

紫薯酒发酵过程颜色变化规律及颜色特征

李甜,王越,安家彦

(大连工业大学 生物工程学院,辽宁 大连,116034)

摘 要 研究紫薯酒发酵过程与颜色相关的花色苷含量、褐变指数、聚合色度、总色度及 CIELab (Commission Internationale de L'Eclairage 制定的 L^* 、 a^* 和 b^* 测量色值的方法) 参数变化规律及其相关性,利用 CIELab 颜色空间比较紫薯酒与蓝莓酒、红白葡萄酒的颜色。结果表明:发酵过程中,褐变指数和聚合色度呈上升趋势,花色苷含量先上升后略下降;总色度与花色苷含量的变化一致且显著正相关性;亮度 L^* 与花色苷含量和色度的变化相反;色度 a^* 和 b^* 分别与褐变指数、聚合色度呈显著负相关性和正相关性。不同种类的酒样,CIELab 颜色空间参数不同,表现出不同的颜色特征。

关键词 紫薯酒;颜色;CIELab

酒的颜色是果酒重要的感官品质之一,其颜色的物质基础是花色苷。花色苷色泽鲜艳^[1],是紫薯酒、葡萄酒等主要的呈色成分,赋予酒体紫色色调。紫薯中的花色苷种类主要有矢车菊素和芍药素,与有机酸酰化后形成不同种类的花青素^[2-3]。由于花色苷本身的不稳定性,发酵初期乙醇、糖、肽和类黄酮等物质与游离的花色苷和花色素发生反应,趋于稳定,颜色增强,随着酒的老熟,逐渐呈现出黄红、棕黄、黄和砖红色等^[4]。

本文主要探索紫薯酒发酵过程中花色苷、褐变指数和聚合色度、色度等颜色相关指标的变化规律及其相关性,以调控发酵过程酒体颜色的变化。基于 CIELab 颜色空间参数,研究紫薯酒与蓝莓酒、葡萄酒

颜色的不同,以获得紫薯酒颜色特征。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫薯粉(黑济一号)、蓝莓酒样,实验室制备;红和白葡萄酒样,某酒庄酒样;酿酒酵母(*S. cerevisiae*)、米曲霉(*Aspergillus oryzae*),均为实验室保藏菌种;HCl、NaCl、CH₃COOH、CH₃COONa·3H₂O、NaHSO₃(均为国产分析纯);V5000 型可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;0.2 cm 光程比色皿,宜兴市谱析光学元件厂。

1.2 实验方法

1.2.1 紫薯酒发酵工艺

酵母 → 麦汁培养基一级活化 → 米曲汁培养基二级活化 20% 米曲
↓ ↓
紫薯粉和水(1:5) → 调浆 → 灭菌 → 液化、糖化 → 发酵 → 澄清 → 紫薯酒原酒

在 25 和 30 ℃ 下发酵,两个温度条件下分别设有 3 组平行,发酵周期为 8 d。

1.2.2 紫薯酒花色苷的测定

采用 pH 示差法^[5-7],取 1 mL 离心后的酒样,用 pH1.0 缓冲液(0.2 mol/L KCl-HCl(25:67,体积比)、pH4.5 缓冲溶液(0.2 mol/L NaAc·3H₂O-0.2 mol/L HAc(1:1,体积比)稀释至 10 mL,40 ℃ 水浴 20

min 平衡后,以去离子水为空白,于 529 nm 和 700 nm 波长下测定吸光度,结果以 mg/L 计,花色苷含量按公式(1)和公式(2)式计算。

$$\text{花色苷含量 (mg/L)} = \frac{\Delta A \cdot M_w}{\varepsilon} \cdot D_f \times 1000 \quad (1)$$

$$\Delta A = (A_{529\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{529\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5} \quad (2)$$

式中, M_w 为矢车菊素葡萄糖苷的相对分子质量,484.82 mg/mol; ε 为矢车菊素葡萄糖苷的摩尔消光系数,24 825 mol⁻¹; D_f 为稀释因子(样品总的稀释倍数); $A_{529\text{nm}}$ 为 529 nm 波长下吸光值; $A_{700\text{nm}}$ 为 700

