

辐照对鲜切彩椒品质的影响

沈月¹, 刘超超^{1,2}, 高美须¹, 牟慧¹, 李树锦¹, 赵鑫¹

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193) (2. 北京天安农业发展有限公司, 北京 102200)

摘要: 为延长鲜切彩椒的贮藏期, 提升产品价值, 本文将⁶⁰Co γ 辐照技术应用于鲜切彩椒加工过程, 研究了不同辐照剂量对鲜切彩椒减菌效果及营养和理化性质的影响。结果表明: 辐照对鲜切彩椒具有显著减菌效果。辐照剂量 ≥ 0.52 kGy 的处理可以显著减少鲜切彩椒的细菌总数和大肠菌群数, 达到国家和地方标准的要求; 辐照对肠炎沙门氏菌 ($D_{10}=0.22$), 英诺克李斯特菌 ($D_{10}=0.21$) 杀灭效果显著, 可使染菌量小于 10^2 cfu/g 的鲜切彩椒达到无检出的要求。辐照剂量 ≤ 1.81 kGy 的处理对鲜切彩椒失重率, 可溶性固形物, 亚硝酸盐含量在 5% 水平上无显著影响; 对鲜切彩椒硬度、Vc 含量的下降起延缓作用, 对鲜切彩椒的色泽、气味、质地、滋味、组织状态等感官方面可接受性没有显著影响。因此, 处于 0.52~1.81 kGy 范围内的辐照剂量可以有效的控制鲜切彩椒的微生物而不影响其食用和感官品质, 货架期可达 6 d。

关键词: 辐照; 减菌; 贮藏品质; 鲜切彩椒

文章编号: 1673-9078(2014)8-212-218

Effect of Irradiation on Quality of Freshly Cut Color Pepper

SHEN Yue¹, LIU Chao-chao^{1,2}, GAO Mei-xu¹, MOU Hui¹, LI Shu-jin¹, ZHAO Xin¹

(1. Institute of Agro-Products Processing Science And Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 1001932, China) (2. Tian'an Agricultural Development Co. Ltd, Beijing 102200, China)

Abstract: In order to extend the shelf life of color pepper and enhance its product value, ⁶⁰Co- γ irradiation was used to the processing of freshly cut color pepper. The effect of different doses on the decontamination, nutritional value, and physicochemical properties of color pepper was studied. The results showed that γ -irradiation could effectively reduce bacterial load in freshly cut color pepper. An irradiation dose of 0.52 kGy or higher significantly reduced the total bacterial count and coliform load, thus meeting the requirements of national and local standards. Irradiation resulted in eradication of *Salmonella enteritidis* ($D_{10}=0.22$ kGy) and *Listeria innocua* ($D_{10}=0.21$ kGy), with no bacteria detected in the color pepper samples, and a contamination level of 10^2 cfu/g was achieved. Irradiation at doses 1.81 kGy had no significant impact (above 5% level) on the weight loss, soluble solid content, and nitrite content of the color pepper samples. Moreover, irradiation delayed the loss of firmness and Vc content and did not significantly affect sensory aspects such as color, smell, texture, flavor, and tissue. Irradiation of 0.52~1.81 kGy was thus shown to effectively control microbial population in freshly cut color pepper samples without affecting its edibility or sensory qualities, which extended its shelf life up to six weeks.

Key words: irradiation; decontamination; storage quality; fresh cut color pepper

彩椒 (*Capsicum annuum*. var. *gorssum*) 别名七彩椒^[1], 其果肉肥厚多汁, 口感甜中微辛, 色泽鲜艳诱人, 为近年来我国从荷兰、以色列等国家新引进品种, 其成熟果富含多种维生素如 VA、Vc 等, 还富含多种微量元素 (吴雪霞, 2006)。彩椒还具有消暑、美颜、补血、消除疲劳、预防感冒、促进血液循环等功效^[2]。近年来, 彩椒以其鲜艳的色彩, 独特的口感, 既可做

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 中国农业科学院创新工程项目; 国际原子能机构项目 (15926)

作者简介: 沈月 (1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏工程; 刘超超为并列第一作者

通讯作者: 高美须 (1965-), 女, 副研究员, 研究方向: 食品辐照和致敏蛋白方面

水果生食, 亦可做蔬菜熟食等特点而深受人们的喜爱。

随着人们生活水平的提高, 鲜切蔬菜以其即食即烹的特点而越来越受到广大消费者的青睐。鲜切蔬菜受到机械切割后组织结构遭到破坏, 从而引发其生理生化特性发生改变, 如呼吸作用加快、切分表面木质化、切面发生酶促和非酶促褐变等, 导致萎蔫、皱缩、干化, 从而失去新鲜蔬菜的鲜活性, 降低了商品的价值。不仅如此, 切割还会造成细胞的破裂, 汁液大量外流。由于蔬菜本身的水分和营养丰富, 外流的汁液为微生物的侵染创造了有利的条件, 导致微生物在切口表面大量繁殖, 从而大大降低了蔬菜品质, 缩短了货架期^[3-4]。微生物污染引发的食品安全问题是限制鲜切蔬菜行业发展的重要因素。因此对鲜切蔬菜进行有

