

# 生物黄酮作为天然辐射防护剂的研究进展

张英\*, 吴聪俊

浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 馥莉食品研究院, 浙江省农产品加工  
技术研究重点实验室, 浙江省食品加工技术与装备工程中心, 杭州 310058

**摘要:**近年来的研究发现多种天然来源的黄酮类化合物具有明显的抗辐射作用,其作用机制与其对造血系统和免疫系统的保护、对活性氧自由基的清除和对脂质过氧化的抑制以及对 DNA 损伤的防护等作用有关。本文就黄酮类化合物抗辐射活性及其作用机理进行综述,并重点关注黄酮类化合物作为天然辐射防护剂的研究进展,以期生物黄酮在抗辐射功能食品中的应用开发提供帮助。

**关键词:**生物黄酮;辐射防护剂;作用机制;功能食品

中图分类号: O625.31

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2015.03.036

## Research Progress on Bio-flavonoids as Natural Radioprotectant

ZHANG Ying\*, WU Cong-jun

College of Biosystems Engineering and Food Science, Fuli Institute of Food Science, Zhejiang Key Laboratory for Agro-Food  
Processing, Zhejiang R&D Center for Food Technology and Equipment, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

**Abstract:** In recent years, many studies have revealed the excellent anti-radiation effects of bio-flavonoids from various natural resources. The action mechanisms include the protections of hemopoietic and immune systems, the scavenging of active oxygen free radicals, the inhibition of lipid peroxidation as well as the prevention of DNA damage. In this paper, the research progress of flavonoids on anti-radiation and the action mechanisms were reviewed, especially focusing on their roles as natural radioprotectants. This review may be beneficial for developing bio-flavonoids as anti-radiation foods.

**Key words:** bio-flavonoids; radioprotectant; action mechanism; functional foods

辐射防护剂(radioprotectant)又称抗辐射剂,是指在辐照前或辐照后即刻使用能减轻电离辐射对全身或局部造成的损伤、并且有助于治疗和康复的药物。具体来说,辐射防护剂一般在辐射损伤的初级阶段起作用,比如减少机体内由辐射诱导产生的大量自由基、减轻辐射损伤的氧效应,保护对射线敏感的生物大分子(如DNA、蛋白质)等;或者在辐照后尽早使用也能减轻已造成的辐射损伤。目前,用于治疗辐射损伤的药物来源分为化学药物、生物药物和天然药物<sup>[1]</sup>。

化学药物目前主要是含巯基的化合物,并主要用于防护放疗过程中的辐射损伤。如氨磷汀(ami-fostine)即为一种有机硫代磷酸盐(胺乙基硫代磷酸单钠盐,WR-2721),1996年经美国FDA批准作为抗辐射药上市,可有效清除活性氧自由基,作为一种广

谱细胞保护剂,选择性地分布于正常组织,而在实体瘤组织中分布较少,故在放疗过程中可有效保护正常组织<sup>[2]</sup>。然而,氨磷汀对于小动物(如小鼠)的辐射防护作用较为明显,但对于大动物则口服效果差,在血液中达到有效浓度的口服剂量太大,因而会对人体带来很大的毒性,故仅限于作为治疗药物使用,不能长期服用以防护常态化的辐射。

而天然药物鉴于其种类的多样性、资源的广泛性、以及副作用小等优势,近年来越来越受到重视<sup>[3]</sup>,尤其是广泛存在于植物界的黄酮类化合物,又称生物黄酮,是蔬菜、水果及许多中药材的有效成分,具有稳定的化学性质和较高的生物耐受性,在食品工业中经常用作食品抗氧化剂、膳食补充剂、营养强化剂等,是研究和开发天然辐射防护剂的理想材料。

## 1 黄酮类化合物防护辐射损伤的作用机制

电离辐射对生物体造成损伤主要通过两种途

径,一是直接作用,是由射线造成生物大分子的损伤,电离辐射的能量直接沉积于生物大分子,造成DNA链的断裂、蛋白酶失活或者破坏细胞膜的结构或通透性,从而影响细胞的正常功能;二是间接作用,指生物大分子的破坏和失活是由于射线作用于水分子,继而水的电离产物再作用于生物大分子,引起后者的物理和化学变化,从而诱导细胞凋亡。细胞经受辐射的直接和间接作用后,膜结构和DNA发生改变、以及产生大量的活性氧自由基(ROS),导致细胞内多种信号分子的活化或信号通路的激活,最终引起辐射后的细胞凋亡、癌变、甚至机体死亡<sup>[4]</sup>。

