

狗枣猕猴桃压缩饼干醇提物的抗辐射功能研究

Preparation and anti-radiation function of compressed biscuits with *Actinidia kolomikta*

左丽丽 任婷婷 勾文哲 富校轶 王舒然

ZUO Li-li REN Ting-ting GOU Wen-zhe FU Xiao-yi WANG Shu-ran

(吉林医药学院公共卫生学院, 吉林 吉林 132013)

(School of Public Health, Jilin Medical University, Jilin, Jilin 132013, China)

摘要:超声波辅助 60% 的乙醇提取狗枣猕猴桃压缩饼干的活性成分;建立辐射诱导的氧化损伤模型,通过 MTT 法和流式细胞仪研究活性成分对肝细胞增殖能力以及细胞周期、细胞凋亡的影响,分析其抗辐射作用。结果显示,加药量达到 70 mg/mL 时对辐射诱导的肝细胞防护效果最佳,加药量达到 60 mg/mL 时对辐射诱导的肝细胞修复效果最佳;通过细胞周期分析发现狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分能够抑制辐射引起的细胞阻滞,使其恢复正常生长,防护作用较为显著;同时能够有效降低辐射引起的细胞凋亡率,对辐射引起的细胞损伤具有一定的防护作用。

关键词:狗枣猕猴桃;压缩饼干;抗辐射;细胞周期;细胞凋亡

Abstract: The active components were extracted from compressed biscuits with *Actinidia kolomikta*, using 60% ethanol with ultrasonication. The oxidative damage of hepatocytes induced by ultraviolet (UV) radiation was used as cell model. The effects of active components on proliferation, cell cycle, and apoptosis of hepatocytes were studied by MTT and flow cytometry. The results showed that the protective effect was the best when the dosage reached 70 mg/mL, while the therapeutic effect was the best when the dosage reached 60 mg/mL. Through cell cycle analysis, it was found that the active components of compressed biscuits with *Actinidia kolomikta* had an inhibiting effect on the cell cycle arrest caused by radiation and re-

storing its normal growth, and the preventive effects were obvious. Moreover, it could effectively reduce the apoptosis rate caused by radiation, and had a certain protective effect on cell damage. The compressed biscuits with *Actinidia kolomikta* had anti-radiation function and provided a scientific basis for the further development and the utilization of *Actinidia kolomikta*.

Keywords: *Actinidia kolomikta*; compressed biscuits; anti-radiation; cell cycle; cell apoptosis

21 世纪,辐射已经渗透到人们生活的各个领域,诱发病体产生一系列疾病^[1-2],加强对辐射损伤的防护,减轻放射性疾病已经成为当今社会亟待解决的重要课题^[3-4]。人工合成辐射防护剂大都存在价格昂贵、毒副作用强,不能长期服用等一系列缺点,因此开发安全、健康、高效、无毒或低毒的天然抗辐射制剂或食品越来越受到关注^[5-7]。狗枣猕猴桃是东北地区的野生浆果,含有丰富的多酚、黄酮、维生素等多种天然活性成分^[8-10],表现出很好的抗氧化和抗辐射活性^[11-12]。因此开发狗枣猕猴桃抗辐射制剂或产品对于接触辐射的人群具有重要意义。有研究^[13-15]显示水果、蔬菜中多酚、黄酮、多糖等活性成分都表现出很好的抗辐射活性,但是这些活性成分的分离纯化及制备工艺复杂,成本高,应用于市场有一定的局限性,因此,开发天然、健康的狗枣猕猴桃抗辐射产品势在必行。而狗枣猕猴桃压缩饼干具有营养成分丰富、体积小,便于携带、成本低等一系列优点,因此,研究其抗辐射功能,对于接触辐射的普通人群,尤其对于航天、军队以及医用工作者具有重要的意义,同时也为狗枣猕猴桃产品的进一步开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

狗枣猕猴桃压缩饼干:吉林医药学院食品工艺实验室制备;

基金项目:吉林省科技厅优秀青年人才基金项目(编号:20180520033JH);吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(编号:JJKH20180827KJ, JJKH20170411KJ);吉林市科技创新发展计划项目(编号:20165016);吉林医药学院大学生创新创业训练计划项目(编号:201760)

作者简介:左丽丽,女,吉林医药学院讲师,博士。

通信作者:王舒然(1968—),男,吉林医药学院教授,博士。

E-mail: shuranwang@163.com

收稿日期:2018-12-11

RPMI Medium 1640:500 mL,美国 Hyclone 公司;
胰酶:酶活 ≥ 180 U/mg,海基生物科技有限公司;
噻唑蓝 MTT:分析纯,北京索莱宝科技有限公司;
二甲基亚砷 DMSO:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

青霉素—链霉素双抗溶液(100 $\times$):海基生物科技有限公司;

RNaseA:酶活 ≥ 50 U/mg,北京索莱宝科技有限公司;

碘化丙啶 PI:纯度 $\geq 95\%$,北京索莱宝科技有限公司;

胎牛血清:优级,无支原体,浙江天杭生物科技有限公司;

