

# 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期褐变的影响

何 萌<sup>1,2</sup>, 王 丹<sup>1</sup>, 马 越<sup>1</sup>, 赵晓燕<sup>1,\*</sup>, 童军茂<sup>2</sup>

(1.北京市农林科学院蔬菜研究中心, 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097;  
2.石河子大学食品学院, 新疆 石河子 832000)

**摘 要:** 研究弱酸电解水、强酸电解水、次氯酸钠、去离子水4种不同清洗处理对鲜切莲藕在4℃条件下贮藏14 d期间, 色差值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ,  $\Delta E^*$ 及色相角)、褐变度、多酚氧化酶(PPO)活性及整体感官质量的变化。结果表明: 弱酸电解水(pH 5.65, 有效氯剂量 48 mL/L, 氧化还原电位800 mV)能够有效保持鲜切莲藕的色泽品质和整体感官质量值, 同时抑制褐变, 降低PPO活性, 有效地改善鲜切莲藕的贮藏品质, 延长货架期。

**关键词:** 鲜切莲藕; 清洗剂; 色差; 褐变

## Effects of Different Sanitizers on Browning of Fresh-Cut Lotus Root during Cold Storage

HE Meng<sup>1,2</sup>, WANG Dan<sup>1</sup>, MA Yue<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>1,\*</sup>, TONG Jun-mao<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Agricultural Products of Fruits and Vegetables Preservation and Processing of Beijing, Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Food Science, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** The efficacy of four different sanitizers on fresh-cut lotus root stored under cold conditions was investigated. Cleaned and sliced lotus roots were stored at 4℃ for 14 days. Color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$  value, and hue angle), browning degree (BD), polyphenol oxidase (PPO) activity, and overall visual quality (OVQ) were examined every two days during the storage period. The results showed that weak acidic electrolyzed water (pH 5.65) with available chlorine concentration of 48 mL/L and oxidation reduction potential of 800 mV could maintain the color and OVQ value of fresh-cut lotus roots, inhibit the browning, and reduce the PPO activity more effectively during the storage period, improving the storage quality and extending the shelf-life of fresh-cut lotus roots.

**Key words:** fresh-cut lotus root; sanitizer; color difference; browning

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 18-0214-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201418041

随着人们消费观念改变及生活质量的提高, 鲜切蔬菜因其新鲜、方便、可食率高等特点, 市场需求量日益增加。莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn.), 睡莲科莲属多年生大型水生草本植物<sup>[1]</sup>, 是我国重要的水生蔬菜, 其组织脆嫩, 营养丰富, 成为了鲜切蔬菜消费的新趋势。鲜切莲藕是指新鲜的莲藕经清洗、整修、去皮、切分、护色、脱水、包装等处理, 供消费者立即食用或餐饮业使用的一种新式加工产品<sup>[2]</sup>。然而, 去皮、切分等加工过程导致组织受损, 呼吸作用及代谢反应加快, 产品失去新鲜特性, 整体品质下降, 商品价值降低<sup>[3]</sup>。同时, 不合理的清洗方式也可能会导致鲜切莲藕的损伤, 使细胞膜

破损, 营养物质外流, 丙二醛等有害产物积累等, 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性受外界刺激而活化, 这些都会进一步导致鲜切表面褐变, 影响鲜切莲藕的贮藏品质和货架期<sup>[4-5]</sup>。

目前, 对鲜切莲藕研究较多集中在使用不同方法对其进行护色保鲜, 包括SO<sub>2</sub>熏蒸、添加褐变抑制剂、隔离氧气、气调包装及低温贮藏等, 但这些方法存在着食品安全性、价格以及防褐变效果等问题<sup>[6]</sup>。对鲜切莲藕清洗的研究报道相对较少<sup>[5,7]</sup>, 传统的氯处理是鲜切产业广泛使用的清洗处理方式, 但其对热不稳定, 易与有机物反应生成氯化物残留, 对人体有一定致癌作用, 且产品的

收稿日期: 2013-11-06

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140204)

作者简介: 何萌(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬贮藏与加工。E-mail: hm2011106014@163.com

