

# 高压脉冲电场对干红葡萄酒原花色素的影响

苏慧娜, 黄卫东, 战吉成, 王秀芹\*  
(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了缩短葡萄酒陈酿时间, 使其品质在较短时间内得到改善, 本实验研究高压脉冲电场处理和自然陈酿对新鲜干红葡萄酒的影响, 并利用反相高效液相色谱法检测其中原花色素的变化。结果表明, 经一定条件的高压脉冲电场处理后, 原花色素的含量、平均聚合度及其组成单元都发生了显著变化, 且变化趋势基本符合自然陈酿效果。PEF 场强低于 18kV/cm 时, 随场强增加, 处理效果越接近陈酿, 但是场强达到 24kV/cm 时, 处理效果反而下降。因此, 高压脉冲电场处理对于加速葡萄酒陈酿、提高葡萄酒品质是具有一定效果的。

**关键词:** 新鲜干红葡萄酒; 高压脉冲电场; 原花色素

## Effect of High-voltage Pulsed Electric Field on Proanthocyanidins Content in Freshly Brewed Dry Red Wine

SU Hui-na, HUANG Wei-dong, ZHAN Ji-cheng, WANG Xiu-qin\*  
(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to shorten the aging time of red wine and improve its quality, high-voltage pulsed electric field was used to treat red wine. Compared with spontaneous aging, the evolution of proanthocyanidins was monitored by reversed-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC) coupled with UV-visible detector to evaluate the effect of high-voltage pulsed electric field on proanthocyanidins content in freshly brewed dry red wine. After the treatment of high-voltage pulsed electric field, the content, average polymerization degree and monomer composition of proanthocyanidins exhibited a significant change, which revealed the similar effect with the spontaneous aging of red wine in a bottle. During the treatment of electric field below 18 kV/cm, the aging effect of treated wine was more close to the spontaneous evolution of wine with increasing electric field intensity. However, the aging effect on red wine exhibited a decrease trend when the electric field intensity was over 24 kV/cm. These investigations suggest that appropriate pulsed electric field treatment could accelerate the mature and aging of red wine and improve its quality.

**Key words:** freshly brewed dry red wine; pulsed electric field; proanthocyanidins

中图分类号: TS262.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)03-0039-05

葡萄酒含有多种酚类物质, 适量饮用葡萄酒对人体有良好的保健作用<sup>[1]</sup>, 但新鲜的葡萄酒多数需要经过陈酿才能到达最佳饮用期, 而自然陈酿过程缓慢, 造成葡萄酒生产和上市周期过长。为了缩短葡萄酒陈酿时间, 葡萄酒人工催陈技术应运而生。目前酒类催陈的方法有许多, 国内外研究较多的是高压脉冲电场法<sup>[2-3]</sup>、超声波法<sup>[4]</sup>、超高压法<sup>[5]</sup>、电磁场法<sup>[6-7]</sup>、人工加入橡木片法等<sup>[8-11]</sup>。

高压脉冲电场(pulsed electric fields, PEF)技术是近年来发展起来的一项很有前景的技术, 它具有传递均匀、处理时间短、产热少, 对食品营养特性影响小等

特点, 能克服食品加热处理或化学单元操作带来的不良影响<sup>[12]</sup>, 目前该技术在食品中的应用研究越来越多。

原花色素对葡萄酒的感官品质, 特别是苦味、色泽、收敛性具有重要作用<sup>[13-14]</sup>。研究表明, 陈酿期间, 原花色素不仅可以在自身之间发生聚合, 还可以与花色苷之间形成高分子量聚合物<sup>[15-17]</sup>, 其组成单元黄烷-3-醇也可与花色苷、乙醛形成缩合物<sup>[18-19]</sup>, 并可参与或介导原花色素的缩合<sup>[20]</sup>, 导致葡萄酒色泽和口味的变化<sup>[21]</sup>, 故原花色素可作为衡量葡萄酒品质的一个指标。

以往的研究多是高压脉冲电场对葡萄酒物性和香气的影响<sup>[2-3]</sup>, 而对其中重要的酚类物质影响的研究鲜见报

收稿日期: 2009-02-27

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目子课题(2006BAD05A02-01); 国家自然科学基金项目(30871698)

