

电子束和 γ 射线对油料氧化及霉菌的影响

王娴^{1,2,3,4}, 崔龙^{1,2,3,4}, 董威杰^{1,2,3,4}, 许勃^{1,2,3,4}, 吕晓华^{1,3}, 杨世清¹, 陈云堂^{1,2,3,4}

(1.河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 郑州 450015; 2.河南省核农学重点实验室, 郑州 450015; 3.河南省辐照加工工程技术研究中心, 郑州 450015; 4.河南省核技术农业应用院士工作站, 郑州 450015)

摘要: **目的** 探讨电子束和 γ 射线等 2 种射线对油料脂肪氧化及霉菌含量的影响。**方法** 以花生、芝麻、大豆为原料, 采用 1, 3, 5, 7, 9 kGy 的辐照剂量对样品进行辐照处理, 分析不同射线和不同剂量处理对原料含油率、酸价、过氧化值和霉菌总数的影响。**结果** 辐照对油料含油率基本无影响; 2 种射线辐照均能有效地降低花生、芝麻和大豆的酸价, 而且变化规律相似, 在电子束辐照剂量为 5 kGy 下花生、芝麻和大豆的酸价最低, 分别降低了 54.29%, 37.50%, 37.33%。 γ 射线辐照对花生和芝麻的酸价的下降幅度大于电子束辐照, 而大豆的情况则相反; 2 种射线辐照对花生过氧化值的影响不大, 但 γ 射线辐照的过氧化值整体上略低于电子束辐照; 2 种射线辐照在一定程度上增加了芝麻的过氧化值; 大豆的过氧化值随着 2 种射线辐照剂量的增加而降低, 在 1~5 kGy 剂量下, γ 射线辐照降低大豆的过氧化值的幅度整体低于电子束辐照。辐照能有效地杀灭油料中的霉菌, 且辐照剂量越大其杀菌效果越好。相比而言, γ 射线辐照对油料的霉菌杀灭效果好于电子束辐照。**结论** 2 种射线在 3 kGy 辐照剂量下对油料质量无显著的负面影响, 可作为油料防虫和防霉的适宜剂量。

关键词: 电子束; γ 射线; 油料; 脂肪氧化

中图分类号: TS210.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)03-0030-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.005

Influence of Electron Beam and γ Ray on Oxidation and Mold of Oil Plants

WANG Xian^{1,2,3,4}, CUI Long^{1,2,3,4}, DONG Wei-jie^{1,2,3,4}, XU Bo^{1,2,3,4}, LYU Xiao-hua^{1,3},
YANG Shi-qing¹, CHEN Yun-tang^{1,2,3,4}

(1. Institute of Isotope Research, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450015, China;

2. Key Laboratory of Nuclear Agriculture of Henan, Zhengzhou 450015, China;

3. Research Center of Irradiation Processing and Engineering of Henan, Zhengzhou 450015, China;

4. Academician Workstation of Nuclear Technology Application in Agriculture of Henan, Zhengzhou 450015, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of electron beam and γ -ray on the fat oxidation and mold content of oil plants. Peanut, sesame and soybean were irradiated with 1, 3, 5, 7, 9 kGy irradiation dose. The effects of different rays and different irradiation dose on oil content, acid value, peroxide value and total mold number were analyzed. Irradiation basically had no effect on the oil content of oil plants. Two kinds of irradiation could effectively reduce the acid value of peanut, sesame and soybean, and the change law was similar. The acid value of peanut, sesame and soybean was the lowest at 5 kGy electron beam irradiation dose, which was reduced by 54.29%, 37.50% and 37.33%, respectively. The de-

收稿日期: 2018-11-02

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(182102110386); 河南省食品辐照保鲜与加工创新型科技团队项目(豫科人事(2009)2号); 河南省科技开放合作计划(182106000046); 河南省“食品辐照保鲜与加工”优秀创新型科技团队项目(18YX04001)

作者简介: 王娴(1990—), 女, 研究实习员, 主要研究方向为农产品辐照保鲜与加工。

通信作者: 陈云堂(1963—), 男, 研究员, 主要研究方向为农产品辐照保鲜与加工。

crease of acid value of peanut and sesame irradiated by γ ray was greater than that by electron beam irradiation, but that of soybean was the opposite. The two kinds of radiation had little effect on the peroxide value of peanut, but the peroxide value of γ -ray irradiation was slightly lower than that of electron beam irradiation. The two kinds of ray irradiation increased the peroxide value of sesame to some extent. With the increase of the dose of the two kinds of radiation, the peroxide value of soybean decreased. At the dose of 1~5 kGy, the reduction of peroxide value of soybean irradiated by γ rays was lower than that irradiated by electron beam. Irradiation could effectively kill the mold in the oil plants; moreover, the larger the irradiation dose, the better the bactericidal effect. In contrast, the γ -ray irradiation had better killing effect on the mold of oil plants than the electron beam irradiation. The irradiation dosage of 3 kGy of the two kinds of rays has no significantly negative impact on the quality of the oil plants, and can be used as a suitable dose for pest control and mold prevention of oil plants.

