

香芹茎叶挥发油提取工艺及清除 DPPH 自由基活性研究

贺银菊^{1,2}, 彭莘媚^{1,2}, 杨再波^{1,2}, 向红梅^{1,2}, 阮代铤¹

(1. 黔南民族师范学院化学化工学院, 贵州都匀 558000; 2. 贵州省高校民族药用植物资源开发工程研究中心, 贵州都匀 558000)

摘要 [目的] 研究水蒸气蒸馏法提取香芹茎、叶挥发油的工艺优化, 并测定其抗氧化活性。[方法] 采用单因素试验和响应面法优化考察浸泡时间、料液比和蒸馏时间对挥发油得率的影响, 并以清除 DPPH 自由基能力评价香芹茎、叶挥发油的抗氧化活性。[结果] 香芹茎、叶挥发油的最佳提取条件分别为: 浸泡时间 1.5 h、料液比 1:6 (g:mL)、蒸馏时间 3.0 h 和浸泡时间 2.0 h、料液比 1:8、蒸馏时间 3.0 h, 此时香芹茎和叶挥发油提取率分别为 0.917% 和 1.284%。香芹茎、叶挥发油均具有一定的清除 DPPH 自由基能力, 香芹叶挥发油清除 DPPH 自由基能力比香芹茎强。[结论] 该研究为进一步开发香芹药食两用价值提供理论依据。

关键词 香芹; 茎叶; 挥发油; 提取工艺; DPPH 自由基; 抗氧化活性

中图分类号 R 284.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)36-0158-04

Study on Extraction Process of Volatile Oil from Stem and Leave of *Libanotis seseloides* and Its Activity of Scavenging DPPH Free RadicalHE Yin-ju^{1,2}, PENG Xin-mei^{1,2}, YANG Zai-bo^{1,2} et al (1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun, Guizhou 558000; 2. Guizhou Province College Research Center of Ethnical Medicinal Plant Resources Exploitation Engineering, Duyun, Guizhou 558000)

Abstract [Objective] The research aimed to study the process optimization of extracting volatile oil from *Libanotis seseloides* stem and leaf by steam distillation and determine its antioxidant activity. [Method] The effects of soaking time, solid-liquid ratio and distillation time on the extraction of volatile oil were studied by single factor and response surface methodology. The antioxidant capacity of volatile oil from its stems and leaf was evaluated by scavange rate against DPPH free radical. [Result] The optimum extraction conditions for the volatile oil of *Libanotis seseloides* stem and leaf were as follows: soaking time 1.5 h, solid-liquid ratio 1:6 (g:mL), distillation time 3.0 h, and soaking time 2 h, solid-liquid ratio 1:8, distillation time 3.0 h. The extraction rates of volatile oil from *Libanotis seseloides* leaf were 0.917% and 1.284%, respectively. The volatile oil of the stems and leaf had certain scavenging ability to DPPH free radical, and the volatile oil of *Libanotis seseloides* leaf had better scavenging ability on DPPH free radicals than its stems. [Conclusion] This study provides a theoretical basis for further development of the dual-use value of *Libanotis seseloides*.

Key words *Libanotis seseloides*; Stem and leave; Volatile oil; Extraction process; DPPH free radical; Antioxidant activity

香芹为伞形科欧芹属的草本植物, 属芹菜中的一种, 是药食两用植物。芹菜富含蛋白质、胡萝卜素、维生素、微量元素等^[1-2], 除此之外还含有一些药效成分, 具有降血压、血脂的作用, 对神经衰弱、痛风等也有一定的辅助食疗作用, 还能促进胃液分泌, 增加食欲, 是一种营养成分很高的芳香蔬菜^[3-6]。挥发油存在于植物的根、茎、叶、果实等部位^[7-9], 具有特殊气味, 广泛应用于医药学、植物保护、日化生产、食品加工等领域中^[10]。日常生活中人们一般食用香芹茎, 把香芹叶作为废物弃掉。查阅文献资料发现, 目前人们对芹菜叶及芹菜籽中黄酮^[11-12]、绿原酸^[13]、精油^[14-15]等方面的研究较多, 但对香芹挥发油的研究报道较少。笔者以香芹为研究对象, 采用水蒸气蒸馏法分别提取香芹茎、叶中的挥发油, 考察浸泡时间、料液比和蒸馏时间对其茎、叶挥发油得率的影响, 结合单因素试验结果设计响应面法确定香芹茎、叶挥发油提取的最佳工艺, 并以清除 DPPH 自由基能力评价香芹茎、叶挥发油的抗氧化活性, 通过香芹茎、叶中挥发油含量及抗氧化活性的差异, 加强人们对香芹茎、叶药食两用价值的认识, 以期为进一步开发香芹药食两用价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材 香芹, 市售; 二氯甲烷为分析纯, 上海申博化工有限公司; 无水硫酸钠为分析纯, 成都金山化学有限公司; 无水乙醇为分析纯, 重庆川东化工有限公司; DPPH, 美国 Sigma 公司。

