

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.03.029

^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对红碎茶 杀菌效果与品质的影响

Effect of ^{60}Co - γ ray and electron beam irradiation on microbial
property and qualities of black broken tea

张祺玲^{1,2,3} 彭 玲^{1,2,3} 徐远芳^{1,2,3} 周毅吉^{1,2,3}

ZHANG Qi-ling^{1,2,3} PENG Ling^{1,2,3} XU Yuan-fang^{1,2,3} ZHOU Yi-ji^{1,2,3}

郭 峰^{1,2,3} 张 勇^{1,2,3} 邓 超^{1,2,3} 李文革^{1,2,3}

GUO Feng^{1,2,3} ZHANG Yong^{1,2,3} DENG Chao^{1,2,3} LI Wen-ge^{1,2,3}

(1. 湖南省核农学与航天育种研究所, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南省农业生物辐照工程技术研究中心,
湖南 长沙 410125; 3. 生物辐照技术湖南省工程研究中心, 湖南 长沙 410125)

(1. Hunan Institute of Nuclear Agricultural Science and Space Mutation Breeding, Changsha, Hunan 410125, China; 2. Hunan Engineering Technology Research Center of Agricultural Biological Irradiation, Changsha, Hunan 410125, China; 3. Hunan Biological Irradiation Technology Engineering Research Center, Changsha, Hunan 410125, China)

摘要:采用不同剂量的 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照红碎茶,分析其对红碎茶中微生物、品质成分和感官品质的影响。结果表明,2种辐照方式均能有效抑制红碎茶中微生物污染情况, ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照红碎茶菌落总数 D_{10} 值分别为1.70、2.66 kGy, ^{60}Co - γ 射线对红碎茶的杀菌能力强于电子束辐照。2种辐照方式不会对红碎茶水浸出物和氨基酸产生明显影响,但能引起茶多酚和咖啡碱含量减少,可溶性糖含量增加,且电子束辐照对茶多酚、咖啡碱和可溶性糖的影响大于 ^{60}Co - γ 射线辐照的; ^{60}Co - γ 射线辐照后红碎茶灰分含量增加,电子束辐照后红碎茶灰分含量无明显变化, ^{60}Co - γ 射线对红碎茶的灰分含量影响强于电子束辐照;2种辐照方式对红碎茶感官品质均有一定提升。综上, ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对红碎茶卫生品质的影响存在一定差异性。

关键词:红碎茶; ^{60}Co - γ 射线辐照;电子束辐照;杀菌效果;品质成分

Abstract: In order to investigate the effect of ^{60}Co -gamma ray and

electron beam irradiation on the microbial property and qualities of black broken tea, different doses of ^{60}Co -gamma ray irradiation and electron beam irradiation were used to irradiate black broken tea, and the effects of ^{60}Co -gamma ray irradiation and electron beam irradiation on microorganism, quality composition and sensory quality of black broken tea were studied. The results showed that both ^{60}Co -gamma ray irradiation and electron beam irradiation could effectively inhibit the microbial pollution in black broken tea. It was found that the ^{60}Co -gamma ray irradiation D_{10} of bacteria was 1.70 kGy, and the electron beam irradiation D_{10} of bacteria was 2.66 kGy. No obvious influence on the water extraction and amino acid of black broken tea was found after the irradiation treatment, while the content of tea polyphenols and caffeine were reduced, and the content of soluble sugar increased. The ^{60}Co -gamma ray irradiation could increase the ash content of black broken tea, while the electron beam irradiation had no significant influence on it. Compared with the two irradiation methods at similar doses, the effect of ^{60}Co -gamma ray irradiation on the microbicidal efficacy and ash content was stronger than that of electron beam irradiation. However, the effect of electron beam irradiation on tea polyphenols, caffeine and soluble sugar was greater than that of ^{60}Co -gamma ray irradiation. Therefore, some differences of the effects between the ^{60}Co -gamma ray and electron beam irradiations on the hygienic quality of black broken tea were found, and their applications should be fur-

基金项目:湖南农业科技创新资金项目(编号:2019JG03, 2018ZD04-2, 2017JC53, 2017XC12)

作者简介:张祺玲,女,湖南省核农学与航天育种研究所助理研究员,硕士。

通信作者:李文革(1966—),男,湖南省核农学与航天育种研究所研究员,博士。E-mail:641386565@qq.com

收稿日期:2019-12-13

ther analyzed and determined.

