

# $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照联合低温冷藏处理 对不同包装花生贮藏品质的影响

郑秀艳, 李国林, 林茂\*, 黄道梅, 孟繁博, 陈曦

(贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵州省农产品加工研究所, 贵州贵阳 550006)

**摘要:** 探索  $^{60}\text{Co}-\gamma$  辐照联合低温处理对不同包装花生仁贮藏品质的影响, 以期延长花生的贮藏周期。采用  $^{60}\text{Co}-\gamma$  辐照装置进行 1.5 kGy 剂量的辐照处理, 花生仁分别采用聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋进行包装处理, 通过测定微生物、营养成分、水分含量、质构特性、脂肪氧化酶及气味等指标来评价  $^{60}\text{Co}-\gamma$  辐照联合低温冷藏处理对花生仁的贮藏效果。结果表明: 未辐照花生仁在贮藏第 4 个月时菌落总数为 980 CFU/g, 超过 750 CFU/g 标准规定, 而辐照花生仁在贮藏 14 个月时菌落总数均低于 340 CFU/g, 符合标准规定; 贮藏期间, 辐照处理不会对花生仁的营养成分、质构特性产生明显影响; 低温贮藏有利于降低花生仁水分损失和保持花生仁脂肪氧化酶的活性; 不同包装辐照花生仁在贮藏期间呈现一定的差异, 其中真空锡箔袋包装花生仁在营养品质、质构特性及气味变化上变化最小。综上所述, 辐照联合低温处理可将花生仁的贮藏周期延长到 14 个月, 同时真空锡箔袋包装花生仁呈现较稳定的贮藏性能。该方法可实现产业化生产, 对花生实际生产具有重要指导意义。

**关键词:** 花生仁;  $^{60}\text{Co}-\gamma$  辐照; 不同包装; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2021)11-204-213

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0261

## Effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ -irradiation Combined with Cold Storage on Storage Quality of Different Packing Peanuts

ZHENG Xiuyan, LI Guolin, LIN Mao\*, HUANG Daomei, MENG Fanbo, CEHN Xi

(Guizhou Institute of Integrated Agriculture Development, Guizhou Institute of Farm Products Processing, Guiyang 550006, China)

**Abstract:** In order to prolong the storage period of peanut kernel, the effects of  $^{60}\text{Co}-\gamma$ -irradiation combined with cold storage on storage quality of different packing peanuts were studied. The peanut kernel samples were treated at the irradiation doses 1.5 kGy by  $^{60}\text{Co}-\gamma$  ray and were packed by polyethylene bag, vacuum polyethylene bag and vacuum fresco bag, respectively. To evaluate the storage effectiveness of  $^{60}\text{Co}-\gamma$ -irradiation combined with cold storage of peanuts, during the period, the main physic-chemistry indexes were determined including microorganism, nutrient content, moisture content, texture characteristics, lipoxigenase and volatile component. The results showed that the total bacterial count of un-irradiated group was 980 CFU/g in the 4th month of storage, which exceeded the standard of 750 CFU/g, while the total colonies of irradiated peanuts were all lower than 340 CFU/g in the 14th months of storage, which met the standard. During storage, irradiation treatment did not have obvious effects on the nutritional composition and texture characteristics of peanut kernels. It is beneficial to reduce water loss and maintain the activity of lipid oxidase in peanut kernels under low temperature storage. Different packages of irradiated peanut kernels showed certain differences during storage, the changes of nutritional quality, texture characteristics and odor of peanut kernels

引文格式:

郑秀艳, 李国林, 林茂, 等.  $^{60}\text{Co}-\gamma$  辐照联合低温冷藏处理对不同包装花生贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 204-213

ZHENG Xiuyan, LI Guolin, LIN Mao, et al. Effects of  $^{60}\text{Co}-\gamma$ -irradiation combined with cold storage on storage quality of different packing peanuts [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 204-213

收稿日期: 2021-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460415); 黔科合成果 ([2017]4116); 黔农科院自主创新科研专项自字 (2014) 018 号; 贵州省特色农产品辐照保鲜与加工工程技术研究中心 (2016GZ67305)

作者简介: 郑秀艳 (1988-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xiuyanzhengchn@163.com

通讯作者: 林茂 (1979-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: linmao520132@163.com

packed with vacuum tin foil bags were the smallest. In conclusion, the storage period of peanut kernel could be extended to 14 months by  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -irradiation combined with cold storage. This method is easy to realize the industrialization, which has important instruction significance for industrialized production of peanut.

**Key words:** peanut kernel;  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -irradiation; different packing; storage quality

花生 (*Arachis hypogaea* L.) 是食用、榨油兼用的经济作物, 是我国四大油料作物之一, 总产量位列世界第一, 品种多达 8000 种<sup>[1]</sup>, 在我国食用油供应、食品加工、出口创汇和农民增收中占重要地位。花生产量的不断提高推动了我国花生加工利用总量的增加, 利用途径和范围也逐步拓宽。生物污染是影响花生及其制品食用安全性的重要因素之一, 也是近年来学者关注和研究的热点。目前花生生产体系中干燥方式主要有在株干燥法、鲜摘晾干法和鲜摘催干法, 且主要以田间自然晾晒方式为主<sup>[2,3]</sup>。该干燥方式对环境依赖度高, 得到的花生干果带菌量大, 花生采后如果没有及时干燥或进行杀菌处理, 贮藏过程中极易引起霉菌大量繁殖, 进而引起花生品质劣变, 引起食用安全风险和经济损失。

有研究表明, 每克花生鲜果的带菌量高达百万以上, 主要有酵母菌、木霉、曲霉菌、青霉菌、链孢霉和交链孢霉等<sup>[4]</sup>。花生富含油脂和蛋白质, 空气湿度控制不当, 过低容易诱发花生膜脂过氧化现象, 产生刺激性气味, 过高则容易发生霉变; 贮藏温度过低会降低花生活性, 温度过高又会引起营养成分流失, 发生褐变, 味道变苦<sup>[5]</sup>。周中英等<sup>[6]</sup>考察了花生贮藏 12 个月的品质变化, 发现花生内部各类酶活性和微生物会引起蛋白质、氨基酸等营养成分流失。林丹等<sup>[7]</sup>认为较高的贮藏温度会使花生脂肪酸组成和种类发生变化, 低温贮藏时脂肪酸含量变化较小。气调包装能有效保持花生的营养成分, 但在贮藏 8 个月后霉菌数量会随着贮藏时间延长而逐渐增加<sup>[8]</sup>, 且该处理方式成本较高。研究表明, 花生种子在贮藏过程中水分含量过高, 即高于 10%, 会影响其生活力和发芽率<sup>[9]</sup>。因此, 探求一种能安全高效杀灭花生微生物, 有效延长花生贮藏周期, 同时最大限度保有花生原有营养品质的贮藏技术意义重大。

