# 青梅烟熏过程中的色泽变化

丁超，李汴生

(华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640)

**摘要：**本文研究了烟熏处理对青梅非酶褐变的影响，以新鲜青梅为研究对象，分析了青梅在烟熏过程中褐变指数、色泽、还原糖、总糖、氨基酸以及5-羟甲基糠醛（5-HMF)的变化情况。结果表明，随着烟熏时间的延长，褐变度、色差值和5-HMF的含量逐渐增加，还原糖、总糖和氨基酸含量逐渐减少。

**关键词：**青梅；乌梅；烟熏；非酶褐变

**文章篇号：**1673-9078(2012)1-23-26

# Changes of Colors in *Prunus mume* during Smoking Processing

**DING Chao, LI Bian-sheng**

(School of Food and Light Industry, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Non-enzymatic browning in *Prunus mume* due to smoking process was investigated. Browning index, colorimetric parameters, content in reducing sugar, total sugar, amino acids and hydroxymethylfurfural (5-HMF) were measured to estimate the extent of nonenzymatic browning in the smoking process. The results showed that browning index, color difference and 5-HMF content gradually increased with the smoking time, while the content of reducing sugar, total sugar and amino acids decreased.

**Key words:** *Prunus mume*; Fructus mume; smoking process; non-enzymatic browning

青梅（*Prunus mume*），又称果梅，为蔷薇科李属植物，原产中国，在我国已有两千多年的栽培历史[1]。青梅是一种药食两用资源，不仅营养丰富，还具有生津止渴、消除疲劳、调节肠胃等多种保健功能。乌梅是由青梅近成熟的果实经过烟火熏制而成的。通过烟熏，使乌梅获得了良好的色泽，特有的烟熏风味，也使得其储藏能力大大增强。乌梅的褐变主要是由美拉德反应引起的，还原糖和氨基酸是参与美拉德反应的主要底物，因此研究乌梅炮制过程中果肉糖分和氨基酸的变化情况有助于探索乌梅的褐变机理。

项雷文[2]等人研究了不同加工程度的板蓝根药材中氨基酸含量的差异，其中碱性氨基酸含量的差别尤其显著，该差异可能是由于加工过程中发生美拉德反应造成的。汪惠勤[3]等人通过对龙眼肉干制过程中氨基酸种类和含量的变化情况，说明了美拉德反应可能是龙眼肉加工过程中颜色逐步加深的主要原因。蔡长河[4]等人研究了荔枝干燥过程中色泽的变化情况，并指出荔枝干的褐变主要与水分减少以及葡萄糖和果糖等美拉德反应底物增加有关。

本实验研究乌梅在炮制过程中，总氨基酸种类和含量的变化、还原糖和总糖含量的变化以及5-羟甲基糠醛浓度与颜色变化之间的关系。为生产品质更加优良的乌梅以及为乌梅进一步的加工利用提供理论依据。

收稿日期：2011-08-19

基金项目：粤港关键领域重点突破项目（2009A020700001）

作者简介：丁超（1987-），男，在读硕士，研究方向：食品加工与保藏

通讯作者：李汴生，博士，教授

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

#### 1.1.1 原料与试剂

新鲜青梅，由广东省潮州市佳业食品有限公司提供；5-羟甲基糠醛（5-HMF）标准品，美国 sigma 公司；硫代巴比妥酸（TBA），国药集团化学试剂有限公司；三氯乙酸（TCA），上海凌峰化学试剂有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器

紫外可见分光光度计，上海棱光技术有限公司；Waters 美国高效液相色谱；CR-400 便携式色差仪，日本柯尼卡美能达公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 取样

在同批次烟熏乌梅生产过程中，分别取新鲜青梅(A 样，烟熏时间为 0 h)和烟熏 12 h 后的青梅(B 样)、烟熏 24 h 后的青梅(C 样)、烟熏 36 h 后的青梅(D 样)，烟熏 48 h 后的青梅(E 样，烟熏完成，即为乌梅)。

#### 1.2.2 褐变指数的测量

参照 GB/T18963-2003 方法采用紫外可见分光光度计测定，用 1 cm 比色皿，以蒸馏水为对照，在 420 nm 波长处测定吸光度 $A_{420}$，将 $A_{420}$ 作为褐变指数。

1.2.3 色差值的测量

采用 CR-400 便携式色差仪测定。以 $\triangle E^*=[(\triangle L^*)^2+(\triangle a^*)^2+(\triangle b^*)^2]^{1/2}$ 的大小来衡量试验样品的色泽的变化程度，△E*值越小，表示色泽变化越小。L*代表亮度，L*越大，亮度越大；a*代表有色物质的红绿偏向，正值越大，偏向红色的程度越大，负值的绝对值越大，偏向绿色的程度越大；b*表示有色物质的黄蓝偏向，正值越大，偏向黄色的程度越大，负值的绝对值越大，偏向蓝色的程度越大。

