

速冻芦笋的电子束检疫杀菌和辐照工艺

王海宏^{1,2}, 陈志军^{1,2}, 颜伟强^{1,2}, 孔秋莲^{*1,2}, 岳玲^{1,2}, 戚文元^{1,2}, 孙御风²

(1. 上海市农业科学院作物育种栽培研究所, 上海 201403; 2. 上海束能辐照技术有限公司, 上海 201403)

摘要: 为了研究电子束辐照处理对速冻芦笋检疫杀菌的工艺及效果, 以速冻芦笋为试材, 检测电子束辐照下金黄色葡萄球菌和出血性大肠杆菌的 D_{10} 值, 初始污染菌以及感官和营养品质变化。结果表明, 接种菌悬液的速冻芦笋中, 金黄色葡萄球菌、出血性大肠杆菌的 D_{10} 值分别为 0.35 kGy 和 0.25 kGy。经 4.0 kGy 辐照处理后, 产品中菌落、霉菌、大肠菌群均未检出, 感官指标未发生明显变化, 营养品质仅维生素 C 含量下降稍快。产品的电子束穿透深度剂量分布试验表明, 双面辐照工艺, 辐照深度为 14.2 cm 时, 不均匀度 1.15, 可以满足生产要求。建议采用 4.0 kGy 以下剂量辐照速冻芦笋产品, 可以有效控制食源性致病菌, 保障产品食用安全性。

关键词: 速冻芦笋; 电子束; 杀菌; 辐照工艺

中图分类号: TS 251.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2017)12—1290—08

Study on Irradiation Technology and Sterilizing Effect of Electron Beam on Quick-Frozen Asparagus

WANG Haihong^{1,2}, CHEN Zhijun^{1,2}, YAN Weiqiang^{1,2}, KONG Qiulian^{*1,2},
YUE Ling^{1,2}, QI Wenyuan^{1,2}, SUN Yufeng²

(1. Crop Breeding and Cultivation Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co. Ltd, Shanghai 201403, China)

Abstract: Study on irradiation technology and sterilizing effect of quick-frozen asparagus, the D_{10} value of *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) and *Enterohemorrhage E. Coli* (ATCC 43895), product bioburden, sensory and nutritional qualities were determined with electron beams irradiation. The test results showed that the D_{10} value of *Staphylococcus aureus*, *Enterohemorrhage E. coli* were respectively 0.35 kGy and 0.25 kGy, among the asparagus inoculated with bacterial suspension. Radiation dose of 4.0 kGy, the colonies, mold and coliform bacteria were not detected. In addition to vitamin C decreased rapidly, sensory and nutritional indicators did not obviously change. Penetration depth and Dose distribution of electron beams indicated that quick-frozen asparagus used double-sided irradiation, irradiation depth was 14.2 cm, unevenness was 1.15. The dose less than 4.0

收稿日期: 2015-08-14

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAA03B05); 公益性行业(农业)项目(201103007); 上海市农口系统青年人才成长计划项目(沪农青字(2014)第 1-3 号); 上海市农产品保鲜与加工技术服务平台项目(14DZ2293900)。

作者简介: 王海宏(1980—), 男, 安徽亳州人, 农学硕士, 助理研究员, 主要从事农产品保鲜加工方面的研究。E-mail: whhchina@163.com

*** 通信作者:** 孔秋莲(1971—), 女, 山东菏泽人, 农学博士, 研究员, 主要从事食品辐照加工方面的研究。E-mail: qiuliankong@yahoo.com

引用本文: 王海宏, 陈志军, 颜伟强, 等. 速冻芦笋的电子束检疫杀菌和辐照工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(12): 1290-1297.

kGy was recommended to irradiate frozen asparagus, can effectively control food-borne pathogens and Guarantee products safety.

Keywords: quick-frozen asparagus, electron beam, sterilization, irradiation technology

石刁柏俗称芦笋(*Asparagus officinalis* Linne)。属于百合科天门冬属,为多年生宿根作物,其味道鲜美,脆嫩爽口,具有丰富的营养价值和药用价值^[1]。目前,中国已成为世界上芦笋种植面积最大的生产和出口国,是我国重要的出口创汇农产品。主要以芦笋罐头、速冻芦笋产品销往日本、韩国、欧美以及东南亚等国家和地区^[2]。速冻蔬菜解决了蔬菜的长期贮藏保鲜问题,不仅在美国、日本、瑞典等发达国家发展特别迅速,在我国北方地区尤其是东北地区也出现大量需求,许多大中城市甚至县城都在积极发展速冻蔬菜。

