

橡木桶陈酿对葡萄酒质量的影响

孙建平¹, 奚德智², 张辉¹, 赵森林²

(1.中粮酒业有限公司, 北京 100005; 2.中国长城葡萄酒有限公司, 河北 沙城 075400)

摘要: 橡木桶对葡萄酒的香气、色泽和稳定性有重要的影响,同时,橡木桶也使葡萄酒经历一个自然的澄清过程。陈酿型的葡萄酒质量受诸多因素的影响,主要是橡木桶的成分、葡萄酒成分及陈酿时间。总结了橡木桶贮藏对葡萄酒质量的影响因素;提出橡木桶贮藏过程中对葡萄酒造成不愉快味道的主要成分是乙烯基苯酚类物质;提出橡木桶和酵母酒泥对葡萄酒香味成分吸附作用及葡萄酒陈酿的一些新技术。

关键词: 葡萄酒; 橡木桶; 陈酿; 质量

中图分类号: TS262.6; TS261.4

文献标识码: B

文章编号: 1001-9286(2008)10-0081-05

Effects of Grape Wine Aging in Oak Barrels on Grape Wine Quality

SUN Jian-ping¹, XI De-zhi², ZHANG Hui¹ and ZHAO Sen-lin²

(1. COFCO Wine Industry Co. Ltd., Beijing 100005; 2. China Great Wall Wine Co. Ltd, Shacheng, Hebei 075400, China)

Abstract: Oak barrels have important effects on the flavor, the color, and the stability of grape wine. Meanwhile, grape wine aging in oak barrels is also a spontaneous clarification process. The quality of grape wine is influenced by many factors mainly including the compositions of oak barrels, the compositions of grape wine, and aging time. In this paper, the influencing factors of oak barrels storage on grape wine quality were summarized. It was revealed that ethyphenols was the main substance inducing unpleasant grape wine flavor during oak barrels storage. Besides, the absorption functions of grape wine flavoring compositions by oak barrels and yeast slurry and some new techniques about grape wine aging were also put forward. (Tran. by YUE Yang)

Key words: grape wine; oak barrels; aging; quality

新发酵的葡萄酒经过一系列过程处理后,进入陈酿阶段。在此期间,葡萄酒可能要被贮藏到橡木桶中,这一过程对葡萄酒质量产生重要的影响。首先,橡木桶赋予葡萄酒一些特殊的香味物质,使葡萄酒的香气更加平衡协调;其次,由于橡木桶表面有微小的透气孔,贮藏在橡木桶中的葡萄酒处于一个“微氧环境”下^[1],使色泽更加趋于稳定,口感变得圆润^[2]。最后,葡萄酒在橡木桶中经历了一个自然澄清的过程,稳定性增强。

橡木桶中挥发性物质的萃取主要依赖于其自身含量的高低、贮藏时间及葡萄酒成分。然而,由于微生物的作用,贮藏过程中这些萃取物也会发生一些转化,调节它们在葡萄酒中的分布量^[3]。同时,葡萄酒中一些成分也被木桶和酒泥吸附^[4],也影响了葡萄酒中挥发性物质的形成。另外,贮藏在橡木桶中的葡萄酒,特别是那些再生的橡木桶,会产生乙烯基苯酚类物质,使葡萄酒产生不愉快的味道,它的来源一方面微生物作用,另一方面是酵母污染木桶使肉桂酸脱羧产生^[5]。这些过程导致了葡萄酒在橡木桶陈酿过程中的复杂性,最终影响了葡萄酒的质量。

目前,处于成本的考虑,出现了一些可替代的办法

进行葡萄酒的陈酿,包括添加橡木片、橡木块和微氧技术,创造一个近似于橡木桶的环境来贮藏葡萄酒。本文通过调查以前关于橡木桶对葡萄酒影响的一些研究工作,总结了橡木桶贮藏对葡萄酒质量的影响因素,阐述了橡木桶贮藏过程中产生的一些不愉快味道及预防措施,提出了橡木桶陈酿的一些新技术,为商业化葡萄酒的生产提供理论参考。