效地冷杀菌,保持其良好的品质,延长其货架期是值得探讨的问题。

辐照减菌是当代一种崭新的冷减菌技术,具有良好的减菌作用,并以其高效、环保、无残留等特点受到国内外学者的关注,近年来利用辐照技术保障食品安全及延长即食食品货架期已成为辐照应用领域的热点^[5-6]。辐照减菌可有效降低酶的活性还可保持食品的生理活性物质,较大程度地保持原料原有的色、香、味及营养成分^[7-8]。近年来,国外已经对将辐照减菌应用于鲜切蔬菜的保鲜上作出了一定的研究。而国内的相关报道还比较少。Chervin 和 Booscan 用 2 kGy 的辐照剂量处理胡萝卜,不仅有效抑制了好氧菌和乳酸菌,而且保持了胡萝卜良好的风味^[9]。Farkas 用 1 kGy 的辐照处理预先接入柿子椒的李斯特菌,结果显示李斯特菌的活性和数量都显著下降^[10]。对于鲜切蔬菜这种不适于高温灭菌的食品,辐照减菌是一种理想的减菌方法。

本实验采用 ^{60}Co γ 射线辐照处理鲜切彩椒,通过研究辐照处理后对鲜切彩椒微生物数量的变化,致病菌的杀灭效果及储藏期间鲜切彩椒色泽、硬度、Vc、可溶性固形物的变化以及感官评价方面的影响,确定鲜切彩椒的有效辐照剂量及货架期,探索辐照保鲜的可行性,为鲜切彩椒的辐照保鲜提供技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 原料

新鲜彩椒于早晨七点购于北京市天秀农产品市场,要求色泽鲜艳,外观无机械损伤,无病虫害,无萎焉。

1.2 主要试剂及仪器设备

致病菌为肠炎沙门氏菌 cicc21482、英诺克李斯特菌 cicc10416 购于中国工业微生物菌种保藏管理中心。培养基为蛋白胨、牛肉膏浸提物、氯化钠、营养琼脂培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂、煌绿乳糖胆盐肉汤(BGLB)、脑心浸液、脑心琼脂购于北京路桥技术有限公司,重铬酸银剂量计于辐照中心实验室配置,经中国计量院校正。

电热鼓风干燥器,上海-恒科学仪器有限公司、超净工作台,苏州安泰空气技术有限公司、立式压力蒸汽灭菌锅,上海博迅实业有限公司;电热恒温培养箱,上海-恒科学仪器有限公司;TA-XT2i 物性测试仪,英国 Stable Micro Systems;紫外可见分光光度计,中国普析公司;D25LT 型色差仪,美国 Huterlab 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鲜切彩椒的加工工艺及样品处理

工艺流程:

蔬菜原料→挑选、整理→清洗→脱水→切分→包装

将新鲜彩椒掰开,去籽,用自来水冲洗,进行简单的切分后称取 25 g 彩椒样品用聚乙烯自封袋包装,包装 75 份,用于微生物的检测;另将每份 100 g 用聚乙烯自封袋包装,包装 5 份为一个处理,包装 75 份用于食用品质及感官品质的检测。

1.3.2 辐照处理

辐照处理在中国农业科学院农产品加工所 ^{60}Co 辐照源辐照进行,辐照剂量用重铬酸银剂量计进行剂量跟踪,剂量测定的结果与中国计量院进行比对。用于细菌,大肠菌群检测和亚硝酸盐的含量、Vc、失重率、可溶性固形物的检测设定辐照剂量为 0、0.5、1.0、1.5、2.0 kGy,实测剂量为 0、0.52、1.21、1.81、2.32 kGy;对硬度的检测设定的剂量为 0、0.5、1.0、1.5、2.0 kGy,实测剂量为 0、0.47、1.13、1.76、2.22 kGy;用于致病菌检测设定辐照剂量为 0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 kGy,实测剂量为 0、0.32、0.69、1.01、1.38、1.67 kGy。所有处理均 3 次重复。辐照后的样品在 4℃ 条件下储藏,每 2 d 对各项指标进行测定。

