

电子束辐照对小麦营养品质和面团流变学特性的影响

陈云堂, 李 湘, 范家霖*, 郭东权, 商飞飞, 吕晓华, 张建伟, 杨保安
(河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 河南省核农学重点实验室, 河南 郑州 450015)

摘 要: 采用0、0.83、1.56、2.30、4.93kGy不同剂量的电子束辐照小麦麦仁, 研究其对小麦营养品质、面筋质量和面团流变学特性影响。结果表明: 不同剂量的电子束辐照对小麦的粗蛋白含量、氨基酸组成与平衡性影响不显著($P>0.05$), 对湿面筋含量、出粉率无显著影响($P>0.05$), 但沉淀值、降落数值均随着辐照剂量的增加而下降($P<0.05$)。电子束辐照对面团的吸水量、拉伸度影响不显著($P>0.05$), 但面团弱化度随着辐照剂量的增加而增加($P<0.05$)。与未辐照组相比, 2.30、4.93kGy剂量辐照时面团形成时间、稳定时间明显下降($P<0.05$), 0.83、1.56kGy剂量辐照时面团的拉伸阻力、50mm处最大拉伸阻力显著增强($P<0.05$), 0.83kGy剂量辐照时面团的拉伸能量明显提高($P<0.05$)。0.83、1.56kGy的辐照剂量可使小麦粉面团筋力增强。

关键词: 电子束辐照; 小麦; 营养品质; 粉质特性; 拉伸特性

Effect of Electron Beam Irradiation on Nutritive Quality and Dough Rheological Properties of Wheat Flour

CHEN Yun-tang, LI Xiang, FAN Jia-lin*, GUO Dong-quan, SHANG Fei-fei, LÜ Xiao-hua, ZHANG Jian-wei, YANG Bao-an
(Key Laboratory of Nuclear Agriculture of Henan Province, Isotope Institute Co. Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Wheat grains were irradiated by electron beam at doses of 0, 0.83, 1.56, 2.30 kGy and 4.93 kGy and the nutritive quality and dough rheological properties were investigated afterwards. The protein content and amino acid composition of wheat kernels before and after irradiation were quite similar. Wet gluten content and flour yield were not significantly changed by electron beam irradiation ($P > 0.05$) while sedimentation value and falling number significantly decreased as the electron beam irradiation dose increased ($P < 0.05$). Irradiation treatment showed no significant effect on the water absorption and extensibility of dough after 135 min of proofing whereas increased irradiation dose led to an increase in degree of softening ($P < 0.05$). Compared to non-irradiated wheat, the development time and stability of dough were significantly decreased at 2.30 kGy and 4.93 kGy ($P < 0.05$), while maximum resistance to extension after 135 min of proofing and resistance to constant deformation after 50-mm stretching were significantly enhanced at 0.83 kGy and 1.56 kGy ($P < 0.05$). Dough extension area after 135 min of proofing significantly increased at 0.83 kGy ($P < 0.05$). These results showed that electron beam irradiation at 0.83 kGy and 1.56 kGy could enhance dough strength and improve the processing quality of wheat flour.

Key words: electron beam irradiation; wheat; nutritive quality; farinograph property; extensograph property

中图分类号: TS210.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)11-0053-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201311013

小麦是我国重要的粮食作物, 也是我国主要的储备粮品种之一, 其种植几乎遍布全国。初步统计, 2011年全国小麦总产量11792万t, 占粮食总产量的20.6%。但据保守估计, 每年因虫害、霉变和不当的储藏措施造成的损失约占10%。因此, 如何做好丰产后粮食的储藏一直是农业研究的一个重要的课题。食品辐照技术作为一

种“冷处理”的物理方法, 耗能少, 杀虫、灭菌效果明显, 且不添加任何化学物质, 无营养学、微生物学方面的安全问题^[1], 已逐渐成为食品保鲜、加工与贮藏中化学药物方法的有效替代和补充^[2]。1980年, 联合国粮食与农业组织/国际原子能机构/世界卫生组织(FAO/IAEA/WHO)认定经10kGy以下剂量辐照的食品是安全可靠的, 不需要

