

# 微波烫漂对杏鲍菇 POD 酶活的影响

严启梅<sup>1,2,3</sup>, 牛丽影<sup>2,3</sup>, 唐明霞<sup>4</sup>, 王建华<sup>4</sup>, 李大婧<sup>2,3</sup>, 金邦荃<sup>1</sup>, 刘春泉<sup>2,3,\*</sup>

(1.南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097; 2.江苏省农业科学院农产品加工所, 江苏 南京 210014; 3.国家农业科技华东(江苏)创新中心-农产品加工工程技术研究中心, 江苏 南京 210014; 4.南通市农副产品加工技术协会, 江苏 南通 226000)

**摘要:** 研究微波烫漂对杏鲍菇 POD 酶的灭活效果, 并与沸水和蒸汽烫漂两种常规灭酶模式效果进行比较。为获得微波烫漂的优化条件, 采用响应曲面分析法建立微波功率和微波时间对 POD 相对酶活影响的二次多项数学回归模型。结果显示: 杏鲍菇最适宜的灭酶条件为微波功率 570W, 微波时间 59s。在此条件下处理的杏鲍菇游离氨基酸含量损失少, 感官品质佳。

**关键词:** 杏鲍菇; 烫漂; 过氧化物酶; 响应曲面

## Effects of Microwave Blanching Conditions on POD Activity of *Pleurotus eryngii*

YAN Qi-mei<sup>1,2,3</sup>, NIU Li-ying<sup>2,3</sup>, TANG Ming-xia<sup>4</sup>, WANG Jian-hua<sup>4</sup>, LI Da-jing<sup>2,3</sup>, JIN Bang-quan<sup>1</sup>, LIU Chun-quan<sup>2,3,\*</sup>

(1. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China;

2. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Engineering Research Center for Agricultural Products Processing, National Agricultural Science and Technology Innovation Center in East China, Nanjing 210014, China; 4. Agricultural Product Processing Technology Association, Nantong 226000, China)

**Abstract:** The effects of microwave treatment on the peroxidase (POD) activity of *Pleurotus eryngii* were investigated and compared with those of normal blanching method, boiling water blanching and steam blanching. In order to obtain optimal microwave treatment conditions for blanching *Pleurotus eryngii*, response surface methodology was employed to construct a quadratic regression model describing the effects of microwave power and treatment time on the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*. The optimal conditions for inactivating POD were microwave treatment for 59 s at a 570 W power. Under these conditions, a small amount of free amino acids was lost, and the sensory quality of *Pleurotus eryngii* remained good.

**Key words:** *Pleurotus eryngii*; blanching; POD; response surface methodology

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)04-0247-05

杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*), 是一种高蛋白, 低脂肪的大型伞菌。含有 18 种氨基酸, 其中 8 种是人体必需氨基酸, 易被人体吸收利用, 可与肉类、禽蛋等高营养食品相媲美<sup>[1]</sup>。中医认为, 杏鲍菇有益气、杀菌和美容作用, 可促进人体对脂类物质的消化吸收和胆固醇的溶解, 对肿瘤也有一定的预防和抑制作用<sup>[2]</sup>。当前杏鲍菇的加工产品有速溶即食营养保健麦片、盐渍品、软罐头和富钙杏鲍菇菌丝体酸豆奶等<sup>[3]</sup>, 但杏鲍菇洁白的外观特征极易在加工过程中褐变, 据研究, 酶促褐变是杏鲍菇褐变的主要原因, 因此烫漂灭酶成为杏鲍菇加工中重要的工序。常规烫漂多采用沸水烫漂和蒸汽烫

漂, 但由于杏鲍菇丰富的水溶性营养成分, 在常规烫漂条件下损失较大。微波技术是近年较广泛应用于食品领域的一门技术, 利用微波的热力效应和生物效应, 破坏酶的空间结构, 使酶失活, 并杀死大部分微生物。微波灭酶比较彻底、时间短、速度快、能耗较小、方便调控。张立彦等<sup>[4]</sup>探讨了微波对香蕉灭酶条件得出微波功率密度为 4W/g 时, 5min 内香蕉 PPO 活力降至 5% 以下。Pierre 等<sup>[5]</sup>研究结果显示 652W 微波预处理 35s 时, 澳洲青苹果可贮藏 2 周, 在贮藏期, 微生物指标达到要求, 苹果的黏度和可滴定酸度不受影响, 但达不到钝化酶效果。Matsui 等<sup>[6]</sup>研究微波对椰汁中 POD、PPO 的