Keywords: black broken tea; ^{60}Co -gamma ray irradiation; electron beam irradiation; microbicidal efficacy; quality components

2017年世界茶叶产量为581.2万t,红茶占65%;世界茶叶出口总量为179.1万t,红茶占78.3%,其中又以红碎茶为主,占红茶贸易量的90%以上,因此红碎茶是世界生产和消费的主要茶类^[1-2]。中国作为世界上最早发现、栽培、利用茶叶的国家,茶叶种植面积、产量及消费量均居世界第一。随着食品安全问题的日益突出,红碎茶进口国对红碎茶产品质量要求越来越高,尤其是红碎茶的微生物商检标准不断提高,使得如何解决红碎茶中微生物污染问题成为红碎茶出口亟需解决的问题之一^[3]。

食品辐照加工技术是一种高效、节能、安全的绿色物理杀菌非热加工技术^[4],能在最大限度保持食品的营养成分和感官品质的同时具有杀虫、杀菌、防霉和降解有害物质等作用,从而达到有效延长食品货架期和控制食源性疾病的目的^[5-7]。食品辐照加工的射线包括 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 产生的 γ 射线、10 MeV及以下的电子束以及5 MeV及以下的X射线^[8],其中采用 ^{60}Co - γ 射线进行食品辐照加工的技术较成熟,应用研究较广泛;由于电子束辐照效率高、无放射性废物、辐射安全等的安全环保优势,使得电子加速器辐照加工装置得到广泛关注^[9-10],利用电子束进行食品辐照加工的研究越来越多^[11-13]。电子束与 γ 射线辐照作用原理类似,但两种射线的来源、类型、对物品穿透能力不同,与被辐照食品相互作用产生的辐射生物学效应不同,因此研究比较两种射线辐照效应的异同具有重要意义^[4,9,14-16]。目前, γ 射线和电子束辐照效应异同性研究主要集中于肉制品等脂肪含量较高的食品中^[17-19], γ 射线对红碎茶品质影响以及 γ 射线和电子束辐照效应比较研究尚未见报道。

试验拟以红碎茶为研究材料,采用 γ 射线和电子束2种不同射线辐照处理,研究不同射线不同剂量辐照对红碎茶的微生物负载、品质成分(水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、可溶性糖、灰分)和感官特性的影响,为辐照技术在茶叶加工中的应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

红碎茶:某茶叶企业;

平板计数琼脂、孟加拉红琼脂、月桂基硫酸盐胰蛋白酶(LST)肉汤、煌绿乳糖胆盐(BGLB)肉汤:广东环凯微生物科技有限公司;

甲醇、碳酸钠、福林酚、没食子酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、水合茛三酮、氯化亚锡、谷氨酸、碱式乙酸铅、浓盐酸、浓硫酸、咖啡碱、萘酚、乙酸乙酯、蔗糖:国药集团化

学试剂有限公司;

重铬酸银、重铬酸钾(银)剂量计:湖南省核农学与航天育种研究所。

1.2 仪器与设备

^{60}Co 放射源:放射性活度为 3.14×10^{16} Bq,湖南省核农学与航天育种研究所;

电子加速器:10 MV/15 kW,湖南湘华华大生物科技有限公司;

超净工作台:FW-CJ-2FD型,苏州净化设备有限公司;

电子天平:AUX220D型,日本岛津公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:LDZX-50KBS型,上海申安医疗器械厂;

生化培养箱:SPX-250B型,天津泰斯特仪器有限公司;

霉菌培养箱:MJ型,上海一恒科学仪器有限公司;

紫外分光光度计:UV-2450型,日本岛津公司;

箱式电阻炉: SX2型,北京市永光明医疗仪器有限公司;

恒温水浴锅: HWS-28型,上海一恒科学仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱: DHG-9246A型,上海精宏实验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品准备 红碎茶自某茶叶企业取出后,于超净工作台上用透明PE自封袋分装。

1.3.2 样品辐照 γ 射线辐照在湖南省农业科学院核农学与航天育种研究所湖南辐照中心进行,辐照方式为动态步进,电子束辐照在湖南湘华华大生物科技有限公司进行,辐照过程均分别进行剂量跟踪(γ 射线辐照:重铬酸银和重铬酸钾(银)剂量计;电子束辐照:剂量片(FWT-60),剂量计/片均经中国计量科学研究院国家剂量保证服务NDAS比对标定), γ 射线辐照实测剂量分别为0.0, 3.3, 6.5, 8.2, 10.3, 13.5 kGy;电子束辐照实测剂量分别为0.0, 1.9, 4.3, 6.1, 8.1, 9.7 kGy,每个剂量3次平行。

1.3.3 微生物检测

(1) 菌落总数:按GB 4789.2—2016执行。

(2) 霉菌:按GB 4789.15—2016执行。

(3) 大肠菌群:按GB 4789.3—2016执行。

1.3.4 品质成分测定

(1) 水浸出物含量:按GB/T 8305—2013执行。

(2) 茶多酚含量:按GB/T 8313—2018执行。

(3) 游离氨基酸含量:按GB/T 8314—2013执行。

(4) 咖啡碱含量:按GB/T 8312—2013执行。

(5) 可溶性糖含量:采用蒽酮比色法测定。

(6) 灰分含量:按GB 5009.4—2016执行。

1.3.5 感官审评 参照GB/T 23776—2009,委托湖南省

茶叶检测中心进行。

1.3.6 数据分析 采用 SPSS 软件及 Excel 软件进行统计分析,在 5%显著水平上比较差异显著性。

2 结果与分析

2.1 ⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照对红碎茶微生物的影响

由表 1 可知,⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照后红碎茶菌落总数、真菌及大肠菌群与未辐照的差异显著(P<0.05),且随着辐照剂量的增加,微生物负载逐渐下降,说

