

# 微酸性电解水对鲜米线杀菌及保鲜效果的研究

刘培红, 陈艾, 高晴, 范江平, 和劲松\*

云南农业大学食品科学技术学院(昆明 650201)

**摘要** 为探讨微酸性电解水(Slightly acidic electrolyzed water, SAEW)对鲜米线储藏过程中的杀菌及延长保鲜期的作用,以鲜米线为研究对象,对不同的有效氯浓度、浸泡时间、料液比进行试验,研究了最佳的杀菌条件。采用响应面分析法(RSM)对微酸性电解水的杀菌条件进行优化,从而确定微酸性电解水杀菌的最佳参数。结果表明:最佳参数为有效氯质量浓度32 mg/L、浸泡时间9 min、料液比1:11 g/mL,鲜米线表面的减菌数量为 $3.24 \pm 0.03$  lg(CFU/g)。在此条件下,在储藏48 h内鲜米线表面减菌数随时间延长而增加。依据鲜米线菌落总数质量标准,试验组鲜米线保鲜期比对照组延长约16 h,从而降低了鲜米线腐败变质的速率。

**关键词** 微酸性电解水;鲜米线;保鲜效果

## Study on Sterilization and Preservation of Fresh Rice Noodles with Slightly Acidic Electrolyzed Water

LIU Peihong, CHEN Ai, GAO Qing, FAN Jiangping, HE Jinsong\*

College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University (Kunming 650201)

**Abstract** In order to investigate the slightly acidic electrolyzed water (SAEW) with sterilization and extended shelf-life of fresh noodle during storage, taking the fresh rice line as the research object, the different effective chlorine concentration, soaking time, and the ratio of material to liquid were tested, and the best sterilization conditions were studied. By using the method of response surface analysis (RSM), slightly acidic electrolyzed water sterilization conditions were optimized to determine the optimal parameters of slightly acidic electrolyzed water sterilization. The results showed that the best parameters were effective chlorine concentration 32 mg/L, soaking time 9 min, and material to liquid ratio of 1 : 11 g/mL, and the number of bacteria reducing on fresh noodle line was  $3.24 \pm 0.03$  lg (CFU/g). Under these conditions, the number of bacteria decreased on the surface of fresh rice noodle during storage for 48 h. The freshness of fresh rice noodle in the experimental group was increased by 16 h compared with that in the control group, which reduced the rate of spoilage of fresh rice noodle.

**Keywords** slightly acidic electrolyzed water; fresh noodle; preservation effect

电解水又称电生功能水、氧化还原电位水,是在特殊装置中电解食盐或稀盐酸溶液而获得的一类具有

特殊功能的酸性电解水和碱性电解水的总称。其中微酸性电解水,其有效氯几乎完全以杀菌效果极强的次

1997, 59(1): 115-119.

[10] SØRENSEN G, JØRGENSEN S S. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-luntersuchung-und Forsh Chung A, 1996, 202: 205-210.

[11] 杨毅青. 贮藏和加工工艺对三种淡水鱼品质及氯霉素残留的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2014: 25-26.

[12] YANG Y Q, WANG Q, WANG Q, et al. Determination of chloramphenicol Residual in freshwater fish by HPLC[J]. Advanced Materials Research, 2013(781/784): 1708-1711.

[13] LU Y B, ZHENG T L, HE X, et al. Rapid determination of chloramphenicol in soft-shelled turtle tissues using on-line MSPD-HPLC-MS/MS[J]. Food Chemistry, 2012, 134(1): 533-539.

[14] JUNCHER. Oxidative and sensory changes during bulk and retail storage of hot-filled turkey casserole[J]. Zeitschrift für

Lebensmitte-luntersuchung-und Forsh Chung A, 1998, 206: 378-381.

[15] 吴晓. 不同贮藏条件对鲢鱼、草鱼、鲤鱼鱼糜品质的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2012: 22-30.

[16] OENLENSCHALGER J. Chemical composition of the flesh and other tissues of Antarctic fish species of the families Channichthyidae and Nototheniidae[J]. Food Chemistry, 1991, 40: 159-167.

[17] 韩庆, 李丽立, 黄春红, 等. 洞庭湖鲢鱼体表黏液和肌肉营养组成对比分析[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 97-101.

[18] 姚燕佳, 张进杰, 顾伟钢, 等. 不同储藏温度对鲢鱼鲜度品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(2): 212-218.

