

中药组分对正常组织的辐射防护作用

翟光胜, 刘瑾, 李文辉, 朱兆峰

中图分类号: R818 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2007)03-0366-03

随着科学技术的发展, 越来越多的人受到电离辐射, 对人体组织器官造成不同程度的危害。恶性肿瘤患者是经常接触射线、受辐射危害较重的特殊人群。射线在治疗肿瘤的同时也造成患者皮肤粘膜、免疫、造血和生殖等系统的损害, 产生不同程度的副反应, 甚至癌变、死亡等。因此寻找开发辐射防护剂日益受到重视, 并发现了很多有效辐射防护化合物, 如细胞蛋白酶抑制剂、激素和氨基酸化合物等。目前 WR-2721^[1] 仍被认为是最有效的辐射防护剂, 能保护正常组织, 而对肿瘤组织无保护作用, 但由于毒副作用大限制了应用。从化学合成物中筛选新药的命中率低、周期长、毒副作用大, 为寻找廉价、高效低毒的辐射防护剂, 人们将更多目光投向天然药物, 尤其活性成分受到更多重视。研究表明, 中药组分多糖、皂甙、多酚、香豆素类等均有显著的抗辐射作用。为了便于查阅、分析、研究, 笔者将多年来发现的有辐射防护作用的天然药物组予以综述。

1 辐射损伤特点和中药辐射防护作用机制

基金项目: 云南省自然科学基金项目 (2003Q0008R)

作者单位: 昆明医学院第三附属医院放疗科, 云南 昆明 650031

作者简介: 翟光胜 (1976~), 男, 山东泰安人, 硕士, 研究方向: 放射治疗。

辐射直接作用于 DNA 蛋白质及酶类, 引起分子变性和细胞结构破坏; 作用于机体内水分子, 使其电离和激发, 产生大量自由基, 间接使组织细胞变性、坏死, 最终引起免疫、造血、神经和内分泌等系统的损害, 而辐射防护剂主要针对上述机制发挥辐射防护作用。

1.1 清除自由基 人体 80% 由水组成, 辐射引起水辐解反应, 产生大量自由基, 主要有 $\cdot\text{OH}$ 、 eaq^- 、 O_2^- 、 H_2O_2 、 $\text{HO}_2^{[2]}$, 其中又以 $\cdot\text{OH}$ 最重要。自由基是辐射产生的主要有毒物质, 间接损伤主要由自由基引起, 因此, 清除自由基是抗辐射的一个重要方面。研究显示许多天然药物能清除辐射产生的自由基, 消除辐射的间接作用以防止其对机体的损伤。如茶多酚^[3] 能清除自由基, 提高辐射小鼠生存率, 有辐射防护作用。

1.2 保护 DNA DNA 是辐射作用最基本的靶分子, 放射生物学效应很多通过 DNA 损伤表现出来。DNA 受辐射的直接攻击, 也受放射所致自由基的间接攻击, 引起 DNA 链断裂、基因突变、染色体重组、细胞转化和死亡。降低辐射对 DNA 的损伤是辐射防护研究的重要内容。许多中药组分对 DNA 有一定的保护作用, 其中研究比较详尽的首推 GTP。研究显示, GTP 可直接竞争辐射能量, 提高 DNA 分子或染色体的辐射抗性, 主要是通过清除自由基实现对 DNA 的防护作用。樊黎生等^[4] 研