1 葡萄酒成分对橡木桶挥发性物质萃取的影响

通过对葡萄酒中添加酒精增加酒精度的办法来研究酒精对橡木桶中物质萃取的影响。Maga^[6]检测了美国白橡木桶 (*Quercus alba*) 中顺式/反式-橡木内酯 (cis-/trans-oak lactone) 分别在 0%、10%、20%、40% 和 60% 酒精度的模式葡萄酒中的萃取量。结果表明,含橡木内酯最高的是酒精度为 40% 的葡萄酒; 同样, Puech 发现来自保加利亚的夏橡木桶 (*Quercus sessilis*) 中酚醛类物质在酒精度为 55% vol 的模式葡萄酒的萃取量高于 10% 的葡萄酒^[7]。最近, Ortega-Heras 等人^[8] 研究发现葡萄品种对贮藏在橡木桶的葡萄酒中物质的萃取也有影响。Garde-Cerdán 等人^[9] 研究了美乐 (*Melort*) 和赤霞

收稿日期: 2008-07-08; 修回日期: 2008-08-22

珠(*Cabernet Sauvignon*)2个品种的不同酒精度和pH的葡萄酒在陈酿过程中橡木桶中挥发物质的萃取情况,其中美乐酒精度13.6%vol,pH3.7;赤霞珠酒精度为12.3%vol,pH3.45。结果发现,酒精度较高的美乐葡萄酒中萃取量高于酒精度低的赤霞珠葡萄酒。贮藏8个月后,美乐葡萄酒中香草醛上升到阈值之上,之后又下降,由于微生物降解成相应的乙醇,而赤霞珠葡萄酒中香草醛始终未达到阈值水平。另外,本研究也表明,相比酒精度,pH对橡木桶中物质的萃取影响很小。

酿造过程中添加的SO₂也影响葡萄酒对橡木桶中物质的萃取,特别是带有羰基基团的物质,Ancin等人^[10]研究发现SO₂延迟了葡萄酒中5-羟基甲氧基糠醛、香草醛、丁香醛、及松柏醛物质的出现,但SO₂本身不与糠醛和5-甲氧基糠醛结合,因为这两种物质的羰基基团活性较弱。

2 橡木桶的成分对葡萄酒挥发性成分的影响

橡木桶的成分主要决定于橡木的品种、产地、干燥方式、烘烤程度及橡木桶使用时间的长短。橡木品种传统上用于陈酿酒精饮料的是美国美洲白橡木(*Quercus alba*)和法国卢浮橡木(*Quercus sessilis*)与夏橡木(*Quercus robur*)。前两个品种主要用于葡萄酒的陈酿,而夏橡木主要用于白兰地的陈酿。研究人员也对不同橡木的特征进行研究,结果表明,橡木桶的成分在不同产地^[10-11]、品种^[12-13]和树体差异^[14]上有不同的表现。因此,在制作橡木桶时,对橡木的品种和产地要综合考虑。

一般来说,相比于法国橡木,美国的白橡木更容易使葡萄酒产生更多的顺式-橡木内酯,一些研究也证实了这一结论^[15-18]。因此,可以用顺式与反式橡木内酯的比例来区分美国橡木和法国橡木^[19]。

橡木树砍伐后首先进行干燥,这样可以提高橡木的机械抗性。橡木在自然干燥过程中,其挥发性物质的量发生变化,酚类物质和橡木内酯含量增加^[20-21]。在制成橡木桶之前,橡木桶必须先加热烘烤,通常有3种类型的烘烤:轻度、中等和重度烘烤,这一过程对橡木桶成分的形成影响最大。热处理使一些物质发生热降解,产生大量的挥发性物质,呋喃类化合物由碳水化合物热降解形成,挥发性酚类物质由木质素热降解形成,橡木内酯来自酸的脱羧形成^[22]。Chatonnet^[23]研究发现,中等烘烤赋予橡木桶挥发性物质的量最多。橡木桶贮酒时间的长短是决定其成分含量的另外一个重要的因素,由于橡木中物质是有限的,它们的萃取量和萃取效果随贮酒时间的延长会下降。