KEY WORDS: electron beam; gamma ray; oil plants; fat oxidation

油料品质的劣变主要由脂肪代谢过程引起。酸价和过氧化值是判断油脂酸败程度的依据,可以反映油料中油脂的氧化程度^[1-3]。我国食品卫生标准中对油料油脂的酸价和过氧化值有相应的要求和限制^[4],并将该指标值作为判断其新鲜程度和质量等级的重要标准。目前,控制走油、脂肪氧化和酸败常用的方法有干燥贮藏、气调贮藏和抗氧化剂贮藏等^[5-8],这些常用的贮藏技术多对环境要求较高,且存在效果单一等问题。

辐照加工技术是一种高效、快捷的食品非热加工高新技术,近年来辐照技术的应用范围和规模逐步扩大^[9]。辐照技术具有杀虫、杀菌、防霉和降解有害物质等作用,具有一技多效特点,与常规技术相比具有技术优势,能够解决众多常规技术所难以解决的技术难题。国内外以往食品辐照加工主要采用 γ 射线,近年来电子加速器成为了新兴辐照加工装置。电子束与 γ 射线相比,具有较多的技术优势。虽然电子束与 γ 射线辐照的原理相似,但在辐照效应方面存在差异,系统地开展电子束辐照效应研究对促进电子加速器辐照加工装置产业化应用具有重要意义,研究比较 2 种射线辐照效应的差异性同样具有重要价值。

在农产品辐照方面,国内外学者做了一些相关的研究工作。商飞飞等^[10]研究了电子束辐照对桃仁和杏仁脂肪酸的影响,发现辐照剂量对粗脂肪含量基本无影响;酸价、过氧化值随着辐照剂量的增加和贮藏时间的延长均有所增加。王若兰等^[11-13]研究了 γ 射线和电子束处理对玉米、水稻和大豆品质的影响,发现两者均能引起粗脂肪、脂肪酸值和电导率的升高,降低脂肪酶活性和食品品质;周慧娟等^[14]探究了不同剂量电子束辐照对猕猴桃保鲜效果的影响,发现 0.5~1 kGy 为最适合猕猴桃保鲜辐照剂量的范围;Fernandes 等^[15]和 Duan 等^[16]的研究均表明,电子束辐照处理可延长新鲜蘑菇的采后贮藏寿命。近年来,关于电子束的相关研究越来越多,但针对电子束与 γ 射线效应的差异性的研究较少,也尚未见到采用 γ 射线和电子束

同时辐照多种高含油农产品,研究比较 2 种射线对油脂氧化影响效应的差异性和不同油料之间变化规律差异性的相关报道。

开展辐照对农产品理化成分、营养成分和加工特性影响的研究,是确定辐照加工技术能否科学应用的基础,采用辐照技术杀虫、防霉和降解有害物质等应用的前提是不能对农产品自身品质造成负面影响。在已有电子束和 γ 射线辐照效应差异性研究文献中,针对脂肪氧化的相关研究较少,也缺乏定性的结论^[17]。文中拟采用电子束和 γ 射线等 2 种辐照方法对花生、芝麻和大豆进行不同剂量的辐照处理,研究辐照对其脂肪氧化的影响,并考察辐照对其含油率和霉菌的影响规律,同时比较 2 种射线对油料脂肪氧化规律的影响和不同油料之间的差异性,旨在为辐照技术在油料贮藏加工中的应用提供理论依据。

1 实验

1.1 材料

实验材料有花生(豫花 22 号)、芝麻(郑芝 13 号)和大豆(郑 196),均购于河南郑州农贸市场,产地为河南,系当年收获的新鲜试样。其中,花生、芝麻和大豆中水分的质量分数分别为 5.88%, 4.77% 和 9.87%。

1.2 试剂与仪器

实验试剂有冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、石油醚、乙醇、酚酞、无水乙醚,均为分析纯。

实验仪器:ISO 0705 电子直线加速器,天津市技术物理研究所;⁶⁰Co- γ 射线装置,河南省科学院同位素研究所有限责任公司;DHG 型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;HWS-250 恒温恒湿箱,上海精宏实验设备有限公司;AL204 分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;FW 100 型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;

SF-200 手压封口机, 济南迅捷机械设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 辐照处理

2 种射线的辐照剂量均设定为 0, 1, 3, 5, 7, 9 kGy, 共计 6 个处理组。每个剂量做 3 次重复实验, 样品采用聚乙烯塑料薄膜密封包装 (郑州塑料袋印刷厂, 聚乙烯材质, 厚度为 0.05 mm), 规格为每袋 200 g。

1.3.2 测定指标

水分含量的测定, 依据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》。含油率的检测, 依据 NY/T 1285—2007《油料种子含量的测定残余法》。酸价的测定, 依据 GB/T 5009.229—2016《食品安全国家标准食品中酸价的测定》。过氧化值的测定, 依据 GB/T 5009.227—2016《食品安全国家标准食品中过氧化值的测定》。霉菌总数的检测, 依据 GB4789.15—2016《食品卫生微生物学检验霉菌和酵母计数》。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 及 Excel 2010 软件对实验数据进行统计分析, 依据最小显著性差异法在 0.05 水平检测显著性, 差异显著者再进行 Duncan's 多重比较和相关回归分析, 所得数据进一步用 Excel 作图。

