

碱性电解水对大米样品中黄曲霉毒素 B₁ 的去除作用

周冬仁^{1*}, 徐 磊¹, 潘国栋²

(1. 浙江省渔业健康与营养重点实验室, 浙江省淡水水产研究所, 湖州 313001;
2. 温州市农村信息与宣传中心, 温州 325000)

摘 要: **目的** 探究碱性电解水对农产品中的黄曲霉毒素的消除作用。**方法** 用不同浓度的碱性电解水处理黄曲霉毒素样品, 去离子水处理样品作为对照品, 氮吹仪干燥, 样品衍生后采用进行高效液相色谱法检测, 确定碱性电解水对大米样品中黄曲霉毒素 B₁(aflatoxin B₁, AFB₁)的去除量。**结果** 高浓度的碱性电解水的 AFB₁ 去除率接近 100%。电解水体积(*V*)与样品质量(*m*)的比值 2:1(*V:m*)时, 去除效率接近 90%, 且不引入二次污染物。细菌培养实验表明, 处理后的化合物不存在细胞毒性。不同处理组的色泽、味觉和其他感官指标均无显著差异($P>0.05$), 在处理过程中没有明显的营养流失。**结论** 本方法快速简便、准确, 适用于消除农产品中的黄曲霉毒素。

关键词: 黄曲霉毒素; 高效液相色谱; 碱性电解水; 感官; 食品安全

Removal function of aflatoxin B₁ from rice samples by alkaline electrolytic water

ZHOU Dong-Ren^{1*}, XU Lei¹, PAN Guo-Dong²

(1. Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China; 2. Wenzhou Rural Information and Publicity Center, Wenzhou 325000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the elimination effect of alkaline electrolytic water on aflatoxins in agricultural products. **Methods** Aflatoxin samples were treated with alkaline electrolytic water of different concentrations, and the samples were treated with deionized water as the control substance. The nitrogen blower was dried, and the sample was derivatized and subjected to high performance liquid chromatography to determine the removal of aflatoxin B₁ (AFB₁) from the alkaline electrolyzed water in the rice sample. **Results** The AFB₁ removal rate of high concentration alkaline electrolyzed water was close to 100%. When the ratio of the volume of the electrolyzed water to the mass of the sample was 2:1 (mL:g), the removal efficiency was close to 90%, and secondary contaminants were not introduced. Bacterial culture experiments showed that the treated compound did not have cytotoxicity. There were no significant differences in color, taste and other sensory indexes between the different treatment groups ($P>0.05$). There was no obvious nutrient

基金项目: 浙江省淡水水产研究所开放课题(ZJK201912, ZJK201805)、福州市科技计划项目(2018-N-9, 2017-Q-19)、福建省星火计划项目(2018S0001)

Fund: Supported by the Open Fund of Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries (ZJK201912, ZJK201805), Fuzhou Science and Technology Project (2018-N-9, 2017-Q-19), and Fujian Spark Project (2018S0001)

***通讯作者:** 周冬仁, 高级工程师, 主要研究方向为农产品安全分析。E-mail: 872559718@qq.com

***Corresponding author:** ZHOU Dong-Ren, Senior Engineer, School Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China. E-mail: 872559718@qq.com

loss during the treatment($P>0.05$). **Conclusion** The method is fast, simple and accurate, and is suitable for eliminating aflatoxins in agricultural products.

KEY WORDS: aflatoxin; high performance liquid chromatography; alkaline electrolyzed water; sensory; food safety

1 引言

目前,全球霉菌毒素污染严重^[1,2]。农产品在储存不当的情况下极易发霉,尤其是处于湿润热带气候的国家。由于霉菌毒素不易分解,例如黄曲霉毒素 B₁ 在 268~269 °C 才发生分解^[3],且霉菌毒素可以通过污染食物链,在人体内实现累积,所以农产品所含霉菌毒素只有低于最大允许残留限量才能保证人和动物的食用安全。

