

文章编号: 1000-8551(2021)08-1816-09

电子束辐照对川麦冬品质及抗氧化活性的影响

何毅¹ 王丹^{1,*} 梅星月¹ 汪菡月¹ 刘亮¹ 高鹏^{2,3} 黄敏^{2,3}⁽¹⁾西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; ⁽²⁾四川省原子能研究院,四川 成都 610101; ⁽³⁾辐照保藏四川省重点实验室, 四川 成都 610101)

摘要:为探讨高能电子束辐照对麦冬的影响,以川产道地药材麦冬为研究对象,研究不同剂量0(CK)、2、4、6 kGy 电子束辐照对其微生物数量、感官品质、理化品质、活性成分含量及抗氧化活性的影响。结果表明,电子束辐照能明显降低麦冬中需氧菌、酵母及霉菌总数;此外,所有样品中均未检出大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)及沙门氏菌(*Salmonella*)。电子束辐照有利于提高麦冬总皂苷含量,对水分、总灰分、水溶性浸出物、总黄酮、总多糖、总酚含量及抗氧化活性均无显著影响($P>0.05$)。电子束辐照后麦冬颜色变暗,主要表现为 a^* 值增加。主成分分析(PCA)及线性判别分析(LDA)结果表明,2 kGy 电子束辐照剂量对麦冬风味影响较小。综上,2 kGy 辐照处理能有效降低麦冬中微生物数量,对其活性成分含量及抗氧化活性无显著影响,能保持麦冬的色泽及风味品质。本研究为电子束辐照技术在麦冬及其制剂的加工应用提供了一定的理论依据。

关键词:麦冬; 电子束; 抗氧化活性; 品质; 微生物

DOI: 10. 11869/j.issn.100-8551. 2021. 08. 1816

麦冬 [*Ophiopogon japonicus* (L.f) Ker-Gawl.] 为百合科(Liliaceae)沿阶草属(*Ophiopogon*)植物麦冬的干燥块根^[1],广泛分布于东南亚等地,是一种重要的传统中药材及功能性食品^[2]。麦冬含有甾体皂苷、高异黄酮、多糖、氨基酸、挥发油、微量元素等多种成分,现代药理研究表明,麦冬具有保护心血管、抗炎、抗氧化、降血糖、免疫调节等作用^[3-4],除用于加工参麦注射液、生脉饮等中药制剂,还用于制作日常饮食如麦冬茶、麦冬酒等^[5]。但麦冬含糖量高,贮存过程中极易发生虫蛀、霉变、泛油、变色等问题^[6]。传统贮藏加工方法如硫磺、磷化铝熏蒸导致SO₂残留量超标、化学成分变化^[7-8]、虫害产生抗性^[9],气调库贮藏仅适用于大批量药材存放,且维护成本高^[10],极大地限制了麦冬产业的发展。

电子束辐照是通过电子加速器产生电子束流对产品进行辐照,达到杀虫、灭菌和延缓品质劣变的目的^[11],已在超过60个国家合法化^[12]。与⁶⁰Co- γ 射线辐照相比,电子束辐照技术具有效率高、成本低、不产

生核废物等优点,已广泛应用于各类农产品加工贮藏、辅助提取及材料改性等方面^[13-14]。此外,2015年发布的《中药辐照灭菌技术指导原则》^[15]为辐照技术应用于中药材灭菌提供了正确指导。

目前,电子束用于中药材辐照加工主要以灭菌为主,但辐照对麦冬品质如色泽、风味、活性成分含量及抗氧化活性的影响研究甚少。本研究以川产道地麦冬药材为研究对象,采用高能电子束辐照处理,综合评估不同剂量0(CK)、2、4、6 kGy 电子束辐照对麦冬微生物含量、感官品质、理化品质、活性成分含量及抗氧化活性的影响,以期电子束辐照技术在麦冬加工贮藏中的应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

麦冬购于四川省成都市荷花池药材市场,晒干后无其他加工。经西南科技大学侯大斌教授鉴定为麦冬

收稿日期: 2021-01-28 接受日期: 2021-03-16

基金项目: 四川省重点科技专项项目(2019ZDZX0003)

作者简介: 何毅,男,主要从事辐照加工与辐照工艺研究。E-mail: 274285179@qq.com

* 通讯作者: 王丹,女,教授,主要从事核技术应用研究。E-mail: 1979813007@qq.com

Copyright © 2021. Electronic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的干燥块根。采用聚酯真空袋包装,每袋约 180 g,样品平均厚度约 2 cm。

鲁斯可皂苷元(纯度 98%)、D-葡萄糖(纯度 98%)、没食子酸(纯度 98%)标准品,成都埃法生物科技有限公司;芦丁(纯度 98%),上海源叶生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azobinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]、奎诺二甲基丙烯酸酯[(±)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid, Trolox],上海麦克林生化科技有限公司;浓硫酸、无水乙醇、正丁醇、高氯酸等分析纯试剂,成都市科隆化学品有限公司;甲醇(色谱纯),赛默飞世尔科技(中国)有限公司;胰酪大豆胨琼脂培养基、沙氏葡萄糖琼脂培养基,北京奥博星生物技术有限责任公司;重铬酸银剂量计,四川省原子能研究院自制,校准标准 JJG 1028-91^[16]。