3 贮藏时间对葡萄酒挥发性成分的影响

在美国、澳大利亚等国家,由酿酒师来决定最佳的

木桶贮藏时间,其他国家,贮藏时间通过法律来调节。因此,研究葡萄酒在木桶贮藏过程中化合物的演变是非常重要的。再结合感官品尝,可决定葡萄酒在木桶中的最佳贮藏时间。葡萄酒从橡木桶中萃取物质的量可通过这些物质的释放率来测定,而释放出的物质会通过化学或微生物反应进一步转化。比如,葡萄酒在木桶贮藏期间,呋喃乙醛通过微生物作用降解成乙醇^[24],糠醛通过微生物或化学作用转化成2-呋喃甲硫醇^[25],同时,呋喃乙醛和糠醛乙醇转化成相应的乙醚^[26-27]。短期的贮藏中,从木桶萃取这些物质的量大于转化量,所以含量上升;而在长期的贮藏中,萃取量小于转化量,所以它们的含量降低,像糠醛和5-甲基糠醛在贮藏12个月时达到了最大值,之后大幅度下降^[9,28-29]。另外,呋喃类化合物的阈值比较高,它们在葡萄酒中的量一般不会超过阈值,所以,尽管它们的含量比橡木内酯高,但对葡萄酒香气组成并不重要^[30]。

酚乙醛类物质也通过微生物转化成相应的乙醇^[29]。一些研究^[7,9,29,32]发现,酚乙醛类物质在贮藏10~12个月时达到最大值。这类物质中,香草醛是最重要的一种,因为它的阈值很低,对葡萄酒的香气影响较大^[33],与呋喃乙醛相似,香草醛在短期贮藏期间已有积累,一开始由于葡萄酒和木桶之间存在浓度差,所以萃取量较高^[16,28],而随着贮藏时间的延长,香草醛转化成相应的香草醇浓度下降或呈现波动的状态。

相比于上述提到的物质,酚醇类物质是相对稳定的,因为在整个贮藏期间几乎未发生变化^[16,28,29]。因此,它们的浓度依赖于萃取率。Pérez-Prieto^[34]研究发现,4-甲基愈创木酚需要贮藏3个月时间才能达到最大值,愈创木酚需要贮藏9个月达到最大值。当贮藏时间延长时,酚醇类物质缓慢增加或保持不变。酚醇类物质具有烘烤味和辛香料味,在葡萄酒中一般达不到它们的阈值。然而,在像葡萄酒这种比较复杂的介质中,这类物质对葡萄酒香气的影响是通过加和、协同或抑制等作用产生^[34]。

顺式/反式橡木内酯在葡萄酒中以酸或酯的形式存在,并且之间有平衡性^[19]。Garde-Cerdán,等^[32]发现贮藏18个月的2次用的橡木桶中的这类物质的量低于文献中^[34]报道的贮藏9个月的初次用的橡木桶中的量,其差异源于橡木内酯的消耗。另一方面,这类物质在整个贮藏期有一个小的转化,但不像呋喃类物质转化的幅度大。顺式橡木内酯是葡萄酒中贮藏过程中最主要的挥发物,并且它的含量在阈值之上。

4 葡萄酒贮藏过程中乙烯基苯酚的形成

乙烯基苯酚对葡萄酒的香气带来不利的影响,因此,为了避免它的形成,特别对高质量的葡萄酒,研究它

的形成机理特别重要。乙烯基苯酚、4-乙烯基苯酚和4-乙烯基愈创木酚都源于葡萄 *Brettanomyces/Dekkera* 酵母污染所致。旧的橡木桶贮藏的葡萄酒中乙烯基苯酚含量较高,并且在贮藏的过程中含量上升,在新的木桶中,这类物质也会产生,含量较低。此外,酒精度低的比酒精度高的葡萄酒容易使乙烯基苯酚产生^[9,35],因为高酒精度会降低微生物的活性而抑制了它们的形成。在旧木桶贮藏的葡萄酒产生的乙烯基苯酚物质在阈值之上。Laureano^[36]报道用热水和蒸汽处理木桶不足以使污染的酵母和霉菌灭活,现在工作人员普遍认为 *Brettanomyces/Dekkera* 酵母不能仅仅靠控制加工设备的卫生来实现,而是要更严格控制微生物和亚硫酸盐与二甲基碳氢盐的合理利用^[37]。类似地, duToit, Pretorius^[38]也对 *Brettanomyces* 酵母中 O₂ 和 SO₂ 的形成进行了研究,建议如果怀疑葡萄酒受到 *Brettanomyces* 酵母的污染,尽量减少与 O₂ 的接触,除去 O₂ 的同时,检查或调节游离 SO₂ 浓度在 25~35 mg/L 之间。此外, Ugarte^[39] 研究发现葡萄酒进木桶陈酿后,在进行膜过滤和吸附树脂吸附这样一个 2 步联合处理,可以降低葡萄酒中乙烯基苯酚类物质。

