

热烫前处理对青菜中酶活性及色泽的影响

刘倩¹, 张慜^{*1}, 容小红², 赵科金²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 海通食品集团股份有限公司, 浙江 慈溪 315300)

摘要: 采用愈创木酚和邻苯二酚氧化法研究了不同热处理对青菜中过氧化物酶和多酚氧化酶活性的影响。结果表明, 对青菜进行 90 ℃ 4 min、95 ℃ 2 min、95 ℃ 3 min、95 ℃ 4 min 的热烫处理后, 青菜中过氧化物酶的活性分别为 37.30、39.28、34.34、24.95, 相对残余活力分别下降为 8.11%、8.53%、7.46%、5.42%。95 ℃ 2 min 热烫处理后迅速转移到冰浴条件冷却与未冷却的新鲜青菜中多酚氧化酶的相对残余活力分别为 16.49%、1.24%。因此, 当青菜经 95 ℃ 2 min 烫漂后迅速转移到冰浴条件下冷却, 过氧化物酶(相对残余活力 8.53%)和多酚氧化酶(相对残余活力 1.24%)的活性均得到了很好的抑制, 相对残余活力低于 10%, 而且在此烫漂条件下青菜的叶绿素质量分数(2.31 mg/g)较高, 色泽($-a^*$ 值为 22.84, 饱和度 C^* 为 35.56)也比较好。

关键词: 青菜; 烫漂; 过氧化物酶; 多酚氧化酶; 叶绿素

中图分类号: TS 231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2013)10—1031—06

Effect of Blanching on the Enzyme Activity of *Brassicachinensis L.*

LIU Qian¹, ZHANG Min^{*1}, RONG Xiao-hong², ZHAO Ke-jin²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Haitong Food Group Company, Cixi 315300, China)

Abstract: In this paper, guaiacol and catechol oxidation method were used to study the effect of different blanching on the peroxidase and polyphenol oxidase activity of *Brassicachinensis L.* The results show that the peroxidase activity of *Brassicachinensis L.* respectively were 37.30, 39.28, 34.34, 24.95 after blanching for 4 min at 90 ℃, 2 min at 95 ℃, 3 min at 95 ℃, 4 min at 95 ℃, the relative residual dynamic activity decreased to 8.11%, 8.53%, 7.46%, 5.42%. The polyphenol oxidase relative residual activity of *Brassicachinensis L.* were 16.49% after blanching for 2min at 95 ℃ without rapidly transferring to ice bath to cool. If we transferred to ice bath to cool, the polyphenol oxidase relative residual activity of *Brassicachinensis L.* were 1.24%. Therefore, when the *Brassicachinensis L.* was blanched for 2min at 95 ℃ and then quickly transferred to ice bath to cool, the activity of peroxidase (the relative residual activity was 8.53%) and polyphenol oxidase (the relative residual activity was 1.24%) had been well suppressed and the relative residual activity was less than 10%, what's more, in this blanching conditions, the content of chlorophyll was higher (2.31 mg/g), the color (the value of $-a$ was 22.84, the value of saturation C

收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(21176104)。

* 通信作者: 张 慜(1962—), 男, 浙江平湖人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事生鲜食品加工与贮藏的研究。E-mail: min@jiangnan.edu.cn

was 35.56) was better.

Keywords: *Brassicachinensis L.*, blanching, peroxidase, polyphenol oxidase, chlorophyll

青菜属十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种,是以叶片为产品的普通白菜的一个变种,原产中国。青菜可以保持血管弹性,提供人体所需矿物质、维生素,其中的维生素 B2 尤为丰富,有抑制溃疡的作用,经常食用对皮肤和眼睛的保养有很好的效果。富含纤维,可以有效改善便秘。