超声处理、热处理、有机酸处理、臭氧消毒、电解水处理以及紫外辐射等方法常用于减少食物中的霉菌毒素^[4-7]。在这些方法中,电解水作为消毒杀菌剂在降低食物中的毒素和食品工业中发挥了重要作用^[8,9]。电解水相比其他传统净化剂有以下优点:高效消毒、易于操作、价格低,有利于环境保护^[10-12]。此外,电解水再用水稀释时会转变为普通水^[13]。因此,使用电解水来灭活食物中的毒素最大的优势在于未引入二次污染物,使得其使用时对环境和使用者有最小副作用^[14]。

电解水作为食品工业中广泛应用的杀菌技术,近来得到了广泛应用,如食品设备、蔬菜、水果、禽肉制品、海产品等^[15]。电解水的作用主要是杀菌,对其他毒物和危害物的作用较小^[16,17]。当使用电解水处理被黄曲霉毒素污染的花生和橄榄油,20 °C 下振荡 5 min 后黄曲霉毒素 B₁(aflatoxin B₁, AFB₁)被完全消除^[18]。当使用电解水处理被黄曲霉毒素污染的花生后,其中 AFB₁ 的含量从 34.80 mg/kg 显著下降到 5 mg/kg^[19]。

中性及弱酸性电解水的相关作用近来得到了关注,然而,碱性电解水在清除 AFB₁ 的研究却鲜见报道。研究证实,黄曲霉毒素在碱性溶液处理后变得敏感且易分解^[20]。本研究结合高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)分析碱性电解水对黄曲霉毒素的清除能力,并探究该处理方法对大米营养价值的影响,阐明碱性电解水对农产品中的黄曲霉毒素的消除作用,以期为大米中黄曲霉毒素的研究提供参考。

2 材料与amp;方法

2.1 仪器与试剂

ROX-20 电解水发生器(日本 Hoshizaki Rox 公司); Vortex-genie2 涡流混合器(美国 Scientific Industries 公司); PTR-35 立式旋转搅拌机(英国 Grant Instruments 公司); TA.XT Plus 质构仪(英国 SMSTA.XT Plus 公司); U3000 高效液相色谱仪(美国 Thermo Fisher 公司)。

乙腈(色谱纯)、甲醇(色谱纯)、正己烷(色谱纯,美国 Sigma 公司);三氟乙酸、乙酸钠(分析纯,国药集团试剂有限公司)。

大米购于杭州西湖区古墩路沃尔玛超市。

2.2 实验方法

2.2.1 碱性电解水 HPLC 测试条件

对 4 个实验处理,即碱性电解水(电解水发生器制备),碱性电解水稀释 10 倍,碱性电解水稀释 100 倍和去离子水处理(对照),进行了净化效果的比较。将 AFB₁ 溶液(10⁻⁴ mg/g, 300 μL)和等量的 4 种溶液分别加入离心管(1.5 mL)。离心管涡流混匀 2 min 后在室温下孵育 1 h。用氮吹仪干燥溶液,AFB₁ 溶液衍生后进行检测。衍生过程如下:在管内加入正己烷(400 μL)和三氟乙酸(200 μL),在 40 °C 下孵育 15 min 进行衍生。衍生结束后,将乙腈(120 μL)和去离子水(480 μL)加入去离子溶液后溶解。该溶液用于微孔过滤器过滤后的 HPLC 检测。在配备有 WATER 2695 系统的荧光检测器上进行所获得提取物的色谱分析。流动相为 25% 乙腈,总流速为 1 mL/min。在分析过程中保持柱温在 25 °C,每次运行时样品的体积为 10 μL。检测波长为 360 nm。

2.2.2 碱性电解水体积比

在 AFB₁ 溶液中加入不同体积的碱性电解水以研究其有效性。根据上述结果,碱性电解水稀释 10 倍后,其毒素去除能力下降。用 AFB₁ 溶液制备 6 组样液,碱性电解水与去离子水的体积比分别为 1:4、1:2、1:1、2:1、4:1、6:1,去离子水作为对照。每组都用涡流混合器混匀 30 min。用 HPLC 分析 AFB₁ 浓度。每个处理重复 5 次,并进行统计学分析。

