



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



《食品工业科技》网络首发论文

题目: 2种蛋白肽对电离辐射损伤小鼠的保护作用
作者: 刘爱青, 王海燕, 王应强, 闫征, 李志国, 许智敏
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020050346
网络首发日期: 2021-12-27
引用格式: 刘爱青, 王海燕, 王应强, 闫征, 李志国, 许智敏. 2种蛋白肽对电离辐射损伤小鼠的保护作用[J/OL]. 食品工业科技.
<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050346>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

2 种蛋白肽对电离辐射损伤小鼠的保护作用

刘爱青^{1,2*} 王海燕¹ 王应强³ 闫征¹ 李志国¹ 许智敏¹

(1.北京盛美诺生物技术有限公司, 北京 100062;

2.安徽盛美诺生物技术有限公司, 安徽淮北 235000;

3.陇东学院, 农林科技学院, 甘肃庆阳 745000)

摘要: **目的** 探究众多生物活性肽中口感愉悦的菠萝蜜蛋白肽和胶原蛋白肽对⁶⁰钴 γ 射线辐射损伤小鼠的辅助保护作用。**方法** 采用无特定病原体(SPF级)雌性BALB/c小鼠288只,随机分为四批,每批6组,每组12只。每组设计空白对照组、模型对照组、菠萝蜜蛋白肽低、高剂量组(0.20、0.80 g/kg BW)以及胶原蛋白肽低、高剂量组(0.53、1.6 g/kg BW)。每日一次经口给予小鼠受试品26天后,除空白对照组,其它各组接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射,辐射后继续灌胃干预。分别检测外周血白细胞数(照射剂量3.5 Gy,照射前、照射后第3天、第14天)、骨髓细胞DNA含量和血清8-羟基脱氧鸟苷的含量(照射剂量3.5 Gy,照射后第3天)、血清溶血素含量(照射剂量1 Gy,照射后第7天),血中超氧化物歧化酶(SOD)活性(照射剂量7 Gy,照射后第7天)。**结果** 与模型对照组比较,照射后第3天、菠萝蜜蛋白肽高剂量组、胶原蛋白肽低、高剂量组外周血白细胞数明显升高($P<0.05$),照射后第14天,菠萝蜜蛋白肽高剂量组、胶原蛋白肽高剂量组外周血白细胞数明显升高($P<0.05$);照射后第3天,菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠骨髓细胞DNA含量($P<0.05$),菠萝蜜蛋白肽高剂量组和胶原蛋白肽高剂量组能显著降低辐射后小鼠血清中8-羟基脱氧鸟苷的含量($P<0.01$);照射后第7天菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠血清溶血素的含量($P<0.05$)。**结论** 菠萝蜜蛋白肽对电离辐射损伤有辅助保护作用,胶原蛋白肽对电离辐射损伤的小鼠外周血白细胞数具有一定的改善作用,且能降低辐射后小鼠血清中8-羟基脱氧鸟苷的含量。

关键词: 菠萝蜜蛋白肽, 胶原蛋白肽, 小鼠, 辐射危害, 保护

Radioprotective Effect of Two Kinds of Protein Peptides in Ray-irradiated Mice

LIU Ai-qing^{1,2*}, WANG Hai-yan¹, WANG Ying-qiang³, YAN Zheng¹, LI Zhi-guo¹, XU Zhi-min¹

(1.Beijing Semnl Biotechnology Co., Ltd., Beijing 100062, China;

2.Anhui Semnl Biotechnology Co., Ltd., HuaiBei 235000, China;

3. College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Qingyang 745000, China)

Abstract: Objective To investigate the radioprotective effect of jackfruit protein peptide and collagen peptide with pleasant mouthfeel in many bioactive peptides in ⁶⁰Co γ ray-irradiated mice. **Methods** Two hundred and eighty-eight specific pathogen free (SPF) female BALB/c mice were randomly divided into 4 batches with 6 groups and 12 rats in each group. Each batch divided into blank control group, model control group, 2 jackfruit protein peptide intervention groups (0.20, 0.80 g/kg BW) and 2 collagen peptide intervention groups (0.53, 1.6 g/kg BW).

