

用^[3]，所以使用炼蜜有一定的理论依据。

4 结论

本实验优选出的最佳工艺为：将采收期的新鲜纹党切厚片，将纹党片与炼蜜按照 5:1 的比例拌后闷润至炼蜜被纹党片充分吸收，微波加热 2 min(每隔 1 min 翻动 1 次)，烘箱 110 °C 烘干。验证试验进一步说明了所建立的纹党蜜炙炮制工艺稳定可行。该加工条件下制得的蜜炙纹党饮片色泽均匀无焦斑，酥松滋润不黏手，质量稳定性好；又由于微波穿透性好，药材内部水分散失快，杀菌消毒彻底迅速，成品易于储存，不易霉变，虫蛀；同时该炮制工艺省去了传统蜜炙工艺中二次闷润的过程，整体上更能保持有效成分不致流失，尤其是代表主要药效成分的 14 号峰党参炔苷的含量较高。运用现代科学技术，可进一步开拓中药蜜炙新工艺的深度和广度，使蜜炙中药在防病治病中发挥更大作用。

REFERENCES

- [1] 陶翠祥, 王晓莉. 中药炮制诀窍 8 则[J]. 中国社区医师(医学专业), 2012, 14(7): 38-39.
- [2] HAN J J, LU X C. On honey-glazed techniques of TCM [J]. J Zhejiang Univ Tradit Chin Med(浙江中医药大学学报), 2010, 34(6): 924-925.
- [3] 谢明. 中药蜜炙法的探讨[J]. 海峡药学, 2014, 26(5): 19-20.
- [4] XIE D Z, ZHAN X J, ZHANG T. Experimental study of clearing free oxygen radicals by five polysaccharides [J]. Jiangxi J Med Lab Sci(江西医学检验), 2002, 20(4): 195-199.
- [5] 李晓峰. 党参的化学成分及药理作用研究概况[J]. 中国乡村医药, 2014 (21): 83-84.
- [6] 杨家驹. 古今中药炮炙经验名[M]. 湖南: 湖南科技出版社, 1991.
- [7] 张炳鑫. 中药炮制品古今演评述[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991.

- [8] 田源红, 任永, 龙安治. 党参不同炮制品中微量元素的含量测定[J]. 微量元素与健康研究, 2001, 18(2): 67.
- [9] 陈良胜, 方应权. 党参炮制方法历史沿革及研究进展[J]. 现代医药卫生, 2013, 29(14): 2143-2144.
- [10] 周玥. 党参炮制原理及质量标准研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2008.
- [11] 张引, 杜跃中, 王明芝, 等. 党参不同的炮制方法对其功效的影响[J]. 人参研究, 2006(4): 16.
- [12] SHI Z Q, SONG D F, LI R Q, et al. Identification of effective combinatorial markers for quality standardization of herbal medicines [J]. J Chromatogr A. 2014, 1345(1): 78-85.
- [13] 中国药典. 一部 [S]. 2015: 281.
- [14] 吴尚英, 范圣此, 关扎根, 等. 影响党参药材品质的因素分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 29(30): 18528-18530.
- [15] DU J Q, FANG Y Z, YU J P. HPLC fingerprint of *Corydalis Rhizoma* dry goods [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2015, 32(3): 298-301.
- [16] FAN L, WU C Q, WANG W Y, et al. Study on the quality investigation and fingerprint of *Aurantii Fructus* [J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2015, 32(4): 432-436.
- [17] YANG C X, HU L H, WU H M, et al. Extraction of *Wendang polysaccharides* by central composite design method and determination of selenium [J]. J Northwest Norm Univ(Nat Sci)(西北师范大学学报: 自然科学版), 2013, 49(1): 66-71.
- [18] 赵晓华, 刘养清, 王润生, 等. 党参不同部位中党参炔苷的 RP-HPLC 分析[J]. 中成药, 2007, 29(7): 1046-1047.
- [19] 杨静, 苏强, 刘恩荔, 等. 不同产地党参苍术内酯 III 和党参炔苷含量测定[J]. 山西医科大学学报, 2010, 41(8): 698-702.
- [20] CAO J J, LIANG Z S, YANG D F, et al. Establishment of HPLC-DAD multi-wavelength chromatographic fingerprints of *Rehmanniae Radix* and its application in processing *Rehmanniae Radix Praeparata* [J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2014, 45(2): 265-270.
- [21] 李福兵, 杨晓东, 刘兴文. 牛蒡子微波加热炒制与传统清炒法的比较试验[J]. 中国药业, 2013, 22(8): 33-34.
- [22] GUO Y X, XIU Z L. Microwave-assisted drying of *Danshen* slices and dissolution of lithospermic acid B [J]. J Proc Eng(过程工程学报), 2010, 10(3): 603-607.