明两种辐照方式均能有效抑制红碎茶中微生物的污染情况,且随着辐照剂量的增加,抑制效果增强,因此采用⁶⁰Co-γ射线和电子束辐照经一定剂量辐照处理后能有效控制红碎茶中微生物负载,使其达到红碎茶的微生物商检标准。当⁶⁰Co-γ射线为 6.5 kGy,电子束为 6.1 kGy 剂量以上辐照时,真菌和大肠菌群数均降至最低检出值以下,杀灭效果显著;而在相近剂量下,⁶⁰Co-γ射线辐照处理后的菌落总数明显低于电子束辐照的(P<0.05)。

表 1 ⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照对红碎茶微生物的影响[†]

Table 1 Effects of ⁶⁰Co-γ ray and electron beam irradiation on microbial diversity of broken black tea

辐照方式	辐照剂量/kGy	菌落总数/lg(CFU · g ⁻¹)	真菌/lg(CFU · g ⁻¹)	大肠菌群/lg(MPN · g ⁻¹)
⁶⁰ Co-γ 射线	0.0	5.21±0.16 ^a	3.43±0.19 ^a	2.47±0.16 ^a
	3.3	3.19±0.11 ^c	<1.00±0.00 ^g	1.05±0.09 ^b
	6.5	1.38±0.15 ^f	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
	8.2	<1.00±0.00 ^g	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
	10.3	<1.00±0.00 ^g	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
	13.5	<1.00±0.00 ^g	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
电子束	1.9	3.88±0.11 ^b	2.05±0.18 ^b	1.15±0.18 ^b
	4.3	3.23±0.09 ^c	1.63±0.31 ^b	0.82±0.24 ^c
	6.1	2.59±0.15 ^d	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
	8.1	2.02±0.14 ^e	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d
	9.7	<1.00±0.00 ^g	<1.00±0.00 ^g	<0.48±0.00 ^d

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

对表 1 中菌落总数的对数(lgN)与辐照剂量 D 作 lgN—D 线性关系曲线(图 1)。由图 1 可知,⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照红碎茶后的菌落总数的对数与辐照剂量均呈线性负相关,⁶⁰Co-γ 射线辐照红碎茶的线性回归方程为 $y = -0.5893x + 5.1852 (R^2 = 0.9995)$, D₁₀ 值为 1.70 kGy;电子束辐照红碎茶的线性回归方程为 $y = -0.3755x + 4.9179 (R^2 = 0.9642)$, D₁₀ 值为 2.66 kGy,⁶⁰Co-γ 射线辐照红碎茶的 D₁₀ 值低于电子束辐照,表明⁶⁰Co-γ 射线辐照达到相同杀菌效果所需的辐照剂量值低于电子束辐照的。Park 等^[18]研究表明 γ 射线对牛肉香肠的菌落总数的控制能力比电子束强,贾倩等^[13]研究显示 γ 射线辐照素鸡的杀菌效果比电子束更好,徐远芳等^[15]研究表明 γ 射线辐照对风味豆干的杀菌效果强于电子束辐照,与试验结论一致;肖欢等^[4]研究表明相同辐照剂量下电子束对冷鲜鸡辐照杀菌效果较⁶⁰Co-γ 射线显著,王晶晶等^[14]研究发现在相近的剂量下电子束和 γ 射线辐照对象拔蚌菌落总数的抑制效果并无显著差异,与试验结论不一致。辐照处理对微生物有杀灭效果主要由 2 个作用引起:① 射线直接作用于生物大分子引起结构改变,功能丧失,从而致使微生物死亡;② 射线照射下产生的自由基引起生物大分子过氧化,而引起细胞凋亡。因此,电子束能量高低、功率大小,放射源活

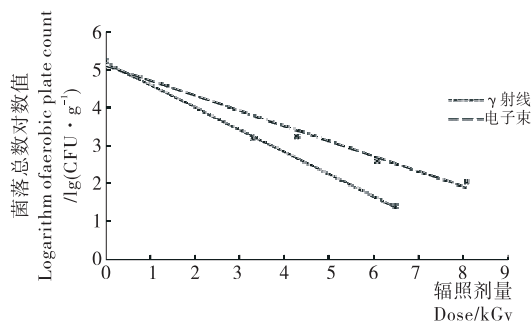


图 1 菌落总数的对数(lgN)与辐照剂量 D 的关系曲线
Figure 1 The relationship between logarithm (lgN) of total colony and radiation dose D

度、加工工艺参数等均能引起杀菌效果的差异,此外辐照产品自身属性、包装形式和污染微生物的种类等都会对不同辐照方式杀菌效果产生影响。

2.2 ⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照对红碎茶品质成分的影响

由表 2、图 2 可知,⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照在不同剂量条件下对红碎茶的品质成分(水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、可溶性糖和灰分)的影响有所差异,在相似剂量下⁶⁰Co-γ 射线和电子束辐照对品质成分影响也存在一定差异。

