

河源独头大蒜与独头蒜挥发成分测定

李叶青¹, 皮小弟²

(1. 河源职业技术学院机电学院, 广东河源 517000; 2. 广东省河源市质量计量监督检测所, 广东河源 517000)

摘要 [目的]了解河源大蒜与普通蒜的香气成分差异。[方法]采用静态顶空进样-气相色谱-质谱联用法(SHS-GC-MS)对河源独头大蒜和独头蒜的挥发性物质及含量进行分析。[结果]该试验条件下,共检出独头蒜挥发性风味成分主要有23种,12种为含硫化合物,其中主要成分是三烯丙基三硫醚(25.11%)、二烯丙基二硫醚(19.78%)、3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮(18.65%)、二氧化硫(5.20%)、3-乙烯基-1,2-二硫环戊烯(2.61%)、烯丙基甲基硫醚(2.31%)、2-乙烯基-1,3-二噻烷(2.07%)、2-恶唑烷硫酮(2.00%)、甲硫基乙腈(1.78%)、硫氰酸乙酯(1.28%),共占总含量81.73%;共检出独头蒜主要挥发性风味成分也为23种,14种为含硫化合物,其中主要成分是三烯丙基三硫醚(38.03%)、二烯丙基二硫醚(22.63%)、3-乙烯基-1,2-二硫环戊烯(7.95%)、3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮(7.55%)、二氧化硫(4.08%)、甲硫基乙腈(4.04%)、二烯丙基硫醚(2.99%)、异硫氰酸甲酯(2.08%)、硫氰酸乙酯(1.49%)、烯丙基甲基硫醚(1.41%)、硫化丙烯(1.25%)、2-乙烯基-1,3-二噻烷(1.15%),共占总含量95.59%。[结论]河源独头大蒜的挥发性物质的数量和含量比普通独头蒜都高。

关键词 独头大蒜与独头蒜;风味化合物;静态顶空进样;气相色谱-质谱联用

中图分类号 TS207.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-087-03

Determination of Volatile Components of Heyuan Single Toasted Garlic and Single Clove Garlic

LI Ye-qing¹, PI Xiao-di² (1. Electromechanical Institute, Heyuan Polytechnic, Heyuan, Guangdong 517000; 2. Heyuan Supervision Testing Institute of Quality and Metrology, Heyuan, Guangdong 517000)

Abstract [Objective] To understand the difference of aroma components of Heyuan toasted garlic and clove garlic. [Methods] Static head-space - gas chromatography - mass spectrometry (SHS-GC-MS) analysis method was applied. [Results] Under the experimental conditions, 23 kinds of volatile components were detected in single clove garlic, 12 kinds were sulfur-containing compounds in which the main ingredients were Diallyl trisulfide (25.11%), diallyl disulfide (19.78%), 3,4-dimethyldithiol-2-one (18.65%), sulfur dioxide (5.20%), 3-ethenyl-1,2-dihydrodithiine (2.61%), allyl methyl sulfide (2.31%), 2-vinyl-1,3-dithiane (2.07%), 2-oxazolidine-thione (2.00%), methylthio acetonitrile (1.78%), and ethyl thiocyanate (1.28%) accounting for 81.73% of the total content. In addition, 23 species were detected in single toasted garlic, 14 kinds were sulfur-containing compounds in which main ingredients were diallyl sulfide (38.03%), diallyl disulfide (22.63%), cyclopenten-3-vinyl-1,2-dithiol (7.95%), 3,4-dimethyl-1,2-disulfide cyclopentenone (7.55%), sulfur dioxide (4.08%), methylthio acetonitrile (4.04%), diallyl sulfide (2.99%), methyl isothiocyanate (2.08%), ethyl thiocyanate (1.49%), allyl methyl sulfide (1.41%), propylene sulfide (1.25%), and 2-vinyl-1,3-dithiane (1.15%), accounting for 95.59% of the total content. [Conclusion] The number and content of flavor substances in Heyuan clove garlic are higher than ordinary single garlic.

