

# 二次回归正交旋转组合设计优化 微波催陈香醋工艺

麻成金<sup>1,2</sup>, 黄婷<sup>1</sup>, 余佶<sup>1</sup>, 郑君晓<sup>1</sup>, 彭忠瑾<sup>1</sup>, 肖旺<sup>1</sup>, 葛文英<sup>3</sup>

(1. 吉首大学食品科学研究所, 湖南 吉首 416000; 2. 吉首大学 植物资源保护与利用湖南省高校重点实验室, 湖南 吉首 416000; 3. 湘西自治州边城醋业科技有限责任公司, 湖南 吉首 416003)

**摘要:** 运用二次回归正交旋转组合设计方法研究微波功率、微波处理时间、乙醇添加量对香醋部分理化指标的影响, 确定了微波催陈香醋的较优条件范围。结果表明: 在实验范围内各因素对微波催陈香醋作用的大小次序为: 微波功率 > 微波处理时间 > 乙醇添加量; 频率分析法得到微波催陈香醋优化工艺条件为微波功率 380W、乙醇添加量 0.61%、微波处理时间 10min。红外光谱分析结果表明: 微波处理后的香醋在波长 4000~1500cm<sup>-1</sup> 范围内与自然陈酿一年香醋的红外图谱基本吻合。

**关键词:** 二次回归正交旋转组合设计; 微波; 香醋; 催陈

## Optimization of Microwave Aging of Savory Vinegar to Maximize Total Ester Content by Response Surface Methodology

MA Cheng-jin<sup>1,2</sup>, HUANG Ting<sup>1</sup>, YU Ji<sup>1</sup>, ZHENG Jun-xiao<sup>1</sup>, PENG Zhong-jin<sup>1</sup>, XIAO Wang<sup>1</sup>, GE Wen-ying<sup>3</sup>

(1. Institute of Food Science, Jishou University, Jishou 416000, China;

2. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Utilization(Jishou University), College of Hunan Province, Jishou 416000, China;

3. Xiangxi Autonomous Prefecture Biancheng Vinegar Science and Technology Co. Ltd., Jishou 416003, China)

**Abstract:** In the presence of added ethanol, the aging of savory vinegar was accelerated by microwave radiation. A quadratic rotation-orthogonal composite experimental design was adopted to study the effects of operating parameters such as microwave power, radiation time and amount of added ethanol on total ester content in radiated savory vinegar. The effects of the parameters on total ester content in radiated savory vinegar were found to decrease in the following order: microwave power > radiation time > a mount of added ethanol. The results of frequency analysis showed that the optimal microwave aging conditions were microwave 380 W, ethanol addition at 0.61%, and radiation time 10 min. The infrared spectrum of the radiated savory vinegar in the wavenumber range of 4000—1500 cm<sup>-1</sup> was in agreement with that of savory vinegar naturally aged for 1 year.

**Key words:** quadratic rotation-orthogonal composite experimental design; microwave; savory vinegar; aging acceleration  
中图分类号: TS264.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2011)24-0147-06

食醋是人们喜爱的一种食品, 消费量逐年增加, 因此食醋的品质越来越受到人们的关注<sup>[1-2]</sup>。米醋是我国传统的一类食醋, 它不仅作为调味品而且也被视为一种药物成分<sup>[3]</sup>, 镇江香醋、山西老陈醋是我国名牌产品, 河溪香醋产于湖南湘西州吉首市河溪镇, 为地方名优特产<sup>[4-5]</sup>, 它以品质优良、保健功能突出等优点, 在湘、鄂、渝、黔四省(市)边区享有盛誉。然而河溪香醋传统酿造工艺存在生产周期长和季节性强等缺陷<sup>[6-7]</sup>, 开展

河溪香醋催陈技术的研究具有一定的现实意义和应用价值。目前国内外已经有用橡木、臭氧、微波、超高压、超声波以及微氧催陈白酒的相关研究报道<sup>[8-15]</sup>。微波催陈是近些年兴起的新技术, 微波冲击能破坏体系中分子群的缔合, 吸收微波能后, 体系中分子内能增加, 化学反应速度也相应提高, 醇酸酯化反应加快<sup>[16]</sup>; 新醋经过微波催陈处理, 风味变得更柔和、圆润、爽口, 提升了内在品质, 更易于让人接受。马雅鸽等<sup>[17]</sup>、王

