

超声波处理对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化性的影响

Effect of ultrasonic treatment on phenolic compounds, colour and antioxidant activity of black rice wine

张清安¹ 史芳芳¹ 王 袞¹ 范学辉¹ 周宝龙²

ZHANG Qing-an¹ SHI Fang-fang¹ WANG Xi¹ FAN Xue-hui¹ ZHOU Bao-long²

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119;

2. 陕西朱鹦黑米酒业有限公司, 陕西 洋县 723300)

(1. School of Food Engineering and Nutrition Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China;

2. Shaanxi Crested Ibis rice wine Co., Ltd., Yangxian, Shaanxi 723300, China)

摘要:研究了超声处理对黑米酒中酚类物质、颜色及羟基自由基清除能力的影响。结果显示:超声波处理后黑米酒中总酚含量、总黄酮含量、总花青素含量及清除自由基能力均有不同程度下降,而黑米酒亮度(L^*)、红色(a^*)及黄色(b^*)的颜色特性均有一定程度增加;不同超声条件处理后,黑米酒中总花青素含量与其 a^* 有明显相关性,表明总花青素是黑米酒呈现红色的主体物质;超声处理后黑米酒清除羟自由基的能力与黄酮、花青素等的变化呈明显相关性。上述部分指标的变化与自然熟化过程变化基本一致,表明超声在一定程度上可以起到辅助黑米酒熟化的作用。

关键词:超声波;黑米酒;总酚;总花青素;颜色;抗氧化性

Abstract: The effects of ultrasound irradiation were studied on the phenolic compounds, color and hydroxyl radical scavenging ability of black rice wine. The results showed that the total content of phenolic, flavonoids, anthocyanins and the scavenging capacity of hydroxyl radical for the black rice wine decreased after ultrasonic treatment, while the brightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) of wine color had some certain increasing. Furthermore, the total anthocyanins content highly correlated with the color of a^* in the black rice wine under the ultrasound irradiation, which suggests that the total anthocyanins may contribute to the redness of the black rice wine. In addition, the scavenging ability on hydroxyl

radical was in accordance with the changes of flavonoids and anthocyanins for the black rice wine. Moreover, some of the parameters in the ultrasonically treated wine coincide with the changing trend of the wine aged by convention method, suggesting that ultrasound can accelerate the ageing of black rice wine in a certain extent.

Keywords: ultrasound; black rice wine; total phenolics; anthocyanins; colour; antioxidant activity

1963年,超声波技术已被应用于葡萄酒熟化的相关研究,但由于超声处理后红酒的理化指标变化较小且无规律,还出现焦糊味^[1],所以该技术当时并未受到很大关注。

近年来,超声波技术在葡萄酒陈化中的运用已经被大量报道,并被认为是具有发展前景的催陈技术之一^[2-4]。超声波技术用于酒类老化中,原理在于加速酒中物质间的理化反应以达到自然陈酿酒的品质。该技术一旦被应用不仅可以缩短酒的老化时间^[5],节省橡木桶、酒窖和厂房的使用,节约资金,而且可以满足人们对葡萄酒等日益增长的需求量,但由于种种原因该技术的研究及其工业化应用仍面临一定问题^[6]。目前,对于该领域的研究主要围绕表现描述红酒中酚类、黄酮、pH等指标在超声作用下的变化^[5]。冷慧娟等^[7]研究发现,超声处理后葡萄酒中总酚含量变化不显著。Zhang等^[8]用EPR研究超声诱导红葡萄酒所产生的自由基,发现了羟基自由基和1-羟乙基自由基,为从内在机制方面阐述其变化提供了依据。申远等^[9]研究发现超声处理可以显著提高红葡萄酒的抗氧化能力。舒杰等^[10]对黄酒模拟体系进行了超声处理,研究了其挥发性物质和有机酸在超声作用下的变化,结果显示超声波处理加速了乳酸和乙醇的酯化反应;促进了异丁醇、异戊醇、乙酸乙酯等挥发性物质的挥发,使其

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:31101324);陕西省自然科学基金项目(编号:2015JM3097);西安市科技局技术转移促进工程项目[编号:CXY1434(5)];中央高校基本科研业务费专项(编号:GK201602005)

