

鲈鱼半成品辐照灭菌剂量研究

Study on irradiation sterilization and dose of semi-finished *Micropterus salmoides*

王玮琼 熊光权 陈玉霞 白婵 李海蓝 钜晓艳

WANG Wei-qiong XIONG Guang-quan CHEN Yu-xia BAI Chan LI Hai-lan ZU Xiao-yan

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北 武汉 430064)

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology,

HuBei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430064, China)

摘要:为探讨鲈鱼半成品辐照杀菌的最适剂量,以鲈鱼半成品为研究对象,采用 0.00~8.74 kGy 剂量的⁶⁰Co- γ 射线进行辐照灭菌,考察辐照剂量对菌落总数、色度值、pH 值、持水力、剪切力和挥发性成分等指标的影响。结果表明,辐照 3.25 kGy 后鲈鱼半成品菌落总数降至 10 CFU/g;菌落总数在 D_{10} 值为 1.54 kGy 时降至 250 CFU/g, D 值为 3.64 kGy 时降至 10 CFU/g,满足灭菌要求,且与实际辐照灭菌剂量(3.25 kGy)相当。1.55~4.78 kGy 可控制 pH 值的上升;1.55~7.57 kGy 辐照剂量对持水力、色泽及剪切力影响较小。挥发性成分随辐照剂量的增加而增加,较小的辐照剂量(3.25 kGy)有利于减少苯类、烷类等挥发性成分的产生。故使用辐照剂量范围 3.25~4.78 kGy 的⁶⁰Co- γ 射线对鲈鱼进行处理,可达到灭菌目的。

关键词: 鲈鱼; 灭菌; ⁶⁰Co- γ 辐照; 品质

Abstract: In order to regulate the technical conditions of irradiation sterilization for semi-finished *Micropterus salmoides* (SFMS), we investigated the impacts of irradiation on the microbe quantity, pH value, water holding capacity, color value and volatile components of it in this study, by using different doses ranging from 0.00 to 8.74 kGy of ⁶⁰Co gamma ray irradiation. The results showed that, with the irradiation of 3.25 kGy, the total bacteria decreased to 10 CFU/g. Moreover, the total bacteria decreased to 250 CFU/g and 10 CFU/g, at the D_{10} value of 1.54 kGy and 3.64 kGy, respectively. At the range of 1.55~4.78 kGy, pH value could be controlled in a

reasonable standard. Increasing irradiation dosage (1.55~7.57 kGy) did not change the production of water holding capacity, color, or Warner-Bratzler shear force. A dose of 3.25 kGy was beneficial to semi-finished products of SFMS to reduce the volatile components of benzene and alkanes. In conclusion, the ⁶⁰Co- γ irradiation dose in 3.25~4.78 kGy could release the sterilization purpose. Therefore, our studies provided theoretical guidance for the irradiation sterilization of SFMS.

Keywords: *Micropterus salmoides*; microorganism inactivation; ⁶⁰Co- γ irradiation; quality

鲈鱼(*Micropterus salmoides*)以肉质鲜嫩闻名,是优质蛋白质、维生素和矿物质的良好来源^[1],将鲈鱼经过清理、分割并通过食盐腌制汽煮及真空包装且未辐照的制品即为鲈鱼半成品。但是鲈鱼制品在灭菌过程中,易出现制品口感风味下降等问题^[2-3]。因此,如何控制鲈鱼制品不被病原菌污染,保持原有品质,是现阶段亟需解决的课题。

辐照技术是对食品进行灭菌的新技术,可最大限度保留食品的色、香、味及营养成分^[4]。然而目前对于水产品、肉制品灭菌辐照的应用研究仍缺乏系统针对性,虽然辐照剂量增大,能有效减弱微生物的污染程度^[5-6],但随着辐照剂量的增加,会导致产品肉质失水,破坏感官品质^[7],并且还会产生辐照异味^[8-9],这些都是辐照灭菌的应用瓶颈。因此,研究辐照对鲈鱼全方位品质的影响有利于鲈鱼制品高效灭菌工艺的开发。

