

糖盐介质中 γ -射线辐照对英诺克李斯特菌的杀菌效果研究

徐毓谦^{1,2} 李淑荣^{1,*} 李文慧¹ 王丽¹ 黄广学¹ 汪慧华¹ 马长路¹

(¹北京农业职业学院,北京 102442;²宁夏大学食品与葡萄酒学院,宁夏 银川 750021)

摘要:为研究食品基质对 γ -辐照杀菌效果的影响,本试验以英诺克李斯特菌(*Listeria Innocua*)为试材,采用 IgN-D 线性回归分析,建立活菌数-剂量的拟合方程,获得 D_{10} 值;利用 D_{10} 值表征无菌水环境下 γ -射线和电子束辐照的吸收剂量差异,以及不同 γ -射线吸收剂量、糖浓度、盐浓度对英诺克李斯特菌杀菌效果的影响。结果表明,当辐照在无菌水液体环境下时, γ -射线的 D_{10} 值均小于电子束,分别为 0.788 和 0.872 kGy,表明 γ -射线的杀菌效果更好;在 γ -射线辐照下,杀灭生理盐水(0.85% NaCl)中英诺克李斯特菌的 D_{10} 值与无菌水无明显差别,随着盐浓度的增加, D_{10} 值呈先增加后减少的趋势,其中在 3% 和 5% 盐浓度下的 D_{10} 值分别为 0.709 和 0.730 kGy,明显低于无菌水组;杀灭糖溶液中英诺克李斯特菌的 D_{10} 值明显高于无菌水组,随着糖浓度的增加, D_{10} 值先升高后降低,其中 5% 糖溶液的 D_{10} 值最大,为 1.133 kGy。说明盐溶液对杀菌有协同作用,而糖溶液对杀菌有抵抗作用。本研究结果为进一步探索辐照杀菌机制,降低辐照剂量成本,提升产品品质提供了一定的参考。

关键词:英诺克李斯特菌;辐照杀菌;电子束;辐照环境; D_{10} 值

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2021.05.1113

目前,近 70% 的食源性疾病是由食品中微生物污染造成的,其中主要是致病性微生物,所以控制食品中致病性微生物污染是减少食源性疾病的提高食品安全性的重要途径^[1-3]。常见的热杀菌技术和防腐剂在保证食品安全上具有重要的作用,但热杀菌对食品原有的口感和风味有较大影响,还会破坏部分营养物质;且过量使用防腐剂也会对人体产生一定的危害^[4-5]。冷杀菌技术能较好地保持食品原有的风味^[6-9],而辐照技术是最为安全有效和简便的食品冷杀菌冷处理方法之一^[8-10],目前已经成为一种成熟的食物杀菌技术^[9-14]。

食品中的英诺克李斯特菌(*Listeria Innocua*)对人类有一定的潜在致病性^[15-17]。刘超超等^[18]利用 γ -射线辐照鲜切苦瓜,发现 0.52~1.86 kGy 剂量辐照处理对英诺克李斯特菌具有显著的灭菌效果, D_{10} 值为 0.29 kGy;张春红等^[19]研究发现 γ -射线辐照对生湿面条中细菌和霉菌的杀菌效果显著, D_{10} 值分别为 1.37 和 2.22

kGy。

辐照杀菌效果受多种因素影响^[20],如射线的类型、初始菌含量、微生物对辐照的耐受性、含氧量、含水量、温度以及介质中的营养成分等,尤其是介质的营养成分对杀菌效果影响十分显著。Kazi 等^[21]研究发现,在磷酸缓冲液、肉汤、鸡肉 3 种不同基质中,辐照处理杀灭鼠伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhimurium*)的 D_{10} 值分别为 0.20、0.57 和 0.53 kGy,K1-2B 株菌的 D_{10} 值分别为 0.21、0.40 和 0.32 kGy;Thayer 等^[22]利用蛋白胨和鸡肉作为基质,培养 4 种金黄色葡萄球菌的混合菌株, D_{10} 值分别为 0.10 和 0.47 kGy。这可能是由于不同基质对致病微生物提供的保护作用不同,使菌株 D_{10} 值产生差异^[23-24]。

