高能电子束辐照对大米中微生物的杀灭效果

陈晓平，孟　岩，金　玉，王　欢，张　青
（吉林农业大学食品科学与工程学院，吉林 长春　130118）

摘　要：采用单因素试验和正交试验方法，以辐照剂量、辐照时间、物料厚度为变量，研究高能电子束辐照对大米中微生物的影响，探明高能电子束辐照对大米中主要微生物产生明显作用效果的最佳作用条件。结果表明，不同辐照条件对大米中菌落总数、霉菌和酵母菌以及大肠杆菌杀菌效果不同。随着辐照剂量的增大，对大米中微生物杀菌效果越好。正交试验优化得出高能电子束辐照最佳条件为：辐照剂量4 kGy、辐照时间6 s、辐照物料厚度10.5 cm。此条件下，测得大米中菌落总数为82 CFU/g，霉菌和酵母菌总数为2 CFU/g，大肠菌群未检出，高能电子束辐射对大米中微生物杀灭率均超过99%。

关键词：高能电子束；大米；微生物

Killing Effect of High Energy Electron Beam Irradiation on Main Microorganisms in Rice

CHEN Xiaoping, MENG Yan, JIN Yu, WANG Huan, ZHANG Qing
(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun　130118, China)

Abstract: The killing effect of high energy electron beam (HEEB) irradiation on main microorganisms in rice as a function of irradiation dose, irradiation time and material thickness was examined using single factor and orthogonal array experiments, aiming to find the optimal conditions for microbial inactivation of rice. Results showed that the efficacy of HEEB irradiation against the total number of colonies, total combined molds and yeasts count (TYMC) and *E. coli.* varied with the treatment conditions, showing a positive correlation with irradiation dose. The optimum conditions for HEEB irradiation were determined as follows: irradiation dose, 4 kGy; irradiation time, 6 s; and material thickness, 10.5 cm. Under these conditions, the total number of colonies in rice was 82 CFU/g, the total number of mold and yeast colonies was 2 CFU/g, and *E. coli* was not detected. Thus, the microbial inactivation efficiency of HEEB irradiation for rice was more than 99%.

Key words: high energy electron beam; rice; microorganisms
DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608011
中图分类号：TS205.9　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2016）08-0063-04
引文格式：
陈晓平, 孟岩, 金玉, 等. 高能电子束辐照对大米中微生物的杀灭效果[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 63-66. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608011.　http://www.spkx.net.cn
CHEN Xiaoping, MENG Yan, JIN Yu, et al. Killing effect of high energy electron beam irradiation on main microorganisms in rice[J]. Food Science, 2016, 37(8): 63-66. (in Chinese with English abstract)　DOI:10.7506/spkx1002-6630-201608011. http://www.spkx.net.cn

大米是我国居民的主要粮食，我国人口多，随着我国粮食需求的不断增加，粮食中致病微生物生长繁殖引发的健康问题越来越引起人们的关注。稻谷在脱壳过程中，米粒易被划伤，机器上的交链孢霉、蠕孢霉等少数真菌的菌丝可以通过米粒损伤部位伸入到皮层和淀粉层中[1]。大米在储藏过程中会感染黄曲霉、青霉、白曲霉、灰绿曲霉等多种致病菌。据研究资料[2]表明，影响大米储藏安全性及食用安全性的微生物主要有霉菌、酵母菌、大肠杆菌。

面对粮谷在加工、运输、贮藏过程中致病微生物的危害储藏过程中致病微生物的危害，辐照技术有望成为最有前途的现代储粮技术之一[3-4]。其基本原理是利用^{60}Co、^{137}Cs等放射源产生的γ射线、电子加速器产生的X射线（5 MeV以下）或高能电子束（10 MeV以下）辐照食品，抑制食品中的生物体新陈代谢或生长发育，甚至使其死亡，从而达到消毒灭菌、减少损失的目的[5]。进一步研究发现，放射性同位素^{60}Co存在残留核废料处理等诸多弊端，相比之下，电子加速器照射装置具有明显的经

