

# 微波处理对原木香菇的品质影响

肖菲<sup>1</sup>, 李云飞<sup>1,2,\*</sup>, 刘临洁<sup>1</sup>, 王璐怡<sup>1</sup>

(1.上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; 2.上海交通大学陆伯勋食品安全研究中心, 上海 200240)

**摘要:** 为了研究微波杀菌效果与营养损失的利害关系, 以市售原木香菇为实验对象, 研究不同微波处理对香菇表面微生物、香菇颜色、质构、多酚氧化酶(PPO)活性、总酚、抗氧化性等指标的影响。结果表明: 高功率1000W微波处理1min、中功率700W处理2min、低功率400W处理2.5min可达到明显的杀菌及钝化酶效果, 同时维持香菇较好的感官与营养特性。

**关键词:** 微波; 香菇; 品质

## Effect of Microwave Treatment on Shiitake Quality

XIAO Fei<sup>1</sup>, LI Yun-fei<sup>1,2,\*</sup>, LIU Lin-jie<sup>1</sup>, WANG Lu-yi<sup>1</sup>

(1. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Bor. S. Luh Food Safety Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** In order to explore the correlation between microwave sterilization effect and nutrition loss, shiitake was used to investigate the effect of microwave treatment on surface microorganisms, color, texture, polyphenol oxidase, total phenols and antioxidant activity. The results showed that high power microwave treatment at 1000 W for 1 min, moderate power microwave treatment at 700 W for 2 min and low power microwave treatment at 400 W for 2.5 min could obviously reduce the total number of bacteria, inactivate the activity of polyphenol oxidase, and maintain good nutritional and sensory quality.

**Key words:** microwave; mushroom; quality

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)09-0021-05

香菇(*Lentinus edodes* (Berk.) Sing)属伞菌目, 蘑科, 香菇属, 也称香蕈、香信、冬菇或花菇。它是我国食用历史悠久及首次驯化栽培的优良食用菌, 营养丰富、味道鲜美, 被视为“菇中之王”<sup>[1]</sup>。香菇表面及菌褶的褐变及腐败, 被视为香菇商品性和鲜度下降的主要标志。而如何有效地保持鲜菇的价值, 已受到越来越多的关注。

微波处理具有穿透力强、受热均匀、无化学残留、减少对物料的机械损伤等优点, 成为近年来果蔬保鲜研究的热点<sup>[2]</sup>。利用微波处理热效应和非热效应共同作用, 能够钝化导致香菇褐变的酶类, 并且延缓细菌对鲜菇的侵染, 可实现在较低温度下获得较好的杀菌保鲜效果<sup>[3]</sup>。

目前国外已经有一些关于对香菇进行微波处理的研究, 但都集中于微波干燥。国内早期有对于香菇的微

波杀菌的研究, 但是较多的关注杀菌效果, 未能较全面考虑到各种感官营养指标的影响。鉴于此, 本研究选取市售新鲜原木香菇为原料, 探索不同的微波处理条件下的杀菌及灭酶效果, 同时测定一系列相应的感官及营养指标的变化, 以期对香菇的贮藏保鲜和微波杀菌的工业化应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

当日采摘、货架上常温保存的新鲜原木香菇, 购于上海欧尚超市。

福林酚试剂 美国 Sigma 公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 阿拉丁公司; 邻苯二酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、过氧化氢、甲醇(均为分析纯) 上海国药集团公司。

收稿日期: 2011-03-25

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAD91B00)

作者简介: 肖菲(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工贮藏。E-mail: feifei88999@126.com

\* 通信作者: 李云飞(1954—), 男, 教授, 博士后, 研究方向为食品加工贮藏。E-mail: yfli@sjtu.edu.cn

WLD2S-08 型微波设备 南京三乐微波技术发展公司; WSD-S 测色色差仪 上海精密科学仪器有限公司; 质构分析仪 英国 Stable Micro System 公司; DU 800 分光光度计 德国 Beckman Coulter 公司; FW-100 高速万能粉碎机 上海金鹏分析仪器有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 香菇的微波处理