盐和糖是食品基质中的主要配料,目前尚鲜见关于其对辐照杀菌效果影响的报道。本试验探究不同糖浓度和盐浓度对辐照杀菌效果的影响,以期明确影

收稿日期:2020-11-03 接受日期:2020-11-26

基金项目:国家科技支撑课题(2014BAA03B05),北京市职业院校教师素质提升计划食品营养与检测专业创新团队项目支持

作者简介:徐毓谦,女,主要从事农产品加工与贮藏研究。E-mail: xuyuqian1.15@163.com

* 通讯作者:李淑荣,女,教授,主要从事粮油、果蔬产品加工与质量安全控制技术研究。E-mail: shurongl@hotmail.com

响辐照杀菌效果的因素和杀菌的机制提供依据,为调整产品的加工工艺,有效降低产品的吸收剂量,节约成本,更好地保障产品的质量提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

英诺克李斯特菌,上海北诺生物科技有限公司。

胰酪胨大豆酵母浸膏琼脂(tryptone soya yeast extract agar, TSAYE)、含 6% 酵母浸膏的胰酪胨大豆肉汤(tryptic soy broth with yeast extract, TSBYE),北京陆桥技术有限责任公司;氯化钠(化学纯),北京化学试剂公司;白砂糖,当地超市。

1.2 仪器与设备

MVS-83 立式压力蒸汽灭菌器,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;T6 新世纪紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;Sigma 3K15 超低温台式离心机,西安恒科商贸有限公司,LRH-150 生化培养箱,上海一恒科技有限公司;SCW-SP-650W/SCW-CZ-650V 洁净工作台,北京冠鹏净化设备有限责任公司;JA1103 电子天平,余姚纪铭称重校验设备有限公司;FA2204B 电子天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;THZ-C 培英恒温振荡器,太仓市实验设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 菌种活化 取一环甘油中保存的菌种用五步划线法在 TSAYE 上划线,37℃ 培养 18~24 h 后,挑取一个单独菌落接于 20 mL TSBYE 中,37℃ 振荡培养 18~24 h,然后以 5% 的接种量接于 100 mL TSBYE 中,37℃ 振荡培养 24 h^[25]。备用。

1.3.2 菌种培养 取活化后的菌以 5% 的接种量接于 TSBYE 中,37℃ 静置培养 8 h,备用。

1.3.3 样品制备 取培养 8 h 的菌种培养液 1 000 mL,经 8 000 r·min⁻¹、4℃ 离心 10 min,无菌水洗 2 次,分别将无菌水、3%、5%、8% 的糖溶液以及 0.85%、3%、5% 的盐溶液分别与菌体充分混匀,制成浓度为 10⁸ 个·mL⁻¹ 的菌悬液,分装于 10 mL 离心管中,以备辐照。

1.3.4 辐照方法 本试验的 γ-射线辐照处理在中国农业科学院原子能利用研究所进行,辐射源源强为 1.5×10⁵ Ci,剂量率约 20 Gy·min⁻¹。电子束辐照在中国原子能研究院进行,电子束功率 10 kW,能量 5 MeV,扫描宽度 50 cm,扫描速度 1.5 m·min⁻¹。

先使用不同剂量的 γ-射线和电子束辐照分别处理无菌水组的英诺克李斯特菌,根据结果选择较优辐照源类型。采用 5 个辐照处理剂量,分别为 0.5、1.0、

1.5、2.0、2.5 kGy,未辐照样作为对照,每个辐照剂量重复 4 次,辐照处理后放入-4℃ 冰箱中保存备用。

1.3.5 菌落计数培养

将辐照后(包括对照组)的菌悬液进行梯度稀释,取 1 mL 合适的稀释液加入培养皿中,再倒入 45℃ 的 TSBYE,混合均匀,37℃ 培养 48 h,然后计菌落数^[26]。分别选 3 个合适的连续的稀释梯度取稀释液,每个梯度 2 个平行。

1.3.6 D_{10} 值的测定 通常微生物含量与吸收剂量之间遵循式(1)^[25]:

$$D = D_{10} \times \lg(N_0/N) \quad (1)$$

式中, D 为吸收剂量,kGy; N_0 为微生物的初始含量,CFU·mL⁻¹; N 为辐照后微生物的存活数,CFU·mL⁻¹; D_{10} 值是指杀灭 90% 微生物所需的吸收剂量,即 $D_{10} = \frac{-1}{b}$, b 为辐照剂量与存活菌数对数拟合的线性方程的斜率。