5 陈酿期间橡木桶和酵母酒泥对葡萄酒中挥发物质的吸附作用

木材的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素,具有供电能力和接受电子能力,使树木呈现酸性特征,木质素有多个水解位点^[40]。这样,树木的结构和化学成分影响着葡萄酒的质量,它能吸附葡萄酒中的挥发性成分和其他物理化学物质。Ramirez^[41]用法国的橡木桶贮藏模式葡萄酒 60 d,研究了橡木桶对葡萄酒中酯和醇类等主要挥发性物质的吸附作用,结果发现,吸附达到平衡时,橡木桶吸附了葡萄酒中挥发性物质 3%~70% 的量,其中里哪醇和乙酸辛酯的吸附量最大,其次是醋酸异戊酯、己酸乙酯、癸酸乙酯、2-苯乙醇和苯甲醛。Jarauta 等人^[27]研究发现,辛酸、己酸、丁酸、异戊酸在葡萄酒贮藏期间也被橡木桶吸附,其中辛酸最容易被吸附,可能因为它非极性化合物的缘故。

Ramirez-Ramirez 等^[42]用模式葡萄酒研究了酒精度分别为 0%、10% 和 15% 时酵母对橡木桶吸附挥发物质的影响,发现当酒精浓度增加时,己酸乙酯、辛酸乙酯、苯甲醛、2-苯基乙醇被橡木桶的吸附量减少,可能因为这些物质在葡萄酒中的溶解度增加的缘故。另外,笔者也发现在小分子酵母浓度增到 0.1~0.5 g/L 时,极性的酯类物质更容易被吸附,对于更多的极性香气类物质,像 2-苯基乙醇、苯甲醛,结果则相反。这些现象可能是小分子香气物质之间的吸附作用所致。所以,酿酒过程中应采取措施增加介质中小分子酵母,比如带酵母泥

陈酿,调节香气物质在葡萄酒和橡木桶中的分配,来影响整个葡萄酒在橡木桶贮藏期间的质量^[43]。

6 葡萄酒贮藏的新技术应用

用橡木桶贮藏葡萄酒给制酒生产商造成较高的成本,因此,近几年,酿酒师正寻找了一些可替代的方法。要特别说明的是,在欧洲,这些方法在法律上是禁止采用的,其他葡萄酒生产国家法律上没有相关规定,因此可以自由地选择可替代的方法满足葡萄酒的陈酿方式。

近几年,通过向葡萄酒中添加橡木片来增加橡木香味是一种最常用的替代方法,因为是把橡木放进葡萄酒中而不是把葡萄酒放进橡木桶中,这样,橡木的用料可降低 60%^[43]。Prez-Coello^[44]向未发酵的葡萄汁中分别加入 4 g/L、7 g/L 和 14 g/L 的美国橡木片和法国的 Allier、Central、France、Vosges 橡木片,结果发现要达到顺式-橡木内酯感官阈值^[45]时所用美国橡木片和法国 Vosges 橡木片最小浓度是 5 g/L,法国 Central 和 Allier 橡木片最小浓度大约是 8 g/L。通过感官分析,发现橡木片的量为 4 g/L 时接近阈值,可以感知到橡木味;达到 14 g/L 时有很强不愉快的橡木味;在 7 g/L 时很容易闻到橡木味,也容易被检测到。Gutiérrez Afonso^[46]对采用美国橡木桶和法国橡木桶发酵的葡萄酒与不锈钢罐发酵并添加橡木片(4 g/L 和 8 g/L)的葡萄酒进行感官分析对比,发现相比橡木桶发酵的葡萄酒,添加橡木片给葡萄酒带来很强的橡木味和比较强的苦味与收敛性,所以,一种葡萄酒采用哪一种技术酿造要根据酒本身的香气结构来决定。近几年, Arapitsas^[47]向葡萄酒中添加不同尺寸规格(1 cm×1 cm×1 cm 和 3.4 cm×2 cm×1 cm)的橡木片贮藏 14 d,研究葡萄酒对橡木片挥发性成分的萃取情况,研究的萃取物包括糠醛、愈创木酚、丁子香酚、橡木内酯、香草醛和丁香醛,发现愈创木酚的萃取与橡木片的大小有关,添加大体积橡木片的葡萄酒中它的萃取率最高。微氧处理与添加橡木片结合,模拟类似橡木桶陈酿的条件对酒进行陈酿是另一种可替代的方法。夏广丽^[48]等人通过这一技术处理葡萄酒,发现此项技术可以有效地稳定葡萄酒的颜色,改善口感,提高葡萄酒的感官质量,可以部分替代橡木桶陈酿,缩短陈酿周期,大大降低葡萄酒陈酿成本。