然而,近年来速冻食品安全事件却不断发生,速冻食品常遇“细菌门”,2012年速冻食品龙头企业思念、湾仔码头、三全水饺先后被检出金黄色葡萄球菌。造成速冻食品不合格的主要原因是微生物超标的问题。速冻蔬菜在加工过程中即可清除大部分附着的微生物和寄生虫卵,细菌主要来源于加工中的设备、容器、加工人员等的污染^[3],一旦发生细菌污染现象,不仅经济受到损失,还会带来无法预计的食品安全隐患。

辐照是一种国际公认的、理想的冷杀菌技术,在世界范围内用于食品保存、延长保质期和控制通过食品传播的病原体。有关 γ 射线和电子束食品杀菌方面的报道比较多^[4-11],尤其是对肉制品杀菌保鲜中的应用研究^[12-16],在速冻蔬菜产品中鲜见报道。高能电子束辐照因其剂量率高,加工速度极快,产品一般从进辐照室到出来大约几分钟,非常适合速冻食品的辐照,而且剂量均匀,穿透深度可控,可满足一些特殊辐照工艺的要求。作者以出口速冻芦笋为试验材料,研究电子束辐照检疫杀菌及加工工艺,为解决产销与贮运过程中的微生物二次污染问题,保障速冻蔬菜产品的食用安全提供有力的技术保障。

1 材料与方法

1.1 材料

速冻芦笋条:产地山东莒县,品种为 UC800,夏笋,规格 M 级,聚乙烯(PE)包装,1.0 kg/袋,购于山

东莒县恒盛食品有限公司。

金黄色葡萄球菌(ATCC 6538)和出血性大肠杆菌 O157:H7(ATCC43895),购于上海慧耘生物科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 菌株的活化培养 甘油冻存的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌,无菌条件下,用接种环挑取第一代菌种于营养琼脂斜面上,划线培养 24 h (35~37℃),斜面即为第二代菌株,挑取单一菌落,依次于营养琼脂斜面上划线培养,斜面即为第三代菌株。挑取第三代菌株纯菌落转入 TSB 培养基中,35~37℃增菌培养 24 h 后,得到标准菌株的菌悬液,待用。

1.2.2 样品处理 速冻芦笋条,在无菌条件下,取 25 g 分装于 BagLight 无菌平底均质袋内,辐照后立即测定菌落总数、大肠菌群和霉菌酵母数量。速冻芦笋条经 6 kGy 辐照灭菌后,分装于 BagLight 无菌平底均质袋内,分别接种金黄色葡萄球菌(ATCC6538)和肠出血性大肠杆菌 O157:H7(ATCC43895)菌悬液,于辐照后立即检测致病菌数量。

1.2.3 辐照处理 样品在上海束能辐照技术有限公司进行电子束辐照处理,IS1020 型电子直线加速器,额定能量 10 MeV,功率 20 kW。

试验设置对照 0 kGy,电子束辐照处理 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、4.0、8.0 kGy,采用重铬酸钾(银)化学剂量计检测实际剂量。每个剂量处理设 3 个重复,微生物学检验于辐照处理后立即检测存活菌数量。品质测定样品于辐照处理后,-18℃下贮存 30 d 进行相关指标的分析测定。

1.3 辐照工艺

辐照工艺 1:两袋产品上下叠加平放(厚度 10.6 cm),单面辐照;

辐照工艺 2:两袋产品上下叠加平放(厚度 10.6 cm),双面辐照;

辐照工艺 3:两袋产品之间添加分装产品上下叠加平放(厚度 14.2 cm),双面辐照;

辐照工艺 4:三袋产品上下叠加平放(厚度 16.0

cm), 双面辐照。

1.4 产品穿透深度剂量分布

1.4.1 辐照工艺 1 剂量分布见图 1。剂量计为 CTA 薄膜剂量片, 按其编号及示意图布于产品上。

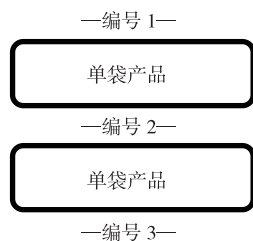


图 1 CTA 薄膜剂量计分布示意图

Fig. 1 Distribution map of CTA Film dosimeter

1.4.2 辐照工艺 2 剂量分布见图 1。剂量计为 CTA 薄膜剂量片, 按其编号及示意图布于产品上。

1.4.3 辐照工艺 3 剂量分布见图 2。剂量计为 CTA 薄膜剂量片, 按其编号及示意图布于产品上。



图 2 CTA 薄膜剂量计分布示意图

Fig. 2 Distribution map of CTA Film dosimeter

1.4.4 辐照工艺 4 剂量分布同图 2。剂量计为 CTA 薄膜剂量片, 按其编号及示意图布于产品上。

1.5 测定方法

1.5.1 微生物检验 菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠菌群、致病菌(金黄色葡萄球菌、出血性大肠杆菌)的测定依据 GB4789.2-2010^[17]、GB4789.15-2010^[18]、GB4789.3-2010^[19]、GB4789.10-2010^[20]和 GB4789.38-2012^[21], 于辐照后立即进行测定。