每次称取 120g 新鲜香菇装入微波保鲜盒中, 微波处理完成后立即用塑料膜密封并且浸入冰水中冷却, 待冷却至室温后进行颜色和质构的测定。香菇经微波处理后冷冻干燥 48h, 用组织粉碎机磨粉, 过 40 目筛后于干燥皿内保存, 用于测定多酚氧化酶活性、总酚含量、抗氧化性。

### 1.2.2 处理过程中原料表面温度变化测定

通过安装在微波炉腔体上方的红外线温度传感器测定, 数字显示器上每隔 10s 读数 1 次。

### 1.2.3 细菌总数的测定

根据食品安全国家标准 GB 4789.2—2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》进行测定。

### 1.2.4 多酚氧化酶(PPO)酶活力测定<sup>[4]</sup>

#### 1.2.4.1 粗酶液的制备

准确称取 0.5g 香菇冻干粉末置于预冷过的 10mL pH7.0 的磷酸缓冲液, 冰浴搅拌 20min 后冷冻离心(2~4℃, 12000r/min 离心 10min), 取上清液作为粗酶液, 保存备用。每一个样品重复提取两次。

#### 1.2.4.2 PPO 活性测定

根据预实验情况, 测定条件略作改动。取 1.0mL 0.1mol/L 邻苯二酚于 10mL 试管中, 加入 pH5.0 醋酸缓冲液 2.0mL 混匀, 于 50℃保温 10min 后加酶液 0.5mL。以醋酸缓冲液代替酶液为空白对照, 用分光光度计在 436nm 波长处测定反应体系光密度(OD), 每 10s 读数 1 次, 每一份酶液测定重复 3 次。酶活力单位定义: 以酶液每分钟 OD 值增加 0.01 为一个多酚氧化酶的酶活力单位(U)。

### 1.2.5 失重率测定

参照杨艾青等<sup>[5]</sup>的方法。每个处理重复 3 次。

$$\text{失重率} / \% = \frac{\text{果实减轻质量} / \text{g}}{\text{果实原始质量} / \text{g}} \times 100 \quad (1)$$

### 1.2.6 色度值测定

每个处理取 8 个香菇子实体, 测定结果取平均值。色差仪校正后直接测定菌盖表面色度值<sup>[6]</sup>。

### 1.2.7 质构测定

测定参照 Jiang Tianjia 等<sup>[7]</sup>的方法, 采用穿刺的方

法测定菌盖的硬度, 记录最大穿刺力。质构仪的测定参数为: 直径 2mm 圆柱形探头, 有圆孔平板底座, 测前速率 2mm/s, 测试速率 2mm/s, 刺入深度 10mm, 探针高度 25mm, 测后速率 5mm/s, 接触力 10g。

## 1.2.8 总酚含量测定

### 1.2.8.1 样品液的提取<sup>[8]</sup>

准确称取 1g 香菇冻干粉末, 用 80% 甲醇提取, 先加入 40mL, 60℃水浴提取 90min, 8000r/min 离心 10min 后过滤, 沉淀继续用 40mL 甲醇水浴浸提 90min, 离心过滤, 最后将两次的上清液混合, 用 80% 甲醇定容至 100mL。

### 1.2.8.2 样品液测定

将 1mL 福林酚试剂加入 1mL 样品提取液中, 振荡混匀后放置 3min, 加入 1mL 饱和碳酸钠溶液, 充分混匀后定容至 10mL, 置于暗处反应 90min 后测定吸光度。根据参考文献[9]计算总酚含量。

$$\text{保存率} / \% = \frac{\text{测得的总酚含量}}{\text{初始总酚含量}} \times 100 \quad (2)$$

## 1.2.9 抗氧化性测定

准确称取 0.25g 香菇冻干粉末, 用 25mL 无水甲醇静置提取 20min, 8000r/min 冷冻离心 10min 后取上清液。分别取不同样品溶液 1mL, 加入 4mL 75μmol/L 无水乙醇配制的 DPPH 溶液, 用力振摇混匀后置暗室中静置 30min, 于 517nm 波长测定吸光度。计算 DPPH 自由基清除率<sup>[10]</sup>。

$$\text{DPPH 自由基清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_c}\right) \times 100 \quad (3)$$

