

利用气相色谱/质谱联用分析林麝 麝香中麝香酮和甾类成分

苏国义¹, 吴艾林¹, 甘小妮², 岳碧松¹, 李静^{1*}

(1. 四川大学生命科学学院, 四川省濒危动物保护生物学重点实验室, 成都 610064; 2. 中国科学院水生生物研究所)

摘要:采用气相色谱/质谱(GC/MS)联用的方法,对林麝麝香中的甾体成分进行分析,确定了林麝麝香样品含有多甾体成分的结构,并分析了不同来源的林麝麝香的麝香酮及甾体成分。通过检索 NIST05 质谱库,进一步确定了麝香中含有 16 种甾体成分。利用外标法、标准曲线法同时测定了麝香样品中 3 种甾类成分(胆固醇、苯胆烷醇酮及麝香酮)的含量,麝香酮的定量分析显示所有样品麝香中麝香酮含量均较高(30.1~45.2 mg/g),但甾类成分含量波动较大。聚类分析显示,9 个麝香样品聚为两支。利用 GC/MS 技术检测麝香成分的方法,可以提供麝香较为全面的甾类信息,可高效准确地对麝香进行质量分析。

关键词:麝香; 林麝; 气相色谱/质谱联用仪(GC/MS); 聚类分析

中图分类号:Q959.7;Q41 文献标识码:A 文章编号:1000-7083(2009)04-0509-04

Quantitative Analysis of Musk Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry

SU Guo-yi¹, WU Ai-lin¹, GAN Xiao-ni², YUE Bi-song¹, LI Jing^{1*}

(1. College of Life Sciences, Sichuan University, Key Laboratory of Conservation Biology on Endangered Wildlife, Sichuan Province, Chengdu 610064, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract: Musk is one of the precious animal products used in traditional Chinese medicine. Musk samples were analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) in this study. It was found that musk contained a complex mixture of different steroids. The steroidal components of different samples were also analyzed and compared. Sixteen kinds of steroids in musk samples were confirmed by NIST05 library searching. Three pharmacologically active components (muscone, cholesterol, and etiocholan-3 α -ol-17-one) were quantified in the different samples. The results showed that changes in cholesterol and etiocholan-3 α -ol-17-one were obvious in all musk samples. In contrast, muscone levels in musk samples were stable (30.1~45.2 mg/g). In order to distinguish between musk samples, a hierarchical cluster analysis was performed. The results showed that the 9 musk samples could be divided into two groups. With the help of gas chromatography-mass spectrometry, the quality of musk samples can be analyzed quickly and accurately.

Key words: musk; *Moschus Berezovskii*; gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS); hierarchical cluster analysis

麝香(Musk)是麝科动物林麝 *Moschus berzovskii* Flerov、马麝 *M. sifanicus* Przewalssi 和原麝 *M. moschiferus* Linaeus 等成熟雄体脐下香腺囊分泌物的干燥品,是我国特有的珍贵动物药材。麝香作为一种天然的动物药,组分为低极性、小分子量、具挥发性的物质(胡秉龙等,1997),其中具有药理、生理活性的主要是一些脂溶性成分,如麝香酮(muscone,3-甲基环十五烷酮)、甾族化合物等。含量测定多采用气相色谱(GC)法(陈雪,高兆润,1981;吴芬宏等,2006)、液相色谱法(HPLC)(吴悦等,1989)、薄层扫描法(TLC)(韩咸泰等,1990;崔文花,金美花,

1995),它们具有用量少、方法灵敏的特点。

俞波等(1988)采用薄层定量方法测定了 5 批麝香的雄甾烷类化合物的含量。刘艳南等(1989)采用气相色谱法结合内标法测定了麝香和麝香注射剂中麝香酮和雄甾烷的含量。质谱技术或色谱和质谱技术的联合应用对中药的分析具有更大的优势。在缺乏标准品的情况下,可达到对多种成分的定性分析,为解决复杂样品体系分析提供了方法。张皓冰等(2005)采用气相色谱-质谱(GC/MS)联用技术检测并确定了原麝麝香中的大环化合物及甾族化合物,发现甾体组分种类及含量有较大差别,并具有较强

收稿日期:2008-12-16

作者简介:苏国义(1983~),男,硕士研究生,研究方向:细胞生物学,E-mail: suguoyi2004@yahoo.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ljtf@126.com