2 结果与讨论

2.1 电子束辐照对油料含油率的影响

辐照对花生、芝麻、大豆中含油率的影响见表 1。结果表明, 不同剂量的电子束辐照对花生的含油率无显著影响。3 kGy 辐照剂量下花生含油率 (文中均指质量分数) 为 43.70%, 与未辐照组结果 (44.17%) 相比, 仅降低了 1.06%, 在 7 kGy 辐照剂量下, 花生含油率为 44.70%, 仅增加了 1.20%; 不同的辐照剂量对芝麻含油率无显著影响, 0~9 kGy 辐照剂量下, 芝麻的含油率含量为 53.35%~53.82%; 辐照后大豆含油

表 1 电子束辐照对油料含油率的影响

Tab.1 Effect of electron beam irradiation on oil content of oil plants %

辐照剂量/kGy	花生	芝麻	大豆
0	44.17±0.16 ^b	53.82±0.26 ^a	19.15±0.16 ^b
1	44.26±0.18 ^b	53.45±0.18 ^a	19.48±0.18 ^a
3	43.70±0.13 ^c	53.35±0.33 ^a	19.30±0.13 ^{ab}
5	44.16±0.10 ^b	53.68±0.21 ^a	19.44±0.10 ^a
7	44.70±0.12 ^a	53.60±0.32 ^a	19.53±0.12 ^a
9	44.05±0.17 ^b	53.73±0.27 ^a	19.52±0.17 ^a

注: a, b, c 表示同一样品不同辐照剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$)

率略有增加, 7 kGy 剂量下大豆含油率增加最高为 19.53%, 比未辐照 (19.15%) 仅增加了 1.98%, 但不同辐照剂量间无显著性差异, 这与朱佳廷等人研究发现的辐照后脂肪含量增加的结果相一致^[18]。

2.2 辐照对花生酸价和过氧化值的影响

2.2.1 酸价

辐照对花生酸价的影响见图 1, 其中 a, b, c, d, e, f 表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$), A, B, C, D, E, F 表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$)。由图 1 可以看出, 2 种射线辐照均能降低花生的酸价, 而且 γ 射线整体上对花生酸价降低的幅度大于电子束; 花生酸价随 γ 射线辐照剂量的增加而降低, 随电子束辐照剂量的增加先降低后增加, 各辐照剂量间差异显著 ($P \leq 0.05$)。虽然在电子束辐照剂量为 7 kGy 和 9 kGy 下, 花生的酸价比低剂量辐照组的酸价有所增加, 但仍明显低于对照组 ($P \leq 0.05$)。

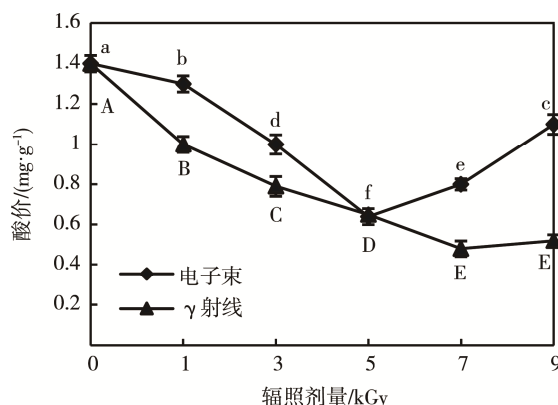


图 1 辐照对花生酸价的影响
Fig.1 Effect of irradiation on acid value of peanut

在剂量为 1 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照花生的酸价分别为 1.30 mg/g 和 1.00 mg/g, 与未辐照组 (1.40 mg/g) 相比, 分别降低了 7.14% 和 28.57%; 在剂量为 3 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照花生的酸价分别为 1.00 mg/g 和 0.79 mg/g, 与未辐照组相比, 分别降低了 28.57% 和 43.57%; 在剂量为 5 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照花生的酸价分别为 0.64 mg/g 和 0.65 mg/g, 2 种辐照处理对花生酸价影响无明显差异 ($P \leq 0.05$); 在剂量为 7 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照花生的酸价分别为 0.80 mg/g 和 0.48 mg/g, 与未辐照组相比, 分别降低了 42.86% 和 65.71%; 在剂量为 9 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的酸价分别为 1.10 mg/g 和 0.52 mg/g, 与未辐照组相比, 分别降低了 21.43% 和 62.86%。