收稿日期: 2011-09-16

基金项目: 2009 年国家农业成果转化资金项目(国科发农[2009]511 号)

作者简介: 麻成金(1963—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为食物资源开发与利用。E-mail: Machengjin368@126.com

常青等<sup>[18]</sup>开展微波催陈食醋试验研究,结果表明催陈效果比较明显。

本实验研究微波催陈香醋过程中,微波功率和作用时间以及乙醇添加量对香醋总酯含量的影响,以此来评价微波催陈对提高香醋品质的作用效果。利用二次正交旋转组合设计法<sup>[19]</sup>优化微波催陈香醋的工艺条件,以期为提高河溪香醋生产效率,缩短陈酿时间,建立河溪香醋快速陈酿方法提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新酿制河溪香醋(酸度为 3.44g/100mL);对照香醋(2009 年河溪香醋酸度为 3.36g/100mL) 湘西自治州边城醋业科技有限责任公司;37%~40% 甲醛溶液、氢氧化钠、浓盐酸、邻苯二甲酸氢钾、无水乙醇、浓硫酸、无水硫酸钠、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾、葡萄糖、次甲基蓝均为 AR 级。

### 1.2 仪器与设备

NJL07-3型实验专用微波炉 中国南京杰全微波设备有限公司;Impact-400 型傅里叶变换红外光谱仪 美国热电尼高力仪器公司;JA-5103N 高精度电子天平 上海民桥精密科学仪器有限公司;GZX-9246MBE 数显热鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;PHS-25 数字式 pH 计 上海日岛科学仪器有限公司;D-7401 型磁力搅拌器 天津市华兴科学仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 微波催陈香醋单因素试验

分别就微波功率、乙醇添加量和微波处理时间对香醋总酯含量的影响进行单因素试验。

#### 1.3.2 微波催陈香醋工艺优化

依据单因素试验的结果确定主要影响因素及其水平范围,进行二次回归正交旋转组合设计,采用 DPS7.05 及 SAS8.01 软件进行数据分析,从而得出微波催陈香醋的优化工艺条件。

#### 1.3.3 香醋部分理化指标检测方法

总酸(以乙酸计): GB/T12456—2008《食品中总酸的测定》;总酯(以乙酸乙酯计): 采用连续电位滴定法<sup>[20]</sup>;氨基态氮: GB/T5009.39—2003《酱油卫生标准分析方法: 甲醛法》;还原糖: 采用斐林试剂法,参考 GB/T5009.7—2008《食品中还原糖的测定》。

## 2 结果与分析

### 2.1 微波催陈香醋单因素试验结果

#### 2.1.1 微波功率对香醋总酯含量的影响

固定微波加热时间为 10min,乙醇添加量 0.2%,探讨微波功率对香醋总酯含量的影响,结果如图 1 所示。

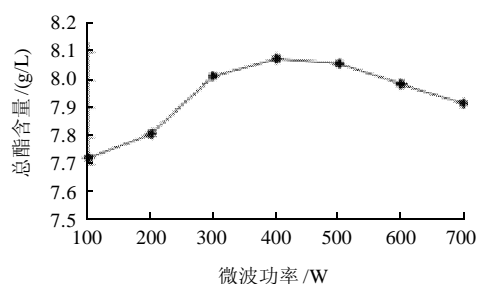


图 1 微波功率对香醋总酯含量的影响

Fig.1 Effect of microwave power on total ester content in savory vinegar

由图 1 可知,微波功率在 400W 以内,随着微波功率的增大,香醋体系内升温迅速,促使内部醇酸分子快速发生酯化等反应,使酯类物质增加;当微波功率大于 400W,会引起温度过高最终造成酯类物质挥发损失,从而造成总酯含量下降。因此微波功率选择 400W 较为适宜。