\*通信作者: 赵晓燕(1969—), 女, 研究员, 博士, 研究方向为功能性食品。E-mail: zhaoxiaoyan@nercv.org

风味和品质易被破坏<sup>[8-9]</sup>；此外，二氧化氯溶液对鲜切莲藕褐变方面的研究也有报道，但其在鲜切产品中的应用有待进一步研究<sup>[10]</sup>。Liu Zhuqing等<sup>[5]</sup>将鲜切黄瓜用弱酸电解水清洗5 min，其杀菌效果明显优于次氯酸钠，并且对环境无害；Koide等<sup>[7]</sup>也曾报道过弱酸电解水对鲜切白菜有很显著的杀菌作用；张向阳等<sup>[4]</sup>将酸性电解水应用于鲜切胡萝卜中，表明其最大程度地抑制了胡萝卜的组织损伤。

本实验以鲜切莲藕为研究对象，比较了传统清洗剂（次氯酸钠）和新兴清洗剂（电解水）等不同的清洗处理对鲜切莲藕贮藏期褐变的影响，以期对鲜切莲藕的生产加工提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

莲藕：购于北京市海淀区彰化路水果超市，处理前放入4℃冰箱。

次氯酸钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、邻苯二酚及丙酮均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

STN-C3-150酸氧化电位消毒水生成器 上海斯钦诺科贸有限责任公司；3-18K高速冷冻离心机 德国Sigma公司；CM-3700分光测色仪 日本柯尼卡-美能达公司；UV-1800分光光度计 日本岛津公司；HST-HS Labthink热封试验仪 济南兰光机电技术有限公司；DZKW-4电子恒温水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司；SC-316海尔立式冷藏柜 青岛海尔股份有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 莲藕处理

选取新鲜、无机械伤的莲藕经水洗去皮后切分为4~5 mm的薄片，分别用弱酸电解水、强酸电解水、次氯酸钠、去离子水4种不同的清洗剂清洗处理10 min（(15±1)℃），0.1% VC+0.5%柠檬酸+0.1% L-半胱氨酸护色，离心脱水后用聚乙烯包装袋（厚度32 μm；水蒸气透过率1.632 g·m/(m<sup>2</sup>·d)；CO<sub>2</sub>透过率13 927.765 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·24 h·0.1 MPa)；O<sub>2</sub>透过率2 743.579 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·24 h·0.1 MPa)）封口包装（150 g/袋），于4℃冰箱中贮藏并定期取样测定各指标。以去离子水处理为对照。

#### 1.3.2 清洗剂的制备

强酸电解水：酸氧化电位消毒水生成器电解0.8% NaCl溶液产生；弱酸电解水：用0.1 mol/L NaOH溶液调节强酸电解水至pH 5.65；次氯酸钠：将10%的次氯酸钠溶液稀释为有效氯终含量为100 mL/L的次氯酸钠清洗液。

清洗剂的基本参数为：pH值、氧化还原电位（oxidation reduction potential, ORP），由pH/ORP电极测得；有效氯剂量（available chlorine concentration, ACC），由Palintest测试仪测定。

表1 不同清洗剂的基本参数  
Table 1 The basic parameters of different sanitizers

清洗剂	pH	ACC/ (mL/L)	ORP/mV
强酸电解水	2.51	60	1 140
弱酸电解水	5.65	48	800
次氯酸钠	10.83	100	650
去离子水	7.41	0	86

### 1.3.3 相关指标测定

#### 1.3.3.1 色差的测定

通过CIE L\*a\*b\*对莲藕色差进行测定；L\*值取决于样品表面的反射率，表示样品表面的明亮度，是贮藏过程中由于酶促褐变或色素聚集引起切割表面变暗的一个指标性参数；L\*值越大表明切割表面的颜色越接近新鲜的自然色<sup>[1]</sup>，a\*、b\*值分别表示绿（-）-红（+）轴的色度和蓝（-）-黄（+）轴的色度<sup>[10]</sup>，ΔE\*值表示样品切割表面的总容差，以公式（1）计算得到<sup>[11-12]</sup>，色相角（H°）是重要的褐变参数<sup>[13]</sup>，表征褐变程度，以公式（2）或（3）计算得到；鲜切莲藕从冰箱中取出后在室温条件下平衡1 h，然后在室温条件下进行色差的测定<sup>[14]</sup>。

