

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2020.24.008

红心火龙果酒贮藏过程中抗氧化活性变化的研究

段秋霞^{1,2}, 李定金², 段振华^{1,2,3,*}, 陈嫣^{1,2}, 唐美玲^{1,2}, 吴莲梅³

(1. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034; 2. 贺州学院 食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899; 3. 贺州学院 食品与生物工程学院, 广西 贺州 542899)

摘要:为探讨红心火龙果酒贮藏过程中甜菜红素与抗氧化活性的变化关系和护色技术,该文通过研究自酿3种红心火龙果酒和市售红心火龙果酒的甜菜红素含量差异及其羟自由基清除能力、还原能力与ABTS⁺自由基清除能力的变化,并对贮藏过程中果酒的甜菜红素含量与其抗氧化能力进行相关性分析。结果表明:随着贮藏时间的延长,添加茶多酚与乙二胺四乙酸二钠两种护色剂的红心火龙果酒的甜菜红素保存率最高,基本保持在81.22%之间。4种果酒的抗氧化能力强弱为:复配护色剂的红心火龙果酒>单一护色剂的红心火龙果酒>红心火龙果原酒>市售红心火龙果酒。随着贮藏时间的延长,红心火龙果酒的抗氧化活性呈下降趋势,且色素的降解与其抗氧化性大小呈极显著正相关($R^2=0.9\sim 0.998$),在红心火龙果酒中添加复配护色剂可以有效护色和保持红心火龙果酒的抗氧化能力。

关键词:红心火龙果;果酒;贮藏;抗氧化;甜菜红素

Study on Changes of Antioxidant Activity of Red Heart Pitaya Wines during Storage

DUAN Qiu-xia^{1,2}, LI Ding-jin², DUAN Zhen-hua^{1,2,3,*}, CHEN Yan^{1,2}, TANG Mei-ling^{1,2}, WU Lian-mei³

(1. School of Food Science, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China; 2. Institute of Food Science and Engineering, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China; 3. School of Food and Biological Engineering, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China)

Abstract: In order to explore the relationship between betaine and antioxidant activity of red heart pitaya wines during storage and effective color control technology. The changes in betaine content and hydroxyl radical scavenging activities, reducing ability, and ABTS⁺ radical scavenging activities of three red heart pitaya wines and commercially available red heart pitaya wines were studied. And correlation analysis between betaine

基金项目:广西特色果蔬深加工与保鲜技术研究(YS201601);贺州学院“果蔬深加工与保鲜团队建设”项目(YS201602);广西特聘专家专项经费(厅发[2016]21号);广西科技基地和人才专项(桂科AD17195088);贺州市创新驱动发展专项(贺科创PT1907006);广西自然科学基金(2019JJA130016);2019年广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0711)

作者简介:段秋霞(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

*通信作者:段振华(1965—),男,教授,博士,研究方向:现代食品加工新技术。

- [15] 王欣,苑娜,陈泽勇,等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法检测富硒食品中6种硒形态[J]. 分析化学, 2013, 41(11): 1669-1674
- [16] LOPEZ H I, PALOMO M, MADRID Y. Selenoproteins: the key factor in selenium essentiality. State of the art analytical techniques for selenoprotein studies[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2011, 400(6): 1717-1727
- [17] 母元波,高宝丽. 微波消解-ICP-MS法测定底泥中的12种金属元素[J]. 世界有色金属, 2019(22): 173-174
- [18] 杨旭,董文宾. 富硒食品的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2091-2097
- [19] 孙德忠,安子怡,许春雪,等. 四种前处理方法对电感耦合等离子体质谱测定植物样品中27种微量元素的影响[J]. 岩矿测试, 2012, 31(6): 961-966
- [20] 刘勤. 磷肥和硒施用对稻米硒、钙、锌等营养累积的影响[J]. 广东矿质元素科学, 2003, 10(6): 20-24
- [21] 李荣华. 微量元素补剂对人体运动能力及健康的影响—以铁、锌为例[J]. 开封教育学院学报, 2015, 35(11): 282-283

收稿日期:2020-02-03

content of fruit wine and its antioxidant capacity during the storage. The results showed that with the increase of storage time, the betaine pigment preservation rate of the red heart pitaya wines with tea polyphenols and ethylenediamine tetraacetic disodium salt was the highest, which was basically maintained at 81.22%. The antioxidant strength of the four types of fruit wine was: red heart pitaya wines with added compound color protection agent>red heart pitaya wines with single color protection agent>red heart pitaya wines>commercially available red heart pitaya wines. With the prolonged storage time, the antioxidant activity of red heart pitaya wine showed a downward trend, and the degradation of pigments had a very significant positive correlation with the size of its antioxidant activity ($R^2 = 0.9-0.998$). Compound color protection agent was added to red heart pitaya wines the agent could effectively regulate the fade of color and maintain the antioxidant capacity of red heart pitaya wines.