基于上述情况,本研究拟通过对色度值、菌落总数、pH 值、持水力、色度值、剪切力和挥发性成分等指标的测定,研究不同辐照剂量对鲈鱼品质的影响,确定最佳辐照剂量,以期研究出更有效的灭菌技术,并能保持其风味、色泽、口感,以提供高品质的名优鱼产品。

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(编号:111605052);湖北省重大科技创新计划项目(编号:2015ABA038);湖北省农业科技创新中心资助项目(编号:2017-620-000-001-036);湖北省农业科学院竞争性项目(编号:2016fcz05)

作者简介:王玮琼,女,湖北省农业科学院实习研究员,硕士。

通信作者:钜晓艳(1981—),女,湖北省农业科学院副研究员,博士。
E-mail:50655819@qq.com

收稿日期:2016—07—21

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鲈鱼:体重约 750 g,武汉武商量贩超市;
其它试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

pH 计:PB-10 型,德国赛多利斯科学仪器有限公司;
进样手柄:SPME 手动型,美国 Supelco 公司;
萃取头:DVB/CAR/PDMS 50/30 μm (二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷)型,美国 Supelco 公司;
气相色谱-质谱联用仪:GC-MS7890A 型,美国安捷伦公司;
色差仪:CR-400 型,柯尼卡美能达株式会社;
快速水分测定仪:MJ33 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 样品制备及辐照 将清理过的鲈鱼,取背部肌肉,分割为 20 g 左右的鱼块(长 \times 宽 \times 高为 4 cm \times 4 cm \times 1 cm),添加食盐 1%(与鱼肉的质量比),在常温下腌制 1 h,腌制结束后汽烹 5 min,待自然冷却后,真空包装。每组样品接受辐照。通过检测(以重铬酸银剂量剂标定), $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐照实测剂量分别为:0.00,1.55,2.62,3.25,4.78,5.21,6.49,7.57,8.74 kGy。

1.3.2 菌落总数测定及 D 值计算 用梯度稀释法测定样品的菌落总数^[10]。以辐照剂量(x)和辐照后的菌落总数对数(y)建立一元一次方程组,得到两者之间的二维关系。再根据一元一次方程式,求解出当菌落总数减少至未辐照样品的菌落总数 1/10 所需要的吸收剂量值(D_{10})^[11]。最后,根据式(1),计算出辐照样品菌落总数降至 $N < 10$ CFU/g 时所需的辐照剂量(D)^[12],以 D 值作为确定杀菌剂量的重要参考指标。

$$D = \lg\left(\frac{N_0}{N}\right) \times D_{10}, \quad (1)$$

式中:

D ——辐照剂量,kGy;

D_{10} ——菌落总数减少至未辐照样品的菌落总数 1/10 所需要的辐照剂量,kGy;

N_0 ——辐照前菌落总数,CFU/g;

N ——辐照后残留菌落总数,CFU/g。

1.3.3 色度值测定 CR-400 型色差仪在使用前用白板进行校准。将镜头垂直于取灭菌处理的鱼块肉面上,镜头紧扣肉面,按下摄像按钮,测定样品表面的亮度值 L 、红度值 a 、黄度值 b 。对每一肉样需平行测定 5 次。并通过式(2)计算得到样品白度值^[13]。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}, \quad (2)$$

式中:

W ——白度值;

L ——亮度值;

a ——绿/红值;

b ——蓝/黄值。

1.3.4 pH 值的测定 称取 10 g 灭菌处理的鱼块。加入 100 mL 蒸馏水。使用高速分散器将鱼肉打碎,调制鱼肉均浆,pH 计校零后,测定样品鱼肉均浆的 pH 值^[14]。