[12] 张英珊, 我国成年人的某些生理参数 [A], 中国核学会辐射防护学会第一次学术会议论文选编 [C], 北京, 原子能出版社, 1982: 32
[13] 王继先, 陈如松主编. 中国参考人解剖生理和代谢数据 [J]. 北京: 原子能出版社, 1998
[14] 诸洪达, 王继先, 陈如松, 等. 中国人元素食品浓度和膳食摄入量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(6): 373-379
[15] 诸洪达, 陈如松, 王继先, 等. 31 例中国人主要器官组织中 42 种元素浓度和含量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001, 21(1): 1-8
[16] 诸洪达. 中国人器官组织中天然放射性含量及与膳食摄入量的关系 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22(2): 134-136
[17] 诸洪达. 元素研究在辐射防护领域中的应用和现状 [J]. 国外医学放射医学核医学分册, 2001, 25(4): 173-178
[18] 诸洪达, 刘庆芬, 陈如松. 我国成年男子 ^{40}K 所致内照射剂量估算 [J]. 辐射防护通讯, 2002, 22(4): 34-37
[19] 诸洪达, 欧阳荔, 张永保, 等. 中国人镉系元素膳食摄入量 and 主要器官、组织负荷量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(1): 1-5
[20] 诸洪达, 张永保, 王松君, 等. 52 例中国人主要器官组织中 37 种元素浓度 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(3): 211-216
[21] 诸洪达, 张永保, 王松君, 等. 52 例中国人主要器官组织中 37 种元素的负荷量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(4): 304-307
[22] 诸洪达, 刘庆芬. 中国成年男子摄入原生放射性核素所致内照射剂量估算 [J]. 辐射防护, 2005, 25(2): 91-101

[23] ZHU HONG DA, LIU QING FEN. Estimation of internal dose from natural radionuclides for Chinese adult man (Oral Presentation) [A], Presented in the First Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection (AOCRP-1) in Seoul [C], Korea from October 20 ~ 24, 2002. In: Program & Abstracts: 73
[24] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子器官、组织中元素浓度研究 [J]. 辐射防护, 2007, 27(3): 129-140
[25] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子器官、组织中元素浓度研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(4): 47-56
[26] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子器官、组织和全身元素负荷量研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(4): 56-62
[27] 诸洪达. 中国成年男子同体全血与尿样中元素含量及其关系和尿日排出量 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(4): 63-67
[28] 诸洪达, 王京宇, 武权, 等. 中国成年男子膳食、器官组织和尿中元素含量研究辐射防护应用 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007, 27(4): 67-71
[29] ZHU HONG DA, JUBG YU WANG, WU QUAN, et al. Elemental contents in organs and tissues of Chinese adult men [J]. Chinese Medical Sciences Journal, 2007, (2): 71-82
[30] UNITED NATIONS. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly with scientific annexes [R]. Volume 1: Sources. United Nations sales publication E.00.X.3. United Nations, New York, 2000

(收稿日期: 2007-04-18)

究发现黑木耳多糖灌胃可以明显提高 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射小鼠的存活率和存活时间,促进白细胞恢复,降低骨髓微核率和精子畸变率,具有很好的辐射防护作用,与其清除自由基、保护DNA从而保护造血组织和免疫功能有关。

1.3 保护造血、血液系统 造血组织是高辐射敏感组织,各干、祖细胞是辐射攻击的主要靶细胞,辐射后出现形态变化最早的就是造血、血液系统。辐射主要抑制、破坏造血干细胞和增殖池细胞的增殖能力,造血功能低下或衰竭,白细胞、红细胞和血小板数明显减少,从而诱发感染、贫血、出血等并发症,因而造血、血液系统辐射损伤的防治是放射病治疗的中心环节。许多天然药物可保护造血和血液系统,如杨梅多酚能提高受照小鼠外周血细胞计数、骨髓有核细胞数及核分裂指数,减轻造血、血液系统损伤,增强造血功能,提高机体抗辐射能力。

1.4 保护免疫系统 免疫功能改变是放射损伤的主要表现之一。免疫系统对辐射高度敏感,其中T淋巴细胞敏感性最高。机体由于辐射损伤产生免疫功能紊乱,表现为免疫活性细胞数量减少,抗体形成抑制或紊乱,细胞因子网络调节失常,长期免疫功能障碍使机体对细菌、病毒等病原体高度敏感,加重病情,导致早衰和死亡,因而免疫系统辐射损伤的防治是放射病治疗的关键环节。许多天然药物对免疫系统辐射损伤有防护作用,如人参提取物^[5]可诱导、促进正常和辐射损伤小鼠脾细胞IFN- γ 、Th1和Th2细胞因子mRNA的表达,从而恢复T细胞免疫功能;刘志辉等^[6]观察海藻多糖对辐射小鼠免疫功能的影响,结果海藻多糖处理组小鼠胸腺细胞自发掺入 ^3H -TdR值、脾细胞对ConA(刀豆蛋白A)及LPS(脂多糖)的增殖反应、脾混合淋巴细胞反应均较照射对照组明显增强($P<0.05$)且与海藻多糖的剂量增加呈正相关,说明海藻多糖对免疫功能有辐射防护作用。