Key words: red heart pitaya; fruit wine; storage; antioxidant; beet red pigment

引文格式:

段秋霞,李定金,段振华,等.红心火龙果酒贮藏过程中抗氧化活性变化的研究[J].食品研究与开发,2020,41(24):43-49

DUAN Qiuxia, LI Dingjin, DUAN Zhenhua, et al. Study on Changes of Antioxidant Activity of Red Heart Pitaya Wines during Storage[J]. Food Research and Development, 2020, 41(24):43-49

火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt),仙人掌科、量天尺属植物的果实,热带和亚热带的名优水果之一^[1-2]。火龙果富含多种维生素、氨基酸、矿物质等,且含其它植物体内稀有的植物性白蛋白,是兼备高营养和低热量的水果,具有预防重金属中毒、增强骨质、降低胆固醇等作用,还可以预防便秘、口角炎、贫血等^[3-5]。

红心火龙果作为火龙果中的优势品种,深受消费者的喜爱^[6]。但其水分含量高,呼吸作用强,采摘后在常温下极易造成失水萎蔫,甚至腐烂,从而失去商品价值,造成较大的经济损失^[7]。以红心火龙果为原料生产果酒不仅可以解决火龙果采摘后的腐败变质所导致的经济损失,增加附加价值,还可以丰富果酒市场^[8]。红心火龙果酒是以红心火龙果肉为原料发酵而成的低酒精度饮料,保留了红心火龙果原有的氨基酸、有机酸、矿物质和部分水溶性膳食纤维等对身体有益的成分^[9]。红心火龙果酒中含有大量的抗氧化活性成分,能增加产品的保健作用和食用价值,具有抗氧化和抗衰老功能,有益于人体健康^[10-11]。红心火龙果酒在加工贮藏中会出现颜色褪色现象,大大降低消费者的购买意愿。红心火龙果酒出现颜色褪色现象主要是由甜菜红素的降解而导致^[12]。

目前红心火龙果酒的研究主要集中在发酵工艺优化方面以及红心火龙果色素提取的研究。周景瑞等^[13]对火龙果酒的加工工艺进行探究,采用果汁发酵,生产出的火龙果酒酒精度为13.5%,具有典型的火龙

果香和浓郁醇厚的酒香。陈烁^[14]采用红曲进行二次发酵得到的红曲火龙果酒兼具果酒和米酒的风味特征,质量更优。黎海利等^[15]优化火龙果色素提取的工艺并测定其色素提取液的抗氧化活性,得出自由基清除能力与色素提取液的浓度呈一定的正相关。TENORE GC等^[16]采用DPPH自由基清除试验和铁离子还原法测定红心火龙果果肉和其不同提取物的抗氧化活性。结果表明,红心火龙果果肉具有抗氧化能力,其中不同成分的抗氧化能力排序是甜菜红素>黄酮>酚类。综合国内外文献报道,目前少见火龙果酒贮藏过程中抗氧化活性变化的研究。

为有效地调控红心火龙果酒在加工贮藏中颜色变化,本试验以红心火龙果酒甜菜红素与抗氧化之间的关系为研究切入点,通过研究红心火龙果原酒、添加单一护色剂的红心火龙果酒、添加复配护色剂的红心火龙果酒和市售红心火龙果酒的甜菜红素含量变化规律及其清除羟自由基能力、还原能力与清除ABTS⁺自由基能力,从而确定有效的护色技术。以期为红心火龙果酒在贮藏过程中护色控制及抗氧化活性的保持提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红心火龙果原酒、添加单一护色剂(指添加抗坏血酸一种护色剂)的红心火龙果酒、添加复配护色剂