1.3.3 微生物检测

依据 GB 4789.2-2010,细菌采用平板计数琼脂计数,样品平板培养在 37℃ 的培养箱,48 h 计数;大肠菌群计数用结晶紫中性红胆盐琼脂平板,接种后置于 37℃ 培养箱中培养 24 h 后进行证实实验,挑取典型和可疑菌落,分别移种于 BGLB 肉汤管内 36±1℃ 培养 48 h 后对阳性管进行计数。肠炎沙门氏菌 cicc21482 用平板计数琼脂计数,样品平板培养在 37℃ 的培养箱,48 h 计数;英诺克李斯特菌 cicc10416 用脑心琼脂计数,样品平板养在 30℃ 培养箱中培养 48 h 后计数。

1.3.4 致病菌接种

72 份鲜切彩椒样品经钴源辐照(3 kGy)以确保对其彻底灭菌,彻底灭菌的鲜切彩椒分别接种肠炎沙门氏菌 cicc21482 和英诺克李斯特菌 cicc10416。具体操作为:肠炎沙门氏菌 cicc21482 通过营养肉汁培养基在 37℃ 条件下活化 24 h,英诺克李斯特菌 cicc10416 通过脑心浸液培养基在 30℃ 条件下活化 24 h;活化的每一种细菌菌液分别用无菌生理盐水(0.85%)稀释到约 10^7 cfu/mL,分别接种 1 mL 菌液于彻底灭菌的鲜切彩椒样品中,在室温条件(约 20℃)下培养 1 h 以使细菌渗入到鲜切彩椒中,待辐照。

1.3.5 样品食用品质的指标测定

亚硝酸盐含量的测定, 依据 GB 5009.33-2010 中所规定的食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定方法进行定性定量测定。

硬度的测定, 参考 Fan X 的方法^[11]并略作修改。用不锈钢刀将彩椒切成细丝, 用五叶片的克雷默剪切板做质构多面分析 (TPA)。质构参数为: 触发值为 5 g; 测试速率 2 mm/s; 剪切程度为板底部 1 cm; 最大力设定为软件默认数值。每次测定 6 个样品, 取平均值。

失重率的测定, 失重率=(保藏零天质量-保藏数天质量)/保藏零天质量×100%

Vc 的测定, 采用 2, 6-二氯酚靛酚法测定。

可溶性固形物, 采用 WAY-2S 阿贝折射仪测定可溶性固形物 (TSS) 含量。

1.3.6 感官评价

感官鉴别主要是通过评价员用目测、鼻嗅、口尝和触摸等方法获得综合性的感官评价。实验在辐照产品质量监督检验测试中心的感官实验室进行。11 位感官评价员经过严格的培训, 并在 2 h 内禁用烟、酒和辛辣等刺激性食物。评价员需要对样品的质地、滋味、色泽、气味、组织状态进行打分, 从而对整体可

接受性进行评价。待评价样品按规定用 3 位数随机数字编号; 感官评价采用 5 分制, 得分越高表示品质越好, 4~5 分表示很好, 3 分表示可接受, 3 分以下表示不可接受。收集的数据进行 LSD 法多因素方差分析其显著性差异分析。

1.3.7 数据分析

采用 SAS9.1 进行方差分析, 用 excel 作图。

2 结果与分析

2.1 辐照对鲜切彩椒的减菌效果

2.1.1 辐照及储藏时间对菌落总数的影响

经不同剂量辐照处理鲜切彩椒中的菌落总数情况见表 1, 随着辐照剂量增加鲜切彩椒中的菌落总数显著减少。辐照剂量 0.52 kGy 辐照处理可使菌落总数减少 2 个数量级, 在不同的贮藏时间菌落总数的数量级不同, 其中对照组的菌落总数明显高于辐照处理的鲜切彩椒的菌落总数。根据 DB23/T 1228-2008 净菜瓜类蔬菜通用技术对即食净菜的规定菌落总数应 ≤ 5×10⁴ cfu/g, 鲜切彩椒的初始含菌量的对数值为 4.38, 对照组在贮藏的第二天就已经严重超标, 辐照剂量 ≥ 0.52 kGy 处理的鲜切彩椒在贮藏期 6 d 内都符合卫生要求。

