

小檗碱对电离辐射损伤大鼠的保护作用及机制

陈吉刚, 殷爱民, 姚叶豹, 王晓婷, 蒋德娟, 李清果, 曹务锐, 罗莹莹, 刘承军

第 971 医院崂山医疗区, 山东 青岛 266101

摘要: **目的** 探究小檗碱(BBR)对电离辐射损伤大鼠的保护作用及机制。**方法** 把 SD 大鼠分为 7 组: 正常对照组、1 Gy 组、1 Gy 低、高剂量 BBR 组(50, 150 mg/kg)、3 Gy 组、3 Gy 低、高剂量 BBR 组(50, 150 mg/kg)。除正常对照组外, 各组大鼠进行医用电子直线加速器外照射, 照后 BBR 灌胃给药, 连续 10 d。微量法测定大鼠血清超氧化物歧化酶(SOD)、还原型谷胱甘肽(GSH)和丙二醛(MDA)水平, HE 染色法观察骨髓、小肠病理变化。**结果** 与正常对照组比较, 辐射组大鼠血清 MDA 明显升高($P < 0.05$), SOD、GSH 明显降低($P < 0.05$), 骨髓、小肠病理损伤加重。与辐射组比较, BBR 组大鼠 MDA 血清水平明显下降($P < 0.05$), SOD、GSH 明显升高($P < 0.05$), 骨髓、小肠病理损伤减轻, 高剂量组更为明显。**结论** 小檗碱对辐射损伤大鼠具有一定的保护作用, 机制可能是提高抗氧化物质的活性, 增强对自由基的清除能力, 从而减轻自由基造成的氧化损伤。

关键词: 小檗碱; 辐射损伤; SD 大鼠; 自由基

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2023)04-0474-05

Protective effect of berberine against ionizing radiation injury in rats and its mechanism of action

CHEN Jigang, YIN Aimin, YAO Yebao, WANG Xiaoting, JIANG Dejuan,

LI Qingguo, CAO Wurui, LUO Yingying, LIU Chengjun

971 Hospital Laoshan Medical Sector, Qingdao 266101 China

Abstract: **Objective** To investigate the protective effect of berberine (BBR) against ionizing radiation injury in rats and its mechanism of action. **Methods** Sprague-Dawley rats were divided into seven groups: normal control group, 1-Gy radiation group, 1-Gy radiation plus low-dose BBR (50 mg/kg) group, 1-Gy radiation plus high-dose BBR (150 mg/kg) group, 3-Gy radiation group, 3-Gy radiation plus low-dose BBR (50 mg/kg) group, and 3-Gy radiation plus high-dose BBR (150 mg/kg) group. All the groups except the normal control group were exposed to external irradiation with a medical electron linear accelerator, followed by BBR administration by gavage for consecutive ten days. The serum levels of superoxide dismutase (SOD), reduced glutathione (GSH), and malondialdehyde (MDA) were measured by using the micromethod. The pathological changes of the bone marrow and small intestine were observed with HE staining. **Results** Compared with the normal control group, the radiation groups showed significantly increased MDA levels ($P < 0.05$), significantly decreased SOD and GSH levels ($P < 0.05$), and more severe pathological damage of the bone marrow and small intestine. Compared with the radiation groups, the BBR groups showed significantly decreased MDA levels ($P < 0.05$), significantly increased SOD and GSH levels ($P < 0.05$), and reduced pathological damage to the bone marrow and small intestine, which were more marked in the high-dose BBR group. **Conclusion** BBR has a certain protective effect against radiation injury in rats, which may be through increasing the activity of antioxidant substances, enhancing free radical clearance, and thereby alleviating free radicals-caused oxidative damage.