乙醇:分析纯,天津奥普升化工有限公司;

细胞凋亡试剂盒(100rxn):诺唯赞生物科技有限公司。

1.2 仪器及设备

超声波清洗仪:KQ500B 型,上海越众仪器设备;

旋转蒸发仪:RE-300 型,上海亚荣生化仪器厂;

水浴锅:DK-98-IIA+型,天津市泰斯特仪器公司;

CO₂培养箱:CLASS100 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

酶标仪:Epoch 型,美国伯腾仪器有限公司;

流式细胞仪:C6 型,美国 BD 公司;

超净台:SW-CJ-2G 型,上海市索域试验设备公司;

低速离心机:SC-3612 型,安徽中科中佳科技公司。

1.3 试验方法

1.3.1 狗枣猕猴桃压缩饼干的制备 通过正交试验获得狗枣猕猴桃压缩饼干的制备工艺:狗枣猕猴桃 4 g,低筋面粉 28 g,奶粉 3.5 g,白砂糖 15 g,食用油 7 g,饮用水 7 g。充分混匀调配,压块,上火 180 $^{\circ}\text{C}$,下火 190 $^{\circ}\text{C}$,烤制 7 min,冷却至室温。

1.3.2 样品前处理 称取一定量的狗枣猕猴桃压缩饼干以及空白对照饼干(即不加狗枣猕猴桃粉制作的压缩饼干),将其粉碎,以 1:10(g/L)的料液比加入 60%的乙醇,混匀后在超声波清洗仪上进行提取(50 $^{\circ}\text{C}$,30 min),过滤,滤渣按照上述方法重复提取 2 次,合并滤液,50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下通过旋转蒸发仪将其浓缩至一定体积,即得加药组和药物空白组提取物,分装后置于-20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱备用。

1.3.3 建立紫外辐射诱导的氧化损伤模型 选择生长状况良好的肝细胞 HL-7702,胰酶消化制成细胞悬浮液,利用血球计数板计数,达到 2.5×10^5 个/mL 即可铺入 96 孔板,每孔 100 μL ,于 37 $^{\circ}\text{C}$ 、5% CO₂培养箱中进行培养,待细胞贴壁后使用紫外灯进行梯度照射(0,5,10,15,20,25,30,35,40,45 min),辐射后立即放入培养箱中继续培养 24 h。培养结束后每孔加入 10 μL MTT 溶液,于 37 $^{\circ}\text{C}$

继续孵育 4 h 终止培养。小心吸弃孔内溶液,然后每孔加入 150 μL 的 DMSO,振荡使沉淀溶解,使用酶标仪检测吸光度^[16-18],计算各组相对于辐射对照组的细胞损伤情况,确定辐射模型的时间。

1.3.4 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞增殖能力的影响

(1) 防护组:选择生长状况良好的肝细胞 HL-7702,胰酶消化制成细胞悬浮液,细胞数量达到 2.5×10^5 个/mL 即可铺入 96 孔板,待细胞贴壁生长后加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分(0,10,20,30,40,50,60,70,80 mg/mL),继续培养 2 h,根据辐射模型时间进行紫外灯照射,继续培养 48 h,培养结束后按照上述方法用酶标仪测定吸光度,计算各组相对于辐射对照组的细胞损伤^[19-20]。

(2) 修复组:在同样条件下,待细胞贴壁后进行紫外灯的照射,培养一段时间后加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分,继续培养,之后同防护组。

1.3.5 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞周期的影响

(1) 防护组:选择生长状况良好的肝细胞 HL-7702,胰酶消化制成细胞悬浮液,达到 2.5×10^5 个/mL 即可铺入 6 孔板,每孔 2 mL,设置模型组、加药组、药物空白组和空白组,每组 3 个平行,于 37 $^{\circ}\text{C}$ 、5% CO₂条件下培养,待细胞贴壁后根据辐射模型时间对模型组、加药组、药物空白组进行紫外灯照射,继续培养 2 h,加药组每孔加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分(低、中、高 3 个剂量),药物空白组以低剂量形式加入 6 孔板中,继续培养 48 h。分别收集各组的细胞,用 PBS 溶液洗涤 2 次,加入预冷的 75%乙醇固定,4 $^{\circ}\text{C}$ 过夜。固定后的细胞用 PBS 洗涤 2 次,加入终浓度为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 RNA 酶和 PI 染色液,4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下避光染色 60 min,用 200 目筛网对其进行过滤,流式细胞仪检测细胞周期分布情况,ModFit LT 软件分析细胞周期^[21-22]。

(2) 修复组:在同样条件下,待细胞贴壁后进行紫外灯的照射,培养一段时间后加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分,同时进行药物空白组试验,继续培养,之后同于防护组。

1.3.6 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞凋亡的影响

(1) 防护组:选择生长状况良好的肝细胞,利用血球计数板计数,达到 2.5×10^5 个/mL 即可铺入 6 孔板,每孔 2 mL,设置模型组、加药组、药物空白组和空白组,加药组根据确定的最佳加入量设计低、中、高 3 个剂量加入到 6 孔板中,药物空白组以低剂量形式加入 6 孔板中,培养 2 h 后模型组、加药组、药物空白组紫外照射 20 min,继续培养 48 h。用胰酶(不含 EDTA)消化收集各组细胞,用预