7 结论

葡萄酒在橡木桶中的陈酿是一个复杂的过程,其变化依赖于诸多因素,其中一些需要更进一步的研究,因此,了解葡萄酒在陈酿过程中萃取橡木桶中的成分非常重要。这样,就可以根据葡萄酒的类型匹配相应的橡木桶,有助于产品得到更好的质量。现在,应加快对传统的橡木桶陈酿方法与添加橡木片、橡木条和微氧技术的替

代方法处理的葡萄酒进行质量对比研究。值得一提的是,橡木桶和酒泥能吸附葡萄酒中发酵产生的挥发性成分。最后,通过这一领域的资料查找,发现通过法律的方式建立一个陈酿期似乎不合乎逻辑,特别是在一些传统生产的葡萄酒国家。所以,结合感官评价对葡萄酒挥发性物质的研究对决定葡萄酒与橡木桶的最佳接触时间有重要的意义。

参考文献:

- [1] Vivas, N., Glories, Y. étude de la flore fongique du chêne (*Quercus* sp.) caractéristique du séchage naturel des bois destinés à la tonnellerie [J]. *Cryptogamie-Mycologie*, 1993, 14(2): 127-148.
- [2] Jackson, R. S. Oak and cooperage. In S. L. Taylor (Ed.), *Wine science: Principles and applications* [M]. New York: Academic Press. 1994. 299-311.
- [3] Spillman, P. J., Iland, P. G., Sefton, M. A. Accumulation of volatile oak compounds in a model wine stored in American and Limousin oak barrels [J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1998, 4(2): 67-73.
- [4] Chassagne, D., Guilloux-Benatier, M., Alexandre, H., Voilley, A. Sorption of wine volatile phenols by yeast lees [J]. *Food Chemistry*, 2005, 91(1): 39-44.
- [5] Chatonnet, P., Dubourdieu, D., Boidron, J. N., Pons, M. The origin of ethylphenols in wines [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1992, 60(2): 165-178.
- [6] Maga, J. A. Formation and extraction of cis- and trans-bmethyl-g-octalactone from *Quercus alba* [M]. In J. R. Piggot, & A. Patterson (Eds.), *Distilled beverage flavour: Recent developments*, 1989. 171-176.
- [7] Puech, J. L. Extraction of phenolic compounds from oak wood in model solutions and evolution of aromatic aldehydes in wines aged in oak barrels [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1987, 38(3): 236-238.
- [8] Ortega-Heras, M., González-Huerta, C., Herrera, P., González-Sanjosé, M. L. Changes in wine volatile compounds of varietal wines during ageing in wood barrels [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, 513(1): 341-350.
- [9] Garde-Cerdán, T., Torrea-Goñi, D., Ancín-Azpilicueta, C. Accumulation of volatile compounds during ageing of two red wines with different composition [J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 65(3): 349-356.
- [10] Ancín, C., Garde, T., Torrea, D., Jiménez, N. Extraction of volatile compounds in model wine from different oak woods. Effect of SO₂ [J]. *Food Research International*, 2004, 37(4): 375-383.
- [11] Mosedale, J. R., Puech, J. L., Feuillat, F. The influence on wine flavor of the oak species and natural variation of heart wood components [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1999, 50(4): 503-512.
- [12] Feuillat, F., Keller, R., Sauvageot, F., Puech, J. L. Characterization of French oak cooperage (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) Research of the study group on barreling Burgundy wines [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1999, 50(4): 513-518.