Keywords: Berberine; Radiation injury; Sprague-Dawley rat; Free radical

Corresponding author: LIU Chengjun, E-mail: Liuchj163@163.com

电离辐射作用于人体会产生大量自由基,自由基是导致电离辐射损伤的重要机制,筛选安全、高效的自由基清除剂是防治辐射损伤的重要方法^[1]。中草药不良反应小,活性成分丰富,已成为当前热门的研究方向^[2]。小檗碱是从中草药黄连等植物中提取分离的,是一种低毒的天然异喹啉生物碱,具有广泛的生化和药理活性,包括抗菌、抗炎、抗病毒、抗肿瘤、降血压、降血糖、降血脂、保肝、保心、止泻等作用^[3]。研究显示,BBR 的多种药理活性与清除自由基抑制氧化应激有关^[4]。本研究拟观察小檗碱对辐射损伤大鼠血清超氧化物歧化酶(SOD)、还原型谷胱甘肽(GSH)、丙二醛(MDA)指标及大鼠骨髓、小肠病理的影响,探究小檗碱对辐射损伤大鼠的保护作用及可能机制。

1 材料与方法

1.1 实验材料及仪器设备 超氧化物歧化酶(SOD)、还原型谷胱甘肽(GSH)、丙二醛(MDA)试剂盒(均购自泉州市睿信生物科技有限公司),10%水合氯醛(福州飞净生物科技有限公司),小檗碱(山东仁和堂药业有限公司),全波长酶标仪(美国伯腾仪器有限公司),TG16W 型微量高速离心机(长沙湘智离心机仪器有限公司),TGL16M 台式高速冷冻离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司),XB220A 型电子分析天平(上海天美天平仪器有限公司),显微镜(日本奥林巴斯公司)。

1.2 实验动物分组及给药方法 选择 SPF 级 SD 大鼠 42 只,体重在 150~200 g 之间,购自北京斯贝福生物技术有限公司,动物生产许可证号:SCXK(京)2019—0010。于标准室温(23℃±2℃)和湿度(50%~70%)条件下饲养一周后随机分为 7 组(每组 6 只):正常对照组,1 Gy 辐射组,1 Gy 低、高剂量小檗碱组(50 mg/kg、150 mg/kg),3 Gy 辐射组,3 Gy 低、高剂量小檗碱组(50 mg/kg、150 mg/kg),除正常对照组外,其他各组均以 Varian21EX 医用直线加速器 20 MeV 电子束全身均匀外照射,剂量率 300 cGy/min,照后当天小檗碱组采用灌胃法给药,每天灌胃 1 次,持续 10 d,对照组和辐照组以蒸馏水代替,实验期间所有实验动物普通饲料喂养,自由饮水。

1.3 标本收集及指标检测 第 10 d 用 10% 水合氯醛按 0.3 ml/100 g 进行大鼠腹腔注射麻醉,腹主动脉取血,离心取血清-20℃ 保存。开胸腹取出胸骨、小

肠,用 10% 中性甲醛固定,HE 染色,光镜下观察骨髓、小肠病理。

1.4 微量法测定血清 SOD、GSH、MDA 水平 取大鼠血清,参照试剂盒的方法进行 SOD、GSH、MDA 的测定。

1.5 统计学方法 数据采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,各测定值经正态性检验,符合正态分布,以均数±标准差表示($\bar{x} \pm s$),组间差异经方差齐性检验采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 表示差异有显著统计学意义。

2 结果

2.1 小檗碱对辐射大鼠血清中 SOD、GSH、MDA 的影响 与正常对照组相比,辐射组大鼠 SOD、GSH 血清水平明显降低,MDA 血清水平明显升高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。与 1 Gy 辐射组相比,1 Gy 高剂量小檗碱组 SOD、GSH 血清水平明显升高,MDA 血清水平明显降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),而 1 Gy 低剂量小檗碱组 SOD、GSH、MDA 差异都无统计学意义($P > 0.05$)。与 3 Gy 辐射组相比,低、高剂量小檗碱组 SOD、GSH 活性都明显升高,MDA 含量明显降低,并且 SOD、GSH 升高的程度跟小檗碱剂量呈正比,差异有显著统计学意义($P < 0.05$),而提高小檗碱剂量对 MDA 无影响(见表 1)。表明当大鼠受到 1 Gy 辐照时,仅高剂量的小檗碱能提高 SOD、GSH 活性,降低 MDA 含量,而低剂量小檗碱差异没有统计学意义($P > 0.05$)。当受到 3 Gy 辐照时,低、高剂量小檗碱都能升高 SOD、GSH 活性,降低 MDA 含量;提高小檗碱用量,SOD、GSH 活性升高更为明显,但对 MDA 无影响。