*作者简介: 刘爱青(1982-), 女, 硕士研究生, 中级工程师, 研究方向: 生物活性肽的提取和制造, Email: 735668105@qq.com

BW). After the 26th day of the intragastric administration, the mice except the blank control group received ^{60}Co γ -ray whole body irradiation, and intragastric intervention continued after irradiation. The number of peripheral blood white blood cells (radiation dose 3.5 Gy, day 3 and day 14 after radiation), bone marrow DNA content and the content of 8-OHdG in serum (radiation dose 3.5 Gy, day 3 after radiation), serum hemolysin (radiation dose 1 Gy, day 7 after radiation) and superoxide dismutase (SOD) activity in blood (radiation dose 7 Gy, day 7 after radiation) were measured respectively. **Results** Compared with the model control group, the number of peripheral blood white blood cells in high dose of jackfruit peptide, and low and high dose of collagen peptide were significantly increased on 3rd day after radiation ($P<0.05$), The number of peripheral blood white blood cells in high dose of jackfruit peptide, and high dose of collagen peptide were significantly increased on 14th day after radiation ($P<0.05$); Bone marrow DNA content in high dose of jackfruit peptide were significantly increased on 3rd day after radiation ($P<0.05$), The high-dose group of jack apple peptide and the high-dose group of collagen peptide could significantly reduce the 8-hydroxydeoxyguanosine content in mouse serum after irradiation ($P < 0.01$); Serum hemolysin were significantly increased on 7rd day after irradiation ($P<0.05$). **Conclusion** Jackfruit peptide had protective effects against ionizing radiation exposure, Collagen peptides improve the number of peripheral blood white blood cells damaged by ionizing radiation and reduce the content of 8 hydroxydeoxyguanosine in mouse serum after radiation.

Key words: Jackfruit protein peptide; Collagen peptide; Mice; Radiation hazard; Protection

中图分类号: TS202.1

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020050346

辐射 (radiation) 在现实生活中随处可见, 对人类造成损伤的主要类型包括 X、 γ 射线等电离辐射^[1-3]。电离辐射会导致造血、免疫、消化、氧化还原系统及生殖等系统的损害, 甚至导致死亡^[4-5]。加强辐射防护, 预防或减轻放射病已成为当今亟待解决的重要课题^[6]。日前, 已使用的抗辐射药有氨磷汀、碘化钾等, 但均存不同程度的局限性^[7], 且合成抗辐射剂价格昂贵, 大都会引起一定的副作用, 临床和实际应用受到很大限制^[8]。因此, 天然辐射防护剂在现代医药保健行业中日益得到重视, 研究者侧重于从可食用的天然植物、动物中开发高效抗辐射损伤的产品。

研究表明, 一些植物提取物和小分子生物活性肽能通过免疫调节、刺激骨髓造血机能以及提高氧化酶活力并抑制自由基产生, 对辐射所致的造血功能、免疫器官损伤和氧化损伤提供保护作用, 具有较好的防辐射损伤功能^[9-13]。但很多提取物和生物活性肽因为苦涩难以入口, 因此作者在众多植物和动物来源的生物活性肽中, 筛选出两种口感最好的生物活性肽--菠萝蜜蛋白肽和胶原蛋白肽进行抗辐射防护作用研究。据文献报道: 胶原蛋白肽研究主要集中在抗氧化、抗衰老以及改善骨质疏松方面^[14-17]; 菠萝蜜营养成分丰富且富含多糖、酚类化合物、类胡萝卜素等功能活性成分^[18-21]。郝云涛^[22-23]等对菠萝蜜低聚肽进行过部分研究。而胶原蛋白肽和菠萝蜜蛋白肽对电离辐射辅助保护作用的全面研究较少, 本文主要依据《保健食品功能评价方法 (2020 版) (征求意见稿)》的标准, 通过 ^{60}Co γ 射线照射 BALB/c 小

鼠，照射前后采用胶原蛋白肽和菠萝蜜蛋白肽干预 BALB /c 小鼠，从五个方面系统探究了胶原蛋白肽和菠萝蜜蛋白肽对电离辐射损伤小鼠的保护作用，并对二者作用效果进行了对比，为选择有效易得，价格亲民、口感良好的防辐射食品提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

菠萝蜜蛋白肽 北京盛美诺生物技术有限公司提供，来源：菠萝蜜果肉和须粉碎后酶解混合物，蛋白肽含量 9.0%，淡黄色粉末，可市场化销售的食品原料；胶原蛋白肽 北京盛美诺生物技术有限公司提供，来源：罗非鱼鱼鳞，100%蛋白肽（以干基计算），白色至乳白色粉末，可市场化销售的食品、保健品原料。选用北京华阜康生物科技股份有限公司繁殖的 18~22 g 昆明健康 SPF 级雌性小鼠 288 只，饲养于北京联合大学应用文理学院保健食品功能检测中心 SPF 级动物室（实验动物使用许可证号：SYXK（京）2017-0038。维持饲料由北京华阜康生物科技股份有限公司生产。