黄酮类辐射防护剂可同时防护上述两种机制造成的辐射损伤,主要通过清除自由基及抗氧化、保护细胞中遗传物质、增强机体免疫功能、提升造血组织活力等间接方式进行辐射防护。

### 1.1 清除自由基、抗氧化作用

人体含八成以上的水分,辐射可使水电离产生多种自由基。过量自由基能降低体内SOD、GSH-Px、CAT等抗氧化酶类的活性,诱导生成脂质过氧化物,对脂质含量高的膜类造成较大损害,干扰细胞正常功能<sup>[5]</sup>。有报道称,电离辐射所导致的90%的DNA损伤是由自由基引起的<sup>[6]</sup>。

研究发现,黄酮类化合物能够有效清除辐射产生的超氧自由基、羟自由基和类脂质过氧化自由基等,即可以消除辐射的间接作用以防止其对机体的损伤。Verma等<sup>[7]</sup>研究发现,从柿叶中提取的黄酮化合物具有显著的总抗氧化能力、清除超氧阴离子和羟自由基的能力以及铁螯合能力,且能明显的降低MC3T3-E1细胞中活性氧(ROS)和丙二醛(MDA)的水平( $P < 0.01$ ),同时增加过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活力( $P < 0.01$ )。Liu等<sup>[8]</sup>从玉米穗丝中提取到2种黄酮类化合物:异东方蓼黄素-2-O- $\alpha$ -L鼠李糖苷和3'-metoxymaysin,这2种物质均表现出显著的总抗氧化能力、DPPH自由基清除能力、还原能力和铁螯合能力。

### 1.2 保护细胞遗传物质

在生物体的诸多生物活性分子中,脱氧核糖核酸(DNA)是一类重要的大分子,它具有传递遗传信息、启动细胞分裂及控制蛋白质(包括酶)生物合成等极为重要的生理功能,而活体组织中的遗传物质是辐射损伤的重要靶标<sup>[9]</sup>。电离辐射时生成大量高度活泼的自由基、与DNA和RNA等遗传物质发

生共价结合,从而造成DNA损伤,如引起DNA分子的单链、双链断裂,基因突变,细胞转化和凋亡等<sup>[10]</sup>。放射生物学效应很多是通过DNA的损伤表现出来的,因此保护细胞DNA不受射线损伤是抗辐射研究的重要内容之一。

Devi等<sup>[11]</sup>从唇形科罗勒属下的圣罗勒(*Ocimum tenuiflorum*)中分离得到两种黄酮化合物:荜草苷和芹菜素,实验小鼠辐照前给药,发现这两种黄酮类化合物均可显著降低染色体畸变率,保护细胞遗传物质,且均表现出极低的口服毒性作用。

陈逸青等<sup>[12]</sup>使用单细胞凝胶电泳技术(SCGE)研究淫羊藿总黄酮(TFE)对丝裂霉素C造成的小鼠骨髓细胞DNA损伤的保护作用,发现淫羊藿总黄酮对丝裂霉素C诱发的小鼠骨髓淋巴细胞DNA损伤具有较好的保护作用。实验使用50只昆明种小鼠,随机分为正常对照组模型组和TFE高中低3个剂量组灌胃[TFE 160、80、40 mg/(kg·d)],分别灌胃给予生理盐水或药物进行灌胃,连续用药7d,在第6d除正常对照组腹腔注射生理盐水外,其余各组均腹腔注射丝裂霉素C(MMC 2 mg/kg),末次给药后2h,处死小鼠,取出骨髓细胞进行单细胞凝胶电泳试验,比较各组慧星细胞百分比和慧星尾巴长度,观察TFE对小鼠骨髓淋巴细胞的DNA损伤的防护作用。实验结果表明,淫羊藿总黄酮(TFE)可以显著拮抗丝裂霉素C所致小鼠骨髓细胞的DNA损伤,表现为慧星细胞百分比的降低和慧星尾巴长度的缩短,并有显著的量效关系。