表 1 辐照对鲜切彩椒菌落总数的影响

Table 1 Effect of irradiation on total bacteria count of fresh-cut color pepper [log (cfu/g)]

| 辐照剂量/kGy | 贮藏时间/d | | | | |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0.00 | 4.38±0.23 ^{aA} | 5.86±0.29 ^{aB} | 6.62±0.13 ^{aC} | 7.54±0.33 ^{aD} | 7.66±0.22 ^{aD} |
| 0.52 | 2.57±0.09 ^{bA} | 3.28±0.35 ^{bB} | 4.03±0.27 ^{bC} | 4.62±0.25 ^{bD} | 5.29±0.28 ^{bE} |
| 1.21 | <1.00 | 1.69±0.13 ^{cA} | 2.91±0.17 ^{cB} | 3.12±0.22 ^{cBC} | 3.43±0.25 ^{cC} |
| 1.81 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 2.35±0.11 ^{dA} | 2.71±0.08 ^{dA} |
| 2.32 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 2.01±0.09 ^e |

注: 每列不同小写字母代表在 α=0.05 水平上鲜切彩椒菌落总数随辐照剂量差异显著, 每行不同大写字母代表在 α=0.05 菌落总数随贮藏时间差异显著。

2.1.2 辐照及储藏时间对大肠菌群的影响

表 2 辐照及储藏时间对鲜切彩椒大肠菌群的影响

Table 2 Effect of irradiation dose and storage time on coliforms of fresh-cut color pepper [log (cfu/g)]

| 辐照剂量/kGy | 贮藏时间/d | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0.00 | 3.81±0.11 | 5.41±0.39 | 6.37±0.22 | 7.25±0.14 | 7.43±0.27 |
| 0.52 | <1.00 | 1.81±0.07 | 2.34±0.11 | 3.12±0.08 | 4.63±0.12 |
| 1.21 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 2.13±0.05 | 3.22±0.13 |
| 1.81 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 1.26±0.07 | 1.44±0.13 |
| 2.32 | <1.00 | <1.00 | <1.00 | 1.01±0.01 | 1.25±0.10 |

不同剂量辐照处理对鲜切彩椒中大肠菌群数的影响如表 2 所示, 鲜切彩椒的大肠菌群数随着辐照剂量

的增加显著下降。在贮藏 8 d 中, 不同处理的大肠菌群数随着贮藏时间的增加均呈上升趋势, 大肠菌群增

长在不同的储藏期速率不同。在贮藏 8 d 里, 对照组的大肠菌群数量迅速上升, 辐照组大肠菌群数量也呈上升趋势, 但上升幅度较缓。0.52 kGy 辐照处理可以使鲜切彩椒中的大肠杆菌减少 3 个数量级, 辐照剂量 ≥ 1.21 kGy, 在储藏 8 d 内, 大肠菌群含量均低于 100 cfu/g, 对普通人的食用没有影响。

2.1.3 辐照对接种肠炎沙门氏菌鲜切彩椒的影响

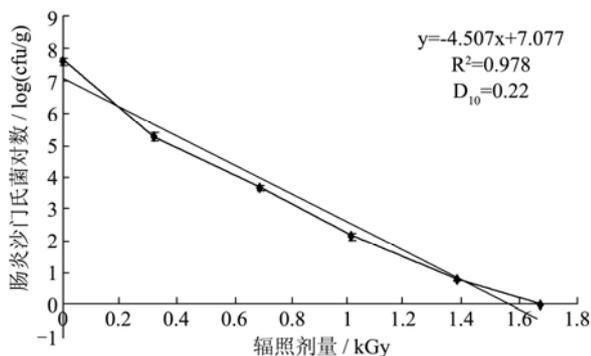


图 1 辐照对鲜切彩椒中肠炎沙门氏菌的影响

Fig.1 Effects of irradiation on *Salmonella enteritidis* in fresh-cut color pepper

不同剂量辐照对肠炎沙门氏菌减菌效果见图 1。鲜切彩椒完全灭菌后接种肠炎沙门氏菌数量约 7.91 log(cfu/g), 鲜切彩椒中肠炎沙门氏菌随辐照剂量增加显著下降 ($P < 0.05$)。将肠炎沙门氏菌数对数 (lgN) 与辐照剂量 (D) 拟合得到一次线性回归方程, 即 $y = -4.5077x + 7.0777$, $k = -4.5077$, $R^2 = 0.9789$, $D_{10} = 0.22$ 。结果显示, 辐照对鲜切彩椒中肠炎沙门氏菌具有显著的减菌效果, 可预测当鲜切彩椒染菌量 ≤ 100 cfu/g 时, 辐照剂量 ≥ 0.22 kGy 处理鲜切彩椒可达到无检出的要求, 保证食用安全。