T-1000 型电子天平 美国双杰；BS223S 型电子天平 德国赛多利斯；BS2202S 型电子天平 德国赛多利斯；UV2600 型紫外可见分光光度计 日本岛津；MEK-6318K 型血液分析仪 日本光电工业株式会社； γ 剂量率仪、60 钴 γ 射线辐射源 北京大学化学与分子工程学院；Thermo 全波扫描多功能酶标仪 VARIOSKAN FLASH 美国 Thermo Fisher 公司。

血常规稀释液 MEK-640 日本光电工业株式会社；溶血剂 MEK-680 日本光电工业株式会社；血红蛋白测试液测试盒 南京建成生物工程研究所；SOD 测试盒 南京建成生物工程研究所；CaCl₂ 国药集团化学试剂有限公司；HClO₄ 天津鑫源化工；8 羟基脱氧鸟苷试剂盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 实验方法

1.2.1 分组与建模

饲养一周适应后，288 只小鼠，随机分为四批(每批用于一个功能指标的评价)，每批 6 组，每组 12 只。每组设计空白对照组、模型对照组、菠萝蜜蛋白肽低、高剂量组(0.20、0.80 g/kg BW) 以及胶原蛋白肽低、高剂量组(0.53、1.6 g/kg BW)。每日一次经口给予小鼠受试品 26 天后，除空白对照组，其它各组接受 ⁶⁰钴 γ 射线全身辐射，辐射后继续灌胃干预。分别检测外周血白细胞数（照射剂量 3.5 Gy，照射前、照射后第 3 天、第 14 天）、骨髓细胞 DNA 含量和血清 8 羟基脱氧鸟苷的含量（照射剂量 3.5 Gy，照射后第 3 天）、血清溶血素（照射剂量 1 Gy，照射后第 7 天），血中超氧化物歧化酶（SOD）活性（照射剂量 7 Gy，照射后第 7 天）。小鼠灌胃体积为 10 mL/kg BW，空白对照组、模型对照组均用无菌纯化水代替受试物，每日灌胃量与各受试物组相同。各组均给予维持饲料。实验中使用无菌水配制两种蛋白肽。菠萝蜜蛋白肽灌胃剂量参考郝云涛^[23]等相关研究数据；根据人体推荐剂量 10 倍，30 倍分别设计胶原蛋白肽低剂量组和高剂量组。

1.2.2 外周血白细胞计数

依据《保健食品功能评价方法（2020 版）》二十三、对电离辐射危害有辅助保护功能检验方法进行外周血白细胞计数实验，照射剂量选择 3.5 Gy。于照射前、照射后第 3 天、照射后第 14 天分别进行三次采末梢血 20 μ L，加入 2.0 mL 稀释液中，混匀后，于血液分析仪上进行白细胞计数。照射后 3 天辐射模型对照组的白细胞数分别与照射前进行自身比较，差异有显著性，则判定辐射损伤模型成立；任一时间点、任一剂量组与辐射模型对照组比较，白细胞总数增多，差异有显著性，则可判定该实验结果阳性。

1.2.3 骨髓细胞 DNA 含量以及血清 DNA 损伤修复

1.2.3.1 骨髓细胞 DNA 含量

依据《保健食品功能评价方法（2020 版）》二十三、对电离辐射危害有辅助保护功能检验方法进行骨髓细胞 DNA 含量测定实验，照射剂量选择 3.5 Gy，于照射后第 3 天，颈椎脱臼处死动物，剥离出股骨，利用紫外分光光度计法测定 DNA 含量。具体方法参照李解论文^[24]。任一剂量组与模型对照组比较，骨髓 DNA 含量增多，差异有显著性，则可判定该实验结果阳性。

1.2.3.2 DNA 损伤修复

8 羟基脱氧鸟苷是目前公认的一种评价 DNA 氧化损伤和氧化应激状态的生物标志物，于照射后第 3 天，通过眼球采血，离心后取上清液，利用 ELISA 法，按照南京建成生物工程研究所提供试剂盒说明书检测血清中 8 羟基脱氧鸟苷的含量，通过给定的标准品制定标准曲线计算血清样品中 8 羟基脱氧鸟苷的含量。

1.2.4 血清溶血素（半数溶血值）

依据《保健食品功能评价方法（2020 版）》二十三、对电离辐射危害有辅助保护功能检验方法进行血清溶血素实验，照射剂量选择 1 Gy，于照射后第 7 天，进行血清溶血素的测定。具体方法参照刘雅萍论文^[25]以及试剂盒检测说明书。任一剂量组与模型对照组比较，血清半数溶血值增多，差异有显著性，则可判定该实验结果阳性。