1.3.5 持水力测定 将未做任何处理的鱼肉用快速水分检测仪测定其总含水量(总含水量测定结果为 64.71%);取辐照处理后的约 10 g 鱼肉置于离心管中,加塞,于 90 $^{\circ}\text{C}$ 、10 min 水浴加热后,用镊子将肉转移到底部放有脱脂棉的离心管,室温(25 $^{\circ}\text{C}$)、12 000 \times g 离心 5 min^[15]。鱼肉持水力(WHC 值,%)根据式(3)和式(4)计算。

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (3)$$

$$\text{WHC} = (1 - \Delta m/\omega) \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

Δm ——总汁液流失重(包括加热和离心),g;

m_1 ——加热前样品重,g;

m_2 ——加热和离心后样品重,g;

WHC——鱼肉持水力,%;

ω ——鱼肉总含水量,g。

1.3.6 剪切力测定 用 TA-XT Plus 质构仪进行测定,探头为 HDP/BSW,设置测中速率 1.00 mm/s;压缩比 40%,沿平行纤维的方向取 1 cm 高的肉样(长 \times 宽为 2 cm \times 2 cm),样品平行测定 6 次后取平均值^[16]。

1.3.7 挥发性成分的测定 取 4 g 鱼肉于螺口样品瓶,加入 6 mL 蒸馏水及磁转子,隔垫密封,于磁力搅拌器上加热平衡。用萃取头(PDMS/DVB/CAR)顶空吸附 40 min,最后插入 GC 进样口,解析 5 min。

(1) 气相色谱条件:HP-5MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气为 He(99.999%),流速 1 mL/min;进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;不分流方式进样,进样体积为 1 μL 。程序升温:初始温度为 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,然后以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 200 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,然后以 50 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到 250 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,运行 40 min^[17-18]。

(2) 质谱条件:接口温度为 280 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度为 230 $^{\circ}\text{C}$,四级杆温度为 150 $^{\circ}\text{C}$;EI 源,电子轰击能量为 70 eV;溶剂延迟时间为 2.2 min,全扫描范围为 45~350 m/z 。以 NIST08 谱库检索定性,峰面积定量。

1.4 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 18.0 和 Excel 2003 对试验收集的数据进行处理,以最小显著差数法(LSD 法)进行差异显著性分析。各数据以平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 结果与分析

2.1 辐照灭菌对菌落总数的影响

由表 1 可知,辐照处理样品菌落总数减少明显。经过 1.55 kGy 和 2.62 kGy 辐照的样品,菌落总数由初始 2 300 CFU/g 降至 275 CFU/g 和 60 CFU/g。当辐照剂量大于等于 3.25 kGy,菌落总数基本达到未检出水平。辐照剂量越大处理后样品的菌落总数越少。

表 1 辐照对菌落总数的影响

Table 1 Total number of bacteria with different dose of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation

辐照剂量/kGy	细菌总数/ (CFU · g ⁻¹)	细菌总数对数/ lg(CFU · g ⁻¹)
0.00	2 300	3.36
1.55	275	2.44
2.62	60	1.78
3.25	<10	<1.00
4.78	<10	<1.00
5.21	<10	<1.00
6.49	<10	<1.00
7.57	<10	<1.00
8.74	<10	<1.00

将素鸡^[19]和羽衣甘蓝^[20]分别采用 γ 射线辐照处理后,菌落总数明显下降,辐照剂量与杀菌效果呈正比,均与本研究结果相似。依据 1.3.2 所描述的计算过程,解一元一次方程: $y = -0.696x + 3.436 (R^2 = 0.976)$,由方程算得 $D_{10} = 1.54$ kGy。故当菌落总数至未检出水平 ($N < 10$ CFU/g), $N_0 = 2\ 300$ CFU/g 时,根据式(1)计算出理论灭菌剂量 $D = 3.64$ kGy。表明剂量大于 3.64 kGy 时可使菌落总数达未检出水平,这与实际结果(3.25 kGy)相符合。有关辐照杀菌研究资料^[12]也认为 3.00~4.00 kGy 的辐照剂量可有效杀灭肉中的多数微生物,此辐照灭菌剂量与本研究结果一致。