2.2.2 过氧化值

辐照对花生过氧化值的影响见图 2, 其中 a, b,

c 表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$); A, B 表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$)。可以看出, 2 种射线辐照后, 与对照组相比, 花生的过氧化值整体变化不大, 但 γ 射线辐照的过氧化值整体上略低于电子束辐照。电子束辐照后在剂量为 1, 7, 9 kGy 下, 过氧化值低于未辐照组, 在辐照剂量为 3 kGy 下, 过氧化值与未辐照无明显差异, 但在 5 kGy 下过氧化值显著增加 ($P \leq 0.05$)。 γ 射线在剂量为 1~3 kGy 和 7~9 kGy 下, 花生的过氧化值与对照组相比有所降低, 而 5 kGy 下过氧化值基本不变。在剂量为 1 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的过氧化值分别为 0.015 g/100 g 和 0.014 g/100 g, 与未辐照组 (0.018 g/100 g) 相比, 分别降低了 0.22% 和 0.29%; 在剂量为 3 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的过氧化值分别为 0.018 g/100 g 和 0.014 g/100 g, 与未辐照组相比, 电子束辐照下基本不变, γ 射线辐照下降了 0.29%; 在剂量为 5 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的过氧化值分别为 0.024 g/100 g 和 0.018 g/100 g, 与未辐照组相比, 电子束辐照下增加了 42.86%, 而 γ 射线辐照下基本不变; 在剂量为 7 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的过氧化值分别为 0.014 g/100 g 和 0.014 g/100 g, 2 种辐照处理对花生过氧化值的影响基本无差异 ($P \leq 0.05$); 在剂量为 9 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下花生的过氧化值分别为 0.014 g/100 g 和 0.013 g/100 g, 与未辐照组相比, 分别降低了 0.29% 和 0.36%。

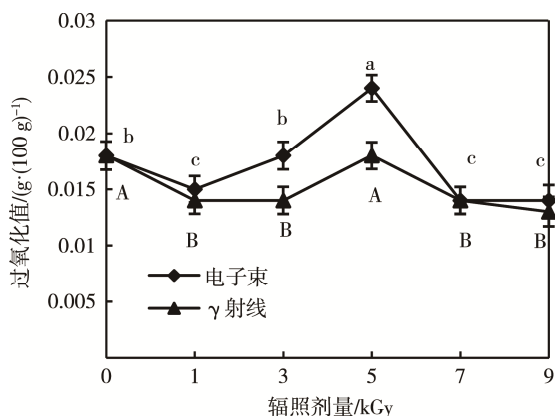


图 2 辐照对花生过氧化值的影响
Fig.2 Effect of irradiation on peroxide value of peanut

2.3 辐照对芝麻酸价和过氧化值的影响

2.3.1 酸价

辐照对芝麻酸价的影响见图 3, 其中 a, b, c, d, e 表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$); A, B, C, D 表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$)。由图 3 可知, 2 种射线辐照降低了芝麻的酸价, 且随着辐照剂量的增加,

芝麻的酸价呈降低的趋势, 虽然在剂量为 7 kGy 和 9 kGy 电子束辐照下酸价有所增加, 但仍低于对照组; 从整体来看, γ 射线辐照降低芝麻酸价的效果略优于电子束。从变化规律来看, 辐照对芝麻酸价的影响与花生的变化趋势相似。在剂量为 1 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照芝麻的酸价分别为 2.90 mg/g 和 2.30 mg/g, 与未辐照组 (3.20 mg/g) 相比, 分别降低了 9.38% 和 28.13%; 在剂量为 3 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照芝麻的酸价分别为 2.10 mg/g 和 2.20 mg/g, 与未辐照组 (3.20 mg/g) 相比, 分别降低了 34.38% 和 31.25%, 该剂量下 2 种辐照处理对芝麻酸价的影响无明显差异 ($P \leq 0.05$); 在剂量为 5 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下芝麻的酸价分别为 2.00 mg/g 和 1.90 mg/g, 该剂量处理下 2 种辐照无明显差异 ($P \leq 0.05$); 在剂量为 7 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下芝麻的酸价分别为 2.30 mg/g 和 1.70 mg/g, 与未辐照组相比, 分别降低了 28.13% 和 46.88%, γ 射线辐照后芝麻酸价显著低于电子束辐照 ($P \leq 0.05$); 在剂量为 9 kGy 时, 电子束辐照和 γ 射线辐照下芝麻的酸价分别为 2.60 mg/g 和 1.70 mg/g, 与未辐照组相比, 分别降低了 18.75% 和 46.88%。