[19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化委员会. 鲜、冻禽产品: GB 16869—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

氯酸分子的形式存在, 杀菌能力是次氯酸根的80~150倍<sup>[1]</sup>。此外还具有无残留、制取方便、对人体无害、不刺激皮肤等特点<sup>[2-3]</sup>。因具有杀菌高效、绿色环保、制取方便、成本低廉等优点而得到了广泛的关注。目前, 国内外关于微酸性电解水的应用研究主要集中在食品加工<sup>[4-5]</sup>、农业生产、医疗卫生三大领域, 且都具有广阔的发展前景。目前国内外关于微酸性电解水的研究主要是对食品表面杀菌效果的探讨<sup>[6-8]</sup>, 而在鲜米线保鲜中的应用研究却鲜有报道。

鲜米线是一种我国传统风味小吃, 以早先稻米为主要原料加工, 经糊化成型而得。我国南方地区和东南亚地区是生产加工和喜食米线的重要地区<sup>[9]</sup>。鲜米线土法生产则将湿产品在街头或小餐馆作为快餐销售。云南“过桥米线”属于土法生产方式<sup>[10]</sup>。这种土法生产方式使得鲜米线表面附着许多微生物, 导致其保质期较短, 这些微生物会加速米线鲜度的下降、品质的劣变。此外, 病原微生物的生长繁殖, 直接影响鲜米线的食用安全性, 危害人体健康。为保持鲜米线的鲜度及安全性, 通常进行杀菌处理降低其微生物数量。因此, 寻找出能够有效控制微生物的安全风险、保证鲜米线特有风味、口感、品质的杀菌技术已成为亟待解决的问题, 这对于推动鲜米线保鲜产业的发展具有重要意义。

试验以鲜米线为研究对象, 利用微酸性电解水对鲜米线表面微生物浸泡处理, 设计单因素试验, 对在贮藏过程中鲜米线保鲜效果的影响进行研究, 优化最佳杀菌条件, 扩大微酸性电解水在鲜米线杀菌保鲜上的应用范围, 为鲜米线的贮藏保鲜和提高食用安全性提供一种有效的方法。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 材料与试剂

籼米: 市售。

平板计数琼脂粉、孟加拉红培养基粉(分析纯, 广东环凯微生物科技有限公司); 氯化钠、酚酞、氢氧化钠(分析纯, 四川西陇化工有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

“水神”微酸性电解水生成机(HD-240L, 上海旺旺集团); 卤素水分测定仪(上海佳实电子科技有限公司); SPX-150B-Z恒温生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); JJCJ-CJ-1FD超洁净工作台(苏州市金净净化设备科技有限公司); DKS恒温水浴锅(嘉兴中新医疗仪器有限公司); Seven-Multi型pH/电导率/离子综合测试仪(北京松信宏泽科技有限公司); TTL-10B超纯水机(北京同泰联科技发展有限公司); hr2104打浆机。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 鲜米线制备的工艺流程及要点

籼米→清洗除杂→浸泡→打浆粉碎→点浆→铺浆→蒸浆→冷却→切条

以籼米为原料, 清除石子、糠皮等杂质, 温水浸泡10~20 min, 使米粒吸水软化, 便于打浆磨细。用沸水点浆, 使淀粉部分糊化。铺浆时搅拌均匀, 蒸粉厚度为1.3 mm左右, 经蒸浆, 最终制得鲜米线厚约2 mm, 宽约2.5 mm。

#### 1.3.2 单因素试验

分别以不同的有效氯浓度、浸泡时间、料液比为单因素进行试验, 测定鲜米线表面的减菌数。

#### 1.3.3 响应面试验分析

为综合考虑各因素对鲜米线保鲜效果的影响, 在单因素试验的基础上, 根据Box-Behnken中心组合试验设计原理<sup>[11-12]</sup>, 以样品中减菌数( $Y$ )为指标, 选取有效氯浓度( $A$ )、浸泡时间( $B$ )和料液比( $C$ )3个因素进行优化设计。

#### 1.3.4 SAEW的制备

以自来水为原水, 9%的稀盐酸溶液为辅液, 用“水神”电解水机制取微酸性电解水。电解时间为30 min, 并在制备后1 h内使用<sup>[13]</sup>。pH和ORP(氧化还原电位)值采用Seven-Multi型pH/电导率/离子综合测试仪直接测定。对每个水样, 以上指标重复测定3次。有效氯浓度测定用碘量法<sup>[14]</sup>。

