

陶瓷应用于中国典型酿造食品中的研究进展

王晓娜¹ 宗 鸿² 刘 飞² 覃雨佳² 李雨欣² 孙术国²

(1. 佛山大学, 广东 佛山 528000; 2. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004)

摘要:随着陶瓷材料工艺技术不断发展,探索扩大陶瓷在酿造食品中的应用成为新的研究课题。文章介绍了陶瓷的制备以及陶瓷种类,详细阐述了陶瓷应用于酒类、调味品及腌渍品中的研究进展,重点分析了陶瓷对这些典型酿造食品品质影响的可能机制,并总结了陶瓷在酿造食品应用目前面临的挑战。

关键词:陶瓷;酒类;调味品;腌渍品;影响机制

Research progress on the application of ceramics in typical brewing food in China

WANG Xiaona¹ ZONG Hong² LIU Fei² QIN Yujia² LI Yuxin² SUN Shuguo²

(1. Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China; 2. Central South University of Forestry Science and Technology, Changsha, Hunan 410004, China)

Abstract: With the continuous development of ceramic material technology, exploring and expanding the application of ceramics in brewing food has become a new research topic. The article introduces the preparation and types of ceramics and elaborates on the research progress of ceramics in the application of alcoholic beverages, seasonings, and pickled products. It focuses on analyzing the possible mechanisms of the influence of ceramics on the quality of these typical brewed foods and summarizes the current challenges faced by ceramics in the application of brewed foods.

Keywords: ceramic; alcoholic beverages; condiment; pickled products; influence mechanism

陶瓷是陶器和瓷器的统称,因稳定性好、耐腐蚀、易清洁等特点,是人们日常生产生活器具,也是中国非物质文化遗产的重要组成部分。早在新石器时期,就已产生了陶器^[1]。经过漫长的历史发展,庞大的陶瓷造物体系在工匠们代代相传的精湛技艺下逐渐形成。随着时代的发展,陶瓷已被广泛地用于现代食品行业中,研究陶瓷对食品品质影响的文献散见于各类期刊,尤其是陶瓷材料对酿造食品品质及风味的影响尚未得到重视,迄今未有该领域系统综述的文章见诸报道。为进一步阐明陶瓷对食品品质影响的研究现状,研究拟采用文献计量学等方法,对目前陶瓷对白酒、黄酒等酿造食品的品质及口感风味的影响及其机理进行系统阐述,为陶瓷在酿造食品的应用提供理论依据。

1 陶瓷的制备和种类

1.1 陶瓷的制备

广义的陶瓷是指用陶瓷生产方法(原料处理—成型—煅烧)制造的无机非金属固体材料和制品的通称,分为传统陶瓷和新型陶瓷。传统陶瓷的主要原料取之于自然界的硅酸盐矿物(如黏土、长石、石英等)^[2],日常的日用陶瓷制品、建筑卫生陶瓷、化工陶瓷等,都属于传统陶瓷。随着近代科学技术的发展,陶瓷材料的物理和化学性质不断拓展,出现了新的陶瓷品种,如氧化物陶瓷、金属陶瓷等各种新型陶瓷,其仍然采用了传统的陶瓷生产方法,但很少或不再使用黏土等传统陶瓷原料,而是扩大到化工原料,甚至采用非硅酸盐原料,并且出现新的工艺。

无论传统陶瓷还是新型陶瓷,在材料制备之时,会根据产品类型及性能,选择不同的原材料和工艺步骤,例如

基金项目:广东省哲学社会科学规划项目(编号:GD23XYS005);教育部产学研合作协同育人项目(编号:220502377091927);佛山市自筹经费类科技创新项目(编号:2220001005587)