作者简介: 苏慧娜(1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为葡萄与葡萄酒。E-mail: huierwawa212@163.com

\* 通信作者: 王秀芹(1966—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为葡萄与葡萄酒。E-mail: wxq1966@sohu.com

道, 本实验室之前的研究结果已表明, 高压脉冲电场处理后, 大部分酚酸、黄烷-3-醇和黄酮醇都发生了显著变化, 且基本符合自然陈酿规律<sup>[22]</sup>。本实验在以往研究的基础上, 利用高压脉冲电场处理新鲜干红葡萄酒, 采用反相高效液相色谱法测定处理后葡萄酒中原花色素的含量及其组成单元的变化, 并研究其变化规律是否符合自然陈酿规律, 以期为进一步人工催陈葡萄酒, 并改进葡萄酒品质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

葡萄酒样取自北京龙徽酿酒有限公司, 系2007年度发酵的未经陈酿的美乐(merlot)新酒样品; Toyoparl HW-50(F)(Part No.19810) 日本Tosoh公司; 儿茶素((+)-Catechin, CAT)、表儿茶素((-)-epicatechin, EC)、表儿茶素没食子酸酯((-)-epicatechin gallate, ECG), 纯度98%以上 Sigma公司; 乙腈、甲醇为色谱纯; 实验用水为自制超纯水(电导率 $18\mu\text{S}/\text{cm}$ ); 香草醛、间苯三酚、浓硫酸等其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

WATERS-2695XE 分离单元高效液相色谱仪、WATERS-2996PDA 紫外检测器、WATERS Empower Software 色谱数据处理系统 美国Waters公司; Microprocessor pH计 意大利HANNA Instruments公司; 微量进样枪 德国Eppendorf公司; Y220 十万分之一分析天平、UV-1601 紫外分光光度计 日本Shimadzu公司; S2-93 自动双重纯水蒸馏器、RE2599 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂。

实验所用的高压脉冲设备为清华大学研制, 其输出波形为方波脉冲, 脉宽 $10\mu\text{s}$ , 频率 $10\text{Hz}$ , 实验所用处理室为同场处理室, 两极板间距为 $0.4\text{cm}$ , 处理室入口和出口处各有一个热电偶, 可测定样品温度。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 葡萄酒样的制备

葡萄酒分两组, 第一组进行自然陈酿处理; 第二组葡萄酒经PEF处理, 选择电场强度为6、12、18、 $24\text{kV}/\text{cm}$ , 总处理脉冲数为100、200、300, 处理后葡萄酒样品 $-20^\circ\text{C}$ 保存以备检测。

#### 1.3.2 原花色素的测定

参照温鹏飞<sup>[23]</sup>的方法。

##### 1.3.2.1 原花色素的分离和纯化

酒样( $10\text{mL}$ )上样于TSK HW-50(F)柱( $18\text{mm} \times 250\text{mm}$ ), 经 $90\text{mL}$ 乙醇-水-TFA( $55:45:0.05$ , V/V)和 $50\text{mL}$ 丙酮-水( $60:40$ , V/V, 内含 $1\text{g}/\text{L}$  VC)洗脱, 流速 $1.5\text{mL}/\text{min}$ , 收集丙酮部分, LGJ-10 型冷冻干燥机冻干后,  $-20^\circ\text{C}$

冰箱保存备用。

##### 1.3.2.2 原花色素含量测定

采用香草醛法测定, 香草醛试剂: 溶液A:  $30\% \text{H}_2\text{SO}_4(\text{V}/\text{V})$ : 甲醇; 溶液B:  $1\% \text{香草醛}(\text{m}/\text{V})$ : 甲醇。使用之前将A和B试剂按1:1比例迅速混合, 取 $0.2\text{mL}$ 样品加入 $6\text{mL}$ 香草醛溶液,  $5\text{min}$ 后测 $510\text{nm}$ 处的吸光度。用儿茶素配成适宜浓度, 利用同样方法, 做标准曲线。

##### 1.3.2.3 原花色素的降解

冻干样溶于 $2.5\text{mL}$ 甲醇(色谱纯)中, 取 $1\text{mL}$ , 加入 $0.2\text{mol}/\text{L}$  HCl-甲醇溶液(含 $20\text{g}/\text{L}$  抗坏血酸)和 $100\text{g}/\text{L}$  间苯三酚液各 $0.5\text{mL}$ ,  $50^\circ\text{C}$ 下反应 $20\text{min}$ , 加入 $40\text{mmol}/\text{L}$  乙酸钠液终止反应,  $-20^\circ\text{C}$ 冰箱保存备用。