1.5.2 D_{10} 值计算 D_{10} 值是指被辐照物微生物总数降低到原始值 10% 时所需要的辐照剂量, 它反映了被辐照物中的微生物抗辐射能力的大小。计算公式为: $SD = D \times \lg N_0 / N$ 式中, SD 为辐照剂量(kGy), D 为目标菌 D_{10} 值(kGy), N_0 为辐照前污染菌数(CFU/g), N 为辐照后残留菌数(CFU/g), $\lg$ 为以 10 为底对数值^[22]。

1.5.3 感官指标 不同剂量辐照处理后于 -18 °C 下放置 30 d, 参照进出口速冻蔬菜检验规程 SN/T 0626-2010 的要求^[23], 从色泽、形态质地和风味等方面对速冻芦笋进行感官评价。

1.5.4 叶绿素质量分数测定 参照蒋德安等^[24]的方法略有改动。均匀取样于芦笋的顶端鳞片和茎中部, 剪碎混匀。称取剪碎的样品 1 g, 共 3 份, 分别放入研钵中, 80% 丙酮提取, 滤纸过滤, 棕色容量瓶定容至 50 mL, 提取液在波长 663、645 nm 下测定吸光度值, 计算公式:

$$\text{叶绿素质量分数 (mg/100 g)} = (20.2 \times OD_{645} + 8.02 \times OD_{663}) \times 50 / 10$$

1.5.5 可溶性糖质量分数测定 参照高俊凤的方法进行测定^[25]。

1.5.6 维生素 C 质量分数测定 钼蓝比色法进行测定^[26]。

1.5.7 数据分析 每个试验重复 3 次, 采用 Excel 2010 和 SPSS 13.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 辐照对速冻芦笋微生物数量的影响

2.1.1 速冻芦笋中微生物数量的变化 速冻芦笋经辐照后立即检测菌落总数、霉菌总数和大肠菌群, 结果见表 1。对照和处理大肠菌群均未检出。从表 1 中可以看出, 辐照剂量 2.0 kGy 以上时, 样品的菌落总数、霉菌总数明显低于对照。随着剂量的升高, 电子束对微生物的杀灭作用增大, 存活菌的数量不断降低, 辐照剂量为 4.0 kGy 时, 速冻芦笋产品中菌落总数及霉菌均未检出。

表 1 速冻芦笋辐照后微生物的数量

Table 1 Number of microorganisms after frozen asparagus irradiation

辐照剂量/kGy	菌落总数/ (CFU/g)	霉菌总数/ (CFU/g)	大肠菌群/ (MPN/g)
0	3.0×10^2	1.7×10^3	<3.0
2.0	60	90	<3.0
4.0	<10	<10	<3.0

2.1.2 对食源性致病菌的杀菌效果研究 对金黄色葡萄球菌(ATCC6538)和肠出血性大肠杆菌 O157:H7(ATCC43895)标准菌株进行培养, 制备标准菌悬液, 经电子束辐照后立即检测菌悬液存活菌

的数量,结果见表2。随辐照剂量的升高,存活菌数量不断降低,剂量为2.0 kGy时,肠出血性大肠杆菌O157:H7未检出,剂量为2.5 kGy时,金黄色葡萄球菌未检出。

表2 菌悬液辐照后存活菌的数量

Table 2 Number of surviving bacteria after bacterial suspension irradiation

辐照剂量/ kGy	金黄色葡萄球菌/ (CFU/g)	辐照剂量/ kGy	肠出血性大肠 杆菌/(CFU/g)
0	3.5×10^8	0	3.1×10^9
0.5	3.1×10^6	0.5	9.4×10^6
1.0	1.9×10^5	1.0	2.5×10^5
1.5	1.4×10^4	1.5	9.9×10^2
2.0	9.2×10^2	2.0	<10
2.5	<10	2.5	<10

D_{10} 值是杀灭 90% 的微生物所需剂量,是选择合适杀菌剂量的重要参数。金黄色葡萄球菌(ATCC6538)和肠出血性大肠杆菌 O157:H7(ATCC43895)标准菌悬液,辐照后存活菌总数的对数值与吸收剂量的关系见图3-4。存活菌数量的对数与吸收剂量之间呈显著的线性负相关,通过数据线性回归分析,得到回归方程分别为 $y = -3.0243x + 8.0917$ 和 $y = -4.5362x + 9.3915$,由回归方程的斜率 $K(K=1/D_{10})$ 计算出 D_{10} 值分别为 0.33 kGy 和 0.22 kGy。

