

纳米复合材料包装对竹叶青酒挥发性风味物质的影响

陈开科

(福建农林大学东方学院, 福建福州 350001)

摘要: 本实验通过制备 5 种型号的食品级纳米复合材料包装, 以竹叶青酒为研究对象, 研究纳米复合材料包装对竹叶青酒挥发性风味物质的影响。采用高效液相色谱对经纳米复合材料包装前后的竹叶青酒中三种挥发性风味物质进行测定, 分别计算其包装前后色谱图相似匹配度, 分析竹叶青酒在贮藏 200 d 后, 纳米复合材料包装对其挥发性风味物质的影响。结果表明, 将塑料粒子和纳米母粒按照质量比例为 75:5 的比例设计的纳米复合材料包装, 即型号 2 包装在抑制风味物质挥发时效果最好。经型号“2”的纳米复合材料包装 200 d 后的竹叶青酒, 其酯类、醇类、醛类三种风味物质与其包装前色谱图相似匹配度最高, 分别为 95.68%、96.14%、97.47%; 纳米复合材料包装型号 5 与其包装前相比, 酯类、醇类、醛类三种风味物质色谱图相似匹配度最低, 仅为 79.87%、87.92%、72.37%。纳米复合材料有效保持了竹叶青酒在贮藏过程中的挥发性风味物质, 维持了较低的膜透性, 从而延缓了竹叶青酒的质变, 以期控制竹叶青酒类产品质量提供了一定的理论依据。

关键词: 纳米复合材料; 包装; 竹叶青酒; 挥发性风味物质

文章编号: 1673-9078(2020)01-269-274

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.037

Effects of Nano-composite Packaging on Volatile Flavor Compounds of Zhuyeqing Liquor

CHEN Kai-ke

(Dongfang College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 35000, China)

Abstract: The effects of nano-composite packaging on volatile flavor compounds of Zhuyeqing liquor were studied in the research by preparing five types of food grade nano-composite packaging. Three volatile flavor compounds in Zhuyeqing Liquor were determined by high performance liquid chromatography before and after packaging of nano-composites. The similarity of chromatograms before and after packaging was calculated, and the effect of nano-composite packaging on its volatile flavors was analyzed after 200 days of storage. The results showed that the plastic particles and the nano-masterbatch were packaged in a nano-composite with a mass ratio of 75:5, that is, the Model 2 package had the best effect in suppressing the volatilization of flavor substances. The model “2” had the highest similarity with the chromatograms before packaging, which were 95.68%, 96.14% and 97.47% respectively. Compared to liquor without nano-composite packaging, nano-composite packaging model 5 showed the lowest similarity of chromatograms of esters, alcohols and aldehydes, which was only 79.87%, 87.92% and 72.37%. The nano-composite effectively maintained the volatile flavor compounds of Zhuyeqing liquor during storage, and maintained a low membrane permeability by delaying the qualitative change of Zhuyeqing liquor. The research provides a theoretical basis for controlling the quality of Zhuyeqing liquor.

Key words: nano-composites; packaging; Zhuyeqing liquor; volatile flavor compounds

竹叶青酒以优质的汾酒为基酒, 搭配砂仁、紫檀、当归、陈皮、公丁香、零香、广木香等十余种中药材, 采用特有的工艺制成, 是我国一种传统的保健型名酒。其酒体金黄微翠, 酒质清雅芳香, 具有汾酒和中草药相互浸润所形成的独特香气, 入口绵甜, 口感清醇,

收稿日期: 2019-07-31

基金项目: 福建省中青年骨干教师教育科研项目 (JT180856)

