

文章编号:1001-6880(2015)6-1016-06

不同产地生姜主要活性成分的比较分析

刘琳琪,刘玉环,赵晨曦*,王小梅,王丽平,彭霞辉

长沙学院生物与环境工程系,长沙 410022

摘要:为全面评价生姜质量,通过GC-MS和HPLC法分别对不同产地生姜样品中挥发油和姜辣素进行比较分析。结果从9种生姜挥发油中分别鉴定了24~28种化学成分,占挥发油总量的85.31%~93.67%,主要为 β -水芹烯(9.96%~20.15%)、莰烯(3.54%~14.53%)、柠檬醛(6.52%~12.49%)、 β -柠檬醛(3.96%~7.44%)、姜烯(13.81%~19.74%)、姜黄烯(tr ~5.52%)、 β -倍半水芹烯(5.08%~6.22%)和 β -红没药烯(2.63%~3.34%)等单萜和倍半萜类活性成分。9种生姜样品中6-姜辣素含量在0.067%~0.391%之间,均达到了现行中国药典不低于0.05%的规定。可见不同产地生姜主要活性成分含量差异较大。故以生姜的主要特征性有效成分姜烯、姜黄烯与6-姜酚共同作为其质量评价指标,将更加科学合理。

关键词:生姜;挥发油;姜辣素;气相色谱-质谱法;高效液相色谱法

中图分类号:O657

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2015.06.014

Comparative Analysis of Main Active Constituents in Ginger Samples Collected from Different Origins

LIU Lin-qi, LIU Yu-huan, ZHAO Chen-xi*, WANG Xiao-mei, WANG Li-ping, PENG Xia-hui

Department of Biological and Environmental Engineering, Changsha University, Hunan Changsha 410022, China

Abstract: In order to evaluate the quality of ginger more comprehensively, comparative analysis of the main active constituents of ginger samples collected from different origins were performed by GC-MS and HPLC methods proposed in this work. The ginger volatile oils were extracted by water distillation method and analyzed by GC-MS. Then the chemical constituents were identified by searching NIST02 MS database and semi-quantified by peak area normalization method. Gingerols were extracted by methanol and then determined by HPLC method. The obtained results showed that 24 to 28 compounds in the volatile oils of 9 ginger samples were identified by GC-MS, which accounted for 85.31% to 93.67% of total essential oils, respectively. β -Phellandrene (9.96%~20.15%), camphene (3.54%~14.53%), citral (6.52%~12.49%), β -citral (3.96%~7.44%), zingiberene (13.81%~19.74%), curcumene (tr ~5.52%), β -sesquiphellandrene (5.08%~6.22%) and β -bisabolene (2.63%~3.34%) were the eight main active constituents. As for non-volatile components, the contents of 6-gingerol in the 9 ginger samples were in the range of 0.067% to 0.391%, respectively, higher than 0.05% specified in the current Chinese pharmacopeia. But there existed obvious differences in main active constituents and their amounts among the 9 ginger samples. Thus, to specify three characteristic effective components including zingiberene, curcumene and 6-gingerol instead of one constituent 6-gingerol as the quality evaluation compounds of ginger should be much more comprehensive.

Key words: ginger; volatile oil; gingerol; GC/MS; HPLC

生姜属于姜科多年生草本植物的嫩根茎^[1],具有调味、保鲜、防腐、抗氧化、止吐^[2]等作用。生姜中的化学成分主要包括姜辣素、姜精油和二苯基庚烷三类^[3]。姜辣素是生姜中的辛辣成分,根据结构

不同可分为姜酚、姜酮、姜烯酚等类型,其中姜酚类和姜酮类物质是生姜发挥药理作用的主要活性成分^[4]。姜酚类有6-姜酚、6-姜烯酚、8-姜酚和10-姜酚等,每100 g干姜中其含量分别在4.74~5.59 mg、1.41~1.85 mg、0.34~0.75 mg和0.05~0.18 mg之间,其中6-姜酚的含量和生物活性最高^[5],具有抗氧化^[6]、抗肿瘤^[7]、抑菌^[8]、保肝^[9]、抑制细胞衰老^[10]等药用价值。因此,6-姜酚可作为评价生姜

