

电子束辐照小麦粉的杀菌效果及对低菌小麦粉品质的影响

魏会惠, 罗小虎, 王莉, 李永富, 李亚男, 王韧, 陈正行

(江南大学食品学院, 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏无锡 214122)

摘要: 为减少有害微生物对小麦粉的污染, 本文研究了电子束辐照对小麦粉的杀菌效果以及对其理化性质、流变学品质的影响。结果表明: 电子束辐照处理可显著降低小麦粉中的微生物含量, 且随着辐照剂量的增加, 杀菌效果越显著; 菌落总数、霉菌、酵母、蜡样芽孢杆菌、需氧芽孢杆菌的辐照杀菌剂量 D_{10} 值分别为 1.94、2.12、2.69、2.51 和 2.46 kGy; 剂量为 1~5 kGy 时, 辐照对小麦粉基本营养成分及氨基酸含量无明显影响; 辐照后小麦粉的湿面筋含量、面筋持水率也无明显变化, 但面筋指数、降落数值随着剂量增加有所减小; 辐照可提高小麦粉面团的吸水率, 降低形成时间和稳定时间等; 面团的拉伸面积、拉伸阻力和拉伸比例等面团流变学特性参数, 均呈现先升高后降低趋势, 但变化幅度很小。

关键词: 电子束; 辐照灭菌; 小麦粉; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)2-142-147

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.022

Effect of Electron Beam Irradiation on the Sterilization, Quality, and Bacterial Count of Wheat Flour

WEI Hui-hui, LUO Xiao-hu, WANG Li, LI Yong-fu, LI Ya-nan, WANG Ren, CHEN Zheng-xing

(Nation Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To reduce microbial contamination in wheat flour, sterilization of this wheat flour with electron beam irradiation was studied. The effects of irradiation on the physicochemical properties and the rheological quality of wheat flour were investigated. The results showed that electron beam irradiation could significantly reduce the microbial content in a dose-dependent manner. The decimal reduction dose (D_{10}) values of bacterial count, mold, yeast, *Bacillus cereus*, and aerobic bacillus were 1.94, 2.12, 2.69, 2.51, and 2.46 kGy, respectively. At this range of doses (1~5 kGy), irradiation had no significant effect on the basic nutritional composition and amino acid content of the wheat flour. The wet gluten content and gluten moisture rate of wheat flour did not change significantly, but the gluten index and falling number were decreased with increasing irradiation dose. Irradiation could increase the water absorption rate of wheat flour and reduce the dough development time and stability time. With the increase of irradiation dose, the stretching area, stretching resistance, stretching ratio, and other parameters increased at first, then decreased, but the magnitudes of these changes were not significant.

Key words: electron beam; irradiation sterilization; wheat flour; quality

小麦粉含有丰富的蛋白质和碳水化合物等营养素, 并且其组织松软, 无外壳保护, 在适宜的外界环境条件下, 微生物会迅速生长繁殖, 造成小麦粉的发热和霉变, 使其品质下降, 严重时甚至会产生真菌毒素, 危害到食用者的身体健康^[1]。随着科技的进步和

收稿日期: 2016-01-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31501579); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303071, 201303069)

作者简介: 魏会惠 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食精深加工方向

通讯作者: 王韧 (1980-), 男, 副教授, 研究方向: 粮食精深加工方向

人民生活水平的提高, 小麦粉的安全质量指标日渐引起重视。Berghofer^[2]等通过调查分析, 提出了澳大利亚小麦粉微生物指标的限制建议: 菌落总数 $<10^4$ CFU/g, 大肠菌群 $<10^2$ CFU/g, 大肠埃希氏菌 <10 CFU/g, 蜡样芽孢杆菌 <10 CFU/g, 嗜温芽孢菌 $<10^2$ CFU/g, 酵母菌与霉菌 $<10^3$ CFU/g。国际食品高端品牌企业卡夫, 也对小麦粉的微生物指标提出了严格的要求^[3], 如明确要求芽孢数 $<5.0 \times 10^2$ CFU/g、细菌总数 $<2.0 \times 10^3$ CFU/g 和霉菌数 $<2.0 \times 10^2$ CFU/g 等。在这一背景下, “低菌小麦粉”的概念应运而生。低菌小麦粉, 即“无菌面粉”, 是指在传统的小麦制粉过程中增加“去