取标准菌悬液,分别添加至速冻芦笋(经 6.0 kGy 辐照处理的)样品中,辐照后立即检测样品中存活菌数量,结果见表3。2.5 kGy 电子束辐照可以完全杀灭样品中的金黄色葡萄球菌和肠出血性大肠杆菌。

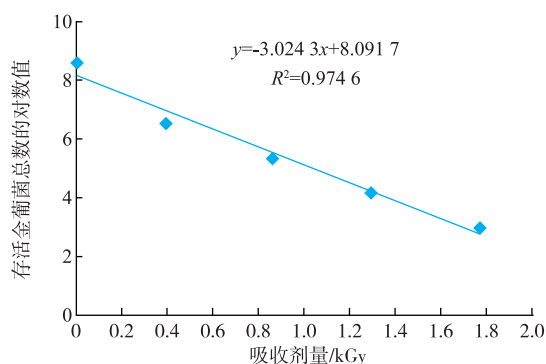


图3 金黄色葡萄球菌存活菌对数与吸收剂量的关系

Fig. 3 Survival aerobic bacterial counts in *Staphylococcus aureus* irradiated by E-beams with different doses

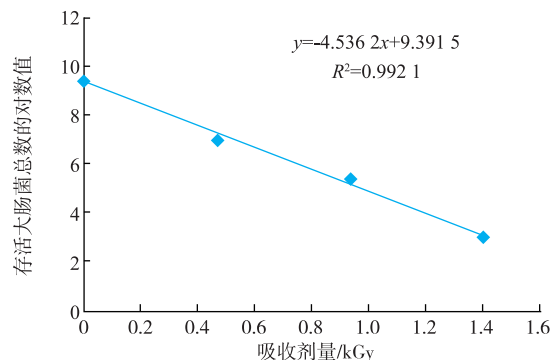


图4 肠出血性大肠杆菌存活菌对数与吸收剂量的关系

Fig. 4 Survival aerobic bacterial counts in Enterohemorrhagic *E. coli* irradiated by E-beams with different doses

表3 接种菌悬液的芦笋辐照后存活菌的数量

Table 3 Number of surviving bacteria among the asparagus inoculated with bacterial suspension after irradiation

辐照剂量/kGy	金黄色葡萄球菌/ (CFU/g)	肠出血性大肠杆菌/ (CFU/g)
0	1.2×10^7	9.5×10^8
0.5	2.9×10^5	7.8×10^5
1.0	3.0×10^4	5.0×10^4
1.5	9.1×10^2	3.2×10^3
2.0	90	15
2.5	<10	<10

添加了金黄色葡萄球菌(ATCC6538)和肠出血性大肠杆菌 O157:H7(ATCC43895)的速冻芦笋样品,辐照后样品中存活菌总数的对数值与吸收剂量的关系见图5-6。存活菌数量的对数与吸收剂量之间呈显著的线性负相关,由线性回归分析得出回归方程 $y = -2.8266x + 6.9232$ 和 $y = -4.0056x + 8.4456$,由回归方程的斜率 $K(K=1/D_{10})$ 计算出 D_{10} 值分别为 0.35 kGy 和 0.25 kGy。

2.2 辐照对速冻芦笋品质的影响

2.2.1 感官指标的变化 表4可以看出,辐照后贮存 30 d 时,对照组、4.0 kGy 及 4.0 kGy 以下辐照组仍保持固有的颜色、光泽,质地良好、形态完整,气味正常。样品自然解冻后称约 250 g,放入盛有沸水的煮锅中,加热 3 min,开盖后检验均无异味。仅 8.0 kGy 辐照组颜色稍浅,气味淡,并无异味。

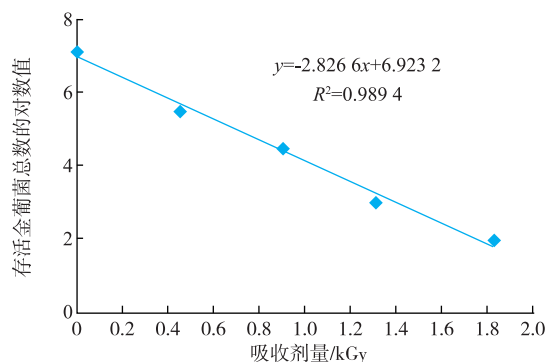


图5 接种金黄色葡萄球菌的芦笋中存活菌对数与吸收剂量的关系

Fig. 5 Survival aerobic bacterial counts in asparagus inoculated with *Staphylococcus aureus* irradiated by E-beams with different doses

