

网络出版时间:2015-12-02 14:25

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.01.031

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151202.1425.062.html

电子束辐照对蛋黄粉品质及微生物的影响

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

(1 上海束能辐照技术有限公司, 上海 201401; 2 上海市农业科学院, 上海 201106)

[摘要] **【目的】**研究电子束辐照对蛋黄粉品质和微生物生长的影响,为蛋黄粉杀菌方法的确定提供参考。**【方法】**以蛋黄粉为原料,分别用 0,1,2,3,4,6 和 8 kGy 电子束进行辐照处理,比较不同剂量电子束辐照对蛋黄粉乳化性能、脂质氧化性能、色泽的影响,并分析辐照后贮藏 30 d 蛋黄粉中微生物的变化,综合不同辐照剂量对蛋黄粉品质及微生物变化的影响,确定蛋黄粉电子束辐照处理的适宜加工工艺。**【结果】**蛋黄粉在辐照剂量为 1~4 kGy 时,其乳化能力、乳化稳定性及脂质过氧化值分别为 392.4~351.4 mL/g,27.8~24.7 min 和 1.80~1.98 mmol/kg,与 CK 组(0 kGy)乳化能力(40.6 mL/g)、乳化稳定性(28.3 min)和脂质过氧化值(1.80 mmol/kg)相比无显著差异($P>0.05$);辐照剂量为 6 kGy 时,其酸价(0.14 mg/g)和色泽 L^* 与 CK 组比较无显著变化;3~4 kGy 的辐照剂量可以有效控制蛋黄粉中微生物的变化,并可有效防止产品贮藏过程中微生物的生长与繁殖。**【结论】**电子束辐照剂量控制在 4 kGy 内,对蛋黄粉理化及感官品质影响不大,并能有效杀灭产品中的微生物,4 kGy 是蛋黄粉适宜的电子束辐照剂量。

[关键词] 电子束;辐照剂量;蛋黄粉;杀菌技术

[中图分类号] TS253.4

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)01-0211-06

Effect of electron beam on quality and microorganism of egg yolk

YAN Wei-qiang^{1,2}, YUE Ling^{1,2}, KONG Qiu-lian^{1,2},
WANG Hai-hong², CHEN Zhi-jun¹, QI Wen-yuan^{1,2}

(1 Shanghai Shuneng Irradiation Technology Co., Ltd., Shanghai 201401, China;

2 Shanghai Academy of Agriculture Science, Shanghai 201106, China)

Abstract: **【Objective】**The objective was to investigate the effect of electron beam irradiation on quality and microorganism of egg yolk, which would provide information for determination of sterilization treatment on egg yolk. **【Method】**Egg yolk was irradiated by electron accelerator at 0,1,2,3,4,6 and 8 kGy before being stored for 30 d. The effect of irradiated dose on quality of egg yolk was studied in terms of emulsifying capacity, fat oxidation and color, and microorganism change of egg yolk was tested during the 30 day storage. The optimal irradiation dose was obtained according to quality and microorganism of egg yolk. **【Result】**When egg yolk was irradiated at the doses of 1—4 kGy, the emulsifying capacity, emulsion stability, and peroxide values were 392.4—351.4 mL/g, 27.8—24.7 min and 1.80—1.98 mmol/kg, respectively, without significant differences compared to control group (CK) values of 40.6 mL/g, 28.3 min and 1.80 mmol/kg ($P>0.05$). When the dose was 6 kGy, acid value (0.14 mg/g) and L^* value were not significantly different from CK. The dose of 3—4 kGy was the best to control the quality and growth of microorganisms in egg yolk. **【Conclusion】**The dose of no more than 4 kGy for electron beam irradiation was optimal

[收稿日期] 2014-05-14

[基金项目] 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA100804);上海市科委国际合作项目(12390700700)

[作者简介] 颜伟强(1974—),男,福建仙游人,博士,主要从事农产品深加工研究。

[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

since the effect on physical and chemical properties of egg yolk was negligible and the control of microorganisms was efficient.

