

白酒微波催陈及其工艺优化

Study on the microwave aging of spirit and optimization of its process

胡诗琪¹ 栾东磊^{1,2} 樊玉霞^{1,2} 赖克强^{1,2}

HU Shi-qi¹ LUAN Dong-lei^{1,2} FAN Yu-xia^{1,2} LAI Ke-qiang^{1,2}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学食品热加工工程研究中心, 上海 201306)

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Engineering Research Center of Food Thermal Processing Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:以浓香型白酒为研究对象,考察了微波醇化温度、微波处理时间、微波功率等因素对白酒陈化的影响,研究了不同因素组合对微波催陈白酒的影响效果。试验结果表明:醇化温度 50 °C、微波功率 70 W、处理时间 10 min 为最佳催陈工艺条件,该条件下白酒的总酸含量为 1.46 g/L,总酯含量为 2.98 g/L,与新酒的总酸、总酯含量差异显著($P < 0.05$)。经微波处理后,白酒中酯类物质含量有增加的趋势,发生红移,基团有更加不稳定的趋势;白酒中主要微量成分的浓度及配比与自然陈化最为接近,如乙酸乙酯、己酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸、己酸等;此外白酒中还产生了丙酸、戊酸、己酸己酯、癸酸乙酯等呈香呈味物质。

关键词:微波催陈;工艺参数;白酒;陈化

Abstract: In this study, Luzhou-flavor spirit was processed by microwave, and the effects of microwave aging temperature, microwave power and processing time were investigated. The results showed that the best quality could be obtained, under the controlling conditions of, the microwave power 70 W, with microwave aging temperature at 60 °C, and processing for 10 minutes. The total acid and ester contents of the spirit were 1.46 g/L and 2.98 g/L, respectively. There were significant differences ($P < 0.05$) in the total acid and ester contents between the raw spirit and microwave processing one. The content of esters increased after microwave processing, and red-shiftness was also found, meaning that the chemical groups tended to be more unstable. Moreover, the concentration and proportioning of the main components in spirit under these condition were the closest to the natural aging, such as ethyl acetate, ethyl caproate, ethyl lactate,

acetic acid, caproic acid, etc. In addition, new aroma-producing and flavoring-producing substances, including propionic acid, valeric acid, hexyl caproate and ethyl decanoate, were also detected.

Keywords: microwave aging technology; process parameters; spirit; aging

新酿造的白酒入口辛辣、刺激性强、酒香不足、口感不佳,经过一段时间的储藏,辛燥味去除,醇厚柔和,香味增加,酒体协调,这一过程称为陈化(也称醇化或老熟)。随着科技水平的快速发展和人民生活水平的不断提高,白酒的需求量正快速增长,自然陈化因需耗费大量的人力物力,占用面积大,生产周期长、效率低等原因很难满足现代生活中白酒的需求,因此人工催陈技术在近些年来成为人们研究的热点之一,得到了快速发展^[1-3]。人工催陈技术是指人为地施加外部能量促进酒的陈化,以达到缩短贮存时间,该技术主要包括物理催陈法、化学催陈法、生物催陈法和综合催陈法。微波催陈技术是物理催陈法的一种,是指人为地施加微波加速酒体中各种成分相互转化的方法,促进酒的老熟,以缩短贮存时间^[4-5]。微波催陈技术可以去除新酒中的辛辣味和糟糠味,处理一次可达到自然老熟 3~4 个月的水平,感官评定结果与自然老熟酒体差别甚微^[6-7]。杨婷等^[8]曾通过检测不同香型白酒中总酯、总酸等理化指标的变化,比较不同微波处理条件对白酒的陈化影响,最终得到微波处理白酒的最佳工艺条件。但是,试验仅对酒样的总酸、总酯、总醛含量进行测定,并以此作为评价白酒陈化效果的标准,仍需对白酒中各微量成分进一步研究分析或进行白酒的感官评定。此外,微波催陈技术在新蒸白酒方面分析较少,微波直接作用于新酒更能直观反映其陈化效果,并且催陈后的新酒可直接作为基酒用于勾兑,此外微波处理陈化能否模拟自然老熟酒体品质有待进一步考察研究。