$^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照技术作为一种冷杀菌物理处理技术, 该技术无化学残留、高效、安全, 在保持食品原有营养价值方面呈现出了独特技术优势。国内外许多学者进行了相关报道。杜琪等探讨了不同干燥温度对花生品质的影响, 当温度低于 40 °C 时, 花生营养成分和发芽率无显著变化<sup>[10]</sup>。袁贝等<sup>[11]</sup>考察了贮藏条件对花生氨基酸和脂肪酸组成影响, 低温常湿下花生色泽、风味保持最佳, 氨基酸、脂肪酸等营养成分减少最小。

常温常湿下, 霉菌等微生物滋生过快, 品质劣变明显, 无法长时间贮藏。有研究<sup>[12]</sup>证实, 辐照能有效杀灭油料中的霉菌, 且辐照剂量越大杀菌效果越好;  $\gamma$  射线辐照对霉菌的杀菌效果优于电子束辐照; 同时表明  $\gamma$  射线在 3 kGy 辐照剂量下对油料质量无明显负面影响。Liu 等<sup>[13]</sup>讨论了不同辐照剂量对花生理化性质和营养成分的影响, 但其未对花生的贮藏品质进行跟踪考察。近些年, 辐照技术目前在粮食 (大米、小麦等)<sup>[14,15]</sup>、肉制品<sup>[16]</sup>、豆类<sup>[17]</sup>得到了广泛应用和发展。而在花生方面的应用比较单一, 主要用于花生中黄曲霉毒素的祛毒和脱毒效果研究<sup>[18,19]</sup>, 而对采用辐照杀菌技术与其他贮藏加工方法相结合的复合处理方式对花生贮藏品质影响的报道则较少。

前期对不同辐照剂量对花生品质影响进行了研究<sup>[20]</sup>, 但并未对辐照花生在贮藏期间的品质变化进行分析。因此, 本研究在前期研究的基础上, 将  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照技术与低温贮藏技术相结合, 探讨花生仁贮藏过程的安全控制、品质保证问题, 旨在为花生产业提供技术支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

供试花生, 购自贵州省沿河县黄土乡农特产品农民专业合作社, 由脱壳机制得花生仁, 备用。植物脂肪氧化酶 (LOX) ELISA 检测试剂盒, 上海鼓臣生物技术有限公司; 其他试剂, 均为分析纯级以上。

### 1.2 仪器与设备

TMS-Pro 型物性测定仪, 美国 FTC 公司; 722 型紫外可见分光光度计, 上海尤尼柯科学仪器有限公司; TYS-100 粉粹机, 浙江省永康市红太阳机电公司; FA2004 分析天平, 上海精密科学仪器有限公司; H1850R 离心机, 湘仪离心机有限公司; Max Plus384 酶标仪, 美国 MD 公司; PEN3 便携式电子鼻, 德国 Aairsense 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 辐照试验与样品处理

辐照剂量的选择, 前期试验研究结果表明<sup>[21]</sup>, 1.50

kGy 辐照剂量能有效杀灭花生仁中微生物的同时能最大限度保持花生原有的食用品质。贵州省农业科学院辐照中心<sup>60</sup>Co- $\gamma$  动态辐照源(能量为 $1.83 \times 10^5$  Ci, 源活度为 $6.90 \times 10^{15}$  Bq, 剂量率为 5.30 Gy/min) 进行辐照处理, 采用重铬酸银剂量计进行跟踪。本研究试验设置四组, 一组使用聚乙烯袋包装, 无辐照处理, 以下简称未辐照聚乙烯袋组; 一组使用聚乙烯袋包装, 1.50 kGy 辐照处理, 以下简称聚乙烯袋组; 一组使用真空聚乙烯袋包装, 1.50 kGy 辐照处理, 以下简称真空聚乙烯袋组; 一组使用真空锡箔袋包装, 1.50 kGy 辐照处理, 以下简称真空锡箔袋组。每袋质量为 300 g。每组样品设置 3 个重复。辐照前后样品置于 10 °C 冷藏, 每 2 个月取样测定相关指标。

### 1.3.2 微生物测定

菌落总数的测定参照国家标准 GB 4789.2-2016 的测定方法; 霉菌和酵母菌的测定参照国家标准 GB 4789.15-2016 的测定方法; 大肠杆菌计数参照国家标准 GB 4789.3-2016 规定的方法。

### 1.3.3 营养成分测定

蛋白质、脂肪、粗纤维和脂肪酸的测定分别参照 GB/T 24318-2009、NY/T 1285-2007、GB/T 5515-2008、GB 5009.168-2016 的测定方法。

### 1.3.4 水分的测定

水分含量测定采用水分测定仪在 101.30 kPa、105 °C 条件下进行测定。

### 1.3.5 质构特性分析<sup>[20]</sup>

花生样品制备: 挑选外形大小一致的花生仁, 手工将花生分成两瓣, 移除两瓣之间的种胚, 同时将花生外衣剥去, 用刀片将花生修平整后测定。

样品测定: 采用 TPA (质构曲线解析法) 质构分析法进行测定, 参照郑秀艳等<sup>[16]</sup>测定条件进行测定。具体如下: 每个样品测定 10 次, 取测定指标的平均值进行结果分析。采用下压模式, 选择 TPA, 采用 50 mm 圆盘, 使用 1000 N 力量感应元, 测试前速度 40 mm/min, 测试速度 40 mm/min, 测试后速度 40 mm/min, 间隔时间 5 s, 压缩比 45%。各检测指标意义如下:

硬度: 表示牙齿挤压花生样品的力量。

咀嚼性: 嚼碎花生样品时需要的能量。

胶粘性: 花生样品吞咽前破碎它需要的能量。

内聚性: 花生样品内部的收缩力, 数值越大, 内聚性越强。

弹性: 形变样品在去掉压力时恢复原状的比率。

### 1.3.6 脂肪氧化酶的测定

脂肪氧化酶的测定采用脂肪氧化酶 ELISA 检测试剂盒进行测定。试剂盒采用双抗体夹心法酶联免疫吸附试验 (ELISA)。往预先包被植物脂肪氧化酶 (LOX) 捕获抗体的包被微孔中, 依次加入标本、标准品、HRP 标记的检测抗体, 经过温育并彻底洗涤。用底物 TMB 显色, TMB 在过氧化物酶的催化下转化成蓝色, 并在酸的作用下转化成最终的黄色。颜色的深浅和样品中的植物脂肪氧化酶呈正相关。用酶标仪在 450 nm 波长下测定吸光度, 计算样品浓度。

### 1.3.7 电子鼻气味分析

将待测花生仁样品用粉碎机打成花生粉末, 准确称取 5 g 置于 50 mL 顶空瓶中, 室温静置 20 min 后用电子鼻测定其挥发性气味, 每个样品平行测定 5 次。试验前对电子鼻的检测参数进行优化, 确定检测条件为: 进样流量为 400 mL/min, 传感器室流量为 400 mL/min, 采样时间间隔为 1 s, 准备进样时间为 5 s, 样品检测时间为 100 s, 清洗时间为 100 s。

