

葡萄酒人工催陈技术研究进展

战吉成^{1,2} 马婷婷³ 黄卫东^{1,2} 孙翔宇^{1,2}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 北京市葡萄科学与酿酒技术重点实验室, 北京 100083;
3. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 西安 710062)

摘要: 陈酿是高品质葡萄酒生产的重要环节。在传统的酿造工艺中,橡木桶陈酿是葡萄酒催陈熟化的主要方式,也称为自然陈酿。橡木桶对葡萄酒的香气、颜色、稳定性和澄清度都有非常重要的作用,然而,自然陈酿所需周期长,成本高,严重影响并制约了企业的生产能力和经济效应。因此,在稳步提高并保证葡萄酒品质的前提下,采用人工催陈技术来缩短葡萄酒的陈酿时间、改善葡萄酒品质、降低生产成本成为近些年的研究热点。本文综述了国内外现有的葡萄酒人工催陈技术,如微氧催陈、橡木制品催陈、超高压催陈、电磁场催陈、辐射催陈等,分析了每种技术在葡萄酒陈化过程中对酒品质的影响,比较了不同催陈技术的优缺点并对未来葡萄酒人工催陈技术的前景做了探讨分析。

关键词: 葡萄酒; 陈酿; 人工催陈

中图分类号: TS261.4; TS262.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)03-0186-14

Research Progress of Artificial Ageing Technologies of Wine

Zhan Jicheng^{1,2} Ma Tingting³ Huang Weidong^{1,2} Sun Xiangyu^{1,2}

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Beijing Key Laboratory of Viticulture and Enology, Beijing 100083, China
3. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Wine ageing is an important process to produce high-quality wines. Traditionally, wines are aged in oak barrel ageing systems. Oak barrel has important roles on the aroma component, color, stability and clarification of wines, however, due to several disadvantages of barrel ageing technology, including the high cost of oak barrel, the long ageing time required and the large space taken up by barrels, which seriously affect and restrict the production capacity and economic benefit of the enterprise. Therefore, on the premise of guarantee the quality of wine, using the artificial ageing technology to shorten the aging time, improve wine quality and reduce production costs become a hot area of research in recent years. This paper reviews recent developments of the artificial ageing technologies of wine, such as treating the wine with micro-oxygenation, oak products, high hydrostatic pressure, magnetic field, irradiation, etc. The impacts of each technology on wine quality during ageing were analyzed, and comparisons among these artificial ageing technologies were made. Furthermore, several strategies to produce high-quality wines in a short ageing period were also proposed.

Key words: wine; ageing process; artificial ageing technologies

引言

葡萄酒是处于不断变化过程中的有机体,需要

经历一个成长期、壮年期、衰老期和死亡期的过程。刚发酵结束后的葡萄原酒,酒体多粗糙、酸涩,酒液浑浊暗淡、稳定性差,需经过一定的贮藏期进行氧化

还原、酯化、缩合、聚合等反应来达到最佳饮用质量，该质量变化过程称为葡萄酒的陈酿^[1]。因此，陈酿是葡萄酒生产中一个非常重要的环节，对葡萄酒品质的改善至关重要。

传统的陈酿方法也叫自然陈酿法，是将发酵后的新酒贮存在橡木桶（橡木桶为主）中，在酒窖中经过几个月至几年不等的存放期。自然陈酿法主要从两方面提高了葡萄酒的品质。一方面，橡木桶具有良好的透气性，通过橡木维管束及橡木板间隙进入的氧气会使葡萄酒发生一系列缓慢而连续的氧化^[2]；另一方面，橡木中丰富的单宁、糖醛类化合物、橡木内酯和橡木丁香酚等成分溶解于葡萄酒中。通过橡木桶陈酿最终改变了葡萄酒的色泽、香气和口感^[3-4]，使生涩不稳定的葡萄原酒变得色泽稳定、香气丰富、口感柔和醇厚。虽然自然陈酿是一种经典有效获得高品质葡萄酒的陈酿方法，但自然陈酿所需生产周期长、成本高，严重影响了企业的生产能力和经济效益^[1,5]。因此，研究如何加速葡萄酒老熟、缩短葡萄酒陈酿周期、降低生产成本具有重要的现实意义和应用价值。

人工催陈技术，即采用人工方法加速葡萄酒的陈化，缩短陈酿时间，使其品质在较短时间内得到改善^[5]。目前国内外已报道的葡萄酒人工催陈技术主要有微氧催陈、橡木制品催陈、高压脉冲电场催陈、超声波催陈、超高压催陈、辐射催陈以及复合催陈技术等。相比较而言，除了微氧催陈、橡木制品催陈、超高压催陈和高压脉冲电场催陈等研究相对系统和成熟外，其它技术的应用研究还处于试验与探讨阶段。

1 葡萄酒的陈酿机理

1.1 橡木桶的陈酿机理

橡木桶作为葡萄酒自然陈酿的主要容器，不仅是提供给葡萄酒“橡木味”的简单贮藏容器。橡木桶的陈酿机理主要有以下几个方面：

(1)除气与澄清作用。由于橡木桶的容积通常较小且桶壁具有通透性，便于除去刚发酵完的葡萄酒中的二氧化碳气体；随着陈酿时间的延长和温度的变化，酒石和其他不稳定物质开始析出、沉淀，酵母自溶释放酵母多糖、橡木的木质素开始降解，酒自然澄清，葡萄酒的稳定性和口感也得到改善^[1-6]。

(2)浸提作用。较新的橡木桶可通过提供新的橡木成分增加葡萄酒的复杂性。在葡萄酒的陈酿过程中，很多橡木的成分会溶解在葡萄酒中，这些成分与来源于葡萄原料的成分有着不同的结构和特性，如橡木内酯（又叫威士忌内酯，具有椰子 and 新鲜木

头的气味）、丁香酚（具香料和丁香气味）、香草醛（又叫香兰素，具香草和香子兰气味）及其它糖醛类化合物、橡木单宁、愈创木酚，等等。

(3)微氧条件下的控制性氧化作用、酯化作用与聚合作用。由于橡木桶壁的通透性，氧气可缓慢而连续地进入葡萄酒，使葡萄酒中的溶解氧的含量维持在 0.1 ~ 0.5 mg/L，氧化-还原电位（EH）在 150 ~ 250 mV。另一方面，换桶过程中，葡萄酒也与外界氧气充分接触。由于含量低但是连续的溶解氧的进入和木桶单宁的溶解，导致了葡萄酒中各种成分以及来自橡木桶的橡木成分发生一系列复杂而缓慢的物理、化学变化，如：①氧化反应：主要包括醇类物质氧化为醛类物质（ $RCH_2OH \rightarrow RCHO$ ）和醛类物质氧化为酸类物质（ $RCHO \rightarrow RCOOH$ ）。②酯化反应：在葡萄酒成熟过程中，酸和醇（特别是乙醇）会结合形成酯类，整个过程中酯化反应都在持续、缓慢的进行（ $R'OH + RCOOH \rightarrow RCOOR'$ ）。③聚合反应：陈酿过程中，葡萄酒中的多糖、花色苷、蛋白质、单宁等物质均可以互相发生聚合反应，例如，花色苷容易和对乙烯基苯酚、乙醛和丙酮酸等反应，并与羟基形成新的吡喃花色苷，为葡萄酒贡献桔黄色色调；另外，花色苷还可与黄烷醇发生反应，形成相应的聚合花色苷，这些物质在葡萄酒陈酿过程中逐渐积累并成为葡萄酒的主要呈色物质，最终使红葡萄酒由紫红色向砖红色变化，从而使酒的颜色趋于稳定^[1,7-8]。

在橡木桶陈酿过程中，通过上述变化，最终使葡萄酒中的酚类、醇类、醛类、酸类、酯类等成分不断达到新的平衡，从而改善葡萄酒的香气、色泽和口感^[1,7-8]。

1.2 人工催陈的机理与分类

基于橡木桶陈酿的原理，葡萄酒生产企业和科技工作者希望能设计开发出高效、快速、低成本的人工催陈技术。按照其原理可分为 4 类（表 1），主要包括：通过人工模拟橡木桶陈酿过程中微氧环境的微氧熟化和氧化法；通过模拟橡木成分浸提作用的橡木制品催陈法；通过施加各种外源能量加速葡萄酒中各种成分相互转化的物理化学方法；联合使用多种技术的复合催陈技术。

2 葡萄酒人工催陈技术研究进展

2.1 微氧熟化和氧化法

微氧技术（Micro-oxygenation）是指在葡萄酒陈酿期间，添加可控制的微量氧气，以满足葡萄酒在陈酿期间的各种物理化学反应对氧的需求，模拟葡萄酒在橡木桶陈酿、成熟的微氧环境，达到促进葡萄酒

表 1 人工催陈技术分类

Tab.1 Classification of artificial ageing technologies

催陈原理	催陈方法
模拟橡木桶陈酿微氧环境	微氧熟化和氧化法
模拟橡木成分浸提作用	橡木制品催陈法
施加外源能量加速反应进程	超高压处理催陈法、超声波处理催陈法、高压脉冲电场催陈法、电磁场催陈法、辐射处理催陈法、微波处理催陈法、冷热处理催陈法、红外催陈法、激光催陈法、纳米金光催化催陈法
复合催陈	橡木制品-微氧耦合、橡木制品-超高压处理耦合、橡木制品-超声波处理耦合、微氧-超高压处理耦合、电磁场-微氧耦合、高压脉冲电场-微氧耦合

成熟、改善葡萄酒品质的目的^[1,3,9-10]。微氧技术在葡萄酒成熟和陈酿过程中的重要作用主要体现在：改善葡萄酒的口感和结构；增强葡萄酒颜色的稳定性；促进各类香气的融合，使其趋于平衡、协调；降低使人不愉快的还原性气味；结合橡木片的使用可以模拟橡木桶陈酿^[1, 11-12]。