基金项目:上海市科委地方能力建设项目(编号:16050502200)

作者简介:胡诗琪,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:赖克强(1976—),男,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: kqlai@shou.edu.cn

收稿日期:2018-12-28

本试验拟以浓香型新蒸白酒为研究对象,采用傅里叶变换红外光谱仪(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)对不同微波条件下处理前后的样品进行红外光谱数据采集,对白酒中的组分进行分析,采用气相色谱—质谱联用技术(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)对白酒中挥发性香气成分进行定性定量分析,旨在筛选出微波催陈白酒的最佳工艺条件,为微波催陈技术的应用提供支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

白酒:雁峰 60% vol 浓香型新酒,湖南雁峰酒业有限公司;

酚酞、氢氧化钠、硫酸、乙醇、邻苯二甲酸氢钠、无水碳酸钠、溴甲酚绿、甲基红等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

乙醇、乙酸正戊酯:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

电子分析天平:AB204-N 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-6 型,金坛市金分仪器有限责任公司;

恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,上海精密科学仪器有限公司;

酸度计:pHS-3C 型,上海精密科学仪器有限公司;

微波炉:G70D20CN1P-D2(S0)型,广东格兰仕集团有限公司;

傅里叶变换红外光谱仪:Nicolet-6700 型,美国赛默飞世尔科技有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:Agilent 7890B /5977A 型,安捷伦科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 总酸、总酯含量的测定 按 GB/T 10345—2007 执行,总酸含量以乙酸计,总酯含量以乙酸乙酯计。

1.2.2 红外光谱采集 酒样放置 4 ℃ 冰箱保存,使用单点衰减全反射(Attenuated Total Reflectance,ATR)附件,在环境温度为(25±0.5)℃的条件下进行红外光谱扫描。试验以去离子水为参比溶液进行光谱采集,光谱分辨率 4 cm⁻¹,扫描范围 4 000~400 cm⁻¹,扫描次数 32 次。每次进样前,用待测酒样清洗 3 次,每个酒样采集 3 次光谱,取平均值作为该样本的原始光谱数据。

1.2.3 挥发性香气成分测定

(1) 色谱条件:色谱柱 HP-5MS(30 m×250 μm×0.25 μm);前进样口温度 250 ℃;载气(He)流速 1 mL/min;压力 2.4 kPa;进样量 1 μL;分流比 2:1;升温程序:初始温度 35 ℃保持 5 min,以 20 ℃/min 升温至

230 ℃,保持 2 min。

(2) 质谱条件:EI 离子源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;溶剂延迟 2 min;质量扫描范围 m/z 35~500,采集方式为全扫描模式。

(3) 挥发性香气成分浓度计算:选用内标法定量,即配制 2% 乙酸正戊酯的内标溶液,根据目标物与内标物峰面积之比对白酒中挥发性香气成分进行定量分析,按式(1)计算:

$$c = \frac{A_1/A_2 \times m}{V}, \quad (1)$$

式中:

c ——香气物质的浓度,mg/μL;

A_1 ——需要定量的香气物质的峰面积;

A_2 ——内标物质的峰面积;

m ——内标物质质量,mg;

V ——酒样体积,μL。

1.3 单因素试验

(1) 微波处理温度对白酒基酒陈化效果的影响:固定微波处理功率为 350 W,处理时间为 5 min,陈化温度分别为 40,50,60,70 ℃,以总酸含量、总酯含量、红外光谱分析、挥发性香气成分对白酒陈化效果进行综合评价。