冷的 PBS 洗涤 2 次,弃上清后,首先在 3 个空白样品中各加入 100 μL 的 $1\times$ Binding Buffer 重悬细胞,其中 2 个空白样中 1 个加入 5 μL 的 Annexin V-FITC,另 1 个加入 5 μL 的 PI,避光,室温反应 10 min 后各加入 400 μL 的 $1\times$ Binding Buffer,混匀后用 200 目的绢布过滤,用流式细胞仪检测。其他样品中分别加入 100 μL 的 $1\times$ Binding Buffer 重悬细胞,再加入 Annexin V-FITC 和 PI 溶液各 5 μL ,室温下避光反应 10 min 后加入 400 μL 的 $1\times$ Binding Buffer 混匀,用 200 目的绢布过滤,通过流式细胞仪检测细胞凋亡的情况^[23-25]。

(2) 修复组:在同样条件下,待细胞贴壁后进行紫外灯的照射,培养 2 h 后加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分,同时进行药物空白组试验,继续培养 48 h,用胰酶(不含 EDTA)消化收集各组细胞,之后同防护组。

1.4 数据处理

试验中测定结果进行 3 次平行试验,最后结果以平均值 $\pm$ 标准方差表示。结果采用统计分析软件 SPSS、Origin 8.5 进行统计学分析, $P<0.05$ 具有显著性差异, $P<0.01$ 具有极显著性差异。

2 结果与分析

2.1 辐射诱导的氧化损伤模型

如图 1 所示,随着辐射时间的延长肝细胞的增殖率逐渐降低,当辐射时间为 20 min 时,细胞增殖率下降到 50% 以下,表明紫外辐射诱导的氧化损伤模型建立成功。因此,确定 20 min 为后期辐射损伤时间。

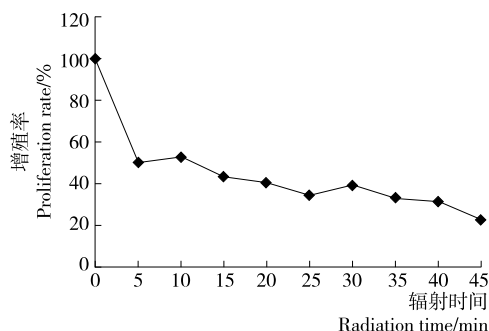


图 1 辐射诱导的氧化损伤模型

Figure 1 Radiation induced oxidative damage model

2.2 MTT 试验

2.2.1 防护组 如图 2 所示,随着加药量的增加,H1-7702 肝细胞的增殖率也逐渐增加,表明防护作用在逐渐加强,加药量达到 70 mg/mL 时,增殖率达到 64.8%,效果最佳,继续增大加药量,细胞增殖率变化不大,故确定 70 mg/mL 为预防作用的最佳加药量。

2.2.2 修复组 如图 3 所示,随着加药量的增加,治疗作用逐渐增强,当加药量达到 60 mg/mL 时,增殖率达到

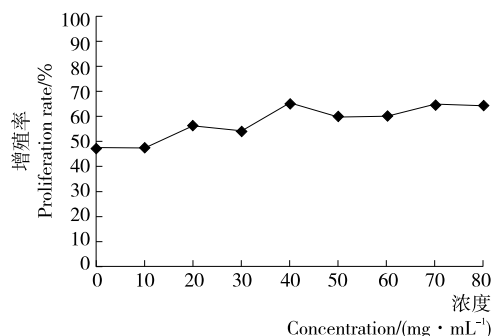


图 2 防护作用

Figure 2 Protetive effect

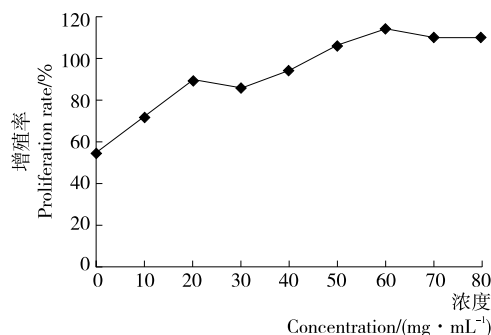


图 3 修复作用

Figure 3 Therapeutical effect

113.98%,效果最佳,继续增大加药量,细胞增殖率出现下降趋势,故确定 60 mg/mL 为治疗作用的最佳加药量。

2.3 细胞周期试验

2.3.1 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞周期预防作用的影响 如表 1 和图 4 所示,对比空白组和模型组,模型组的 G2/M 期的细胞比例(21.85 ± 0.48)明显大于空白组的 G2/M 期细胞比例(12.91 ± 0.76),同时模型组的 G0/G1 期的细胞比例比空白组有所下降,表明辐射损伤引起肝细胞阻滞在 G2/M 期,使其不能进入下一阶段。同时进行药物空白试验,压缩饼干提取物中一定浓度的大分子物质对辐射诱导的肝细胞周期有一定的影响,但效果不及狗枣猕猴桃压缩饼干提取物。加入不同浓度的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分后 G2/M 期的细胞比例存在减小的趋势,在一定程度上控制了辐射引起的细胞周期阻滞,防止肝细胞的辐射损伤,使其逐步恢复肝细胞的增殖能力。可见,狗枣猕猴桃压缩饼干对辐射诱导的肝细胞有一定的预防作用。

