

辐照对鲜切胡萝卜品质特性的影响研究

李淑荣^{1,2*}, 王丽¹, 高美须², 罗红霞¹, 彭春红², 曹珍珍²

(1. 北京农业职业学院, 北京 102442; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

摘要: **目的** 比较辐照剂量及贮藏时间对鲜切胡萝卜品质特性影响情况。**方法** 测定接种后样品的 D_{10} 值、不同辐照剂量及贮藏条件下样品的理化品质及感官品质, 采用 ANOVA 法及 Duncan's 法分析各样品间品质特性的差异情况。**结果** 鲜切胡萝卜中接种的大肠杆菌、沙门氏菌、李斯特氏菌的 D_{10} 值分别为 0.132 kGy、0.334 kGy、0.248 kGy。1.5~2.0 kGy 可以保证鲜切胡萝卜的安全性, 辐照同样可以避免其他病原菌在贮藏过程中的滋生。辐照剂量低于 2.0 kGy 时对样品的 hunter 值、可溶性固形物含量(SSC)、细胞膜通透性(CMP)和感官特性没有显著影响($P>0.05$)。**结论** 辐照剂量为 1.5~2.0 kGy 可以保证鲜切胡萝卜的品质特性。

关键词: 鲜切胡萝卜; 辐照; 微生物; 理化特性; 感官特性

Use of irradiation to ensure quality of fresh-cut carrot

LI Shu-Rong^{1,2*}, WANG Li¹, GAO Mei-Xu², LUO Hong-Xia¹, PENG Chun-Hong², CAO Zhen-Zhen²

(1. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China; 2. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing 100193, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and compare the effect of irradiation on the fresh-cut carrot qualities. **Methods** D_{10} values of the inoculate samples, physicochemical and sensory qualities of different conditions were measured. The difference of samples were analyzed by the ANOVA and Duncan's method. **Results** D_{10} values of *E. coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis* and *Listeria innocua* inoculated into the fresh-cut carrot were 0.132 kGy, 0.334 kGy and 0.248 kGy, respectively. The safety of fresh-cut carrot could be ensured by the irradiation from 1.5 to 2.0 kGy. Irradiation could also avoid other pathogen growing in the storage period. Irradiation at doses lower than 2.0 kGy did not have significant effects on hunter values, soluble solids content (SSC), cell membrane permeability (CMP) and sensory qualities of pre-cut carrot. **Conclusion** The quality of fresh-cut carrot can be ensured at exposure dose 1.5~2.0 kGy.

KEY WORDS: fresh-cut carrot; irradiation; microbiology; physicochemical quality; sensory quality

1 引言

鲜切蔬菜(fresh-cut vegetables)是经过轻度加工而获得的方便、健康的速食蔬菜制品, 也称最少加工

蔬菜^[1]。近年来, 许多发达和发展中国家非常热衷于消费鲜切果蔬以及其他未加工的植物来源食品^[2]。鲜切蔬菜不仅可以提供人们所需要的碳水化合物、蛋白质、脂肪、维生素和矿物质等, 还可以增进健康和降

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201103007)

Fund: Supported by the Ministry of Agriculture Scientific Research Special Public (201103007)

*通讯作者: 李淑荣, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为粮油、果蔬产品加工与质量检测。E-mail: shurongl@hotmail.com

*Corresponding author: LI Shu-Rong, Professor, Master's Supervisor, Beijing Vocational College of Agriculture, Fangshan District of Daotian Nanli No.5, Beijing 102442, China. E-mail: shurongl@hotmail.com

低各种疾病的发病率,并且非常符合现代人的快速生活方式^[3,4]。鲜切蔬菜在食用时大多不需要再加工或处理,但是它们在加工及贮藏过程中可能受到一些食源性致病菌(如李斯特氏菌、沙门氏菌和大肠杆菌等)污染,同时,鲜切蔬菜的营养及感官特性也会发生不同程度的变化^[5,6]。在过去几十年中,有数以百计的死亡案例是由于食用新鲜、鲜切和未加工食品而导致的^[7]。