1.2.4 还原糖和总糖的测量

还原糖含量的测定：采用斐林试剂滴定法，按 GB5009.7-2008 测定。

总糖含量的测定：采用斐林试剂间接滴定法，按 GB 5009.7-2003 测定。

1.2.5 氨基酸的分析[5]

样品前处理：准确称取均匀样品 100 mg 左右，放于 25 mL 的水解管中，再加入浓度为 6 mol/L 的盐酸 10~15 mL，于 110 ℃的恒温干燥箱内水解 22 h，冷却后用去离子水定量于 50 mL 容量瓶中，供仪器测定用。

采用 Waters 美国高效液相色谱 PICO.TAG 氨基酸分析柱进行；氨基酸检测条件：温度：38 ℃；检测波长：254 nm；流速：1 mL/min。

1.2.6 5-HMF 的检测[6]

标准曲线：称取 200 mg 的 5-HMF 标准品溶解在蒸馏水中，全部转移至 200 mL 的容量瓶中，用蒸馏水定容，并混合均匀。分别吸取 0、0.5、1、1.5、2.0 mL 该溶液至 100 mL 容量瓶中，用蒸馏水定容，即为 0、5、10、15、20 μg/mL 的标准溶液。取五支具塞试管，分别加入该系列标准溶液 2 mL，再加入 2 mL 的三氯乙酸（AR: 120 g/kg）和 2 mL 的 0.025 mol/L 的硫代巴比妥酸（TBA），混合后在具塞试管中放置于(40±0.5) ℃的水浴中，加热 50 min 后经流动水冷却至 25 ℃，然后在 443 nm 处测定吸光值。空白对照以不含 5-HMF 试管内的溶液调零。以浓度（C）对吸光值（$A_{443}$）进行线性回归分析，求出 5-HMF 含量的计算公式。

样品测定：取适量乌梅提取液，分别加入 2 mL 三氯乙酸（TCA）和硫代巴比妥酸（TBA），混合后在具塞试管中放置于（40±0.5）℃水浴中加热 50 min，取出后经流动水迅速冷却至 25 ℃，然后在 443 nm 处测定其吸光值。

## 2 结果与分析

### 2.1 乌梅在炮制过程中 $A_{420}$ 的变化

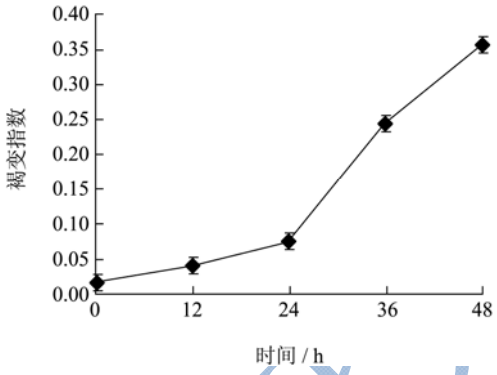



图 1 乌梅在炮制过程中褐变指数（$A_{420}$）的变化

**Fig.1 Change of browning index during the process of smoking**

为了了解乌梅在炮制过程中的褐变情况，采用褐变指数 $A_{420}$ 来表示乌梅的褐变程度。褐变指数 $A_{420}$ 越大，其褐变程度也越高。由图 1 可见，乌梅在炮制过程中的褐变度与烟熏时间呈正相关。烟熏时间越长，乌梅的褐变度就越高。青梅在未烟熏时，褐变指数接近为 0，说明未烟熏的青梅并没有存在褐变的现象。随着烟熏时间的延长，特别是烟熏过程的中后期，褐变指数快速升高，从而使青梅颜色逐渐变深。该结果与腰果汁加热过程中褐变指数随时间的变化关系基本一致[7]。

### 2.2 乌梅在炮制过程中色泽的变化

表 1 乌梅在炮制过程中色泽的变化

**Table 1 Change of colorimetric parameters during the process of smoking**

| 烟熏时间/h | L*值 | a*值 | b*值 | △E*值 |
|---|---|---|---|---|
| 0 (对照样) | 31.14 | -0.34 | -0.02 | — |
| 12 | 30.82 | -0.56 | 0.56 | 0.49 |
| 24 | 30.31 | -0.73 | 1.62 | 3.53 |
| 36 | 29.1 | -0.92 | 4.88 | 28.51 |
| 48 | 28.49 | -1 | 6.76 | 45.97 |

