

# 超声辅助烫漂对黄花菜干制品色泽的影响

马瑞<sup>1</sup>, 张钟元<sup>2,3</sup>, 赵江涛<sup>2</sup>, 李大婧<sup>2,3</sup>, 李德海<sup>1</sup>, 刘春泉<sup>2,3</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040) (2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)  
(3. 国家蔬菜加工技术研发分中心, 江苏南京 210014)

**摘要:** 为探究不同漂烫温度及超声辅助漂烫预处理对黄花菜干制品色泽的影响, 分别在 70、80、90 °C 三种温度下烫漂及超声辅助烫漂对黄花菜进行预处理, 然后对预处理所得干制品褐变度、色泽、抗坏血酸、叶绿素及 5-羟甲基糠醛含量等指标进行测定。结果表明: 随着漂烫温度升高, 预处理时间变短, 抗坏血酸含量和叶绿素含量提高, 褐变度与 5-羟甲基糠醛含量降低, 产品色泽较好。与普通烫漂处理相比, 经功率密度为 0.4 W/cm<sup>2</sup> 超声烫漂处理后干燥所得的产品抗坏血酸含量和叶绿素含量显著升高 ( $p < 0.05$ ), 褐变度与 5-羟甲基糠醛含量显著降低 ( $p < 0.05$ ), 色泽更好。烫漂温度为 90 °C、功率密度为 0.4 W/cm<sup>2</sup> 时超声预处理的干制品抗坏血酸和叶绿素含量最高, 分别为 0.4067 mg/g 和 0.87 mg/g, 而褐变度、5-羟甲基糠醛含量显著降低 ( $p < 0.05$ ), 色泽最好。

**关键词:** 超声波; 烫漂; 黄花菜; 色泽; 品质

文章编号: 1673-9078(2016)10-233-238

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.10.035

## Effects of Ultrasonic-assisted Blanching on the Color Quality of Dried Daylily Flower

MA Rui<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-yuan<sup>2,3</sup>, ZHAO Jiang-tao<sup>2</sup>, LI Da-jing<sup>2,3</sup>, LI De-hai<sup>1</sup>, LIU Chun-quan<sup>2,3</sup>

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(3. National Vegetable Processing Technology Research and Development Center, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The effects of blanching and ultrasonic-assisted blanching on the color quality of dried daylily flower were studied. At temperatures of 70, 80, and 90 °C, the daylily flowers were pretreated by blanching or ultrasonic-assisted blanching, and the browning degree; color; content of ascorbic acid, chlorophyll, and 5-hydroxymethylfurfural; and other quality indicators of the dried products were analyzed. The results showed that with increasing temperature and decreasing pretreatment time, the content of ascorbic acid and chlorophyll increased, browning degree and 5-hydroxymethylfurfural content decreased, and color was relatively preserved. Compared with the blanched products, the products treated with an ultrasound at a power density of 0.4 W/cm<sup>2</sup> showed significantly higher content of ascorbic acid and chlorophyll, significantly lower ( $p < 0.05$ ) browning degree and 5-hydroxymethylfurfural content ( $p < 0.05$ ), and better color. The products treated using ultrasound at 0.4 W/cm<sup>2</sup> and 90 °C showed the highest content of ascorbic acid and chlorophyll (0.4067 mg/g and 0.87 mg/g, respectively), obvious decreases ( $p < 0.05$ ) in browning degree and 5-hydroxymethylfurfural content, and the best color quality.

**Key words:** ultrasound; blanching; daylily; color; quality

黄花菜又名金针菜、金针花, 为百合科多年生草本植物, 营养丰富, 鲜甜味美, 是药食同源的典型代表。黄花菜贮藏期较短, 且在贮藏期间易发生腐败变质<sup>[1]</sup>。为了延长黄花菜的货架期, 脱水干制是黄花菜贮藏、市场流通的常用加工方式。色泽是评价脱水干制黄花菜品质的主要指标。杀青可以破坏酶的活性,

收稿日期: 2015-11-24

基金项目: 江苏省产学研合作前瞻性联合研究项目 (BY2015073-02)