2.3.2 对辐射诱导的肝细胞细胞周期治疗作用的影响

如表 2 和图 5 所示,与空白对照组(8.70 ± 2.22)相比,模型组 G2/M 期的细胞比例(17.36 ± 1.29)显著增加,表明紫外辐射会引起细胞阻滞在 G2/M 期,使其不能进入下一阶段。与模型组相比,不同浓度的加药组 G2/M 期的细胞比例存在减小的趋势,一定程度上控制了辐射

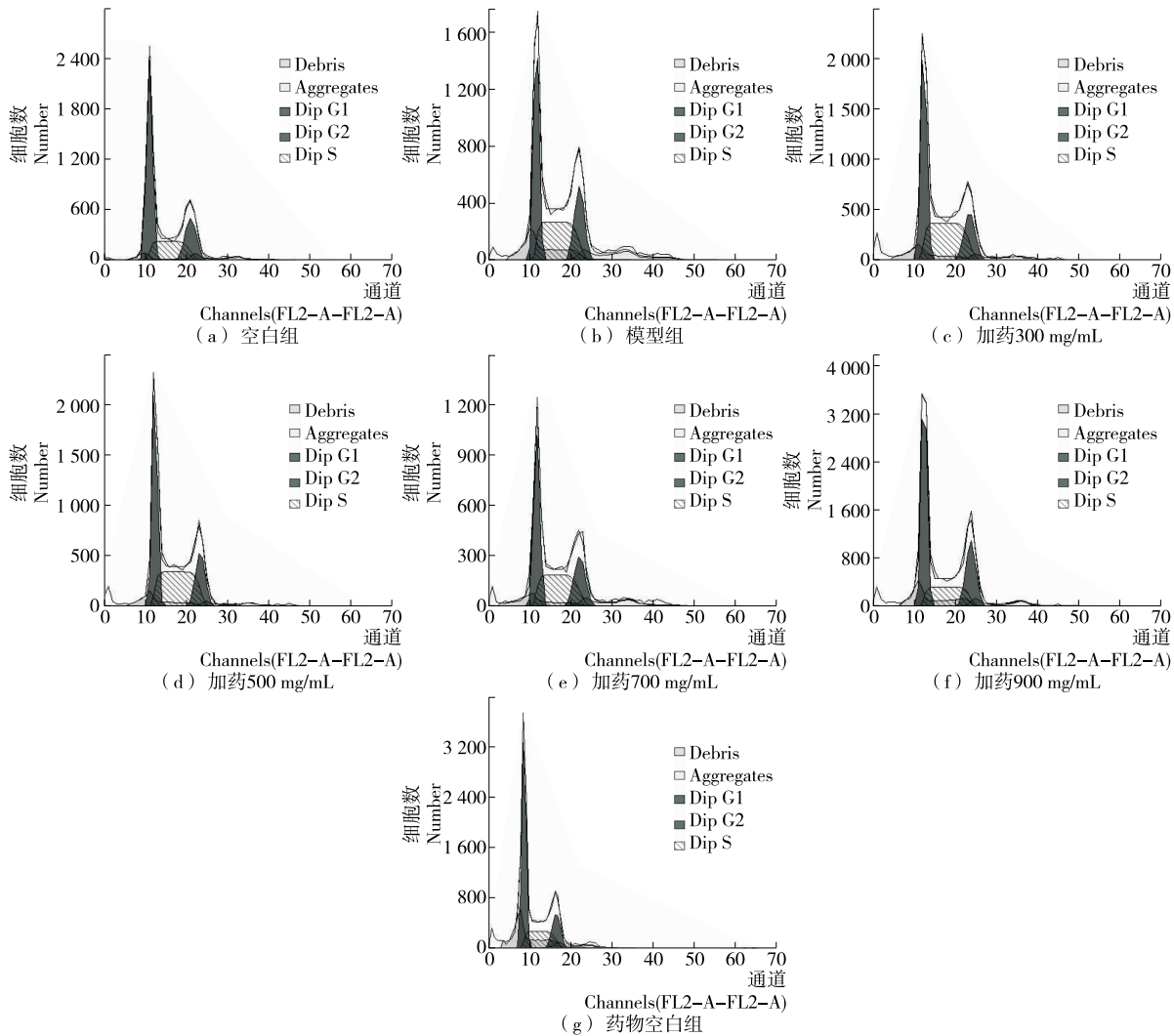


图 4 饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞周期的预防作用

Figure 4 The protetive effect of biscuit active ingredients on hepatocyte cell cycle induced by radiation

表 1 饼干活性成分对辐射诱导肝细胞周期的预防作用[†]
Table 1 The protetive effect of biscuit active ingredients on hepatocyte cell cycle induced by radiation