表 1 显示的是乌梅在炮制过程中色差测定的结果。与对照样青梅相比，经过烟熏处理的样品代表亮度的 L*值均有所下降但不是特别明显，这说明随着烟熏过程的进行，样品发生了一定程度的褐变，颜色逐渐变暗。代表红色的 a*值也均有不同程度的下降，说明样品色泽有变绿的趋势。代表黄色的 b*值有比较明显的上升趋势，这说明样品经过烟熏处理后果肉的黄色逐渐加深。△E*值代表了色泽变化的程度，由表 1 可知，样品色泽的变化程度随着烟熏时间的延长迅速增加，与褐变指数的变化情况基本一致。

### 2.3 乌梅在炮制过程中还原糖和总糖的变化

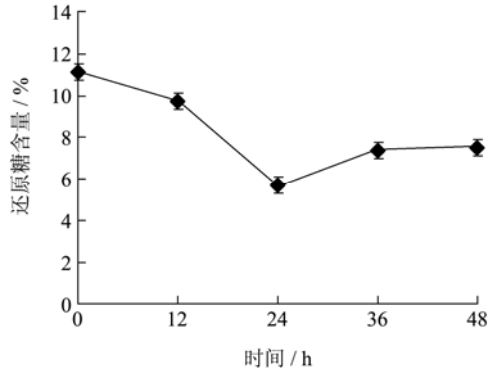



图 2 乌梅在炮制过程中还原糖含量的变化

**Fig.2 Change of reducing sugar content during the process of smoking**

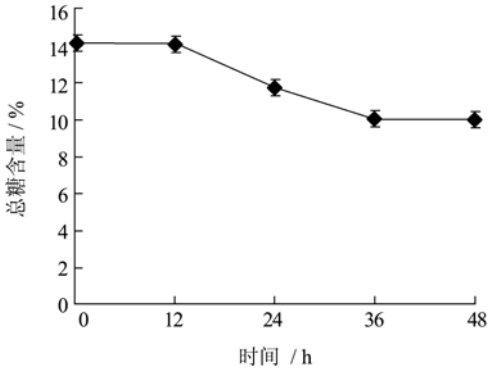



图 3 乌梅在炮制过程中总糖含量的变化

**Fig.3 Change of total sugar content during the process of smoking**

从图 2 和图 3 可以看出，梅肉中还原糖的含量(所有测量的指标均以梅肉干物质计算）先下降后上升而后趋于稳定。烟熏前期还原糖含量的降低可能是其参与了美拉德反应，而其后的升高可能是蔗糖的水解导致的，虽然反应中消耗了一些还原糖，但是实际上消耗的量是比较少的，有研究表明很少量的糖消耗就可以产生很大程度的褐变[8]。总糖的含量也没有非常明显的变化，青梅在烟熏 48 h 后，总糖的含量只损失了 4%。总糖的减少主要是蔗糖的水解造成的，蔗糖并不直接参与美拉德反应，它的分解在烟熏的前几个阶段比较明显，而到终阶段几乎再没有什么变化，原因可能是终阶段过程中，梅肉中较低的水分含量抑制了分解反应的进行。

2.4 乌梅在炮制过程中氨基酸的变化

由 Waters 美国高效液相色谱 PICO.TAG 氨基酸分析柱得出的如表 2 所示，由表 2 可知，青梅和乌梅中含有除色氨酸 (酸解时被破坏)外的所有种类的氨基酸，质量分数较高的氨基酸依次为天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和苏安酸。青梅总氨基酸质量分数比乌梅总氨基酸质量分数高，新鲜青梅经烟熏处理后总氨基酸质量分数从 9.20%下降到 2.96%，下降了 67.8%。结合梅肉中总糖含量的减少，说明青梅在烟熏过程中可能发生了美拉德反应。热加工贯穿了整个烟熏的过程，提供了梅肉成分中还原糖和氨基酸发生美拉德反应的条件，该反应可能是梅肉加工过程中颜色逐步加深的主要原因。

表 2 烟熏各个阶段总氨基酸质量分数 %

**Table 2 Change of amino acids during the process of smoking**

| 氨基酸 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 天冬氨酸 | 2.44 | 0.61 | 0.56 | 0.46 | 0.32 |
| 谷氨酸 | 1.04 | 0.65 | 0.64 | 0.56 | 0.50 |
| 丝氨酸 | 0.47 | 0.40 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| 甘氨酸 | 0.37 | 0.35 | 0.27 | 0.18 | 0.16 |
| 组氨酸 | 0.29 | 0.28 | 0.21 | 0.14 | 0.12 |
| 精氨酸 | 0.50 | 0.47 | 0.32 | 0.22 | 0.16 |
| 苏氨酸 | 0.68 | 0.83 | 0.56 | 0.35 | 0.30 |
| 丙氨酸 | 0.61 | 0.41 | 0.38 | 0.24 | 0.16 |
| 脯氨酸 | 0.89 | 0.61 | 0.47 | 0.43 | 0.25 |
| 酪氨酸 | 0.29 | 0.27 | 0.20 | 0.19 | 0.11 |
| 缬氨酸 | 0.32 | 0.27 | 0.23 | 0.22 | 0.15 |
| 蛋氨酸 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.04 |
| 半胱氨酸 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 异亮氨酸 | 0.28 | 0.22 | 0.20 | 0.19 | 0.14 |
| 亮氨酸 | 0.41 | 0.36 | 0.33 | 0.26 | 0.18 |
| 苯丙氨酸 | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.14 | 0.09 |
| 赖氨酸 | 0.34 | 0.28 | 0.23 | 0.17 | 0.11 |
| 总量 | 9.20 | 6.25 | 4.97 | 4.00 | 2.96 |

