

论著

菠萝蜜低聚肽对⁶⁰钴 γ 射线辐射损伤小鼠防护作用

郝云涛, 珠娜, 刘睿, 刘欣然, 康家伟, 胡佳妮, 毛瑞雪, 刘思奇, 张亭, 张晓玄, 李勇

(北京大学公共卫生学院, 北京 100191)

摘要:目的 探究菠萝蜜低聚肽(JOPs)的辐射防护作用。方法 采用无特定病原体(SPF级)雌性BALB/c小鼠,按体质量随机分为空白对照组、模型对照组、乳清蛋白组(0.40 g/kg BW)及JOPs低、中、高剂量组(0.20、0.40、0.80 g/kg BW),每组24只,共144只;每组随机分为3个亚组,每个亚组8只。灌胃干预第14天,除空白对照组外,其他小鼠接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射,辐射后继续灌胃干预。各组第1亚组(辐射剂量8 Gy,剂量率1 Gy/min)进行30 d存活试验,另外2个亚组(辐射剂量3.5 Gy,剂量率1 Gy/min)分别在辐射后第3天和第14天检测外周血白细胞(WBC)数、骨髓细胞DNA含量、体质量变化及肝脏、脾脏与胸腺的脏器指数。结果 与模型对照组比较,JOPs中、高剂量组小鼠生存时间明显延长,差异有统计学意义($P<0.05$);辐射后第3天和第14天,JOPs各剂量组小鼠WBC数、骨髓细胞DNA含量均明显升高,肝脏、脾脏指数明显增加,差异均有统计学意义($P<0.05$);辐射后第14天,JOPs低、中剂量组小鼠胸腺指数明显增加,差异有统计学意义($P<0.05$),且JOPs的各项功效均优于乳清蛋白。结论 JOPs对电离射线辐射损伤具有防护作用。

关键词:菠萝蜜低聚肽;辐射防护;生存时间;外周血白细胞;骨髓细胞DNA

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2019)04-0325-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2019.04.005

Radioprotective effect of jackfruit oligopeptides in ⁶⁰Co γ ray-irradiated mice

HAO Yuntao, ZHU Na, LIU Rui, LIU Xinran, KANG Jiawei, HU Jiani,

MAO Ruixue, LIU Siqi, ZHANG Ting, ZHANG Xiaoxuan, LI Yong

(School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: Objective To investigate the radioprotective effect of jackfruit oligopeptides (JOPs). **Methods** One hundred and forty-four specific pathogen free (SPF) female BALB/c mice were randomly divided into blank control group, model control group, whey protein group (0.40 g/kg BW) and 3 JOPs intervention groups (0.20, 0.40, 0.80 g/kg BW) with 24 in each group. Each group was randomly divided into 3 subgroups, 8 per subgroup. On the 14th day of the intragastric administration, the mice except the blank control group received ⁶⁰Co γ-ray whole body irradiation, and intragastric intervention continued after irradiation. The first subgroup of each group (8 Gy, 1 Gy/min) was subjected to 30 d survival test, and the other two subgroups (3.5 Gy, 1 Gy/min) were used to detect peripheral blood white blood cells (WBC), bone marrow DNA content, weight changes and organ indexes of liver, spleen and thymus on the 3rd and 14th day after irradiation, respectively. **Results** Compared with the model control group, the survival time of the medium and high dose group of JOPs was significantly prolonged ($P<0.05$). On the 3rd and 14th day after irradiation, the WBC number, the DNA content of bone marrow cells, the liver and spleen indexes in the JOPs intervention groups were significantly increased ($P<0.05$). Besides, the thymus index of the low and middle dose groups of JOPs increased significantly on the 14th day after irradiation ($P<0.05$). Furthermore, the efficacy of JOPs was superior to those of whey protein. **Conclusion** JOPs had protective effects against ionizing radiation exposure.