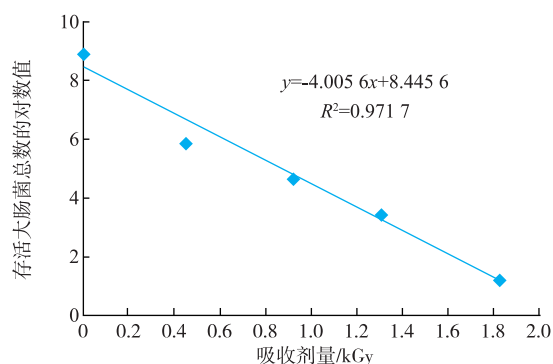


图6 接种肠出血性大肠杆菌的芦笋中存活菌对数与吸收剂量的关系

Fig. 6 Survival aerobic bacterial counts in asparagus inoculated with *Enterohemorrhagic E. coli* irradiated by E-beams with different doses

2.2.2 叶绿素、可溶性糖、维生素 C 质量分数的变化 速冻芦笋经不同剂量的电子束辐照处理后, -18℃下贮存 30 d 时, 取样检测其叶绿素、可溶性糖和维生素 C 质量分数, 结果见表 5。叶绿素、可溶性糖和维生素 C 质量分数变化随辐照剂量的升高呈降低趋势, 辐照剂量 ≤2.0 kGy 时, 处理与对照之间均无显著性差异, 当辐照剂量为 8.0 kGy 时, 电子束辐照处理显著影响其营养品质, 叶绿素、可溶性糖和维生素 C 质量分数分别比对照降低了 22.5%、20.9% 和 35.3%。维生素 C 质量分数对电子束辐照较为敏感, 4.0 kGy 时, 比对照降低了 25.1%。

表 4 辐照对速冻芦笋感官指标的影响

Table 4 Effect sensory indicators of frozen asparagus on E-beams irradiation

辐照剂量/kGy	色泽	形态质地	风味
0	正常一致, 无变色	形态完整, 质地良好	清香, 味浓, 无异味
1.0	正常一致, 无变色	形态完整, 质地良好	清香, 味浓, 无异味
2.0	正常一致, 无变色	形态完整, 质地良好	清香, 味浓, 无异味
4.0	正常一致, 无变色	形态完整, 质地良好	清香, 味浓, 无异味
8.0	一致, 稍浅	形态完整, 质地良好	香味淡, 无异味

表 5 辐照对速冻芦笋品质指标的影响

Table 5 Effect sensory indicators of frozen asparagus on E-beams irradiation

辐照剂量/kGy	叶绿素质量分数/(mg/100 g)	可溶性糖质量分数/%	维生素 C 质量分数/(mg/100 g)
0	8.96 ^a	2.20 ^a	38.34 ^a
1.0	9.11 ^a	2.11 ^a	35.81 ^a
2.0	8.79 ^a	2.06 ^a	36.60 ^a
4.0	7.82 ^{ab}	2.02 ^a	28.72 ^b
8.0	6.94 ^b	1.74 ^b	24.79 ^b

注: 同一列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 不同辐照工艺下的剂量分布及辐照工艺确定

表 6-9 列出了不同辐照工艺下速冻芦笋不同位点的剂量值。由表 6 看出, 两袋产品上下叠加 (厚度 10.6 cm), 3 次重复试验, 单面辐照的最低剂量点分别为 0.41、0.40、0.46 kGy, 对应的最高剂量点分别为 5.88、5.95、6.20 kGy, 剂量不均匀度分别为 14.34 (5.88/0.41)、14.89 (5.95/0.40) 和 13.48 (6.20/0.46)。

两袋产品上下叠加 (厚度 10.6 cm), 双面辐照的最低剂量点分别为 6.20、6.08、6.26 kGy, 最高剂量点分别为 8.90、8.82、8.98 kGy, 剂量不均匀度分别为 1.44 (8.90/6.20)、1.45 (8.82/6.08) 和 1.43 (8.98/6.26)。

两袋之间增加分装产品上下叠加平放 (厚度 14.2 cm), 双面辐照的最低剂量点分别为 5.39、5.96 和 5.57 kGy, 最高剂量点分别为 6.13、6.91、6.35 kGy, 剂量不均匀度分别为 1.14 (6.13/5.39)、1.16 (6.91/5.96) 和 1.14 (6.35/5.57)。

三袋产品上下叠加(厚度 16.0 cm),双面辐照的最低剂量点分别为 4.53、4.41、4.74 kGy,最高剂量点分别为 5.56、5.39、5.77 kGy,剂量不均匀度为 1.23(5.56/4.53)、1.22(5.39/4.41)和 1.22(5.77/4.74)。

表 6 辐照工艺 1 的剂量分布

Table 6 Dose distribution of irradiation technology 1

编号	剂量	编号	剂量	编号	剂量
1-1	5.88	1-2	5.95	1-3	6.20
2-1	4.43	2-2	4.36	2-3	4.54
3-1	0.41	3-2	0.40	3-3	0.46