### 1.3 增强机体免疫功能

机体免疫系统是辐射损伤的敏感部位,免疫细胞以及脾脏、胸腺等参与免疫调节的脏器是高辐射敏感的细胞群。机体特异性及非特异性免疫功能的下降必然会引发其他系统功能紊乱,导致机体出现感染、出血等症状,诱发多种放射病。因此,提高机体免疫功能是抗辐射的重要途径。研究表明,黄酮类化合物能显著增强机体的非特异免疫及特异性免疫功能。

Qi等<sup>[13]</sup>在研究中发现,以沙苑子黄酮提取物灌胃小鼠,能显著提高辐照小鼠的胸腺指数( $P < 0.01$ ),且发现T细胞和B细胞的增殖能力也显著增强( $P < 0.05$ ),说明沙苑子黄酮对免疫器官辐射损伤具有一定保护作用,并对脾淋巴细胞增殖有一定促进作用。

## 1.4 提升造血组织活力

造血组织也是辐射损伤的高敏感部位,射线对于造血系统的损伤主要是抑制或破坏造血干细胞,常造成骨髓抑制、微循环障碍、白细胞下降等造血微环境破坏。有研究者利用辐射损伤模型小鼠研究柚皮苷对骨髓细胞的保护作用,表明服用柚皮苷的小鼠不正常染色体数明显下降,说明柚皮苷可在细胞增殖过程中通过抑制基因突变来保护小鼠的骨髓细胞<sup>[14]</sup>。

Yang等<sup>[15]</sup>通过对黄芩黄酮的研究发现其能降低辐射对小鼠外周血白细胞的损伤,促进<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线损伤小鼠外周血白细胞的恢复,同时,高剂量黄芩黄酮还能明显提高受照射小鼠脾脏脏指数,增加脾脏表面脾结节数,促进放射损伤后造血重建。

## 2 黄酮类辐射防护剂的研发现状

黄酮类化合物包括黄酮、黄酮醇、黄烷醇、异黄酮、双氢黄酮、双氢黄酮醇、噢弄、黄烷酮、花色素、查耳酮、新黄酮等,因其在食品工业中应用广泛,并具有良好的辐射防护作用,成为近年来的研究热点<sup>[16]</sup>。很多研究发现自然界中多种黄酮类物质如沙苑子黄酮、银杏叶黄酮、蜂胶总黄酮、大豆异黄酮、染料木黄酮、原花青素、橙皮苷、槲皮素、荜草苷、芹菜素等均具有明显的抗辐射作用<sup>[17-19]</sup>。针对目前黄酮类化合物抗辐射作用的研究报道,根据黄酮的植物来源和结构特点分述如下。

### 2.1 大豆异黄酮

房岩等<sup>[20]</sup>研究表明,大豆异黄酮可不同程度地加速小白鼠外周血红细胞、白细胞和血小板数量的恢复,表明大豆异黄酮具有明显的抗辐射作用。宋立华等也研究了大豆异黄酮对<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线照射后小鼠生长和外周血象的影响,试验结果表明大豆异黄酮对辐照小鼠的造血系统有一定的保护效果,中剂量(100 mg/kg)效果较好,且可预防辐射对生长发育的不良影响。大豆异黄酮抗辐射损伤的机理主要有以下几个方面:抗氧化作用,抑制膜的脂质过氧化,抑制细胞凋亡,调节细胞基因表达<sup>[21]</sup>。此外,染料木黄酮是大豆异黄酮的主要成分之一,因其具有广泛的生物活性而受到普遍关注,有关染料木黄酮的报道也很多,研究也比较深入。染料木黄酮对辐射作用的影响非常复杂,作用机制可能是通过清除自由基和抗氧化、调控信号转导和基因表达、调节细胞周期和细胞的增殖分化、抑制细胞的凋亡