1.4 数据处理方法

利用软件 Excel 2013 进行数据处理和绘制图表。采用 SPSS 21 软件对所得数据进行分析,采用 Duncan 法进行多重比较, $P < 0.05$ 为具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 辐照剂量及射线类型对英诺克李斯特菌辐照杀菌效果的影响

由表 1 可知,随着辐照剂量的增加,2 种辐照处理的菌悬液中菌的存活数降低,说明辐照可以有效地杀灭致病菌,这与刘超超等^[18]和杜晓静等^[27]的研究结果相一致。利用 lgN-D 线性回归分析,对辐照剂量和菌落存活数进行拟合,得到辐照剂量-菌落存活数的拟合方程(图 1)。由此推算,在无菌水作为辐照杀菌的液体环境条件下,γ-射线和电子束辐照杀灭英诺克李斯特菌的 D_{10} 值分别是 0.788 和 0.872 kGy(图 2),γ-射线的 D_{10} 值比电子束小,即杀灭同样数量的菌体电子束需要的剂量更大,由此得出 γ-射线的杀菌效果比电子束相对较好,这与徐远芳等^[28]和王晶晶等^[29]的研究结果相吻合。因此后续试验将使用 γ-射线进行辐照处理。

2.2 不同盐浓度对英诺克李斯特菌 γ-射线辐照效应的影响

致病菌在不同盐浓度和不同辐照剂量样品中的菌落存活数见图 3。对图 3 数据进行盐浓度和辐照剂量

表 1 不同辐照剂量处理后菌落存活数的对数
Table 1 Logarithm of survival number of bacteria
treated with different irradiation doses

辐照剂量 Irradiation dose/kGy	电子束辐照(lgN) Electron beam irradiation	γ -射线辐照(lgN) γ -ray irradiation
0	8.53±0.106a	8.41±0.016a
0.5	8.24±0.002a	8.08±0.047b
1.0	7.40±0.027b	7.86±0.002c
1.5	6.85±0.018c	7.17±0.012d
2.0	6.47±0.172c	5.98±0.032e
2.5	5.68±0.096d	5.36±0.052f

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 differences at 0.05 level. The same as following.

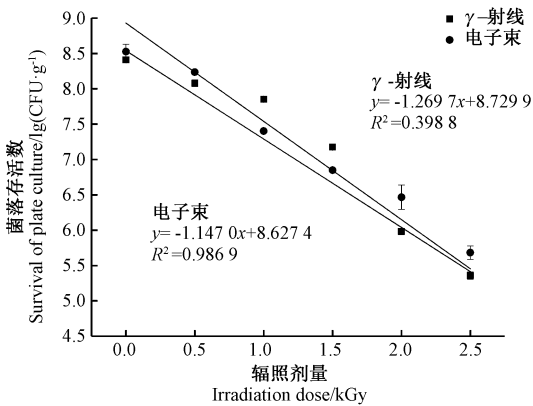
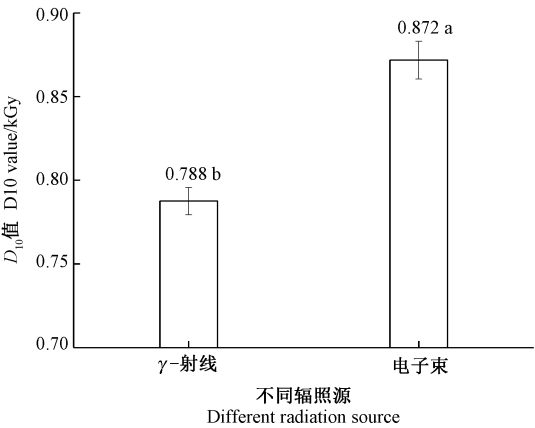


图 1 不同辐照剂量处理后平板培养存活数的拟合方程

Fig.1 Fitting equation of survival number of plate culture with different irradiation doses

