电子束辐照对辣椒热风干燥特性及品质的影响

颜伟强[1,2]，孔秋莲[1,2]，岳 玲[1,2]，王海宏[1,2]，陈志军[1,2]，吴爱忠[1]，戚文元[*1,2]
（1. 上海市农业科学院，上海 201106；2. 上海束能辐照技术有限公司，上海 201401）

摘要：以电子束辐照结合热风干燥辣椒，研究不同辐照剂量的辣椒热风干燥特性及其对产品微生物和品质的影响。结果表明：辣椒经2、3、6 kGy辐照预处理后，干燥速率显著提高，辐照剂量与干燥速率呈正相关；新鲜辣椒干燥前进行辐照处理能够更有效杀灭产品中的微生物，且所需要辐照剂量低(3~6 kGy)；辣椒中辣椒素和辣椒红色素耐辐照能力较强，但相对于高含水率的新鲜原料，其耐辐照能力相对较弱，在6 kGy剂量时对其品质会产生显著影响(P<0.05)。研究结果表明，应控制辣椒预辐照剂量，实现辣椒低剂量辐照灭菌和热风干燥效率的提高。

关键词：辣椒；辐照；干燥速率；微生物；品质
中图分类号：TS 255.52　**文献标志码**：A　**文章编号**：1673—1689(2015)09—0914—06

Effect of Electron Beam Irradiation on Hot-Air Drying Characteristics and Quality of Chilli

YAN Weiqiang[1,2]，*KONG Qiulian*[1,2]，*YUE Ling*[1,2]，*WANG Haihong*[1,2]，*CHEN Zhijun*[1,2]，*WU Aizhong*[1]，*QI Wenyuan*[*1,2]
（1. Crop Institute, Shanghai Academy of Agriculture Science, Shanghai 201106, China; 2. Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co. Ltd., Shanghai 201401, China）

Abstract: The effects of electron beam (EB) irradiation with different doses combined with hot-air drying on the characteristics, microorganism, and quality of chilli were studied. The results showed that drying rate increased significantly after the irradiation treatment with the dose of 2, 3 and 6 kGy, and there was a positive correlation between irradiation dose and drying rate. The radiation treatment of chilli before drying could more effectively impel sterilization in the product with a lower irradiation dose (3-6 kGy). There was a significant effect on the quality in fresh chilli with the irradiation dose of 6 kGy (p<0.05) due to the high water content of fresh raw materials though capsaicin and paprika pigments of chilli have the strong resistant ability on irradiation. The study showed that the dose of irradiation pretreatment should be controlled to improve irradiation sterilization with the low dose and hot-air drying rate of chilli.

Keywords: chilli, irradiation, drying rate, microorganism, quality

收稿日期：2014-08-24
基金项目：国家863计划重点项目(2011AA100804)；上海市科委国际合作项目(12390700700)。
*通信作者：戚文元(1963—)，男，上海人，研究员，主要从事辐照保鲜加工研究。E-mail：webweifree@163.com

辣椒营养价值高，辣椒中的辛辣成分主要物质是辣椒素类化合物，辣椒中辣椒红色素是天然红色素，辣椒红素不仅色价高、安全无毒，而且具有抗癌美容的功效[1]，因此被广泛应用于食品加工各个领域。新鲜辣椒在采收、加工与贮藏等过程中容易受到微生物的污染，即使是干制之后辣椒干或辣椒粉，其微生物数量仍旧很高，需要高剂量辐照或温度高压处理，才能控制产品中的微生物处于一个安全水平[2]。

新鲜的农产品经辐照之后，除产品中微生物被杀灭外，其内部组织结构也会发生变化，这种变化有可能导致其干燥特性的变化。国内有学者采用^{60}Co 辐照预处理，研究辐照对胡萝卜、甘薯、小麦等农产品干燥特性的影响[3-5]。但基于高能电子加速器的电子束辐照，研究或分析辣椒等香辛料干燥特性、微生物及品质变化暂未见报导。与传统 ^{60}Co 辐照相比，高能电子加速器辐照具有电子束流集中定向、能源利用充分、辐照剂量高、作用时间短且剂量分布均匀的特点[6]，且电子束辐照安全环保。