Key words: Jackfruit oligopeptides; radioprotection; survival time; peripheral blood leucocyte; bone marrow cell DNA

伦琴于1895年发现X射线,开启了电离辐射

研究的序幕,相关应用领域不断拓展,与人体健康密切相关的放射诊疗设备也逐渐增多,从事放射诊疗的医生和接受放射诊疗的受检者亦逐渐增多^[1],但辐射也对人类造成了直接或间接的放射损伤,导致机体造血、免疫、消化、氧化还原、心血管及生殖等系统的损害,甚至导致死亡^[2-5]。近年来,电离辐射事故多发,造成环境破坏并危及人类健康,引起

收稿日期:2019-07-02

作者简介:郝云涛 男 硕士生 研究方向为生物活性肽与健康

E-mail: herbertly@163.com

通信作者:李勇 男 教授 研究方向为营养与疾病

E-mail: liyongbmu@163.com

了公众对辐射的恐慌,人们开始逐渐关注电离辐射的生物学效应及其对机体健康的影响^[6]。

近年来,生物活性肽,尤其是低聚肽的多种营养保健功能不断被发现,国内外研究人员对其关注日益增加。据文献^[7-9]报道,人参低聚肽、胶原肽、核桃低聚肽等均具有对抗辐射损伤的作用。菠萝蜜引进我国已有上千年历史,在我国南方多省均有种植,栽种面积、年产量及年总产值可观^[10-12]。《本草纲目》记载,菠萝蜜止渴解烦,醒酒益气,令人悦泽,核中仁补中益气,令人不饥轻健^[13]。菠萝蜜是药食同源食物,营养成分丰富,具有多种保健功效^[14-17]。相关研究^[18-20]报道,菠萝蜜果肉及种子中蛋白质含量颇高,远超其他常见水果。利用生物酶解技术从菠萝蜜果肉及种子中制取得到的小分子生物活性菠萝蜜低聚肽(JOPs),主要成分是活性很高的小分子寡肽。研究^[21]发现,低聚肽在体内不需消化可直接吸收,吸收速率快于单个氨基酸,可以有效提高蛋白质的吸收利用率。但目前JOPs在辐射防护功能领域的研究处于空白,本研究通过⁶⁰钴 γ 射线辐射BALB/c小鼠,辐射前后采用JOPs干预BALB/c小鼠,系统探究JOPs的辐射防护作用,并进一步阐明其机制,为其作为降低机体辐射损伤的新型保健食品的开发及应用提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品

JOPs为淡黄色固体粉末,分子量分布为71~110 Da(7.4%)、150~379 Da(80%)、515~1113 Da(12.6%),海南盛美诺生物技术有限公司提供。

1.1.2 实验动物

健康无特定病原体(SPF级)BALB/c雌性小鼠144只,6~8周龄,体质量18~22 g,由北京大学医学部实验动物中心提供[生产许可证号:SYXK(京)2016-0041]。分笼饲养,4只/笼,自由饮水、饮食,饲喂动物房小鼠普通饲料。饲养于北京大学医学部实验动物中心动物房屏障环境[使用许可证号:SYXK(京)2016-0041],温度24~26℃,相对湿度50%~60%,保持12 h光暗周期节律室内照明,照明时间7:00~19:00。

1.1.3 主要仪器与试剂

Nihon Kohden Celltac 2全自动血球计数仪(日本光电工业株式会社),BMG FLUOstar Omega多功能酶标仪(德国BMG LABTECH),HFY-1 A 洁源控制台、HFY-601固定式多路X、 γ 剂量率仪、⁶⁰钴 γ 射线辐射源均购自北京大学化学与分子工程学院。