胡萝卜是目前鲜切蔬菜的主要原料之一,鲜切胡萝卜中的大肠杆菌感染事件频发,最近在德国也发生了由于大肠杆菌的存在而导致尿毒综合症的发生^[8,9]。气调包装、硅藻钙涂层、植物花水等技术方法已用于抑制鲜切胡萝卜中微生物的生长,但是不同方法由于存在成本高、对微生物的抑制受到限制等因素而未能得到广泛的推广应用^[10,11]。电离辐射技术是目前被认为保证食品中微生物安全的一项有效的冷物理杀菌方法,同时辐照对于热敏感性食品具有非常重要的作用^[12,13],然而,关于辐照对鲜切胡萝卜特性的影响研究未见报道。本文以鲜切胡萝卜为研究对象,分析不同辐照剂量对胡萝卜的感官、理化及微生物特性的影响情况,以期为辐照技术在鲜切蔬菜中的应用提供依据。

2 方法和材料

2.1 材料

胡萝卜购自北京美廉美超市。每个样品 230~250 g,所有样品分别放在聚丙烯托盘中,采用聚偏二氯乙烯薄膜包裹。

试验使用菌种李斯特氏菌(*Lister innocua* L83)和沙门氏菌(*Salmonella enteritidis* 50041)购自中国药品生物制品所,大肠杆菌(*E.coli* O157:H7 882364)由中国卫生部疾控中心提供。

2.2 样品预处理

2.2.1 鲜切胡萝卜中致病菌的接种

纯培养的致病菌接种于 250 mL 营养液中,在 37 °C 条件下培养 12~18 h,直到密度为 10⁸ CFU/mL。所选取的产品浸泡于致病菌溶液中含有 10⁸ CFU/mL 致病菌)10 min,然后在通风橱中晾干。

2.2.2 辐照处理

辐照源为中国农业科学院农产品加工研究所辐照中心的 Co-60 辐照器。鲜切胡萝卜(1 cm×8 cm×2

cm)在无菌条件下分装 25 g/袋并辐照。

接种了沙门氏菌的鲜切胡萝卜辐照剂量为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 kGy。接种了大肠杆菌的鲜切胡萝卜辐照剂量为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 kGy。吸收的辐照剂量为 8.6 Gy/min。接种了李斯特氏菌的鲜切胡萝卜辐照剂量分别为 0、0.25、0.5、0.75、1.0、1.25、1.5 kGy。所有用于理化特性和感官特性分析的鲜切胡萝卜辐照剂量分别为 0、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 kGy。每次处理重复三次。样品经过辐照后分别放置在室温(16~18 °C)和冷藏条件下进行贮藏(4~7 °C)。

2.3 样品的测定

2.3.1 D₁₀值测定

鲜切胡萝卜在 300 mg/L 次氯酸钠水溶液中消毒 3 min。然后将鲜切胡萝卜放入菌液中浸泡 10 min,在无菌条件下晾干后,取 25 g 样品置于无菌聚乙烯薄膜袋中,经 0、0.2、0.4、0.6、0.8 kGy 辐照后待用^[14]。

2.3.2 微生物测定

不同处理条件下的鲜切胡萝卜分别进行菌落总数(TBC)、酵母和霉菌以及致病菌(大肠杆菌、沙门氏菌和李斯特氏菌)的测定,具体测定方法参照 BAM^[15]方法。

2.3.3 感官特性分析

所选样品的感官特性由 9 个经过培训过的感官评价员进行评价,采用 0~9 分的分值法进行分析,具体的评价参数为颜色、气味、质地、外观,如表 1 所示^[16,17]。

表 1 鲜切胡萝卜感官分析表

Table 1 Sensory analysis index of fresh-cut carrot

项目	评价指标	得分
颜色	胡萝卜特有的颜色	6~9
	颜色变暗	3~5
	颜色变白	0~2
气味	清香,无辐照味	6~9
	较清香,有轻微可接受的辐照味	3~5
	稍有异味,有严重的不可接受的辐照异味	0~2
质地	脆嫩	6~9
	较脆嫩	3~5
	变软、脆感消失	0~2
外观	饱满	6~9
	较饱满	3~5
	稍萎缩	0~2

2.3.4 理化营养指标分析

(1)色泽测定: 采用色差计(CR-400)进行测定, *L*(明度指数, 100=白色, 0=黑色), *a*(红值, 正为红色, 负为绿色), *b*(黄值, 正值为黄色增加, 负值为蓝色增加)值为色泽参数。