两者间的主效应分析(表 2),结果表明辐照剂量对菌落存活数存在极显著的影响($P<0.01$)。分析图 3 可以看出,在同等盐浓度下,随着辐照剂量的增大,英诺克李斯特菌的存活数逐步下降;盐浓度对溶液中英诺克李斯特菌存活能力的影响规律受辐照剂量影响,即当辐照剂量低于 1.0 kGy 时,对于辐照同一剂量的英诺克李斯特菌,各盐浓度间及与无菌水组之间的辐照杀菌效果无明显差异;当辐照剂量高于 1.5 kGy 时,无菌水组菌的存活数与各盐浓度之间的差异显著,当辐照剂量为 1.5 kGy 和 2.5 kGy 时,随着盐浓度的增加溶液中的活菌数呈下降的趋势;当辐照剂量为 2.0 kGy 时,呈波动状态,关于这一趋势尚待进一步研究。

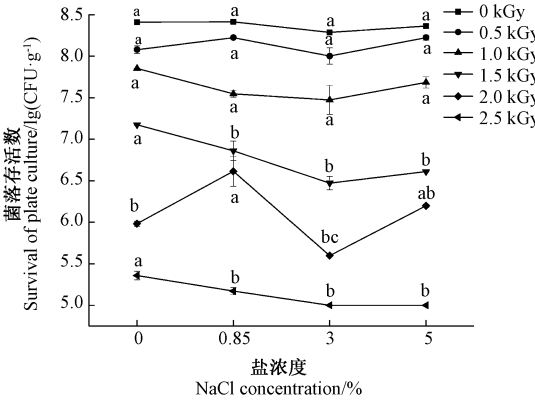
利用辐照剂量和液体中英诺克李斯特菌存活数的线性方程计算不同盐浓度中致病菌英诺克李斯特菌的 D_{10} 值(图 4、表 3),随着盐浓度的增加, D_{10} 值呈先增加



注：不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significance difference at 0.05 level.

图 2 无菌水作为辐照液体环境时 2 种射线 D_{10} 值的比较

Fig.2 Comparison of D_{10} values of two kinds of radiation in water as irradiation liquid environment



注：不同小写字母表示同一辐照剂量下不同盐浓度间差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level between different salt concentrations under the same dose of irradiation. The same as following.

图 3 不同辐照剂量处理后英诺克李斯特菌存活数随盐浓度的变化

Fig.3 The varies of survival number of *Listeria Innocua* by irradiation with the concentration of salt

后降低的趋势,即杀灭生理盐水(0.85% NaCl)中致病菌英诺克李斯特菌的 D_{10} 值与无菌水组无明显差别,而 3%和 5%盐浓度样品的 D_{10} 值与无菌水组样品差异显著($P<0.05$),表明高浓度盐水中的英诺克李斯特菌对 γ -射线辐照更为敏感,高浓度盐的存在对致病微生物的辐射杀菌有协同作用。

表 2 辐照剂量及盐浓度对菌落存活数的主效应分析

Table 2 The main factor effect analysis of irradiation doses and salt on bacteria survival

因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
校正模型 Calibration model	31.527a	8	3.941	80.429	0.000
截距 Intercep	1 189.025	1	1 189.025	24 266.886	0.000
辐照剂量 Irradiation dose	31.069	5	6.214	126.818	0.000
盐浓度 Salt concentration	0.458	3	0.153	3.114	0.048
误差 Error	0.735	15	0.049		
总计 Total	1 221.286	24			
校正的总计 Total corrected	32.262	23			

注：“a”代表 R²。
Note: ‘a’ stands for R².

表 3 γ-射线辐照不同盐浓度中致病菌 D₁₀值

Table 3 D₁₀ values of bacteria in different salt concentrations irradiated by γ-ray

处理 Treatments	D ₁₀ 值 D ₁₀ value/kGy	lgN-D	R ²
无菌水 Sterile water	0.787±0.008 1a	y=-1.269x+8.729	0.938
0.85%盐浓度 0.85% salt concentration	0.805±0.009 1a	y=-1.241x+8.691	0.937
3%盐浓度 3% salt concentration	0.709±0.009 1c	y=-1.408x+8.566	0.975
5%盐浓度 5% salt concentration	0.730±0.009 0b	y=-1.369x+8.725	0.952