Key words Single clove garlic and single toasted garlic; Volatile flavor compounds; Static-Head-Space (SHS); Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

蒜是调味佳品,其风味物质种类多,不同品种和生长期蒜的挥发性物质有一定差异,独头大蒜与普通独头蒜挥发性风味物质的差异决定了其品质的差异。河源大蒜,色泽金黄,体大粒满,蒜香味浓,产于广东省河源市连平县忠信一带,在国内外享有盛誉,产品远销西欧和东南亚。目前,国内外学者研究了采用水蒸气蒸馏法^[1-3]、同时蒸馏萃取法^[4]、有机溶剂浸提法^[5-6]、超临界CO₂萃取法^[7]、超声波辅助提取法^[8-9]和顶空加热法提取鲜蒜的挥发性风味物质,并比较了不同提取方法所得挥发性风味物质成分的差异;也有学者研究了不同产地鲜蒜挥发油成分的差异、鲜蒜与干蒜粉挥发性成分差异。但是对河源独头大蒜与普通独头蒜挥发性风味物质差异的研究还未见报道,也未见采用顶空萃取法提取独头蒜挥发性风味物质的研究。为此,笔者拟以静态顶空进样(Static-Head-Space, SHS)结合气相色谱-质谱联用(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术对独头大蒜和普通独头蒜的挥发性成分进行鉴定分析,并比较2种独头蒜挥发性成分差异,以为大蒜风味成分的研究和开发提供基础试验数据。

1 材料与方法

1.1 材料 河源独头大蒜购于河源连平忠信某农户家;普通独头蒜,市购。

1.2 仪器与设备 气相色谱-质谱联用仪(GC7890 A/5975C,安捷伦);HHS-24电热恒温水浴锅,上海齐心科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理。挑选无霉变、无病虫害、无机械损伤、色泽较好,大小相对一致的独头大蒜与新鲜独头蒜,剥皮,铜盅捣碎。

1.3.2 静态顶空进样。称取1.5 g(精确到0.01 g)捣碎样品置于20 mL顶空瓶中,压紧瓶盖,置于50℃水浴锅中保温1 h,用气密进样针取样,进GC-MS分析。

1.3.3 色谱条件。色谱柱:DB-5MS石英毛细柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:60℃保持1.5 min,先以8.0℃/min升至125℃,然后以3.0℃/min升至145℃,再以0.5℃/min升至150℃,最后以15.0℃/min升至230℃,保持6 min;进样口温度250℃;载气He(纯度为99.999%);流速1.0 mL/min;压力53.6 kPa;进样量1.0 μL;分流进样,分流比:50:1。

1.3.4 质谱条件。EI离子源,离子源温度230℃,接口温度

作者简介 李叶青(1985-),女,湖南邵东人,在读硕士,工程师,从事食品检验与质量控制研究。

收稿日期 2016-05-30

250 ℃。

1.3.5 挥发性成分定性定量分析。样品中各未知挥发性成分的定性分析由计算机检索与仪器所配置的 NIST08 库匹配,结合相似度并参考相关文献确定,其中记录相似度大于 85 的化学物质。

定量分析方法,化合物相对百分含量用峰面积归一法计算。

2 结果与分析

对河源独头火蒜和独头蒜进行静态顶空进样-气相色谱-质谱联用法分析挥发成分,独头蒜和独头火蒜的挥发性风味成分的总离子图分别见图 1、2,挥发性成分鉴定结果对比见表 1。

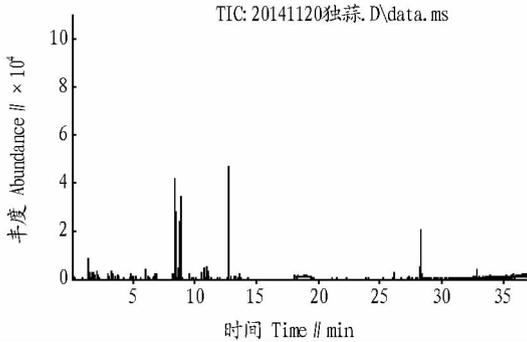


图 1 独头蒜挥发性风味成分总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatogram for volatile flavor components of single clove garlic