Key words: electron beam; irradiation dose; egg yolk; sterilization technology

鸡蛋一直被人们称为全营养食品,鸡蛋中含有丰富的蛋白质、脂肪,是人体维生素和矿物质的良好来源,其优质蛋白质易被人体吸收,利用率可达 99.7%,此外还含有丰富的必需氨基酸。蛋黄是鸡蛋中营养价值最为丰富的一部分,其总质量约占鸡蛋总质量的 28%~29%^[1]。由于蛋黄良好的营养价值和优良的乳化性能,其被广泛应用到食品工业中,如焙烤食品、休闲膨化食品、蛋黄酱等^[2]。蛋黄液经脱水干燥后制成的蛋黄粉,便于包装、贮藏、运输与使用,但由于加工工艺的原因,蛋黄粉产品的微生物,特别是大肠菌群易出现超标现象,需要一些合适的灭菌技术或方法,以保证在灭菌的同时维持其原有的理化特性。

辐照是解决蛋黄粉微生物出现超标问题的有效方法之一,目前蛋黄粉所采用的低温冷杀菌方法主要是⁶⁰Co 辐照杀菌^[3]。辐照是理想的冷杀菌技术之一,杀菌效果显著,杀菌范围广,具有无毒、无残留、绿色环保、低能耗等优点^[4-5]。电子加速器灭菌技术是应用电子加速器所产生的高能电子束流,对各种微生物和害虫实施有效杀灭和控制,目前已广泛用于医疗卫生用品杀菌消毒和食品杀菌等^[6]。同⁶⁰Co 辐照技术相比,电子加速器辐照的最大优点在于辐照电子束流集中定向、能源利用充分、辐照效率高且剂量分布均匀,而且不会产生放射性废物。随着钴源售价与废源处理费用的不断上升,电子加速器辐照也显示出其经济优势^[7]。刘焱等^[8]研究了蛋黄液的⁶⁰Co 辐照灭菌,表明采用 0.4 kGy 即能够完全杀灭微生物,且蛋黄液感官指标不发生变化。关于电子加速器辐照技术在蛋黄粉辐照灭菌中的应用,目前国内外暂无相应的报道。

本研究以蛋黄粉为试材,研究了不同电子束辐照剂量对蛋黄粉理化性质的影响,以及对微生物的灭菌效果,分析了不同剂量处理条件下蛋黄粉的乳化性能、脂肪氧化、色泽及微生物的变化,旨在为电子束辐照在蛋黄粉微生物杀菌中的应用提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

蛋黄粉,浙江湖州品格生物制品有限公司生产。

1.2 辐照设施

上海束能辐照技术有限公司 ESS-010-03 高能直线电子加速器,额定能量为 $1.602\ 177\ 33 \times 10^{-12}$ J(10 MeV),功率 10 kW,电子束流每秒扫描次数为 5~550 次,扫描电流 9.8 A,扫描高度 520 mm。

1.3 方法

1.3.1 辐照方法 电子加速器每次输出功率为 10 kW,电子束流每秒扫描 220 次,试验用蛋黄粉采用双层聚乙烯袋密封包装,每个包装的质量控制在 (1.0 ± 0.05) kg,厚度为 4~5 cm,放置在电子束辐照专用金属托盘上,不同电子束辐照剂量(0,1,2,3,4,6 和 8 kGy)是通过控制托盘在电子束下的传送速度进行调整。

1.3.2 乳化能力测定 称取 0.5 g 蛋黄粉,加入 50 mL 蒸馏水,10 000 r/min 高速分散搅拌的同时缓慢滴入大豆色拉油,使大豆油完全分散,并用电导率仪测定电导率。当电导率发生大幅减小时,记录所消耗的大豆色拉油的量,并计算 0.10 g 样品所需要消耗色拉油的体积(mL),用其表示该蛋黄粉样品的乳化能力,最终将计算结果的单位折算为 mL/g,每组试验平行检测 5 次,取平均值^[9]。