2.2.3 AFB₁ 浓度测试

当用相同体积的碱性电解水处理不同浓度的 AFB₁ 溶液时,评价 AFB₁ 的残留量。用碱性电解水处理 3 种浓度的 AFB₁ 溶液(10⁻⁵、10⁻⁴、10⁻³ mg/g)。去离子水处理作为对照,每个实验进行 5 次。

2.2.4 处理时间

观察 5 种处理(1、10、30、60、120 min)的情况,以优化应用的处理时间。另外,在 AFB₁ 溶液中加入 2 倍体积的碱性电解水。去离子水作为对照组。

2.2.5 模拟样品检测

(1) 感官评价

准确称取 100 g 大米样品 10 份。用优化的碱性电解水参数处理 5 个样品。处理后,除去碱性电解水,加入去离子水清洗大米样品。每个清洗过程用涡流处理 2 min,并且每份处理 3 次。清洗后测定 pH 值。观察大米的颜色和

香气并用 5 分制打分(5 分表示不存在差异)。由 20 个经过相关训练的人参加米饭感官测试。去离子水作为对照处理, 并进行同样的测试。室温下, 利用质构仪(速度为 1 mm/s)对大米样品的质构进行分析。

(2) 氨基酸含量

用高效液相色谱法测定大米样品中氨基酸含量, 以检测处理前后样品的营养流失情况。将用碱性电解水和去离子水处理的大米样品加热除去水, 干燥后的样品用于氨基酸含量测试, 每个样品进行 5 次测试。氨基酸混合标准溶液用于定量测定氨基酸含量。将干燥的称重大米样品和盐酸溶液(6 mol/L, 16 mL)加入到水解管(20 mL)中。真空脱气 30 min 后, 将氮气加入管内, 管内水解 22~24 h(110 °C)。将残留物转移到容量瓶(50 mL)。减压除去水解液中的酸(1 mL), 再用去离子水(1 mL)进行再溶解。样品经 2 次水溶后干燥, 加入盐酸溶液(0.02 mol/L, 1 mL)进行溶解。取溶液(500 μL)转入离心管(5 mL)中。将三乙胺乙腈(1 mol/L, 250 μL)和异硫氰酸苯乙腈(0.1 mol/L, 25 μL)加入离心管中, 涡流混匀, 室温下放置 1 h。加入正己烷(2 mL), 经涡流混匀, 过滤后的溶液进行 HPLC 检测^[21]。

(3) 碱性电解水处理对细菌生长的影响

碱性电解水处理过的 AFB₁ 溶液加入到细菌(大肠杆菌 BL21)培养液中($V_{AFB_1}/V_{总} = 1:10$)。培养后, 用常规平板计数法测定细菌数。去离子水(1 mL)作为对照培养液。每个实验进行 5 个平板计数。检测用碱性电解水和去离子水处理的 AFB₁ 溶液培养, 细菌数量的差异。

(4) 模拟样品测试实验

精确称重 10 份 100 g 大米样品。每个样品中加入 AFB₁ 溶液(10 mL, 5×10^{-4} mg/g)并搅拌混合。搅拌后, 样品在托盘中储存 24 h 以除去水, 增加大米对 AFB₁ 的结合能力。五组样品作为实验组, 剩余五组作为对照组。实验组用碱性电解水孵育 30 min(电解水体积 mL/样品质量 g, $V:M=2:1$), 对照组使用去离子水来清洗标本。除去水后, 加入 80% 的甲醇水溶液(20 mL), 将溶液搅拌 5 min。过滤后在离心管内加入 1 mL 滤液, 用三氟乙酸和正己烷衍生。干燥后的残留物用 80% 的乙腈水溶液溶解, 溶液过滤后用 HPLC 检测 AFB₁ 的浓度。去离子水作为对照, 其他处理与碱性电解水组相同。