由表 1 可知,在该试验条件下,共检出独头蒜挥发性风味成分主要有 23 种化合物,12 种为含硫化合物,其中主要成分是三烯丙基三硫醚(25.11%)、二烯丙基二硫醚

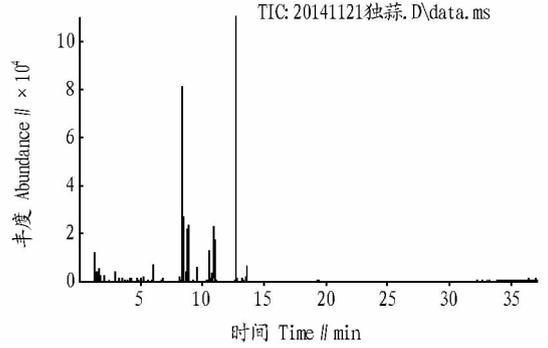


图 2 独头火蒜挥发性风味成分总离子流图

Fig. 2 Total ion chromatogram for volatile flavor components of single toasted garlic

(19.78%)、3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮(18.65%)、二氧化硫(5.20%)、3-乙基-1,2-二硫环戊烯酮(2.61%)、烯丙基甲基硫醚(2.31%)、2-乙基-1,3-二噻烷(2.07%)、2-恶唑烷硫酮(2.00%)、甲硫基乙腈(1.78%)、硫氰酸乙酯(1.28%),共占总含量 81.73%。

由表 1 可知,共检出独头火蒜主要挥发性风味成分也为 23 种,14 种为含硫化合物,其中主要成分是三烯丙基三硫醚(38.03%)、二烯丙基二硫醚(22.63%)、3-乙基-1,2-二硫环戊烯酮(7.95%)、3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮(7.55%)、二氧化硫(4.08%)、甲硫基乙腈(4.04%)、二烯丙基硫醚(2.99%)、异硫氰酸甲酯(2.08%)、硫氰酸乙酯(1.49%)、烯丙基甲基硫醚(1.41%)、硫化丙烯(1.25%)、2-乙基-1,3-二噻烷(1.15%),共占总含量 95.59%。独头火蒜、独头蒜的主要风味物质与相关报道^[10-15]基本一致。

表 1 独头蒜(A)与独头火蒜(B)挥发性成分鉴定结果(n=3)

Table 1 Analytical results of volatile components of single clove garlic (A) and single toasted garlic (B) (n=3)

编号 No	保留时间 Retention time // min		分子式 Molecular formula	化合物名称 Compound name	相似度 Similarity %	相对含量 Relative content // %	
	独头蒜 Single clove garlic	独头火蒜 Single toasted garlic				独头蒜 Single clove garlic	独头火蒜 Single toasted garlic
1	1.367	1.309	SO ₂	二氧化硫 Sulfur dioxide	99	5.20	4.07
2	1.492	1.437	C ₃ H ₄ O	丙烯醛 Acrolein	90	1.77	1.48
3		1.531	CH ₃ ON	甲酰胺 Formamid	89		0.31
4		1.682	C ₃ H ₆ S	硫化丙烯 Propylene sulfide	92		1.25
5	1.738		CH ₆ N ₂ O	N-羟基乙脒 N-Hydroxyacetamidine	95	1.69	
6	1.821	1.756	C ₄ H ₈ S	烯丙基甲基硫醚 Allyl methyl sulfide ether	95	2.31	1.41
7	2.106	2.057	C ₂ H ₄ ONF	氟乙酰胺 Fluoroacetamide	91	2.32	0.89
8	3.001	2.960	C ₃ H ₅ NS	硫氰酸乙酯 Ethyl thiocyanate	89	1.28	1.49
9		3.255	C ₃ H ₇ N	2-甲基氮丙啶 2-Methylaziridine	86		0.39
10	3.302		C ₅ H ₁₂	2-甲基丁烷 2-Methylbutane	86	1.62	
11		4.206	C ₆ H ₁₀ S	二烯丙基硫醚 Diallyl thioether	96		2.99
12		4.903	C ₂ H ₃ N	乙腈 Acetonitrile	89		0.16
13	4.929		C ₇ H ₁₀ O	甲基乙烯基酮 Methyl vinyl ketone	85	0.60	
14		5.023	C ₆ H ₈ S	2,3-二甲基噻吩 2,3-Dimethyl thiophene	98		0.12
15	5.256		C ₆ H ₈ S	2,4-二甲基噻吩 2,4-Dimethyl thiophene	98	0.41	
16		5.231	C ₄ H ₈ S ₂	1,3-二噻烷 1,3-Dithiane	88		0.47
17		5.627	C ₄ H ₈ S ₂	1,2-二噻烷 1,2-Dithiane	90		0.15