等<sup>[22,23]</sup>。

贾海泉等<sup>[24]</sup>研究了大豆异黄酮对辐射小鼠免疫功能的防护作用。使用96只雄性昆明小鼠,随机分为正常对照组、辐射对照组和实验组(饲料中添加0.5%大豆异黄酮),喂养2周后,辐射对照组及实验组给与一次性的4Gy<sup>137</sup>Cs- $\gamma$ 辐射。辐射后24h和3d分批进行小鼠吞噬功能、耳廓肿胀率、血清溶血素值和免疫球蛋白水平检测。实验发现,辐射后小鼠的巨噬细胞吞噬功能(校正廓清指数:4.07 $\pm$ 1.13)、耳廓肿胀率[(67.69 $\pm$ 32.23)%]、血清溶血素水平[HC<sub>50</sub>:(1.94 $\pm$ 0.81)]均明显低于正常对照组[(5.6 $\pm$ 0.99)、(97.55 $\pm$ 30.30)%、(56.71 $\pm$ 17.64)], $P < 0.05$ 。而补充大豆异黄酮使小鼠的巨噬细胞吞噬功能(校正廓清指数:4.39 $\pm$ 1.17)和血清溶血素水平[HC<sub>50</sub>:(3.18 $\pm$ 1.64)]明显高于辐射对照组( $P < 0.05$ ),结果表明大豆异黄酮对辐射小鼠的免疫功能损伤有一定的防护作用。

### 2.2 银杏黄酮

李德远等<sup>[25]</sup>以碱性水提取法,从银杏叶中分离出总黄酮(GBF),调配成低剂量(10 mg/100 mL)、中剂量(20 mg/100 mL)、高剂量(100 mg/100 mL)水溶液,分别给小鼠灌胃,10 d后,以总剂量8.5 Gy<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线整体辐射,再灌10 d,观察30 d存活率。另取小鼠,分六组(低、中、高GBF剂量组,辐射对照组,正常对照组,及环磷酰胺组),分别灌胃低、中、高剂量的GBF水溶液,另三组灌胃蒸馏水,连续11 d后,低、中、高剂量GBF组及辐射对照组以总剂量1.0 Gy  $\gamma$ 射线照射,再灌胃7 d,第21 d测小鼠骨髓微核率及精子畸变率及淋巴细胞转化率。结果:低、中、高剂量GBF水溶液可分别提高辐射小鼠存活率31.7%、25.3%和26.5% ( $P < 0.05$ ),低剂量GBF使淋巴细胞转化率显著提高( $P < 0.01$ ),骨髓微核率及精子畸变率有一定程度降低。研究证明,银杏黄酮能显著提高辐射小鼠的存活率和平均存活时间,低剂量时(10 mg/100 mL)即有较强的抗辐射作用,其作用机理与提高小鼠免疫力有关;同时,银杏黄酮具有抗氧化、抗自由基等作用。

金虹等<sup>[26]</sup>采用健康小鼠作为试验对象,用银杏叶提取物灌胃给药,<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线作为辐射源建立小鼠辐射损伤模型,眼眶取血计数外周血白细胞和淋巴细胞数,取肝组织测定其蛋白质、MDA含量及SOD、GSH活性。发现银杏叶提取物能减轻辐射小鼠白细胞、淋巴细胞数量,减轻辐射对肝脏合成功能

的损伤,增加 SOD、GSH 活性。

目前银杏叶对辐射引起的机体造血系统、免疫系统损伤以及 DNA 损伤防已被大量研究证实<sup>[27]</sup>。

### 2.3 竹叶黄酮

浙江大学核物理学专业徐兵硕士的论文研究表明,竹叶黄酮与银杏黄酮相似,具有极强的清除自由基活性并可有效降低辐照损伤<sup>[28]</sup>。当试验浓度为 1.25 mg/mL 时,竹叶黄酮与银杏黄酮的荧光强度抑制率分别为 81.4% 和 82.1%, $IC_{50}$  均为 0.5 mg/mL; 在 0~20 Gy 的<sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线照射剂量下,试样浓度在 20~160  $\mu$ g/mL 之间的竹叶黄酮和银杏黄酮均表现出对 DNA 辐射损伤的保护作用,其机制与保护造血系统和免疫系统、清除自由基、抗氧化、防止 DNA 损伤等作用有关。