作者简介: 陈开科 (1979-), 男, 讲师, 研究方向: 艺术设计

余味悠长; 适量饮用具有醒神、活血、抗寒、通筋络、消除疲劳、抗氧化和提高免疫力等保健功效^[1]。因其绵甜清醇的口感和显著的保健功效, 深受人们喜爱, 颇具市场潜力^[2]。目前, 竹叶青酒已形成其独特的制作工艺, 以窖藏或储存后的汾酒作为基酒, 因基酒存储时间较长, 故味道醇厚, 酿出的竹叶青酒口感更丰富; 从鸡蛋清中提纯糖液加入基酒中, 使竹叶青酒的甜味和酒香更好的交融; 在 60 °C 下将中药材浸泡在汾

酒中,使汾酒和中草药中特殊气味的成分更好的融合[3]。

竹叶青酒中含有多种挥发性风味物质成分,如醇类、酚类和酯类等,决定了竹叶青酒的气味,也是衡量酒质量的重要指标之一。研究表明,其挥发性风味物质有100多种,包括:酯类35种、醇类24种、醛类19种、酸类11种,另有少量的酮类6种、酚类3种、炔类3种以及其他类物质。据文献总结出竹叶青酒中几种主要的挥发性风味物质,其来源、阈值和浓度如表1所示[4]。

然而,竹叶青酒作为一种特殊的饮品,储存起来相当困难,易挥发是所有酒类产品存在的问题。在挥发过程中不仅带走了酒的质量,还带走了酒的风味,使得口感大打折扣,如何防止酒中风味物质的挥发是酒产品加工企业共同面临的一大难题。包装是保证酒品质的一种重要手段,通过有效的包装不仅能够保证酒的质量,防止其变质,还能极大保留酒的口感。现代酒产品的包装材料主要有玻璃包装、金属包装、塑

料包装、纸质包装等,然而这些包装或多或少均存在一些缺点。如塑料包装中催化剂残留物、双酚A、塑化剂等小分子物质,易被酒精溶解发生成分迁移导致食品安全问题[4];玻璃和陶瓷包装成本较高,其运输风险也相应增加[5]。纳米复合材料是一种综合性能较优的复合型材料,主要以纳米级为衡量对象的半导体、刚性聚合物以及无机粒子等改性剂作为分散相,以热固性树脂、高弹性橡胶、陶瓷及金属材料等基体作为连续相,通过规范的制备方法形成一个纳米级尺寸的复合物体系。纳米材料具有较好的阻碍挥发性风味物质转移的性能,已有很多研究者将纳米材料用于食品包装。纳米材料对延长食品的保质期,提高食品的品质有重要作用。

本文通过将纳米复合材料包装应用于竹叶青酒的贮藏,分析了纳米复合材料包装在竹叶青酒贮藏过程中对酒中挥发性风味物质的影响,以期推进纳米材料应用于竹叶青酒的贮藏,尝试为控制竹叶青酒类产品质量提供理论依据。

表1 竹叶青酒中主要挥发性风味物质

Table 1 The main volatile flavor compounds in Zhuyeqing liquor

风味物质	描述	来源	相对分子质量/(g/mol)	相对含量/(%, W/W)
乙醇	酒精味	汾酒	46.07	40
丙醇	酒精味	汾酒	90	0.8
乙酸乙酯	溶剂味	汾酒	144	3.5
辛酸乙酯	果香	汾酒	172	1.8
壬酸乙酯	果香	汾酒	168	0.2
柠檬烯	柠檬香	中药成分	136	22
糠醛	特殊气味	汾酒	96	1.5
檀香醇	檀香香气	中药成分	220	0.7
十六烷	微溶于热乙醇	汾酒	226	0.05
甘菊蓝	具有水溶性	中药成分	128	0.08
邻苯二甲酸丁基异己基酯	强溶解性	汾酒	306	0.04

1 材料与方法

1.1 实验材料与试剂

竹叶青酒,购自山西杏花村汾酒厂股份有限公司,属清香型白酒,酒精含量45% Vol,生产年份为2018年,其原料为汾酒、砂仁、紫檀、当归、陈皮、公丁香、零香、广木香、冰糖、雪花白糖及蛋清组成。