第一作者:硕士研究生。

收稿日期:2015-09-17,改回日期:2015-10-13

nm 波长下吸光值。

1.2.3 紫薯酒颜色褐变指数和聚合色度的测定

取 2 mL 经离心、0.45 μm 膜过滤后的酒样,加 10 mg NaHSO_3 ,1 min 后用 0.2 cm 比色皿,以去离子水为参比,在 420 nm 和 520 nm 波长下测定其吸光度^[8],褐变指数和聚合色度按公式(3)计算^[9]。

$$\text{褐变指数} = A_{420\text{nm}}^{802} \quad (3)$$

$$\text{聚合色度} = A_{420\text{nm}}^{802} + A_{520\text{nm}}^{802} \quad (4)$$

1.2.4 紫薯酒色泽的测定

T. Chris Somers 和 Margaret A. Cliff 等^[8,10]研究表明,酒样花色苷平衡被稀释干扰程度很大,因此,OD 值的测量必须使用适当路径的光学元件测量未稀释的酒样,然后校正到 1 cm 光程下。将紫薯酒样经离心、0.45 μm 膜过滤处理后,直接用 0.2 cm 光程的比色皿分别在 420 nm、520 nm、620 nm 波长下测吸光值,即 $A_{420\text{nm}}$ 、 $A_{520\text{nm}}$ 、 $A_{620\text{nm}}$ 。总色度和 CIELab 颜色空间参数^[11]分别根据公式(5)和公式(6)~(12)计算。

$$\text{总色度} = (A_{420\text{nm}} + A_{520\text{nm}} + A_{620\text{nm}}) \times 5 \quad (5)$$

$$\tau = 10^{-A} \quad (6)$$

$$X = 4.6613 \tau_{420\text{nm}} + 41.7525 \tau_{520\text{nm}} + 58.3436 \tau_{620\text{nm}} - 4.4334 \quad (7)$$

$$Y = -12.4813 \tau_{420\text{nm}} + 77.9680 \tau_{520\text{nm}} + 44.3334 \tau_{620\text{nm}} - 1.891 \quad (8)$$

$$Z = 89.5037 \tau_{420\text{nm}} + 41.7932 \tau_{520\text{nm}} - 15.7674 \tau_{620\text{nm}} + 7.6903 \quad (9)$$

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (10)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (11)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (12)$$

式中, A 为吸光度; τ 为透光值; $X_0 = 97.29$; $Y_0 = 100$; $Z_0 = 116.1$; L^* 为光泽度; a^* 为红色/绿色, $a^* > 0$ 为红色色调, $a^* < 0$ 为绿色色调; b^* 为黄色/蓝色, $b^* > 0$ 为黄色色调, $b^* < 0$ 为蓝色色调。

2 结果与讨论

2.1 紫薯酒发酵过程颜色相关指标的变化

2.1.1 紫薯酒发酵过程总色度和花色苷的变化

花色苷是紫薯酒颜色的主要物质基础。发酵前期,由于酒精的浸渍作用,利于花色苷的溶出,25 $^{\circ}\text{C}$ 下发酵较缓慢,花色苷含量第 5 天达到峰值 164.185 g/L;30 $^{\circ}\text{C}$ 下发酵较快,花色苷含量第 3 天达到峰值 164.868 g/L;而后由于花色苷的聚合和氧化作用(见

图 3)其含量缓慢降低。结果见图 1。

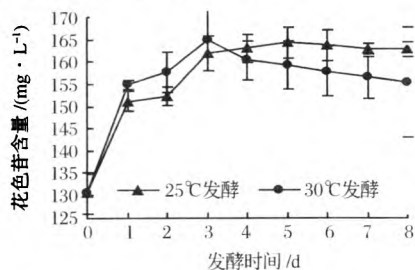


图 1 发酵过程花色苷含量的变化

Fig. 1 The change of total anthocyanins during the fermentation

CIELab 颜色空间参数仅包括亮度 L^* 、色度 a^* 和色度 b^* ,缺少整体性参数评价酒体颜色,因此需要使用 OIV 方法^[12]定义的 1.2.4 色度公式(5)计算出酒体的总色度。总色度表示酒样颜色深浅的程度。颜色越深,色度越高;反之,总色度就低。紫薯酒发酵过程,总色度与花色苷的变化趋势相同,见图 1 和 2。发酵初期,随着花色苷的浸出,总色度逐渐升高,第 3 天达到峰值,总色度为 6 左右。之后,由于褐变指数和聚合色度得升高(图 3),酒体总色度开始缓慢下降。说明紫薯酒颜色的主要受花色苷影响。