笔者指导的浙江大学近期博士论文<sup>[29]</sup>研究表明,从黄条金刚竹最佳活性部位(PLE-EP)中分离制备得到了 kurilensin A 的单体,是一种木犀草素糖苷[木犀草素 6-C- $\alpha$ -阿拉伯呋喃糖基(1 $\rightarrow$ 2)- $\alpha$ -L-吡喃鼠李糖苷],对  $\gamma$ -射线造成的 DNA 辐射损伤具有显著的防护作用,当试样浓度为 100  $\mu$ g/mL 时,对质粒 DNA 辐照损伤的抑制率达到 75.0%;并采用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐射损伤小鼠模型,比较了 PLE-EP 与目前市售的竹叶黄酮制剂(BLF-d24)对小鼠辐射损伤的防护能力。结果显示,两者在 200 mg/kgBW·d 的给药剂量下均可提高 7 Gy 辐照剂量小鼠的 30 d 存活率,保护指数均为 1.44。5 Gy 辐照剂量可导致小鼠外周血象不同程度的变化,灌胃不同剂量的 PLE-EP(100、200、400 mg/kg·d)和 BLF-d24(200 mg/kg·d)可浓度依赖地减缓辐照小鼠血液中白细胞、红细胞、血小板和血红蛋白的下降幅度,特别是给药 3 周后,表现出显著的升白作用( $P < 0.05$ );与辐照对照组比较,高剂量(400 mg/kg·d) PLE-EP 能使辐照小鼠的骨髓有核细胞数恢复至正常水平,骨髓嗜多染红细胞微核率显著下降( $P < 0.05$ )。同时 PLE-EP 和 BLF-d24 均可显著提高辐照小鼠血清、肝脏、脾脏和胸腺组织中 SOD、GSH-Px、CAT 等抗氧化酶的活性,降低 MDA、LPO、LF 等氧化产物含量,具有增强小鼠抗氧化体系的功能,并对辐照引起的肝脏、胸腺和脾脏等脏器的损伤有不同程度的防护作用。综合评价,PLE-EP 和 BLF-d24 的辐射防护效果相当,竹叶黄酮具有优异的辐射防护作用。

Devi 等<sup>[11]</sup>曾从圣罗勒中分离得到了荜草苷,在小鼠辐照前给药可以显著降低染色体的畸变率,其

防护效果与氨磷汀(美国 FDA 批准的第一个抗辐射药物)相当。来源于刚竹属的竹叶黄酮主要为碳苷黄酮,荜草苷和异荜草苷就是竹叶黄酮的特征性化合物。

Zielińska *et al*<sup>[30]</sup>从竹叶黄酮中分离得到荜草苷、异荜草苷、牡荆苷、异牡荆苷 4 种碳苷黄酮,研究证明具有较强的清除 DPPH、ABTS 和  $O_2^{\cdot-}$  自由基能力。

### 2.4 黄芪黄酮

杨映雪等<sup>[31]</sup>通过黄芪总黄酮(Total flavonoids of astragalus, TFA),研究其对<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线损伤小鼠的防护作用。采用大剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线一次性全身照射雌性昆明种小鼠制成放射损伤动物模型小鼠。在照射前 3 d 及照射后,以不同剂量的 TFA 连续灌胃 14 d,观察受致死剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线照射的小鼠 30 d 存活率及生存时间;同时,检测低剂量照射组小鼠用药后的体重、外周血指标、脾脏指数等变化,用 HE 染色观察脾脏的病理学改变。结果显示,TFA 不仅能明显延长辐射损伤小鼠的平均存活天数,提高小鼠 30d 存活率( $P < 0.05$ );而且能显著降低辐射损伤小鼠外周血白细胞的下降幅度缩短其恢复所需时间( $P < 0.05$ );同时,TFA 还能促进小鼠脾脏指数的恢复,减轻辐射对小鼠脾脏的损伤,促进造血灶增生,加快造血功能恢复。证明 TFA 具有较强的抗辐射作用,能显著提高照射小鼠的存活率,降低辐射对小鼠外周血 WBC 和 PLT 及脾脏的损伤作用。