表 1 电子鼻传感器名称与其响应物质

Table 1 Sensor name of electronic nose and its response to the matter

传感器序号	传感器名称	传感器响应特性
1	W1C aromatic	对芳香成分灵敏
2	W5S broadrange	对氮氧化合物灵敏
3	W3C aromatic	对芳香胺类灵敏
4	W6S hydrogen	对氢气(氯化物)有选择性
5	W5C arom-aliph	对短链烷烃灵敏
6	W1S broad-meththane	对甲基类灵敏
7	W1W sulpher-organic	对无机硫化物灵敏
8	W2S broad-olcohol	对醇类灵敏
9	W2W sulph-chlor	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S methane-aliph	对长链烷烃灵敏

## 1.4 数据分析

质构分析和电子鼻气味分析重复测定 5 次, 其余测定均重复 3 次。所有图表采用 Microsoft Excel 2010 软件进行绘制, IBM SPSS Statistics 软件进行显著性分析, 显著水平  $p < 0.05$ 。电子鼻的数据采用自带的 Winmuster 统计软件对花生的传感器响应特征值进行分析。

## 2 结果

### 2.1 贮藏过程中花生微生物的变化

表 2 贮藏过程中花生仁微生物变化

Table 2 Microbial changes in peanuts during storage

微生物	不同处理	贮藏时间/月			
		0	2	4	6
菌落总数 (CFU/g)	未辐照聚乙烯袋组	6.00×10 <sup>2</sup> ±30.71 <sup>a1</sup>	4.60×10 <sup>2</sup> ±33.64 <sup>a1</sup>	9.80×10 <sup>2</sup> ±29.45 <sup>a1</sup>	2.00×10 <sup>3</sup> ±70.71 <sup>a1</sup>
	聚乙烯袋组	2.00×10 <sup>2</sup> ±12.28 <sup>a2b1</sup>	1.70×10 <sup>2</sup> ±22.42 <sup>a2b1</sup>	3.60×10 <sup>2</sup> ±00.42 <sup>a2b1</sup>	2.00×10 <sup>2</sup> ±10.71 <sup>a2b1</sup>
	真空聚乙烯袋组	2.00×10 <sup>2</sup> ±26.56 <sup>a2b1</sup>	2.70×10 <sup>2</sup> ±27.28 <sup>a3b2</sup>	2.40×10 <sup>2</sup> ±18.28 <sup>a3b2</sup>	1.60×10 <sup>2</sup> ±21.21 <sup>a2b2</sup>
	真空锡箔袋组	2.00×10 <sup>2</sup> ±10.71 <sup>a2b1</sup>	2.80×10 <sup>2</sup> ±16.56 <sup>a3b2</sup>	2.10×10 <sup>2</sup> ±14.14 <sup>a4b3</sup>	4.10×10 <sup>2</sup> ±28.82 <sup>a3b3</sup>
霉菌和酵母菌 (CFU/g)	未辐照聚乙烯袋组	ND	ND140	6.20×10 <sup>2</sup> ±55.45	9.60×10 <sup>2</sup> ±97.15
	聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空锡箔袋组	ND	ND	ND	ND
大肠杆菌 (MPN/g)	未辐照聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空锡箔袋组	ND	ND	ND	ND
微生物	不同处理	贮藏时间/月			
		8	10	12	14
菌落总数 (CFU/g)	未辐照聚乙烯袋组	3.00×10 <sup>3</sup> ±219.03 <sup>a1</sup>	1.50×10 <sup>3</sup> ±237.40 <sup>a1</sup>	6.20×10 <sup>3</sup> ±220.46 <sup>a1</sup>	1.70×10 <sup>4</sup> ±562.42 <sup>a1</sup>
	聚乙烯袋组	3.00×10 <sup>2</sup> ±28.28 <sup>a2b1</sup>	3.00×10 <sup>2</sup> ±16.64 <sup>a2b1</sup>	2.50×10 <sup>2</sup> ±24.42 <sup>b1a2</sup>	2.60×10 <sup>2</sup> ±7.07 <sup>a2b1</sup>
	真空聚乙烯袋组	2.20×10 <sup>2</sup> ±7.07 <sup>a2a3b2</sup>	3.20×10 <sup>2</sup> ±17.78 <sup>a2b1</sup>	3.80×10 <sup>2</sup> ±7.07 <sup>b1a2</sup>	2.00×10 <sup>2</sup> ±12.12 <sup>a2b1</sup>
	真空锡箔袋组	4.30×10 <sup>2</sup> ±27.28 <sup>a3b3</sup>	3.60×10 <sup>2</sup> ±13.35 <sup>a2b2</sup>	3.70×10 <sup>2</sup> ±16.63 <sup>b1a2</sup>	3.40×10 <sup>2</sup> ±12.22 <sup>a2b3</sup>
霉菌和酵母菌 (CFU/g)	未辐照聚乙烯袋组	2.30×10 <sup>3</sup> ±22.13	1.80×10 <sup>3</sup> ±50.68	5.70×10 <sup>3</sup> ±120.85 <sup>a1</sup>	1.60×10 <sup>4</sup> ±214.34 <sup>a1</sup>
	聚乙烯袋组	ND	ND	15.00±3.21 <sup>a2b2</sup>	55.00±8.71 <sup>a2b1</sup>
	真空聚乙烯袋组	ND	ND	10.00±1.04 <sup>a2b2</sup>	85.00±13.63 <sup>a2b2</sup>
	真空锡箔袋组	ND	ND	35.00±2.77 <sup>a2b3</sup>	60±3.35 <sup>a2b3</sup>
大肠杆菌 (MPN/g)	未辐照聚乙烯袋组	ND	ND	7.40±0.38	23.00±2.24
	聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空聚乙烯袋组	ND	ND	ND	ND
	真空锡箔袋组	ND	ND	ND	ND

注：同一指标同一列的相同字母不同数字间表示显著性达到  $p < 0.05$  水平，统一指标不同字母表示不同处理组之间（a 表示辐照组和未辐照组之间；b 表示同一剂量辐照处理不同包装组之间）的显著性差异分析。

根据《辐照干果果脯类卫生标准》（GB 14891.3-1997）中对经  $\gamma$  射线或电子束辐照的花生仁的微生物限量进行了规定，即菌落总数  $\leq 750$  个/g，大肠杆菌  $\leq 30$  MPN/100 g，致病菌不得检出。由表 2 可知，未辐照聚乙烯袋花生仁菌落总数增速较快，在贮藏第 4 个月时菌落总数  $> 750$  CFU/g，第 14 月时的菌落总数是贮藏 0 月的 28.30 倍，且出现了霉菌和酵母菌，第 12 个月时有大肠杆菌出现。而经辐照处理的聚乙烯袋组花生仁在贮藏 14 个月时菌落总数均符合《辐照干果果脯类卫生标准》（GB 14891.3-1997）微生物限量规定，贮藏至第 12 个月才出现霉菌和酵母菌，没有检测到大肠杆菌。