### 1.4 数据处理

对于每一项指标的测定, 均有独立的重复试验, 最终数据汇总在一起求平均值。利用方差分析(ANOVA)比较处理组间的差异显著性(SPSS 16.0), 显著性差异水平 $p < 0.05$ ; 使用Design-Expert进行优化分析得到二次回归方程模型。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 有效氯浓度对鲜米线杀菌效果的影响

为研究有效氯浓度对鲜米线表面微生物杀菌效果的影响, 按照料液比1:5 g/mL, 将鲜米线与有效氯质量浓度为20, 25, 30和35 mg/L的微酸性电解水进行混合, 浸泡处理20 min后, 捞出沥干测定其表面减菌数, 结果如图1所示。

由图1可知, 当有效氯质量浓度为20 mg/L时, 鲜米线表面减菌数为0.73 lg(CFU/g); 当有效氯质量浓度达到30 mg/L时, 减菌数增加至1.96 lg(CFU/g), 鲜米线表面微生物基本被杀死。鲜米线表面减菌数随有效氯浓度的增加而显著升高。所以随着有效氯浓度的升高, 微酸性电解水的杀菌效果逐渐增强, 此结论与李华贞等<sup>[15]</sup>的研究结论相吻合。李华贞等<sup>[15]</sup>用微酸性电解水对菠菜进行浸泡处理发现, 当有效氯质量浓度由7.85 mg/L升至31.37 mg/L时, 菠菜表面的微生物逐渐减少, 杀菌效果逐渐增强; 而当有效氯质量浓

\*通讯作者; 基金项目: 云南省教育厅科学研究基金重点项目(2014Z081), 云南省科技厅创新引领与科技型企业培养计划(2016RA040), 国家自然科学基金(31371875), 北京工商大学食品质量与安全北京实验室开放课题资助项目

度继续升高至67.96 mg/L时, 杀菌效果则无显著性变化, 表明微酸性电解水有效氯质量浓度在30 mg/L时已达到较好的杀菌效率。因此从杀菌效果的有效性考虑, 选择30 mg/L为较好有效氯质量浓度。

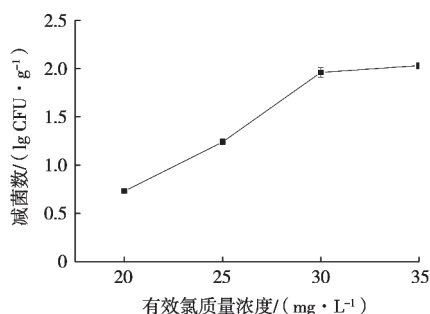


图1 不同有效氯浓度对鲜米线表面减菌数的影响

### 2.1.2 料液比对鲜米线杀菌效果的影响

为研究不同料液比处理对鲜米线表面微生物杀菌效果的影响, 选取有效氯质量浓度30 mg/L, 在料液比为1:5, 1:10, 1:15和1:20 g/mL的条件下浸泡处理鲜米线20 min后捞出沥干, 测定其表面减菌数, 结果如图2所示。

由图2得知, 随着料液比的增加, 鲜米线表面减菌数显著增加, 当料液比在1:15 g/mL之后, 其鲜米线表面减菌数量变化趋于平稳。当料液比为1:5 g/mL时, 鲜米线表面减菌数为1.96 lg (CFU/g); 当料液比增加到1:15 g/mL时, 减菌数为3.71 lg (CFU/g), 鲜米线表面微生物被完全杀死。莫根永等<sup>[16]</sup>研究了在不同料液比条件下, 强酸性电解水对南美白对虾的减菌效果, 结果表明对微生物的杀菌效果随微酸性电解水用量的增加而增强。考虑到微酸性电解水的使用量, 选择1:15 g/mL为较适料液比。

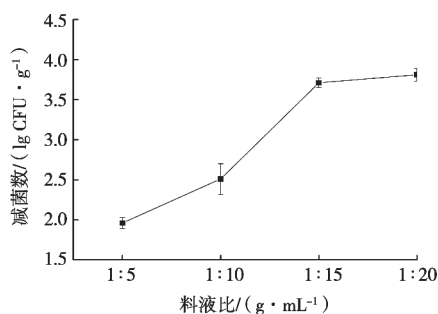


图2 不同料液比对鲜米线表面湿米线表面减菌数的影响

### 2.1.3 浸泡时间对鲜米线杀菌效果的影响

为研究浸泡时间对鲜米线表面微生物杀菌效果的影响, 选择有效氯质量浓度30 mg/L, 按照料液比1:15 g/mL与鲜米线混合, 分别浸泡处理5, 10, 15和20 min, 将样品捞出沥干, 测定其表面减菌数, 结果如图3所示。