收稿日期: 2012-02-17

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201103007); 河南省创新型科技人才队伍建设工程项目(豫科人事(2009)2号); 郑州市创新型科技人才队伍建设工程项目(096SYJH28087); 河南省重点攻关计划项目(122102110056)

作者简介: 陈云堂(1963—), 男, 研究员, 本科, 主要从事核技术应用研究。E-mail: chyt1015@163.com

*通信作者: 范家霖(1966—), 男, 研究员, 硕士, 主要从事核技术应用研究。E-mail: hnskxyfil@163.com

进行任何毒理学实验,2003年又对一些食品允许使用10kGy以上的辐照剂量;我国卫生部也把允许使用的食品辐照剂量由过去的1kGy放宽到了10kGy。有研究^[3]表明,粮食辐照技术是一项值得推广的绿色食品保鲜加工技术,已逐渐成为害虫综合防治体系中的一项重要手段。⁶⁰Co γ 射线辐照防治杂拟谷盗的最低有效剂量为200Gy^[4],电子束辐照防治玉米象^[5]、锯谷盗^[6]、赤拟谷盗^[7]的有效剂量分别为300、300、518Gy,180Gy的剂量可有效阻止不同虫态玉米象继续繁殖下一代^[8],而200Gy的剂量可以使玉米象成虫完全致死^[9]。300Gy电子束辐照可有效防治小麦中玉米象,其不育剂量为180Gy^[10]。电子束辐照玉米象、赤拟谷盗、谷蠹的有效防治剂量为300、600Gy,300Gy辐照后成虫四周内的死亡率达100%,600Gy辐照后成虫1周内的死亡率达100%^[11]。微生物防控方面,180kV的电子束辐照能使小麦的细菌总数降至<100CFU/g,且对小麦品质的影响不明显,对淀粉分子的降解作用比 γ 射线辐照的影响小^[12-13]。

食品辐照手段包括⁶⁰Co、¹³⁷Cs放射性元素产生的 γ 射线辐照和电子加速器产生的电子束、X射线辐照,其中电子束辐照技术因其安全、方便、节能、环保等优点在解决食品安全问题中具有独特的技术特色和优势^[14-15],并且随着近年来电子加速器设备技术的进步,电子束辐照的推广和应用范围将更为广泛。然而,以往有关食品辐照技术的研究多集中于⁶⁰Co γ 射线方面,且主要是有关天辐照杀虫、灭菌方面的研究,而有关辐照对小麦营养品质和流变学特性的影响研究较少。研究发现, ≤ 10 kGy的⁶⁰Co γ 射线辐照剂量对小麦的胱氨酸、蛋氨酸含量影响不显著, ≥ 5 kGy时赖氨酸含量明显下降^[16],然而Borsa等^[17]于1995年研究表明小麦的营养品质和加工特性不受0~10kGy电子束辐照的影响。因此,本实验旨在以电子束加速器为辐照手段,研究低剂量辐照对小麦营养品质和流变学特性的影响,以期对电子束辐照杀虫技术在小麦储藏保鲜方面的推广与应用提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料

精制小麦仁购于河南省郑州市黑庄粮油市场。

1.2 仪器与设备

5MeV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;
Agilent 6890N气相色谱仪 美国Agilent Technologies公司;
2200面筋仪 北京东方孚德技术有限公司;
Buhler MLU-202实验制粉机 德国Buhler设备工程有限公司;
Brabender拉伸仪、Brabender E型粉质仪 德国Brabender公司;
1900降落数值仪 波通瑞华科学仪器

(北京)有限公司;UV-260型紫外分光光度计 日本岛津公司;
2300型全自动定氮仪 瑞典Foss Tecator公司;
L-8900全自动氨基酸分析仪 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 辐照处理

采用电子加速器进行静态辐照加工,能量为4.9MeV、束流为2mA,传送速率为6m/min;样品采用半吸收剂量、翻转180°的辐照方式,以保证样品吸收剂量均匀。小麦设0、0.83、1.56、2.30、4.93kGy共5个不同吸收剂量水平,每个剂量设3次重复,每次重复为500g样品,并采用塑料薄膜样品袋进行普通包装。