表 7 辐照工艺 2 的剂量分布

Table 7 Dose distribution of irradiation technology 2

编号	剂量	编号	剂量	编号	剂量
1-1	6.20	1-2	6.08	1-3	6.26
2-1	8.90	2-2	8.82	2-3	8.98
3-1	6.20	3-2	6.17	3-3	6.19

表 8 辐照工艺 3 的剂量分布

Table 8 Dose distribution of irradiation technology 3

编号	剂量	编号	剂量	编号	剂量
1-1	5.39	1-2	5.96	1-3	5.62
2-1	5.93	2-2	6.45	2-3	6.16
3-1	6.13	3-2	6.91	3-3	6.35
4-1	5.88	4-2	6.58	4-3	6.14
5-1	5.39	5-2	6.08	5-3	5.57

表 9 辐照工艺 4 的剂量分布

Table 9 Dose distribution of irradiation technology 4

编号	剂量	编号	剂量	编号	剂量
1-1	5.56	1-2	5.39	1-3	5.77
2-1	4.86	2-2	4.84	2-3	5.06
3-1	4.53	3-2	4.41	3-3	4.74
4-1	4.95	4-2	4.80	4-3	5.10
5-1	5.38	5-2	5.26	5-3	5.62

根据试验结果,剂量不均匀度以产品上下叠加平放,双面辐照处理较低,由此确定了速冻芦笋产品双面辐照的处理工艺。适宜的辐照深度为 14.2 cm,辐照不均匀度控制在 1.20 以内,符合产品生产要求。实际生产中产品加工数量依据辐照加工托盘宽度而定。

3 讨论

速冻芦笋在生产、加工和贮运环节中,受到微

生物污染的几率较大,特别是食源性致病微生物,极易造成安全隐患,通过高能电子束辐照检疫冷杀菌技术能够解决速冻芦笋生产与流通环节中的病原微生物污染问题。

1) 试验研究表明,标准菌悬液中金黄色葡萄球菌和出血性大肠杆菌在高能电子束辐照下的 D_{10} 值分别为 0.33 kGy 和 0.22 kGy;速冻芦笋中金黄色葡萄球菌和出血性大肠杆菌的 D_{10} 值分别为 0.35 kGy 和 0.25 kGy,说明两种致病菌对高能电子束辐照的耐受性弱。

大多数致病细菌对辐照表现较为敏感,在降低鲜切蔬菜致病菌方面,鲜切圆生菜、苦瓜、彩椒中肠炎沙门氏菌的 D_{10} 值分别为 0.24、0.22、0.22 kGy,英诺克李斯特菌的 D_{10} 值分别为 0.22、0.20、0.21 kGy^[27]。鲜切青椒大肠杆菌 O157:H7 的 D_{10} 值为 0.31 kGy^[28]。在降低禽肉制品和水产品致病菌方面,辐照能有效杀灭酱排骨中大肠杆菌,其 D_{10} 值分别为 0.252~0.500 kGy^[29];Song 等^[30]利用电子束辐照接种了单核细胞增生李斯特菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌 3 种食源性致病菌并且经腌制、发酵过的杂色蛤,其辐照灭菌剂量 D_{10} 值分别为 0.79、0.81、0.36 kGy,本研究结果与之相似。

2) 从不同剂量电子束辐照对速冻芦笋感官及品质的影响中分析得到,辐照剂量 ≤ 4.0 kGy,速冻芦笋辐照后-18℃下贮存 30 d 时,可溶性糖、叶绿素质量分数与对照相比,均无显著性差异,色泽、形态质地、风味均未发生明显变化。辐照剂量 4.0 kGy 时,速冻芦笋产品中菌落总数、霉菌、大肠菌群均未检出。产品通过外源添加致病菌菌悬液后,初始带菌量为 $10^7 \sim 10^8$ 数量级时,2.5 kGy 辐照剂量能完全杀灭产品中的致病菌。

目前,涉及速冻蔬菜辐照保鲜杀菌的研究鲜见报道,电子束辐照杀菌保鲜在新鲜果蔬上的应用研究较多,如花椰菜、鲜切西洋芹、葡萄、蓝莓、芒果、阳桃等果蔬辐照保鲜的研究^[31-35]。低剂量辐照可以延迟果蔬衰老进程,有效控制病原微生物数量,货架贮藏期间维持良好的营养品质^[36-37]。速冻蔬菜与新鲜果蔬比较而言,对电子束辐照的耐受性强。本试验研究结果表明,4.0 kGy 电子束辐照处理速冻芦笋,对其感官及营养品质没有明显影响,并能有效地控制产品中的致病菌。