收稿日期:2015-01-04 接受日期:2015-04-13

基金项目:国家自然科学基金(81173533);湖南省教育厅重点项目(11A017)

* 通讯作者 Tel:86-731-84215613; E-mail:cxzh003@163.com

及药物品质的一项客观指标^[11]。《中国药典》一部2010版规定6-姜辣素(即6-姜酚)为生姜的质量评价指标成分^[1]。生姜挥发油含量在1%~3%,具有特殊香气,主要化学成分是单萜和倍半萜类化合物^[12]。姜精油中的倍半萜类和单萜类物质的含氧衍生物有较强的生物活性,具有良好的抗菌^[13]、抗氧化^[14]、抑制中枢神经系统兴奋^[2]等作用。

由前所述,6-姜酚是生姜发挥药理作用的主要成分,而挥发油同样具有较为显著的药理作用。现行中国药典规定6-姜辣素为生姜质量评价的指标成分,有失全面和科学性。然而目前尚未见将6-姜辣素与姜精油中主要活性成分共同作为生姜质量评价指标的文献报道。故本研究同时分析了不同产地姜精油的成分及6-姜辣素含量,拟将生姜主要特征性活性成分姜烯、姜黄烯及6-姜辣素共同作为其质量控制指标成分,这样可以更加全面的评价生姜的质量,为完善药典单一的质量评价指标奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

1.1.1 实验样品和对照品

实验样品:新鲜生姜样品由9个不同地区(长沙、攸县、河南、湖北、岳阳、山东、郴州、娄底、唐山)的学生于2014年2月21、22日两天在其居住地购买后带来实验室,依次编号为1~9号,每种生姜样品500克洗净后于40°C烘干表面水分备用。

对照品:6-姜酚。购自国家标准物质网,20 mg/支,含量>98%,批号为MUST-13012303。

1.1.2 主要试剂

甲醇(色谱纯,天津市彪仕科技发展有限公司)、磷酸(色谱纯,长沙市湘科精细化工厂)、乙腈(色谱纯,天津市赛孚瑞科技有限公司)。

1.1.3 主要仪器

高效液相色谱装置(LC-20AD,岛津公司)、电子分析天平(AUY120,岛津公司)、GC-MS仪(6890/5973型,安捷伦公司)、超声波清洗器(KH-500V型,昆山禾创超声仪器有限公司)、水蒸气蒸馏装置。

1.2 挥发油的提取

本实验采用现行药典中水蒸气蒸馏法提取生姜的挥发油。选取无腐烂、无霉变的生姜。称取生姜200 g,切成碎末,置于2000 mL圆底烧瓶中,并加入1000 mL蒸馏水,进行生姜精油的提取。保持微沸5 h后停止加热,冷却,将提取的挥发油移至进样瓶

中,避光冷藏备用。

1.3 挥发油化学成分 GC/MS 分析

色谱条件:色谱柱:DB-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm)。升温程序:起始温度50 °C,以4.00 °C/min 的速率升温到200 °C,保持3.00 min;总分离时间为37.25 min。进样口温度为250 °C,载气为氦气,载气流量为1.0 mL/min(恒流),进样量为0.5 μL,分流比为5:1。

质谱条件:标准电子轰击(EI)离子源(70 eV),离子源温度:230 °C;四级杆温度:130 °C,接口温度:280 °C;电子倍增器电压:1.812 KV;扫描质量范围:30~450 amu,溶剂延迟3 min。

定性定量方法:采用质谱库检索结合色谱保留指数进行组分定性鉴定,以峰面积归一法计算各组分的百分含量。

1.4 姜辣素的提取

对1~9号生姜进行以下处理:取2.0 g已切成碎末的生姜于带塞的圆底烧瓶中,精密称定,再精密加入甲醇25 mL,称定重量,加热回流1 h,待溶液冷却后,再称定重量,用甲醇补足减失的重量,摇匀,过滤,取续滤液,定容于25 mL的容量瓶中,并置于冰箱中冷藏备用。