2.2 辐照灭菌对 pH、持水力和剪切力的影响

由表 2 可知,随着辐照剂量的增加,pH 值呈缓慢下降的趋势。以辐照方式处理的冷鲜猪肉亦发现辐照有控制 pH 值上升的作用^[21-22],与本研究结果相似。这是由于辐照处理有效杀灭了鱼肉中的腐败菌,抑制鱼肉的腐败,防止腐败菌分解蛋白质,生成碱性物质,从而控制 pH 的上升。4.78 kGy 剂量处理的样品 pH 值与对照组无显著差异 ($P > 0.05$)。故以 1.55~4.78 kGy 剂量辐照处理鱼肉可以控制 pH 值的上升,保证了鱼肉的品质。

表 2 辐照对 pH、持水力和剪切力的影响[†]Table 2 Total number of pH and water capacity with different dose of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation

辐照剂量/kGy	pH	持水力/%	剪切力/kg
0.00	7.19 ± 0.11 ^d	93.90 ± 2.52 ^a	0.180 ± 0.027 ^{ab}
1.55	7.13 ± 0.08 ^{cd}	93.12 ± 2.56 ^a	0.162 ± 0.009 ^a
2.62	7.07 ± 0.12 ^{bcd}	92.13 ± 2.02 ^a	0.177 ± 0.036 ^{ab}
3.25	7.05 ± 0.10 ^{bcd}	91.93 ± 1.97 ^a	0.186 ± 0.049 ^{ab}
4.78	6.97 ± 0.08 ^{bcd}	91.80 ± 1.03 ^a	0.221 ± 0.048 ^{ab}
5.21	6.96 ± 0.08 ^{bc}	91.23 ± 1.35 ^a	0.255 ± 0.053 ^b
6.49	6.94 ± 0.12 ^{ab}	90.76 ± 1.11 ^a	0.193 ± 0.014 ^{ab}
7.57	6.91 ± 0.09 ^{ab}	90.57 ± 1.04 ^a	0.213 ± 0.036 ^{ab}
8.74	6.77 ± 0.08 ^a	90.46 ± 1.63 ^a	0.247 ± 0.065 ^b

† 同一列数值上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

与未辐照处理的样品相比,样品的持水性随辐照剂量升高呈缓慢下降的趋势。可能是辐照改变了肌肉蛋白质的二级和三级结构,从而使样品的持水性逐渐降低^[23-24]。由最小显著差数法(LSD法)结果可知,不同辐照处理的样品其持水性均无显著差异,持水性的值都处在同一水平内,表明辐照剂量对持水性影响较小。

由表 2 还可知,随辐照剂量的逐渐增大,剪切力呈现先增大后减小的趋势。样品在 5.21 kGy 时剪切力达到最大值,这可能是辐照初期,鱼肉的持水性减小,使得剪切力值升高^[25-26]。而当辐照剂量大于 5.21 kGy 后剪切力呈现减小的趋势,这是由于蛋白质受较大辐照剂量影响,蛋白胶束结构被破坏,从而使剪切力下降^[15]。

2.3 辐照灭菌对色度值的影响

普通消费者购买肉品时认为,色泽是影响消费者是否有购买意愿的重要影响因素之一。

由表 3 可知,随辐照剂量逐渐增加,亮度值、红度值总体呈现上升趋势,黄度值呈下降趋势;红度值和黄度值随辐照剂量变化显著,而亮度值变化不显著。通过计算得到鱼肉的白度值,可知白度随剂量增加而增加。当辐照剂量在 0.00~7.57 kGy 时,通过肉眼观察并无太大差别,处于消费者对色泽的可接受范围内;而当辐照剂量达到 8.74 kGy 时,样品肉色过于惨白。故推断在辐照剂量为 0.00~7.57 kGy 时,辐照处理对样品白度影响较小。