食品中的水分对辐射很敏感,水接受辐射后可

形成离子、水合电子、羟自由基等,最终形成氢和过氧化氢等^[38],这些产物可与食品中的其它成分(糖类、蛋白质、维生素等)发生反应,称“辐照效应”或“间接作用”。新鲜果蔬产品中含水量丰富(大于90%水分),多为自由水,水分活度大,辐照效应显著;而通过冰冻而固定水分的食品,由于缺少“自由”水分都不会显著产生这种“间接”的生物学效应。因此,与新鲜果蔬比较,速冻食品相对来说更耐辐照。

3) 依据上海束能辐照技术有限公司受控工作文件,密度为 1.00 g/cm^3 的产品不同深度单双面辐照剂量的关系,可确定不同密度产品的辐照深度,其最大辐照深度 $H=(1/\rho) \times 9.60$ 。密度为 0.90 g/cm^3 的速冻芦笋,理论上最大辐照深度为 10.67 cm 厚度包装的产品,实际上采用单面辐照,电子束能穿透单个包装的产品,辐照两个包装产品时,下表面吸收剂量仅为入射剂量的 7% 左右。单个包装产品单面辐照,表面入射剂量与最小点剂量的比值为 1.33、1.36、1.37,平均值为 1.35,产品的深度剂量不均匀度高。综合考虑辐照不均匀度和加工效率,速冻芦笋产品采用双面辐照的处理工艺,适宜的辐照深度为 14.2 cm ,辐照不均匀度为 1.15,可以满足生

产要求。采用双面辐照,3 袋产品(辐照深度为 16.0 cm)中剂量最低值在中部位置,虽然产品的辐照不均匀度在 1.22 左右,但是质量存在安全风险,必须增加入射剂量才能满足生产要求,生产加工成本相应增加。

4 结 语

由上述试验结果可以得出,金黄色葡萄球菌、出血性大肠杆菌对高能电子束辐照耐受性弱,辐照剂量 2.5 kGy 时,可以完全杀灭速冻芦笋样品中的致病微生物。产品经 4.0 kGy 辐照剂量处理后,菌落、霉菌和大肠菌群均未检出,可溶性糖、叶绿素质量分数、色泽、形态质地、风味与对照相比,均未发生明显变化,仅维生素 C 质量分数下降稍快。速冻绿芦笋采用双面辐照,辐照适宜深度为 14.2 cm ,不均匀度 1.15,可以满足生产要求。

因此,建议速冻芦笋产品采用 4.0 kGy 以下剂量辐照,辐照工艺为双面辐照,可以有效控制食源性致病菌,保障产品食用安全性。本研究对于出口速冻蔬菜电子束辐照检疫及杀菌处理技术的应用具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] LI Yanhua, WANG Qinguo. Effects of different treatments on the physiology and storage quality of postharvest green asparagus [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2007, 33(2): 145-149. (in Chinese)
- [2] LUO Ying, YU Yanfeng, ZHOU Kaihong. Analysis of bottleneck in development of chinese asparagus industry [J]. **Acta Agriculturae Jiangxi**, 2012, 24(1): 187-190. (in Chinese)
- [3] ZHANG Sichuan, LI Jianying, HE Xiulan, et al. Microbial contamination detection and critical control point of exporting frozen vegetables [J]. **Modern Commodity Inspection Science and Technique**, 1994, 4(5): 27-30. (in Chinese)
- [4] QI Wenyuan, YAN Weiqiang, KONG Qiulian, et al. Effects of electron beam irradiation on quality for instant chicken feet [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2012, 31(9): 925-931. (in Chinese)
- [5] ZHANG Ying, ZHU Jiajin. Review of development of electron accelerators on foods [J]. **Food and Machinery**, 2013, 29(1): 236-239, 258 (in Chinese)
- [6] FU Lixin, CHEN Changdong, MENG Lifen, et al. Study on the sterilization of egg white powder by irradiation [J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2013, 27(3): 340-343. (in Chinese)
- [7] SHEN Yue, LIU Chaochao, GAO Meixu, et al. Effect of irradiation on quality and bacterial populations in fresh-cut Lettuce [J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2015, 29(4): 710-716. (in Chinese)
- [8] BAI Yanhong, LI Quanshun, MAO Duobin, et al. The effects of electron beam irradiation on sterilization and preservation of chilled pork [J]. **J Radiat Res Radiat Process**, 2009, 27(1): 89-93. (in Chinese)
- [9] FENG Xuqiao, XU Fangxu, LIU Shiyang, et al. Research progress on radiation preservation technology of aquatic products [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2013, 32(2): 113-118. (in Chinese)
- [10] QI Rongdi, YAN Weiqiang, YUE Ling, et al. Effects of electronic beam irradiation on fresh-keeping of sweet cherry [J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2014, 28(5): 839-844. (in Chinese)