1.3.2 营养成分分析

测定辐照前后样品粗蛋白质、粗脂肪、氨基酸含量的变化情况,由农业部农产品质量监督检验测试中心(郑州)检测。水分、粗蛋白的含量测定分别按GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》、GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》进行;氨基酸含量测定按GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》进行,其中色氨酸的含量按NY/T 57—1987《谷物籽粒色氨酸测定法》测定;脂肪酸组成分析按GB/T 17377—2008《动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析》进行。

1.3.3 主要品质指标分析

湿面筋含量按GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉面筋含量》测定;降落数值按GB/T 10361—2008《小麦、黑麦及其面粉,杜伦麦及其粗粒粉 降落数值的测定》进行;沉淀值按GB/T 15685—1995《小麦粉沉淀值测定法》分析。

1.3.4 流变学特性分析

制粉方法参照NY/T 1094—2006《小麦实验制粉》;面团粉质参数检测参照GB/T 14614—2006《小麦粉 面团的物理特性 吸水性和流变学特性的测定 粉质仪法》;面团拉伸参数检测参照GB/T 14615—2006《小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法》。

1.4 数据处理与分析

采用SAS6.12软件GLM程序对数据进行处理和分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准;差异显著的进行Duncan's多重比较。

2 结果与分析

2.1 电子束辐照对小麦蛋白质、氨基酸含量的影响

小麦的营养品质主要由其蛋白质含量与品质决定,而蛋白质品质的高低与氨基酸平衡性有关。有研究^[18]表明,<10kGy辐照条件下,食物中宏量养分(蛋白质、脂肪、碳水化合物)的含量是相对稳定的。0~10kGy电子束辐照

不会影响小麦的营养品质和加工特性^[17]。Azzeh等^[16]研究发现, γ 射线辐照不会影响小麦的蛋白质含量, 但是当辐照剂量高于5kGy时, 赖氨酸含量明显下降($P<0.05$), 且可溶性蛋白含量及其SDS-PAGE电泳条带的数量和宽度均随着辐照剂量的增加而减少。Erkan等^[19]研究也发现 γ 射线辐照能明显改变海鲷中个别氨基酸的含量, 从而使辐照前后的氨基酸平衡性发生改变。由表1可知, 电子束辐照不影响小麦的粗蛋白、氨基酸含量, 辐照前后小麦的氨基酸平衡性无明显变化($P>0.05$)。这与Borsa^[17]、Matloubi^[20]等关于辐照对小麦、大米营养品质的影响结果一致, Farag^[12]认为这可能与辐照材料中水分含量较少而不能产生足够的辐解产物、水自由基有关。

表1 电子束辐照对小麦中蛋白质和氨基酸含量的影响

Table 1 Effect of electron beam irradiation on the protein content and amino acid composition of wheat