1.2 仪器与设备

NH300 电脑色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;PEN3 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;SPECORD 200 PLUS 紫外-可见分光光度计,德国 Analytik Jena 公司;5804R 高速离心机,德国 Eppendorf 公司;RE-52A 旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;RHCX-350 超声清洗器,济宁荣汇超声波设备有限公司;HH-W600 数显三用恒温水箱,金坛市医疗仪器厂;GH6000 型隔水培养箱,天津市泰斯特仪器有限公司;IS1020 高能电子加速器,同方威视科技(北京)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 辐照处理 麦冬样品送至重庆恒德辐照有限公司采用高能电子加速器(电子束能量 10 MeV,功率 20 kW)辐照处理,辐照剂量设定为 0、2、4、6 kGy,以未辐照样品为对照(CK)。采用重铬酸银剂量计测定样品的实际吸收剂量,实际吸收剂量为 1.86、3.92、6.17 kGy。为简化描述,下文均以设定剂量表示。所有样品均设置 3 个重复。

1.3.2 微生物指标测定 需氧菌总数、霉菌及酵母菌总数参照《中华人民共和国药典》^[1]2020 版通则 1105 非无菌产品微生物限度检查:微生物计数法;大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、沙门氏菌(*Salmonella*)分别参照 GB 4789.38-2012^[17]、GB 4789.10-2016^[18]、GB 4789.4-2016^[19]测定。

1.3.3 理化品质测定 麦冬水分、总灰分及水溶性浸出物含量均按《中华人民共和国药典》^[1]2020 版中的

方法测定。

1.3.4 感官品质

1.3.4.1 色差测定 麦冬样品颜色测定参考武艳雪等^[20]的方法。麦冬样品粉碎,取麦冬样品(过 24 目筛),对仪器进行黑白板校正以后,进行样品测定,每个处理重复测定 6 次,记录其亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* ,根据公式计算饱和度 C 、总色差 ΔE :

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (2)$$

式中, ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* 为辐照处理后样品与 CK 样品的差值。

根据公式计算色度指标变异系数(coefficient of variation, CV):

$$CV = SD/MN \times 100\% \quad (3)$$

式中,SD 为标准偏差,MN 为平均值。

1.3.4.2 风味分析 参照雷炎等^[21]的方法,略有改动。取 1 g 麦冬样品(过 24 目筛),放入 15 mL 的顶空瓶中,静置平衡 2 h。电子鼻参数设置:测试样品间隔 1 s,样品准备时间 5 s,检测时间 120 s,传感器清洗时间 60 s,气体流量 400 mL·min⁻¹。每个处理重复测定 3 次,采用 Winmuster 进行响应值(G/G0)主成分分析(principal component analysis, PCA)和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA),G/G0>2 时,认为该传感器对待测样品敏感。

1.3.5 活性成分分析

1.3.5.1 总皂苷含量测定 麦冬总皂苷含量参照《中华人民共和国药典》^[1]2020 版中的方法测定。

1.3.5.2 总黄酮含量测定 采用氯化铝比色法^[22]测定。精密称取 20 g 麦冬样品(过 65 目筛),加入 200 mL 70%乙醇,加热回流提取 2 h,过滤。精密量取续滤液 100 mL,真空减压浓缩至干,加 50 mL 去离子水溶解,再加入 100 mL 水饱和正丁醇进行萃取,正丁醇层减压浓缩至干,残渣加 70%乙醇使溶解,转移至 50 mL 量瓶中,加 70%乙醇至刻度。取 1 mL 麦冬 70%乙醇提取物加入 0.4 mL 5% NaNO₂ 溶液,静置 6 min 后,加入 0.4 mL 10% AlCl₃ 溶液,充分混合,静置 5 min 后,加入 4 mL 1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液。在 510 nm 波长处测定吸光度值。以芦丁为标准物。总黄酮含量测定结果用芦丁(RE)当量表示(mg RE·100g⁻¹)。

1.3.5.3 总多糖含量测定 采用水提-醇沉法提取麦冬多糖。精密称取 2 g 麦冬样品(过 65 目筛),加入 100 mL 去离子水,超声提取 30 min,离心(8 000×g, 15 min),取上清液 5 mL,加无水乙醇至醇浓度 80%

以上,4℃冰箱静置过夜,挥干乙醇,取下层多糖稠膏,加入适量水溶解并定容至 100 mL,即得麦冬多糖溶液。精密量取 1 mL 麦冬多糖溶液,加入 5 mL 现配制的 5% 蒽酮-硫酸溶液,沸水浴 7 min,冷水冷却至室温后,于 625 nm 波长处测定吸光度值。以 D-葡萄糖为标准物,绘制标准曲线,计算麦冬总多糖含量。

1.3.5.4 总酚含量测定 称取 3 g 麦冬样品(过 65 目筛),加入 30 mL 甲醇,超声提取 30 min,于 9 000×g 离心 15 min,取上清液即得麦冬甲醇提取物,贮存于 4℃ 冰箱保存,备用。采用 Folin-Ciocalteu 法^[24]测定麦冬总酚含量。精密量取 1 mL 麦冬甲醇提取物,加入 5 mL 0.05 mol·L⁻¹ Folin-Ciocalteu 试剂,再加入 4 mL 7.5% (m/v) Na₂CO₃ 溶液,震荡混匀,在室温下避光反应 1 h,之后在 765 nm 波长处测定吸光度值。以没食子酸为标准,总酚含量测定结果用没食子酸(GAE)当量表示(mg GAE·100g⁻¹)。

