

马铃薯片红外和漂烫灭酶工艺对比试验*

李树君 张 琥 林亚玲 刘 斌 谢 安 刘兴静

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

【摘要】 对马铃薯片进行了红外和漂烫两种灭酶工艺的对比试验,得出两种处理后多酚氧化酶相对活性、亮度、色度及维生素 C 含量的变化。采用多元非线性拟合方法得到厚度为 3 mm 马铃薯片两种处理方法的最佳工艺参数:采用辐照度为 4.0 kW/m² 红外辐照处理,处理时间 2.5 min,维生素 C 质量比为 6.983 mg/(100 g);采用漂烫处理,处理温度为 100℃,处理时间 4.0 min,维生素 C 质量比为 7.068 mg/(100 g)。与传统的漂烫灭酶相比,红外灭酶缩短加工时间 37.5%。

关键词: 马铃薯片 红外处理 漂烫处理 灭酶

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)10-0118-06

Comparison between Infrared and Hot Water Blanching Processing on Enzyme Inactivation for Potato Slice

Li Shujun Zhang Hu Lin Yaling Liu Bin Xie An Liu Xingjing

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The changes of potato polyphenol oxidase relative activity, brightness, chromaticity and vitamin C content were inspected by comparing potato slice processed with infrared and hot water blanching inactivation process, respectively. The optimum technology parameters were obtained by using multivariate nonlinear fitting method and they are as follows: when the infrared intensity is 4.0 kW/m² and the thickness of the slice is 3 mm, the processing time and vitamin C remaining content would be 2.5 min and 6.983 mg/(100 g). When the blanching temperature is 100℃ with the same thickness of the slice, the processing time and the vitamin C remaining content would be 4.0 min and 7.068 mg/(100 g). Compared with the traditional hot water blanching processing, the processing time can be decrease by 37.5% with infrared processing.

Key words Potato slice, Infrared processing, Hot water blanching processing, Enzyme inactivation

引言

马铃薯富含人体所需要的多种营养素,是一种低热量、高蛋白食物^[1]。近几年在 market 需求的带动下,马铃薯产业迅速发展,在很多地区已经成为带动农民脱贫致富的重要支柱产业^[2]。然而和其他蔬菜水果一样,马铃薯由于含有多酚氧化酶(PPO),

因而在加工过程中易发生酶促褐变,这不仅有损于感观,影响产品运销,还会导致风味和品质下降^[3]。PPO 是一类广泛存在于植物体内的能催化多酚类氧化成醌类的含铜质体金属酶,由于其与果蔬加工密切相关,可通过采用物理、化学以及生化等方法来抑制 PPO 活性^[4]。目前马铃薯生产加工过程中以漂烫热处理为主。

收稿日期: 2012-01-20 修回日期: 2012-03-16

* 国家自然科学基金资助项目(31071622)

作者简介: 李树君,研究员,博士生导师,主要从事农产品加工及贮藏技术及装备研究, E-mail: lisj@caams.org.cn

与传统的高速灭酶方法相比,红外波不加热空气和介质,而是直接作用于物料本身,故而能量转换效率得以提高,热损伤降至最低^[5]。与微波、微波蒸气、漂烫和蒸气方法相比,采用红外灭酶的叶菜类蔬菜保持相对较高的坚挺性^[6]。同时红外处理除了灭酶外,还具有脱水效果,可以减少工序,减小能耗^[7]。本文通过改变漂烫与红外处理参数,比较两种处理方法对马铃薯多酚氧化酶活性、维生素 C 含量的影响,应用 Matlab 等分析软件对数据进行拟合优化,从而得出各自最优工艺参数和比较两种方法的效果。

1 材料和方法

1.1 原料与试剂

原料:市售同批次大西洋马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.)。

主要试剂:丙酮、邻苯二酚、Na₂HPO₃、NaH₂PO₃和 2.6-二氯酚(以上试剂均为分析纯)。

1.2 试验设备

QC-300 型马铃薯切片机,ly-645 型工业电烤箱,DK-S26 型恒温水浴锅,ST20 型红外测温仪,XU33DF-201A 型探针式数字温度计,T-25 型匀浆机,BR4i 型高速离心机,WSC-S 型测色色差计,UV-2100 型紫外可见分光光度计。