组别	G0/G1	S	G2/M
空白组	62.47±0.69	24.63±1.45	12.91±0.76
模型组	50.64±1.82	27.52±1.34	21.85±0.48
药物空白组	56.76±1.84	26.27±1.40	16.97±0.44
加药组(300 mg/mL)	56.34±0.03	23.93±0.39	19.73±0.35
加药组(500 mg/mL)	51.06±3.40	26.65±1.22	22.27±2.14
加药组(700 mg/mL)	53.51±0.37	26.72±0.68	19.78±0.32
加药组(900 mg/mL)	53.55±3.54	25.78±3.14	20.69±0.39

[†] 药物空白组为不加狗枣猕猴桃粉制作的压缩饼干提取物。

表 2 饼干活性成分对辐射诱导肝细胞周期的治疗作用[†]
Table 2 The repair effect of biscuit active ingredients on hepatocyte cell cycle induced by radiation

组别	G0/G1	S	G2/M
空白组	58.02±1.13	33.28±3.35	8.70±2.22
模型组	61.98±2.09	20.64±0.86	17.36±1.29
药物空白组	61.11±0.93	24.07±0.76	14.83±0.17
加药组(200 mg/mL)	60.97±0.93	21.20±1.41	17.84±0.47
加药组(400 mg/mL)	62.12±1.64	20.54±0.28	17.35±1.92
加药组(600 mg/mL)	63.37±2.82	19.82±3.37	16.82±0.54
加药组(800 mg/mL)	63.23±1.41	19.51±0.70	17.27±0.72

[†] 药物空白组为不加狗枣猕猴桃粉制作的压缩饼干提取物。

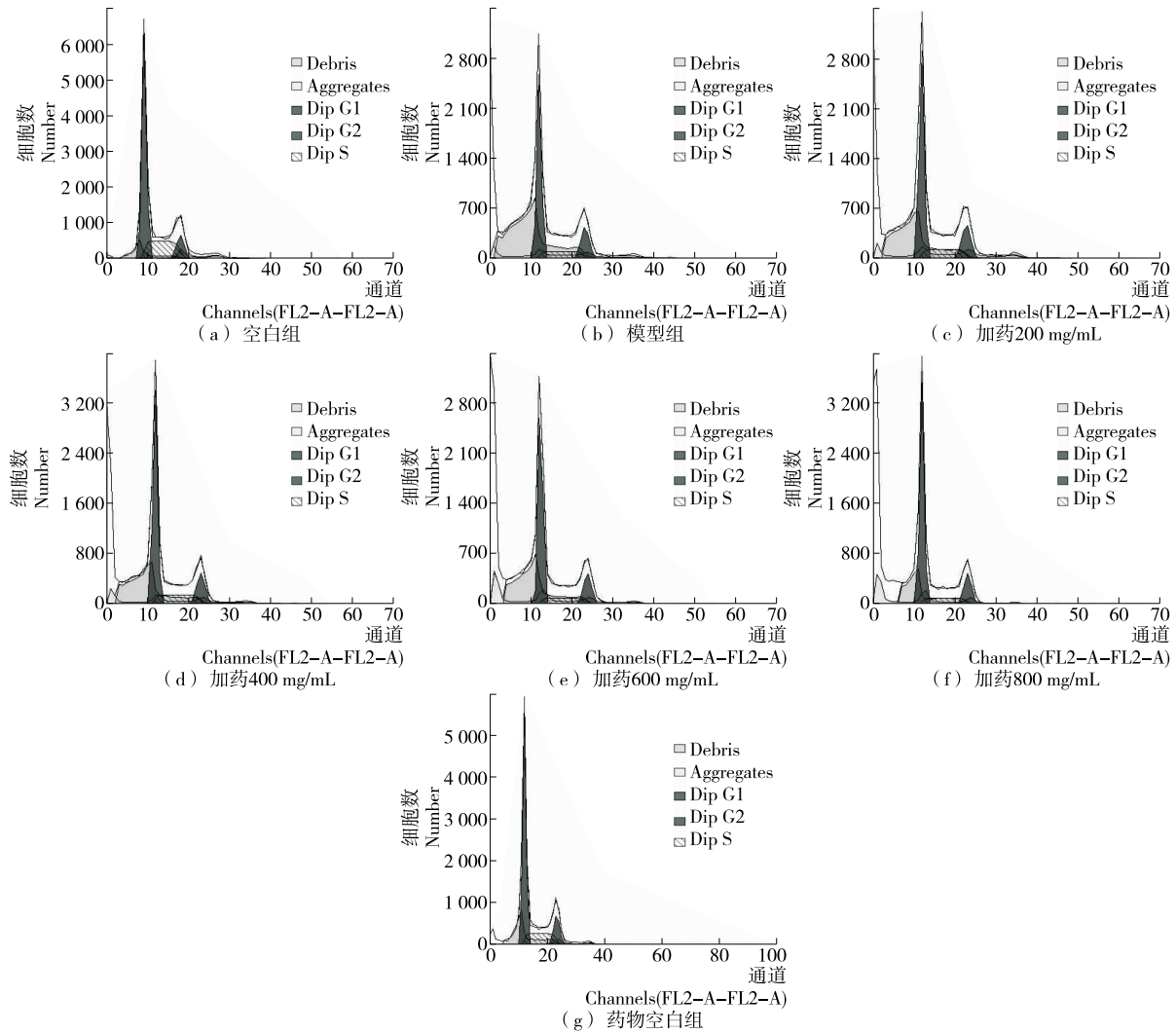


图5 饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞周期的治疗作用
Figure 5 The repair effect of biscuit active ingredients on hepatocyte cell cycle induced by radiation