收稿日期: 2015-10-28

铁皮石斛药材含量和检查项方法优化及不同产地品质的比较

罗素菜, 冯瑛, 徐强(浙江省中药研究所, 杭州 310023)

摘要: 目的 优化药典中甘露糖含量测定及甘露糖与葡萄糖面积比的色谱条件, 同时比较浙江省不同产地铁皮石斛药材质量, 为铁皮石斛适宜产地的选择提供依据。方法 以中国药典 2010 年版中铁皮石斛甘露糖含量测定方法为基础, 对色谱条件进行优化, 并用优化后的方法对不同产地铁皮石斛药材质量进行分析比较。结果 优化后的色谱条件: Diamonsil C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 μm), 以乙腈(A)-0.02 mol·L⁻¹的乙酸铵溶液(B)为流动相, 梯度洗脱(0~60 min, 14%A; 60~61 min, 14%→25%A; 61~69 min, 25%; 69~70 min, 25%→14%A; 70~80 min, 14%A), 流速为 1.0 mL·min⁻¹, 检测波长为 250 nm, 柱温为 30 °C, 进样量为 10 μL。优化后的方法实现了 PMP(1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮)

作者简介: 罗素菜, 女, 硕士, 工程师 Tel: 15988857870 E-mail: zjtzlsc@126.com

与甘露糖, PMP 与样品杂质, 盐酸氨基葡萄糖与样品杂质的基线分离。浙江省不同产地铁皮石斛药材在甘露糖含量及检查项比值上有一定的差异, 其中富阳铁皮石斛的甘露糖含量最高, 为 40.8%, 萧山铁皮石斛甘露糖与葡萄糖比值最高, 为 3.9。结论 该方法重复性好, 结果准确可靠, 可以用于铁皮石斛药材的质量控制。浙江省内不同产地的铁皮石斛质量存在一定的差异, 其中建德最适宜人工栽培。

关键词: 铁皮石斛; 甘露糖; 含量测定; 优化

中图分类号: R917.101

文献标志码: B

文章编号: 1007-7693(2016)05-0568-05

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2016.05.011

Optimization of Determination and Inspection Method of *Dendrobii Officinalis Caulis* and Its Comparison with Different Areas

LUO Sucui, FENG Ying, XU Qiang(Zhejiang Research Institute of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou 310023, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To optimize the chromatographic conditions in the determination and inspection method of *Dendrobii Officinalis Caulis* in Chinese Pharmacopoeia, and to compare the quality of its produced from different areas. **METHODS** Based on the content of *Dendrobii Officinalis Caulis* from ChP. 2010 to optimize the chromatographic conditions. **RESULTS** The analyses were performed on Diamonsil C₁₈ columns(250 mm×4.6 mm, 5 μm) with the gradient elution (0~60 min, 14%A; 60~61 min, 14%→25%A; 61~69 min, 25%; 69~70 min, 25%→14%A; 70~80 min, 14%A) of acetamide(A)-0.02 mol·L⁻¹ acetonitrile(B) aqueous at a flow rate of 1.0 mL·min⁻¹. The detection wavelength was set at 250 nm, and the column temperature was controlled at 30 °C. The injection volume was 10 μL. PMP (1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone) and mannose, PMP and impurity peak, internal standard and impurity peak were all separated successfully using the optimized method. *Dendrobii Officinalis Caulis* produced from different areas in Zhejiang Province had difference in the content of mannose and inspection item. The content of mannose was the highest(40.8%) in *Dendrobii Officinalis Caulis* produced from Fuyang. The ratio of inspection item was the the highest(3.9) from Xiaoshan. **CONCLUSION** The optimized method which is reproducible and accurate reliable can be used for the quality control of *Dendrobii Officinalis Caulis*. The content of monnose in *Dendrobii Officinalis Caulis* produced from different areas in Zhejiang Province has difference in quality and that produced from Jiande is the best.