1.3 测定方法

1.3.1 红外处理与温度控制

理论研究表明,根据斯蒂芬-波尔兹曼定律,物体的红外辐照度与其表面温度关系式为^[8]

$$E = \sigma_0 T^4 \varepsilon \tag{1}$$

式中 σ_0 ——黑体的辐射常数,其值为

$$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

T ——黑体表面的绝对温度,K

ε ——物体黑度(又称发射率)

选取 5 个红外辐照度为 3.0、3.5、4.0、4.5 和 5.0 kW/m²,由此计算得出对应的工业电烤箱温度为 234、254、272、288 和 303℃。通过红外测温仪,调节电烤箱温控旋钮以使加热管温度达到要求。

马铃薯片中心温度测定方法:红外或漂烫处理完成后迅速取出马铃薯片,将探针式数字温度计的探头插入马铃薯片中心部分测定此时马铃薯片中心温度。

1.3.2 颜色亮度与色度测定

颜色是由亮度和色度共同表示的。亮度是指发光体(反光体)表面发光(反光)强弱的物理量。色度为不包括亮度在内的颜色性质,它反映颜色的色调和饱和度^[9]。马铃薯片的亮度是在贮藏或加工

过程中由于酶促褐变或色素聚集引起表层变暗的一个指标性参数,亮度越低,褐变越严重。马铃薯片的色度能有效反映马铃薯片的颜色和外观。马铃薯片的亮度和色度两者共同决定酶促褐变的情况^[9]。将漂烫和红外处理后的马铃薯片置于水中冷却后,静置于空气中 30 min,采用 WSC-S 型测色色差计测定其亮度和色度。

1.3.3 维生素 C 含量测定

按照 GB/T 6195—86 的方法,采用 2.6-二氯酚测定马铃薯片中的维生素 C 含量。

1.3.4 PPO 活性测定

参考黄建韶等的方法^[10],略有改动,具体方法如下:

取马铃薯片中心部分 5.0 g,加入 20 mL 冷冻丙酮(-20℃),用高速组织捣碎机匀浆 2 min,然后用布式漏斗抽滤,滤饼用 20 mL 冷冻丙酮再次提取后抽滤,将二次提取物置于蒸发皿中,在室温下干燥即得 PPO 丙酮粉。

称取 0.1 g PPO 丙酮粉,溶于 100 mL 0.05 mol/L pH 值为 6.6 的预冷(4℃)磷酸盐缓冲溶液中,搅拌 20 min,在 4 000 r/min 的条件下离心 20 min,上层清液过滤,即得 PPO 粗酶液。

取 1.5 mL 0.05 mol/L pH 值为 6.6 的磷酸盐缓冲溶液于 1 cm 比色皿中,加入 1 mL 0.1 mol/L 邻苯二酚溶液和 0.5 mL PPO 粗酶液在波长 400 nm 处比色,从酶液加入后开始计时,每 30 s 记录一次吸光度 D ,以最初直线段的斜率 $\Delta D/t$ 计算酶活力。一个酶活力单位定义为:在测定条件下,每 1 min 引起吸光度改变 0.01 所需的酶量。

1.3.5 能量利用率测定

采用两种处理方法最优方案处理 600 片厚度为 3 mm 的马铃薯片,比较两者的能耗。选定的电烤箱一次最多可处理 20 片,全部处理需要 30 组。恒温水浴锅一次最多可处理 60 片,全部处理需要 10 组。利用电子秤对马铃薯片红外处理前、后进行称量,测定其水分蒸发量。

1.4 试验设计

马铃薯样品去皮后,利用马铃薯切片机切成 3 mm 厚度的马铃薯片。

红外处理马铃薯片,按上述调节电烤箱的温度。每个红外辐照度为一组,每组处理 5 min,每 1 min 取出马铃薯片进行 PPO 活性、维生素 C 含量的测定以及亮度和色度的测定。

漂烫处理马铃薯片,设定恒温水浴锅的温度分别为 60、70、80、90 和 100℃。每组处理 10 min,每 2 min 进行 PPO 活性、维生素 C 含量的测定以及亮度