收稿日期: 2011-01-20

基金项目: 南通市农业科学科技创新与产业化计划项目(HL2011010); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(11)2064)

作者简介: 严启梅(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工。E-mail: yanqimei123@163.com

\* 通信作者: 刘春泉(1959—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为农产品精深加工及产业化开发。

E-mail: iuchunquan2009@163.com

钝化效果的影响,发现在90℃ POD和PPO均彻底失活,比传统灭酶方式快<sup>[7]</sup>。杏鲍菇含水率达90%以上,极性水分子可作为微波最好的介质,吸收热量,使杏鲍菇迅速升温,在极短时间内达到灭酶的目的。所以用微波烫漂杏鲍菇时,不会出现焦化现象,还能减少营养成分流失<sup>[8-9]</sup>。

烫漂过程中多以多酚氧化酶和过氧化物酶活为指标,而杏鲍菇中多酚氧化酶含量极低,过氧化物酶是各种酶中耐热性最强的<sup>[10-12]</sup>。本实验主要研究微波烫漂对杏鲍菇POD酶活的影响,并用响应曲面优化微波烫漂工艺,为杏鲍菇的深加工提供一定的理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*),购于农贸市场。

二甲氨基酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、过氧化氢、无水乙醇、愈创木酚、茚三酮、氯化亚锡等均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

HH-8数显恒温水浴锅 金坛市荣华仪器制造有限公司; TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; H2050R台式高速冷冻离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司; JJ-2B型组织捣碎匀浆机 金坛市荣华仪器制造有限公司; HR1707飞利浦二合一搅拌机 珠海经济特区飞利浦家庭电器有限公司; BS224S电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; LWMC-205可调功率微波化学反应器 南京陵江科技开发有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

将成熟度为七八成、果型大、已具有典型杏鲍菇风味、菇肉又具有一定硬度的新鲜杏鲍菇,洗净切片(7mm厚),每次取样50g,按照试验设计要求进行烫漂,烫漂结束后立即用自来水冷却,沥干,备用。

#### 1.3.2 POD相对酶活测定<sup>[13-15]</sup>

酶液提取:取5g原料,在预先冷却的研钵内加0.1mol/L磷酸盐缓冲液(pH7.0),加少量石英砂,在冰浴中研磨成浆状物,多次浸提后定容至25mL,取5mL于4℃、3000r/min离心10min,上清液保存于4℃冰箱中备用。

相对酶活测定:于试管中加入6mL反应混合液:0.1mol/mL磷酸缓冲液(pH7.0)4.2mL、体积分数1.5%愈创木酚溶液1mL、体积分数0.5%过氧化氢溶液0.4mL、酶提取液0.4mL,在30℃水浴保温20min,用紫外-可见分光光度计于470nm波长处测初始1min内吸光度变化,

吸光度增加0.001定义为1个酶活力单位(U/g)。鲜样POD酶活定义为100%(60U/g),其他条件处理后的相对酶活与其相比较计算其相对酶活,重复3次。

#### 1.3.3 游离氨基酸测定

采用水合茚三酮比色法<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.4 感官评定<sup>[17]</sup>

本实验感官评定邀请10位测试者组成评定小组,对处理的样品色泽、硬度和香气进行评定。

#### 1.3.5 试验设计

##### 1.3.5.1 常规烫漂方式

沸水烫漂处理:将处理好的样品放入沸腾的水中(按料水比1:4g/mL加水)进行烫漂,分别烫漂0、30、60、90、120s,比较烫漂时间对POD相对酶活的影响;蒸汽烫漂处理:将处理好的样品放入蒸汽中(按料水比1:4g/mL加水)进行烫漂,分别烫漂0、30、60、90、120s,比较烫漂时间对POD相对酶活的影响。

##### 1.3.5.2 微波烫漂处理单因素试验

不同微波功率对POD相对酶活的影响:将处理好的样品放入微波专用盒,薄层平铺,分别用300、400、500、600、700W对杏鲍菇烫漂50s,研究不同微波功率对杏鲍菇POD相对酶活的影响。