##### 1.3.2.4 色谱条件

德国Meck公司LiChrospher 100 RP-18e 色谱柱( $250\text{mm} \times 4.0\text{mm}$ ,  $5\mu\text{m}$ ), 保护柱为德国Merck公司产RP-18( $10\text{mm} \times 4\text{mm}$ ), 紫外检测波长 $280\text{nm}$ , 柱温 $30^\circ\text{C}$ , 流速 $1.5\text{mL}/\text{min}$ , 进样量 $10\mu\text{L}$ 。

梯度洗脱: 流动相A:  $1\%$  冰乙酸; 流动相B:  $80\%$  乙腈( $1\%$  冰乙酸)。

洗脱程序:  $0\sim 8\text{min}$ ,  $3.8\% \text{B}$ ;  $8\sim 28\text{min}$ ,  $3.8\% \sim 22.5\% \text{B}$ ;  $28\sim 32\text{min}$ ,  $22.5\% \sim 50\% \text{B}$ ;  $32\sim 50\text{min}$ ,  $50\% \sim 100\% \text{B}$ ;  $50\sim 52\text{min}$ ,  $100\% \text{B}$ ;  $52\sim 60\text{min}$ ,  $3.8\% \text{B}$ 。

将降解后样品过 $0.45\mu\text{m}$  有机微滤膜, 直接进样。

平均聚合度的计算公式如下:

$$\text{平均聚合度} = \frac{\text{初始单元物质的量浓度} + \text{延伸单元物质的量浓度}}{\text{起始单元物质的量浓度}}$$

实验重复3次, 数据用SigmaPlot 10.0和Excel进行统计分析, 采用SPSS16.0进行显著性差异分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 自然陈酿和PEF处理对葡萄酒原花色素含量的影响

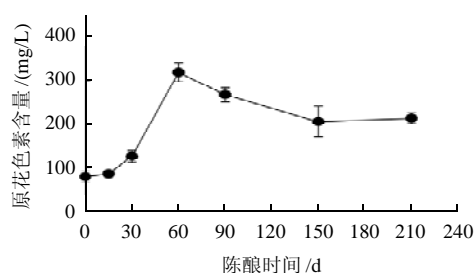


图1 自然陈酿期间原花色素含量的变化  
Fig.1 Change of proanthocyanidins content during spontaneous aging of dry red wine

自然陈酿和 PEF 处理后两种葡萄酒原花色素含量的变化如图 1、2 所示, 统计分析可知, 两种处理后原花色素的含量均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。

由图 1 可知, 瓶储陈酿过程中, 红葡萄酒原花色素含量在前两个月迅速增加, 可能是由于其组成单元黄烷-3-醇之间发生了缩合反应, 而造成其含量增加, 这与前人的研究是一致的<sup>[24-25]</sup>。自然陈酿后期原花色素含量缓慢下降, 可能是由于原花色素自身可以缩合, 或与多糖、蛋白等大分子化合物缩合形成单宁类似物或高分子量原花色素的沉淀所致<sup>[26]</sup>。

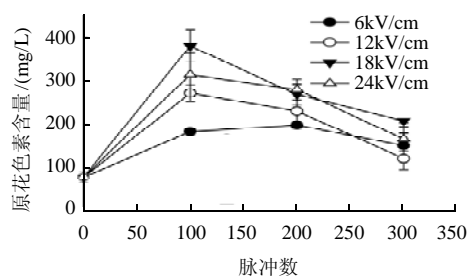


图2 PEF处理后原花色素含量的变化

Fig.2 Change of proanthocyanidins content in dry red wine during different intensity pulsed electric field treatments

由图 2 可知, PEF 处理后, 随着脉冲数的增加, 红葡萄酒原花色素含量变化的趋势与自然陈酿相同, 都是先迅速增加, 随后缓慢下降, 且随着场强的增加变化幅度逐渐增加, 但是场强 24kV/cm 时, 变化幅度却有所下降, 可能是由于处理时注入的脉冲电场能量赋予了葡萄酒中原花色素及其单体参与化学反应的分子高能量, 可以促进化学反应的发生, 在处理场强较低时, 原花色素形成的速率大于降解的速率, 但是处理场强过高, 降解的速率就超过了形成速率。