纳米复合包装材料: HTSI-001 型纳米二氧化硅、HTDK 凹凸棒土、HTB-032 银系纳米抗菌材料、HTTI-01 锐钛型纳米二氧化钛和 HTTI-03 金红石型纳米二氧化钛,南京海泰纳米公司; YFW-P 型的防雾剂,南京塑料研究所; KH-5 70 型偶联剂,南京经纬化工

有限公司; DFDA 7042 型低密度线性聚乙烯,中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司。

蔗糖、磷酸、乙酸、葡萄糖、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、硝基水杨酸、牛血清蛋白、考马斯亮蓝、水合茚三酮、抗坏血酸,国药集团化学试剂有限公司; 硫酸,上海中试化工总公司; 苯酚、正丙醇、正丁醇、乙二醇、异丙醇,上海凌峰化学试剂有限公司; 乙酸钠、酒石酸钾钠、亚硫酸钠,南京化学试剂有限公司; L-一白氨酸、乙醚,中国惠兴生化试剂有限公司。所用试剂均为分析纯。

1.2 实验设备

FA2004 电子天平,上海恒平科学仪器有限公司;

SF-X00 型塑料封接机, 江苏连云港微波电器厂司; RW20 digital 型数显机械搅拌机, 德国 AKI 公司; FR-200 手压式封口机, 上海麦尔多机械有限公司; LB90A 型手持糖度计, 广州市铭睿电子科技有限公司; TGL20M 型台式高速冷冻离心机, 上海卢湘仪离心机仪器有限公司; HWS 低温恒温恒湿箱, 国华电器有限公司; LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌器, 广东康宝电器有限公司; LC-30A 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; LD1100 型塑料吹膜辅机, 山东塑料机械厂; LSSHJ-20 双螺杆挤出装置, 上海科创橡塑机械设备有限公司; VERTEX 33 傅里叶变换红外光谱仪, 德国 Bruker 公司。

1.3 纳米复合材料包装制备

取 30% 银系纳米抗菌材料、25% 凹凸棒土、20% 纳米二氧化硅、40% 锐钛型纳米二氧化钛和 10% 金红石型纳米二氧化钛等原料, 利用搅拌机混合制成纳米粉体^[6]; 再取 33% 的纳米粉体、65% 的低密度线性聚乙烯材料、10% 的偶联剂、10% 的防雾剂, 利用机械搅拌机高速搅拌 30 min, 利用双螺杆挤出装置进行捏合、挤出, 最后经过高速冷冻离心机制成纳米母粒; 接着按质量 75:5 的比例选择塑料粒子和纳米母粒, 并吹制成厚度为 50 μm 的包装膜; 最后按照上述同样的步骤, 通过调节质量比例制备成不同型号的包装膜。具体比例如下表 2 所示。

表 2 不同型号纳米复合材料包装设计

Table 2 Different types of nano-composite packaging design

包装型号	塑料粒子%	纳米母粒%
1	72	6
2	75	5
3	74	5
4	70	8
5	75	2

将上述制成的不同型号包装膜, 利用塑料吹膜辅机和塑料封接机制成长 50 cm、宽 40 cm 的矩形包装袋。由于纳米复合材料包装袋制作过程中会有细菌附着, 若直接用于包装产品, 会降低产品质量, 所以在包装产品之前需要进行消毒处理: 采用立式压力蒸汽灭菌器进行 20 min 的消毒^[7]。

1.4 竹叶青酒挥发性物质提取

利用电子天平称取相同质量 (50 g) 的 45 度竹叶青酒, 将其倒入到不同型号的包装袋当中, 并利用手压式封口机进行封口^[8]。一般酒产品挥发开始时间为封装后的第 150 d。所以竹叶青酒封装后, 分别在低温