作者以新鲜辣椒为试材，研究了不同电子束辐照剂量的辣椒热风干燥特性，分析辐照结合热风干燥对产品中微生物、辣椒素与辣椒红色素的影响，初步探索了电子束低剂量辐照与热风干燥工艺，为电子束辐照技术应用在农产品深加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

小红尖椒 *Capsicum annuum*，上海市农业科学院庄行综合试验站提供。

1.2 电子束辐照

上海束能辐照技术有限公司 ESS-010-03 型加速器，额定能量 10 MeV，功率 11.7 kW，重复可变频率 5~550 Hz（脉冲/秒），扫描电流 9.8 A，扫描高度 520 mm，辐照不均匀度小于 5%，辣椒辐照时的装载厚度不超过 8 cm。

1.3 干燥

采用电热恒温干燥箱干燥，干燥时温度为 65 ℃，干燥风速为 1.2 m/s，干燥终点为样品湿基水分质量分数小于 14%，干燥后样品采用双层聚乙烯袋密封包装，在 4 ℃下冷藏。

1.4 方法

1.4.1 物料含水率测定 辣椒的含水率测定参照常压烘箱干燥法（GB5009.3），干燥温度的控制范围在（105±2）℃之间，每次取样约 5 g，烘干燥时间为 4 h，分别计算出湿基含水率和干基含水率。

1.4.2 微生物检测 菌落总数按《食品微生物学检验 菌落总数测定》（GB 4789.2-2010）检测，霉菌与酵母菌按《食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》（GB 4789.15-2010）检测，大肠菌群按《食品微生物学检验 大肠菌群计数》（GB 4789.3-2010）检测。

1.4.3 辣椒素检测 样品研细后全部通过 20 目分样筛在常温下避光贮藏备用，其它步骤参照 GB10465 采用分光光度法进行检测，最终单位换算成 mg/kg，计算公式为：辣椒素质量分数

$$w_1=\frac{100\times50c}{2m} \quad (1)$$

式（1）中：c 为标准曲线上查得的相应质量分数（mg/kg）；m 为试样质量，g。取试样测定 3 次的平均值。

1.4.4 辣椒红色素检测 样品处理：称取 0.25 g 样品置于 100 mL 的具塞三角瓶内，加入 80 mL 丙酮分次定量提取，滤纸过滤至 100 mL 容量瓶内，以丙酮定容；并吸取 1 mL 该萃取液，移入 10 mL 容量瓶内，丙酮定容后避光存放。标准比色液配制：用 1.8 mol/L 硫酸溶液配制每升中含 0.300 5 g 重铬酸钾和 34.96 g 硫酸铵钴晶体的比色液。检测时，采用丙酮作参比，测定 460 nm 处样品溶液的吸光度，同时测定标准比色液在 460 nm 处的吸光度[7]。计算公式为：辣椒红色素质量分数（ASTA 值，mg/kg）

$$w_2=A\times164L_t/m \quad (2)$$

式（2）中：A 为吸光度；164 为 ASTA 转换系数；L_t 为仪器校准系数，L_t=0.600/A；m 为样品质量，g。每个样品平行测试 3 次，取平均值。

1.4.5 统计分析 实验数据采用 SPSS10.0 软件进行分析，对其进行 One-way 方差分析（ANOVA）和均值差异性的相关分析，显著性水平 p<0.05；图像绘制采用 Oring8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照对辣椒干燥特性的影响

新鲜辣椒分别采用 0、2、3、6 kGy 电子束辐照剂量处理后，在热风温度为 65 ℃条件干燥，所得不同辐照剂量对辣椒含水率与干燥速率的影响如图 1、2 所示。由图可知，经电子束辐照之后的辣椒干燥时间相对较短，6 kGy 辐照之后辣椒其水分质量分