作者简介:张清安(1976—),男,陕西师范大学副教授,博士后。

E-mail: qinganzhang@snnu.edu.cn

收稿日期:2016—10—09

含量降低。

黑米酒,是一种以黑米为原料经发酵和陈化后的酒。黑米营养丰富并具有良好的保健功效^[11],以黑米制作的酒中氨基酸含量丰富、种类较多^[12],维生素的含量也较高,尤以 V_E 显著;抗氧化性强,能够预防冠心病等多种疾病^[13-14];此外,酒中还含有丰富的矿物质^[15]。多酚类物质是黑米酒的主要活性成分,目前已报道的有11种酚类物质^[16]。与其它酒类一样,新酿制得黑米酒也需经过一段时间的陈化,使酒在橡木桶微氧环境作用下发生一定的变化,从而使其口感、风味、色泽能达到最佳。因此,陈酿过程中酚类物质、酒体颜色、抗氧化活性等的变化尤其值得关注。传统的陈酿方法是自然熟化,由于其存在耗时长、劳动强度大、投资大等弊端,所以近年来有关人工催熟技术的报道较受关注,如激光法催熟、红外线法催熟、催化剂催熟等,而且效果也令人鼓舞^[17]。而关于超声处理对黑米酒的品质(如颜色、酚类物质等)的影响尚未见到有关报道。

本研究拟利用超声波处理黑米酒,探究不同超声参数(如超声功率、频率及时间)作用下黑米酒中主要活性物质——多酚类的变化,以及消费者较为关注的酒体颜色和抗氧化性等品质的变化,以期将为超声早日应用于黑米酒的快速陈化提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

黑米酒:添加了从黑米中提取的原花青素提取物,并预先在不锈钢桶中贮藏两年,陕西朱鹮黑米酒业有限公司;

没食子酸:分析纯,Alfa Aesar-A Johnson Matthey Company;

芦丁:分析纯,中国食品药品检定研究所;

Folin-Ciocalteu:色谱纯,美国Sigma-Aldrich公司;

Na_2CO_3 、 $Al(NO_3)_3$ 、 $NaOH$ 、 KCl 、 CH_3COONa 、浓盐酸:分析纯,西安化学试剂厂。

1.1.2 仪器

数控超声波清洗机:KQ-300VDE型,江苏省昆山市超声仪器有限公司;

电子分析天平:BS200S-WEI型,北京赛多利斯科学仪器有限公司;

恒温水浴锅:SG4050C型,上海安亭科学仪器厂;

全自动台式色差计:SC-80C型,北京康光光学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:TU-1810型,北京普析通用仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 超声处理过程 通过前期预试验结果并结合仪器实际情况,对以下因素进行了单因素试验设计,分析其对黑米酒品质相关指标的影响。

(1) 超声功率:固定超声频率100 kHz,超声时间20 min,超声温度23℃,研究超声功率分别为120,180,240,

300 W时对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化物质的影响。

(2) 超声频率:固定超声功率300 W,超声时间20 min,超声温度23℃,研究超声频率分别为45,80,100 kHz时对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化物质的影响。

(3) 超声时间:固定超声功率300 W,超声频率100 kHz,超声温度23℃,研究超声时间分别为20,40,60,80,100 min时对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化物质的影响。

1.2.2 总酚含量测定 以没食子酸为对照品,Folin-Ciocalteu法测定黑米酒中总酚含量^[18]。以浓度 $C(\mu\text{g/mL})$ 为横坐标,吸光度 A 为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.3 总黄酮含量测定 以芦丁为对照品,紫外法测定黑米酒中总黄酮含量^[19]。以浓度 $C(\mu\text{g/mL})$ 为横坐标,吸光度 A 为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.4 总花青素含量测定 黑米酒中总花青素含量采用pH示差法测定^[20]。取pH 1.0(KCl—HCl)缓冲液9 mL于10 mL比色管中,加入1 mL黑米酒(待测样品溶液),混匀后放置110 min,分别于520 nm和700 nm下测其吸光度值。同样的步骤,制备pH 4.5的反应管,并于520 nm和700 nm下测其吸光度值。黑米酒中花青素含量以矢车菊素-3-葡萄糖苷当量计,计算公式:

$$C = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon} \quad (1)$$

式中:

C ——花青素含量(矢车菊素-3-葡萄糖苷当量),mg/L;

A ——在pH 1.0、4.5时吸光值差值的差, $A = (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH 1.0}} - (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH 4.5}}$;

MW ——矢车菊素-3-葡萄糖苷分子量,449.2 g/mol;

DF ——稀释倍数;

ϵ ——摩尔吸光系数,26 900。

1.2.5 颜色测定 CIE Lab值的测定采用SC-80C型全自动台式色差计直接进行测定。其中 L^* 值表示明度,称为明度指数, $L^* = 100$ 表示白色, $L^* = 0$ 表示黑色; a^* 、 b^* 为色品指数, $+a^*$ 代表红色, $-a^*$ 代表绿色, $+b^*$ 代表黄色, $-b^*$ 代表蓝色。

1.2.6 羟自由基清除率测定 采用水杨酸法^[21]。在25 mL比色管中依次加入9 mmol/L $FeSO_4$ 1 mL,9 mmol/L水杨酸—乙醇溶液2 mL,不同样品液2 mL,最后加入8.8 mmol/L H_2O_2 2 mL启动反应,摇匀,蒸馏水定容,静置30 min后于510 nm处测其吸光值 A 。计算公式:

$$P = \left(1 - \frac{A - A_1}{A_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

P —— $\cdot OH$ 清除率,%;

A_0 ——未加入酒样时的吸光值;

A ——加入酒样时的吸光值;

A_1 ——无显色剂、加入酒样时的吸光值。

1.2.7 数据处理 以上所有测定均重复进行3次,使用Microsoft Office Excel和DPS进行相关图表的绘制和数据处理。

2 结果与分析

2.1 超声功率对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化性的影响

2.1.1 酚类物质变化 由上述试验方法可得测定黑米酒中多酚类物质的回归方程为: $y = 0.0097x + 0.0083$, $R^2 = 0.9996$ 。在 $20 \sim 100 \mu\text{g/mL}$ 浓度范围内,标准品没食子酸浓度 $C(x)$ 与吸光度 $A(y)$ 之间具有良好的线性关系。对于黄酮含量的测定可用方程 $y = 0.001x + 0.0034$ 进行计算,在芦丁浓度为 $100 \sim 500 \mu\text{g/mL}$ 范围内,浓度 C 与吸光度 A 之间具有良好的线性关系, $R^2 = 0.9993$ 。

由图 1 可知,与未处理黑米酒(原酒)比较,不同超声功率处理后酒样的总酚含量变化不明显,但黄酮和花青素含量变化明显。超声功率从 120 W 增加到 300 W 时,酒样中总花青素和总黄酮含量均呈下降趋势。针对酚类物质的变化其可能原因:① 与自然陈化过程相比,超声辅助催陈几乎没有氧气参与,但超声空化会产生瞬时高温、高压等环境从而诱导自由基的产生,因此发生的理化变化远比自然陈酿要复杂得多^[22];② 福林酚法在进行测定时并没有选择性,其原理仅是氧化还原反应。因此,虽然多酚类物质在超声作用下有可能变化了,但福林酚法可能也把变化产物测定在内,所以导致用该法测定的总酚含量变化并不显著^[18, 23-24]。

2.1.2 颜色变化 由表 1 可知,超声处理后黑米酒的 L^* 、 a^* 、 b^* 值均有所增加,即黑米酒的亮度、红色和黄色色泽都增加,说明超声处理可改善黑米酒的部分颜色指标。随着超声功率的增加,酒样的 L^* 、 a^* 、 b^* 先增加后降低的趋势;超

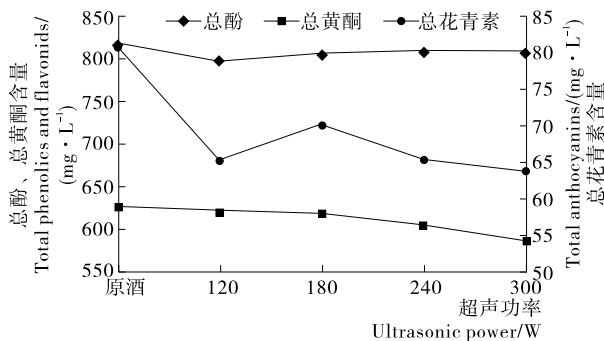


图 1 超声功率对总酚、总黄酮、总花青素含量的影响

Figure 1 Effect of ultrasonic power on total phenolics, flavonoids and anthocyanins content