2.1.4 辐照对鲜切彩椒中英诺克李斯特菌的影响

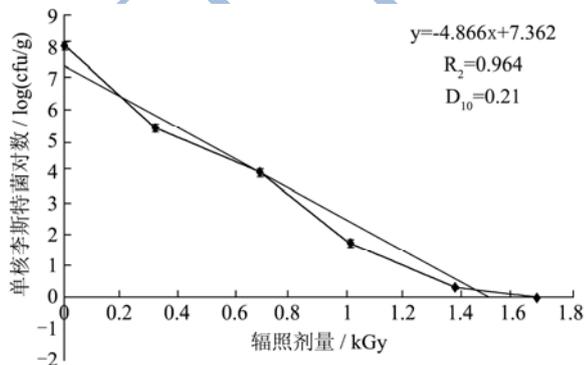


图 2 辐照对鲜切彩椒中单增李斯特菌的影响

Fig.2 Effects of irradiation dose on *Listeria innocua* in fresh-cut color pepper

不同剂量辐照对英诺克李斯特菌减菌效果见图

2。鲜切彩椒完全灭菌后接种英诺克李斯特菌数量约 8.02 log(cfu/g), 鲜切彩椒中英诺克李斯特菌随辐照剂量增加显著下降 ($P < 0.05$)。将英诺克李斯特菌对数 (lgN) 与辐照剂量 (D) 拟合得到一次线性回归方程, 即 $y = -4.8666x + 7.3627$, $k = -4.8666$, $R^2 = 0.964$, $D_{10} = 0.21$ 。结果显示, 辐照对鲜切彩椒中英诺克李斯特菌的 D_{10} 值低于 3, 预测当鲜切彩椒含英诺克斯菌量较高 ≤ 100 cfu/g 时, ≥ 0.21 kGy 的辐照处理可以将其减少到不得检出, 保证鲜切彩椒的食用安全。

2.2 辐照对鲜切彩椒食用品质的影响

2.2.1 不同剂量辐照处理鲜切彩椒亚硝酸盐含量的影响

蔬菜中含有一定数量的硝酸盐, 硝酸盐本身相对无毒但其代谢产物如亚硝基化合物可能危害人体健康 [12]。研究表明人体内绝大部分硝酸盐来自蔬菜, 因此对于蔬菜中硝酸盐的检测非常重要。

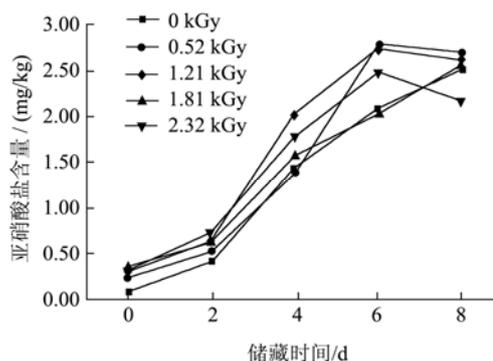


图 3 辐照及储藏时间对鲜切彩椒亚硝酸盐含量的影响

Fig.3 Effect of irradiation and storage time on the nitrate content of fresh-cut color pepper (n=3)

要由图 3 可以看出, 鲜切彩椒初始亚硝酸盐含量较低, 辐照处理后鲜切彩椒的亚硝酸盐含量有所升高。随着储藏时间的增加, 亚硝酸盐含量逐渐增加, 不同剂量辐照处理的鲜切彩椒在储藏第 6 d 出现了“亚硝峰”。对照组的样品和辐照剂量 1.81 kGy 处理的样品在贮藏 8 d 中亚硝酸盐一直在增加, 而辐照剂量 1.21 kGy 的“亚硝峰”最高。不同辐照处理样品中亚硝酸盐含量差异显著, 但是没有明显的线性关系。

2.2.2 不同剂量辐照处理对鲜切彩椒硬度的影响

由图 4 可以看出, 辐照处理可以降低鲜切彩椒的硬度, 随着辐照剂量的增加硬度下降明显, 但不同剂量辐照处理对其硬度下降的影响存在差异。经辐照处理后, 鲜切彩椒硬度下降速率较未辐照处理略缓慢, 贮藏 8 d 中, 辐照剂处理的鲜切彩椒硬度降低略低于未辐照, 但是总体差异不显著。

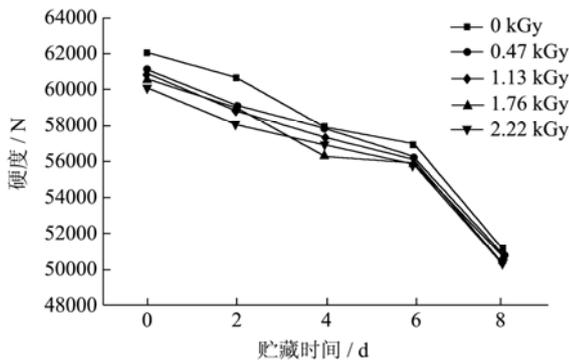


图4 辐照及储藏时间对鲜切彩椒硬度的影响

Fig.4 Effect of irradiation and storage time on the hardness of fresh-cut color pepper (n=6)