2 中药组分对辐射损伤的防护作用

中药组分主要通过上述多种机制发挥辐射防护作用。

2.1 多糖类 多糖类是研究最多效果最好的具有辐射防护作用的中药组分。洪艳^[7]研究了当归多糖对放射损伤小鼠造血功能和红细胞免疫功能的保护作用,结果显示照射对照组红细胞C3b受体花环率和外周血白细胞、血小板明显低于正常对照组,而当归多糖治疗组显著高于照射对照组。说的当归多糖对小鼠造血功能和红细胞免疫功能有辐射防护作用,其机制上提高了红细胞膜上的C3b受体,保护和提高红细胞免疫系统的作用。孙元琳^[8]等研究发现当归多糖灌胃可使辐射小鼠的白细胞及淋巴细胞数目显著高于对照组,对辐射小鼠有良好的防护作用;王宗伟等^[9]研究了芦荟多糖对受 γ -射线照射小鼠的防护作用,发现芦荟多糖能显著提高辐射小鼠外周血红细胞、白细胞和血小板数量,有辐射防护作用;另外青牛胆多糖^[10]、人参多糖^[11]、黄精多糖、南沙参多糖、香菇多糖、猪苓多糖、黄蘑多糖等都经试验证实有不同程度的辐射防护作用。

2.2 甙类对辐射损伤的防护作用 陈月等^[12]探讨刺五加皂苷对X射线照射小鼠辐射损伤的作用,发现刺五加皂苷灌胃组小鼠胸腺指数、淋巴细胞刺激指数、血清SOD和GPx(谷胱甘肽过氧化物酶)活性均高于对照组,差异均有显著性($P<0.05$),说明刺五加皂苷有一定的抗辐射和抗氧化作用,可减轻X射线对小鼠免疫功能损伤,刺激造血系统功能,还可以提高淋巴细胞转化率;刘丽波等^[13]报道人参三醇组甙能显著降低不同照射剂量所诱发的小鼠骨髓细胞染色体畸变和畸变细胞率,具有明显的抗辐射作用,考虑机制为抗自由基作用;另外西洋人参皂甙、黄芪甙、肉苁蓉总甙、人参皂苷都经试验证实有较好的辐射防护作用。

2.3 生物碱对辐射损伤的防护作用 苦豆子总碱是从苦豆子植物中分离提取的生物活性成分,梁莉^[14]等研究其对小鼠急性辐射损伤的作用,发现小鼠经 ^{60}Co - γ 射线照射后,30d存

活率下降,生存时间缩短,外周血白细胞、血小板和网织红细胞数均不同程度地降低,脾脏及胸腺萎缩,重量减轻,骨髓嗜多染红细胞微核率增加,而苦豆子总碱可改善受照小鼠的上述损伤,对辐射损伤小鼠具有保护作用;朱砚萍等^[15]研究川芎嗪对辐射小鼠骨髓造血系统的防护作用,结果显示川芎嗪能抑制血浆 $\text{TGF}\beta_1$ 的过度表达、减轻放疗后弥散功能的恶化程度,增强辐射小鼠骨髓中黏附分子的表达、促进造血细胞和造血微环境的修复,有良好的辐射防护作用;另外壳糖胺、盐酸小檗胺和骆驼蓬碱等对小鼠也有辐射防护作用。