## 2.2 自然陈酿和 PEF 处理原花色素平均聚合度的变化

自然陈酿和 PEF 处理后红葡萄酒原花色素平均聚合度含量的变化分别如图 3、4 所示, 统计分析可知, 两种处理后原花色素的聚合度变化均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。

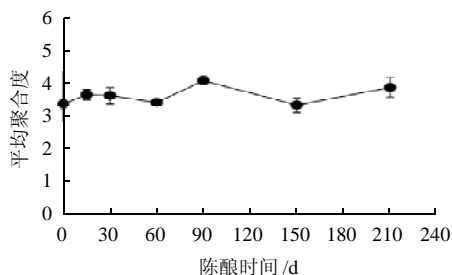


图3 自然陈酿期间原花色素平均聚合度的变化

Fig.3 Change in average polymerization degree of proanthocyanidins during spontaneous aging of dry red wine

从图 3 可以看出, 陈酿过程中原花色素平均聚合度

表现为先升高, 随后“波浪式”变化, 但是略有增高的趋势, 这可能是由于高聚原花色素不断与花色苷等大分子形成复杂的化合物而沉淀, 同时黄烷-3-醇、寡聚原花色素又在乙醛的介导下缩合成多聚原花色素<sup>[14]</sup>, 综合表现为二聚体含量逐渐下降, 同时三聚体和四聚体含量逐渐增加<sup>[27-28]</sup>所致。

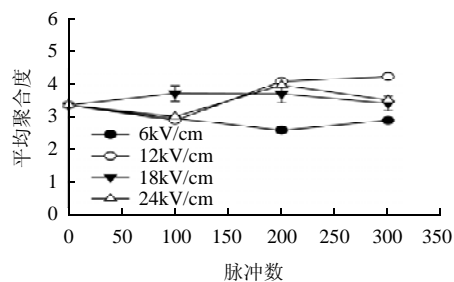


图4 PEF处理后原花色素平均聚合度的变化

Fig.4 Change in average polymerization degree of proanthocyanidins in dry red wine during different intensity pulsed electric field treatments

由图 4 可知, 与自然陈酿相比, PEF 处理后, 原花色素聚合度也呈现“波浪式”变化, 且变化幅度明显大于陈酿过程。其中当场强 6kV/cm 时, 随着处理脉冲数的增加, 原花色素平均聚合度先下降, 当脉冲数达到 300 个时, 原花色素平均聚合度又有所上升。场强大于 6kV/cm 时, 原花色素平均聚合度变化趋势类似, 且场强 24kV/cm 时, 变化更明显。

## 2.3 自然陈酿和 PEF 处理后原花色素起始单元的变化

葡萄酒经过自然陈酿和 PEF 处理, 不仅原花色素的含量和聚合度发生了变化, 而且组成也发生了显著的变化(图 5、6)。分析可知, 两种处理后原花色素的各起始单元浓度均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。

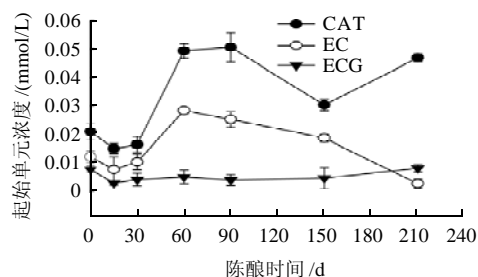


图5 自然陈酿期间原花色素各起始单元的变化

Fig.5 Change in initial units of proanthocyanidins during spontaneous aging of dry red wine

从图 5 可以看出, 自然陈酿过程中起始单元变化很显著, 陈酿过程中, CAT 和 EC 浓度先升高, 而 ECG 浓度变化不明显, 这可能是因为, 一方面原花色素与其他大分子物质(如多糖、蛋白质和色素等)形成的复合

物发生沉淀导致了其起始物质的量的下降, 另一方面黄烷-3-醇在乙醛的介导下缩合成原花色素又导致了其起始单元物质的量的增加<sup>[23]</sup>。但是能量过高时, 效果反而下降。

