doi:10.3969/j.issn.1006－4931.2021.09.012

^{60}Co－γ射线辐照灭菌对蜈蚣药粉品质的影响研究*

韩振明[1,2],关永霞[1,2],张 微[1,2],马 云[1,2],张贵民[2,3△]

(1.鲁南厚普制药有限公司,山东 临沂 276006; 2.中药制药共性技术国家重点实验室,山东 临沂 276006; 3.鲁南制药集团股份有限公司,山东 临沂 276006)

摘要:目的 探讨不同剂量^{60}Co－γ射线辐照灭菌对蜈蚣药粉8种核苷类成分含量及微生物指标的影响。**方法** 分别以4,6,8,10 kGy的^{60}Co－γ射线对样品进行动态辐照灭菌操作,按2015年版《中国药典(一部)》要求检测灭菌前后样品的水分、总灰分、酸不溶性灰分、酸溶性浸出物、重金属及有害元素、黄曲霉毒素及微生物限度;采用高效液相色谱法测定4,6,8,10 kGy ^{60}Co－γ射线辐照灭菌后样品的化学成分含量。**结果** 4,6,8,10 kGy ^{60}Co－γ射线辐照灭菌样品的水分、总灰分、酸不溶性灰分、酸溶性浸出物、重金属及有害元素、黄曲霉毒素比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);大于6 kGy ^{60}Co－γ射线辐照灭菌样品中,需氧菌、酵母菌、霉菌总数均随辐照剂量增加而减少,耐胆盐革兰阴性菌均小于10 cfu/g,微生物限度均符合2015年版《中国药典(四部)》规定,且均未检出大肠埃希菌和沙门菌;综合工业生产中的灭菌成本问题,8,10 kGy ^{60}Co－γ射线动态辐照灭菌效果最佳;灭菌前后,胞嘧啶、胞苷、次黄嘌呤、黄嘌呤、尿苷、胸腺嘧啶、2′－脱氧肌苷、胸苷8种核苷类成分含量比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** ^{60}Co－γ射线辐照灭菌对蜈蚣药粉质量无明显影响,且8～10 kGy辐照灭菌效果最佳。

关键词:^{60}Co－γ射线;辐照灭菌;蜈蚣;药粉;微生物限度

中图分类号:R932;R283.1;R286.0 **文献标志码:**A **文章编号:**1006－4931(2021)09－0042－04

Effect of ^{60}Co－γ－Ray Irradiation Sterilization on the Quality of *Scolopendra Subspinipes Mutilans* Medicinal Powder

HAN Zhenming[1,2], *GUAN Yongxia*[1,2], *ZHANG Wei*[1,2], *MA Yun*[1,2], *ZHANG Guimin*[2,3]

(*1. Lunan Houpu Pharmaceutical Co., Ltd., Linyi, Shandong, China 276006; 2. State Key Laboratory of Generic Manufacture Technology of Traditional Chinese Medicine, Linyi, Shandong, China 276006; 3. Lunan Pharmaceutical Group Co., Ltd., Linyi, Shandong, China 276006*)

Abstract: Objective To investigate the effect of different doses of ^{60}Co－γ－ray irradiation sterilization on the contents of eight nucleosides and microbial indexes in *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder. **Methods** Different doses(4,6,8,10 kGy) of ^{60}Co－γ－rays were used to sterilize the samples by dynamic irradiation, and the moisture, total ash, acid－insoluble ash, acid－soluble extract, heavy metals and harmful elements, aflatoxin and microbial limit of the samples before and after sterilization were detected according to the requirements of the *Chinese Pharmacopoeia*(2015 Edition, Volume Ⅰ). High－performance liquid chromatography method was used to determine the contents of chemical composition in samples sterilized by 4,6,8,10 kGy of ^{60}Co－γ－ray irradiation. **Results** There was no significant difference in the moisture, total ash, acid－insoluble ash, acid－soluble extract, heavy metals and harmful elements, and aflatoxin in samples sterilized by 4,6,8,10 kGy of ^{60}Co－γ－ray irradiation($P>0.05$). The total number of aerobic bacteria, yeasts and molds in the samples sterilized by more than 6 kGy of ^{60}Co－γ－ray irradiation decreased with the increase of irradiation dose, the number of gram－negative bacteria resistant to bile salt was less than 10 cfu/g, and the microbial limit met the requirements of the *Chinese Pharmacopoeia*(2015 Edition, Volume Ⅳ), and no *Escherichia coli* and *Sardinia* were detected. Considering the cost of steriliza-