2.4 多酚对辐射损伤的防护作用 刘玉娟^[16]研究葡萄多酚对外周血淋巴细胞辐射损伤的防护作用,发现葡萄多酚能显著降低辐射小鼠DNA损伤程度、微核率和MDA水平,对DNA和染色体有辐射防护作用,其机制可能与降低辐射所致的脂质过氧化和自由基损伤有关。栗世如等通过检测 ^{60}Co - γ 射线辐射小鼠白细胞和脾细胞DNA含量探讨葡萄多酚对放射性DNA损伤的防护作用,结果显示葡萄多酚组小鼠脾细胞DNA含量、白细胞数显著高于对照组,对DNA有良好辐射防护作用,且有助于DNA的修复,作用高于同剂量的维生素C;吕秋军等^[17]研究白藜芦醇对 ^{60}Co - γ 照射小鼠的保护作用,采用原位末端标记法观察小鼠脾细胞凋亡,流式细胞仪检测脾细胞凋亡率和凋亡相关蛋白的表达水平的方法,同时检测脾细胞内凋亡相关酶的活性,结果显示照射前给予白藜芦醇能明显提高受照射小鼠的存活率,抑制脾细胞凋亡,提高Bcl-2表达水平,使脾细胞内Caspase23和Caspase28活性明显升高,说明白藜芦醇具有明显的辐射防护作用,其作用机理与抑制辐射敏感细胞的凋亡有关;另有试验证实单宁(又名鞣酸)、茶多酚、黄芩酚性甙类等也有辐射防护作用。

2.5 黄酮类的辐射防护作用 房岩等^[18]观察辐射小鼠存活率、外周血象研究大豆异黄酮的抗辐射作用,发现补充大豆异黄酮组辐射小鼠存活率明显高于对照组,照射后的红细胞、白细胞、淋巴细胞及淋巴细胞百分比均明显高于对照组,说明大豆异黄酮对血液和造血系统有保护作用,膳食中补充质量分数0.5%大豆异黄酮可明显提高机体的抗辐射能力;吴健全^[19]等报道染料木黄酮可以延长受照射小鼠存活时间,提高30d存活率,升高血小板、淋巴细胞和脾结节数,降低骨髓嗜多染红细胞微核率,对小鼠有辐射防护作用;李德远等^[20]研究银杏叶黄酮的抗辐射作用,结果显示低剂量银杏叶黄酮(100mg/kg)可提高辐射小鼠存活率和淋巴细胞转化率,降低骨髓微核率及精子畸变率,具有较强的抗辐射作用,其机制与清除自由基、提高小鼠免疫力有关;另有试验证实黄芪总黄酮、懈皮素也有辐射防护作用。

2.6 香豆素类的辐射防护作用 香豆素类作为辐射防护剂属于新剂型,可抑制磷酸二酯酶,使细胞内cAMP浓度增加从而产生辐射防护作用。童曾寿等^[21]研究发现补骨脂素对辐射引起的白细胞降低具有提升作用,可以防止骨髓DNA的照射损伤,提高小鼠存活率;另有试验证实茵陈素可提高受照鼠的脾重、白细胞数、骨髓有核细胞数及内源性脾集落数,对辐射小鼠造血器官及造血功能有良好的保护作用。

2.7 海洋生物的抗辐射作用 扇贝多肽(PCF)是一种我国具有自主知识产权新的海洋活性药物。于爽等^[22]通过建立中波紫外线对体外培养的HaCa细胞辐射损伤病理模型,探讨扇贝多肽对辐射损伤的防护作用,发现扇贝多肽能减少UVB所致HaCa细胞DNA片段的出现,减少Caspase-3的含量,还能提高ERKs的水平,降低MKs及P38的水平,说明扇贝多肽能抑制UVB诱辐射诱导的细胞凋亡,对UVB辐射损伤细胞有保护作用,可能通过调节MAPKs的信号通路和Caspase级联实现。梁军等^[23]研究扇贝多肽对 ^{60}Co - γ 射线诱导的小鼠胸腺细胞凋亡的作用,结果显示经扇贝多肽预处理的实验组细胞有较低的细胞毒性,细胞凋亡受到抑制,细胞MDA降低而SOD活性

维持在正常水平, 结论说明扇贝多肽对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线照射所致小鼠胸腺细胞的损伤有保护作用。另有试验证实扇贝多肽可清除紫外线产生的活性氧, 对紫外线所致无毛小鼠的损伤有保护作用^[24]。