引起的细胞周期阻滞,保护肝细胞由辐射引起的损伤,使其逐步恢复肝细胞增殖能力。同时进行药物空白组试验,结果发现压缩饼干中的大分子物质对辐射诱导的肝细胞周期有一定的影响,但效果不及狗枣猕猴桃压缩饼干提取物。

2.4 细胞凋亡试验

2.4.1 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对肝细胞凋亡的预防作用 如表3和图7所示,与空白对照组(1.25 ± 1.77)相比,辐射模型组细胞凋亡率(13.42 ± 1.30)显著上升,表明辐射对肝细胞造成一定程度的损伤,而加入一定量狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分,随着浓度的提高,肝细胞凋亡率逐渐下降,表明了狗枣猕猴桃压缩饼干对辐射诱导的细胞凋亡存在显著的抑制作用。同时进行药物空白组试验,结果表明压缩饼干中的大分子物质对辐射诱导的肝细胞凋亡有少许的抑制作用,但效果不及狗枣猕猴桃

压缩饼干活性成分。即狗枣猕猴桃压缩饼干有一定的抗辐射作用。

2.4.2 狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分对肝细胞凋亡的修复作用 如表4和图7所示,与空白对照组(1.65 ± 0.07)相比,模型组细胞凋亡率(11.75 ± 1.91)显著上升,表明辐

表3 饼干活性成分对辐射诱导肝细胞凋亡率的预防作用[†]

Table 3 The protective effect of biscuit active components on the apoptosis rate of hepatocytes induced by radiation		%	
组别	细胞凋亡率	组别	细胞凋亡率
空白组	1.25 ± 1.77	加药组(300 mg/mL)	8.04 ± 0.17
模型组	13.42 ± 1.30	加药组(500 mg/mL)	8.20 ± 1.27
药物空白组	12.98 ± 3.37	加药组(700 mg/mL)	6.59 ± 0.88