*基金项目:国家"重大新药创制"科技重大专项[2018ZX09201010];山东省临沂市自主创新重大专项[2019ZDZX001];山东省临沂市兰山区科技创新发展计划专项[1811]。

第一作者:韩振明,男,硕士,工程师,研究方向为中药新药研发与质量控制,(电子信箱)zhenminghan@163.com。

△**通信作者:**张贵民,男,硕士,研究员,研究方向为新药研发,(电子信箱)lunanzhangguimin@163.com。

芪保健饮料的制备工艺[J].食品科技,2013,38(2):95－97.

[12] 刘 冬.余甘子清汁饮料加工工艺研究[J].食品与机械,2007,23(4):136－139.

[13] 吴 伟,崔光华,陆 彬.实验设计中多指标的优化:星点设计和总评"归一值"的应用[J].中国药学杂志,2000,35(8):530－533.

[14] 李 琦,裴河欢,李 静,等.星点设计－效应面法优选盐余甘子的炮制工艺[J].中南药学,2018,16(4):473－477.

[15] 吴 伟,崔光华.星点设计－效应面优化法及其在药学中的应用[J].国外医学:药学分册,2000,27(5):292－298.

[16] 沙 磊,张兰珍,徐义侠,等.RP－HPLC法测定余甘子中诃黎勒酸、没食子酸、粘酸－2－*O*－没食子酸酯的含量[J].药物分析杂志,2011,31(2):293－295.

[17] 金孝芳,罗正飞,童华荣.绿茶茶汤中主要滋味成分及滋味定量描述分析的研究[J].食品工业科技,2012,33(7):343－346.

(收稿日期:2020－08－07;修回日期:2020－11－26)

tion in industrial production, the sterilization effect of 8, 10 kGy of $^{60}Co-\gamma$-ray dynamic irradiation was the best. There was no significant difference in the contents of eight nucleosides (cytosine, cytidine, hypoxanthine, xanthine, uridine, thymine, 2′-deoxyinosine, thymidine) before and after sterilization ($P > 0.05$). **Conclusion** $^{60}Co-\gamma$-ray irradiation sterilization has no significant effect on the quality standard of *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder, and 8-10 kGy irradiation has the best sterilization effect.

Key words: $^{60}Co-\gamma$-ray; irradiation sterilization; *Scolopendra subspinipes mutilans*; medicinal powder; microbial limit

蜈蚣为蜈蚣科动物少棘巨蜈蚣 *Scolopendra subspinipes mutilans* L. Koch 的干燥体，可息风镇痉、通络止痛、攻毒散结[1]，含有蛋白质、多肽、氨基酸、脂肪酸、多糖、微量元素等成分，具有抗肿瘤、镇痛、调节免疫、抑菌[2-6]等多种药理活性。蜈蚣生粉入药的中药处方制剂有多种，如脉络舒通丸、蝎蜈颗粒、蜈蚣败毒饮等，可用于多种疾病的治疗[7-10]。动物药材中的多肽、多糖等成分为微生物的繁殖提供了良好的生长环境，在加工、贮存过程中极易霉变，导致微生物含量超标，对临床的用药安全产生极大威胁，故中药处方制剂生产过程中药材灭菌的前处理尤为重要。现阶段，已有较多射线相关研究及应用，$^{60}Co-\gamma$ 射线多见于医学诊断及工业探测领域[11-12]，在食品药品的消毒灭菌中也有应用。$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌法已应用于多种药材饮片的灭菌，高效，操作简单，穿透力强，速度快，可用于含热敏性成分药材的灭菌，具有灭菌彻底、无污染、无残留等优势。有人对多种药材进行 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌法的可行性研究，如黄精、地黄、龙胆、黄芩、天南星、蝉蜕等[13-14]。刘滨思等[15]曾考察 3 种灭菌方法对蜈蚣有效成分及沙门菌灭菌效果的影响，与干热灭菌、湿热灭菌相比，$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌效果最好，但未对蜈蚣药粉辐照灭菌剂量进行优化研究。本研究中探讨了不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌对蜈蚣药粉 8 种核苷成分及微生物指标的影响。现报道如下。