注: 表中氨基酸质量分数均以梅肉干物质计算。

2.5 乌梅在炮制过程中 5-HMF 含量的变化

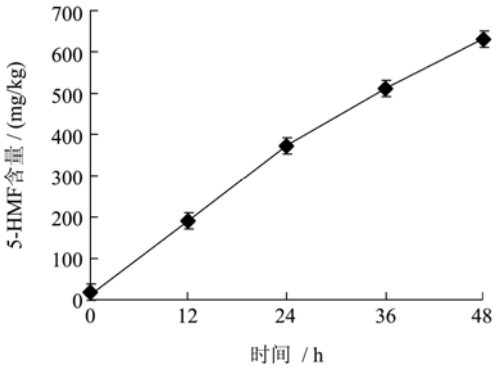



图 4 乌梅在炮制过程中 5-HMF 含量的变化

**Fig.4 Change of 5-HMF content during the process of smoking**

5-HMF 是非酶促褐变产生的最重要，也是最主要的中间产物之一，不仅是体系形成色素沉积的潜在条件，也是非酶褐变反应的重要指示因子[9]。有研究指出，5-HMF 的积累与褐变速率有很强的相关性，5-HMF 积累后不久就可发生褐变[10]，因此其积累量可作为预测青梅褐变情况的评价指标，5-HMF 的积累量

越少，非酶褐变速率越慢。从图 4 可以看出，梅肉中 5-HMF 质量分数与烟熏时间呈正相关，烟熏时间越长，梅肉中 5-HMF 质量分数就越高。青梅在烟熏前后 5-HMF 含量的变化较大。青梅在未烟熏时 5-HMF 的含量为 0，随着烟熏时间的延长，5-HMF 的含量快速升高。5-HMF 含量与褐变度的变化趋势基本吻合。由此可见，青梅烟熏过程中的 5-HMF 含量的高低能否作为反映其褐变程度的指标，有待于进一步探讨。

## 3 结论

3.1 青梅果肉中富含参与非酶促褐变的反应物，如还原糖、氨基酸等物质。青梅非酶褐变程度与烟熏时间呈正相关，随着烟熏时间延长，青梅的非酶褐变程度越来越严重，色泽越来越深。

3.2 随着烟熏的时间延长，梅肉中还原糖、总糖和氨基酸含量逐渐减少，5-HMF 含量逐渐增加。且加热时间越长，其损失量越大。美拉德反应应该是青梅色泽加深的重要原因。

## 参考文献


[1] 孙世鑫,李汴生,杨艺欢.青梅腌渍过程中主要成分的变化规律[J].现代食品科技,2009,25(10):1149-1153

[2] 项雷文,汪惠勤,陆华珍,等.板蓝根热加工过程中氨基酸组分分析[J].氨基酸和生物资源,2007,29(3):57-59

[3] 汪惠勤,柯李晶,项雷文,等.龙眼肉干制过程氨基酸组分分析[J].氨基酸和生物资源,2009,31(2):14-16

[4] 蔡长河,郭际,曾庆孝.荔枝干加工过程果肉糖分的变化与褐变[J].食品科学,2006,27(9):87-90

[5] 邓志汇,王娟.绿豆皮与绿豆仁的营养成分分析及对比[J].现代食品科技,2010,26(6):656-659

[6] Rattanathanalerk M, Chiewchan N, Srichumpoung W. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(2): 259-265

[7] Damasceno L F, Fernandes F A N, Magalhaes M M A, et al. Non-enzymatic browning in clarified cashew apple juice during thermal treatment: Kinetics and process control [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 172-179

[8] Stadtman E R. Nonenzymatic browning in fruit products [J]. Advances in Food Research, 1948, (1): 325-372

[9] Johnson J R, Braddock R J, Chen C S. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: experimental rate constants [J]. Journal of Food Science, 1995, 60(3): 502-505

[10] 陈云辉,徐程,余小林,等.海藻糖对荔枝罐头非酶褐变特性的影响[J].食品与机械,2011,27(1):15-18


现代食品科技