不同微波时间对POD相对酶活的影响:将处理好的样品放入微波专用盒,薄层平铺,在微波功率500W的条件下分别处理30、40、50、60、70s,研究不同微波时间对杏鲍菇POD相对酶活的影响。

##### 1.3.5.3 微波处理杏鲍菇POD相对酶活影响条件优化

在单因素试验的基础上,采用中心组合设计(central composite design, CCD)方法,对影响POD相对酶活的2个因素即微波功率、微波时间进行优化试验,以微波功率(W)和微波时间(s)为自变量,分别用 $X_1$ 和 $X_2$ 表示,并以1.414、1、0、-1、-1.44分别代表自变量的水平,按方程 $x_i = (X_i - X_0) / \Delta X$ 对自变量进行编码,其中, $x_i$ 为自变量的编码值, $X_i$ 为自变量的真实值, $X_0$ 为试验中心点处自变量的真实值, $\Delta X$ 为自变量的变化步长,杏鲍菇POD相对酶活 $Y$ 为响应值,试验设计见表1。

表1 试验因素水平表

Table 1 Coded levels and corresponding actual levels of microwave power and treatment time

因素	编码水平				
	-1.414	-1	0	1	1.414
微波功率/W	418.934	450	525	600	631.066
微波时间/s	41.8934	45	52.5	60	63.1066

## 2 结果与分析

### 2.1 常规烫漂方式对杏鲍菇POD相对酶活的影响

表2 沸水烫漂与蒸汽烫漂对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

Table 2 Respective effects of boiling water blanching and steam blanching on the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

烫漂时间/s	0	30	60	90	120
沸水烫漂 POD 相对酶活/%	100.00	44.06	15.58	3.23	0.00
蒸汽烫漂 POD 相对酶活/%	100.00	20.78	8.57	0.00	0.00

从表2可以看出：当用沸水和蒸汽烫漂60s时，杏鲍菇 POD 相对酶活分别为15.58%、8.57%；当沸水烫漂120s时，杏鲍菇 POD 酶已失去活性，当用蒸汽处理90s时，检测不到 POD 相对酶活。

2.2 微波烫漂对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

2.2.1 微波时间对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

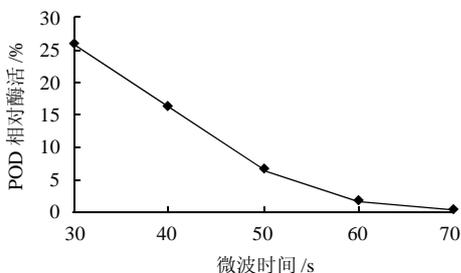


图1 微波时间对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

Fig.1 Effect of microwave treatment time on the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

在微波功率500W的条件下，杏鲍菇 POD 相对酶活随微波处理时间的延长逐渐降低。当微波处理40s时，杏鲍菇 POD 残余相对酶活为17.10%；当微波处理时间为60s时，杏鲍菇 POD 残余相对酶活为1.61%。在同等处理时间60s条件下，微波处理过的杏鲍菇 POD 相对酶活低于常规烫漂方式，显示微波处理具有高效的特点。但是微波处理时间大于70s时，会出现烫漂过度现象，杏鲍菇组织变软、色泽变暗，所以选择45~60s为优化条件。

2.2.2 微波功率对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

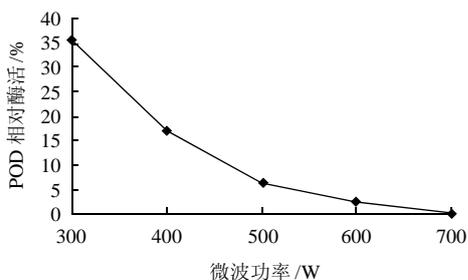


图2 微波功率对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响

Fig.2 Effect of microwave power on the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

由图2可以看出：在微波处理时间为50s时，随着微波功率的增大，杏鲍菇 POD 相对酶活逐渐降低。当微波功率为400W时，杏鲍菇 POD 相对酶活为16.13%；当微波功率为500W时，杏鲍菇 POD 相对酶活为6.45%；当微波功率为700W时，杏鲍菇 POD 相对酶活基本丧失，但是微波功率过小，灭酶的效果较差；微波功率过大，会使杏鲍菇颜色变暗影响外观品质，选取450~600W为优化水平。