#### 2.1.2 乙醇添加量对香醋总酯含量的影响

固定微波加热时间 10min、微波功率 400W,研究乙醇添加量对香醋总酯含量的影响,结果如图 2 所示。

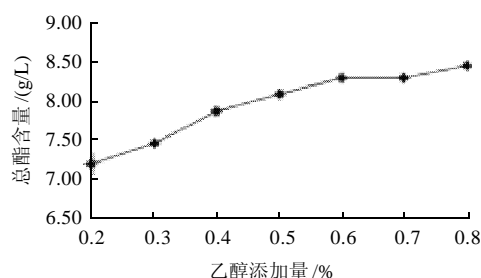


图 2 乙醇添加量对香醋总酯含量的影响

Fig.2 Effect of amount of added ethanol on total ester content in savory vinegar

乙醇可与有机酸类进行酯化反应,生成酯类物质增强食醋的香味,因此在食醋中添加适量乙醇有利于提高香醋的内在品质。由图 2 可知,随着香醋中乙醇添加量的增加,总酯一直增加,但乙醇添加量超过 0.6% 以后,总酯增加幅度较小,故选取乙醇添加量为 0.6% 为宜。

#### 2.1.3 微波处理时间对香醋总酯含量的影响

固定微波功率 400W、乙醇添加量 0.6%,研究微波处理时间对香醋总酯含量的影响,结果如图 3 所示。

由图 3 可知,微波处理 10min 后,随着微波处理时间的增加,香醋的总酯含量逐渐减少。原因可能是由于微波能使体系快速升温,加速反应的进行,但处理时间过长易造成酯类物质水解或挥发损失。处理时间以 10min 左右较为适合。

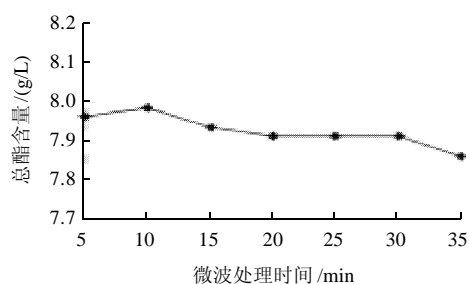


图3 微波处理时间对香醋总酯含量的影响

Fig.3 Effect of microwave radiation time on total ester content in savory vinegar

## 2.2 微波催陈香醋工艺的优化

### 2.2.1 二次回归正交旋转组合设计及试验结果

根据单因素试验结果,选择各因素较佳的水平进行二次回归正交旋转组合设计,试验因素、水平及编码见表1,试验结果见表2,方差分析见表3。

根据表2试验结果,采用DPS软件对二次回归正交旋转组合试验数据进行拟合,得回归方程如下:

$$Y = 7.87865 - 0.18748X_1 + 0.05816X_2 - 0.15412X_3 - 0.40104X_1^2 - 0.03511X_2^2 - 0.11997X_3^2 + 0.10312X_1X_2 - 0.17437X_1X_3 - 0.1587X_2X_3$$

表1 二次回归正交旋转组合设计因素水平编码表

Table 1 Variables and levels of the quadratic orthogonal rotatable central composite design test

因素	水平				
	-1.682	-1	0	+1	1.682
X <sub>1</sub> 微波功率/W	200	300	400	500	600
X <sub>2</sub> 乙醇添加量/%	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
X <sub>3</sub> 处理时间/min	4	7	10	13	16

表2 二次回归正交旋转组合试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results of the quadratic orthogonal rotatable central composite design test

试验号	X <sub>1</sub> 功率	X <sub>2</sub> 乙醇添加量	X <sub>3</sub> 时间	总酯含量/(g/L)
1	1	1	1	6.440
2	1	1	-1	7.720
3	1	-1	1	6.600
4	1	-1	-1	6.969
5	-1	1	1	7.417
6	-1	1	-1	7.720
7	-1	-1	1	7.710
8	-1	-1	-1	7.661
9	-1.682	0	0	6.740
10	1.682	0	0	6.870
11	0	-1.682	0	7.710
12	0	1.682	0	7.970
13	0	0	-1.682	7.660
14	0	0	1.682	7.540
15	0	0	0	7.814
16	0	0	0	7.916
17	0	0	0	7.855
18	0	0	0	7.865
19	0	0	0	7.865
20	0	0	0	7.967
21	0	0	0	7.865
22	0	0	0	7.865
23	0	0	0	7.875

表3 二次回归正交旋转组合设计试验方差分析表

Table 3 Analysis of variance of the quadratic orthogonal rotatable central composite design test