1.2.5 血中超氧化物歧化酶（SOD）活性

依据《保健食品功能评价方法（2020 版）》二十三、对电离辐射危害有辅助保护功能检验方法进行血中超氧化物歧化酶（SOD）活性实验，照射剂量选择 7 Gy，于照射后第 7 天，进行实验。具体方法参照刘雅萍论文^[25]以及试剂盒检测说明书。任一剂量组与模型对照组比较，血中 SOD 活性增强，差异有显著性，则可判定该实验结果阳性。

1.3 数据处理

实验数据用均值±标准误差表示($\bar{X} \pm SD$)，采用 SPSS11.0 软件对各实验数据进行统计学处理：空白对照组与模型对照组间采用独立样本 T 检验；剂量组与模型对照组间采用独立样本 T 检验。 $P < 0.05$ 表示具有显著差异性， $P < 0.01$ 表示具有极其显著差异性。

2 结果与分析

2.1 2 种蛋白肽对小鼠体重的影响

表 1 2 种蛋白肽对小鼠体重的影响

Table 1 Effects of two protein peptides on body weight of mice

组别	动物数 (只)	实验一批	实验二批
		体重(g)	体重(g)
空白对照组	12	35.3±2.7	36.5±1.1
模型对照组	12	37.0±1.2	35.9±3.4
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	36.4±2.4	35.0±2.5
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	36.4±4.3	35.0±2.3
胶原蛋白肽低剂量组	12	36.4±2.7	34.5±2.3
胶原蛋白肽高剂量组	12	35.7±3.1	35.7±2.1

组别	动物数 (只)	实验第三批	实验第四批
		体重(g)	体重(g)
空白对照组	12	36.8±2.6	37.7±2.9
模型对照组	12	36.3±2.4	37.6±3.9
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	36.6±2.8	36.2±1.9
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	36.0±2.7	35.9±3.6
胶原蛋白肽低剂量组	12	34.9±3.0	35.9±2.3
胶原蛋白肽高剂量组	12	36.5±2.3	35.9±2.1

由表 1 可见, 经口给予小鼠不同剂量的蛋白肽 26 天后, 小鼠体重在各剂量组与模型对照组间比较, 均无显著性差异 ($P>0.05$); 模型对照组与空白对照组比较, 无显著性差异 ($P>0.05$), 即两种蛋白肽对小鼠体重无不良影响。此期间各组动物毛发光滑, 密度均匀, 无脱毛现象, 精神活跃, 食欲正常, 未发现四肢有肿胀等情况。

2.2 2 种蛋白肽对照射后小鼠外周血白细胞计数的影响

表 2 2 种蛋白肽对照射后小鼠外周血白细胞计数的影响

Table 2 Effects of two protein peptides on peripheral blood white blood cells count of mice after radiation

组别	动物数 (只)	照射前	照射后第 3 天	照射后第 14 天
		白细胞($\times 10^9/L$)	白细胞数($\times 10^9/L$)	白细胞数($\times 10^9/L$)
空白对照组	12	6.1±1.4	6.7±1.9	6.9±1.5
模型对照组	12	5.0±1.3	1.1±0.3 ^{a#}	2.5±0.5 ^{a#}
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	5.1±1.9	1.2±0.3	2.7±1.0
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	5.6±1.9	2.1±0.7*	3.5±0.8*
胶原蛋白低剂量组	12	5.7±1.8	1.4±0.3*	3.1±0.9
胶原蛋白高剂量组	12	6.2±1.6	1.6±0.8*	3.2±0.8*

注: ^a表示与照射前比较有显著差异 ($P<0.001$); [#]表示与空白对照组比较有显著差异 ($P<0.001$); *表示与模型对照组比较有显著性差异 ($P<0.05$)

由表 2 可见, 照射前各剂量组小鼠外周血白细胞数与模型对照组间比较, 均无显著性差异 ($P>0.05$); 模型对照组与空白对照组比较, 无显著性差异 ($P>0.05$), 说明各组间外周血白细胞数较为均衡。3.5 Gy γ 射线全身一次性照射后第 3 天, 与照射前进行自身比较, 模型对照组的白细胞数降低, 有显著性差异 ($P<0.001$), 即辐射损伤模型建立成功。照射后第 3 天、14 天, 与空白对照组比较, 模型对照组小鼠外周血白细胞数显著降低 ($P<0.001$)。照射后第 3 天, 与模型对照组比较, 菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠外周血白细胞数 ($P<0.001$); 胶原蛋白肽低剂量组、高剂量组能显著升高小鼠外周血白细胞数 ($P<0.05$)。辐射后第 14 天, 与模型对照组比较, 菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠外周血白细胞数 ($P<0.01$); 胶原蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠外周血白细胞数 ($P<0.05$), 而且菠萝蜜蛋白肽高剂量组要优于胶原蛋白肽高剂量组。胶原蛋白肽的低高剂量组对辐射后小鼠的外周血白细胞均有显著提升, 应和胶原蛋白肽具抗氧化^[14]、增强免疫力的作用有关^[26]; 菠萝蜜蛋白肽仅有高剂量组对辐射后小鼠的外周血白细胞有作用, 应和菠萝蜜蛋白肽自身蛋白肽的含量低有关。