1.3.3 乳化稳定性测定 称取 0.30 g 蛋黄粉,加 30 mL pH 7.0 的磷酸盐缓冲溶液,缓慢加入大豆油(100 mL),于 10 000 r/min 条件下乳化 1 min,取 10 mL 乳化液于具塞试管后立即计时,以下层析出 4 mL 水相体积所需时间为乳化稳定性评价指标,每组试验平行检测 5 个样品,取平均值^[10]。

1.3.4 酸价与过氧化值测定 称取 20 g 蛋黄粉,置于 500 mL 锥形瓶中,加入沸程为 30~60 ℃ 的石油醚 100 mL,摇晃 1 min,使样品和有机溶剂充分接触。然后封紧瓶口,置于阴凉避光处浸泡 12 h。摇晃后经无水硫酸钠过滤,滤液置于 60 ℃ 水浴中,挥尽成品油醚,以备待用^[11]。酸价与过氧化值分别参照 GB/T 5009.37 中 4.1 和 4.2 节介绍的方法进行测定。

1.3.5 色泽测定 使用色差仪检测,重复测定色泽参数(L^* 、 a^* 、 b^*)3 次。其中 L^* 、 a^* 、 b^* 是三维矩形色空间参数, L^* 为明度轴参数,0 表示黑,100 表示白; a^* 为红/绿轴参数,正值为红,负值为绿,0 为中性色; b^* 为蓝/黄轴参数,正值为黄,负值为蓝,

0 为中性色^[12]。

1.3.6 微生物测定 菌落总数、大肠菌群测定依据《食品卫生微生物学检验:菌落总数测定》(GB 4789-2010)的方法进行。

1.3.7 统计分析 试验数据采用 SPSS 13.0 软件进行分析,对其进行 One-way 方差分析(ANOVA)和均值差异性相关分析,显著性水平为 $P<0.05$;采用 Oring8.0 软件进行图像绘制与曲线拟合。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照对蛋黄粉乳化性能的影响

2.1.1 乳化能力 蛋黄具有很强的乳化能力,对油脂和水都有很强的亲和力,是制造蛋黄酱、色拉调味料及蛋糕时起乳化作用的重要配料。蛋黄中的卵磷脂是 O/W 型乳化剂,胆固醇又是 W/O 型乳化剂,但一般认为蛋黄乳化主要是卵磷脂和蛋白质结合而成的脂蛋白的作用^[13]。蛋黄粉经不同电子束辐照剂量处理之后的乳化能力见图 1。从图 1 可知,蛋黄粉的乳化能力随不同辐照剂量而变化,辐照剂量小于 4 kGy 时,其乳化能力基本维持在 350~400 mL/g,与对照相比并无显著差异($P>0.05$),当辐照剂量达到 6 和 8 kGy 时,其乳化能力为 285 和 269 mL/g,与其他处理间均存在显著差异($P<0.05$)。电子束辐照对蛋黄粉的乳化能力有一定影响,主要是由于高能电子束破坏了蛋黄粉中包括卵磷脂在内的脂质、蛋白质等物质结构,从而影响到其乳化时所形成空间的网络结构,当辐照剂量超过一定范围时,随着对物质结构破坏程度的增加,对其乳化能力产生了不同程度的影响^[14]。

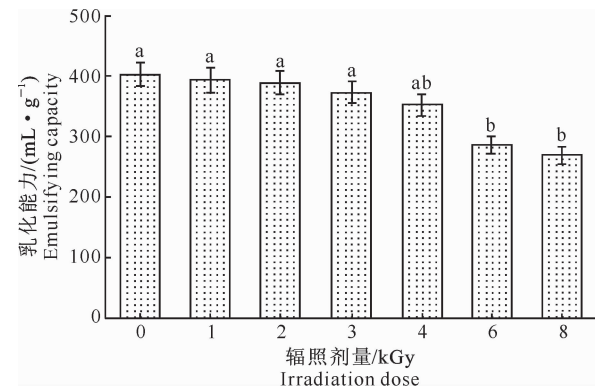


图 1 电子束辐照剂量对蛋黄粉乳化能力的影响
图中不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。图 2~4 同

Fig. 1 Effects of irradiation dose on emulsifying capacity of egg yolk

Different letters indicate significant difference ($P<0.05$).