表 1 超声功率对黑米酒 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响[†]

Table 1 Effect of ultrasonic power on L^* , a^* , b^* of black rice wine

超声功率/W	L^*	a^*	b^*
原酒	17.94±0.41 ^a	41.13±0.20 ^a	6.54±0.39 ^a
120	28.04±0.06 ^b	53.43±0.14 ^b	17.29±0.21 ^{bc}
180	28.25±0.21 ^b	53.61±0.58 ^b	18.52±0.79 ^b
240	28.55±0.39 ^b	54.63±0.65 ^c	19.62±0.61 ^b
300	25.04±0.15 ^c	51.01±0.06 ^d	15.17±0.80 ^c

† 同一行数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上存在显著差异。

声功率为 300 W 时,酒样的 L^* 、 a^* 、 b^* 最小。

利用 DPS 统计软件对不同超声功率处理下酒样中酚类物质及 L^* 、 a^* 、 b^* 间的相关性进行分析,结果见表 2。当相关系数临界值 $\alpha = 0.05$ 时, $r = 0.8783$,因此,超声功率与总黄酮含量之间有明显相关性,系数为 -0.8993 ;总花青素含量与酒样红色值 a^* 也明显相关(-0.8828)。另外, L^* 与 a^* 、 b^* , a^* 与 b^* 之间也明显相关,系数分别为 0.9949 、 0.9923 、 0.9947 ,说明酒样亮度与红色值和黄色值呈显著相关性。

2.1.3 自由基清除能力的变化 由图 2 可知,超声处理后大部分酒样清除自由基的能力有所下降,但其与超声功率的变化并不呈明显相关性。其原因可能是超声处理使酒中总黄酮、花青素等物质减少,从而使其抗氧化能力相对减弱。与原酒相比,超声功率为 240 W 时,清除自由基能力有所增强,但与其他超声功率相比并没有显著变化,其可能与黄酮、花青素等降解产物相关,其具体机理有待于进一步研究。

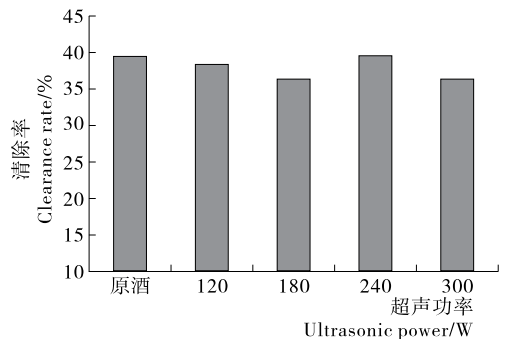


图 2 超声功率对自由基清除率的影响

Figure 2 Effect of ultrasonic power on free radical scavenging activity

表 2 酒样酚类物质与 L^* 、 a^* 、 b^* 的相关性[†]

Table 2 Correlation between the phenolic compounds and L^* , a^* , b^* of black rice wine

指标	总酚含量	总黄酮含量	总花青素含量	L^*	a^*	b^*
超声功率	-0.3379	-0.8993*	-0.8482	0.6464	0.7169	0.7069
总酚含量		0.0649	0.7489	-0.7839	-0.7671	-0.7081
总黄酮含量			0.6640	-0.2703	-0.3652	-0.3420
总花青素含量				-0.8390	-0.8828*	-0.8429
L^*					0.9949*	0.9923*
a^*						0.9947*