(指添加茶多酚与乙二胺四乙酸二钠两种护色剂)的红心火龙果酒:贺州学院食品加工实验室自酿;红心火龙果酒:海南火龙果酒业有限公司。

十二水磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、三氯乙酸、六水合三氯化铁、七水合硫酸亚铁、过氧化氢、无水乙醇;广东光华科技股份有限公司;铁氰化钾:天津市大茂化学试剂厂;水杨酸:西陇化工股份有限公司;ABTS试剂:合肥博美生物科技有限责任公司;过硫酸钾:国药集团化学试剂有限公司。上述试剂除 ABTS 试剂为优级纯外,其余均为分析纯。

1.2 主要仪器

ZQZY-VC 恒温振荡培养箱:上海知楚仪器有限公司;UV-1780 紫外可见分光光度计:岛津仪器有限公司;HH-S2 数显恒温水浴锅:江苏金怡仪器科技有限公司。

1.3 试验方法

每种酒分别取 15 瓶,于 25 °C 下避光贮藏。每隔 2 d 测定红心火龙果原酒、加入单一护色剂红心火龙果酒、加入复配护色剂红心火龙果酒以及市售红心火龙果酒中的甜菜红素含量、还原能力、羟自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力。

1.3.1 甜菜红素保存率的测定

取 0.5 mL 火龙果果酒,于 10 mL 比色管,加入蒸馏水至刻度定容,摇匀,分别在波长 537、600 nm 处,以蒸馏水为空白参比,测定其吸光度^[17-18]。按公式(1)计算甜菜红素含量(以甜菜苷计)。

$$\text{甜菜红素含量}/(\text{mg/L})=A_w \times DF \times MF \times 1000 / \epsilon \times L \quad (1)$$

式中: A_w 为 537 nm 处的吸光值减去 600 nm 处吸光值; DF 为稀释倍数; MF 为甜菜苷摩尔分子质量,550 g/mol; ϵ 为标准甜菜苷摩尔消光系数,60 000 L/(mol·cm); L 为比色皿的光路长度,cm。

甜菜红素保存率按公式(2)计算。

$$\text{甜菜红素保存率}/\% = C/C_0 \times 100 \quad (2)$$

式中: C 为处理后的甜菜红素含量,mg/L; C_0 为处理前的甜菜红素含量,mg/L。

1.3.2 贮藏期间火龙果酒还原能力测定

取 1 mL 火龙果酒与 2.5 mL 0.2 mol/L 磷酸缓冲液(pH 6.6)和 2.5 mL 1%铁氰化钾混合,于 50 °C 水浴保温 20 min 后,快速冷却,加入 4 mL 10%三氯乙酸静置 5 min。取 2.5 mL 反应液于 10 mL 比色管中,加入 2.5 mL 纯水,再加入 0.5 mL 0.1%三氯化铁,并置于暗处反应 20 min,于 700 nm 波长处测定吸光度^[19]。

1.3.3 贮藏期间火龙果酒羟自由基清除能力测定

在测定管中加入 1 mL 火龙果酒、1 mL 6 mmol/L

硫酸亚铁溶液和 1 mL 6 mmol/L 的过氧化氢溶液混匀,静置 10 min 后加入 1 mL 6 mmol/L 水杨酸溶液混匀,静置 30 min 后于 510 nm 处测定其吸光度;以蒸馏水代替水杨酸为对照组,以蒸馏水代替样品液为空白组^[20]。羟自由基清除率公式(3)计算。

$$\text{羟自由基清除率}/\% = [A_3 - (A_1 - A_2)] / A_3 \times 100 \quad (3)$$

式中: A_1 为测定管的吸光度; A_2 为对照管的吸光度; A_3 为空白管的吸光度。

1.3.4 贮藏期间 ABTS⁺自由基清除能力测定

首先配制 7.4 mmol/L 的 ABTS 溶液和 2.6 mmol/L 的高硫酸钾溶液,然后将二者按体积比 1:1 混合,室温(25 °C)下避光过夜 12 h~14 h,制得 ABTS 工作液。使用时用无水乙醇将工作液稀释 40 倍~50 倍,使其吸光值 $A_{734 \text{ nm}} = 0.7 \pm 0.02$ 。然后取 0.2 mL 试样加入 1.8 mL 稀释后的 ABTS 工作液。混合后避光放置 30 min,最后在波长 734 nm 处测定混合物吸光值 A_1 ;用等体积蒸馏水替代工作液,同法操作,测定吸光值 A_2 ;用同浓度的乙醇溶液替代待测试样,同法操作,测定吸光值 A_3 ^[21]。ABTS⁺自由基清除率按公式(4)计算。

$$\text{ABTS}^+ \text{自由基清除率}/\% = [1 - (A_1 - A_2) / A_3] \times 100 \quad (4)$$