2.8 莲房原花青素 段玉清等^[25]研究莲房原花青素(莲房提取物)对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 致小鼠脏器损伤的影响。结果显示小鼠经过 4.0Gy $^{60}\text{Co}-\gamma$ 一次全身照射后, 莲房原花青素连续灌胃能使小鼠脾脏和胸腺生长指数明显提高, 且与辐射对照组间差异有显著性, 说明莲花原花青素对 4.0Gy $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线亚慢性辐射所致脾脏和胸腺等免疫器官损伤有一定的保护和促恢复作用。

2.9 阿魏酸(川芎等植物中提取) N Rajendra Prasad 等^[26]研究阿魏酸的辐射防护作用, 通过人体淋巴细胞经过培养后给予不同量的 γ 射线照射, 照后测定 MN(微核率)、DC(着丝粒突变率)、GSH、SOD、CAT(过氧化氢)和 GPx 水平作为对照, 照前 30min 给予不同剂量的 FA(阿魏酸)后照射测定上述指标并与对照组比较, 结果显示照前给 FA($1\mu\text{g/ml}$)使 1Gy 照射的淋巴细胞 MA、DC 分别下降 75%、50%, $10\mu\text{g/ml}$ FA 使 4Gy 照射的淋巴细胞 MA、DC 分别下降 45%、25%, 且随着浓度增加 ($1, 5, 10\mu\text{g/ml}$) 不同剂量 ($1, 2, 4\text{Gy}$) 照射的淋巴细胞的 GSH、SOD、CAT、GPx 水平相应提高, 证实 FA 有辐射防护作用。

2.10 其他中药组分 藻蓝蛋白^[27]可刺激辐射小鼠粒单系祖细胞和造血干细胞的形成, 增加骨髓有核细胞数和外周血细胞数, 促进造血功能的恢复, 有辐射防护作用; 鹿胶原和阿胶可调节骨髓造血功能, 对辐射小鼠的白细胞、骨髓有核细胞有辐射防护作用; 莪术提取物榄香烯对淋巴细胞有辐射防护作用; 苹果、绿茶等含有的儿茶素也有辐射防护作用。

3 总结

天然药物组分资源丰富、作用广泛、毒性低、应用方便, 研究、开发天然药物活性成分的抗辐射作用, 是开发理想辐射防护剂的有效途径。近年来, 研究取得了很大进步, 但目前离理想的辐射防护剂尚有很大差距。利用中医药学基础理论和现代化技术手段并与临床结合研究开发天然抗辐射药物组分势在必行, 有选择的将其中较有希望的药物予以完善, 作为可行的辐射防护剂用于临床也应引起足够的重视。相信随着研究的深入, 资源丰富、高效低毒、防治兼备的理想辐射防护剂不久将展现于临床, 使更多人从中受益。

参考文献:

- [1] CAPAZZIRI L. The preclinical basis for broad-spectrum selective cytoprotection of normal tissues from cytotoxic therapies by amifostine [J]. Semin Oncol 1999 26(2 Suppl 7): 3-21
- [2] MILLIGAN J R, Aguilera J A, Paglinawan R A, et al. DNA strand break yields after post-high LET irradiation incubation with endonuclease-III and evidence for hydroxyl radical clustering [J]. Int J Radiat Biol 2001 77: 155-164
- [3] 王清吉, 王友绍, 何磊, 等. 茶多酚和银杏叶有效成分的抗辐射作用研究 [J]. 核技术, 2004 27(2): 148-150
- [4] 樊黎生, 龚晨睿, 张声华. 黑木耳多糖抗辐射效应的动物实验 [J]. 营养报, 2005 27(6): 525-526
- [5] HAN S K, SONG J Y, YUN Y S. Ginsan improved Th1 immune response inhibited by gamma radiation [J]. Arch Pharm Res 2005 28(3): 343-350
- [6] 刘志辉, 孟庆勇, 刘秋英, 等. 海藻多糖对 γ 射线照射小鼠免疫功能的影响 [J]. 中国公共卫生, 2003 19(2): 171-172
- [7] 洪艳, 刘煜敏, 熊小红, 等. 当归多糖对放射损伤小鼠红细胞免疫功能和造血功能的保护作用 [J]. 医学临床研究,