的特征性,因此建议以雄甾激素成分作为麝香质量控制的指标。本文利用 GC/MS 联用技术,检索 NIST05 质谱库,对林麝麝香样品中的成分进行定性分析,结合标准曲线法测定了两种甾体成分(胆固醇、苯胆烷醇酮)及麝香酮的含量,并选取 12 个甾类色谱峰,采用聚类分析的方法,对林麝麝香的质量进行鉴别。

1 药品与仪器

1.1 麝香样品

1、2、6、7、8、9[#]林麝麝香由四川马尔康养麝场提供;3、4、5[#]麝香样品由四川省药品检验所提供。

1.2 仪器和药品

气相色谱-质谱联用仪 GC/MS QP2010 (Shimadzu, Kyoto, Japan)、色谱柱(Rtx-5sil MS 柱, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)、SB2200 型超声破碎机(上海必能信超声有限公司)、旋转蒸发器(上海申胜生物技术有限公司)。

麝香酮标准品购于四川省药品检验所,胆固醇、苯胆烷醇酮标准品购于 Sigma(USA),乙醇为国产分析纯。

2 方法

2.1 实验条件

2.1.1 气相色谱分析 色谱柱初始温度 120℃,以 4℃·min⁻¹的速度升至 220℃,保留 6 min;再以 4℃·min⁻¹速度升温至 250℃,保留 8 min;最后以 10℃·min⁻¹的速度升温至 280℃。进样口温度为 270℃;柱前压 60 kPa;进样量 1 μL;载气为氦气,载气流量 1 mL/min。

2.1.2 质谱分析 离子源温度 250℃;接口温度 230℃;电子能量 70 eV;离子源为 EI,离子源温度为 250℃;溶剂延迟 3 min。质谱扫描范围 40~400 amu,扫描速度为 0.5 s/dec。

2.2 样品供试液制备

以乙醇提取溶剂,采用超声处理方法提取麝香。每次处理取麝香样品 100.0 mg,加入溶剂 15 mL,于超声破碎机上处理 10 min,重复 4 次,合并各上清液,分别定容至 2 mL。

2.3 标准品的配制

精确称取麝香酮、胆固醇、苯胆烷醇酮标准品 0.05 mg 置于 5 mL 容量瓶中,用乙醇定容至刻度,摇匀,作为标准品溶液。

2.4 测定方法

分别精确吸取对照品溶液与供试品溶液各 1 μL,注入气相色谱-质谱联用仪,测定并记录各麝香提取液色谱图的峰数、峰面积、保留时间。

2.5 方法学研究

线性关系的考察 吸取标准溶液稀释,配制成如表 1 所示浓度范围内的 5 个浓度水平的标准溶液。分析结果以各标品量/麝香酮量为 X 轴,各标品峰面积/麝香酮面积为 Y 轴作标准曲线。结果见表 1。

表 1 3 种待测物质的的线性关系
Table 1 Regression equation and linear range of three investigated compounds

标准品 Analytes	线性关系 Linear regression data		确定系数 (r^2)
	线性方程 Regression equation	线性范围 (mg/ml) Linear range (mg/ml)	
麝香酮	$Y = 1224X + 0.0392$	0.033 ~ 0.520	0.9988
胆固醇	$Y = 900.24X + 30.047$	0.013 ~ 0.210	0.9921
苯胆烷醇酮	$Y = 387.63X + 4.5178$	0.020 ~ 0.640	0.9999

稳定性实验 取一份麝香提取液,分别在 0、8、16、24、48 h 进样,分别记录麝香提取液气相色谱图的峰数、峰面积、保留时间。选取峰面积之和占总面积 90% 以上的色谱峰,计算其相对保留时间和相对峰面积。结果显示各主要峰的相对保留时间的相对标准偏差 RSD 均小于 1.0%,相对峰面积均小于 3.0%,表明麝香提取液在 48 h 内的稳定性较好。

精密度实验 取一份麝香提取液,连续进样 5 次,分别记录麝香提取液气相色谱图的峰数、峰面积、保留时间,选取峰面积之和占总面积 90% 以上的色谱峰,计算其相对保留时间和相对峰面积。结果显示,各主要峰的相对保留时间的相对标准偏差 RSD 均小于 1.0%,相对峰面积均小于 3.0%,表明本实验仪器的精密度较好。

重现性实验 取同一份麝香 5 份,按 2.1 方法制备,进样分析,分别记录麝香提取液气相色谱图的峰数、峰面积、保留时间,选取峰面积之和占总面积 90% 以上的色谱峰,计算其相对保留时间和相对峰面积。结果显示,各主要峰的相对保留时间的相对标准偏差 RSD 均小于 1.0%,相对峰面积均小于 3.0%,表明本实验的重现性较好。