1 材料与方法

1.1 仪器、试药与菌种

仪器：Agilent 1100 型高效液相色谱（HPLC）仪［包括二极管阵列检测器（DAD）、四元低压梯度泵、Agilent Open Lab 型色谱工作站，安捷伦科技有限公司］；Toledo LE204E 型电子分析天平（精度为十万分之一），01193-YP601N 型电子分析天平（精度为万分之一），均购于梅特勒-托利多集团；KQ5200E 型数控超声波清洗器（昆山洁力美超声仪器有限公司，功率为 200 W，频率为 40 kHz）；JD-CJ-1A 型超净工作台（苏州金大净化工程设备有限公司）；BJPX-200 型生化培养箱（济南翔天生物科技有限公司）；粉碎机；80 目药筛。

试药：蜈蚣购于亳州药材市场，经鲁南厚普制药有限公司质检中心高级工程师范建伟鉴定为正品，符合 2015 年版《中国药典（一部）》来源规定；乙腈（批号为 20185187），甲醇（批号为 20193307），均为色谱纯，购于赛默飞世尔科技有限公司；异丙醇（色谱纯，批号为 181217871G），磷酸（色谱纯，批号为 191115647F），甲醇（分析纯），均购于南京化学试剂股份有限公司；有机滤头（爱西默科技有限公司，孔径为 0.22 μm）。

菌种：胰酪大豆胨琼脂（批号为 HB4114-04），沙氏葡萄糖琼脂（批号为 HB025381），均购于青岛海博生物技术有限公司；大肠埃希菌（菌号为 43094，成都生物制品研究所）；乙型副伤寒沙门菌（菌号为 50699，中国医学细菌保藏管理中心）。

1.2 方法

辐照灭菌方法：将蜈蚣药材粉碎，过 80 目药筛，保存，备用。称取药粉 15 份，每份 200 g，以无菌自封袋密封，分别编号 1～15 号，分为 5 组进行试验，每组 3 份。参考原国家食品药品监督管理总局《中药辐照灭菌技术指导原则》（2015 年第 86 号）及文献［16］，得知中药最大总体平均辐照剂量不超过 10 kGy，故辐照试验设计如下。蜈蚣药粉 1～3 号无操作，为阴性对照组（0 kGy $^{60}Co-\gamma$ 射线）；其余 12 份（4～15 号）分别以 4，6，8，10 kGy $^{60}Co-\gamma$ 射线进行动态辐照灭菌操作，为试验组；菌种活化培养为对照组。观察并记录试验组与对照组的药粉外观性状。

药典检查指标测定：照 2015 年版《中国药典（一部）》药材蜈蚣项下[1]要求，对经不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌的蜈蚣药粉进行检查项测定，包括水分、总灰分、酸不溶性灰分、酸溶性浸出物、重金属及有害元素、黄曲霉毒素等。

微生物限度检查：照 2015 年版《中国药典（四部）》通则 1105 及通则 1106[17]，对经不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌的蜈蚣药粉进行微生物限度检查，包含需氧菌总数、霉菌和酵母菌总数等，同时按上述检查方法对大肠埃希菌、乙型副伤寒沙门菌进行活化及接种培养计数。

化学成分含量测定：张琪等[18]的研究中，采用 HPLC-DAD 法对经不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌的蜈蚣药粉的化学成分进行定量分析，包括胞嘧啶、胞苷、次黄嘌呤、黄嘌呤、尿苷、胸腺嘧啶、2′-脱氧肌苷、胸苷 8 种。以上 8 种核苷类成分分离良好，在一定质量浓度内的线性关系良好（$r > 0.999$），精密度试验、重复性试验、稳定性试验结果的 *RSD* 均小于 3.0%，准确度试验在 95%～102% 范围内。

1.3 统计学处理

采用 Excel 软件和 SPSS 19.0 统计学软件分析，包括方差分析（ANOVA）和直观分析。

表 1 不同 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照剂量的蜈蚣药粉药典检查指标测定结果

Tab. 1 Determination of inspection indexes of *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder (according to the *Chinese Pharmacopoeia*) sterilized by different doses of $^{60}Co-\gamma$ – ray irradiation