2.4 辐照灭菌对鲈鱼挥发性成分的影响

由前述试验结果可知,当辐照剂量 ≥ 3.25 kGy 时,菌落总数达到基本未检出水平,起到良好的灭菌效果,因此选用对照组 0.00, 3.25 kGy 及等量增加量 6.49 kGy 进行挥发性成分检测。

对比图 1 中经过不同辐照剂量处理的样品出峰情况,以及表 4 所鉴定出的具体物质,可知:对照组产生的挥发性物质无论是种类还是相对含量均低于辐照组。对照组产生的挥发性物质仅有对二甲苯、1,3-二甲苯、六甲基环三硅氧烷、八甲基环四硅氧烷、十五烷和四甲基十五烷;3.25 kGy 处理

表 3 辐照对色度值的影响[†]Table 3 The chromatic value with different dose of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation

辐照剂量/kGy	亮度	红度	黄度	白度
0.00	63.85 ± 2.24 ^a	-1.63 ± 0.14 ^a	1.71 ± 0.28 ^a	63.77 ± 1.29 ^a
1.55	64.02 ± 1.59 ^a	-1.26 ± 0.64 ^a	2.62 ± 0.45 ^a	63.90 ± 0.91 ^a
2.62	64.88 ± 4.17 ^a	-0.61 ± 0.23 ^a	2.30 ± 0.22 ^a	64.80 ± 2.40 ^a
3.25	65.16 ± 1.54 ^a	-1.05 ± 0.24 ^b	1.78 ± 0.13 ^b	65.10 ± 0.89 ^a
4.78	66.27 ± 2.68 ^{ab}	-1.76 ± 0.22 ^c	1.39 ± 0.27 ^c	66.20 ± 1.54 ^{ab}
5.21	66.31 ± 2.55 ^{ab}	-0.57 ± 0.47 ^c	1.35 ± 0.09 ^c	66.28 ± 1.47 ^{ab}
6.49	67.36 ± 0.11 ^{ab}	-0.28 ± 0.44 ^c	1.00 ± 0.14 ^d	67.34 ± 0.06 ^{ab}
7.57	67.33 ± 1.82 ^{ab}	0.11 ± 0.21 ^c	0.84 ± 0.09 ^d	67.32 ± 1.05 ^{ab}
8.74	75.08 ± 1.86 ^c	-0.84 ± 0.20 ^d	0.64 ± 0.28 ^e	75.06 ± 1.07 ^c

† 同一列数值上标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

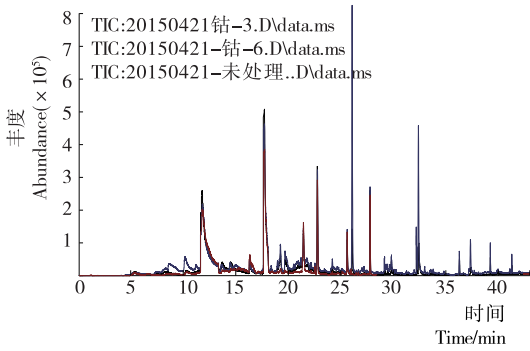


图1 辐照对鲈鱼挥发性成分总离子流图

Figure 1 Chromatography of total ion chromatogram of volatile components of perch with different dose of ⁶⁰Co-γ irradiation