20 世纪 90 年代，DOCOURNAU 等^[13]创造性地提出了利用不锈钢罐来模拟橡木桶陈酿环境的设想。该理论认为，橡木桶不仅仅是一个贮酒容器，更重要的是它能不断提供微量氧，满足葡萄酒陈酿期间各种化学和物理反应对氧的需求，实现控制性氧化。之后，人们开始深入研究微氧技术对葡萄酒酿造的影响。康文怀等^[14-18]针对微氧技术在葡萄酒生产中的应用展开了系统研究(图 14)，结果表明：适宜微氧处理可显著降低葡萄酒中游离花色苷含量，提高葡萄酒颜色的稳定性；微氧处理可以促进单宁分子间的聚合、单宁与蛋白质的结合，从而降低葡萄酒的涩感，提高适口感；利用葡萄酒中氧消耗动力学模型研究了微氧技术在工业化条件下的作用机理，结果表明：精确控制微氧的供给量，可以保证葡萄酒中痕量乙醛不断持续产生，通过痕量乙醛的参与促进了游离花色苷向结合态花色苷的转变，促进了葡萄酒中单宁的适度聚合，提高了葡萄酒品质。MARTA 等^[19-22]对比了微氧催陈和橡木桶催陈对红葡萄酒颜色的影响，发现微氧技术改善葡萄酒颜色的方式与橡木桶陈酿类似，并且经微氧处理 3 个月的红葡萄酒的色度特征和多酚特征与橡木桶陈酿 3 个月的酒类似，但是瓶储 6 个月后，经微氧处理的红葡萄酒色度中黄值高于橡木桶陈酿。SULLIVAN 等^[23]采用定量描述分析法(QDA)探讨了微氧处理对葡萄酒酸度、涩感、平衡感等感官品质的影响，得出结论：应用微氧技术可以明显改善葡萄酒色度、口感，促进葡萄酒成熟。PARPINELLO 等^[24]研究表明微氧处理可在短时间内改善葡萄酒的品质，连续 6 d 使用每个月 25 mL/L 的通氧量处理赤霞珠葡萄酒可获得最佳感官品质，同时获得接近于自然陈酿几个月葡萄酒的口感特征和色泽。

CEJUDO-BASTANTE 等^[25]研究了微氧处理和贮藏时间对森希贝尔葡萄酒香气成分和感官特性的影响，结果表明：微氧和储藏结合使用可以提升葡萄酒颜色的稳定性、香气成分、感官品质。在微氧处理后经过 5 个月的储藏期，森希贝尔葡萄酒的整体质量和香气复杂性均得到了明显提升，增加了香辛味与甘草味，减少了生青味。UGLIANO 等^[26]研究发现使用每个月 5 mg/L 的通氧量连续 12 个月对西拉葡萄酒进行微氧处理，可以显著降低葡萄酒瓶贮过程中甲硫醇和硫化氢等还原性气味的积累。GAMBUTI 等^[27]研究发现经过 2 mL/L 连续 2 个月的微氧处理后，葡萄酒的颜色稳定性以及总酚和总花色苷的含量均显著增高，但是单体花色苷的含量并未有明显变化；与此同时，葡萄酒的收敛性(涩感)也没有显著变化。然而，CARMEN 等^[28]研究发现：使用微氧处理可以显著降低葡萄酒的收敛性，并且处理后的葡萄酒具有较高的花色苷含量和明显的橡木香气。因此，关于微氧处理对葡萄酒收敛性的影响还需进一步的研究。

微氧技术实施的关键在于精确补充氧的添加量、添加时机以及将氧均匀地加入、溶解至葡萄酒中。葡萄的品种、品质、产地，葡萄酒的温度、浊度、酒龄、陈酿阶段、SO₂ 含量等不同，其氧气供给量也不同^[29-31]。微氧处理的一般用量为每个月 0.5 ~ 3.0 mg/L，处理时间为 4 ~ 8 个月。若氧添加过量，则易导致酒中溶解氧积累，使得葡萄酒果香味降低，挥发酸升高，白葡萄酒颜色加深等负面影响^[31]。结合葡萄酒酒庄的生产规模和葡萄酒的类型，目前国内外的微氧控制装置主要有 DUCOURNAU 等^[13]研发的陶瓷曝气装置，定期以气泡羽流的半连续方式注入葡萄酒中。KELLY 等^[32]采用半渗透滤膜管装置，通过加压的方式使氧气源源不断地透过滤膜进入葡萄酒中。李华等^[18]采用简易实用的基本元件(氧气瓶、氧气减压阀、气体流量调节阀、气体流量计、扩散器、电磁阀、变压器、微计算机时控开关、连接软管等)设计了微氧添加装置，能够实现定时定量供给微量氧，见图 1a。高畅等^[15]对微氧熟化装置

的可行性进行了分析,并成功构建了葡萄酒微氧熟化装置系统。葡萄酒微氧控制设备的成功研制为微氧技术的广泛应用提供了保障,目前微氧化技术已经在全球葡萄酒生产国中得到了广泛应用,例如法

国、西班牙、意大利、澳大利亚、新西兰、美国和智利。欧盟委员会在 1996 年也已经批准该技术在葡萄酒生产中的合法应用^[12]。我国一些知名企业也先后开展了有关微氧技术在葡萄酒陈酿中的应用研究^[31,33]。

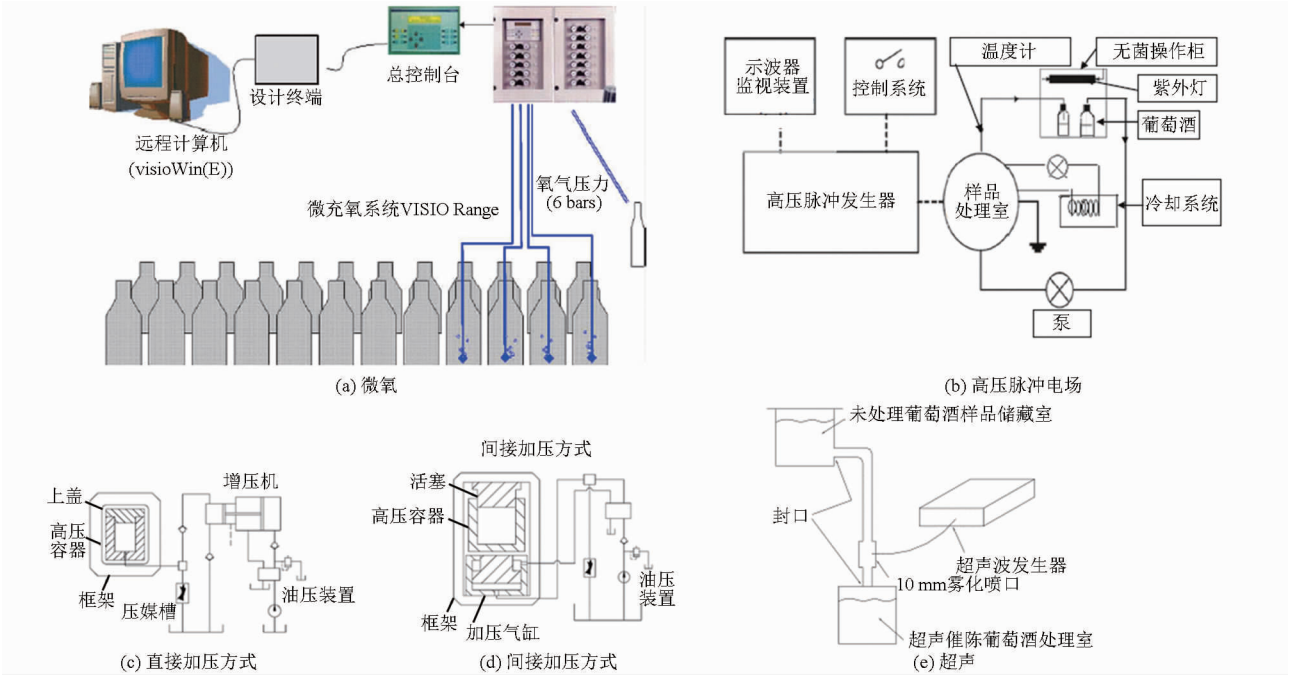


图 1 部分技术装置示意图
Fig.1 Schematic diagram of some kinds of technical equipment

2.2 橡木制品催陈法

橡木制品作为橡木桶的替代品,是以橡木为原料,制成粉状、片状(图 2)、块状、板状等,可在酒精发酵过程中、陈酿期间或装瓶前等多个阶段添加并赋予葡萄酒一定的橡木风味^[34]。研究表明,在葡萄酒陈酿过程中使用橡木制品可以促进橡木类挥发性化合物的提取速率,并加快陈酿过程^[11]。这是因为葡萄酒可以完全渗入并浸透体积较小的橡木制品,而橡木桶的表面积只有 40% 可以被接触到。因此,在陈酿过程中,使用橡木制品可以加快橡木类成分的提取速度,从而缩短陈酿时间^[11,35]。此外,橡木制品催陈还具有成本低廉、使用方便、控制精确、劳动强度低等优点,因此,通过模拟橡木成分浸提作用

的橡木制品催陈法已在美国、澳大利亚等国家得到广泛应用。欧盟于 2006 年对葡萄酒法规进行了修订,允许在葡萄酒生产中使用橡木制品,进一步促进了对橡木制品催陈的研究^[11,36]。