除原料携带的微生物、抑制加工过程中繁殖、杜绝新增污染”等功能,保证加工出的小麦粉中的微生物指标达到要求^[4](如:芽孢 $\leq 5.0 \times 10^2$ CFU/g、细菌总数 $\leq 2.0 \times 10^3$ CFU/g、霉菌数 $\leq 2.0 \times 10^2$ CFU/g和大肠菌群 $\leq 0.5 \times 10^2$ MPN/g,重金属残留达到欧盟标准)。

电子束辐照技术作为一种冷加工灭菌技术,具有最大限度保持食品品质,减少风味损失,有效防止微生物污染,延长货架期等优越性^[5]。近年来,国内外学者通过大量的探索研究,发现适宜剂量的辐照处理能够高效杀灭谷物储藏害虫、抑菌防霉。例如:J.A.Sarrias^[6]研究发现杀灭稻谷中微生物所需的电子束辐照剂量比糙米要高,分别为7.5 kGy和1.1 kGy。呼玉山^[7]等报道,利用电子束辐照大米可以控制微生物,3~5 kGy辐照即可杀灭其微生物,达到防霉的目的。黄曼^[8]研究发现0.5~5.1 kGy电子束辐照对小麦的菌落总数有明显的抑制作用,且辐照剂量越高,抑菌效果越好。然而,电子束辐照处理在低菌小麦粉生产中的应用尚未见报道。本研究综合考虑电子束辐照对小麦粉杀菌效果及其营养、加工品质的影响,确定小麦粉辐照杀菌的最佳辐照剂量,以期电子束技术在低菌小麦粉加工中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

金龙鱼多用途麦芯粉:益海嘉里粮油工业有限公司,市售;其他试剂:均为分析纯及以上。

5 MeV 电子加速器,无锡爱邦辐射技术有限公司;AL204 分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;数显式电热恒温水浴锅,常州诺基仪器有限公司;高压灭菌锅,日本 SANYO;无菌操作台,新加坡 ESCO;LRH-150 生化培养箱,上海恒科学仪器有限公司;UV-1100 型紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;实验室 pH 计,奥豪斯仪器(上海)有限公司;MJ-III 面筋测定仪,杭州大成光电仪器有限公司;FN-II 降落数值仪,杭州大成光电仪器有限公司;Brabender E 型粉质仪和 Brabender 拉伸仪,德国 Brabender 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 辐照处理

采用无锡爱邦电子加速器公司的电子加速器进行静态辐照加工,能量为 5.0 MeV,束流为 2 mA,传送速率为 6 m/min,试验设定辐照吸收剂量为 0、1、2、3、4、5 kGy。小麦粉采用透明聚乙烯塑料袋包装,500

g/袋。每个剂量处理设 4 个重复。辐照后样品室温下贮存,进行相关指标的分析测定。

1.2.2 微生物检验

细菌总数、霉菌及酵母菌、大肠杆菌、需氧芽孢总数和蜡样芽孢杆菌的测定分别依据 GB 4789.2-2010、GB 4789.15-2010、GB 4789.3-2010、NY/T1331-2007 和 GB/T 4789.14-2014 方法,于辐照后第 2 d 进行。

1.2.3 辐照杀菌剂量 D_{10} 值的确定

辐照杀菌剂量的 D_{10} 值是一个重要技术参数,它是指杀灭 90% 的微生物所需辐照剂量。它反映了被辐照物中的微生物对电子束的耐受能力。辐照剂量与微生物的关系可用如下数学形式^[9]表示: $\lg N = \lg N_0 + kD$ 。式中 N_0 为样品未辐照之前的初始含菌数, N 为样品辐照之后的存活菌数, D 为对应存活率 N_0/N 所需的剂量。将微生物常用对数与电子束辐照剂量的关系建立回归直线方程,得到一元线性回归方程 $y = kx + b$,通过直线回归的方法求得 k 、 b 值及相关系数 R^2 , D_{10} 值通过公式 $D_{10} = -1/k$ 得到。

1.2.4 营养成分分析

水分、淀粉、蛋白质、脂肪、灰分含量和氨基酸含量分别按 GB 5497-1985、GB 5009.9-2008、GB 5511-1985、GB 5512-1985、GB 5505-1985 和 GB/T 5009.124-2003 测定。

