

DOI: CNKI:61-1390/S.20110711.1733.039
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20110711.1733.039.html>

网络出版时间: 2011-07-11 17:33:00

马莲鞍化学成分研究*

席鹏洲¹, 秦亚丽¹, 王跃虎², 晏永明², 张跃进¹

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院 昆明植物研究所, 云南 昆明 650204)

[摘要] 【目的】研究药用植物马莲鞍(*Streptocaulon griffithii* Hook)全草的化学成分, 以探明其药用成分。

【方法】运用硅胶柱色谱、反相硅胶(RP-18)柱色谱、葡聚糖凝胶柱色谱(Sephadex LH-20)等多种方法, 对萝藦科(Asclepiadaceae)马莲鞍属(*Streptocaulon*)马莲鞍全草中提取的化学成分进行分离纯化, 并对其结构进行了分析。【结果】从马莲鞍全草中共分离得到7种化合物, 经分析和鉴定, 可知化合物1~7分别为(24S)-24-ethylcholest-3 β , 5 α , 6 β -triol, 7 α -hydroxy sitosterol-3-O- β -glucoside、胡萝卜苷、 β -谷甾醇、香草醛、4羟基-3, 5二甲氧基苯甲醛和芳姜黄酮。【结论】从马莲鞍中分离得到的7个化合物中, 化合物1, 2, 5, 6, 7为首次分离取得。

[关键词] 马莲鞍;甾体;化学成分

[中图分类号] R284.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1674-9387(2011)08-0185-05

Studies on the chemical constituents in *Streptocaulon griffithii* Hook

XI Peng-zhou¹, QIN Ya-li¹, WANG Yue-hu²,

YAN Yong-ming², ZHANG Yue-jin¹

(1 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming, Yunnan 650204, China)

Abstract: 【Objective】The study explored the bioactive chemical constituents in the whole *Streptocaulon griffithii* Hook. 【Method】The chemical constituents of the whole *S. griffithii* Hook were studied with various materials isolation and identification technologies such as silica gel, RP-18, Sephadex LH-20. 【Result】The results were as follows: 7 compounds were isolated from the whole *S. griffithii* Hook. Their structure identifications were: (24S)-24-ethylcholest-3 β , 5 α , 6 β -triol, 7 α -hydroxy sitosterol-3-O- β -glucoside, daucosterol, β -stiosterol, isovanillin, 4-hydroxy-3, 5-dimethoxybenzaldehyde and arturmeron on the basis of analysis and verification. 【Conclusion】The compounds 1, 2, 5, 6 and 7 were firstly isolated from the whole *S. griffithii* Hook in the 7 compounds.

Key words: *Streptocaulon griffithii* Hook; steroid; chemical constituents

马莲鞍(*Streptocaulon griffithii* Hook)为萝藦科(Asclepiadaceae)马莲鞍属(*Streptocaulon*)植物, 又名老鸦嘴、南苦参、红马莲鞍、古羊藤、藤苦参等, 木质藤本, 为传统的傣药之一, 主要分布在我国广东、广西、云南、贵州等地。其具有清热解毒、散瘀

止痛之功效, 主治痢疾、湿热腹泻、心胃气痛、感冒发热、慢性肾炎、跌打损伤、肿痛、毒蛇咬伤、肿瘤等症^[1-3]。近年来的药理研究表明, 其对 HL-60 人白血病细胞、PG-3 人前列腺癌细胞、Bel 7402 人肝癌细胞及 Eca-109 人食道癌细胞的生长具有明显的抑

* [收稿日期] 2010-12-15

[基金项目] 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(2007PY-48)

[作者简介] 席鹏洲(1984-), 男, 陕西彬县人, 在读硕士, 主要从事中药化学研究。E-mail: xipenzhou_0310@163.com

[通信作者] 张跃进(1960-), 男, 陕西乾县人, 副教授, 主要从事药用植物规范化生产技术与资源利用研究。

E-mail: zhangxyj@nwafu.edu.cn

制作用^[4]。但对其化学成分的研究仅见于马春辉等^[5]、张琳等^[6-7]、Zhang 等^[8]、周劲松等^[9]、Zhang 等^[10]的报道, 共分离化合物 20 多种, 且以强心苷类和萜类化合物为主。马莲鞍被收录入 2010 版药典^[11]后, 对其化学成分进行全面深入的研究引起了人们的高度重视。本试验对马莲鞍的化学成分进行了进一步研究, 以期进一步探明其药用成分, 为傣药的现代化研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