收稿日期：2105-05-13
基金项目：吉林省重点科技攻关项目（20140204037NY）
作者简介：陈晓平（1963—），男，教授，博士，研究方向为食品生物化学与功能食品。E-mail：512399773@qq.com

济优势。高能电子束无废料处理，射线呈直线形辐照，能量定向集中，与钴源的半球形辐照相比，高能电子束利用率更高。并且，高能电子束辐照时间短，吸收剂量均匀，可控性强，在辐照过程中未添加任何化学试剂，无有害物质残留，无二次污染，不存在毒理危害；经过高能电子束辐照的物质温度变化很小，在降低危害的同时避免物质变性，在降解有害物质和杀灭微生物方面有很大潜力；与其他放射源辐照装置相比，高能电子束投资较少，运行费用较低，有望成为绿色储藏加工过程的关键技术[6-7]。大量国内外研究表明，一定剂量的高能电子束在不改变品质前提下抑制蔬菜水果呼吸强度，杀灭干果类食品中微生物，延长货架期；降解畜禽肉及茶叶中有毒、有害农药残留、降解污泥中有毒有机污染物；降低水溶液中亚硝酸盐含量；分解氯霉素且产物安全无毒；研究发现，当辐照剂量为7 kGy时，粮谷中伏马菌素B_1完全被破坏[8-21]。

本实验以辐照剂量、辐照时间、物料厚度为研究条件，采用高能电子束辐照大米，研究不同条件下高能电子束辐照对大米中微生物杀灭效果量效关系，以期为利用高能电子束辐照粮谷类食品食用安全性和优良储藏的研究提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选用当季新磨吉林永吉县大米，品种为超级稻。米粒完整，表面无明显霉变。

煌绿乳糖胆盐肉汤、结晶紫中性红胆盐琼脂、孟加拉红培养基（均为分析纯） 北京奥博兴生物技术有限责任公司。

1.2 仪器与设备

SPX-250B-Z生化培养箱 上海博迅实业有限责任公司医疗设备厂；HS-840-U超净工作台 苏州安泰空气技术有限公司；LDZX-50KBS立式压力蒸汽灭菌锅 上海申安医疗器械厂；GK9-013枪式缝包机 上工申贝集团股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 辐照处理

材料的辐照工作在吉林省意孚电子加速器有限责任公司进行，辐照源为电子加速器产生的高能电子束（9.5 MeV）。

1.3.2 前处理方法

购置当季新磨大米，用55 cm×26 cm编织袋包装后编号、封口，编织袋平放，辐照面积1.43 m^2为固定值，选定辐照剂量、辐照时间和物料厚度对其进行三因素三水平正交试验。

1.3.3 指标测定

菌落总数测定：参照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验：菌落总数测定》方法；霉菌和酵母菌测定：参照GB 4789.15—2010《食品微生物学检验：霉菌和酵母计数》方法；大肠杆菌数测定：参照GB 4789.3—2010《食品微生物学检验：大肠菌群计数》方法。

根据上述方法测得大米在未辐照时的菌落总数为3.85×10^5 CFU/g，霉菌和酵母菌总数为2.35×10^2 CFU/g，大肠菌群总数为5.25×10^2 CFU/g。

1.3.4 单因素试验

1.3.4.1 辐照剂量对大米中微生物杀灭效果的量效关系

当辐照时间3 s、辐照的物料厚度3.5 cm时，调节功率分别为0、2.27、3.65、4.34、7.11、7.89 kW，扫描宽度为74 cm，使辐照剂量分别为0（未辐照）、1、2、3、4、5 kGy，采用1.3.3节的方法测定不同辐照剂量条件下高能电子束辐照对大米中菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠杆菌的杀灭效果。

1.3.4.2 辐照时间对大米中微生物杀灭效果的量效关系

调节功率4.34 kW、扫描宽度74 cm，使辐照剂量3 kGy、物料厚度3.5 cm，调节传送带速度，使辐照时间为2、3、4、5、6 s时，采用1.3.3节的方法测定不同辐照时间条件下高能电子束辐照对大米中菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠杆菌的杀灭效果。