The same for Fig. 2-4

2.1.2 乳化稳定性 蛋黄粉是一种良好的乳化剂, Wong 等^[15]曾利用浊度法考察蛋黄粉的乳化稳定性,结果显示蛋黄粉的乳化稳定性优于脱脂奶粉和大豆浓缩蛋白等。蛋黄粉经不同电子束辐照剂量处理后乳化稳定性的变化如图 2 所示。图 2 显示,蛋黄粉的乳化稳定性随辐照剂量的增加而降低,当辐照剂量在 1~4 kGy 时,其乳化稳定时间是 27.8~24.7 min,与对照组(28.3 min)并无显著差异($P>0.05$),当辐照剂量达到 6 和 8 kGy 时,其稳定时间分别是 21.5 和 20.4 min,同其他辐照剂量相比均存在显著差异($P<0.05$)。辐照剂量对蛋黄粉乳化稳定性的影响主要是由于,电子束会一定程度破坏蛋黄粉中脂肪与蛋白质的原有质构,从而影响到脂质与蛋白质相互交联的稳定性。此外,蛋黄粉乳化液中蛋白质的等电点会受溶液 pH 值的影响,蛋黄粉中蛋白质等电点的 pH 值约为 5.5^[16],而辐照对蛋黄粉中脂肪的降解作用及游离脂肪酸的增加,使乳化体系的 pH 值更趋于等电点,使乳化液的稳定性降低,但相比蛋黄粉的乳化能力,辐照对蛋黄粉乳化稳定性影响更大。

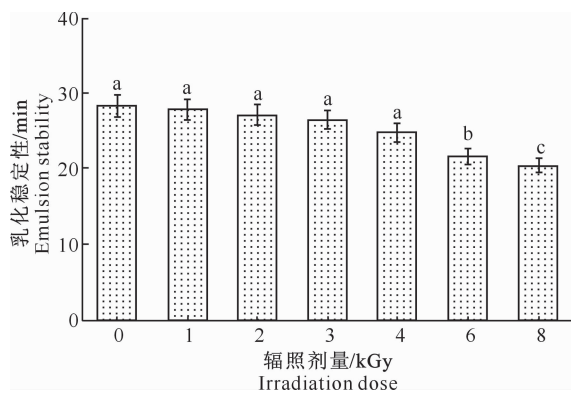


图 2 电子束辐照剂量对蛋黄粉乳化稳定性的影响

Fig. 2 Effects of irradiation dose on emulsion stability of egg yolk

2.2 电子束辐照对蛋黄粉氧化性能的影响

2.2.1 酸价 酸价是脂肪中游离脂肪酸含量的标志,可作为脂肪酸败的指标,酸价越低说明蛋黄粉的新鲜度越好。图 3 是不同电子束辐照剂量对蛋黄粉酸价的影响。图 3 结果显示,蛋黄粉酸价随辐照剂量的增加而升高,在辐照剂量达 8 kGy 时酸价为 0.18 mg/g,除与 6 kGy 处理的酸价差异不显著外,均显著高于对照和其他辐照剂量处理。而在电子束辐照剂量小于 6 kGy 时,蛋黄粉的酸价为 0.12~0.14 mg/g,各处理蛋黄粉的酸价与对照组相比差异均不显著($P>0.05$)。刘焱等^[8]研究了辐照对蛋

黄液品质的影响,发现在辐照剂量达到 2 kGy 时,蛋黄液的酸价即会出现明显的变化。本研究结果表明,蛋黄粉辐照处理时酸价发生显著变化的辐照剂量点为 6 kGy,这可能主要是由于蛋黄粉与蛋黄液含水率不同所致,蛋黄粉含水率低,其脂肪与蛋白质