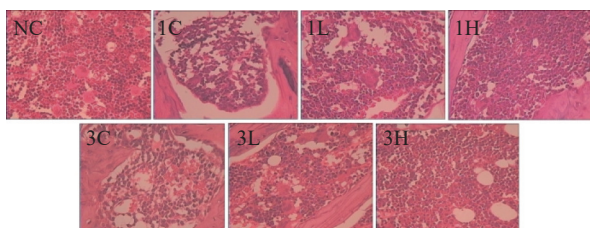
表 1 小檗碱对辐射大鼠 SOD、GSH、MDA 的影响 ($n = 6$)

Table 1 Effects of berberine on SOD, GSH, and MDA in irradiated rats ($n = 6$)

组别	SOD/(u/ml)	GSH/(μmol/ml)	MDA/(nmol/ml)
正常对照组	187.26 ± 35.09	1.8 ± 0.27	1.16 ± 0.35
1 Gy 辐射组	74.32 ± 28.08 ^a	1.09 ± 0.09 ^a	5.79 ± 0.46 ^a
1 Gy 低剂量 BBR 组	83.26 ± 27.62	1.36 ± 0.19	3.92 ± 1.16
1 Gy 高剂量 BBR 组	126.54 ± 35.63 ^b	1.50 ± 0.19 ^b	3.09 ± 0.37 ^b
3 Gy 辐射组	42.23 ± 11.89 ^a	0.58 ± 0.13 ^a	6.26 ± 1.23 ^a
3 Gy 低剂量 BBR 组	86.63 ± 11.50 ^b	1.33 ± 0.06 ^b	3.67 ± 0.69 ^b
3 Gy 高剂量 BBR 组	126.79 ± 11.88 ^{bc}	1.62 ± 0.09 ^{bc}	3.15 ± 0.64 ^b

注:与正常对照组比较,^a $P < 0.05$;与相同辐射剂量的辐射对照组比较,^b $P < 0.05$ 。与相同辐射剂量的 BBR 低剂量组比较,^c $P < 0.05$ 。

2.2 小檗碱对辐射大鼠骨髓病理影响 正常对照组大鼠骨髓增生非常活跃。1 Gy 辐射组骨髓增生低下,造血细胞明显减少。1 Gy 低剂量小檗碱组骨髓增生程度有提高,1 Gy 高剂量小檗碱组骨髓增生程度显著改善,接近正常。3 Gy 辐射组骨髓增生程度更低下,骨小梁稀疏,造血细胞明显减少,血管扩张、充血。3 Gy 低剂量小檗碱组骨髓增生程度有所改善,3 Gy 高剂量小檗碱组骨髓增生程度显著改善,但仍未恢复正常(见图 1)。表明小檗碱对辐射大鼠骨髓损伤有改善作用,且高剂量效果更好。

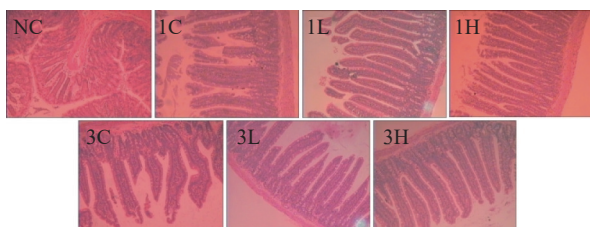


注: NC: 正常对照组; 1C: 1 Gy 辐射组; 1L: 1 Gy 低剂量 BBR 组; 1H: 1 Gy 高剂量 BBR 组; 3C: 3 Gy 辐射组; 3L: 3 Gy 低剂量 BBR 组; 3H: 3 Gy 高剂量 BBR 组。