通信作者:王晓娜(1986—),女,佛山大学讲师,硕士。E-mail:404265852@qq.com

收稿日期:2024-01-13 **改回日期:**2024-10-09

制作餐具、茶具等,一般选用石英—方石英—莫来石—玻璃相的长石质瓷坯料,并在坯料中引入 CaO 、 MgO 等,以提高瓷的稳定性、机械强度、白度和透光度。再如,新型陶瓷——氧化物陶瓷中的氧化锆陶瓷,也被称为 ZTA 陶瓷,其熔点和硬度高,耐腐蚀性好,同时具有韧性较强的优势。在制备 ZTA 陶瓷的过程中,主要包含 $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合粉体制备、坯体成型以及烧结等多道工序^[3]。葛兴泽等^[4]将进口的高纯度氧化铝粉末与分析纯的硝酸铜混合,通过滚式球磨法将氧化铝浆料进行真空脱气,加入固化剂,注入模具中,得到了氧化铝的坯体,再经过干燥、排胶和烧结,得到氧化铝陶瓷。刘品乐^[5]以硅酸盐、碳酸盐等自然含盐矿物为载体,无水硫酸铜为铜源,以 HCCu-50 铜系无机抗菌材料为抗菌剂,将其加入到低温透明釉中,经 $1200\text{ }^\circ\text{C}$ 高温烧制,制得抗菌陶瓷。

1.2 陶瓷的种类

根据使用领域不同,传统陶瓷可分为日用陶瓷、建筑卫生陶瓷、化工陶瓷等;新型陶瓷按照性能和用途的不同,可分为结构材料用陶瓷和功能陶瓷;按照其化学组成可分为纯氧化物陶瓷和非氧化物系陶瓷;按照性能与特征可分为高温陶瓷、超硬质陶瓷、高韧陶瓷、半导体陶瓷等。陶瓷在食品加工和贮运过程中应用广泛,其应用陶瓷的种类依据食品加工工艺和品质要求而定,其中酿造食品应用陶瓷装备比较多,然而,现有的文献对陶瓷在酿造食品的应用报道非常有限,特别是陶瓷对酿造食品品质影响机制研究报道方面,缺乏系统性。

2 陶瓷在酿造食品加工中的应用

2.1 陶瓷在酒类中的应用

2.1.1 白酒 从古至今,白酒与陶瓷保持着稳定的同构关系,最初作生活之用的陶瓷成为最早的储酒容器。杨小柏等^[6]研究发现,用不同的陶器(粗陶和细陶)盛同样的酒,其老熟的快慢也各不相同。由于粗陶的烧成温度低于细陶,具有更多更大的气孔和更大的表面积,因此,它的成熟速率更快,但是它的渗透性更强,酒的损失也更大。而细陶却正好相反,它虽然老熟缓慢,但却不会损失太多的酒。后来,人们结合这两种材料的优势,研制出一种具有一定熟化速率和低渗透率的陶瓷器皿。

黄慧芬等^[7]研究表明,用陶制器皿贮藏 6 个月后,新酒的气味显著降低,硫化物以及其他难闻的气味也得到了缓解,同时也减少了燥辣感,味道更加醇厚,甜度也有所增加,这使得酒的陈酿时间大大缩短,加快了白酒的老熟。张爱珍^[8]对不锈钢罐+陶瓷体、不锈钢罐、陶罐 3 种储酒材料进行了研究,发现:用陶罐贮藏后,其酒质有了显著提高,口感更加顺滑、协调,而在不锈钢罐中加入陶瓷片贮藏,其绵柔度和协调性都比不锈钢罐中贮藏的样品要好得多;在添加陶瓷片的不锈钢桶中进行酒的贮藏,可

以极大地提高酒的品质,同时也能够很好地弥补不锈钢罐不适合长期贮藏的缺点。因此,在实际的生产中,这种方法可以用来贮藏中档产品,避免了陶缸贮藏的场地限制、酒损较高等问题,从而起到降低成本的作用。

目前,虽然许多中大型酒厂在逐步采用不锈钢储酒容器,但高档型白酒(如茅台、五粮液)生产大多仍在使用陶瓷储酒容器。不锈钢容器虽然比陶制容器拥有更好的密封性,能够减少酒精的损耗,但是缺乏透气性也会减缓白酒老熟的进程^[9]。郭文杰等^[10]通过研究发现,采用陶制容器存放白酒有一个明显的特点:白酒在贮藏过程中可以大大降低乳酸乙酯的含量,有利于突出浓香型大曲酒的窖味。贺叶琴等^[11-12]分别用火焰原子吸收光谱法、石墨炉原子吸收光谱法和原子荧光分光光度法,测定了新酒中金属元素的含量,并分别对黑陶罐、红陶罐和不锈钢罐中的金属元素进行了定量分析。研究发现,红陶罐贮藏的酒中具有催化作用的金属元素含量较高,适合短期贮藏新酒,而黑陶罐中利于口感和催陈的金属元素含量比较适中,适合长期贮藏老酒,且两者对加快白酒陈化进程的作用均大于不锈钢容器。