马莲鞍 (*S. griffithii* Hook) 全草, 于 2009-08 采自云南省普洱市思茅县城周边。由云南省普洱市传统医药研究所张绍云教授鉴定为萝藦科马莲鞍属植物马莲鞍, 凭证标本保存于中国科学院昆明植物研究所标本馆(标本编号: 20090815001)。

1.2 仪器与试剂

Bruker A M-400 MHz、DRX-500 MHz 核磁共振仪; ZF-1 三用紫外分析仪, 上海精科实业有限公司; BL-320H 型电子天平, 日本岛津公司; X-4 型显微熔点仪(未校正), 上海精科物理光学仪器厂; 硅胶(48~75 μm)、硅胶 H(10~40 μm)、硅胶 GF254, 均为青岛海洋化工厂产品; RP-18(40~65 μm) 反相硅胶, 日本 Daiso 公司生产; 葡聚糖凝胶柱色谱(Sephadex LH-20 (40~70 μm)), 瑞典 Amersham Pharmacia Biotech AB 公司生产。石油醚、氯仿、丙酮、乙酸乙酯、甲醇等有机溶剂均为工业纯, 重蒸后使

用。

1.3 样品的提取分离与鉴定

将 20 kg 马莲鞍干燥全草粉末用体积分数 80% 工业乙醇于室温提取 4 次, 每次 4 h, 合并提取液, 减压浓缩得到乙醇浸膏, 将其混悬于蒸馏水中, 依次用乙酸乙酯、正丁醇萃取, 浓缩萃取液得到乙酸乙酯提取物 607 g、正丁醇提取物 412 g。

用丙酮溶解乙酸乙酯提取物, 将样品(干)与硅胶(48~75 μm)按质量比 1:1 拌匀, 挥发干溶剂后, 装入硅胶柱, 依次用 *V*(氯仿): *V*(甲醇)=100:1~1:1 溶液梯度洗脱, 分别得洗脱物 Fr1~Fr5, 其中 Fr1 30 g, Fr2 85 g, Fr3 302 g, Fr4 85 g, Fr5 17 g。Fr1 经过硅胶柱层析和葡聚糖凝胶柱色谱柱层析得化合物 5(11 mg)、化合物 6(17 mg) 和化合物 7(11 mg), Fr4 经过硅胶柱层析和葡聚糖凝胶柱色谱柱层析得到化合物 1(12 mg) 和化合物 3(30 mg), Fr5 经过硅胶柱层析和葡聚糖凝胶柱色谱柱层析得到化合物 2(50 mg) 和化合物 4(103 mg), Fr2 和 Fr3 分离的化合物将另行发表, 故不在此说明。对以上化合物用核磁共振(NMR)、薄层色谱法(TLC)和化合物的物理常数进行鉴定和分析。

