

2 种云南主要食用姜的挥发性成分研究

周露, 谢文申, 江明 (云南农业大学香料研究所, 云南昆明 650051)

摘要 [目的]分析云南地区 2 种主要食用姜的化学成分, 比较 2 种姜品质的差异。[方法]采用 GC/MS 的方法对云南农贸市场上的 2 种食用姜挥发油化学成分进行研究, 一种是市场上的普通白姜, 简称“姜”, 一种是罗平的小黄姜, 简称“罗平姜”。[结果]姜挥发油中检测出 56 个成分, 鉴定了 50 个成分, 主要化学成分是 β -水芹烯(14.800%)、2-十一烷酮(12.648%)、茨烯(12.349%)、香叶醛(8.361%)、龙脑(6.985%)、柠檬烯(6.342%)、香茅醇(2.895%)、 β -红没药烯(2.842%)、 α -蒎烯(2.824%)、6-甲基-5-庚烯-2-酮(2.598%)等。罗平姜挥发油中检测出 67 个成分, 鉴定了 60 个成分, 主要化学成分是 β -水芹烯(10.832%)、茨烯(8.317%)、香叶醛(8.301%)、桂酸乙酯(6.799%)、1,8-桉叶素(5.795%)、龙脑(5.357%)、柠檬烯(4.643%)、香叶醇(3.650%)、别芳萜烯(2.940%)、乙酸香茅酯(2.675%)、芳香姜黄烯(2.318%)等。[结论]对 2 种姜的挥发性成分比较发现, 两者主要香气特征成分大致相同, 罗平姜的香气层次更丰富、更柔和。

关键词 姜; 挥发油; 化学成分

中图分类号 S632.5 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)24-095-03

Volatile Components of Two Main Kinds of Edible Ginger in Yunnan Province

ZHOU Lu, XIE Wen-shen, JIANG Ming (Flavor Institute, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650051)

Abstract [Objective] To analyze the chemical components of two main kinds of edible gingers in Yunnan Province. [Method] Chemical components of volatile oil from two types of *Zingiber officinale* Rosc (White Ginger and Luoping Ginger) were researched by GC/MS method. [Result] A total of 56 components were detected in the volatile oil of white ginger; and 50 components were identified. The main chemical components were β -phellandrene(14.800%), 2-nonanone(12.648%), camphene(12.349%), citral(6.342%), borneol(5.357%), limonene(6.342%), citronellol(2.895%), β -bisabolene(2.842%) and so on. As for Luoping Ginger, 67 components were detected in the volatile oil; and 60 components were identified. The main chemical components were β -phellandrene(10.832%), camphene(8.317%), citral(8.301%), ethyl trans-cinnamic(6.799%), 1,8-cineole(5.795%), borneol(5.357%), limonene(4.643%), geraniol(3.650%), alloaromadendrene(2.940%), citronellyl acetate(2.675%) and so on. [Conclusion] Comparison of the volatile oils from two kinds of *Z. officinale* shows that their characteristic fragrance components are all most the same, and fragrance of Luoping Ginger is more abundance and gentleness.

Key words *Zingiber officinale* Rosc.; Volatile oil; Chemical constituents

姜(*Zingiber officinale* Rosc.)是姜科多年生草本植物,在我国各地广为种植,其根茎芳香而辛辣,为传统的调味用辛香料,同时又作驱风散寒、健胃止吐、抑菌等作用。

在云南省最常食用的姜(*Zingiber officinale* Rosc.)有 2 种资源,一种是普通姜,又名生姜、白姜,云南各地都有栽培,一般食用其根茎,姜外皮呈淡白色,肉质淡黄色,姜块茎外形较大。一种是罗平姜,又名罗平小黄姜、罗平生姜,生长于云南罗平县,当地气候温和湿润,土壤呈沙质化,特别适合姜的生长,罗平小黄姜是当地优选出的品种,适宜当地栽培,是罗平的特产之一。罗平小黄姜块茎外形较小(与白姜相比较),外皮呈淡黄色,肉质鲜黄色,闻起来姜味较白姜重,香气更好,在市场上罗平姜的销售价格也较普通姜高。