取各麝香样品麝香提取液,按气相色谱条件进样,记录与标准品出峰时间对应峰的峰面积,以外标法计算各提取液中麝香酮、胆固醇、苯胆烷醇酮的含量。

3 结果

3.1 林麝麝香样品的图谱分析

采用 GC/MS 联用技术,按照色谱质谱条件对各麝香提取液进行分析,得到总离子流图(图 1)。在提取液的总离子流图上,采用质谱工作站,检索 NIST05 质谱库。通过质谱工作站得到的各色谱峰的质谱图与 NIST05 质谱库中的标准质谱图比对后

可以确定组分。如提取液中保留时间 17.250 min 的组分为一个完整的色谱峰,在不同的色谱保留时间点检索为同一物质,待定组分的质谱图与麝香酮标准质谱图对比,相似度为 97%;并通过与麝香酮标准品的气相色谱图谱比较,确定保留时间为 17.250 min 峰对应的化合物是麝香酮。采用同样的方法确定保留时间为 35.472、37.10 min 峰对应的化合物是苯胆烷醇酮、胆固醇(图 1)。

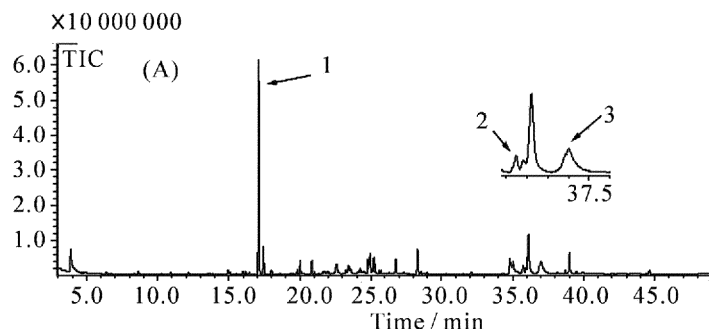


图 1 林麝麝香的总离子流图 (1)麝香酮 (2)苯胆烷醇酮 (3)胆固醇
Fig. 1 A typical GC/MS total ion chromatograms of musk (1) muscone (2) etiocholan-3 α -ol-17-one(3) cholesterol

麝香酮是峰强度最强的色谱峰,也是整个图谱中峰高最高、峰面积最大、相对峰面积比较稳定的色谱峰。在 9 份林麝麝香样品中,都检测到麝香酮成分(保留时间为 17.250 min),并且其含量相对稳定(30.1 ~ 45.2 mg/g)。在保留时间 20.00 ~ 29.00 min 处,含有较多的低挥发性组分,多为脂肪族不饱和和醛酮及醇类化合物。在保留时间 34.50 ~ 39.50 min 处,检测到多个甾体组分的色谱峰,经 NIST05 质谱库检索,基本确定了其化学成分(表 2)。在进行谱库检索时,检索结果按匹配度高低排列。一般

说来,匹配度最高的检索结果,其 NIST 谱库标准谱与实测谱差异最小。本研究结果发现 1、2、6、7、8、9[#]样品的色谱峰数较丰富,所得总离子流图基本一致;在 34.50 ~ 39.50 min 范围内色谱峰较多,含 16 种甾体成分,部分含量较高的激素种类及峰形十分相似,而低含量的甾体组分种类及含量有较大差别,有较强的特征性。而其他 3、4、5[#]麝香样品,所得总离子流图差别较大,在 34.50 ~ 39.50 min 范围内色谱峰较少,仅检测到 7 种。

表 2 各样品中甾体组分 NIST 谱库检索结果
Table 2 Steroids types in musk samples from forest musk deer determined by GC/MS

激素 steroids	样品 samples								
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
雄甾-17-酮-3 α ,11-二羟基		+				+	+	+	
苯胆烷醇酮	+	+		+		+	+	+	+
5 α -雄甾-3, 17-二醇		+					+	+	+
5 β -雄甾-3, 17-二醇	+		+	+	+	+	+	+	+
5 α -雄甾-3, 17-二酮	+		+				+		+
5 β -雄甾-3, 17-二酮				+	+	+			+
雄甾-4-烯,3,17-二酮	+	+				+	+	+	+
雄甾-4,6-二烯,3,17-二酮						+	+	+	+
胆固醇	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 α -7 烯胆甾烷醇									+
雄甾-17 酮-3-乙酸酯							+		
雄甾-3-酮-11,17-二醇		+							
雄甾-3-酮-4-烯-17-醇		+	+				+		
雄甾-3,17-二乙酸酯		+	+		+	+	+	+	
雄甾-3-酮-4,16-二烯	+							+	
雄甾-1,4-二烯-3,17-二酮						+			