1.2 仪器 电子天平, 赛多利斯公司; 电热恒温槽, 上海卢明科仪器有限公司; TU-1901 紫外分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; DZ-2A 型真空干燥箱, 郑州英欲予华仪器厂; 循环水真空泵及旋转蒸发仪, 郑州英欲予华仪器厂; JK-LUC-480DE 超声清洗机, 上海精学科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 挥发油提取单因素试验。 新鲜的香芹洗净去根, 自然晾干, 然后分离茎和叶, 切碎放入保鲜袋中备用。以浸泡时间(0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 h)、料液比 [1:2、1:4、1:6、1:8、1:10 (g:mL)] 和蒸馏时间(1、2、3、4、5 h) 为单因素试验条件提取香芹茎、叶的挥发油。基本条件: 浸泡时间 2 h、料液比 1:10、蒸馏时间 2 h, 改变其中一个条件以考察浸泡时间、料液比和蒸馏时间对香芹茎、叶中挥发油提取率的影响, 用二氯甲烷萃取, 干燥 24 h, 除去溶剂, 即得茎、叶挥发油, 称量后储存备用。

1.3.2 响应面分析试验的因素和水平。 根据单因素试验的结果和 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理, 设计响应面优化试验。根据响应面优化设计试验结果进行验证性试验, 并计算挥发油的得率。

基金项目 贵州省教育厅自然科研青年项目(黔教科[2014]314号); 黔南州科技局计划项目(黔南科合社字[2016]41号); 黔南民族师范学院院级重点项目(qnsy201403); 中央财政专项子项目(qnsy2015zczy05)。

作者简介 贺银菊(1986—), 女, 四川岳池人, 讲师, 硕士, 从事天然产物的研究与开发工作。

收稿日期 2018-07-25

表 1 响应面分析试验因素和水平

Table 1 Levels and factors of response surface methodology

水平 Level	茎 Stem			叶 Leave		
	浸泡时间(A) Soaking time//h	料液比(B) Solid-liquid ratio	蒸馏时间(C) Distillation time//h	浸泡时间(A) Soaking time//h	料液比(B) Solid-liquid ratio	蒸馏时间(C) Distillation time//h
-1	1.0	1:5	2.5	1.5	1:7	2.5
0	1.5	1:6	3.0	2.0	1:8	3.0
1	2.0	1:7	3.5	2.5	1:9	3.5

1.3.3 挥发油清除 DPPH 自由基活性测试。将 DPPH 用 95%乙醇配制成浓度为 2×10^{-4} mol/L 的溶液,避光保存,将香芹茎、叶挥发油用 95%乙醇配制成不同浓度的样品溶液备用。准确吸取不同浓度的样品溶液 2.0 mL+ DPPH 溶液 2.0 mL 于 10 mL 比色管中,摇匀放置 30 min,用紫外分光光度计在 519 nm 处测定其吸光度 A_1 ,按照同样的方法测定 2.0 mL 样品液+2.0 mL 95%乙醇溶液的吸光度 A_2 和 2.0 mL DPPH 溶液+2.0 mL 95%乙醇溶液的吸光度 A_3 。DPPH 清除率计算公式为:清除率= $[1-(A_1-A_2)/A_3] \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 挥发油提取单因素试验