图 1 小檗碱对辐射大鼠骨髓病理影响 (HE × 100)

Figure 1 Pathological effects of berberine on bone marrow in irradiated rats (HE × 100)

2.3 小檗碱对辐射大鼠小肠病理影响 正常对照组大鼠小肠绒毛茂密,结构完整,绒毛长度无异常;1 Gy 辐射对照组小肠绒毛变短,绒毛杂乱,顶端有破损,1 Gy 小檗碱低剂量组绒毛长度和整齐性都有明显增加,1 Gy 小檗碱高剂量组小肠绒毛恢复正常。3 Gy 辐射对照组小肠绒毛变短、稀疏更为明显,绒毛杂乱且有破损,3 Gy 小檗碱低剂量组绒毛长度明显增加,趋于整齐,3 Gy 小檗碱高剂量组小肠绒毛基本恢复正常(见图 2)。表明小檗碱对辐射大鼠小肠损伤有改善作用,高剂量效果更明显。



注: NC: 正常对照组; 1C: 1 Gy 辐射组; 1L: 1 Gy 低剂量 BBR 组; 1H: 1 Gy 高剂量 BBR 组; 3C: 3 Gy 辐射组; 3L: 3 Gy 低剂量 BBR 组; 3H: 3 Gy 高剂量 BBR 组。

图 2 小檗碱对辐射大鼠小肠病理影响 (HE × 100)

Figure 2 Pathological effects of berberine on small intestinal in irradiated rats (HE × 100)

3 讨论

电离辐射作用于人体常表现为多系统损伤。造

血组织属高度辐射敏感器官,受照后骨髓造血功能抑制是最主要的病理表现,贯穿于疾病的始终,减轻骨髓造血功能的损伤和促进造血功能的恢复是救治的关键^[5]。消化系统对辐射也很敏感,特别是小肠属于自我更新特别迅速的组织,对电离辐射十分敏感,受到辐射损伤后,肠粘膜破坏、脱落,屏障受损,易引起菌血症、败血症。有研究显示,抑制氧化应激可以改善电离辐射引起的肠道损伤^[6]。

本实验结果显示,使用医用电子直线加速器辐射后,SD 大鼠骨髓造血功能受抑制,造血干细胞减少,骨小梁分布稀疏,且与辐射剂量呈正比。小檗碱灌胃给药后,骨髓造血功能较对照组恢复明显,造血干细胞增多,且高剂量小檗碱组恢复更好。此外,正常组大鼠小肠绒毛茂密,结构完整,绒毛长度无异常;辐照组大鼠小肠绒毛变短,绒毛杂乱,偶见绒毛破损,而小檗碱给药后,小肠绒毛长度、整齐性都明显改善,高剂量小檗碱组基本恢复正常。这些结果表明,小檗碱在动物水平能有效减轻辐射引起的造血系统和肠道损伤。

电离辐射是一种重要的氧化应激因素^[7-8],作用于人体后既可直接攻击生物分子形成生物分子自由基;又可先作用于水产生大量的自由基,这些自由基再攻击生物分子形成生物分子自由基。由于水占机体 70% 以上,因此大多数辐射损伤是由水的辐解造成的,会产生活性氧、活性氮,从而对蛋白质、脂质和 DNA 造成氧化应激损伤,是电离辐射损伤机体的主要机制。自由基作用于生物膜引起膜的脂质过氧化,丙二醛(MDA)是脂质过氧化终产物之一,是脂质过氧化评估的主要生物标志物,反映机体辐射损伤程度^[9]。超氧化物歧化酶(SOD)是最重要的抗氧化清除酶,参与清除自由基,能催化超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)歧化为分子氧和过氧化氢(H_2O_2)并降低 $O_2^{\cdot-}$ 水平,是抵抗活性氧(ROS)介导损伤的第一道防线^[10]。SOD 活性的高低反映了组织细胞清除 $O_2^{\cdot-}$ 的能力。据报道,长期暴露于电离辐射的医务人员和辐射作业人员血液中的 MDA 水平显著升高,而 SOD 水平显著降低,导致氧化应激和 DNA 损伤^[11-12]。谷胱甘肽(GSH)主要来源于肝脏,是体内一种重要的非酶抗氧化剂,其通过巯基与体内自由基结合,可直接清除 ROS、NO 及其衍生物等自由基,是调节氧化还原反应过程的最重要的硫醇还原剂^[13]。