3.2 麝香样品的鉴别

以外标法计算 1~9[#] 麝香样品中麝香酮、胆固醇、苯胆烷醇酮的含量,结果见表 3。9 个样品中麝香样品的麝香酮含量均高于《药典》规定的 2.0%,并无太明显的差别。样品 1、2、6、7、8、9[#] 中胆固醇、苯胆烷醇酮含量较高,而 3、4、5[#] 样品中这两种化合物的含量有一些差异,样品 4[#] 中苯胆烷醇酮含量较高,胆固醇含量较低;样品 3、5[#] 的胆固醇含量分别为 0.2 mg/g、0.7 mg/g,并没有检测到苯胆烷醇酮。

表 3 1~9[#] 麝香样品的麝香酮、胆固醇、苯胆烷醇酮含量
Table 3 Contents of three investigated compounds in musk from different musk samples

分析物 Analytes	不同麝香样品的含量 (mg/g) Change of analytes content in musk samples (mg/g)								
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
麝香酮	37.4	30.1	35.1	38.4	32.6	41.5	43.2	43.8	45.2
胆固醇	2.9	1.7	0.2	0.3	0.7	5.4	3.1	1.2	2.4
苯胆烷醇酮	2.4	0.9	N.D	0.4	N.D	1.5	2.8	1.9	1.3

采用软件 SPSS13.0 对样品进行聚类分析的结果见图 2。选取 12 个甾类色谱峰,以麝香酮的峰为参照的相对保留时间及相对峰面积,以相对峰面积为指标,选用平均距离作为样品间的相似性测度。9 个样品聚为两类,1、2、6、7、8、9[#] 样品聚为一支,3、4、5[#] 样品聚为一支。其中前一支样品间相似性均在 0.95 以上,后一支样品间的相似性均在 0.85 以上,而这两大类样品间的相似性仅为 0.74。

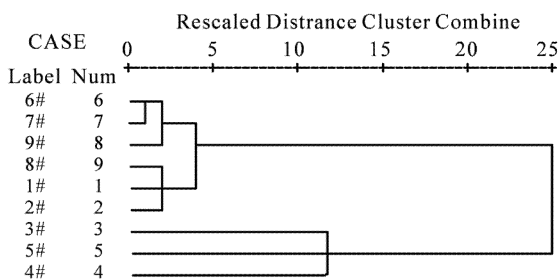


图 2 1~9[#] 麝香样品的聚类分析图

Fig. 2 Dendrogram resulting from average linkage between samples by hierarchical cluster analysis

4 讨论

本研究采用气相色谱/质谱联用法,首次对林麝麝香组分进行定性分析。在 GC/MS 提供的总离子流图的每个峰中,同时给出相对应的质谱碎片峰,由此可推测每个色谱峰的分子结构。利用气相色谱-质谱联用法一次进样可以同时检测多种物质,表明该方法可用于复杂体系组分的研究,并具有简便、快速的优点。

研究表明麝香中具有生理、药理活性的成分主要是大环化合物及甾族化合物(尹士敏,王士贤,2002)。同样,GC/MS 联用技术对原麝麝香的甾体成分进行分析,鉴定出了 19 个甾体化合物(张皓冰,2005)。本研究通过 GC/MS 联用技术,利用 NIST05 标准谱库进行相似性检索,在林麝麝香中共检测到 16 种激素。这就说明林麝麝香与原麝麝香中都含有多种雄激素(雄甾-3,17-二酮 3 α 、雄甾-3,17-二酮 5 α 、雄甾-3,17-二酮 5 β 、雄甾-4-烯-3,17 酮、雄甾-4,6-二烯 3,17-二酮、胆固醇、苯胆烷醇酮等)甾体成分;另外多个组分(雄甾-3-酮-11,17-二酮、雄甾-1,4-二烯-3,17-二酮等)系在林麝麝香中首次发现。这也说明中药麝香中所含甾体化合物是十分复杂的。