目前,国内外已有大量橡木制品催陈葡萄酒的报道,大多数表明橡木制品在葡萄酒陈酿中的效果较为理想。其中,周晓芳^[37]利用橡木片浸渍催陈赤霞珠干红葡萄酒,结果表明:催陈后的葡萄酒中色调值、总酚和聚合大分子单宁的含量升高,总单体酚和总游离花色苷的浓度降低,增加了酒液中的橡木香、香子兰、焦糖和烟熏味,减弱了果味,去除了生葡萄酒中的生青味和酵母味,使葡萄酒的口感更加圆润、柔和、饱满和肥硕。MORALES 等^[38-39]将橡木桶陈酿 180 d 的葡萄酒和添加 180℃ 烘烤橡木片处理 15 d 的葡萄酒进行对比,结果表明:添加烘烤橡木片组的葡萄酒中香兰素的浓度增加了 20 倍,并且橡木内酯异构体的含量也高于橡木桶陈酿组。ARAPITSAS 等^[40]使用橡木片人工催陈 Asyrtiko 葡萄酒 14 d,经测定发现葡萄酒中与橡木有关的糠醛、丁香醛等芳香物质的含量显著高于橡木桶陈酿。李兰晓等^[36]采用 SPME-GC-MS 检测了国产橡木片和橡木板催陈对葡萄酒陈酿中香气成分的影响,结果发现:在 90 d 陈酿过程中,糠醛和 5-甲基糠醛含量



图 2 橡木制品
Fig.2 Image of oak chips

在陈酿10~20 d即可达到最高值,随后快速减少;愈创木酚和甲基愈创木酚含量在陈酿20 d时达到最高值,此后基本保持不变;顺式和反式橡木内酯含量在整个陈酿过程中一直呈增加趋势。李春光等^[34]研究了葡萄酒发酵过程中和发酵结束后两个阶段添加不同类型的橡木制品对于红葡萄酒中香气成分的影响,结果表明:无论在发酵过程中还是发酵结束后添加法国中度烘烤橡木粉都会赋予酒体不同程度的橡木香气,使酒体香气更加复杂,但发酵中添加的酒样感官品质好于发酵后添加的酒样;如果要在发酵后添加橡木制品,推荐选择国产中度烘烤橡木片或法国轻度烘烤橡木粉。

然而,在使用橡木制品催陈葡萄酒的过程中,还需要注意以下问题:①不同产地的橡木制品在橡木内酯、挥发性酚和香草醛的衍生物含量上差异较大,因此生产中需要根据葡萄酒本身的特性来选择相应产地的橡木制品进行催陈^[41-43]。②橡木颗粒的大小影响总酚含量的萃取,并且商业橡木片的尺寸与鞣花单宁的浓度和葡萄酒的抗氧化能力相关,橡木片规格越小,浸出的鞣花单宁量越多;使用较小尺寸的橡木粉或橡木屑可在较短期内获得效果明显的葡萄酒,较大尺寸的橡木片、橡木块或橡木板进行长时间的浸泡可使酒液表现出精细、自然的橡木特征^[44-45]。③橡木片的烘烤程度对葡萄酒陈酿的影响较大,未烘烤或轻度烘烤的橡木制品常用于浸渍和发酵阶段,能够吸附葡萄酒中的不良香气,并产生令人愉悦的香草香和香辛料香。而中度或重度的烘烤多用于陈酿熟化葡萄酒,能够赋予葡萄酒更多厚重的感官香气,如烤杏仁味、烟熏味、焦糖味、咖啡味等,适合单宁丰富但整体缺乏结构性的葡萄酒。④一般情况下,可参考橡木制品的使用说明确定合适的添加量及浸渍时间,但根据葡萄酒种类和品质的不同,在添加橡木制品催陈前,采取梯度试验和品尝是必要的。

2.3 超高压催陈法

食品超高压技术(High hydrostatic pressure, HHP)又称高静水压技术^[46]。超高压技术催陈葡萄酒的机理在于其提供的物理能可转化为陈酿反应中所需的活化能,破坏氢键,促进合成、分解等化学反应,加快老熟,从而对葡萄酒具有催陈作用^[11]。常见设备见图1c、1d^[53]。

目前,国内外已有大量HHP催陈葡萄酒的报道,TAO课题组^[11, 47-49]针对HHP催陈葡萄酒展开了系统研究,结果表明:650 MPa处理2 h会导致葡萄酒颜色强度显著降低,同时总酚、花青素、酒石酸酯、黄酮醇、单宁等物质含量减少;并且颜色强度、总

酚、花青素含量在加压条件下的变化遵循韦伯模型,感官品评后发现其酸味、收敛性、酒精味和苦味的强度略有增加,但是对味觉的贡献无显著性差异。通过HHP技术对葡萄酒质量影响的预测研究发现,压力及持续时间对葡萄酒的质量参数具有显著性影响,并且压力的影响更为重要。笔者课题组^[50-55]也针对HHP催陈葡萄酒展开了一系列的研究,结果表明:葡萄酒部分理化指标发生了显著的变化,而感官品质均有所改善,尤其是压力为100 MPa、处理30 min时改善最为明显,葡萄酒中酚酸含量整体呈上升趋势,黄烷-3-醇含量整体呈下降趋势,黄酮醇含量则呈现波动性变化,原花色素含量及结构则发生了复杂的变化,包括含量的上升,聚合度、起始单元以及延伸单元的波动性变化,但总体上与陈酿过程的变化趋势类似。此外,葡萄酒的产地以及葡萄酒的品种是葡萄酒最重要的两个标签之一,SUN等^[52]对中国3个主产区和5个主要酿酒葡萄品种的研究表明,HHP处理并不会改变葡萄酒产区的多酚特征和品种多酚特征(图3),从而为HHP技术应用于葡萄酒的人工催陈扫除了疑虑。另外,笔者课题组也在研究中发现HHP处理后葡萄酒中多酚含量增加,SANTOS^[56]也报道了相同的结果,而TAO^[48]与MICKAEL^[57]的报道却得出相反的结论,这在未来仍需进一步的探讨。其它研究中,李绍峰^[58]发现HHP处理新鲜葡萄酒后,酒的沸点、相对密度、氧化还原电位、电导率、总酸含量均有所变化,折光率没有改变,其变化趋势反映出HHP处理有利于葡萄酒的陈化;HHP压力为100~400 MPa下处理的新鲜葡萄酒的口感风味均优于原酒,500 MPa处理的酒的口感风味最好,当压力超过500 MPa,酒会失去原有的风格。这与TAO^[49]的报道也不同。梁茂雨等^[59]对HHP处理后葡萄酒的香气成分的变化进行了研究,结果表明:采用300 MPa的超高压处理葡萄酒2 h,可使酒中酯类化合物增加,风味更柔和,改善了葡萄酒的感官品质。以上研究表明超高压用于葡萄酒处理具有一定的实用价值。

目前,超高压催陈葡萄酒技术尚处于理论研究阶段,其推广的难点主要在于HHP对葡萄酒的催陈机理仍不够清晰,如上所述,对于HHP处理后感官特征、多酚含量等的改变报道不一致,导致酿酒商对于应用HHP催陈葡萄酒仍存有一定的疑虑。而超高压处理在食品领域已经广泛应用,在酒类中,据报道,超高压处理米酒已经在日本上市^[60],相信在不久的将来,超高压技术也能够成功应用于葡萄酒催陈。

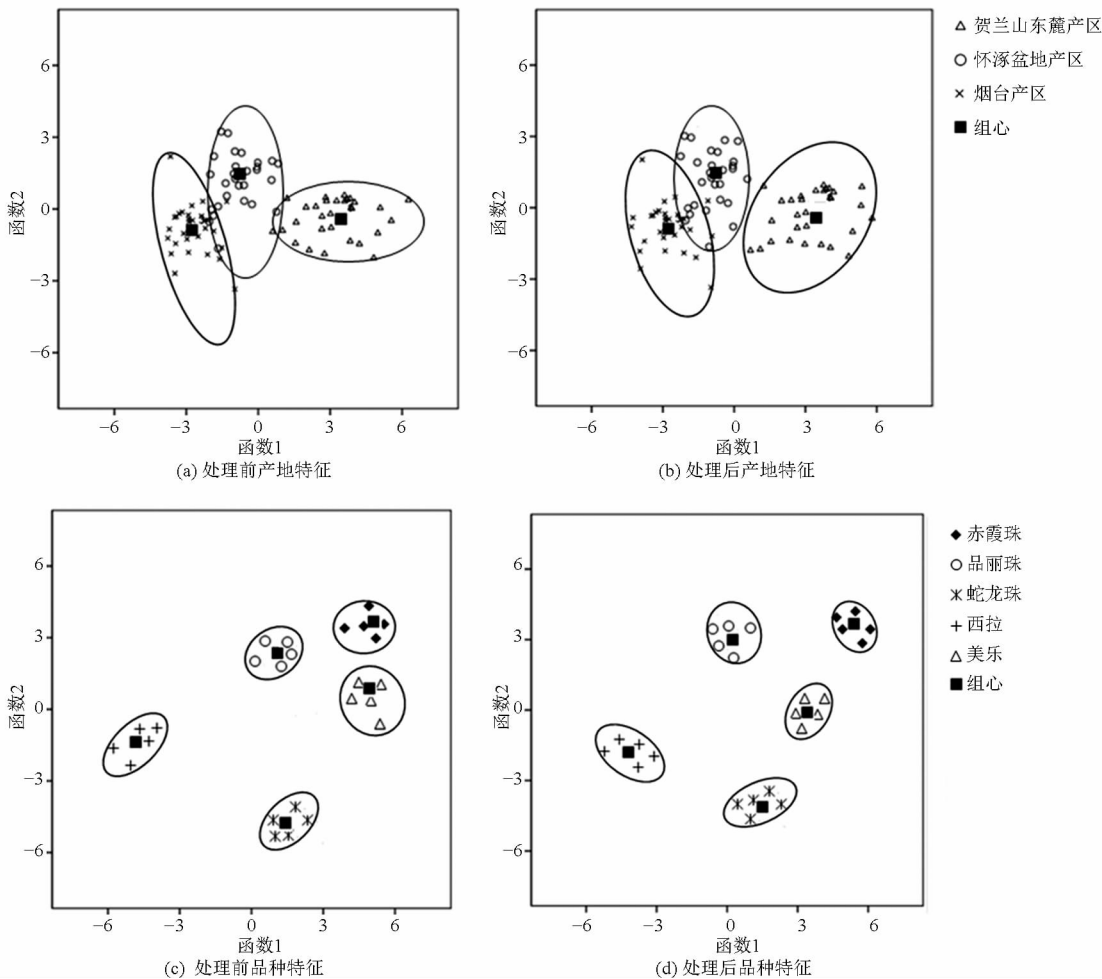


图 3 超高压处理前后葡萄酒的产地特征与品种特征

Fig.3 Region and variety non-colored phenolic characteristic of red wine before and after HHP treatment