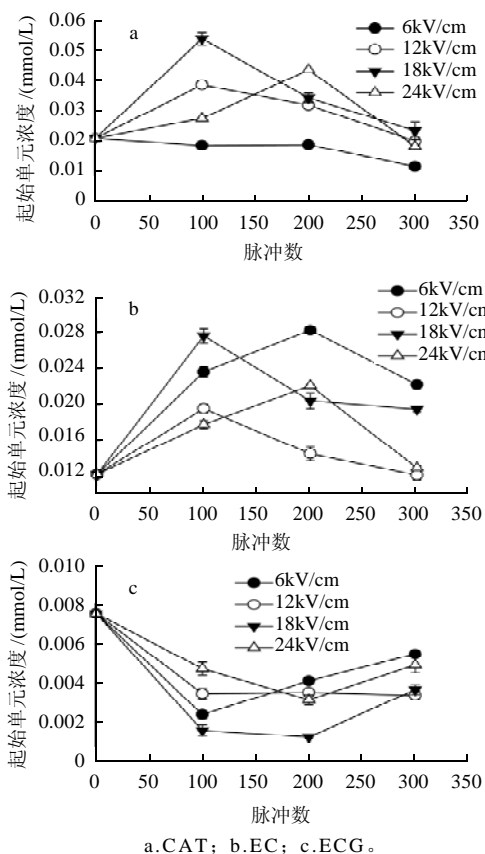


图6 PEF处理后原花色素各起始单元的变化

Fig.6 Change in initial units of proanthocyanidins in dry red wine during different intensity pulsed electric field treatments

由图6可知, 与自然陈酿趋势相同, PEF处理后3种起始单元的浓度变化也是CAT和EC的浓度增加, 而ECG浓度下降, 且场强低于18kV/cm时, 随场强增加, 处理后效果越接近陈酿, 但是场强到24kV/cm后, 处理效果反而下降, 可能是由于PEF的高能量能有效促进原花色素相关的反应, 从而使起始单元的变化呈现与自然陈酿相同的趋势, 但是能量过高时, 效果反而下降。

#### 2.4 自然陈酿和PEF处理后原花色素延伸单元的变化

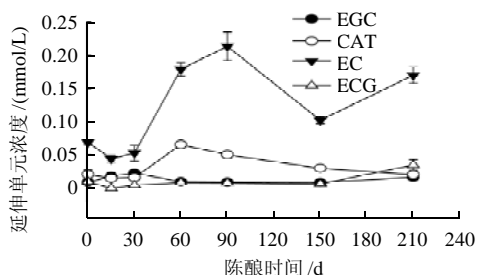


图7 自然陈酿期间原花色素各延伸单元的变化

Fig.7 Change in extensional units of proanthocyanidins during spontaneous aging of dry red wine

自然陈酿和PEF处理后原花色素延伸单元的变化规律如图7、8所示。分析可知, 两种处理后原花色素的各延伸单元浓度均呈显著性差异( $P < 0.05$ )。

从图7可知, 自然陈酿前后主要变化是EC和CAT浓度升高, 而ECG浓度略有增加, EGC(表没食子酸儿茶素)变化不大, 这可能是由于葡萄酒中EC和CAT含量较高<sup>[22]</sup>, 更容易作为延伸单元形成原花色素。