2 结果与分析

本试验共分离纯化得到 7 个化合物, 其中化合物 1、2、3、4 为甾体类化合物。化合物 1~7 的结构见图 1。

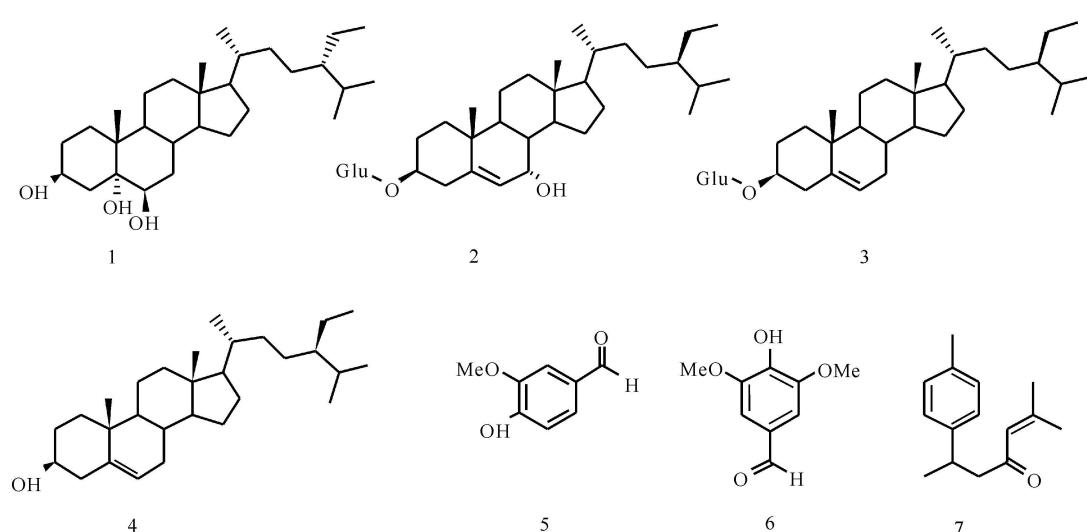


图 1 从马莲鞍全草中分离 7 种化合物的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1~7 in the whole *S. griffithii* Hook

化合物 1: 分子式 $C_{29}H_{52}O_3$, 白色固体, mp 为

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

240~241 °C, 吡啶溶解, 化合物在硅胶 GF254 板上

通过 TLC 展板($V(\text{CHCl}_3)$): $V(\text{CH}_3\text{OH}) = 8: 1$, 喷体积分数 10% 硫酸乙醇显色剂, 经高温显色为紫红色, 其 $R_f = 0.4$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 4.86(1H, m, H-3), 4.16(1H, s, H-6), 2.13(1H, m, H-8), 1.23(2H, m, H-11), 1.17(1H, s, H-14), 1.10(1H, s, H-17), 0.73(3H, s, H-18), 1.65(3H, s, H-19), 1.35(1H, s, H-20), 0.96(3H, m, H-21), 0.82(3H, s, H-26), 0.85(3H, m, H-27)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 33.4(G-1), 32.6(G-2), 67.4(G-3), 42.9(G-4), 75.9(G-5), 76.3(G-6), 35.8(G-7), 31.3(G-8), 46.1(G-9), 39.2(G-10), 26.5(G-11), 40.7(G-12), 43.1(G-13), 56.6(G-14), 24.7(G-15), 28.7(G-16), 56.6(G-17), 12.4(G-18), 17.3(G-19), 36.6(G-20), 19.0(G-21), 34.2(G-22), 23.4(G-23), 45.9(G-24), 29.5(G-25), 19.2(G-26), 20.0(G-27), 21.8(G-28), 12.1(G-29)。以上数据与文献[12-13]报道的(24S)-24-ethylcholest α -3 β , 5 α , 6 β -triol基本一致, 故将化合物 1 鉴定为(24S)-24-ethylcholest α -3 β , 5 α , 6 β -triol, 该化合物为首次从马莲鞍中得到。

化合物 2: 分子式 $\text{C}_{35}\text{H}_{60}\text{O}_7$, 白色固体, mp 为 98~100 ℃, 吡啶溶解, 化合物在硅胶 GF254 板上通过 TLC 展板($V(\text{CHCl}_3)$): $V(\text{CH}_3\text{OH}) = 7: 1$, 喷体积分数 10% 硫酸乙醇显色剂, 经高温显色为蓝色, 其 $R_f = 0.3$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 5.56(1H, s, H-6), 4.98(1H, d, $J = 7.68$ Hz, H-1'), 4.26(1H, m, H-6'), 4.04(1H, m, H-6'), 3.85(1H, m, H-7), 3.86(1H, m, H-3), 0.89(3H, s, H-19), 0.88(3H, m, H-21), 0.87(3H, m, H-29), 0.84(3H, m, H-26), 0.74(3H, s, H-27)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, $\text{C}_5\text{D}_5\text{N}$) δ : 36.5(G-1), 29.6(G-2), 78.6(G-3), 37.8(G-4), 144.1(G-5), 126.1(G-6), 64.7(G-7), 39.8(G-8), 46.2(G-9), 37.2(G-10), 20.1(G-11), 39.4(G-12), 42.4(G-13), 50.1(G-14), 26.4(G-15), 28.8(G-16), 56.3(G-17), 12.0(G-18), 19.3(G-19), 38.4(G-20), 19.2(G-21), 34.4(G-22), 30.1(G-23), 42.7(G-24), 24.7(G-25), 18.4(G-26), 21.2(G-27), 23.5(G-28), 12.2(G-29), 102.7(G-1'), 75.3(G-2'), 78.1(G-3'), 71.8(G-4'), 78.5(G-5'), 62.9(G-6'), 以上数据与文献[14-15]报道的 7 α -hydroxy sitosterol-3-O- β -glucoside 基本一致, 故将化合物 2 鉴定为 7 α -hydroxy sitosterol-3-O- β -glucoside, 该化合物为首次从马莲鞍中得到。