1.2.5 品质指标分析

湿面筋含量及面筋指数按 GB/T 5506.2008 规定方法进行;降落数值的测定按 GB/T 10361-2008 进行。

1.2.6 流变学特性分析

面团的粉质参数检测参照 GB/T 14614-2006;面团的拉伸参数检测参 GB/T 14615-2006。

1.3 统计分析

采用 Origin 8.6 及 SPSS 11.5 数据分析软件对数据进行处理,运用 Duncan 检验进行显著性分析 ($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 电子束辐照小麦粉的杀菌效果

电子加速器辐照后小麦粉的微生物变化情况如表 1 所示。由表 1 可知,经不同剂量的电子束辐照后,小麦粉中微生物含量明显下降,且辐照剂量越大灭菌效果越明显。3 kGy 辐照时,小麦粉中的菌落总数、霉菌、酵母、蜡样芽孢杆菌和需氧芽孢菌分别从 6100 CFU/g、240 CFU/g、58 CFU/g、55 CFU/g 和 275 CFU/g

下降至 255 CFU/g、<10 CFU/g、<10 CFU/g、<10 CFU/g 及 28 CFU/g，灭活率分别达到 95.82%、95.83%、82.76%、81.82%和 89.82%。这表明采用电子束辐照技术进行小麦粉的辐照杀菌在技术上可行，只要选取合适的辐照剂量，便可使小麦粉中的含菌量降低，达到相关的卫生标准。

表 1 电子束辐照小麦粉的杀菌效果

Table 1 Sterilization effect of electron beam irradiation on wheat flour

微生物指标	辐照剂量/kGy					
	0	1	2	3	4	5
菌落总数/(CFU/g)	6100	585	520	255	60	10
霉菌数/(CFU/g)	240	23	10	<10	<10	<10
酵母数/(CFU/g)	58	13	20	<10	<10	<10
大肠菌群/(CFU/g)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
蜡样芽孢杆菌/(CFU/g)	55	40	<10	<10	<10	<10
需氧芽孢菌/(CFU/g)	275	160	160	28	10	<10

根据表 1 数据，采用数学回归分析得到微生物常用对数 (y) 与杀菌剂量 (x) 的回归直线方程，列于表 2。由表 2 中 D₁₀ 值的差异可以看出酵母、蜡样芽孢杆菌和需氧芽孢菌对电子束的耐受能力高于其他细菌及霉菌。但由于本试验样品自身的原因，未能观测到不同电子束辐照剂量对大肠菌群的作用效果。根据 Berghofer 等提出的澳大利亚小麦粉微生物指标限制建议及以卡夫为代表的国际食品高端品牌企业提出的

对小麦粉微生物指标的严格要求，要达到上述微生物标准，辐照灭菌剂量必须在 3 kGy 以上。

表 2 电子束辐照小麦粉的微生物变化回归分析结果

Table 2 Regression analysis of changes in microbial content of wheat flour subjected to electron beam irradiation

微生物指标	回归直线方程	相关系数 R ²	D ₁₀ 值/kGy
菌落总数	y=3.666-0.515x	0.925	1.94
霉菌数	y=2.020-0.471x	0.880	2.12
酵母数	y=1.679-0.372x	0.848	2.69
蜡样芽孢杆菌	y=1.635-0.399x	0.769	2.51
需氧芽孢菌	y=2.635-0.407x	0.847	2.46

2.2 电子束辐照对小麦粉营养成分及氨基酸含量的影响

由表 3 可知，电子束辐照剂量对小麦粉中水分、淀粉、蛋白质、脂肪和灰分含量的影响不明显 (p>0.5)。因此不同剂量的电子束辐照对小麦粉主要营养成分没有显著的影响。表 4 为不同剂量电子束辐照对小麦粉中氨基酸成分及含量的分析结果。结果表明，经过不同剂量电子束辐照过的小麦粉中氨基酸成分及含量与未经辐照的小麦粉相比，差异均不显著 (p>0.5)。这说明，该剂量范围的电子束辐照不会引起小麦面筋蛋白氨基酸组成和含量的变化，因而在该剂量范围内，不会使蛋白质营养价值发生损失。

表 3 电子束辐照对小麦粉主要营养成分的影响

Table 3 Effect of electron beam irradiation on the nutritional composition of wheat flour