KEY WORDS: *Dendrobii Officinalis Caulis*; mannose; determination; optimize

铁皮石斛为兰科石斛属多年生附生草本植物, 是我国最珍贵的中药材之一, 具有益胃生津、滋阴清热、润肺止咳、延年益寿等功效^[1]。石斛属植物的化学成分主要有多糖、生物碱、萜类、联苄类等, 其中多糖是铁皮石斛的主要有效成分^[2-3]。中国药典 2010 年版起将铁皮石斛从石斛类药材中单独列出, 建立了相应质量控制标准。药典中主要以多糖含量及甘露糖含量的高低作为判断铁皮石斛质量的主要依据。但根据其收载的方法发现存在一些不足: 在色谱条件下, 甘露糖的色谱峰不纯, 实为 PMP(1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮)与甘露糖的混合峰。因此本研究通过梯度洗脱方式对色谱条件进行优化, 结果表明优化后的方法真实可靠, 重现性好, 可用于铁皮石斛药材的质量控制, 为中国药典中铁皮石斛质量标准的修订提供科学依据^[4-5]。

由于铁皮石斛对生长环境要求极苛刻, 自然繁殖能力低, 加之人为过度采集, 现在野生资源

已处于濒危状态, 目前市场上流通的基本上是人工栽培品种^[6]。浙江省作为铁皮石斛的源产地, 具有独特的地理气候, 能为铁皮石斛提供理想的生长环境。目前, 浙江已成为种植铁皮石斛的重要产区之一, 不同规模的铁皮石斛生产基地遍布浙江省各地^[7]。基于上述, 本研究对浙江省不同产地铁皮石斛的甘露糖含量及甘露糖与葡萄糖面积比值进行比较, 为浙江铁皮石斛适宜产地的选择提供依据。

1 仪器与试剂

样品采自浙江省萧山、金华、建德、富阳、乐清、新昌 6 个产地的种植基地中生长良好的 2 年生植株, 经浙江省中药研究所王志安教授鉴定为铁皮石斛 *Dendrobium officinale* Kimura et Migo。

Agilent 1260 高效液相色谱系统(美国安捷伦公司); 色谱柱为 Agilent C₁₈ 键合硅胶柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); AB-204S 电子分析天平(瑞士梅特勒公司); TGL-10B 离心机(上海安亭

科学仪器厂)。

甘露糖对照品(中国药品检验所, 批号: 140651-201403, 纯度: 99.6%); 乙腈(色谱纯, 杭州美迪康贸易公司); 水为超纯水, 其余试剂均为分析纯。

2 方法

2.1 内标溶液的配制

取盐酸氨基葡萄糖适量, 精密称定, 加水制成每 1 mL 含 12 mg 的溶液。

2.2 对照品溶液的配制

取甘露糖对照品约 10 mg, 精密称定, 置 100 mL 量瓶中, 精密加入内标溶液 1 mL, 加水适量使溶解并稀释至刻度, 摇匀, 吸取 400 μ L, 加 0.5 mol·L⁻¹ 的 PMP 甲醇溶液与 0.3 mol·L⁻¹ 的氢氧化钠溶液各 400 μ L, 混匀, 70 $^{\circ}$ C 水浴反应 100 min。再加 0.3 mol·L⁻¹ 的盐酸溶液 500 μ L, 混匀, 用三氯甲烷洗涤 3 次, 每次 2 mL, 弃去三氯甲烷液, 水层离心后, 取上清液。