化合物 3: 分子式 $\text{C}_{35}\text{H}_{60}\text{O}_6$, 白色粉末, mp 为 248~250 ℃, 易溶于热甲醇和乙醇。与胡萝卜苷的

标准品混合后熔点不下降。254 nm 紫外灯下无荧光, 遇硫酸显紫红色, 经三项系统 TLC 与胡萝卜苷的标准品对照, 其 R_f 值及显色反应均与胡萝卜苷一致, 故将化合物 3 鉴定为胡萝卜苷(Daucosterol)。

化合物 4: 分子式 $\text{C}_{29}\text{H}_{50}\text{O}$, 白色粉末, mp 为 141~142 ℃, 氯仿溶解。与 β -谷甾醇的标准品混合后熔点不下降。经三项系统 TLC 与 β -谷甾醇的标准品对照, 其 R_f 值及显色反应均与 β -谷甾醇一致, 故将化合物 4 鉴定为 β -谷甾醇(β -stioesterol)。

化合物 5: 分子式 $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$, 白色固体, mp 为 78~80 ℃, 丙酮溶解, 化合物在硅胶 GF254 板上通过 TLC 展板($V(\text{CHCl}_3)$): $V(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = 50: 1$, 喷体积分数 10% 硫酸乙醇显色剂, 经高温显色为洋红色, 其 $R_f = 0.5$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CD_3COCD_3) δ : 9.73(1H, s, CHO), 7.41(1H, dd, $J = 1.9, 7.7$ Hz, H-6), 7.42(1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2), 6.93(1H, d, $J = 7.7$ Hz, H-5), 3.92(3H, s, OCH₃)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, CD_3COCD_3) δ : 130.5(G-1), 111.2(G-2), 149.6(G-3), 154.7(G-4), 116.3(G-5), 127.9(G-6), 192.9(CH₂O), 56.3(CH₃O), 以上数据与文献[16]报道的香草醛基本一致, 故将化合物 5 鉴定为香草醛(isovanillin), 该化合物为首次从马莲鞍中获得。

化合物 6: 分子式 $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_4$, 白色粉末, mp 为 110~112 ℃, 丙酮溶解, 化合物在硅胶 GF254 板上通过 TLC 展板($V(\text{CHCl}_3)$): $V(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = 50: 1$, 喷体积分数 10% 硫酸乙醇显色剂, 经高温显色为淡黄色, 其 $R_f = 0.45$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CD_3COCD_3) δ : 9.80(s, CHO), 7.22(each 2H, s, H-2, 6), 3.90(each 3H, s, 3, 5-OCH₃)。 $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CD_3COCD_3) δ : 129.0(G-1), 107.6(G-2, 6), 149.0(G-3, 5), 142.9(G-4), 191.1(CH₂O), 56.6(3, 5-CH₃O)。以上数据与文献[17]报道的 4-羟基-3, 5-二甲氧基苯甲醛基本一致, 故化合物 6 鉴定为 4-羟基-3, 5-二甲氧基苯甲醛(4-hydroxy-3, 5-dimethoxybenzaldehyde), 该化合物为首次从马莲鞍中获得。