- [13] Mosedale, J. R., Feuillat, F., Baumes, R., Dupouey, J. L., Puech, J. L. Variability of wood extractives among *Quercus robur* and *Quercus petraea* trees from mixed stands and their relation to wood anatomy and leaf morphology [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1998, 28(7): 994-1006.
- [14] Doussot, F., Pardon, P., Dedier, J., De Jeso, B. Individual, species and geographic origin influence on cooperage oak extractable content (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl.) [J]. *Analisis*, 2000, 28(10): 960-965.
- [15] Díaz-Plaza, E. M., Reyero, J. M., Pardo, F., Alonso, G. L., Salinas, M. R. Influence of oak wood on the aromatic composition and quality of wines with different tannin contents [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(9): 2622-2626.
- [16] Gómez-Plaza, E., Pérez-Prieto, L. J., Fernández-Fernández, J. I., López-Roca, J. M. The effect of successive uses of oak barrels on the extraction of oak-related volatile compounds from wine [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2004, 39(10): 1069-1078.
- [17] Towey, J. P., Waterhouse, A. L. The extraction of volatile compounds from French and American oak barrels in Chardonnay during three successive vintages [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1996, 47(2): 163-172.
- [18] 易勇波. 橡木桶对葡萄酒香气的影响 [J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2004, (3): 54-58.
- [19] Waterhouse, A. L., Towey, J. P. Oak lactone isomer ratio distinguishes between wines fermented in American and French oak barrels [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(9): 1971-1974.
- [20] Cadahía, E., Muñoz, L., Fernández de Simón, B., García-Vallejo, C. Changes in low molecular weight phenolic compounds in Spanish, French, and American oak woods during natural seasoning and toasting [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4): 1790-1798.
- [21] Chatonnet, P., Boidron, J. N., Dubourdieu, D., Pons, M. évolution de certains composés volatils du bois de chêne au cours de son séchage. Premiers résultats [J]. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 1994, 28(4): 359-380.
- [22] 李记明, 李华. 橡木桶与葡萄酒陈酿 [J]. *食品与发酵工业*, 1998, (6): 55-57.
- [23] Chatonnet, P., Boidron, J. N., Pons, M. Effect of heat on oak wood and its chemical composition. Part 2. Variations of certain compounds in relation to toasting intensity [J]. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, 1989, 23(4): 223-250.
- [24] Boidron, J. N., Chatonnet, P., Pons, M. Effects of wood on aroma compounds of wine [J]. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, 1988, 22(4): 275-294.
- [25] Tominaga, T., Blanchard, L., Darriet, P., Dubourdieu, D. A