Yang 等<sup>[32]</sup>研究膜荚黄芪对于小鼠的抗紫外线作用,结果表明,腹腔注射膜荚黄芪或者黄芩注射液的小鼠成活期比紫外线辐射组长,减弱了寄生虫对机体的负担,提高了肝细胞指数,增强了细胞免疫能力

### 2.5 啤酒花黄酮

郭鑫磊<sup>[33]</sup>通过对啤酒花总黄酮抗辐射活性的小鼠动物试验结果表明,中、高剂量(200 mg/kg、400 mg/kg)啤酒花总黄酮对小鼠免疫系统有保护作用。啤酒花总黄酮试验组(加药组)小鼠白细胞数量达到 $(1.81 \pm 0.96) \times 10^9/L$ ,对红细胞的微核变异率 $(11.23 \pm 3.92)\%$ ,对小鼠脾系数的影响 $(2.13 \pm 0.59) mg/g$ ,对胸腺组织重量影响 $(1.70 \pm 0.25) mg/g$ 。结果表明,啤酒花总黄酮试验组小鼠皆与空白组正常小鼠最为接近。此外,啤酒花黄酮对小鼠肝、脾、胸腺中 SOD、CAT、GSH-Px 活力均起到了保护作用,对小鼠肝、脾、胸腺中 MDA 含量有降低作用。

## 2.6 鱼腥草黄酮

鱼腥草 (*Herba houttuyniae*) 为三白草科植物蕺菜 (*Houttuynia cordata* Thunb.) 的干燥地上部分, 主要含有黄酮类化合物、挥发油、有机酸及脂肪酸等成分, 具有清热解毒排脓消痈利尿通淋的功能。包俊等<sup>[34]</sup>利用鱼腥草醇提取的总黄酮对小鼠灌胃, 利用<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线照射。结果表明, 高中低3个剂量组(0.50、1.00、2.00 g/kg)的白细胞和淋巴细胞数目均高于辐射对照组, 且在剂量范围内有比较明显的量效关系, 此外鱼腥草总黄酮对辐照小鼠体重的恢复有一定的促进作用。

## 2.7 原花青素

原花青素除具有抗脂质过氧化和清除自由基、保护心血管和预防高血压、抗肿瘤、抗衰老等作用<sup>[35]</sup>, 除此之外还具有抗辐射作用。

张倩等<sup>[36]</sup>使用原花青素, 研究其对辐射损伤的保护作用。将受试小鼠随机分为正常组, 辐射对照组, 原花青素分高(0.3g/kg·d)、中(0.15g/kg·d)、低(0.075g/kg·d)三个剂量组, 连续给药14d后, 除正常组外, 其他各组均用4 Gy <sup>137</sup>Cs- $\gamma$ 射线进行一次全身照射, 照射后仍然给予受试物。分别检测小鼠的脾脏指数和胸腺指数、外周血白细胞数、骨髓DNA含量和骨髓细胞微核率。结果显示, 原花青素能明显增加经一次射线全身照射后小鼠的脾脏指数和外周血白细胞总数, 降低骨髓细胞微核发生率, 提高骨髓细胞DNA含量, 表明原花青素对小鼠辐射损伤具有辅助保护作用。

## 3 生物黄酮作为抗辐射功能食品的开发前景

随着核能和核技术广泛应用于能源、医疗、军事、食品加工和农业育种等国防和民生的方方面面, 辐射的防护问题日益突出。除了核辐射以外, 生活中还存在着其他许多辐射源, 如微波炉、手机、电脑及其他家用电器等。人体遭受过量辐射可能导致疲劳、头昏、失眠等, 重则还会增加癌症、畸变、遗传性病变的发生率。化学与生物类辐射防护药物尽管拥有很好的抗辐射作用, 但存在毒性大、不良反应多等多方面的局限性<sup>[37]</sup>, 人们迫切希望能开发出低毒、乃至无毒, 可用于防护辐射损伤的天然药物或功能性食品。鉴于电离辐射对机体的损伤主要集中在骨髓抑制、造血系统功能障碍以及机体免疫功能降低等方面, 生物黄酮因具有来源广、安全性高的特点及