由图3得知, 在5~10 min之间, 减菌数随时间的

延长而增加, 由1.07 lg (CFU/g) 增加至1.78 lg (CFU/g)。在10~20 min之间, 减菌数增加量趋于平稳。所以微酸性电解水的有效氯浓度随时间的延长而有所衰减, 浸泡时间过长, 微酸性电解水杀菌效力逐渐减弱。李国威等<sup>[17]</sup>采用电解水处理虾夷扇贝后, 其体内的细菌总数和大肠菌群的数量随着时间的延长而呈现降低的趋势。因此结合微酸性电解水中有效氯浓度随时间的衰减及加工时间, 选择10 min为较好浸泡时间。

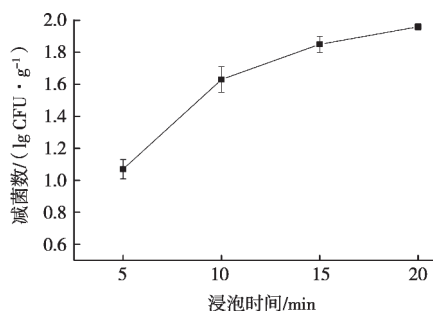


图3 不同浸泡时间对鲜米线表面减菌数的影响

## 2.2 响应面优化试验及结果分析

为确保微酸性电解水有效控制鲜米线表面微生物生长, 在单因素试验基础上, 根据Box-Behnken试验设计原理, 选取有效氯浓度、浸泡时间、料液比进行三因素三水平的响应面分析法, 试验设计方案和结果见表1。以减菌数为测量指标, 结果见表2。

表1 响应面分析试验设计

因素	水平		
	-1	0	1
A有效氯质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	25	30	35
B浸泡时间/min	5	10	15
C料液比/(g·mL <sup>-1</sup> )	1:10	1:15	1:20

表2 试验设计与结果

序号	A	B	C	Y减菌数/lg (CFU·g <sup>-1</sup> )
1	0	1	-1	2.51
2	0	0	0	3.13
3	-1	-1	0	1.93
4	1	0	1	3.69
5	0	0	0	3.12
6	0	-1	-1	2.15
7	0	0	0	3.07
8	0	0	0	3.15
9	1	0	-1	3.01
10	1	-1	0	3.47
11	-1	0	-1	1.86
12	-1	1	0	2.47
13	1	1	0	3.28
14	0	1	1	3.35
15	0	-1	1	2.66
16	0	0	0	2.98
17	-1	0	1	2.46

采用Design-Expert软件对试验数据进行回归分析, 因此可求出影响因素的一级效应、二级效应以及交互作用的关联式, 得到回归方程:

$$Y_1 = 3.09 + 0.59 \times A + 0.18 \times B - 0.38 \times C - 0.18 \times A \times B + 0.02 \times A \times C + 0.083 \times B \times C - 0.11 \times A^2 - 0.19 \times B^2 - 0.23 \times C^2 \quad (1)$$

对回归模型进行方差分析, 结果如表3所示。由表3可得, 模型 $p < 0.0001$ , 表明响应回归模型达到了极显著水平; 失拟项 $p = 0.0919 > 0.05$ , 差异为不显著, 说明回归方程对试验拟合情况较好。试验误差小; 模型的校正系数 $R^2 = 0.9826$ , 说明该方程拟合程度良好。模型修正系数 $R^2_{Adj} = 0.9601$ , 表明该模型较好地反映了各因素的关系。由表3可知, 各因素影响鲜米线表面减菌数大小依次为: 有效氯浓度(A) > 料液比(C) > 浸泡时间(B)。响应值Y的一次项A、C对鲜米线表面减菌数达极显著水平, B对鲜米线表面减菌数达到显著水平; 交互项AB对鲜米线表面减菌数达到显著水平, 二次项 $B^2$ 、 $C^2$ 对减菌数量达到显著水平。