辐照剂量/kGy	0.00	0.83	1.56	2.30	4.93
水分	9.70±0.04	9.81±0.06	9.58±0.02	9.80±0.03	10.38±0.05
粗蛋白	14.08±0.34	13.98±0.28	14.05±0.21	14.36±0.11	13.99±0.07
天冬氨酸	0.62±0.01	0.60±0.02	0.61±0.02	0.62±0.01	0.62±0.02
苏氨酸	0.36±0.02	0.36±0.01	0.36±0.02	0.36±0.01	0.36±0.02
丝氨酸	0.58±0.02	0.58±0.02	0.59±0.04	0.60±0.02	0.60±0.01
谷氨酸	4.18±0.03	4.17±0.06	4.19±0.02	4.25±0.11	4.22±0.02
甘氨酸	0.51±0.02	0.50±0.02	0.50±0.02	0.51±0.01	0.52±0.02
丙氨酸	0.44±0.02	0.42±0.01	0.44±0.03	0.45±0.02	0.45±0.02
脯氨酸	0.16±0.02	0.16±0.02	0.16±0.01	0.16±0.02	0.15±0.01
缬氨酸	0.52±0.01	0.52±0.02	0.52±0.02	0.53±0.02	0.52±0.02
蛋氨酸	0.16±0.01	0.16±0.02	0.16±0.01	0.15±0.01	0.16±0.02
异亮氨酸	0.42±0.03	0.42±0.02	0.42±0.01	0.42±0.02	0.42±0.01
亮氨酸	0.87±0.02	0.86±0.02	0.88±0.03	0.89±0.02	0.88±0.01
酪氨酸	0.18±0.02	0.20±0.02	0.20±0.02	0.22±0.02	0.22±0.02
苯丙氨酸	0.66±0.03	0.64±0.11	0.69±0.06	0.68±0.15	0.70±0.05
赖氨酸	0.36±0.02	0.36±0.02	0.36±0.02	0.37±0.02	0.38±0.02
组氨酸	0.32±0.02	0.32±0.02	0.32±0.02	0.33±0.02	0.32±0.02
精氨酸	0.54±0.04	0.56±0.02	0.55±0.02	0.58±0.00	0.55±0.02
脯氨酸	1.30±0.02	1.28±0.02	1.32±0.06	1.34±0.02	1.29±0.02
色氨酸	0.13±0.02	0.13±0.02	0.13±0.01	0.13±0.02	0.12±0.03
TEAA/(mg/g pro)	294.0	297.1	298.9	295.3	302.4
EAAI ₁ *	0.5698	0.5765	0.5754	0.5673	0.5763
EAAI ₂ *	0.6005	0.6074	0.6064	0.5978	0.6063

注: TEAA.总必需氨基酸; EAAI₁.必需氨基酸指数; *EAAI₁、EAAI₂分别以FAO/WHO/UNU(1985年)^[21]中鸡蛋、牛奶为标准蛋白进行计算。

2.2 电子束辐照对小麦粉面筋质量的影响

表2 电子束辐照对小麦粉面筋质量的影响

Table 2 Effect of electron beam irradiation on the gluten quality of wheat flour

辐照剂量/kGy	0.00	0.83	1.56	2.30	4.93
湿面筋/%	29.90±0.30	30.00±0.20	30.00±0.20	29.80±0.30	29.90±0.20
降落数值/s	407.00±2.50 ^a	342.00±3.00 ^b	328.00±1.80 ^b	292.00±2.10 ^{bc}	264.00±2.70 ^c
沉淀值/mL	65.50±0.02 ^a	62.80±0.02 ^b	62.50±0.02 ^b	61.20±0.02 ^b	61.00±0.02 ^b
出粉率/%	78.10±0.02	77.90±0.02	77.80±0.02	79.30±0.02	77.60±0.02

注: 同行肩标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。表3同。

小麦粉品质主要取决于面筋的含量和质量, 对加工食品品质至关重要。由表2可知, 电子束辐照对小麦的湿面筋含量、出粉率无明显影响($P>0.05$), 但电子束辐照明显影响小麦粉的沉淀值、降落数值($P<0.05$), 均随着辐照剂量的增加而下降, 辐照组间小麦粉的沉淀值差异不明显($P>0.05$)。这表明, 辐照可降低小麦的烘烤品质和面团发酵能力, 且面团发酵能力随辐照剂量的增加而明显下降。

SDS-沉淀值在一定程度上可反映出小麦粉中蛋白质在质量和含量方面的差异, 与小麦的烘烤品质密切相关, 是评价小麦品质的主要指标^[22-24]。本实验中, 小麦粉的沉淀值随着电子束辐照剂量的增加而表现出下降的趋势, 辐照组与未辐照组间差异明显($P<0.05$), 但各辐照剂量组间的差异不显著($P>0.05$)。这表明电子束辐照可能影响小麦粉中蛋白质的组成, 但这一点仍有待于进行蛋白亚基组分分析来加以证实。通常情况下, 降落数值反映了小麦粉中 α -淀粉酶的活性, 而 α -淀粉酶活性是影响小麦粉制品质量的重要因素之一; α -淀粉酶活性越高, 表明在发酵过程中淀粉的水解速率越快, 为酵母生长繁殖提供的养分越多, 面团发酵能力越好。本实验中, 小麦粉的降落数值随着辐照剂量的增加而明显下降($P<0.05$), 这与孙辉等^[25]的研究结果一致, 其原因可能与 α -淀粉酶的活性下降和/或小麦淀粉分子对 α -淀粉酶的反应敏感性降低有关。有研究表明 γ 射线辐照可破坏小麦种子的细胞壁结构, 使细胞质释放出来^[26], RVA黏度分析表明电离辐射能够使小麦中的大分子淀粉降解为小分子淀粉^[25], 这些都表明辐照有利于增强小麦中淀粉对 α -淀粉酶反应的敏感性。此外, 胡碧君等^[27]研究证实5kGy的辐照剂量可使小麦 α -淀粉酶活性下降41%。因此, 电子束辐照能通过降低小麦粉中的 α -淀粉酶活性来改变面团的发酵能力。