2.3 供试品溶液的配制

取样品粉末(过三号筛)约 0.12 g, 精密称定, 置索氏提取器中, 加 80%乙醇适量, 加热回流提取 4 h, 弃去乙醇液, 药渣挥干乙醇, 滤纸筒拆开置于圆底烧瓶中, 加水 100 mL, 再精密加入内标溶液 2 mL, 称定重量, 加热回流 1 h, 放冷, 用水补足减失的重量, 摇匀, 离心, 吸取上清液 1 mL, 置顶空进样瓶中, 加 3.0 mol·L⁻¹ 盐酸溶液 0.5 mL, 封口, 混匀, 110 $^{\circ}$ C 水解 1 h, 用 3.0 mol·L⁻¹ 氢氧化钠溶液调节 PH 值至中性, 吸取 400 μ L, 按“2.2”项下自“加 0.5 mol·L⁻¹ 的 PMP 甲醇溶液”起, 依法操作。

2.4 色谱条件

2.4.1 中国药典色谱条件 采用 Diamonsil C₁₈ 柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μ m), 以乙腈-0.02 mol·L⁻¹ 乙酸铵溶液 (20 : 80) 为流动相, 检测波长为 250 nm, 进样量为 10 μ L, 柱温为 30 $^{\circ}$ C, 流速为 1.0 mL·min⁻¹。结果发现 PMP 与甘露糖没有完全分离, 结果见图 1。

2.4.2 优化后色谱条件 方法①: 优化“2.3.1”项下色谱条件, 以乙腈-0.02 mol·L⁻¹ 乙酸铵溶液 (18 : 82) 为流动相, 结果表明 PMP 与甘露糖色谱峰已完全分离, 但内标盐酸氨基葡萄糖与样品杂质峰却没有完全分开, 结果见图 2。

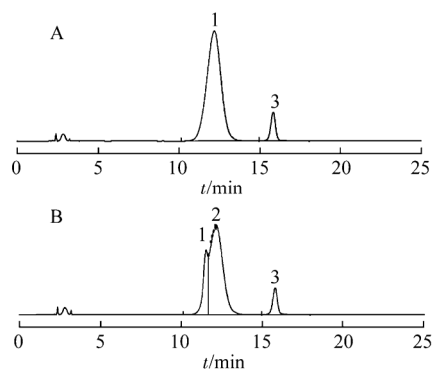


图 1 高效液相色谱图

A-内标; B-对照品; 1-PMP; 2-甘露糖; 3-盐酸氨基葡萄糖。

Fig. 1 HPLC chromatograms

A-internal standard; B-standard solution; 1-PMP; 2-mannose; 3-glucosamine hydrochloride.

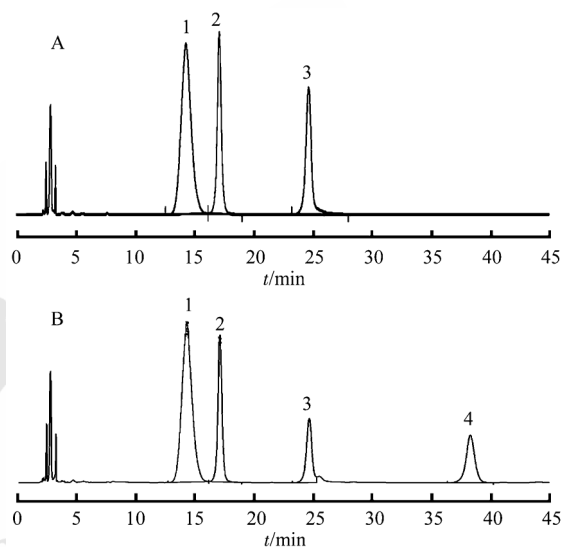


图 2 色谱图(优化方法①)

A-对照品; B-样品; 1-PMP; 2-甘露糖; 3-盐酸氨基葡萄糖; 4-葡萄糖。

Fig. 2 HPLC chromatograms

A-standard solution; B-sample solution; 1-PMP; 2-mannose; 3-glucosamine hydrochloride; 4-glucose.