式中:  $A_i$  为样品液与 DPPH 溶液混合液的吸光度;  $A_j$  为样品液与乙醇混合液的吸光度;  $A_c$  为 DPPH 溶液与乙醇混合液的吸光度。

### 1.2.10 数据处理方法

应用 Excel 进行数据方差分析处理, 并绘制有关指标线形变化图。

## 2 结果与分析

### 2.1 微波处理过程中香菇的表面温度变化

由图 1 可知, 在低功率(400W)的处理条件下, 原料表面温度随着处理时间的延长而持续缓慢增加。在中功率(700W)和高功率(1000W)的处理条件下, 温度先是急速增加, 而后在处理时间分别超过 80s 和 50s 后, 温度趋于稳定在 90℃左右。由此可知, 微波处理在短时间内就能达到理想的处理温度。

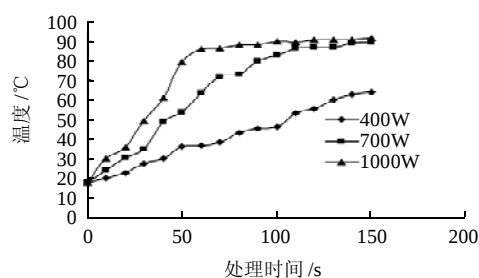


图1 微波处理过程中香菇表面温度随时间的变化

Fig.1 Surface temperature change of shiitake during microwave treatment

## 2.2 微波处理对香菇的杀菌效果

香菇采摘后生命活动还在延续,其表面微生物的活动会影响保鲜效果。为了提高新鲜子实体对腐败微生物的抵抗能力与延缓细菌对鲜菇的侵染,利用微波处理热效应和非热效应共同作用,可实现在较低温度下获得较好的杀菌保鲜效果,有利于维持子实体缓慢的、正常的代谢活动<sup>[11]</sup>。

表1 微波处理对香菇细菌总数的影响

Table 1 Effect of microwave treatment on total bacterial count of shiitake

| 处理时间/min | 400W         |       | 700W         |       | 1000W        |       |
|----------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|          | 细菌总数/(CFU/g) | 杀菌率/% | 细菌总数/(CFU/g) | 杀菌率/% | 细菌总数/(CFU/g) | 杀菌率/% |
| 0.5      | 3400         | 22.73 | 2960         | 32.73 | 850          | 80.68 |
| 1.0      | 2250         | 48.86 | 2020         | 54.09 | 200          | 95.45 |
| 1.5      | 1150         | 73.86 | 1220         | 72.27 | 90           | 97.95 |
| 2.0      | 265          | 93.98 | 105          | 97.61 | 90           | 97.95 |
| 2.5      | 180          | 95.91 | 80           | 98.18 | 65           | 98.52 |

由表1可知,微波功率越高,处理时间越长,杀菌率就越高,处理时间和处理功率对杀菌效果分别达到极显著( $P < 0.01$ )和显著的水平( $P < 0.05$ )。要达到较好的杀菌效果(杀菌率 $> 95\%$ ),在低功率400W条件下需要的时间较长为2.5min,中功率700W需要处理2min,而高功率1000W只需要处理1min。

## 2.3 微波处理对香菇多酚氧化酶(PPO)的钝化效果

香菇采收后,在常温下容易褐变,尤其是受机械伤后褐变迅速。多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)是导致香菇子实体褐变的主要酶,催化各种酚类物质氧化成醌类,再聚合成黑色素<sup>[4]</sup>。因此多酚氧化酶的活性大小对于后期贮藏过程中香菇的品质有影响。PPO活性越小,后期贮藏中的褐变程度越容易控制。

表2 微波处理对香菇PPO活性的影响

Table 2 Effect of microwave treatment on the activity of PPO in shiitake

| 处理时间/min | 酶活力/(U/mL) |       |       |
|----------|------------|-------|-------|
|          | 400W       | 700W  | 1000W |
| 0.0      | 1.255      | 1.255 | 1.255 |
| 0.5      | 1.480      | 2.255 | 0.365 |
| 1.0      | 0.770      | 0.280 | 0.000 |
| 1.5      | 0.150      | 0.000 | 0.000 |
| 2.0      | 0.000      | 0.000 | 0.000 |
| 2.5      | 0.000      | 0.000 | 0.000 |