化合物 7: 分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{20}\text{O}$, 黄色油状物, 氯仿溶解, 化合物在硅胶 GF254 板上通过 TLC 展板($V(\text{CHCl}_3)$): $V(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = 80: 1$, 喷体积分数 10% 硫酸乙醇显色剂, 经高温显色为粉红色, 其 $R_f = 0.6$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, CDCl_3) δ : 7.11(each 1H, s, H-2', 6', 3', 5'), 6.03(1H, m, H-4), 3.27(1H, m, H-7), 2.60(2H, m, H-6), 2.28(3H,

s, H-1), 2.11(3H, d, $J=1.26$ Hz, H-7'), 1.86(3H, d, $J=1.72$ Hz, H-2), 1.23(3H, m, H-8)。¹³C-NMR (125 MHz, CDCl₃) δ_c: 21.0(G-1), 27.6(G-2), 155.2(G-3), 124.0(G-4), 199.9(G-5), 52.7(G-6), 35.2(G-7), 22.0(G-8), 143.7(G-1'), 126.6(G-2'), 61.1(G-3', 5'), 135.5(G-4'), 20.70(G-7')。以上数据与文献[18]报道的芳姜黄酮(arturnerone)基本一致,故将化合物7鉴定为芳姜黄酮(arturnerone),该化合物为首次从马莲鞍中获得。

3 讨 论

本研究从采自云南省普洱市思茅县的马莲鞍干燥全草中共分离纯化得到7种化合物,其中化合物1、2、5、6、7为首次从该植物中获得。在对化合物解析的过程中发现,Neera Chaurasia等^[14]报道的化合物2的G-7羟基有2种构型,其中一种为α型,碳G-7化学位移为64.82;另一种为β构型,碳G-7化学位移为73.32;两者化学位移相差8.5,本研究中化合物2的G-7化学位移为64.73,从而确定化合物2的G-7羟基为α构型。