浓缩乳清蛋白粉(广州纽兹霖营养科技有限公司,纯度80%)。

1.2 方法

1.2.1 实验动物分组与处理

根据预试验中外周血白细胞(WBC)数及骨髓细胞DNA含量检测结果所显示的0.4 g/kg BW JOPs干预,对辐射小鼠(3.5 Gy, 1 Gy/min)有明显保护效果,确定了各组小鼠干预剂量,1周适应期后,144只BALB/c小鼠按体质量随机分为空白对照组、模型对照组、乳清蛋白组(0.40 g/kg BW)及JOPs低、中、高剂量组(0.20、0.40、0.80 g/kg BW),每组24只,再将每组随机分为3个亚组,每亚组8只。设立乳清蛋白组进行对照,目的是避免单纯增加蛋白质摄入量所导致的假阳性结果。各组第1亚组接受8 Gy辐射剂量,进行辐射小鼠30 d存活试验;第2、3亚组接受3.5 Gy辐射剂量,其中第2亚组于辐射后第3天检测WBC数、骨髓细胞DNA含量、体质量变化及脏器指数;第3亚组于辐射后第14天检测WBC数、体质量变化及脏器指数。

1.2.2 辐射小鼠30 d存活试验

灌胃干预第14天,除空白对照组外,取其他各组第1亚组的40只小鼠,置于单独的3 cm×3 cm×11 cm有机玻璃盒中,一次性接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射(8 Gy, 1 Gy/min),辐射后继续灌胃干预,记录小鼠30 d存活情况及死亡小鼠存活天数。

1.2.3 WBC数试验

灌胃干预第14天,除空白对照组外,其他各组第2、3亚组各40只小鼠,一次性接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射(3.5 Gy, 1 Gy/min),辐射后继续灌胃干预,第2亚组于辐射前1 d、辐射后第3天进行尾尖取血,第3亚组辐射前1 d、第14天进行尾尖取血,均为每只鼠20 μ l/次,加入0.38 ml 1%盐酸混匀,全自动血球计数仪测定WBC数。

1.2.4 骨髓细胞DNA含量检测

灌胃干预第14天,除空白对照组外,取其他各组第2亚组的40只小鼠,一次性接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射(3.5 Gy, 1 Gy/min),辐射后继续灌胃干预,于辐射后第3天,颈椎脱臼处死小鼠,剥离出股骨,用装有1 ml Hank's液的注射器冲出所有骨髓细胞,用多功能酶标仪在260 nm处测定骨髓细胞DNA含量。

1.2.5 体质量变化及脏器指数测量

灌胃干预第14天,除空白对照组外,其他各组第2、3亚组各40只小鼠,称重后一次性接受⁶⁰钴 γ 射线全身辐射(3.5 Gy, 1 Gy/min),辐射后继续灌胃干预,第2、3亚组小鼠分别于辐射后第3天和第14天称重并脱臼处死小鼠,分离脾脏、胸腺、肝脏,称

重,计算体质量变化及脏器指数。脏器指数 = 脏器质量(mg)/体质量(g)。

1.3 统计学分析

数据以均值±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,用 SPSS 20.0 软件进行分析。采用单因素方差分析,如数据符合方差齐性,组间统计采用最小显著性差异(LSD)法;如果不符合方差齐性,组间统计采用 Dunnett's T3 法,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 JOPs 对辐射小鼠 30 d 生存时间的影响

与空白对照组比较,模型对照组小鼠生存时间均明显缩短,差异有统计学意义($P<0.05$),表明模型对照组造模成功;与模型对照组与乳清蛋白组比较,JOPs 中、高剂量组小鼠生存时间均明显增加,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 1。

表 1 JOPs 对辐射小鼠 30 d 生存时间的影响($\bar{x}\pm s, n=8, d$)

Table 1 Effect of JOPs on survival time of irradiated mice subjected to 30-day survival test

组别	存活天数
空白对照组	30.00±0.00
模型对照组	4.40±0.52 ^a
乳清蛋白组	4.60±0.84 ^a
JOPs 低剂量组	5.30±1.06 ^a
JOPs 中剂量组	11.10±1.60 ^{abc}
JOPs 高剂量组	9.80±1.75 ^{abc}