† * 表示在 $P \leq 0.05$ 水平下存在显著性差异。

2.2 超声频率对黑米酒中酚类物质、颜色及抗氧化性的影响

2.2.1 酚类物质变化 由图3可知,不同超声频率作用下,黑米酒中总酚、总黄酮和花青素含量均有所变化;其中在80 kHz超声处理下变化较为明显,总酚含量降低2.14%,总黄酮、总花青素含量分别降低了1.76%和16.08%。一般来说,超声空化导致气泡破裂产生自由基,所用超声频率越高、周期越短,为空泡生长、爆炸崩溃等空化过程所提供的时间就越不足,空化效应被减弱,对物质的降解速率就减弱^[25]。本试验中80 kHz条件下所得数据与已有报道^[26]变化一致,即存在一个最佳频率点,在此频率上空化强度可达到最大值(阈值)。此条件下,与原酒相比总酚、总黄酮、总花青色素都有所下降;但与45 kHz和100 kHz相比,80 kHz下降较小,说明80 kHz可能是这个最佳频率点或者接近最佳频率点,这与莫瑞深^[27]对黄酒超声陈化试验结果基本一致。

2.2.2 颜色变化 由表3可知:与未经处理黑米酒相比,处理后 L^* 、 a^* 、 b^* 值均显著增加,但不同频率处理酒样间的差异不显著。说明该处理对其亮度、红色及黄色等色泽指标均有影响;但不同超声频率处理酒样 L^* 、 a^* 、 b^* 的变化并不显著。

将不同超声频率处理酒样中酚类物质及 L^* 、 a^* 、 b^* 进行相关性分析,结果见表4。在相关系数临界值 $\alpha=0.05$ 时, $r=0.9500$,而总酚含量与 b^* 之间 $r=-0.9616$,说明存在明显相关性;总花青素含量与 L^* 和 a^* 的相关系数分别为 -0.9874 和 -0.9845 ,说明总花青素含量与黑米酒的亮度和红色值间有明显相关性。此外, L^* 与 a^* 也存在明显相关

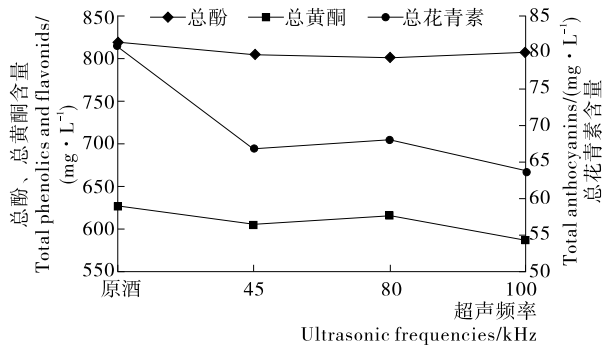


图3 超声频率对总酚、总黄酮、总花青素含量的影响

Figure 3 Effect of ultrasonic frequencies on total phenolics, flavonoids, and anthocyanins content

表3 超声频率对黑米酒 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响[†]

Table 3 Effect of ultrasonic frequencies on L^* , a^* , b^* of black rice wine

超声频率/kHz	L^*	a^*	b^*
原酒	17.94±0.41 ^a	41.13±0.20 ^a	6.54±0.39 ^a
45	24.44±0.37 ^b	50.23±0.64 ^b	13.56±2.06 ^b
80	24.52±0.35 ^b	50.48±0.81 ^b	14.62±2.22 ^b
100	25.04±0.15 ^b	51.01±0.06 ^b	15.17±0.80 ^b

[†] 同一行数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上的显著性差异。

性($r=0.9998$),表明酒样亮度与红色色值也有明显相关性。2.2.3 自由基清除能力的变化 由图4可知,与原酒比较,不同超声频率处理后黑米酒清除自由基能力均有不同程度下降;虽然对于45 kHz频率处理后其下降并不显著,可能是该频率下的超声空化效率较强,空化泡较多,导致其有略微上升,但用80 kHz和100 kHz处理后,酒样清除能力分别为36.27%和36.41%,明显低于原酒清除自由基能力。其原因可能与超声处理后酒样中黄酮、花青素类物质下降有关。

2.3 超声时间对黑米酒中酚类物质、色差及抗氧化性的影响

2.3.1 酚类物质变化 由图5可知,与原酒相比,不同超声时间处理对黑米酒中总酚含量变化影响不显著。对于总花青素而言,随着超声时间的延长,其含量整体呈下降趋势,而且超声20 min时下降最多。黄酮含量呈先降后升再降的变化趋势,这与笔者^[28]前期研究结果基本一致。