辐照剂量	水分(%)		总灰分(%)		酸不溶性灰分(%)		总黄曲霉毒素		酸溶性浸出物(%)	
(kGy)	$\bar{X} \pm s$	*RSD*	$\bar{X} \pm s$	*RSD*	$\bar{X} \pm s$	*RSD*	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)	$\bar{X} \pm s$	*RSD*
0	7.24 ± 0.06	0.76	3.09 ± 0.01	0.37	1.53 ± 0.01	0.38	0.94 ± 0.01	1.23	23.16 ± 0.30	1.28
4	7.28 ± 0.06	0.76	3.12 ± 0.04	1.16	1.53 ± 0.02	1.00	0.93 ± 0.01	1.24	22.98 ± 0.34	1.46
6	7.22 ± 0.06	0.79	3.08 ± 0.06	1.95	1.55 ± 0.02	1.34	0.95 ± 0.02	1.54	22.91 ± 0.26	1.15
8	7.29 ± 0.02	0.27	3.02 ± 0.02	0.57	1.56 ± 0.01	0.64	0.95 ± 0.02	1.61	22.87 ± 0.32	1.39
10	7.32 ± 0.06	0.83	3.11 ± 0.05	1.52	1.57 ± 0.03	1.60	0.93 ± 0.01	1.24	22.35 ± 0.26	1.16

表 2 不同 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照剂量的蜈蚣药粉重金属及有害元素含量测定结果

Tab. 2 Determination of heavy metals and harmful elements in *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder sterilized by different doses of $^{60}Co-\gamma$ – ray irradiation

辐照剂量	铅		镉		砷		汞		铜	
(kGy)	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)	$\bar{X} \pm s$(μg/kg)	*RSD*(%)
0	6.34 ± 0.11	1.67	0.47 ± 0.01	2.13	3.22 ± 0.06	1.77	0.29 ± 0.01	1.99	4.18 ± 0.10	2.36
4	6.38 ± 0.10	1.57	0.48 ± 0.01	1.20	3.22 ± 0.03	1.00	0.28 ± 0.01	2.57	4.21 ± 0.11	2.70
6	6.30 ± 0.09	1.47	0.48 ± 0.01	1.20	3.21 ± 0.06	1.72	0.28 ± 0.01	2.57	4.21 ± 0.05	1.12
8	6.39 ± 0.06	0.92	0.46 ± 0.02	2.32	3.24 ± 0.03	1.07	0.28 ± 0.04	1.52	4.13 ± 0.08	1.97
10	6.32 ± 0.06	0.87	0.46 ± 0.01	2.51	3.18 ± 0.05	1.44	0.30 ± 0.04	2.62	4.18 ± 0.08	1.87

2 结果

2.1 灭菌后性状

经观察，各批次蜈蚣药粉灭菌前后外观性状均无明显差异，药粉显灰绿色，有刺鼻腥臭味；5 个试验组蜈蚣药粉的形态、颜色、气味均一稳定。

2.2 药典检查指标测定结果

结果见表 1 和表 2。可见，各试验组蜈蚣药粉中水分、总灰分、酸不溶性灰分、总黄曲霉毒素、酸溶性浸出物含量、重金属及有害元素各指标均符合 2015 年版《中国药典(一部)》项下限度要求，各试验组间无显著差异（$P > 0.05$）。

2.3 微生物限度检查结果

结果见表 3。可见，未经 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照的阴性对照组需氧菌总数为 10 000 cfu/g，霉菌和酵母菌总数为 120 cfu/g，耐胆盐革兰阴性菌个数小于 10 cfu/g，未检出大肠埃希菌与沙门菌，其中需氧菌总数、霉菌和酵母菌总数远超过 2015 年版《中国药典(四部)》标准（需氧菌总数不得超出 3 500 cfu/g，霉菌和酵母菌总数不得超出 50 cfu/g）；经 4 kGy 以上辐照剂量灭菌的试验组需氧菌总数急剧降低，较阴性对照组减少了 87%，需氧菌总数与辐照剂量呈负相关，随着辐照剂量的增加，需氧菌总数迅速减少，辐照剂量增加至 10 kGy 时，需氧菌总数降至小于 10 cfu/g；霉菌和酵母菌总数经 4 kGy $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌后总数比阴性对照组降低了 25%，继续增加辐照剂量，霉菌和酵母菌总数持续降低，最后降至辐照剂量为 8 kGy 时的 10 cfu/g 以下；2015 年版《中国药典(四部)》要求蜈蚣药材中耐胆盐革兰阴性菌不得大于 100 cfu/g，5 个试验组中，耐胆盐革兰阴性菌含量均小于 10 cfu/g，符合要求。此外，试验过程中无论是否接受 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌，均未检出大肠埃希菌与沙门菌，由菌种活化后在相同培养条件下接种培养的样品可检出大肠埃希氏菌与沙门菌（见表 3 中对照试验数据）。