1.5 姜辣素的 HPLC 含量测定

1.5.1 色谱条件

岛津公司LC-20AD高效液相色谱仪,型号规格:LC-20AD。色谱柱:XB-C₁₈(4.6×250 mm);流动相:乙腈-0.01%磷酸(45/55);检测波长:280 nm;流动相流速:1.00 mL/min,进样量:20 μL。

1.5.2 6-姜酚的标准曲线的绘制

以6-姜酚的含量表示姜辣素的含量。精密称取6-姜酚对照品5.8 mg定容于25 mL的容量瓶中,得到质量浓度为232 μg/mL的6-姜酚标准溶液。用微量移液器精密移取已配制好的6-姜酚标准溶液200 μL于进样瓶中,并标号为1。将姜辣素标准溶液分别用甲醇稀释2倍、4倍、8倍、16倍,得到质量浓度为116、58.0、29.0、14.5 μg/mL的标准品溶液,依次标号为2、3、4、5号。分别取该系列对照品溶液各20 μL,注入液相色谱仪,按上述色谱条件测定,从而得到相应的峰面积值,绘制标准曲线。

1.5.3 精密度试验

日内精密度:分别精取1.5.2中的1、3、5号对照品溶液10 μL,按照上述色谱条件,重复进样5次,分别记录一系列峰面积,计算液相色谱仪的日内

精密度。

日间精密度: 分别精取 1.5.2 中的 1、3、5 号对照品溶液 10 μL, 按照上述色谱条件, 每隔 24 h 进样一次, 连续 3 天, 分别记录一系列峰面积, 计算液相色谱仪的日间精密度。

1.5.4 加样回收率实验

分别取 2.0 g 已切成碎末的 7 号郴州生姜 4 份于带塞的圆底烧瓶中, 标号为 1、2、3、4, 精密称定, 再精密加入甲醇 25 mL, 分别称定重量。在 2、3、4 号中分别加入 2 mL 浓度分别为 14.5、58.0、232 μg/mL 对照品溶液, 加热回流 1 h, 待溶液冷却后, 再称定重量, 用甲醇补足减失的重量, 摆匀, 过滤, 取续滤液, 定容于 25 mL 的容量瓶中。分别取样 20 μL 注入液相色谱仪进行测定。

1.5.5 样品的测定

将 9 种已提取出姜辣素的样品按 1.5.1 的色谱条件进行姜辣素含量的测定。

2 结果与讨论

2.1 生姜挥发油 GC/MS 分离谱图及其成分含量分析

按照 1.2 所述方法提取 1~9 号产地生姜中的挥发油, 采用 GC/MS 法按照 1.3 中所述条件进行分析, 得到了挥发油总离子流图, 9 种不同产地的生姜

挥发油总离子流图形貌相似, 但组分含量存在差异。通过检索 NIST 质谱库确定挥发油的成分, 利用峰面积归一法计算各组分含量, 9 种生姜挥发油的定性定量结果按照出峰时间顺序列于表 1。从表 1 可见, 不同产地生姜挥发油化学成分及相对含量各有不同, 其中能够鉴定出的组分数在 24~28 种之间, 占挥发油含量的 85.31%~93.67%, 主要为单萜和倍半萜化合物, 且样品中单萜类化合物含量占总组分的 50% 以上。单萜化合物中主要有 α-蒎烯 (0.88%~4.1%)、莰烯 (3.54%~14.53%)、冰片 (0.34%~3.58%)、β-水芹烯 (9.96%~20.15%)、柠檬醛 (6.52%~12.49%)、β-柠檬醛 (3.96%~7.44%) 等, β-水芹烯含量最高。倍半萜类化合物中主要有姜黄烯 (tr~5.52%)、姜烯 (13.81%~19.74%)、β-红没药烯 (2.63%~3.34%)、β-倍半水芹烯 (5.08%~6.22%) 等, 以姜烯含量为最高。生姜挥发油的主要化学成分与文献报道的基本一致, 但也存在一定的差异。文献报道生姜挥发油中倍半萜化合物含量占 50.66%, 其中姜黄烯的含量为 11.416%^[15]。而本研究中倍半萜化合物含量仅占 25%~36%, 单萜化合物含量超过 50%。姜黄烯的含量最多为 5.52%, 而姜烯含量高达 13.81%~19.74%。这可能是因为不同的产地, 气候等因素对生姜化学成分有一定的影响。