(2) 微波处理时间对白酒基酒陈化效果的影响:固定微波处理功率为 350 W,陈化温度为 60 ℃,微波处理时间分别为 2,5,10,20 min,以总酸含量、总酯含量、红外光谱分析、挥发性香气成分对白酒陈化效果进行综合评价。

(3) 微波处理功率对白酒基酒陈化效果的影响:固定微波处理时间为 5 min,陈化温度为 60 ℃,微波处理功率分别为 70,350,700 W,以总酸含量、总酯含量、红外光谱分析、挥发性香气成分对白酒陈化效果进行综合评价。

1.4 正交试验

在单因素试验基础上,以微波醇化温度、处理时间和微波功率为考察因素,按 L₉(3³) 正交表进行正交试验优化设计,每个试验平行进行 3 次。酯类是衡量白酒品质的重要指标,也是评判陈化效果是否显著的指标之一,以白酒中总酯含量作为评价指标^[9-11],筛选出最佳微波催陈工艺条件。

2 结果与分析

2.1 不同微波处理条件下单因素试验结果

2.1.1 微波醇化温度对白酒陈化效果影响 酸类和酯类是白酒中重要的呈香呈味物质,酸类有呈香、助香和缓冲平衡等作用。酸含量少则酒味寡淡;当酒中酸类物质含量超过某个阈值时,酸味重酒味粗糙。酯类物质是形成白酒香型和构成香味的主要成分,与白酒品质密切相关。微波醇化温度对白酒中酸类物质、酯类物质的影响见图 1.2 所示。

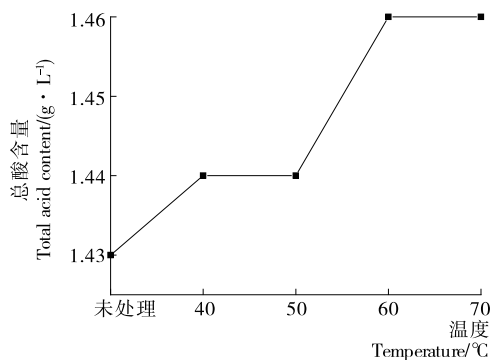


图1 不同醇化温度下总酸含量

Figure 1 Total acid content under different aging temperature

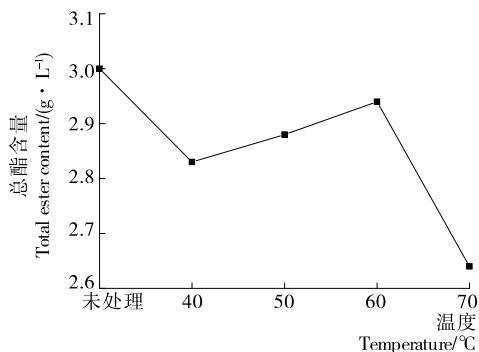


图2 不同醇化温度下总酯含量

Figure 2 Total ester content under different aging temperature

由图1可知,随着醇化温度的升高,总酸含量增长速率较平稳,由样品未处理时的1.43 g/L增加到1.46 g/L,含量稍有增加但总体差别不大。由图2可知,总酯含量整体呈下降趋势,液体酒吸收微波能量并转化为热能,使酒体温度升高,温度在一定程度上反映了吸收微波能量的大小。酒温升高,加速酒内酸醇的酯化反应,有利于老化过程。生成酯类的前体物质是酸,温度过高,低沸点酸类物质的自然挥发作用加速;并且过高的温度加快了酯类的水解反应,酯类的水解也可导致酸类物质的增加,两者位于动态变化的体系中不可孤立开来;此外,温度过高加速风味物质挥发,出现酯类物质含量下降的情况。

2.1.2 微波处理时间对白酒陈化效果影响 在同一微波功率350 W处理下,酒体最终温度达到60℃(以60℃为例),酒体分别作用2,5,10,20 min的总酸、总酯含量变化情况见图3、4所示。