接下表

续表 1

编号 No	保留时间 Retention time // min		分子式 Molecular formula	化合物名称 Compound name	相似度 Similarity %	相对含量 Relative content // %	
	独头蒜 Single clove garlic	独头火蒜 Single toasted garlic				独头蒜 Single clove garlic	独头火蒜 Single toasted garlic
18		6.002	C ₃ H ₅ NOS	异硫氰酸-2-甲氧基甲酯 1-Isothiocyano-2-methoxymethyl	87		2.08
19	6.021		C ₃ H ₅ ONS	2-恶唑烷硫酮 2-Oxazolidinethione	90	2.00	
20		6.238	CH ₄ N ₂ O	脲 Urea	99		0.11
21	6.247		C ₂ H ₄ O ₂	乙酸 Acetic Acid	98	0.64	
22	6.680		C ₁₀ H ₁₈	1-丁烷基环己烯 1-n-butyl cyclohexene	92	0.57	
23	6.762		C ₁₂ H ₉ N ₃ S ₂	3,6-咪唑基硫氰酸酯 3,6-carbazolyl thiocyanic	85	0.53	
24		6.858	C ₁₈ H ₁₈ O	正辛醇 Octanol	92		0.19
25	6.869		C ₈ H ₁₅ N	1-烯丙基哌啶 Piperidine, 1-(2-propen-1-yl)-	88	1.27	
26	8.241	8.234	C ₁₅ H ₁₃ N	1-甲基-2-苯基吲哚 1-Methyl-2-phenyl indole	90	1.11	0.46
27	8.424	8.428	C ₆ H ₁₀ S ₂	二烯丙基二硫醚 Diallyl disulfide ether	98	19.78	22.63
28	8.733	8.723	C ₆ H ₁₀ S ₂	2-乙烷基-1,3-二噻烷 2-Ethyl-1,3-dithiane	90	2.07	1.15
29	8.846	8.840	C ₅ H ₆ OS ₂	3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮 3,4-dimethyl-1,2-dithiol-2-one	93	18.65	7.55
30	9.600		C ₄ H ₉ NO	3-吡咯烷醇 3-pyrrolidinol	88	1.16	
31	10.544	10.545	C ₃ H ₅ NS	甲硫基乙腈 (Methylthio) acetonitrile	96	1.78	4.04
32	10.769		C ₁₄ H ₂₈ O	1,2-环氧十四烷 1,2-Epoxytetradecane	85	2.11	
33	11.000	10.988	C ₆ H ₈ S ₂	3-乙烷基-1,2-二硫杂环己烯 3-ethenyl-1,2-dihydrodithiine	86	2.61	7.95
34	12.723	12.724	C ₆ H ₁₀ S ₃	二烯丙基三硫醚 Diallyl trisulfide	98	25.11	38.03