表 1 不同产地生姜挥发油定性定量结果

Table 1 Qualitative and quantitative results of ginger essential oils from different origins

峰号 No.	样品编号 Sample No.	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content (%)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
化学成分 Compounds											
1	α-Pinene/α-蒎烯	6.836	3.30	3.50	3.65	3.74	0.88	2.16	3.61	3.68	4.10
2	Camphene/莰烯	7.334	11.13	11.09	14.53	11.28	3.54	8.69	11.83	12.39	13.40
3	β-Pinene /β-蒎烯	8.314	0.32	0.40	0.45	0.30	—	0.35	0.38	0.40	0.46
4	β-Myrcene/月桂烯	8.441	1.27	—	1.28	1.18	—	1.21	1.20	—	1.40
5	α-Phellandrene/α-水芹烯	9.102	0.91	0.65	0.53	0.97	0.38	0.49	0.80	0.66	0.76
6	β-Phellandrene/β-水芹烯	9.859	20.15	17.26	14.43	19.88	9.96	11.32	17.57	17.93	18.69
7	Eucalyptol/桉叶油醇	9.891	—	—	—	—	4.25	4.18	—	—	—
8	Terpinolene/异松油烯	11.638	0.39	0.42	0.39	0.35	0.43	0.32	0.36	0.39	0.38
9	Linalool/芳樟醇	12.139	0.89	0.80	0.62	—	1.49	0.92	0.88	0.47	0.66
10	Citronellal/香茅醛	13.939	0.32	—	—	0.31	—	—	—	—	—
11	Borneol/冰片	14.704	2.33	1.61	1.87	1.80	3.58	1.93	2.01	0.34	1.75
12	Citral/柠檬醛	14.971	8.37	7.56	6.52	6.80	11.62	12.49	7.78	7.42	7.13
13	α-Terpineol/松油醇	15.486	1.12	0.98	1.03	0.86	1.97	1.33	1.00	1.0	1.06
14	(R)-Citronellol/香茅醇	16.553	0.67	0.79	0.32	0.47	1.25	0.56	0.57	0.50	0.31
15	β-Citral/β-柠檬醛	16.959	4.37	5.06	3.96	4.24	7.44	6.28	4.44	4.84	4.60

16	Geraniol/香叶醇	17.352	1.68	1.66	tr	1.21	1.42	3.09	1.20	1.29	1.08
17	(E)-Cinnamaldehyde/反式肉桂醛	18.186	-	-	1.32	-	3.98	0.35	1.70	-	-
18	(-) -Bornyl acetate/左旋乙酸龙脑酯	18.514	0.34	-	0.46	0.49	0.46	0.49	-	0.34	0.40
19	2-Undecanone/甲基壬基甲酮	18.776	0.35	-	0.45	0.49	-	0.43	1.41	0.58	-
20	Geranyl acetate/香叶醇乙酸酯	21.574	0.75	1.06	1.18	0.71	1.42	3.97	0.80	0.82	1.70
21	(-)- β -Elemene/ β -榄香烯	21.977	0.48	0.50	0.48	0.53	0.45	0.33	0.44	0.42	0.50
22	α -Curcumene/ α -姜黄烯	24.869	3.22	3.83	4.10	3.59	5.52	tr	3.38	3.82	4.40
23	Zingiberene/姜烯	25.349	19.08	18.63	18.61	19.74	16.79	13.81	18.81	16.70	17.80
24	γ -Muurolene/ γ -衣兰油烯	25.434	1.48	1.43	1.25	1.42	1.65	1.08	1.51	1.35	1.14
25	β -Bisabolene/ β -红没药烯	25.699	2.84	2.96	3.08	2.89	3.34	2.63	2.86	2.73	3.01
26	β -Sesquiphellandrene/ β -倍半水芹烯	26.192	5.61	5.97	6.09	5.76	6.22	5.08	5.71	5.43	5.76
27	Elemol 榄香醇	26.907	0.84	1.02	1.03	0.96	0.97	0.93	0.87	0.95	0.82
28	Nerolidol/橙花叔醇	27.261	0.85	0.98	1.05	0.89	0.86	0.89	0.92	0.98	0.86
29	Farnesol/金合欢醇	28.134	-	tr	0.27	0.21	-	-	-	0.21	0.24
30	β -Selinol/ β -桉叶油醇	30.003	0.61	0.63	0.53	0.50	-	-	0.63	0.38	0.50
合计 Total		含量 Content/%	93.67	88.79	89.48	91.57	89.87	85.31	92.67	88	92.91
化合物数/种 No. of compound		27	24	28	27	24	27	26	26	26	26