剂量/kGy	水分含量/%	淀粉含量/%	蛋白质含量/%	脂肪含量/%	灰分含量/%
0	14.63±0.02 ^{ab}	66.40±0.11 ^a	10.77±0.22 ^a	1.25±0.01 ^a	0.47±0.01 ^a
1	14.68±0.01 ^b	66.65±0.21 ^a	10.44±0.01 ^a	1.22±0.01 ^a	0.51±0.04 ^a
2	14.48±0.16 ^a	65.82±0.31 ^{ab}	10.18±0.27 ^a	1.16±0.06 ^{ab}	0.51±0.05 ^a
3	14.52±0.01 ^{ab}	66.82±0.83 ^a	10.44±0.30 ^a	1.07±0.10 ^b	0.44±0.03 ^a
4	14.66±0.03 ^b	65.82±0.25 ^{ab}	10.62±0.07 ^a	1.09±0.04 ^b	0.44±0.06 ^a
5	14.60±0.01 ^{ab}	65.13±0.25 ^b	10.86±0.76 ^a	1.07±0.02 ^b	0.43±0.05 ^a

注：同行肩标字母相异者表示两者差异显著 (p<0.05)。

表 4 电子束辐照对小麦粉氨基酸成分及含量的影响

Table 4 Effect of electron beam irradiation on the content and composition of amino acids in wheat flour

氨基酸	辐照剂量/kGy					
	0	1	2	3	4	5
天冬氨酸 Asp	0.54±0.02	0.52±0.01	0.54±0.04	0.48±0.01	0.48±0.02	0.53±0.05
谷氨酸 Glu	4.16±0.03	4.14±0.02	4.20±0.03	4.31±0.01	4.10±0.01	4.14±0.02
丝氨酸 Ser	0.37±0.01	0.39±0.02	0.38±0.01	0.39±0.02	0.36±0.01	0.37±0.03
组氨酸 His	0.26±0.01	0.27±0.01	0.25±0.04	0.26±0.01	0.25±0.02	0.25±0.01

转下页

接上页

甘氨酸 Gly	0.39±0.03	0.41±0.01	0.39±0.02	0.40±0.03	0.38±0.01	0.35±0.04
苏氨酸 Thr	0.27±0.02	0.28±0.03	0.27±0.01	0.28±0.02	0.26±0.03	0.26±0.03
精氨酸 Arg	0.44±0.02	0.44±0.03	0.41±0.04	0.44±0.03	0.43±0.02	0.42±0.04
丙氨酸 Ala	0.35±0.03	0.37±0.01	0.35±0.04	0.36±0.03	0.35±0.01	0.34±0.02
酪氨酸 Tyr	0.23±0.03	0.23±0.01	0.24±0.03	0.27±0.02	0.24±0.03	0.24±0.01
半胱氨酸 Cys	0.07±0.05	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.02	0.07±0.03
缬氨酸 Val	0.52±0.01	0.52±0.03	0.53±0.04	0.53±0.01	0.51±0.01	0.52±0.02
蛋氨酸 Met	0.10±0.03	0.10±0.03	0.12±0.02	0.13±0.05	0.13±0.01	0.14±0.03
苯丙氨酸 Phe	0.71±0.02	0.70±0.01	0.62±0.03	0.63±0.01	0.63±0.06	0.60±0.03
异亮氨酸 Ile	0.47±0.01	0.48±0.03	0.47±0.02	0.44±0.02	0.46±0.03	0.47±0.01
亮氨酸 Leu	0.76±0.02	0.74±0.01	0.77±0.02	0.77±0.03	0.75±0.04	0.76±0.05
赖氨酸 Lys	0.22±0.03	0.23±0.03	0.22±0.02	0.22±0.04	0.21±0.02	0.22±0.01
脯氨酸 Pro	1.38±0.02	1.44±0.06	1.25±0.10	1.24±0.08	1.42±0.03	1.33±0.05
总氨基酸	11.23±0.39	11.23±0.36	11.08±0.52	11.21±0.43	11.01±0.38	11.02±0.48

2.3 不同剂量电子束辐照对小麦粉品质指标的影响

由表 5 可以看出,辐照前后湿面筋含量基本不变,但面筋指数变化相对较大。随着辐照剂量提高,面筋指数逐渐下降。与对照相比,在经 5 kGy 辐照后面筋持水率略有下降(下降了 4.65%),其他辐照剂量下基本不变。与对照相比,辐照剂量在 1 kGy 时,小麦粉的面筋指数仅下降了 1.67%,当辐照剂量增加到 3 kGy