2.3 数据处理

实验结果以平均值±标准差表示, SPSS 17 软件进行单因素方差分析及差异显著性分析。 $P < 0.01$ 表示差异显著。

3 结果与分析

3.1 回收率测试

对 AFB₁ 样品进行色谱分析。用 HPLC 对 6 种浓度进行回收率实验, 每种浓度的 4 个样品测试后计算平均值,

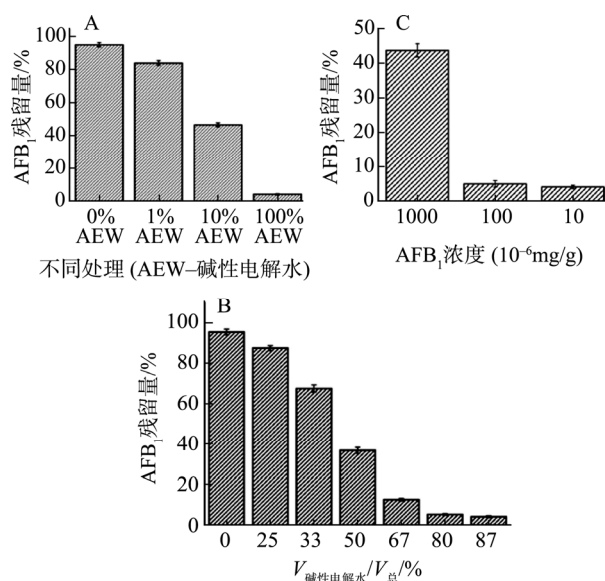
结果(表 1)显示, AFB₁ 在 10^{-6} ~ 10^{-4} mg/g 的范围内回收率在 96.1%~101.5%之间, 结果表明, 所采用的液相色谱分析方法回收率高, 可用于黄曲霉毒素的检测。

表 1 高效液相色谱检测 AFB₁ 的回收率($n=4$)
Table 1 Recoveries of AFB₁ was detected by high performance liquid chromatography ($n=4$)

浓度/(10^{-6} mg/g)	回收率/%	RSD/%
0	98.3	2.7
5	97.5	1.8
10	96.1	3.1
20	99.6	1.9
50	101.5	2.4
100	99.7	1.6

3.2 碱性电解水的性能

结果表明, 与对照组相比, 碱性电解水处理降低了 AFB₁ 浓度。碱性电解水实验组与 AFB₁ 的 HPLC 曲线相比, AFB₁ 浓度明显降低, 去除效果良好。因此, 100%碱性电解水处理结果显示, 其去除效果最佳, 分解率接近 100%。碱性电解水稀释 10 倍后, AFB₁ 分解率降低到 50%。此外, 碱性电解水稀释 100 倍后, AFB₁ 的去除率低于 10%, 与对照组接近(图 1A)。



注: A: 不同浓度电解水处理; B: 不同体积比的碱性电解水处理; C: 不同比例的碱性电解水处理

图 1 AFB₁ 的残留含量($n=4$)

Fig.1 Residual content of AFB₁ ($n=4$)

3.3 碱性电解水体积

对碱性电解水体积进行了测试, 结果显示不同体积

的碱性电解水有显著性差异($P < 0.01$)。其中碱性电解水体积 mL/样品质量 g($V:m$) = 1:4 时碱性电解水处理效果与对照组相似。当碱性电解水体积增加至 $V:m = 2:1$ 时,去除率达到 90%,当增加至 $V:m = 4:1$ 时,去除率接近 100% (图 1B)。因此选用 $V:m(2:1)$ 作为优化参数。

3.4 AFB₁ 浓度的影响

用相同的碱性电解水溶液处理不同浓度的 AFB₁ 评价其处理效果。图 1C 显示了去除效果的差异。结果表明,不同浓度组间差异显著($P < 0.01$)。观察碱性电解水实验组与对照组的差异发现, 10^{-5} mg/g 的去除效果高于 92%, 10^{-4} mg/g 则接近 90%。然而, 10^{-3} mg/g 的去除率减少到 58%。高浓度 AFB₁ 样品的性能较差可能是碱性电解水体积小的结果。