注:“-”未检出;“tr”少量。

Note: “-” not detected; “tr” trace amount.

2.2 生姜姜辣素 HPLC 分析鉴定结果

2.2.1 HPLC 分离效果

根据 1.5.1 所述的色谱条件,进行标准样品与

样品的姜辣素的测定,得到的色谱分离情况如图 1 所示。由图可知,分离效果好,6-姜酚色谱峰保留时间约为 13.6 min。

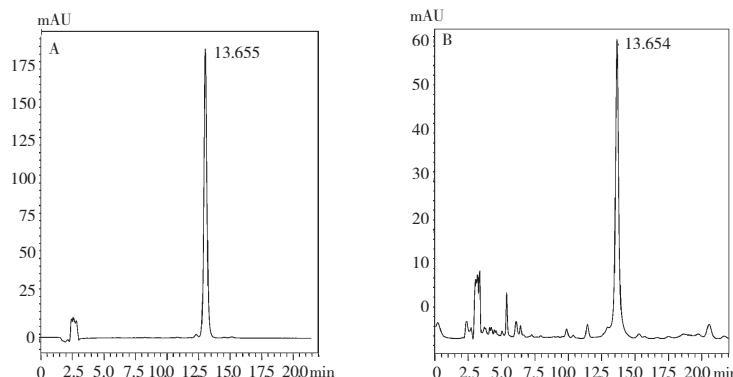


图 1 6-姜酚标准品(A)和样品(B)高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of 6-gingerol standard (A) and tested sample (B)

2.2.2 线性关系的考察

依据 1.5.2 的实验方法,测定 6-姜酚系列标准溶液的峰面积。以 6-姜酚的含量($\mu\text{g}/\text{mL}$)为横坐标,相应色谱峰面积为纵坐标进行线性回归计算。结果表明 6-姜酚在 14.5~232 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的浓度范围内线性关系良好。回归方程为: $Y = 14000X + 49637$, $R^2 = 0.9998$ 。

2.2.3 精密度实验

依据 1.5.3 的实验方法进行精密度试验,计算得仪器日内精密度的相对标准偏差 RSD 及日间精

密度 RSD。栀子苷浓度为 14.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,日内精密度 RSD 1.7%,日间精密度 RSD 2.9%;栀子苷浓度为 58.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,日内与日间精密度 RSD 分别为 0.8% 和 1.2%;栀子苷浓度为 232 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,日内与日间精密度 RSD 分别为 0.42% 和 0.6%。由此得知,该仪器精密度良好。

2.2.4 加样回收率实验

由 1.5.4 中所述方法测定对 7 号生姜进行加样回收率实验,重复测量 5 次,结果如表 2 所示。数据表明加样平均回收率为 96.16% \pm 2.49%。

表 2 加样回收率实验($n=5, \bar{x} \pm S$)Table 2 Recovery experiment results ($n=5, \bar{x} \pm S$)

编号 No.	加入量 Added amount (μg)	样品含量 Original amount (μg)	测定值 Detected amount (μg)	回收率 Recovery (%)	平均回收率 Average recovery (%)
1	29.0	170.8	198.8	96.55	96.16 ± 2.49
			198	93.79	
			198.8	96.55	
			200	100.69	
			199.2	97.93	
2	116	170.8	279.3	93.53	96.16 ± 2.49
			282.2	96.03	
			289.1	101.98	
			279.5	93.71	
			279.7	93.88	
3	464	170.8	608.9	94.42	96.16 ± 2.49
			618.2	96.42	
			611.7	95.02	
			618.8	96.55	
			613.4	95.39	