表 2 ⁶⁰Co-γ射线和电子束辐照对红碎茶品质成分的影响[†]

Table 2 Effects of ⁶⁰Co-γ ray and electron beam irradiation on the main quality compounds of broken black tea

射线类型	辐照剂量/ kGy	水浸出物/ %	茶多酚/ %	游离氨 基酸/%	咖啡碱/ %	可溶性糖/ %	灰分/%
⁶⁰ Co-γ射线	0.0	32.07±0.11 ^{abc}	10.45±0.23 ^a	2.16±0.04 ^{abc}	2.87±0.07 ^{ab}	8.58±0.08 ^c	5.52±0.14 ^{de}
	3.3	32.48±0.09 ^{ab}	9.84±0.46 ^b	2.14±0.05 ^{abc}	2.97±0.02 ^a	8.87±0.12 ^d	5.75±0.13 ^{bc}
	6.5	32.18±0.67 ^{abc}	10.43±0.12 ^a	2.21±0.08 ^a	2.83±0.07 ^{bc}	8.93±0.13 ^d	5.68±0.07 ^{bcd}
	8.2	32.24±0.12 ^{abc}	8.83±0.18 ^{cd}	2.07±0.07 ^{bcd}	2.62±0.05 ^f	9.02±0.11 ^{cd}	5.84±0.15 ^{ab}
	10.3	31.98±0.47 ^{bc}	8.83±0.29 ^{cd}	2.08±0.09 ^{bcd}	2.48±0.05 ^g	9.18±0.07 ^{bc}	5.57±0.14 ^{cde}
	13.5	31.17±0.18 ^d	10.01±0.15 ^b	2.25±0.06 ^a	2.45±0.12 ^g	9.36±0.06 ^{ab}	5.65±0.05 ^{cd}
电子束	1.9	32.29±0.08 ^{abc}	9.71±0.13 ^b	2.25±0.09 ^a	2.73±0.04 ^{def}	8.92±0.14 ^d	5.95±0.01 ^a
	4.3	31.96±0.14 ^{bc}	9.64±0.05 ^b	2.08±0.08 ^{bcd}	2.70±0.05 ^{def}	8.65±0.12 ^e	5.43±0.10 ^e
	6.1	32.29±0.12 ^{abc}	9.19±0.16 ^c	2.05±0.06 ^{cd}	2.74±0.06 ^{cde}	9.15±0.08 ^c	5.56±0.03 ^{de}
	8.1	32.51±0.07 ^a	8.18±0.17 ^e	2.19±0.07 ^{ab}	2.78±0.04 ^{bcd}	9.49±0.11 ^a	5.46±0.09 ^e
	9.7	31.87±0.15 ^c	8.71±0.16 ^d	1.99±0.06 ^d	2.64±0.07 ^{ef}	9.34±0.11 ^{ab}	5.55±0.07 ^{de}

† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

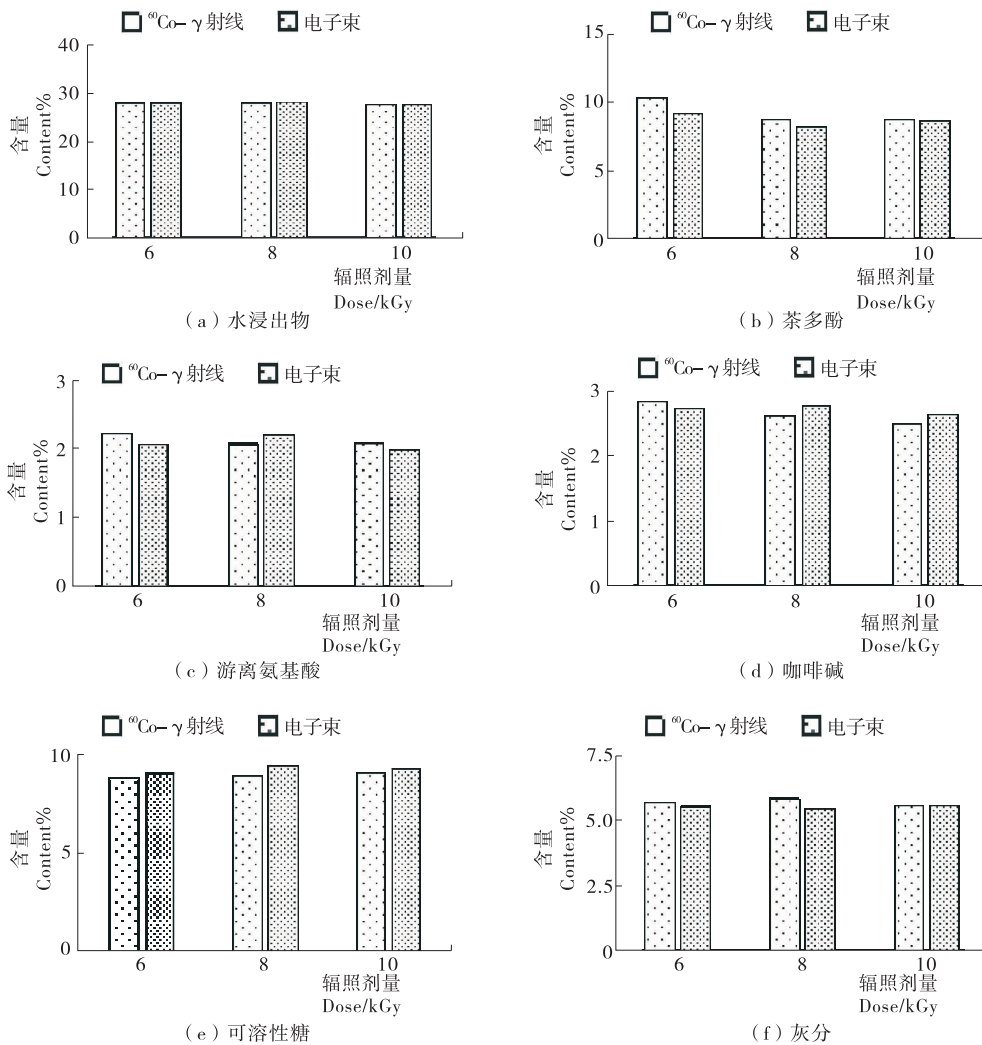


图 2 相似剂量下⁶⁰Co-γ射线和电子束辐照红碎茶品质成分含量比较

Figure 2 Comparison the content of quality components of broken black tea irradiated by ⁶⁰Co-γ ray and electron beam at similar dose

2.2.1 水浸出物 茶叶中能溶于热水的可溶性物质统称为水浸出物,水浸出物能直接影响茶叶的滋味、汤色和香气,其含量与茶叶品质呈正相关^[20]。⁶⁰Co- γ 射线辐照红碎茶中水浸出物含量随辐照剂量的增加存在先增加后减少趋势,但除了在 13.5 kGy 剂量下与对照相比降低 3%,差异显著($P < 0.05$)外,其余与对照差异不明显($P > 0.05$),说明⁶⁰Co- γ 射线在 10 kGy 以下辐照时不会引起红碎茶中水浸出物含量明显变化,彭玲等^[3]研究表明⁶⁰Co- γ 射线辐照前后普洱茶的水浸出物含量无明显变化,周树红等^[21]研究表明⁶⁰Co- γ 射线辐照前后普洱茶的水浸出物含量随辐照剂量的增加存在先增加后减少趋势,与试验结论基本一致。不同剂量电子束辐照红碎茶中水浸出物含量均与对照组差异不明显($P > 0.05$),说明电子束辐照不会引起红碎茶中水浸出物含量明显变化,且 2 种辐照方式在相似剂量下红碎茶水浸出物含量差异不明显($P > 0.05$)。

2.2.2 茶多酚 茶多酚决定茶汤浓度和强度,也可反映茶汤的抗氧化能力^[20,22]。辐照前红碎茶中茶多酚含量为 10.45%,⁶⁰Co- γ 射线和电子束不同剂量辐照后红碎茶中茶多酚含量与对照差异显著($P < 0.05$)。不同剂量⁶⁰Co- γ 射线辐照后茶多酚含量明显减少,8.2,10.3 kGy 剂量下茶多酚含量较对照组下降 16%,但随着辐照剂量的增加并未呈现明显规律。研究^[23-24]表明,⁶⁰Co- γ 射线辐照处理绿茶和乌龙茶后茶多酚含量明显下降,与试验结论一致,但普洱茶茶多酚含量没有明显变化^[21],与试验结论不一致,可能是因为辐照对茶多酚物质的降解聚合在不同茶叶上存在差异,电子束辐照对红碎茶中茶多酚的氧化聚合能力强于⁶⁰Co- γ 射线辐照;不同剂量电子束辐照后茶多酚含量也明显减少,8.2 kGy 剂量下茶多酚含量较对照组下降 22%,且在低剂量电子束辐照时,茶多酚含量随辐照剂量的升高呈降低趋势。当辐照剂量为 6 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后茶多酚含量较电子束高 1.24%,当辐照剂量为 8 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后茶多酚含量较电子束高 0.65%,当辐照剂量为 10 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后茶多酚含量较电子束高 0.12%,说明在 2 种辐照方式相似剂量下电子束辐照对红碎茶茶多酚含量的影响大于⁶⁰Co- γ 射线辐照,降低更明显($P < 0.05$)。

2.2.3 游离氨基酸 氨基酸是构成茶汤鲜爽滋味的主体成分^[25]。辐照可能增加蛋白质水解酶活性从而分解出部分氨基酸,也可能加速氨基酸的脱氨脱羧产生脂肪酸^[21],⁶⁰Co- γ 射线和电子束辐照红碎茶中游离氨基酸含量除电子束在 9.7 kGy 剂量下与对照组相比降低 8% ($P < 0.05$)外,其余与对照组差异不明显($P > 0.05$),2 种辐照方式在相似剂量下红碎茶游离氨基酸含量差异不明显($P > 0.05$),说明 2 种辐照方式在低剂量下对红碎茶游离氨基酸含量没有明显影响。