1.3.6 抗氧化活性测定 取 1.3.5.4 获得的麦冬甲醇提取物用于麦冬抗氧化活性测定。DPPH 自由基清除能力参考 Lin 等^[25]的方法,稍作修改。取 0.5 mL 麦冬甲醇提取物,加入 4 mL 0.06 mmol·L⁻¹ DPPH 甲醇溶液,充分混匀,室温避光反应 30 min,在 517 nm 波长处测定吸光度值。ABTS 自由基清除能力参考徐宏化等^[26]的方法。取 0.5 mL 样品与 5 mL 稀释好的 ABTS⁺溶液(734 nm 波长处吸光值 0.70±0.02)混合,

室温下反应 10 min,在 734 nm 波长处测定吸光度值,以 Trolox 为标准物,绘制标准曲线。最终结果由 Trolox 当量(TE)表示(μmol TE·100g⁻¹)。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 25 软件进行方差分析,采用 Duncan's 多重比较法分析结果之间是否有显著差异(P<0.05 认为差异显著)。结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照处理对麦冬微生物含量的影响

由表 1 可知,CK 组样品中需氧菌总数为 1.6×10⁵ CFU·g⁻¹,霉菌和酵母菌总数为 10⁴CFU·g⁻¹。《中华人民共和国药典》^[1] 2020 版规定,直接口服及泡服饮片需氧菌总数、霉菌和酵母菌限度分别为 10⁵、10³ CFU·g⁻¹,因此 CK 组样品微生物限度不符合现行药典标准。电子束辐照能有效降低麦冬微生物含量,且呈剂量依赖性下降。当电子束辐照剂量为 2 kGy 时,微生物含量达到药典所规定的直接口服及泡服饮片的微生物限度标准;当辐照剂量为 6 kGy 时,微生物总数均降至检测限(10 CFU·g⁻¹)以下。此外,在所有样品中均未检测出大肠埃希氏菌(*E. coli*)、金黄色葡萄球菌(*S. aureus*)及沙门氏菌(*Salmonella*)。

表 1 电子束辐照处理对麦冬微生物总数的影响

Table 1 Effect of electron-beam irradiation on the microbial loads of *Ophiopogon japonicus*

辐照剂量 Irradiation dose/kGy	微生物总数 Microbial count/(CFU·g ⁻¹)				
	需氧菌总数 Total aerobic microbial count	霉菌和酵母菌总数 Total yeast and mold count	大肠埃希氏菌 <i>E. coli</i>	金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	沙门氏菌 <i>Salmonella</i>
0 (CK)	1.6×10 ⁵	10 ⁴	ND	ND	ND
2	2.4×10 ⁴	4×10 ²	ND	ND	ND
4	10 ²	<10	ND	ND	ND
6	<10	<10	ND	ND	ND

注:ND 表示未检出。
Note:ND represents undetected.

2.2 电子束辐照处理对麦冬理化性质的影响

由表 2 可知,不同剂量电子束辐照处理麦冬水分含量在 13.91%~13.99% 之间,总灰分及水溶性浸出物含量分别为 1.92%~1.99% 和 72.18%~73.53%,均无显著差异(P>0.05)。《中华人民共和国药典》^[1] 2020 版规定:麦冬水分不超过 18%,总灰分不超过 5%,浸出物含量不低于 60%。综上,电子束辐照处理后麦冬水分、总灰分及水溶性浸出物均达到现行药典

规定。

2.3 电子束辐照处理对麦冬感官品质的影响

2.3.1 辐照处理对麦冬色差的影响 由表 3 可知,与 CK 相比,辐照剂量为 2 kGy 时,麦冬 L* 值无显著变化(P>0.05),当辐照剂量达到 4 kGy 及以上时,L* 值极显著降低(P<0.01),表明经电子束辐照后麦冬色泽变暗。a*、b* 及 ΔE 值均随辐照剂量升高而增加,6 kGy 辐照剂量麦冬的 a*、b* 值较 CK 组分别极显著增加

表 2 电子束辐照处理对麦冬水分、总灰分及水溶性浸出物含量的影响

Table 2 Effect of electron-beam irradiation on moisture, ash, and extracts of *Ophiopogon japonicus*

辐照剂量 Irradiation dose/kGy	水分含量 Moisture content/%	总灰分含量 Total ash content/%	水溶性浸出物 Water-soluble extracts/%
0 (CK)	13.99±0.02a	1.92±0.09a	72.52±0.72a
2	13.99±0.07a	1.99±0.13a	72.18±0.55a
4	13.92±0.10a	1.94±0.03a	73.06±0.55a
6	13.91±0.05a	1.96±0.08a	73.53±0.84a

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

表 3 电子束辐照处理对麦冬色差的影响

Table 3 Effect of electron-beam irradiation on Hunter's color of *Ophiopogon japonicus*

辐照剂量 Irradiation dose/kGy	色差 Color				
	L^* 值 L^* value	a^* 值 a^* value	b^* 值 b^* value	饱和度 C	ΔE 值 ΔE value
0 (CK)	26.79±0.99Aa	7.28±0.46Bd	21.32±0.49Dd	22.53±0.60Dd	—
2	26.04±1.25Aa	8.25±0.43Bc	22.91±0.31Cc	24.35±0.40Cc	2.21±1.25Bb
4	23.56±1.39Bb	10.84±0.94Ab	25.69±0.70Bb	27.89±0.99Bb	6.23±2.47Aa
6	23.44±1.33Bb	11.94±0.94Aa	27.13±0.68Aa	29.64±1.00Aa	7.58±1.47Aa
平均值 Mean	24.96	9.58	24.26	26.1	—
标准偏差 Standard deviation	1.48	1.89	2.28	2.81	—
变异系数 Coefficient of variation/%	5.94	19.69	9.39	10.76	—

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),同列不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level, different uppercase letters in the same column indicate significant difference at 0.01 level.