恒温恒湿箱静置 200 d 后取出, 进行挥发性风味物质提取, 并检测其质量。

具体过程如下: 取静置后的竹叶青酒 10 g 放入烧杯当中, 并与 3 g 乙醚充分混合, 振荡 15 min, 静置一段时间, 等待其分层。然后利用滴管取上层乙醚萃取液放入试管当中, 并加入无水硫酸钠, 于高速冷冻离心机以离心力 2775 g 离心 5 min, 接下来经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 并在旋转蒸发仪中以 40 $^{\circ}\text{C}$ 为标准进行减压干燥, 回收乙醚。最后将提取物倒入 3 L 的烧瓶中, 并连接挥发油测定器, 在蒸馏装置中进行加热, 将挥发蒸汽收集至挥发油测定器中, 得到竹叶青酒挥发性风味物质^[9]。

1.5 竹叶青酒挥发性物质测定

挥发性物质测定选用高效液相色谱法 (LC-30A 高效液相色谱仪, 日本岛津公司)^[10]。其工作原理如下: 首先将竹叶青酒挥发性物质样本放入高效液相色谱仪的储液器当中, 然后利用高压泵将流动相 (甲醇-0.02 mol/L KH_2PO_4) 打入仪器内部, 经过进样器, 以流动相为载体进入色谱柱中, 在色谱柱内分离竹叶青酒挥发性风味物质, 然后将分离的样本送入检测器内, 进行成分分析以及质量检测, 之后将检测结果转换为电信号传送到记录仪, 并以图谱形式打印出来。

色谱条件: DB-5MS 色谱柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm ; Agilent 安捷伦); 流速控制为 1 mL/min。升温程序: 选择程序升温, 进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$; 最初温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 4 min, 再以 3.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 2 min, 最后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 300 $^{\circ}\text{C}$ 并保持 10 min。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 软件对不同型号包装的竹叶青酒提取物中的各类物质数据进行分析。

2 结果与讨论

2.1 纳米材料包装对竹叶青酒酯类挥发性物质影响

实验开始前, 测得竹叶青酒中其中的挥发性物质有 100 多种, 包括: 酯类 35 种、醇类 24 种、醛类 19 种、酸类 11 种, 另有少量的酮类 6 种、酚类 3 种、烃类 3 种以及剩余的其他类。王志娟等^[11]人顶空固相萃取技术对竹叶青酒中易挥发成分进行富集, 采用气相色谱-质谱联用仪分析得到 65 种风味物质, D-柠檬

烯、丁香酚、石竹烯、樟脑、龙脑、茨烯、乙酸龙脑酯、 α -檀香醇、古巴烯等, 和本研究结果大体一致。其中主要物质有三种: 酯类、醇类、醛类, 下面以这三种为对象, 分析纳米复合材料包装设计对竹叶青酒挥发性风味物质的影响。

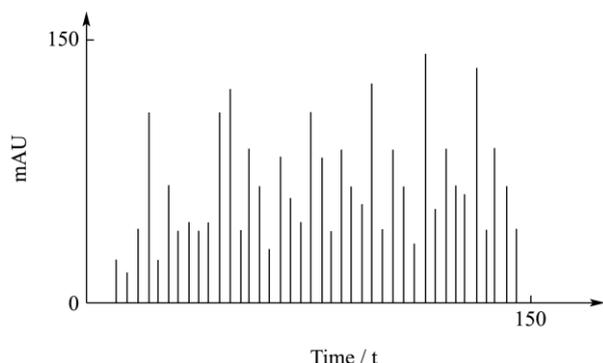


图1 包装前竹叶青酒中酯类挥发性物质风味物质色谱图

Fig.1 Chromatogram of volatile compounds in esters of Zhuyeqing Liquor in packaging before packaging

