, et al. A rice transcription factor *OsbHLH1* is involved in cold stress response[J]. Theor Appl Genet, 2003, 107(8):1402-1409.

[32] HONG G J, XUE X Y, MAO Y B, et al. *Arabidopsis* MYC_2 interacts with DELLA proteins in regulating sesquiterpene synthase gene expression[J]. Plant Cell, 2012, 24(6):2635-2648.

[33] MANNEN K, MATSUMOTO T, TAKAHASHI S, et al. Coordinated transcriptional regulation of isopentenyl diphosphate biosynthetic pathway enzymes in plastids by phytochrome-interacting factor 5[J]. Biochem Biophys Res Commun,2014,443(2):768-774.

[34] VAN MOERKERCKE A, STEENSMA P, GARIBOLDI I, et al. The basic helix-loop-helix transcription factor BIS2 is essential for monoterpenoid indole alkaloid production in the medicinal plant *Catharanthus roseus*[J]. Plant J, 2016,88(1):3-12.

[35] MERTENS J, MERTENS J, POLLIER J, et al. The *bHLH* transcription factors *TSAR1* and *TSAR2* regulate triterpene saponin biosynthesis in *Medicago truncatula*[J]. Plant Physiol,2016,170(1):194-210.

[36] 张鑫,宋经元,胡鸢雷,等. *bHLH* 转录因子调控植物活性成分生物合成的研究进展[J]. 药学学报,2014,49(4):435-442.

[37] KOES R, VERWEIJ W, QUATTROCCHIO F. Flavonoids:A colorful model for the regulation and evolution of biochemical pathways[J]. Trends Plant Sci,2005,10(5):236-242.

[38] HICHRI I, HEPPEL S C, PILLET J, et al. The basic helix-loop-helix transcription factor MYC_1 is involved in the regulation of the flavonoid biosynthesis pathway in grapevine[J]. Mol Plant,2010,3(3):509-523.

[39] YAMADA Y, KOKABU Y, CHAKI K, et al. Isoquinoline alkaloid biosynthesis is regulated by a unique *bHLH*-type transcription factor in *Coptis japonica*[J]. Plant Cell Physiol,2011,52:1131-1141.

(收稿日期:2020-04-01　　编辑:田苗)

(上接第 440 页)

[8] WANG W, CHEN B, ZOU R, et al. Codonolactone, a sesquiterpene lactone isolated from *Chloranthus henryi* Hemsl, inhibits breast cancer cell invasion, migration and metastasis by downregulating the transcriptional activity of Runx2[J]. Inter J Oncol,2014,45(5):1891-1900.

[9] KAWABATA J, MIZUTANI J. Dimeric sesquiterpenoid esters from *Chloranthus serratus*[J]. Phytochemistry,1992,31(4):1293-1296.

[10] KIM S Y, KASHIWADA Y, KAWAZOE K, et al. Spicachlorantins C-F, hydroperoxy dimeric sesquiterpenes from the roots of *Chloranthus spicatus*[J]. Tetrahedron Lett,2009,50(44):6032-6035.

[11] 王小珍. 白术内酯的提取分离、衍生化及对 PC12 细胞的保护作用[D]. 广州:广州中医药大学,2012.

[12] CHEN L G, JAN Y S, TSAI P W, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive constituents of *Atractylodes japonica* koidzumi[J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(11):2254-2262.

(收稿日期:2020-04-23　　编辑:田苗)