作者简介: 马瑞 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏

通讯作者: 李大婧 (1976-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工与食品营养化学

品营养化学

抑制多酚类物质氧化, 防止黄花菜褐变, 是黄花菜干制加工过程中对成品色泽和品质起关键性作用的工序<sup>[2]</sup>。药物杀青是目前黄花菜干制品加工中较常用的方法, 可大批量处理原料, 能耗较低, 但加工中易产生二氧化硫残留, 若浓度使用不当, 会造成成品菜中焦亚硫酸钠的含量超标, 食用后会对人体造成危害, 不符合食品安全要求。蒸汽、微波、红外线杀青是较安全的杀青方式, 蒸汽杀青速度虽快, 但耗能高, 成本也较高, 且排放二氧化碳, 不利于生态环境保护。微波杀青、红外线杀青效果比较理想, 但加工设备投资、能耗较高, 不适合大面积推广使用<sup>[3]</sup>。

超声作为一种现代化食品加工技术,能够较好的保持食品组分中的色香味和营养物质含量,提高生产效率,减少能源消耗和污染,大大降低生产成本,用于食品工业化生产中灭酶、干燥和杀菌等处理<sup>[4]</sup>。超声波作用于酶分子时,释放的能量使酶分子的构象和结构发生变化,加快酶的失活速率,从而减少酶促褐变<sup>[5]</sup>。Ali<sup>[6]</sup>研究发现超声辅助热烫处理可以加快水果中多酚氧化酶的失活速率;Net等<sup>[7]</sup>对番茄汁的多聚半乳糖醛酸酶和果胶甲基酯酶超声波灭活动力学进行了研究,结果表明超声联合热处理对灭活效果具有协同作用。超声处理也可以提高产品的品质。Flores<sup>[8]</sup>对热联合超声处理后的胡萝卜汁在贮藏过程中生物活性物质和理化参数进行了研究,结果表明热超声处理后的胡萝卜汁类胡萝卜素保留率在98%以上、抗坏血酸保留率为100%,酚类化合物增加。

本实验将超声波应用到脱水黄花菜杀青处理过程中,研究超声辅助不同温度烫漂处理对黄花菜色泽的影响,探索褐变度小、色泽佳、营养成分高的黄花菜杀青预处理工艺,为提高工业化黄花菜干制品品质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黄花菜:购于江苏省宿迁黄花菜基地,品种为大乌嘴,要求成熟度一致、无损伤,大小均匀。

主要试剂:乙醇、盐酸、硫酸、草酸、过氧化氢、乙酸、2,4-二硝基苯肼、丙酮均为国产分析纯,愈创木酚为化学纯,购自美国天地公司。

### 1.2 仪器与设备

KQ-S1000VDE 型三频恒温数控超声波清洗器,江苏昆山市超声仪器有限公司;BS224S 电子分析天平,北京赛多利斯科学仪器有限公司;MVD-1 型真空微波干燥设备,南京孝马机电设备厂;FW 100 高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;WSC-S 型色差仪,上海精密科学仪器有限公司;TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;TG16-WS 台式高速离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;HH-8 数显恒温水浴锅,上海江星仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 黄花菜干制品生产工艺流程

挑选新鲜、成熟度一致的黄花菜,清洗并去除花柄,进行不同预处理。预处理结束后,将黄花菜置于

通风干燥处沥干表面水分,最后放入微波干燥箱内,调节微波干燥功率为 1000 W,干燥至黄花菜干基含水率为 4%。

#### 1.3.2 预处理对黄花菜干制品品质的影响

以 POD 酶失活、干燥过程中褐变程度和产品质量为评价指标。当烫漂温度高于 90 °C 时,黄花菜迅速开花,干制后的产品呈干瘦的油条状,复水时持水性下降。因此本实验选择低于 90 °C 温度进行研究。

将 600 mL 蒸馏水加入规格为 1000 mL 的烧杯中,再置于设备中加热至烫漂温度,将 20 g 鲜黄花菜放入烧杯中,当过氧化物酶相对酶活力低于 5% 时,即达到过氧化物酶活性钝化的要求为止。处理结束后,将黄花菜置于在通风干燥处自然降温。