麝香酮的含量是衡量麝香质量的重要指标,麝香的质量鉴别通常是以麝香酮的含量分析为主(吴启端等,2001),同时利用外标法(汪正范,2000)对其中两种激素组分进行定量。本研究比较了麝香样品中麝香酮含量,结果发现麝香提取液中,麝香酮的含量均较高,无明显变化(30.1~45.2 mg/g),这也符合我国药典规定天然麝香中麝香酮的含量不得低于 2.0%。张正环等(1982)采用气相色谱法对尼泊尔产的麝香样品中麝香酮的测定,发现含量在 2.0% 以上。而通过 GC/MS 联用技术对原麝麝香分析后,发现原麝麝香中不含麝香酮或麝香酮含量很低(张皓冰等,2002)。这说明仅用单一的麝香酮含量作为麝香的质量控制指标很难鉴别麝香的真伪。与之类似,久保喜一使用薄层析法结合气相色谱法定量了麝香中麝香酮的含量,也认为只以测定麝香中麝香酮含量来衡量设想的品质是不够的,但同时他也认为麝香中麝香酮含量与麝香的质量密切相关(张正环,乐佩芳,1982)。

洪筱坤等(1991)对进口麝香的雄酮类激素和胆固醇含量测定,显示在优质品麝香中其麝香酮、雄酮类激素和胆固醇含量也相对较高。本研究采用外标法对麝香样品中的甾类成分胆固醇、苯胆烷醇酮进行定性定量分析,结果发现 1、2、6、7、8、9[#] 麝香样品含量较高,且色谱峰丰富;聚类分析发现该组样品间的相似性均在 0.95 以上,可聚为一类,可认为是正品麝香。而 3、4、5[#] 麝香样品经气相色谱分析发现其色谱峰远远少于其他 6 个样品,聚类分析也表明该 3 个麝香样品聚为一类,与其他样品的相似性较低。在该麝香样品中麝香酮含量虽然超过 2.0%,但样

(下转第 516 页)

- weight cycles in hamsters[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 9: 599 ~ 612.
- Bartness TJ, Goldman BD. 1989. Mammalian pineal melatonin: a clock for all seasons[J]. *Experientia*, 45: 939 ~ 945.
- Burness GP, Ydenberg RC, Hochachka PW. 1998. Interindividual variability in body composition and resting oxygen consumption rates in breeding tree swallows, *Tachycineta bicolor*[J]. *Physiol Zool*, 71: 247 ~ 256.
- Brugger KE. 1991. Anatomical adaptation of the gut to diet in red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*) [J]. *Auk*, 198: 562 ~ 567.
- Cooper SJ, Swanson DL. 1994. Seasonal acclimatization of thermoregulation in the black-capped chickadee[J]. *Condor*, 96: 638 ~ 646.
- Daan S, Masman D, Groenewold A. 1990. Avian basal metabolic rates: their association with body composition and energy expenditure in nature[J]. *Am J Physiol*, 259R: 333 ~ 340.
- Degen AA. 1997. *Ecophysiology of small desert mammals* [M]. Berlin: Springer-Verlag: 163 ~ 236.
- Ferraris RP. 1994. Relation of intestinal nutrient transport [A]. In: John L, ed. *Physiology of the gastrointestinal tract* [M]. New York: Raven Press: 1821 ~ 1844.
- Hammond KA, Szewczak J, Król E. 2001. Effects of altitude and temperature on organ phenotypic plasticity along an altitudinal gradient [J]. *J Exp Biol*, 204: 1991 ~ 2000.
- Liknes ET, Scott SM, Swanson DL. 2002. Seasonal acclimatization in the American goldfinch revisited; to what extent do metabolic rates vary seasonally[J]. *Condor*, 104: 548 ~ 557.
- MacKinnon J, Phillipps K. 2000. *A Field Guide to the Birds of China* [M]. London: Oxford University Press: 312 ~ 340.
- Piersma T, Bruinzeel L, Drent R, et al. 1996. Variability in basal metabolic rate of a long-distance migrant shorebird (Red Knot, *Calidris canutus*) reflects shifts in organ sizes[J]. *Physiol Zool*, 69: 191 ~ 217.
- Rintamaki PT, Stone JR, Lundberg SA. 2003. Seasonal and diurnal body-mass fluctuations for two nonhoarding species of *parus* in Sweden modeled using path analysis[J]. *Auk*, 120: 658 ~ 670.
- Starck JM, Rahmaan GHA. 2003. Phenotypic flexibility of structure and function of the digestive system of Japanese quail [J]. *J Exp Biol*, 206: 1887 ~ 1897.
- Starck JM. 2005. Structural flexibility of the digestive system of tetrapods—patterns and processes at the cellular and tissue level [A]. In: Starck JM, Wang T, eds. *Physiological and ecological adaptations to feeding in vertebrates* [M]. Enfield New Hampshire: Sciences Publisher: 175 ~ 200.
- Swanson DL. 1995. Seasonal variation in thermogenic capacity of migratory warbling vireos[J]. *Auk*, 112: 870 ~ 877.
- Swanson DL. 2001. Are summit metabolism and thermogenic endurance correlated in winter-acclimatized passerine birds? [J]. *J Comp Physiol B*, 171: 475 ~ 481.
- Williams J, Tieleman BI. 2000. Flexibility in basal metabolic rate and evaporative water loss among hoopoe larks exposed to different environmental temperatures[J]. *J Exp Biol*, 203: 3153 ~ 3159.