同一贮藏条件下，辐照处理聚乙烯袋、真空聚乙

烯袋和真空锡箔袋三组不同包装组的花生在贮藏 14 个月时菌落总数均符合《辐照干果果脯类卫生标准》（GB 14891.3-1997）微生物限量规定，且未有大肠杆菌出现。由此可知，经辐照处理的花生仁贮藏期可延长至一年以上，说明适宜剂量的辐照处理可有效延长花生仁的贮藏期。在贮藏 10 个月之后，通过对比 1.50 kGy 辐照处理的三种包装在贮藏期间的微生物变化情况，聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋在不同贮藏期间菌落总数变化没有显著性差异 ( $p > 0.05$ )。不同包装方式的花生菌落总数没有明显区别，这可能与 1.50 kGy 辐照处理灭菌效果显著有关。

综合来讲，<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照处理能有效抑制花生仁中微生物的生长，贮藏至第 14 个月时，辐照处理花生仁

的菌落总数符合《干果食品卫生标准》(GB 16325-2005)和《辐照豆类、谷类及其制品卫生标准》(GB 14891.8-1997)的标准规定,并且没有检出大肠杆菌。本研究考察的辐照处理的三种包装组花生仁微生物检测结果未出现显著性差异。

## 2.2 营养成分

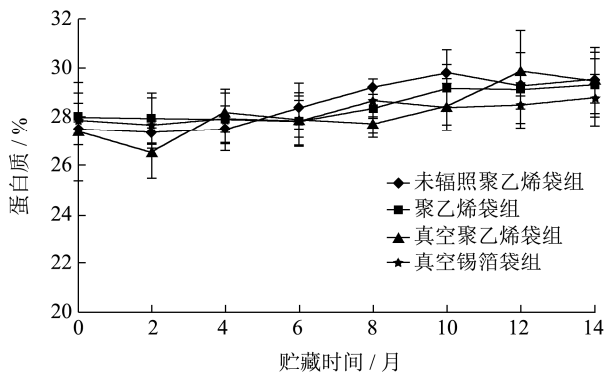


图1 贮藏过程中花生仁蛋白质的变化

Fig.1 Protein content changes in peanuts during storage

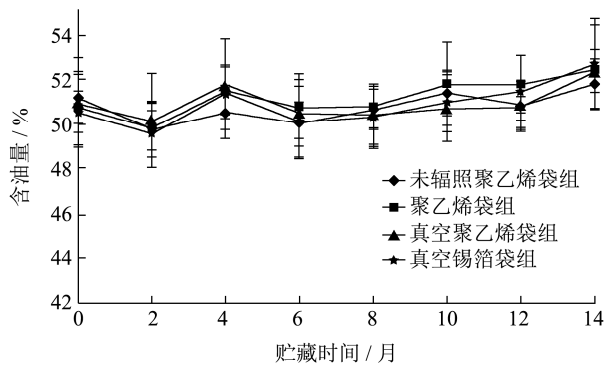


图2 贮藏过程中花生仁含油量的变化

Fig.2 Changes in fat content in peanuts during storage

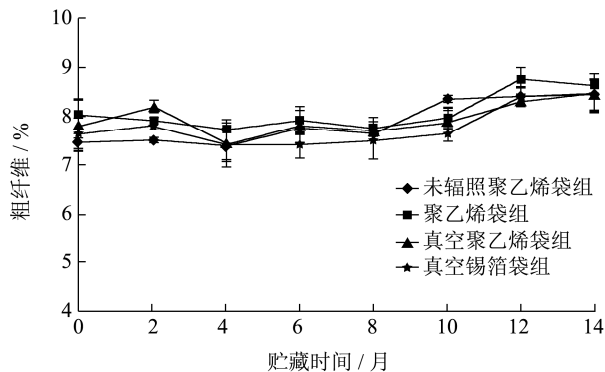


图3 贮藏过程中花生仁粗纤维的变化

Fig.3 Fiber content changes in peanuts during storage

由图1~4可知,随着贮藏期的延长,四组处理组花生仁的蛋白质含量均有上升趋势。在贮藏第0个月至第14个月贮藏期间,聚乙烯袋包装未辐照和辐照花生仁营养成分变化情况如下:蛋白质含量分别由27.53%和27.98%,没有显著变化。在贮藏第6个月时,

未辐照聚乙烯袋花生仁蛋白质含量升至28.4%,经辐照处理的聚乙烯袋花生仁蛋白质为27.80%,与第0个月没有显著变化;含有率由51.20%、50.65%变为51.86%、52.51%,没有发生显著变化;粗纤维含量为7.45%、8.00%变为8.50%、8.60%,随着贮藏时间的延长均有升高趋势。上述结果表明,辐照和未辐照处理花生仁的营养成分没有明显差异,辐照不会对花生营养成分产生明显影响。

在贮藏第0个月至第14个月贮藏期间,经辐照处理的聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋组花生仁蛋白质含量分别由27.98%、27.40%、27.90%升至29.30%、29.50%、28.7%,可知聚乙烯袋蛋白质含量变化比锡箔袋大;含油率分别由50.65%、50.95%、50.51%变为52.51%、52.38%和52.65%,变化辐照较小,仍在食用可接受范围内;油酸含量由44.10%、44.10%、43.40%变为42.80%、43.40%、43.80%,表明聚乙烯袋包装的花生仁油酸含量会发生下降,且变化幅度较大,而锡箔袋包装的花生仁油酸含量较稳定。辐照处理三组花生粗纤维含量均有升高趋势,且变化趋势接近一致,贮藏第10个月时,聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋花生仁粗纤维含量分别为7.95%、7.85%和7.64%,与第0个月没有显著变化,表明1.50 kGy剂量的辐照处理不会对花生的粗纤维产生明显影响。