由表2可知,在400W和700W的处理初期,PPO活性反而增加,延长处理时间后才逐渐失活。出现这种现象的原因可能是400W和700W处理初期的温度偏低,微波热效应不明显,仅有非热效应,同时处理对组织的破坏使得原本分布在组织内部的PPO释放出来。而后随着处理时间的延长,热效应逐渐表现出来,体系在热效应和非热效应的双重作用下,酶被迅速钝化<sup>[12]</sup>。功率400、700、1000W条件下分别处理2、1.5、1min后PPO已经基本失活。

## 2.4 微波处理对香菇失重率的影响

表3 微波处理对香菇失重率的影响

Table 3 Effect of microwave treatment on weight loss rate of shiitake

| 处理时间/min | 失重率/% |        |        |
|----------|-------|--------|--------|
|          | 400W  | 700W   | 1000W  |
| 0.5      | 0.942 | 0.988  | 3.863  |
| 1.0      | 1.532 | 3.727  | 12.439 |
| 1.5      | 6.102 | 11.607 | 22.855 |
| 2.0      | 8.634 | 18.627 | 31.188 |
| 2.5      | 9.807 | 23.059 | 41.779 |

在微波处理过程中,香菇吸收能量,温度升高,使水分散失而导致质量下降,表现为菇体收缩、变形、起皱。通过方差分析得到,微波处理功率大小和处理时间长短对失重率的影响都极显著( $P < 0.01$ ),且呈正相关。由表3可知,在400W和700W功率条件下短时处理0.5min时,失重率相近,随着处理时间的延长,二者的差异开始明显,700W处理时间大于1min后,失重率急速增加。而在1000W功率下,失重率随着处理时间(0~2.5min)的增加几乎呈线性增加( $R^2 = 0.9986$ )。因此,选择低功率处理或者中高功率较短时间处理( $< 1\text{min}$ )有利于保持新鲜香菇原有水分。

## 2.5 微波处理对香菇颜色的影响

### 2.5.1 微波处理对香菇L值的影响

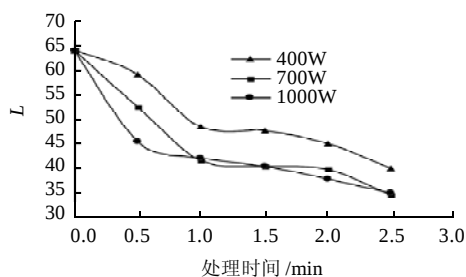


图2 微波处理对香菇L值的影响

Fig.2 Effect of microwave treatment on L value of shiitake cap

香菇在处理过程中容易发生酶促和非酶促褐变, 可以用色度 $L$ 值来反映褐变程度。随着处理时间的增加, $L$ 值先急速减小说明香菇表面急速变暗, 这可能是因为酶促和非酶促褐变同时进行导致的。根据文献[13], 氨基酸蛋白质等含氮物质能与糖类或者是变化了的VC发生羰氨反应。而在处理时间大于1min时, 变暗的趋势明显减缓, 表现为曲线趋于平缓, 并且中功率(700W)和高功率(1000W)的 $L$ 值非常接近, 这是由于经过较长时间处理后香菇中酶类大部分失活并且酶促褐变的底物绝大部分都已经参与反应, 只有非酶促褐变进行。

### 2.5.2 微波处理对香菇 $a$ 值的影响

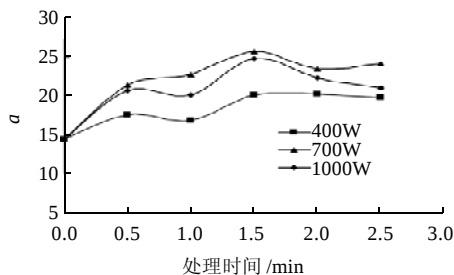


图3 微波处理对香菇a值的影响

Fig.3 Effect of microwave treatment on a value of shiitake cap

由图3可知, 微波处理可以使 $a$ 值增大, 即颜色与未经处理的对照组相比偏红, 且同一功率条件下随着处理时间增加, 红色呈增加的趋势。

### 2.5.3 微波处理对香菇 $E$ 值的影响

$E$ 值反映的是总色差, 图4中趋势与 $L$ 值表现一致, 说明香菇的颜色变化差异性主要还是由亮度变化决定。中高功率较短时间处理(1min)与低功率400W较长时间处理(2.5min)的香菇样品在褐变程度上相近。