注:^a表示与空白对照组比较, $P<0.05$;^b表示与模型对照组比较, $P<0.05$;^c表示与乳清蛋白组比较, $P<0.05$

2.2 JOPs 对辐射小鼠 WBC 数的影响

辐射前 1 d,各组小鼠 WBC 数差异无统计学意义($P>0.05$)。与空白对照组比较,辐射后第 3 天及第 14 天,模型对照组小鼠 WBC 数明显减少,差异有统计学意义($P<0.05$),可知模型对照组造模成功;辐射后第 3 天,JOPs 各剂量组小鼠 WBC 数均高于模型对照组,并且 JOPs 各剂量组小鼠 WBC 数明显高于乳清蛋白组,差异均有统计学意义($P<0.05$);辐射后第 14 天,与模型对照组和乳清蛋白组比较,JOPs 各剂量组小鼠 WBC 数均明显增多,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

表 2 JOPs 对辐射小鼠 WBC 数的影响($\bar{x}\pm s, n=8, 10^9$ 个/ml)

组别	辐射前 1 d	辐射后第 3 天	辐射后第 14 天
空白对照组	9.73±2.48	10.42±2.22	9.46±2.06
模型对照组	10.16±2.26	1.48±0.64 ^a	1.46±0.50 ^a
乳清蛋白组	9.92±2.13	1.69±0.67 ^a	1.82±0.73 ^a
JOPs 低剂量组	11.04±2.58	2.36±0.73 ^{abc}	2.75±0.67 ^{abc}
JOPs 中剂量组	10.87±3.33	3.25±0.88 ^{abc}	3.50±0.63 ^{abc}
JOPs 高剂量组	11.37±2.96	3.33±0.56 ^{abc}	3.47±0.59 ^{abc}

注:^a表示与空白对照组比较, $P<0.05$;^b表示与模型对照组比较, $P<0.05$;^c表示与乳清蛋白组比较, $P<0.05$

2.3 JOPs 对辐射小鼠骨髓细胞 DNA 含量的影响

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 含量明显降低,差异有统计学意义($P<0.05$),即模型对照组造模成功;JOPs 各剂量组小鼠骨髓细胞 DNA 含量均明显高于模型对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);与乳清蛋白组比较,JOPs 各剂量组小鼠骨髓细胞 DNA 含量均明显增高,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表 3 JOPs 对辐射小鼠骨髓细胞 DNA 含量的影响

($\bar{x}\pm s, n=8, \text{ng}/\mu\text{l}$)

Table 3 Effect of JOPs on DNA content of irradiated mice's bone marrow cells

组别	第 3 天骨髓细胞 DNA 含量
空白对照组	76.86±13.46
模型对照组	22.87±12.92 ^a
乳清蛋白组	36.20±10.48 ^a
JOPs 低剂量组	45.16±16.63 ^{abc}
JOPs 中剂量组	54.82±12.51 ^{abc}
JOPs 高剂量组	56.73±14.04 ^{abc}

注:^a表示与空白对照组比较, $P<0.05$;^b表示与模型对照组比较, $P<0.05$;^c表示与乳清蛋白组比较, $P<0.05$

2.4 JOPs 对辐射小鼠体质量及脏器指数的影响

各组辐射前当天初始体质量差异无统计学意义($P>0.05$)。辐射后第 3 天,模型对照组小鼠终末体质量及肝脏、脾脏、胸腺指数均明显低于空白对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),表明模型对照组造模成功;JOPs 各剂量组终末体质量略高于模型对照组与乳清蛋白组,但差异均无统计学意义($P>0.05$);JOPs 各剂量组小鼠肝脏指数明显高于模型对照组与乳清蛋白组,差异均有统计学意义($P<0.05$);JOPs 低、高剂量组小鼠脾脏指数明显高于模型对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。辐射后第 14 天,模型对照组小鼠肝脏、脾脏、胸腺指数均明显低于空白对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),表明模型对照组造模成功;JOPs 各剂量组小鼠终末体质量高于模型对照组与乳清蛋白组,但差异均无统计学意义($P>0.05$);JOPs 各剂量组小鼠肝脏、脾脏指数明显高于模型对照组,且 JOPs 中剂量组小鼠肝脏指数和高剂量组小鼠脾脏指数均明显高于乳清蛋白组,差异均有统计学意义($P<0.05$);JOPs 低、中剂量组小鼠胸腺指数明显高于模型对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 4。