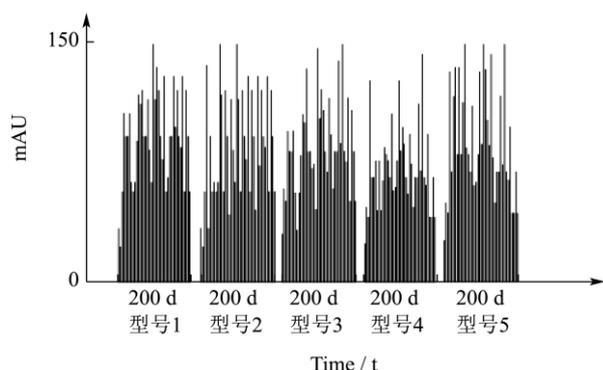


图2 包装200天后竹叶青酒中酯类挥发性物质风味物质色谱图

Fig.2 Chromatogram of volatile substances in esters of Zhuyeqing liquor in 200-day packaging

比较图2中200 d后竹叶青酒中酯类挥发性物质风味物质色谱图与图1包装前物质色谱图, 得到不同型号包装前后竹叶清酒中酯类挥发性风味物质的色谱图相似匹配度如下表3所示。从表3中可以看出, 与包装前的色谱图对比, 5种型号的纳米复合材料包装均能较好的保持竹叶清酒中酯类挥发性风味物质, 但具体效果不同。相同研究如孙世旭等^[12]制备纳米抗菌包装材料延缓白莲藕风味物质劣变, 其分别包装在普通包装材料与纳米抗菌包装材料中, 通过电子鼻、气相色谱-质谱分析纳米抗菌包装材料对白莲藕中酯类挥发性风味物质产生较好的保留效果。

其中纳米复合材料包装型号5与图1色谱图相似匹配度最低, 仅为79.87%; 纳米复合材料包装型号2与图1色谱图的相似匹配度是最高的, 其数值为95.68%, 说明塑料粒子和纳米母粒按照质量比例为75:5的比例设计的纳米复合材料包装袋, 最能保证竹

叶青酒中酯类风味物质, 从而减少挥发, 塑料粒子和纳米母粒偏离这一比例设计的包装均造成不同程度的挥发性风味物质损失。

表3 不同型号包装前后竹叶清酒中酯类挥发性风味物质色谱图相似匹配度

Table 3 Chromatogram similarity matching of ester volatile flavors in Zhuyeqing liquor before and after different types of packaging

型号	1	2	3	4	5
相似匹配度%	90.85	95.68	88.78	90.12	79.87

2.2 纳米材料包装对竹叶青酒醇类挥发性物质影响

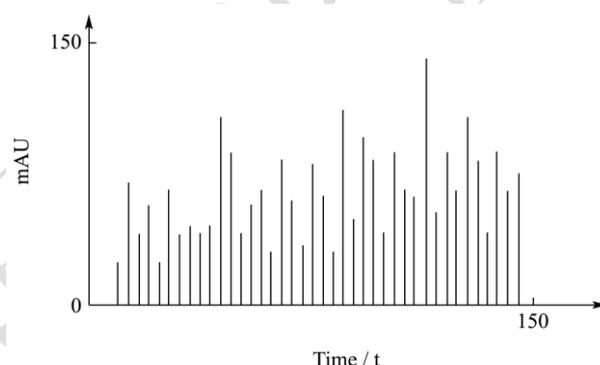


图3 包装前竹叶青酒中醇类挥发性物质风味物质色谱图

Fig.3 Chromatogram of flavors of alcohol volatiles in Zhuyeqing liquor before packaging

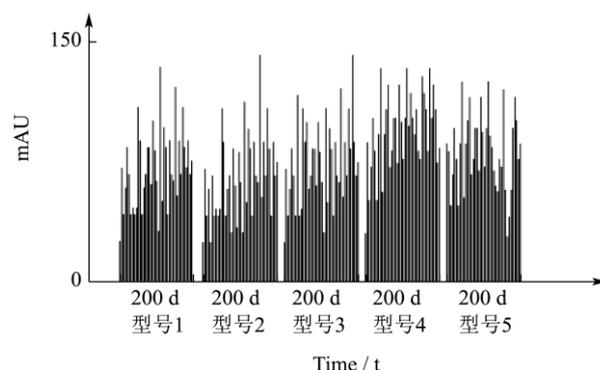


图4 包装200d后竹叶青酒中醇类挥发性物质风味物质色谱图

Fig.4 Chromatogram of flavors of alcohol volatiles in Zhuyeqing Liquor after 200 d of packaging