此批实验小鼠辐照后首天, 与空白对照比较, 模型对照组以及其它受试物组小组均表现出毛发稍有竖立, 食欲一般, 动作迟缓的现象, 但并无四肢肿胀、死亡等情况; 辐照后第三

天模型组和各受试物组小鼠食欲、行动及精神状态有一定改善，但和空白对照组还有差距；辐照后第十四天各种体态接近空白对照组。

2.3 两种蛋白肽对照射后小鼠骨髓细胞 DNA 含量的影响以及对 DNA 损伤的修复

2.3.1 2 种蛋白肽对照射后小鼠骨髓细胞 DNA 含量的影响

表 3 2 种蛋白肽对照射小鼠骨髓细胞 DNA 含量的影响

Table 3 Effect of two protein peptides on DNA content of irradiated mice's bone marrow cells

组别	动物数 (只)	小鼠骨髓细胞 DNA 含量
空白对照组	12	2.668±0.761
模型对照组	12	1.422±0.479 [#]
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	1.870±0.767
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	1.874±0.422 [*]
胶原蛋白肽低剂量组	12	1.233±0.260
胶原蛋白肽高剂量组	12	1.398±0.381

备注：^{*}表示与模型对照组比较有显著性差异 ($P<0.05$)；[#]表示与空白对照组比较有显著差异 ($P<0.001$)

由表 3 可见，辐射后第 3 天，与空白对照组比较，模型对照组小鼠骨髓细胞 DNA 含量显著降低 ($P<0.001$)；与模型对照组比较，菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠骨髓细胞 DNA 含量 ($P<0.05$)；而胶原蛋白肽剂量组则轻微的降低小鼠骨髓细胞 DNA 含量。

2.3.2 2 种蛋白肽对照射后小鼠 DNA 损伤修复的影响

表 4 2 种蛋白肽对照射后小鼠 DNA 损伤修复的影响

Table 4 Effect of two protein peptides on repair of DNA in irradiated mice

组别	动物数 (只)	8 羟基脱氧鸟苷含量 (ng/mL)
空白对照组	12	0.98±0.17
模型对照组	12	2.60±0.04 [#]
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	2.56±0.05
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	2.14±0.15 [*]
胶原蛋白肽低剂量组	12	2.53±0.08
胶原蛋白肽高剂量组	12	2.10±0.17 [*]

备注：^{*}表示与模型对照组比较有显著性差异；[#]表示与空白对照组比较有显著差异 ($P<0.01$)。

由表 4 可见，辐射后第 3 天，与空白对照组比较，模型对照组小鼠血清 8 羟基脱氧鸟苷的含量显著升高 ($P<0.01$)；与模型对照组比较，菠萝蜜蛋白肽高剂量组和胶原蛋白肽高剂量组能显著降低小鼠血清 8 羟基脱氧鸟苷的含量 ($P<0.01$)，这说明菠萝蜜蛋白肽和胶原蛋白肽对辐照造成的 DNA 损伤具有一定的修复作用。

菠萝蜜蛋白肽在短时间对骨髓细胞 DNA 含量有显著作用应该与其组成成分有关系，尤其是菠萝蜜肉和须酶解后混合物，除蛋白肽外，还含有多糖、多酚、类胡萝卜素^[21]，而朱科学^[27-29]、Fang 等^[30]、YAO 等^[31]研究显示菠萝蜜中营养成分多糖、多酚具有较好的抗氧化、抗炎活性；STAHL W 等^[32]研究显示菠萝蜜类胡萝卜素对预防癌症、炎症至关重要，所以分析菠萝蜜蛋白肽能短时间升高照射后小鼠骨髓细胞的 DNA 含量，应与这些营养物质的活性作用有关。胶原蛋白肽剂量组反而有轻微降低小鼠骨髓细胞 DNA 含量，应与其成分单一具有一定的关系，也可能与照射后灌胃干预时间短有关系。菠萝蜜蛋白肽和胶原蛋白肽能显著降低小鼠血清 8 羟基脱氧鸟苷的含量，应与两个产品含有的小分子肽具有抗氧化、抗炎和细胞修复作用有关。