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2} \quad (1)$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (a^* > 0, b^* > 0) \quad (2)$$

$$\text{或 } H^\circ = 180^\circ + \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (a^* < 0, b^* > 0) \quad (3)$$

#### 1.3.3.2 褐变度（browning degree, BD）的测定<sup>[15-16]</sup>

丙酮干莲藕粉的制备参照杨明等<sup>[17]</sup>的方法，略有改动，从样品中随机取出5~6片莲藕，切碎放入研钵中研磨，迅速加10 mL蒸馏水和40 mL预冷的丙酮，充分研磨后，用纱布将其挤干得滤液，再将其进行抽滤；残渣用冷风吹干，放置于空气中2 h得到丙酮干莲藕粉备用。称取2.50 g丙酮干莲藕粉加50 mL蒸馏水连续搅拌15 min，于20℃，3 000×g离心20 min，上清液在波长410 nm波长处测吸光度，用A<sub>410 nm</sub>表示BD。

#### 1.3.3.3 PPO活性测定

参照Du Jinhua等<sup>[10]</sup>的方法，略有改动<sup>[18-19]</sup>。粗酶液的提取：取50 g莲藕组织，加入100 mL 0.2 mol/L预冷的pH 7.0的磷酸盐缓冲液（含1.0%的交联聚乙烯吡咯烷酮），快速打浆过滤，于12 000×g离心15 min（4℃），收集上清液备用。反应体系包括：2.8 mL 0.02 mol/L邻苯二酚底物（37℃保温），0.2 mL酶液；0.02 mol/L邻苯二酚底物提前用0.05 mol/L磷酸盐缓冲液（pH 7.0，4℃）配制；于410 nm波长处测定吸

光度,以缓冲液为对照组,每5 s记录一次数据,共记录3 min,以活性曲线最初直线部分的斜率计算酶活性。一个酶活力单位(U)定义为实验条件下,60 s内吸光度改变0.001所需的酶量。

### 1.3.3.4 整体感官质量(overall visual quality, OVQ)评价<sup>[20-21]</sup>

一般认为,OVQ是影响鲜切产品货架期的重要指标<sup>[22]</sup>;整体感官质量评价是由经过培训的专业小组人员(6人一组)对莲藕样品进行评分;对样品的色泽、气味及可接受程度进行打分,分值范围1~9分;9分为非常好;7分为很好;5分为好(适销性的极限);3分为一般(使用性的极限);1分为差(不可食用)。

### 1.4 统计分析

图像绘制采用Origin 8.0软件(美国Origin Lab Corporation公司);每个处理和评估期做3次重复,用DPS 7.05数据处理系统软件进行数据处理,Duncan多范围检验进行方差分析( $P \leq 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期色差的影响

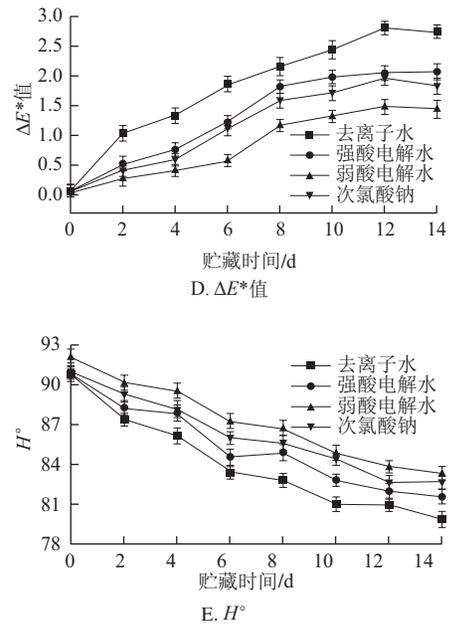
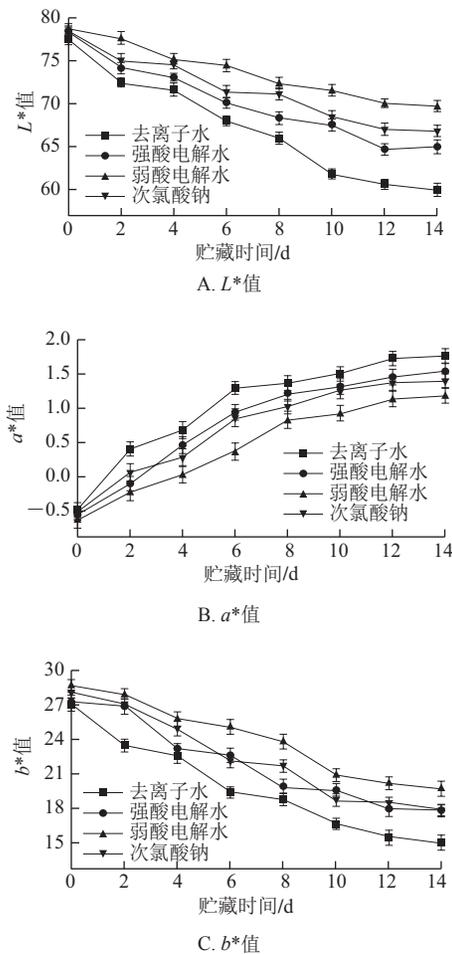