3.5 处理时间优化

除 1 min 处理外,其余处理之间的处理效果不存在显著性差异。可能的原因是 1 min 处理不足以产生有效的碰撞以消除 AFB₁ 分子,需要更长的时间来完成与碱性电解水接触。当处理时间延长至 10 min 甚至更长时, AFB₁ 的去除效果在不同处理间是接近的,表明 10 min 产生了较好的去除效率。农产品的外观和形状也在一定程度上影响了碱性电解水处理后去除 AFB₁ 分子的能力,同时由于谷物之间的挤压使得需要更长的时间来减少毒素。因此,当碱性电解水应用于谷物 AFB₁ 消毒时,需要碱性电解水清洗 10 min,该处理时间适合于家庭清洗操作。

3.6 模拟样品测试

经碱性电解水处理后,稻米表面颜色无明显差异。采用碱性电解水和去离子水处理时, pH 值分别为 7.25 ± 0.32 和 7.18 ± 0.43 。总氯实验结果证实没有引入二次污染。采用碱性电解水处理液进行细菌培养,不同处理间差异不显著。碱性电解水溶液产生的化合物的安全性也在之前的电解水研究中得到验证,从分离的分解产物可以证实其结构^[20],该化合物与 AFB₁ 不同,具有两亲性(图 2)。此外,基于细胞的生物实验评估了化合物的毒性和致突变性,表明碱性电解水应用的可行性。

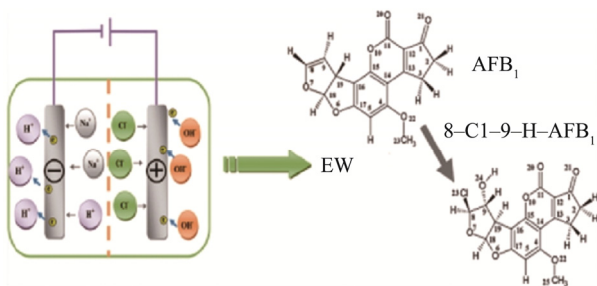


图 2 电解水处理后 AFB₁ 的结构变化^[20]

Fig.2 AFB₁ structures change after the treatments of electrolyzed water^[20]

3.7 感官评价

感官得分有助于分析处理前后的口感质量及香气变化等指标^[22,23]。采用优化后的碱性电解水和去离子水处理大米样品,对 20 名受训人员进行感官评定。根据评分表对香气、颜色、粘度、硬度和弹性进行评分。在碱性电解水处理中比对照组颜色得分稍高。表 2 的结果显示,碱性电解水组和对照组的香气、颜色、粘度、硬度和弹性均无显著差异。

表 2 碱性电解水和去离子水处理后样品的感官评价
Table 2 Sensory evaluation for alkaline electrolytic water and deionized water treatments

处理	香气	颜色(白色)	粘度	硬度	弹性
A	4.25±0.82	4.70±0.66	4.45±0.67	3.98±0.83	4.55±0.75
B	4.52±0.75	4.45±0.69	4.28±0.55	4.15±0.74	4.33±0.65
A-B	-0.27	0.25	0.17	-0.17	0.22

注: A-碱性电解水处理, B-去离子水处理, $n=20$ 。

质构分析结果作为评价碱性电解水实验组的结果如表 3 所示,硬度与大米样品在处理过程中的强度有关,而破坏大米内部结构的难易程度与凝聚力有关。弹性是衡量样品结构被初始压缩破坏的程度。咀嚼性与将固体食物咀嚼成吞咽状态所需的工作有关,其数值可以从硬度、内聚性和弹性的乘积中获得^[24,25]。碱性电解水和去离子水处理之间没有差异($P > 0.05$),表明处理没有产生感官损害。

表 3 碱性电解水和去离子水处理后样品的质构分析($n=10$)
Table 3 Texture profile analysis for the samples after alkaline electrolytic water and deionized water treatments ($n=10$)