从图3、4可以看出,与未处理酒样相比较,微波处理后的酒体总酸含量均有所上升(除20 min外),总酯含量均有所下降。总酸含量在处理2 min后达到最高值,由未处理时1.43 g/L增加到1.47 g/L,处理10 min时含量为1.46 g/L。总酯含量在刚开始处理2 min内有明显的下

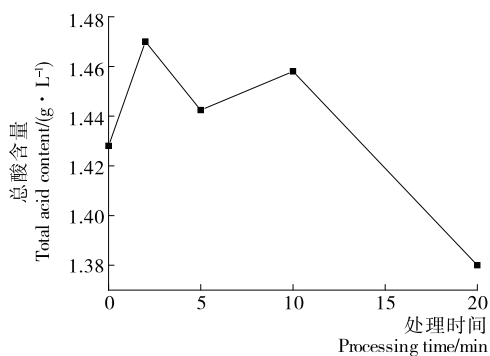


图3 不同处理时间下总酸含量

Figure 3 Total acid content under different processing time

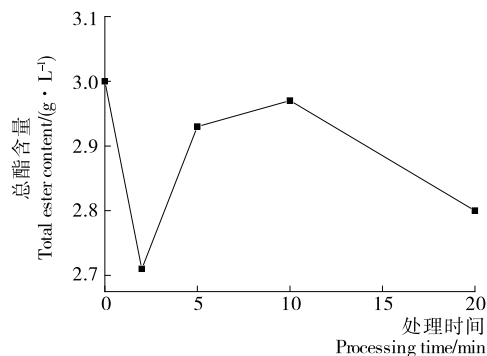
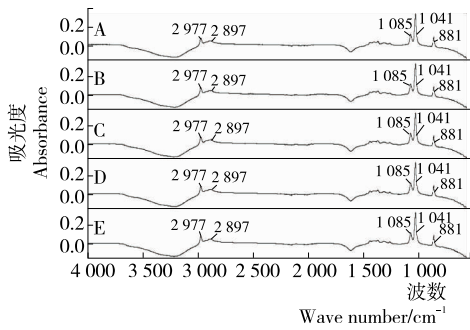


图4 不同处理时间下总酯含量

Figure 4 Total ester content under different processing time

降趋势,由未处理时3.00 g/L降至2.71 g/L,但随着处理时间的延长,有增长的趋势,处理10 min时总酯含量达到2.97 g/L。当样品处理20 min后,两者均出现大幅度的下降,总酸含量由原来的1.43 g/L降至1.38 g/L,总酯含量由原来的3.0 g/L降至2.8 g/L。微波能量使酒中的极性分子高频极化,有利于水溶性分子的重新组合,使独立的、难溶的分子基团有机融合、相互渗透,微波还可以加速白酒陈酿过程中的某些必要的化学反应,加快了陈化过程。但微波处理时间过长时,酒温急速升高甚至达到沸点,此时白酒中酸类、酯类等风味物质遭到破坏,挥发量增大,总酸、总酯含量有明显的下降趋势。随着微波处理时间的进一步延长,出现酒体香气逐渐减弱,酒水质量有所下降和口味变淡等情况^[12-14]。

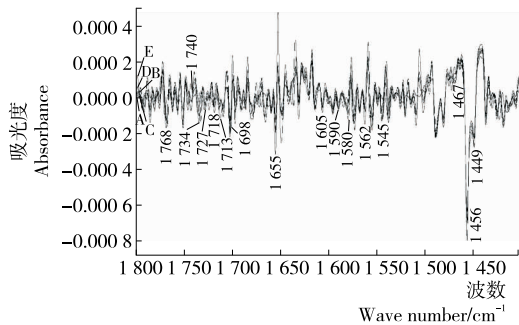
如图5所示,未处理与不同微波处理时间样品相比较,不同微波处理时间下的白酒在一级红外光谱图上几乎完全重叠,并未有显著差异。二级红外能明显增强或放大一级红外谱图上微小的不同,白酒的二级红外鉴定是运用导数谱对白酒进行鉴定,即对所获得的红外光谱数据进行微分处理,不同微波处理时间下酒体的二阶导数谱图见图6,白酒的红外光谱主要吸收峰见表1。