图1 不同清洗处理后鲜切莲藕贮藏期色差变化

Fig.1 Effects of different sanitizers on color values of fresh-cut lotus root during cold storage

不同清洗剂处理后鲜切莲藕样品 $L^*$ 值都随贮藏时间的延长而下降(图1A),去离子水组的 $L^*$ 值下降最快(贮藏末期为60),而弱酸电解水处理组的 $L^*$ 值在整个贮藏期内都保持在较高水平(贮藏末期为70);强酸电解水比次氯酸钠处理的样品 $L^*$ 值稍低一些( $P > 0.05$ )。鲜切莲藕的 $a^*$ 值变化如图1B所示,贮藏前期,去离子水组和处理组的样品 $a^*$ 值上升程度较大, $a^*$ 值越小,表明样品的绿(-)值越大,褐变程度越大,弱酸电解水处理组的 $a^*$ 值在整个贮藏期内都保持在最低水平( $P < 0.05$ )。样品的 $b^*$ 值变化刚好与 $a^*$ 值相反, $b^*$ 值越大,样品的黄(+)值越大,切面的褐变程度越小(图1C)。 $\Delta E^*$ 值表征切割面的总色差变化,如图1D所示,弱酸电解水处理组的 $\Delta E^*$ 值显著低于其他处理组( $P < 0.05$ )。 $H^\circ$ 代表样品的色度,能有效反应切面的颜色和外观,随着贮藏期的延长,样品的 $H^\circ$ 不同程度地减小,其中去离子水下降幅度最大,强酸电解水和次氯酸钠处理组之间差异性不显著,而弱酸电解水处理组的 $H^\circ$ 的下降趋势最慢(图1E);表明弱酸电解水处理能有效地保持莲藕鲜切表面的色泽,所有清洗处理对鲜切莲藕色差变化的影响具有一定的差异性,可能是由于其对样品组织的代谢反应不同所致。

### 2.2 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期BD的影响

去皮切片等加工处理会破坏莲藕组织的完整性,使位于液泡中的酚类物质和位于线粒体或叶绿体中的多酚氧化酶流出,在氧气参与的情况下发生酶促反应,酚类物质被氧化为醌,醌再进一步聚合为色素物质,导致样品切片表面褐变<sup>[16,23]</sup>。鲜切莲藕BD变化见图2,随着贮

藏期的延长, 样品的BD逐渐增大, 贮藏的前6 d, 所有样品的BD升高较快, 之后变化较为缓慢, 去离子水组的BD在整个贮藏期内都处于较高水平, 而弱酸电解水处理组的BD最小, 其次为次氯酸钠和强酸电解水; 贮藏末期弱酸电解水处理组的BD比去离子水组降低33.6% ( $P<0.05$ ); 而次氯酸钠和强酸电解水处理之间无显著性差异。表明弱酸电解水清洗能够有效抑制鲜切莲藕的褐变, 这与色差分析结果相一致。

