

峨眉山不同山峪和海拔高度鱼腥草 (*Houttuynia cordata* Thunb.)居群挥发油成分的变化

刘 雷 ,吴 卫* ,郑有良 ,黄春燕 ,刘仁健

(四川农业大学农学院 ,四川雅安 625014)

摘要 :以分布于峨眉山不同山峪不同海拔 (500 ~ 1800m)的 17 个鱼腥草 (*Houttuynia cordata* Thunb.)居群及生长地土样作为试验材料 ,按土壤农化分析常规方法对土壤 pH 值及土壤营养元素进行测定 ,用水蒸馏法提取植株地上部分的挥发油 ,并用 GC-MS 对挥发油化学成分进行分离和鉴定 ,峰面积归一法测定各成分含量。结果显示 ,峨眉山鱼腥草生长地土壤肥力水平较高 ,对鱼腥草的生长极为有利。从所有居群中共鉴定出 35 种化合物 ,各居群挥发油成分组成及含量存在较大的差异。月桂烯作为四个山峪唯一共有的主要成分在各居群中均能检测到 ,且在各居群中的平均含量最高。乙酸龙脑酯和 trans- β -罗勒烯的含量与海拔高度间分别存在显著和极显著正相关。方差分析及多重比较的结果表明 ,不同山峪以及海拔高度对各居群挥发油成分和含量有显著影响。通过偏相关分析发现土壤微量元素对鱼腥草挥发油共有成分合成与积累的作用大于大量元素 ,微量元素中以有效钼的影响最为显著 ,大量元素中以速效钾的影响最为显著。采用逐步多元回归分析筛选出了对挥发油共有成分含量影响显著的土壤营养元素。

关键词 :鱼腥草 ,挥发油 ,居群 ,海拔 ,生态因子 ,土壤养分 ,气相色谱-质谱法

文章编号 :1000-0933 (2007)06-2239-12 中图分类号 :Q142 ,Q948.1 ,R931.2 文献标识码 :A

Variations on the chemical components of the volatile oil of *Houttuynia cordata* Thunb. populations from different valleys and altitudes of Mt. Emei

LIU Lei ,WU Wei* ,ZHENG You-Liang ,HUANG Chun-Yan ,LIU Ren-Jian

Agronomy College ,Sichuan Agricultural University ,Sichuan Yaan 625014 ,China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2239 ~ 2250.

Abstract :The aerial part of *H. cordata* and the soil of 17 populations were collected from different valleys and altitudes (500 — 1800m) of Mt. Emei. pH value and soil nutrient contents were determined by regular methods of agricultural chemistry analysis of the soil. Volatile oil was obtained by hydrodistillation from the aerial part of all materials. The chemical constituents were separated and identified by GC-MS , and the relative content of each constituent was determined by area normalization. The results showed that fertility of all the soil samples were higher , which was an advantage to the growth of *H. cordata* populaions. Totally , thirty-six components were identified. The components and content of volatile oil in different *H. cordata* populations were various. Myrcene , being the main component , could be detected in all populations , and its average content was higher than that of other chemical components. The content of bornyl acetate had positive

基金项目 :四川省教育厅重点资助项目 (2003 A011) ;教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

收稿日期 :2006-06-01 ;修订日期 :2007-11-28

作者简介 :刘雷 (1980 ~) ,男 ,四川彭州人 ,硕士生 ,主要从事特用植物遗传育种研究。E-mail :liulei1778@sohu.com.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :ewuwei@sicau.edu.cn

Foundation item :The project was financially supported by Key stone item of the office of Education in Sichuan Province (No. 2003A011) ;The project sponsored by the scientific research foundation for the returned overseas Chinese scholar

Received date 2006-06-01 ;**Accepted date** 2006-11-28

Biography LIU Lei , Master candidate , mainly engaged in genetics and breeding of medicinal plants. E-mail :liulei1778@sohu.com

correlation with the altitude and the content of trans- β -ocimene had significant positive correlation with the altitude. The results of variance analysis and multiple comparisons showed that the altitude had significant influence on the compositions and contents of volatile oil of *H. cordata* populations. It was found that microelements have more important influence on volatile oil components than macroelements through partial correlation analysis. Available B is the most important influence factor in all microelements. Available K is the most important influence factor in all macroelements. Soil nutrients which have significant influence on 10 mutual volatile oil components were deduced by stepwise regression analysis.

Key Words *Houttuynia cordata* Thunb. ; volatile oil ; population ; altitude ; ecology factors ; soil nutrient ; GC-MS

鱼腥草是三白草科蕺菜属蕺菜 (*Houttuynia cordata* Thunb.)之全草。其药蔬兼用,性寒味辛,具清热解毒、消痈排脓、利尿通淋等功能。鱼腥草中化学成分主要包括挥发油、黄酮类、生物碱、有机酸和木脂素等物质。有学者曾对鱼腥草的化学成分和药理作用进行过研究,发现其有效成分为挥发性物质甲基正壬酮、癸酰乙醛、脂肪酸、脂肪醛酮和各种萜烯、萜醇等^[1,2],其中甲基正壬酮为现行的质量控制成分^[3]。

曾有研究表明,同种植物由于分布于不同产地或海拔高度,其次生代谢物存在显著差异^[4~7]。产生这种差异的原因除了遗传背景不同所致外,很大程度上还取决于产地的土壤、水质、气候、日照、雨量、生物分布等生态因素的影响,但其中以土壤养分对其内在成分的质和量影响最大^[8]。研究鱼腥草挥发油成分随海拔高度、山峪以及不同土壤条件的变化,对于了解其挥发油成分在空间上的多样性,合理开发利用鱼腥草资源,有效控制鱼腥草原料的质量以及确保鱼腥草资源可持续利用等均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区的自然概况

峨眉山地处中国四川盆地西南边缘(东经 103°10'30"~103°37'10",北纬 29°16'30"~29°43'42"),形成于距今 3000 万年前的喜马拉雅运动。其东、北临近川西平原,西、南连接青藏高原的山地过渡带和大小凉山。山体为近南北走向的山脉,山顶最高海拔为 3099m。

峨眉山处于中亚热带湿润季风气候区,其气候特征为温暖、潮湿、雨量充沛。随着海拔的增加,其气候、植被和土壤均发生明显变化。海拔 1500m 以下属亚热带气候,海拔 1500~2100m 属暖温带气候,海拔 2100~2500m 属中温带气候,海拔 2500m 以上属亚寒带气候,呈现多层次“立体气候”。海拔每升高 100m,气温下降 0.55℃。峨眉山植物的分布具有明显的垂直规律,海拔 400~1000m 为亚热带常绿阔叶林基带(人工植被),海拔 1000~1500m 为亚热带常绿落叶林,海拔 1900~2800m 为针阔叶混交林,海拔 2800m 以上为亚高山灌丛草甸。土壤类型垂直更替明显,1500m 以下为黄壤,1500~2100m 为黄棕壤,2100~2800m 为暗棕壤,2800m 以上为山地灰化土。

据《中国植物志》和《四川植物志》,三白草科蕺菜属仅蕺菜 (*Houttuynia cordata* Thunb.)一种^[9,10]。根据以前的调查发现,峨眉山鱼腥草资源非常丰富,主要分布在海拔 500~1800m 范围内。祝正银等报道的蕺菜属新种峨眉蕺菜 (*Houttuynia emeiensis* Z. Y. Zhu et S. L. Zhang)也发现于峨眉山^[11]。峨眉山生态条件在空间上的多样性为鱼腥草的种内多样性创造了条件,故以此作为试验材料采集地。

1.2 试验材料

由于在峨眉山海拔 1800m 以上的地区已很难采集到鱼腥草,本试验所有居群的材料均采自海拔 1800m 以下。17 个居群的鱼腥草及其生长地土样分别于 2005 年 7 月 12 日和 7 月 13 日采自峨眉山东、西坡 4 个不同山峪(高桥、龙池、李家山、弓背山)。鱼腥草取其地上部分,每个居群约 1kg,供挥发油提取用;在鱼腥草取样点处随机多点采集表层(0~20cm)土壤,混合后用四分法取 1kg 混合样,共得土壤样品 17 份。各居群的地名、海拔高度、生长环境及多度见表 1。峨眉山东坡(前山)山势陡峭、地形复杂、环境多样,西坡则为 15°~20°的缓坡地貌,地形相对较缓。位于东坡的高桥和龙池两个山峪相距相对较远。位于西坡的李家山和弓背山相互毗邻。

表1 试验材料的采集地点、海拔高度、生长环境及多度

Table 1 The collection sites ,altitudes ,growing environments and abundance of experimental materials

山峪 Valley	居群 Population	海拔 Altitude (m)	生长环境 Growing enviroments		多度 Abundance
龙池 Longchi	A2	1800	路边	roadside	中等 Moderate
	A1	1650	林下、路边	hurst , roadside	多 Much
	A3	1500	路边	roadside	中等 Moderate
	A4	1350	林下	hurst	中等 Moderate
高桥 Gaoqiao	B1	1100	河边、林下	riverine , hurst	中等 Moderate
	B2	900	河边、林下	riverine , hurst	中等 Moderate
	B3	750	林下、田边	hurst , ridge of field	少 Less
李家山 Lijia	C4	1600	田边、路边	ridge of field , roadside	少 Less
	C2	1500	路边、河边	roadside , riverine	中等 Moderate
	C1	1400	路边、林下	roadside , hurst	中等 Moderate
	C3	1300	路边、河边	roadside , riverine	中等 Moderate
弓背山 Gongbei	C5	1200	路边、河边	roadside , riverine	中等 Moderate
	D1	1400	路边、林下	roadside , hurst	少 Less
	D2	1200	林下	hurst	少 Less
	D3	1000	林下	hurst	少 Less
	D4	750	林下	hurst	少 Less
	D5	500	林下、田边	hurst , ridge of field	少 Less