在该试验条件下,独头蒜与独头火蒜的主要挥发性风味物质均为 23 种,含硫化合物分别达到 12、14 种,占总含量的 81.73% 和 95.59%。独头蒜中的 N-羧基乙脲、2-甲基丁烷、甲基乙烯基酮、2-恶唑烷硫酮、乙酸、1-丁烷基环己烯、1-烯丙基哌啶、3-吡咯烷醇、十二烷基环氧乙烷和 2,4-二甲基噻吩等在独头火蒜中未检出;独头火蒜中新检出甲酰胺、硫化丙烯、2-甲基氮丙啶、二烯丙基硫醚、乙腈、1,3-二噻烷、1,2-二噻烷、2,3-二甲基噻吩、脲和正辛醇等。从量

上分析,独头火蒜与独头蒜的主要挥发性物质含量有较大变化,二烯丙基三硫醚含量由 25.11% 升高至 38.03%,二烯丙基二硫醚含量由 19.78% 升高至 22.63%,3-乙烷基-1,2-二硫环戊烯酮含量由 2.61% 升高至 7.95%;3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮含量由 18.65% 降低至 7.55%。

由表 1、2 可知,二烯丙基三硫醚、二烯丙基二硫醚和 3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮为独头蒜和独头火蒜的 3 大主要挥发性成分,分别占各自总物质的 63.54% 和 68.21%。

表 2 独头蒜与独头火蒜 3 种主要挥发性成分绝对含量比较

Table 2 Comparison of absolute content of 3 major volatile components between single clove garlic and single toasted garlic

主要挥发性物质名称 Name of major volatile components	峰面积 Peak area		
	独头蒜(A) Single clove garlic	独头火蒜(B) Single toasted garlic	B/A × 100
二烯丙基三硫醚 Diallyl trisulfide	880 295	2 204 538	250.431 70
二烯丙基二硫醚 Diallyl disulfide ether	693 701	1 311 730	189.091 60
3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮 3,4-dimethyl-1,2-dithiol-2-one	653 926	437 716	66.936 63

3 结论

(1) 采用 SHS-GC-MS 技术对独头火蒜和普通独头蒜的挥发性成分进行鉴定分析,结果表明:独头蒜的含硫挥发性风味成分有 12 种,主要有二烯丙基三硫醚(25.11%)、二烯丙基二硫醚(19.78%)、3,4-二甲基-1,2-二硫环戊烯酮(18.65%)、二氧化硫(5.20%)、3-乙烷基-1,2-二硫环戊烯(2.61%)、烯丙基甲基硫醚(2.31%)、2-乙烷基-1,3-二噻烷(2.07%)、2-恶唑烷硫酮(2.00%)、甲硫基乙腈(1.78%)、硫氰酸乙酯(1.28%) 等 10 种,占总含量 80.79%;独头火蒜的含硫挥发性风味成分有 14 种,主要成分是三烯丙基三硫醚(38.03%)、二烯丙基二硫醚(22.63%)、3-乙烷基-1,2-二硫环戊烯(7.95%)、3,4-二甲基-1,2-二硫

环戊烯酮(7.55%)、二氧化硫(4.08%)、甲硫基乙腈(4.04%)、二烯丙基硫醚(2.99%)、异硫氰甲酸甲酯(2.08%)、硫氰酸乙酯(1.49%)、烯丙基甲基硫醚(1.41%)、硫化丙烯(1.25%)、2-乙烷基-1,3-二噻烷(1.15%) 等 12 种,占总含量 94.85%。

(2) 独头火蒜的风味物质数量和含量比普通独头蒜都高,这就为解释火蒜比普通蒜用量少而更香提供了数据参考。

参考文献

- [1] 胡秀沂,邱树毅,吴远根,等.水蒸气蒸馏法萃取大蒜精油的工艺研究[J].食品研究与开发,2007(4):131-134.
- [2] 张郁松,韩建军.水蒸气蒸馏法提取大蒜油的工艺研究[J].中国调味品,2011(3):32-34.