由于陶瓷容器的表面结构是空隙网状结构,具有较大的表面积,增加了氧化作用和吸附作用^[6],而且陶瓷容器还具有透气特性。在贮藏过程中,氧气从空气中渗透到白酒中,与白酒中的耗氧达到动态平衡,使白酒中的溶解氧含量保持在一定水平,加速了氧化反应^[13-14]。张树平等^[15]研究发现,贮藏在陶坛和不锈钢容器中的酒体总酯含量随着贮藏时间的延长而降低。陶坛贮藏的酒体总酯减少百分率小于不锈钢贮藏的,如果需要长期贮酒,陶坛更具优势。刘丽丽等^[16]研究了容器材质对酒体中香气物质含量的影响,结果表明,用陶制容器进行贮酒时,酒体中的香气物质含量要优于不锈钢容器贮藏的。严伟等^[17]通过对陶罐贮藏和不锈钢罐贮藏的对比研究,发现两种贮藏方法的总酸和总酯的变化基本相似,但酒体中主要痕量成分的变化却有显著差异。陶罐贮藏的原酒乳酸和乙酸增加较多,不锈钢罐贮藏的原酒乳酸和醋酸略有增加,而在酯类方面,几种主要酯在贮藏过程中有所下降,不锈钢罐中的下降相对较慢。任成民等^[18]研究发现陶制容器贮藏的酒要优于不锈钢容器贮藏的。由于陶瓷材料中的分子间距大于不锈钢材料中的,即陶坛具有一定的透气性,所以贮藏在陶瓷罐中的酒通过坛壁的微孔呼吸,微量的氧气促进了酒的氧化老熟。而不锈钢容器由于分子间排列紧密,透气性差,没有外部氧来加快酒的氧化老熟,且基本没有钾、铜等促进新酒陈化的金属元素,导致新酒老熟缓慢,缺乏陈年风味。

2.1.2 黄酒 黄酒具有比啤酒更高的营养价值,适当饮用黄酒可以延缓脑组织老化^[19]。用于黄酒贮藏和陈酿的

容器,通常有陶坛、碳钢罐、不锈钢罐等。其中,陶坛陈酿效果最佳,酒质最好^[20]。曾俊鹏等^[21]研究了不同生产工艺及配方的陶瓷酒瓶对黄酒品质的影响,结果表明,在高温下烧制的陶瓷酒瓶对黄酒贮藏更有利,无内釉的陶瓷酒瓶对黄酒的酒精度、总酸度有一定的影响,外釉对黄酒质量则无影响。随着贮藏时间的增加,黄酒中的乙醇浓度、铅浓度均呈降低趋势,而总酸、镉则基本不变,pH值呈先降低后升高的趋势。

2.1.3 葡萄酒 通常情况下,葡萄酒都是通过发酵生产的,但发酵后的葡萄酒还需要陈酿才能获得良好的口感。在陈酿的过程中,葡萄酒将经历氧化、聚合及共色等反应,陈酿后的葡萄酒在颜色、香味及口感上会有不同程度的改变^[22-24]。色泽是红葡萄酒重要的感官特性,直接关系到成品酒的质量和顾客对酒的评价^[25]。贮酒容器是葡萄酒陈酿过程中的一个重要环节,它直接关系到葡萄酒的色泽、口感和风味。不同的贮藏容器,因制作材料的不同,其与花色苷发生物理、化学作用也有差异,从而造成色泽的变化。在橡木桶中陈酿,橡木中的酚类化合物与花色苷发生反应,有利于葡萄酒颜色的稳定,所以,现在的葡萄酒贮藏容器主要为橡木桶。但橡木桶的成本高,同样能够提供微氧环境的陶罐可以取代橡木桶成为葡萄酒的贮藏容器^[26-30]。孙文静等^[31]以贺兰山东麓“赤霞珠”干红葡萄酒为研究对象,以无釉陶罐、老橡木桶和微氧气罐为陈酿容器,对其基本电化学参数、理化指标及香味风味进行研究,结果显示,3种不同陈酿容器中,无釉陶罐溶氧量、氧化还原电势均偏低,且变化平稳,表现出更加稳定的微氧特性,与老橡木桶相比,其挥发性成分明显降低;且在陈酿过程中,无釉陶罐表现出相对较好的颜色稳定性。综合看来,无釉陶罐具有良好的微氧特性,对葡萄酒品质调控更加稳定,可以用作红葡萄酒陈酿的容器,供生产使用。Baiano等^[32]研究发现,陶罐陈酿可以改善和增强葡萄酒的风味,还可提高色泽的稳定性。