与 CK 相比,2 kGy 辐照处理后样品在第二主成分的位移变化不大,故电子束处理 2 kGy 对麦冬风味影响不大,4 和 6 kGy 辐照处理的麦冬风味变化较大。由图 2-B 可知, LDA1 贡献率为 71.33%, LDA2 贡献率为 24.89%, 累积贡献率为 96.22%。LDA 法能很好地区分 CK 组与辐照组,且对不同剂量电子束辐照样品也有较好的区分度。表明不同剂量电子束辐照处理的麦冬风味存在差异,2 kGy 辐照剂量和 CK 组样品风味较相似。

2.4 电子束辐照处理对麦冬活性成分含量的影响

由表 4 可知,电子束辐照处理后,麦冬总皂苷含量均有升高,且 4、6 kGy 辐照剂量处理的麦冬总皂苷含量均增至 $2.50 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,较 CK 显著增加 2.88% ($P<0.05$)。《中华人民共和国药典》2020 版规定麦冬总皂苷含量以鲁斯可皂苷元计,不得少于 0.12%,经过换算,本试验所有样品总皂苷含量均达到现行药典

64.01%和 27.25% ($P<0.01$)。C 为色彩饱和度,其值在 22.53~29.64 之间,6 kGy 时达到最大,呈现出饱满、强烈的颜色。此外,色度指标变异系数大小依次为 a^* 值 $>$ C $>$ b^* 值 $>$ L^* 值,表明高能电子束辐照对麦冬色泽的影响主要体现在红绿值 a^* 上。

2.3.2 辐照处理对麦冬风味品质的影响 由图 1 可知, W1W、W2W 传感器的信号较强,表明这 2 种传感器在麦冬风味检测过程中贡献较大。CK 组的 W1W、W2W 值均高于辐照组。

由图 2-A 可知,不同处理麦冬样品电子鼻 PC1 和 PC2 贡献率分别为 94.21%和 5.36%,累积总贡献率达 99.57%,可以有效反映原始数据绝大部分信息。

标准。

黄酮类、多糖类化合物也是麦冬的主要活性成分,表现出多种生物活性如抗氧化、抗炎、降血糖等^[27]。CK 组样品中总黄酮含量、总多糖含量分别为 $106.77 \text{ mg RE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 、23.64%,经电子束辐照处理后,其含量均有所下降。6 kGy 辐照处理后总黄酮、多糖含量降至最低,较对照组分别降低 4.41%、1.17 个百分点。麦冬甲醇提取物中总酚含量为 $47.13 \sim 48.09 \text{ mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$,且电子束辐照处理对麦冬总酚含量无显著影响 ($P>0.05$)。表明 6 kGy 及以下剂量电子束辐照对麦冬活性成分含量总体上无显著不良影响。

2.5 电子束辐照处理对麦冬抗氧化能力的影响

由图 3 可知,CK 组样品对 DPPH 自由基清除能力为 $88.41 \mu \text{mol TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$,经电子束辐照处理后,与 CK 相比, DPPH 自由基清除能力无显著变化 ($P>0.05$),且不同辐照剂量处理间无显著差异。ABTS⁺ 自

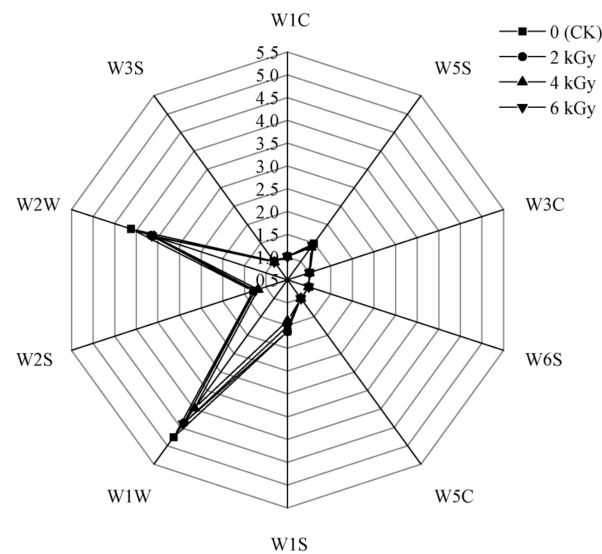


图 1 不同剂量电子束辐照处理麦冬电子鼻传感器响应值雷达图

Fig.1 Radar chart of electronic nose response value of *Ophiopogon japonicus* treated with electron-beam at different doses

由基清除能力也表现出相同的趋势。表明电子束辐照处理不会对麦冬抗氧化能力产生显著影响。

3 讨论

3.1 电子束辐照对麦冬微生物含量的影响

研究表明,辐照通过射线的直接作用和产生的自由基间接作用破坏 DNA 双链、酶、以及蛋白质,从而杀死微生物,起到杀菌作用^[28]。本研究结果表明,2 kGy 电子束辐照剂量能有效降低麦冬中需氧菌总数、酵母及霉菌总数,随辐照剂量增加,对微生物抑制作用增强。这与 Baek 等^[12]采用电子束辐照川芎后需氧菌、酵母及霉菌总数显著降低结果相一致。徐远芳等^[29]利用⁶⁰Co- γ 射线与电子束辐照葛根提取物,发现辐照吸收剂量分别为 5.7 和 7.7 kGy 时,样品的微生物总