1.3.4.3 物料厚度对大米中微生物杀灭效果的量效关系

调节功率4.34 kW、扫描宽度74 cm，固定辐照剂量3 kGy、辐照时间3 s，分别装入5、10、15、20、25 kg大米，当辐照面积一定时，物料厚度分别为3.5、7.0、10.5、14.0、17.5 cm。采用1.3.3节的方法测定不同物料厚度条件下高能电子束辐照对大米中菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠杆菌的杀灭效果。

1.3.5 正交试验设计

根据单因素试验结果，拟定三因素三水平正交试验。正交试验因素水平设计见表1。

表1 正交试验因素与水平

Table 1 Factors and their coded levels used in orthogonal array design

水平	因素		
	*A*辐照剂量/kGy	*B*辐照时间/s	*C*物料厚度/cm
1	2	4	3.5
2	3	5	7.0
3	4	6	10.5

2 结果与分析

2.1 辐照剂量对大米中微生物杀灭效果的量效关系

由图1可知，大米中微生物杀灭率随高能电子束剂量变化而变化。当辐照剂量为1 kGy时，绝大多数微生物不耐受，大米中菌落总数下降了95%，霉菌和酵母菌数降

低了54%，此剂量条件下高能电子束辐照对大肠杆菌杀灭效果更好，达到99.4%。随着辐照剂量增加，大米中微生物的杀灭率继续增大。辐照剂量增大到3 kGy时，高能电子束辐照对大米中微生物杀灭效果最明显；辐照剂量为5 kGy时，大米中无微生物检出。但辐照剂量过高，大米呈现微黄色，影响大米的感官特性。因此，最宜辐照剂量为3 kGy。

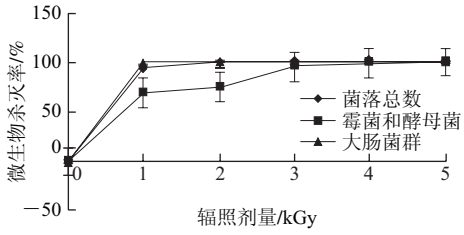


图 1 不同辐照剂量对大米中微生物的杀灭效果

Fig.1 Effect of different irradiation doses on microbial inactivation of rice

2.2 辐照时间对大米中微生物杀灭效果的量效关系

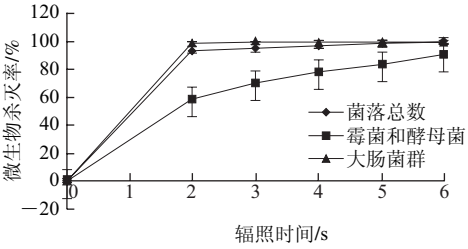


图 2 不同辐照时间对大米中微生物的杀灭效果

Fig.2 Effect of different irradiation times on microbial inactivation of rice

由图2可知，不同辐照时间条件下大米中微生物杀灭率呈上升趋势。辐照时间越长，大米中菌落总数杀灭效果越好。当辐照时间为6 s时，大米中菌落总数为3.9×10^3 CFU/g，霉菌和酵母菌总数为22 CFU/g，大肠菌群未检出。相比其他辐照时间条件下各种微生物数量，大米中各种微生物杀灭率最大，微生物减少最明显，因此最宜辐照时间为6 s。

2.3 物料厚度对大米中微生物杀灭效果的量效关系

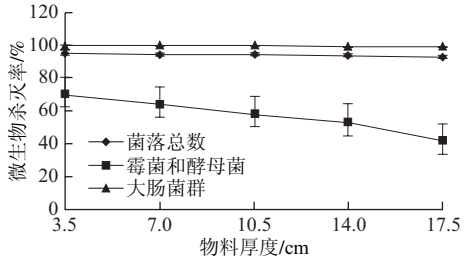


图 3 不同物料厚度对大米中微生物的杀灭效果

Fig.3 Effect of different material thicknesses on microbial inactivation of rice

由图3可知，不同辐照物料厚度的大米微生物杀灭效果不同。物料越厚，大米中微生物杀灭效果越差，物料厚度与大米中微生物杀灭效果呈负相关。当物料厚度由17.5 cm降至3.5 cm时，大米菌落总数由2.53×10^4 CFU/g降至1.9×10^4 CFU/g，减少25%；霉菌和酵母菌总数由1.38×10^2 CFU/g降至71 CFU/g，减少48.5%；大肠菌群由4 CFU/g降至1 CFU/g，减少75%。随着物料厚度的增加，大米中微生物杀灭率呈下降趋势。当物料厚度为3.5 cm时，大米中的菌落总数、霉菌和酵母菌以及大肠菌群与其他物料厚度相比数量最少。因此，在试验范围内，最佳物料厚度为3.5 cm。