A. 未处理样品 B. 2 min C. 5 min D. 10 min E. 20 min

图 5 不同微波处理时间下酒体一级红外光谱图

Figure 5 One-level infra-red spectrogram of the wine under different microwave treatment time



A. 未处理样品 B. 2 min C. 5 min D. 10 min E. 20 min

图 6 不同微波处理时间下酒体二级红外光谱图

Figure 6 Two-level infra-red spectrogram of the wine under different microwave treatment time

如图 6 所示,一些重叠峰清晰地区分开来,可进一步对组分含量及其结构进行分析。如 1740 cm^{-1} 为脂肪酸酯类的吸收峰, 1727 cm^{-1} 可能是酯和酮的重叠峰, $1713, 1718\text{ cm}^{-1}$ 可能是醛和有机酸的重叠峰;而 1768 cm^{-1} 为内酯 $\text{C}=\text{O}$ 的吸收峰, 1698 cm^{-1} 是羧酸的吸收峰。在 $1400\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ 时,有多种羧酸酯的吸收峰,如 $1590, 1580, 1562\text{ cm}^{-1}$ 分别是乳酸乙酯、乙酸乙酯和己酸乙酯的吸收峰, 1545 cm^{-1} 处为戊酸乙酯的吸收峰^[15-17]。

从峰的强度来看,微波处理后的酒体酯类物质的峰强度有所增强,即酯类物质含量有所增加,酸类物质峰强

表 1 白酒的红外光谱主要吸收峰

Table 1 Main absorption peak identification in infrared spectrum of liquor

谱带位置/ cm^{-1}	类别
2 980~2 985	— CH_3 伸缩振动
2 930~2 935	— CH_2 伸缩振动
1 715~1 740	酯类或酸类
1 595~1 605	羧酸类物质(有机酸或盐)
1 400~1 470	羧酸类物质(有机酸或盐)关联峰
1 380~1 385	— $\text{C}-\text{H}$ 变角振动
1 200~1 250	1 715~1 740 酯关联峰
1 125~1 130	叔醇
1 040~1 050	伯醇
1 768	内酯

度整体变化不明显。从峰的位置来看,大部分吸收谱峰发生红移现象,即基团的稳定性减弱,向更加不稳定的方向移动。峰的形状几乎没有变化,与微波处理 2 min 酒样对比,微波处理 5, 10, 20 min 后酒体的峰强度和峰位置变化更加明显,表明随微波处理时间延长,白酒中酯类物质含量有所增加(2~10 min),但基团有更加不稳定的趋势。

不同微波处理时间的白酒样品挥发性香气成分气相色谱—质谱联用仪分析结果,如表 2 所示。

试验结果表明,浓香型白酒中以乳酸乙酯、己酸乙酯为主的 4 种酯类,以乙酸为主的 5 种酸类,共 9 种微量成分,在微波处理 10 min 时,9 种微量成分的浓度及配比与自然陈化最为接近,并且当微波功率为 350 W,处理 10 min 达到温度 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 效果较好。

不同微波处理时间对白酒中主要酸类、酯类的影响如图 7 所示。

乙酸是白酒中主要的酸类物质,白酒中的酯类主要是以乙酯形式存在的。浓香型白酒的关键香气成分是己酸乙酯,乳酸乙酯的含量也很高,它们与酒质的优劣密切相关。由图 7 可知,白酒中乳酸乙酯、己酸乙酯、乙酸在微波处理过程中呈同步变化趋势。微波处理 0~2 min 时,2 者含量同时减少,这是由于低沸点酸类物质自然挥发、白酒中酯类物质发生水解反应,形成相应的酸和醇。