云南的 2 种食用姜产地不同,外形有一定差别,特别是 2 种姜的块茎肉质颜色有较大差别,但两者之间化学成分是否有差别尚鲜有研究。笔者对这 2 种姜的挥发性成分进行了研究,并对 2 种姜的化学成分做了分析比较^[1],试图找到 2 种姜品质的差异性。

1 材料与方

1.1 材料 2 种姜样品于 2014 年 10 月同时采购于昆明农贸市场,并经昆明植物研究所专家鉴定为同一品种姜,拉丁名 *Zingiber officinale* Rosc.,姜的块茎鲜品,洗净晾干,用水蒸气蒸馏法提取姜的精油,精油用无水硫酸钠脱水处理备用。

仪器为美国 Agilent Technologies 公司 HP6890GC/5973MS 气相色谱质谱联用仪。

1.2 方法 用气相色谱-质谱联用(GC-MS)的方法检测姜的主要成分,用 GC 的方法检测姜的主要成分含量。

1.3 仪器条件 GC 条件:HP_5MS 石英毛细管柱(30 mm × 0.25 mm × 0.25 μ m);柱温 80~240 $^{\circ}$ C;程序升温 3 $^{\circ}$ C/min;柱流量为 1.0 mL/min;进样口温度 250 $^{\circ}$ C;柱前压 100 kPa;进样量 0.05 μ L;分流比 10:1,载气为高纯氮气。

MS 条件:电离方式 EI;电子能量 70 eV;传输线温度 250 $^{\circ}$ C;离子源温度 230 $^{\circ}$ C;四极杆温度 150 $^{\circ}$ C;质量范围 35~500 amu;采用 wiley7n.1 标准谱库,计算机检索定性。

2 结果与分析

2.1 姜(生姜)的挥发性成分分析 用气相色谱-质谱联用方法检测姜的挥发性成分,检测出 56 个成分,鉴定了 50 个,具体见表 1。姜的主要挥发性成分有 β -水芹烯(14.800%)、2-十一烷酮(12.648%)、茨烯(12.349%)、香叶醛(8.361%)、龙脑(6.985%)、柠檬烯(6.342%)、香茅醇(2.895%)、 β -红没药烯(2.842%)、 α -蒎烯(2.824%)、6-甲基-5-庚烯-2-酮(2.598%)。

2.2 罗平姜的挥发性成分分析 用气相色谱质谱联用方法检测罗平姜的挥发性成分,检测出 67 个成分,鉴定了 60 个,具体见表 1。罗平姜的主要挥发性成分有 β -水芹烯(10.832%)、茨烯(8.317%)、香叶醛(8.301%)、桂酸乙酯(6.799%)、龙脑(5.357%)、1,8-桉叶素(5.795%)、柠檬烯(4.643%)、香叶醇(3.650%)、别芳萜烯(2.940%)、乙酸香

表1 姜和罗平姜的挥发性化学成分

Table 1 Volatile oil components of two types of *Zingiber officinale* Rosc.