时,小麦粉的面筋指数下降了 6.04%。面筋指数的下降表示电子束辐照破坏了小麦蛋白的原有结构,甚至引起这些大分子的降解^[10]。降落数值反映了小麦粉中淀粉酶活性的大小和淀粉被淀粉酶降解的速度,一般要求在 225 s 以上^[11]。由表 5 数据可见,降落数值随着辐照剂量的增加而明显下降($p<0.05$),剂量为 3 kGy 的小麦粉样品降落数值为 347.00 s,比对照样 630.50 s,降低了 44.96%。降落数值明显降低表明小麦粉经过电子束辐照后其淀粉破损率增高,淀粉分子被降解,导致容易被淀粉酶作用。

表 5 电子束辐照对小麦粉品质指标的影响

Table 5 Effect of electron beam irradiation on the quality indicators of wheat flour

剂量/kGy	湿面筋含量/%	面筋持水率/%	面筋指数/%	降落数值/s
0	26.54±0.41 ^a	191.37±4.50 ^b	76.78±0.04 ^a	630.50±44.54 ^a
1	26.58±0.41 ^a	197.92±1.74 ^{ab}	75.50±0.64 ^b	382.50±36.06 ^b
2	26.43±0.44 ^a	200.79±2.33 ^a	73.39±0.62 ^c	357.50±2.12 ^{bc}
3	26.24±0.20 ^a	197.09±1.69 ^{ab}	72.14±0.43 ^d	347.00±8.49 ^{bcd}
4	25.41±1.06 ^a	197.06±4.08 ^{ab}	71.83±0.12 ^d	308.50±9.19 ^{cd}
5	25.57±0.04 ^a	182.47±0.52 ^c	70.53±0.21 ^e	291.50±4.95 ^d

注:同行肩标字母相异者表示两者差异显著 ($p<0.05$)。

表 6 电子束辐照对小麦粉破损淀粉含量的影响

Table 6 Effect of electron beam irradiation on the damaged starch content in wheat flour

辐照剂量/kGy	0	1	2	3	4	5
破损淀粉/%	8.56±0.03 ^a	8.66±0.13 ^a	8.78±0.20 ^{ab}	8.93±0.04 ^{bc}	9.13±0.03 ^c	9.39±0.06 ^d

注:同行肩标字母相异者表示两者差异显著 ($p<0.05$)。

2.4 不同剂量电子束对小麦粉破损淀粉含量的影响

表 6 为不同剂量电子束辐照后小麦粉中破损淀粉

的含量测定,对不同剂量的小麦粉,破损淀粉含量较之未辐照样品分别增加 1.17%、2.57%、4.26%、6.67%和 9.70%。破损淀粉含量对面粉食用品质的影响,主要表现在两方面,其一是面团吸水率增大;其二是使淀粉对淀粉酶反应的敏感性增加,这一作用也是影响

面粉烘焙品质和蒸煮品质的重要因素之一^[12]。

2.5 不同剂量电子束辐照对小麦粉粉质特性的影响

粉质特性中,小麦粉的吸水率与蛋白质含量及破损淀粉的含量有关。从表7可以看出,随着辐照剂量的增加,面团的吸水率和弱化度均逐渐升高,而形成时间、稳定时间及评价值均降低。面团吸水率的升高说明辐照后,淀粉颗粒受到损伤,各部分间连接变得疏松,水分更容易进入到淀粉颗粒的内部,导致其吸水率增大,从而一定程度上改善小麦粉的面团品质,而破损淀粉含量与面团吸水率是正相关关系,破损淀粉值越大,面团吸水率也越高,这一结论与之前的研究一致^[13]。小麦粉的面团形成时间反映了食品加工过