2.2.4 咖啡碱 咖啡碱是茶叶中含量最多的生物碱,是

茶叶滋味的重要成分^[23]。⁶⁰Co- γ 射线辐照红碎茶中咖啡碱含量随辐照剂量的增加逐渐降低,当剂量达 8.2 kGy 时,咖啡碱含量较对照组减少 9% ($P < 0.05$);当剂量为 13.5 kGy 时,咖啡碱含量较对照组减少最多,达 15%;与⁶⁰Co- γ 射线辐照后普洱茶和乌龙茶的咖啡碱含量呈下降趋势^[21,24]的结论一致,但与⁶⁰Co- γ 射线辐照后绿茶的咖啡碱含量无显著影响^[23]的结论不一致;不同剂量电子束辐照后咖啡碱含量明显减少($P < 0.05$),但随着辐照剂量的增加并未呈现明显规律,当剂量为 9.3 kGy 时,咖啡碱含量较对照组减少最多,达 8%。当辐照剂量为 6 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后咖啡碱含量较电子束高 0.09%,差异不显著($P > 0.05$),当辐照剂量为 8,10 kGy 时,电子束辐照后咖啡碱含量较⁶⁰Co- γ 射线均高 0.16%,差异显著($P < 0.05$),说明在 2 种辐照方式相似剂量下电子束辐照对红碎茶咖啡碱含量的影响大于⁶⁰Co- γ 射线辐照,降低更明显。

2.2.5 可溶性糖 可溶性糖类包括单糖和双糖,二者均是构成茶汤滋味的重要物质^[26]。辐照前红碎茶中可溶性糖含量为 8.58%,⁶⁰Co- γ 射线和电子束不同剂量辐照后红碎茶中可溶性糖含量与对照组差异显著($P < 0.05$)。不同剂量⁶⁰Co- γ 射线辐照后可溶性糖含量明显增加,且随辐照剂量的升高呈逐渐增加的趋势,其中 13.5 kGy 剂量下可溶性糖含量较对照组增加 9%,与绿茶、普洱茶和乌龙茶的研究结论一致^[21,23-24],可溶性糖的增加可能是辐照对碳水化合物的水解和氧化作用形成的^[24];不同剂量电子束辐照后可溶性糖含量明显增加,8.1 kGy 剂量下可溶性糖含量较对照组增加 11%,但随着辐照剂量的增加并未呈现明显规律。当辐照剂量为 6 kGy 时,电子束辐照后可溶性糖含量较⁶⁰Co- γ 射线高 0.22%,当辐照剂量为 8 kGy 时,电子束辐照后可溶性糖含量较⁶⁰Co- γ 射线高 0.47%,当辐照剂量为 10 kGy 时,电子束辐照后可溶性糖含量较⁶⁰Co- γ 射线高 0.16%,说明在 2 种辐照方式相似剂量下电子束辐照对红碎茶可溶性糖含量的影响大于⁶⁰Co- γ 射线辐照,增加更明显($P < 0.05$)。

2.2.6 灰分 茶叶灰分是茶叶高温灼烧灰化后的残留物,是茶叶检验项目中唯一一种既具有品质判定意义又具有卫生检验意义的化学指标^[27]。⁶⁰Co- γ 射线辐照后茶叶灰分含量较对照组均有增长,但仅在 3.3,8.2 kGy 剂量下与对照组差异显著($P < 0.05$),其中 8.2 kGy 剂量下茶叶灰分含量较对照组增长 6%;电子束辐照后除 1.9 kGy 剂量下茶叶灰分含量较对照组增长 8%,差异明显($P < 0.05$)外,其余剂量下与对照组没有明显差异($P > 0.05$)。当辐照剂量为 6 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后灰分含量较电子束高 0.12%,差异显著($P < 0.05$);当辐照剂量为 8 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射线辐照后灰分含量较电子束高 0.38%,差异显著($P < 0.05$);当辐照剂量为 10 kGy 时,⁶⁰Co- γ 射

线辐照后灰分含量较电子束高 0.02%, 差异不显著 ($P > 0.05$), 说明在 2 种辐照方式相似剂量下 ^{60}Co - γ 射线辐照对红碎茶灰分含量的影响大于电子束辐照, 增加更明显。

2.3 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对红碎茶感官品质的影响

茶叶感官审评是判别茶叶品质优劣的重要依据, 主要分为外形、汤色、香气、滋味和叶底 5 方面。由表 3 可知, ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照在试验剂量下感官审评总分基本都高于对照组, 说明 2 种辐照方式对红碎茶感官品质均有一定的提升, 其中 2 种辐照方式下红碎茶外形和香气得分均与对照组一致, 说明辐照对红碎茶外形和