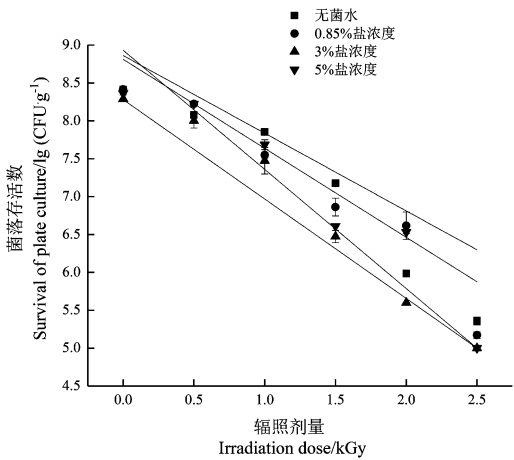


图 4 盐浓度对菌落数和线性拟合方程的影响
Fig.4 Effect of salt concentration on the number of *Listeria Innocua* and the linear fitting equation

2.3 不同糖浓度对英诺克李斯特菌 γ-射线辐照杀菌效应

致病菌在不同糖浓度和不同辐照样品种中的菌落存活数见图 5。对图 5 数据进行糖浓度和辐照剂量两者间的主效应分析(表 4)。结果表明,辐照剂量和糖浓度对于菌落存活数影响极显著($P<0.01$)。由图 5 可知,随着辐照剂量的增加,不同糖浓度中英诺克李斯特菌的存活数逐步降低;在不同辐照剂量下,糖浓度对 γ-射线辐照后英诺克李斯特菌的存活数影响变化趋势一致,呈先增加后降低的趋势,且 5%糖溶液中活菌数最多;当辐照剂量大于 2.0 kGy 后,糖溶液中的活菌数高于无菌水组。

根据辐照剂量和溶液中英诺克李斯特菌存活数的线性拟合方程计算不同糖浓度中的致病菌英诺克李斯特菌的 D₁₀值(图 6、表 5)。随着糖浓度的增加,D₁₀值呈先上升后略下降的趋势,最大值出现在 5%糖浓度

表 4 不同辐照剂量及不同糖浓度对菌落存活数的主效应分析

因变量 Dependent variable	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
校正模型 Calibration model	21. 785a	8	2. 723	48. 658	0. 000
截距 Intercep	1 290. 336	1	1 290. 336	23 056. 661	0. 000
辐照剂量 Irradiation dose	19. 673	5	3. 935	70. 306	0. 000
糖浓度 Sugar concentration	2. 112	3	0. 704	12. 579	0. 000
误差 Error	0. 839	15	0. 056		
总计 Total	1 312. 960	24			
校正总计 Total corrected	22. 624	23			

注：“a”代表R²。
Note: ‘a’ stords for R².

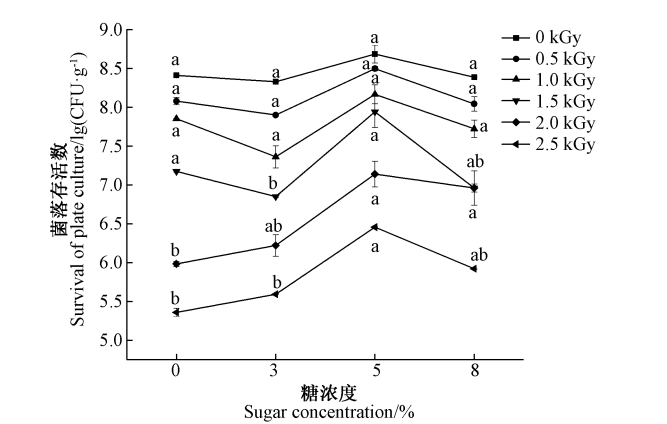


图 5 不同辐照剂量后处理英诺克李斯特菌存活数随糖浓度的变化

Fig.5 The varies of survival number of *Listeria Innocua* by irradiation with the concentration of suger

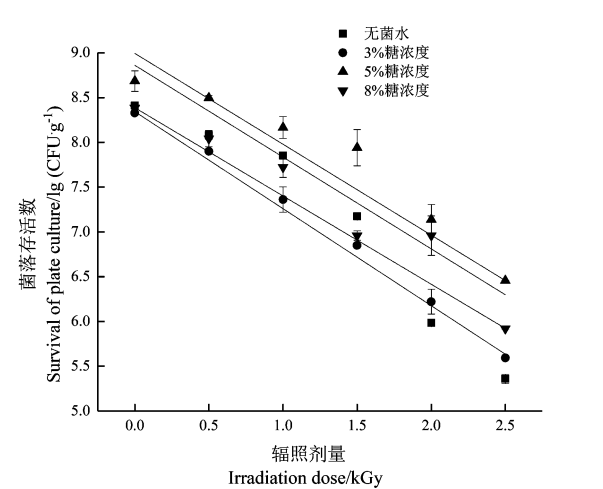


图 6 糖浓度对菌落数和线性拟合方程的影响

Fig.6 Effect of sugar concentration on the number of *Listeria Innocua* and the linear fitting equation