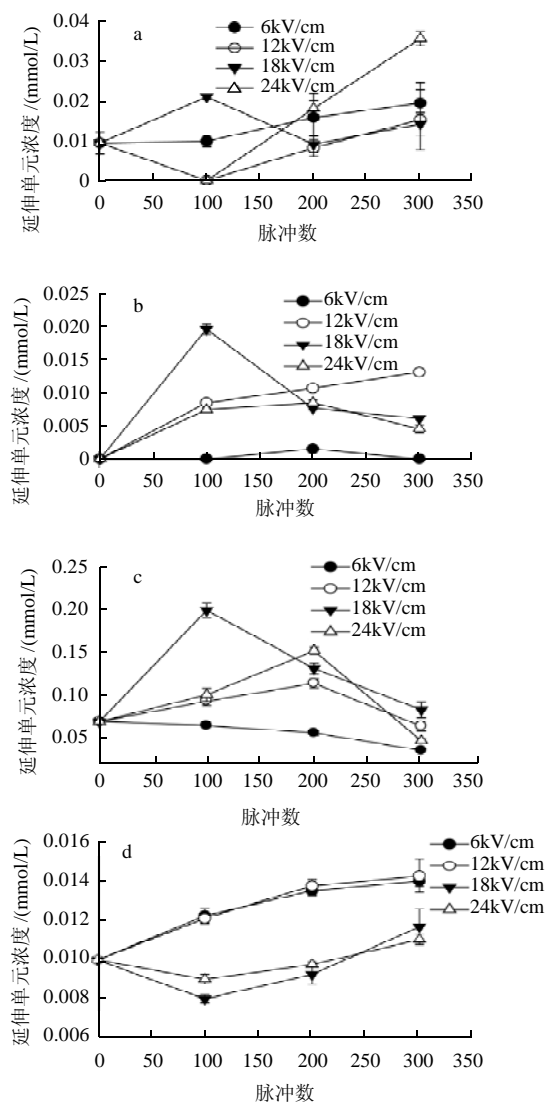


图8 PEF处理后原花色素各延伸单元的变化

Fig.8 Change in extensional units of proanthocyanidins in dry red wine during different intensity pulsed electric field treatments

由图8可知, PEF处理后原花色素各延伸单元的变化也与自然陈酿类似, EC和CAT浓度有较显著的升高, ECG浓度略有增加, 而EGC浓度也有一定的增加。综合比较处理后各延伸单元的变化, 当PEF场强低于18kV/cm时, 随场强增加, 处理后效果越接近陈酿, 但

是场强到 24kV/cm 后, 处理效果反而下降, 可能是由于 PEF 的高能量能有效促进原花色素相关的反应, 从而使起始单元的变化呈现与陈酿相同的趋势, 但是能量过高时, 效果反而下降。

### 3 结 论

葡萄酒自然陈酿过程中, 原花色素一方面受到亲核剂的攻击而发生单元间 C—C 键的断裂, 一方面又表现为乙醛或黄烷-3-醇介导下的 C—C 键形成, 与花色苷发生缩合或自身聚合, 再加上与多糖、蛋白质等大分子化合物缩合形成单宁类似物或高分子量原花色素的沉淀, 最终达到一个平衡<sup>[23]</sup>, 从而其含量、聚合度和组成发生了剧烈的变化。

新鲜葡萄酒经过高压脉冲电场处理, 原花色素相关指标的变化趋势与自然陈酿基本相同。高压脉冲电场场强低于 18kV/cm 时, 随场强增加, 处理后效果越接近陈酿, 但是场强到 24kV/cm 后, 处理效果反而下降。总之, 经过一定的高压脉冲电场处理, 葡萄酒可以缩短陈酿时间, 同时节省大量贮酒容器和空间, 减少工厂生产成本与周期, 尽快地达到最佳饮用期, 缩短上市时间。

本实验仅研究了高压脉冲电场对新鲜美乐干红葡萄酒原花色素的影响, 而对于不同葡萄品种酿造的葡萄酒, 原花色素的含量和浓度都可能有很大差异, 可能会使不同葡萄酒处理后效果有很大的差异, 因此, 需要进一步研究高压脉冲电场对不同葡萄酒的影响, 以期为进一步人工催陈不同葡萄酒, 并改进葡萄酒品质提供参考依据。另外, 原花色素的变化机理还需要进一步的深入研究。