2.1.4 陶瓷影响酒类品质的可能机理 基于文献报道及作者研究,推断分析陶瓷影响酒类食品的品质机理如图1所示。陶瓷对酒类食品品质的影响来自3个方面作用:①氧化作用。这得益于陶瓷具有一定透气特性,酒类在贮藏过程中,氧气从空气渗透到陶瓷中,与酒的耗氧达到动态平衡,加速了氧化反应,促使酒体中醛类物质氧化成酸类物质,降低了酒体中能产生辛辣、导致头痛的醛类含量,使酒体变得柔和、不上头。②催化作用。陶瓷含有一定金属离子,譬如 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 K^{+} 等,这些离子催化酒体中酸类与醇类发生酯化反应,产生酯类物质,酯类物质是酒体放香的主体成分,酒体中酯类物质在一定范围内含量越高,酒体越呈现果实气味或独特芳香气味,因此表现出的气味特征较强,这就是只用陶瓷才能生产高端酒的原因。③吸附作用。陶瓷具有一定的气孔和较大的表面

积,对于酿酒产生的丙烯醛、硫醇、乙硫醚等难闻的气味具有一定吸附作用,从而促进陶罐陈化的酒更加顺滑、协调。

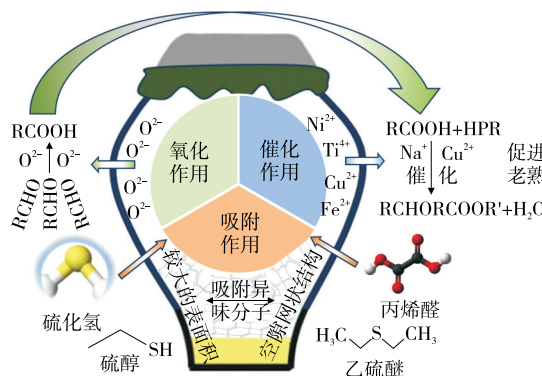


图1 陶瓷对酒类食品品质影响的可能机制

Figure 1 Possible mechanism of the effect of ceramics on the quality of alcoholic food

2.2 陶瓷在酿造调味品及腌渍品中的应用

日本岐阜大学的学者利用生物技术对酱油进行了快速发酵,以陶瓷作为微生物固定化载体,将第一批酱油酵母放在第二反应器中,将高温下被曲霉热解的大豆和乳酸菌一起进行发酵,在第一和第二反应器中进行二次发酵,仅用二三周的时间就可以生产出具有传统风味的酱油^[33]。邢连华等^[34]发现,清代醋缸酿造陈醋与现代醋缸酿制的陈醋相比,其香气物质构成存在着明显的差别,说明在清代醋缸中已经形成了一种独特的香型系统。该研究有助于深入了解历史延续下来的陈酿醋缸这一宝贵资源,并在将来有可能为食醋酿造工艺的改造作出贡献。翟亚君等^[35]对巴蜀腌菜的品质和味道进行了研究,认为腌菜坛子是影响其品质和味道的重要因素。在综合了陶缸、陶瓮和陶罐等器皿的特性后,陶制腌渍罐逐步发展成为一种具有较好发酵条件的容器,如果合理使用,不仅可以使腌渍品的酸味得到显著提升,还能提高腌渍品的产量。