表 3 不同 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照剂量的蜈蚣药粉卫生学指标测定结果（cfu/g）

Tab. 3 Determination of hygienic indexes of *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder sterilized by different doses of $^{60}Co-\gamma$ – ray irradiation (cfu/g)

辐照剂量	需氧菌总数	霉菌、酵母菌总数	耐胆盐革兰阴性菌	大肠埃希菌	沙门菌
0 kGy	10 000	120	< 10	-	-
4 kGy	1 300	90	< 10	-	-
6 kGy	570	70	< 10	-	-
8 kGy	65	< 10	< 10	-	-
10 kGy	< 10	< 10	< 10	-	-
对照试验				> 100	> 100

注：- 为未检出。

Note: - indicates no *Escherichia coli* or *Sardinia* were detected.

依照非无菌含药材原粉的中药制剂的微生物标准，经 6 kGy 以上辐照剂量灭菌的试验组的微生物限度均符合含生药粉口服固体制剂卫生学标准。综上分析，并考虑工业生产中的灭菌成本问题，8 kGy 及 8 kGy 以上剂量辐照灭菌效果最佳。

表 4 不同 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照剂量的蜈蚣药粉 8 种核苷类成分含量测定结果（$n=3$）

Tab. 4 Determination of eight nucleosides in *Scolopendra subspinipes mutilans* medicinal powder sterilized by different doses of $^{60}Co-\gamma$ – ray irradiation（$n=3$）

辐照剂量	胞嘧啶		胞苷		次黄嘌呤		黄嘌呤		尿苷		胸腺嘧啶		2′–脱氧肌苷		胸苷	
(kGy)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)	含量 (mg/g)	*RSD* (%)
0	0.125 2	0.67	0.214 4	0.14	2.637 8	1.42	5.279 1	0.30	0.292 8	2.18	0.178 4	1.43	0.158 2	2.88	0.128 4	2.68
4	0.124 2	0.14	0.214 5	0.33	2.639 3	1.20	5.247 2	0.55	0.297 4	2.39	0.181 5	1.45	0.159 0	2.84	0.127 1	1.08
6	0.125 5	0.30	0.214 4	0.25	2.623 5	0.91	5.275 2	0.86	0.305 2	2.81	0.183 7	2.12	0.158 4	2.51	0.131 2	1.82
8	0.125 4	0.39	0.215 1	0.30	2.622 2	0.21	5.206 6	0.67	0.303 2	1.85	0.179 7	1.15	0.157 7	1.86	0.128 0	2.71
10	0.125 2	0.36	0.214 7	0.46	2.617 0	0.99	5.213 7	0.48	0.298 0	1.28	0.182 5	2.46	0.163 8	0.99	0.126 4	2.45

2.4 化学成分测定结果

结果见表 4。可见，不同试验组蜈蚣药粉中次黄嘌呤和黄嘌呤含量明显高于其他 6 种核苷类成分，15 个批次样品中均含有上述 8 种成分，各试验组间含量无显著差异（$P>0.05$）；且不同辐照剂量 5 个试验组中，8 种核苷类成分总含量均处于同一水平，且无显著差异（$P>0.05$）。

3 讨论

本试验中探讨了不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌对蜈蚣药粉质量的影响，结果 5 个试验组中蜈蚣药粉形态、颜色、气味均一稳定；水分、总灰分、酸不溶性灰分、黄曲霉毒素、酸溶性浸出物含量、重金属及有害元素各指标各试验组间均无显著差异；5 个试验组样品中均含有胞嘧啶、胞苷、次黄嘌呤、黄嘌呤、尿苷、胸腺嘧啶、2′–脱氧肌苷、胸苷 8 种核苷类成分，不同辐照剂量 5 个试验组中 8 种核苷类成分总含量均处于同一水平，差异不显著，表明辐照灭菌对蜈蚣药粉中活性成分的含量无影响。