表 2 不同微波处理时间对白酒挥发性香气成分的影响

Table 2 Effect of different microwave treatment time on volatile aroma components of white wine g/L

处理时间/min	乳酸乙酯	丁酸乙酯	戊酸乙酯	己酸乙酯	乙酸	丁酸	己酸	庚酸	辛酸
未处理	0.393 7	0.126 30	0.041 80	0.544 4	0.211 60	—	—	0.002 776	0.001 209 0
2	0.231 4	0.055 98	0.033 13	0.360 4	0.072 83	0.055 98	0.001 789	0.001 351	0.000 359 0
5	0.314 2	0.081 25	0.042 84	0.408 7	0.123 90	—	0.008 040	0.002 004	0.000 983 7
10	0.065 7	0.072 33	0.028 25	1.085 7	1.359 00	0.015 59	0.148 400	0.031 990	0.006 832 0
20	0.592 8	0.045 68	0.039 80	0.699 1	0.728 10	—	0.002 350	0.234 900	0.007 543 0

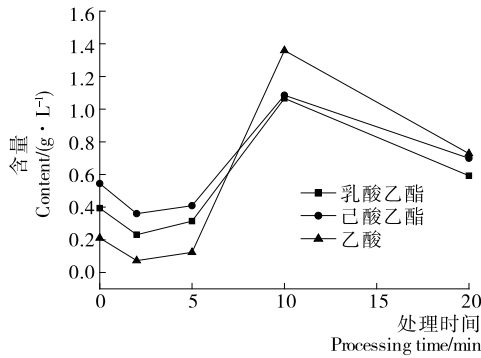


图7 不同微波处理时间对白酒中主要酯类、酸类物质影响

Figure 7 Effects of different microwave treatment time on main esters and acids in white wine

微波处理 2~10 min 时,3 者含量均呈现前期增长平缓,后期增长趋势明显的变化规律,这是由于微波能促进分子之间重新缔合,醇类氧化成酸类,相应的酸与醇反应生成酯,己酸乙酯和乳酸乙酯等酯类物质含量升高;此外,各种微量成分间的配比对白酒的品质和香型起着决定性作用,在微波处理过程中,微量成分在浓度和种类方面均产生了较大变化,达到新的动态平衡;乳酸乙酯、己酸乙酯、乙酸、己酸等含量增加,戊酸乙酯、辛酸等物质出现含量下降情况,期间也产生了新的物质如丙酸、戊酸、己酸己酯、癸酸乙酯等,这些新物质的产生使得酒体层次更加丰富,在稳定和提高白酒品质方面不可或缺^[18-20]。但随着处理时间的延长(微波处理 20 min),酸类和酯类都呈下降趋势,主要是因为处理时间过长温度急速升高,高温下酯类物质持续水解,各香味成分的挥发损失量增大,从而酯类和酸类物质含量下降。

2.1.3 微波处理功率对白酒陈化效果影响 在同一微波处理时间下酒体温度达到 60 °C 时,不同微波功率对白酒中酯类物质、酸类物质含量变化,如图 8、9 所示。