2.2.3 微波烫漂杏鲍菇 POD 相对酶活工艺优化

表3 微波烫漂杏鲍菇 POD 相对酶活中心组合设计试验结果

Table 3 Central composite experimental design and results

试验号	水平		Y	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	试验值	预测值
1	-1	-1	14.73	14.44
2	1	-1	5.52	5.53
3	-1	1	4.14	3.97
4	1	1	0.88	1.01
5	-1.414	0	8.98	9.27
6	1.414	0	1.01	0.88
7	0	-1.414	12.52	12.69
8	0	1.414	2.10	2.10
9	0	0	3.61	3.35
10	0	0	3.23	3.35
11	0	0	3.47	3.35
12	0	0	3.43	3.35
13	0	0	3.01	3.35

利用 Design Expert 软件对表3数据进行二次多元回归拟合，得到杏鲍菇 POD 相对酶活预测值对编码自变量 x<sub>1</sub>、x<sub>2</sub> 的二次多项回归方程(模型)：

$$Y = 3.35 - 2.97x_1 - 3.75x_2 + 0.86x_1^2 + 2.02x_2^2 + 1.49x_1x_2 \quad (1)$$

对该模型进行方差分析和方程系数显著性检验，结果见表4和表5。

表4 微波烫漂杏鲍菇 POD 相对酶活回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis for the fitted regression model describing the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值
回归模型	222.52	5	44.50	645.05	< 0.0001
残差	0.48	7	0.069		
失拟	0.26	3	0.088	1.62	0.3196
纯误差	0.22	4	0.055		
总误差	223.00	12			

注：模型的决定系数0.9978，模型的调整确定系数0.9963。

表4表明模型极显著(P < 0.0001)，回归方程失拟检验不显著(P = 0.3196)，说明试验结果受外界因素干扰小。拟合检验显著，回归模型确定系数为0.9963，即 POD 相对酶活的试验值和预测值有较好的拟合度，也显

示模型很稳定。因此所得到的回归方程能较好的预测微波烫漂杏鲍菇 POD 相对酶活随微波功率和微波时间的变化规律。

表 5 微波烫漂杏鲍菇 POD 相对酶活回归方程系数显著性检验

Table 5 Significance of the regression coefficients in the fitted regression model describing the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

模型中的 系数项	系数 估计值	自由度	标准 误差	95% 置信度 区间低端值	95% 置信度 区间高端值	P 值
常数项	3.35	1	0.12	3.07	3.63	
$x_1$	-2.97	1	0.093	-3.19	-2.75	< 0.0001
$x_2$	-3.75	1	0.093	-3.97	-3.53	< 0.0001
$x_1^2$	0.86	1	0.100	0.63	1.10	< 0.0001
$x_2^2$	2.02	1	0.100	1.79	2.26	< 0.0001
$x_1x_2$	1.49	1	0.13	1.18	1.80	< 0.0001

从表 5 可以看出：该模型能很好地解释试验数据的变异性。模型(1)中的一次项  $x_1$ 、 $x_2$ ，二次项  $x_1^2$ 、 $x_2^2$ 、 $x_1x_2$  均极显著( $P < 0.0001$ )。

根据回归方程预测两个因素对 POD 相对酶活的影响，见图 3。等高线的形状可反映出交互效应的强弱，椭圆形表示两因素交互作用显著。由等高线图可以看出，微波功率和微波时间之间的交互作用显著，表现为等高线呈椭圆形。POD 相对酶活随微波功率增大和微波时间的延长快速下降，且 POD 相对酶活在高功率、长时间条件下降低显著。