- powerful aromatic volatile thiol, 2-furanmethanethiol, exhibiting roast coffee aroma in wines made from several *Vitis vinifera* grape varieties [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(5): 1799–1802.
- [26] Spillman, P. J., Pollnitz, A. P., Liacopoulos, D., Pardon, K. H., Sefton, M. A. Formation and degradation of furfuryl alcohol, 5-methylfurfuryl alcohol, vanillyl alcohol, and their ethyl ethers in barrel-aged wines [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(2): 657–663.
- [27] Vanderhaegen, B., Neven, H., Daenen, L., Verstrepen, K. J., Verachert, H., Derdelinckx, G. Furfuryl ethyl ether: Important aging flavor and a new marker for the storage conditions of beer [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(6): 1661–1668.
- [28] Garde-Cerdán, T., Ancin-Azpilicueta, C. Effect of oak barrel type on the volatile composition of wine. Storage time optimization [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2006, 39(3): 199–205.
- [29] Jarauta, I., Cacho, J., Ferreira, V. Concurrent phenomena contributing to the formation of the aroma of wine during aging in oak wood: An analytical study [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(10): 4166–4177.
- [30] Reazin, G. H. Chemical mechanisms of whiskey maturation [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1981, 32(4): 283–289.
- [31] Spillman, P. J., Pollnitz, A. P., Liacopoulos, D., Skouroumounis, G. K., Sefton, M. A. Accumulation of vanillin during barrel-ageing of white, red, and model wines [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(7): 2584–2589.
- [32] Garde-Cerdán, T., Torrea-Goñi, D., Ancin-Azpilicueta, C. Changes in the concentration of volatile oak compounds and esters in red wine stored for 18 months in re-used French oak barrels [J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2002, 8(2): 140–145.
- [33] 李华. 橡木桶与葡萄酒[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2002, (1): 49–52.
- [34] Pérez-Prieto, L. J., López-Roca, J. M., Martínez-Cutillas, A., Pardo-Mínguez, F., Gómez-Plaza, E. Extraction and formation dynamic of oak-related volatile compounds from different volume barrels to wine and their behavior during bottle storage [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(18): 5444–5449.
- [35] Dias, L., Pereira-da-Silva, S., Tavares, M., Malfeito-Ferreira, M., Loureiro, V. Factors affecting the production of 4-ethylphenol by the yeast *Dekkera bruxellensis* in enological conditions [J]. *Food Microbiology*, 2003, 20(4): 377–384.
- [36] Laureano, P., D'Antuono, I., Malfeito-Ferreira, M., Loureiro, V. Effect of different sanitation treatments on the numbers of total microorganisms and of *Dekkera bruxellensis* recovered from the wood of wine ageing barriques [M]. Budapest: In Abstracts of the 23rd International Specialised Symposium on Yeasts, 2003.
- [37] Loureiro, V., Malfeito-Ferreira, M. Spoilage yeasts in the wine industry [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2003, 86(1–2): 23–50.
- [38] du Toit, W. J., Pretorius, I. S., Lonvaud-Funel, A. The effect of sulphur dioxide and oxygen on the viability and culturability of a strain of *Acetobacter pasteurianus* and a strain of *Brettanomyces bruxellensis* isolated from wine [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, 98(4): 862–871.
- [39] Ugarte, P., Agosin, E., Bordeu, E., Villalobos, J. I. Reduction of 4-ethylphenol and 4-ethylguaiacol concentration in red wines using reverse osmosis and adsorption [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2005, 56(1): 30–36.
- [40] Shen, Q., Mikkola, P., Rosenholm, J. B. Quantitative characterization of the subsurface acid-base properties of wood by XPS and Fowkes theory. *Colloids and Surfaces A [J]. Physicochemical and Engineering Aspects*, 1998, 145(1–3): 235–241.
- [41] Ramirez Ramirez, G., Lubbers, S., Charpentier, C., Feuillat, M., Voilley, A., Chassagne, D. Aroma compound sorption by oak wood in a model wine [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(8): 3893–3897.
- [42] Ramirez-Ramirez, G., Chassagne, D., Feuillat, M., Voilley, A., Charpentier, C. Effect of wine constituents on aroma compound sorption by oak wood in a model system [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2004, 55(1): 22–26.
- [43] Stutz, T., Lin, S., Herdman, I. Historical note. Barrel renewal systems—a user's perspective [J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1999, 50(4): 541–543.
- [44] Pérez-Coello, M. S., González-Viñas, M. A., García-Romero, E., Cabezudo, M. D., Sanz, J. Chemical and sensory changes in white wines fermented in the presence of oak chips [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2002, 35(1): 23–32.
- [45] Chatonnet, P. Incidences du bois de chêne sur la composition chimique et les qualités organoleptiques des vins: Applications technologiques [M]. Thesis, Université de Bordeaux II, U.F. R. Institut d'Oenologie. 1991
- [46] Gutiérrez Afonso, V. L. Sensory descriptive analysis between white wines fermented with oak chips and in barrels [J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(6): 2415–2419.
- [47] Arapitsas, P., Antonopoulos, A., Stefanou, E., Dourtoglou, V. G. Artificial aging of wines using oak chips [J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(4): 563–570.
- [48] 夏广丽, 刘春生, 史铭儒, 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*, 2008, (8): 18–19.

欢 迎 订 阅 《 酿 酒 科 技 》