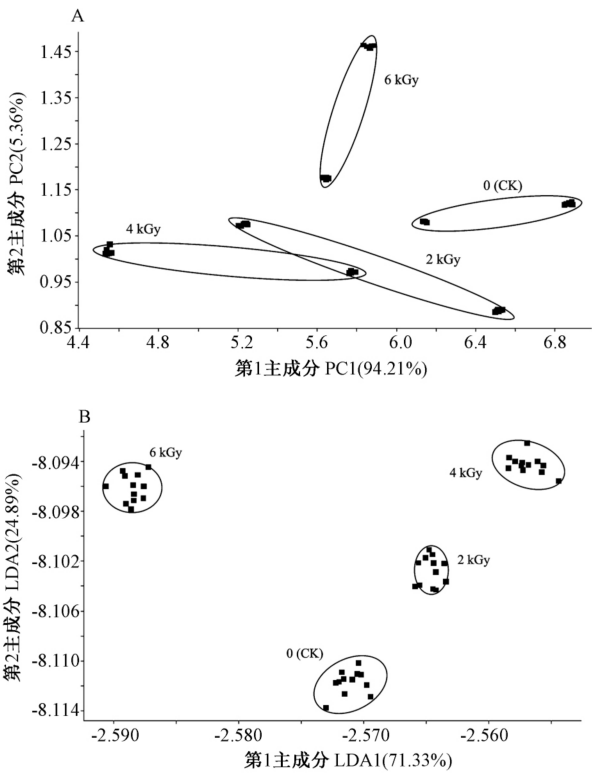


图 2 不同剂量电子束处理麦冬样品 PCA (A) 和 LDA (B)
Fig.2 PCA (A) and LDA (B) of *Ophiopogon japonicus* treated with electron-beam at different doses

数均降至 10 CFU·g⁻¹ 以下,且⁶⁰Co- γ 射线辐照杀菌能力优于电子束辐照。其原因可能是由于电子束在产生机理、作用特征与⁶⁰Co- γ 射线都存在实质性差异。而袁忠谊等^[30]利用电子束和⁶⁰Co- γ 射线辐照左归丸粉的研究表明二者的杀菌效果无明显差异。因此,辐照杀菌效果还与放射源源强、电子束束能与功率以及产品初始微生物负载有关^[24]。

3.2 电子束辐照处理对麦冬理化品质及感官品质的影响

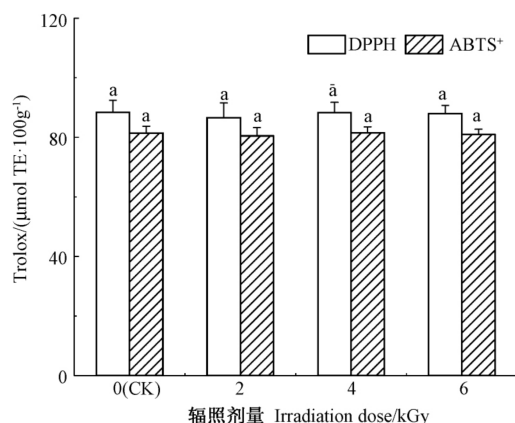
中药材颜色与其质量密切相关,颜色可反映中药内在成分变化、贮藏时间等^[31]。武艳雪等^[20]研究发

表 4 电子束辐照处理对麦冬活性成分含量的影响

Table 4 Effect of electron-beam irradiation on the content of bioactive components of *Ophiopogon japonicus*

辐照剂量 Irradiation dose/kGy	活性成分含量 The content of bioactive components			
	总皂苷 Total saponins /(mg·g ⁻¹)	总黄酮 Total flavonoids /(mg RE·100g ⁻¹)	总多糖 Polysaccharides/%	总酚 Total phenolics /(mg GAE·100g ⁻¹)
0 (CK)	2.43±0.02b	106.77±3.96a	23.64±1.11a	47.38±0.82a
2	2.48±0.03ab	104.33±2.06a	22.83±1.00a	47.13±1.01a
4	2.50±0.03a	103.67±3.60a	23.34±0.84a	48.09±0.42a
6	2.50±0.03a	102.06±2.04a	21.93±0.96a	47.89±0.96a

现黄芩苷含量与其 a^* 、 b^* 值呈极显著正相关,而与 L^* 值呈极显著负相关。本研究发现,随电子束辐照剂量增加,麦冬 L^* 值降低,颜色变暗, a^* 、 b^* 值上升;饱和度 C 随辐照剂量增大而增加,表明辐照后麦冬颜色较 CK 偏红、黄色,呈饱满、强烈的颜色且随辐照剂量增大,颜色有逐渐加深的趋势,剂量差异越大,颜色变化越明显。郭一丹等^[32] 研究表明电子束和 γ 射线辐照后冬枣果实 L^* 值下降,表面颜色逐渐转红。有研究表明,当总色差 ΔE 值小于 6 时,色差不明显;介于 6.0~12.0 之间时,色差较大;超过 12 时为不同颜色^[33]。本研究中,辐照剂量为 2 kGy 时麦冬 ΔE 值为 2.21,表明 2 kGy 辐照对麦冬颜色影响较小。陈志军等^[34] 研究表明电子束辐照后葡萄色泽发生变化, ΔE 值随辐照剂量增大而增加,剂量差异越大, ΔE 值越大,与本研究结果一致。