1.3 测定方法

1.3.1 土壤样品养分含量测定

土样的处理和各种营养元素的分析参照《土壤农化分析》^[12]。测定项目和方法依次为：pH 值 (电位计法)、有机质 (重铬酸钾氧化-外加热法)、全氮 (凯氏定氮法)、碱解氮 (碱解扩散法)、速效磷 (0.5mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法)、速效钾 (1mol·L⁻¹醋酸铵浸提-火焰光度法)、有效铁、锰、铜、锌 (1mol·L⁻¹盐酸浸提-原子吸收分光光度法)、有效硼 (沸水浸提-姜黄素比色法)、有效钼 (草酸-草酸铵浸提-极普法)。各项目重复测定 3 次 结果取平均值。

1.3.2 挥发油的提取

将收集的鱼腥草各居群材料的地上部分分别去杂 ,每个居群分别随机取样 3 次 ,洗净 ,擦干 ,剪碎。每次重复称取 50g 入圆底烧瓶 ,加蒸馏水 500ml ,接挥发油提取器 ,加入乙酸乙酯 1ml ,微沸提取 4h ,收集乙酸乙酯层 ,定容至 10ml ,无水硫酸钠干燥过滤后备用^[13]。

1.3.3 挥发油化学成分组成及含量测定

GC 色谱柱 HP-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm) ,载气 He ,流速 1ml/min ,程序升温 :以 5℃/min 从 70℃到 150℃ ,保持 2 min ,然后以 10℃/min 从 150℃到 220℃ ,保持 5 min ;气化温度 250℃ ,进样量 1 μl ,分流比 1:50

MS 电离能量 70eV ;离子源温度 230℃ ;四极杆温度 :150℃ ;电子倍增器电压 :1000V ;溶剂延迟 3min ;质量扫描范围 30 ~ 500 Amu

1.4 数据处理

总离子流色谱图中各峰的鉴定主要通过 NIST 2.0 质谱数据库检索配合以人工分析^[14] ,采用峰面积归一法计算各峰的百分比含量。统计分析均在 DPS_{V6.05} 数据分析软件下完成。

2 结果与分析

2.1 峨眉山鱼腥草居群生长地土壤基本情况

2.1.1 pH 值

17 个鱼腥草居群土样的 pH 值变化范围为 4.73 ~ 6.67 (见表 2) ,其中 pH < 5.5 (酸性)的土样 7 个 ,占

41.18% pH5.5 ~ 6.5 (弱酸性)的土样 9 个,占 52.94% pH6.5 ~ 7.0 (中性)的土样 1 个,占 5.88%。可见,峨眉山鱼腥草生长地的土壤以酸性和弱酸性为主。其中,A 山峪和 B 山峪各居群土样的 pH 值显著低于 C 山峪和 D 山峪。进一步分析,在 pH 值较高 D 山峪各居群中,鱼腥草的多度相对较小(见表 1),说明鱼腥草比较喜欢偏酸性的土壤环境。

2.1.2 有机质

根据《中华人民共和国农业行业标准绿色食品产地土壤肥力分级参考指标》(下同),17 个居群土样中,有机质含量 >30g/kg (优良)的土样 13 个,占 76.47%;有机质含量 20 ~ 30g/kg (尚可)的土样 1 个,占 5.88%;有机质含量 <20 g/kg (较差)的土样 3 个,占 17.65%。可见,峨眉山鱼腥草居群生长地土壤有机质含量普遍较高。

2.1.3 大量元素

全氮和碱解氮 与有机质相适应,各居群土样中全氮含量也较高。其中,16 个土样全氮含量高于 1.20 g/kg,仅一个土样全氮含量低于 1.2 g/kg。同时,土壤碱解氮的含量也极为丰富。全部土样的含量均极显著高于 80mg/kg 的临界值。可见,峨眉山鱼腥草生长地土壤全氮和碱解氮含量均处于较高水平。

速效磷 峨眉山鱼腥草生长地土壤速效磷含量水平变化很大。含量高于 10mg/kg (丰富)和低于 5mg/kg (缺乏)的土样分别有 7 个,各占 41.18% 5 ~ 10mg/kg (中)的土样有 3 个,占 17.64%。可见,峨眉山鱼腥草生长地土壤速效磷含量处于适中水平。

速效钾 17 个居群土样中,速效钾含量高于 100mg/kg (丰富)的土样有 13 个,占 76.47% 60 ~ 100mg/kg (中等)的土样仅 3 个,占 17.65% ,低于 60mg/kg (缺乏)的土样有 1 个,占 5.88%。可见,峨眉山鱼腥草生长地土壤速效钾含量普遍较高。

表 2 峨眉山鱼腥草生长地土壤的酸碱性及养分含量

Table 2 pH value and soil nutrient content of <i>H. cordata</i> Thunb. in Mt. Emei												
编号 No.	酸碱性 pH	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	碱解氮 Alk-hydro. N (mg/kg)	速效磷 Avai. P (mg/kg)	速效钾 Avai. K (mg/kg)	有效铁 Avai. Fe (mg/kg)	有效锰 Avai. Mn (mg/kg)	有效铜 Avai. Cu (mg/kg)	有效锌 Avai. Fe (mg/kg)	有效硼 Avai. B (mg/kg)	有效钼 Avai. Mo (mg/kg)
A1	5.21	69.20	3.40	452.70	10.66	187.13	34.47	53.51	8.35	5.89	0.38	0.30
A2	4.88	82.40	4.10	520.60	13.74	120.82	14.21	49.06	0.58	2.45	0.32	0.23
A3	4.73	36.80	1.60	281.80	11.61	170.74	42.36	56.02	7.77	4.65	0.42	0.18
A4	5.02	12.40	0.90	176.40	22.69	159.98	61.00	54.07	14.63	4.33	0.33	0.25
B1	4.90	73.40	5.00	263.40	0.75	92.51	92.27	53.91	3.90	6.40	0.24	0.30
B2	5.08	34.60	1.90	276.60	0.75	69.65	72.17	54.73	1.52	7.31	0.30	0.30
B3	5.01	25.00	1.50	296.60	8.31	164.37	46.99	53.79	1.70	9.89	0.23	0.32
C1	5.83	60.30	2.30	414.70	4.90	141.82	3.15	57.96	2.30	8.84	0.32	0.28
C2	5.80	40.40	2.10	393.40	2.56	111.95	82.04	56.01	9.68	8.21	0.32	0.22
C3	5.83	33.20	1.40	299.70	23.65	179.25	27.30	56.45	25.11	9.49	0.36	0.22
C4	5.80	68.90	3.00	581.70	2.98	171.07	54.53	57.65	4.46	8.05	0.21	0.17
C5	5.50	117.40	6.70	566.10	7.03	118.51	13.57	58.34	2.98	9.49	0.05	0.26
D1	6.15	48.30	3.70	210.70	11.83	58.26	<0.01	25.67	<0.01	<0.01	0.17	0.21
D2	6.26	17.00	1.47	155.90	0.85	64.16	45.00	54.66	1.36	5.10	0.26	0.15
D3	6.31	48.60	2.90	259.20	5.01	124.60	<0.01	31.18	<0.01	<0.01	0.25	0.24
D4	6.67	17.30	1.90	296.00	3.41	109.09	57.68	49.26	1.96	3.63	0.15	0.19
D5	6.40	43.90	2.60	201.00	48.58	172.46	<0.01	22.87	<0.01	<0.01	0.31	0.19
平均 Mean	5.61	48.80	2.70	332.15	10.55	130.37	38.05	49.71	5.08	5.52	0.27	0.24

表中所列数据为 3 次测定结果的平均值 All the values are the average of three determinations (RSD <2%) .