和色度的测定。

未处理的马铃薯片作为对照组。

2 结果与分析

2.1 中心温度

红外处理马铃薯片中心温度变化如图 1 所示。由图 1 可知,当红外辐照度为 5.0 kW/m²时,马铃薯片中心温度上升至 80℃ 仅需要 1.5 min,4 min 时可以达到 100℃;当辐照度为 4.5、4.0、3.5 kW/m²时,则分别需要 2.0、4.0、4.5 min 达到 80℃,4.5 kW/m² 同样处理 4 min 时可以达到 100℃;而在红外辐照度为 3.0 kW/m²,处理 5 min 时,马铃薯中心温度仍低于 80℃,当处理 7 min 时可使中心温度达到 80℃。由此可知,当马铃薯片厚度一定时红外辐照度越强,其中心温度升高越快,温度越高。

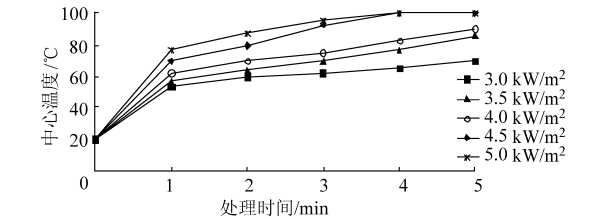


图 1 红外处理马铃薯片中心温度随处理时间变化曲线

Fig.1 Relation of potato slice central temperature and time under infrared processing

图 2 为漂烫处理时马铃薯片中心温度与处理时间变化曲线。从图 2 中可已看出,当漂烫温度为 90、100℃ 时分别在 6 min 和 3 min 时马铃薯片中心温度达到 80℃;而漂烫温度在 60、70、80℃ 情况下处理 10 min,马铃薯片中心温度均低于 80℃。由此可知,红外处理与漂烫处理相比,由于红外处理是一种固体物质易吸收并且具有一定穿透效应的加热方式,而漂烫处理是传统意义上由外及内的加热方式,红外处理从升温效果及处理时间上优于漂烫处理。

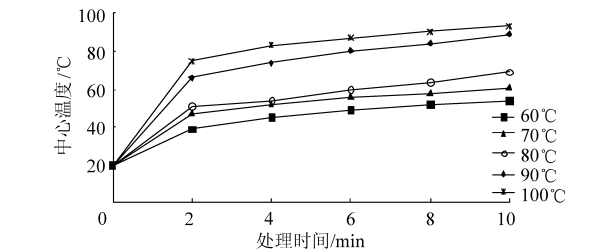


图 2 漂烫处理马铃薯片中心温度随处理时间变化曲线

Fig.2 Relation of potato slice central temperature and time under hot water blanching processing

2.2 PPO 相对活性

多酚氧化酶与马铃薯色泽的变化及褐变有很大的关系^[11]。马铃薯片经不同红外辐照度处理下 PPO 活性随处理时间的变化如图 3 所示。

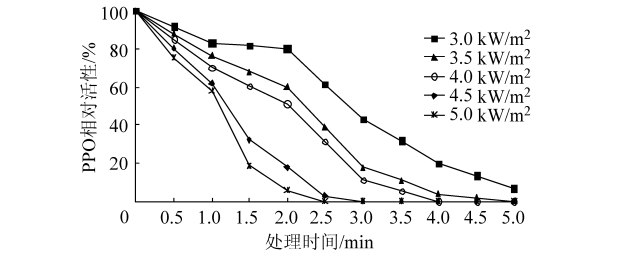


图 3 红外处理马铃薯片 PPO 相对活性随处理时间变化曲线

Fig.3 Relation of PPO relative activity and time under infrared processing

其中红外辐照度为 5.0、4.5、4.0 和 3.5 kW/m² 时,PPO 失活所需时间分别为 2.5、3.0、4.0 和 4.5 min。由此可知,当马铃薯片厚度一定时处理红外辐照度越高 PPO 失活越快。红外辐照度 3.0 kW/m² 时,5 min 内 PPO 不能完全失活,最低使 PPO 活性下降到未处理时的 7%。

图 4 为漂烫处理的马铃薯片 PPO 失活情况。试验中 5 个漂烫温度在 10 min 内均不能使 PPO 完全失活。100℃ 时处理 10 min,PPO 相对活性最多下降至未处理时的 20%。由此可见,红外处理较漂烫处理的灭酶效果更好。