注:不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

图3 电子束辐照处理麦冬抗氧化能力的影响

Fig.3 Effect of electron beam irradiation on the antioxidant activity of *Ophiopogon japonicus*

气味也是中药材的重要属性,是其质量的外在反映。周冉冉等^[35] 研究发现辐照能较好地保持香菇特有的风味,贮藏期内辐照组样品感官品质均优于对照组。而辐照对中药的影响鲜有报道。本研究采用电子鼻技术对不同剂量电子束处理麦冬色风味进行检测,结果表明, LDA 法可以将不同剂量 (0~6 kGy) 辐照样品区分出来,2 kGy 辐照对麦冬风味影响较小。另外,6 kGy 及以下剂量电子束辐照对其他理化品质无显著影响。

3.3 电子束辐照处理对麦冬活性成分含量的影响

麦冬含有皂苷类、黄酮类、多糖等多种活性成分,具有多种药理作用^[36]。Khattak 等^[37] 对滇刺枣

(*Ziziphus mauritiana* Lam) 的辐照研究表明,与未辐照样品相比,在剂量低于 12.5 kGy 时,皂苷含量随辐照剂量升高而显著增加,可能是因为辐照降解了某些复杂结构,其活性成分释放出来使含量升高。本研究发现麦冬皂苷含量变化规律与此相似,总皂苷含量随辐照剂量增加而增加。

本研究发现电子束 6 kGy 及以下剂量辐照后,麦冬总黄酮、多糖含量有下降趋势,但差异不显著。Zhang 等^[38] 采用电子束辐照对茶叶的化学成分研究也得到了类似的结果,与对照相比,当辐照剂量达到 7 kGy 时,茶叶中总黄酮含量显著下降。麦冬多糖含量降低可能与辐照处理导致多糖结构重排和降解有关。Choi 等^[39] 对海藻多糖的辐照结果表明,辐照降低了多糖的平均分子量,多糖的羧基、羰基和双键数增加;Tissot 等^[40] 也证实了辐照能引起多糖和纤维素的降解,降解为小分子糖。

酚类化合物广泛存在于植物中,具有多种生物活性,能中和生物体中产生的自由基。本研究表明电子束辐照对麦冬甲醇提取物中总酚含量无显著影响。类似地, Khattak 等^[41] 研究表明,⁶⁰Co- γ 射线辐照对紫花苜蓿种子甲醇提取物中的总酚含量无显著影响,经 10 kGy 以下剂量辐照处理后,水提取物中总酚含量无明显影响,但在 12 kGy 及以上剂量辐照处理后,酚类物质含量均有所下降。李阳等^[42] 采用电子束辐照金丝绞瓜后总酚含量升高。因此,辐照处理后样品中总酚含量变化可能与植物种类、提取溶剂、提取技术、辐照剂量等有关^[43]。

3.4 电子束辐照处理对麦冬抗氧化活性的影响

近年来,对麦冬黄酮、多糖及不同提取溶剂提取物的体外抗氧化活性开展了大量研究,发现其对 DPPH 自由基、羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$)、超氧阴离子自由基等均有较强的清除能力^[44-45]。本研究结果表明,6 kGy 及以下剂量电子束辐照不会对麦冬体外抗氧化活性产生显著影响,且 DPPH 自由基清除能力 Trolox 的当量均高于 ABTS⁺ 自由基,可能与其所含成分及活性氧的性质有关^[46];徐远芳等^[29] 采用⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照对葛根提取物抗氧化活性的研究表明,两种辐照方式对葛根提取物的 DPPH 自由基清除率、羟自由基清除率以及总还原能力均无显著影响;Cho 等^[47] 表明电子束辐照对橙子的抗氧化物质含量、抗氧化能力及还原力均无明显影响,与本研究结果一致。Lin 等^[25] 研究表明,麦冬抗氧化活性主要取决于其酚类物质,而本研究发现电子束辐照对麦冬总酚含量无显著影响,因而可能导致电子束辐照对麦冬抗氧化活性无显著影响。