2.3 电子束辐照对小麦粉面团流变学特性的影响

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^[28-29]; 通常, 软麦和筋力较差小麦的面团形成时间较短。面筋吸水率是反映面筋品质的较好指标; 揉面过程中不断进入面团中的空气可引发谷蛋白、醇溶蛋白内的巯基氧化为二硫键, 使面团形成具有三维网络结构的凝胶物质, 从而使面团吸水率增加^[30]。一般认为, 面筋蛋白质决定了小麦粉的烘焙品质, 而面筋蛋白质主要是谷蛋白和醇溶蛋白组成, 决定了面团的弹性和延展性等流变学特性^[31]。现有研究^[32-33]表明, 小麦粉面团的筋力强度主要与麦谷蛋白的含量及麦谷蛋白的分子质量大小分布有关, 蛋白质分子间的交联、链间的相互作用、麦谷蛋白网络结构的形成与扩张均有利于小麦面筋网络结构的形成和稳定, 从

而有利于面团筋力的增强^[32]。巯基、二硫键在面团的流变学特性中也发挥着重要作用^[34]。据Hoseney^[35]报道,二硫键的形成有利于面团稳定性的增强、面团弱化度的降低,从而有利于面团筋力的增强。Patient等^[36]的研究也证明,二硫键的断裂使面团稳定时间缩短、弱化度增加,面团筋力下降。

表3 电子束辐照对小麦粉面团流变学特性的影响
Table 3 Effect of electron beam irradiation on the rheological properties of dough of wheat flour

辐照剂量/kGy	0.00	0.83	1.56	2.30	4.93	
粉质曲线	吸水量/(mL/100g)	56.80±1.30	56.60±1.10	56.80±1.20	58.40±1.00	58.00±1.10
	形成时间/min	5.00±0.14 ^a	5.20±0.10 ^a	5.20±0.12 ^a	4.30±0.130 ^b	3.80±0.11 ^b
	稳定时间/min	7.10±0.07 ^a	7.00±0.05 ^a	7.00±0.02 ^a	5.10±0.06 ^b	5.10±0.07 ^b
	弱化度/FU	79.00±2.10 ^d	82.00±1.90 ^d	93.00±2.00 ^e	102.00±2.10 ^b	112.00±2.00 ^a
	$R_{m,135}$ /EU	438.00±7.80 ^b	560.00±9.10 ^a	534.00±10.50 ^a	401.00±10.00 ^b	407.00±11.20 ^b
拉伸曲线	$R_{50,135}$ /EU	351.00±10.20 ^b	423.00±12.70 ^a	442.00±11.60 ^a	336.00±12.10 ^b	332.00±10.80 ^b
	E_{135} /mm	130.00±4.90	132.00±4.40	128.00±5.20	133.00±6.10	138.00±4.70
	R_{50}/E_{135}	2.67±0.03 ^b	3.21±0.04 ^a	3.45±0.02 ^a	2.500±0.040 ^b	2.43±0.03 ^b
	能量(135°)/cm ²	76.00±2.70 ^b	96.00±5.00 ^a	80.00±4.60 ^b	74.00±5.00 ^b	76.00±3.20 ^b

注： $R_{m,135}$ 指揉面135min以后的最大拉伸阻力； $R_{50,135}$ 指揉面135min以后，面团拉伸50mm时的拉伸阻力； E_{135} 指揉面135min以后，面团的延伸长度。