香气没有明显影响, 而辐照后汤色和叶底得分均高于对照组, 说明有一定的品质提升, 滋味在 ^{60}Co - γ 射线 13.5 kGy 剂量辐照和电子束 8.1 kGy 剂量以上辐照时得分高于对照组, 说明 2 种辐照方式在大剂量条件下能提升滋味品质。2 种辐照方式在相似剂量辐照下红碎茶感官品质基本无差别。茶多酚、咖啡碱和可溶性糖均是重要的滋味物质, 2 种辐照方式对茶多酚、咖啡碱和可溶性糖的影响与感官评审中滋味的影响结论一致; 对外形和香气没有明显影响, 与辐照对品质成分中氨基酸这种香气物质的影响的结论基本一致。

表 3 红碎茶样品感官审评结果

Table 3 Sensory evaluation of broken black tea

射线类型	辐照剂量/kGy	外形(20%)	汤色(10%)	香气(30%)	滋味(30%)	叶底(10%)	总分
γ 射线	0.0	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红, 暗(80)	纯正(78)	醇和(75)	深褐, 暗(72)	76.7
	3.3	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红, 尚亮(84)	纯正(78)	醇和(75)	深褐(75)	77.4
	6.5	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和(75)	深褐(75)	77.2
	8.2	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红, 尚亮(83)	纯正(78)	醇和(75)	深褐(75)	77.3
	10.3	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和, 涩(74)	深褐(72)	76.6
	13.5	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红, 尚亮(85)	纯正(78)	醇和(76)	深褐(75)	77.8
电子束	1.9	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和(75)	深褐(75)	77.2
	4.3	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和(77)	深褐(75)	77.8
	6.1	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和(75)	深褐(75)	77.2
	8.1	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红, 尚亮(84)	纯正(78)	醇和(76)	深褐(75)	77.7
	9.7	片状, 黑褐色, 欠匀整(78)	深红(82)	纯正(78)	醇和(78)	深褐(72)	77.8

3 结论

通过分析不同剂量 ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照下的红碎茶微生物、品质成分和感官品质等指标, 研究了 2 种辐照杀菌方式对红碎茶的影响。结果表明, 2 种辐照方式均能有效抑制红碎茶中微生物污染情况; 2 种辐照方式不会对红碎茶水浸出物和氨基酸产生明显影响, 但能引起茶多酚和咖啡碱含量减少, 可溶性糖含量增加; ^{60}Co - γ 射线辐照后红碎茶灰分含量增加, 但电子束辐照后红碎茶灰分含量没有明显变化; ^{60}Co - γ 射线对红碎茶的杀菌能力、灰分含量影响强于电子束辐照, 电子束辐照对红碎茶茶多酚、咖啡碱和可溶性糖的影响大于 ^{60}Co - γ 射线辐照。因此, ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照处理方式都可应用于红碎茶杀菌。为选择合适的辐照方式与剂量, 后续需对辐照处理红碎茶在贮藏期的微生物及品质成分进行分析; 辐照对红碎茶品质成分的影响机理也需进一步研究。

参考文献

[1] 李晓霞, 杨盛美, 宋维希, 等. 云南优质红碎茶资源与肯尼亚品种 6/8 的品质成分比较研究[J]. 湖南农业科学, 2014

(2); 25-27, 30.

- [2] 王同和, 沈庆文, 华再欣. 红碎茶滋味化学品质鉴定方法的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2007, 34(1): 15-19.
- [3] 彭玲, 李文革, 王芊, 等. 红碎茶辐照杀菌工艺研究[J]. 茶叶通讯, 2000(2): 39-40.
- [4] 肖欢, 韩燕, 翟建青, 等. ^{60}Co - γ 射线和电子束辐照对冷鲜鸡保鲜效果的异同性研究[J]. 核农学报, 2018, 32(7): 1358-1367.
- [5] 程安玮, 杜方岭, 徐同成, 等. 辐照对食品中营养成分的影响[J]. 山东农业科学, 2009(11): 57-60, 64.
- [6] 高美须, 陈浩, 刘春泉, 等. 食品辐照技术在中国的研究和商业化应用[J]. 核农学报, 2007, 21(6): 606-611.
- [7] 刘超超, 高美须, 胡贵钊, 等. 辐照对鲜切苦瓜杀菌效果及感官品质的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(6): 775-781.
- [8] 华跃进. 中国核农学通论[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016: 437-478.
- [9] 周冉冉, 高虹, 范秀芝, 等. ^{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.
- [10] 杨丹, 罗小虎, 齐丽君, 等. 电子束辐照对稻米储藏特性及品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 106-110, 178.