- 2002 19(1): 31-32
- [8] 孙元琳, 顾小红, 李德远, 等. 当归多糖的制备及抗辐射效应研究 [J]. 食品科学, 2005 26(12): 48-52
- [9] WANG Z W, ZHOU J M, HUANG Z S, et al. Aloe polysaccharides mediated radioprotective effects through the inhibition of apoptosis [J]. J Radiat Res, 2004 45: 1447-1454
- [10] SUBRAMANIAN M, CHINTAIWAR G J, CHATTOPADHYAY S. Antioxidant properties of a *Tinospora cordifolia* polysaccharide against iron mediated lipid damage and gamma ray induced protein damage [J]. Redox Rep 2002 7: 137-143
- [11] SONG J Y, HAN S K, BAE K G, et al. Radioprotective effects of ginsan an immunomodulator [J]. Radiat Res 2003 159: 768-774
- [12] 陈月, 王宝贵, 张桂英, 等. 刺五加皂苷的抗辐射损伤作用 [J]. 吉林大学学报(医学版), 2005 31(3): 423-425
- [13] 刘丽波, 孙晓玲, 张海英, 等. 人参三醇组甙对小鼠骨髓细胞染色体的辐射防护作用 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002 22(2): 114-115
- [14] 梁莉, 李新芳. 苦豆子总碱对辐射损伤小鼠的防护作用研究 [J]. 中药药理与临床, 2001 17(6): 18-19
- [15] 朱砚萍, 王国民, 傅美娜, 等. 川芎嗪对胸部肿瘤放射治疗后肺损伤的干预作用 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2004 13(4): 309-312
- [16] 刘玉娟, 钟进义. 葡多酚对外周血淋巴细胞辐射损伤的保护作用 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2005 13(3): 119-121
- [17] 吕秋军, 温利青, 张敏, 等. 白藜芦醇的辐射防护及其分子机理的研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(1): 21-22
- [18] 房岩, 孙刚, 付艳萍. 大豆异黄酮对小白鼠抗辐射作用的研究 [J]. 农业与技术, 2006 26(3): 105-107
- [19] 吴健全, 金宏, 许志勤, 等. 染料木黄酮抗辐射作用的实验研究 [J]. 中国辐射卫生, 2004 13(3): 170-172
- [20] 李德远, 周福珍, 余应利, 等. 银杏叶黄酮抗辐射效应研究 [J]. 营养学报, 2004 26(3): 220-222
- [21] 董曾寿, 黄明欣, 戴昌世. 香豆素辐射防护剂及其构效关系研讨 [J]. 中国药物化学杂志, 1994 4(2): 150-151
- [22] 于爽, 牟茜, 陈德利. 扇贝多肽对 UVB 辐射诱导 HaCa 细胞凋亡的抑制作用及其机制 [J]. 中国海洋药物杂志, 2006 25(1): 16-20
- [23] 梁军, 关印, 宋玉华, 等. 扇贝多肽对 ^{60}Co γ 射线诱导的胸腺细胞凋亡的影响 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(3): 249-251
- [24] WANG C B, YAO R Y, LIU Z T, et al. Protective effect of polypeptide from *Chlamys farrieri* on hairless mice damaged by ultraviolet A [J]. Acta Pharmacol Sin 2002 23: 813-881
- [25] 段玉清, 张海, 唐瑛. 莲花原花青素对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线致免疫器官损伤的防护作用 [J]. 食品科学, 2006 27(1): 220-222
- [26] RAJENDRA P N, SINIVASAN M, PUGALENDIK V, et al. Protective effect of ferulic acid on γ -radiation-induced micronucleogenic aberration and lipid peroxidation in human lymphocytes [J]. Mutation Research, 2006 603: 129-134
- [27] 张成武, 曾昭琪, 张媛贞, 等. 钝顶螺旋藻多糖和藻蓝蛋白对小鼠急性放射病的防护作用 [J]. 营养学报, 1996 18(3): 327-329