存在于果蔬中的多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)在适宜的条件下能引起果蔬的酶促褐变,因此,多酚氧化酶对于食品加工具有重要意义。PPO 是一种对温度比较敏感的酶类,在高温条件下很容易失活。果蔬中的过氧化物酶(peroxidase)往往具有较高的热稳定性,对果蔬进行热烫处理时,常以过氧化物酶是否失活作为热烫是否充分的标准。较高的 POD 和 PPO 活性会导致酚类化合物的降解,从而引起酶促褐变^[1]。热处理的主要目的是杀死微生物和破坏酶的活性,防止水煮叶菜类产品在保藏过程中变色、变味和营养成分的损失,从而提高产品的保质期。果蔬热烫之后,如果其过氧化物酶完全(或 95%以上)被破坏,那么就可以认为存在于果蔬中的其它酶都已失活。各种蔬菜获得最佳品质其残留酶活性不超过 10%,大多在 5% 左右^[2-3]。许多研究表明果蔬中的过氧化物酶有热稳定和热不稳定两部分。这两部分的比例取决于果蔬的品种和热烫处理的温度。

因此,作者以青菜为原料,研究了不同烫漂处理后青菜中过氧化物酶和多酚氧化酶的活性,叶绿素的含量以及色泽,确定了青菜热烫前处理的最佳条件。

1 材料与方法

1.1 主要材料与仪器

新鲜上海青:购于江苏无锡市石塘街市场。

愈创木酚(0.05 mol/L)、邻苯二酚(0.1 mol/L)、磷酸缓冲溶液、H₂O₂(体积分数 2%):均为分析纯试剂。

1.2 仪器设备

FA1104 型电子天平:上海天平仪器厂产品;CR-400 色差计:日本 Onica Minolta 公司产品;HHS 型电热恒温水浴锅:上海博讯实业有限公司医疗设

备厂产品;冷冻离心机:上海安亭科学仪器厂产品;UV2600 紫外分光光度计:上海天美科学仪器有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 青菜中过氧化物酶热稳定性的探究 愈创木酚法^[4-5]

1)过氧化物酶的提取 称取 0.5 g 新鲜青菜的叶子于研钵中,加入 2 mL 磷酸缓冲溶液(0.05 mol/L)研成匀浆后,转入离心管中,再加 3 mL 磷酸缓冲溶液(0.05 mol/L)冲洗研钵,转入离心管中,等重后于 8 000 r/min 离心 10 min,所得上清液即为粗酶液^[6]。

2) 最适波长的确定 取适量酶液 0.4 mL 至于已编号的离心管中,于室温下静置。向离心管中加入 2.9 mL 磷酸缓冲液(0.05 mol/L),1.0 mL 愈创木酚溶液(0.05 mol/L),最后加入体积分数 2%的 H₂O₂ 溶液 1 mL,混匀后立即计时,1 min 后在 400~500 nm 范围内进行波长扫描,测定过氧化物酶催化反应所产生有色物质的最适波长。

3)过氧化物酶活性的热处理 取适量酶液 0.4 mL 分别置于已编号的离心管中,将试管在 60 ℃水浴中保温 1 min 后,分别移至 85、90、95 ℃水浴锅中,处理 2、3、4 min,然后立即将试管转移至冰浴中,快速冷却至 0 ℃^[7]。

4) 过氧化物酶活性的测定 向盛有酶液且经过不同热处理的离心管以及室温下静置的离心管中加入 2.9 mL 磷酸缓冲液(0.05 mol/L),1.0 mL 愈创木酚溶液(0.05 mol/L),最后加入体积分数 2%的 H₂O₂ 溶液 1 mL,混匀后立即计时,于最适波长下测定反应混合物吸光值随时间的变化,每隔 30 s 读数一次,读 10 次。参比采用加热煮沸 5 min 后的酶液。重复 3 次,取平均值。

1.3.2 青菜中多酚氧化酶的研究 邻苯二酚法^[4-5]

1) 青菜中多酚氧化酶的提取 分别称取新鲜的和变黄的叶子 0.5 g,加入 3 mL 磷酸缓冲液(pH 6.94),冰浴研磨匀浆,转移到离心管,再用 3 mL 磷酸缓冲液(pH 6.94)冲洗研钵,合并提取液。4 ℃冷冻离心(6 000 r/min)12 min,上清液即为粗酶液^[8]。