(2)可溶性固形物(soluble solids content, SSC): 采用手持糖度仪测定。

(3)细胞膜渗透性(the cell membrane permeability, CMP): 采用相对导电性进行测定^[18]。

2.4 数据分析

采用 SAS9.0 软件进行分析。不同数据间的平均值差异采用 ANOVA 及 Duncan's 进行分析, 在 0.05 水平上有显著差异的数据给予报道。

3 结果与分析

3.1 鲜切胡萝卜的菌落数量

为了了解鲜切胡萝卜的微生物污染状况, 对鲜切胡萝卜中的沙门氏菌、李斯特氏菌、细菌总数、霉菌和酵母菌及大肠杆菌进行测试, 结果显示, 李斯特氏菌和沙门氏菌未检出, 菌落总数大于 4 个对数, 霉菌和酵母菌数大于 2 个对数, 大肠杆菌数为 3 个对数, 各种菌落数均超过企业标准(NY/T1987-2011)。

3.2 接种到鲜切胡萝卜中致病菌的 D₁₀ 值

接种到鲜切胡萝卜中的沙门氏菌、大肠杆菌和李

斯特氏菌分别经过 0~1 kGy、0~0.6 kGy 和 0~1.5 kGy 的辐照处理, 微生物的辐射抗性通常用 D₁₀ 值表示, 沙门氏菌是食品中的主要致病菌, 大肠杆菌与沙门氏菌相比稍少, 但是大肠杆菌的危害更大。表 2 为鲜切胡萝卜的 D₁₀ 值, 可见鲜切胡萝卜中的沙门氏菌、大肠杆菌和李斯特氏菌的 D₁₀ 值分别为 0.334、0.132 和 0.248 kGy。在鲜切胡萝卜中, 大肠杆菌、李斯特氏菌比沙门氏菌对辐照更加敏感。该研究结果与文献报道一致, 研究报道辐照可以较好地去除样品中的致病菌, 1.5~2.0 kGy 即可以改善蔬菜的安全性^[14,19]。

表 2 不同样品中致病菌的 D₁₀ 值
Table 2 D₁₀ values of examined pathogenic bacteria in fresh-cut carrot

样品	致病菌	D ₁₀ 值 (kGy)	R ²
鲜切胡萝卜	沙门氏菌	0.334	0.9697
	大肠杆菌	0.132	0.9701
	李斯特氏菌	0.248	0.9682

3.3 辐照对鲜切胡萝卜品质影响情况

3.3.1 辐照对色泽(hunter 值)的影响

将辐照后的样品分别放置室温下贮藏 1、3、7 d; 冷藏条件下贮藏 0、4、10 d, 其色泽变化情况如表 3 和表 4 所示。

表 3 辐照对胡萝卜在室温条件下贮藏后色泽的影响(n=3)
Table 3 Effect of irradiation on the hunter values of carrot storage at room temperature(n=3)

处理	hunter 值								
	0 d			3 d			7 d		
kGy	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
0.0	61.75±0.45 ^{ba}	38.94±0.64 ^a	36.71±0.35 ^a	62.55±1.23 ^d	29.89±0.29 ^c	35.57±0.56 ^a	64.37±0.35 ^a	32.36±0.34 ^c	36.29±0.65 ^a
1.0	63.20±0.23 ^{ab}	36.02±0.29 ^{abc}	35.13±0.49 ^a	64.12±0.94 ^c	32.55±0.61 ^a	33.32±0.54 ^a	65.85±0.48 ^a	37.15±0.25 ^a	37.15±.43 ^a
1.5	64.61±1.01 ^a	37.14±0.36 ^{ab}	35.49±0.67 ^a	64.96±0.35 ^{ab}	30.16±0.32 ^{bc}	34.33±0.24 ^a	65.81±0.64 ^a	33.44±0.61 ^{bc}	36.14±0.82 ^a
2.0	65.25±0.47 ^a	33.83±0.68 ^{bcd}	36.06±0.89 ^a	65.65±0.48 ^a	32.89±0.61 ^a	34.98±0.13 ^a	69.23±0.14 ^a	32.75±0.32 ^c	35.44±0.23 ^a
2.5	64.81±0.87 ^a	34.49±0.58 ^{bcd}	35.24±0.61 ^a	65.63±0.66 ^a	32.48±0.52 ^a	33.28±0.87 ^a	66.22±0.38 ^a	36.98±.68 ^a	36.03±0.61 ^a
3.0	65.16±0.35 ^a	33.57±0.26 ^{cd}	35.59±0.37 ^a	64.66±0.34 ^{bc}	32.46±0.34 ^{ab}	34.35±0.51 ^a	66.27±0.64 ^a	33.67±0.72 ^{ab}	36.51±0.38 ^a