2.1.4 微量元素

峨眉山鱼腥草居群生长地土壤几乎全部为酸性或弱酸性(pH值4.5~6.5),土壤有效铁、锰、铜和锌的含量都远大于临界值。但也有个别居群生长地土样中有效铁、铜和锌的含量极低,如D1、D3和D5居群生长地土壤中有效铁、有效铜和有效锌的含量均低于0.01mg/kg。各居群有效钼的含量均不低于临界值0.15mg/kg,而有效硼的含量均低于临界值0.5mg/kg。由此可见,峨眉山鱼腥草居群生长地土壤中除有效硼缺乏外,其余微量元素含量基本处于盈余状态。

2.2 峨眉山鱼腥草居群挥发油化学成分组成及含量基本情况

各居群3次重复测定结果所鉴定出的化学成分均相同,RSD值均小于2%,取3次重复的平均值列于表3。从表中可以看出,所有居群中总共鉴定出35种化学成分,占总挥发油成分的99.00%以上。不同居群挥发油成分组成和含量不尽相同。除 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯、月桂烯、D-柠檬烯、trans- β -罗勒烯、乙酸龙脑酯、甲基正壬酮、乙酸芳樟酯和石竹烯10种成分在所有居群中均可检测到外,其余成分在各居群中均未能同时检测到。从表2中还可以看出,峨眉山鱼腥草各居群挥发油中平均含量较高的化学成分分别是月桂烯(变幅10.39%~37.43%;平均值21.64%,下同)、trans- β -罗勒烯(1.46%~45.84%;16.50%)、甲基正壬酮(0.20%~27.66%;13.40%)、 β -水芹烯(0.36%~15.25%;8.69%)、乙基癸酸酯(0.53%~17.26%;4.30%)、十二烷醛(0.95%~19.95%;4.21%)、乙酸龙脑酯(0.11%~16.15%;4.07%)、癸醛(0.09%~18.92%;3.78%)、4-松油醇(0.04%~6.24%;3.50%)和 α -蒎烯(0.39%~4.99%;2.80%)。

2.3 挥发油化学组成及含量与山峪间的关系

从不同山峪来看,A山峪4个居群中相对含量较高的主要化学成分包括 β -水芹烯(12.89%~15.52%)、月桂烯(13.46%~17.32%)、trans- β -罗勒烯(18.06%~22.58%)、乙酸龙脑酯(14.63%~16.15%),未能检测出癸酰乙醛、金合欢烯、Elixene、乙基癸酸酯、1,14-十四烷醇、十六烷醛和16-十七烷烯醇。B山峪3个居群的主要化学成分为月桂烯(25.23%~34.95%)、癸醛(4.72%~18.92%)、甲基正壬酮(6.43%~20.32%),乙基癸酸酯(3.97%~17.26%),未能检测出cis- β -罗勒烯、桉烯、异松油烯、 α -松油醇、 α -乙酸松油酯、2-十二烷酮和16-十七烷烯醇。C山峪5个居群的主要化学成分为月桂烯(10.39%~28.20%)、trans- β -罗勒烯(13.89%~45.84%)、甲基正壬酮(16.54%~20.47%),未能检测出癸醛、1-癸醇、十一烷醛、十二烷醛、1-十二烷醇、1,14-十四烷醇和十六烷醛。D山峪5个居群的主要化学成分同C山峪一样,分别为月桂烯(16.25%~37.43%)、trans- β -罗勒烯(3.28%~21.28%)、甲基正壬酮(7.49%~27.66%),未能检测出 α -松油醇。进一步分析可以发现,除月桂烯作为主要成分在4个山峪中均可检测到外,其它主要成分在四个山峪间存在较大差异,其含量在不同山峪间各不相同。

2.4 挥发油共有成分的方差分析及多重比较

10种共有成分的方差分析结果和多重比较结果分别列于表4和表5。从表4中可以看出,所有这10种成分在不同居群间的相对百分含量均存在显著差异。从表5中可以看出,月桂烯的含量在D2中最高,在B山峪3个居群中相对较高,在A山峪4个居群中相对较低,且A山峪4个居群含量间的差异不显著,月桂烯含量在C4中最低。trans- β -罗勒烯的含量在C山峪的C4、C5和C23个居群中最高,且这3个居群含量间的差异极显著,在B山峪3个居群中最低,且3个居群含量间的差异不显著。甲基正壬酮的含量在D山峪的3个居群(D2、D3和D1)中最高,在C山峪各居群中的含量居中,且各居群含量间差异不显著,A山峪各居群的甲基正壬酮含量显著低于其它各山峪居群的甲基正壬酮含量。 α -蒎烯的含量在B3居群中最高,在A山峪各居群中相对较高,在D2中最低。 β -蒎烯的含量在A山峪各居群中最高,且与除C1和D3外的各个居群含量间差异极显著,同 α -蒎烯一样,在D2中含量最低。莰烯的含量在B山峪各居群中最高,且各居群含量间差异极显著,在A山峪各居群中含量居中,且各居群含量间差异不显著,在D山峪3个居群(D2、D3和D1)中最低,且3个居群含量间差异不显著。D-柠檬烯的含量则在B3居群中最高,在A山峪各居群中较高,且各居群含量间差异不显著,同 α -蒎烯、 β -蒎烯一样在D2中含量最低。乙酸龙脑酯的含量在A山峪各居群中最高,且

接表 3

接表 4 5

差异不显著,但与其它山峪居群含量间的差异极显著,在 B 山峪 3 个居群及 D5 居群中的含量次之,在 C 山峪各居群间的含量较低,D 山峪其余 4 个居群(D4、D1、D2 和 D3)中的含量最低,C 和 D 两山峪各居群含量间差异不显著。乙酸芳樟酯的含量在 C2 中最高,在 C 山峪大部分居群中含量相对较高,在 A 山峪各居群中含量最低。石竹烯的含量在 C2 中最高,A 山峪各居群、B、C、D 山峪大部分居群含量间差异不显著。

此外,蒎烯和 D-柠檬烯的含量在东坡两山峪各居群间相对较高,西坡两山峪各居群间相对较低。乙酸龙脑酯的含量在东坡两山峪各居群间最高,西坡两山峪各居群间最低,且西坡各居群间含量的差异不显著。乙酸芳樟酯的含量则在西坡两山峪各居群间最高,东坡两山峪各居群间最低。

2.5 挥发油化学组成及含量与海拔高度间的关系

不同海拔高度鱼腥草各居群的挥发油化学成分组成和含量不尽相同,其中,trans-β-罗勒烯和乙酸龙脑酯的含量随海拔高度的变化较为明显,海拔较高的居群其含量相对较高。10 种所有居群共有挥发油成分与海拔高度间的相关分析结果见表 6。其中,乙酸龙脑酯和 trans-β-罗勒烯的含量与海拔高度间分别为显著和极显著正相关,进一步说明了它们的含量随海拔高度增加而显著增加。

表 6 峨眉山 17 个鱼腥草居群 10 种挥发油共有成分含量与海拔高度间的相关系数

Table 6 The correlation coefficients between the content of each mutual component and altitude in 17 *H. cordata* Thunb. populations of Mt. Emei

组成 Component	α-蒎烯 α-Pinene	蒎烯 Camphene	β-蒎烯 β-Pinene	月桂烯 Myrcene	D-柠檬烯 D-Limonene	trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	甲基正壬酮 2-Undecanone	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	石竹烯 Caryophyllene
海拔 Altitude	0.0637	-0.4797	0.3533	-0.4487	-0.0592	0.6838**	0.4997*	-0.2345	-0.0356	0.3445

* ,* * 分别表示 0.05 和 0.01 水平上的显著相关 Significant at 0.05 and 0.01 level , respectively

2.6 峨眉山鱼腥草居群生长地土壤养分与挥发油共有成分间的偏相关分析

峨眉山 17 个鱼腥草居群生长地土壤养分与挥发油共有成分间的偏相关分析结果见表 7。从表中可以看出,对 α-蒎烯含量影响较大的土壤养分(相关性达显著或极显著水平,下同)依次为:有效铝(0.8716)>有效铁(-0.7653)>有效锌(-0.7243)>速效钾(0.7191)>有效锰(0.6088);对蒎烯含量影响较大的土壤养分依次为:有效铜(-0.6753)>有效铝(0.6041)>有效锌(0.4826);对 β-蒎烯含量影响较大的土壤养分依次为:有效锌(-0.9341)>有效铁(-0.9299)>有效铝(0.9088)>有效锰(0.8697)>速效钾(0.7811)>有效铜(0.7532)>速效磷(-0.5479);对月桂烯含量影响较大的土壤养分依次为:有效锌(0.7437)>碱解氮(-0.4937)>有效铜(-0.4863)>速效钾(-0.4834);对 D-柠檬烯含量影响较大的土壤养分依次为:有效铝(0.8064)>速效钾(0.5593)>有效锰(0.5401)>有效铜(-0.4960);对 trans-β-罗勒烯含量影响较大的土壤养分为:有效铝(-0.6902);对乙酸龙脑酯含量影响较大的土壤养分依次为:有效锌(-0.8173)>有效锰(0.7800)>有效铝(-0.6902);对甲基正壬酮含量影响较大的土壤养分依次为:有效锌(0.8739)>有效锰(-0.8132)>速效磷(-0.6386)>有效铝(-0.6199)>有效铁(-0.5415)>速效钾(-0.5266);对乙酸芳樟酯含量影响较大的土壤养分依次为:有效锌(0.7647)>有效锰(-0.7471)>有效铝(-0.7224)>速效磷(-0.5223)>有效铜(0.5007);对石竹烯含量影响较大的土壤养分依次为:速效钾(-0.8090)>有效硼(0.7421)>速效磷(0.6679)。其余土壤养分对鱼腥草挥发油共有成分的影响不显著。进一步分析不难发现:有效铝对 8 种挥发油共有成分含量影响显著,有效锌对 7 种挥发油共有成分含量影响显著,有效锰和速效钾均对 6 种挥发油共有成分含量影响显著,有效铜对 5 种挥发油共有成分含量影响显著,速效磷对 4 种挥发油共有成分含量影响显著,有效铁对 3 种挥发油共有成分含量影响显著,碱解氮和有效硼仅对 1 种挥发油共有成分含量影响显著,全氮对 10 种挥发油共有成分含量影响均不显著。

表7 峨眉山 17 个鱼腥草居群生长地土壤养分含量与共有挥发油成分间的偏相关系数

Table 7 The correlation coefficients between soil nutrient content and the content of each mutual volatile oil components in 17 *H. cordata* Thunb. populations of Mt. Emei