漂烫处理:70 °C 条件下漂烫 5 min,80 °C 条件下漂烫 3 min,90 °C 条件下漂烫 1 min。

超声处理:超声功率密度为 0.4 W/cm<sup>2</sup>、70 °C 条件下处理 5 min、80 °C 条件下处理 3 min、90 °C 条件下处理 1 min。(前期单因素实验结果表明,随着功率密度的升高,黄花菜干制品的色泽更好,但当功率密度超过 0.4 W/cm<sup>2</sup>,产品的营养物质保留率降低,因此选择 0.4 W/cm<sup>2</sup> 作为本实验超声功率密度。)

#### 1.3.3 过氧化物酶的测定

过氧化物酶(Peroxidase)耐热性较强,果蔬加工中 POD 常被用作热处理是否充分的指标,在脱水黄花菜加工过程中,POD 引起的褐变对产品的品质影响最大<sup>[9]</sup>。

烫漂温度为 70 °C 时,漂烫时间设为 40、80、120、160、200、240、280、320 s;漂烫温度为 80 °C 时,漂烫时间设为 30、60、90、120、150、180、210 s;漂烫温度为 90 °C 时,漂烫时间设为 10、20、30、40、50、60、70 s。灭酶后采用愈创木酚法对 POD 酶活进行测定<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.4 色泽、褐变度的测定

(1) 色泽:采用色差计测定。 $L^*$ 值(亮度),在 0~100 之间变化,0 表示黑色,100 表示白色; $a^*$ 值(红色度)表示红绿之间的色泽,“+”表示偏红,“-”表示偏绿,值越大表示偏向越严重; $b^*$ 值(黄色度)表示黄蓝之间的色泽,“+”表示偏黄,“-”表示偏蓝。 $\Delta E$  是描述不同预处理干燥后的黄花菜干制品与鲜样相比色泽的变化,其公式为:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

式中  $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$  和  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  分别代表新鲜黄花菜和真空微波干燥后的亮度、红色度和黄色度。

(2) 褐变度的测定<sup>[11]</sup>:将 0.2 g 黄花菜粉末溶于

8 mL、2% (V/V) 的乙酸 2 h, 用匀浆机匀浆 1 min, 在 4 °C 条件下 10000 r/min 离心 10 min, 上清液用紫外分光光度计在 420 nm 处测吸光度。以 2% (V/V) 乙酸作空白, 每克样品的吸光度的增加直接关系到褐色素的形成。褐变度为吸光度与所用样品重量的比值, 单位为 AU/g。

### 1.3.5 抗坏血酸、叶绿素、5-羟甲基糠醛含量的测定

(1)抗坏血酸含量的测定:采用 GB/T 5009.86-2013 《蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定》中的 2, 4-二硝基苯肼比色法。

(2)叶绿素含量的测定: 分别称取 0.2 g 黄花菜粉末, 加入 80% (V/V) 丙酮混成匀浆, 用布氏漏斗真空过滤, 直至滤纸变白, 定容到 25 mL, 得到深绿色的提取液。已知叶绿素 a、b 的 80% (V/V) 丙酮提取液在红光区的最大吸收峰分别为 663 nm 和 645 nm, 然后用紫外分光光度计在 645 nm 和 663 nm 处测定吸光值平行测定 3 次取其平均值, 用公式计算即可。

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = \frac{(20.2A_{645} + 8.02A_{663}) \times V}{1000 \times W}$$

式中: A 表示在所指定波长下的吸光度; V 为叶绿素提取液的最终体积 (mL); W 为所用样品重量 (g)。

(3)5-羟甲基糠醛 (5-HMF) 含量的测定<sup>[11]</sup>: 将 0.2 g 经过预处理后微波干燥的黄花菜粉末溶于 8 mL 90% (V/V) 的乙醇中, 用匀浆机匀浆 1 min, 4 °C 条件下 10000 r/min 离心 10 min, 取 2 mL 上清液与 2 mL、0.74 mol/L 的三氯乙酸, 2 mL、0.025 mol/L 的硫代巴比妥酸混合, 在 40 °C 水浴中平衡 50 min, 冷却, 在 443 nm 处的吸光度, 绘制标准曲线, 计算 5-HMF 的浓度。

### 1.3.6 数据统计分析

单因素试验指标采用 SAS 统计软件中 ANOVA 方差分析, 由 Tukey 分析均值差异的显著性, 显著水平设为  $p < 0.05$ 。以数据上标的小写字母 a、b、c、d 等表示其差异性, 相同字母可表示差异性不显著, 不同字