将图4中200 d后竹叶青酒中醇类挥发性物质风味物质色谱图与图3包装前物质色谱图进行比较, 得到不同型号包装前后竹叶清酒中醇类挥发性风味物质的色谱图相似匹配度如下表4所示。从表4中可以看出, 与包装前的色谱图对比, 5种型号的纳米复合材料包装均能较好的保持竹叶清酒中醇类挥发性风味物质, 但具体效果也不同。其验证结果也在宋益娟等^[13]

研究一致, 纳米包装材料能较好地保持酱鸭的风味, 降低鸭肉腌制后产生的醇类挥发性风味物质产生, 与普通聚乙烯包装材料相比纳米包装材料对酱鸭的保鲜效果较好。

与 2.1 结果类似, 仍是纳米复合材料包装型号 2 与图 3 的相似匹配度最高, 其数值为 96.14%; 其次是纳米复合材料包装型号 3, 其数值为 90.41%, 这说明塑料粒子和纳米母粒按照质量比例为 75:5 的比例设计的纳米复合材料包装装最能减少醇类风味物质挥发, 且越靠近这一比例, 作用越好, 越能保持较低的膜透性, 防止竹叶清酒发生劣变, 纳米复合材料包装可有效的把控竹叶青酒产品贮藏期间的品质。

表 4 不同型号包装前后竹叶清酒中醇类挥发性风味物质色谱图相似匹配度

Table 4 Chromatogram similarity of alcohol volatile flavors in Zhuyeqing liquor before and after different types of packaging

型号	1	2	3	4	5
相似匹配度%	88.6	96.14	90.41	88.23	87.92

2.3 纳米材料包装对竹叶青酒醛类挥发性物质影响

将图 6 中 200 d 后竹叶青酒中醛类挥发性物质风味物质色谱图与图 5 包装前物质色谱图进行比较, 得到不同型号包装前后竹叶清酒中酯类挥发性风味物质的色谱图相似匹配度如下表 5 所示。从表 5 中可以看出, 与包装前的色谱图对比, 5 种型号的纳米复合材料包装均能较好的保持竹叶清酒中醛类挥发性风味物质, 但具体效果同样也不同。李红梅^[14]报道了在草莓、冬枣的储藏保鲜实验研究中, 纳米包装材料比普通包装材料(聚乙烯材料)对其的营养成分(醛类、酯类风味物质)能较好的保存, 与本研究结果一致。

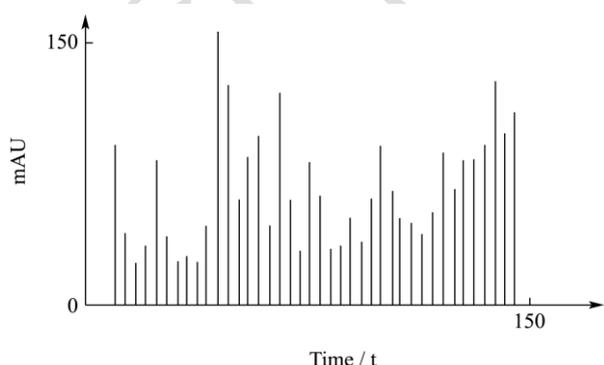


图 5 包装前竹叶青酒中醛类挥发性物质风味物质色谱图
Fig.5 Chromatogram of flavors of aldehyde volatile substances in Zhuyeqing liquor before packaging