1.4 数据分析

所有的测试平行测量 3 次,采用 origin 9.1 软件绘图,SPSS 25 软件进行 duncan 显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 贮藏期间火龙果酒甜菜红素保存率的变化

贮藏期间甜菜红素保存率的变化见图 1,贮藏期间红心火龙果酒中的甜菜红素保存率差异分析见表 1。

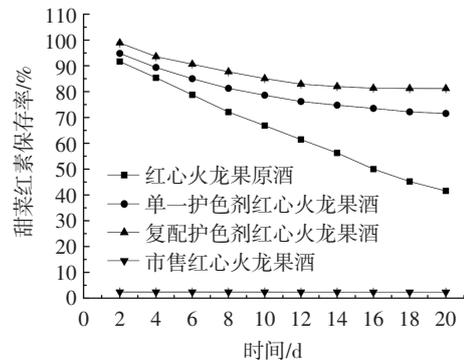


图 1 贮藏期间甜菜红素保存率的变化

Fig. 1 The changes of the beet red pigment retention rate during storage

由图 1 和表 1 可知,随着贮藏时间的延长,红心火龙果原酒和添加单一护色剂的红心火龙果酒的甜菜红素保存率均呈现下降趋势,表现为差异显著

表 1 贮藏期间红心火龙果酒中的甜菜红素保存率差异分析

Table 1 The discrepancy analysis of the beet red pigment retention rate in red heart wines during storage

贮藏时间/d	F/%	D/%	Y/%	S/%
2	98.87±0.37 ^{Ab}	94.80±0.44 ^{Ab}	91.65±0.36 ^{Ac}	2.41±0.02 ^{Ad}
4	93.58±0.40 ^{Ba}	89.35±0.27 ^{Bb}	85.39±0.35 ^{Bc}	2.39±0.01 ^{Ad}
6	90.62±0.30 ^{Ca}	85.00±0.22 ^{Cb}	78.76±0.22 ^{Cc}	2.40±0.02 ^{Ad}
8	87.69±0.26 ^{Dh}	81.27±0.21 ^{Dh}	72.09±0.24 ^{Dc}	2.38±0.02 ^{Ad}
10	85.07±0.20 ^{Ea}	78.63±0.33 ^{Eb}	66.86±0.39 ^{Ec}	2.39±0.01 ^{Ad}
12	82.90±0.39 ^{Fa}	76.17±0.11 ^{Fb}	61.43±0.20 ^{Fc}	2.36±0.04 ^{Ad}
14	81.99±0.33 ^{Ga}	74.74±0.23 ^{Gb}	56.25±0.25 ^{Gc}	2.34±0.04 ^{Ad}
16	81.34±0.30 ^{Ha}	73.51±0.09 ^{Hb}	50.01±0.28 ^{Hc}	2.31±0.03 ^{Ad}
18	81.23±0.02 ^{Ha}	72.16±0.28 ^{Hb}	45.18±0.18 ^{Hc}	2.33±0 ^{Ad}
20	81.22±0.02 ^{Ha}	71.53±0.43 ^{Hb}	41.54±0.26 ^{Hc}	2.32±0.03 ^{Ad}

注:Y、D、F和S分别代表红心火龙果原酒甜菜红素保存率、添加单一护色剂红心火龙果酒甜菜红素保存率、添加复配护色剂红心火龙果酒甜菜红素保存率和市售红心火龙果酒甜菜红素保存率。同一行上标不同大写字母表示差异显著 $P<0.05$;同一列上标不同小写字母表示差异显著 $P<0.05$, $n=3$ 。