微波功率对酒体陈化效果有很大影响,在实际操作过程中应选择适当的微波功率和醇化温度,以便得到更

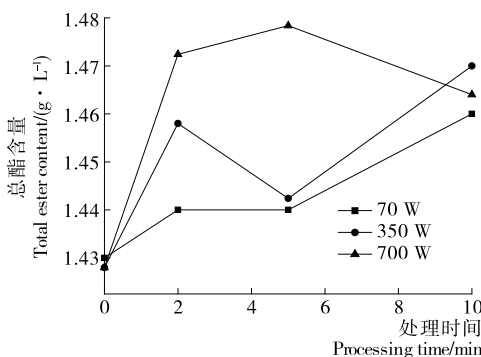


图8 不同微波功率下总酸含量

Figure 8 Total acid content under different microwave power

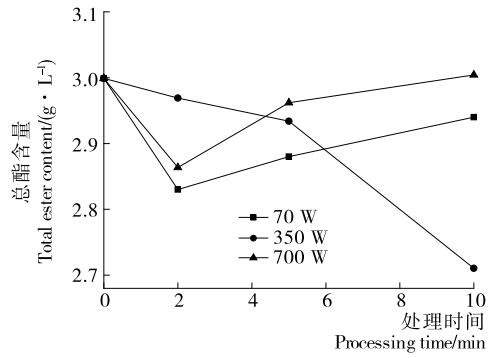


图9 不同微波功率下总酯含量

Figure 9 Total ester content under different microwave power

好的陈化效果。微波作用于酒体后势必会造成酒体温度的上升,微波功率越大酒体吸收的能量越快,温度上升越明显。微波功率 350 W 下酒体温度达到 60 °C,处理时间 10 min 比 5,2 min 陈化效果好,此条件下白酒中各种微量成分的含量及比例和自然陈化条件下各种指标最为接近;微波功率 700 W 下酒体温度达到 60 °C,处理时间 2 min 是最适宜的,较高的微波功率能使酒体迅速升温,若酒体温度过高会导致风味物质被破坏,挥发量增大;70 W 微波功率下处理酒体温度达到 60 °C,升温过程缓慢,处理 20 min 最为适宜。

2.1.4 正交试验优化结果 正交试验设计方案及结果见表 3、4 所示。

由表 3 可以看出,以白酒中总酯含量作为评价指标,筛选微波陈化条件,根据极差大小结果可知,影响白酒陈化效果的主次顺序:A(醇化温度)>B(处理时间)>C(微波功率)。最大的影响因素为微波醇化温度,主要是因为升高温度可加快白酒中反应的进行,但温度太高会使酯类分解作用加速,风味物质挥发量增加。在 9 组优化试验中分析可得最优条件是 A₁B₃C₁,该条件并不存在于 9 组优化试验中,对试验条件醇化温度 50 °C,微波处理 10 min,微波功率 70 W 进行验证,总酯含量为 2.98 g/L。A₁B₃C₁ 和 A₁B₃C₂ 条件下得到的数值相差不大,两者仅微波处理功率有差异,分别为 70 W 和 350 W。为了减少微波能源浪费降低成本,选取 A₁B₃C₁ 为白酒的最佳微波催陈工艺条件,即醇化温度 50 °C、微波处理 10 min、微波功率 70 W。

表 3 正交试验因素水平表

Table 3 The Orthogonal factor level table

水平	A 醇化温度/°C	B 处理时间/min	C 微波功率/W
1	50	2	70
2	60	5	350
3	70	10	700

表 4 微波醇化白酒的正交试验结果

Table 4 The orthogonal test results of microwave aging spirit

试验号	A	B	C	总酯含量/ (g · L ⁻¹)
1	1	1	1	2.83
2	1	2	3	2.93
3	1	3	2	2.97
4	2	2	1	2.88
5	2	1	2	2.71
6	2	3	3	2.86
7	3	3	1	2.88
8	3	1	3	2.64
9	3	2	2	2.64
<hr/>				
k_1	2.91	2.73	2.86	
k_2	2.82	2.82	2.78	
k_3	2.72	2.90	2.81	
极差 R	0.19	0.17	0.08	

3 结论

(1) 微波催陈效果与微波功率、醇化温度、处理时间等因素密切相关,温度升高有利于与白酒陈化相关的酯化、氧化、缩合等反应进行,有利于陈化过程但温度过高会使酒中风味物质遭到破坏,一些重要的呈香呈味物质含量下降,影响酒体品质。

(2) 本试验研究了影响白酒陈化效果的各个工艺参数,得到微波催陈白酒的最佳工艺条件为醇化温度 50 ℃、处理时间 10 min、微波功率 70 W。

(3) 本试验针对浓香型白酒的微波催陈技术提供相应的理论支撑,但陈化效果因香型和品牌不同有较大差异,并且使用微波催陈白酒作用是否彻底,处理后的酒有无“回生”现象产生,还有待进一步研究探讨。