2.1.1 浸泡时间对挥发油提取率的影响。由图 1 可见,随着浸泡时间的升高,香芹茎、叶中挥发油提取率升高,当浸泡时间为 1.0 h 时香芹茎中挥发油提取率最高,浸泡时间超过 1.0 h 后香芹茎中挥发油提取率慢慢降低,因此选择 1.0、1.5、2.0 h 作为香芹茎响应面设计的 3 个水平;当浸泡时间为 2.0 h 时香芹叶中挥发油提取率最高,浸泡时间超过 2.0 h 后香芹叶中挥发油提取率慢慢降低,因此选择 1.5、2.0、2.5 h 作为香芹叶响应面设计的 3 个水平。

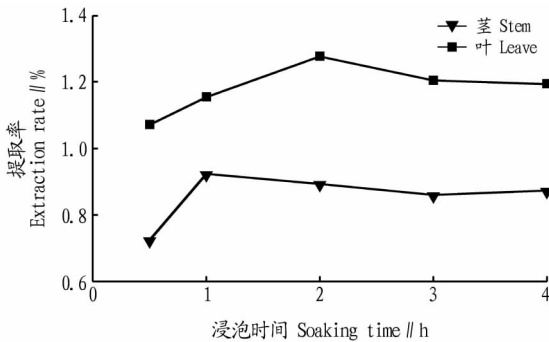


图 1 浸泡时间对香芹茎和叶挥发油提取率的影响

Fig.1 Effect of soaking time on extraction rate of volatile oil from the stems and leaf *Libanotis seseloides*

2.1.2 料液比对挥发油提取率的影响。由图 2 可见,随着料液比的增大,香芹茎、叶中挥发油提取率升高,料液比为 1:6 时香芹茎中挥发油提取率最高,料液比超过 1:6 后,随着料液比的增大,挥发油提取率降低,因此选择 1:5、1:6、1:7 作为香芹茎响应面设计的 3 个水平;料液比为 1:8 时香芹叶中挥发油提取率最高,料液比超过 1:8 后,随着料液比的增大,挥发油提取率降低,因此选择 1:7、1:8、1:9 作为香芹叶响应面设计的 3 个水平。

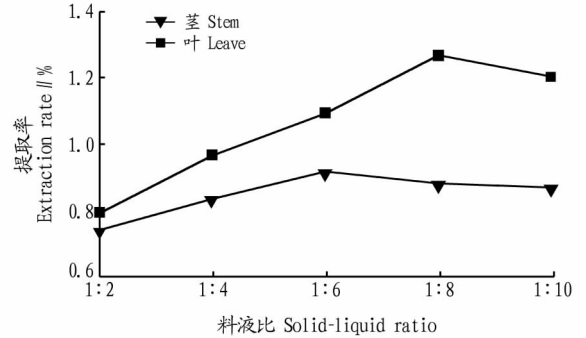


图 2 料液比对香芹茎和叶挥发油提取率的影响

Fig.2 Effect of solid-liquid ratio on extraction of volatile oil from the stems and leaf *Libanotis seseloides*

2.1.3 蒸馏时间对挥发油提取率影响。由图 3 可见,随着蒸馏时间的升高,香芹茎、叶中挥发油提取率升高,蒸馏时间为 3.0 h 时香芹茎、叶中挥发油提取率均达到最高,蒸馏时间超过 3.0 h 后,随着蒸馏时间的升高,挥发油提取率降低,因此选择 2.5、3.0、3.5 h 作为香芹茎、叶响应面设计的 3 个水平。

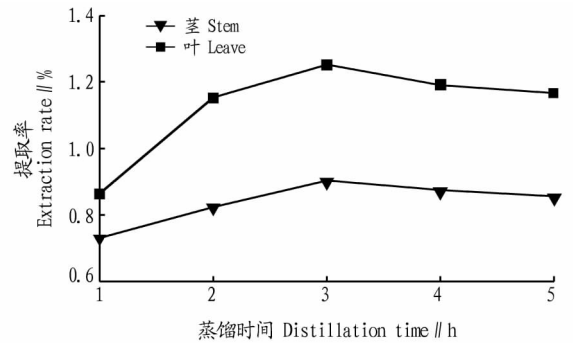


图 3 蒸馏时间对香芹茎和叶挥发油提取率的影响

Fig.3 Effect of distillation time on extraction of volatile oil from the stems and leaf *Libanotis seseloides*