2) 新鲜青菜中多酚氧化酶活性的测定 在试

管中,加入 2.0 mL 磷酸缓冲液(pH 6.94),5.0 mL 儿茶酚(邻苯二酚)以及 1 mL 新鲜青菜中提取的粗酶液,空白采用 1 mL 加热煮沸 5 min 的新鲜青菜叶子中的酶液,煮沸结束后于 4 ℃冷冻离心(6 000 r/min)12 min 后,冰浴待用^[9-10]。

A 值测定:加入粗酶液后迅速混匀,30 s 后立刻于 410 nm 下测定反应体系的 A 值,每隔 30 s 记录一次,共记录 10 次。

3) 贮藏过程中不同程度腐败的青菜中多酚氧化酶活性的测定 在试管中,加入 2.0 mL 磷酸缓冲液(pH 6.94),5.0 mL 儿茶酚(邻苯二酚)以及 1 mL 从略腐败以及腐败较严重的青菜中提取的粗酶液,空白分别采用 1 mL 加热煮沸 5 min 的略腐败以及腐败较严重的青菜中提取的粗酶液,煮沸结束后于 4 ℃冷冻离心(6 000 r/min)12 min,冰浴待用。

A 值测定:加入粗酶液后迅速混匀,30 s 后立刻于 410 nm 下测定反应体系的 A 值,每隔 30 s 记录一次,共记录 10 次。

4) 是否转移到冰浴条件下冷却对新鲜青菜中多酚氧化酶活性影响的测定 在两只试管中,加入 2.0 mL 磷酸缓冲液(pH 6.94),5.0 mL 儿茶酚(邻苯二酚)以及分别加入 1 mL 由 95 ℃ 2 min 处理后迅速转移到冰浴条件下冷却与未冷却的新鲜青菜中提取的多酚氧化酶的粗酶液,空白采用 1 mL 加热煮沸 5 min 的新鲜青菜中提取的粗酶液,煮沸结束后用 4 ℃冷冻离心(6 000 r/min)12 min,冰浴待用。

A 值测定:加入粗酶液后迅速混匀,30 s 后立刻于 410 nm 下测定反应体系的 A 值,每隔 30 秒记录一次,共记录 10 次。

1.3.3 试验指标与测定

1) 酶活的测定 过氧化物酶酶活的计算公式以每分钟 $A_{470\text{nm}}$ 变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活单位(U)。

过氧化物酶活性(U/(g·min))=

$$\Delta A_{470\text{nm}} \times V_T / (V_s \times 0.01 \times W \times t)$$

式中: $\Delta A_{470\text{nm}}$ 为反应时间内 OD 变化值; V_T 为提取酶液总体积(mL); m 为植物鲜重(g); t 为反应时间(min); V_s 为测定时取用酶液体积(mL)。

多酚氧化酶活性的计算公式以每分钟 $A_{410\text{nm}}$ 值增加 0.001 定义为一个酶活力单位。

多酚氧化酶活性(U/(g·min))=

$$\Delta A_{410\text{nm}} \times V_T / (V_s \times 0.001 \times W \times t)$$

式中: $\Delta A_{410\text{nm}}$ 为反应时间内 OD 变化值; V_T 为提取

酶液总体积(mL); m 为植物鲜重(g); t 为反应时间(min); V_s 为测定时取用酶液体积(mL)。

以未经热处理的酶液的酶活力作为 1, 计算经不同热处理后酶液中的相对残余活力。

2) 色差测定 样品研碎后用色差计测定亨特 L^* 值, a^* 值 b^* 值, 标准白板调零, 以湿片的色值为基准。

L^* 值表示亮度, L^* 越大亮度越大; b^* 值表示有色物质的黄蓝偏向, 正值越大越偏向黄色, 而负值越大则越偏向蓝色; a^* 值表示有色物质的红绿偏向, 正值越大越偏向红色, 而负值越大则越偏向绿色。

C^* 即色度又叫饱和度, 它是样品灰暗/鲜艳比例的一个指标(从 0 到 60), 可按照下面的公式进行计算。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