基于文献报道及作者研究,推断分析陶瓷对酿造调味品食品品质影响如图2、图3所示。利用陶瓷制备调味品,可以避光、透气、阻隔陶瓷周边环境杂菌的侵入,确保食品原料在比较恒定的温湿度条件下发酵,食品原料中蛋白质和淀粉在相应的微生物蛋白酶和淀粉酶的作用下,分解成呈味肽、氨基酸和小分子糖类,形成酿造调味品特有的风味。

3 陶瓷对酿造食品品质影响的不利因素

陶瓷的制作原料和工艺条件,会直接影响陶瓷的使用效果,譬如制作陶瓷的黏土含有一定量的锌、铅、镉、镍等重金属元素,当这些金属元素含量超过一定范围时,用其制作的陶瓷用于贮藏酒类,可能导致酒变苦,口感变

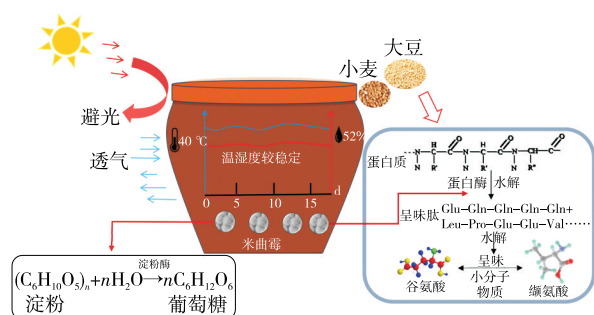


图2 陶瓷对酿造调味品品质影响的可能机制

Figure 2 Possible mechanism of the effect of ceramics on the quality of brewing condiment

差^[36]。为提升陶瓷材料的阻隔性能,降低其气孔率,增强强度与耐腐蚀性,通常在陶瓷表面施一层包含多种重金属氧化物(如铅、镉、铬、锑、钴、镍、锌、铜、钡等)的釉层。然而,若釉料的配方比例不合适,或烧结温度不够,会导致釉层中的元素无法充分熔融并被二氧化硅构成的玻璃网络结构所包裹。在此情况下,陶瓷制品会残留不同浓度的金属元素,釉层中所含的金属元素,尤其是重金属元素,对人体均存在不同程度的潜在毒性^[37-39]。在与食物接触时,食物会与釉面产生离子交换、溶解、吸附等作用,而釉面受到侵蚀时,还会有重金属如铅、镉等释放出来,这些物质可能会迁移到食品中,这对食品的卫生 and 安全性有直接的影响^[40]。

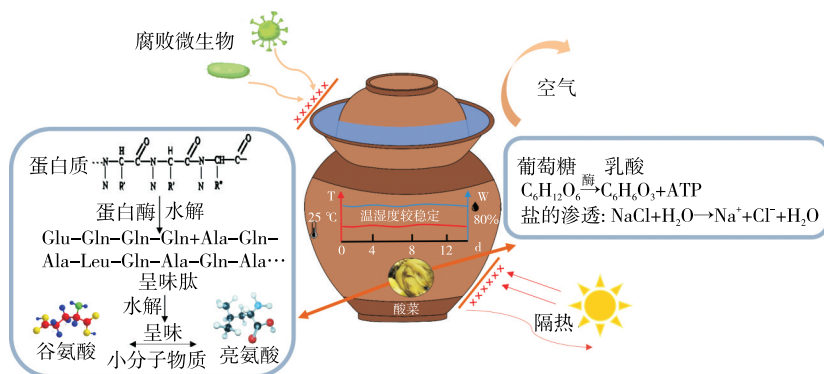


图3 陶瓷对酿造腌渍品品质影响的可能机制

Figure 3 Possible mechanism of the effect of ceramics on the quality of brewed pickled food

4 陶瓷在酿造食品中应用展望

目前陶瓷已经在食品包装设计与贮藏中得到广泛应用,尤其用于酒产品的贮藏老熟。但是由于陶瓷其特有的结构,在食品贮藏中还存在一些风险。例如,因其截面粗糙、不透光,且有致密的微孔隙网络,使其具有较强的渗透能力,若长时间贮藏,可能会出现微弱渗漏。除此之外,虽然陶瓷中的金属离子有一定的催化作用,可以加快反应速度从而促进酒的老熟。但是在制作陶瓷过程中,选用低含量锌、铅、镉、镍等重金属元素的黏土作为原料,可以减少陶瓷对酿造食品的安全隐患。同时,在陶器烧制过程中可以适当提高烧结温度,提高釉料中的釉含量,尽可能降低釉层的渗透率,尽量减少釉面的缺陷。也可以通过改变陶瓷釉料成分比例和减少釉层厚度来减少重金属溶出。但是,釉层越薄对制作工艺要求越严格,未来仍需要花大量的精力去研究,以探索更好、更有利于酿造食品贮藏加工的陶瓷制品。