4 结论

本研究结果表明,麦冬经 2 kGy 剂量电子束辐照,可有效降低其微生物含量,使微生物含量降至药典规定的微生物限度标准以下,总皂苷含量稍有增加,而电子束辐照对麦冬其他活性成分及抗氧化活性无显著影响,同时还能较好地保持麦冬的色泽及风味品质。下一步拟研究电子束辐照后对麦冬贮藏期品质的影响,以期电子束辐照技术在麦冬及其制剂加工中应用提供依据与支撑。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020
- [2] Wu Y, Dong Z J, Wu H Z, Ding W J, Zhao M M, Shi Q W, Wang Q. Comparative studies on *Ophiopogonis* and *Liriope* based on the determination of 11 bioactive components using LC-MS/MS and Hierarchical clustering analysis [J]. Food Research International, 2014, 57: 15-25
- [3] Lu X Y, Tong W, Wang S F, Li J H, Zheng J, Fan X H, Liu L. Comparison of the chemical constituents and immunomodulatory activity of ophiopogonis radix from two different producing areas [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2017, 134: 60-70
- [4] Xiong S L, Li A L, Huang N, Lu F, Hou D B. Antioxidant and immunoregulatory activity of different polysaccharide fractions from tuber of *Ophiopogon japonicus* [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(3): 1273-1280
- [5] Fan Y P, Ma X, Ma L, Zhang J, Zhang W M, Song X P. Antioxidative and immunological activities of ophiopogon polysaccharide liposome from the root of *Ophiopogon japonicus* [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 135: 110-120
- [6] 张蜜芳, 颜继忠, 程冬萍, 张善飞, 刘雳. 麦冬贮藏条件研究进展 [J]. 现代食品, 2017(12): 43-45
- [7] 薛鹏仙, 龙泽荣, 袁辉, 兰卫. 硫熏中药材品质及其毒理学研究进展 [J]. 化学通报, 2019, 82(7): 598-605, 597
- [8] 席啸虎, 刘璐, 刘霞. 基于化学成分变化优化麦冬硫熏工艺 [J]. 中草药, 2017, 48(7): 1327-1333
- [9] 皇欣. 几种粉食性储粮害虫的磷化氢抗性及致死浓度与时间研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2016
- [10] 何媛丽. 气调和臭氧处理对贮藏后党参品质的影响研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016
- [11] Kim H J, Chun H H, Song H J, Song K B. Effects of electron beam irradiation on the microbial growth and quality of beef jerky during storage [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2010, 79(11): 1165-1168
- [12] Baek M, Jo Y, Chung N, Choi M, Kim J, Won J, Lee S H, Kwon J H. Effect of E-beam irradiation on microbial load, stability of active components, and anti-inflammatory activity of *Cnidii Rhizoma* and *Alismatis Rhizoma* [J]. Journal of Medicinal Food, 2019, 22(10): 1067-1077
- [13] 董婷, 高鹏, 汪菡月, 李华, 王丹, 陈浩. 电子束辐照对果蔬品质影响的研究进展 [J]. 北方园艺, 2020, 463(16): 133-138
- [14] Zhang X X, Wang L, Chen Z X, Li Y F, Luo X H, Li Y N. Effect of high energy electron beam on proteolysis and antioxidant activity of rice proteins [J]. Food and Function, 2020, 11(1): 871-882
- [15] 白洁, 迟玉明, 金红宇, 许华玉, 周刚, 刘春, 张体灯, 王海南. 《中药辐照灭菌技术指导原则》解读 [J]. 中成药, 2017, 39(7): 1537-1538
- [16] 国家技术监督局. JJG 1028-91 使用重铬酸银剂量计测量 γ 射线水吸收剂量标准方法 [S]. 北京: 中国计量出版社, 1991
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 4789.38-2012 食品微生物学检验 大肠埃希氏菌计数 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.10-2016 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.4-2016 食品微生物学检验 沙门氏菌检验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [20] 武艳雪, 翁丽丽, 姜雨昕, 宿莹, 侯晓琳. 基于色差原理分析黄芩化学成分含量与色度相关性 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(8): 2839-2844
- [21] 雷炎, 李华佳, 望诗琪, 侯强川, 石桂芳, 郭壮. 不同干燥方式对猕猴桃果脯品质的影响 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(24): 103-108
- [22] Wang Y C, Liu F, Liang Z S, Peng L, Wang B Q, Yu J, Su Y Y, Ma C D. Homoisoflavonoids and the antioxidant activity of *Ophiopogon japonicus* root [J]. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2017, 16(1): 357-365
- [23] Zhao H P, Zhang Y, Liu Z, Chen J Y, Zhang S Y, Yang X D, Zhou H L. Acute toxicity and anti-fatigue activity of polysaccharide-rich extract from corn silk [J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2017, 90: 686-693
- [24] Khawory M H, Sain A A, Rosli M A A, Ishak M S, Noordin M I, Wahab H A. Effects of gamma radiation treatment on three different medicinal plants: Microbial limit test, total phenolic content, in vitro cytotoxicity effect and antioxidant assay [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2020, 157: 109013
- [25] Lin Y N, Zhu D N, Qi J, Qin M J, Yu B Y. Characterization of homoisoflavonoids in different cultivation regions of *Ophiopogon japonicus* and related antioxidant activity [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2010, 52(5): 757-762
- [26] 徐宏化, 程慧, 王正加, 付顺华, 斯金平, 于敏, 张爱莲. 美国山核桃总多酚与总黄酮含量及抗氧化活性 [J]. 核农学报, 2016, 30(1): 72-78
- [27] 彭婉, 马骁, 王建, 曾南, 董泰玮, 李雷, 李敏. 麦冬化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2018, 49(2): 477-488
- [28] Kyung H K, Ramakrishnan S, B. K. J. H. Dose rates of electron beam and gamma ray irradiation affect microbial decontamination and quality changes in dried red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(2): 1000-1008