2.2 响应面优化

2.2.1 响应面试验结果。根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理,分别设计 3 因素 3 水平的 17 组试验优化香芹茎、叶中挥发油的提取试验(表 1),其中香芹茎挥发油提取优化试验数据见表 2,香芹叶挥发油提取优化试验数据见表 3,根据表 2~3 的试验数据用 Design-expert 8.0.6 进行分析与拟合后,得香芹茎、叶中挥发油提取率 $Y_{茎}$ 、 $Y_{叶}$ 的回归方程分别为 $Y_{茎} = 0.93 + 0.009A + 0.002B + 0.065C - 0.035AB - 0.023AC - 0.020BC - 0.043A^2 - 0.030B^2 - 0.010C^2$ 、 $Y_{叶} = 1.27 + 0.017A + 0.016B + 0.086C - 0.038AB - 0.002AC - 0.034BC - 0.036A^2 -$

$0.022B^2 - 0.140C^2$, 其中 A、B、C 为 3 个因素的编码。

表 2 香芹茎响应面设计试验结果

Table 2 Test results of response surface design of *Libanotis seseloides* stems

序号 No.	A	B	C	挥发油得率 Volatile oil yield//%
1	0	1	1	0.789
2	0	0	0	0.928
3	0	1	-1	0.813
4	0	0	0	0.913
5	0	-1	-1	0.754
6	1	-1	0	0.866
7	0	0	0	0.936
8	1	0	1	0.794
9	1	0	-1	0.789
10	1	1	0	0.849
11	0	-1	1	0.811
12	0	0	0	0.921
13	-1	0	1	0.785
14	-1	-1	0	0.837
15	0	0	0	0.931
16	-1	1	0	0.834
17	-1	0	-1	0.771

表 3 香芹叶响应面设计试验结果

Table 3 Test results of response surface design of *Libanotis seseloides* leaf

序号 No.	A	B	C	挥发油得率 Volatile oil yield//%
1	1	-1	0	1.236
2	0	0	0	1.276
3	0	1	-1	1.092
4	1	1	0	1.245
5	1	0	-1	1.014
6	-1	0	1	1.189
7	0	-1	1	1.203
8	-1	-1	0	1.174
9	0	0	0	1.253
10	0	0	0	1.284
11	0	1	1	1.182
12	0	0	0	1.268
13	0	-1	-1	0.978
14	-1	1	0	1.198
15	-1	0	-1	0.999
16	1	0	1	1.197
17	0	0	0	1.272

分析因素及其因素间的交互作用对香芹茎挥发油提取率的影响发现,模型的 $F=60.20$, $P<0.0001$, 表明试验的二次模型是极显著的,能够正确反映各因素与响应值之间的变化关系。确定系数 $R^2=0.9872$, 校正确定系数 $R_{adj}^2=0.9708$, 变异系数 $CV=1.26\%$ 较小,说明试验稳定、可靠。 A^2 、 B^2 、 C^2 的 P 值均小于 0.001, 表明其对香芹茎挥发油提取率的影响

极显著; BC 的 P 值均小于 0.05, 表明其对香芹茎挥发油提取率的影响显著。因素 A、B、C 及交互项 AB、BC 的 P 值大于 0.05, 表明其对香芹茎挥发油提取率没有显著性影响。由各因素 A、B、C 的 F 值(或者 P 值)大小可以得出各因素对挥发油提取率的影响大小顺序为 $A>C>B$ 。

分析因素及其因素间的交互作用对香芹叶挥发油提取率的影响发现,模型的 $F=52.50$, $P<0.0001$, 表明试验的二次模型是极显著的,能够正确反映各因素与响应值之间的变化关系。确定系数 $R^2=0.9854$, 校正确定系数 $R_{adj}^2=0.9666$, 变异系数 $CV=1.54\%$ 较小,说明试验稳定、可靠。 C 、 C^2 的 P 值均小于 0.001, 表明其对香芹叶挥发油提取率的影响极显著; B、BC、 A^2 、 B^2 的 P 值均小于 0.05, 表明其对香芹叶挥发油提取率的影响显著。因素 A 及交互项 AB、AC 的 P 值大于 0.05, 表明其对香芹叶挥发油提取率没有显著性影响。由各因素 A、B、C 的 F 值(或者 P 值)大小可以得出各因素对香芹叶挥发油提取率的影响大小顺序为 $C>A>B$ 。