*数据列和行中的不同上标字母为显著性差异(P<0.05)

表4 辐照对胡萝卜在4~5 °C条件下贮藏色泽的影响($n=3$)Table 4 Effect of irradiation on the hunter values of carrot storage at refrigerated temperature (4~5 °C) ($n=3$)

处理	Hunter 值								
	0 d			4 d			10 d		
	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
kGy									
0.0	61.75±0.61 ^{b*}	38.94±0.34 ^a	36.71±0.56 ^a	66.23±0.34 ^a	33.04±0.94 ^a	36.79±0.42 ^a	63.52±0.17 ^b	33.98±.22 ^a	34.47±0.37 ^a
1.0	63.20±0.94 ^{ab}	36.02±0.61 ^{abc}	35.13±0.34 ^a	66.93±0.25 ^a	33.15±0.85 ^a	34.53±0.94 ^a	64.9±0.82 ^{ab}	35.18±0.60 ^a	33.67±0.92 ^a
1.5	64.61±0.36 ^a	37.14±0.83 ^{ab}	35.49±0.90 ^a	66.93±0.61 ^a	33.07±0.67 ^a	34.98±0.37 ^a	64.43±.83 ^{ab}	34.41±0.37 ^a	34.43±.24 ^a
2.0	65.25±0.71 ^a	32.83±0.91 ^d	36.06±0.61 ^a	66.87±0.38 ^a	32.8±0.34 ^a	35.39±0.64 ^a	64.29±.92 ^{ab}	35.95±0.91 ^a	34.62±.67 ^a
2.5	64.81±0.09 ^a	34.49±0.38 ^{bcd}	35.24±0.58 ^a	67.26±0.16 ^a	32.21±0.19 ^a	35.37±0.61 ^a	65.61±.64 ^a	34.57±0.36 ^a	33.66±.49 ^a
3.0	65.16±0.15 ^a	33.57±0.19 ^{cd}	35.59±0.74 ^a	67.38±0.31 ^a	32.08±0.79 ^a	35.23±0.53 ^a	64.99±0.31 ^{ab}	33.55±.55 ^a	34.21±.15 ^a

*数据列和行中的不同上标字母为显著性差异($P<0.05$)

表5 不同贮藏条件下辐照对胡萝卜样品中可溶性固形物含量的影响($n=3$)Table 5 Effect of irradiation of the soluble solids content of carrot at different temperature ($n=3$)

辐照处理剂量 (kGy)	室温保藏时间/d			冷藏时间/d	
	0	3	7	4	10
	0.0	7.64±0.75 ^{a*}	7.83±0.61 ^a	7.75±0.37 ^a	10.00±0.37 ^a
1.0	7.48±0.42 ^a	7.57±0.94 ^{ab}	7.75±.61 ^a	8.93±.67 ^a	10.10±.37 ^a
1.5	7.53±0.37 ^a	6.53±0.67 ^b	7.56±0.82 ^a	8.90±0.37 ^a	10.60±.69 ^a
2.0	7.59±0.29 ^a	6.50±0.59 ^b	7.50±0.64 ^a	9.83±.64 ^a	10.00±.33 ^a
2.5	7.47±0.55 ^a	7.77±0.53 ^a	8.00±0.34 ^a	10.20±0.91 ^a	10.30±0.98 ^a
3.0	7.63±0.37 ^a	7.23±0.61 ^{ab}	7.47±0.67 ^a	10.00±0.83 ^a	10.40±.29 ^a

*数据列和行中的不同上标字母为显著性差异($P<0.05$)

由表3和表4可知,不同剂量处理对样品色泽影响不显著。无论在室温还是冷藏条件下,辐照后鲜切胡萝卜的*L*值显著高于对照,说明经过辐照的样品颜色偏白,而经过不同剂量辐照的样品间的*L*值没有显著差异,该研究结果与前人研究结果一致^[16]。辐照剂量对*a*值影响非常显著,随着辐照剂量的增加而降低,说明辐照对胡萝卜本身红色的褪色作用显著。*b*值在各个样品中差异不显著。室温下贮藏样品,不同贮藏时间中样品的*L*值和*b*值差异不显著,*a*值随着贮藏时间的延长先变小后升高。而在冷藏条件下,随着时间的延长*L*值、*a*值和*b*值的变化均不显著,说明在冷藏条件下贮藏样品对其色泽影响较小。