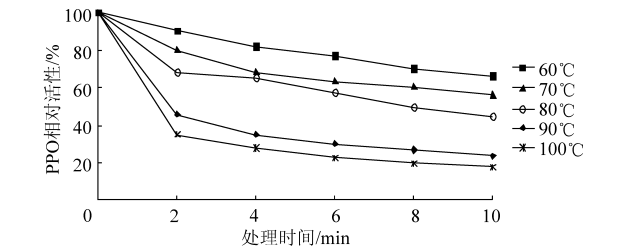


图 4 漂烫处理马铃薯片 PPO 相对活性随处理时间变化曲线

Fig.4 Relation of PPO relative activity and time under hot water blanching processing

2.3 亮度与色度

图 5 和图 6 分别为红外处理马铃薯片静置 30 min 时亮度和色度变化曲线。红外处理到一定程度,马铃薯片表面会有褐变现象发生,红外辐照度为 3.0 kW/m² 时,处理时间 5 min 以内马铃薯片没有变焦。红外辐照度为 3.5、4.0、4.5 和 5.0 kW/m² 时,马铃薯片变焦的临界时间分别为 2.0、2.5、3.0 和 4.0 min,因为马铃薯片表面变焦后不符合加工的要求,不属于本试验的研究内容,所以变焦后的亮度和色度均没有计入图 5 和图 6 中。

红外处理下,红外辐照度为 3.0、3.5、4.0、4.5 和 5.0 kW/m²,对应处理时间超过 4.0、3.5、2.5、1.5 和 1.5 min 时,在设定的冷却静置 30 min 内马铃薯片没有发生褐变,此时马铃薯片中的 PPO 在酶促褐变方面基本没有发挥作用。

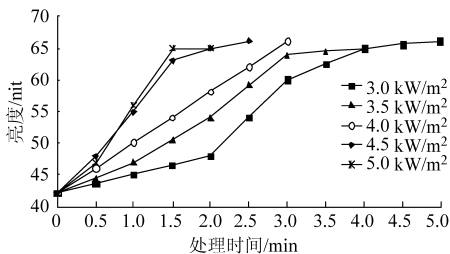


图 5 红外处理马铃薯片静置 30 min 时亮度随处理时间变化曲线

Fig. 5 Relation of brightness and time under infrared processing

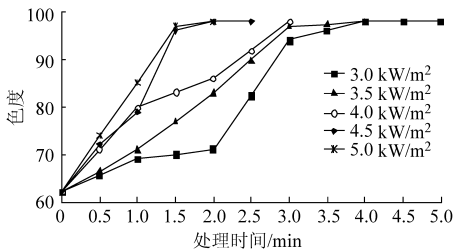


图 6 红外处理马铃薯片静置 30 min 时色度随处理时间变化曲线

Fig. 6 Relation of chromaticity and time under infrared processing

漂烫处理下,马铃薯片静置 30 min 时亮度随处理时间的变化如图 7 所示。由图 7 可知,马铃薯片在不同漂烫温度下处理 4 min、静置 30 min 时亮度发生明显变化,说明此时其褐变明显。漂烫温度为 60、70 和 80℃ 时,处理时间越长静置后亮度越接近马铃薯片的原始亮度 65 nit。原因是处理时间较短时,PPO 活性较高(其相对活性在 30% 以上),依然能够使马铃薯片发生褐变。然而,随着处理时间的增长,PPO 活性下降、发生褐变的程度下降、亮度上升,马铃薯片亮度接近原始亮度。在漂烫温度为 90 和 100℃ 情况下,如果处理时间分别超过 6 min 和 4 min 时,由于 PPO 活性过低(其相对活性已经降低 30% 以下)不足以在设定的冷却静置 30 min 内造成褐变,马铃薯片亮度基本没有变化。继续静置至 1 h 亮度始终维持在 65 nit,基本没有变化,所以此时酶促褐变反应得到了有效抑制。