($P<0.05$)。红心火龙果原酒的下降速度最快,第20天时,其甜菜红素保存率为41.54%,添加单一护色剂果酒的甜菜红素保存率为71.53%。添加复配护色剂果酒的甜菜红素保存率下降较慢,在第16天开始呈现平缓趋势,第16天至第20天甜菜红素保存率保持在81.34%~81.22%之间,无明显差异($P>0.05$)。这说明添加复配护色剂可减缓甜菜红素的降解。市售红心火龙果酒的甜菜红素保存率从第2天至第20天基本保持在2.41%~2.32%,无明显差异($P>0.05$)。4种果酒同一天的甜菜红素保存率均不相同,添加了护色剂的果酒的甜菜红素保存效果最好,其中添加复配护色剂的果酒的甜菜红素保存率最高。由此可知,复配护色剂可以延缓果酒的甜菜红素的降解,具有很好的护色效果。

2.2 贮藏期间火龙果酒还原能力的变化

贮藏期间铁离子还原能力的变化见图2。

抗氧化能力也可以用还原能力的强弱来评定,还原能力越高,说明抗氧化活性越好^[22]。如图2所示,4种红心火龙果酒在贮藏期间的还原能力均随着时间的延长而下降,还原能力的大小为:复配护色剂红心火龙果酒>单一护色剂红心火龙果酒>红心火龙果原酒>市售红心火龙果酒。由此可以说明加入复配护色剂的红心火龙果酒的抗氧化活性最好,而且在贮藏过程中,其抗氧化活性下降最为缓慢,可能与加入的护色剂有关,护色剂不但增强了果酒的抗氧化活性,同时也对果酒的抗氧化活性具有较好的

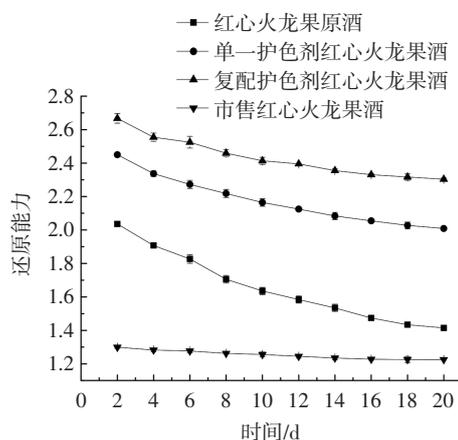


图2 贮藏期间铁离子还原能力的变化

Fig. 2 The changes in iron ion reducing ability during storage

保持效果。

2.3 贮藏期间火龙果酒羟自由基清除能力的变化

贮藏期间羟自由基清除能力的变化见图3。

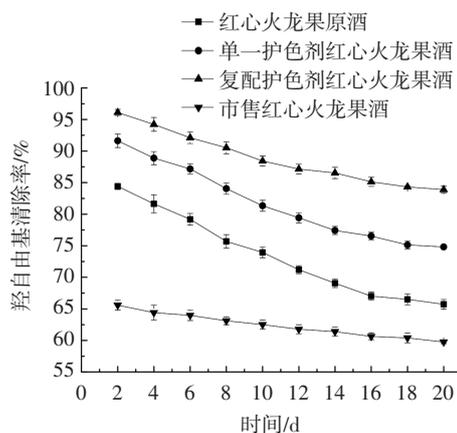


图3 贮藏期间羟自由基清除能力的变化

Fig. 3 The changes in hydroxyl radical scavenging capacity during storage

如图3所示,随着时间的延长,羟自由基清除率逐渐减弱。贮藏20d后,加入复配护色剂的红心火龙果酒的羟自由基清除率下降12.22%,明显低于加入单一护色剂红心火龙果酒(下降16.8%)与红心火龙果原酒(下降18.68%),且火龙果原酒下降得最快。这是原酒由于没有进行护色处理,其酒中含有强抗氧化活性的甜菜红色素降解最快,从而导致果酒的抗氧化活性也下降得最快。市售红心火龙果酒羟自由基清除率较为稳定,但也呈现小幅度下降,由于其色素含量较少,可能是酒体中其它抗氧化活性物质减少造成的。