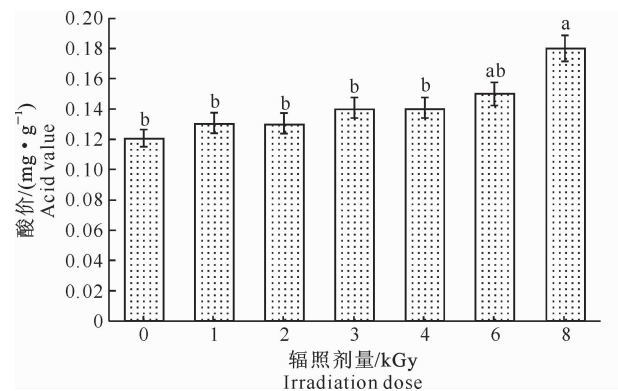


图 3 电子束辐照剂量对蛋黄粉酸价的影响
Fig. 3 Effects of irradiation dose on acid value of egg yolk

2.2.2 过氧化值 过氧化值(POV)是衡量辐照产品中脂肪氧化的一个重要指标^[3],物料经辐照处理后会产生一定的自由基,这些自由基可以诱导脂肪的过氧化反应和其他的化学变化。电子束辐照对蛋黄粉过氧化值(POV)的影响如图 4 所示。从图 4 可知,辐照剂量超过 6 kGy 时,蛋黄粉的过氧化值与 4 kGy 以下辐照处理的 POV 值有显著差异($P < 0.05$),而当辐照剂量小于 4 kGy 时,蛋黄粉 POV 为 1.80~1.84 mmol/kg,总体上 POV 值随辐照剂量的增加而增加,但各处理间差异并不显著($P > 0.05$);当辐照剂量为 6 和 8 kGy 时,POV 值分别达到 2.10 和 2.32 mmol/kg。

本研究结果表明,POV 值随辐照剂量的增加而

等物质相互之间包容可以降低辐照时的降解作用,而蛋黄液中的脂肪基本是分散或游离在水溶液中,在辐照过程中更易于被破坏。因此,在同等剂量下辐照对蛋黄粉酸价的影响相对较小。

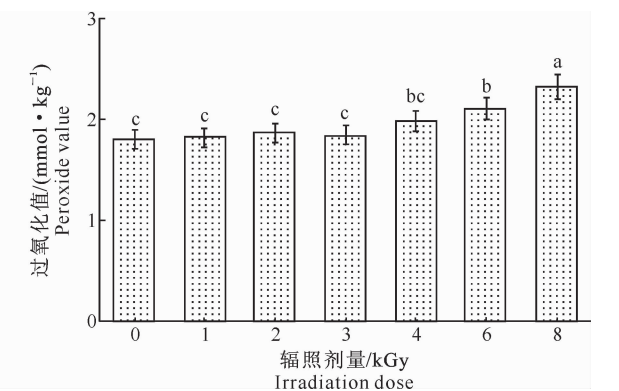


图 4 电子束辐照剂量对蛋黄粉过氧化值的影响
Fig. 4 Effects of irradiation dose on peroxide value of egg yolk

增加,在辐照剂量小于 4 kGy 时,蛋黄粉的 POV 值差异并不显著,这可能是由于电子束处理时间短,辐照时自由基的产生及自由基与脂肪氧化反应等,需要一定时间积累,因此其 POV 变化不明显。钴源辐照蛋黄液时发现,当辐照剂量达 2 kGy 时其过氧化值便会产生显著变化^[8],这可能是由于钴源辐照时间长,在辐照过程中脂肪与不断产生的自由基反应时间较长,POV 变化加快,因此电子束辐照能够减少过氧化物的产生是电子束辐照技术的一大优势。

2.3 电子束辐照对蛋黄粉色泽的影响

表 1 是不同剂量电子束辐照后蛋黄粉色泽参数的变化情况。

表 1 电子束辐照剂量对蛋黄粉色泽参数的影响
Table 1 Effect of irradiation dose on color parameters of egg yolk

辐照剂量/kGy Irradiation dose	L^* 值 L^* value	a^* 值 a^* value	b^* 值 b^* value
0	64.73±3.19 a	36.43±2.24 a	43.39±2.75 a
1	65.04±4.22 a	35.87±3.22 a	42.03±1.29 a
2	63.54±2.59 a	36.21±1.79 a	43.25±2.77 a
3	62.28±3.44 a	35.02±1.57 a	41.43±3.58 a
4	63.49±3.01 a	32.65±2.59 ab	37.34±3.13 b
6	56.23±3.91 ab	29.27±2.11 b	35.06±2.05 b
8	50.65±2.37 b	28.02±2.69 b	29.43±3.94 c

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。
Note: Different letters in each column indicate significant difference ($P < 0.05$).