2.2.2 响应面分析。以 3 个因素的两两因素为考察对象,做出各因素交互作用响应面,见图 4~5。从图 4~5 可以看出各因素相互作用对香芹茎和叶挥发油提取率影响,即响应面对各因素的敏感程度,反映了在其他 2 个因素固定的条件下,另外两两因素对香芹茎挥发油提取率影响,响应面坡面越陡峭,表明响应面受试验因素变化就越大,反之响应面坡面越平缓,表明响应面受试验因素变化就越小。在图 4~5 中,各因素两两交互响应面坡面陡峭顺序为 $BC>AB>AC$, 即料液比和蒸馏时间的交互作用响应面最陡峭,说明料液比和蒸馏时间的交互作用对香芹茎和叶挥发油提取率的影响最大,而浸泡时间和蒸馏时间的交互作用响应面最平缓,说明浸泡时间和蒸馏时间的交互作用对香芹茎和叶挥发油提取率的影响最小。

2.2.3 响应面优化及验证试验。通过 Design-expert 8.0.6 软件,对回归模型进行预测得到香芹茎挥发油提取最佳工艺为:浸泡时间 1.55 h、料液比 1.00:6.02、蒸馏时间 3.01 h, 此时香芹茎挥发油理论提取率为 0.926%; 对回归模型进行预测得到香芹叶挥发油提取最佳工艺为:浸泡时间 2.11 h、料液比 1.00:8.11、蒸馏时间 3.15 h, 此时香芹叶挥发油理论提取率为 1.287%。根据预测条件和实际操作设计香芹茎叶中挥发油提取条件分别为浸泡时间 1.5 h、料液比 1:6、蒸馏时间 3.0 h 和浸泡时间 2.0 h、料液比 1:8、蒸馏时间 3.0 h, 分别进行 3 次平行试验,测得香芹茎、叶中挥发油的提取率分别为 0.917%、1.284%。预测结果和实测结果拟合良好,参数准确可靠。

2.3 挥发油清除 DPPH 自由基活性 由图 6 可知,香芹茎和叶挥发油均具有一定的清除 DPPH 自由基的能力,且香芹叶挥发油抗氧化活性优于香芹茎挥发油抗氧化活性。