### 参考文献:

- [1] GAMBELLI L, SANTARONI G P. Polyphenols content in some Italian red wines of different geographical origins[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2004, 17(5): 613-618.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 李卉, 王颢, 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): 114-120.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 肖利民, 曾新安, 陈勇, 等. 电磁场催陈新鲜干红葡萄酒红外光谱分析[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 152-155.
- [8] ARAPITSAS P, ANTONOPOULOS A, STEFANOUE E, et al. Artificial aging of wines using oak chips[J]. Food Chemistry, 2004, 86(4): 563-570.
- [9] MONEDERO L, OLALLA M, VILLALÓN M, et al. Standardisation of the chromatic characteristics of sobretablas wine macerates obtained by an accelerated ageing technique using heating and oak shavings[J]. Food Chemistry, 2000, 69(1): 47-54.
- [10] SANZA D A, DOMÍNGUEZ I N. Wine aging in bottle from artificial systems(staves and chips) and oak woods: anthocyanin composition[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 563(1/2): 255-263.
- [11] SARTINI E, ARFELLI G, FABIANI A, et al. Influence of chips, lees and micro-oxygenation during aging on the phenolic composition of a red Sangiovese wine[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1599-1604.
- [12] 高兴华, 孔保华. 高压脉冲电场的抑菌特性[J]. 应用科技, 2000(5): 32-37.
- [13] MONAGAS M, GÓMEZ-CORDOV S C, BARTOLOMÉ B, et al. Monomeric, oligomeric, and polymeric flavan-3-ol composition of wines and grapes from *Vitis vinifera* L. Cv. Graciano, Tempranillo and Cabernet Sauvignon[J]. J Agri Food Chem, 2003, 51(22): 6475-6481.
- [14] VIDAL S, COURCOUS P, FRANCIS L, et al. Use of an experimental design approach for evaluation of key wine components on mouth-feel perception[J]. Food Quality and Preference, 2004, 15: 209-217.
- [15] VIDAL S, CARTALADE D, SOUQUET J M, et al. Changes in proanthocyanidins chain length in wine like model solutions[J]. J Agri Food Chem, 2002, 50: 2261-2266.
- [16] ZIMMAN A, JOSLIN W S, LYON M L, et al. Maceration variables affecting phenolic composition in commercial-scale *Cabernet sauvignon* winemaking trials[J]. Am J Enol Vitic, 2002, 53(2): 93-98.
- [17] REMY S, FULCRAND H, LABARBE B, et al. First confirmation in red wine of products resulting from direct anthocyanin-tannin reactions[J]. J Sci Food Agric, 2000, 80: 745-751.
- [18] ES-SAFI N E, FULCRAND H, CHEYNIER V, et al. Study on the acetaldehyde induced condensation of (-)-epicatechin and malvidin-O-glucoside in a model solution system[J]. J Agri Food Chem, 1999, 47(5): 2096-2102.
- [19] CHEYNIER V, DOCO T, FULCRAND H, et al. ESI-MS analysis of polyphenolic oligomers and polymers[J]. Analisis, 1997, 25: 32-37.
- [20] ATANASOVA V, FULCRAND H, CHEYNIER V, et al. Effect of oxygenation on polyphenol changes occurring in the course of wine-making[J]. Analytica Chimica Acta, 2002, 458(1): 15-27.
- [21] ARNOUS A, MAKRID D P, KEFALAS P. Effect of principal polyphenolic components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines[J]. J Agri Food Chem, 2001, 49: 5736-5742.
- [22] 张庆华. 高压脉冲电场和磁场处理对新鲜干红葡萄酒酚类物质和色泽的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [23] 温鹏飞. 葡萄与葡萄酒中黄烷醇类多酚和果实原花色素合成相关酶表达规律的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [24] GÓMEZ-PLAZA E, GIL-MUÑOZ R, LÓPEZ-ROCA J M, et al. Maintenance of colour composition of a red wine during storage. Influence of prefermentative practices, maceration time and storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2002, 35(1): 46-53.
- [25] GARCÍA-FALCÓN M S, PÉREZ-LAMELA C, MARTÍNEZ-CARBALLO E, et al. Determination of phenolic compounds in wines: Influence of bottle storage of young red wines on their evolution[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 248-259.
- [26] GUADALUPE Z, AYESTARÁN B. Changes in the color components and phenolic content of red wines from *Vitis vinifera* L. Cv. "Tempranillo" during vinification and aging[J]. Eur Food Res Technol, 2008, 228: 29-38.
- [27] PÉREZ-MAGARIÑO S, GONZÁLEZ-SAN M L. Evolution of flavanols, anthocyanins, and their derivatives during the aging of red wines elaborated from grapes harvested at different stages of ripening[J]. J Agri Food Chem, 2004, 52: 1181-1189.
- [28] MONAGAS M, BARTOLOMÉ B, GÓMEZ-CORDOVÉS C. Evolution of polyphenols in red wines from *Vitis vinifera* L. during aging in the bottle II. Non-anthocyanin phenolic compounds[J]. Eur Food Res Technol, 2005, 220: 331-340.