2.2.3 不同剂量辐照对鲜切彩椒失重率的影响

从图5中可以看出,不同剂量辐照处理的鲜切彩椒在贮藏8 d中,失重率都有所增加,辐照剂量2.32 kGy处理的鲜切彩椒在储藏第8 d时失重率最大,为0.44%。虽然每种处理的失重率成上升趋势,但是总的失重率较低,低于0.5%,并且各处理之间差异不显著。

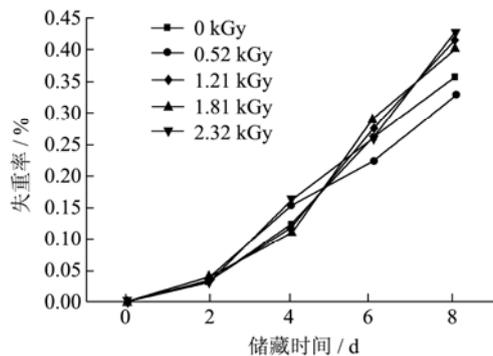


图5 辐照及储藏时间对鲜切彩椒失重率的影响

Fig.5 Effects of irradiation and storage time on the weight loss of fresh-cut color pepper (n=3)

2.2.4 不同剂量辐照处理对鲜切彩椒中维生素C含量的影响

不同辐照剂量对鲜切彩椒中维生素C含量的影响见图6。由图表明,辐照处理降低了鲜切彩椒中维生素C含量,但不同剂量辐照处理对维生素C含量下降程度的影响存在差异,经辐照处理后鲜切彩椒维生素C含量下降速率较未辐照处理组缓慢。贮藏8 d中,剂量1.21、1.81和2.32 kGy辐照处理的鲜切彩椒维生素C含量几乎没有降低。实验结果表明,辐照处理会降低鲜切彩椒中的维生素C含量,但同时可以减缓维生素C的下降速率。

2.2.5 不同剂量辐照处理对鲜切彩椒可溶性固形物含量的影响

不同辐照剂量对鲜切彩椒中可溶性固形物含量的影响见图7。由图可以看出,不同剂量辐照处理的鲜切彩椒可溶性固形物含量均先增加后减少,都有一个峰值,都是在储藏第4 d达到最高。之后可溶性固形物开始下降,未辐照组的可溶性固形物峰值最高,辐照处理组可溶性固形物变化与未辐照组一致。不同剂量辐照鲜切彩椒可溶性固形物含量与对照组无明显差异。

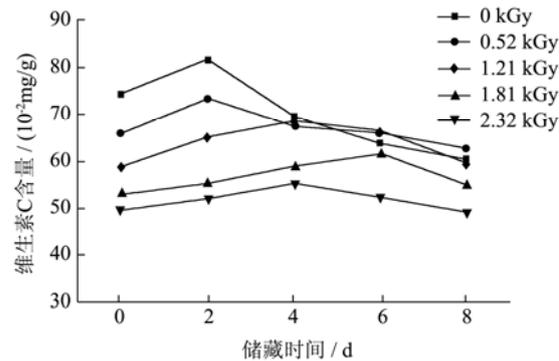


图6 辐照及储藏时间对鲜切彩椒维生素C含量的影响

Fig.6 Effects of irradiation and storage time on the vitamin C content of fresh-cut color pepper (n=3)

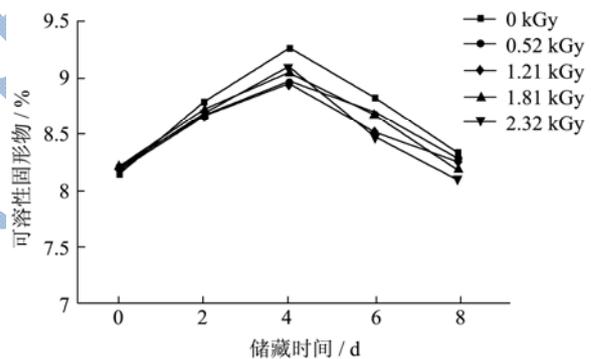


图7 辐照及储藏时间对鲜切彩椒可溶性固形物含量的影响

Fig.7 Effects of irradiation and storage time on the soluble solid content of fresh-cut color pepper (n=3)