方法②: 优化“2.3.1”项下色谱条件, 以乙腈(A)-0.02 mol·L⁻¹ 乙酸铵溶液(B)为流动相, 梯度洗脱, 洗脱程序如下: 0~60 min, 16%A; 50~51 min, 16%→25%A; 51~59 min, 25%A; 59~60 min, 25%→16%A; 60~75 min, 16%A。结果显示, 内标盐酸氨基葡萄糖已与样品杂质峰完全分离, 但 PMP 色谱峰中包含一个小峰, 结果见图 3。

方法③: 优化“2.3.1”项下色谱条件, 以乙腈(A)-0.02 mol·L⁻¹ 乙酸铵溶液(B)为流动相, 梯度洗脱, 洗脱程序如下: 0~60 min, 14%A; 60~61 min, 14%→25%A; 61~69 min, 25%; 69~70 min, 25%→14%A; 70~80 min, 14%A。结果表明, 各

峰的分离度均>1.5, 且均为纯峰, 结果见图 4。

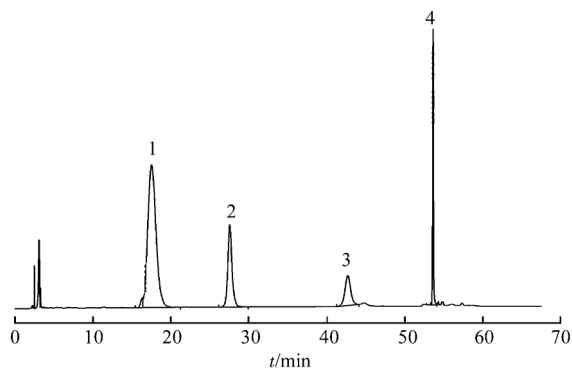


图 3 样品色谱图(优化方法②)
1-PMP; 2-甘露糖; 3-盐酸氨基葡萄糖; 4-葡萄糖。
Fig. 3 HPLC chromatograms of sample solution(The second optimized method)
1-PMP; 2-mannose; 3-glucosamine hydrochloride; 4-glucose.

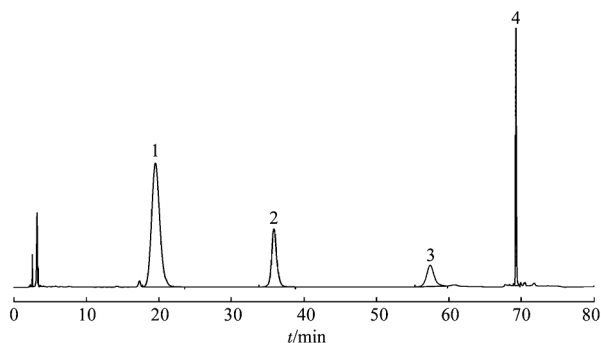


图 4 样品色谱图(优化方法③)
1-PMP; 2-甘露糖; 3-盐酸氨基葡萄糖; 4-葡萄糖。
Fig. 4 HPLC chromatograms of sample solution(The third optimized method)
1-PMP; 2-mannose; 3-glucosamine hydrochloride; 4-glucose.