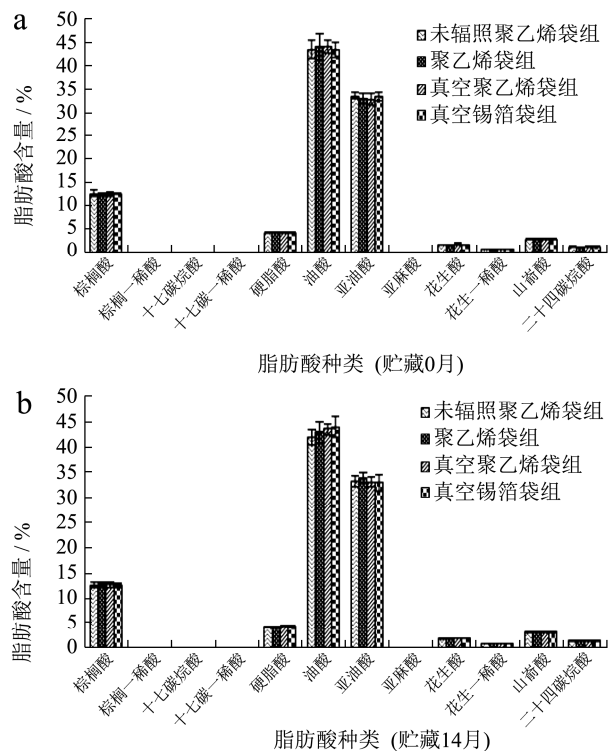


图4 不同贮藏时期花生仁脂肪酸含量

Fig.4 Aliphatic acid changes in peanuts during storage

注: a: 花生仁贮藏0月时脂肪酸含量; b: 花生仁贮藏14月时脂肪酸含量。

综上所述,在贮藏期间,辐照处理的花生仁与未经辐照处理的花生仁的蛋白质、含油量、粗纤维及脂肪酸含量变化趋势一致,但在不同的贮藏阶段存在一定的差异。从脂肪酸检测结果可以看出,上述四个处理组花生仁的另外 11 种脂肪酸没有发生明显变化,较为稳定,这与商飞飞等<sup>[22]</sup>研究得出的适宜剂量辐照不会对花生脂肪酸产生明显影响,贮藏期间花生的脂肪酸含量出现下降的研究结果相一致。林丹等<sup>[7]</sup>表明较高温度贮藏会使紫外线辐照花生的脂肪酸组成和种类发生改变,本研究中的脂肪酸含量较稳定,这可能与本研究采用低剂量的<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照处理有关,同时与试验选择在 10℃ 避光低温贮藏下进行有关。经辐照处理的聚乙烯袋和锡箔袋在贮藏期间含油量和油酸含量变化存在差异,真空锡箔袋包装花生的营养成分变化较小,具有较好的贮藏性能。

### 2.3 水分

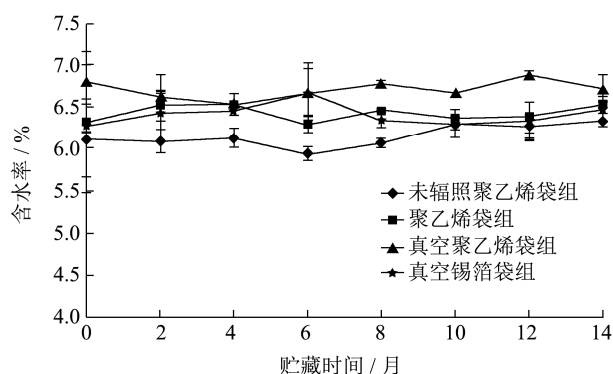


图 5 贮藏过程中花生仁水分含量的变化

Fig.5 Moisture content changes in peanuts during storage

花生仁贮藏水分设定参照林勇敢等<sup>[21]</sup>中方法。由图 5 可知,在贮藏第 0 个月和第 14 个月时,未辐照和辐照聚乙烯袋组花生水分含量由 6.10%、6.32%变为 6.34%、6.52%,水分没有发生显著变化;辐照处理的聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋组花生仁水分由 6.32%、6.79%、6.26%变为 6.52%、6.72%、6.48%,不同包装之间水分含量无显著变化。本试验将不同包装花生仁避光保存在阴凉干燥处,外用透明聚乙烯薄膜遮盖保存,推测可能外层覆盖的聚乙烯薄膜使试验样品吸收水分较少。

### 2.4 质构特性

质构分析是花生仁品质分析的重要指标,不同包装花生仁在贮藏过程中的质构分析结果如图 6~10。由图 6~10 可知,在贮藏第 0 个月和第 14 个月时,未辐照和辐照聚乙烯袋花生仁的硬度由 75.96 N、73.97 N 升至 83.08 N、75.22 N,整体呈升高趋势,与未辐照

组相比,辐照处理花生仁硬度变化则较小;弹性由 0.58 mm、0.64 mm 升至 0.66 mm、0.68 mm,没有显著差异;咀嚼性由 9.84 mJ、9.47 mJ 变为 11.89 mJ、11.19 mJ,有明显增高趋势;辐照组和未辐照组花生的胶黏性均有增大,两者变化趋势一致;内聚性则较稳定,没有显著变化。上述结果表明,辐照处理未对花生的质构特产生明显影响。

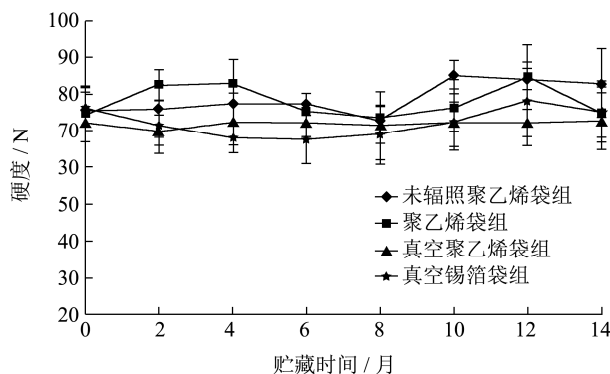


图 6 贮藏过程中花生仁硬度的变化

Fig.6 Hardness changes in peanuts during storage

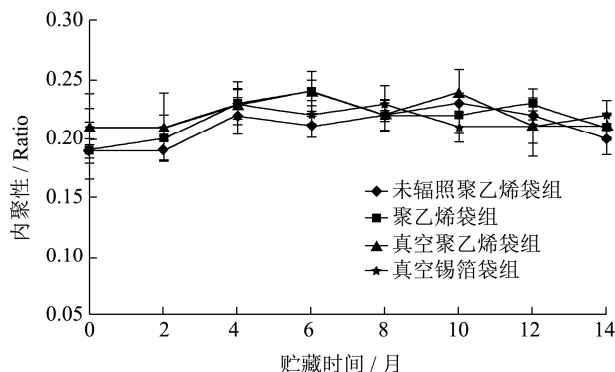


图 7 贮藏过程中花生仁内聚性的变化

Fig.7 Cohesiveness changes in peanuts during storage

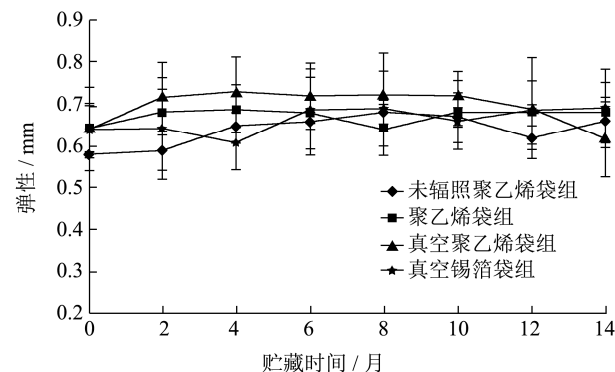


图 8 贮藏过程中花生仁弹性的变化

Fig.8 Springiness changes in peanuts during storage

在贮藏第 0 个月和第 14 个月时,辐照处理聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋花生仁的硬度由 73.97 N、72.65 N、76.65 N 变为 75.22 N、72.83 N、75.59 N,变化幅度较小,辐照处理的不同包装间没有显著性差异;辐照处理聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋

花生仁的弹性由 0.64 mm、0.64 mm、0.64 mm 变为 0.68 mm、0.62 mm、0.69 mm，辐照处理的三组不同包装间没有显著性差异；在贮藏期间，辐照不同包装组花生仁的胶黏性均有增大，其中聚乙烯袋包装花生仁的增幅比锡箔袋的大；咀嚼性由 9.47 mJ、10.88 mJ、11.86 mJ 变为 11.19 mJ、11.30 mJ、11.75 mJ，由此可知，聚乙烯袋包装花生仁的咀嚼性变化幅度比锡箔袋的大，锡箔袋包装花生仁的咀嚼性呈现较稳定的贮藏特性；同时，辐照处理三种不同包装组花生的内聚性没有发生明显变化。通过对比辐照处理三种不同包装的花生，与聚乙烯袋包装相比，采用真空聚乙烯袋包装的花生有比较稳定的贮藏特性。