	α-蒎烯 α-Pinene	莰烯 Camphene	β-蒎烯 β-Pinene	月桂烯 Myrcene	D-柠檬烯 D-Limonenee
全氮 Tot. N	-0.4244	-0.4349	-0.2652	0.0944	-0.367
碱解氮 Alk-hydro. N	-0.1425	-0.1558	0.0648	-0.4937 *	-0.1131
速效磷 Avai. P	-0.3041	0.3222	-0.5479 *	0.2413	0.3684
速效钾 Avai. K	0.7191 **	0.2903	0.7811 **	-0.4834 *	0.5593 *
有效铁 Avai. Fe	-0.7653 **	0.3304	-0.9299 **	0.0875	-0.3296
有效锰 Avai. Mn	0.6088 **	-0.1777	0.8697 **	-0.3241	0.5401 *
有效铜 Avai. Cu	0.0508	-0.6753 **	0.7532 **	-0.4863 *	-0.4960 *
有效锌 Avai. Zn	-0.7243 **	0.4826 *	-0.9341 **	0.7437 **	-0.4598
有效硼 Avai. B	-0.2125	-0.2633	0.0427	0.3418	-0.1400
有效钼 Avai. Mo	0.8716 **	0.6041 *	0.9088 **	-0.1633	0.8064 **

	trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimenee	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	甲基正壬酮 2-Undecanone	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	石竹烯 Caryophyllene
全氮 Tot. N	0.2382	-0.0022	-0.3607	0.2092	0.4779
碱解氮 Alk-hydro. N	0.3596	0.1247	-0.1231	-0.0737	0.3134
速效磷 Avai. P	-0.4113	0.3338	-0.6386 **	-0.5223 *	0.6679 **
速效钾 Avai. K	0.1820	0.2746	-0.5266 *	-0.4806	-0.8090 **
有效铁 Avai. Fe	-0.1931	-0.1109	-0.5415 *	-0.2314	0.4456
有效锰 Avai. Mn	-0.0915 **	0.7800 **	-0.8123 **	-0.7471 **	0.0370
有效铜 Avai. Cu	0.3984	0.0178	0.1928	0.5007 *	0.2520
有效锌 Avai. Zn	0.0789	-0.8173 **	0.8739 **	0.7647 **	0.2163
有效硼 Avai. B	0.0108	0.234	-0.0554	0.1930	0.7421 **
有效钼 Avai. Mo	-0.6902 **	0.5503 *	-0.6199 **	-0.7224 **	-0.1827

* 和 * * 分别表示 0.05 和 0.01 水平上的显著相关 Significant at 0.05 and 0.01 level , respectively

2.7 10 种共有挥发油成分回归方程的建立

以各土壤营养元素含量为自变量 ,10 种共有挥发油成分含量分别为依变量 ,采用逐步回归分析法建立最优多元线性回归方程。令 10 种土壤营养元素分别为 X_1 (全氮)、 X_2 (碱解氮)、 X_3 (速效磷)、 X_4 (速效钾)、 X_5 (有效铁)、 X_6 (有效锰)、 X_7 (有效铜)、 X_8 (有效锌)、 X_9 (有效硼)、 X_{10} (有效钼),10 种挥发油共有成分分别为 Y_1 (α-蒎烯)、 Y_2 (莰烯)、 Y_3 (β-蒎烯)、 Y_4 (月桂烯)、 Y_5 (D-柠檬烯)、 Y_6 (trans-β-罗勒烯)、 Y_7 (乙酸龙脑酯)、 Y_8 (甲基正壬酮)、 Y_9 (乙酸芳樟酯)、 Y_{10} (石竹烯)。通过逐步回归法建立它们的最优回归方程分别为：

$$Y_1 = -4.831 - 0.256X_1 + 0.014X_4 - 0.024X_5 + 0.085X_6 - 0.322X_8 + 20.774X_{10}$$
$$R^2 = 0.8757 \quad F_1 = 11.75$$

$$Y_2 = -0.276 - 0.142X_1 + 0.013X_3 - 0.032X_7 + 0.055X_8 - 0.909X_9 + 4.021X_{10}$$
$$R^2 = 0.7326 \quad F_2 = 4.57$$

$$Y_3 = -6.238 - 0.106X_1 - 0.036X_3 + 0.019X_4 - 0.041X_5 + 0.147X_6 + 0.088X_7 - 0.653X_8 + 19.340X_{10}$$
$$R^2 = 0.9614 \quad F_3 = 24.95$$

$$Y_4 = 31.535 - 0.034X_2 + 0.231X_3 - 0.084X_4 - 0.449X_7 + 2.230X_8$$
$$R^2 = 0.7188 \quad F_4 = 5.62$$

$$Y_5 = -1.177 - 0.053X_1 + 0.008X_3 + 0.003X_4 + 0.013X_6 - 0.017X_7 - 0.038X_8 + 4.077X_{10}$$
$$R^2 = 0.8087 \quad F_5 = 5.44$$

$$Y_6 = 29.577 + 0.053X_2 - 0.189X_3 + 0.427X_7 - 131.064X_{10}$$

$$R^2 = 0.7056 \quad F_6 = 7.19$$

$$Y_7 = -43.178 + 0.159X_3 + 0.052X_4 + 0.881X_6 - 3.027X_8 + 49.442X_{10}$$

$$R^2 = 0.7955 \quad F_7 = 8.56$$

$$Y_8 = 82.095 - 1.845X_1 - 0.355X_3 - 0.092X_4 - 0.085X_5 - 1.057X_6 + 4.192X_8 - 64.773X_{10}$$

$$R^2 = 0.8789 \quad F_8 = 9.33$$

$$Y_9 = 14.633 - 0.058X_3 - 0.015X_4 - 0.189X_6 + 0.087X_7 + 0.560X_8 - 17.050X_{10}$$

$$R^2 = 0.7765 \quad F_9 = 5.79$$

$$Y_{10} = 0.176 + 0.078X_1 + 0.001X_2 + 0.020X_3 - 0.009X_4 + 0.004X_5 + 0.015X_7 + 2.646X_9$$

$$R^2 = 0.7864 \quad F_{10} = 4.73$$

$$(F_{0.05} = 4.00 \quad F_{0.01} = 7.87)$$

10 个线性回归方程的 F 值均大于 $F_{0.05} = 4.00$,表明各共有挥发油成分与所筛选的土壤养分间均存在显著的线性关系 ,其中 α -蒎烯、 β -蒎烯、乙酸龙脑酯和甲基正壬酮与所筛选的土壤养分间存在极显著的线性关系。由第一个回归方程可知 ,在影响 α -蒎烯的各种土壤养分中 ,有效铝贡献最大 ,其次为有效锌 ,速效钾贡献最小。当本试验中其它影响因素维持在平均水平时 ,全氮、有效铁和有效锌每增加一个单位 , α -蒎烯的相对百分含量将分别减少 0.256、0.024 和 0.322 个百分点。速效钾、有效锰和有效铝每增加一个单位 , α -蒎烯的相对百分含量将分别增加 0.014、0.085、20.774 个百分点。决定系数 $R^2 = 0.8757$,表明这 6 种土壤养分共可解释 α -蒎烯含量变异的 87.57% ,还有 12.43 % 的变异是由其它因素决定。同理可知其它 9 种挥发油共有成分与土壤养分间的定量关系 ,其余各线性回归方程 R^2 值也在 0.7056 到 0.9614 之间 ,说明通过这些线性回归方程均能较好的预测各挥发油共有成分含量变异。

3 讨论

药用植物的生长除了要求土壤能提供良好的生根立足条件外 ,还要求土壤提供充足的营养、水分和空气。土壤质地、土壤有机质、土壤养分和土壤酸碱度等均影响土壤肥力及药用植物的发育和产量品质。所调查各鱼腥草居群生长地的土壤土层深厚、土质较疏松、环境阴湿、肥力较高 ,且均为壤土。土壤养分中有机质、氮素(全氮和碱解氮)及速效钾含量都较高 ,微量元素中有效铁、锰、铜、锌和铝含量也都远大于临界值 ,较为丰富 ,速效磷的含量处于中等水平 ,有效铝的含量较低。总体来看峨眉山鱼腥草生长地土壤肥力水平较高 ,对鱼腥草的生长都是极为有利的。

根据植物生理及生态学的原理 ,同种植物分布和生长在不同的环境时 ,由于对不同环境生态因子长期的趋异适应的结果 ,就形成了各自具有稳定形态或生理生态特征的不同个体群 (即生态型) [15] 。正是由于峨眉山生态条件在空间上的多样性 ,为鱼腥草同一物种不同生态型 (居群) 的形成提供了有利的条件。有学者认为 ,生态型在本质上是属于种内的变异 ,各生态型之间在外观形状上不一定有明显的区分界限 ,它们更多的是表现在生理生化特性上的差异 [16] 。本试验结果也表明 ,采自峨眉山 4 个不同山峪的 17 个鱼腥草居群 ,尽管从物种形态分类鉴定上均认为是同一物种 *H. cordata* ,但不同居群在挥发油化学组成和含量上确实存在较大差异。