(上接第 512 页)品中仅含有少数激素,胆固醇、苯胆烷醇酮含量也远远低于天然麝香(冯维国等,1997),推测可能是掺入了人工麝香酮的劣质或伪品麝香。由于合成麝香酮的人为添加较为容易,而甾体激素成分较为复杂,难以模仿,因此麝香样品中甾体激素的种类及含量对麝香种类、质量优劣及真伪的鉴别尤其重要。利用 GC/MS 分析麝香酮和甾体成分的方法能较好地鉴别麝香的质量,可高效、准确地对麝香质量进行分析,为麝香这一珍贵的动物药材的质量控制提供了有力的分析技术。

5 参考文献

- 陈雪,高兆润. 1981. 天然麝香研究的概况[J]. *中草药*, 12(5): 44.
- 崔文花,金美花. 1995. 薄层-分光光度法测定中成药中麝香酮的含量[J]. *延边医学院学报*, 18(1): 28 ~ 30.
- 冯维国,温雅琴,刘捷. 1997. 麝香质控标准探讨[J]. *中成药*, 19(6): 50.
- 国家药典委员会. 2005. *中华人民共和国药典 2005 年版* [M]. 北京: 化学工业出版社: 266 ~ 267.
- 韩威泰,高磊,侯志强. 1990. 麝香中麝香酮的薄层色谱扫描法[J]. *药物分析杂志*, 10(1): 46 ~ 47.
- 洪筱坤,王智华,朱孝芸. 1991. 麝香质控标准初探[J]. *中国中药杂志*, 16(4): 230 ~ 232.
- 胡秉龙,杨玉珍,胡素勤. 1997. 麝香研究新进展[J]. *中医药信息*, 2: 11 ~ 12.
- 刘艳南,吴立军,何思煌. 1989. 麝香和麝香注射剂中麝香酮和雄甾烷的含量测定[J]. *沈阳药学院学报*, 6(1): 36 ~ 40.
- 汪正范. 2000. *色谱定性与定量* [M]. 北京: 化学工业出版社: 177.
- 吴芬宏,高媛,李静. 2006. 麝香中脂溶性成分的提取与麝香质量鉴别[J]. *四川动物*, 25(1): 137 ~ 141.
- 吴启端,魏刚,方永奇. 2001. 麝香酮的 GC/MS 联用定量分析方法研究[J]. *中药新药与临床药理*, 12(5): 368 ~ 370.
- 吴悦,吴鹏,肖宣,等. 1989. 天然麝香、养香和原香的 HPLC 分析[J]. *药科学报*, 24(4): 303 ~ 311.
- 尹士敏,王士贤. 2002. 麝香的药理作用及临床研究近况[J]. *天津药学*, 14(3): 42 ~ 44.
- 俞波,郭希圣,涂国土. 1988. 麝香雄甾烷类化合物的高效薄层定量方法研究[J]. *药物分析杂志*, 8(6): 337 ~ 340.
- 张皓冰,何昱,贾国惠,等. 2002. 气相色谱/质谱(GC/MS)联用技术对麝香的多成分含量分析[J]. *中成药*, 24(11): 868 ~ 871.
- 张皓冰,陶奕,洪筱坤. 2005. 气相色谱/质谱(GC/MS)联用测定麝香中甾体成分的研究[J]. *中成药*, 27(1): 79 ~ 83.
- 张正环,乐佩芳. 1982. 天然麝香中麝香酮的气相色谱法测定[J]. *药科学报*, 17(12): 922 ~ 927.