变异来源	平方和	自由度	均方	偏相关	F值	P值	显著性
X <sub>1</sub>	0.4800	1	0.4800	-0.6316	8.6265	0.0116	*
X <sub>2</sub>	0.0462	1	0.0462	0.2450	0.8302	0.3788	
X <sub>3</sub>	0.3244	1	0.3244	-0.5564	5.8299	0.0312	*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2.5556	1	2.5556	-0.8828	45.9267	0.0001	**
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0.0196	1	0.0196	-0.1624	0.3521	0.5631	
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.2287	1	0.2287	-0.4901	4.1097	0.0637	
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.0851	1	0.0851	0.3244	1.5290	0.2381	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.2433	1	0.2433	-0.5016	4.3716	0.0567	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.1994	1	0.1994	-0.4648	3.5834	0.0808	
回归	4.1679	9	0.4631	F <sub>2</sub> = 8.3225		0.0016	**
剩余	0.7234	13	0.0556				
失拟	0.7087	5	0.1417	F <sub>1</sub> = 77.40333		0.0001	**
误差	0.0146	8	0.0018				
总和	4.8913	22					

注: \*\*表示差异极显著,  $P < 0.01$ ; \*表示差异显著,  $P < 0.05$ 。

### 2.2.2 二次回归模型显著性检验

为检验回归方程的有效性,按 $F_1$  = 失拟均方/误差均方,  $F_2$  = 回归均方/剩余均方,  $F_3$  = 回归均方/误差均方的程序进行检验。由方差分析表3可知:回归方程的失拟性检验 $F_1$ 为77.40333  $> F_{0.01(5,8)} = 6.63$ ,  $P$ 值为0.0001,表明失拟项极显著,根据作用条件分析,这种失拟可能来自因子间的高阶互相作用。回归方程的显著性检验 $F_2$ 值为8.32259  $> F_{0.01(5,8)}$ ,  $P$ 值为0.0016,这表明方程极显著,即回归方程与试验数据的配合可行,可用来建立其模型。方程回归结果的检验 $F_3$  = MS 回归 / MS 误差  $> F_{0.01} = 7.60$ ,故认为,仅就各试验因素而言,方程回归结果是可靠的。对回归系数进行显著性检验,在 $\alpha = 0.10$ 显著水平剔除不显著项后,得优化方程为:

$$Y = 7.87865 - 0.18748X_1 - 0.15412X_3 - 0.40104X_1^2 - 0.11997X_3^2 - 0.17437X_1X_3 - 0.15787X_2X_3$$

### 2.2.3 单因素效应分析

分别研究微波功率、乙醇添加量、微波处理时间对香醋中总酯含量的影响,即固定微波功率、乙醇添加量、微波处理时间这三个影响因素中的任意两个因素处于零水平,研究剩下的一个因素对总酯含量的影响,结果见图4所示。在一定水平下总酯含量随着功率升高而增加,但在高水平下却下降,可能是功率过大造成总酯挥发或使酯类物质水解向着逆反应方向进行;乙醇添加量对总酯含量作用不明显,基本上在同一水平线上;微波处理时间对醋中总酯含量影响较显著,在一定水平下,总酯含量随时间延长而增加,但在高水平时,总酯含量反而随时间延长下降,可能是时间过长造成酯类物质挥发或水解产生的结果。

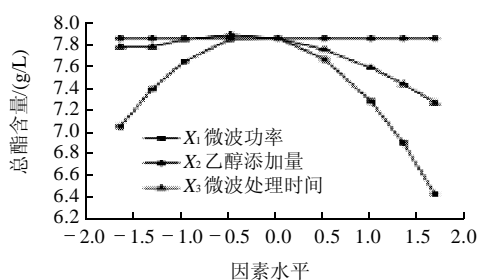


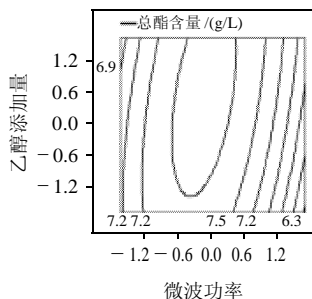
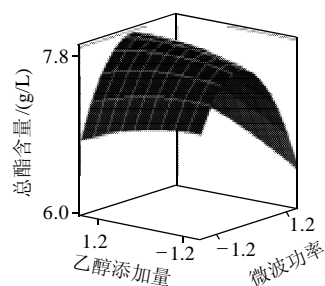
图4 单因素效应分析图