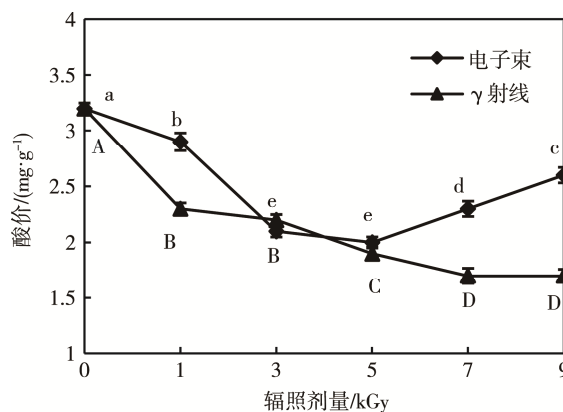


图 3 辐照对芝麻酸价的影响
Fig.3 Effect of irradiation on acid value of sesame

2.3.2 过氧化值

辐照对芝麻过氧化值的影响见图 4, 其中 a, b, c 表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$); A, B, C 表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性 ($P \leq 0.05$)。由图 4 可以看出, 2 种射线辐照下在一定程度上增加了芝麻的过氧化值。在电子束的辐照剂量为 1~7 kGy 和 γ 射线的辐照剂量为 1~9 kGy 下, 芝麻的过氧化值均有所增加, 只有电子束在辐照剂量为 9 kGy 下过氧化值有所降低, 与未辐照组相比, 电子束辐照下降了 14.29%; γ 射线在辐照剂量为 1 kGy 下, 过氧化值得到显著增加, 提高了 150%, 而在辐照剂量为 3~9 kGy 下有所增加, 但各剂量间差异不显著 ($P \leq 0.05$); 从整体上看, γ 射线辐照比电子束辐照增加值均略高。

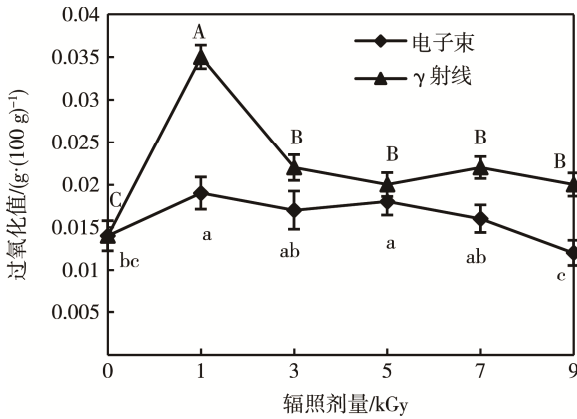


图4 辐照对芝麻过氧化值的影响

Fig.4 Effect of irradiation on peroxide value of sesame

2.4 辐照对大豆酸价和过氧化值的影响

2.4.1 酸价

辐照对大豆酸价的影响见图5,其中:a,b,c,d,e表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性($P \leq 0.05$);A,B,C表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性($P \leq 0.05$)。由图5可知,2种射线辐照均能降低大豆的酸价,同一辐照剂量下,电子束辐照后大豆酸价低于 γ 射线辐照;经 γ 射线辐照后,大豆酸价的降低幅度不大,各剂量之间的差异性也不显著($P \leq 0.05$);经电子束辐照后,大豆的酸价整体上呈下降趋势,而7~9 kGy剂量组的酸价与低剂量组相比,呈现升高现象,但与对照组相比仍然呈现降低的趋势,降低幅度分别为28.00%和13.33%,这一规律与花生、芝麻的情况相似。

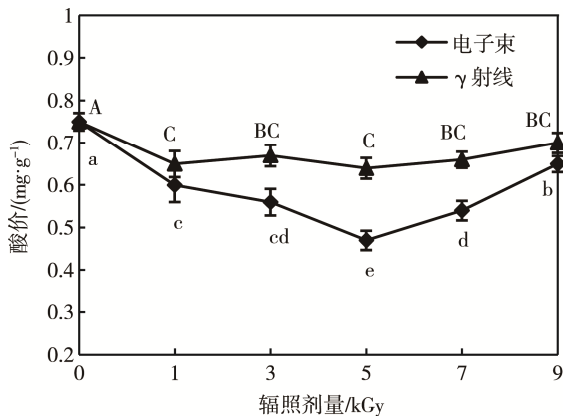


图5 辐照对大豆酸价的影响

Fig.5 Effect of irradiation on acid value of soybean

2.4.2 过氧化值

辐照对大豆过氧化值的影响见图6,其中:a,b,c表示电子束辐照同一样品不同剂量间的差异性($P \leq 0.05$);A,B表示 γ 射线辐照同一样品不同剂量间的差异性($P \leq 0.05$)。由图6可知,随着2种射线辐照剂量的增加,大豆的过氧化值均呈下降趋势,虽

然 γ 射线9 kGy组的氧化值出现升高趋势,但其过氧化值与对照组相同,均为0.016 g/100 g;在剂量为1~5 kGy范围内, γ 射线辐照大豆的过氧化值整体低于电子束辐照;在剂量为7 kGy时,2种射线对过氧化值的影响无差异($P \leq 0.05$)。电子束辐照的剂量在5 kGy以上时,大豆的过氧化值与对照组相比,显著降低。