刘香等曾对人工栽培和黔产野生鱼腥草挥发油化学成分进行了研究 ,李晓蒙等曾对穗产人工栽培鱼腥草挥发油化学成分进行过分析。其研究结果表明 ,鱼腥草挥发油中月桂烯相对百分含量均小于 6.45% ,*trans*- β -罗勒烯均小于 0.04% ,而甲基正壬酮、 α -蒎烯和 β -蒎烯的最高含量分别为 50.18%、12.19% 和 26.73% [17,18] 。本试验结果则表明 ,月桂烯、*trans*- β -罗勒烯的平均含量分别为 21.64%、16.50% ,均显著高于黔产和穗产鱼腥草挥发油中相应成分的含量 ,但甲基正壬酮、 α -蒎烯和 β -蒎烯平均含量分别为 13.4%、2.80% 和 2.73% ,均显著低于黔产和穗产鱼腥草挥发油中相应成分的含量。此外 ,B 山峪的月桂烯和 C 山峪的 *trans*- β -罗勒烯含量

较高的居群与刘香等和李晓蒙等报道的鱼腥草挥发油化学成分组成明显不同^[17,18]。这可能是因为峨眉山独特的生态环境孕育了一些特异的鱼腥草种质资源。至于本试验中鱼腥草挥发油中的重要药效成分癸酰乙醛在A山峪各居群未检测到,B、C和D山峪各居群中均较低,估计除一方面与峨眉山独特的生态环境有关外,也可能与挥发油提取过程有一定关系。曾虹燕等曾对不同提取方法所得鱼腥草挥发油成分进行过研究,发现用水蒸汽蒸馏法提取所得挥发油中不含鱼腥草素,认为可能是在加热条件下,鱼腥草素被氧化为癸酰乙酸,后者极易降解为甲基正壬酮^[19]。

许多研究表明,植物化学成分与地理分布或海拔高度间显著相关^[4~7]。至于其形成原因,普遍认为一方面与不同区域以及海拔高度的生境不尽相同有关,另一方面也与遗传背景差异有关。有研究报道认为,海拔差异是导致植物自然居群遗传分化的主要因素,海拔差异造成的有限基因流可能是影响居群遗传分化的主要因子^[20]。本试验结果表明,峨眉山不同山峪和海拔高度鱼腥草居群挥发油化学成分不尽相同,trans- β -罗勒烯和乙酸龙脑酯含量随海拔升高而升高,估计也是遗传背景和生态因素共同作用的结果,至于这些居群的遗传背景是否有真实的差异,正在进一步的分析。

此外,本试验结果还表明,位于C和D两山峪鱼腥草居群挥发油主要成分完全相同,A和B两山峪鱼腥草各居群挥发油主要成分间则差异相对较大。多重比较结果也表明,一些挥发油成分的含量也表现出类似的趋势,如乙酸龙脑酯的相对含量在C、D两山峪10个居群中差异不显著,在A山峪内4个居群中差异也不显著,但A山峪各居群与B山峪各居群间却存在显著差异。实际上,C和D两山峪相邻,均位于峨眉山的西坡,其地势相对比较平缓,鱼腥草各居群间基因交流的机会相对较大,加之西坡气候、土壤间的差异相对较小,使这两个山峪各居群间更为相似,挥发油化学成分也相对一致。A与B两山峪则位于峨眉山的东坡,这里山势陡峭、地形复杂、小生境分化强烈,各居群间基因交流的机会相对较小,加之B山峪靠近峨眉山市区,受人为因素影响较大,可能导致了这两个山峪鱼腥草居群的主要挥发油成分存在较大的差异。

药用植物通过根系从土壤中吸取生长发育所需的水分与营养物质,土壤的理化性质对植物的生长发育及有效成分的积累都有一定作用。曾有学者通过研究得出,影响植物次生代谢物合成与积累的主要生态因素是土壤微量元素^[21,22],并且某种元素的短缺可能影响某种次生代谢物的合成量^[23]。本试验通过偏相关分析得出了各挥发油共有成分与土壤养分间偏相关的性质和程度,发现土壤微量元素对鱼腥草挥发油成分合成与积累的作用大于大量元素,微量元素中以有效钼的影响最为显著,大量元素中以速效钾的影响最为显著。有学者曾对栽培鱼腥草大量营养元素的吸收和积累特性做过研究,认为鱼腥草为喜钾植物^[24]。本试验则进一步说明了土壤中的速效钾对挥发油成分的合成与积累有影响。因此在生产栽培中,调查土壤肥力条件,合理施肥尤其是合理施用微肥对提高鱼腥草的品质和疗效有一定作用。

野生鱼腥草适应性较强,分布的海拔高度变化范围广。目前,人工栽培鱼腥草适宜海拔高度主要是依据管理方便、产量高、甲基正壬酮含量高为原则来确定的。由于各种气候生态条件和遗传背景的差异,不同海拔高度鱼腥草居群挥发油化学成分不尽相同,不同挥发油组成及含量鱼腥草的药效究竟存在多大差异目前不甚清晰,故人工栽培鱼腥草的最适宜海拔高度范围尚需在进一步研究的基础上加以确定。

References :

[1] Liu Y L, Deng Z F. Investigation of the chemical constituents of the essential oil of *Houttuynia cordata* thunb. *Journal of Integrative Plant Biology*, 1979, 21 (3) : 244—248.

[2] Choe K H, Kwon S J, Jung D S, *et al.* A study on chemical composition of *Saururaceae* growing in Korea. (I). on volatile constituents of *Houttuynia cordata* by GC-MS method. *Punsok Kwahak*. 1988, 1 (1) : 57—61.

[3] State Pharmacopeia Committee of the People's Republic of China. *Pharmacopeia of the People's Republic of China* (Vol 1). Beijing : Chemical Industry Press, 2005. 155.

[4] Yao Y M, Tigerstedt P M A. Geographical variation of growth rhythm, height, and hardiness, and their relations in *Hippophae rhamnoides*. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 1995, 120 : 691—698.

[5] Tian C J, Peng N, Chen J K, *et al.* Volatile composition of Chinese *Hippophae rhamnoides* and its chemotaxonomic implications. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2004, 32 : 431—441.

[6] Christian Z ,Birthe S ,Hermann S. Altitudinal differences in the contents of phenolics in flowerings heads of three members of the tribe lactuceae (*Asteraceae*) occuring as introduce species in New Zealand. *Biochemical Systemmatics and Ecology* ,2005 ,33 :855 — 872.

[7] Xue C K ,Jiang P ,Shen K ,*et al.* Analysis of volatile oil of *Valeriana officinalis* and influence factors of its oil content. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* ,2003 ,34 (9) :779 — 781.

[8] Su F M ,Chen S L ,Ren D Q. Study on producing area suitability of genuine traditional Chinese drugs. *China Journal of Chinese Materia Medica* ,2005 ,30 (19) :1485 — 1488.

[9] Tseng Y Q. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* ,Tomus 20 Vol 1. Beijing : Science Press ,1982. 8.

[10] Fang W P. *Flora Sichuanica* ,Tomus 1. Chengdu :Sichuan People Press ,1981. 126 — 127.

[11] Zhu Z Y ,Zhang S L. A new species of *Houttuynia* medicinal plants in Emeishan. *Bulletin of Botanical Research* ,2001 ,21 (1) :1 — 2.

[12] Bao S D. Analysis of soil agrochemistry. Beijing : China Agriculture Press ,2000.

[13] State Pharmacopeia Committee of the People’s Republic of China. *Pharmacopeia of the People’s Republic of China (Vol 1)* . Beijing : Chemical Industry Press ,2005. appendix XD :57.

[14] Zeng Z ,Shi J G ,Zeng H P ,*et al.* Application of organic mass spectrometry in studies on *Houttuynia cordata* , a traditional Chinese medicine. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* ,2003 ,31 (4) :399 — 404.

[15] Biology department of Yunnan University. *Plant Ecology*. Beijing : People Education Press ,1980. 162.

[16] Xiao X H. Discussion on ecology and biology for the quality variation of Chinese traditional medicine. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* ,1989 ,20 (8) :42 — 46.

[17] Li X M ,Xu W L ,He X R. Studies on the chemical constituents of the essential oils from cultivated *Houttuynia cordata* Thunb. in Guangzhou. *Academic Journal of Guangdong College of Pharmacy* ,2004 ,20 (1) :7 — 8 ,13.

[18] Liu X ,Li D K ,Liao G L ,*et al.* Study on the chemical constituents of the essential oil from the artificial and wild *Houttuynia cordata* Thunb. *Journal of Guiyang Medical College* ,1997 ,22 (4) 361 — 362.

[19] Zeng H Y ,Jiang L Y ,Zhang Y C. Chemical constituents of volatile oil from *Houttuynia cordata* Thunb. *Journal of Plant Resources and Environment* ,2003 ,12 (3) 50 — 52.

[20] Zhao L F ,Li S ,Pan Y ,*et al.* Population differentiation of *Psathyrostachys hua shanina* along an altitudinal gradient detected by random amplified polymorphic DNA. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica* ,2001 ,21 (3) :391 — 400.

[21] Zhang K J ,Wang Y Q ,Ma X H ,*et al.* An ecological study on secondary metabolites of the leaves of *Eucommia ulmoides*. *Scientia Silvae Sinicae* ,1999 ,35 (6) :28 — 35.

[22] Wang Y Q. An geographical study on active constituents of the leaves of *Eucommia ulmoides*. *Academic Journal of Guangdong College of Pharmacy* ,2000 ,16 (3) :173 — 176.