数达到产品标准要求的14%以下,其所需要干燥时间约为8.5 h,2、3 kGy辐照之后干燥所需要时间约为9~9.5 h,而未经辐照处理的辣椒所需要干燥时间超过了10 h,干燥时间随辐照剂量增加而减少,辐照之后辣椒在同样干燥条件下其干燥效率得到明显的提升。图2显示了辣椒干燥时间与干燥速率的关系。在干燥初期,辐照剂量增加能够显著加快干燥速率,不同辐照剂量下的最大干燥速率出现在前30 min,经6、3、2 kGy辐照剂量处理后最大干燥速率分别为11.2、8.3、7.4 kg/(kg·min),而未经辐照处理的干燥速率则为6.1 kg/(kg·min);干燥后期,不同辐照剂量其干燥速率均显著降低,这与大多数果蔬热风干燥的规律类似,随着水分的降低,辣椒中自由水的减少,物料内的水分基本是结合水或吸附于物料内部深层部位的水,比较难以蒸发;同时,物料经热风干燥表层的组织破坏并收缩,会在物料的表面形成一硬壳,而由于脱水使其内部组织也会出现收缩,这些使得水分扩散的阻力增大,干燥速率也随之降低。

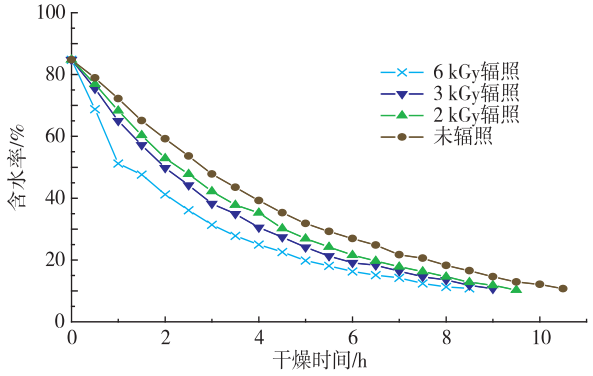


图1 不同辐照剂量辣椒含水率随时间的变化曲线

Fig. 1 Curves of moisture content of chilli with the change of time under different irradiation dose

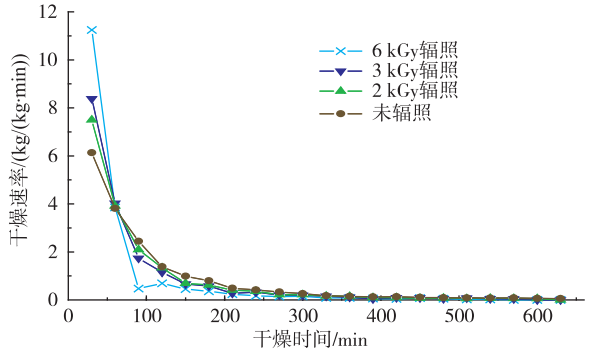


图2 不同辐照剂量辣椒干燥速率的变化曲线

Fig. 2 Curves of drying rate change of chilli under different irradiation dose

辣椒高能电子束辐照之后其干燥效率提高,廖文艳等(2010)采用^{60}Co的γ-射线对胡萝卜进行辐照预处理[3],研究了辐照剂量和干燥温度等因素对胡萝卜干燥特性的影响,结果也发现干燥速率随辐照剂量增加而升高,这是由于电子束辐照会破坏辣椒的细胞结构,使得细胞壁变薄、稀松或破裂,促使细胞内水分更易向外扩散,物料内的自由水量增加,同时细胞组织分散,在干燥过程中更有利于水分从内部向表层迁移,从而增强了水分扩散的能力;此外,高能电子束有别^{60}Coγ-射线辐照,主要是电子束辐照束流集中,辐照时剂量率远高于^{60}Co,新鲜辣椒在电子束流作用下会使物质间的化学键产生不同程度的破坏,使水分与其它分子所形成紧密或稳定的结构产生分裂或松动,促使辣椒表面致密结构产生松弛或微孔,在干燥过程内部水分更易向外扩散[8-9]。因此经过电子束辐照之后新鲜辣椒,在热风干燥初期其干燥速率明显高于未经辐照的物料,且干燥速率随辐照剂量增加而增加;随着物料水分蒸发,产生组织收缩,辐照后有利于水分扩散的影响因子减弱,因此干燥后期的干燥速率逐渐降低,与未辐照的干燥速率基本趋于一致。