不同剂量 $^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌对蜈蚣药粉中微生物数量影响极为明显，各试验组间需氧菌总数、霉菌和酵母菌总数差异显著；辐照剂量越高，微生物限度指标检查结果越低，6 kGy 以上辐照剂量灭菌的试验组微生物限度符合含生药粉口服固体制剂卫生学标准。

综上所述，$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌对蜈蚣药粉综合品质评价中卫生学指标有优化提升作用，其他方面品质如理化性质、成分含量等方面无显著影响。因此，$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌可作为蜈蚣药材的灭菌方法进行推广；在保证灭菌效果符合要求的前提下，综合工业生产中灭菌成本及辐照安全性问题，在辐照剂量 0～10 kGy 范围内，8 kGy 及 8 kGy 以上剂量辐照灭菌效果最佳。因此，蜈蚣药材饮片辐照灭菌最佳剂量为 8～10 kGy。

参考文献

[1] 国家药典委员会．中华人民共和国药典（一部）[M]．北京：中国医药科技出版社，2015：357.
[2] 张 丽．蜈蚣抗肿瘤蛋白的分离纯化与药理机制初探[D]．北京：北京中医药大学，2007.
[3] 张 乔，刘 东，赵子佳，等．蜈蚣有效成分提取分离及药理作用研究[J]．吉林中医药，2017，37（3）：263－265.
[4] 周莉莉．蜈蚣提取物制备及药理活性研究[D]．北京：北京化工大学，2008.
[5] 施玉樑，吉永华，王文萍．少棘巨蜈蚣毒囊提取物的一些药理作用[J]．动物学研究，1987，8（1）：68－76.
[6] 毛小平，陈子珺，毛晓健，等．蜈蚣的部分药理研究[J]．云南中医学院学报，1999，22（3）：1－3.
[7] 宁迪敏，田 莎，郭垠梅，等．蜈蚣抗肝癌的临床应用及药理研究[J]．中医肿瘤学杂志，2020，2（1）：39－41.
[8] 司秋菊，王亚利，王鑫国，等．蜈蚣有效成分抗心肌缺血作用的研究[J]．河北中医药学报，2001，16（2）：1－3.
[9] 方秀桐，莫可元．蜈蚣的药理研究进展[J]．中国医药指南，2015，13（18）：32－34.
[10] 元艺兰．蜈蚣的药理作用及临床应用[J]．现代医药卫生，2012，28（9）：1411.
[11] 郭 垚，陈凤娇，石瑞芬，等．移动式 X 射线工业探伤意外照射现场模拟检测与受照剂量估算探讨[J]．中国辐射卫生，2019，28（3）：251－253.
[12] 岳伟玲，岳慧芳，赵华彬．平顶山市 2013－2017 年从业人员健康体检 X 射线透视结果[J]．中国辐射卫生，2019，28（1）：105－108.
[13] 徐光临，刘 瑾，刘 力，等．$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照灭菌对中药黄芩和南星有效成分的影响[J]．环球中医药，2017，10（8）：936－939.
[14] 孙建宇，何富根，陈红梅，等．$^{60}Co-\gamma$ 射线辐照对中药地黄和龙胆有效成分的影响[J]．中国医院药学杂志，2009，29（1）：39－41.
[15] 刘滨思，白海玉．不同的灭菌方法对蜈蚣有效成分及沙门氏菌灭菌效果的影响[J]．黑龙江医药，2011，24（4）：579.
[16] 陈伟盛，潘 雯，朱晓燕．辐射灭菌不同剂量设定方法的比较[J]．中国药品标准，2019，20（6）：500－504.
[17] 国家药典委员会．中华人民共和国药典（四部）[M]．北京：中国医药科技出版社，2015：140－149.
[18] 张 琪，朱叶华，文红梅，等．HPLC－PDA 同时测定不同品种及产地蜈蚣中 8 种核苷类成分[J]．中国实验方剂学杂志，2017，23（14）：57－61.

（收稿日期：2020－09－04；修回日期：2020－11－23）