2.4 贮藏期间火龙果酒 ABTS⁺自由基清除能力的变化

贮藏期间 ABTS⁺自由基清除能力的变化见图4。

如图4所示,4种红心火龙果酒 ABTS⁺自由基清除率均呈下降趋势,表示其抗氧化活性逐渐降低。红

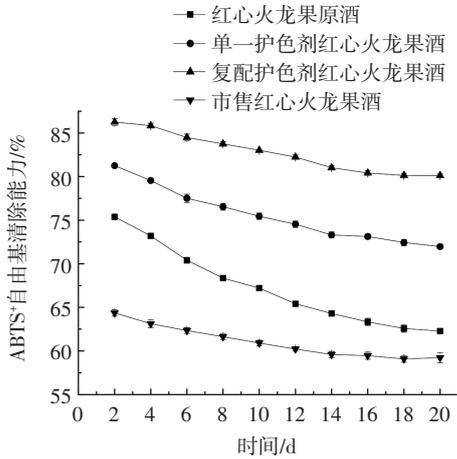


图4 贮藏期间 ABTS⁺自由基清除能力的变化

Fig.4 The changes in ABTS⁺ radical scavenging activities during storage

心火龙果原酒 ABTS⁺自由基清除率下降速率最快,由 75.37%降至 62.28%;复配护色剂红心火龙果酒的 ABTS⁺自由基清除率则趋于平缓,在 20 d 的贮藏期间,下降 6.13%。表示在果酒体系中,原酒中的抗氧化活性物质的降解速率大于加入复配护色剂的果酒。红心火龙果酒中甜菜红素降解对酒的抗氧化活性影响较大,护色剂对果酒中的甜菜红素具有较好的保护作用,因此,复配护色剂的红心火龙果酒的抗氧化性下降趋势较小。

2.5 相关性分析

2.5.1 红心火龙果原酒的甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

红心火龙果原酒贮藏期间甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响见图 5,红心火龙果原酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性分析见表 2。

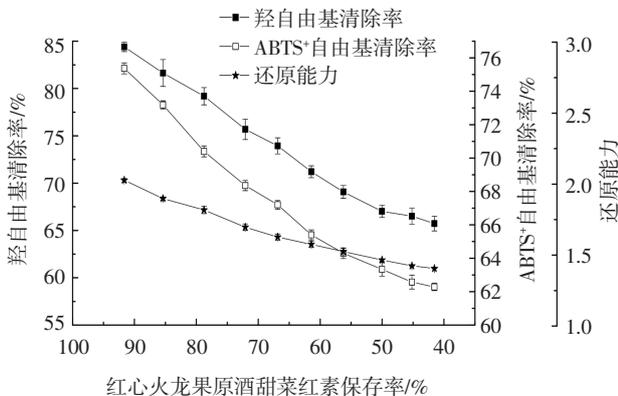


图5 红心火龙果原酒中甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响

Fig.5 The effects of the beet red pigment retention rate on antioxidant activity in red heart pitaya wines

由图 5 和表 2 可知,甜菜红素的保存率与还原能力、羟自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率呈现显著相

关性,相关系数分别为 0.998、0.993、0.985,表明在贮藏过程中,红心火龙果酒的甜菜红素含量的降低导致了果酒的抗氧化活性降低。

表 2 红心火龙果原酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性
Table 2 The correlation between the retention rate of betaine and antioxidant activity in red heart pitaya wines

指标	还原能力	羟自由基清除率	ABTS ⁺ 自由基清除率
甜菜红素保存率	0.998**	0.993**	0.985**

注:**表示相关系数在 0.01 水平上极显著。

2.5.2 单一护色剂红心火龙果酒的甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

添加单一护色剂红心火龙果酒贮藏期间甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响见图 6,添加单一护色剂红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性分析见表 3。

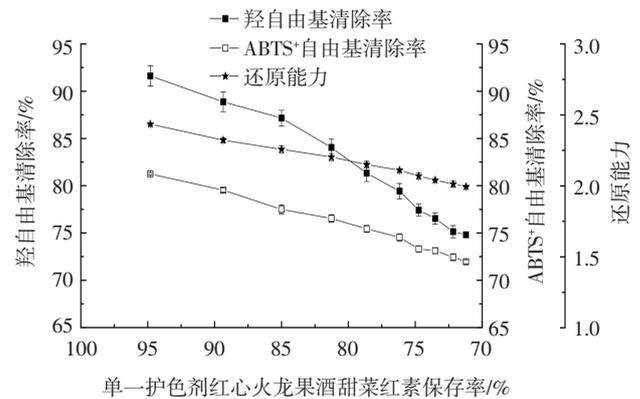


图6 添加单一护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的关系

Fig.6 The relationship between the beet red pigment retention rate and antioxidant activity in in red heart pitaya wines with a single color protectant agent

表 3 添加单一护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

Table 3 The correlation between the retention rate of betaine and antioxidant activity of in red heart pitaya wines with a single color protectant agent