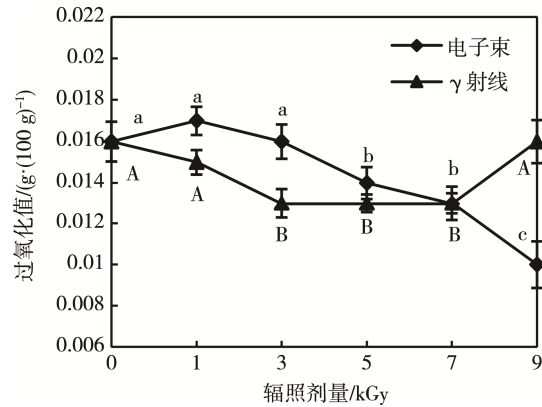


图6 辐照对大豆过氧化值的影响

Fig.6 Effect of irradiation on peroxide value of soybean

2.5 辐照对油料霉菌总数的影响

辐照对油料霉菌总数的影响见表2。由表2可以看出2种射线辐照可显著地降低油料中的霉菌含量,并且随着辐照剂量的升高,霉菌含量的降低效果越显著; γ 射线辐照更有利于减少油料中的霉菌数量,即 γ 射线辐照对油料霉菌的杀灭效果好于电子束辐照。在剂量为1 kGy时,电子束辐照和 γ 射线辐照对花生霉菌含量的降低率分别为89.09%和97.73%,芝麻霉菌含量的降低率分别为69.05%和71.43%;在剂量为3 kGy时,电子束辐照和 γ 射线辐照对花生霉菌含量的降低率分别为95.91%和100%(未检出),芝麻霉菌含量的降低率分别为95.24%和97.62%。

表2 辐照对油料霉菌含量的影响

Tab.2 Effect of irradiation on mold content of oil plants

辐照剂量/kGy	CFU/g					
	花生		芝麻		大豆	
	电子束	$^{60}\text{Co-}\gamma$	电子束	$^{60}\text{Co-}\gamma$	电子束	$^{60}\text{Co-}\gamma$
0	2200	2200	420	420	< 10	< 10
1	240	50	130	120	< 10	< 10
3	90	< 10	20	10	< 10	< 10
5	35	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
7	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
9	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

3 讨论

1) 研究发现,辐照处理对不同油料的含油率基本无影响,只有大豆样品的含油率略微增加,这与曾

名湧^[19]报道的在低于 50 kGy 剂量辐照下, 样品中营养成分含量基本不变, 油脂含量会发生微小变化的结果相一致。大豆样品的含油率略微增加的原因可能是由于大豆中水分含量相对较高(9.87%), 辐照大豆时导致水分的辐照分解, 分解产生的自由基能与脂肪酸上的基团发生反应, 从而影响了大豆的含油率^[20]。

2) 油料中的脂肪在贮藏过程中, 由于微生物、酶和热的作用发生了缓慢水解, 产生了游离脂肪酸, 导致酸价升高^[1]。酸价是油料脂肪中游离脂肪酸含量的标志, 可用来评价油料的质量。文中, 2 种射线辐照均能有效地降低花生、芝麻和大豆的酸价, 而且变化规律相似。3 种油料经电子束辐照后, 均出现 7~9 kGy 剂量组的酸价明显高于 5 kGy 剂量组的现象, 但是其酸价值仍然符合 GB 2716—2018 中的规定 (≤ 4 mg/g)。

3) 过氧化值指油脂在贮藏期间会与氧发生氧化作用, 产生高度活性, 能够迅速变化, 分解为醛、酮类和氧化物等过氧化物^[3]。文中, 2 种射线辐照对 3 种油料的过氧化值影响规律不尽相似, 辐照对花生过氧化值的影响不大, 随着 2 种射线辐照剂量的增加, 大豆的过氧化值均呈下降趋势, 而 2 种射线辐照在一定程度上增加了芝麻的过氧化值。虽然油料过氧化值的变化在 2 种射线辐照下呈现不同的变化规律, 但其辐照前后过氧化值均在 GB 2716—2018 规定的小于 0.25 g/100 g 范围内。

4) 辐照能够诱导水分子, 产生大量的自由基, 和一定的水和电子。虽然自由基活性很高, 能诱导脂肪发生氧化, 但水和电子有很强的还原性, 辐照后自由基引起的链式氧化反应占主导地位还是水和电子产生的还原反应占主导地位决定油脂总体表现出氧化性还是还原性^[17]。 γ 射线和电子束对同一油料氧化的差异性可能是由于 γ 射线是电磁波, 没有静止质量, 与食品体系发生作用, 诱导产生自由基与水 and 电子, 而电子束不同, 它是高能高速运动的电子, 与油料作用时除了诱导产生自由基与水 and 电子外, 本身电子带负电荷, 有很强的还原性, 能抵消其引起的一部分氧化^[17,21], 且油料是一个复杂的食品体系, 本身组分有一定还原性, 也会对油脂氧化产生影响。

从整体结果看, 同一射线不同辐照剂量对油料脂肪氧化影响效应有所不同, 如电子束 1~9 kGy 剂量下辐照花生, 其酸价呈先降低后升高趋势, 在 5 kGy 剂量下最低, 这可能是由于 1~5 kGy 还原性的水和电子占主导地位, 而在 7~9 kGy 氧化性的自由基占主导地位。虽然 2 种射线辐照对油料脂肪氧化影响效应有一定出入, 但不会对油料脂肪氧化产生大的负面影响^[22]。由此可见, 2 种射线适宜于油料的辐照贮藏与加工应用。