图 8 为漂烫处理马铃薯片静置 30 min 时色度随处理时间变化曲线。马铃薯片色度变化趋势与亮度变化相似。漂烫温度为 60、70 和 80℃ 时,处理时间越长,静置后色度越接近马铃薯片的原始色度。在漂烫温度为 90 和 100℃ 情况下,如果处理时间分别超过 4 min 和 2 min 时,马铃薯片色度基本没有变化。原因也是由于 PPO 活性过低不足以在 30 min 内发生褐变。综上所述,在漂烫温度为 90 和 100℃ 情况下,如果处理时间分别超过 6 min 和 4 min 以上时,在设定的冷却静置 30 min 内马铃薯片没有发生

褐变,此时马铃薯片中的 PPO 在酶促褐变方面基本没有发挥作用。

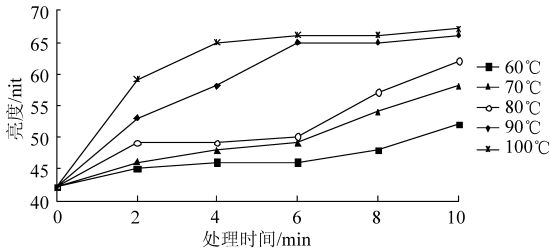


图 7 漂烫处理马铃薯片静置 30 min 时亮度随处理时间变化曲线

Fig. 7 Relation of brightness and time under hot water blanching processing

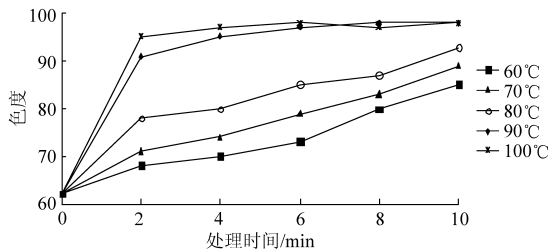


图 8 漂烫处理马铃薯片静置 30 min 时色度随处理时间变化曲线

Fig. 8 Relation of chromaticity and time under hot water blanching processing

综上所述,两种方法处理马铃薯片静置 30 min 后亮度和色度变化趋势基本相同,但由于红外能热效应和非热效应的双重影响使得 PPO 活性下降迅速,从而变化时间会缩短。由马铃薯片中 PPO 相对活性变化和亮度、色度变化情况分析可得,马铃薯片中 PPO 相对活性低于 30% 时,基本不会引起酶促褐变反应。

2.4 维生素 C 含量

图 9 为红外处理下马铃薯片中维生素 C 含量随处理时间变化曲线。由图 9 可以看出,红外处理下马铃薯片中维生素 C 含量下降迅速:红外辐照度越强,维生素 C 含量下降越快。红外辐照度 5.0 kW/m² 下处理 1 min 时,维生素 C 含量下降至原有的 20% 以下,3 min 时维生素 C 已基本全部被破坏;红外辐照度为 4.5 kW/m² 时,维生素 C 全部被破坏需要 5 min。漂烫处理的马铃薯片中维生素 C 含量随处理时间变化如图 10 所示。维生素 C 含量均有所下降,漂烫温度越高,维生素 C 含量下降越快,然而比红外处理时下降要慢。漂烫温度 100℃ 下处理 2 min 时,维生素 C 含量降至原有的 35%。造成这一结果的原因可能是红外处理时马铃薯片温度上升较快,高温使维生素 C 下降。同时由于维生素 C 在光照条件下易分解的特性,红外处理时非热效应可能会加速维生素 C 的分解,双重作用使得红外条

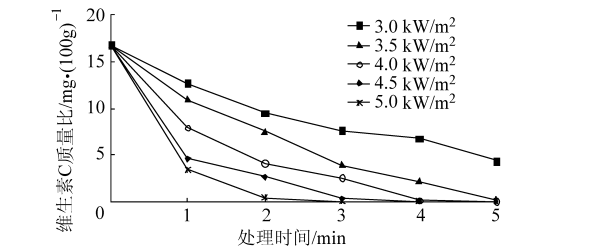


图 9 红外处理马铃薯片维生素 C 含量随处理时间变化曲线

Fig. 9 Relation of vitamin C content and time under infrared processing

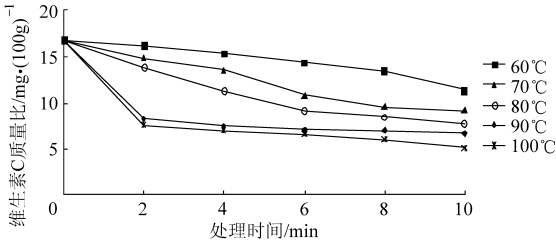


图 10 漂烫处理马铃薯片维生素 C 含量随处理时间变化曲线

Fig. 10 Relation of vitamin C content and time under hot water blanching processing