指标	还原能力	羟自由基清除率	ABTS ⁺ 自由基清除率
甜菜红素保存率	0.997**	0.998**	0.996**

注:**表示相关系数在 0.01 水平上极显著。

由图 6 和表 3 可知,添加单一护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素的保存率与还原能力、羟自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率呈现极强显著正相关,相关性分别为 0.997、0.998、0.996。在贮藏过程中随着时间的

延长,红心火龙果酒中甜菜红素的保存率逐渐降低,果酒的抗氧化活性能力也逐渐降低。

2.5.3 复配护色剂红心火龙果酒的甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

添加复配护色剂红心火龙果酒贮藏期间甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响见图7,添加复配护色剂红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性分析见表4。

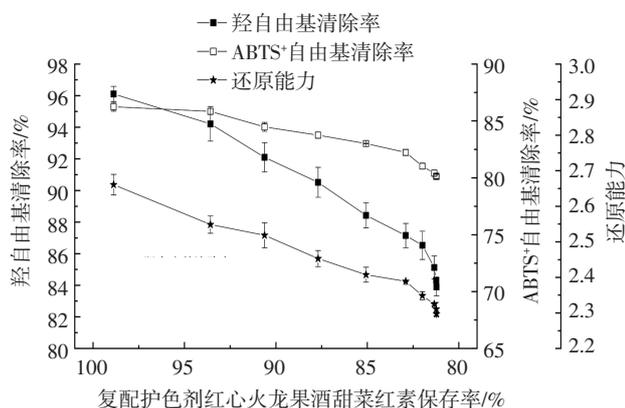


图7 添加复配护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响

Fig.7 The effect of the beet red pigment retention rate on antioxidant activity in red heart pitaya wines with compound color protectant agent

表4 添加复配护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

Table 4 The correlation between the retention rate of betaine and antioxidant activity of in red heart pitaya wines with compound color protectant agent

指标	还原能力	羟自由基清除率	ABTS ⁺ 自由基清除率
甜菜红素保存率	0.990**	0.979**	0.957**

注:**表示相关系数在0.01水平上极显著。

由图7和表4可知,随着加入复配护色剂的红心火龙果酒中甜菜红素的保存率的减少,果酒的还原能力、羟自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率均呈现下降趋势,即果酒的抗氧化能力不断变小。甜菜红素的保存率与还原能力、羟自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率具有相关性,且呈现极强显著正相关($R^2=0.957\sim 0.990$)。结果表明在贮藏过程中,红心火龙果酒的甜菜红素含量的降低对果酒的抗氧化活性具有一定的影响,甜菜红色素含量的减少引起果酒的抗氧化活性降低。

2.5.4 市售红心火龙果酒的甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

市售红心火龙果酒贮藏期间甜菜红素保存率对抗

氧化活性的影响见图8,市售红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性分析见表5。

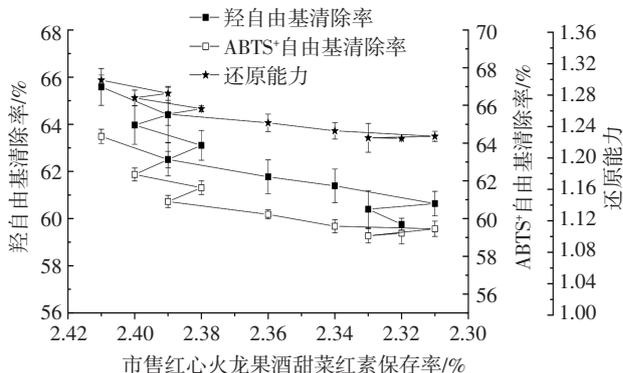


图8 市售红心火龙果酒中甜菜红素保存率对抗氧化活性的影响

Fig.8 The effects of the beet red pigment retention rate on antioxidant activity in commercially available red heart pitaya wines

表5 市售红心火龙果酒中甜菜红素保存率与抗氧化活性的相关性

Table 5 The correlation between the retention rate of betaine and antioxidant activity in commercially available red heart pitaya wines

指标	还原能力	羟自由基清除率	ABTS ⁺ 自由基清除率
甜菜红素保存率	0.938**	0.934**	0.900**

注:**表示相关系数在0.01水平上极显著。

由图8和表5可知,市售红心火龙果酒的甜菜红素趋于稳定状态,但在20d的贮藏过程中,其羟自由基清除率下降5.83%,ABTS⁺自由基清除率下降5.14%,还原能力吸光度由1.2291下降到1.2249,虽然幅度较小,但也呈现出下降趋势。