Fig.4 Main effects of single factors on total ester content in savory vinegar

### 2.2.4 双因素间的交互效应分析

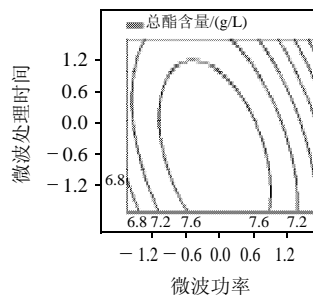
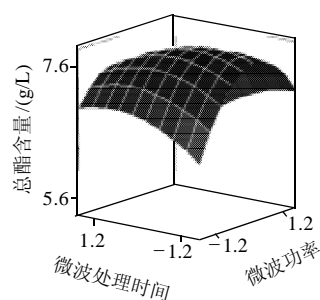
通过 SAS8.01 软件分析, 得到下面的响应面图及等高线图, 各个因素交互作用对响应值的影响可以直观的反映出来。

图5 中等高线图都表现为椭圆形, 说明两因素交互作用明显。图5A 固定乙醇添加量时, 随着微波功率的增加, 醋中总酯含量先增大后减少。图5B 固定微波处理时间, 总酯含量也是先增大后趋于减少。原因是功率增大, 微波能也大, 能够促进酯化反应的进行; 当功率过高则引起酯类物质挥发损失从而总酯下降。同时沿因素轴向等高线变化密集程度反映因素对响应值影响强弱: 等高线变化越密集, 该因素对响应值影响越显著, 反之越弱。由图5A、5B 可知微波功率对醋催陈效果影响比较显著。图5C 中固定微波处理时间, 随着乙醇添加量的增加, 醋总酯含量先增大后趋于稳定。原因是添加的乙醇可以与醋中有机酸发生酯化反应, 在一定添加范围内总酯含量随着乙醇添加量的增加而增加, 但当反应已经达到平衡时则添加的乙醇不再参与反应, 故总酯含量也趋于稳定。



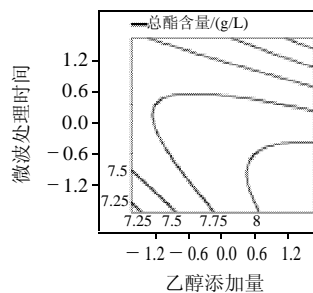
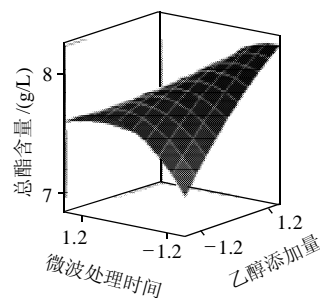
固定水平: 微波处理时间 10min。

$$A. Y_1 = f(x_1, x_2)$$



固定水平: 乙醇添加量 0.6%。

$$B. Y_1 = f(x_1, x_3)$$



固定水平: 微波功率 400W。

$$C. Y_1 = f(x_2, x_3)$$

图5 各因素交互作用的响应面和等高线图

Fig.5 Response surface and contour plots showing the interaction effects of microwave power, radiation time and amount of added ethanol on total ester content in savory vinegar

### 2.2.5 最优催陈方案

通过 DPS 软件分析, 采用频率分析法寻优, 得数学回归模型分析的结果列于表4。由表4 可知, 在95% 的置信区间内香醋总酯含量优化获得方案为: 微波功率

349.6~406.8W、乙醇添加量 0.5686%~0.6524%，微波处理时间 8.095~10.23min。取优化后条件的平均值方案， $X_1 = 380\text{W}$ 、 $X_2 = 0.61\%$ 、 $X_3 = 10\text{min}$ ，按照组合方案对优化结果验证，实际测得香醋中总酯含量为 8.2977g/L，与理论值  $Y = 8.24\text{g/L}$  接近，进一步验证了数学回归模型的合理性。

表 4 优化方案中各变量取值的频率分布  
Table 4 Frequency distributions of optimized parameter values