表4 辐照对鲈鱼挥发性物质成分的影响

Table 4 Changes in volatile component with different dose of ⁶⁰Co-γ irradiation

类型	名称	出峰时间/min	0.00 kGy	3.25 kGy	6.49 kGy
	苯	7.35			0.40
	甲苯	10.24		0.31	1.50
芳烃类	对二甲苯	13.64	0.08	0.36	0.42
	邻二甲苯	13.69		0.29	0.09
	1,3-二甲基苯	13.71	0.04	0.30	1.43
	双二甲基乙基苯	26.06		3.86	5.54
	六甲基环三硅氧烷	11.98	27.80	16.80	14.41
	八甲基环四硅氧烷	17.88	27.62	31.10	21.52
	二甲基十一烷	19.24		2.79	
	三甲基十二烷	19.25			2.07
	二甲基辛烷	19.68		1.23	
烷类	十三烷	27.18			0.26
	十四烷	29.69			0.32
	环十五烷	31.99			0.15
	十五烷	32.30	3.18	3.61	8.36
	十六烷	34.81			0.28
	十七烷	37.34		0.72	0.63
	四甲基十五烷	37.33	1.25		2.33

组检测出 11 种苯和烷类物质;6.49 kGy 处理组检测出 16 种苯和烷类物质。分析比较两个处理组不同时间段的出峰及鉴定情况可知:当保留时间为 5.00~10.00 min 时,3.25 kGy 处理组产生的断裂的细小碳链明显少于 6.49 kGy;在保留时间为 19.00~22.00 min 时,3.25 kGy 产生的苯类、烷类明显少于 6.49 kGy;当保留时间为 27.00 min 时,6.49 kGy 出现了 3.25 kGy 没有产生的十三烷;当保留时间为 32.00 min 时,3.25 kGy 辐照剂量下十五烷的相对含量比 6.49 kGy 要少。

由此可知,随着 γ 射线的辐照剂量增加,挥发性成分也在增加。这是因为 γ 射线直接作用或使水辐照降解生成氢、氧活性自由基间接作用鱼肉脂肪碳链,导致鱼肉脂肪碳链

断裂,同时发生脂质过氧化反应^[27],产生的挥发性成分明显增多,可能是不良辐照气味的来源^[28]。因此较小的辐照剂量(3.25 kGy)产生挥发性成分较少,有利于控制挥发性气体成分的产生。

3 结论

⁶⁰Co-γ 辐照能有效降低鲈鱼制品的菌落总数,试验灭菌剂量 3.25 kGy(与理论灭菌剂量相当)时即能够满足 $N < 10$ CFU/g 的灭菌水平。综合各项指标的考量,3.25~4.78 kGy 剂量条件下可以控制 pH 值的上升,对持水性、色泽、剪切力等影响较小,有利于减少某些挥发性成分的产生,此范围剂量既能达到灭菌效果,又最大程度保持鲈鱼原本良好的品质。目前辐照对鲈鱼制品的品质影响的研究缺乏系统针对性。因此,本研究将为辐照灭菌技术在鲈鱼制品等水产制品的贮藏应用提供较为完整的数据和理论参考依据。除此外,辐照后鲈鱼制品感官可能与质构的变化具有相关联系^[16,25,29],具体的相关性将是日后进一步研究的方向,以更深入探究辐照剂量对鲈鱼品质效应的影响。