2.3 辐照对鲜切彩椒感官品质的影响

根据辐照新鲜水果蔬菜类卫生标准 GB 14891.5-1997 对感官的要求,凡经过辐照处理的新鲜水果,蔬菜应保持原有的色、香、味和形状且无腐烂变质和异味。结合本研究的评价指标,感官得分低于3分时,总体不能接受。从表3可以看出,随着辐照剂量的增加,鲜切彩椒总体接受性得分下降。在储藏期6 d时,各种处理与处理0 d时差异显著,辐照剂量>1.81 kGy时感官不能接受。在储藏期8 d时,辐照剂量≥1.21 kGy处理的样品得分都低于3分,感官不能接受。

表3 不同辐照剂量及储藏时间对鲜切彩椒总体可接受性的影响

Table 3 Effects of storage time and irradiation dose on the acceptability of fresh-cut pepper

| 辐照剂量 /kGy | 贮藏时间/d | | | | |
|--------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0 | 4.55±0.32 ^{aA} | 4.30±0.39 ^{aA} | 4.28±0.39 ^{aA} | 3.69±0.37 ^{aB} | 3.22±0.27 ^{aC} |
| 0.52 | 4.31±0.34 ^{aA} | 4.00±0.32 ^{abAB} | 3.75±0.21 ^{abB} | 3.50±0.20 ^{abB} | 3.07±0.21 ^{aC} |
| 1.21 | 4.24±0.32 ^{aA} | 3.90±0.37 ^{abA} | 3.95±0.34 ^{aA} | 3.32±0.32 ^{abB} | 2.97±0.25 ^{aC} |
| 1.81 | 4.03±0.31 ^{ba} | 3.70±0.29 ^{ba} | 3.65±0.37 ^{ba} | 3.25±0.15 ^{bb} | 2.64±0.26 ^{bc} |
| 2.32 | 3.45±0.33 ^{ca} | 3.30±0.34 ^{ca} | 3.25±0.27 ^{ca} | 2.86±0.27 ^{cb} | 2.52±0.19 ^{bc} |

注：每列不同小写字母代表在 $\alpha=0.05$ 水平上鲜切彩椒总体可接受性随辐照剂量差异显著，每行不同大写字母代表在 $\alpha=0.05$ 水平上鲜切彩椒总体可接受性随贮藏时间差异显著。

3 讨论

从辐照对彩椒减菌效果的影响来看，辐照具有显著的减菌效果，随着辐照剂量的增大，减菌效果显著增强。辐照剂量 ≥ 0.52 kGy 处理鲜切彩椒可以显著减少菌落总数和大肠菌群数，使菌落总数下降2个数量级，大肠菌群数下降3个数量级；且在6 d贮藏期内菌落总数均小于 5×10^4 cfu/g，符合食用卫生要求，大肠菌群含量均低于100 cfu/g，对普通人食用没有影响。本文根据lgN-D曲线拟合的线性关系求得鲜切彩椒的英诺克李斯特菌 $D_{10}=0.21$ ，肠炎沙门氏菌 $D_{10}=0.22$ ，一般来说，鲜切彩椒中无致病菌的检出，当染菌量 ≤ 100 cfu/g时，辐照剂量 ≥ 0.52 kGy 的处理可以有效减少鲜切彩椒中的致病菌至不得检出，保证食用安全。与其他研究相比，Goularte 等^[13]用 γ 辐照鲜切生菜 *Salmeonlla ssp* 求得的 D 值 0.16~0.23 kGy 和 *E.coli*157:H7 求得的 D 值 0.11~0.12 kGy 相比，本实验得到的肠炎沙门氏菌的 D_{10} 值要略高些。分析原因，可能与鲜切菜品种相关，彩椒与生菜品种不同，导致不同射线对不同介质减菌效果不同，还可能与微生物在不同生存条件下对射线的抵抗能力不同相关。具体原因有待进一步研究。本实验确定的最低有效剂量为 0.52 kGy，货架期是 6 d。

从辐照对鲜切彩椒食用品质及理化性质的影响上看，过高的辐照剂量会对食品的品质和功能特性产生危害，在实际生产中要确定辐照工艺的最高耐受剂量。与对照组相比辐照处理对鲜切彩椒失重率，可溶性固形物的影响在 5%水平上差异不显著。不同剂量辐照处理的鲜切彩椒在储藏第 6 d 出现了“亚硝峰”，对照组的样品和辐照剂量 1.81 kGy 处理的样品在贮藏 8 d 内亚硝酸盐含量持续增大，对鲜切彩椒的食用安全产生负作用，实际生产中宜用高于或低于 1.81 kGy 辐照剂量处理鲜切彩椒；辐照剂量 >1.81 kGy 处理的样品与对照组样品相比硬度和 Vc 含量下降显著，但可延