氧化剂可以清除自由基,从而保护 β -胡萝卜素不褪色,起到保护作用。

图 6 显示,抗氧化活性顺序为 $TBHQ > V_E \approx$ 核桃多酚。这与清除 DPPH、ABTS 自由基不同,核桃多酚表现出了较差的抗氧化活性。说明由于核桃多酚的极性较强^[20],不太适用于抗油脂氧化。随着时间的推移,3 种抗氧化剂抗氧化能力在 0~20 min 内均呈现下降趋势,20~60 min 又开始升高,这可以用自由基产生的动力学理论来解释。自由基产生需要经过自由基的引发、增长和终止 3 个阶段。在引发阶段,自由基数量较少,随后迅速增加,慢慢的趋于平稳后终止,因此抗氧化能力便呈现上述趋势。

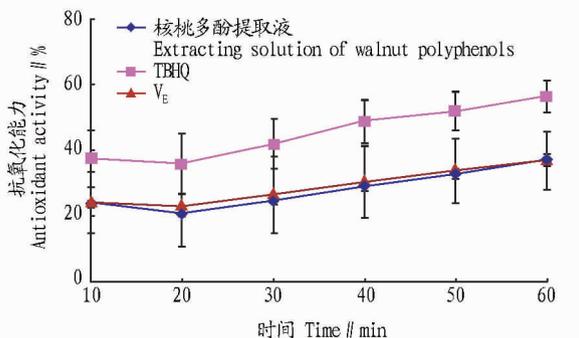


图 6 60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 核桃多酚、TBHQ、 V_E 溶液在 β -胡萝卜素漂白测试体系下的抗氧化能力

Fig.6 Antioxidant activity of 60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ walnut polyphenols, TBHQ and V_E measured by β -carotene bleaching assay

3 结论

(1) 酸化乙醇超声辅助处理核桃仁的方法,不仅可以提取活性较高的核桃多酚,提高核桃仁的附加值,而且处理后的核桃仁多酚残留量更低,颜色更好,可为后续制备核桃乳提供更好的原材料,同时不产生工业废水,有益于环境保护。

(2) 从体外抗氧化评价体系可以看出,核桃多酚能够在极性较强的体系中表现出高于 TBHQ、 V_C 、 V_E 的抗氧化活性,其抗氧化活性与浓度成正相关。

参考文献

[1] 陈杭君,李兴飞,邵海燕,等.山核桃仁多酚组分分析及抗氧化研究[J].核农学报,2013(1):61-67.

[2] 施丽丽.河北省太行山区核桃主要栽培品种综合性状评价研究[D].保定:河北农业大学,2012.

[3] ABBOTT J A, LU R. An isotropic mechanical properties of apples[J]. Trans of the ASAE, 1996, 39(4): 1451-1459.

[4] SHIMODA H, TANAKA J, KIKUCHI M, et al. Walnut polyphenols prevent liver damage induced by carbon tetrachloride and d-galactosamine; Hepatoprotective hydrolyzable tannins in the kernel pellicles of walnut[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2008, 56(12): 4444-4449.

[5] ŠKERGET M, KOTNIK P, HADOLIN M, et al. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities[J]. Food chemistry, 2005, 89(2): 191-198.

[6] 吴世兰,秦礼康,蒋成刚,等.核桃仁碱液去皮过程中营养成分动态变化[J].中国油脂,2013,38(2):84-87.

[7] BECKMAN C H. Phenolic-storing cells; Keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants? [J]. Physiological and molecular plant pathology, 2000, 57(3): 101-110.

[8] SHAHIDI F, NACZK M. Phenolics in food and nutraceuticals[M]. New York: CRC Press, 2003.

[9] 辛清武,黄勤楼,郑嫩珠,等.食品添加剂研究概况及发展趋势[J].农业开发与装备,2015(4):25.

[10] 刘森.核桃仁水剂法取油工艺及核桃乳的研究[D].无锡:江南大学,2004.