- [11] CHEN Zhijun, KONG Qiulian, YUE Ling, et al. Effects of electronic beam irradiation on color and storage characteristics of table grape[J]. **J Radiat Res Radiat Process**, 2013(6): 48-52. (in Chinese)
- [12] GOMES H A, SILVA E N da. Effects of ionizing radiation on mechanically deboned chicken meat during frozen storage[J]. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 2006, 270(1): 225-229.
- [13] BADR H M. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* from raw beef sausage by Gamma-irradiation[J]. **Molecular Nutrition Food Research**, 2005, 49(4): 343-349.
- [14] NAM K C, KO K Y, MIN B R, et al. Influence of rosemary-tocopherol/packing combination on meat quality and the survival of pathogens in restructured irradiated pork loins[J]. **Meat Science**, 2006, 74(2): 380-387.
- [15] TRIVEDI S, REYNOLDS A E, RESURRECCION A V A, et al. Effect of electron beam irradiation on the safety of diced chicken meat and turkey frankfurters[J]. **Food Protection Trends**, 2007, 27(10): 749-753.
- [16] SCHILLING M W, YOON Y, TOKARSKYY O, et al. Effect of ionizing irradiation and hydrostatic pressure on *Escherichia coli* O157:H7 inactivation, chemical composition, and sensory acceptability of ground beef patties[J]. **Meat Science**, 2009, 81(4): 705-710.
- [17] GB4789.2-2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S].
- [18] GB4789.15-2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数测定[S].
- [19] GB4789.3-2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数[S].
- [20] GB4789.10-2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验[S].
- [21] GB4789.38-2012, 食品安全国家标准食品微生物学检验大肠埃希氏菌计数[S].
- [22] YUE Ling, KONG Qiulian, QI Wenyuan, et al. Sterilizing effect of electron beam and γ -rays on Zuogui powder[J]. **J Radiat Res Radiat Process**, 2012, 30(2): 93-96. (in Chinese)
- [23] 江浩, 鞠洪绶, 王克霞, 等. SN/T 0626—2011 进出口速冻蔬菜检验规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [24] 蒋德安. 植物生理学实验指导[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1996: 82.
- [25] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 144-148.
- [26] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 203-204.
- [27] 刘超超. 辐照对鲜切蔬菜品质影响的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013: 1-6.
- [28] WANG Shaodan, CHEN Yuzhen, CHEN Qingmin, et al. Study on electron beam irradiation in reducing food borne pathogens on the surface of fresh-cut green pepper[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(15): 66-70. (in Chinese)
- [29] XU Yiqing, SUN Baozhong, YI Xinxin, et al. Sterilization of Chinese spiced chop by ^{60}Co γ -irradiation[J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2004, 18(1): 33-35. (in Chinese)
- [30] SONG H P, KIM B, YUN H, et al. Inactivation of 3-strain cocktail pathogens inoculated into *Bajirak jeotkal*, salted, seasoned, and fermented short-necked clam (*Tapes pilippinarum*), by gamma and electron beam[J]. **Food Control**, 2009, 20(6): 580-584.
- [31] WANG Qiufang, QIAO Yongjin, CHEN Zhaoliang, et al. Study on preservation effects of high energy electron beam in cauliflower[J]. **Journal of Nanjing Agricultural University**, 2011, 34(1): 133-136. (in Chinese)
- [32] CHEN Zhaoliang, FANG Qiang, WANG Haihong, et al. Effect of electron beam irradiation on preservation of fresh-cut celery[J]. **Acta Agricultural Shanghai**, 2010, 26(2): 9-13. (in Chinese)
- [33] WU Qing, YUE Ling, KONG Qiulian, et al. Effect of electron beam irradiation on quality and shelf life in winter in Shanghai[J]. **Acta Agricultural Shanghai**, 2013, 29(3): 40-43. (in Chinese)
- [34] ZHOU Renjia, QIAO Yongjin, WANG Haihong, et al. Effect of high-energy electron beam irradiation on physiological quality of fresh-cut hami melon[J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2012, 26(2): 0300-0305. (in Chinese)
- [35] Qiu lian Kong, Aizhong Wu, Wenyuan Qi, et al. Effects of electron-beam irradiation on blueberries inoculated with *Escherichia coli* and their nutritional quality and shelf life[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2014, 95: 26-35.
- [36] ZHANG Min, LIU Qian. Study on present situation and development trends of fruit vegetable preservation in the world[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2014, 33(8): 785-792. (in Chinese)
- [37] MILLER W R. Low-dose electron beam irradiation[J]. **Proc Fla State Hort Soc**, 1995, 82: 108-291.
- [38] 哈益明. 辐照食品及安全性[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 36-37.