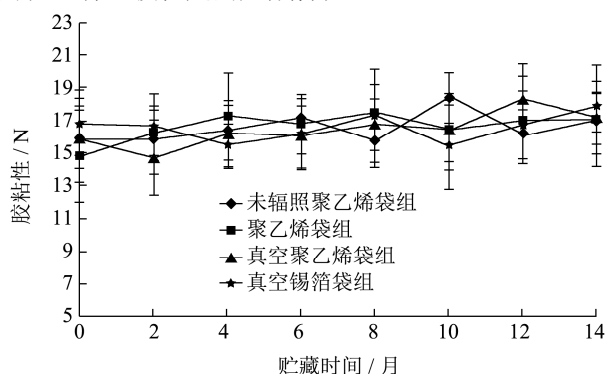


图 9 贮藏过程中花生仁胶黏性的变化

Fig.9 Gumminess changes in peanuts during storage

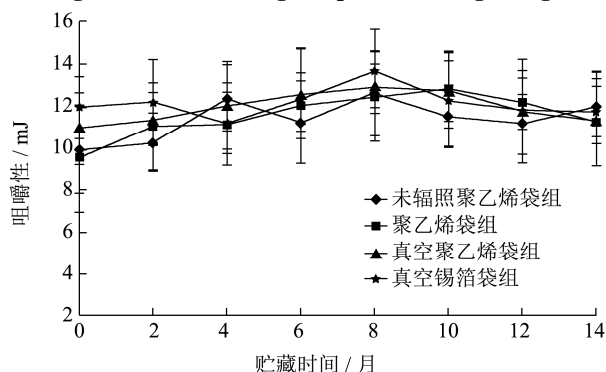


图 10 贮藏过程中花生仁咀嚼性的变化

Fig.10 Chewiness changes in peanuts during storage

### 2.5 脂肪氧化酶

脂肪氧化酶的活力高低是影响代谢的关键因素之一<sup>[23]</sup>。本实验采用脂肪氧化酶 ELISA 检测试剂盒进行测定，结果采用脂肪氧化酶的浓度大小表示，脂肪氧化酶浓度与活性呈正相关，即浓度越高，脂肪氧化酶活力越强。由图 11 可知，随着贮藏时间的延长，未辐照和辐照聚乙烯袋组花生仁的脂肪氧化酶含量呈增高趋势，未辐照聚乙烯袋组由 0.66 ng/mL 增至 1.23 ng/mL，聚乙烯袋由 0.68 ng/mL 增至 1.22 ng/mL，变化趋势一致，没有显著性差异，说明辐照处理不会对

花生的脂肪氧化酶产生影响。辐照处理的不同包装花生中，聚乙烯袋由 0.68 ng/mL 增至 1.22 ng/mL，真空聚乙烯袋由 0.69 ng/mL 增至 1.06 ng/mL，真空锡箔袋由 0.67 ng/mL 增至 1.07 ng/mL，变化趋势一致，辐照处理的三种不同包装间花生仁的脂肪氧化酶的变化未出现显著性差异。由此可知，辐照处理未对花生的脂肪氧化酶含量产生影响；在低温贮藏环境下，辐照处理的三种不同包装间花生仁的脂肪氧化酶的变化未出现显著性差异。

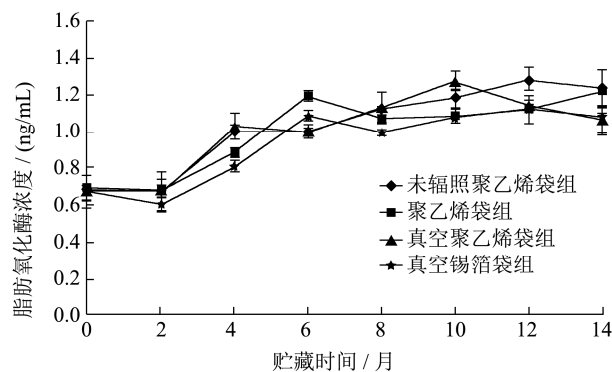


图 11 贮藏过程中花生仁中脂肪氧化酶含量的变化

Fig.11 LOX concentration content changes in peanuts during storage

前期研究表明：0~4.5 kGy 辐照剂量范围内的辐照处理不会对花生仁脂肪氧化酶产生影响<sup>[16]</sup>，而贮藏试验中，脂肪氧化酶浓度随贮藏期延长呈现增长趋势，这可能与花生仁的低温贮藏环境有关。研究表明高脂肪氧化酶活力花生仁种子贮藏寿命较长<sup>[24,25]</sup>，表明低温贮藏环境有于延长花生仁的贮藏周期。

### 2.6 电子鼻气味分析

为了更好地区分对照组和辐照处理组及不同包装组的样品，本研究采用了降维的 PCA 分析法对样品进行分析，以考察不同处理组样品组间的差异性。根据电子鼻测定得到的气味信息，建立花生仁的 PCA 识别模式（如图 12）和线性判别分析模式（如图 13）。图 12 中 PCA 结果显示，第一主成分的贡献率为 76.98%，第二主成分贡献率为 19.03%，第一、二主成分之和为 96.01%，前两个主成分总贡献率大于 95%，说明提取的信息能较全面代表原样品信息。在贮藏第 0 个月时，辐照和未辐照聚乙烯袋包装花生仁在第一主成分轴上能明显区分，表明与未辐照花生相比，辐照处理花生的气味发生了明显变化。在贮藏第 14 个月时，未辐照和辐照聚乙烯袋包装花生气味有部分重叠，说明在贮藏期间未辐照和辐照花生的气味均发生了变化，变化后的气味接近。

辐照处理的聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔



袋三种包装的花生仁的气味在第一主成分和第二主成分轴上均不能完全区分,表明三组花生的气味比较接近。在贮藏第14个月时,辐照处理的三种包装花生在第一主成分轴上能明显区分,说明在贮藏期间,三种包装花生的气味发生了不同的变化,其中真空锡箔袋和真空锡箔袋包装花生的气味与贮藏第0个月时在第一主成分轴上能重叠,说明其气味与贮藏前接近,没有发生太大变化。