表3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	4.539 719	9	0.504 413	43.821 19	<0.000 1	**
A	2.796 613	1	2.796 613	242.957 3	<0.000 1	**
B	0.245	1	0.245	21.284 52	0.002 4	**
C	0.864 6	1	0.864 6	75.113 71	<0.000 1	**
AB	0.133 225	1	0.133 225	11.574 00	0.011 4	*
AC	0.001 6	1	0.001 6	0.139 001	0.720 3	
BC	0.027 225	1	0.027 225	2.365 188	0.168 0	
$A^2$	0.048 658	1	0.048 658	4.227 183	0.078 8	
$B^2$	0.160 105	1	0.160 105	13.909 24	0.007 4	*
$C^2$	0.217 921	1	0.217 921	18.932 02	0.003 4	*
残差	0.080 575	7	0.011 511			
失拟项	0.061 975	3	0.020 658	4.442 652	0.091 9	
纯误差	0.018 6	4	0.004 65			
总离差	4.620 294	16				

$R^2 = 0.9826$      $R^2_{Adj} = 0.9601$

注:  $p < 0.05$ , 差异显著;  $p < 0.01$ , 差异极显著

综上所述, A、B、C三个因素与Y响应值之间的回归方程模型都可用于代替试验中的真实点, 从而对结果进行预测分析。

根据上述回归方程与回归模型方差分析表绘出双因子效应分析图, 见图4。两因素之间的影响基本成抛物线型关系, 且均有一个极大值点, 变化趋势是先增大后减小。

通过软件Box-Behnken求解回归方程, 得到微酸性电解水处理对鲜米线表面微生物杀菌达到最佳优化参数: 有效氯质量浓度31.6 mg/L、浸泡时间9.25 min、料液比1: 10.75 g/mL。考虑到实际操作, 修正为: 有效氯质量浓度32 mg/L、浸泡时间9 min、处理

料液比1: 11 g/mL。

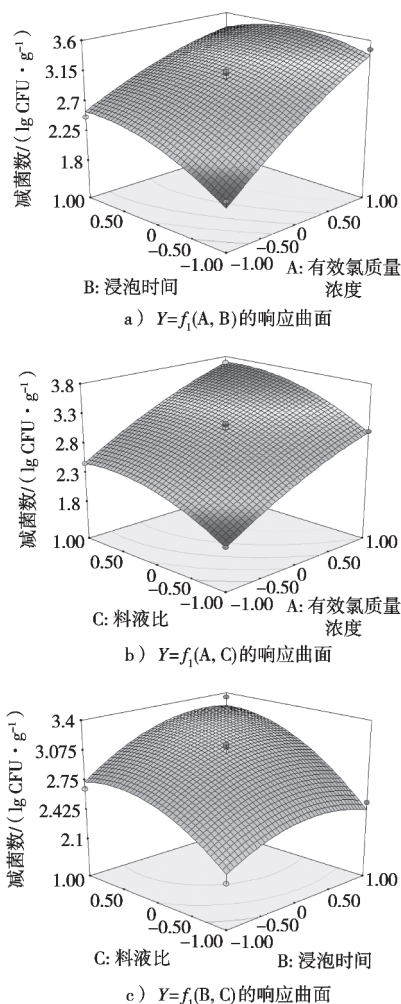


图4 微酸性电解水杀灭鲜米线表面菌落总数的响应曲面

### 2.3 验证试验

在最佳的组合条件下重复试验3次, 测定实际的减菌数为 $3.24 \pm 0.03 \lg(\text{CFU/g})$ , 与预测值 $3.25 \lg(\text{CFU/g})$ 基本吻合, 偏差较小。均与预测值相对误差小于2%, 说明得到的回归模型与实际情况拟合较好, 进一步验证了该模型的可行性, 具有实用价值。

### 2.4 处理后的鲜米线在储藏过程中对其表面菌落总数的影响

在上述优化条件下, 用微酸性电解水处理鲜米线, 将处理后样品置于25 °C恒温箱中进行为期48 h的储藏, 并定期测定鲜米线表面菌落总数<sup>[18]</sup>。

鲜米线中水分含量高、蛋白质含量高, 便于微生物生长繁殖, 污染鲜米线使其腐败变质。因此储藏过程主要用微酸性电解水处理后, 对微生物的影响进行研究。由图5可知, 对照组与试验组鲜米线表面菌落总数均随着储藏时间的延长而增加, 试验组的微生物生长速率明显低于对照组, 当储藏天数相同时, 试验组

的样品微生物总数低于对照组的样品。在0~24 h时, 对照组样品表面菌落总数由3.55 lg (CFU/g) 增长至9.05 lg (CFU/g), 样品腐败, 失去商业价值; 试验组样品表面菌落总数由1.69 lg (CFU/g) 增长至5.32 lg (CFU/g), 菌落总数<5.90 lg (CFU/g), 样品仍具有商业价值。48 h内试验组与对照组内微生物总数保持显著差异。对照组样品表面菌落总数达到5.90 lg (CFU/g) 需约8 h, 试验组需约24 h, 说明SAEW处理可延长鲜米线保鲜期约16 h。结果表明, 经微酸性电解水处理后能有效控制鲜米线储藏期内微生物的生长, 从而延长鲜米线保鲜期。