缓硬度和 Vc 含量的下降速率，这与 Prakasha 等^[14]对番茄丁进行 3.7 kGy 剂量的辐照处理后硬度降低 50%，0.5 kGy 剂量处理硬度降低 20%，但 0.5 kGy 剂量处理后却未感觉出硬度变化相一致，工业生产可依据生产要求，贮藏期等确定最佳辐照条件。本研究感官评价结果显示在贮藏 6 d 内，各处理与对照差异显著，辐照剂量 >1.81 kGy，感官不能接受。因此，本研究确定辐照鲜切彩椒的最高耐受剂量为 1.81 kGy。即辐照剂量 ≤ 1.81 kGy 辐照处理对鲜切彩椒的色泽、气味、质地和滋味、组织状态等感官方面可接受性没有显著影响。

目前对于辐照技术应用于鲜切蔬菜的保鲜上的研究比较活跃，但国内进行的相关研究却极少，对于辐照鲜切蔬菜的最高耐受剂量没有确切的报道，本研究确定辐照鲜切彩椒的最低有效剂量为 0.52 kGy，最高耐受剂量可达到 1.81 kGy，最高耐受剂量和最低有效剂量的比值为 3.48 大于 2，可满足工业生产的要求，具有较强的应用价值。本研究可以为以后的研究和工业生产提供一定的技术支持。

4 结论

^{60}Co γ 辐照对鲜切彩椒的减菌效果显著，辐照处理最低有效剂量为 0.52 kGy，最高耐受剂量为 1.81 kGy。用 0.52~1.81 kGy 范围内的辐照剂量处理鲜切彩椒，可在 4 °C 冷藏条件下储藏 6 d，符合卫生要求，可满足普通消费者的食用要求。

参考文献

- [1] 韩向阳.整枝方式对不同彩椒品种产量及品质的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2006
HAN Xiang-yang. Effect of pruned methods on yield and quality of color sweet pepper with different varieties [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2006
- [2] 安燕,郭晓华,丁立孝,等.营养彩椒鱿鱼肠的研制[J].农产品

- 加工,2011,4:97-106
- AN Yan, GUO Xiao-hua, DING Li-xiao, et al. Nutrient color bell pepper squid sausage [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011, 4: 97-106
- [3] Sinigaglia M, Albenzio M, Rosaria C M. Influence of process operations on shelf-life and microbial population of fresh-cut vegetables [J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 1999, 23: 484-488
- [4] 郑林彦,韩涛,李丽萍.国内切割果蔬的保鲜研究现状[J].食品科学,2005,26(5):125-127
- ZHENG Lin-yan, HAN Tao, LI Li-ping. The present situation of study on fresh-cut products [J]. Food Science, 2005, 26(5): 125-127
- [5] Ihsanullah I, Iqbal Y, Khattak T N. Effect of various irradiation doses on some nutrients of Pakistani date [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005, 2: 361-366
- [6] 张晓艳,杨宪时,李学英,等.辐照和保鲜剂对淡腌大黄鱼保鲜效果的研究[J].现代食品科技,2012,28(7):768-771
- ZHANG Xiao-yan, YANG Xian-shi, LI Xue-ying, et al. Application of gamma irradiation and additive in fresh-keeping of the mildly salted pseudosciaena crocea [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(7): 768-771
- [7] Lee N Y, Jo C, Shin D H, et al. Effect of γ -irradiation on pathogens inoculated into ready-to-use vegetables [J]. Food Microbiology, 2006, 23(7): 649-656
- [8] Mtenga A B, Kassim N, Lee W G. Resistance of bacillus cereus and its enterotoxin genes in ready-to-eat Foods to γ -Irradiation [J]. Food Science, 2012, 21(2): 443-452
- [9] Chervin C, Triantaphylides C, Libert M F, et al. Reduction of wound-induced respiration and ethylene production in carrot root tissues by gamma irradiation [J]. Postharvest Biology and Technology, 1992, 8(2): 7-17
- [10] Farkas J. Effects of low dose gamma radiation of shelf live and microbiological safety of precut/prepared vegetables [J]. Food Science, 1997, 19: 111-119
- [11] Fan X, Sokoral K J B. Retention of quality and nutritional value of 13 fresh-cut vegetables treated with low dose radiation sensory and food quality [J]. Food Science, 2008, 7(73): 367-372
- [12] Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation [J]. Science of Food and Agriculture, 2006, 86(1): 10-17
- [13] Goularte L, Martins C G, Morales A I C. Combination of minimal processing and irradiation to improve the microbiological safety of lettuce [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2004, 71(1/2): 157-161
- [14] Prakash A, Manley J, Decosta S, et al. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63(6): 387-390