越来越多的研究表明,小檗碱是一种有效的抗氧化剂和自由基清除剂,具有多种药理和生物活性。小檗碱能通过增强抗氧化防御来减轻高血糖及其相关的氧化应激^[14]。经过小檗碱预处理能增加抗氧化酶(如 CAT、SOD 和 GSH-PX)活性并降低心脏 MDA 水平,保护大鼠心肌免受氧化应激损伤^[15]。小檗碱还能减轻大鼠结肠癌的脂质过氧化损伤,增强抗氧化状态,从而抑制肿瘤转化^[16]。近年来,放疗联合小檗碱治疗肿瘤病人的研究日益增多,小檗碱可以作为放射增敏剂,增强肿瘤细胞的辐射敏感性和保护正常组织,但机制尚不完全明确^[17-18]。本实验证实,辐射可使大鼠血清 SOD、GSH 水平降低,MDA 含量升高,且与受照剂量正相关,表明辐射抑制了抗氧化物质的活性,启动了脂质过氧化反应,导致氧化应激的发生。对于 1 Gy 辐照大鼠,低剂量小檗碱无明显改善作用,而高剂量小檗碱能有效降低其血清 MDA 含量,提高血清 GSH、SOD 水平,原因可能是低剂量辐射大鼠体内产生的自由基水平较低,损伤较轻,自我修复能力较强,小檗碱血液浓度偏低时,自由基清除能力有限,故 SOD、GSH、MDA 变化不明显。对于 3 Gy 辐照大鼠,低、高剂量小檗碱都能有效提高血清 SOD、GSH 水平,降低 MDA 含量,且高剂量小檗碱升高 SOD、GSH 更明显,提示小檗碱能对抗辐射对上述抗氧化物质的抑制,提高抗氧化能力,抑制脂质过氧化程度,可以作为抗氧化剂抑制辐射的氧化损伤。

总之,本研究结果表明,小檗碱能有效减轻电离辐射对大鼠造血系统、消化系统的损伤,其机制可能跟小檗碱提高抗氧化物质的活性有关,这有助于克服辐射氧化应激并增加体内自由基的清除能力,其确切完整的机制尚待进一步研究。尽管目前研究还仅限于动物水平,但为临床防治辐射损伤提供了一种新的思路,由于小檗碱来源广泛,提取工艺成熟,成本低,副作用小,因此值得进一步研究。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 陈吉刚负责实验室检测、数据分析、论文撰写;殷爱民、刘承军负责指导研究思路、论文修改;姚叶豹、蒋德娟、李清果参与数据处理和实验室检测;王晓婷、曹务锐、罗莹莹参与样品处理、实验室检测