2.4 超声波催陈法

酒类的超声波催陈是指利用超声处理所产生的强烈的空化作用,使酒体处于瞬间的高温高压状态从而提高酒中各成分的活化能,促进酒体发生一系列积极的物理化学变化,提升酒感官品质的过程^[5, 61-62]。尽管高温或高压状态对酒体本身和陈化过程是有害的,但更多研究表明:只要合理控制超声参数和超声能量,超声技术就能在葡萄酒催陈中发挥积极的作用。

李卉等^[63]研究了超声波处理对于红葡萄酒感官指标、花色素、色度、色调和总酸浓度的影响,试验结果表明在 200 W、59 kHz 的条件下超声处理 18 min 后葡萄酒整体质量得到提升。赵赞等^[64]采用同样的参数研究超声处理对于红葡萄酒中香气成分的影响,结果表明经超声处理后,葡萄酒中总酯的相对含量从 19.61% 增加至 31.19%,总醇的相对含量从 70.16% 降低至 60.43%,这说明超声处理可以促进酯化、去杂增香,柔和酒体,更重要的是经超声处理后的葡萄酒在存放过程中未发生“回生”现象。周晓芳^[65]研究表明:在超声功率 120 W,频率

40 kHz 时,超声处理 20 min 时可以获得较好的催陈效果。此时葡萄酒的总酸、挥发酸、pH 值不变,葡萄酒的色度、色调和聚合大分子单宁的含量升高,总单体酚和总游离花色苷含量降低,总的感官得分上升了 9.87%。FRANCISCO 等^[66]研究表明超声波处理后,葡萄酒中花青素的含量升高,单宁酸的含量降低,酒的感官品质在较短时间内达到较好品质。LEONHARDT 等^[67]研究表明:超声处理可以使葡萄酒的“酒峰”快速到达,并且其“酒峰”的保持时间比自然陈酿的葡萄酒更久,这一点对延长葡萄酒的货架期是很有意义的。此外,舒杰等^[68]对酒类产品超声陈化技术进行了详细的综述,得出结论:在超声催陈酒类的频率上,选择低频比高频的效果更佳,大部分研究选择的频率在 20 ~ 60 kHz 之间;在超声的处理方式上,采取多次间隔超声比一次超声的效果要好;在超声的处理时间上,大致可以选择在 1 h 之内,时间过长会造成酒体风味下降。这些结论对以后深入研究超声波催陈葡萄酒的工作提供了参考依据。

目前使用的超声波催陈葡萄酒设备主要有两种

类型,第1种是流通式,由CHANG等^[69]提出,在这种类型设备中(图1e),葡萄酒是保持流动并通过管路流向超声波发生器,葡萄酒只在流经超声波发生器的时候才接受超声处理,为了保证得到想要的葡萄酒品质,需要保证葡萄酒的管路是循环的。第2种设备是固定式,由LEONHARDT等^[67]首先使用,由一个封闭/半封闭的容器用来储存葡萄酒,并将超声设备装在该容器的底部或内部的任何位置。

到目前为止,超声波催陈技术仍处于理论研究阶段。事实上,2010年欧盟第七框架计划(7th framework programme, FP7)启动了一项开发一种超声设备并将其用于催熟红葡萄酒的研究计划(No. 262614),但项目合作酒庄及在欧盟内通过问卷所调查的其他7个国家的酒庄,对此新技术的应用前景至今仍持谨慎观望态度。原因是经过处理的红葡萄酒虽然在感官方面的确得到了一定程度改善,但化学指标的变化却似乎有些飘忽不定、无章可循。酒庄人员坚持认为只有明确了解酒中主要理化指标的真实变化及规律,并使这些变化处于可控状态之中,同时,酒的品质与自然成熟酒的品质类似时,他们才敢将该技术真正应用于生产实践中^[70]。未来,对于超声波催陈技术,尤其是其反应机理,仍需大量研究。

2.5 高压脉冲电场催陈法

高压脉冲电场技术(Pulsed electric field, PEF)是一种新型的食品加工技术,是将脉冲电场短时间内施加于液态食品,注入脉冲电场能量,以达到处理食品的目的。由于PEF处理过程中注入的能量较小,因此能够较好地保持食品的营养价值和感官品质。同时,由于注入的脉冲电场能量可促使分子电离,降低反应所需的活化能,提高分子间的有效碰撞率,加快处于动态平衡的化学反应速率,在加速氧化还原、缔合、水解等反应的同时促进贮酒容器中各类化合物的浸取与扩散,因此,可尝试将PEF技术应用于葡萄酒催陈。由于PEF处理过程能耗小,整个过程在常温下进行,处理后既能达到催陈的目的,又能保证葡萄酒的营养成分不被破坏,且处理时间短,设备简单,非常适合企业大规模生产使用,具有很强的实际意义和应用价值^[71-76]。常见设备如图1b^[74]。

华南理工大学曾新安课题组^[71-73]针对PEF催陈葡萄酒展开了一系列的研究,结果表明:经一定条件下的PEF处理后,葡萄酒中的杂醇油特别是异戊醇相对含量下降,总酯含量上升;葡萄酒中氨基酸含量一定程度的增加,总游离氨基酸、必需氨基酸和脯氨酸含量分别提高了5.1%、15.2%和3.1%;经处

理后酒中的羟基伸缩振动峰向低频端移动($3\,309\text{ cm}^{-1}\rightarrow 3\,252\text{ cm}^{-1}$),在远红外端4个窄峰逐渐变成了2个强吸收宽峰,反映出乙醇和水分子之间的氢键缔合有加强的趋势。感官性能上陈香增加,生涩味减少,酒体由比较粗糙变得柔和顺口,更为饱满壮实,但在强电场强度下(10 kV/cm)处理时间过长时酒会变得后苦涩味严重,且酒体协调性变差。吉林大学刘学军课题组的系列研究^[74-80]表明,经PEF处理后,葡萄酒中对风味有负面影响的高级醇,也就是杂醇油总含量有下降的趋势,而起正面作用的高级醇,也就是苯乙醇含量则略有上升。葡萄酒中红色苷和黄色苷的含量增加,酒中干浸出物的含量增加,酒的色度及其稳定性提高。与新酒相比,催陈后的葡萄酒陈香明显增加,口感更为醇和,酒体丰满协调。笔者课题组的系列研究^[74-76]表明,当电场强度低于 18 kV/cm 时,原花色素的含量、平均聚合度及组成单元的变化显著,且随着场强增加,处理效果越接近陈酿,但是当场强达到 24 kV/cm 时,处理效果下降。PEF处理后,葡萄酒中黄烷-3-醇和酚酸的含量变化显著,葡萄酒色度与色调值有显著提高,场强为 22 kV/cm 时,处理效果最显著。经过PEF处理,有机酸含量的变化大致与瓶储陈酿趋势相同(图4)^[74],场强 18 kV/cm 效果较好,场强达到 24 kV/cm 后,效果反而下降,且当场强 18 kV/cm 、脉冲数100时,催陈效果最佳。LÓPEZ等^[81]采用 5 kV/cm 的脉冲电场对新酿葡萄酒进行处理,发现处理样品的颜色强度、总多酚类、单宁酸比对照更加丰富,其视觉特征表现较好。从以上研究可以看出,脉冲电场用于葡萄酒处理可增强颜色强度,提高酚类物质含量,降低杂醇油含量。ZHAO等^[82]采用模式葡萄酒分析了PEF催陈的机理,发现PEF可增强儿茶酸和乙醛之间缩合反应; 40 kV/cm 场强下,缩合反应活化能从 41.59 kJ/mol 降低到 28.98 kJ/mol ,随着场强的增加,儿茶酸的含量明显下降,并且在此场强下反应 31.12 ms 时,儿茶酸的含量与未加场强反应 62.23 ms 时的含量相当,印证了电场催陈酒类的反应机理。

高压脉冲电场用于葡萄酒催陈的原理已基本清晰,实验室小试规模操作灵活,安全无污染,并有酿酒商参与技术开发,但目前仍停留在实验室阶段,需进一步研究并在工厂中试后方可推广应用。

2.6 电磁场催陈法

葡萄酒陈酿过程中的物理变化主要是水分子和乙醇分子之间的缔合,这会使酒的口感更为柔和协调。磁场处理是让新酒通过可透磁场的管道,改变磁场强度来对葡萄酒进行处理。酒内的极性分子在