表 5 γ -射线辐照不同糖浓度中致病菌 D_{10} 值

处理 Treatments	D_{10} 值 D_{10} value/kGy	lgN-D	R^2
无菌水 Sterile water	0. 787±0. 008 1c	$y=-1. 269x+8. 729$	0. 938
3%糖浓度 3% sugar concentration	0. 911±0. 007 9b	$y=-1. 098x+8. 414$	0. 995
5%糖浓度 5% sugar concentration	1. 133±0. 008 2a	$y=-0. 882x+8. 916$	0. 929
8%糖浓度 8% sugar concentration	1. 071±0. 009 2a	$y=-0. 933x+8. 498$	0. 944

时,且糖浓度中英诺克李斯特菌的 D_{10} 值高于无菌水组。说明在辐照条件下,糖的存在可以保护致病菌英诺克李斯特菌,导致杀灭英诺克李斯特菌所需的剂量增加。

3 讨论

研究表明不同基质造成同一菌株 D_{10} 值差异的主要原因是不同基质对致病微生物提供的保护作用不同^[21],因为辐照对致病微生物的杀伤作用主要是通过水离子化产生的初级自由离子及由此产生的二级离子引起的。肉汤、肉类等有机物的系统含有大量的巯基、氨基酸、磷脂类等保护致病微生物的物质,辐照产生的一级、二级辐照产物首先会与这些有机物发生反应,生成对致病微生物无抑制作用的终产物^[22-23],故减弱了辐照对致病微生物的杀灭作用。

本研究中,致病菌英诺克李斯特菌在盐溶液和糖溶液中对辐照的敏感性不同,盐溶液对辐照杀菌效果有一定的协同作用,这可能是 NaCl 溶液在辐照过程中形成了次氯酸钠(NaClO),生成的 NaClO 有较强的氧化性,具有漂白与杀菌的作用。在盐溶液中,随着盐浓度的增加, D_{10} 值呈先增加后降低趋势,即在 0.85% 浓度下对致病菌英诺克李斯特菌的 D_{10} 值稍高于无菌水组,但无明显差别,这可能是由于 NaCl 含量低,溶液中的 Cl^- 或生成 Cl_2 量少,溶液中产生的 NaOH 量也少,且二者反应不充分,或者溶液中所生成的 NaClO 含量较低;而在高浓度盐溶液中(3%和5%),对致病菌英诺克李斯特菌的 D_{10} 值明显低于无菌水组,这可能是由于在辐照射线的作用下, H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- ,水溶液中会有 NaOH 产生,其与溶液中的 Cl^- 或产生的 Cl_2 发生反应,形成具有强氧化性的 NaClO ,因此高浓度的 NaCl 对致病微生物的辐射杀菌有协同作用。

糖作为碳源为微生物提供了足够的营养成分,其中以葡萄糖为主,为致病微生物提供了良好的碳源和能量,使微生物能够生长和繁殖^[30-31],如李斯特菌属于嗜冷菌,即使在低温条件下也能进行缓慢增长。因此,在糖浓度适宜的情况下,糖的存在促进了菌体的生长。本研究发现 2.0 kGy 以上剂量辐照处理对菌体细胞的损伤较大,但有糖存在的条件下,有利于受损细胞的修复,因此,出现了含糖溶液中的菌落存活数明显高于无菌水组的数量。

本研究发现糖溶液对辐照杀菌具有一定的保护作用,有葡萄糖存在时,对致病菌英诺克李斯特菌的 D_{10} 值明显高于无菌水组,并且随着糖浓度的增加, D_{10} 值