[†] 药物空白组为不加狗枣猕猴桃粉制作的压缩饼干提取物。

射对肝细胞造成一定程度的损伤;随着加药浓度的提高,肝细胞凋亡率逐渐下降,表明狗枣猕猴桃压缩饼干对辐射诱导的细胞凋亡存在显著的抑制作用。同时进行药物

空白组试验,检验压缩饼干中大分子物质对辐射的影响,结果表明其中的大分子物质对辐射诱导的细胞凋亡有少许抑制作用,但作用效果不及狗枣猕猴桃压缩饼干中的

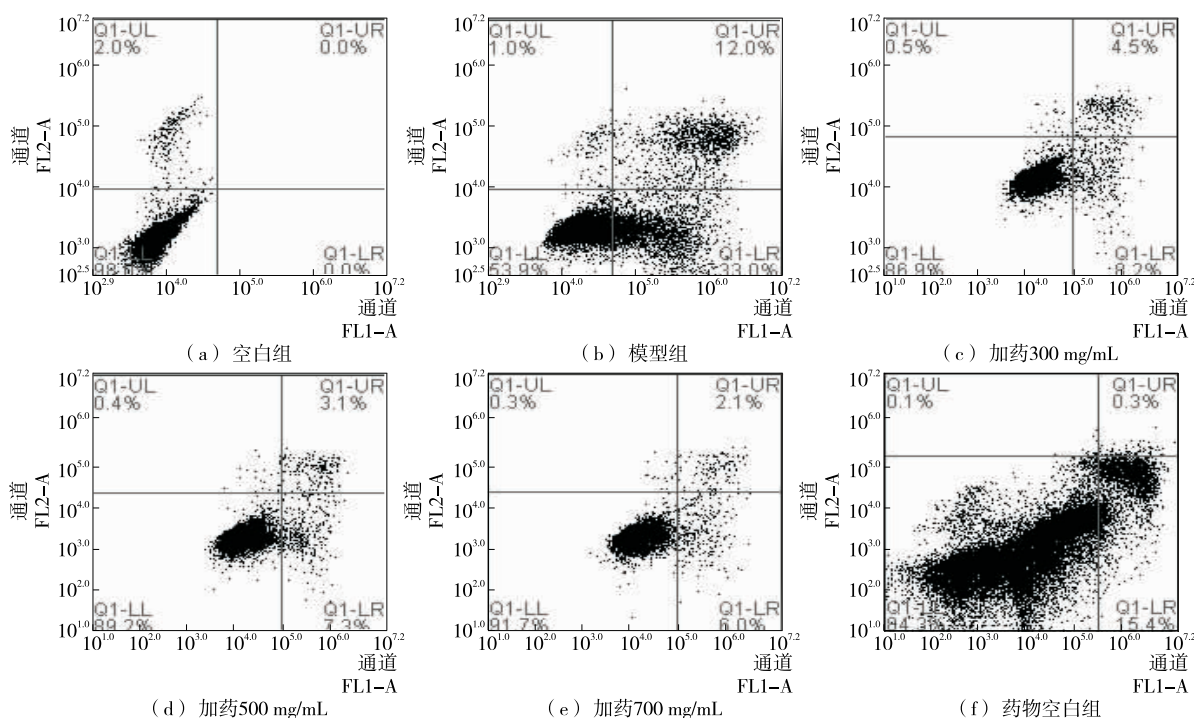


图 6 饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞凋亡的预防作用

Figure 6 The protective effect of biscuit active components on radiation-induced hepatocyte apoptosis

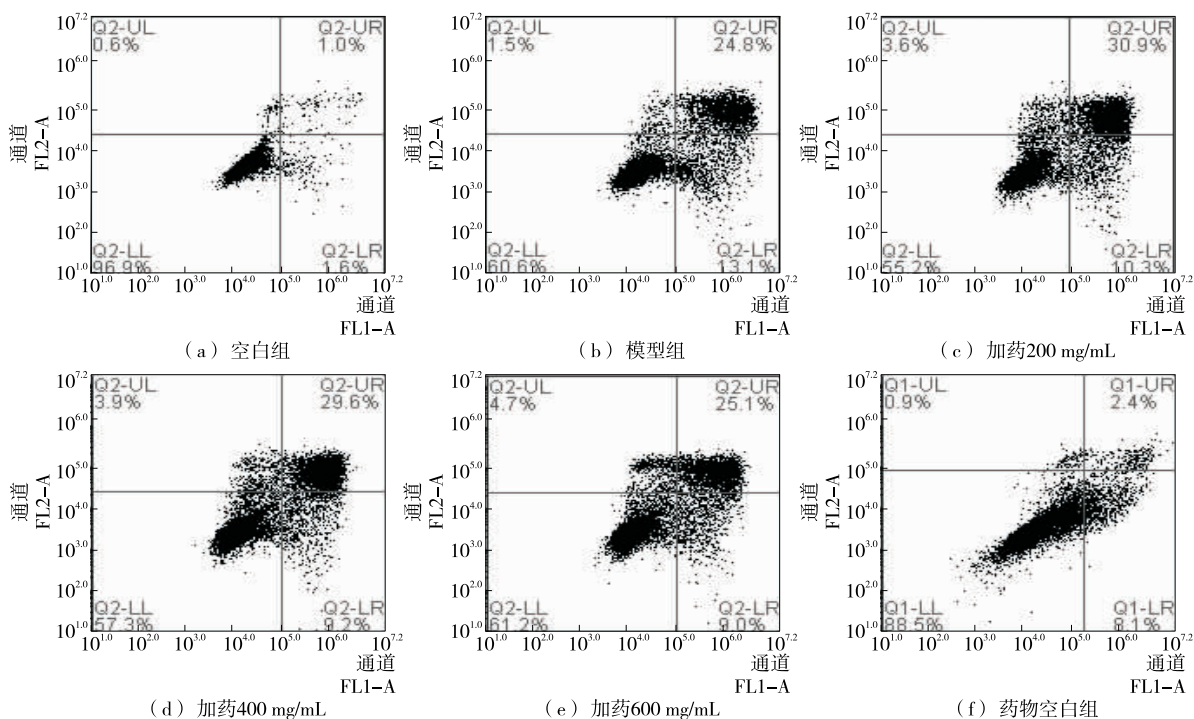


图 7 饼干活性成分对辐射诱导的肝细胞凋亡的治疗作用

Figure 7 The repair effect of biscuit active components on radiation-induced hepatocyte apoptosis

表 4 饼干活性成分对辐射诱导肝细胞凋亡率的治疗作用[†]

Table 4 The repair of biscuit active components on the apoptosis rate of hepatocytes induced by radiation %

组别	细胞凋亡率	组别	细胞凋亡率
空白组	1.65±0.07	加药组(200 mg/mL)	9.90±0.57
模型组	11.75±1.91	加药组(400 mg/mL)	8.90±0.42
药物空白组	10.09±0.45	加药组(600 mg/mL)	9.00±0.00

[†] 药物空白组为不加狗枣猕猴桃粉制作的压缩饼干提取物。

活性成分,即研制的狗枣猕猴桃压缩饼干具有一定的辐射防护作用。

3 结论

本研究通过 MTT 试验、细胞周期和细胞凋亡试验,结果表明狗枣猕猴桃压缩饼干具有一定的抗辐射功能,对紫外辐射诱导的损伤有一定的预防和修复效果,加药量达到 70 mg/mL 时狗枣猕猴桃压缩饼干预防作用最佳,而加药量达到 60 mg/mL 时修复作用较好。一定量的狗枣猕猴桃压缩饼干活性成分能够有效抑制辐射引起的细胞周期阻滞,使其恢复肝细胞的增殖能力,同时能够有效降低辐射引起的细胞凋亡,保护细胞不受损伤。试验结果证实了狗枣猕猴桃压缩饼干的抗辐射功能,为航天、军队、医用工作者以及日常接触辐射的人群提供了安全保障,同时也为后续进一步深入研究其抗辐射作用机制提供了一定的科学依据。

参考文献

[1] 刘力源,陈敏,赵海田,等.天然产物抗辐射活性研究进展[J].食品科学,2017,39(17):1-8.