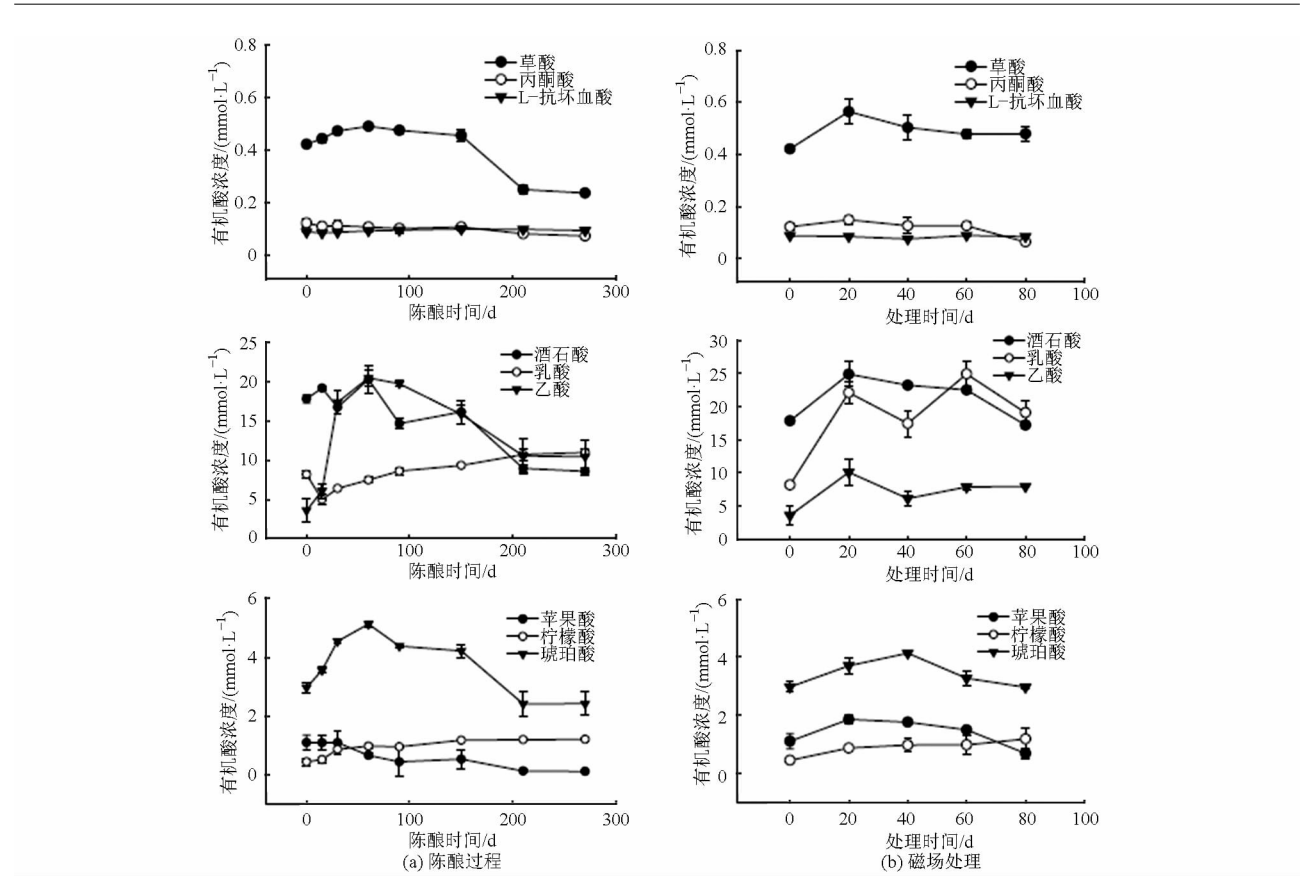


图 4 磁场处理与陈酿过程有机酸的变化
Fig. 4 Changes of organic acid in red wines of magnetic field and during aging

强磁场作用下,极性键能减弱,因而易于运动,有利于各种反应的进行及分子的定向排列。另外,酒液在强磁场作用下,可产生微量的过氧化氢,过氧化氢在微量重金属离子作用下,分解出氧原子,以促进酒中的氧化作用^[83-84]。

笔者课题组研究发现^[83-84],红葡萄酒经磁场处理后,原花色素含量和聚合度的变化趋势与瓶储陈酿相同,但是原花色素的起始单元和延伸单元的比例变化与瓶储陈酿不尽相同,综合考虑,处理 40 min 后,原花色素含量、聚合度和延伸单元比例最接近瓶储陈酿 150 d 后的结果。总花色苷和各类花色苷含量也会呈现与瓶储相同的趋势,磁场处理 20 min 后,其花色苷含量和颜色的变化已经不明显,接近瓶储陈酿 60 d 后的结果。有机酸含量的变化大致与瓶储陈酿趋势相同,磁场处理时间越长,各种有机酸的浓度越接近瓶储陈酿 150 d 后的结果。白葡萄酒经过磁场处理 40 min 后各种有机酸的含量最接近瓶储陈酿 90 d 的含量,处理 80 min 后最接近瓶储陈酿 210 d 的含量。同时,大部分酚酸、黄烷-3-醇和黄酮醇的含量都发生了显著的变化,色度与色调也有显著增加。综合分析结果显示磁场处理时间为 60 min 时处理效果最为显著。

电磁场催陈的研究报道目前仍较少,只是证明

了其可行性,机理及其调控机制仍待明确与进一步深入研究。

2.7 辐射催陈法

辐射催陈的机理也在于辐射能够高效快速地提供能量给被辐射物料,因此,有研究者尝试将辐射技术应用于葡萄酒催陈。目前研究较多的是伽马辐照技术。CALDWELL 等^[85]使用伽马辐照技术(600、1 200、2 400 Gy)处理赤霞珠葡萄酒,发现辐照可以增加葡萄酒的色度,保持葡萄酒的涩感。CHANG^[86-87]使用伽马辐照技术处理葡萄酒,发现合适剂量的伽马辐照可以改善葡萄酒的某些指标。例如,葡萄酒中油腻感来源的多元醇的含量降低,能够提供水果香气的芳香物质乙酸乙酯的含量增加。而且,处理时间为 1 h 时,即可达到较高的感官质量。因此,从可行性上来讲,伽马辐照技术是一个潜在的高效催陈技术。但是,关于伽马辐照技术的安全性仍需要进一步的明确,虽然在 CHANG^[86]的研究中未发现有伽马射线残留,但是,为了确保辐照处理后的葡萄酒对人体绝对没有危害,仍需进一步的试验如毒理学试验的验证。另一方面,在真正工业化应用前,消费者对于这种类型葡萄酒的接受度也需考虑。

2.8 复合催陈技术

葡萄酒的陈化过程是一个非常复杂的变化过

程,涉及到分子聚合、成分挥发、氧化还原反应、酯化反应等,因此采用某种单一技术的人工催陈处理很难一次性模拟新酒的陈化老熟过程。而将多种处理方法联合共用,所达到的模拟催陈效果可能更加理想。微氧-橡木制品复合催陈、超高压-橡木制品复合催陈、超声-橡木制品复合催陈等技术均已得到了较多的研究。

从理论上讲橡木制品结合微氧处理是最能够模拟橡木桶陈酿的复合催陈技术,一方面,橡木制品可以提供橡木桶所带给葡萄酒的橡木成分,另一方面,微氧处理可以模拟橡木桶陈酿过程中的微氧化环境。夏广丽等^[88]在25 t葡萄酒贮存罐中同时添加橡木片并进行微氧处理的葡萄酒,发现其感官品质大幅改善,在较短时间内取得了类似橡木桶陈酿的效果。高畅等^[15]将经过处理的橡木片与葡萄酒以一定接触面积加入不锈钢罐,向罐内通入微量氧气,在有效控制溶解氧的条件下促进葡萄酒熟化,可使红葡萄酒的陈酿期从2~3年缩短到2~3个月。王丽萍^[31]以每个月0.5 mg/L微氧量,使用320 kL大型不锈钢罐,安装法国橡木板和微氧设备用以模拟橡木桶陈酿环境,对橡木板与微氧设备复合处理后的葡萄酒的理化指标、多酚和花色苷及感官品质进行了全面分析,结果表明:橡木板结合微氧陈酿对葡萄酒的酒精度、残糖、干浸出物、总酸、挥发酸、pH值影响不显著;对总SO₂和游离SO₂含量影响显著;葡萄酒总酚、多酚含量增加,总酚含量增加了6.3%,多酚物质平均含量增加了24.7%,游离态花色苷下降,色度值升高,说明经陈酿后的葡萄酒中色素适当聚合,稳定、呈色能力增强;感官品评结果表明经橡木板陈酿与适宜的微氧处理能够明显改善葡萄酒的颜色、香气、口感。OBERHOLSTER等^[89]在研究中发现,在葡萄酒中添加橡木片结合微氧技术,可加速葡萄酒的成熟,并可模拟出葡萄酒在橡木桶短期(6个月)陈酿的感官特性。MORALES等^[39]发现,橡木片结合微氧技术催陈15 d后,葡萄酒中提取到的香草醛比在橡木桶中陈酿180 d后的香草醛含量还要高20倍。总体而言,橡木制品结合微氧处理能够取得比单独微氧处理或者单独橡木制品处理更好、更快的催陈效果。

橡木制品结合超高压处理也有广泛的研究,其理论依据在于橡木及超高压处理的协同作用,一方面,超高压处理的能量效应能够部分模仿橡木桶陈酿的微氧化效果,另一方面,橡木制品可以提供葡萄酒所需的橡木类成分,第三,超高压处理可以加速葡萄酒对橡木制品中橡木成分的浸提效果,缩短处理时间。TAO等^[46]的研究表明,橡木制品结合超高压