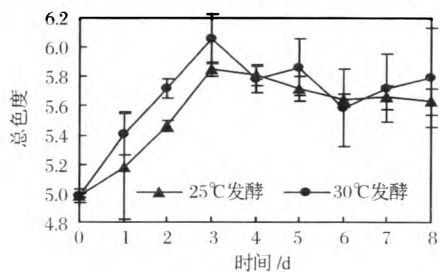


图 2 发酵过程总色度的变化

Fig. 2 The change of total color during the fermentation

2.1.2 紫薯酒发酵过程中褐变指数和聚合色度的变化关系

褐变是单体花色苷的氧化和聚合作用形成褐色色素,在 420 nm 处具有最大吸收波长。紫薯酒中的单体花色苷易被 SO_2 脱色,而聚合色素不受 SO_2 影响。在整个发酵过程中,褐变指数和聚合色度的变化趋势相同。随着紫薯酒发酵的进行,由于单宁等物质的聚合、酚类物质的氧化作用,花色苷褐变指数和聚合色度呈上升趋势;发酵温度升高,褐变指数和聚合色度也随着升高。结果见图 3(a)和(b)。

2.1.3 紫薯酒发酵过程 CIELab 颜色空间参数的变化

紫薯酒发酵过程,CIELab 颜色空间参数 L^* 、 a^* 和 b^* 的变化规律如图 4(a)、(b)和(c)所示。

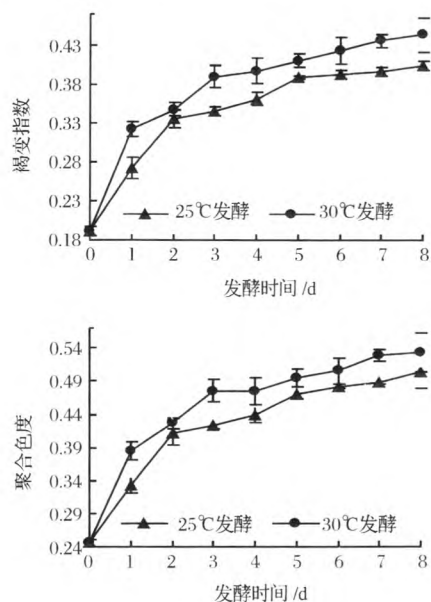


图3 发酵过程褐变指数和聚合色度的变化

Fig. 3 The change of browning index and DP color during the fermentation

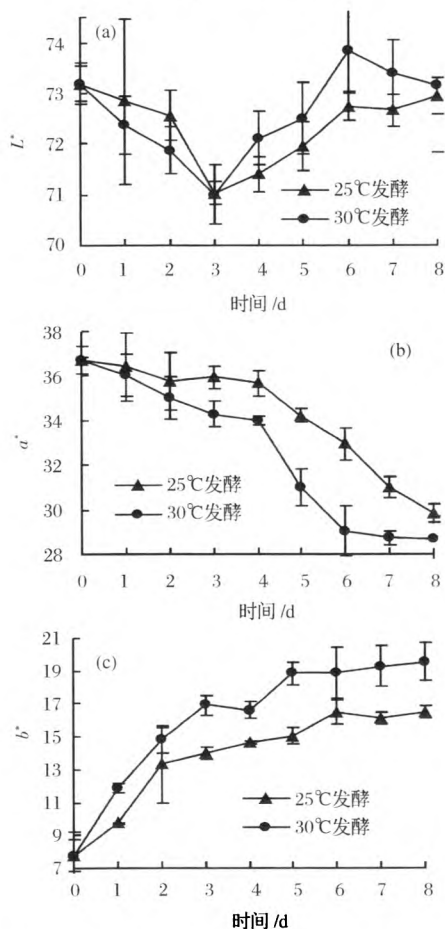


图4 紫薯酒酿造过程中 CIELab 参数的变化

Fig. 4 The change of CIELab parameters during the fermentation

从图4(a)可以看出,亮度 L^* 先下降后上升,在 71~74 之间变化,变化幅度较小;图4(b)可知,在发酵前 3 d 色度 a^* 降幅为 1~2,变化较缓慢,在发酵后 5 d,红色色度变化明显,降幅为 6 左右;由图4(c)可知,在发酵过程中,色度 b^* (黄色色调)明显增加,增幅为 8~10;在 30℃ 的发酵的条件下 L^* 、 a^* 和 b^* 的变化幅度比 25℃ 的稍大,说明发酵温度对酒液的颜色有一定的影响。