在活性方面,对于化合物3、4的报道较多,胡萝卜苷具有很好的抗炎等作用,其对尖孢镰刀菌和白色念珠菌的生长均有抑制作用^[19]。β谷甾醇具有类似于氢化可的松和轻基保泰松的功能,有较强的抗炎作用^[20]。关于化合物1、2的活性尚未见报道,但对其相似结构化合物的报道较多,如郭万成等^[21]在研究海洋生物海星的过程中发现了大量结构相似的多羟基甾醇,并对其活性进行了研究,发现多羟基甾醇具有明显的抗炎和抗肿瘤作用。根据文献记载,马莲鞍主要含有强心苷、三萜、甾体等成分^[3],其中强心苷类化合物具有抗肿瘤作用^[4],而对甾体类和三萜类等成分的药理作用尚不清楚,还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 朱华,刘安韬,廖月葵.古羊藤的显微鉴别研究[J].广西中医学院学报,2007,10(1):55-57.
Zhu H, Liu A T, Liao Y K. Studies on the microcosmic distinguishing of *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Journal of Guangxi Traditional Chinese Medical University, 2007, 10(1): 55-57. (in Chinese)
- [2] 闻杰,田泽,刘秀萍,等.雅叫哈顿散药效学研究I[J].中成药,2009,29(7):1272-1274.
Wen J, Tian Z, Liu X P, et al. Pharmacodynamics of Ya Jiao Ha dun San I [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2009, 29 (7): 1272-1274. (in Chinese)
- [3] 彭霞,王志杰,林艳芳.傣药藤苦参质量标准研究[J].中国民族民间医药杂志,2009(1):30-32.
Peng X, Wang Z J, Lin Y F. Studies on the normative quality of *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Chinese Journal of Ethno-medicine and Ethnopharmacy, 2009(1): 30-32. (in Chinese)
- [4] 莲连军,王叶飞,张琳,等.藤苦参素的体外抗肿瘤活性及其对癌细胞凋亡的作用[J].药学学报,2007,42(1):104-107.
Luan L J, Wang Y F, Zhang L, et al. Effect of griffithin on anti-cancer activity and apoptosis of cancer cells *in vitro* [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2007, 42(1): 104-107. (in Chinese)
- [5] 马春辉,黄田芳,戚华溢,等.马莲鞍的化学成分研究[J].应用与环境生物学报,2005,11(3):265-270.
Ma C H, Huang T F, Qi H Y, et al. Studies on the chemical constituents of *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2005, 11(3): 265-270. (in Chinese)
- [6] 张琳,徐丽珍,杨世林.藤苦参化学成分研究[J].中国药学杂志,2007,42(6):420-421.
Zhang L, Xu L Z, Yang S L. Studies on the chemical constituents of *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2007, 42(6): 420-421. (in Chinese)
- [7] 张琳,徐丽珍,杨世林.藤苦参化学成分研究: I [J].中草药,2005,36(5):669-671.
Zhang L, Xu L Z, Yang S L. Studies on the chemical constituents of *Streptocaulon griffithii* Hook: I [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2005, 36(5): 669-671. (in Chinese)
- [8] Zhang L, Xu L Z, Yang S L. Two new cardenolides from the roots of *Streptocaulon griffithii* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2006, 8(7): 613-617.
- [9] 周劲松,张婷婷,陈纪军,等.藤苦参化学成分研究[J].中国天然药物,2009,7(2):108-110.
Zhou J S, Zhang T T, Chen J J, et al. Studies on the chemical constituents of *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Chinese Journal of Natural Medicines 2009, 7(2): 108-110. (in Chinese)
- [10] Zhang X H, Zhu H L, Yu Q, et al. Cytotoxic cardenolides from *Streptocaulon griffithii* Hook [J]. Chemistry & Biodiversity, 2007(4): 998-1002.
- [11] 中华人民共和国药典委员会.中华人民共和国药典2010版:一部[S].北京:中国医药科技出版社,2010:附录27.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, 2010: Volume I [S]. Beijing: People's Medical Science and Technology Publishing House, 2010: Appendix 27. (in Chinese)
- [12] Das B, Srinivas K V N S. Studies on marine chemicals. IV: Isolation of cholesterol derivatives from the marine sponge *Spirastrella inconstans* [J]. Journal of Natural Products, 1992, 55 (9): 1310-1312.
- [13] Fang J M, Wang K C, Cheng Y S. The chemical constituents from the aerial of *Rosa laevigata* [J]. Journal of the Chinese Society, 1991, 38: 297-299.
- [14] Neera Chaurasia, Max Wichtl. Sterols and sterol glycosides from *Urtica dioica* [J]. Journal of Natural Products, 1987, 50(5): 881-885.

- [15] Fang J M, Wang K C, Cheng Y S. Steroids and triterpenoids from *Rosa laevigata* [J]. Photochemistry, 1991, 30(10): 3383-3387.
- [16] 张庆英, 赵玉英, 刘雪辉, 等. 生藤化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2000, 25(2): 101-103.
Zhang Q Y, Zhao Y Y, Liu X H, et al. Studies on chemical constituents of *Stelmatocryton khasianum* (Benth.) H. Bail [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2000, 25(2): 101-103. (in Chinese)
- [17] 李平, 王立波. 祖师麻化学成分研究 [J]. 中国药物化学杂志, 2010, 20(1): 50-52.
Li P, Wang L B. Chemical constituents of *Daphne giraldii* Nitsche [J]. Chinese Journal of Medicinal Chemistry, 2010, 20(1): 50-52. (in Chinese)
- [18] Hong C H, Kim Y, Lee S K. Sesquiterpenoids from the rhizome of *Curcuma zedoaria* [J]. Arch Pharm Res, 2001, 24(5): 424-426.
- [19] 周立刚, 张颖君, 蔡艳, 等. 黄酮和甾体类化合物的抗真菌活性 [J]. 天然产物研究与开发, 1997, 9(3): 24-29.
Zhou L G, Zhang Y J, Cai Y, et al. Antifungal activities *in vitro* of flavonoids and steroids from medicinal plants [J]. Natural Product Research and Development, 1997, 9(3): 24-29. (in Chinese)
- [20] 高政. 菜籽植物甾醇的提取、纯化及抗氧化活性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
Gao Z. Study on extraction, purification and anti-oxidation activity of rapeseed phytosterol [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [21] 郭万成, 刘丽娟, 张翠仙, 等. 海星中的皂甙和多羟基甾体化合物 [J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17(1): 108-114.
Guo W C, Liu L Q, Zhang C S, et al. Saponins and polyhydroxysteroids from starfish [J]. Natural Product Research and Development, 2005, 17(1): 108-114. (in Chinese)