件下维生素 C 含量下降更快^[11]。

2.5 两种处理方法最优参数

为进一步比较两种处理方法的不同,综合考虑维生素 C 含量及 PPO 活性,得出红外及漂烫下最优的工艺参数,进而比较两者的优劣。

设 A 为 PPO 相对活性,B 为维生素 C 含量,x 为处理时间,y 为红外处理下红外辐照度,z 为漂烫处理时漂烫温度。使用 Matlab R2008b 软件中多元非线性拟合的方法^[12],处理试验中得出的参数及结果,可以得出红外处理及漂烫处理下数据拟合方程:红外处理时

A = -12 710x² + 12 710y² - 0. 1xy + 0. 2x - 0. 1y + 1. 3
B = -12 709x² + 12 711y² - 0. 4xy + 2. 3x - 4. 4y + 29. 1

漂烫处理时

A = -12 710x² + 12 710z² + 0. 1x + 1. 9
B = -12 710x² + 12 710z² - 1. 7x - 0. 3z + 34. 9

应用 Matlab 的优化模型软件,可以得出两种处理方法的最优参数及 PPO 相对活性和维生素 C 含量,如表 1 所示。

由表 1 可知,两种处理均可使 PPO 下降至不造成褐变的程度,同时维生素 C 含量变化也很小,红外处理下比漂烫处理下减小 1. 2%,二者无显著性差异。从处理时间上看,红外处理要明显比漂烫处理短,加工时间缩短 37. 5%。

2.6 能量利用率

在试验条件下,电烤箱在红外辐照度为 4 kW/m² 时的功率为 1 500 W。漂烫处理下,恒温水浴锅的额定功率为 1 000 W。由文献[13]可知,马铃薯的比热容是 3. 45 kJ/(kg·K),马铃薯片质量在红外处理下减小 0. 25 kg。

表 1 两种处理方法最优参数

Tab. 1 Optimum technology parameters under two processing				
处理 方法	处理强度/kW·m ⁻² (温度/℃)	处理时 间/min	PPO 相对 活性/%	维生素 C 质量 比/mg·(100 g) ⁻¹
红外	4	2. 5	30	6. 983
漂烫	(100)	4. 0	30	7. 068

能量利用率计算公式为

μ = (E₁ + E₂) / E₀ × 100% (2)

式中 μ——能量利用率,%

E₀——能耗(马铃薯、金属网吸收的能量,蒸发、辐射、对流消耗的能量,以及周围环境吸收的能量等总和),kJ

E₁——马铃薯吸收的能量,kJ

E₂——蒸发消耗的能量,kJ

经过试验并计算可以得出,红外灭酶处理下能量利用率为 30% 以上,与漂烫灭酶下 3% ~ 8% 的能量利用率相比,得到了很大的提升^[14]。

3 结论

(1) 红外灭酶与漂烫灭酶相比,红外灭酶从升温效果及处理时间上优于漂烫灭酶。从 PPO 失活情况来看,红外灭酶效率明显高于漂烫灭酶。从维生素 C 含量来看,红外灭酶对维生素 C 的破坏强于漂烫灭酶。

(2) 综合考虑两种灭酶处理后马铃薯片的多酚氧化酶相对活性、亮度、色度和维生素 C 含量,采用 Matlab 等软件拟合优化得出处理方法的最佳工艺参数:采用红外时辐照度 4. 0 kW/m²,处理时间 2. 5 min,维生素 C 质量比为 6. 983 mg/(100 g);漂烫时处理温度为 100℃,处理时间 4. 0 min,维生素 C 质量比为 7. 068 mg/(100 g)。