2.2 花色苷、褐变指数和聚合色度与紫薯酒色泽之间相关性分析

利用 SPSS 19,统计分析紫薯酒发酵过程中花色苷、褐变指数、聚合色度与总色度、CIELab 颜色空间参数之间的相关性,如表 1 所示。

由表 1 可知,紫薯酒在 25℃ 和 30℃ 发酵过程中,总色度与花色苷、褐变指数、聚合色度均呈极显著正相关,花色苷、褐变指数和聚合色度越高,紫薯酒颜色越深;色度 a^* 与褐变指数和聚合色度呈显著性负相关,褐变指数和聚合色度越低,紫薯酒颜色越红;色度 b^* 与花色苷呈显著性负相关、与褐变指数和聚合色度均呈极显著正相关,花色苷含量越少,褐变指数和聚合色度越高,黄色越深。

结果表明,花色苷、褐变指数和聚合色度在很大程度上影响紫薯酒颜色;酒液的总色度主要受花色苷含量的影响,色度亮度 L^* 主要受总色度的影响,色度 a^* 和 b^* 主要受褐变指数和聚合度的影响。

2.3 紫薯酒与其它水果酒颜色特征的比较

利用 CIELab 颜色空间比较紫薯酒与蓝莓酒、红葡萄酒和白葡萄酒等水果酒颜色特征如表 2 所示。

由表 2 可以看出,(1)总色度最大的是红葡萄酒样,为 10 左右,颜色最深,其次是紫薯和蓝莓酒样,白葡萄酒样的最小,小于 0.5,颜色最浅。(2)亮度 L^* 最大的是白葡萄酒样,大于 99,颜色最亮,其次是蓝莓和紫薯酒样,最小的是红葡萄酒样,颜色最暗。(3)色度 a^* 表示酒样的红色色调,最大为 40.461 的 1 号红葡萄酒样,其次是紫薯与蓝莓酒样,最小的为 2 号白葡萄酒样为 1.403。(4)色度 b^* 最大的是 2 号红葡萄酒样,黄色色调最深,其次是蓝莓和紫薯酒样,1 号白葡萄酒最小为 -0.323, $b^* < 0$ 呈现蓝色色调。(5)饱和度 Cab 表示酒样的鲜艳的程度,红葡萄酒样的饱和度最大,其次为紫薯和蓝莓酒样,白葡萄酒样的饱和度最小。(6)色度角 Hab 接近零,越接近紫红色,受色度 a^* 和 b^* 的综合影响,2 个蓝莓酒样最大,1 号红葡萄酒样最小,最接近紫红色。

表 1 花色苷、褐变指数、聚合色度与紫薯酒各色泽值之间 Pearson 显著性相关性分析

Table 1 Pearson correlation analysis between total anthocyanins, browning index, DP color and CIELab parameters

指标		花色苷	褐变指数	聚合色度	总色度	L*	a*	b*
花色苷	25 ℃	1	0.947**	0.932**	0.913**	-0.513	-0.548	-0.909**
	30 ℃	1	0.826**	0.821**	0.846**	-0.444	-0.372	-0.761*
褐变指数	25 ℃		1	0.998**	0.860**	-0.313	-0.726**	0.985**
	30℃		1	0.999**	0.860**	0.055	-0.817**	0.981**
聚合色度	25 ℃			1	0.845**	-0.277	-0.762*	0.989**
	30 ℃			1	0.870**	0.045	-0.822**	0.987**
总色度	25 ℃				1	-0.739*	-0.392	0.861**
	30 ℃				1	-0.282	-0.562	0.873**
L*	25 ℃					1	-0.287	-0.296
	30℃					1	-0.561	0.105
a*	25 ℃						1	-0.749*
	30 ℃						1	-0.867**
b*	25 ℃							1
	30 ℃							1

注：* 表示 $P < 0.05$ ，** 表示 $P < 0.01$ 。

表 2 紫薯酒、蓝莓酒、红葡萄酒和白葡萄酒总色度和 CIELab 参数值

Table 2 Total chromaticity and CIELab parameters of purple sweet potato wine, blueberry wine, red and white wine

酒样	总色度	L*	a*	b*	Cab	Hab
1 号紫薯酒样	5.660	72.645	31.012	16.138	34.960	0.480
2 号紫薯酒样	5.630	72.936	29.786	16.454	34.028	0.505
1 号蓝莓酒样	4.350	81.357	13.054	19.696	23.629	0.985
2 号蓝莓酒样	4.665	80.256	14.118	21.560	25.809	0.989
1 号红葡萄酒样	10.435	54.408	40.461	16.356	43.642	0.384
2 号红葡萄酒样	9.950	60.694	27.005	30.439	40.691	0.845
1 号白葡萄酒样	0.290	99.310	3.174	-0.323	3.190	-0.102
2 号白葡萄酒样	0.310	99.962	1.403	1.702	2.205	0.881