3.3.2 辐照对可溶性固形物(SSC)的影响

可溶性固形物是评价样品中碳水化合物含量的

重要指标,表5为不同样品的SSC含量表。可见经过不同剂量辐照的样品间SSC差异不显著。室温条件下贮藏的样品内部间和冷藏条件下贮藏的样品内部间SSC差异不显著。但是室温和冷藏贮藏的样品外部之间的可溶性固形物含量差异显著,冷藏条件下贮藏样品的可溶性固形物含量显著高于室温下贮藏样品。

3.3.3 辐照对细胞膜渗透性(CMP)的影响

研究报道表明,辐照可以使微生物细胞崩溃、细胞形态破坏、细胞膜脂质双分子层破裂,还可移除细胞膜上的关键组分,增加磷脂双分子层的流动性和渗透性,造成细胞内容物泄露、细胞外pH降低,引起细胞死亡^[20]。本文采用相对导电性测定细胞膜的渗透性,结果如图1所示。

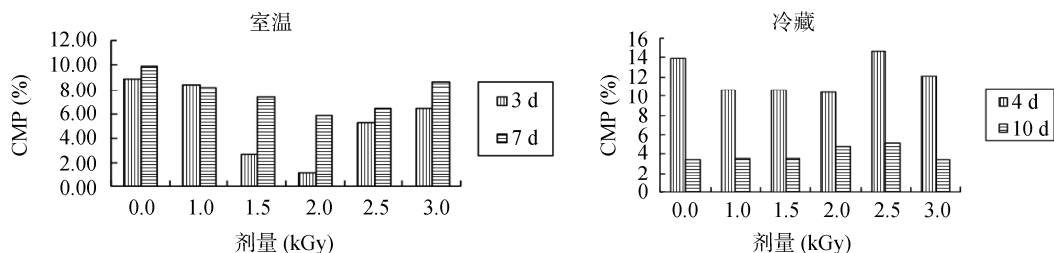


图1 辐照处理后贮藏胡萝卜的细胞渗透性

Fig. 1 Cell membrane permeability of carrot stored at room temperature after irradiation

由图1可知,辐照样品放置在室温条件下贮藏3 d和7 d后,细胞膜渗透性随着辐照剂量的增加先降低后增加,辐照剂量为2.0 kGy时达到最低点,当辐照剂量继续增加时,其细胞膜渗透性反而增加。原因可能是随着辐照剂量的增加,细胞膜弹性降低,细胞膜孔洞增加,使得一些大分子如蛋白质、糖类物质向外渗出,进而阻塞细胞膜的渗透性,随着辐照剂量的进一步增加,使得细胞膜破裂,进而大量蛋白质、糖类物质等外渗,外界电导率增加,故而使细胞渗透性增加。比较同一剂量不同贮藏时间样品的细胞通透性可以发现,贮藏7 d样品的细胞渗透性大于贮藏3 d的样品(除了辐照剂量为1.0 kGy),具体原因将有待进一步研究。

由图1可知,不同辐照剂量在贮藏时间为4 d的样品内部及贮藏时间为10 d的样品内部CMP差异不显著,说明辐照样品在冷藏条件下贮藏相同时间后其样品的CMP值差异不显著。而贮藏4 d的样品与贮藏10 d的样品外部之间存在显著差异,即随着贮藏时间的延长,样品的CMP逐渐减小。

3.3.4 辐照对感官特性的影响

研究结果发现,辐照剂量小于2.0 kGy处理后的胡萝卜在室温下贮藏3 d和7 d时,其颜色、气味、质地、外观没有显著差异。在贮藏期间,空白样品的整体可接受性低于2.0 kGy辐照样品。辐照剂量低于2.0 kGy(包括2.0 kGy)的样品在冷藏条件下贮藏4 d和10 d的胡萝卜,其颜色、气味、质地、外观与没有经过辐照的样品没有显著差异。经过辐照的样品(辐照剂量低于2.0 kGy)的整体可接受性高于没有经过辐照的样品。表明辐照处理有利于延长鲜切胡萝卜的贮藏期。

4 结论

(1)不同致病菌在同一种介质中的 D_{10} 值不同,其

中大肠杆菌对辐照最敏感。辐照剂量为1.5~2.0 kGy可以改善鲜切胡萝卜中的致病菌数。

(2)对辐照后胡萝卜的色泽、可溶性固形物(SSC)、细胞渗透性和感官特性在室温和冷藏条件下贮藏的变化进行了分析。胡萝卜的各种质量参数在辐照剂量小于2.0 kGy时没有显著降低。