水平	$X_1$		$X_2$		$X_3$	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
-1.682	0	0.0000	7	0.2000	7	0.2000
-1	14	0.4000	6	0.1714	9	0.2571
0	17	0.4857	6	0.1714	10	0.2857
1	4	0.1143	8	0.2286	6	0.1714
1.682	0	0.0000	8	0.2286	3	0.0857
合计	35	1	35	1	35	1
加权均数	-0.2860		0.1050		-0.2780	
方差	0.1110		0.2140		0.1820	
95% 的分布区间	-0.504~-0.068		-0.314~0.524		-0.635~0.079	
最优方案	349.6~406.8		0.5686~0.6524		8.095~10.237	

### 2.3 微波处理对香醋的影响及讨论

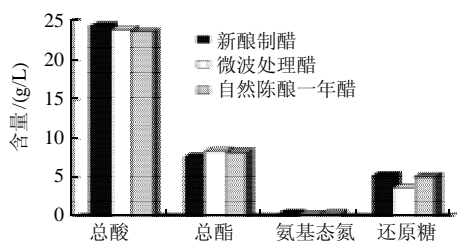


图 6 微波催陈对香醋整体品质的影响

Fig.6 Effect of microwave aging on the contents of total acid, ester, amino nitrogen and reducing sugar in savory vinegar

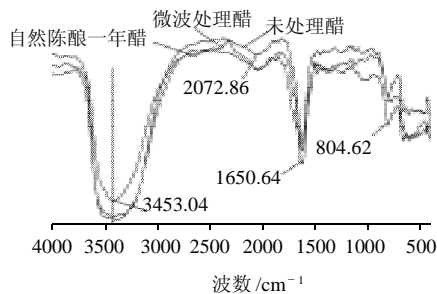


图 7 微波处理后香醋红外吸收谱图对比

Fig.7 The FTIR spectra of newly-produced vinegar, naturally aged vinegar, and microwave-aged vinegar

由图 6 可知，新酿制的香醋其总酸最高，总酯最低，微波处理后的醋还原糖最低。总体看，经微波处理的醋整体指标已达到陈酿 1 年香醋的品质。

图 7 中各样品之间红外光谱曲线差异主要发生在图 7 中所标识的峰附近。香醋主要由乙酸和水构成，谱图中  $1000\text{cm}^{-1}$  以上出现的各强吸收峰主要是乙酸、乙醇和水分子中的基团形成。据文献[21]报导，单纯水分子的  $\text{—OH}$  对称伸缩振动峰  $\nu(\text{OH})$  应在  $3632.2\text{cm}^{-1}$ ，然而由于水分子之间易形成氢键缔合，分子团中的  $\text{—OH}$  对称伸缩振动峰  $\nu(\text{OH})$  在红外光谱上出现的位置远比理论计算的位置低。图谱是  $3453\text{cm}^{-1}$  附近的宽大峰是一个  $\nu(\text{OH})$  峰， $2072\text{cm}^{-1}$  附近的有可能是  $\nu(\text{OH}) + \delta(\text{OH})$  乙醇和  $\nu(\text{OH}) + \delta(\text{OH})$  水的综合体，这两处所示有可能是溶液中各种状态下  $\nu(\text{OH})$  的综合体现， $\nu(\text{OH})$  出现的越低频，说明溶液中氢键缔合越明显，参与缔合的分子就越多，或者是缔合分子团越大，这样整个醋体系的刺激性就会相应的减少。 $1650\text{cm}^{-1}$  是  $\text{—C=O}$  的伸缩振动，主要是酯、醛、酮等组分中的羰基， $804\text{cm}^{-1}$  是  $\text{C—R}$  键的变形振动峰。醋中的有机酸、醇类、氨基酸等物质发生反应，从而引起这些官能团发生变化，从图 7 可知，微波处理后的香醋在波长  $4000\sim 1500\text{cm}^{-1}$  范围内与自然陈酿一年香醋的红外图谱基本吻合，与未经微波辐射处理新酿制香醋的红外图谱有较明显的差异，说明香醋经微波辐射处理后其体系内总酸、总酯等组分与自然陈酿一年的香醋相近，表明微波催陈香醋的效果较明显。