处理	硬度	弹性	粘度	内聚性	咀嚼性
A	2.08±0.35	0.19±0.10	0.64±0.17	0.29±0.05	0.115±0.002
B	2.04±0.37	0.21±0.07	0.63±0.21	0.27±0.05	0.116±0.002
A-B	0.04	-0.02	0.01	0.02	-0.001

注: A-碱性电解水处理, B-去离子水处理。

3.8 氨基酸含量

实验中共检测到 16 种氨基酸,其中含量较高的为 Glu、Asp、Arg、Val、Ile、Leu、Phe。结果显示(图 3),2 种处理的氨基酸含量无显著差异($P > 0.05$),表明碱性电解水实验组没有引起明显的营养流失。因此,碱性电解水处理可以有效地降低大米样品中的 AFB₁,而不影响颜色、味道和其他感官参数。本研究所得结论与其他类型的 AFB₁ 去除方法相比^[26,27],更为简单易行,有望应用于其他农产品的黄曲霉毒素的去除中去。

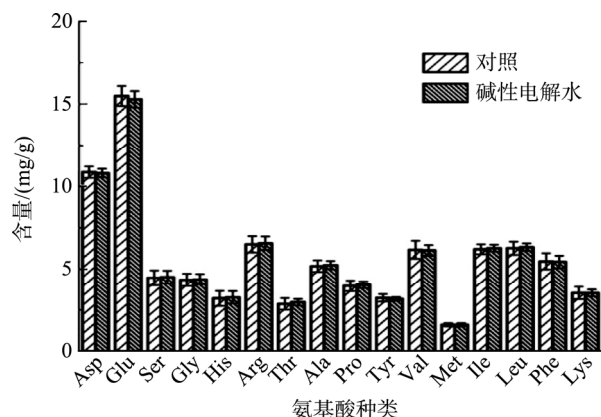


图 3 大米样品经碱性电解水和去离子水处理后氨基酸含量(n=4)

Fig.3 Amino acid content of rice samples treated with alkaline electrolyzed water and deionized water (n=4)

4 结 论

本研究利用 HPLC 测试评价了碱性电解水对大米样品中 AFB₁ 的去除能力。结果表明, 碱性电解水处理能有效降低水稻样品中 AFB₁ 的含量, 且不影响颜色、味觉等感官指标。此外, 细菌培养实验表明碱性电解水溶液产生的化合物是安全的, 且不同处理间的感官差异不显著, 碱性电解水处理没有引起明显的氨基酸变化。本研究使用的碱性电解水去除农产品中 AFB₁ 的方法简单、高效、不引入二次污染, 可以作为一种极具潜力的霉菌毒素去除方法, 应用于其他农产品及食品中。

参考文献

- [1] Wielogórska E, Macdonald S, Elliott CT. A review of the efficacy of mycotoxin detoxifying agents used in feed in light of changing global environment and legislation [J]. *World Mycotoxin J*, 2016, 9(3): 419–433.
- [2] Marroquín-Cardona A, Johnson N, Phillips T, *et al.* Mycotoxins in a changing global environment-A review [J]. *Food Chem Toxicol*, 2014, 69: 220–230.
- [3] Samarajeewa U, Sen A, Cohen M, *et al.* Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods [J]. *J Food Prot*, 1990, 53(6): 489–501.
- [4] Liu Q, Tan C, Yang H, *et al.* Treatment with low-concentration acidic electrolysed water combined with mild heat to sanitise fresh organic broccoli (*Brassica oleracea*) [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 79: 594–600.
- [5] Cruz-Romero M, Murphy T, Morris M, *et al.* Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilisates for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications [J]. *Food Control*, 2013, 34(2): 393–397.
- [6] Zhao L, Zhang Y, Yang H. Efficacy of low concentration neutralised electrolysed water and ultrasound combination for inactivating *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pichia pastoris* GS115 and *Aureobasidium pullulans* 2012 on stainless steel coupons [J]. *Food Control*, 2017, 73: 889–899.