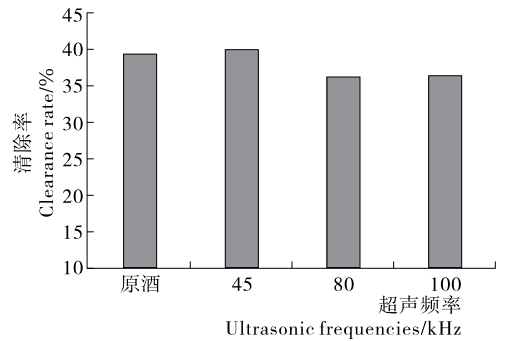


图4 超声频率对自由基清除率的影响

Figure 4 Effect of ultrasonic frequencies on free radical scavenging activity

表4 酒样酚类物质与 L^* 、 a^* 、 b^* 的相关性[†]

Table 4 Correlation between the phenolic compounds and L^* , a^* , b^* of black rice wine

指标	总酚含量	总黄酮含量	总花青素含量	L^*	a^*	b^*
超声频率	-0.7628	-0.7861	-0.9002	0.8872	0.8865	0.8935
总酚含量		0.4126	0.8252	-0.9038	-0.9111	-0.9616 [*]
总黄酮含量			0.8528	-0.7594	-0.7483	-0.5122
总花青素含量				-0.9874 [*]	-0.9845 [*]	-0.8521
L^*					0.9998 [*]	0.9092
a^*						0.9154

[†] *表示在 $P\leq 0.05$ 水平下存在显著性差异。

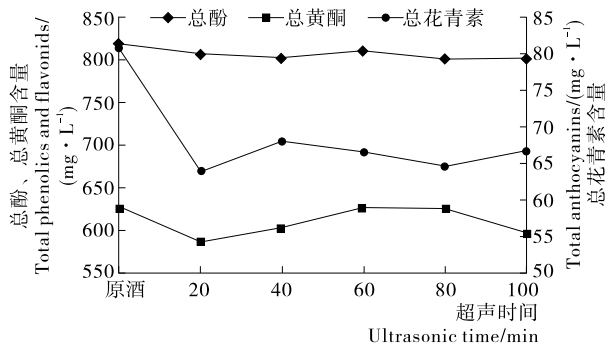


图 5 超声时间对总酚、总黄酮、总花青素含量的影响

Figure 5 Effect of ultrasonic time on total phenolics, flavonoids and anthocyanins content

2.3.2 颜色变化 由表 5 可知,超声处理可以使黑米酒的 L^* 、 a^* 和 b^* 值发生显著变化。对于酒样 L^* 而言,随着超声时间的延长其变化呈先增后基本稳定的趋势,即超声处理可以使酒样亮度增加,但长时间超声对酒样的亮度影响不显著。随着超声时间的延长,酒样的 a^* 和 b^* 值也呈先增后减变化趋势,这些变化与花青素等的变化有一定联系。

表 6 酒样酚类等物质与 L^* 、 a^* 、 b^* 的相关性[†]Table 6 Correlation between the phenolic compounds and L^* , a^* , b^* of black rice wine

指标	总酚含量	总黄酮含量	总花青素含量	L^*	a^*	b^*
超声时间	-0.733 3	-0.030 3	-0.594 2	0.590 1	0.344 1	0.270 4
总酚含量		0.419 3	0.787 3	-0.837 6*	-0.686 4	-0.654 3
总黄酮含量			0.448 8	-0.501 6	-0.380 8	-0.493 0
总花青素含量				-0.941 1*	-0.916 1*	-0.917 4*
L^*					0.931 0*	0.912 2*
a^*						0.987 0*

† * 表示在 $P \leq 0.05$ 水平下存在显著性差异。

2.3.3 自由基清除能力的变化 由图 6 可知,随着超声时间从 20 min 延长到 100 min,酒样清除自由基能力呈先增后减再增的变化。总体而言,其变化与黄酮类物质的变化存在一致性,说明超声波可能是通过影响酒中黄酮类物质的含量进而影响其清除自由基的能力。