2.4 正交试验结果

不同辐照条件对大米菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠菌群杀灭效果正交试验结果见表2。

表 2 不同辐照条件对大米中微生物杀灭效果的正交试验结果

Table 2 Orthogonal array design with experimental results for the optimization of irradiation conditions

试验号	*A*辐照剂量/kGy	*B*辐照时间/s	*C*物料厚度/cm	菌落总数/（CFU/g）	霉菌和酵母菌总数/（CFU/g）	大肠菌群总数/（CFU/g）
1	2	4	3.5	690	68	2
2	2	5	7.0	645	60	—
3	2	6	10.5	589	67	—
4	3	4	7.0	260	11	—
5	3	5	10.5	262	14	—
6	3	6	3.5	233	9	—
7	4	4	10.5	127	3	—
8	4	5	3.5	116	2	—
9	4	6	7.0	119	3	—
k_1	641.3	359.0	346.3			
k_2	251.7	341.0	341.3			
k_3	120.7	313.7	326.0			
R	520.6	45.3	20.3			

注：—.未检出。

根据表2正交试验分析可知，以上3 个因素对大米中微生物杀灭效果的影响效果依次为辐照剂量＞辐照时间＞物料厚度。高能电子束辐照抑制大米中微生物的适宜条件为$A_3B_3C_3$，即辐照剂量4 kGy、辐照时间6 s、辐照物料厚度10.5 cm。按照以上条件做3 次平行实验，测得此时大米中菌落总数为82 CFU/g，霉菌和酵母菌总数2 CFU/g，大肠菌群未检出。该条件下菌落总数、霉菌和酵母菌及大肠菌群均少于表2中任一组合的实验结果，此条件是最佳结果。

3 结 论

目前，大米保鲜的方法主要有熏蒸法、气调法、保鲜剂法。近年来关于高能电子束辐照技术在粮谷食品保鲜及储藏的研究也很多。研究者[22-23]采用高能电子束辐照散粮后，高能电子束能有效地杀灭储粮害虫。Hayashi

等[24]发现，用4 kGy电子束辐照糙米、小麦、荞麦等粮谷后，细菌总数降至100 CFU/g以下。本实验与其研究结果相同。严建民等[25]经研究发现，高能电子束辐照麦类及面粉的有效防霉杀虫剂量约为1.5 kGy。

本研究采用正交试验优化高能电子束辐照对大米中微生物杀灭条件，结果发现，高能电子束适宜辐照剂量4 kGy、适宜辐照时间6 s、适宜物料厚度10.5 cm。此时大米中菌落总数为82 CFU/g，霉菌和酵母菌总数为2 CFU/g，大肠菌群未检出，此条件下高能电子束辐照对大米中主要微生物杀灭效果最明显，高能电子束辐照对大米中微生物杀灭率超过99%。

参考文献：

[1] 胡坚, 刘巧瑜, 赵思明. 大米生产线上细菌和霉菌的分布特性[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 136-138. DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2009.5.090529.

[2] 周裔彬, 桂祖祥. 浅述大米中的微生物与大米的关系[J]. 食品科技, 1997, 22(4): 7-8. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.1997.04.002.

[3] 梁宏斌. 辐照技术在食品保藏中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2002, 18(3): 346-349. DOI:10.3969/j.issn.1672-0946.2002.03.032.

[4] YU Ying, WANG Jing. Effect of γ-ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice[J]. Food Research International, 2007, 40(2): 297-303. DOI:10.1016/j.foodres.2006.03.001.

[5] 哈益明. 辐照食品及其安全性[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 4-7.

[6] 郑瑞生, 王则全. 食品物理冷杀菌技术研究进展[J]. 粮食与油脂, 2011(2): 1-3. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2011.02.001.