参考文献

- [1] 王广军,关胜军,吴锐全,等.大口黑鲈肌肉营养成分分析及营养评价[J].海洋渔业,2008,30(3):239-245.
- [2] 曲菲菲.我国水产品加工业竞争力及影响因素分析[D].青岛:中国海洋大学,2013:24-27.
- [3] 邹佳,蔡婷,罗永康,等.冰鲜鱼和解冻鱼快速无损物理检测技术研究[J].食品与机械,2010,26(2):47-49.
- [4] 李成梁,靳国锋,马素敏,等.辐照对肉品品质影响及控制研究进展[J/OL].食品科学,(2016-03-11).http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20160311.1659.012.html.
- [5] 王宁,王晓拓,丁武,等.辐照剂量率对牛肉脂肪和蛋白氧化及蛋白特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(8):122-128,191.
- [6] 柳贤德,朴伶华.辐照处理对 PSE 肉的物化、微生物及感官恶性影响[J].食品与机械,2012,28(6):84-88.
- [7] 耿胜荣,李新,李查德,等.⁶⁰Co-γ 射线辐照剂量对牛血清白蛋白结构的影响[J].湖北农业科学,2015,54(21):5378-5382.
- [8] 高兴岗,李霞,王文亮,等.食品辐照异味研究的进展[J].农产品加工,2008(12):51-53.
- [9] 林若泰,耿胜荣,刘杨岷,等.冷却包装猪肉辐照异味气体成分研究[J].中国农业科学,2008,41(3):918-924.
- [10] 国家卫生部.GB 4789.2—2010 食品菌落总数的测定方法[S].北京:国家标准出版社,2010.
- [11] 龚频,汤晓斌,陈达.最大剂量斜率法设定菌落总数辐照灭菌剂量的研究[J].辐射研究与辐射工艺学报,2015,33(2):20501-20508.
- [12] 杨文鸽,傅春燕,徐大伦,等.电子束辐照对美国红鱼杀菌保鲜效果的研究[J].核农学报,2010,24(5):991-995.
- [13] 任亭,程亚娇,游玉明,等.干燥条件对熟化竹荪品质的影响[J].食品与机械,2016,32(8):127-131.
- [14] 张崑,王卫.样品处理方法对肉的 pH 值测定结果影响[J].农产品加工:学刊,2012(10):141-143.

(下转第 182 页)

- generation-atomic fluorescence spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(7): 163-165.
- [3] KANO M, TAKAYANAGI T, HARADA K, et al. Antioxidative activity of anthocyanins from purple sweet potato, Ipomoea batatas cultivar Ayamurasaki [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2005, 69(5): 979-988.
- [4] YONG Pil Hwang, JAE Ho Choi, EUN Hee Han, et al. Purple sweet potato anthocyanins attenuate hepatic lipid accumulation through activating adenosine monophosphate-activated protein kinase in human HepG2 cells and obese mice[J]. Nutrition Research, 2011, 31(12): 896-906.
- [5] 杨巍, 黄洁琼, 陈英, 等. 紫薯的营养价值与产品开发[J]. 农产品加工: 学刊, 2011(8): 41-43.
- [6] 曹亚丽, 周红丽. 紫薯酸奶发酵工艺优化研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 151-154.
- [7] 张多敏, 王占东, 杨郁荏, 等. 紫薯牛奶的研制[J]. 现代食品科技, 2010, 26(8): 857-859.
- [8] 王静波, 赵江林, 彭镰心, 等. 苦荞芽中黄酮类化合物含量及其抗氧化性的研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 965-968.
- [9] NIU Bao-shan. Talking about the Cultivation Technologies, Development and utilization of bitter buckwheat[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2011, 12: 58-63.
- [10] KRKOŠKOVÁ B, MRAZOVÁ Z. Prophylactic components of buckwheat[J]. Food Research International, 2005, 38(5): 561-568.
- [11] 杨春, 陕方, 丁卫英, 等. 黑苦荞醋软胶囊的生产工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 255-258.
- [12] 胡建平, 张忠, 姚翠. 苦荞保健面包的研制[J]. 食品工业, 2006(6): 21-22.
- [13] 徐宝才, 孙芸, 丁霄霖. 苦荞营养保健粉的研制[J]. 食品工业科技, 2007, 28(4): 159-163.
- [14] 王静波, 赵江林, 彭镰心, 等. 苦荞发酵食品研究进展[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 9-11.
- [15] 梁贵秋, 吴娟娟, 陆春霞, 等. 桑椹果醋的研究进展[J]. 现代农业科技, 2012(2): 344-355.
- [16] 胡会萍. 功能性醋酸饮料的研究与开发[J]. 饮料工业, 2008(8): 1-3.
- [17] 原德树. 液态深层发酵苹果醋及苹果醋饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 523-526.
- [18] 周朝晖, 吴惠玲, 刘荔琛, 等. 姜醋饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2011, 27(8): 1 001-1 004.
- [19] 何雄, 周静峰, 师邱毅, 等. 杨梅果醋及果醋饮料的研制[J]. 中国食品学报, 2009, 9(5): 100-105.
- [20] 缪静, 殷日彩, 冯志彬, 等. 无花果果醋发酵工艺优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 218-221.
- [21] 张丽珍, 曾志将, 颜伟玉, 等. 山鸟柏蜂蜜醋及其蜂蜜醋饮料的研制[J]. 中国食品学报, 2011, 11(4): 78-82.
- [22] 伍彬, 叶日英, 林羨, 等. 菠萝皮渣醋酸发酵饮料的工艺研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(3): 285-287.
- [23] FUKUI K, SUGITA K, TERAHARA N, et al. The preparation of fermented vinegar from purple sweet potato using a new high concentration brewing method[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2015, 62(2): 69-78.
- [24] MA Ting-jun, A Yi, NA Xi, et al. Optimization research on buckwheat vinegar fermentation process[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651-653: 265-268.
- [25] 马挺军, 陕方, 贾昌喜. 苦荞醋对糖尿病模型小鼠血糖的影响[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(5): 42-44, 48.
- [26] 刘璐, 韩艳文, 王楠, 等. 紫薯醋对小鼠急性肝损伤保护及减肥降脂作用[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 28-33.
- [27] 潘锋, 杨清香, 孙来华, 等. 哈密大枣果醋饮料生产工艺中的酒精发酵条件的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1 204-1 206.
- [28] 熊越. 四川麸醋发酵过程中风味物质的变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [29] KIM S J, ZADUL I S M, SUZUKI T, et al. Comparison of phenolic compositions between common and tartary buckwheat (Fagopyrum) sprouts[J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 199-205.
- [30] 周小理, 成少宁, 周一鸣, 等. 苦荞芽中黄酮类化合物的抑菌作用研究[J]. 食品工业, 2010(2): 12-14.