[23] Wu B F ,Cui W J. Status and expectation on trace elements in Chinese traditional medicine. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* ,1986 ,17 (4) :38 — 42.

[24] Wu W ,Zheng Y L ,Yang R W ,*et al.* Study on nutrient absorption and accumulation of N ,P and K of *Houttuynia cordata* Thunb. *China Journal of Chinese Materia Medica* ,2001 ,26 (10) :676 — 678.

参考文献：

[1] 刘永澹 ,邓志芳. 鱼腥草挥发油化学成分的研究. *植物学报* ,1979 21 (3) 244 ~ 248.

[3] 国家药典委员会. *中华人民共和国药典 (一部)* .北京 :化学工业出版社 2005. 155.

[7] 薛存宽 ,蒋鹏 ,沈凯 ,等. 缬草挥发油成分分析及其含量影响因素探讨. *中草药* 2003 34 (9) 779 ~ 781.

[8] 素凤梅 ,陈士林 ,任德全. 道地药材产地适宜性研究. *中国中药杂志* 2005 30 (19) :1485 ~ 1488.

[9] 程用谦. *中国植物志* 20 卷 (一) .北京 :科学出版社 ,1982 8.

[10] 方文培. *四川植物志* ,(第一卷) .成都 :四川人民出版社 ,1981 ,126 ~ 127.

[11] 祝正银 ,张士良. 峨眉山蕨菜属药用植物一新种. *植物研究* 2001 21 (1) :1 ~ 2.

[12] 鲍士旦. *土壤农化分析* .北京 :中国农业出版社 2000.

[13] 国家药典委员会. *中华人民共和国药典 (一部)* .北京 :化学工业出版社 2005. 附录 X D 57.

[14] 曾志 ,石建功 ,曾和平 ,等. 有机质谱学在中药鱼腥草研究中的应用. *分析化学* 2003 31 (4) 399 ~ 404.

[15] 云南大学生物系. *植物生态学* .北京 :人民教育出版社 ,1980. 162.

[16] 肖小河. 中药材品质变异的生态生物学探讨. *中草药* 1989 20 (8) :42 ~ 46.

[17] 李晓蒙 ,徐位良 ,何新荣. 穗产人工栽培鱼腥草挥发油化学成分研究. *广州药学院学报* 2004 20 (1) 7 ~ 8 ,13.

[18] 刘香 ,李德焜 ,廖桂兰 ,等. 人工栽培和黔产野生鱼腥草中挥发油成分的研究. *贵阳医学院学报* ,1997 22 (4) 361 ~ 362.

[19] 曾虹燕 ,蒋丽娟 ,张英超. 鱼腥草挥发油的化学成分. *植物资源与环境学报* 2003 ,12 (3) 50 ~ 52.

[20] 赵利锋 ,李珊 ,潘莹 ,等. 华山新麦草自然居群沿海拔梯度的遗传分化. *西北植物学报* 2001 21 (3) : 391 ~ 400.

[21] 张康健 ,王亚琴 ,马希汉 ,等. 杜仲叶次生代谢物生态学研究初报. *林业科学* ,1999 35 (6) 28 ~ 35.

[22] 王亚琴. 杜仲叶有效成分的地理学研究. *广东药学院学报* 2000 ,16 (3) :173 ~ 176.

[23] 吴炳辅 ,崔万钧. 中药中微量元素研究的现状和展望. *中草药* ,1986 17 (4) 38 ~ 42.

[24] 吴卫 ,郑有良 ,杨瑞武 ,等. 鱼腥草氮、磷、钾营养吸收和累积特性初探. *中国中药杂志* 2001 26 (10) 676 ~ 678.

表3 峨眉山不同海拔高度 17 个鱼腥草居群地上部分挥发油化学成分组成与含量

Table3 The components and contents of the volatile oil from the aerial part of 17 *H. cordata* thunb. populations of Mt. Emei (%)

编号 No.	分子式 Molecular formula	化学成分 Chemical components	A2	A1	A3	A4	B1	B2	B3	C4	C2	C1	C3	C5	D1	D2	D3	D4	D5	平均 Mean
1	C ₁₀ H ₁₆	崖柏烯 α-Thujene	0.20	0.21	0.23	0.18		0.01	0.03	0.09		0.18	0.19	0.10	0.09		0.12	0.19	0.11	0.11
2	C ₁₀ H ₁₆	α-蒎烯 α-Pinene	3.92	4.82	4.01	3.60	1.83	2.22	4.99	1.20	0.64	3.93	3.25	2.11	2.10	0.39	3.76	2.55	2.25	2.80
3	C ₁₀ H ₁₆	苈烯 Camphene	0.23	0.24	0.23	0.21	0.36	0.67	1.61	0.14	0.18	0.22	0.16	0.22	0.07	0.10	0.06	0.22	0.41	0.31
4	C ₁₀ H ₁₆	β-水芹烯 β-Phellandrene	15.52	12.89	12.92	12.99	3.59	3.77	5.56	6.43	0.36	15.25	11.53	7.70	7.06		12.31	14.04	5.76	8.69
5	C ₁₀ H ₁₆	β-蒎烯 β-Pinene	4.66	5.60	4.68	4.41	1.16	1.10	2.30	1.08	0.21	4.58	3.63	2.05	2.40	0.05	4.29	2.36	1.95	2.73
6	C ₁₀ H ₁₆	月桂烯 Myrcene	14.99	17.32	14.80	13.46	25.23	31.34	34.95	10.39	28.20	18.12	24.02	22.20	19.06	37.43	16.25	17.35	22.75	21.64
7	C ₁₀ H ₁₆	α-松油烯 α-Terpinene	1.77	2.01	1.94	2.04	0.66	0.26	0.41	0.78	0.02	1.82	1.50	0.84	1.11		1.62	1.44	1.01	1.13
8	C ₁₀ H ₁₆	D-柠檬烯 D-Limonene	0.74	0.89	0.78	0.78	0.44	0.55	1.20	0.28	0.10	0.70	0.49	0.37	0.35	0.05	0.38	0.41	0.60	0.53
9	C ₁₀ H ₁₆	trans-β-Ocimene trans-β-罗勒烯	18.06	18.42	22.58	17.10	2.99	1.46	2.20	45.84	24.11	13.89	17.41	31.43	21.03	21.28	14.54	4.95	3.28	16.50
10	C ₁₀ H ₁₆	cis-β-Ocimene Cis-β-罗勒烯	0.35	0.40	0.56	0.26				1.01	0.38	0.19	0.30	0.59	0.26	0.46	0.12	0.02	0.04	0.29
11	C ₁₀ H ₁₆	τ-松油烯 τ-Terpinene	3.06	3.48	3.26	3.69	1.31	0.59	1.10	1.50	0.05	3.19	2.72	1.64	2.22		3.53	3.04	1.91	2.13
12	C ₁₀ H ₁₆	薷烯 4-Carene	0.54	0.60	0.59	0.62	0.19	0.09	0.14	0.22		0.53	0.41	0.24	0.33		0.45	0.40	0.29	0.33
13	C ₁₀ H ₁₆	桉烯 Sabinene	0.12	0.07	0.14	0.11						0.10	0.05	0.02			0.06	0.06		0.04
14	C ₁₀ H ₁₆	异松油烯 Isoterpinolene	0.15	0.07	0.20	0.11				0.46	0.14	0.03	0.07	0.24	0.11	0.07				0.10
15	C ₁₀ H ₁₈ O	4-松油醇 4-Terpineol	5.24	6.06	5.46	6.24	2.19	0.81	1.41	2.10	0.04	5.28	4.25	2.51	3.93		6.14	4.78	3.14	3.50
16	C ₁₀ H ₁₈ O	α-松油醇 α-Terpineol	0.16	0.20	0.21	0.17						0.13	0.06	0.03						0.06
17	C ₁₀ H ₂₀ O	癸醛 Decanal		2.44	1.11	0.09	18.92	4.72	6.43									12.01	18.48	3.78
18	C ₁₀ H ₂₂ O	1-癸醇 1-Decanol	0.45	0.39	0.45	0.50	2.48											0.01	1.37	0.33
19	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	14.63	14.63	16.15	15.60	0.72	1.40	3.00	0.28	0.28	0.42	0.29	0.37	0.19	0.18	0.11	0.25	0.73	4.07
20	C ₁₁ H ₂₂ O	甲基正壬酮 2-Undecanone	0.23	0.20	0.26	0.25	6.43	20.32	20.30	18.42	20.47	16.54	20.32	18.22	20.70	27.66	21.97	7.97	7.49	13.40
21	C ₁₁ H ₂₂ O	十一烷醛 Undecanal	1.64	2.32	2.06	2.15	0.11		0.77									2.84	0.25	0.71
22	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	α-乙酸松油酯 α-Terpinyl acetate	0.36	0.34	0.33	0.31				0.05	0.08	0.65	0.34	0.10	0.38	0.06	0.40			0.20
23	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	0.30	0.07	0.23	0.25	1.94	0.64	0.95	2.22	5.20	2.89	3.26	3.40	4.04	4.18	3.13	2.03	1.86	2.15
24	C ₁₂ H ₂₄ O	2-十二烷酮 2-Dodecanone	0.46	0.25	0.41	0.47				0.46	0.68	0.36	0.34	0.50	0.49	0.32	0.33	0.04		0.30
25	C ₁₂ H ₂₄ O	十二烷醛 Dodecanal	5.27	0.95	1.27	3.90	13.59	3.43	6.27									19.95	16.87	4.21
26	C ₁₅ H ₂₄	石竹烯 Caryophyllene	1.10	0.76	0.67	0.94	1.08	0.85	0.20	0.30	1.54	0.72	0.75	0.78	0.84	0.98	0.24	0.27	0.88	0.76
27	C ₁₂ H ₂₆ O	1-十二烷醇 1-Dodecanol	1.15	0.87	0.80	0.98	0.37											0.04	0.19	0.26
28	C ₁₅ H ₂₄	芹子烯 Selinene	4.44	1.46	3.38	8.38		0.19	0.26	1.22		0.37	0.11	0.38	0.25		0.20			1.21
29	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	癸酰乙醛 Decanoyl acetaldehyde					0.67	4.84	0.71	1.38	1.91	5.39	0.59	1.21	3.15	0.47	1.49	0.28	0.80	1.35
30	C ₁₅ H ₂₄	金合欢烯 β-Farnesene					0.77	1.42	0.56	0.40	1.34	0.87	0.36	0.57	0.83	0.39	0.31	0.50	0.91	0.54
31	C ₁₅ H ₂₄	Elixene					0.46	0.71	0.20	0.93	2.09	0.88	0.62	0.99	1.31	0.53	0.26	0.45	0.40	0.58
32	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	乙基癸酸酯 Ethyl decanoate					7.42	17.26	3.97	2.03	11.13	2.46	2.73	0.53	7.07	4.95	7.33	0.90	5.34	4.30
33	C ₁₄ H ₃₀ O ₂	1,14-十四烷醇 1,14-Tetradecanediol					0.23	0.11	0.10									0.39	0.65	0.09
34	C ₁₆ H ₃₂ O	十六烷醛 Hexadecanal					2.23	0.05											0.16	0.14
35	C ₁₇ H ₃₂ O	16-十七烷烯醇 16-Heptadecenal 16-Heptadecenal								0.27	0.34	0.09	0.02	0.30	0.41	0.07	0.10	0.07		0.10