(上接第 184 页)

- [6] 张钦仁, 张佳华, 申彦波, 等. 1981-2001 年西北地区植被变化特征分析 [J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 586-590.
Zhang T R, Zhang J H, Shen Y B, et al. Analysis of vegetation variation and its effect factors in northwestern China during 1981-2001 [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(3): 586-590. (in Chinese)
- [7] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
Shi Y F, Shen Y P, Li D L, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in north-west China [J]. Quaternary Science, 2003, 23(2): 152-164. (in Chinese)
- [8] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征及其突变性 [J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 176-182.
Guo Z M, Liao Q L, Li X. Change characteristics of temperature in north China since recent 50 years [J]. Arid Land Geography, 2005, 28(2): 176-182. (in Chinese)
- [9] Einstein H A, Chien N. Similarity of distorted river models with movable beds [J]. Trans ASCE, 1956, 121: 440-457.
- [10] Komura S. Similarity and design methods of river models with movable bed [J]. Trans of JSCE, 1962, 804: 31-41.
- [11] 李登科. 陕西吴起植被动态及其与气候变化的关系 [J]. 生态学报, 2007, 26(11): 1811-1816.
Li D K. Vegetation change and its relations with climate variables in Wugqi of Shaanxi [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(11): 1811-1816. (in Chinese)
- [12] Zhang X P, Zhang L, McVicar T R. Modeling the impact of afforestation on average annual stream flow in the Loess Plateau [J]. Hydrological Processes, 2008, 22: 1996-2004.
- [13] 李怀恩, 赵静, 王清华, 等. 黄土区坡面与小流域植被变化的水文效应分析 [J]. 水力发电学报, 2004, 23(6): 98-102.
Li H E, Zhao J, Wang Q H, et al. Hydrological effects of vegetation change in Loess Slope and small watershed [J]. Journal of Hydropower Engineering, 2004, 23(6): 98-102. (in Chinese)
- [14] 孙继昌, 张建云, 王俊, 等. SL 250-2000 水文情报预报规范 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
Sun J C, Zhang J Y, Wang J, et al. Standard for hydrological information and hydrological forecasting [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2001. (in Chinese)
- [15] 李丽娟, 姜德娟, 杨俊伟, 等. 陕西大理河流域土地利用/覆盖变化的水文效应 [J]. 地理研究, 2010(7): 1233-1243.
Li L J, Jiang D J, Yang J W, et al. Study on hydrological response to land use and land cover change in Dali river basin, Shaanxi Province [J]. Geographical Research, 2010(7): 1233-1243. (in Chinese)
- [16] 姚玉璧, 王毅荣, 李耀辉, 等. 中国黄土高原气候暖干化及其对生态环境的影响 [J]. 资源科学, 2005, 27(5): 146-152.
Yao Y B, Wang Y R, Li Y H, et al. Climate warming and drying and its environmental effects in the Loess Plateau [J]. Resource Science, 2005, 27(5): 146-152. (in Chinese)
- [17] 周晓红, 赵景波. 黄土高原气候变化与植被恢复 [J]. 干旱区研究, 2005, 22(1): 116-119.
Zhou X H, Zhao J B. Climatic change and vegetation restoration on the Loess Plateau [J]. Arid Zone Research, 2005, 22(1): 116-119. (in Chinese)
- [18] 刘晓清, 赵景波, 于学峰. 黄土高原气候暖干化趋势及适应对策 [J]. 干旱区研究, 2006, 23(4): 627-631.
Liu X Q, Zhao J B, Yu X F. Study on the climatic warming-drying trend in the Loess Plateau and the countermeasures [J]. Arid Zone Research, 2006, 23(4): 627-631. (in Chinese)