2.2.5 样品的测定

按照 1.4 中方法提取 1~9 号生姜样品中的姜辣素,并在 1.5.1 的色谱条件下,进样量为 10 μL ,进行 HPLC 分析,平行测定测 3 次,得到的相应峰面积,再根据标准曲线的回归方程计算出 6-姜酚的含量,经过数据分析得到的结果如表 3 所示。由表 3

可知,9 种生姜样品中 6-姜酚含量各有不同,在 0.067%~0.391% 之间,其中 4 号生姜中 6-姜酚的含量最高达到 0.391%,是 3 号生姜中 6-姜酚含量的 5.8 倍,但所有样品中 6-姜酚的含量均不低于 0.050%,符合 2010 版中国药典的要求。

表 3 不同产地生姜中 6-姜酚的含量($n=3, \bar{x} \pm S$)Table 3 The contents of gingerols in ginger samples from different origins ($n=3, \bar{x} \pm S$)

编号 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
姜辣素含量 Contents of gingerols(%)	0.173 ± 0.008	0.182 ± 0.009	0.067 ± 0.008	0.391 ± 0.011	0.144 ± 0.006	0.083 ± 0.009	0.214 ± 0.012	0.147 ± 0.007	0.071 ± 0.005

2.3 生姜主要活性成分的比较分析

生姜醇提取物中 6-姜酚的含量和生物活性最高,具有抗氧化、抗肿瘤、抑菌、保肝、抑制细胞衰老等多种药用价值^[5]。本研究中 9 种生姜样品中 6-姜酚的含量均符合 2010 版中国药典的要求。然而生姜挥发油中多种成分也具有重要作用,如 β -水芹烯具有祛痰、杀虫等重要的生理活性^[16],柠檬醛、 β -柠檬醛可用作制造柑橘香味食品香料,冰片具有发汗、兴奋、镇痉、驱虫等作用^[17], α -蒎烯对白色念珠菌的生物合成有显著的抑制作用^[18],莰烯、冰片、柠檬醛、 β -柠檬醛都有杀菌等作用^[19];倍半萜类化合

物姜烯可作止痛剂^[17],姜黄烯有一定的抑癌活性^[20],姜烯和姜黄烯同时具有抗病毒、抗生育、抗溃疡^[15]等多种活性, β -红没药烯也具有一定的抗生育活性^[21]。因此,仅以 6-姜酚的含量评价生姜质量显然有些片面。本文对生姜挥发油的定性定量分析结果显示,姜烯、姜黄烯为生姜挥发油中具有重要生理活性的主要特征性成分。鉴于此,我们提出将姜烯、姜黄烯与 6-姜酚共同作为生姜的质量评价指标。

3 结论

通过对 9 种不同产地的生姜主要活性成分的比

较分析,得到如下结论:(1)从9种不同产地的生姜挥发油中鉴定出24~28种化学成分,含量在85.31%~93.67%之间,主要为单萜和倍半萜类化合物,其中 β -水芹烯和姜烯含量最高;(2)9种生姜样品中姜辣素含量各有不同,在0.067%~0.391%之间,均符合现行中国药典规定的不低于0.050%的规定;(3)主要活性成分姜烯(13.81%~19.74%)和姜黄烯(α ~5.52%)含量高,且为姜的特征成分,因此提出以姜烯、姜黄烯和6-姜酚共同作为生姜的质量评价指标。