由表 1 可知,总体而言 L^* 、 a^* 、 b^* 值均随辐照剂量的增加而减小,当辐照剂量小于 6 kGy 时, L^* 值总体上随辐照剂量的增加而减小,但各处理间并

无显著差异($P > 0.05$),而当辐照剂量为 8 kGy 时,各蛋黄粉的 L^* 值均较其余处理低,与 0,1,2,3,4 kGy 处理的差异达到了显著水平($P < 0.05$)。同样

的,当辐照剂量为 0,1,2,3,4 kGy 时蛋黄粉的 a^* 值无显著差异,辐照剂量为 6 和 8 kGy 时, a^* 值显著小于辐照剂量 0,1,2,3 kGy 处理,而与 4 kGy 处理差异不显著。蛋黄粉的 b^* 值在 0,1,2,3 kGy 处理间差异不显著,但均显著大于 4~8 kGy 辐照处理。本试验肉眼观察发现,当辐照剂量达 8 kGy 时,产品色泽与对照组和 1~4 kGy 小剂量辐照处理相比明显偏淡,这是因为辐照总体导致蛋黄粉亮度 L^* 值降低,红/绿轴参数 a^* 值和蓝/黄轴参数 b^* 值的色泽趋向绿、蓝转变所致, b^* 值对辐照较为敏感,可能是由于蛋黄粉色泽的主要呈色物质是类胡萝卜素,其中以叶黄素和玉米黄素为主,而叶黄素和玉米黄素对辐照较为敏感。Sehaeffer 等^[17] 和董丹等^[18] 在辐照杀菌对辣椒粉色泽影响中也发现类似的结果。

2.4 电子束辐照对蛋黄粉的灭菌效果

表 2~3 分别是不同剂量电子束辐照对蛋黄粉灭菌效果及灭菌后存放过程中微生物的变化情况。从表 2 可以看出,电子束辐照对蛋黄粉的灭菌效果非常明显,在较低剂量(3 kGy)时即可控制蛋黄粉中微生物的数量。表 3 显示,辐照之后的产品经过 30 d 贮藏后,除 1 和 2 kGy 较小剂量辐照处理蛋黄粉的微生物略有增长外,其余剂量处理的微生物数量仍在可控范围内。这主要是由于辐照之后微生物的自我修复作用所致,但当辐照剂量较高时其修复能力基本被抑制,另外这与蛋黄粉水分含量和水分活度低也有关系^[19]。

表 2 不同辐照剂量对蛋黄粉灭菌效果的影响
Table 2 Effects of irradiation dose on sterilization effect of egg yolk

辐照剂量/kGy Irradiation dose	菌落总数/ (cfu · g ⁻¹) Aerobic bacterial count	大肠菌群/ (MPN · g ⁻¹) Coliforms
0	220	43
1	18	3.0
2	20	<3.0
3	<10	<3.0
4	<10	<3.0
6	<10	<3.0
8	<10	<3.0

蛋黄粉实际生产中通常采用巴氏消毒与喷雾干燥相结合的方式杀菌处理,产品生产过程中基本能够杀灭大多数的微生物,因此产品的菌落总数并不高,其微生物问题主要表现在大肠菌群易超标。有研究表明,大肠菌群和致病菌对辐照非常敏感;黄小波等^[19] 研究了液态蛋全蛋液辐照冷杀菌技术,结果表明,在辐照剂量为 0.4~0.6 kGy 时能够达到较