母则表示存在显著性差异。每组实验做 3 次重复, 取平均值, 并计算标准偏差, 用 Origin 8.5 作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同预处理方式对 POD 酶活力的影响

过氧化物酶能催化酚类、类黄酮及抗坏血酸的氧化或聚合, 参与酸类物质代谢, 加速果蔬衰老, 与果蔬组织褐变密切相关<sup>[12]</sup>。由图 1 可知, 随着温度的升高, POD 相对酶活力降低所需时间逐渐减少, 其中 90 °C 条件下 POD 酶失活时间最短, 90 °C 条件下 1 min 内烫漂和超声烫漂两种处理方式下 POD 酶均失活, 80 °C 条件下 3 min 内 POD 酶均失活, 70 °C 条件下 5 min 内 POD 酶均失活。在相同温度条件下, 超声烫漂处理与烫漂处理相比可以加快 POD 的失活速率。这可能是因为超声波在液体中引起强烈的剪切力和微流冲击波, 在这些作用下, 酶的二级和三级结构被改变, 生物活性下降。此外, 超声波会导致水分子分解, 产生高能量的自由基, 这些自由基与酶的氨基酸残基发生反应, 使酶无法与底物结合而丧失催化功能, 导致酶失活<sup>[4]</sup>。

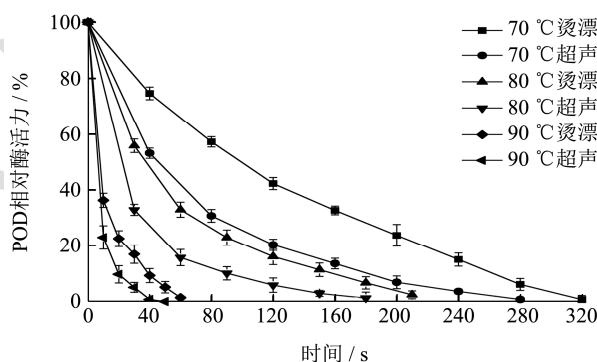


图 1 不同预处理方式对 POD 酶活力的影响

Fig.1 Effects of different pretreatment methods on POD activities

表 1 不同预处理对产品色泽的影响

前处理方式	L*	a*	b*	ΔE
鲜样	59.91±0.82 <sup>f</sup>	-2.21±1.45 <sup>f</sup>	46.86±0.93 <sup>g</sup>	
70 °C 热烫	59.95±1.22 <sup>e</sup>	9.87±0.95 <sup>a</sup>	61.26±0.82 <sup>a</sup>	20.05±1.59
70 °C 超声	64.22±0.57 <sup>bc</sup>	6.81±0.76 <sup>b</sup>	56.65±0.48 <sup>bc</sup>	17.51±1.01
80 °C 热烫	63.54±0.66 <sup>c</sup>	7.66±1.17 <sup>b</sup>	57.72±0.53 <sup>b</sup>	18.16±1.34
80 °C 超声	65.52±0.70 <sup>ab</sup>	4.84±0.64 <sup>cd</sup>	51.26±0.83 <sup>e</sup>	15.16±1.06
90 °C 热烫	64.88±0.76 <sup>abc</sup>	6.49±1.38 <sup>bc</sup>	53.87±1.23 <sup>d</sup>	16.44±1.80
90 °C 超声	66.32±0.65 <sup>a</sup>	2.32±0.54 <sup>e</sup>	49.21±0.97 <sup>f</sup>	14.42±0.90