其具体对比结果与上述 2.1 和 2.2 结果保持一致,

在纳米复合材料包装型号 2 保存下, 其数值为 97.47%, 相似匹配度最高, 说明竹叶青酒的醛类挥发性风味物质挥发的最少, 更能保证其绵甜清醇的口感。综上所述, 竹叶青酒中含有醇类、酚类和酯类三种挥发性风味物质是其主要香味成分, 决定了竹叶青酒的气味, 也是衡量酒质量的重要指标之一, 纳米复合材料包装可有效减少挥发作用, 维持较低的膜透性, 一定程度上保证竹叶清酒的品质。

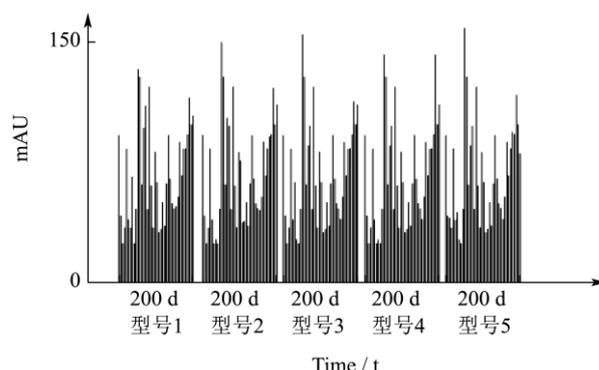


图 6 包装 200 d 后竹叶青酒中醛类挥发性物质风味物质色谱图
Fig.6 Chromatogram of flavors of aldehyde volatile substances in Zhuyeqing liquor after 200 days of packaging

表 5 不同型号包装前后竹叶清酒中醇类挥发性风味物质色谱图相似匹配度

Table 5 Chromatogram similarity of alcohol volatile flavors in Zhuyeqing Liquor before and after different types of packaging

型号	1	2	3	4	5
相似匹配度%	91.56	97.47	90.54	87.22	72.37

3 结论

本试验研制了一种塑料粒子和纳米母粒按照质量比例为 75:5 的比例设计的纳米复合材料包装袋, 此种纳米材料纳米粒子分布均匀, 具有最佳的保持竹叶清酒挥发性风味物质的效果; 研究纳米复合材料包装对竹叶青酒挥发性风味物质的影响, 结果表明, 与包装前竹叶青酒对比, 纳米复合材料包装可有效减少竹叶青酒中风味物质的挥发; 与其包装前色谱图相似匹配度相比, 包装 200 d 后, 型号“2”的纳米复合材料内的竹叶清酒酯类、醇类、醛类三种风味物质最高, 分别为 95.68%、96.14%、97.47%。纳米复合材料有效保持了竹叶清酒在贮藏过程中的挥发性风味物质, 维持了较低的膜透性, 从而延缓了竹叶清酒的质变。为控制竹叶青酒类产品质量提供了一定的理论依据。