程中的和面时间,面团形成时间过长或太短均不利于和面时面团的形成,影响食品的加工^[14]。破损淀粉含量与面团形成时间基本上是呈负相关关系,即破损淀粉含量增高,其面团的形成时间有缩短的趋势,这种情况可能是因为淀粉粒受到破损后,使得整个胚乳细胞结构变得松散,水分子更容易与蛋白质结合,因而其形成时间缩短,在一定程度上可降低和面工艺的能耗^[15]。面团的弱化度反应面团在搅拌过程中的破坏速度和对机械搅拌的承受力。弱化度越大,说明面团的筋力越弱,在搅拌中被破坏的速率越大,面团越易流变。评价值是对小麦的粉质质量进行评分。评价值总体随辐照剂量的增加而略有减小,说明辐照剂量增加对面粉总体的品质是有一定影响的。在实际面粉加工业中,根据不同面粉产品要求进行配粉,即使某些指标略有下降经过配粉也不会影响面粉的总体质量^[16]。

表7 电子束辐照对小麦粉粉质特性的影响

Table 7 Effect of electron beam irradiation on the farinograph properties of wheat flour

剂量/kGy	粉质实验				
	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU	评价值
0	63.85±0.07 ^a	2.45±0.07 ^a	2.85±0.07 ^a	75.00±1.41 ^a	47.00±1.41 ^a
1	65.20±0.14 ^b	2.30±0.00 ^b	2.70±0.00 ^b	89.00±1.41 ^b	39.50±0.71 ^b
2	65.50±0.00 ^c	2.25±0.07 ^b	2.85±0.07 ^a	85.00±0.71 ^{bc}	47.00±1.41 ^a
3	65.75±0.07 ^d	2.05±0.07 ^c	2.65±0.07 ^b	93.00±1.41 ^{cd}	41.00±1.41 ^b
4	65.95±0.07 ^d	2.05±0.07 ^c	2.60±0.00 ^b	90.00±2.82 ^d	45.50±0.71 ^a
5	66.70±0.14 ^c	2.00±0.00 ^c	2.15±0.07 ^c	121.00±1.41 ^e	35.00±1.41 ^c

注:同行肩标字母相异者表示两者差异显著($p<0.05$)。

2.6 不同剂量电子束辐照对小麦粉拉伸特性的影响

由表8可以看出,在同一醒面时间条件下,随着辐照剂量的增加,面团的拉伸面积、拉伸阻力及最大拉伸阻力呈先增大后减小趋势,在辐照剂量为3 kGy时分别达到最大值,超过3 kGy后略有下降。拉伸阻

力及最大拉伸阻力的下降,主要是由于辐照对面团中的面筋蛋白产生了一定的破坏作用,使得面团的筋力变弱,小麦粉的烘焙品质逐渐下降。面团的延伸度增加,说明面团弹性变小,发酵时易变软或流散。与对照组相比,面团的拉伸比例、最大拉伸比例整体略呈先增大后减小趋势,且变化幅度也很小。说明辐照处理对小麦粉面团的总体流变特性影响不大。

表8 电子束辐照对小麦粉拉伸指标的影响

Table 8 Effect of electron beam irradiation on the extensograph properties of wheat flour

剂量/kGy	拉伸试验/min, 45/90/135					
	拉伸面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延伸度/mm	最大拉伸阻力/BU	拉伸比例	最大拉伸比例
0	41/55/53	177/259/268	139/137/125	207/302/304	1.3/1.9/2.1	1.5/2.2/2.4
1	41/50/56	190/252/304	133/123/121	219/189/336	1.5/2.0/2.5	1.7/2.3/2.8
2	40/52/50	200/274/294	125/125/116	221/298/316	1.6/2.2/2.5	1.8/2.4/2.7
3	44/59/57	200/291/325	136/127/119	226/331/358	1.5/2.3/2.7	1.7/2.6/3.0
4	40/55/58	160/256/284	143/132/131	190/302/317	1.1/1.9/2.2	1.3/2.3/2.4
5	39/53/56	144/252/312	154/135/119	175/288/342	0.9/1.9/2.6	1.1/2.1/2.9

3 结论

电子束辐照能有效控制小麦粉中的微生物含量,且辐照剂量越大,杀菌效果越显著。0~5 kGy 的剂量辐照对小麦粉的基本营养成分无影响,对小麦粉的湿面筋含量、面筋持水率也无明显影响,但面筋指数和降落数值随着剂量增加有所减小。随着辐照剂量的增加,小麦粉面团的吸水率、弱化度略有升高,面团形成时间、稳定时间略有降低,而面团的拉伸面积、拉伸阻力和拉伸比例等面团流变学特性参数均呈现先升高后降低趋势,但变化幅度也很小。说明低剂量的电子束辐照对小麦粉面团的总体流变特性影响不大。