序号 Code	姜 White Ginger		罗平姜 Luoping Ginger	
	化学成分 Chemical components	含量 Content//%	化学成分 Chemical components	含量 Content//%
1	2-庚醇 2-Heptanol	0.470	2-庚醇 2-Heptanol	0.408
2	三环烯 Tricycle	0.221	三环烯 Tricycle	0.144
3	α -蒎烯 α -Pinene	2.824	α -蒎烯 α -Pinene	2.414
4	莜烯 Camphene	12.349	莜烯 Camphene	8.317
5	香桉烯 Sabinene	0.123	香桉烯 Sabinene	0.218
6	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	2.598	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	1.950
7	月桂烯 Myrcene	1.269	月桂烯 Myrcene	1.301
8	辛醛 Octanal	0.130	辛醛 Octanal	0.841
9	α -水芹烯 α -Phellandrene	0.441	α -水芹烯 α -Phellandrene	0.161
10	对聚伞芹烯 P-Cymene	0.193	对聚伞芹素 P-Cymene	0.210
11	柠檬烯 Limonene	6.342	柠檬烯 Limonene	4.643
12	β -水芹烯 β -Phellandrene	14.800	β -水芹烯 β -Phellandrene	10.832
13	1,8-桉叶素 1,8-Cineole	0.479	1,8-桉叶素 1,8-Cineole	5.795
14	异松油烯 Terpinolene	0.106	水合桉烯 Cis-Sabinene hydrate	0.130
15	玫瑰呋 Rosefuran epoxide	1.709	2-壬酮 2-Nonanone	0.620
16	芳樟醇 α -Terpinolene	0.193	α -松油醇 α -Terpinolene	1.892
17	反-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-	0.119	芳樟醇 Linalool	0.136
18	顺-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	0.528	反-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-	0.463
19	樟脑 Camphor	0.797	派醇 Pinanol	0.134
20	香茅醛 Citronellal	0.168	顺-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇 2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	0.116
21	薄荷酮 Menthone	0.184	樟脑 Camphor	0.323
22	异龙脑 Isborneol	0.207	外-1-甲基-茨尼醇 Exo-methyl-camphenilol	0.584
23	龙脑 Borneol	6.985	异龙脑 Isborneol	0.185
24	松油-4-醇 Terpinene-4-ol	0.698	顺- β -松油醇 E- β -terpineol	0.280
25	α -松油醇 α -Terpineol	0.228	龙脑 Borneol	5.357
26	桃金娘烯醇 Myrtenol	0.112	玫瑰呋喃 Rosefuran epoxide	0.185
27	香茅醇 Citronellol	2.895	松油-4-醇 Terpinene-4-ol	0.521
28	橙花醛 Neral	0.376	隐酮 4-Isopropyl-2-cyclohexen-1-one	0.157
29	香叶醇 Geraniol	0.392	α -松油醇 α -Terpineol	2.416
30	香叶醛 Citral	8.361	桃金娘烯醇 Myrtenol	0.421
31	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	0.852	胡椒醇 Piperitol	0.107
32	2-十一烷酮 2-Nonanone	12.648	香茅醇 Citronellol	1.299
33	β -广藜香烯 β -Patchoulene	0.227	橙花醛 Neral	5.379
34	β -橙香烯 β -Elemene	0.262	香叶醇 Geraniol	3.650
35	甲基丁香酚 Ioseugenol	0.227	香叶醛 Citral	8.301
36	β -石竹烯 β -Caryophyllene	0.207	乙酸龙脑 L-Bornyl acetate	0.735
37	α -愈创木烯 α -Guaiene	0.178	2-十一烷酮 2-Undecanone	0.392
38	r-广藜香烯 r-Patchoulene	0.118	乙酸桃金娘烯醇 Myrtenyl acetate	0.539
39	α -广藜香烯 α -Patchoulene	0.427	乙酸香茅酯 Citronellyl acetate	2.675
40	芳香-苯烯 Ar-Benzene	0.297	α -胡椒烯 α -Copaene	0.330
41	α -姜烯 α -Zingiberene	0.207	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	0.109
42	α -布藜烯 α -Bulnesene	1.471	β -榄香烯 β -Elemene	0.193
43	β -红没药烯 β -Bisabolene	2.842	甲基丁香酚 Methyl eugenol	0.118
44	β -倍半水芹烯 β -Sesquiphellandrene	0.272	异丁香酚 Ioseugenol	0.241
45	榄香醇 Elemol	0.597	β -金合欢烯 β -Farnesene	0.170
46	橙花叔醇 Nerolidol	0.794	别芳萜烯 Alloaromadendrene	2.940
47	顺-倍半水合桉烯 Cis-Curcumene	1.023	桂酸乙酯 Ethyl trans-cinematic	6.799
48	β -桉叶油醇 β -Eudesmol	0.137	芳香姜黄烯 Ar-Curcumene	2.318
49	α -桉叶油醇 α -Eudesmol	0.283	α -姜烯 α -Zingibene	0.108
50	广藜香 Patchouli alcohol	0.513	顺-r-杜松烯 Germacrene-d	0.240
51			β -红没药烯 β -Bisabolene	0.118
52			β -倍半水芹烯 β -Sesquiphellandrene	2.176
53			榄香醇 Elemol	0.976
54			反-倍半水合桉烯 Trans-Curcumene	0.269
55			橙花叔醇 Nerolidol	0.197
56			姜黄烯 Cis-Curcumene	0.439
57			β -桉叶油醇 β -Eudesmol	0.636
58			α -桉叶油醇 α -Eudesmol	0.418
59			广藜香醇 Patchouli alcohol	0.338
60			对甲氧基桂酸乙酯 2-Propenoic acid, 3-(4-methoxyphenyl)-, ethyl ester	0.156

注:姜的总检出物占比 89.879%,罗平姜的总检出物占比 93.520%。

Note: The detected components in white Ginger and Luoping Ginger were 89.879% and 93.520%, respectively.