2.2 电子束辐照对辣椒微生物的影响

电子束辐照与热风干燥处理新鲜辣椒的先后顺序对脱水辣椒中微生物的影响如表1—3所示。从表中可知,不同处理方式对干制后辣椒的微生物影响非常明显,新鲜辣椒原料的初始含菌高,其菌落总数、霉菌与酵母、大肠菌群的数量分别为6.2×10^7、1.6×10^7和高于1 100,当采用2、3、6 kGy剂量电子束辐照之后,其微生物仍保持较高数量(见表1);辐照后的原料进行热风处理,其微生物数量显著降低(见表2),即经2、3、6 kGy剂量电子束辐照后干燥,菌落总数分别为4.8×10^2、1.1×10^2和62,霉菌与酵母菌为370,85和20,参照相应复合调味料的卫生标准,3 kGy以上剂量处理后干燥,产品的大肠菌群MPN均小于3.0 g^{-1},满足产品卫生要求,即采用3 kGy以上剂量电子束辐照后干燥所得辣椒干其微生物指标符合相应卫生标准,实现了辐照灭菌目标。常规的干制辣椒灭菌一般是先干燥后辐照灭菌,未辐照新鲜辣椒干燥后,通过不同辐照剂量处理,微生物数量降低,但最终数量仍不符合食品卫生要求(见表3),即当辐照剂量达到6 kGy时,菌落总数,霉菌与酵母菌数量满足了相应指标,但大

肠菌群 MPN 仍达 28 g^{-1}，没有达到辐照灭菌卫生要求。该实验结果表明，新鲜辣椒电子束辐照与热风干燥处理方式对最终干制产品的微生物影响非常明显，采用先辐照后热风干燥，可以实现较低剂量(3~6 kGy)辐照灭菌的目的。

表 1　新鲜辣椒电子束辐照后的微生物

Table 1　Microbe quantity of fresh chilli after EB irradiation

辐照剂量/kGy	菌落总数/(cfu/g)	霉菌与酵母菌数/(cfu/g)	大肠菌 MPN/g
0	6.2×10^7	1.6×10^7	>1100
2	5.4×10^5	8.4×10^5	>1100
3	1.8×10^5	7.3×10^5	1100
6	3.7×10^3	1.2×10^4	28

表 2　辣椒辐照预处理后干燥的产品微生物

Table 2　Microbe quantity of drying chilli with pre-treatment of EB irradiation

辐照剂量/kGy	菌落总数/(cfu/g)	霉菌与酵母菌数/(cfu/g)	大肠菌 MPN/g
0	7.8×10^5	5.2×10^5	1100
2	4.8×10^2	3.7×10^2	11
3	1.1×10^2	85	<3.0
6	62	20	<3.0

表 3　辣椒干燥之后辐照的产品微生物

Table 3　Microbe quantity of drying chilli with EB irradiation

辐照剂量/kGy	菌落总数/(cfu/g)	霉菌与酵母菌数/(cfu/g)	大肠菌 MPN/g
0	4.6×10^5	2.7×10^5	>1100
2	3.4×10^4	4.2×10^4	>1100
3	5.2×10^3	1.2×10^4	1100
6	6.3×10^2	4.2×10^3	28

新鲜辣椒电子束辐照与热风干燥处理次序不同，得到不同微生物数量的产品，是由于原料含水率对电子束辐照效果有着显著的影响，微生物在高含水率情况下，电子束对微生物细胞中生理活性物质如 DNA、核酸、酶及蛋白质作用更为有效，通过破坏活性物质，从而杀灭微生物或抑制其生长与繁殖能力。因此含高水分原料中微生物辐照 D_{10} 值相对较低[6]。有研究表明[10]，3 kGy 电子束处理可明显抑制新鲜榨菜中的细菌数量，使其降低 2 个数量级；1 kGy 电子束处理后对鲜切西洋芹的大肠杆菌、细菌和霉菌有较好的控制作用[11]。说明在高含水率条件下，电子束辐照大肠杆菌、细菌和霉菌的 D_{10} 值小于 2.0 kGy；而低含水率的干制香辛料 D_{10} 值相对较高，有研究显示，辣椒粉、白胡椒粉的菌落总数在高能电子加速器下的 D_{10} 值分别是 2.87、2.16 kGy，霉菌与酵母菌的 D_{10} 值分别是 2.90、2.77 kGy [12]，因此在相同电子束辐照剂量下，新鲜辣椒辐照灭菌效果更为显著。此外，由于高能电子束对微生物的辐照效应，新鲜辣椒经辐照处理后，原料中微生物的生理机能受到不同程度的破坏，这些微生物在正常环境下，其生理机能会自我修复，但不利于其生长的热风干燥环境下，随着温度升高和水分降低，这些生理机能损伤的微生物则难以修复，通过干燥作用可以更有效杀灭预辐照处理之后原料中的微生物。因此，经高能电子束预辐照的新鲜辣椒，结合热风干燥可以实现辣椒的低剂量辐照灭菌效果。