参考文献

[1] 解成玉,朱金玉,李玉英.白酒老熟技术及机理研究进展[J].酿酒科技,2016(11):95-96.
 [2] 张苗苗,曹国珍,缪建顺,等.物理方法在酿造酒催陈中的研究进展[J].食品工业科技,2015(12):395-399.
 [3] SUN Xiang-yu, LI Le, MA Ting-ting, et al. High hydrostatic pressure treatment: an artificial accelerating aging method which did not change the region and variety non-colored phenolic characteristic of red wine[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33: 123-134.
 [4] 谢炎福.三种不同催陈方法对西瓜酒的影响[J].中国酿造,2014(1):109-113.
 [5] JOSHUA Godshaw, HELENE Hopfer, JENNY Nelson, et

al. Comparison of dilution, filtration, and microwave digestion sample pretreatments in elemental profiling of wine by ICP-MS[J]. Molecules, 2017, 22(10): 1 609.
 [6] 林向阳,林丛笑.微波催陈白酒试验装置的研制[J].食品与机械,2000(4):34-35.
 [7] 林向阳.微波催陈白酒中型试验的研究[J].食品与机械,2001(3):23-24.
 [8] 杨婷,农绍庄,刘畅,等.白酒的微波陈化研究[J].食品工业,2014(2):109-112.
 [9] ZHENG Xian-zhe, LIU Cheng-hai, HUO Jun-wei, et al. Effect of the microwave irradiated treatment on the wine sensory properties[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7(2): 1-11.
 [10] YANG Tao, JUAN Francisco Garcia, SUN Da-Wen. Advances in wine aging technologies for enhancing wine quality and accelerating wine aging process[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 54(6): 817-835.
 [11] 舒杰,刘东红,江涛,等.黄酒超声陈化机理的研究[J].中国食品学报,2014(5):43-48.
 [12] 舒杰,江涛,金玉平,等.超声处理对黄酒挥发性物质的影响[J].中国食品学报,2013(12):222-231.
 [13] OLIVIER Geffroy, RICARDO Lopez, ERIC Serrano, et al. Changes in analytical and volatile compositions of red wines induced by pre-fermentation heat treatment of grapes[J]. Food Chemistry, 2015, 187: 243-253.
 [14] OLIVIER Geffroy, RICARDO Lopez, ERIC Serrano, et al. Modulating analytical characteristics of thermovinified Carignan musts and the volatile composition of the resulting wines through the heating temperature[J]. Food Chemistry, 2018, 257: 7-14.
 [15] 刘岩,李长文,魏纪平,等.不同香型白酒红外宏观三级鉴别[J].酿酒科技,2007(3):48-50.
 [16] 朱潘炜,周建弟,刘东红.不同年份黄酒基酒 HS-SPME-GCMS 指纹图谱的建立[J].中国食品学报,2012(2):165-172.
 [17] 李长文,魏纪平,李彘,等.运用 FTIR 分析不同酒龄基酒[J].酿酒科技,2008(12):70-72.
 [18] 刘建学,张卫卫,韩四海,等.白酒基酒中己酸、乙酸的近红外快速检测[J].食品科学,2016(4):181-185.
 [19] PERESTRELOA R, CATARINA L Silvaa, PEDRO Silvaa, et al. Impact of storage time and temperature on volatonic signature of Tinta Negra wines by LLME/GC-IT-MS[J]. Food Research International, 2018, 109: 99-111.
 [20] MA Yan-hong, QIAO Hua, WANG Wei, et al. Variations in physicochemical properties of chinese Fenjiu during storage and high gravity technology of liquor aging [J]. International Journal of Food Properties, 2014(17): 923-936.