参考文献

[1] 刘国华,汪蕾,张军翔.遮光处理对干红葡萄酒挥发性风味物质的影响[J].安徽农业科学,2017,45(3):92-94

- LIU Guo-hua, WANG Lei, ZHANG Jun-xiang. Effects of shading on volatile flavor compounds in dry red wine [J]. *Anhui Agricultural Science*, 2017, 45(3): 92-94
- [2] 赵冰,李素,张顺亮,等.保鲜方式对冷鲜猪肉挥发性风味物质的影响[J].*肉类研究*,2017,31(2):51-56
- ZHAO Bing, LI Su, ZHANG Shun-liang, et al. Effects of preservation methods on volatile flavor compounds in chilled pork [J]. *Meat Research*, 2017, 31(2): 51-56
- [3] 何依谣,张萍,高德.纳米复合材料在食品包装中的应用及研究现状[J].*化工新型材料*,2018,1:196-199
- HE Yi-yao, ZHANG Ping, GAO De. Application and research status of nanocomposites in food packaging [J]. *New Chemical Materials*, 2018, 1: 196-199
- [4] 张亚楠,孙宝国,孙金沅,等.11种保健酒中挥发性成分的分析[J].*食品科学*,2016,37(16):106-111
- ZHANG Ya-nan, SUN Bao-guo, SUN Jin-yuan, et al. Analysis of volatile compounds in 11 kinds of health wines [J]. *Food Science*, 2016, 37(16): 106-111
- [5] 郑校先,俞剑葵,冉宇舟,等.白酒“塑化剂”食品安全风波分析及白酒包装材料问题[J].*酿酒科技*,2013,10:62-64
- ZHENG Xiao-xian, YU Jian-shen, RAN Yu-zhou, et al. Analysis of liquor plasticizer incident and discussion on liquor packaging materials [J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2013, 10: 62-64
- [6] 蒋圆,丁长坤,张晗,等. PET/MWNT/CB 纳米复合材料制备与性能研究[J].*功能材料*,2017,48(7):7041-7044
- JIANG Yuan, DING Chang-kun, ZHANG Han, et al. Study on the preparation and properties of PET/MWNT/CB nanocomposites [J]. *Functional materials*, 2017, 48 (7): 7041-7044
- [7] 郑瑾,张振亚,王龙,等.原位聚合 PA66/SiO₂ 纳米复合材料制备及其性能研究[J].*郑州大学学报(工学版)*,2017,38(1): 83-86
- ZHENG Jin, ZHANG Zhen-ya, WANG Long, et al. Preparation and properties of PA66/ SiO₂ nanocomposites prepared by in-situ polymerization [J]. *Journal of Zhengzhou University (Engineering Edition)*, 2017, 38 (1): 83-86
- [8] 潘宏伟,周鸿立.植物中挥发性风味物质提取工艺及组分分析研究进展[J].*吉林化工学院学报*,2018,35(3):7-10
- PAN Hong-wei, ZHOU Hong-li. Advances in extraction technology and component analysis of volatile flavor compounds in plants [J]. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 2018, 35(3): 7-10
- [9] 杨怀荣,田时祎,赵道远,等.利用高效液相色谱仪测定猪乳中乳清蛋白含量的方法及其应用[J].*畜牧与兽医*, 2018, 50(6):19-24
- YANG Huai-rong, TIAN Shi-yi, ZHAO Dao-yuan, et al. Determination of whey protein content in pig milk by high performance liquid chromatography and its application [J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018, 50(6): 19-24
- [10] 王伟.微室-高效液相色谱法测定汽车零部件及材料中醛酮类物质含量的不确定度评定[J].*污染防治技术*,2017,43(5): 84-87
- WANG Wei. Uncertainty evaluation of determination of aldehydes and ketones in automotive parts and materials by micro-chamber-high performance liquid chromatography [J]. *Pollution Control Technology*, 2017, 43(5): 84-87
- [11] 王志娟,张生万,赵景龙,等.竹叶青酒易挥发成分顶空固相微萃取-气相色谱-质谱分析[J].*食品科学*,2014,35(8):253-258
- WANG Zhi-juan, ZHANG Sheng-wan, ZHAO Jing-long, et al. Analysis of volatile compounds in zhuyeqing liquor by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2014, 35(8): 253-258
- [12] 孙世旭,李莉,韩祥稳,等.纳米抗菌包装材料对延缓白莲藕风味品质劣变的影响[J].*食品科学*,2019,40(7):220-226
- SUN Shi-xu, LI Li, HAN Xiang-wen, et al. Effect of nanocomposite antibacterial packaging on preserving flavor quality of white lotus roots [J]. *Food Science*, 2019, 40(7): 220-226
- [13] 宋益娟,关荣发,芮昶,等.纳米包装材料对酱鸭贮藏品质的影响[J].*安徽农业科学*,2012,40(32):15913-15914
- SONG Yi-juan, GUAN Rong-fa, RUI Chang, et al. Effects of nano-packaging on the preservation of sauced duck [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(32): 15913-15914
- [14] 李红梅.食品纳米包装材料的制备及对食品保鲜作用的研究[D].南京:南京农业大学,2008
- LI Hong-mei. Prepare action of nano packing and effect on preservation quality of food [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008