5) 2 种射线杀菌均是通过直接作用于微生物细

胞间质, 使其发生电离和化学反应, 形成离子、激发态或者分子碎片或者间接使水分子发生电离产出游离基和过氧化氢与细胞内其他物质作用, 发生交联作用所致^[18]。同等剂量下, γ 射线杀菌效果优于电子束辐照, 可能是由于电子束比 γ 射线有更高的剂量率, 造成细胞中高穿透速度的氧气从而削弱了微生物的氧化损伤效应, 同时, γ 射线的穿透率高于电子束, γ 射线杀菌更为彻底^[20]。一般情况下, 3 kGy 辐照能有效地防控农产品霉变^[23-24], 0.5 kGy 辐照能有效地防控农产品贮藏时害虫的危害^[25-26]。经研究发现, 3 kGy 辐照处理后, 电子束辐照和 γ 射线辐照对花生霉菌含量的降低率分别为 95.91%和 100% (未检出), 芝麻的霉菌含量的降低率分别为 95.24%和 97.62%, 说明 2 种射线均能较好地控制油料的霉变。由此可见, 2 种射线 3 kGy 辐照剂量可作为油料贮藏与加工中防霉、杀虫的适宜剂量, 且符合 GB 18524—2016 规定的辐照食品累计剂量不超过 10 kGy。在 3 kGy 剂量时, 电子束辐照和 γ 射线辐照芝麻的过氧化值分别比未辐照时增加了 21.43%和 57.14%, 所以, 辐照加工技术在芝麻贮藏应用时, 应调整辐照剂量或对过氧化值升高的危害性进一步做出客观评价。

4 结语

1) 2 种射线辐照对油料含油率基本无影响。

2) 2 种射线辐照均能有效地降低花生、芝麻和大豆的酸价, 而且变化规律相似, γ 射线辐照对花生和芝麻的酸价降幅大于电子束辐照, 而大豆的情况则相反。

3) 2 种射线辐照对 3 种油料的过氧化值影响规律不尽相似, 辐照对花生过氧化值影响不大。随着 2 种射线辐照剂量的增加, 大豆的过氧化值均成下降趋势, 而 2 种射线辐照在一定程度上增加了芝麻的过氧化值。

4) 辐照能有效地杀灭油料中的霉菌, 且辐照剂量越大其杀菌效果越好。相比而言, γ 射线辐照对油料的霉菌杀灭效果好于电子束辐照。

参考文献:

- [1] 程树峰, 唐芳, 欧阳毅, 等. 大豆储藏真菌危害早期预测的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(7): 77—80.
CHENG Shu-feng, TANG Fang, OUYANG Yi, et al. The Early Prediction of Damage of Fungus During Soybean Storage[J]. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(7): 77—80.
- [2] RUBILAR M, MORALES E, SÁEZ R, et al. Polyphenolic Fractions Improve the Oxidative Stability of Microencapsulated Linseed Oil[J]. European Journal of