[2] 王荣,华建业,姜鑫,等.抗辐射类饮料的开发研究[J].食品工程,2017(3):57-61.

[3] 钱晓婕,陈舜胜,付杰坛.坛紫菜中藻胆蛋白的提取及其抗氧化活性研究[J].中国海洋药物,2008,27(2):42-45.

[4] 刘红艳,刘建功,党旭红,等.辐射防护剂和治疗剂的研究进展[J].核化学与放射化学,2016,38(6):321-326.

[5] MA Ya-qin, YE Xing-qian, FANG Zhong-xiang, et al. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Extracts from Ultrasonic Treatment of Satsuma Mandarin (Citrus Unshiu Marc.) peels [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(14): 5 682-5 690.

[6] WANG Tao, JONSDOTTIR R, OLAFSDOTTIR G. Total Phenolic Compounds, Radical Scavenging and Metal Chelation of Extracts from Icelandic Seaweeds [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 240-248.

[7] 王华,曹靖,翟丽娟.猕猴桃果肉提取物抗氧化活性研究[J].华北农学报,2013,28(2):144-149.

[8] 周跃勇,王岸娜,吴立根.从猕猴桃中提取多酚的研究[J].

食品研究与开发,2007,28(3):56-60.

[9] 周丽萍,王化,李梦莎,等.野生软枣猕猴桃的多酚含量及抗氧化能力研究[J].黑龙江科学,2016,7(7):14-15.

[10] KOLA J, PAVELKA J. New varieties of Actinidia Kolomikta-one of the richest sources of vitamin C [J]. Food/Nahrung, 1988, 32(5): 513-515.

[11] 左丽丽,王振宇,樊梓鸾,等.三种猕猴桃多酚粗提取物的抗癌、抗辐射活性[J].中国林副特产,2011(5):4-7.

[12] ZUO Li-li, WANG Zhen-yu, FAN Zi-luan, et al. Evaluation of Antioxidant and Antiproliferative Properties of Three Actinidia (Actinidia kolomikta, Actinidia arguta, Actinidia chinensis) Extracts in Vitro [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(5): 5 506-5 518.

[13] DIXIT A K, BHATNAGAR D, KUMAR V, et al. Antioxidant potential and radioprotective effect of soy isoflavone against gamma irradiation induced oxidative stress [J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(1): 197-206.

[14] LI Xiao-yu, WANG Lu, WANG Zhen-yu. Radioprotective activity of neutral polysaccharides isolated from the fruiting bodies of Hohenbuehelia serotina [J]. Physica Med 2015, 31(4): 352-359.

[15] NAMBIAR D, RAJAMANI P, SINGH R P. Effects of phytochemicals on ionization radiation-mediated carcinogenesis and cancer therapy [J]. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 2011, 728(3): 139-157.

[16] 左丽丽,富校轶,高永欣,等.狗枣猕猴桃多酚对⁶⁰Coγ射线辐射防护作用的研究[J].食品工业科技,2016(22):344-353.

[17] 唐瑶,陈洋,曹婉鑫.多酚类化合物的分类、来源及功能研究进展[J].中国食物与营养,2016,22(3):32-34.

[18] 王雪飞,张华.多酚类物质生理功能的研究进展[J].食品研究与开发,2012,33(2):211-213.

[19] 张宪党,马驰,孙霞,等.天然药物抗辐射作用机制的研究进展[J].中国辐射卫生,2004,13(3):228-230.

[20] 吴宏忠,杨帆,崔书亚,等.阿胶有效组分对辐射损伤小鼠造血系统的保护作用研究[J].中国临床药理学与治疗学,2007(2):417-421.

[21] LI Na, SHEN Xian-rong, LIU Yu-ming, et al. Isolation, characterization, and radiation protection of Sipunculus nudus L. polysaccharide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 83: 288-296.

[22] 王雷,马园园,李亚玲,等.芍药苷对增殖性瘢痕成纤维细胞增殖抑制作用及机制研究[J].中国比较医学杂志,2017,27(11):38-43.

[23] 谷佳,李京,杨晓丹,等.中华猕猴桃根氯仿部分抑制喉癌 HEP-2 细胞增殖作用的研究[J].中华中医药学刊,2017,35(11):2 835-2 838.

[24] 樊梓鸾.红豆越橘多酚氧化诱导损伤及癌细胞增殖抑制作用的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012:37.

[25] 李小雨.元蘑多糖活性部位分析对⁶⁰Coγ辐射损伤的防护作用[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013:36-37.