2.5 优化后的色谱条件的方

法学验证
2.5.1 精密度试验 取“2.2”项下对照品溶液, 连续进样 5 次, 每次 10 μ L, 测其峰面积, 并计算相应的校正因子。甘露糖对照品溶液的校正因子平均值为 0.887 5, RSD 为 0.5%, 仪器精密度良好。

2.5.2 重复性试验 取同一批铁皮石斛样品 6 份, 按“2.3”项下方法制备, 并测定含量, 样品中甘露糖的平均含量为 35.6%, RSD 为 0.8%, 表明方法重复性良好。

2.5.3 稳定性试验 取“2.3”项下供试品溶液, 分别于 0, 2, 4, 8, 12, 24 h 进样, 计算甘露糖峰面积分别为 1 846, 1 853, 1 819, 1 906, 1 848, 1 809, 峰面积平均值为 1 846.8, RSD 为 1.8%, 说明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.5.4 加样回收率试验 依据中国药典 2010 年版附录, 取已知含量的同一批铁皮石斛样品 6 份,

每份约 0.06 g, 按 1:1 的比例加上相应量的对照品, 按“2.3”项下方法制备, 测定甘露糖的含量, 计算回收率, 平均加样回收率为 98.39%, RSD 为 0.14%。结果见表 1。

表 1 甘露糖回收率试验结果

Tab. 1 Recovery test result of *Dendrobii officinalis* caulis

取样量/ g	样品含 量/mg	加入量 /mg	总测得 量/mg	回收量/ mg	回收率 /%	平均回 收率/%	RSD/%
0.061 3	21.78	21.73	43.43	21.65	99.63	98.39	0.14
0.062 4	22.20	21.73	43.16	20.96	96.46		
0.060 8	21.64	21.73	43.05	21.41	98.53		
0.063 1	22.43	21.73	43.89	21.46	98.76		
0.061 2	21.75	21.73	43.01	21.26	97.84		
0.062 5	22.25	21.73	43.79	21.54	99.13		

2.6 样品测试

2.6.1 不同产地铁皮石斛甘露糖含量的分析比较 经测定, 各产地铁皮石斛的甘露糖含量存在一定差异。6 个产地中富阳铁皮石斛甘露糖的含量最高, 且高于中国药典规定的标准, 其次为建德, 采自新昌种源的含量最低, 结果见表 2。

2.6.2 不同产地铁皮石斛检查项比较分析 各产地铁皮石斛中甘露糖与葡萄糖面积比值相差较大, 其中萧山比值最高, 乐清比值最低, 为 1.5, 不符合中国药典的要求, 结果见表 2。

表 2 样品中含量及检查项测定结果

Tab. 2 The results of content and inspection in sample

样品编号	原产地	甘露糖含量/%	甘露糖与葡萄糖峰面积比
1	萧山	35.8	3.9
2	金华	32.3	3.7
3	建德	38.6	3.6
4	富阳	40.8	2.5
5	乐清	35.9	1.5
6	新昌	23.8	3.8

3 讨论

3.1 色谱条件的优化

图 1 显示, 中国药典色谱条件下的甘露糖峰与 PMP 峰包含在一起, 无法计算甘露糖的含量。采用梯度洗脱方式对中国药典收载的铁皮石斛甘露糖含量测定的色谱条件中的流动相配比进行优化, 考察不同比例流动相对色谱峰分离度的影响, 结果显示, 铁皮石斛的色谱条件按照优化方法③改进, 其色谱峰均能达到良好的分离。因此建议在下一中国药典修订时重新制定标准, 以提高铁皮石斛药材的质量控制。

3.2 不同产地铁皮石斛的比较

分析结果显示, 浙江不同产地铁皮石斛的甘

露糖含量存在一定的差异,其中富阳和建德的含量明显高于药典标准,可见这 2 个产地铁皮石斛的整体质量水平较高。在检查项上,甘露糖含量与甘露糖和葡萄糖比值不存在规律性,由数据可见,建德产地与萧山产地面积比值相当,表明建德铁皮石斛具有一定的质量优势,为浙江省铁皮石斛的最适产地。各产地存在差异可能是地理位置、气候条件、栽培技术等多因素综合作用的结果,具体影响程度还有待进一步研究。

REFERENCES

- [1] LI H Y, LIU G M, YANG Z J, et al. Research and development review and prospects of *Dendrobium officinale* [J]. J Anhui Agri(安徽农业科学), 2014, 42(34): 12173-12176.