3) 叶绿素含量的测定 参照《植物生理生化实验原理和指导》, 略有改动^[4-5]。

2 结果与分析

2.1 过氧化物酶催化反应产物最适波长的测定结果

由图 1 可确定过氧化物酶催化反应所产生有色物质 A 的最适波长为 470 nm, 在此处吸光值 A 达到最大值 0.503。

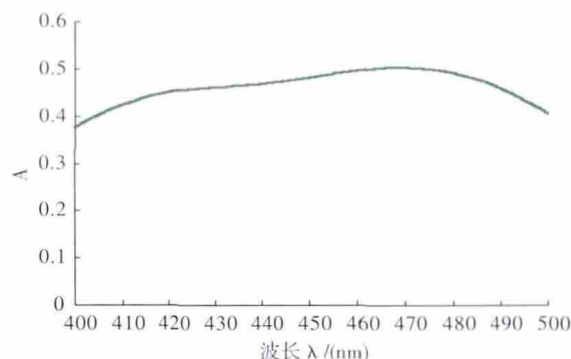


图 1 过氧化物酶催化反应产物最适波长

Fig. 1 Optimal wavelength of peroxidase catalyzed reaction product

2.2 新鲜青菜中过氧化物酶的活性

新鲜青菜中过氧化物酶的活性见表 1。由表 1 可知, 未经热处理青菜中过氧化物酶的活性为 460.23/(g·min), 是比较高的。实验过程中过氧化物酶催化的反应体系的茶褐色随时间的增加在不断加深。这说明过氧化物酶在不断地催化 H_2O_2 将愈创木酚氧化为茶褐色的 4-邻甲氧基苯酚^[7]。

表 1 新鲜青菜中过氧化物酶的活性

Table 1 Peroxidase activity of fresh *Brassicachinensis L.*

处理条件	鲜重 m/g	提取酶液总体积 V_T/mL	测定时取用酶液体积 V_S/mL	反应时间 t/min	过氧化物酶活性/(U/(g·min))
室温	0.506±0.001	5	0.4	5	460.23±7.27

2.3 不同条件热处理后青菜中过氧化物酶的活性及对残余活力

由表 2 可以看出,POD 酶较难完全失活。100 ℃ 下需热烫 5 min 才能完全失活,但热烫时间过长会严重破坏绿叶蔬菜的组织细胞,导致营养物质和色素损失较多,从而影响产品质量。为了进一步选择比较好的热烫条件,所以选择了不同的热烫条件研究 POD 酶的活性情况。

表 2 热烫条件与 POD 酶活的关系

Table 2 Blanching conditions with the relationship of POD activity

热烫温度/℃	热烫时间/min	酶活情况
85	2	+
	3	+
	4	+
90	2	+
	3	+
	4	+
95	2	+
	3	+
	4	+
100	3	+
	4	+
	5	-

注: +代表存在酶活, -代表几乎没有酶活。

以未经热处理酶液的酶活力作为 1, 计算经不同热处理后酶液中的相对残余活力, 所得结果如图 2 所示。

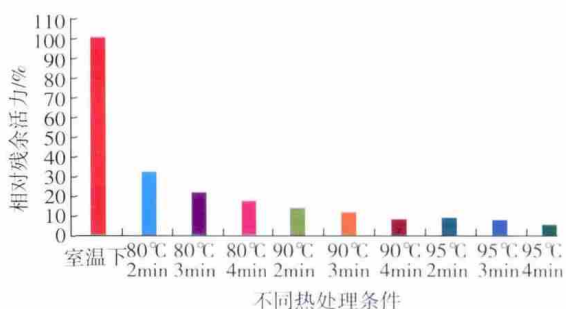


图 2 不同热处理后过氧化物酶的相对残余活力

Fig. 2 Relative residual activity of peroxidase after different conditions of blanching