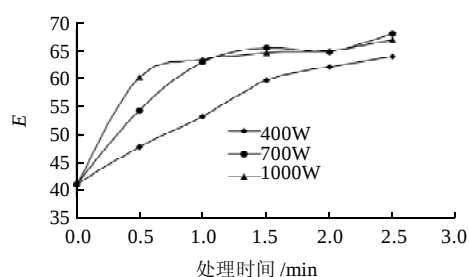


图4 微波处理对香菇E值的影响

Fig.4 Effect of microwave treatment on E value of shiitake cap

## 2.6 微波处理对香菇质构的影响

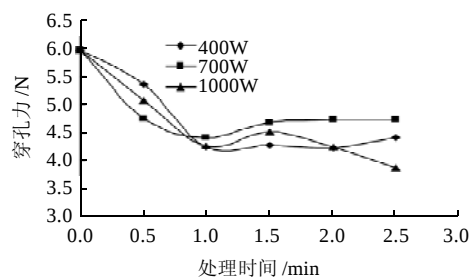


图5 微波处理对香菇硬度的影响

Fig.5 Effect of microwave treatment on hardness of shiitake cap

穿孔力反映的是香菇的硬度变化。由图5可知, 在实验的3个功率下, 处理时间小于1min时, 硬度随着处理时间的增加而快速减小, 感官表现为香菇子实体变软。低功率(400W)和中功率(700W)条件下, 处理时间超过1min后, 硬度趋于平缓, 略有上升, 这可能是由于香菇失水较多后组织收缩起皱后质地变硬。1000W处理时间超过1min后先略回升而后下降, 下降的原因可能是由于失水过多后表面变得干脆使得穿孔力减小。从保持优良质构特性的角度来说, 高功率条件下的处理时间不宜超过1min。

## 2.7 微波处理对香菇总酚含量的影响

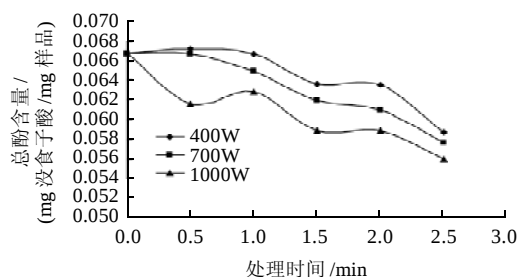


图6 微波处理对香菇总酚含量的影响

Fig.6 Effect of microwave treatment on total phenol content in shiitake

香菇中的总酚的含量较高,其抗氧化性对人体有益,但加工中容易氧化损失,并且与后期贮藏过程香菇的褐变有极大关系。因此,总酚的含量是检测香菇品质的重要指标之一<sup>[7]</sup>。由图6可知,微波处理对总酚有一定破坏作用,处理功率和处理时间对香菇总酚含量影响极显著( $P < 0.01$ )。但在低功率(400W)和中功率(700W)条件下香菇经短期微波处理(小于30s)后,总酚含量略有上升,可能是由于微波作用导致细胞组织内部的一些酚类或者其他还原性物质释放。从总酚保存效果来看,中高功率较短时间处理(<1min)要比低功率长时间处理的效果理想,如1000W处理1min,保存率为94.0%,而400W处理2.5min保存率为87.9%。