参考文献

[1] 中国硅酸盐学会. 中国陶瓷史[M]. 北京: 文物出版社, 1982: 1-2.

The Chinese Silicate Society. History of Chinese ceramics[M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 1982: 1-2.

[2] 李家驹. 日用陶瓷工艺学[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 1992: 1-3.

LI J J. Daily ceramic technology[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 1992: 1-3.

[3] 朱琳琳, 石双林, 王洁. 氧化锆增韧氧化铝陶瓷的研究进展[J]. 佛山陶瓷, 2023, 33(9): 6-8.

ZHU L L, SHI S L, WANG J. Research progress on zirconia toughened alumina ceramics[J]. Foshan Ceramics, 2023, 33(9): 6-8.

[4] 葛兴泽, 葛琦, 张洪波, 等. La_2O_3 增强高性能氧化铝陶瓷制备工艺研究[J]. 江苏陶瓷, 2018, 51(6): 10-13.

GE X Z, GE Q, ZHANG H B, et al. Research on the preparation process of La_2O_3 reinforced high-performance alumina ceramics [J]. Jiangsu Ceramics, 2018, 51(6): 10-13.

[5] 刘品乐. 铜类无机抗菌材料的制备及抗菌陶瓷的开发[D]. 南昌: 南昌大学, 2023: 14-64.

LIU P L. Preparation of copper based inorganic antibacterial materials and development of antibacterial ceramics[D]. Nanchang: Nanchang University, 2023: 14-64.

[6] 杨小柏, 赵元森, 刘永贵. 陶瓷容器贮酒机理剖析[J]. 酿酒科技, 2001(3): 39-40.