处理会加速橡木成分的溶出,增加葡萄酒中的多酚含量与葡萄酒的抗氧化能力,而花色苷含量和色度先下降后上升,多变量分析表明超高压持续时间是该技术的主要决定因素。而处理时间过长则会减弱葡萄酒的果香、酸度、涩感和圆润度。孙大文等^[90]研究发现,橡木制品结合超高压处理后,葡萄酒中的总酚及黄烷醇单体变化趋势与木桶陈酿类似。此外,在超高压条件下,橡木单宁、橡木内酯、丁香酚、香草醛等物质从橡木中快速溶出,并进一步与葡萄酒中的酚酸、黄烷醇、花青素等物质结合,在较短时间内促进酒体圆润、成熟,并带有明显的橡木香味。最长处理150 min可达到在橡木桶中陈酿1~2 a的效果,并且处理后的干红葡萄酒不会出现返生现象。与橡木-微氧相比,橡木-超高压具有处理时间短、速度快、占地少、可连续处理的优点。

橡木片结合超声波的处理也有报道,周晓芳等^[65]以赤霞珠干红葡萄原酒为对照,在超声波功率120 W、频率40 kHz的条件下,采用超声波与橡木片共同处理干红葡萄原酒,总酸、挥发酸、pH值变化不大,色调升高,总酚与单体酚含量增高,安息香酸、儿茶素的浓度大致为先降低后升高,与前人研究的赤霞珠干红葡萄酒分别陈酿1个月、2个月、3个月、5个月的安息香酸、儿茶素的浓度变化趋势相一致,感官品评结果表明橡木片与超声波处理能够改善葡萄酒的颜色、香气、口感,并优化得出在超声波功率120 W、频率40 kHz、处理时间为20 min时,添加6 g/L的橡木片可以取得相对较好的催陈效果。TAO等^[91]则对橡木片与超声波处理的部分机制进行了研究,发现橡木多酚的释放速率与超声功率没有关联,但与超声温度呈正相关。

微氧技术结合超高压处理也有报道,一般是先在葡萄酒中通入微量氧气之后,接着采用超高压处理葡萄酒,与单独微氧处理,或者单独超高压处理相比,微氧耦合超高压可以从提供微氧环境和提供能量加速反应两个方面促进葡萄酒陈酿过程中的微氧化作用,从而达到催陈葡萄酒的效果。孙大文等^[92]研究发现,微氧结合超高压处理后,葡萄酒中的总酚及黄烷醇单体明显下降,酒石酸酯、总花青素和黄酮醇的含量也明显降低,涩感减弱。处理时间比橡木耦合超高压更短。微氧耦合超高压并不能够模拟橡木桶陈酿过程中的橡木成分的提供,未来,可以考虑开发微氧-橡木制品-超高压耦合技术。

除以上所述外,电磁场-微氧耦合、高压脉冲电场-微氧耦合技术,等等,也有部分报道。

2.9 其它催陈技术

除了以上的催陈方法,还有一些通过施加各种

外源能量加速葡萄酒中各种成分相互转化的物理化学方法,包括微波处理、冷热处理、红外及激光催陈等技术,以及纳米金催化技术也可以被用于酒类的人工催陈。

其中,微波处理和冷热处理在葡萄酒中已有研究。李聪等^[93]研究了微波处理对于干葡萄酒理化指标、主要成分、感官特性的影响规律,得到 420 W 处理 10 min 时酒样感官评价最高,对新鲜葡萄酒处理 5 min 时,葡萄酒颜色最佳。郭雪霞^[94]采用中高火和中火微波处理葡萄酒,通过对乙酸乙酯及正丙醇等物质含量的变化及感官分值的综合考虑,认为中火微波处理 2 min 时,葡萄酒的催陈效果较好。但是对于部分酒样,需通过增加处理次数或者添加其他物质才能改善酒的口感。另外发现低能量的重复积累及添加物质并未实现氢键的缔合,而采用中高火力处理酒样会影响酒中较为敏感的化合物,甚至会产生预期外的有害物质,所以将微波用于酒类的工业化处理还需通过多次试验验证。对于冷热处理,相关研究^[95-96]表明,低温处理可使葡萄酒中酯类含量增加,醇类含量降低;50℃ 加热处理 5 d 后,尖酸味减弱,苦涩味较协调,陈香增加,葡萄酒整体感觉有所提升。但是相对于其他技术方法,冷热处理能耗大,时间长,不适于酿造酒的规模化处理。

红外和激光技术,已有的研究主要集中在黄酒上,尚未见到应用于葡萄酒的报道,在黄酒的研究中,已有研究证实了红外技术能有效缩短黄酒的陈酿时间;经激光催陈的黄酒,其总酯和游离氨基酸含量增加,有利于黄酒品质的提升^[5]。但是相对于近几年发展起来的物理技术而言,红外催陈对温度要求比较严格,需要在加热或者在不同温度交替下才能完成,所以限制了其推广应用;而激光催陈需根据黄酒成分确定波长,选择性过强,用于生产实践时会额外增加生产难度和工序,所以红外和激光技术虽

然原理上可以应用于葡萄酒催陈,但是否能够有效,仍需进一步研究。

纳米金技术是近年来发展起来的新技术,在 245 nm UV 照射下,纳米金颗粒(粒径 80 ~ 120 nm)可以促进氧气和水结合形成羟自由基^[96],而羟自由基非常活跃,能够促进很多化学反应^[97]。Lin 等^[96]使用该技术催陈高粱酒,发现处理 2 h 后,高粱酒芳香性明显改变,促进了乙酸乙酯的形成。在未来,也可以对纳米金光催化等其它新技术能否应用于葡萄酒的催陈加以试验验证。

3 展望

人工催陈技术对于葡萄酒生产是一个全新的突破性技术,其节约的成本及带来的巨大的经济效益为葡萄酒产业的发展提供了一个新的思路与方向。虽然人工催陈技术在葡萄酒的研究与应用中已取得较大的发展,尤其是微氧技术和橡木制品技术,但目前,葡萄酒行业仍未真正实现人工催陈产品的产业化及商品化。其主要原因还在于人工催陈的机理不够明晰,不同团队研究人员的研究结果契合度较低,并且人工催陈葡萄酒的品质不能够完美模拟自然成熟酒的品质。酒庄主或酿酒师们也坚持认为须明确了解酒中主要理化指标在催陈过程中的真实变化及规律,并使这些变化处于可控状态中方能推广应用,对各类人工催陈新技术的应用前景仍持谨慎观望态度。未来,对于各类人工催陈技术,尤其是其反应机理仍需大量研究,首先需要明晰各类催陈方法的反应机理并能够予以调控,进而优化各类催陈方法的工艺条件,并尝试多种方法的组合利用及探索新的催陈方法以弥补现有技术的不足,从而在推进人工陈酿技术工业化进程的同时也能给酿酒企业带来效益。

参 考 文 献

- 1 李华,王华,袁春龙,等.葡萄酒化学[M].北京:科学出版社,2005.
- 2 李华,王华,袁春龙,等.葡萄酒工艺学[M].北京:科学出版社,2007.
- 3 赵光鳌.葡萄酒酿造学——原理及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2001.
- 4 李华.葡萄酒品尝学[M].北京:科学出版社,2010.
- 5 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,2015,36(12):395-399.
ZHANG M M, CAO G Z, MIU J S, et al. Research progress of artificial aging of fermented wine with physical methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(12): 395-399. (in Chinese)
- 6 FANG F, LI J M, ZHANG P, et al. Effects of grape variety, harvest date, fermentation vessel and wine ageing on flavonoid concentration in red wines[J]. Food Research International, 2008, 41(1): 53-60.
- 7 温鹏飞,陈建业,李景明,等.橡木桶陈酿对红葡萄酒中黄烷-3-醇和原花色素的影响[J].食品科学,2006,27(4):110-114.
WEN P F, CHEN J Y, LI J M, et al. Effect of oak barrel on the flavan-3-ols and proanthocyanidins in red wine during aging[J]. Food Science, 2006, 27(4): 110-114. (in Chinese)
- 8 方芳,李景明,潘秋红,等.葡萄酒中黄酮醇的高效液相色谱测定方法以及陈酿对黄酮醇含量的影响[J].农产品加工