优势已成为近年来辐射防护领域的研究和产品开发热点<sup>[38]</sup>。

在国家食品药品监督管理局发布的保健食品名录上, 迄今共审批通过87款抗辐射保健食品, 其中有14款产品是以黄酮类化合物作为抗辐射功能因子, 包括: 生命健牌康福宁片、菊灵牌抗辐射胶囊、瞳神牌轻亮胶囊、名申牌强生胶囊、天狮牌参原蜂胶片、神兴牌沙棘天宝软胶囊、天三奇牌天福奇胶囊、知源牌奥康胶囊、恒源康牌天服康片、放华宝复圆胶囊、美东牌网友含片、仁和<sup>R</sup>越橘蜂胶软胶囊、昂立明视胶囊、中研苑牌肝祺片。这14款产品中, 大部分是将黄酮类化合物为基础进行复配增效的。

除了民用产品以外, 军用特膳食品对辐射防护功能的要求更高, 需求也更为迫切。我国丰富的植物资源及其中蕴含的生物黄酮在抗辐射功能食品领域具有十分广阔的应用前景。

## 参考文献

- Ding GR(丁桂荣), Guo GZ(郭国祯). Research of anti-radiation injury. *J Radiat Res Radiat Proc* (辐射研究与辐射工艺学报), 2007, 25: 321-324.
- Kouvaris JR, et al. Amifostine: the first selective-target and broad-spectrum radioprotector. *Oncologist*, 2007, 12: 738-747.
- Wang QB(王庆宾), et al. Progression anti-radiation natural medicines. *J Pharm Prac* (药学实践杂志), 2012, 3: 171-174.
- Guo J(郭娟). Protection effects of salvianic acid A against radiation and its mechanisms. Xi'an: The Fourth Military Medical University (第四军医大学), PhD. 2012.
- Kanimozhi G, et al. Umbelliferone modulates gamma-radiation induced reactive oxygen species generation and subsequent oxidative damage in human blood lymphocytes. *Eu J Pharmacol*, 2011, 672: 20-29.
- Wang CD(王崇道), Qiang YZ(强亦忠). Study on ionizing radiation damage caused by free radicals and free radical scavengers on the body. *Chin J Radiol Med Prot* (中华放射医学与防护杂志), 2002, 06: 80-82.
- Verma AR, et al. In vitro and in vivo antioxidant properties and DNA damage protective activity of green fruit of *Ficus glomerata*. *Food Chem Toxicol*, 2010, 48: 704-709.
- Liu JB, et al. The antioxidant and free radical scavenging activities of extract and fractions from corn silk (*Zea mays* L.) and related flavone glycosides. *Food Chem*, 2011, 126: 261-269.
- Pachkowski BF, et al. DNA repair during in utero develop-