好的杀菌效果,可以将沙门氏菌数量降低 2 个数量级, Kim 等^[20] 对腌制泡菜粉进行电子束辐照灭菌时大肠菌群的 D_{10} 值约为 600 Gy(D_{10} 值是指使微生物的数量降低到原始数量 10% 时所需要的辐照剂量值,是电离辐射杀菌中估算辐照剂量的重要参数),金黄色葡萄球菌在生理盐水(0.9%)中的 D_{10} 值为 116 Gy^[21]。由此可见,采用电子束辐照处理技术可以有效解决蛋黄粉产品的微生物超标问题,且辐照剂量低,不会对产品品质产生影响。

表 3 不同辐照剂量处理存放 30 d 后蛋黄粉中微生物的变化
Table 3 Effects of irradiation dose on microorganism after 30 d shelf life

辐照剂量/kGy Irradiation dose	菌落总数/ (cfu · g ⁻¹) Aerobic bacterial count	大肠菌群/ (MPN · g ⁻¹) Coliforms
0	260	43
1	22	3.0
2	16	<3.0
3	<10	<3.0
4	<10	<3.0
6	<10	<3.0
8	<10	<3.0

3 结 论

本试验通过研究不同电子束辐照剂量对蛋黄粉品质及微生物的影响,结果显示电子束辐照会对蛋黄粉的乳化性能产生一定的影响,当辐照剂量小于 4 kGy 时,其乳化能力和乳化稳定性不会发生显著变化;在电子束辐照剂量小于 6 kGy 时,蛋黄粉的酸价变化不大;辐照剂量不超过 4 kGy,蛋黄粉的过氧化值和色泽也不会产生明显变化;电子束辐照还能够有效杀灭蛋黄粉中的微生物,3~4 kGy 的辐照剂量即可以发挥有效灭菌作用。在实际生产中,辐照主要是用于控制产品中的微生物,虽然通过电子束辐照能够有效控制微生物生长和繁殖,但辐照剂量不宜过高,否则会影响到产品的乳化性能、色泽等理化品质,因此在实际生产中需要控制蛋黄粉生产过程中的卫生状况,辐照只能作为一种辅助的微生物控制方法加以推广。

[参考文献]

[1] 苏宇杰,杨新宇,周 颀,等. 热处理对鸡蛋蛋黄性质的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,38(10):71-75.
Su Y J, Yang X Y, Zhou D, et al. Effect of heat-treatment on the properties of egg yolk [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(10): 71-75. (in Chinese)
[2] 马 爽,刘静波,王二雷. 蛋粉加工及应用的研究现状分析