(下转第 178 页)

- 果研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 159-161, 164.
- [16] 李媛, 李厚华, 刘小微, 等. 海棠果实多酚提取物对胃癌细胞 BGC-803 的体外抑制活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 279-284.
- [17] 任曼妮, 高增明, 王存堂. 不同溶剂提取对洋葱皮中多酚含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 189-193.
- [18] 李娟, 牛泽宇, 岳湘齐, 等. 不同产地甜橙果皮提取物抗氧化活性成分及能力研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 156-162.
- [19] 许英一, 徐艳霞, 王宇, 等. 玉米须多酚预热结合超声辅助提取工艺及抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 153-158.
- [20] 郑朋朋, 李珊, 杨正涛, 等. 响应面优化玛咖多酚提取工艺及其抗氧化性分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(8): 1480-1487.
- [21] YI Juan-juan, QU Hang, WU Yun-zhou, et al. Study on antitumor, antioxidant and immunoregulatory activities of the purified polyphenols from pinecone of pinus koraiensis on tumor-bearing S180 mice *in vivo* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 94 (Pt A): 735-744.
- [22] PANDEY M M, KHATOON S, RASTOGI S, et al. Determination of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity of Tephrosia purpurea: A seasonal study[J]. Journal of Integrative Medicine, 2016, 14(6): 447-455.
- [23] SARIKURKCU C, TEPE B, SEMIZ D K, et al. Evaluation of metal concentration and antioxidant activity of three edible mushrooms from Mugla, Turkey[J]. Food & Chemical Toxicology, 2010, 48(5): 1230-1233.
- [24] BAHADORI M B, VALIZADEH H, ASGHARI B, et al. Chemical composition and antimicrobial, cytotoxicity, antioxidant and enzyme inhibitory activities of *Salvia spinosa* L[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18(10): 727-736.
- [25] 李芬芳, 马艳弘, 赵密珍, 等. 草莓多酚的提取工艺优化及其抑菌活性研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 155-158.
- [26] GUO Tan, WEI Lei, SUN Juan, et al. Antioxidant activities of extract and fractions from *Tuber indicum* Cooke & Masee[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1634-1640.
- [27] 王建超. 枇杷叶多酚提取、纯化及其抗氧化、抑菌活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 41.
- [28] 胡明明. 花生壳多酚的提取、纯化及其抗氧化、抑菌活性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012: 54.
- [29] 孟彤. 海带多酚提取物对猪肉乳化肠品质及氧化稳定性的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 3.
- (上接第 153 页)
- [11] 马俊, 严伟强, 孔秋莲, 等. 香辛料中微生物在高能电子加速器下的 D_{10} 值研究[J]. 保鲜与加工, 2013(13): 40-44.
- [12] BLACK J L, JACZYNSKI J. Temperature effect on inactivation Kinetics of *Escherichia coli* O157:H7 by electron beam in ground beef, chicken breast meat and trout fillets[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(6): M221-M227.
- [13] 贾倩, 李淑荣, 高美须, 等. 电子束和 γ 射线辐照对素鸡杀菌效果及氧化效应的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 61-65.
- [14] 王晶晶, 张成金, 汪海燕, 等. 电子束和射线辐照对象拔蚌品质影响的异同性研究[J]. 核农学报, 2017, 31(1): 73-79.
- [15] 徐远芳, 彭玲, 张祺玲, 等. γ 射线和电子束辐照对风味豆干杀菌效果及品质的影响[J]. 同位素, 2019, 32(4): 245-254.
- [16] 王娴, 崔龙, 董威杰, 等. 电子束和 γ 射线对油料氧化及霉菌的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 30-37.
- [17] 吴庆, 孔秋莲, 戚文元, 等. γ 射线和电子束辐照对意式风干火腿色泽和脂质氧化的影响[J]. 上海农业学报, 2013, 29(2): 38-42.
- [18] PARK J G, YOON Y, PARK J N, et al. Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties[J]. Meat Science, 2010, 85(2): 368-372.
- [19] SONG H P, KIM B, JUNG S, et al. Effect of gamma and electron beam irradiation on the survival of pathogens inoculated into salted, seasoned, and fermented oyster [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1320-1324.
- [20] 邓少春, 梁名志, 田易萍, 等. 三个茶树新品种加工手工滇红碎茶品质对比研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(1): 125-129.
- [21] 周树红, 龚淑英. 不同辐照处理对普洱茶主要化学成分及感官品质的影响[J]. 茶业科学, 2003, 23(1): 51-56.
- [22] 侯冬岩, 回瑞华, 刘晓媛, 等. 红茶茶多酚及抗氧化性能测定[J]. 食品科学, 2005(8): 367-370.
- [23] 沈伟桥, 王忠华, 傅俊杰. 不同辐照处理对茶叶品质的影响[J]. 茶业科学, 2002, 22(1): 90-92.
- [24] 罗志平, 邓钢桥, 李文革, 等. 乌龙茶提取物辐照杀菌工艺研究[J]. 湖南农业科学, 2007(2): 114-116.
- [25] 郭桂义, 王广铭. 我国茶叶产品国家标准理化指标分析[J]. 中国茶叶加工, 2014(3): 45-52.
- [26] 张海伟, 郑文佳, 侯如燕, 等. 辐照技术应用于茶叶上的研究进展[J]. 激光生物学报, 2012, 21(3): 198-203.
- [27] 童小麟. 茶叶灰分及其控制措施[J]. 福建茶叶, 2004(4): 14-15.