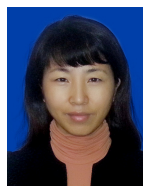
参考文献

- [1] Santos J, Herrero M, Mendiola JA, *et al.* Fresh-cut aromatic herbs: Nutritional quality stability during shelf-life [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2014, 59: 101–107.
- [2] Abadisa M, Alegre I, Oliveira M, *et al.* Growth potential of *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut fruits (melon and pineapple) and vegetables (carrot and escarole) stored under different conditions [J]. *Food Control*, 2012, 27: 37–44.
- [3] Francis GA, Gallone A, Nychas GJ, *et al.* Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2012, 52(7): 595–610.
- [4] Tomás-Callejas A, Boluda M, Robles PA, *et al.* Innovative active modified atmosphere packaging improves overall quality of fresh-cut red chard baby leaves [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2011, 44(6): 1422–1428.
- [5] Caleb O, Mahajan P, Al-Said F, *et al.* Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequence sea review [J]. *Food Bioproc Technol*, 2013, 6(2): 303–329.
- [6] Alarcón-Flores MI, Romero-González R, Martínez VJL, *et al.* Monitoring of phytochemicals in fresh and fresh-cut vegetables: a comparison [J]. *Food Chem*, 2014, 142: 392–399.
- [7] Abadias M, Alegre I, Usall J, *et al.* Evaluation of different alternative substances to chlorine for reducing foodborne pathogens in fresh-cut apple processing [J]. *Posth Bio Technol*, 2010, 59: 289–297.

- [8] Sodha SV, Lynch M, Wannemuehler K, *et al.* Multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with a national fast-food chain, 2006: a study incorporating epidemiological and food source traceback results [J]. *Epidemiol Infect*, 2010, 30: 1–8.
- [9] Ethelberg S, Lisby M, Böttiger B, *et al.* Outbreaks of gastroenteritis linked to lettuce, Denmark [J]. *Euro Surveil*, 2010, 15(6): 19484–19485.
- [10] Costa C, Conte A, Buonocore GG, *et al.* Calcium-alginate coating loaded with silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf-life of fresh-cut carrots [J]. *Food Res Int*, 2012, 48(1): 164–169.
- [11] Tornuk F, Cankurt H, Ozturk I, *et al.* Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* on fresh cut carrots and apples [J]. *Int J Food Microbiol*, 2011, 148(1): 30–35.
- [12] Roberts PB. Food irradiation is safe: Half a century of studies [J]. *Radiat Phys Chem*, 2014, 105: 78–82.
- [13] Farkas J, Ehlermann DAE, Mohácsi-Farkas C. Food technologies: Food irradiation [J]. *Radiat Prot*, 2014, 3: 178–186.
- [14] Niemira BA, Fan X, Sokorai KJ, *et al.* Ionizing radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* ATCC49594 and *L. innocua* ATCC 51742 inoculated on endive (*Cichorium endive*) [J]. *J Food Prot*, 2003, 66(6): 993–998.
- [15] BAM, Bacteriological Analytical Manual, USA, 2001.
- [16] Chervin C, Boisseau P. Quality maintenance of ready-to-eat shredded carrots by gamma irradiation [J]. *J Food Sci*, 1994, 59: 359–361.
- [17] Farkas J, Saray T, Mohacsi-Farkas C, *et al.* Effect of low dose gamma radiation on shelf life and microbiological safety of precut/prepared vegetables [J]. *Adv Food Sci*, 1997, 19: 111–119.
- [18] 白钧元. 超声辐射对植物种子细胞膜渗透性的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2014.
Bai JY. Effect of ultrasound irradiation on the cell membrane permeability of plant seed [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2014
- [19] Foley DM, Dufour A, Rodriguez L, *et al.* Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 in shredded iceberg lettuce by chlorination and gamma irradiation [J]. *Radiat Phys Chem*, 2002, 63(3–6): 391–396.
- [20] 苏雪锋, 黄继红, 慧明, 等. 酶与细胞渗透性协同浸泡提取玉米淀粉的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 38–41.
Su XF, Huang JH, Hui M, *et al.* Research on extraction of corn starch by soaking with enzyme and cell penetrant [J]. *J Henan Univ Technol*, 2014, 35(2): 38–41.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



李淑荣, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为粮油、果蔬产品加工与质量检测。
E-mail: shurongl@hotmail.com