茅酯(2.675%)、芳香姜黄烯(2.318%)、 β -倍半水芹烯(2.176%)、6-甲基-5-庚烯-2-酮(1.950%)。

2.3 2 种云南食用姜挥发性成分的差异 由表 2 可见,2 种姜中有 40 个成分是相同的,33 个成分不同。相同的主要成分有 β -水芹烯、苈烯、香叶醛、龙脑、柠檬烯、香叶醇、 α -蒎烯、6-甲基-5-庚烯-2-酮等,与文献报道中的姜成分情况大致相同^[2-4]。

罗平姜检测出成分比普通姜的多,构成罗平姜的特征香味成分除了 β -水芹烯、苈烯、龙脑、柠檬烯、 α -蒎烯等外,还有特有的桂酸乙酯、乙酸香茅酯、乙酸桃金娘烯醇酯、1,8-桉叶素、芳香姜黄烯、 β -倍半水芹烯等成分,独特酯类成分及芳香姜黄烯是普通姜没有的,所以罗平姜香气层次更丰富、更柔和。

3 结论

姜香气成分以倍半萜烯类化合物为主,其次为单萜烯类化合物。萜类化合物是存在于自然界的具有多种生物活性的一类化合物,其中 β -水芹烯具有抗炎、抗菌作用, α -蒎烯具有镇咳、祛痛、抗真菌作用,苈烯、龙脑具有发汗、兴奋、镇痉、驱虫和抗腐蚀作用;柠檬烯具有镇咳、祛痰、抗真菌作用。姜根茎祛风散寒、敛气止汗之效与其挥发油中含有上述活性成分是密切相关的。

从植物分类的角度来看,罗平姜与普通姜的主要特征香气化学成分大致相同,可以将罗平姜鉴定为姜(*Zingiber officinale* Rosc.),两者应为同一个种。罗平姜香气较普通生姜浓郁,是生姜中比较好的品种,食用价值更高,可以推广种植。

表 2 姜(生姜)与罗平姜挥发油成分的差异比较

Table 2 Difference comparison of volatile oil components between White Ginger and Luoping Ginger

序号 Code	化学成分 Chemical component	姜 White Ginger	罗平姜 Luoping Ginger	序号 Code	化学成分 Chemical component	姜 White Ginger	罗平姜 Luoping Ginger
1	2-庚醇	√	√	38	广藿香醇	√	√
2	三环烯	√	√	39	β -红没药烯	√	√
3	α -蒎烯	√	√	40	玫瑰呔喃	√	√
4	苈烯	√	√	41	薄荷酮	√	
5	香桉烯	√	√	42	异松油烯	√	
6	6-甲基-5-庚烯-2-酮	√	√	43	β -广藿香烯	√	
7	月桂烯	√	√	44	β -石竹烯	√	
8	辛醛	√	√	45	α -愈创木烯	√	
9	α -水芹烯	√	√	46	r-广藿香烯	√	
10	对聚伞芹烯	√	√	47	α -广藿香烯	√	
11	柠檬烯	√	√	48	α -布黎烯	√	
12	β -水芹烯	√	√	49	芳香-姜苈烯	√	
13	1,8-桉叶素	√	√	50	水合桉烯		√
14	芳樟醇	√	√	51	2-壬酮		√
15	α -松油醇	√	√	52	乙酸桃金娘烯醇酯		√
16	反-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇	√	√	53	乙酸香茅酯		√
17	顺-1-甲基-4-异丙基-2-环己烯-1-醇	√	√	54	α -胡椒烯		√
18	樟脑	√	√	55	乙酸香叶酯		√
19	异龙脑	√	√	56	β -金合欢烯		√
20	龙脑	√	√	57	蒎醇		√
21	松油-4-醇	√	√	58	隐酮		√
22	香茅醇	√	√	59	香茅醛		√
23	橙花醛	√	√	60	别芳萜烯		√
24	香叶醇	√	√	61	桂酸乙酯		√
25	香叶醛	√	√	62	外-甲基-苈尼醇		√
26	乙酸龙脑酯	√	√	63	乙酸龙脑酯		√
27	2-十一烷酮	√	√	64	胡椒醇		√
28	α -桉叶油醇	√	√	65	松油-4-醇		√
29	β -桉叶油醇	√	√	66	甲基丁香酚		√
30	桃金娘烯醇	√	√	67	异丁香酚		√
31	甲基丁香酚	√	√	68	顺-r-杜松烯		√
32	α -姜烯	√	√	69	β -倍半水芹烯		√
33	β -倍半水芹烯	√	√	70	反-倍半水合桉烯		√
34	榄香醇	√	√	71	橙花叔醇		√
35	橙花叔醇	√	√	72	芳香姜黄烯		√
36	顺-倍半水合桉烯	√	√	73	对甲氧基桂酸乙酯		√
37	β -榄香烯	√	√				