- YANG X B, ZHAO Y S, LIU Y G. Analysis of the mechanism of ceramic container wine storage[J]. *Brewing Technology*, 2001 (3): 39-40.
- [7] 黄慧芬, 刘俊, 吴小霞, 等. 陶瓷容器贮酒与酒体品质的关联性研究[J]. *酿酒科技*, 2018(6): 65-71.
- HUANG H F, LIU J, WU X X, et al. Research on the correlation between ceramic container storage of wine and wine body quality[J]. *Brewing Technology*, 2018(6): 65-71.
- [8] 张爱珍. 陶瓷体在汾酒老熟应用中的影响研究[J]. *食品工程*, 2022(1): 66-70.
- ZHANG A Z. Study on the influence of ceramic body on the mature application of Fenjiu[J]. *Food Engineering*, 2022(1): 66-70.
- [9] 蒋茂林, 胡新军, 雷裕, 等. 白酒老熟研究进展[J]. *中国酿造*, 2022, 41(5): 13-17.
- JIANG M L, HU X J, LEI Y, et al. Research progress on aging of Baijiu[J]. *Chinese Brewing*, 2022, 41(5): 13-17.
- [10] 郭文杰, 卢建春, 吕朝贵, 等. 白酒的陈化、老熟与容器和时间关系: 不同容器对白酒质量的影响[J]. *酿酒科技*, 2001(6): 53-55.
- GUO W J, LU J C, LU C G, et al. The relationship between aging and aging of Baijiu and containers and time: the influence of different containers on the quality of Baijiu [J]. *Brewing Technology*, 2001(6): 53-55.
- [11] 贺叶琴, 王兰, 王茜, 等. 金属元素在汾酒中的作用及应用研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(11): 124-130.
- HE Y Q, WANG L, WANG Q, et al. Study on the function and application of metal elements in Fenjiu[J]. *Food Science*, 2009, 30(11): 124-130.
- [12] 井维鑫, 贺叶琴, 王茜, 等. 不同贮酒器盛酒瓶及贮存年代的汾酒中金属元素含量变化[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(5): 50-55.
- JING W X, HE Y Q, WANG Q, et al. Changes of metal elements in Fenjiu in different wine storage bottles and storage years[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2011, 37(5): 50-55.
- [13] 李维新, 黄飞, 何志刚, 等. 陶缸贮藏红曲黄酒的溶氧水平及其陈酿效果[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(19): 166-169.
- LI W X, HUANG F, HE Z G, et al. Dissolved oxygen level and aging effect of red koji yellow rice wine stored in pottery vat[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2016, 37(19): 166-169.
- [14] 李维新, 何志刚, 林晓婕, 等. 黄酒陈酿用陶缸的透氧模型建立[J]. *福建农业学报*, 2016, 31(3): 285-288.
- LI W X, HE Z G, LIN X J, et al. Establishment of oxygen permeability model of pottery vat for aging of yellow rice wine [J]. *Fujian Journal of Agriculture*, 2016, 31(3): 285-288.
- [15] 张树平, 蒲吉洲, 文静, 等. 不同贮存容器对酒体风味成分的影响研究[J]. *酿酒科技*, 2021(7): 65-69.
- ZHANG S P, PU J Z, WEN J, et al. Study on the effect of different storage containers on wine flavor components[J]. *Brewing Technology*, 2021(7): 65-69.
- [16] 刘丽丽, 杨辉, 荆雄, 等. 不同贮酒容器对凤香型白酒风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(16): 285-293.
- LIU L L, YANG H, JING X, et al. Effects of different liquor storage containers on flavor substances of Feng zhou-flavor liquor[J]. *Food Science*, 2022, 43(16): 285-293.
- [17] 严伟, 刘建文, 吴生文, 等. 特香型白酒在不同容器贮存过程中的变化规律研究[J]. *酿酒*, 2013(2): 31-34.
- YAN W, LIU J W, WU S W, et al. Study on the change rule of special flavor Baijiu during storage in different containers[J]. *Brewing*, 2013(2): 31-34.
- [18] 任成民, 武金华. 不同容器贮酒老熟期的探讨[J]. *酿酒科技*, 2005(9): 40-42.
- REN C M, WU J H. Discussion on the aging period of wine storage in different containers[J]. *Brewing Technology*, 2005 (9): 40-42.
- [19] 杨国军. 中国黄酒业调研报告[J]. *中国酿造*, 2005(4): 1-5.
- YANG G J. Investigation report of yellow rice wine industry in China[J]. *Brewed in China*, 2005(4): 1-5.
- [20] 王旭亮, 胡健, 吴苗叶, 等. 黄酒陶坛陈酿过程中乙醇含量变化研究[J]. *酿酒科技*, 2019(5): 51-54, 60.
- WANG X L, HU J, WU M Y, et al. Study on the change of ethanol content in the aging process of yellow rice wine in pottery altar[J]. *Brewing Science and Technology*, 2019(5): 51-54, 60.
- [21] 曾俊鹏, 邹古月, 阮亮, 等. 不同工艺和配方陶瓷酒瓶对白酒、黄酒品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(6): 234-245.
- ZENG J P, ZOU G Y, RUAN L, et al. Effects of different processes and formulations of ceramic wine bottles on the quality of liquor and yellow rice wine[J]. *Chinese Journal of Food*, 2020, 20(6): 234-245.
- [22] CARPENA M, PEREIRA A G, PRIETO M A, et al. Wine aging technology: fundamental role of wood barrels[J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1 160.
- [23] 李辉. 贺兰山东麓赤霞珠干红葡萄酒陈酿特性的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2018: 46.
- LI H. Study on the aging characteristics of cabernet sauvignon dry red wine at the eastern foot of Helan mountain[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018: 46.
- [24] POIANA M A, MOIGRADEAN D, RABA D, et al. The ageing influence on the chromatic and antioxidant characteristics of red wines[C]// International Symposium on Agricultural Engineering "Actual Tasks Agricultural Engineering". Opatija: AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2008: 441-449.
- [25] BIMPILAS A, PANAGOPOULOU M, TSIMOGIANNIS D, et al. Anthocyanin copigmentation and color of wine: the effect of naturally obtained hydroxycinnamic acids as cofactors[J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 39-46.
- [26] 王辰汇, 侯俊, 沈立群, 等. 陶坛储存对红葡萄酒颜色的影响