各种蔬菜获得最佳品质其残留酶活性不超过 10%, 大多在 5% 左右, 通常以过氧化物酶(POD)的活性大小(蔬菜中最耐热的酶)来作为蔬菜热烫是否充分的指标。

由表 3 和图 2 可知, 当选择 90 ℃ 4 min、95 ℃ 2 min、95 ℃ 3 min 以及 95 ℃ 4 min 的热处理条件时, 相对残余酶活力是低于 10% 的。

2.4 多酚氧化酶活性的测定

新鲜青菜中与不同程度腐败的青菜中多酚氧化酶活性的测定结果见图 3。

表 3 经过不同条件热处理后青菜中过氧化物酶的活性

Table 3 Peroxidase activity of *Brassicachinensis L.* after different conditions of blanching

热处理条件	过氧化物酶活性/(U/(g·min))
80 ℃ 2 min	145.45±5.68
80 ℃ 3 min	100.54±5.17
80 ℃ 4 min	79.30±4.55
90 ℃ 2 min	64.28±4.86
90 ℃ 3 min	53.61±4.10
90 ℃ 4 min	37.30±3.59
95 ℃ 2 min	39.28±3.43
95 ℃ 3 min	34.34±4.01
95 ℃ 4 min	24.95±3.22

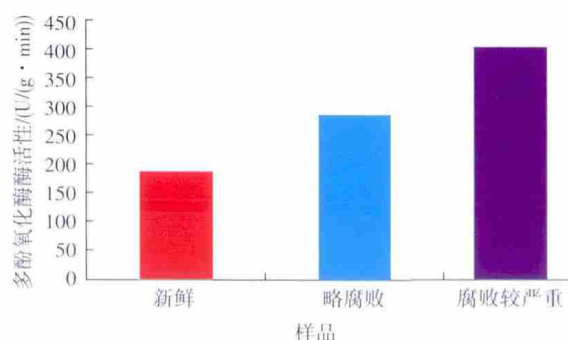


图 3 新鲜与不同程度腐败的青菜中多酚氧化酶的活性

Fig. 3 Polyphenol oxidase activity of fresh and different corruption degrees of *Brassicachinensis L.*

由图 3 的结果可知, 青菜中多酚氧化酶的活性随着腐败程度的增加有递增的趋势, 这说明青菜在

贮藏过程中的腐败与多酚氧化酶存在一定的关系,通过抑制多酚氧化酶的活性,可以在一定程度上抑制青菜的腐败现象。

2.5 冰浴条件下冷却对新鲜青菜中多酚氧化酶活性的影响

由表 4 和图 4 可知,新鲜青菜经过 95 ℃ 2 min 的热烫处理后,青菜中多酚氧化酶的活性大大降低。而且 95 ℃ 2 min 处理后未转移到冰浴条件下冷却与迅速转移到冰浴条件中冷却的新鲜青菜中多酚氧化酶的活性相比,95 ℃ 2 min 处理后迅速转移到冰浴条件中冷却的新鲜青菜中多酚氧化酶的活性更低,为 2.31 U/(g·min),相对残余活力已降至 1.24%。而 95 ℃ 2 min 处理后未转移到冰浴条件下冷却的新鲜青菜中多酚氧化酶活性为 30.77 U/(g·min),相对残余活力为 16.49%。

这是由于热处理后未转移到冰浴条件下冷却的青菜中多酚氧化酶在室温条件下发生了再生,而热处理后迅速转移到冰浴条件,可以使温度迅速下降到 0 ℃。当温度接近 0 ℃ 时酶的再生受到抑制,这可以更好地降低多酚氧化酶的活性^[8]。

表 4 经过不同条件处理后青菜中多酚氧化酶的活性

Table 4 Polyphenol oxidase activity of *Brassicachinensis* L. after different treatment

样 品	多酚氧化酶活性/ (U/(g·min))
新鲜	186.54±5.37
95 ℃ 2 min 处理后未转移到冰浴条件下	30.77±3.15
95 ℃ 2 min 处理后迅速转移到冰浴条件下	2.31±1.02