表中所列数据为 3 次测定结果的平均值 缺值部分表示未检测到 All the values are the average of three determinations (RSD <2%),Vacancys mean not detected

表4 峨眉山 17 个鱼腥草居群挥发油中 10 种共有成分含量方差分析结果

Table 4 The variance analysis results of the content of 10 mutual volatile oil components within 17 <i>H. cordata</i> Thunb. populations of Mt. Emei											
变异来源 Source of variance	自由度 Degree of freedom	月桂烯 Myrcene	trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene	甲基正壬酮 2-Undecanone	α-蒎烯 α-Pinene	β-蒎烯 β-Pinene	苈烯 Camphene	D-柠檬烯 D-Limonene	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	石竹烯 Caryophyllene
处理间 Treatment	16	178.77	405.28	260.26	5.68	9.02	0.39	0.27	124.23	7.52	0.37
机误 Random Error	34	10.15	7.21	4.22	0.14	0.13	0.0094	0.013	0.77	0.12	0.04
F 值 F-value		17.61 **	56.21 **	61.67 **	40.57 **	69.38 **	41.49 **	20.77 **	161.34 **	62.67 **	9.25 **

* * 表示该成分在各居群间的差异达到极显著水平 the significant difference of this component in these populations at the 0.01 level

表5 峨眉山 17 个鱼腥草居群挥发油中 10 种共有成分含量的多重比较 (α<0.01)

Table 5 The results of multiple comparisons of the content of 10 mutual volatile oil components in 17 <i>H. cordata</i> Thunb. populations of Mt. Emei ($\alpha < 0.01$)																			
月桂烯 Myrcene		trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene		甲基正壬酮 2-Undecanone		α-蒎烯 α-Pinene		β-蒎烯 β-Pinene		苈烯 Camphene		D-柠檬烯 D-Limonene		乙酸龙脑酯 Bornyl acetate		乙酸芳樟酯 Linalyl acetate		石竹烯 Caryophyllene	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
D2	A	C4	A	D2	A	B3	A	A1	A	B3	A	B3	A	A3	A	C2	A	C2	A
B3	AB	C5	B	D3	B	A1	AB	A3	B	B2	B	A1	B	A4	A	D2	B	A2	B
B2	ABC	C2	C	D1	BC	A3	BC	A2	B	D5	C	A3	BC	A1	A	D1	BC	B1	B
C2	BCD	A3	CD	C2	BC	C1	BC	C1	B	B1	CD	A4	BC	A2	A	C5	CD	D2	B
B1	CDE	D2	CD	B2	BC	A2	BC	A4	BC	A1	CDE	A2	BCD	B3	B	C3	D	A4	B
C3	DEF	D1	CD	C3	BC	D3	C	D3	BC	A2	CDE	C1	BCD	B2	BC	D3	D	D5	B
D5	DEFG	A1	CDE	B3	BC	A4	C	C3	C	A3	CDE	D5	CDE	D5	C	C1	DE	B2	B
C5	DEF	A2	DE	C4	BC	C3	CD	D1	D	C1	CDE	B2	CDE	B1	C	C4	EF	D1	B
D1	EFG	C3	DE	C5	BC	D4	DE	D4	D	D4	CDE	C3	DEF	C1	C	D4	F	C5	B
C1	FGH	A4	DE	C1	C	D5	E	B3	D	C5	CDE	B1	EF	C5	C	B1	F	A1	B
D4	FGHI	D3	E	D4	D	B2	E	C5	D	A4	CDE	D4	EF	C3	C	D5	F	C3	B
A1	FGHI	C1	E	D5	D	C5	E	D5	DE	C2	DE	D3	EF	C2	C	B3	G	C1	BC
D3	GHI	D4	F	B1	D	D1	E	B1	EF	C3	DE	C5	EF	C4	C	B2	GH	A3	BCD
A2	HI	D5	F	A3	E	B1	EF	B2	F	C4	E	D1	EFG	D4	C	A2	GH	C4	CDE
A3	HI	B1	F	A4	E	C4	FG	C4	F	D2	E	C4	FGH	D1	C	A4	GH	D4	DE
A4	HI	B3	F	A2	E	C2	G	C2	G	D3	E	C2	GH	D2	C	A3	GH	D3	DE
C4	I	B2	F	A1	E	D2	G	D2	G	D1	E	D2	H	D3	C	A1	H	B3	E

表中 “1 ”代表居群，“2 ”代表差异显著性 1 means population and 2 means the significance of the difference

表3 峨眉山不同海拔高度 17 个鱼腥草居群地上部分挥发油化学成分组成与含量

Table3 The components and contents of the volatile oil from the aerial part of 17 *H. cordata* thunb. populations of Mt. Emei (%)