参考文献

- [1] 曾朝珍,张晓琳,贡建民,等.小麦粉生产过程中微生物的变化规律研究[J].现代食品科技,2008,24(9): 861-864
ZENG Chao-zhen, ZHANG Xiao-lin, DAI Jian-min, et al. Quantitative changes of microorganism in wheat flour processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 24(9): 861-864
- [2] Lana K Berghofer, Ailsa D Hocking, Di Miskelly, et al. Microbiology of wheat and flour milling in Australia [J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 85(1-2): 137-149
- [3] 张杜娟.低菌小麦粉生产关键技术研究[D].南京:南京财经大学,2013
ZHANG Du-juan. Study on key technology of producing the flour of less bacterium [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2013
- [4] 刘小平,王璐.新型除菌设备在小麦制粉中的应用研究[J].现代面粉工业,2011,25(3):21-24
LIU Xiao-ping, WANG Lu. The application and study of new sterilizing equipment in the wheat milling [J]. Modern Flour Milling Industry, 2011, 25(3): 21-24
- [5] Lung Hsiang-Mei, Yu-Chi Cheng, Yin-Hsuan Chang. Microbial decontamination of food by electron beam irradiation [J]. Trends in Food Science and Technology, 2015, 1(44): 66-78
- [6] J A Sarr As, M Valero, M C Salmeron. Elimination of *Bacillus cereus* contamination in raw rice by electron beam irradiation [J]. Food Microbiology, 2003, 20(3): 327-332
- [7] 呼玉山,陈双兴,王经权,等.电子加速器辐照大米防霉技术研究[J].中国粮油学报,1999,14(1):55-58
HU Yu-shan, CHEN Shuang-xing, WANG Jing-quan, et al. Experiment of controlling mould by electron accelerator irradiation treatment for rice storage [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1999, 14(1): 55-58
- [8] 黄曼,胡碧君,吴新莲,等.电子束辐照对小麦储藏抑菌及加工品质的影响[J].农业工程学报,2010,26(2):342-346
HUANG Man, HU Bi-jun, WU Xin-lian, et al. Effects of electron beam irradiation on the fungi inhibition during storage and processing quality of bulk wheat [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 342-346
- [9] T M Osaili, R R Shaker, A S Abu Al-Hasan. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* in infant milk formula by Gamma irradiation: determination of D10-value [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(3): 85-88
- [10] 杨春梅,王建丽.小麦面筋的特性及应用[J].西部粮油科技,2000,25(1):24-25
YANG Chun-mei, WANG Jian-li. Characteristics and application of wheat gluten [J]. China Western Cereals and Oils Technology, 2000, 25(1): 24-25
- [11] 黄曼.电子束辐照在线杀虫/杀菌效果及对小麦品质影响的研究[D].广州:华南理工大学,2010
HUANG Man. Effects of electron beam-line irradiation on insecticide/bactericidal and wheat quality [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010
- [12] 王晓曦,邵青,张振铎,等.小麦破损淀粉含量对制品蒸煮品质影响及其机理[J].粮食与油脂,2001,3:10-12
WANG Xiao-xi, SHAO Qing, ZHANG Zhen-duo, et al. The influence and mechanism of damage starch on cooking quality of products [J]. Cereals and Oils, 2001, 3: 10-12
- [13] Chong Liu, Limin Li, Jing-Hong. Effect of mechanically damaged starch on wheat flour, noodle and steamed bread making quality [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49: 253-260
- [14] L Stampfli, B Nersten, E L Molteberg. Effects of emulsifiers on farinograph and extensograph measurements [J]. Food Chemistry, 1996, 57(4): 523-530
- [15] 王晓曦,王忠诚,曹维让,等.小麦破损淀粉含量与面团流变学特性及降落数值的关系[J].郑州工程学院学报,2001,22(3):53-57
WANG Xiao-xi, WANG Zhong-cheng, CAO Wei-rang, et al. The relationship between damage starch content in wheat flour and rheological properties and falling number [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 2001, 22(3): 53-57
- [16] Fombang E N, Taylor J R N, Mbofung C M F, et al. Use of γ -irradiation to alleviate the poor protein digestibility of sorghum porridge [J]. Food Chemistry, 2005, 91(4): 695-703

现代食品科技