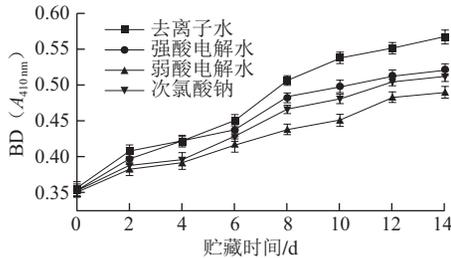


图2 不同清洗处理后鲜切莲藕贮藏期BD变化

Fig.2 Effects of different sanitizers on BD of fresh-cut lotus root during cold storage

### 2.3 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期PPO活性的影响

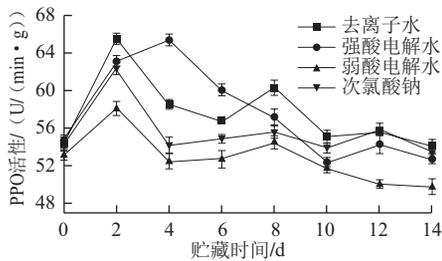


图3 不同清洗处理后鲜切莲藕贮藏期PPO变化

Fig.3 Effects of different sanitizers on PPO activity of fresh-cut lotus root during cold storage

果蔬组织的褐变会随着PPO活性的增加而增加<sup>[24]</sup>。鲜切莲藕PPO活性变化见图3, 不同清洗处理组的变化趋势不尽相同, 并具有一定的波动性; 整个贮藏期所有样品的PPO活性都呈现先增大后减小的趋势, 强酸电解水、弱酸电解水和次氯酸钠处理组PPO活性在第2天达到峰值, 而去离子水组在第4天达到峰值, 可能是因为切割诱导了莲藕组织中处于潜伏状态的PPO, 使其活性在短时间内快速增强, 对自身组织起到保护作用<sup>[25]</sup>; 与去离子水组相比, 弱酸电解水处理组的PPO活性变化较为稳定, 整个贮藏期都处于较低水平 ( $P<0.05$ ), 贮藏末期PPO活性比去离子水低24.8%, 表明弱酸电解水能有效地抑制鲜切莲藕PPO活性, 有益于品质的保持。

### 2.4 不同清洗处理对鲜切莲藕贮藏期OVQ的影响

鲜切莲藕的OVQ值变化见图4, 随着贮藏时间的延长, 所有样品的OVQ值都逐渐下降, 去离子水组在贮藏

第10天时降到了5, 强酸电解水和次氯酸钠处理组样品贮藏末期的OVQ值均大于5, 而弱酸电解水处理组样品贮藏末期的OVQ值大于6 ( $P<0.05$ ), 就整体可接受性而言, 去离子水组样品比弱酸处理组样品的可接受度低45%, 表明弱酸电解水能有效保持鲜切莲藕的整体品质, 延长货架期。

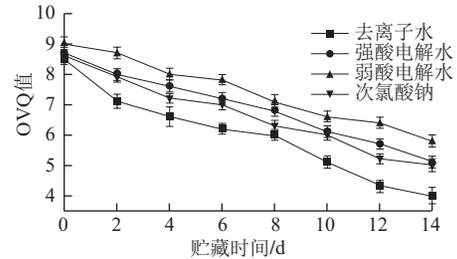


图4 不同清洗处理后鲜切莲藕贮藏期OVQ变化

Fig.4 Effects of different sanitizers on OVQ of fresh-cut lotus root during cold storage