功能区等的影响,在各国的污染程度不同,其中东欧、北欧土壤重金属污染程度为清洁,中欧、伊比利亚半岛、西北欧的土壤重金属污染程度为尚清洁,巴尔干半岛和意大利北部重金属较为富集,达中污染甚至重度污染。

参考文献

- [1] PEI D, XIE H, SONG H, et al. Bioconcentration factors and potential human health risks of heavy metals in cultivated *Lentinus edodes* in Chengdu, People's Republic of China[J]. J Food Protection, 2015, 78(39): 1-5.
- [2] 刘玉燕, 刘敏, 刘浩峰. 城市土壤重金属污染特征分析[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 184-188.
- [3] FACCHINELLI A, SACCHI E, MALLEN L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils[J]. Environ Pollut, 2001, 114(3): 313-324.
- [4] IMPERATO M, ADAMO P, NAIMO D, et al. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy)[J]. Environ Pollut, 2003, 124(2): 247-256.
- [5] 谢淑云, 鲍征宇, 秦兵, 等. 成都盆地浅层土壤中元素来源研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 896-900.
- [6] 谢淑云, 鲍征宇. 多重分形与地球化学元素的分布规律[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 97-102.
- [7] 谢淑云, 鲍征宇. 地球化学场的连续多重分形模式[J]. 地球化学, 2002, 31(2): 191-200.
- [8] 成秋明. 多维分形理论和地球化学元素分布规律[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(3): 311-318.
- [9] BLASER P, ZIMMERMANN S, LUSTER J, et al. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forest soils[J]. The science of the total environment, 2000, 249(1/2/3): 257-280.
- [10] 郭笑笑, 刘从强, 朱兆洲, 等. 土壤重金属污染评价方法[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 889-895.
- [11] 王铁宇, 吕永龙, 罗维, 等. 北京官厅水库周边土壤重金属与农药残留及风险分析[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 57-61.
- [12] ZHONG S, GENG H, ZHANG F J, et al. Risk assessment and prediction of heavy metal pollution in groundwater and river sediment: A case study of a typical agricultural irrigation area in northeast China International journal of analytical chemistry, 2015(9): 921539.
- [13] AGER D. 欧洲地质[M]. 马丽芳, 刘训, 等译. 北京: 地质出版社, 1989: 293.
- [14] ALBANESE S, SADEGHI M, LIMA A, et al. GEMAS: Cobalt, Cr, Cu and Ni distribution in agricultural and grazing landsoil of Europe[J]. Journal of geochemical exploration, 2015, 154: 81-93.
- [15] LADO L R, HENGL T, REUTER H I. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database[J]. Geoderma, 2008, 148: 189-199.
- [16] 朱士鹏, 吴新明. 南京周边地区土壤地球化学特征及农业地质环境评价[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2005.
- [17] 鲍征宇, 韩今文. 海南岛优质农产品生态地球化学研究成果报告[R]. 海口: 海南省地质调查研究院, 2002: 24.
- [18] 柯贤忠, 程绪江, 谢淑云, 等. 基于多重分形的表层土壤中重金属元素来源分析: 以海南省琼海市为例[J]. 地质科技情报, 2010, 29(1): 97-102.
- [19] 谢淑云, 鲍征宇. 多重分形方法在金属成矿潜力评价中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(1): 28-33.
- [20] 方海平, 谢淑云, 张天付, 等. 五大连池玄武岩三维孔隙结构的多重分形特征[J]. 地质科技情报, 2015, 34(3): 24-29.
- [21] 谢淑云, 鲍征宇. 矩分析法及其在粤北韶关地区金属成矿作用研究中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(4): 443-448.
- [22] XIE S, BAO Z, XU D. Geochemical multifractal distribution patterns in soils and its implication for the environmental assessment[C]//CHENG Q, BONHAM - CARTER G. Proceedings of IAMG. 05: GIS and Spatial Analysis. Toronto: York University Press, 2005: 310-316.