注: 表中字母不同表示差异性显著 (p<0.05)。

## 2.2 不同预处理对色泽的影响

色泽是评价果蔬干制产品品质的重要指标之一,干燥过程中的酶促和非酶促反应程度不同、淀粉和蛋白质结构的变化、美拉德反应和焦糖化反应产生的褐变均会影响产品的色泽<sup>[13]</sup>。不同预处理对黄花菜干制品色泽的影响见表1。 $L^*$ 值越大表明产品亮度越高, $\Delta E$ 越小表明干燥后的黄花菜与新鲜黄花菜的颜色越接近,色差越小,色泽越好。与鲜样比较,干燥后产品的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 都有不同程度的变化,其中,90℃超声的黄花菜 $L^*$ 值最大, $\Delta E$ 最小,产品的色泽最好;70℃热烫后,产品的 $L^*$ 最小, $a^*$ 、 $b^*$ 较大, $\Delta E$ 最大,色泽最差。相同温度条件下,和烫漂预处理相比,超声烫漂预处理的产品显示出更大的 $L^*$ 值、更小的 $\Delta E$ ,色泽更好。可能是因为超声的热机制、机械(力学)机制和空化机制作用可以控制各种物理、化学或生物反应,降低酶促及非酶促褐变,从而影响色泽<sup>[4]</sup>。

## 2.3 不同预处理条件下褐变度 (Degree of browning) 的变化

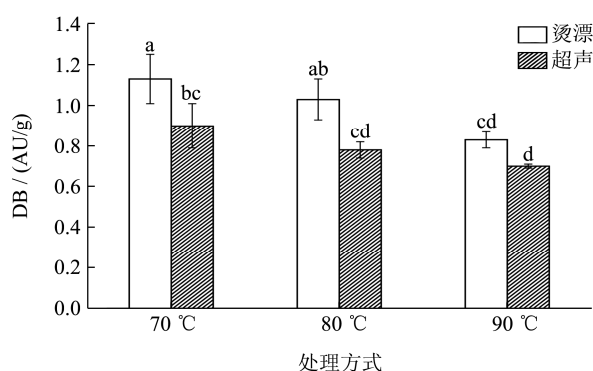


图2 不同预处理条件对产品DB的影响

Fig.2 Effects of different pretreatment methods on the product browning

注:表中字母不同表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

在加工过程中,任何酶促或非酶促过程生成的褐变化合物,酚和抗坏血酸氧化产生的褐色色素均会导致褐变度的增加,降低成品品质<sup>[11]</sup>。从图2中可以看出,随着温度的升高,DB逐渐降低;当温度相同时,与烫漂预处理相比,超声处理DB较低,其中70、80℃条件下,烫漂与超声烫漂两种处理方式所得产品DB差异显著 ( $p < 0.05$ )。在六种处理条件中,70℃热烫处理的DB最高,为1.13 AU/g,90℃超声处理DB最低,为0.7 AU/g,两者比较,DB平均值下降了38%。由此可见,高温短时间超声预处理褐变程度更低,产品的色泽更好,与上述色泽研究结果一致。

## 2.4 不同预处理对抗坏血酸含量的影响

抗坏血酸与果蔬的褐变有关<sup>[14]</sup>,黄花菜中抗坏血酸含量较高,烫漂过程中易被水中溶解氧氧化降解,使产品色泽变差,营养下降。由图3可以看出,相同处理条件下,抗坏血酸含量随着温度的升高而升高。这可能是因为温度升高,可以快速抑制抗坏血酸氧化酶活性,降低了其对抗坏血酸的氧化;同时温度升高,烫漂时间缩短,减少黄花菜与水分接触时间,减少了抗坏血酸的溶解,这与Munyaka<sup>[15]</sup>等人的研究结果一致,他们发现高温短时间处理可以提高西兰花抗坏血酸含量。相同温度下,经超声烫漂处理的干制品抗坏血酸含量高于烫漂处理,90℃超声处理后产品的抗坏血酸含量最高,为0.4067 mg/g,70℃热烫处理后产品的抗坏血酸含量最低,为0.2697 mg/g,差异显著 ( $p < 0.05$ )。这可能是因为超声处理会减少水溶液中溶解氧,从而减少抗坏血酸的氧化降解<sup>[16]</sup>。同时避免了氧化后的抗坏血酸与其他化合物发生褐变反应使产品褐变度降低。

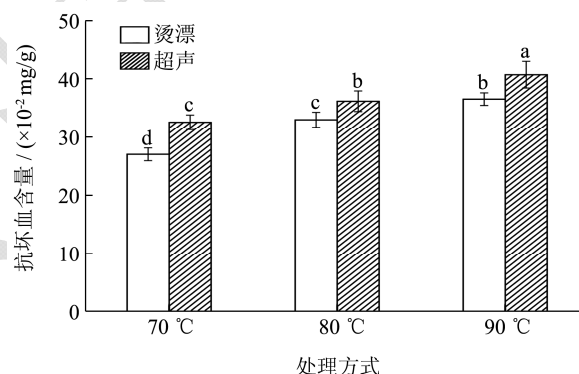


图3 不同预处理对产品抗坏血酸含量的影响

Fig.3 Effects of different pretreatment methods on the product ascorbic acid content