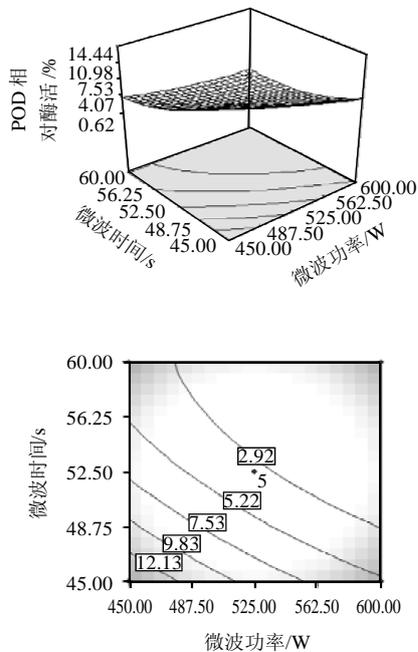


图 3 微波功率和微波时间对杏鲍菇 POD 相对酶活影响的响应曲面和等高线

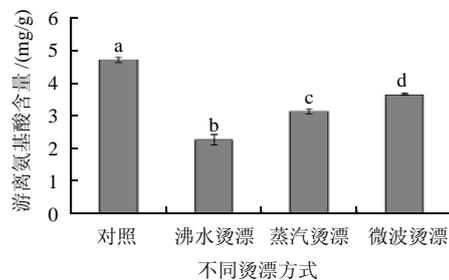
Fig.3 Response surface and contour plots showing the effects of microwave power and treatment time on the residual activity of POD in *Pleurotus eryngii*

## 2.2.4 模型的验证

为进一步确定最佳点，模型(1)有最小值。由模型(1)推导得  $x_1 = 0.622$ ， $x_2 = 0.864$ 。变换为真实值可得：微波功率  $X_1 = 571.65\text{W}$ ，微波时间  $X_2 = 58.98\text{s}$ 。为检验响应曲面法所得结果的可靠性，采取上述优化条件处理杏鲍菇，考虑到实际操作的便利，将提取工艺修正为微波功率  $570\text{W}$ 、微波时间  $59\text{s}$ ，在此条件下检测不到 POD 相对酶活，重复处理 3 次，说明由响应曲面法所得的优化工艺参数准确可靠，具有实用价值。

## 2.3 不同烫漂方式对杏鲍菇游离氨基酸含量的影响

氨基酸不仅是杏鲍菇重要的营养成分，也是其鲜味的主要来源。因此，氨基酸的含量变化是选择杏鲍菇加工贮藏的重要参考指标。



各种烫漂方式均在灭酶的最优条件下进行，标有不同字母表示差异显著。

图 4 不同烫漂方式对杏鲍菇游离氨基酸的影响

Fig.4 Effect of different blanching treatments on the content of free amino acids in *Pleurotus eryngii*

从图 4 可以直观地看出，不同烫漂方式对游离氨基酸含量变化影响显著，微波烫漂、蒸汽烫漂和沸水烫漂的游离氨基酸含量分别为  $3.65$ 、 $3.14$ 、 $2.25\text{mg/g}$ 。微波烫漂游离氨基酸的损失明显低于蒸汽烫漂和沸水烫漂，其中以沸水烫漂损失最为严重，仅为处理前的  $47.67\%$ ，可能是由于水溶性氨基酸溶于烫漂液中而流失。

## 2.4 不同烫漂方式对杏鲍菇感官品质的影响

表 6 不同烫漂方式对杏鲍菇感官品质的影响

Table 6 Effect of different blanching treatments on sensory quality of *Pleurotus eryngii*

样品	感官评定
沸水烫漂	变色、褐变严重；很软；杏鲍菇味很淡
蒸汽烫漂	微变色、中度褐变；软；杏鲍菇味淡
微波烫漂	微变色、轻度褐变；一般；杏鲍菇味浓

注：沸水烫漂条件为温度  $100^\circ\text{C}$ 、时间  $120\text{s}$ 、料水比  $1:4(\text{g/mL})$ ；蒸汽烫漂条件为时间  $90\text{s}$ 、料水比  $1:4(\text{g/mL})$ ；微波烫漂条件为微波功率  $570\text{W}$ 、微波时间  $59\text{s}$ 。