- [23] CHENG Q. Multifractal modeling and lacunarity analysis[J]. Math Geol, 1997, 29: 919-932.
- [24] XIE S Y, BAO Z Y, DEYI X. Geochemical multifractal distribution patterns in soils and its implication for the environmental assessment[J]. Proceedings of IAMG'05: GIS and spatial analysis, 2005, 1: 310-316.
- [25] 安婧, 宫晓双, 陈宏伟, 等. 沈抚灌区农田土壤重金属污染时空变化特征及生态健康风险评估[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 37-44.
- [26] 柳云龙, 章立佳, 韩晓非, 等. 上海城市样带土壤重金属空间变异特征及污染评价[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 599-605.
- [27] KABATA - PENDIAS A. Trace elements in soils and plants[M]. Boca Raton: CRC Press, 2001: 413.
- [28] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [29] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖, 等. 南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 123-126.
- [30] WERKENTHIN M, KLUGE B, WESSOLEK G. Metals in European roadside soils and soil solution: A review[J]. Environmental pollution, 2014, 189: 98-110.
- [31] MACHENDER G, DHAKATE R, PRASANNA L, et al. Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India[J]. Environ Earth Sci, 2011, 63(5): 945-953.
- [32] ABDELHAFEZ A A, LI J. Environmental monitoring of heavy metal status and human health riskassessment in the agricultural soils of the Jinxi river area, China[J]. Human Ecol Risk Assess, 2014, 21(4): 952-971.
- [33] MORADI A, HONARJOO N, NAJAFI P, et al. A human health risk assessment of soil and crops contaminated by heavy metals in industrial regions, central Iran[J]. Human and ecological risk assessment: An international journal, 2016, 22(1): 153-167.
- [34] 马旭红, 吴云海, 杨风. 土壤重金属污染的探讨[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(5): 52-54.
- [35] HUANG S S. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China[J]. Chemosphere, 2007, 24: 1-8.
- [36] LIU L, ZHANG X Y, ZHONG T Y. Pollution and health riskassessment of heavy metals in urban soil in China[J]. Human and ecological risk assessment: An international journal, 2016, 22(2): 424-434.
- [37] 宋伟, 陈百明, 刘琳. 中国耕地土壤重金属污染概况[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 293-298.
- [38] 李玲, 吴克宁, 张雷, 等. 郑州市郊区土壤重金属污染评价分析[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 1164-1168.
- [39] 邓秋静, 宋春然, 谢锋, 等. 贵阳市耕地土壤重金属分布特征及评价[J]. 土壤, 2006, 38(1): 53-60.
- [40] YANG Y, MEI Y, ZHANG C T, et al. Heavy metal contamination in surface soils of the industrial district of Wuhan, China[J]. Human and ecological risk assessment: An international journal, 2016, 22(1): 126-140.
- [41] 武永锋, 刘从强, 涂成龙. 贵阳市土壤重金属污染及其潜在生态风险评估[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3): 254-257.

(上接第97页)

参考文献

- [1] 程必强, 喻学俭, 丁靖凯, 等. 云南香料植物资源及其利用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2001: 334-336.
- [2] 包磊, 邓安珺, 李志宏. 姜的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(5): 598-601.
- [3] 李铁纯, 回瑞华, 侯冬岩, 等. 生姜挥发性成分的分析[J]. 分析科学学报, 2003, 19(5): 447-448.
- [4] 孙亚青, 李景明, 李丽梅, 等. 姜精油的 GC/MS 分析研究[J]. 食品与发酵工业, 2004(6): 95-99.