参考文献

- [1] 孙华斌,于秀欣,赵勇. 自由基和抗氧化剂生态网络系统理论模型及应用研究[J]. 中国辐射卫生, 2013, 22 (5): 513-517. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2013.05.001.
- [2] Sun HB, Yu XX, Zhao Y. Study on free radical and antioxidant ecological network system theory model and its application[J]. Chin J Radiol Health, 2013, 22 (5): 513-517. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2013.05.001.
- [3] Yi JJ, Zhu JQ, Zhao CC, et al. Potential of natural products as radioprotectors and radiosensitizers: opportunities and challenges[J]. Food Funct, 2021, 12 (12): 5204-5218. DOI: 10.1039/d1fo00525a.
- [4] Och A, Podgórski R, Nowak R. Biological activity of berberine—a summary update[J]. Toxins, 2020, 12 (11): 713. DOI: 10.3390/toxins12110713.
- [5] Abdulredha A, Abosaooda M, Al-Amran F, et al. Berberine protects the heart from ischemic reperfusion injury via interference with oxidative and inflammatory pathways[J]. Med Arch, 2021, 75 (3): 174-179. DOI: 10.5455/medarch.2021.75.174-179.
- [6] 王晶,周芳. 造血干细胞移植治疗骨髓型急性放射病的研究进展[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30 (3): 381-385. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2021.03.024.
- [7] Wang J, Zhou F. Research progress in hematopoietic stem cell transplantation for bone marrow acute radiation syndrome[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30 (3): 381-385. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2021.03.024.
- [8] Li YH, He Q, Chen YZ, et al. *p*-Coumaric acid ameliorates ionizing radiation-induced intestinal injury through modulation of oxidative stress and pyroptosis[J]. Life Sci, 2021, 278: 119546. DOI: 10.1016/j.lfs.2021.119546.
- [9] Nuzkiewicz J, Woźniak A, Szewczyk-Golec K. Ionizing radiation as a source of oxidative stress—the protective role of melatonin and Vitamin D[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21 (16): 5804. DOI: 10.3390/ijms21165804.
- [10] 李鹏,陈凡,孙祥益,等. 放射性心脏损伤动物模型相关实验研究进展[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29 (1): 93-97. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2020.01.022.
- [11] Li P, Chen F, Sun XY, et al. Advances in experimental research on radiation-induced heart injury in animal models[J]. Chin J Radiol Health, 2020, 29 (1): 93-97. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2020.01.022.
- [12] Mas-Bargues C, Escrivá C, Dromant M, et al. Lipid peroxidation as measured by chromatographic determination of malondialdehyde. human plasma reference values in health and disease[J]. Arch Biochem Biophys, 2021, 709: 108941. DOI: 10.1016/j.abb.2021.108941.
- [13] Wang Y, Branicky R, Noë A, et al. Superoxide dismutases: dual

- roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling[J]. *J Cell Biol*, 2018, 217 (6) : 1915-1928. DOI: [10.1083/jcb.201708007](https://doi.org/10.1083/jcb.201708007).
- [11] Bolbol SA, Zaitoun MF, El-Magd SAA, et al. Healthcare workers exposure to ionizing radiation: oxidative stress and antioxidant response[J]. *Indian J Occup Environ Med*, 2021, 25 (2) : 72-77. DOI: [10.4103/ijoem.IJOEM_198_20](https://doi.org/10.4103/ijoem.IJOEM_198_20).
- [12] 刘剑英, 尚伟华, 马得勋, 等. 长期低剂量核辐射接触人员机体相关指标变化[J]. *中国辐射卫生*, 2023, 32 (2) : 167-170. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.02.015](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.02.015).
- Liu JY, Shang WH, Ma DX, et al. Changes in body-related indices in people exposed to long-term low-dose nuclear radiation[J]. *Chin J Radiol Health*, 2023, 32 (2) : 167-170. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2023.02.015](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2023.02.015).
- [13] Vairetti M, Di Pasqua LG, Cagna M, et al. Changes in glutathione content in liver diseases: an update[J]. *Antioxidants*, 2021, 10 (3) : 364. DOI: [10.3390/antiox10030364](https://doi.org/10.3390/antiox10030364).
- [14] Liu C, Wang Z, Song YL, et al. Effects of berberine on amelioration of hyperglycemia and oxidative stress in high glucose and high fat diet-induced diabetic hamsters in vivo[J]. *BioMed Res Int*, 2015, 2015: 313808. DOI: [10.1155/2015/313808](https://doi.org/10.1155/2015/313808).
- [15] Wu YZ, Zhang L, Wu ZX, et al. Berberine ameliorates doxorubicin-induced cardiotoxicity via a SIRT1/p66Shc-mediated pathway[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2019, 2019: 2150394. DOI: [10.1155/2019/2150394](https://doi.org/10.1155/2019/2150394).
- [16] Thirupurasundari CJ, Padmini R, Devaraj SN. Effect of berberine on the antioxidant status, ultrastructural modifications and protein bound carbohydrates in azoxymethane-induced colon cancer in rat[J]. *Chem-Biol Interact*, 2009, 177 (3) : 190-195. DOI: [10.1016/j.cbi.2008.09.027](https://doi.org/10.1016/j.cbi.2008.09.027).
- [17] Ramesh G, Das S, Sadashiva SRB. Berberine, a natural alkaloid sensitizes human hepatocarcinoma to ionizing radiation by blocking autophagy and cell cycle arrest resulting in senescence[J]. *J Pharm Pharmacol*, 2020, 72 (12) : 1893-1908. DOI: [10.1111/jphp.13354](https://doi.org/10.1111/jphp.13354).
- [18] Wang J, Liu Q, Yang QF. Radiosensitization effects of berberine on human breast cancer cells[J]. *Int J Mol Med*, 2012, 30 (5) : 1166-1172. DOI: [10.3892/ijmm.2012.1095](https://doi.org/10.3892/ijmm.2012.1095).