以未经热处理的酶液的酶活力作为 1, 计算经不同热处理后酶液中 PPO 的相对残余活力。

2.6 不同热处理对青菜色泽的影响

2.6.1 不同热处理后青菜中叶绿素的质量分数 由图 5 可知,经过不同热处理,青菜中叶绿素的质量分数略有差别。当热处理条件为 90 ℃ 3 min 和 95 ℃ 2 min 时叶绿素质量分数最多,分别为 2.33 mg/g、2.31 mg/g。

2.6.2 95 ℃ 2 min 处理后青菜的色泽指标 在 95 ℃ 下漂烫 2 min 后,青菜的色泽指标如表 5 所示。

由表 5 和图 5 可以看出,青菜采用 95 ℃ 2 min 的漂烫处理时,叶绿素质量分数较高,为 2.31 mg/g。色泽较好, $-a^*$ 值为 22.84,饱和度 C^* 达到了 35.56。

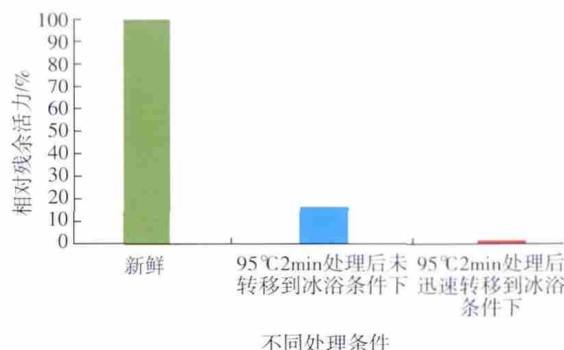


图 4 不同处理后新鲜青菜中多酚氧化酶的相对残余活力

Fig. 4 Relative residual activity of polyphenol oxidase after different treatment

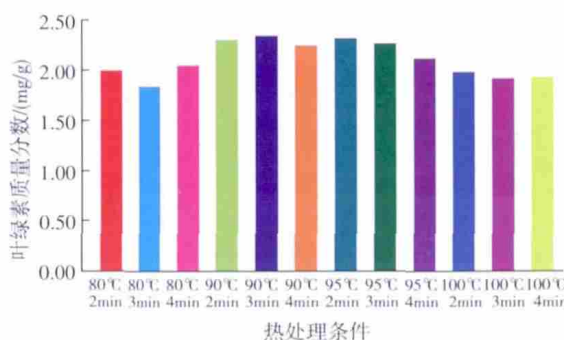


图 5 不同热处理后青菜中叶绿素的质量分数

Fig. 5 Chlorophyll content of *Brassicachinensis* L. after different blanching

表 5 95 ℃ 2 min 处理后青菜的色泽指标

Table 5 Green color indicators of *Brassicachinensis* L. after blanching for 2 min at 95 ℃

处理条件	L^*	$-a^*$	C^*
95 ℃ 2 min	41.98±1.08	22.84±0.19	35.56±0.65

综合以上过氧化物酶及多酚氧化酶活性测定的结果可得出,当青菜 95 ℃ 2 min 烫漂后迅速转移到冰浴条件下冷却,过氧化物酶(相对残余活力 8.53%)和多酚氧化酶(相对残余活力 1.24%)的活性均得到了很好的抑制,相对残余活力低于 10%,而且在此烫漂条件下青菜的叶绿素质量分数(2.31 mg/g)较高,色泽($-a^*$ 值为 22.84,饱和度 C^* 为 35.56)也比较好。

这样不仅可以减少热烫对青菜各项指标的损失及组织的破坏,又可消除酶促褐变的隐患。

3 结 语

较高的 POD 和 PPO 活性会导致酚类化合物的

降解,从而引起酶促褐变^[12]。热烫前处理的主要目的是杀死微生物和破坏酶的活性,防止水煮叶菜类产品在保藏过程中变色、变味和营养成分的损失,从而提高产品的保质期^[13-14]。

综合以上测定的结果得出,当青菜经过 95 ℃ 2 min 烫漂后迅速转移到冰浴条件下冷却,过氧化物酶(相对残余活力 8.53%)和多酚氧化酶(相对残余

活力 1.24%)的活性均得到了很好的抑制,相对残余活力低于 10%,而且在此烫漂条件下青菜的叶绿素含量(2.31 mg/g)较高,色泽($-a^*$ 值为 22.84,饱和度 C^* 为 35.56)也比较好。因此确定,青菜热烫前处理最佳的条件为 95 ℃ 烫漂 2 min 后迅速转移到冰浴条件下冷却。