2.3　电子束辐照干燥对辣椒品质的影响

电子束辐照不同剂量和热风干燥对辣椒中辣椒素与辣椒红色素的影响如图 3 和图 4 所示，可以看出，经 2、3 kGy 辐照之后的新鲜与干燥之后辣椒的辣椒素和辣椒红色素与未辐照对照样无显著差异 (P >0.05)，6 kGy 辐照则与其它组有显著差异 (P<0.05)。辣椒素是一种极度辛辣的香草酰胺类生物碱，具有消炎镇痛、促进脂肪代谢、催泪催嚏等作用，辣椒素和二氢辣椒素是辣椒碱中的主要呈辣物质，其中辣椒素约占辣椒素类物质总量的 70%；辣椒红色素是辣椒的主要显色物质，属于类胡萝卜素类色素，易被人体消化吸收并转化成为维生素 A。辣椒素类物质与辣椒红色素含量直接影响到辣椒及其制品的产品品质[13]。

有研究发现，辣椒素类物质耐辐照能力较强，经 7~15 kGy 辐照后，辣椒素、二氢辣椒素等辣椒碱的含量均未出现明显的变化[14]。Topuz A 等对辣椒粉中辣椒素类物质进行了不同干燥方法、辐照剂量与储藏时间对其稳定性的影响[15]的研究，结果表明，烘箱烘干辣椒最终辣椒素含量比传统日晒还要高，^{60}Co 辐照处理后最终检测出辣椒素含量还有增加的现象，但随着贮藏时间延长其辣椒素量则出现下降[16]。本试验在 6 kGy 电子束辐照时出现辣椒素含量下降，这可能与辣椒素类物质的合成途径有关。辣椒素类物质是由香草基胺与 C_9—C_{11} 支链脂肪酸合成，前者来源苯丙氨基酸途径，后者来源于颗氨酸或亮氨酸[17]，在合成过程需要各种酶作用，在 6 kGy 辐照条件下，参与辣椒素类物质合成的酶经辐

照可能会导致酶活力降低或失活;此外,新鲜辣椒含水率高,较高剂量高能电子束辐照也会降解部分辣椒素,使之含量下降。热风干燥之后不同辐照剂量的辣椒素含量的差异,是由于新鲜原料辐照之后其含量变化所致。