- [J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(13): 100-108.
- WANG C H, HOU J, SHEN L Q, et al. Effect of pottery storage on the color of red wine[J]. Food and fermentation Industry, 2023, 49(13): 100-108.
- [27] DE FREITAS V A P, FERNANDES A, OLIVEIRA J, et al. A review of the current knowledge of red wine colour[J]. OENO One, 2017, 51(1): 1 604.
- [28] OLIVEIRA J, MATEUS N, DE FREITAS V. Wine-inspired chemistry: anthocyanin transformations for a portfolio of natural colors[J]. Synlett, 2017, 28(8): 898-906.
- [29] ATANASOVA V, FULCRAND H, CHEYNIER V, et al. Effect of oxygenation on polyphenol changes occurring in the course of wine-making[J]. Analytica Chimica Acta, 2002, 458(1): 15-27.
- [30] 祝成, 左可成, 管莹, 等. 不同产地陶缸对白酒陈酿过程的影响研究[J]. 酿酒科技, 2022(10): 71-75.
- ZHU C, ZUO K C, GUAN Y, et al. Study on the influence of pottery jars from different producing areas on the aging process of Baijiu[J]. Brewing Science and Technology, 2022 (10): 71-75.
- [31] 孙文静, 吴明, 张众, 等. 无釉陶罐陈酿对贺兰山东麓‘赤霞珠’干红葡萄酒的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(1): 60-66.
- SUN W J, WU M, ZHANG Z, et al. Effect of non-glazed pottery pot aging on 'Cabernet Sauvignon' dry red wine at the eastern foot of Helan mountain[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(1): 60-66.
- [32] BAIANO A, VARVA G, GIANNI A D, et al. Influence of type of amphora on physicochemical properties and antioxidant capacity of 'Falanghina' white wines[J]. Food Chem, 2014, 146 (3): 226-233.
- [33] 小辰. 日本开发出酱油快速发酵生产技术[J]. 江苏食品与发酵, 2003(2): 39.
- XIAO C. Rapid fermentation technology of soy sauce was developed in Japan[J]. Jiangsu Food and Fermentation, 2003 (2): 39.
- [34] 邢连华, 于璐, 魏泉增, 等. 清代醋缸酿造陈醋的香味物质的比较研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(9): 32-37.
- XING L H, YU L, WEI Q Z, et al. A comparative study on the aroma substances of aged vinegar brewed in vinegar vats in Qing dynasty[J]. Brewed in China, 2013, 32(9): 32-37.
- [35] 翟亚君, 詹嘉, 喻承昊. 明清时期巴蜀泡菜及其陶瓷泡菜坛探析[J]. 四川旅游学院学报, 2022(6): 6-10.
- ZHAI Y J, ZHAN J, YU C H. Analysis of Bashu kimchi and its ceramic kimchi in Ming and Qing dynasties[J]. Journal of Sichuan Tourism University, 2022(6): 6-10.
- [36] 刘沛龙, 唐万裕, 练顺才, 等. 白酒中金属元素的测定及其与酒质的关系(下)[J]. 酿酒科技, 1998(1): 20-27.
- LIU P L, TANG W Y, LIAN S C, et al. Determination of metal elements in liquor and its relationship with liquor quality (II) [J]. Brewing Science and Technology, 1998(1): 20-27.
- [37] PAPANIKOLAOU N C, HATZIDAKI E G, BELIVANIS S, et al. Lead toxicity update: a brief review[J]. Medical Science Monitor, 2005, 11(10): A329-A336.
- [38] GODT J, SCHEIDIG F, GROSSE-SIESTRUP C, et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health[J]. Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 2006, 1 (22): 1-6.
- [39] BREWER G J. Alzheimer's disease causation by copper toxicity and treatment with zinc[J]. Front Aging Neurosci, 2014, 6(2): 92.
- [40] 董占华. 陶瓷食品包装材料中重金属有害物的迁移试验与理论研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 91-92.
- DONG Z H. Experimental and theoretical study on the migration of heavy metal from ceramic food packaging materials[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 91-92.