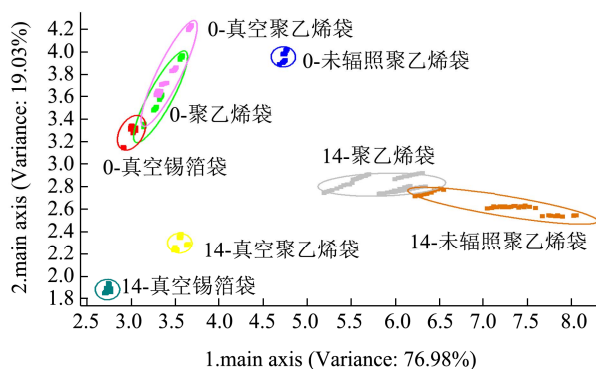


图12 花生仁贮藏0月和第14月的主成分分析(PCA)图

Fig.12 PCA diagram of peanut kernels stored at 0 and 14 months

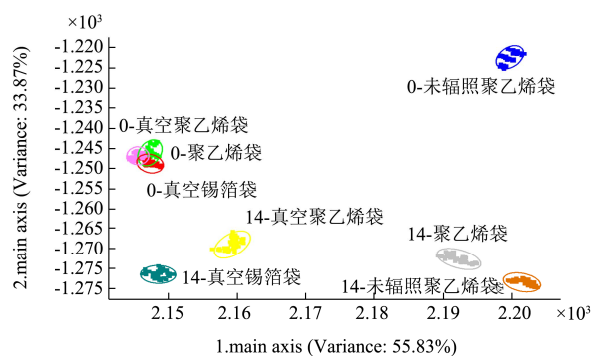


图13 花生仁贮藏0月和第14月的线性判别分析(LDA)图

Fig.13 LDA diagram of peanut kernels stored at 0 and 14 months

线性判别分析能够将N维数据投影到低维空间,使投影后组与组之间尽可能分开,以最大的组间距和最小组内距离为衡量标准来判断样品的可分离性<sup>[25]</sup>。由图13可知,LD1方差贡献率为55.83%,LD2方差贡献率为33.87%,总贡献率达到89.70%,能较好代表原样品信息。在贮藏第0个月时,辐照和未辐照聚乙烯袋包装花生仁在第一主成分轴上能明显区分,表明与未辐照花生相比,辐照处理花生的气味发生了明显变化。在贮藏第14个月时,两组花生气味均发生了变化。

辐照处理的聚乙烯袋、真空聚乙烯袋和真空锡箔袋三种包装的花生仁的气味变化情况与PCA分析结果基本一致,除了在第14个月时,真空锡箔袋包装花

生的气味与第0个月在LD1轴重叠,而真空聚乙烯袋则与第0个月明显区分,这表明真空聚乙烯袋包装花生的气味变化最小。

从四组不同处理花生仁在贮藏期间的气味变化情况可以看出,辐照处理会对花生仁的气味产生影响,而对具体挥发性成分的影响还需进一步分析研究;辐照处理三种包装花生仁的气味均会发生变化,从变化程度上看,聚乙烯袋最大,真空聚乙烯袋次之,真空锡箔袋最小。

### 3 结论

3.1 贮藏期间,辐照花生仁的微生物能得到有效地控制。微生物检测结果表明,未经辐照处理的花生仁在贮藏第4个月时菌落总数为980 CFU/g,超过低于750 CFU/g的标准规定,第14月时是贮藏0月的28.30倍;辐照处理的花生仁在贮藏14个月时菌落总数均低于340 CFU/g,符合标准规定。辐照与未经辐照处理的花生仁的蛋白质、含油量、粗纤维及脂肪酸含量变化趋势一致,虽在不同的贮藏阶段存在一定的差异,但整体上辐照处理不会对贮藏期花生仁的营养成分产生明显影响。辐照花生仁的硬度、弹性、内聚性、胶黏性和咀嚼性等质构特性在贮藏期间变化较小,具有良好的贮藏性能。此外,辐照花生仁的气味在贮藏期间发生了一定程度的变化,而对具体挥发性成分的影响还需进一步研究。

3.2 低温辅助贮藏条件下,不同包装花生仁的水分含量数值变化均在 $\pm 0.5$ 范围内,防止花生因吸潮导致品质劣变;贮藏期间,花生脂肪氧化酶的含量明显提高,有利于延长花生仁的贮藏周期。同时,低温贮藏可以在较长时间内保持花生的营养成分,具有稳定的质构特性。

3.3 不同包装方式对辐照花生仁贮藏特性存在不同。贮藏期间,聚乙烯袋包装和锡箔袋包装的花生仁的蛋白质和油酸变化存在差异,聚乙烯袋包装花生蛋白质含量变化范围在1.30~2.10之间,真空锡箔袋包装花生的营养成分变化较小,具有较好的贮藏性能。在质构特性方面,聚乙烯袋包装花生仁的胶黏性和咀嚼性变化幅度比锡箔袋的大,锡箔袋包装花生仁呈现较稳定的贮藏特性。从贮藏期间的气味变化情况可以看出,辐照处理三种包装花生仁的气味变化程度上,聚乙烯袋最大,真空聚乙烯袋次之,真空锡箔袋最小。

3.4 本研究通过采用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照处理与低温贮藏加工方法相结合的复合处理方式对不同包装花生仁贮藏品质进行研究,用1.50 kGy剂量的<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照源进行处理,采用真空聚乙烯袋包装,在低于10℃的环境下



进行贮藏,能更好的防止微生物浸染,保持花生原有的营养品质,该方式能将花生仁的贮藏期延长至14个月,提升了花生的利用周期和效率,从而增加了花生的经济效益。同时,该方法操作简单、无任何污染,成本低,能实现批量化处理,为花生的贮藏加工提供了一条新的思路。