此批实验小鼠辐照后首天,与空白对照比较,模型对照组以及其它受试物组小组均表现出毛发稍有竖立,食欲一般,动作迟缓的现象,但并无四肢肿胀、死亡等情况;辐照后第三天模型组和各受试物组小鼠食欲、行动及精神状态有一定改善,但和空白对照组还有差距。

2.4 2种蛋白肽对照射后小鼠血清溶血素含量的影响

表5 2种蛋白肽对照射后小鼠血清溶血素含量的影响

Table 5 Effect of two protein peptides on serum hemolysin content of irradiated mice

组别	动物数(只)	半数溶血值
空白对照组	12	211±29
模型对照组	12	180±38 [#]
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	171±50
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	207±22 [*]
胶原蛋白肽低剂量组	12	190±37
胶原蛋白肽高剂量组	12	201±20

备注*表示与模型对照组比较有显著性差异; #表示与空白对照组比较有显著差异($P<0.01$)

由表5可见,照射后第7天,与空白对照组比较,模型对照组小鼠血清溶血素含量显著降低($P<0.05$);与模型对照组比较,菠萝蜜蛋白肽高剂量组能显著升高小鼠血清溶血素含量($P<0.05$)。而胶原蛋白肽低、高剂量组均能升高血清溶血素的含量,但无显著性差异($P>0.05$)其原因可能与2.3结果分析原因相同。

此批实验小鼠辐照前后各剂量组和空白对照比较,食欲,精神,行动,毛发未观察到明显变化。

2.5 2种蛋白肽对照射后小鼠血中超氧化物歧化酶活性影响

表6 2种蛋白肽对照射后小鼠血中超氧化物歧化酶活性的影响

Table 6 Effect of two protein peptides on superoxide dismutase (SOD) activity of irradiated mice's blood

组别	动物数(只)	血中超氧化物歧化酶活性(U/gHb)
空白对照组	12	19530±1596
模型对照组	12	18894±1489
菠萝蜜蛋白肽低剂量组	12	19162±2105
菠萝蜜蛋白肽高剂量组	12	18940±1830
胶原蛋白肽低剂量组	12	18961±1980
胶原蛋白肽高剂量组	12	18818±2738

由表6可见,照射后第7天,与空白对照组比较,模型对照组小鼠血中超氧化物歧化酶(SOD)活性无显著性差异($P>0.05$);各剂量组小鼠血中超氧化物歧化酶(SOD)活性与模型对照组比较,均无显著性差异($P>0.05$),表明无论 γ 射线照射处理,还是2种蛋白肽对小鼠体内超氧化物歧化酶(SOD)活性均无影响。菠萝蜜蛋白肽实验结果与郝云涛^[23]等研究结果不一致的原因可能一是菠萝蜜蛋白肽的来源本文是菠萝蜜肉和须,而郝云涛^[23]等研究结果不一致的原因可能一是菠萝蜜蛋白肽的来源本文是菠萝蜜肉和种子;二是和辐照的剂量不同有关系;三是照射后灌胃干预的时间不同。胶原蛋白肽实验组无显著影响应与照射后灌胃干预时间短有关系。

此批实验首日照射后模型对照组和各受试物组的小鼠与空白对照组的小鼠相比较,明显表现出食欲不好、精神萎靡、行动迟缓、毛发竖立,而且照射后七天稍有好转,但和其它批实验小鼠相比较食欲、精神、行动恢复速度都较慢,应和照射剂量大有一定的关系。

3 结论

本研究说明菠萝蜜蛋白肽对电离辐射损伤小鼠有辅助保护作用,而胶原蛋白肽对电离辐射损伤小鼠的外周血白细胞数具有一定的改善作用,且能降低辐射后小鼠血清中 8 羟基脱氧鸟苷的含量。为抗辐射产品配方开发提供一定的理论依据。配方开发过程中可考虑几种生物活性肽复配使用。

参考文献:

- [1] 吴苏南.单宁酸对血小板生成的影响及抗辐射作用研究[D].重庆: 第三军医大学, 2015.
WU Sunan.The influence of tannic acid on thrombopoiesis and its anti-radiation effect [D]. CHONGQING:The Third Military Medical University,2015.
- [2] 李鹏飞.曲酸的比格犬辐射防护效应及抗辐射分子机制探讨[D].合肥:安徽医科大学,2015.
LI Pengfei. Protective effects of kojic acid on radiation damage in beagle dogs and molecular mechanisms of its anti-radiation[D].HE FEI:Anhui Medical University,2015.
- [3] 洪倩.阿魏酸抗辐射活性及其作用机制研究[D].北京:中国人民解放军军事医学科学院, 2012.
HONG Qian.The Anti-radiation Effect and Mechanism of Ferulic acid[D].BEIJING:Academy of Military Medical Sciences,2012.
- [4]Kreuzer M,Auvinen A,Cardis E,et al.Multidisciplinary European Low Dose Initiative (MELODI): strategic research agenda for low dose radiation risk research[J]. Radiation and Environmental Biophysics, 2018, 57(1): 1-11.
- [5] Singh V K, Hauerjensen M. γ -Tocotrienol as a promising countermeasure for acute radiation syndrome: currentstatus[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(5): 663.
- [6]赵海田, 王振宇, 姚磊, 等.天然产物对电离辐射防护与修复作用的研究进展[J]. 东北农业大学学报,2012,43(9):139-144.
ZHAO Haitian,WANG Zhenyu,YAO Lei,et al.Advance on ionizing radiation protection and repair research of natural products[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2012,43(9):139-144.
- [7] 珠娜, 李勇.生物活性肽的辐射防护作用的研究进展[J]. 中国食物与营养,2020,26(2):62-65
ZHU Na,LI Yong.Research progress of radioprotective effect of bioactive peptides[J]. Food and Nutrition in China,2020,26(2):62-65.
- [8]ANNE P R.Phase II trial of subcutaneous amifostine in patitents undergoing radiation therapy for head and neek cancer[J]. Sem in Onco,2002,29(Suppl19):80-83.
- [9]Srinivasan M, Sudheer A R, RajasekaranKN,et al.Effect of curcumin analog ongamma-radiation-induced cellular changes in primary culture of isolated rat hepatocytes in vitro[J]. ChemBiol Interact, 2008,176(1):1-8.
- [10]Benkovi V, Knezevi A H, Diki D, et al. BasiI,Kopjar N Radioprotective effects of quercetin and athanolic extract of propolis in gamma-irradiated mice [J]. ArhHigRadaToksikol,2009,60 (2):129-138.
- [11]伍明江, 沈艳, 吴晓黎, 等.刺薹复方抗辐射辅助保护功效研究[J]. 中国科技信息,2008, 18: 226-227.
WU Mingjiang,SHEN Yan,WU Xiaoli,et al.Study on anti radiation auxiliary protective effect of Ciyi compound[J]. China Science and Technology Information,2008,18:226-227.
- [12] 罗琦, 梁庆模.天然药物抗辐射损伤作用机制的研究现状与进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2011,13(3):209-211.
LUO Qi,LIANG Qingmo.Research status on mechanism of action of natural medicine on anti-radiation Damage[J]. Journal of LiaoNing University of TCM,2011,13(3):209-211.

- [13] 珠娜, 张亭, 刘睿, 等.核桃低聚肽辐射防护作用[J]. 中国公共卫生,2019,35(12): 1648-1651.
ZHU Na,ZHANG Ting,LIU Rui,et al. Radioprotective effect of walnut oligopeptides in mice[J]. Chin J Public Health,2019,35(12):1648-1651.
- [14]刘雨萱, 陈媛, 李美良, 等.罗非鱼鱼鳞胶原蛋白的研究进展[J]. 食品工业科技,2019, 40(6):355-360.
LIU Yu xuan,CHEN Yuan,LI Meiliang,et al.Research progress of tilapia fish scale collagen[J]. Science and Technology of Food Industry,2019,40(6):355-360.
- [15] 刘磊, 孙卫东, 张业辉, 等.罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的防辐射作用及理化性质研究[J].现代食品科技,2019,35(8):91-97.
LIU Lei,SUN Weidong,ZHANG Yehui,et al.Anti-radiation effect and physicochemical properties of tilapia scale collagen composite gel[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(8):91-97.
- [16]盛周煌, 贾盟盟, 朱良.罗非鱼皮胶原蛋白多肽的体外抗氧化活性[J]. 食品科技,2018, 43(11):274-278.
SHENG Zhouhuang,JIA Mengmeng,ZHU Liang.In vitro antioxidant activity of collagen peptides from tilapia skin[J]. Food Science and Technology,2018,43(11):274-278.
- [17] 周先艳, 樊建, 唐远龙, 等.罗非鱼皮胶原蛋白水解产物的体外抗氧化活性和体内抗衰老作用[J]. 食品科学,2016,37(15):221-226.
ZHOU Xianyan,Fan Jian,TANG Yuanlong,et al.In vitro antioxidant activity and in vivo anti-aging effect of tilapia skin gelatin hydrolysates[J]. Food Science,2016,37(15):221-226.
- [18]SWAMI S B, THAKOR N J, HALDANKAR P M, et al. Jackfruit and its many functional components as related to human health: a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,2012,11(6):565-576.
- [19]HETTIARATCHI U P,EKANAYAKE S,WELIHINDA J. Nutritional assessment of a jackfruit (Artocarpus heterophyllus) meal[J]. Ceylon Medical Journal,2011,56 (2): 54-58.
- [20]BALIGA M S,SHIVASHANKARA A R,HANIADKAR,et al. Phytochemistry,nutritional and pharmacological properties of Artocarpusheterophyllus Lam.(jackfruit) : a review[J]. Food Research International,2011,44(7):1800-1811.
- [21]吴刚, 陈海平, 桑利伟, 等.中国菠萝蜜产业发展现状及对策[J]. 热带农业科学,2013, 33(2): 91-97.
WU Gang,CHEN Haiping,SANG Liwei,et al.Status of jackfruit industry in china and development countermeasures[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2013,33(2):91-97.
- [22] 郝云涛, 珠娜, 刘欣然, 等.菠萝蜜低聚肽的免疫调节作用研究[J]. 食品工业科技,2020, 41(7): 284-288,294.
Hao Yuntao,ZHU Na,LIU Xinran,et al.Study on the immunoregulatory function of jackfruit oligopeptides[J]. Science and Technology of Food Industry,2020,41(7):284-288,294.
- [23] 郝云涛, 刘睿, 珠娜.等.菠萝蜜低聚肽对 γ 射线辐照小鼠氧化损伤的保护作用[J]. 中国食品卫生杂志,2019,31(4):325-329.
HAO Yuntao,LIU Rui,ZHU Na,et al.Protective effect of jackfruit oligopeptides on oxidative damage in γ -ray irradiated mice[J]. Food and Nutrition in China,2019,31(4):325-329.
- [24] 李解.雅安藏茶及其茶褐素、茶多糖提取物对 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射损伤小鼠防护作用的研究[D]. 四川: 四川农业大学,2017.