3 结论

该研究采用单因素和响应面分析法分别优化香芹茎、叶中挥发油的提取工艺,并以清除 DPPH 自由基活性评价其茎、叶中挥发油的抗氧化活性。响应面优化试验结果表明,

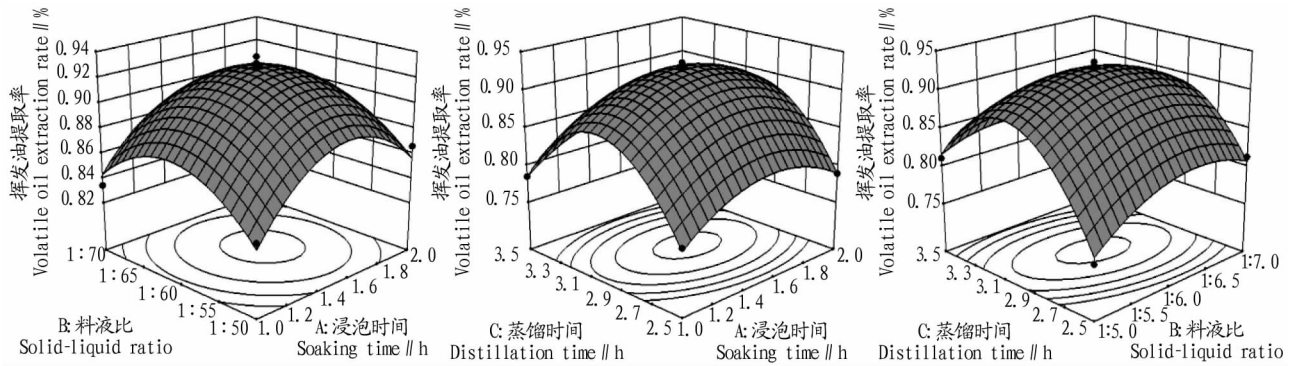


图 4 各因素两两交互作用对香芹茎的响应面

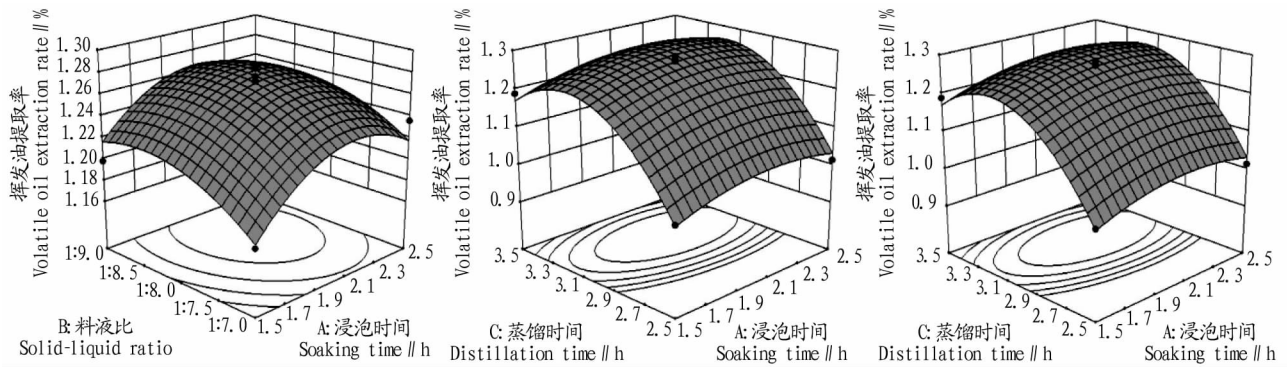
Fig.4 Response surface of the effect interaction between two factors of *Libanotis seseloides* stems

图 5 各因素两两交互作用对香芹叶的响应面

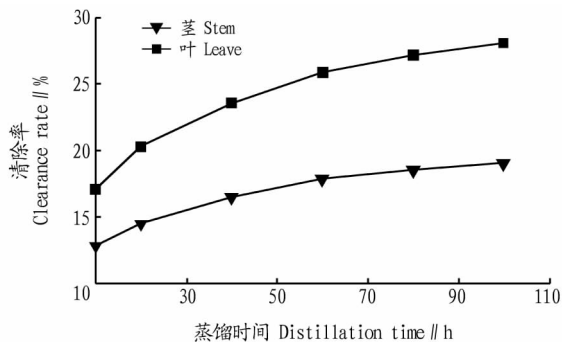
Fig.5 Response surface of the effect interaction between two factors of *Libanotis seseloides* leaf

图 6 香芹茎和叶挥发油对 DPPH 自由基的清除效果

Fig.6 The scavenging effect of volatile oil from the stems and leaf of *Libanotis seseloides* on DPPH free radical

二次模型是极显著的,准确性较高。由回归方程和各因素交互作用响应面可知各因素对香芹挥发油提取率的大小不同。各因素对香芹茎挥发油提取率的影响大小顺序为 $A > C > B$, 即浸泡时间影响最大,蒸馏时间次之,料液比的影响最小;各因素对香芹叶挥发油提取率的影响大小顺序为 $C > A > B$, 即蒸馏时间影响最大,浸泡时间次之,料液比的影响最小。根据回归模型进行预测和验证性试验,分别建立了香芹茎、叶挥发油的最佳工艺:浸泡时间 1.5 h、料液比 1:6、蒸馏时间 3.0 h 和浸泡时间 2.0 h、料液比 1:8、蒸馏时间 3.0 h,此工艺条件下香芹茎、叶中的挥发油提取率分别为 0.917% 和 1.284%。结果显示,香芹叶中的挥发油比香芹茎中挥发油的含量高,约为茎含量的 1.4 倍。香芹茎、叶挥发油对 DPPH 自由基的清除活性测试表明,香芹茎和叶挥发油均具有一定的清除

DPPH 自由基的能力,且香芹叶挥发油抗氧化活性优于香芹茎挥发油抗氧化活性。贺银菊等^[16]研究了香芹茎、叶中的维生素 C 含量差异,结果发现香芹叶中的维生素 C 含量高出于香芹茎 10 多倍,除此之外,香芹叶中的胡萝卜素、蛋白质及部分微量元素含量都高于茎。由此可见在人们生活中,不应该将香芹叶拿来做菜品的装饰品甚至弃掉,这不仅是浪费了材料,还使香芹叶的价值没能得到充分的利用。该研究通过香芹茎、叶中挥发油含量及抗氧化活性的差异,加强了人们对香芹茎、叶药食两用价值的认识,为进一步开发香芹药食两用价值提供理论依据。