由表3可知，电子束辐照对小麦粉面团的吸水量影响不明显($P>0.05$)，但能明显影响小麦粉面团的粉质特性和拉伸特性($P<0.05$)。粉质特性方面，当辐照剂量为2.30、4.93kGy时，小麦的面团形成时间、稳定时间较未辐照组明显缩短($P<0.05$)，而0.83、1.56kGy剂量组与未辐照组间差异不明显($P>0.05$)；辐照剂量 ≥ 1.56 kGy时，面团弱化度明显提高($P<0.05$)，面团筋力明显下降。拉伸特性方面，0.83kGy辐照组面团有最大拉伸阻力，拉伸能量最大，表明其面团弹性最好，面团筋力最强，因而发酵时的持气能力最强；1.56kGy辐照组面团的拉伸阻力、拉伸能量仅次于0.83kGy辐照组，而其拉伸比值最大，说明其筋力较强，延伸性相对较小；而2.30、4.93kGy辐照组最大拉伸阻力、拉伸能量、拉伸比值均略低于未辐照组，面团筋力、延伸性下降。这些表明，经 ≥ 2.30 kGy辐照后，小麦粉面团中麦谷蛋白的网络结构受到了一定程度的破坏，而0.83kGy辐照剂量对小麦粉面团中麦谷蛋白网络结构无不利影响。

3 结 论

0~5kGy的电子束辐照不影响小麦的蛋白质和氨基酸含量及氨基酸组成平衡性，小麦的出粉率、湿面筋含量也无明显变化，但面团的流变学特性变化明显。0.83kGy辐照时，面团弹性、面团筋力及发酵时面团的持气能力得到明显增强； ≥ 2.30 kGy辐照时，小麦粉的面团弹性、

面团筋力略低于未辐照组，但面团形成时间和耐搅拌性明显下降。因此综合本研究结果，推荐对小麦进行电子束辐照杀虫和灭菌时的剂量不宜超过1.60kGy。

参考文献：

[1] 哈益明, 王锋, 李淑荣, 等. 辐照处理对冷却肉脂肪氧化影响的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 303-306.

[2] BAKRI A, HEATHER N, HENDRICH S J, et al. Fifty years of radiation biology in entomology: lessons learned from IDIDAS[J]. Annals of the Entomological, 2005, 98(1): 1-12.

[3] TILTON E W. Ionizing radiation for insect control in grain and grain products[J]. Cereal Foods World, 1987, 32(4): 330-335.

[4] 郭东权, 陈云堂, 张建伟, 等. ⁶⁰Co γ射线对杂拟谷盗成虫的辐照效应研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(15): 183-186.

[5] 王殿轩, 李淑荣, 温贤芳, 等. 电子束辐照谷物中玉米象不同虫态的生物效应[J]. 核农学报, 2004, 18(2): 131-133.

[6] 范家霖, 陈云堂, 郭东权, 等. 电子束对锯谷盗幼虫和成虫的辐照效应研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(24): 13246-13248; 13311.

[7] 李淑荣, 王殿轩, 温贤芳, 等. 电子束对赤拟谷盗辐照效应的试验研究[J]. 郑州工程学院学报, 2004, 25(2): 26-28.

[8] 李淑荣, 王殿轩, 高美须, 等. 电子束处理对玉米象繁殖力的影响[J]. 核农学报, 2005, 19(1): 46-48.

[9] 王殿轩, 王磊磊, 李淑荣, 等. 电子束辐照对米象成虫脂肪酸影响研究[J]. 粮食储藏, 2009, 38(2): 12-15.

[10] 李淑荣, 王殿轩, 高美须, 等. 利用电子加速器辐照处理小麦中玉米象的生物学效应研究[C]//中国原子能农学会第七次代表大会暨学术研讨会论文集. 北京, 2004: 68-75.

[11] 黄曼, 胡碧君, 罗柏流, 等. 电子束辐照防治储粮害虫及对小麦品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 17-20.

[12] FARAG M. The nutritive value for chicks of full-fat soybeans irradiated at up to 60 kGy[J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 73(3/4): 319-328.