参考文献:

- [1] Jhih-Ying Ciou, Hsin-Hung Lin, Po-Yuan Chiang. The role of polyphenol oxidase and peroxidase in the browning of water caltrop pericarp during heat treatment[J]. **Food Chemistry**, 2011, 127: 523-527.
- [2] Kharla A. Segovia-Bravo, Manuel Jaren-Galan. Browning reactions in olives: Mechanism and polyphenols involved [J]. **Food Chemistry**, 2009, 114: 1380-1385.
- [3] 王伟玲, 王展, 王晶英. 植物过氧化物酶活性测定方法优化[J]. 实验室研究与探索, 2010, 29(4): 21-23.
WANG Wei-ling, WANG Zhan, WANG Jing-ying. The optimal determination method of plant peroxidase activity[J]. **Laboratory Research and Exploration**, 2010, 29(4): 21-23. (in Chinese)
- [4] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [5] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [6] 杨大伟, 夏延斌, 谭兴和, 等. 黄花菜中过氧化物酶活性的测定及褐变控制[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 29(3): 258-261.
YANG Da-wei, XIA Yan-bin, TAN Xing-he, et al. The determination of peroxidase activity and the browning control of Lily[J]. **Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science**, 2003, 29(3): 258-261. (in Chinese)
- [7] 杨志萍, 姚卫蓉, 钱和, 等. 桂花中过氧化物酶热稳定性的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(4): 385-387.
YANG Zhi-ping, YAO Wei-rong, QIAN He, et al. Research on the thermal stability of peroxidase of Osmanthus [J]. **Food Science and Technology**, 2009, 25(4): 385-387. (in Chinese)
- [8] 李忠光, 龚明. 植物多酚氧化酶活性测定方法的改进[J]. 云南师范大学学报, 2005, 25(1): 47-48.
LI Zhong-guang, GONG Ming. Improvements of the determination method of plant polyphenol oxidase activity [J]. **Journal of Yunnan Normal University**, 2005, 25(1): 47-48. (in Chinese)
- [9] 陈乃富. 热处理法钝化蕨菜多酚氧化酶活性的工艺条件研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(10): 49-51.
CHEN Nai-fu. Research on the process conditions of heat treatment method to passivate the activity of polyphenol oxidase of bracken[J]. **Food Science and Technology**, 2005, 26(10): 49-51. (in Chinese)
- [10] 张学义, 张晶, 安文和. 蕨菜加工过程中多酚氧化酶活性研究[J]. 牡丹江师范学院学报: 自然科学版, 2008, 65(4): 17-18.
ZHANG Xue-yi, ZHANG Jing, AN Wen-he. Studies on the polyphenol oxidase activity of bracken during process[J]. **Journal of Mudanjiang Teachers College: Natural Science**, 2008, 65(4): 17-18. (in Chinese)
- [11] Peter M A, David A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables [J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2008, 48: 1-14.
- [12] Amir-Shapira D, Goldschmidt E E, Altman A. Chlorophyll catabolism in senescing plant tissues: In vivo breakdown intermediates suggest different degradative pathways for Citrus fruit and parsley leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1987, 84: 1901-1905.
- [13] Shang-Tzen Chang, Ting-Feng Yeh, Jyh-Horng Wu. Mechanisms for the surface colour protection of bamboo treated with chromated phosphate[J]. **Polymer Degradation and Stability**, 2001, 74: 551-557.
- [14] 黄俊丽, 张魁. 高温蒸汽瞬时漂烫对黑牛肝菌酶活和品质影响的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(5): 653-658.
HUANG Jun-li, ZHANG Min. Effects of steam blanching high temperature-short time (HT-ST) on enzymes and nutrients of *Boletus aereus*[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(5): 653-658. (in Chinese)