注:表中字母不同表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.5 不同预处理对叶绿素含量的影响

叶绿素是黄花菜中绿度呈色的主要物质,叶绿素的变化会影响干制品的色泽。从图4中可以看出,相同处理条件下,随着温度升高及处理时间缩短,叶绿素含量升高。相同温度下,与烫漂处理相比,经超声处理的产品叶绿素含量更高,90℃超声处理后产品的叶绿素含量最高,为0.87 mg/g,70℃热烫处理后产品的叶绿素含量最低,为0.56 mg/g,差异显著 ( $p < 0.05$ )。这可能是因为90℃超声处理时间较短,使叶绿素得到保留,70℃热烫处理时间较长,长时间的处理会使脱镁叶绿素和叶绿素均发生分解,产品呈现黄色<sup>[14]</sup>。

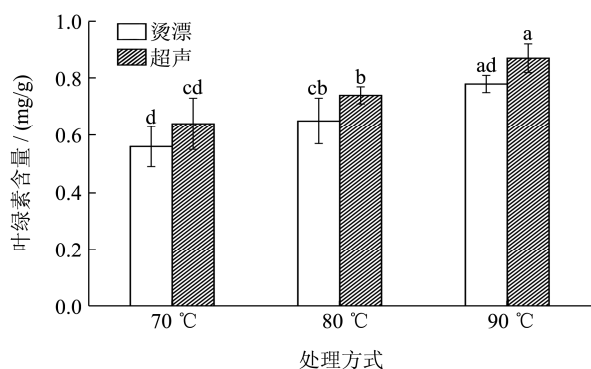


图4 不同预处理对产品叶绿素含量的影响

Fig.4 Effects of different pretreatment methods on the product chlorophyll content

注: 表中字母不同表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.6 不同预处理条件下 5-羟甲基糠醛含量的变化

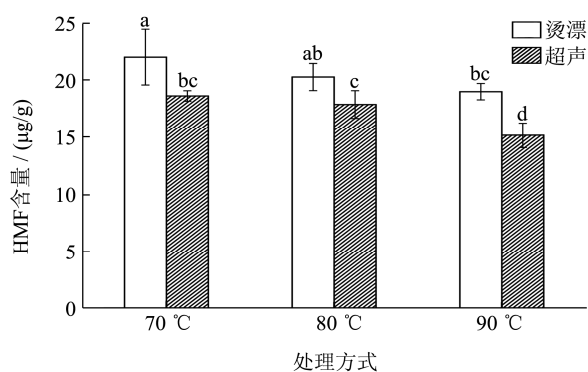


图5 不同预处理对产品 5-HMF 含量的影响

Fig.5 Effects of different pretreatment methods on the product 5-HMF content

注: 表中字母不同表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

5-羟甲基糠醛(5-Hydroxymethylfurfural)是美拉德反应反应的中间产物, 其含量可以反映出产品发生美拉德反应的程度<sup>[17]</sup>。由图5可知, 与烫漂预处理相比, 经过超声烫漂预处理后的干制品中5-羟甲基糠醛含量更低。在不同的处理条件中, 70 °C热烫预处理的5-HMF含量最高, 为21.99 µg/g, 90 °C超声预处理的含量最低, 为15.12 µg/g, 差异显著 ( $p < 0.05$ )。由此可见, 高温短时间超声预处理产生的5-羟甲基糠醛较少, 美拉德反应、焦糖化反应以及非酶褐变的程度较轻, 产品色泽更好。