结果表明,CIELab 颜色空间能很好地评价多种酒样颜色,4 种不同种类酒样的颜色存在明显的差异。紫薯酒的各颜色值基本介于红葡萄酒和白葡萄酒之间,与蓝莓酒的色泽值相当;其总色度是红葡萄酒的 1/2;红色色调较高,黄色色调较低,总色调呈鲜亮的紫红色。

3 结论

在紫薯酒发酵过程中,花色苷含量和总色度先上升后略下降,褐变指数和聚合色度呈上升趋势。花色苷主要影响酒体总色度,褐变指数和聚合色度的升高会使红色色度减小,黄色色度升高。紫薯酒色泽与其他水果酒相比,呈较鲜艳的紫红色。在发酵过程中,可以通过改变发酵条件来调控花色苷的含量或氧化褐变程度,从而改变酒体颜色。在成品酒的调配中,可以应用总色度和 CIELab 颜色空间参数调配酒的色泽,使成品酒色泽达到理想的颜色。

参 考 文 献

[1] 韩富亮,李杨,李记明,等.红葡萄酒花色苷结构和颜色的关系研究进展[J].食品与生物技术学报,2011,30(3):328-336.

[2] IKUO S,TOMOYUKI O,MAMI M,et al. Physiological of purple-fleshed sweet potatoes containing anthocyanins and their utilization in foods[J]. Japan Agricultural Research Quarterly,2003,37(3):167-173.

[3] ULIN Z U,BASSA I A,GABRIEL S L,et al. Anthocyanin pigment of sweet potatoes-ipomoea batatas [J]. Journal Food Science,1992,57(3):755-757.

[4] MICHAEL S,JOSEA J P B,PETER W,et al. Effect of copigments and grape cultivar on the color of red wines fermented after the addition of copigments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2005,53(21):8372-8381.

[5] 孙婧超,刘玉田,赵玉平,等. pH 示差法测定蓝莓酒中花色苷条件的优化[J]. 中国酿造,2011(11):171-173.

- [6] 冯建光,谷文英.葡萄皮红色素的示差法测定[J].食品工业科技,2002,23(9):85-87
- [7] 吴发萍,郝萍萍,张楷正,等.紫薯与紫薯酒中花青素的测定及稳定性的研究[J].酿酒科技,2012(11):108-110.
- [8] SOMERS T, EVANS M E. Spectral evaluation of young red wines: Anthocyanin equilibria, total phenolics, free and molecular SO_2 , and "chemical age" [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1977, 28: 279-287.
- [9] 孔繁东,安家彦,孙浩,等.草莓酒发酵过程中成分组成及色度变化[J].酿酒科技,2000,101(5):80-82.
- [10] MARGARET A. CLIFF, MARJOIRE C, JIMMY S. Anthocyanin, phenolic composition, colour measurement and sensory analysis of BC commercial red wines [J]. Food Research International, 2007, 40: 92-100.
- [11] JUÁREZ M C, ECHÁVARRI J F, NEGUERUELA A I. A proposal for a method to measure the colour of red wines by measuring transmittance at three wavelengths [J]. Food Sci Technol Int, 1997, 3: 189-193.
- [12] Office International de la Vigne et du Vin. Recueil des Méthodes Internationales d'Analyse des Vins [M]. Caractéristiques Chromatiques, 1990: 29-39.

Research on color change rules and color features of purple sweet potato wine during fermentation

LI Tian, WANG Yue, AN Jia-yan

(School of Biological Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

ABSTRACT The change of color-related indicators, including free anthocyanins, browning index, DP color, total color and CIELab parameters, and their correlations were studied in Purple sweet potato wines. CIELab color space was used to compare color features of purple sweet potato wine, blueberry wine, Red and White wine. The results showed that during the fermentation, browning index and DP color were both decreased, while free anthocyanins were increased firstly and then decreased. The change of total color was consistent with the change of content of free anthocyanins and showed a significantly positive correlation. The change L^* was opposite. Color parameters a^* and b^* showed a significant correlation with browning index and DP color. And different wine samples had different CIELab parameters showing individual color features.

Key words purple sweet potato wine; color; CIELab