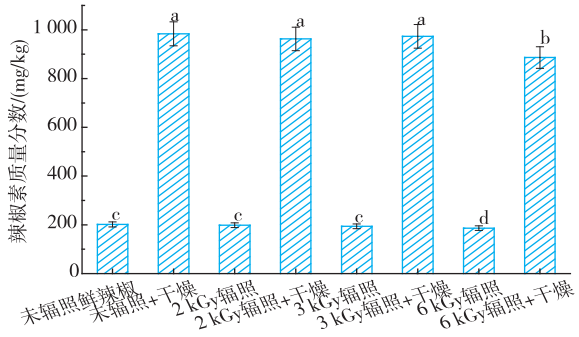


图 3　不同处理方式对辣椒素质量分数的影响

Fig. 3　Effect of different treatments on the capsaicin contents

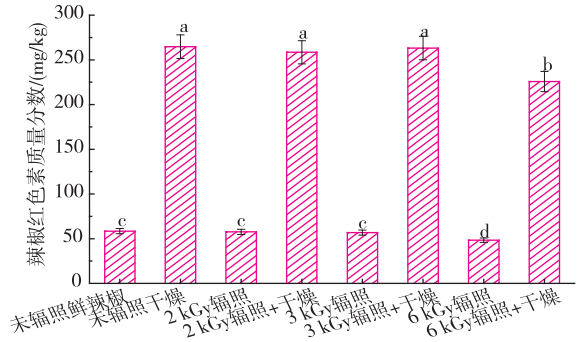


图 4　不同处理方式对辣椒红色素质量分数的影响

Fig. 4　Effect of different treatments on the content of paprika pigments

在辐照剂量小于 6 kGy 时,热风干燥之后产品中辣椒红色素的含量无显著变化,这是由于辣椒红色素耐辐照能力较强。Chatterjee 等研究发现[18],经 1~10 kGy 辐照之后的红辣椒粉贮藏 12 个月,定期比较辣椒红色素 ASTA 值的变化,辐照与未辐照的 ASTA 值之间没有差异,在感官上无法区分两者间的差别。本试验干燥之后的产品,在感官色泽上各组之间也没有任何区别。上图 3 的结果表明,新鲜原料中辣椒红素的耐辐照能力相对较弱,这可能是物料含水率高,电子束辐照之后产生大量自由基,在高含水体系中易与辣椒红色素中的黄胡萝卜素相互作用,以及电子束辐照时对辣椒红色素的降解作用最终导致了其含量的降低[19]。辣椒红色素在温度小于 80 ℃条件下对热稳定性强[20],不易分解。本试验中采用 65 ℃热风干燥温度,干燥之后的辣椒红色素含量显著增加,这是由于产品水分蒸发所致。通过计算新鲜原料与脱水后产品中的红色素含量,二者的总量基本一致。

3 结　语

新鲜辣椒经高能电子束辐照,能够破坏其细胞结构,细胞中组织液渗出或流失,自由水的含量增加,电子束辐照也会促使辣椒表面致密结构产生松弛或微孔,在干燥过程内部水分更易向外扩散,这些都有利于干燥时的水分向外扩散,因此在同样热风干燥条件下,辐照剂量越高其干燥速率越快。

相同电子束辐照剂量对新鲜辣椒灭菌效果强于脱水后对干制品,辐照处理后原料残留有大量的微生物,但这些微生物生理机能在辐照过程中受到了不同程度的破坏,随着水分含量在干燥过程中降低,这些微生物生理机能不易修复,热风干燥能够更有效杀灭产品中的微生物,实现低剂量辐照(3~6 kGy)灭菌的效果,保证了脱水辣椒的产品品质。

辣椒中的辣椒素和辣椒红色素耐辐照能力较强,特别是在低含水率条件下,相对于高含水率的新鲜原料,其耐辐照能力相对较弱(小于 6 kGy),控制辣椒预辐照剂量,结合热风干燥,可实现香辛料低剂量辐照灭菌效果,同时也显著提高干燥效率。

参考文献:

[1] 彭书练,丁芳林. 辣椒中的几种功能成分及其应用[J]. 辣椒杂志,2008(1):26-29.
PENG Shulian,DING Fanglin. The functional components in chilli and their application [J]. **Journal of China Capsicum**,2008(1):26-29.(in Chinese)

[2] 张慜,王丽萍. 调理食品杀菌技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2012,32(8):785-792.
ZHANG Min,WANG Liping. Research progress on prepared food sterilization technology [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,1984,4(1):34-39.(in Chinese)

[3] 廖文艳,王俊,于勇,等. ^{60}Co γ - 辐照对胡萝卜干燥特性的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(6):123-127.
LIAO Wenyan,WANG Jun,YU Yong,et al. Effect of ^{60}Co γ -irradiation pre-treatment on drying characters of carrot [J].

Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(6):123-127.(in Chinese)

[4] 江宁,刘春泉,李大婧,等. ^{60}Co γ - 射线辐照预处理对甘薯热风干燥特性的影响[J]. 核农学报,2012,26(1):80-85.
JIANG Ning,LIU Chunquan,LI Daqing,et al. Influence of ^{60}Coγ -irradiation pre-treatment on characteristics of hot air drying sweet potato slices[J]. **Acta Agriculturae Nucleatae Sinica**,2012,26(1):80-85.(in Chinese)

[5] 于勇,王俊,王爱华,等. ^{60}Co γ - 射线辐照预处理对小麦干燥特性的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(5):145-149.
YU Yong,WANG Jun,WANG Aihua,et al. Effect of ^{60}Co gamma irradiation pre-treatment on drying characteristic of wheat[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**,2005,21(5):145-149.(in Chinese)

[6] 戚文元,颜伟强,孔秋莲,等. 电子束辐照对即食凤爪品质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(9):925-931.
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)

[7] 宋金凤,张松岩,唐丹舟,等. 辣椒及其制品中红色素测定——分光光度法[J]. 食品研究与开发,2001,22(3):57-59.
SONG Jinfeng,ZHANG Songyan,TANG Danzhou,et al. Method for detecting paprika pigments in chilli and pepper-based products the spectrophotometric determination[J]. **Food Research and Development**,2001,22(3):57-59.(in Chinese)

[8] Sato Mitsuhiko, Sumie Yokoyama, Koshiba Tomokazu, et al. γ -irradiation damage to leaf vacuole membranes of chelirlorzivm majus[J]. **Environmental and Experimental Botany**,1995,35(1):71-76.