3 讨论

辐射是能量以粒子或者电磁波的形式在空间传播的过程,其中放射性核素发射的 α 、 β 粒子及正电子等属于粒子辐射;而放射性核素发射的 γ 射线和 X 线管发射的 X 射线具有波粒二象性,当其能

表4 JOPs对辐射小鼠体质量及脏器指数的影响($\bar{x}\pm s, n=8$)

Table 4 Effect of JOPs on body weight and organ indexes of irradiated mice

组别	初始体质量/g	辐射后第3天			
		终末体质量/g	肝脏指数/(mg/g)	脾脏指数/(mg/g)	胸腺指数/(mg/g)
空白对照组	20.71±0.85	20.67±1.31	43.41±2.65	4.81±0.22	2.17±0.36
模型对照组	20.44±1.08	18.73±1.26 ^a	37.36±3.65 ^a	1.18±0.15 ^a	0.47±0.17 ^a
乳清蛋白组	20.31±1.43	18.54±1.02 ^a	37.88±2.96 ^a	1.24±0.14 ^a	0.55±0.16 ^a
JOPs 低剂量组	20.40±0.89	19.14±1.18 ^a	43.20±4.23 ^{bc}	1.39±0.23 ^{ab}	0.56±0.22 ^a
JOPs 中剂量组	21.00±1.26	19.36±1.63 ^a	41.93±3.80 ^{bc}	1.30±0.23 ^a	0.60±0.20 ^a
JOPs 高剂量组	20.57±1.37	19.11±0.96 ^a	44.75±4.05 ^{bc}	1.38±0.21 ^{ab}	0.52±0.13 ^a
组别	初始体质量/g	辐射后第14天			
		终末体质量/g	肝脏指数/(mg/g)	脾脏指数/(mg/g)	胸腺指数/(mg/g)
空白对照组	20.34±1.16	20.63±1.03	48.54±2.58	4.65±0.38	2.46±0.22
模型对照组	20.53±0.87	19.84±1.19	43.30±1.36 ^a	3.22±0.41 ^a	1.87±0.23 ^a
乳清蛋白组	20.65±1.22	19.77±0.73	46.62±3.19 ^b	4.18±0.31 ^{ab}	2.18±0.23
JOPs 低剂量组	20.77±1.29	20.46±1.30	46.93±3.18 ^b	4.24±0.34 ^{ab}	2.36±0.39 ^b
JOPs 中剂量组	20.80±1.42	20.67±1.06	49.58±3.34 ^{bc}	4.28±0.38 ^{ab}	2.28±0.25 ^b
JOPs 高剂量组	20.87±1.32	20.50±0.91	46.04±3.76 ^b	4.79±0.49 ^{bc}	2.09±0.30 ^a

注:^a表示与空白对照组比较, $P<0.05$;^b表示与模型对照组比较, $P<0.05$;^c表示与乳清蛋白组比较, $P<0.05$

量超过 12 eV 时,能够引起原子电离,称为电离辐射^[22]。对于人类机体,辐射剂量超过 1 Gy 会导致严重的急性放射性损伤,且随着吸收剂量增加,临床症状更加严重^[23]。天然和人造来源的电离辐射暴露普遍存在且难以避免,其中医疗和天然来源占公众接受的有效剂量的大部分。例如,放疗是治疗恶性肿瘤的重要手段,但放疗在杀死肿瘤细胞的同时,也会对机体正常组织造成损伤^[24-25];因此,如何减少辐射损伤已成为科研人士关注的焦点。