参考文献

- [1] 杨恩升. 芹菜的营养成分与药用价值[J]. 广西质量监督导报, 2010(10): 22-23.
- [2] NISPEROS-CARRIEDO M O, BUSLIG B S, SHAW P E. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC[J]. J Agric Food Chem, 1992, 40(1): 127-130.
- [3] 周建国. 芹菜的营养价值及高产栽培技术[J]. 现代农村科技, 2012(17): 21.
- [4] 沈铭高, 金阳, 李薇雅. 芹菜的化学成分及其药理作用[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1474-1475, 1489.
- [5] 宋小俊, 王怡婷. 芹菜药用功能研究概述[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(15): 6360-6361, 6395.
- [6] 肖坤福. 抗癌之星——芹菜最新研究进展[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(2): 182-185.
- [7] 李洪德, 赵超, 王道平, 等. 舞花姜根、茎、叶的挥发油 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2017, 40(6): 1351-1354.
- [8] 李娟, 蒋小华, 谢运昌, 等. 鸭儿芹根、茎、叶挥发油的化学成分[J]. 广西植物, 2011, 31(6): 853-856.
- [9] YANG X W, ZHANG P, TAO H Y, et al. GC-MS analysis of essential oil constituents from rhizome and root of *Notopterygium forbesii*[J]. Journal of Chinese pharmaceutical sciences, 2006, 15(4): 200-205.

(下转第 165 页)

2.2.2 香味、气味成分。对乳酸乙酯、醋喻、乙酸等香味成分进行分析,结果如表 10。

表 10 糜米苦荞黄酒香味成分

Table 10 Flavor and odor components analysis of millet buckwheat Yellow Wine

香味成分 Aroma components	含量 Content	香味成分 Aroma components	含量 Content
乙酸	286.06	己酸	4.74
乳酸乙酯	230.48	2,3-丁二醇(左)	4.01
醋喻	12.26	甲醇	3.64
β -苯乙醇	8.91	3-甲基-1-丁醇	3.26
正丙醇	8.15	丙酸	3
乙酸乙酯	6.12	2,3-丁二醇(内)	2.6
正戊醇	5.87	异丁酸	1.6
异戊酸	5.18	其他成分	<1

2.2.3 微量元素成分分析。对微量元素等成分进行分析研究,结果如表 11。

表 11 糜米苦荞黄酒微量元素成分

Table 11 Trace element analysis of millet buckwheat Yellow Wine

序号 No.	元素名称 Name of element	含量 Content	序号 No.	元素名称 Name of element	含量 Content
1	钠	1 921	8	钼	0.04
2	钾	4 848.5	9	镁	1 773.5
3	钒	0.35	10	钙	489.35
4	锰	8.6	11	铬	0.03
5	镍	0.12	12	铁	17.65
6	锌	47.54	13	铜	1.14
7	硒	0.22			

3 结论

论述一种糜米苦荞黄酒的制作方法,解决现有生产谷物发酵产品技术中存在的种类单一、口感平淡、营养成分缺乏的问题,结合糜米与苦荞米的优点,具有低醇度、低耗粮、高营养等特点。