### 3 结 论

本实验应用二次回归正交旋转组合设计，通过频率分析法得到微波催陈香醋优化工艺为微波功率  $380\text{W}$ 、乙醇添加量  $0.61\%$ 、微波处理时间  $10\text{min}$ ，在此工艺条件下微波催陈香醋总酯含量为  $8.2977\text{g/L}$ ，在实验范围内各因素对微波催陈香醋作用的显著性依次为：微波功率  $>$  微波处理时间  $>$  乙醇添加量。微波处理后的香醋在波长  $4000\sim 1500\text{cm}^{-1}$  范围内与自然陈酿一年的醋红外图谱基本吻合，说明醋经微波处理能加速香醋内物质参与反应，快速达到陈酿目的。

### 参考文献：

- [1] CEREZO A B, TESFAY W, TORIJ M J, et al. The phenolic composition of red wine vinegar produced in barrels made from different woods [J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 606-615.
- [2] YIN Yong, YU Huichun, ZHANG Hongshun. A feature extraction method based on wavelet packet analysis for discrimination of Chinese vinegars using a gas sensors array[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2008, 134(2): 1005-1009.
- [3] ZHANG Weizu, HAN Huasheng. Evolution and development of Chi-

- nese vinegar and cultural trends[J]. Tourism Times, 2007, 39(4): 167-168.
- [4] 李丹. 醋中珍品: 河溪香醋[J]. 民族论坛, 2002(2): 63-64.
- [5] 麻成金, 黄群, 余佶, 等. 湘西河溪香醋优势糖化黑曲霉筛选及产酶条件的研究[J]. 中国调味品, 2006(3): 17-19.
- [6] 黄群, 麻成金, 余佶, 等. 湘西原香醋主要糖化菌分离及双菌种制曲研究[J]. 中国调味品, 2007(10): 37-40.
- [7] CHEN Chunxu, CHEN Fusheng. Study on the conditions to brew rice vinegar with high content of *gamma*-amino butyric acid by response surface methodology[J]. Food and Bioproducts Processing, 2009, 87(4): 334-340.
- [8] CHANG Chingzu, CHEN Fachung. The application of 20 kHz ultrasonic waves accelerates the aging of different wines[J]. Food Chem, 2002, 79(4): 501-506.
- [9] ARAPITSAS P, ANTONOPOULOS A, STEFANOUE, et al. Artificial aging of wines using oak chips[J]. Food Chemistry, 2004, 86(4): 563-570.
- [10] MORALES M L, BENITEZ B, TRONCOSO A M. Accelerated aging of wine vinegars with oak chips: evaluation of wood flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2004, 88(2): 305-315.
- [11] CAMARA J S, ALVES M A, MARQUES J C. Changes in volatile composition of Madeira wines during their oxidative aging[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 563(1/2): 188-197.
- [12] BELDA O, MOBERG C. Substituted pyridylamide ligands in microwave-accelerated  $\text{Mo(0)}$ -catalysed allylic alkylations[J]. Synthesis, 2002, 202(11): 1601-1606.
- [13] GUERRERO E D, MEJÍAS R C, MARÍN R N, et al. Accelerated aging of a Sherry wine vinegar on an industrial scale employing microoxygenation and oak chips[J]. Eur Food Res Technol, 2011, 232(2): 241-254.
- [14] Del ALAMO SANZA M, NEVARES DOMINGUEZ I. Wine aging in bottle from artificial systems (staves and chips) and oak woods Anthocyanin composition[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 563(1/2): 255-263.
- [15] ALAÑÓN M E, RUBIO H M, DÍAZ-MAROTO C, et al. Monosaccharide anhydrides, new markers of toasted oak wood used for ageing wines and distillates[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 505-512.
- [16] 李聪, 霍兴荣, 郑先哲, 等. 微波催陈条件对干红葡萄酒颜色和 pH 的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(1): 124-129.
- [17] 马雅鸽, 李宏梁, 雷学锋. 微波催陈液态喷淋法酿造食醋的研究[J]. 中国酿造, 2008(8): 6-8.
- [18] 王常青, 朱志昂. 微波催陈食醋的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(12): 83-87.
- [19] 徐静, 张井, 李燕, 等. 二次回归正交旋转组合设计在鲢鱼蒸煮液酶解工艺中的应用研究[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 221-225.
- [20] 黄诚, 尹红, 周金森. 食醋中总酸总酯含量的连续测定[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(12): 41-43.
- [21] 肖利民, 曾新安, 陈勇, 等. 电磁场催陈新鲜干红葡萄酒红外光谱分析[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 152-155.