小鼠全身辐射后 30 d 存活试验是评价辐射防护作用的常用方法,得到国内外科研人员的广泛认可^[26-27]。本研究结果表明,8 Gy ⁶⁰钴 γ 射线辐射会明显缩短小鼠生存时间,但相对于模型对照组与乳清蛋白组,JOPs 中、高剂量组小鼠生存时间均明显延长。不同细胞对电离辐射的敏感性不同,其中以造血细胞最为敏感,因此,WBC 数及骨髓细胞 DNA 含量不仅可用于评估电离辐射对造血系统的影响程度,也可用作评估辐射效应的生物学指标^[28]。本研究指出,以空白对照组比较,3.5 Gy ⁶⁰钴 γ 射线辐射能够导致小鼠 WBC 数明显下降,但辐射后第 3 天及第 14 天,JOPs 各剂量组小鼠 WBC 数均明显高于模型对照组和乳清蛋白组;3.5 Gy ⁶⁰钴 γ 射线辐射同样可导致骨髓细胞 DNA 含量明显下降,但 JOPs 各剂量组小鼠 DNA 含量均明显高于模型对照组和乳清蛋白组,与 WBC 数变化一致。

肝脏是人体重要的消化代谢器官,参与体内糖、脂肪、蛋白质等的代谢,并参与机体免疫防御功能^[29]。脾脏和胸腺是人体重要的免疫器官,是机体 T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞发育成熟的场所^[30],因此维持肝脏、脾脏与胸腺正常的脏器指数对机体新陈代谢及免疫功能的正常运转意义重大。本研究结

果表明,3.5 Gy ⁶⁰钴 γ 射线辐射短时间内(辐射后第 3 天)会导致机体体质量及脏器指数大幅降低,一段时间后(辐射后第 14 天)JOPs 各剂量组体质量及脏器指数可基本恢复正常,且对于肝脏、脾脏指数的辐射防护效果优于模型对照组及乳清蛋白组。

综上所述,JOPs 可有效延长辐射小鼠存活时间,提高辐射小鼠 WBC 数、骨髓细胞 DNA 含量及肝脏、脾脏、胸腺指数,具有一定的辐射防护作用。此外,JOPs 效果优于乳清蛋白,表明其辐射防护功效不是单纯增加小鼠蛋白质摄入所引起的假阳性结果。

参考文献

- [1] 龚力,孙爱娟,何谦,等.低剂量电离辐射效应及其对我国放射作业人员血液指标影响研究进展[J].中国职业医学,2018,45(1):115-118.
- [2] 万红,谭卫国,杨剑,等.电离辐射对放射工作人员心血管系统的影响[J].中国辐射卫生,2013,22(1):47-48.
- [3] 杨文军,黄金凤,刘岩,等.电离辐射对精子质量影响的研究进展[J].中华生殖与避孕杂志,2017,37(4):334-338.
- [4] 刘良丽,陈香兰,奉水东.电离辐射对职业人群抗氧化酶活性和丙二醛含量影响的 Meta 分析[J].辐射研究与辐射工艺学报,2019,37(3):46-56.
- [5] 方连英,王彦,徐畅,等.电离辐射诱导造血干细胞损伤的分子机制研究进展[J].基础医学与临床,2017,37(2):256-260.
- [6] 曹毅,谢文.电离辐射的生物效应及健康影响[J].科技导报,2018,36(15):48-53.
- [7] HE L X, ZHANG Z F, ZHAO J, et al. Ginseng oligopeptides protect against irradiation-induced immune dysfunction and intestinal injury [J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 13916.
- [8] KANG M C, YUMNAM S, KIM S Y. Oral intake of collagen peptide attenuates ultraviolet b irradiation-induced skin dehydration *in vivo* by regulating hyaluronic acid synthesis [J]. Int J Mol Sci, 2018, 19(11): 1-12.