呈先增加后略降低的趋势。这可能是由于适宜糖浓度条件提高了微生物的生长能力,及其对不良环境的抵抗能力;且本研究发现在 5% 糖溶液条件下, D_{10} 值最大,说明此浓度的糖溶液使致病菌英诺克李斯特菌处在较适宜的环境中,而在 8% 的糖浓度条件下, D_{10} 值出现略微下降的趋势,这可能是由于培养液中葡萄糖浓度过高时,细胞会渗透失水,导致致病菌失水过多死亡,从而抑制微生物的生长。

4 结论

本研究结果表明,辐照处理能有效杀死致病菌英诺克李斯特菌,且随着辐照剂量的增加,杀菌效应越明显;相比于电子束辐照杀菌效果, γ -射线辐照杀菌的 D_{10} 值更低,即 γ -射线辐照杀菌的效果更好;盐溶液浓度在 0~5% 范围内,在 γ -射线辐照下,随着盐浓度的增加, D_{10} 值呈先增加后降低的趋势,且盐浓度为 3% 和 5% 时的 D_{10} 值低于无菌水,说明盐溶液对杀菌有协同作用;糖浓度在 0~8% 范围内,在 γ -射线辐照下,随着糖浓度的增大, D_{10} 值先增加后降低,5% 糖浓度时的 D_{10} 值最大,为 1.133,糖对英诺克李斯特菌的保护作用增加了辐照杀菌的难度。本研究结果进一步说明食品基质对致病微生物的杀菌效果具有明显的影响。

参考文献:

- [1] 魏建萍. 微生物检测技术在食品安全检测中的运用与发展研究[J]. 口岸卫生控制, 2020, 25(4): 39-40, 43
- [2] 董洁. 食品微生物检测对食品安全的重要性[J]. 食品安全导刊, 2020(24): 40
- [3] Eva T C, Diego M, Sergi G B, Sergio S, María E V, Domingo B, Cristina S R, Pedro M. Effects of gamma irradiation on the shelf-life and bioactive compounds of *Tuber aestivum* truffles packaged in passive modified atmosphere [J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 332: 108774-108781
- [4] Kanatt S R. Irradiation as a tool for modifying tapioca starch and development of an active food packaging film with irradiated starch [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2020, 173(2020): 108873-108880
- [5] Hossein D, Aziz A F, Mojtaba B, Maryam A, Mohammad S. Effect of edible composite film based on chitosan and cumin essential oil-loaded nanoemulsion combined with low-dose gamma irradiation on microbiological safety and quality of beef loins during refrigerated storage [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 164: 1501-1509
- [6] 宋健. 辐照食品检测技术分析[J]. 食品安全导刊, 2020(18): 156
- [7] AlBachir M, Koudsi Y. Compositional characteristics of cherry kernel