## 3 讨论与结论

清洗杀菌工艺不仅能保持鲜切产品的品质, 并能有效延长产品的货架期, 成为鲜切产业体系中的关键控制点。切割加工引起的组织伤害会刺激鲜切莲藕呼吸强度的增强, 与褐变相关酶的活性也随之增大, 导致切割表面发生褐变, 降低了鲜切莲藕的贮藏品质; 不同清洗剂的使用能够不同程度地抑制了鲜切莲藕的褐变, 保持鲜切莲藕的贮藏品质; 结果表明: 作为一种新兴的清洗剂, 弱酸电解水的有效氯浓度更低, 安全性更好, 并且能够最大程度地保持鲜切莲藕色差及整体感观品质; 果蔬组织的褐变会随着PPO活性的增加而增加, 弱酸电解水的应用有效地降低PPO活性, 抑制褐变的发生, 延长鲜切莲藕的货架期; 张向阳等<sup>[4]</sup>对鲜切胡萝卜的研究也表明了酸性电解水抑菌效果显著又不会造成鲜切胡萝卜组织损伤; 本实验中弱酸电解水处理的莲藕样品褐变度比去离子水处理低了33.6%, PPO活性比去离子水处理低24.8%, 去离子水组样品比弱酸处理组样品的可接受度低45.0%, 表明弱酸电解水在鲜切蔬菜产业的应用前景将十分广阔, 今后更多的研究要着重于使用酸性电解水模拟实际工厂产业化生产中工艺参数及条件的探索。

### 参考文献:

- [1] 中国科学院武汉植物研究所. 中国莲[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 徐莉. 鲜切根茎类蔬菜褐变控制技术的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [3] 郭玉蓉, 李永才, 韩舜愈, 等. 鲜切马铃薯保藏性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(2): 36-38.
- [4] 张向阳, 王丹, 赵晓燕, 等. 清洗方式对鲜切胡萝卜处理效果的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 189-192.

- [5] LIU Zhuqing, DONG Yu, JING Wenshan. Decontamination efficiency of slightly acidic electrolyzed water on fresh-cut cucumbers[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7: 1-5.
- [6] PILIZOTA V, SUBARIC D. Control of enzymatic browning of foods[J]. Food Technology and Bio-technology, 1998, 36(3): 219-227.
- [7] KOIDE S, TAKEDA J I, SHI J, et al. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage[J]. Food Control, 2009, 20: 294-297.
- [8] GIL M I, SELMA M V, GALVEZ F L, et al. Fresh-cut product sanitation and washing water disinfection: problems and solutions[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 134: 37-45.
- [9] ALLENDE A, SELMA M V, GALVEZ F L, et al. Role of commercial sanitizers and washing system on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49: 155-163.
- [10] DU Jinhua, FU Yucheng, WANG Niya. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on browning of fresh-cut lotus root[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42: 654-659.
- [11] MINOLTA K. Precise color communication[M]. Mahwah: NJ, 1998.
- [12] NOURIAN F, RAMASWAMY H S. Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes: part I. Texture[J]. Journal of Food Process Engineering, 2003, 26: 377-394.
- [13] MCGUIRE R G. Reporting of objective color measurements[J]. Horticultural Science, 1992, 27: 1254-1255.
- [14] HOLCROFT D M. Controlled atmosphere induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 17: 19-32.
- [15] 胡晓丹, 卢黎明, 谢笔钧. 莲藕酶促褐变的研究[J]. 江苏食品与发酵, 1996(6): 1-4.
- [16] 胡军. 莲藕中多酚氧化酶的特性及莲藕的护色[J]. 食品与发酵工程, 1989(3): 42-51.
- [17] 杨明, 汪志君. 莲藕中多酚氧化酶特性的研究[J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(1): 47-51.
- [18] FU Yucheng, ZHANG Kaili, WANG Niya, et al. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on polyphenol oxidases from Golden Delicious apple[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40: 1362-1368.
- [19] XING Yage, LI Xihong, XU Qianlian, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technology, 2010, 11: 684-689.
- [20] GO'MEZ-LO'PEZ V M, RAGAERT P, RYCKEBOER J, et al. Shelf-life of minimally processed cabbage treated with neutral electrolysed oxidising water and stored under equilibrium modified atmosphere[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 117: 91-98.
- [21] 何萌, 王丹, 马越, 等. 不同清洗剂对鲜切马铃薯贮藏过程品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 328-331.
- [22] PEREZ-GAGO M B, SERRA M, DEL-RIO M A. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39: 84-92.
- [23] 李湘利, 刘静, 魏子浩, 等. 姜蒜浸提液与壳聚糖复合保鲜切分莲藕护色效果的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 253-259.
- [24] 赵东海, 王云, 张建平. 果蔬酶促褐变的条件及控制方法研究[J]. 长江蔬菜, 2005(7): 32-34.
- [25] 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): 38-41.