LI Jie.Protective effect of extracted theabrownines and tea polysaccharide from Ya'an tibetan tea on radiation damage in mice caused by ^{60}Co γ -ray[D].SI CHUAN:Sichuan Agricultural University,2017.

[25]刘雅萍.雪莲培养物的抗辐射抗疲劳抗氧化功能评价[D].大连: 大连理工大学, 2012.

LIU Yaming.Evaluation on *Sanussurea involucrate* cell cultures for anti-oxidation & radioresistance and anti-fatigue[D].DA LIAN:Dalian University of Technology,2012.

[26]王毅虎,张兵,王富荣,等. 胶原蛋白增强免疫力功能研究[J]. 明胶科学与技术,2015,35(3): 137-143.

WANG Yihu,ZHANG Bing,WANG Furong,et al.The Research of Bone Collagen Peptide on Enhancing Function [J]. The Science and Technology of Gelatin,2015,35(3):137-143.

[27]朱科学,张彦军,谭乐和,等.菠萝蜜多糖提取工艺优化及初步鉴定[J]. 热带作物学报. 2016,37(2): 404-410.

ZHU Kexue,ZHANG Yanjun,TAN Lehe,et al.Optimized extraction and identification of polysaccharides isolated from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp[J]. Chinese Journal of Tropical Crops.2016,37(2):404-410.

[28]朱科学,王颖倩,张彦军,等. 菠萝蜜多糖对脾淋巴细胞抗氧化作用及免疫功能的影响[J]. 食品科学,2017,38(23):207-212.

ZHU Kexue,WANG Yingqian,ZHANG Yanjun,et al. Antioxidant activity and immune regulation of polysaccharide from *artocarpus hetreophyllus lam.* on spleen lymphocyte[J]. Food Science,2017,38(23):207-212.

[29] ZHU K X, YAO S W, ZHANG Y J, et al. Effects of in vitro saliva, gastric and intestinal digestion on the chemical properties, antioxidant activity of polysaccharide from *ArtocarpusheterophyllusLam.*(jackfruit) pulp[J]. Food Hydrocolloids,2019,87:952-959.

[30] FANG S C, HSU C L, YEN G C. Anti-inflammatory effects of phenolic compounds isolated from the fruits of *Artocarpusheterohyllus*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2008, 56 (12):4453-4468.

[31] YAO X,DONG N N, Moracin C, et al. A phenolic compound isolated from *Artocarpus heterophyllus*, suppresses lipopolysaccharide-activated inflammatory responses in murine raw 264.7 macrophages[J]. International Journal of Molecular Sciences,2016,17(8): 1199-1213.

[32] STAHL W, SIES H. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids[J]. *Biochimica Et BiophysicaActa*, 2005,1740:101-107.