[11] MADHUJITH T, SHAHIDI F. Antioxidant potential of pea beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of food science, 2005, 70(1): 85-90.

[12] 周晔.核桃仁种皮多酚分析与抗氧化活性[D].北京:中国林业科学研究院,2013.

[13] MEOT-DUROS L, MAGNE C. Antioxidant activity and phenol content of *Crithmum maritimum* L. leaves [J]. Plant physiology and biochemistry, 2009, 47(1): 37-41.

[14] LABUCKAS D O, MAESTRI D M, PERELLO M, et al. Phenolics from walnut (*Juglans regia* L.) kernels; Antioxidant activity and interactions with proteins [J]. Food chemistry, 2008, 107(2): 607-612.

[15] WONG-PAZ J E, CONTRERAS-ESQUIVEL J C, RODRÍGUEZ-HERRERA R, et al. Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and chemical composition of plant extracts from semiarid Mexican region [J]. Asian Pacific journal of tropical medicine, 2015, 8(2): 104-111.

[16] 赵国建,王向东,王未芳.核桃青皮多酚的抗氧化性研究[J].农产品加工·学刊,2011(2):36-39.

[17] BLOIS M S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical [J]. Nature, 1958, 181: 1199-1200.

[18] LOCATELLI M, TRAVAGLIA F, COISSON J D, et al. Total antioxidant activity of hazelnut skin (NocciolaPiemonte PGI): Impact of different roasting conditions [J]. Food chemistry, 2010, 119(4): 1647-1655.

[19] 房洋军,邵海燕,陈杭君.山核桃加工、贮藏前后总多酚含量及其抗氧化活性的变化[J].食品科学,2011,32(5):104-107.

[20] REGUEIRO J, SÁNCHEZ-GONZÁLEZ C, VALLVERDÚ-QUERALT A, et al. Comprehensive identification of walnut polyphenols by liquid chromatography coupled to linear ion trap-Orbitrap mass spectrometry [J]. Food chemistry, 2014, 152: 340-348.

(上接第 89 页)

[3] 李辉,苏翌.大蒜精油提取工艺的研究[J].农业机械,2011(20):31-34.

[4] 刘冬文,王国义,孙亚青,等.同时蒸馏萃取影响大蒜油得率的几个因素分析[J].食品工业科技,2005(2):105-106,87.

[5] 韩海旺.大蒜精油树脂的提取工艺研究[J].食品工业,2011(3):42-44.

[6] 曾哲灵,熊伟,熊涛,等.大蒜素的提取工艺研究[J].食品与发酵工业,2006(2):125-127.

[7] 李羿为,赖万东.大蒜精油的超临界 CO_2 萃取技术与有效成分分析[J].化工设计通讯,2013(3):84-89.

[8] 靳学远,董海丽,秦霞.大蒜精油的超临界 CO_2 萃取及 GC-MS 分析[J].中国农学通报,2008(11):123-126.

[9] 郭晓宇.微波辅助提取大蒜挥发油的研究[J].食品研究与开发,2014

(22):51-54.

[10] 李婷婷,郑炯.顶空-固相微萃取-气质联用分析大蒜中的挥发性成分[J].食品与发酵工业,2014(5):210-213,219.

[11] 陶宁萍,杨柳.顶空固相微萃取气质联用测定蒜油挥发性成分[J].食品工业科技,2010(3):115-119.

[12] 周江菊.顶空固相微萃取气质联用分析大蒜挥发性风味成分[J].中国调味品,2010(9):78-82.

[13] 单长松,王超,孟令儒,等.泰安大蒜与金乡大蒜挥发性风味物质成分分析[J].食品与发酵工业,2012(11):152-156.

[14] 张中义,杨晓娟,张峻松,等.发酵黑蒜中挥发性物质的 GC-MS 分析[J].中国调味品,2012,37(7):79-81,116.

[15] 周春丽,陈超,李玉萍,等.固相微萃取-气质联用鉴定新鲜大蒜风味成分[J].食品工业,2013,34(6):216-218.