[7] 张振山, 刘双燕, 刘玉兰, 等. 辐照在食品工业中的应用研究进展[J]. 中国调味品, 2013, 38(11): 113-116. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2013.11.029.

[8] 刘斌, 熊善柏, 熊光权, 等. 辐照技术在食品污染物控制方面的研究进展[J]. 核农学报, 2010, 24(4): 784-789. DOI:10.11869/hnxb.2010.04.0784.

[9] 朱佳廷, 冯敏, 唐玉新, 等. 辐照对桂圆干的杀菌效果及营养成分的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 79-82. DOI:10.11869/hnxb.2011.01.0079.

[10] 黄佳佳, 徐振林, 罗翠红, 等. 电子束辐照在食品中兽药残留降解的应用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 313-316. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.01.062.

[11] 周任佳, 乔勇进, 王海宏, 等. 高能电子束辐照对鲜切哈密瓜生理化品质的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 300-305. DOI:10.11869/hnxb.2012.02.0300.

[12] BAIDAK A, BADALI M, LAVERNE J A. Role of the low-energy excited states in the radiolysis of aromatic liquids[J]. The Journal of Physical Chemistry A, 2011, 115(26): 7418-7427. DOI:10.1021/jp202802a.

[13] 贾倩, 李淑荣, 高美须, 等. 电子束辐照对素鸡杀菌效果及品质特性影响的研究[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 295-299. DOI:10.11869/hnxb.2012.02.0295.

[14] HORNI A, HESSE M, ALTORFER H. Identification and evaluation of radiolysis products of irradiated chloramphenicol by HPLC-MS and HPLC-DAD[J]. Chromatographia, 2001, 55(1): 13-18. DOI:10.1007/BF02492308.

[15] 毛青秀, 邓钢桥, 李文革, 等. 辐照对水溶液中亚硝酸盐降解效果研究[J]. 激光生物学报, 2013, 22(3): 225-229. DOI:10.3969/j.issn.1007-7146.2013.03.006.

[16] 王秋芳, 乔勇进, 陈召亮, 等. 高能电子束辐照对花椰菜保鲜效果的研究[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(1): 133-136. DOI:10.7685/j.issn.1000-2030.2011.01.025.

[17] SHAMSUZZAMAN K, CHUANQUI-OFFERMANNS N, SHOEMAKER L, et al. Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron beam and sous-vide treatments[J]. Food Protection, 1992, 55(7): 528-533.

[18] ZHAO Peng, ZHAO Tong, JOSEPH R R, et al. Development of a model, for evaluation of microbial cross contamination in the kitchen[J]. Food Protection, 1998, 61(8): 960-963.

[19] 孙永亮, 李欣, 王洁, 等. 电子束辐照技术在剩余污泥处理中的应用[J]. 原子核物理评论, 2013, 30(1): 72-78. DOI:10.11804/NuclPhysRev.30.01.072.

[20] WANG Jianlong, WANG Jiazhuo. Application of radiation technology to sewage sludge processing: a review[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 143: 2-7.

[21] AZIZ N H, El-FAR F M, SHAHI A A M, et al. Control of *Fusarium* moulds and fumonisin B_1 in seeds by gamma-irradiation[J]. Food Control, 2007, 18(11): 1337-1342. DOI:10.1016/j.foodcont.2005.12.013.

[22] 黄曼, 胡碧君, 罗柏流, 等. 电子束辐照防治储粮害虫及对小麦品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报, 2009, 30(4): 17-20.

[23] 郭东全, 范家霖, 张建伟, 等. 电子束辐照防治不同品系米象成虫及对大米蒸煮品质的影响[J]. 粮食储藏, 2014, 43(6): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1000-6958.2014.06.001.

[24] HAYASHI T, OKADOME H. Low energy electron effects on the sterility and viscosity of grains[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 858-860. DOI:10.1111/j.1365-2621.1997.tb15472.x.

[25] 严建民, 朱佳廷, 冯敏, 等. 麦类及面粉辐照杀虫防霉剂量[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 260-262. DOI:10.3969/j.issn.1002-1302.2012.12.104.