- 632-638
- [29] 徐远芳, 李文革, 邓钢桥, 陈石新, 张祺玲, 周毅吉, 张勇, 彭玲. ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照灭菌对葛根提取物抗氧化活性及指纹图谱的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1713-1721
- [30] 袁忠谊, 岳玲, 吴富兰, 孔秋莲, 戚文元, 包英姿, 陈志军. 电子束和 γ 射线辐照对左归丸粉杀菌效果的研究 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012, 30(2): 93-96
- [31] 解达帅. 基于智能感官技术和模式识别的中药炮制“火候”的研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2017
- [32] 郭一丹, 寇莉萍. 电子束和 γ 射线辐照对冬枣保鲜效果的初步研究 [C] // 中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集, 西安: 中国食品科学技术学会, 2020: 505
- [33] 黄卉, 郑陆红, 李来好, 杨贤庆, 魏涯, 翟红蕾, 吴燕燕, 张鹰, 郝淑贤. 不同预冷温度对鲈鱼冰藏期间质构和色差的影响 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 302-308
- [34] 陈志军, 孔秋莲, 岳玲, 颜伟强, 包英姿, 戴旭东, 戚文元. 电子束辐照对进口葡萄色泽及保鲜效果的影响 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2013, 31(6): 48-52
- [35] 周冉冉, 高虹, 范秀芝, 殷朝敏, 陈浙娅, 姚芬, 程薇, 史德芳. ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对鲜香菇保鲜效果的初步研究 [J]. 核农学报, 2019, 33(3): 490-497
- [36] Chen M H, Chen X J, Wang M, Lin L G, Wang Y T. *Ophiopogon japonicus*-A phytochemical, ethnomedicinal and pharmacological review [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 181: 193-213
- [37] Khattak K F, Rahman T U. Effect of gamma irradiation on the vitamins, phytochemicals, antimicrobial and antioxidant properties of *Ziziphus mauritiana* Lam. leaves [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2016, 127: 243-248
- [38] Zhang H W, Zhang Y J, Chambers E, Dai Q Y. Electron beam irradiation on Fuzhuan brick-tea: Effects on sensory quality and chemical compositions [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2020, 170: 108597
- [39] Choi J I, Kim H J, Kim J H, Byun M W, Chun B S, Ahn D H, Hwang Y J, Kim D J, Kim G H, Lee J W. Application of gamma irradiation for the enhanced physiological properties of polysaccharides from seaweeds [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2009, 67(7): 1277-1281
- [40] Tissot C, Grdanovska S, Barkatt A, Silverman J, Al-sheikhly M. On the mechanisms of the radiation-induced degradation of cellulosic substances [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2013, 84: 185-190
- [41] Khattak K F, Simpson T J. Effect of gamma irradiation on the extraction yield, total phenolic content and free radical-scavenging activity of *Nigella stauva* seed [J]. Food Chemistry, 2008, 110(4): 967-972
- [42] 李阳, 沙飞, 高月霞, 李佳佳, 彭雪, 任亚梅. 高能电子束辐照对金丝绞瓜的保鲜效果 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 171-182
- [43] Song E J, Kim A R, Kim K B W R, Lee S Y, Park J G, Kim J H, Choi J I, Lee J W, Byun M W, Ahn D H. Effects of γ -irradiation on antioxidant and antimicrobial activities and color of *Ecklonia cava* [J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(3): 593-599
- [44] 王莹, 王华, 赵丽, 李屿君. 麦冬多糖的提取工艺优化及其抗氧化活性分析 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(19): 82-87
- [45] 申梦娜, 陈哲, 杨润, 李佳佳, 石桂芳, 宋凯, 吕虎晋, 余海忠, 王海燕. 襄麦冬黄酮提取及其体外活性研究 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 19-23, 122
- [46] 陈华, 赵荣华, 贾巧, 任小娜, 夏之宁. 麦冬不同溶剂提取物的体外抗氧化活性 [J]. 分析试验室, 2013, 32(3): 18-21
- [47] Cho Y J, Kim K H, Yook H S. Effect of low-dosage electron beam irradiation on antioxidant activities of Navel Oranges during storage at a low temperature of 3°C [J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(2): 601-606

Effects of Electron-Beam Irradiation on Quality and Antioxidant Properties of *Ophiopogon japonicus*

HE Yi¹ WANG Dan^{1,*} MEI Xingyue¹ WANG Hanyue¹ LIU Liang¹

GAO Peng^{2,3} HUANG Min^{2,3}

(¹School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010;

²Sichuan Institute of Atomic Energy, Chengdu, Sichuan 610101; ³Irradiation Preservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610101)

Abstract: In order to investigate the effects of high-energy electron-beam irradiation on quality of *Ophiopogon japonicus* from Sichuan, samples were irradiated at doses of 0 (CK), 2, 4 and 6 kGy, and we assessed the microbial populations, sensory quality, physicochemical, bioactive components, and antioxidant activity were measured. The results showed that the total aerobic microbial count and total yeast and mold count were significantly reduced by the electron-beam irradiation treatment. No *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella* were observed in all samples. Electron-beam irradiation treatment increased the contents of total saponins, but did not significantly affect the moisture, total ash, water-soluble extracts, total flavonoids, total polysaccharides, total phenolics and antioxidant activity ($P > 0.05$). The Hunter color values were decreased after electron-beam irradiation, with the increased in red-green value a^* . The results of principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) showed that there were no obviously effects on flavor at the dose of 2 kGy. In summary, high-energy electron-beam irradiation at 2 kGy dose could effectively reduce the microbial populations, while no significant effect on the amount of main active components as well as antioxidant activity, which can maintain the original color and flavor of *Ophiopogon japonicus*. This study provides an experimental basis for the application of high-energy electron-beam irradiation on the quality improvement of *Ophiopogon japonicus*.

Keywords: *Ophiopogon japonicus*, electron-beam, antioxidant activity, quality, microbial