编号 No.	分子式 Molecular formula	化学成分 Chemical components	A2	A1	A3	A4	B1	B2	B3	C4	C2	C1	C3	C5	D1	D2	D3	D4	D5	平均 Mean
1	C ₁₀ H ₁₆	崖柏烯 α-Thujene	0.20	0.21	0.23	0.18		0.01	0.03	0.09		0.18	0.19	0.10	0.09		0.12	0.19	0.11	0.11
2	C ₁₀ H ₁₆	α-蒎烯 α-Pinene	3.92	4.82	4.01	3.60	1.83	2.22	4.99	1.20	0.64	3.93	3.25	2.11	2.10	0.39	3.76	2.55	2.25	2.80
3	C ₁₀ H ₁₆	苈烯 Camphene	0.23	0.24	0.23	0.21	0.36	0.67	1.61	0.14	0.18	0.22	0.16	0.22	0.07	0.10	0.06	0.22	0.41	0.31
4	C ₁₀ H ₁₆	β-水芹烯 β-Phellandrene	15.52	12.89	12.92	12.99	3.59	3.77	5.56	6.43	0.36	15.25	11.53	7.70	7.06		12.31	14.04	5.76	8.69
5	C ₁₀ H ₁₆	β-蒎烯 β-Pinene	4.66	5.60	4.68	4.41	1.16	1.10	2.30	1.08	0.21	4.58	3.63	2.05	2.40	0.05	4.29	2.36	1.95	2.73
6	C ₁₀ H ₁₆	月桂烯 Myrcene	14.99	17.32	14.80	13.46	25.23	31.34	34.95	10.39	28.20	18.12	24.02	22.20	19.06	37.43	16.25	17.35	22.75	21.64
7	C ₁₀ H ₁₆	α-松油烯 α-Terpinene	1.77	2.01	1.94	2.04	0.66	0.26	0.41	0.78	0.02	1.82	1.50	0.84	1.11		1.62	1.44	1.01	1.13
8	C ₁₀ H ₁₆	D-柠檬烯 D-Limonene	0.74	0.89	0.78	0.78	0.44	0.55	1.20	0.28	0.10	0.70	0.49	0.37	0.35	0.05	0.38	0.41	0.60	0.53
9	C ₁₀ H ₁₆	trans-β-Ocimene trans-β-罗勒烯	18.06	18.42	22.58	17.10	2.99	1.46	2.20	45.84	24.11	13.89	17.41	31.43	21.03	21.28	14.54	4.95	3.28	16.50
10	C ₁₀ H ₁₆	cis-β-Ocimene Cis-β-罗勒烯	0.35	0.40	0.56	0.26				1.01	0.38	0.19	0.30	0.59	0.26	0.46	0.12	0.02	0.04	0.29
11	C ₁₀ H ₁₆	τ-松油烯 τ-Terpinene	3.06	3.48	3.26	3.69	1.31	0.59	1.10	1.50	0.05	3.19	2.72	1.64	2.22		3.53	3.04	1.91	2.13
12	C ₁₀ H ₁₆	薷烯 4-Carene	0.54	0.60	0.59	0.62	0.19	0.09	0.14	0.22		0.53	0.41	0.24	0.33		0.45	0.40	0.29	0.33
13	C ₁₀ H ₁₆	桉烯 Sabinene	0.12	0.07	0.14	0.11						0.10	0.05	0.02			0.06	0.06		0.04
14	C ₁₀ H ₁₆	异松油烯 Isoterpinolene	0.15	0.07	0.20	0.11				0.46	0.14	0.03	0.07	0.24	0.11	0.07				0.10
15	C ₁₀ H ₁₈ O	4-松油醇 4-Terpineol	5.24	6.06	5.46	6.24	2.19	0.81	1.41	2.10	0.04	5.28	4.25	2.51	3.93		6.14	4.78	3.14	3.50
16	C ₁₀ H ₁₈ O	α-松油醇 α-Terpineol	0.16	0.20	0.21	0.17						0.13	0.06	0.03						0.06
17	C ₁₀ H ₂₀ O	癸醛 Decanal		2.44	1.11	0.09	18.92	4.72	6.43									12.01	18.48	3.78
18	C ₁₀ H ₂₂ O	1-癸醇 1-Decanol	0.45	0.39	0.45	0.50	2.48											0.01	1.37	0.33
19	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	14.63	14.63	16.15	15.60	0.72	1.40	3.00	0.28	0.28	0.42	0.29	0.37	0.19	0.18	0.11	0.25	0.73	4.07
20	C ₁₁ H ₂₂ O	甲基正壬酮 2-Undecanone	0.23	0.20	0.26	0.25	6.43	20.32	20.30	18.42	20.47	16.54	20.32	18.22	20.70	27.66	21.97	7.97	7.49	13.40
21	C ₁₁ H ₂₂ O	十一烷醛 Undecanal	1.64	2.32	2.06	2.15	0.11		0.77									2.84	0.25	0.71
22	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	α-乙酸松油酯 α-Terpinyl acetate	0.36	0.34	0.33	0.31				0.05	0.08	0.65	0.34	0.10	0.38	0.06	0.40			0.20
23	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	0.30	0.07	0.23	0.25	1.94	0.64	0.95	2.22	5.20	2.89	3.26	3.40	4.04	4.18	3.13	2.03	1.86	2.15
24	C ₁₂ H ₂₄ O	2-十二烷酮 2-Dodecanone	0.46	0.25	0.41	0.47				0.46	0.68	0.36	0.34	0.50	0.49	0.32	0.33	0.04		0.30
25	C ₁₂ H ₂₄ O	十二烷醛 Dodecanal	5.27	0.95	1.27	3.90	13.59	3.43	6.27									19.95	16.87	4.21
26	C ₁₅ H ₂₄	石竹烯 Caryophyllene	1.10	0.76	0.67	0.94	1.08	0.85	0.20	0.30	1.54	0.72	0.75	0.78	0.84	0.98	0.24	0.27	0.88	0.76
27	C ₁₂ H ₂₆ O	1-十二烷醇 1-Dodecanol	1.15	0.87	0.80	0.98	0.37											0.04	0.19	0.26
28	C ₁₅ H ₂₄	芹子烯 Selinene	4.44	1.46	3.38	8.38		0.19	0.26	1.22		0.37	0.11	0.38	0.25		0.20			1.21
29	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	癸酰乙醛 Decanoyl acetaldehyde					0.67	4.84	0.71	1.38	1.91	5.39	0.59	1.21	3.15	0.47	1.49	0.28	0.80	1.35
30	C ₁₅ H ₂₄	金合欢烯 β-Farnesene					0.77	1.42	0.56	0.40	1.34	0.87	0.36	0.57	0.83	0.39	0.31	0.50	0.91	0.54
31	C ₁₅ H ₂₄	Elixene					0.46	0.71	0.20	0.93	2.09	0.88	0.62	0.99	1.31	0.53	0.26	0.45	0.40	0.58
32	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	乙基癸酸酯 Ethyl decanoate					7.42	17.26	3.97	2.03	11.13	2.46	2.73	0.53	7.07	4.95	7.33	0.90	5.34	4.30
33	C ₁₄ H ₃₀ O ₂	1,14-十四烷醇 1,14-Tetradecanediol					0.23	0.11	0.10									0.39	0.65	0.09
34	C ₁₆ H ₃₂ O	十六烷醛 Hexadecanal					2.23	0.05											0.16	0.14
35	C ₁₇ H ₃₂ O	16-十七烷烯醇 16-Heptadecenal 16-Heptadecenal								0.27	0.34	0.09	0.02	0.30	0.41	0.07	0.10	0.07		0.10

表中所列数据为 3 次测定结果的平均值 缺值部分表示未检测到 All the values are the average of three determinations (RSD <2%),Vacancys mean not detected

表4 峨眉山 17 个鱼腥草居群挥发油中 10 种共有成分含量方差分析结果

Table 4 The variance analysis results of the content of 10 mutual volatile oil components within 17 <i>H. cordata</i> Thunb. populations of Mt. Emei											
变异来源 Source of variance	自由度 Degree of freedom	月桂烯 Myrcene	trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene	甲基正壬酮 2-Undecanone	α-蒎烯 α-Pinene	β-蒎烯 β-Pinene	苈烯 Camphene	D-柠檬烯 D-Limonene	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	石竹烯 Caryophyllene
处理间 Treatment	16	178.77	405.28	260.26	5.68	9.02	0.39	0.27	124.23	7.52	0.37
机误 Random Error	34	10.15	7.21	4.22	0.14	0.13	0.0094	0.013	0.77	0.12	0.04
F 值 F-value		17.61 **	56.21 **	61.67 **	40.57 **	69.38 **	41.49 **	20.77 **	161.34 **	62.67 **	9.25 **

* * 表示该成分在各居群间的差异达到极显著水平 the significant difference of this component in these populations at the 0.01 level

表5 峨眉山 17 个鱼腥草居群挥发油中 10 种共有成分含量的多重比较 (α<0.01)

Table 5 The results of multiple comparisons of the content of 10 mutual volatile oil components in 17 <i>H. cordata</i> Thunb. populations of Mt. Emei (α<0.01)																			
月桂烯 Myrcene		trans-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene		甲基正壬酮 2-Undecanone		α-蒎烯 α-Pinene		β-蒎烯 β-Pinene		蒾烯 Camphene		D-柠檬烯 D-Limonene		乙酸龙脑酯 Bornyl acetate		乙酸芳樟酯 Linalyl acetate		石竹烯 Caryophyllene	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
D2	A	C4	A	D2	A	B3	A	A1	A	B3	A	B3	A	A3	A	C2	A	C2	A
B3	AB	C5	B	D3	B	A1	AB	A3	B	B2	B	A1	B	A4	A	D2	B	A2	B
B2	ABC	C2	C	D1	BC	A3	BC	A2	B	D5	C	A3	BC	A1	A	D1	BC	B1	B
C2	BCD	A3	CD	C2	BC	C1	BC	C1	B	B1	CD	A4	BC	A2	A	C5	CD	D2	B
B1	CDE	D2	CD	B2	BC	A2	BC	A4	BC	A1	CDE	A2	BCD	B3	B	C3	D	A4	B
C3	DEF	D1	CD	C3	BC	D3	C	D3	BC	A2	CDE	C1	BCD	B2	BC	D3	D	D5	B
D5	DEFG	A1	CDE	B3	BC	A4	C	C3	C	A3	CDE	D5	CDE	D5	C	C1	DE	B2	B
C5	DEF	A2	DE	C4	BC	C3	CD	D1	D	C1	CDE	B2	CDE	B1	C	C4	EF	D1	B
D1	EFG	C3	DE	C5	BC	D4	DE	D4	D	D4	CDE	C3	DEF	C1	C	D4	F	C5	B
C1	FGH	A4	DE	C1	C	D5	E	B3	D	C5	CDE	B1	EF	C5	C	B1	F	A1	B
D4	FGHI	D3	E	D4	D	B2	E	C5	D	A4	CDE	D4	EF	C3	C	D5	F	C3	B
A1	FGHI	C1	E	D5	D	C5	E	D5	DE	C2	DE	D3	EF	C2	C	B3	G	C1	BC
D3	GHI	D4	F	B1	D	D1	E	B1	EF	C3	DE	C5	EF	C4	C	B2	GH	A3	BCD
A2	HI	D5	F	A3	E	B1	EF	B2	F	C4	E	D1	EFG	D4	C	A2	GH	C4	CDE
A3	HI	B1	F	A4	E	C4	FG	C4	F	D2	E	C4	FGH	D1	C	A4	GH	D4	DE
A4	HI	B3	F	A2	E	C2	G	C2	G	D3	E	C2	GH	D2	C	A3	GH	D3	DE
C4	I	B2	F	A1	E	D2	G	D2	G	D1	E	D2	H	D3	C	A1	H	B3	E

表中 “1 ”代表居群，“2 ”代表差异显著性 1 means population and 2 means the significance of the difference