色泽、硬度、风味是杏鲍菇重要的感官品质，而感官品质是评价杏鲍菇商品价值的重要指标之一。由表

6 可知, 在达到灭酶效果的条件下, 微波处理的样品色泽变化不明显、硬度适中并有浓郁的杏鲍菇味, 能较好的维持菇体形状。蒸汽色泽变化不大, 但杏鲍菇特有的香味变淡。沸水烫漂色泽变化较大, 杏鲍菇味很淡, 不能维持菇体形状, 可能是由于烫漂时间过长导致杏鲍菇组织软化, 随着表面细胞破坏的同时, 细胞的内溶物外流, 物料色泽的保持能力也随之下降。

### 3 结 论

杏鲍菇在加工过程中进行烫漂, 其目的是为了灭酶。传统烫漂方式, 沸水烫漂需 120s 左右, 蒸汽烫漂需 90s 左右, 而 570W 条件微波烫漂仅需 59s 即可达到灭酶的效果。杏鲍菇水溶性成分含量高, 传统烫漂需用水作传热介质, 而用微波直接烫漂避免了这部分营养成分的流失, 并且杏鲍菇水分含量高、微波灭酶时间短, 不会出现焦化现象。本实验比较了不同微波功率和微波时间对杏鲍菇 POD 相对酶活的影响, 建立了微波功率和微波时间与 POD 相对酶活的数学回归模型方程:

$$Y=3.35-2.97x_1-3.75x_2+0.86x_1^2+2.02x_2^2+1.49x_1x_2$$

该模型较好地反映了杏鲍菇微波处理 POD 相对酶活与微波功率和微波时间的关系。通过响应面优化得到微波处理较佳工艺为微波功率 570W、微波时间 59s, 在此条件检测不到 POD 相对酶活, 且杏鲍菇游离氨基酸含量损失较少, 感官品质佳。

### 参考文献:

- [1] 宋爱荣, 岳运勇, 徐坤. 四个杏鲍菇品种的氨基酸分析与比较[J]. 菌物研究, 2005, 4(3): 11-14.
- [2] 王凤芳. 杏鲍菇中营养成分的分析测定[J]. 食品科学, 2002, 23(4): 132-135.
- [3] 暴增海, 马桂珍, 周洁. 杏鲍菇加工工艺研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(9): 2729-2730.
- [4] 张立彦, 芮汉明, 刘锋. 香蕉中多酚氧化酶的灭酶条件研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(2): 105-108.
- [5] PIERRE P A, LANDL A, ABADIAS M, et al. Minimal processing of a Granny Smith apple purée by microwave heating[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(4): 545-550.
- [6] MATSUI K N, GRANADO L M, DE OLIVEIRA P V, et al. Peroxidase and polyphenol oxidase thermal inactivation by microwaves in green coconut water simulated solutions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(5): 852-859.
- [7] MATSUI K N, WILHELMS G J A, DE OLIVEIRA P V, et al. Inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in green coconut water by microwave processing[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(2): 169-176.
- [8] 崔春芳, 童忠良. 干燥新技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [9] VADIVAMBAL R, JAYAS D S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products: a review[J]. Biosystems engineering, 2007, 98(1): 1-16.
- [10] 吴进菊, 陈红兵, 高金燕, 等. 多种食用菌中多酚氧化酶活性的初步比较[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 79-81.
- [11] CHEN Min, YAO Shanjing, ZHANG Hong, et al. Purification and characterization of a versatile peroxidase from edible mushroom *Pleurotus eryngii*[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 18(5): 824-829.
- [12] 孟宪军, 张秀艳, 吕淑彬. 微波处理对食用菌烫漂效果的影响[J]. 食品科学, 1996, 17(2): 25-28.
- [13] 卓成龙, 宋江峰, 李大婧, 等. 微波处理对毛豆仁 POD 相对酶活的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 289-293.
- [14] 鲍琳, 袁玉超. 烫漂及冻藏时间对速冻香椿品质的影响[J]. 食品科技, 2007, 32(9): 76-78.
- [15] 阮美娟, 王燕, 姚凤宏, 等. 浓缩菠萝汁色变与贮存期动力学研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(12): 60-62.
- [16] 邵金良, 黎其万, 董宝生, 等. 茚三酮比色法测定茶叶中游离氨基酸总量[J]. 中国食品添加剂, 2008(2): 162-165.
- [17] 冯建华, 徐新明, 李继兰, 等. 香菇采后预处理及气调保鲜技术研究[J]. 中国食用菌, 2010, 29(2): 51-53.