- Lipid Science & Technology, 2012, 114(7): 760—771.
- [3] HORUZ T İ, MASKAN M. Effect of the Phytochemicals Curcumin, Cinnamaldehyde, Thymol and Carvacrol on the Oxidative Stability of Corn and Palm Oils at Frying Temperatures[J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(12): 8041—8049.
- [4] 卿云光, 罗在粉. 油脂的提取方法对酸价和过氧化值测定的影响[J]. 广州化工, 2015(5): 147—148.
QING Yun-guang, LUO Zai-fen. Effect on the Determination of Acid Value and Peroxide Value through Oil Extraction Method[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015(5): 147—148.
- [5] MARTÍN M P, NEPOTE V, GROSSO N R. Chemical, Sensory, and Microbiological Stability of Stored Raw Peanuts Packaged in Polypropylene Ventilated Bags and High Barrier Plastic Bags[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 174—182.
- [6] ALI S, KHAN A S, MALIK A U, et al. Effect of Controlled Atmosphere Storage on Pericarp Browning, Bioactive Compounds and Antioxidant Enzymes of Litchi Fruits[J]. Food Chemistry, 2016, 206: 18—29.
- [7] LIU J, CHEN W. Study on Natural Antioxidant in Grease[J]. China Food Additives, 2003(3): 78—81.
- [8] 朱启思, 钟国才, 王亚军, 等. 复合天然抗氧化剂延长储备花生油储存期的效果研究[J]. 粮食储藏, 2014, 43(1): 33—36.
ZHU Qi-si, ZHONG Guo-cai, WANG Ya-jun, et al. The Effect of Natural Antioxidant Compound on Prolonging the Shelf Life of Reserve Peanut Oil[J]. Grain Storage, 2014, 43(1): 33—36.
- [9] 程安玮, 张奇志, 王守经, 等. 抗氧化剂对辐照花生脂肪酸含量及过氧化值的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 93—96.
CHENG An-wei, ZHANG Qi-zhi, WANG Shou-jing, et al. Effects of Antioxidants on Fatty Acid Content and Peroxide Value of Irradiated Peanut[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(1): 93—96.
- [10] 商飞飞, 陈云堂, 范家霖, 等. 电子束辐照对桃仁和杏仁脂肪酸的影响研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 319—323.
SHANG Fei-fei, CHEN Yun-tang, FAN Jia-lin, et al. Influence of Electron Beam Irradiation on Fatty Acids of Semen Persicae and Semen Armeniacae[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(16): 319—323.
- [11] 王若兰, 杨延远, 杨志慧. γ 射线、电子束处理对玉米品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 31(3): 11—13.
WANG Ruo-lan, YANG Yan-yuan, YANG Zhi-hui. Effect of γ -ray and Electron Beam from Accelerator on Corn Quality[J]. Cereal and Feed Industry, 2010, 31(3): 11—13.
- [12] 王若兰, 杨延远. γ 射线、电子束处理对籼稻品质的影响[J]. 食品科技, 2010(7): 184—188.
WANG Ruo-lan, YANG Yan-yuan. Effect of γ -ray and Electron Beam from Accelerator on Rice Quality[J]. Food Science and Technology, 2010(7): 184—188.
- [13] 王若兰, 杨延远, 郭靖. γ 射线、电子束处理对大豆品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(5): 5—8.
WANG Ruo-lan, YANG Yan-yuan, GUO Jing. Effect of γ -ray and Electron Beam Treatment on Soybean Quality[J]. Journal of Henan University of Technology, 2010(7): 184—188.
- [14] 周慧娟, 叶正文, 施春晖, 等. 高能电子辐照对猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(25): 230.
ZHOU Hui-juan, YE Zheng-wen, SHI Chun-hui, et al. Effect of Electron Beam on Fresh-keeping Quality of Kiwifruit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(25): 230.
- [15] FERNANDES Â, ANTONIO A L, OLIVEIRA M B, et al. Effect of Gamma and Electron Beam Irradiation on the Physico-Chemical and Nutritional Properties of Mushrooms: a Review[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2): 641—650.
- [16] DUAN Z, XING Z, YI S, et al. Effect of Electron Beam Irradiation on Postharvest Quality and Selected Enzyme Activities of the White Button Mushroom, Agaricusbisporus[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2010, 58(17): 9617.
- [17] 尚颀斌. 电子束和 γ 射线辐照对冷鲜肉品质影响的差异及作用机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
SHANG Yi-bin. Study on the Comparison Effects and Mechanism of Electron Beam and Gamma Irradiation on Fresh Chilled Pork[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [18] 朱佳廷, 刘春泉, 余刚, 等. 辐照杀菌对红枣品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(2): 164—167.
ZHU Jia-ting, LIU Chun-quan, YU Gang, et al. Effects of Irradiation Sterilization on Qualities of Dried Jujubes[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2006, 22(2): 164—167.
- [19] 曾名湧. 食品保藏原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 194—196.
ZENG Ming-yong. Food Preservation Principles and Technologies[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 194—196.
- [20] 崔龙, 王嫻, 许勃, 等. 电子束辐照对大豆品质的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(5): 900—906.
CUI Long, WANG Xian, XU Bo, et al. Effect of Electron Beam Irradiation on the Quality of Soybean[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(5): 900—906.
- [21] 王晶晶, 张成金, 汪海燕, 等. 电子束和 γ 射线辐照对象拔蚌品质影响的异同性研究[J]. 核农学报, 2017, 31(1): 73—79.
WANG Jing-jing, ZHANG Cheng-jin, WANG Hai-yan,

- et al. Effects of Electron Beam and Gamma Ray Irradiation on the Physicochemical and Microbial Property of Commercial Fresh Geoduck Clams[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(1): 73—79.
- [22] GB 2716—2005, 食用植物油卫生标准[S].
GB 2716—2005, Hygienic Standard for Edible Vegetable Oil[S].
- [23] 郑秀艳, 孟繁博, 林茂, 等. ^{60}Co - γ 辐照对花生杀菌效果及其品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2018(1): 91—96.
ZHENG Xiu-yan, MENG Fan-bo, LIN Mao, et al. Effect of ^{60}Co - γ -irradiation on the Sterilization and Quality of *Arachis hypogaea*.L[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2018(1): 91—96.
- [24] 王德宁, 冯敏, 李澧, 等. 豆谷类及其制品辐照杀虫防霉剂量要求研究[J]. *安徽农业科学*, 2013(27): 11138—11139.
WANG De-ning, FENG Min, LI Li, et al. Specifications for Irradiation Doses for the Control of Moulds and Insect Disinfestations in Beans, Grains and Their Products[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013(27): 11138—11139.
- [25] 冯敏, 朱佳廷, 李澧, 等. 花生辐照杀虫防霉工艺剂量确定[J]. *农业科学与技术*, 2014(3): 477—479.
FENG Min, ZHU Jia-ting, LI Li, et al. Irradiation Dose for the Insect Disinfestation and Mildew Control of Peanut[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2014(3): 477—479.
- [26] 顾贵强, 杨萍, 王德宁, 等. 板栗辐照杀虫防霉工艺剂量要求[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(3): 213—215.
GU Gui-qiang, YANG Ping, WANG De-ning, et al. Dosage Requirements of Chestnut Irradiated for Insecticidal and Mildew Control[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 213—215.