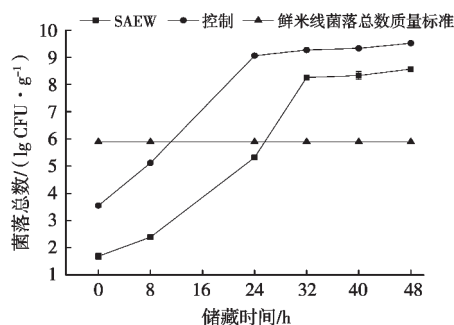


图5 微酸性电解水处理对表面菌落总数的影响

### 3 结论与讨论

在单因素试验的基础上, 利用响应面法建立鲜米线表面减菌数量与有效氯质量浓度、浸泡时间、料液比的二次多项回归模型。经验证, 该模型的拟合程度高。得到的最佳优化参数为: 有效氯质量浓度32 mg/L、浸泡时间9 min、料液比1:11 g/mL。此条件下, 处理鲜米线能有效地杀死表面微生物, 使其减菌数量为 $3.24 \pm 0.03$  lg (CFU/g)。微酸性电解水可通过抑制微生物的生长减缓鲜米线在储藏过程中的劣变, 使其保鲜期延长约16 h。可见, 微酸性电解水既能有效地杀灭微生物, 又能延长鲜米线的保鲜期。因此, 试验的相关结果能够在食品加工保鲜领域中提供参考依据。

#### 参考文献:

[1] 张甫生, 李蕾, 陈芳, 等. 非热加工在鲜切果蔬安全品质控制中的应用进展[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 329-334.

[2] HUANG Y R, HUNG Y C, HSU S Y, et al. Application of electrolyzed water in the food industry[J]. Journal of Food Control, 2008, 19(4): 329-345.

[3] PARK C M, HUNG Y C, LIN C S, et al. Efficacy of electrolyzed water in inactivating *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on shell eggs[J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(5): 986-990.

[4] YE Z Y, QI F Y, PEI L W, et al. Using slight acidic electrolyzed water for inactivation and preservation of raw

frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in the field processing[J]. Journal of Applied Engineering in Agriculture, 2014, 30(6): 935-941.

[5] 周然, 谢晶, 高启耀, 等. 微酸性电解水结合壳聚糖对水蜜桃护色保鲜的效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 281-286.

[6] ABIGAIL M, JAESUNG L, MELVIN A P. Efficacy of neutral electrolyzed water for sanitization of cutting boards used in the preparation of foods[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 10(4): 541-546.

[7] ABADIAS M, USALL J, OLIVEIRA M, et al. Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally processed vegetables[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 123(1/2): 151-158.

[8] 叶章颖, 祁凡雨, 裴洛伟, 等. 微酸性电解水对虾仁的杀菌效果及其动力学[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 223-230.

[9] 王旨峰, 吕文彦, 李新华. 软米制备米线的工艺特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(3): 355-358.

[10] 朱百鸣, 王一川, 夏建桥. 营养方便米线的研究概述[J]. 粮油食品科技, 1992(2): 50.

[11] 王永菲, 王成国. 响应面法的理论与应用[J]. 中央民族大学学报, 2005, 14(3): 236-240.

[12] 慕运动. 响应面方法及其在食品中的应用[J]. 郑州工程学院学报, 2001(9): 91-94.

[13] 和劲松, 祁凡雨, 叶章颖, 等. 微酸性电解水储藏和杀菌过程中有效氯衰减的动力学模型[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 263-270.

[14] 张铁垣. 化验员手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996: 133-350.

[15] 李华贞, 刘海杰, 宋曙辉, 等. 微酸性电解水杀灭菠菜表面微生物的影响因素[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 95-99.

[16] 莫根永, 曹荣, 徐丽敏. 强酸性电解水用于对虾减菌化前处理的试验研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3): 37-41.

[17] 李国威, 傅润泽, 沈建, 等. 微酸性电解水对活品虾夷扇贝存活率的影响及杀菌效果[J]. 渔业现代化, 2016(1): 68-74.

[18] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品微生物学检验-菌落总数测定: GB/T 47892-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.