3 结论

通过研究发现,超声波处理后黑米酒中总酚、总黄酮及

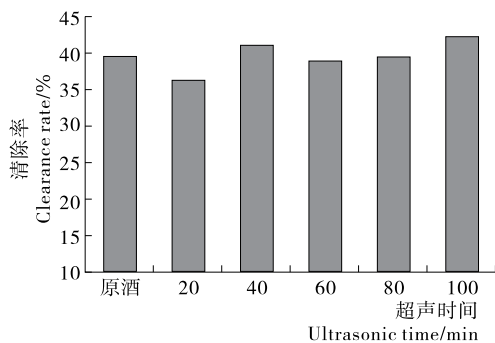


图 6 超声时间对自由基清除率的影响

Figure 6 Effect of ultrasonic time on free radical scavenging activity

表 5 超声时间对黑米酒 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响[†]Table 5 Effect of ultrasonic time on L^* , a^* , b^* of black rice wine

超声时间/min	L^*	a^*	b^*
原酒	17.94 ± 0.41 ^a	41.13 ± 0.20 ^a	6.54 ± 0.39 ^a
20	25.04 ± 0.15 ^b	51.01 ± 0.06 ^b	15.17 ± 0.80 ^b
40	25.74 ± 0.30 ^b	50.86 ± 0.86 ^{bc}	13.87 ± 2.27 ^{bc}
60	24.58 ± 0.25 ^b	49.97 ± 0.47 ^{bc}	13.03 ± 0.91 ^{bc}
80	24.55 ± 0.36 ^b	49.86 ± 0.78 ^c	13.01 ± 2.38 ^{bc}
100	24.86 ± 5.58 ^b	46.90 ± 0.65 ^d	11.08 ± 2.04 ^d

† 同一行数据后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上存在显著性差异。

由表 6 可知,在相关系数临界值 $\alpha = 0.05$ 时, $r = 0.811 4$,总酚含量与 L^* 有明显相关性,系数为 $-0.837 6$;总花青素含量与 L^* 、 a^* 和 b^* 之间也明显相关,系数分别为 $-0.941 1$, $-0.916 1$, $-0.917 4$,说明总花青素等酚类物质与黑米酒颜色之间存在显著相关性;花青素等酚类物质是构成黑米酒颜色的重要物质。

总花青素含量均有所改变,酒的亮度、红色及黄色等颜色特性值也均有所改变;而且超声条件不同时,其变化也不尽一致。整体而言,超声处理后酒样的多酚、黄酮和花青素类物质变化均呈下降趋势,只是程度不同而已,其主要原因在于超声降解,尤其长时间处理将使降解更明显、产物更复杂、变化也更无序。就颜色特性和清除自由基能力来说,其变化与酚类、黄酮和花青素之间存在高度相关性。尤其颜色及酚类物质等更接近自然老化过程酒类的变化。说明超声处理可以在一定程度上起到加速黑米酒熟化的辅助作用。但超声处理过程中各物质具体变化机理及参数控制和优化还需进一步研究。

参考文献

- [1] SINGLETON V L, DRAPER D E. Ultrasonic treatment with gas purging as a quick aging treatment for wine [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1963(14): 23-35.
- [2] 赵峰, 杨江帆, 林河通. 超声波技术在食品加工中的应用[J]. 武夷学院学报, 2010, 29(2): 21-26.
- [3] 屈平, 胡传荣. 超声波辅助提取苦荆茶中多酚类物质的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 15-17.