- [J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 393-397.
- Ma S, Liu J B, Wang E L. Existing condition analysis of processing and application of egg powder [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(2): 393-397. (in Chinese)
- [3] 张海伟, 哈益明, 王 锋, 等. 辐照处理肉及其制品的脂肪氧化效应研究 [J]. 食品科学, 2005, 26(9): 605-611.
- Zhang H W, Ha Y M, Wang F, et al. A review on lipid oxidation of irradiated meat and meat products [J]. Food Science, 2005, 26(9): 605-611. (in Chinese)
- [4] 郑宾国, 崔节虎, 彭伟功, 等. 不同 γ -射线辐照剂量对鱼腥藻生长及生理特性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(8): 182-188.
- Zheng B G, Cui J H, Peng W G, et al. Effects of gamma-ray irradiation on the growth and physiological characteristics of *Anabaena* sp. [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2013, 41(8): 182-188. (in Chinese)
- [5] 诸永志, 曹建民, 徐为民, 等. 盐水鸭辐照前后风味成分的组成及变化 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 229-234.
- Zhu Y Z, Cao J M, Xu W M, et al. Components and changes in flavor compounds of water-boiled salted duck pre- and post-irradiation [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2009, 37(9): 229-234. (in Chinese)
- [6] Shawrang P, Nikkhah A, Zare-Shahneh A, et al. Effects of γ -irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal [J]. Radiat Phys Chem, 2008, 77(5): 918-922.
- [7] 孔秋莲, 陈庆隆, 戚文元, 等. 不同辐照检疫处理对进口甜樱桃货架品质的影响 [J]. 上海农业学报, 2010, 26(4): 48-52.
- Kong Q L, Chen Q L, Qi W Y, et al. Effects of quarantine radiation treatments on quality of imported sweet cherry in shelf life [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2010, 26(4): 48-52. (in Chinese)
- [8] 刘 焱, 黄小波, 娄爱华, 等. 蛋黄液辐照杀菌技术研究 [J]. 激光生物学报, 2009, 18(6): 830-833.
- Liu Y, Huang X B, Lou A H, et al. Study of radication technology for liquid egg yolk [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2009, 18(6): 830-833. (in Chinese)
- [9] 黄 丹, 马美湖, 蔡朝霞, 等. 磷脂酶 A1 改性制备高乳化性蛋黄粉的工艺条件优化 [J]. 食品科学, 2010, 31(6): 20-25.
- Huang D, Ma M H, Cai Z X, et al. Phospholipase A1 modification for preparation of egg yolk powder with high emulsifying properties [J]. Food Science, 2010, 31(6): 20-25. (in Chinese)
- [10] 胥 伟, 向 涛, 王海滨, 等. 不同干燥方式对蛋黄粉理化性质的影响 [J]. 中国家禽, 2014, 36(4): 24-27.
- Xu W, Xiang T, Wang H B, et al. Effects of different drying methods physicochemical properties of egg yolk on powder [J]. China Poultry, 2014, 36(4): 24-27. (in Chinese)
- [11] 王 巍, 李金龙, 王丽静, 等. 坚果类食品过氧化值测定的影响因素分析 [J]. 食品科学, 2007, 28(10): 484-486.
- Wang W, Li J L, Wang L J, et al. Factors on determination of nuts POV values [J]. Food Science, 2007, 28(10): 484-486. (in Chinese)
- [12] 徐 赞, 戚文元, 岳 玲, 等. 高能电子束辐照处理对几种进口水果表皮色泽的影响 [J]. 保鲜与加工, 2013, 13(2): 13-16.
- Xu Y, Qi W Y, Yue L, et al. Effect of high energy electron beam irradiation on epidermis color of certain imported fruits [J]. Storage and Process, 2013, 13(2): 13-16. (in Chinese)
- [13] Kiosseoglou V D. Egg yolk protein gels and emulsions [J]. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2003, 8: 365-370.
- [14] 黄丽燕, 张 强, 韩兆鹏, 等. 蛋黄乳化性研究进展 [J]. 食品科技, 2012, 37(12): 44-47.
- Huang L Y, Zhang Q, Han Z P, et al. Review on yolk emulsifying properties [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12): 44-47. (in Chinese)
- [15] Wong P Y Y, Kitts D D. A comparison of the butter milk solids functional properties to nonfat dried milk, soy protein isolate, dried egg white, and egg yolk powders [J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(3): 746-754.
- [16] 胡新平. 磷脂酶 A2 制备功能性蛋黄粉的研究 [D]. 江苏无锡: 江南大学, 2005.
- Hu X P. Study on preparation of functional dried egg yolk with phospholipase A2 [D]. Wuxi, Jiangsu: Jiangnan University, 2005. (in Chinese)
- [17] Schaeffer J L L, Tyezkowski J K, Parkhurst C R, et al. Carotenoid composition of serum and egg yolks of hens fed diets varying in carotenoid composition [J]. Journal of Poultry Science, 1988, 67(4): 608-614.
- [18] 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 D, Liu H P, Xu T, 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)
- [19] 黄小波, 马美湖, 傅 鹏, 等. 液态蛋全蛋液辐照冷杀菌技术的研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(3): 216-219.
- Huang X B, Ma M H, Fu P, et al. Study on irradiation sterilization technology for liquid whole egg [J]. Food Science, 2008, 29(3): 216-219. (in Chinese)
- [20] Kim H J, Kang M, Yong H I, et al. Synergistic effects of electron-beam irradiation and leek extract on the quality of pork jerky during ambient storage [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2014, 98: 22-28.
- [21] 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.