[13] HAYASHI T, TAKAHASHI Y, TODORIKI S. Sterilization of foods with low-energy electrons ("soft- electrons") [J]. Radiation Physics and Chemistry, 1998, 52(1/6): 73-76.

[14] IMAMURA T, MIYANOSHITA A, TODORIKI S, et al. Usability of a soft-electron (low-energy electron) machine for disinfection of grains contaminated with insect pests[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2004, 71(1/2): 213-216.

[15] BABA T, KANEKO H, TANIGUCHI S. Soft electron processor for surface sterilization of food material[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2004, 71(1/2): 209-211.

[16] AZZEH F S, AMR A S. Evaluation of protein content, lysine and sulfur-containing amino acids content and electrophoretic patterns of soluble proteins for gamma-irradiated semolina before and after milling of durum wheat[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2009, 78: 971-975.

[17] BORSA J, SITTON J W, SCHULTZ T E, et al. Electron beam irradiation effects on wheat quality, seed vigor, and viability and pathogenicity of teliospores of *Tilletia controversa* and *T. tritici* [J]. Plant Disease, 1995, 79(6): 586-589.

[18] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO scientific group[R]. Geneva: WHO, 1994.

[19] ERKAN N, OZDEN O. The changes of fatty acid and amino acid compositions in sea bream (*Sparus aurata*) during irradiation process[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2007, 76: 1636-1641.

- [20] MATLOUBI H, AFLAKI F, HADJIEZADEGAN M. Effect of γ -irradiation on amino acids content of baby food proteins[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2004, 17: 133-139.
- [21] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of an FAO/WHO/UNU expert consultation[R]. Geneva: WHO, 1985.
- [22] HAO J, CHEN J, CHEN X, et al. Analysis of dynamic accumulation of three types of glutenin subunits and their content in relation to sedimentation value in common wheat[J]. Agricultural Sciences in China, 2006, 5(2): 155-160.
- [23] de VILLIERS O T, LAUBSCHER E W. Use of the SDSS test to predict the protein content and bread volume of wheat cultivars[J]. South African Journal of Plant and Soil, 1995, 12(4): 140-142.
- [24] 赵海滨, 肖志敏, 张春利. 不同HMW麦谷蛋白亚基类型小麦品种的沉淀值及其与面筋质和量的关系[J]. 麦类作物学报, 1999, 19(1): 17-20.
- [25] 孙辉, 姜薇莉, 凌家煜. 电离辐射对小麦粉加工品质的影响研究[C]//中国粮油学会第二届学术年会论文选编, 2003: 226-229.
- [26] YU Y, WANG J. Effect of gamma-ray irradiation on drying characteristics of wheat[J]. Biosystems Engineering, 2006, 95(2): 219-225.
- [27] 胡碧君, 黄曼, 温其标. 电子辐照对小麦生理生化品质的影响[J]. 现代食品科技, 2009, 25(8): 892-895.
- [28] 阴丽丽. 粉质曲线在面粉厂的应用[J]. 面粉通讯, 2006(6): 29-31.
- [29] STAMPFLI L, NERSTED B, MOLTEBERG E L. Effects of emulsifiers on farinograph and extensograph measurements[J]. Food Chemistry, 1996, 57(4): 523-530.
- [30] 张来林, 杨占雷, 左永明, 等. 不同仓型小麦品质变化的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2008, 29(6): 26-30; 44.
- [31] 孙辉, 姜薇莉, 林家永. 小麦粉理化品质指标与食品加工品质的关系研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3): 12-16.
- [32] GUPTA R B, KHAM K, MacRITCHIE F. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of variation in the quality and size distribution of polymeric protein[J]. Journal of Cereal Science, 1993, 18: 23-41.
- [33] FU L, TIAN J C, SUN C L, et al. RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour[J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(7): 812-822.
- [34] BUSHUK W. Functionality of wheat proteins in dough[J]. Cereal Food World, 1984, 29(2): 162-164.
- [35] HOSENEY R C. Principles of cereal science and technology[M]. St. Paul: AACC, 1994.
- [36] PATIENT D, AINSWORTH P. The chemistry of flour and bread[J]. Nutrition and Food Science, 1994, 94(3): 22-24.