- ment; A review of the current state of knowledge, research needs, and potential application in risk assessment. *Mutat Res-Rev Mutat*, 2011, 728(1-2): 35-46.
- 10 Pujari G, *et al.* The influence of reduced glutathione on chromosome damage induced by X-rays or heavy ion beams of different LETs and on the interaction of DNA lesions induced by radiations and bleomycin. *Mutat Res-Gen Tox En*, 2010, 696: 154-159.
  - 11 Devi PU, *et al.* A comparative study of radioprotection by Ocimum flavonoids and synthetic aminothiols protectors in the mouse. *Br J Radiol*, 1998, 71: 782-784.
  - 12 Chen YQ(陈逸青), *et al.* Protective effect of total flavonoids of Epimedium on bone marrow cells induced by mitomycin DNA damage in mice. *J Toxicol* (毒理学杂志), 2010, 3: 222-224.
  - 13 Qi L, *et al.* Protective effect of flavonoids from *Astragalus complanatus* on radiation induced damages in mice. *Fitoterapia*, 2011, 82: 383-392.
  - 14 Jagetia GC, Reddy TK. The grapefruit flavanone naringin protects against the radiation-induced genomic instability in the mice bone marrow: micronucleus study. *Mutat Res-Gen Tox En*, 2002, 519: 37-48.
  - 15 Yang YX, Chen JY. Research on the radioprotective effect of total astragalus flavonoids on the irradiated mice. *J Chongqing Med Univ*, 2010, 35: 504-507.
  - 16 Yao LH, *et al.* Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Food Hum Nutr*, 2004, 59: 113-122.
  - 17 Kalpana KB, *et al.* Evaluating the radioprotective effect of hesperidin in the liver of Swiss albino mice. *Eu J Pharmacol*, 2011, 658: 206-212.
  - 18 Dixit AK, *et al.* Antioxidant potential and radioprotective effect of soys isoflavone against gamma irradiation induced oxidative stress. *J Funct Foods*, 2012, 4: 197-206.
  - 19 Begum N, Prasad NR. Apigenin, a dietary antioxidant modulates gamma radiation-induced oxidative damages in human peripheral blood lymphocytes. *Biomed Prevent Nutri*, 2012, 2: 16-24.
  - 20 Fang Y(房岩), *et al.* Research on the anti radiation effect of soybean isoflavones on rats. *Agric Technol* (农业与技术), 2006, 26: 105-107.
  - 21 Shyong EQ, *et al.* Effects of the 1022 isoflavone 4,5,7-trihydroxy isoflavone (genistein) on psoralen plus ultraviolet A radiation (PUVA)-induced photodamage. *Carcinogenesis*, 2002, 23: 317-321.
  - 22 Wu JQ(吴健全). Research progress on the anti radiation effect of Genistein. *Chin Prev Med* (中国预防医学杂志), 2003, 4: 311-313.
  - 23 Shen YL(申玉莉). The radioprotective mechanism of genistein against X-rays induced oxidative damage in HUVEC cells. Wuhan: Hubei University of Chinese Medicine (湖北中医药大学), MSc. 2013.
  - 24 Jia HQ(贾海泉), *et al.* Protective effect of soybean isoflavone on immune function of irradiated mice. *J Prev Med Chin PLA* (解放军预防医学杂志), 2011, 6: 402-404.
  - 25 Li DY(李德远), *et al.* Study on the radioprotective effect of flavonoids from *Ginkgo biloba* leaves. *Acta Nutri Sin* (营养学报), 2004, 26: 220-222.
  - 26 Jin H(金虹), *et al.* Experimental study on the radioprotective effect of ginkgo biloba extract. Chinese Pharmaceutical Association(中国药学会), Tianjin People's Government(天津市人民政府). 2010 China pharmaceutical Congress and the tenth session of the Chinese pharmacist week proceedings (2010年中国药学会暨第十届中国药师周论文集), Chinese Pharmaceutical Association(中国药学会), Tianjin People's Government(天津市人民政府), 2010. 9.
  - 27 Cavusoglu K. Radioprotective effect of *Ginkgo biloba* against gamma radiation-induced chromosomal aberrations in human lymphocytes *in vitro*. *Fresen Environ Bull*, 2010, 19: 243-247.
  - 28 Xu B(徐兵). Studies on protective effects of natural antioxidants on DNA damage and their molecular radiobiology mechanism. Hangzhou: Zhejiang University (浙江大学), MSc. 2001.
  - 29 Ni QX(倪勤学). Study on the effective components of *Pleio-blastus kongosensis f. aureostriatus* leaf and its effect on radioprotection. Hangzhou: Zhejiang University (浙江大学), PhD. 2013.
  - 30 Zielińska D, Zieliński H. Antioxidant activity of flavone C-glucosides determined by updated analytical strategies. *Food Chem*, 2011, 124: 672-678.
  - 31 Yang YX(杨映雪), *et al.* Research on the radioprotective effect of total astragalus flavonoids on the irradiated mice. *J Med Univ Chongqing* (重庆医科大学学报), 2010, 4: 504-507.
  - 32 Yang X, *et al.* Evaluation of the adjuvant properties of *Astragalus membranaceus* and *Scutellaria baicalensis* GEORGI in the immune protection induced by UV-attenuated *Toxoplasma gondii* in mouse models. *Vaccine*, 2010, 28: 737.
  - 33 Guo XL(郭鑫磊). Study on extraction of flavonoids from *Humulus lupulus* L. and its antiradiation effect. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology (天津科技大学), MSc. 2010.