(1)原料选用晋黍8号和特质酒曲3号,应用工艺2发

酵制备较好,并经瞬时高压灭菌后更延长了产品保质期,久放更加香醇。

(2)用特定温差发酵工艺、生物酶工程技术、现代食品加工工艺,突破传统的手工做法,省时省力,绿色环保,可以使产品久放而不沉淀,效果更理想。

(3)产品酒精含量低,添加黄精、枸杞等水果蔬菜及药食同源中药材等营养品,使产品口感柔和、风味醇香、色泽度适中、营养丰富,有特定的保健作用。

(4)根据中医临床实践表明,使用本产品与水按 1:1 调配中药熬制,对治疗乳腺炎等疾病疗效独特。

参考文献

- [1] 顾国贤.酿造酒工艺学[M].2版.北京:中国轻工业出版社,1999.
- [2] 汪建国,徐亮.我国黄酒的特征及展望[J].江苏调味副食品,2005,22(6):5-9.
- [3] 陈成,殷子建,徐速.浅析黄酒的历史及营养价值[J].酿酒,2002,29(1):55-56.
- [4] 汪建国.黄酒工业的现状、前景和新世纪发展策略[J].中国酿造,2002(1):7-10.
- [5] 张庭.黄酒——民族酒品再现辉煌[J].中外食品,2005(11):22,24.
- [6] 胡普信.中国黄酒的科研现状及发展[J].中国酿造,2008(3):4-6,13.
- [7] 徐岩,陈双,王栋,等.中国黄酒技术研究新进展[J].酿酒科技,2013(12):1-8.
- [8] MO X L,FAN W L,XU Y.Changes in volatile compounds of Chinese rice wine wheat Qu during fermentation and storage[J].Journal of the institute of brewing,2009,115(4):300-307.
- [9] 张丽珍,冯耐红,卫天业,等.糜米低醇饮料的研制[J].食品与发酵工业,2011(1):111-113.
- [10] 刘魁英.食品研究与数据分析[M].北京:中国轻工业出版社,1998:38-51.
- [11] ZHANG L Z,LIU R H,NIU W.Phytochemical and antiproliferative activity of proso millet[J].PLoS One,2014,9(8):1-10.
- [12] 汪建国,沈玉根,周志坚,等.稻米黄酒中风味物质的种类、构成与来源浅析[J].江苏调味副食品,2010,27(5):27-29.
- [13] 姬中伟.枸杞黄酒酿造工艺的研究和开发[D].无锡:江南大学,2008.
- [14] 冯耐红,牛西午,卫天业,等.糜米无醇饮料的研制[J].农产品加工,2010(8):74-75.
- [15] FENG N H,NIU X W,WEI T Y,et al.Production technology of broomcorn miller beverage[C].Shaanxi:Northwest A&F University Press,2012:336-339.
- [16] 冯耐红,卫天业,郑洪源,等.小米南瓜复合饮料的研制[J].中国食品学报,2006,6(3):65-69.
- [17] 冯耐红,卫天业,郑洪源,等.小米南瓜复合饮料的研制[J].食品研究与开发,2015,36(16):122-124.
- [14] 张玲希,卞刚,董炎炎,等.不同品种芹菜叶中精油的提取及其功效测定[J].天然产物研究与开发,2015,27(7):1194-1198.
- [15] 阿布力米提·伊力,刘莉,阿吉艾克拜尔·艾萨,等.维吾尔医常用药材——芹菜籽挥发油化学成分的研究[J].天然产物研究与开发,2004,16(1):36-37.
- [16] 贺银菊,杨再波,毛海立,等.响应面优化超声提取香芹茎叶维生素 C 工艺研究[J].食品与发酵科技,2018,54(4):59-65.

(上接第 161 页)

- [10] 王巨媛,翟胜.植物精油应用进展及开发前景展望[J].江苏农业科学,2010(4):1-3.
- [11] 李杰,臧晋,肖连冬,等.基于响应面分析法的芹菜黄酮提取优化工艺研究[J].安徽农业科学,2012,40(5):2687-2689.
- [12] 徐斌,马洪波,张岚,等.芹菜籽中黄酮的提取工艺[J].食品研究与开发,2015,36(9):60-64.
- [13] 龚金炎,石嘉琦,章佳盈,等.HPLC 法测定芹菜中绿原酸和芹菜苷的

科技论文写作规范——数字

公历世纪、年代、年、月、日、时刻和各种计数和计量,均用阿拉伯数字。年份不能简写,如 1990 年不能写成 90 年,文中避免出现“去年”“今年”等写法。小于 1 的小数点前的零不能省略,如 0.245 6 不能写成 .245 6。小数点前或后超过 4 位数(含 4 位数),从小数点向左右每 3 位空半格,不用“,”隔开。如 18 072.235 71。尾数多的数字(5 位以上)和小数点后位数多的小数,宜采用 $\times 10^n$ (n 为正负整数)的写法。数字应正确地写出有效数字,任何一个数字,只允许最后一位存在误差。