参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission (国家药典委员会). *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* (中华人民共和国药典). Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2010. Vol I, 93.
- 2 Chrubasik S, Pittler MH, Roufogalis BD. *Zingiberis rhizoma*: A comprehensive review on the ginger effect and efficacy profiles. *Phytomed*, 2005, 12:684-701.
- 3 He WS (何文珊), Yan YX (严玉霞), Guo BJ (郭宝江). Advances in research of chemical constituents and biological activity of ginger. *J Chin Med Mater* (中药材), 2001, 24: 376-379.
- 4 Ye GS (叶刚飒), Yu SH (余书洪), Yang WF (杨卫芳), et al. Research progress of active components and pharmacological functions of *Zingiber officinale* Rosc. *J Zhejiang Shuren Univ* (浙江树人大学学报), 2011, 11(3):24-27.
- 5 Yeh HY, Chuang CH, Chen HC, et al. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT-Food Sci Tech*, 2014, 55:329-334.
- 6 Pawar N, Pai S, Nimbalkar M, et al. RP-HPLC analysis of phenolic antioxidant compound 6-gingerol from different ginger cultivars. *Food Chem*, 2011, 126:1330-1336.
- 7 Pu HQ (蒲华清), Wang BX (王秉翔), Du AL (杜爱玲), et al. Cell-killing and sensitization effect of 6-gingerol on human hepatoma carcinoma cell in chemotherapy in different environment, *Chin J Geriatr* (中华老年医学杂志), 2014, 33:424-428.
- 8 Huang XS (黄雪松), Yan RA (宴日安), Wu JZ (吴建中). Bioactivation of gingerol from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *J Jinan Uni, Nat Sci* (暨南大学学报, 自科版), 2005, 26:434-439.
- 9 Sabina EP, Pragasam SJ, Kumar S, et al. 6-Gingerol, an active ingredient of ginger, protects acetaminophen-induced hepatotoxicity in mice. *J Chin Int Med* (中西医结合学报), 2011, 9:1264-1269.
- 10 Zhou YF (周艳芳), Zhang GH (张国辉), Wang H (王好). A study on 6-gingerol attenuate vascular smooth muscle cells senescence through inhibition of mTOR pathway molecular. *Chongqing Med* (重庆医学), 2014, 43:1687-1689.
- 11 Liu XX (刘笑笑), Shi L (石林), Lu XX (卢晓霞). Recent progress in research on chemical constituents, extraction and pharmacological studies of gingerol and ginger volatile oil. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2010, 22: 226-231.
- 12 Ali BH, Blunden G, Tanira MO, et al. Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A review of recent research. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46:409-420.
- 13 Mesomoa MC, Corazza ML, Ndiaye PM, et al. Supercritical CO₂ extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity. *J Super Fluids*, 2013, 80:44-49.
- 14 Stoilova I, Krastanov A, Stoyanova A, et al. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chem*, 2007, 102:764-770.
- 15 Gao G (高歌), Tang XZ (唐雄肇), Qiao XG (乔旭光). Composition and antimicrobial activity of essential oil from ginger. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2013, 25:54-56.
- 16 Lu LX (陆凌霄), Li M (李明), Zhao L (赵梨), et al. Sources, synthesis and application of phellandrene. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2010, 38:14361-14363.
- 17 Li ZG (李祖光), Meng WW (孟微微), Wang F (王芳), et al. Analysis of volatile oil of *Zingiber officinale* Rosc. via ultrasound microwave assisted steam distillation coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *J Zhejiang Univ Tech* (浙江工业大学学报), 2013, 41:614-619.
- 18 Zhu SY (朱顺英), Yang Y (杨扬), Hou J (候洁), et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Aristolochia debilis* Sieb. et Zucc. *J Wuhan Univ, Nar Sci* (武汉大学学报, 理学版), 2005, 51:757-761.
- 19 Yang JS (杨俊山). Terpenoids (萜类化合物). Beijing: Chemical Industry Press, 2005. 3:25-31.
- 20 Qu XY (屈小媛), Yang YY (杨毓银), Xie XL (谢小林), et al. Analysis of volatile constituents in blueberry seed oils by GC-MS. *China Condi* (中国调味品), 2014, 39:124-127.
- 21 Liu YM (刘亚敏), Liu YM (刘玉民), Li PX (李鹏霞). Composition analysis of volatile oils from *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. and *Schisandra chinensis* (Turcz) Baill. by supercritical CO₂ fluid extraction and GC-MS. *Food Sci* (食品科学), 2011, 32:204-208.