- [2] HUA Y F. Study on *Dendrobium officinale* polysaccharide [D]. Zhejiang University, 2005.
- [3] LI Y. Studies on the chemical constituents of *Dendrobium candidum* [D]. Peking Union Medical College, 2009.
- [4] ZHANG L L, BAI Y L, SU S L, et al. Optimization of chromatographic conditions in the determination method of Mori Folium in Chinese Pharmacopoeia [J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志), 2014, 34(4): 717-722.
- [5] YANG D Z, XU W S, ZHANG L, et al. Optimization of HPLC method of roxithromycin in Chinese Pharmacopoeia [J]. China Pharm(中国药房), 2011, 22(17): 1604-1606.
- [6] DAI Y P. Research on good agricultural practices of *Dendrobium officinale* [D]. Zhejiang A&F University, 2012.
- [7] LIU W J, SUN Z R, DU Y, et al. Main chemical compositions and fingerprints of Tiepishihu (*Dendrobium candidum*) produced from different areas [J]. J Beijing Univ Tradit Chin Med(北京中医药大学学报), 2013, 36(2): 117-120.

收稿日期: 2015-07-20

双花百合片的化学成分研究

王红敏, 郑璐, 丛海建, 房莲相, 朱华荣, 吴斌^{*}(扬子江药业集团上海海尼药业有限公司, 上海 201318)

摘要: 目的 研究双花百合片的化学成分。方法 综合采用大孔树脂、C₁₈、Sephadex LH-20、MCI 等柱色谱方法对双花百合片干膏粉进行分离纯化,通过高效液相色谱、薄层色谱和波谱数据分析进行结构鉴定。结果 从双花百合片干膏粉中分离得到 8 个化合物,分别鉴定为绿原酸(I)、木兰花碱(II)、非洲防己碱(III)、表小檗碱(IV)、黄连碱(V)、药根碱(VI)、小檗碱(VII)及巴马汀(VIII),并确认归属到各药材。结论 化合物 I 来源于药材金银花, II~VIII 来源于药材黄连。

关键词: 双花百合片; 化学成分研究; 绿原酸; 小檗碱

中图分类号: R284.1; R917.101

文献标志码: B

文章编号: 1007-7693(2016)05-0572-05

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2016.05.012

Chemical Constituents from Shuanghua Baihe Tablets

WANG Hongmin, ZHENG Lu, CONG Haijian, FANG Lianxiang, ZHU Huarong, WU Bin^{*}(Shanghai Haini Pharmaceutical Co., Ltd., Yangtze River Pharmaceutical Group, Shanghai 201318, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To study the chemical constituents from Shuanghua Baihe tablets. **METHODS** The compounds were isolated and purified by the methods of macroporous resin, C₁₈, Sephadex LH-20, MCI column chromatography, and the structures were elucidated by the means of HPLC, TLC and spectral analysis, and physiochemical properties. **RESULTS** Eight compounds were isolated and identified as chlorogenic acid (I), magnoflorine (II), columbamine (III), epiberberine (IV), coptisine (V), jatrorrhizine (VI), berberine (VII), and palmatine (VIII). All the isolates were assigned to herbs. **CONCLUSION** Compound I belongs to Lonicera Japonica Flos, and compounds II-VIII belong to Coptis Rhizoma.

KEY WORDS: Shuanghua Baihe tablets; chemical study; chlorogenic acid; berberine

双花百合片是由黄连(Coptis Rhizoma)、苦地丁(Corydalis bungeanae Herba)、板蓝根(Isatis Radix)、紫草(Albizia Radix)、金银花(Lonicera

Japonicae Flos)、淡竹叶(Lophatheri Herba)、蛇胆、生地黄(Rehmanniae Radix)、百合(Lilii Bulbus)、细辛(Asari Radix et Rhizoma)10 味药组成的中成

作者简介: 王红敏, 女, 博士 Tel: (021)68128999-1285
Tel: (021)68128999-5509 E-mail: wubin1031@hotmail.com

E-mail: wanghongminn@126.com

^{*}通信作者: 吴斌, 男, 博士, 副研究员