- [7] Zhang H, Yang J, Zhao Y. High intensity ultrasound assisted heating to improve solubility, antioxidant and antibacterial properties of chitosan-fructose Maillard reaction products [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 60(1): 253–262.
- [8] Artés F, Gómez P, Aguayo E, *et al.* Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities [J]. *Postharv Biol Technol*, 2009, 51(3): 287–296.
- [9] Aday MS. Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 68: 44–51.
- [10] Shiroodi SG, Ovisipour M, Ross CF, *et al.* Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for reducing *Listeria monocytogenes* contamination in cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Food Control*, 2016, 60: 401–407.
- [11] Machado I, Meireles A, Fulgêncio R, *et al.* Disinfection with neutral electrolyzed oxidizing water to reduce microbial load and to prevent biofilm regrowth in the processing of fresh-cut vegetables [J]. *Food Bioprod Process*, 2016, 98: 333–340.
- [12] Chen Y, Hung YC, Chen M, *et al.* Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 84: 650–657.
- [13] Rahman SME, Khan I, Oh DH. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: Current trends and future perspectives [J]. *Comp Rev Food Sci Food Saf*, 2016, 15 (3): 471–490.
- [14] Tomás-Callejas A, Martínez-Hernández G, Artés F, *et al.* Neutral and acidic electrolyzed water as emergent sanitizers for fresh-cut mizuna baby leaves [J]. *Postharv Biol Technol*, 2011, 59 (3): 298–306.
- [15] Wang H, Qi J, Duan D, *et al.* Combination of a novel designed spray cabinet and electrolyzed water to reduce microorganisms on chicken carcasses [J]. *Food Control*, 2018, 86: 200–206.
- [16] Al-Holy MA, Rasco BA. The bactericidal activity of acidic electrolyzed oxidizing water against *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on raw fish, chicken and beef surfaces [J]. *Food Control*, 2015, 54: 317–321.
- [17] Fabrizio K, Cutter C. Stability of electrolyzed oxidizing water and its efficacy against cell suspensions of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* [J]. *J Food Prot*, 2003, 66(8): 1379–1384.
- [18] Ding T, Ge Z, Shi J, *et al.* Impact of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on microbial loads and quality of fresh fruits [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 60(2): 1195–1199.
- [19] Zhang Q, Xiong K, Tatsumi E, *et al.* Elimination of aflatoxin B1 in peanuts by acidic electrolyzed oxidizing water [J]. *Food Control*, 2012, 27(1): 16–20.
- [20] Xiong K, Liu H, Li L. Product identification and safety evaluation of aflatoxin B1 decontaminated by electrolyzed oxidizing water [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(38): 9770–9778.
- [21] Dong M, Qin L, Xue J, *et al.* Simultaneous quantification of free amino acids and 5'-nucleotides in shiitake mushrooms by stable isotope labeling-LC-MS/MS analysis [J]. *Food Chem*, 2018, 268: 57–65.
- [22] Jiang N, Liu C, Li D, *et al.* Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 82: 216–226.
- [23] Ren MY, Tong LT, Li X, *et al.* Effects of hot air treatment on the quality

- attributes of semidry-milled Indica rice [J]. *J Cere Sci*, 2018, 79: 93–97.
- [24] Mahmoodani F, Ardekani VS, See SF, *et al.* Optimization and physical properties of gelatin extracted from pangasius catfish (*Pangasius sutchi*) bone [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(11): 3104–3113.
- [25] Sharma M, Kristo E, Corredig M, *et al.* Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures [J]. *Food Hydrocoll*, 2017, 63: 478–487.
- [26] Sun X, Sun C, Zhang X, *et al.* Aflatoxin B1 decontamination by UV-mutated live and immobilized *Aspergillus niger* [J]. *Food Control*, 2016, 61: 235–242.
- [27] Wang S, Huang G, Li Y, *et al.* Degradation of aflatoxin B1 by low-temperature radio frequency plasma and degradation product

elucidation [J]. *Europ Food Res Technol*, 2015, 241(1): 103–113.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

周冬仁, 高级工程师, 主要研究方向为农产品安全分析。

E-mail: 872559718@qq.com