- (学刊), 2006(8) : 47 – 54 .
- FANG F, LI J M, PAN Q H, et al. Determination of 10 flavonols of red wines by high performance liquid chromatography and the changes of them during wine aging[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006(8) : 47 – 54. (in Chinese)
- 9 RUDNITSKAYA A, SCHMIDTKE L, DELGADILLO I, et al. Study of the influence of micro-oxygenation and oak chip maceration on wine composition using an electronic tongue and chemical analysis[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 642(1) : 235 – 245.
- 10 张军翔,李永山,郝笑云. 微氧技术在葡萄酒酿造中的应用[J]. 食品与机械,2011,27(6) :12 – 14.
ZHANG J X, LI Y S, HAO X Y. Application on micro-oxygenation in wine making-process [J]. Food & Machinery, 2011, 27(6) : 12 – 14. (in Chinese)
- 11 TAO Y, GARCÍA J, SUN D. Advances in wine ageing technologies for enhancing wine quality and accelerating the ageing process [J]. Critical Review in Food Science and Nutrition, 2014, 54: 817 – 835.
- 12 GÓMEZ-PLAZA E, CANO-LÓPEZ M. A review on micro-oxygenation of red wines: claims, benefits and the underlying chemistry [J]. Food Chemistry, 2011, 125(4) : 1131 – 1140.
- 13 DUCOURNAU P, LAPLACE F. Process for metering and injecting gas for a vinification tank and plant for this purpose: FR, 2709983 [P]. 1995.
- 14 李华,康文怀,陶永胜,等. 微氧处理对赤霞珠葡萄酒多酚及其品质的影响[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2006, 27(5) :401 – 404.
LI H, KANG W H, TAO Y S, et al. Effect of micro-oxygenation on polyphenol and quality of cabernet sauvignon wine [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2006, 27(5) : 401 – 404. (in Chinese)
- 15 高畅,李华,高树贤,等. 葡萄酒微氧熟化装置研究可行性分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2003(6) :53 – 54.
GAO C, LI H, GAO S X, et al. Analysis on the feasibility of micro-oxygenation of wines [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2003(6) : 53 – 54. (in Chinese)
- 16 康文怀,李华,杨雪峰,等. 微氧技术在葡萄酒陈酿中的应用[J]. 食品与发酵工业,2006,32(5) :77 – 81.
KANG W H, LI H, YANG X F, et al. Effect of micro-oxygenation on wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(5) : 77 – 81. (in Chinese)
- 17 康文怀,李华,张建才,等. 微氧处理对干红葡萄酒酚类物质的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(12) :103 – 104.
KANG W H, LI H, ZHANG J C, et al. Effects of micro-oxygenation on phenols of dry red wine[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(12) : 103 – 104. (in Chinese)
- 18 李华,康文怀. 葡萄酒微氧控制装置:CN,1537933[P]. 2004 – 10 – 20.
- 19 MARTA C L, FRANCISCO P M, GREGORY S, et al. Effect of micro-oxygenation on anthocyanin and derived pigment content and chromatic characteristics of red wines[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2006, 57(3) : 325 – 331.
- 20 MARTA C L, FRANCISCO P M, JOSE M L, et al. Chromatic characteristics and anthocyanin profile of a micro-oxygenated red wine after oak or bottle maturation [J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(1) : 125 – 132.
- 21 MARTA C L, FRANCISCO P M, GREGORY S, et al. Effect of micro-oxygenation on color and anthocyanin related compounds of wines with different phenolic contents [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(14) : 5932 – 5941.
- 22 MARTA C L, JOSE M L, FRANCISCO P M, et al. Oak barrel maturation vs. micro-oxygenation: effect on the formation of anthocyanin-derived pigments and wine colour [J]. Food Chemistry, 2010, 119(1) : 191 – 195.
- 23 SULLIVAN P, FUGELSANG K, BARRY G, et al. The effects of microoxygenation on red wine quality[C]// ASEV 53rd Annual Meeting Portland, 2002:47 – 50.
- 24 PARPINELLO G P, PLUMEJEAU F, MAURY C, et al. Effect of micro-oxygenation on sensory characteristics and consumer preference of Cabernet Sauvignon wine [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(6) : 1238 – 1244.
- 25 CEJUDO-BASTANTE M J, PÉREZ-COELLO M S, HERMOSÍN-GUTIÉRREZ I. Effect of wine micro-oxygenation treatment and storage period on colour-related phenolics, volatile composition and sensory characteristics [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(4) : 866 – 874.
- 26 UGLIANO M, DIEVAL J, SIEBERT T, et al. Oxygen consumption and development of volatile sulfur compounds during bottle aging of two Shiraz wines. Influence of pre- and post-bottling controlled oxygen exposure[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(35) : 8561 – 8570.
- 27 GAMBUTI A, RINALDI A, UGLIANO M, et al. Evolution of phenolic compounds and astringency during aging of red wine: effect of oxygen exposure before and after bottling [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61: 1618 – 1627.
- 28 LLAUDY M, CANALS R, GONZAALEZ-MAZANO S, et al. Influence of micro-oxygenation treatment before oak aging on phenolic compounds composition, astringency, and color of red wine [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(12) : 4246 – 4252.
- 29 BOSSO A, GUAITA M, VAUDANO E, et al. Influence of oxygen on the evolution of phenolic compounds during red wines ageing. Effects on sensory characteristics [J]. Industrie delle Bevande, 2000, 29(170) : 630 – 640.
- 30 CASTEL C, MORAND A, PUJOL G, et al. Influence of phenolic composition and sensory characters of micro-oxygenation on grape pomaces and during ageing of red wines in Burgundy [J]. Industria delle Bevande,2001, 30(173) : 271 – 276.
- 31 王丽萍. 不锈钢罐仿橡木桶葡萄酒陈酿技术应用研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.

- 32 KELLY M, WOLLAN D. Micro-oxygenation of wine in barrels [R]. The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker: Annual technical issue, 2003: 325 – 331.
- 33 韩国民. 氧接触对葡萄酒多酚和羰基化合物影响的研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- 34 李春光, 赵新节, 孙玉霞, 等. 橡木制品对干红葡萄酒中橡木香气成分的影响研究 [J]. 酿酒科技, 2014(9): 17 – 19.
LI C G, ZHAO X J, SUN Y X, et al. Effects of oak products on oak-related aroma components in dry red wines [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2014(9): 17 – 19. (in Chinese)
- 35 STUTZ T, LIN S, HERDMAN I. Barrel renewal systems-a user's perspective [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1999, 50(4): 541 – 543.
- 36 李兰晓, 李记明, 徐岩, 等. 不同类型国产橡木制品对葡萄酒陈酿香气的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 184 – 188.
LI L X, LI J M, XU Y, et al. Effect of different types of domestic oak products on wine aging aroma [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(15): 184 – 188. (in Chinese)
- 37 周晓芳. 氧接触对葡萄酒多酚和羰基化合物影响的研究 [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2010.
- 38 卜潇, 程静, 刘树文. 橡木及橡木制品在葡萄酒酿造中的应用 [J]. 酿酒科技, 2015(8): 84 – 88.
BU X, CHENG J, LIU S W. Application of oak and oak products in wine-making [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(8): 84 – 88. (in Chinese)
- 39 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.
- 40 ARAPITSAS P, ANTONOPOULOS A, STEFANOUE E, et al. Artificial aging of wines using oak chips [J]. Food Chemistry, 2004, 86(4): 563 – 570.
- 41 PIZARRO C, RODRÍGUEZ-TECEDOR S, ESTEBAN-DÍEZ I, et al. Experimental design approach to evaluate the impact of oak chips and micro-oxygenation on the volatile profile of red wines [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 357 – 366.
- 42 FRANGIPANE M, SANTIS D, CECCARELLI A. Influence of oak woods of different geographical origins on quality of wines aged in barriques and using oak chips [J]. Food Chemistry, 2007, 103(1): 46 – 54.
- 43 SCHUMACHER R, ALAÑÓN E, CASTRO-VÁZQUEZ L, et al. Evaluation of oak chips treatment on volatile composition and sensory characteristics of Merlot wine [J]. Journal of Food Quality, 2013, 36(1): 1 – 9.
- 44 GROTTAGLIEA L, GARCÍA-ESTÉVEZ I, ROMANO R, et al. Effect of size and toasting degree of oak chips used for winemaking on the ellagitannin content and on the acutissimin formation [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 934 – 940.
- 45 JORDÃO A, CORREIA A, DELCAMPO R, et al. Antioxidant capacity, scavenger activity, and ellagitannins content from commercial oak pieces used in winemaking [J]. European Food Research and Technology, 2012, 235(5): 817 – 825.
- 46 陈复生. 食品超高压加工技术 [M]. 北京:化学工业出版社, 2005: 1 – 5.
- 47 TAO Y, SUN D, ADRIAN G, et al. A preliminary study about the influence of high hydrostatic pressure processing in parallel with oak chip maceration on the physicochemical and sensory properties of a young red wine [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 545 – 554.
- 48 TAO Y, SUN D, ADRIAN G, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing on the physicochemical and sensorial properties of a red wine [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 16: 409 – 416.
- 49 TAO Y, WU D, SUN D, et al. Quantitative and predictive study of the evolution of wine quality parameters during high hydrostatic pressure processing [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 20: 81 – 90.
- 50 CHEN X H, LI L, YOU Y L, et al. The effects of ultra-high pressure treatment on the phenolic composition of red wine [J]. South African Journal for Enology and Viticulture, 2012, 33(2): 203 – 213.
- 51 SUN X Y, CHEN X H, LI L, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the chemical properties, color and sensory quality of young red wine [J]. South African Journal of Enology and Viticulture, 2015, 36(3): 391 – 399.
- 52 SUN X Y, LI L, MA T T, 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 and Emerging Technologies, 2016, 33: 123 – 134.
- 53 李乐. 超高压处理对葡萄酒品质的影响 [D]. 北京:中国农业大学, 2011.
- 54 李乐, 游义琳, 李岳珍, 等. 超高压处理对红葡萄酒中黄酮醇的影响 [J]. 酿酒科技, 2011(6): 31 – 33.
LI L, YOU Y L, LI Y Z, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the content of flavonols in red grape wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2011(6): 31 – 33. (in Chinese)
- 55 马玲君, 李乐, 赵芳, 等. 超高压处理对干红葡萄酒中 11 种酚酸的影响 [J]. 酿酒科技, 2013(2): 25 – 27.
MA L J, LI L, ZHAO F, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the content of 11 kinds of phenolic acids in red wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2013(2): 25 – 27. (in Chinese)
- 56 SANTOS M, NUNES C, CAPPELLE J, et al. Effect of high pressure treatments on the physicochemical properties of a sulphur dioxide-free red wine [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2558 – 2566.
- 57 MICKAEL C, CLÁUDIA N, ANGÉLICA M, et al. Impact of high pressure treatments on the physicochemical properties of a