(3) 在灭活 PPO 活性一致的条件下,与传统的漂烫处理相比,红外处理可以缩短加工时间 37. 5%。同时红外处理下能量利用率也得到了很大提升。

参 考 文 献

- 1 农业工程技术编辑部. 马铃薯的种类及特性阐述[J]. 农业工程技术·农产品加工业, 2009(11): 22 ~ 24.
- 2 沈群. 薯类加工技术[M]. 北京: 中国轻工出版社, 2008.
- 3 赵明, 刘凡. 马铃薯多酚氧化酶的抑制研究[J]. 北京农业, 2011(9): 15 ~ 16.
- 4 王琼波, 陈琦, 冯金丹. 嘎拉苹果多酚氧化酶性质及其抑制方法研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(6): 118 ~ 121.
Wang Qiongbo, Chen Qi, Feng Jindan. Study on properties and inhibition methods of polyphenol oxidase from gala apple[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011, 40(6): 118 ~ 121. (in Chinese)
- 5 徐苇. 红外技术在食品工业中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2005(1): 86 ~ 89.
Xu Wei. The application of infrared technology on food industry[J]. China Food Additives, 2005(1): 86 ~ 89. (in Chinese)
- 6 林亚玲, 李树君, 潘忠礼. 苹果片红外加热同步灭酶脱水试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 70 ~ 73.
Lin Yaling, Li Shujun, Pan Zhongli. Experimental investigation on simultaneous dry-blanching and dehydration of apple slice under infrared heating[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 70 ~ 73. (in Chinese)
- 7 Pan Z, McHugh T H. Novel infrared dry-blanching (IDB), infrared blanching, and infrared drying technologies for food processing[J]. U. S. Patent Application, 2004(10): 917,797.
- 8 李云飞, 葛克山. 食品工程原理[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 115 ~ 117.
- 9 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 38 ~ 42.
Liu Chenghui, Hu Wenzhong, Jiang Aili, et al. Physio-biochemical changes of fresh-cut potato at different storage temperatures[J]. Food and Machinery, 2008, 24(2): 38 ~ 42. (in Chinese)
- 10 黄建韶, 张洪, 田洪现. 苹果中多酚氧化酶的性质[J]. 食品与机械, 2001(3): 21 ~ 22.
Huang Jianshao, Zhang Hong, Tian Hongxian. Characteristic of polyphenoloxidase in apple[J]. Food and Machinery, 2001(3): 21 ~ 22. (in Chinese)
- 11 尚远, 卢立新, 许文才. 橙汁饮料中维生素 C 的无氧分解动力学[J]. 食品工业科技, 2008(3): 120 ~ 122.
Shang Yuan, Lu Lixin, Xu Wencai. Anaerobic decomposition kinetics of vitamin C in orange juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(3): 120 ~ 122. (in Chinese)
- 12 张秉森. 基于非线性拟合的织物染色计算机配色研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2008.
Zhang Bingsen. Misalignment fitting-based fabric dyeing computer matches colors the research[D]. Qingdao: Qingdao University, 2008. (in Chinese)
- 13 徐林, 王金鹏, 邓力, 等. 热敏电阻法测量胡萝卜及马铃薯的热物性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 237 ~ 241.
Xu Lin, Wang Jinpeng, Deng Li, et al. Thermistor for measuring thermophysical properties of carrot and potato[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(11): 237 ~ 241. (in Chinese)
- 14 Bomben J L. Effluent generation, energy use, and cost of blanching[J]. Journal of Food Process Engineering, 1977, 1(4): 329 ~ 341.

~~~~~  
(上接第 109 页)

- 9 杨培周, 姜绍通, 郑志, 等. 碱性氧化物预处理玉米秸秆维管柱、皮层和表皮研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(增刊): 137 ~ 140.  
Yang Peizhou, Jiang Shaotong, Zheng Zhi, et al. Pretreatment of micro-column, cortex and epidermis of corn stover by alkali oxide[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(Supp.): 137 ~ 140. (in Chinese)
- 10 宋孝周, 吴清林, 傅峰, 等. 农作物与其剩余物制备纳米纤维素研究进展[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 106 ~ 112.  
Song Xiaozhou, Wu Qinglin, Fu Feng, et al. Research progress of nanocrystalline cellulose prepared from crops and agricultural residues[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 106 ~ 112. (in Chinese)
- 11 王万玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木质素的定量分析程序[J]. 微生物学通报, 1987, 14(2): 81 ~ 84.