- [4] 曹增梅, 黄和. 超声波辅助提取番石榴中多酚类物质的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 123-126.
- [5] 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.
- [6] MARTIN J F G, 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.
- [7] 冷慧娟, 聂聪, 门颖, 等. 超声波处理对赤霞珠葡萄酒品质的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(11): 20-24.
- [8] ZHANG Qing-an, SHEN Yuan, FAN Xue-hui, et al. Free radical generation induced by ultrasound in red wine and model wine: An EPR spin-trapping study[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 27: 96-101.
- [9] 申远, 张清安. 超声处理对红葡萄酒抗氧化活性的影响[J]. 农产品加工, 2015(3): 15-19.
- [10] 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, 14(5): 43-48.
- [11] 马萍, 郭希娟, 郭增旺. 黑米黑色素微波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 229-231.
- [12] 周宝龙, 吴三桥, 江海, 等. 陕西朱鹮黑米酒氨基酸成份分析[J]. 氨基酸和生物资源, 2009(1): 79-80.
- [13] 郑向华, 叶宁, 程朝平, 等. 黑米酒的营养保健功效[J]. 福建稻麦科技, 2014(4): 88-94.
- [14] 刘媛媛. 黑米及黑米酒中抗氧化成分分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 1-15.
- [15] 刘达玉, 马艳华, 王新惠, 等. 黑米酒的酿造及其品质分析研究[J]. 食品研究与开发, 2012(9): 86-90.
- [16] 姜莉, 周宝龙, 杨焯, 等. 高效液相色谱法同时测定黑米酒中11种酚类物质[J]. 中国酿造, 2014(2): 134-137.
- [17] 潘忠汉, 崔益本, 李明明, 等. 激光催陈酒及其机理研究[J]. 激光杂志, 1988(2): 100-105.
- [18] AINSWORTH E A, GILLESPIE K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent [J]. Nature Protocols, 2007, 2(4): 875-877.
- [19] 王静霞, 黄燕菲, 赵小燕, 等. 荞麦和商品苦荞茶中总黄酮的含量测定[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 58-60.
- [20] LEE J, DURST R W, WROLSTAD R E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study [J]. Journal of AOAC International, 2005, 88(5): 1 269-1 278.
- [21] 吴雪辉, 张喜梅, 李廷群, 等. 板栗花粗提物的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(1): 14-19.
- [22] ZHANG Qing-an, SHEN Yuan, FAN Xue-hui, et al. Preliminary study of the effect of ultrasound on physicochemical properties of red wine [J]. CyTA-Journal of Food, 2016, 14(1): 55-64.
- [23] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178.
- [24] RAPISARDA P, TOMAINO A, LO CASCIO R, et al. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4 718-4 724.
- [25] DUKKANCL M, GUNDUZ G. Ultrasonic degradation of oxalic acid in aqueous solutions[J]. Ultrasonics sonochemistry, 2006, 13(6): 517-522.
- [26] 冯若, 李化茂. 声化学及其应用[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1992: 245-246.
- [27] 莫瑞深. 低频超声对黄酒催陈效果的研究[J]. 广西轻工业, 2007, 23(9): 16-18.
- [28] ZHANG Qing-an, SHEN Hui, FAN Xue-hui, et al. Changes of gallic acid mediated by ultrasound in a model extraction solution [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 22: 149-154.

信息窗

中国水产研究院黄海水产所绘制褐牙鲈全基因组精细图谱

近日,中国水产研究院黄海水产研究所研究员陈松林领导的研究组与上海海洋大学、德国维尔茨堡大学、葡萄牙阿尔加夫大学、深圳华大基因研究院等单位合作,破译了褐牙鲈全基因组序列,通过与半滑舌鲷全基因组比较分析,初步揭示了比目鱼变态发育的分子机制。该研究成果发表于《自然—遗传学》。

通过与半滑舌鲷全基因组比较,研究发现褐牙鲈和半滑舌鲷两者的基因组存在高达85%的相似性。比较其基因组学后,筛选到153个比目鱼类特异的基因家族以及12个比目鱼扩张的基因家族与细胞分裂和凋亡、眼睛大小调控、视网膜神经递质、软骨重构等比目鱼变态过程中的生物学现象密切相关。值得一提的是,hipk基因家族的扩张

可能参与了比目鱼变态过程中眼睛的移动。此外,研究还鉴定出106个比目鱼的正选择基因,这些基因与体轴发育、神经模式、骨骼肌重建、甲状腺激素、视黄酸信号通路等密切相关。

研究揭示的甲状腺激素和视黄酸信号通路在比目鱼变态中的协同调控作用与昆虫变态发育过程中的蜕皮激素和保幼激素的协同作用具有异曲同工之妙。研究人员认为,核受体转录因子和萜类化合物在无脊椎动物到脊椎动物的变态发育过程中具有一定的功能保守性。该研究为生产中防止比目鱼白化现象提供了一定的指导意义。

(来源:www.foodmate.net)