3 结论

通过体外抗氧化能力研究发现,4种果酒的抗氧化能力强弱为:加入复配护色剂的红心火龙果酒>加入单一护色剂的红心火龙果酒>红心火龙果原酒>市售红心火龙果酒。在20d的贮藏过程中,红心火龙果原酒、添加单一护色剂红心火龙果酒、添加复配护色剂红心火龙果酒的羟自由基清除率分别下降:18.68%、16.8%、12.22%;还原能力的吸光度分别下降0.6213、0.4414、0.3636;在ABTS⁺自由基清除率上,分别由75.37%降至62.28%、由81.25%降至71.96%、由86.25%降至80.12%。而市售红心火龙果酒中的甜菜红素最低,基本保持在2.31%~2.41%之间,其抗氧化活性趋于稳定,但都明显低于添加复合护色剂果酒。试验进一步对甜菜红素的含量与果酒的羟自由基清除能

力和还原能力与 ABTS⁺自由基清除能力进行相关性分析,结果表明色素的含量与果酒的抗氧化能力强弱呈显著正相关($R^2=0.9\sim 0.998$)。因此,可以认为在红心火龙果酒中添加复配护色剂可以有效护色和保持红心火龙果酒的抗氧化能力。

参考文献:

- [1] 段振华. 火龙果的营养评价与加工技术[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(10): 215-219
- [2] Suh D H, Lee S, Heo D Y, et al. Metabolite profiling of red and white pitayas(*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(34): 8764-8771
- [3] 盘喻颜, 段振华, 刘艳, 等. 火龙果片微波间歇干燥特性及其动力学研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 195-201
- [4] 陈丽兰, 周文倩. 4种常用抗氧化剂对红心火龙果果浆色泽的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 93-95
- [5] 刘雅. 苹果火龙果复合饮料制备及理化指标分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22): 116-120
- [6] 吴德智, 王建超, 李安, 等. 火龙果果粒复合饮料的生产工艺及其稳定性研究[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 5-9
- [7] 巴良杰, 王瑞, 曹森, 等. 热处理对采后火龙果品质和抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 59-64
- [8] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. 发酵方法及品种对猕猴桃多酚和抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 86-92
- [9] 殷俊伟, 龚霄, 王晓芳, 等. 红心火龙果果酒挥发性成分分析[J]. 中国酿造, 2016, 35(9): 159-162
- [10] 乌日娜, 钟秋平, 李雯. 不同酵母发酵的火龙果酒抗氧化活性及颜色变化[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 102-106
- [11] 宋海昭. 火龙果甜菜红素提取物对肥胖的干预作用及相关机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016
- [12] 龚霄, 殷俊伟, 刘洋洋, 等. 红心火龙果果酒生产过程中的褐变机理探究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 52-56
- [13] 周景瑞, 肖敏, 肖荣飞, 等. 红心火龙果酒酿造工艺研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 188-191
- [14] 陈烁. 红曲火龙果酒加工工艺研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018
- [15] 黎海利, 刘锴栋, 袁长春, 等. 红肉火龙果果皮色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12): 203-209
- [16] Tenore G C, Novellino E, Basile A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(1): 129-136
- [17] Herbach K M, Maier C, Stintzing F C, et al. Effects of processing and storage on juice colour and betacyanin stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) juice[J]. European Food Research and Technology, 2007, 224(5): 649-658
- [18] 罗进, 刘芳梅, 赵雷, 等. 酶解条件对火龙果甜菜红素含量和出汁率的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(5): 167-173, 122
- [19] 何瑞. 蜂蜜酒的酿造工艺、风味成分及其抗氧化活性的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017
- [20] 巴俊文. 红树莓-蓝莓复合果酒工艺研究及其香气成分分析[D]. 锦州: 渤海大学, 2019
- [21] 冯博, 钱晔, 吴奇, 等. ABTS法研究高压脉冲电场对普洱熟茶抗氧化活性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(5): 815-819
- [22] 杨玉霞. 百香果全果制备果醋的工艺及其抗氧化活性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018

收稿日期: 2020-01-31

人民有信仰，
民族有希望，
国家有力量。