### 2.8 微波处理对香菇抗氧化性的影响

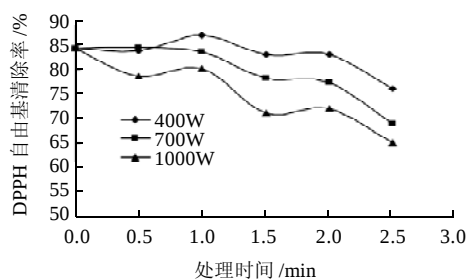


图7 不同处理条件下的香菇对DPPH自由基的清除效果

Fig.7 DPPH radical scavenging activity of shiitake treated by microwave under different conditions

由图7可知,在低功率(400W)处理下,香菇抗氧化性的变化不显著( $P > 0.05$ ),可认为低功率处理对香菇抗氧化性破坏较小。在中功率(700W)处理时间小于1min时,抗氧化性变化不大,超过1min后,抗氧化性明显随时间增大而减小。高功率(1000W)处理时,香菇的抗氧化性随处理时间呈下降趋势。通过相关性分析,样品的抗氧化性与总酚含量呈明显正相关、与亮度L值呈负相关,这与Cheung等<sup>[9]</sup>对蘑菇的总酚含量及其抗氧化性研究得到的结果一致。

从香菇抗氧化性的维护程度来看,中功率及低功率的处理能较好的保存香菇的抗氧化性,高功率的处理对抗氧化性有一定破坏作用,因此应当控制处理时间。

## 3 讨论

微波处理在较短的时间和较低的温度下就能产生明

显的杀菌及钝化酶效果。高功率及中功率的处理对失重率的影响较大,因此应当控制处理时间。从维持产品含水量的角度说,低功率长时间处理优于中高功率的短时处理。但是通过对颜色和质构的分析,中高功率的短时处理和低功率的长时间处理得到的产品颜色及质构感官性状相近。香菇的褐变程度与多酚含量及其抗氧化性存在负相关性,即经过处理后褐变程度越严重则多酚含量越低、抗氧化性越低。这是由于酚类物质是香菇中主要的抗氧化成分之一,处理过程中由于酶的作用及热效应被氧化生成有色物质而含量下降。高功率1000W处理对酚类及抗氧化性的破坏作用较强,因此时间应当控制在1min之内。

考虑杀菌及灭酶效果以及综合分析主要的感官营养指标后,本研究发现高功率1000W处理1min,中功率700W处理2min,低功率400W处理2.5min能在达到较好的杀菌及钝化酶效果的同时维持较好的感官营养特性。

### 参考文献:

- [1] 刘雅嘉,李炜,衣杰荣.香菇多酚氧化酶酶学特性的研究[J].食品工业科技,2009,30(1):183-184.
- [2] 张立华,杨雪梅,张元湖.微波处理对货架期石榴品质的影响[J].食品科学,2010,31(4):268-270.
- [3] 杨国峰,周建新.食品微波杀菌有关问题的探讨[J].食品科学,2006,27(10):593-594.
- [4] 邵伟,乐超银,黄艺.蘑菇多酚氧化酶酶学特性初步研究[J].食用菌,2007(2):5-7.
- [5] 杨艾青,艾启俊,张霞.微波处理用于采后番茄保鲜效果研究初探[J].食品工业科技,2010,31(1):340-342.
- [6] 刘吟,李成华,吴关威.双孢蘑菇子实体采后褐变及相关生化变化研究[J].中国食用菌,2010,29(3):48-51.
- [7] JIANG Tianjia, JAHANGIR M M, JIANG Zhenhui. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56: 209-215.
- [8] DUBOST N J, OU B, BEELMAN R B. Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 727-735.
- [9] CHEUNG L M, CHEUNG P C K, VINCENT W E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts[J]. Food Chem, 2003, 81: 249-255.
- [10] 连喜军,王亮,王屹,等. DPPH法研究不同品种甘薯抗性淀粉抗氧化性[J].粮食与油脂,2009(6):26-27.
- [11] 杭锋,陈卫,龚广予,等.微波杀菌机理与生物学效应[J].食品工业科技,2009,30(1):333-337.
- [12] 池建伟,张勇,魏振承.微波处理对香蕉多酚氧化酶活性的影响[J].广东农业科学,2006(11):87-88.
- [13] 李任强,江凤仪,方玲.维生素C与氨基酸褐变反应的研究[J].食品工业科技,2002,23(11):32-33.