- [9] 珠娜,张亭,刘睿,等. 核桃低聚肽辐射防护作用探讨 [J/OL]. (2018-11-06) [2019-05-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1234.r.20181106.1830.008.html>.
- [10] XU S Y, LIU J P, HUANG X, et al. Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit peel [J]. LWT, 2018, 90(1): 577-582.
- [11] 王颖倩. 菠萝蜜果粉干燥工艺对比试验研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2018.
- [12] ZHANG Y J, ZHU K X, HE S Z, et al. Characterizations of high purity starches isolated from five different jackfruit cultivars [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52(7): 785-794.
- [13] 李时珍. 本草纲目: 下册 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1982.
- [14] 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 & Food Safety, 2012, 11(6): 565-576.
- [15] JAGTAP U B, PANASKAR S N, BAPAT V A. Evaluation of antioxidant capacity and phenolcontent in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) [J]. Plant Foods Hum Nutr, 2010, 65(2): 99-104.
- [16] ZHU K X, ZHANG Y J, NIE S P, et al. Physicochemical properties and in vitro antioxidant activities of polysaccharide from *Artocarpus heterophyllus* Lam. pulp [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 155(8): 354-361.
- [17] 李移, 李尚德, 陈杰. 菠萝蜜微量元素含量的分析 [J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(1): 57-59.
- [18] 林华娟, 秦小明, 曹湛惠, 等. 菠萝蜜果实不同组织中果胶物质的比较 [J]. 广东农业科学, 2007 (5): 73-74.
- [19] RAHMAN M A, NAHAR N, MIAN A J, et al. Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with maturity and climatic conditions [J]. Food Chemistry, 1999, 65(1): 91-97.
- [20] 房一明, 张彦军, 谷凤林, 等. 菠萝蜜的营养成分与鉴别比较研究 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(10): 2088-2092.
- [21] 李勇. 肽临床营养学 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2012.
- [22] STERN R G. Medical radiation safety: rational policy, irrational science [J]. American Journal of Medicine, 2012, 125(8): 730-731.
- [23] ERIC J H, GIACCIA A J. Radiobiology for the radiologist [M]. 6th ed. Philadelphia, PA, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- [24] 黄欢, 庞华, 王英, 等. 枸杞多糖对电离辐射所致小鼠骨髓单核细胞凋亡的抑制作用 [J]. 环境与职业医学, 2018, 35(10): 933-937.
- [25] 张力元, 孙锐, 田野. 电离辐射导致大脑认知功能损害的实验研究进展 [J]. 中华医学杂志, 2012, 92(1): 63-66.
- [26] KINDEKOV I, MILEVA M, KRASTEVA D, et al. Radioprotective effect of *Rapana thomasi* hemocyanin in gamma induced acute radiation syndrome [J]. Biotechnol Biotechnol Equip, 2014, 28(3): 533-539.
- [27] 抗辐射作用的检验方法 [Z]. 中国食品卫生杂志, 1999, 11(3): 75-77.
- [28] HEYDARHEYDARI S, HAGHPARAST A, EIVAZI M T. A novel biological dosimetry method for monitoring occupational radiation exposure in diagnostic and therapeutic wards: from radiation dosimetry to biological effects [J]. Journal of Biomedical Physics & Engineering, 2016, 6(1): 21-26.
- [29] 王庭槐. 生理学 [M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 287-288.
- [30] 曹雪涛. 医学免疫学 [M]. 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 197,217.

· 资讯 ·

美国修订氟啶虫胺胍在部分食品中的残留限量

据美国联邦公报消息,2019 年 7 月 24 日,美国环保署发布 2019-15648 号文件,修订氟啶虫胺胍(sulfoxaflor)在部分食品中的残留限量。

美国环保署对氟啶虫胺胍开展了风险评估,分别评估了毒理性、饮食暴露量以及对婴幼儿的影响,最终认为按照以下限量使用是安全的。部分限量如下:

产品名称	残留限量/ppm
可可豆	0.05
牛肉、羊肉、马肉	0.4
猪肉、牛奶	0.3
鸡蛋	0.06
柄叶类蔬菜(作物亚组 22B)	2
核果类水果,组 12-12	3

据了解本规定于 2019 年 7 月 24 日起生效,反对或听证要求在 2019 年 9 月 23 日前提交。

(来源食品伙伴网,相关链接:<http://news.foodmate.net/2019/07/527816.html>)