- sulphur dioxide-free white wine during bottle storage: evidence for Maillard reaction acceleration [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 20: 51 – 58.
- 58 李绍峰, 段旭昌, 刘树文, 等. 超高压处理对新鲜干红葡萄酒物理特性的影响[J]. *酿酒科技*, 2005(8): 61 – 64.
LI S F, DUAN X C, LIU S W, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on physical properties of fresh claret[J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2005(8): 61 – 64. (in Chinese)
- 59 梁茂雨, 纵伟. 超高压处理对葡萄酒香气成分的影响[J]. *中国酿造*, 2007 (7): 39 – 41.
LIANG M Y, ZONG W. Effect of ultra high pressure on aromatic components in dry red wine[J]. *China Brewing*, 2007(7): 39 – 41. (in Chinese)
- 60 BUZRUL S. High hydrostatic pressure treatment of beer and wine: a review [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2012, 13: 1 – 12.
- 61 TIWARI B K, PATRAS A, BRUNTON N. Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2010, 17(3): 598 – 604.
- 62 ASHOKKUMAR M, SUNARTIO D, KENTISH S. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: a preliminary study on a model system[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(2): 155 – 160.
- 63 李卉, 王颀, 吕烨, 等. 超声波催陈对干红葡萄酒感官指标、花色素、色度、色调和总酸浓度变化的影响 [J]. *河北农业大学学报*, 2007, 30(4): 114 – 119.
LI H, WANG J, LV Y, et al. The influence of ultrasonic aging on the organoleptic character, anthocyanins, chromaticity, tonality and total acidity of dry red wine[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2007, 30(4): 114 – 119. (in Chinese)
- 64 赵赞, 王颀, 李丹, 等. 超声波处理对葡萄酒香气成分变化的影响[J]. *北方园艺*, 2008(11): 198 – 201.
ZHAO Y, WANG J, LI D, et al. GC/MS analysis of wine after treated by ultrasonic[J]. *Northern Horticulture*, 2008(11): 198 – 201. (in Chinese)
- 65 周晓芳, 高畅, 王学峰. 橡木片与超声波催陈干红葡萄酒的研究[J]. *中国酿造*, 2010(8): 83 – 87.
ZHOU X F, GAO C, WANG X F. Aging wines with oak chips and ultrasound [J]. *China Brewing*, 2010(8): 83 – 87. (in Chinese)
- 66 MARTÍN J, SUN D W. Ultrasound and electric fields as novel techniques for assisting the wine ageing process: the state-of-the-art research [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2013, 33(1): 40 – 53.
- 67 LEONHARDT C G, MORABITO J A. Wine aging method and system: USA, 11043121 [P]. 2007 – 11 – 04.
- 68 舒杰, 刘东红, 谢广发, 等. 酒类产品超声陈化技术的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(9): 56 – 59.
SHU J, LIU D H, XIE G F. Research advance on ultrasonic aging of wine products [J]. *Food and Nutrition in China*, 2011, 17(9): 56 – 59. (in Chinese)
- 69 CHANG A C, CHEN F C. The application of 20 kHz ultrasonic waves to accelerate the aging of different wines [J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(4): 501 – 506.
- 70 张清安, 范学辉, 原江锋. 超声波辅助熟化红葡萄酒技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(1): 143 – 147.
ZHANG Q A, FAN X H, YUAN J F. Progress of accelerated red wine ageing technique mediated by ultrasound treatment [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(1): 143 – 147. (in Chinese)
- 71 曾新安, 陈勇, 郝冬曙. 电场作用下葡萄酒香气成分变化气质联用分析[J]. *酿酒*, 2004, 31(3): 45 – 47.
ZENG X A, CHEN Y, HAO D S. GC/MS analysis of dry red wine after treated by high voltage electric field [J]. *Liquor-making*, 2004, 31(3): 45 – 47. (in Chinese)
- 72 陈勇, 曾新安, 董新平, 等. 电场催陈对干红葡萄酒游离氨基酸的影响[J]. *酿酒科技*, 2004(4): 80 – 81.
CHEN Y, ZENG X A, DONG X P, et al. Effects of aging-acceleration by electric field on free amino acid of claret [J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2004(4): 80 – 81. (in Chinese)
- 73 杨华峰, 曾新安, 陈勇, 等. 新鲜葡萄酒高强度电磁场人工催陈研究[J]. *酿酒*, 2003, 30(3): 40 – 42.
YANG H F, ZENG X A, CHEN Y, et al. Study on the accelerating fresh wine aging by high intensity electromagnetic field [J]. *Liquor-making*, 2003, 30(3): 40 – 42. (in Chinese)
- 74 WANG X, SU H, ZHANG Q, et al. The effects of pulsed electric fields applied to red and white wines during bottle ageing on organic acid contents [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(1): 171 – 180.
- 75 陈杰, 张若兵, 王秀芹, 等. 脉冲电场对新鲜干红葡萄酒酚类物质和色泽影响的研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(1): 206 – 209.
CHEN J, ZHANG R B, WANG X Q, et al. Effects of pulsed electric fields on phenols and colour in young red wine [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010, 30(1): 206 – 209. (in Chinese)
- 76 苏慧娜, 黄卫东, 战吉成, 等. 高压脉冲电场对干红葡萄酒原花色素的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(3): 39 – 43.
SU H N, HUANG W D, ZHAN J C, et al. Effect of high-voltage pulsed electric field on proanthocyanidins content in freshly brewed dry red wine [J]. *Food Science*, 2010, 31(3): 39 – 43. (in Chinese)
- 77 刘学军, 殷涌光, 范松梅, 等. 高压脉冲电场催陈葡萄酒香气成分变化的 GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 654 – 657.
LIU X J, YIN Y G, FAN S M, et al. GC-MS analysis of aroma component variation of wine treated by high voltage pulse electric

field [J]. Food Science, 2006, 27(12):654 – 657. (in Chinese)

78 刘学军, 殷涌光, 范松梅, 等. 高压脉冲电场对葡萄酒中高级醇的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(2): 250 – 252.
LIU X J, YIN Y G, FAN S M, et al. Effects of higher alcohols in wine treated with high voltage pulse electric field[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(2):250 – 252. (in Chinese)

79 刘学军, 殷涌光, 朱畅, 等. 高压脉冲电场对干红葡萄酒色度的影响[J]. 食品与机械, 2007, 38(3):51 – 52.
LIU X J, YIN Y G, ZHU C, et al. Effects of high-voltage pulsed electric field on physical properties of fresh claret[J]. Food & Machinery, 2007, 38(3):51 – 52. (in Chinese)

80 殷涌光, 刘学军, 朱畅, 等. 高压脉冲电场对干红葡萄酒物性的影响研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11):221 – 224.
YIN Y G, LIU X J, ZHU C, et al. Effects of high-voltage pulsed electric field on physical properties of fresh claret[J]. Food Science, 2006, 27(11):221 – 224. (in Chinese)

81 LÓPEZ N, PUÉRTOLAS E, HEYNÁNDEZ-ORTE P. Effect of a pulsed electric field treatment on the anthocyanins composition and other quality parameters of Cabernet Sauvignon freshly fermented model wines obtained after different maceration times [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009,42:1225 – 1231.

82 ZHAO D, ZENG X A, SUN D W. Effects of pulsed electric field treatment on (+)-catechin-acetaldehyde condensation [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 20:100 – 105.

83 苏慧娜, 黄卫东, 战吉成, 等. 磁场对新鲜干红葡萄酒原花色素的影响研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 112 – 115.
SU H N, HUANG W D, ZHAN J C, et al. Effect of magnetic field on the contents of proanthocyanidins in young red wines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(11):112 – 115. (in Chinese)

84 张庆华, 陈小波, 战吉成, 等. 磁场对新鲜干红葡萄酒酚类物质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 30(9): 108 – 111.
ZHANG Q H, CHEN X B, ZHAN J C, et al. Effect of magnetic field on the contents of phenolic compounds in red wines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 30(9):108 – 111. (in Chinese)

85 CALDWELL C L, SPAYD S E. Effects of gamma irradiation on chemical and sensory evaluation of Cabernet Sauvignon wine[C]//ACS Symposium Series, 1989, 405(1):337 – 345.

86 CHANG A C. The effects of gamma irradiation on rice wine maturation[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 323 – 327.

87 CHANG A C. The effects of different accelerating techniques on maize wine maturation[J]. Food Chemistry, 2004,86(1): 61 – 68.

88 夏广丽, 刘春生, 史明儡, 等. 微氧处理技术在葡萄酒陈酿中的应用[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2006(3):16 – 18.
XIA G L, LIU C S, SHI M L, et al. Application of micro-oxygenation in red wine aging[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2006(3):16 – 18. (in Chinese)

89 OBERHOLSTER A, ELMENDORF B, LERNO L, et al. Barrel maturation, oak alternatives and micro-oxygenation: influence on red wine aging and quality [J]. Food Chemistry, 2015,173:1250 – 1258.

90 孙大文, 曾新安, 杨星, 等. 一种利用橡木及高静压加快干红葡萄酒老熟的方法:中国, 102994356A [P]. 2013 – 03 – 27.

91 TAO Y, ZHANG X H, SUN D W. Experimental and modeling studies of ultrasound-assisted release of phenolics from oak chips into model wine [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2014, 21(5):1839 – 1848.

92 孙大文, 曾新安, 杨星. 一种利用微氧高静压加快干红葡萄酒老熟的方法:中国, 102787064B [P]. 2014 – 02 – 12.

93 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.
LI C, HUO X R, ZHENG X Z, et al. Effect of microwave aging conditions on color and pH of dry red wine[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(1):124 – 129. (in Chinese)

94 郭雪霞. 葡萄酒人工催陈技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.

95 赵赞. 干红葡萄酒催陈技术研究[D]. 保定:河北农业大学, 2008.

96 LIN L Y, PENG C C, WANG H E, et al. Acceleration of maturity of young Sorghum (Kaoliang) spirits by linking nanogold photocatalyzed process to conventional biological aging-a kinetic approach[J]. Food and Bioprocess Technology, 2008, 1(3): 234 – 245.

97 MAJLÁT P, ERDÖS Z, TAKÁS J. Calculation and application of retention indices in programmed temperature gas chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 1974, 91: 89 – 103.