## 3 结论

本文分析了不同烫漂和超声烫漂预处理对黄花菜 POD 相对酶活力、色泽、褐变度、抗坏血酸含量、叶绿素及 5-羟甲基糠醛含量等指标的影响。研究结果表

明, 随着预处理温度的升高, POD 相对酶活力降低所需时间逐渐减少。高温短时间处理使抗坏血酸含量、叶绿素含量提高, 褐变度与 5-羟甲基糠醛含量降低, 色泽较好。在相同温度条件下, 超声烫漂处理与烫漂处理相比, POD 的失活速率增加, 黄花菜干制品抗坏血酸、叶绿素含量较高, 褐变度与 5-羟甲基糠醛含量较低, 色泽较好。经 90 °C、功率密度为 0.4 W/cm<sup>2</sup> 超声预处理的黄花菜干制品抗坏血酸含量、叶绿素含量显著升高, 褐变度与 5-羟甲基糠醛含量显著降低, 色泽最好。

## 参考文献

- [1] 许国宁, 吴素玲, 孙晓明, 等. 黄花菜真空冷冻干燥工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 290-293  
XU Guo-ning, WU Su-ling, SUN Xiao-ming, et al. Optimization of the parameters of the daylily vacuum freeze-drying processing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(2): 290-293
- [2] 朱德文, 岳鹏翔, 袁弟顺. 不同杀青方法对绿茶品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 275-279  
ZHU De-wen, YUE Peng-xiang, YUAN Di-shun. Effects of different fixation methods on the quality of green tea [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 275-279
- [3] 李登绚, 李东波, 胥国斌, 等. 不同杀青方法对黄花菜外观品质及干制率的影响研究[J]. 陇东学院学报, 2012, 23(5): 32-34  
LI Deng-xuan, LI Dong-bo, XU Guo-bin, et al. Study of the effect of different kill-out methods on exterior quality and dried quality of hemerocallis citrina baroni [J]. Journal of Longdong University, 2012, 23(5): 32-34
- [4] 宋国胜, 胡松青, 李琳. 超声波技术在食品科学中的应用与研究[J]. 现代食品科技, 2008, 6: 609-612  
SONG Guo-sheng, HU Song-qing, LI Lin. Researches and applications of ultrasonic technology in food industry [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 6: 609-612
- [5] 胡昊, 胡坦, 许琦, 等. 高场强超声波技术在食品蛋白质加工中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2015, 15: 260-265  
HU Hao, HU Tan, XU Qi, et al. A review of recent studies on high-intensity ultrasound in food protein processing [J]. Food Science, 2015, 15: 260-265
- [6] Sulaiman A, Soo M J, Farid M, et al. Thermosonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits: Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 165: 133-140
- [7] Terefe N S, Gamage M, Vilku K, et al. The kinetics of

- inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication [J]. *Food Chemistry*, 2009, 117(1): 20-27
- [8] Martínez-Flores H E, Garnica-Romo M G, Bermúdez-Aguirre D, et al. Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage [J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 650-656
- [9] 杨大伟,夏延斌.脱水黄花菜加工过程中褐变抑制条件的研究[J]. *食品与发酵工业*,2003,8:48-52  
YANG Da-wei, XIA Yan-bin. Study on conditions for inhibiting browning in the process of dehydrated *Hemerocallis citrina baroni* [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2003, 8: 48-52
- [10] Macadam J W, Nelson C J, Sharp R E. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue [J]. *Plant Physiology*, 1992, 99(3): 872-878
- [11] Udomkun P, Nagle M, Mahayothee B, et al. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(2): 914-922
- [12] Delgado-Povedano M M, de Castro M D L. A review on enzyme and ultrasound: A controversial but fruitful relationship [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2015, 889: 1-21
- [13] Wang Y, Zhang M, Mujumdar A S. Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 33(1): 26-37
- [14] 杨大伟,夏延斌.脱水黄花菜加工过程中的非酶促褐变抑制条件[J]. *湖南农业大学学报:自然科学版*,2003,29(4):345-348  
YANG Da-wei, XIA Yan-bin. On conditions for controlling non-enzymatic browning during processing of dehydrated *Hemerocallis citrina baroni*. [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2003, 29(4): 345-348
- [15] Munyaka A W, Oey I, Van Loey A, et al. Application of thermal inactivation of enzymes during vitamin C analysis to study the influence of acidification, crushing and blanching on vitamin C stability in Broccoli (*Brassica oleracea* L var. italica) [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(2): 591-598
- [16] Tiwari B K, O'Donnell C P, Muthukumarappan K, et al. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(3): 700-704
- [17] 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