[9] Valeroa M ,Sarrıasa J A, lvarezb D A,et al. Modeling the influence of electron beam irradiation on the heat resistance of bacillus cereus spores[J]. **Food Microbiol**,2006,23:367-371.

[10] 刘践,谢宗传,王兴海,等. 电子束辐照榨菜保鲜研究[J]. 核农学报,2001,10(3):141-144.
LIU Jian,XIE Zhongchuan,WANG Xinghai,et al. Electronic beam preservation of pickle [J]. **ACTA Agriculturae Nucleatae Sinica**,2001,10(3):141-144.(in Chinese)

[11] Palekar M P,Cabrera-Diaz E,Kalbasi-Ashtari A,et al. Effect of electron beam irradiation on the bacterial load and sensorial quality of sliced cantaloupe[J]. **Food Sci**,2004,69(3):267-273.

[12] 马俊,颜伟强,孔秋莲,等. 香辛料中微生物在高能电子加速器下的 D_{10} 值研究[J]. 保鲜与加工,2013,13(1):40-44.
MA Jun,YAN Weiqiang,KONG Qiulian,et al. Study on the D_{10} value of microbes in the spice with high-energy electron accelerators[J]. **Storage and Process**,2013,13(1):40-44.(in Chinese)

[13] 黄科,李宾. 辣椒功能保健成分研究进展[J]. 辣椒杂志,2006,4(3):6-8.
HUANG Ke,LI Bin. Advances in health-care functional agents of pepper[J]. **Journal of China Capsicum**,2006,4(3):6-8.(in Chinese)

[14] 董丹,刘会平,徐涛,等. 辐照杀菌对辣椒粉色泽、辣度及挥发油的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(14):117-121.
DONG Dan,LIU Huiping,XU Tao,et al. Effects of irradiation on color,pungency and volatile oil of chilli powder [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2013,34(14):117-121.(in Chinese)

[15] Topuz A. Influences of γ -irradiation and storage on the carotenoids of sun-dried and dehydrated paprika [J]. **J Agric Food Chem**,2003,51:4972-4977.

[16] 丁筑红,杨咏鹃,刘坤,等. 不同干燥方法对辣椒品质的影响[J]. 食品科技,2008,33(4):57-60.
DING Zhuhong,YANG Yongjuan,LIU Kun,et al. Influence of capsicum quality to different drying methods [J]. **Food Science and Technology**,2008,33(4):57-60.(in Chinese)

[17] 阮文渊,贾承国,李彦磊,等. 辣椒中辣椒素生物合成途径基因 Kas 克隆及表达研究[J]. 东北农业大学学报,2011,42(1):103-108.
RUAN Wenyuan,JIA Chengguo,LI Yanlei,et al. Cloning and expression of kas gene related to capsaicin biosynthesis in capsicum annuum L.[J]. **Journal of Northeast Agricultural University**,2011,42(1):103-108.(in Chinese)

[18] Chatterjee S,Padwal-Desai S R,Thomas P. Effect of γ -irradiation on the colour power of turmeric (Curcuma longa) and red chillies(Capsicum annum) during storage[J]. **Food Research International**,1998,31(9):625-628.

[19] Lee J H,Sunk T H,Lee K T,et al. Effect of gamma-irradiation on color,pungency,and volatiles of korean red pepper powder[J]. **Journal of Food Science**,2004,69(8):585-592.

[20] 金青哲,齐策,王兴国,等. 辣椒红色素的分离及光稳定性研究[J]. 食品与生物技术学报,2007,26:53-57.
JIN Qingzhe,QI Ce,WANG Xingguo,et al. Study on the separation and photostability of the paprika pigments [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2007,26:53-57.(in Chinese)