- oil as influenced by gamma irradiation and storage periods[J]. Food Science and Technology International, 2020, doi: 10.1177/1082013220956739
- [8] Wang C, Meng X J. Effect of ^{60}Co - γ -irradiation on storage quality and cell wall ultra-structure of blueberry fruit during cold storage Innovative[J]. Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38: 91-97
- [9] Zhao B, Hu S L, Wang D, Chen H, Huang M. Inhibitory effect of gamma irradiation on *Penicillium digitatum* and its application in the preservation of Ponkan fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 272: 109598
- [10] 肖欢, 韩燕, 翟建青, 邹剑敏, 盛中伟, 蒋云升, 赖宏刚, 曹宏. ^{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
- [11] 张祺玲, 彭玲, 徐远芳, 周毅吉, 郭峰, 张勇, 邓超, 李文革. ^{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[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 148-153, 178
- [12] 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
- [13] 郭军, 吴小说, 刘廷国, 黄劲松, 汪新. ^{60}Co - γ 辐照对红烧鸡块货架期及其感官品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 502-508
- [14] 李淑荣, 冯敏, 李澧, 周林燕, 杨萍, 易建勇, 王德宁, 顾贵强, 朱佳廷. 辐照对泡椒凤爪在货架期中的营养品质的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(10): 1490-1494
- [15] 李斌, 杨秦, 肖洪, 刘士健. 辐照对食品品质的影响及辐照食品的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(4): 4-6
- [16] 钱静亚. 脉冲磁场对枯草芽孢杆菌的灭活作用及其机理研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2013
- [17] 曹际娟, 王耀, 王顺芝, 李天顺, 李建民, 赤列加措. PCR-DHPLC 技术快速检测食品中英诺克李斯特氏菌[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2009, 32(2): 235-238
- [18] 刘超超, 高美须, 胡贵钊, 王志东, 赵杰, 李淑荣, 许舒婷, 李树锦. 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
- [19] 张春红, 史依沫, 王丽, 李淑荣, 徐毓谦, 刘小飞, 汪慧华, 高美须. γ 射线辐照对生湿面条杀菌效果及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 27-32
- [20] 崔生辉, 罗雪云. 影响辐照杀菌的因素(综述)[J]. 中国食品卫生杂志, 1998(1): 3-5
- [21] Kazi S, Marlene G, Ian G, Harwant S. Radiation survival of two nalidixic acid resistant strains of *Salmonella* typhimurium in various media[J]. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry, 1989, 34(6): 985-989
- [22] Thayer D W, Boyd G. Elimination of *Escherichia coli* O157: H7 in meats by gamma irradiation [J]. Applied and environmental microbiology, 1993, 59(4): 1030-1033
- [23] Singh A, Singh H. Time-scale and nature of radiation-biological damage: Approaches to radiation protection and post-irradiation therapy[J]. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 1982, 39: 69-107
- [24] 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
- [25] 罗志平, 孟兰贞, 徐远芳, 张祺玲, 彭玲. ^{60}Co - γ 辐照对茶花蜂花粉的杀菌效果及品质影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 150-153
- [26] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. GB/T 4789.2-2016 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12
- [27] 杜晓静, 白新鹏, 李卓婷, 刘品, 曹君, 姜泽放, 邓志勇, 高晓东. 辐照对火龙果果浆杀菌效果及品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 106-112
- [28] 徐远芳, 彭玲, 张祺玲, 周毅吉, 郭峰, 张勇, 邓超, 王芊, 邓钢桥, 李文革. 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): 244-254
- [29] 王晶晶, 张成金, 汪海燕, 叶庆富. 电子束和 γ 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
- [30] 郭如凡. 葡萄糖在两株弱毒巴氏杆菌通气培养中的增菌作用[J]. 家畜传染病, 1982(3): 52-55
- [31] 黄清荣, 姜华, 钟旭生, 杨立红, 郑庆委. 不同浓度葡萄糖、酵母粉对大蒜盖菇深层培养的影响[J]. 食用菌, 2005(4): 13-15

The γ -Irradiation Sterilization Effect on *Listeria Innocua* in Sugar and Salt Medium

XU Yuqian^{1,2} LI Shurong^{1,*} LI Wenhui¹ WANG Li¹
HUANG Guangxue¹ WANG Huihua¹ MA Changlu¹

(¹Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442; ²School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: In order to know the effect of food matrix on the sterilization efficacy of γ -irradiation. By lgN-D linear regression analysis, the formula of the number of viable bacteria was obtained. The D_{10} value was used to characterize the difference of absorbed dose of gamma ray and electron beam irradiation in sterile water environment, and the influence of different gamma ray absorption dose, sugar concentration and salt solution concentration on the germicidal efficacy of *Listeria Innocua* was analyzed. The results shows that when the irradiation environment is the sterile water, the gamma ray D_{10} value is less than the electron beam, respectively 0.788 and 0.872 kGy, which shows that the gamma ray sterilization effect is better. Under the irradiation of gamma ray, The D_{10} value of *Listeria Innocua* in sterilized saline (0.85% NaCl) was not significantly different from that of sterile water. With the increase of salt concentration, the D_{10} value of *innocua* first increased and then decreased, and the D_{10} value at 3% and 5% salt concentration was 0.709 kGy and 0.730 kGy, respectively, lower than that of sterile water. The D_{10} value of *Listeria Innocua* in sugar solution was significantly higher than that of sterile water. With the increase of the concentration of sugar solution, D_{10} first increased and then decreased. The D_{10} value of 5% sugar solution was the largest, which was 1.13 kGy. It could be seen that salt solution has a synergistic effect on sterilization, while sugar solution has a resistance effect on sterilization. The results provide a reference for further exploring the mechanism of irradiation sterilization, reducing radiation dose cost and improving product quality.

Keywords: *Listeria Innocua*, irradiation microorganism inactivation, electron beam, irradiation environment, D_{10} value