(收稿日期:2023-02-26)

(上接第 473 页)

- [8] 彭博文, 张筱烽, 陈丹. 高质量推进继续医学教育工作的探索[J]. *中国卫生人才*, 2022, (10) : 16-17. DOI: [10.3969/j.issn.1008-7370.2022.10.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-7370.2022.10.005).
- Peng BW, Zhang XF, Chen D. The exploration of promoting continuing medical education with high quality[J]. *Chin Health Hum Resour*, 2022, (10) : 16-17. DOI: [10.3969/j.issn.1008-7370.2022.10.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-7370.2022.10.005).
- [9] 倪政欣, 陈海娟, 付志辉, 等. 放射科在中医类别住院医师规范化培训中的探索与实践[J]. *中国继续医学教育*, 2023, 15 (6) : 185-189. DOI: [10.3969/j.issn.1674-9308.2023.06.041](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9308.2023.06.041).
- Ni ZX, Chen HJ, Fu ZH, et al. Exploration and practice of standardized training of TCM residents in radiology department[J]. *Chin Cont Med Edu*, 2023, 15 (6) : 185-189. DOI: [10.3969/j.issn.1674-9308.2023.06.041](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9308.2023.06.041).
- [10] 李宝欣, 李亚京, 于磊, 等. 北京地区介入放射诊疗资源与防护状况调查与分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2022, 42 (7) : 531-537. DOI: [10.3760/cma.j.cn112271-20220216-00056](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112271-20220216-00056).
- Li BX, Li YJ, Yu L, et al. Investigation and analysis on resources and radiation protection status of interventional radiology in Beijing[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2022, 42 (7) : 531-537. DOI: [10.3760/cma.j.cn112271-20220216-00056](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112271-20220216-00056).
- [11] 嵇志刚, 李天来, 徐艺, 等. 陕西省放射卫生技术服务机构基本情况调查[J]. *中国辐射卫生*, 2022, 31 (5) : 558-563. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2022.05.006](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2022.05.006).
- Ji ZG, Li TL, Xu Y, et al. Basic information on radiological health technical service institutions in Shaanxi Province, China[J]. *Chin J Radiol Health*, 2022, 31 (5) : 558-563. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2022.05.006](https://doi.org/10.13491/j.issn.1004-714X.2022.05.006).
- [12] 陈尔东, 马永忠, 鞠金欣, 等. 放射卫生放射诊疗标准体系及设备性能指标的分类准则[J]. *中国辐射卫生*, 2015, 24 (2) : 104-108,112. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2015.02.003](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2015.02.003).
- Chen ED, Ma YZ, Ju JX, et al. Radiological health standard system of radiodiagnosis and radiotherapy and classification criteria of equipment performance parameters[J]. *Chin J Radiol Health*, 2015, 24 (2) : 104-108,112. DOI: [10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2015.02.003](https://doi.org/10.13491/j.cnki.issn.1004-714X.2015.02.003).

(收稿日期:2023-03-04)