## 参考文献

- [1] Gong A-na, Shi Ai-min, Liu Hong-zi, et al. Relationship of chemical properties of different peanut varieties to peanut butter storage stability [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(5): 1003-1010
- [2] 渠琛玲,王雪珂,汪紫薇,等.花生果常温通风干燥实验研究[J].*中国粮油学报*,2020,35(1):121-125  
QU Chenling, WANG Xueke, WANG Ziwei, et al. Experimental study on peanut drying by ventilation at room temperature [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(1): 121-125
- [3] 王海鸥,胡志超,陈守江,等.收获时期及干燥方式对花生品质的影响[J].*农业工程学报*,2017,33(22):292-300  
WANG Haiou, HU Zhichao, CHEN Shoujiang, et al. Effects of different harvesting dates and drying methods on peanuts quality [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(22): 292-300
- [4] 欧阳玲花,冯健雄,朱雪晶,等.花生原料贮藏技术研究进展与展望[J].*食品研究与开发*,2014,35(8):125-128  
OUYANG Linghua, FENG Jianxiong, ZHU Xuejing, et al. Research progress and prediction of storage technology in peanuts [J]. *Food Research And Development*, 2014, 35(8): 125-128
- [5] 耿安立.试论花生贮藏加工过程中的质量安全控制[J].*农村经济与科技*,2019,30(6):148-149  
GENG Anli. Discussion on quality and safety control in peanut storage and processing [J]. *Rural Economy and Science and Technology*, 2019, 30(6): 148-149
- [6] 周巾英,王丽,祝水兰,等.不同贮藏方式对花生仁品质的影响[J].*中国农业科技导报*,2021,23(2):134-140  
ZHOU Jinying, WANG Li, ZHU Shuilan, et al. Effects of different storage technology on peanut quality [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(2): 134-140
- [7] 林丹,陈丽香,蒋杰海,等.紫外线辐照花生油贮藏过程中的脂肪酸组成分析[J].*食品工业科技*,2019,40(16):229-242  
LIN Dan, CHEN Lixiang, JIANG Jiehai, et al. Analysis of fatty acid composition during storage of peanut oil by UV irradiation [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(16): 229-242
- [8] 周巾英,王丽,祝水兰,等.气调爆猪肝对花生原料品质的影响[J].*江西农业学报*,2019,31(11):72-76  
ZHOU Jinying, WANG Li, ZHU Shui-lan, et al. Effect of modified atmosphere packaging technology on quality of peanut [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2019, 31(11): 72-76
- [9] 林煜春.花生种子不同含水量低温贮藏对其种子活力及幼苗的影响[J].*农业开发与装备*,2020,9:148-149  
LIN Yuchun. Effect of low temperature storage with different water content on seed vigor and seedling of peanut [J]. *Agricultural Developmng and Equipmng*, 2020, 9: 148-149
- [10] 杜琪,赵新华,耿雷跃,等.不同干燥温度对花生营养品质和发芽特性的影响[J].*核农学报*,2020,34(10):254-2260  
DU Qi, ZHAO Xinhua, GENG Leiyue, et al. Effects of different drying temperatures on the nutritional quality and germination characteristics of peanut after harvest [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(10): 254-2260
- [11] 袁贝,邹亮亮,张迪骏,等.储藏条件对花生氨基酸和脂肪酸组成及风味的变化影响[J].*食品工业科技*,2016,37(8):318-322  
YUAN Bei, ZOU Liangliang, ZHANG Dijun, et al. The difference of amino acids and flavor of peanut stored in different conditions [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(8): 318-322
- [12] 王娴,崔龙,董威杰,等.电子束和 $\gamma$ 射线对油料氧化及霉菌的影响[J].*包装工程*,2019,40(3):30-37  
WANG Xian, CUI Long, DONG Weijie, et al. Influence of electron beam and  $\gamma$  ray on oxidation and mold of oil plants [J]. *Packaing Engineering*, 2019, 40(3): 30-37
- [13] LIU Kunlun, LIU Ying, CHEN Fusheng. Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties and nutrient contents of peanut [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2018, 96: 535-542
- [14] Awsi Jan, Monika Sood, Kaiser Younis, et al. Brown rice based weaning food treated with gamma irradiation evaluated during storage [J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2020, 177: 109158
- [15] PAN Lihong, XING Jiali, ZHANG Hao, et al. Electron beam irradiation as a tool for rice grain storage and its effects on the physicochemical properties of rice starch [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 164: 2915-2921
- [16] ZHANG Min, HE Lichao, LI Chengliang, et al. Effects of gamma ray irradiation-induced protein hydrolysis and oxidation on tenderness change of fresh pork during storage [J]. *Meat Science*, 2020, 163: 108058

- [17] Nanci Castanha, Albetro Claudio-miano, Viviane Deroldo-sabadoti, et al. Irradiation of mung beans (*Vigna radiata*): a prospective study correlating the properties of starch and grains [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 129: 460-470
- [18] Darko Clara, Mallikarjuna P-Kumar, H Kaya-celiker, et al. Effects of packaging and pre-storage treatments on aflatoxin production in peanut storage under controlled conditions [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55: 1366-1375
- [19] LI Hui, XIONG Zhongfei, GUI Dali, et al. Effect of ozonation and UV irradiation on aflatoxin degradation of peanuts [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(4): 1-9
- [20] 郑秀艳,孟繁博,林茂,等.<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 辐照对花生杀菌效果及其品质的影响[J].现代食品科技,2018,34(1):91-96  
ZHENG Xiuyan, MENG Fanbo, LIN Mao, et al. Effects of <sup>60</sup>Co- $\gamma$  irradiation on the sterilization and quality of *Arachis hypogaea* L [J]. Modern Food Sciences and Technology, 2018, 34(1): 91-96
- [21] 林勇敢,付晓纪,周巾英,等.包装材料对不同水分含量花生贮藏效果影响[J].食品工业科技,2014,35(19):331-339.  
LIN Yonggan, FU Xiaoji, ZHOU Jinying, et al. Effect of packaging materials on storage property of different moisture content peanut [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 331-339
- [22] 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 Feifei, CHEN Yuntang, FAN Jialin, et al. Influence of electron beam irradiation on fatty acids of semen persicae and semen armeniaca [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(16): 319-323
- [23] ZHANG Ying, ZHANG Yuxuan. Effect of lipoxygenase-3 on storage characteristics of peanut seeds [J]. Journal of Stored Products Research, 2020, 87: 1-5
- [24] 高奇.花生脂肪酶和脂肪氧化酶活力检测技术优化及其对储藏特性的影响[D].合肥:安徽农业大学,2012  
GAO Qi. The optimization of peanut lipase and lipoxygenases activity detection techniques and their effect on storage characteristics [D]. Hefei: Anhui Agriculture University, 2012
- [25] 向琴,高柳,车振明,等.基于电子鼻的花椒油氧化判别分析[J].食品与发酵工业,2018,44(7):288-294  
XIANG Qin, GAO Liu, CHEN Zhenming, et al. Discrimination analysis of pepper oil oxidation based on electronic nose technique [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(7): 288-294

---

(上接第 119 页)

- [15] 白野,李坤,邵佳瑶,等.高脂饮食对果蝇生长发育和氧化应激的影响[J].粮食与油脂,2019,32(9):40-44  
BAI Ye, LI Kun, SHAO Jiayao, et al. Effects of high fat diet on the growth and development and oxidative stress of *Drosophila melanogaster* [J]. Cereals & Oils, 2019, 32(9): 40-44
- [16] Ugrankar R, Berglund E, Akdemir F, et al. *Drosophila* glucone screening identifies ckl1alpha as a regulator of mammalian glucose metabolism [J]. Nat Commun, 2015, 6: 7102
- [17] Cheng Y, Chen D. Fruit fly research in China [J]. J Genet Genomics, 2018, 45(11): 583-592
- [18] Post S, Karashchuk G, Wade J D, et al. *Drosophila* insulin-like peptides *Dilp2* and *Dilp5* differentially stimulate cell signaling and glycogen phosphorylase to regulate longevity [J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2018, 9: 245
- [19] 金朝晖,邹大进.游离脂肪酸致胰岛素抵抗的机制[J].中华内分泌代谢杂志,1999,15(4):247  
JIN Zhaohui, ZOU Dajin. The mechanism of insulin resistance induced by free fatty acid [J]. Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism, 1999, 15(4): 247
- [20] Walls S M, Cammarato A, Chatfield D A, et al. Ceramide-protein interactions modulate ceramide-associated lipotoxic cardiomyopathy [J]. Cell Rep, 2018, 22(10): 2702-2715
- [21] Heinrichsen E T, Haddad G G. Role of high-fat diet in stress response of *Drosophila* [J]. PLoS One, 2012, 7(8): e42587
- [22] Birse R T, Choi J, Reardon K, et al. High-fat-diet-induced obesity and heart dysfunction are regulated by the TOR pathway in *Drosophila* [J]. Cell Metab, 2010, 12(5): 533-544