(上接第 110 页)

- [15] 丁玉庭, 陈艳, 邹礼根, 等. 猪 PSE 肉与增城肉肌原纤维蛋白抽提率和持水性的比较研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(2): 62-65.
- [16] 王丹, 姜启兴, 许艳顺, 等. 鱼糕质构的仪器分析与感官评定间的相关性[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 24-27, 210.
- [17] 钜晓艳, 李新, 廖涛, 等. CaCl₂、复合磷酸盐及木瓜蛋白酶对河鲈鱼肉的嫩化作用[J]. 肉类研究, 2015(10): 24-27.
- [18] 刘春红. 固相微萃取技术及其在国内食品领域中的应用[J]. 生命科学仪器, 2009, 5(9): 3-8.
- [19] 曾庆孝, 江津津, 阮征, 等. 固相微萃取和同时蒸馏萃取分析鱼露的风味成分[J]. 食品工业科技, 2008(1): 84-87.
- [20] 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.
- [21] JO C, LEE K H. Comparison of the efficacy of gamma and UV irradiation in Sanitization of fresh carrot juice [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 81(8): 1 079-1 081.
- [22] LUCHSINGER S E, KROPF D H, ZEPEDAC M G, et al. Sensory analysis and consumer acceptance of irradiated boneless pork chops [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(6): 1 261-1 266.
- [23] 王晶晶, 徐超, 杨题隆, 等. 壳聚糖协同 γ 射线辐照对冷鲜猪肉品质的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2016, 42(2): 220-227.
- [24] 冯晓琳, 王晓拓, 王丽芳, 等. 电子束辐照对真空包装冷鲜猪肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 126-130.
- [25] 李升升. 热处理对耗牛肉品质的影响及其相关性分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 207-210.
- [26] 柳贤德, 朴伶华. 辐照处理对 PSE 肉的物化、微生物及感官特性影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 84-88.
- [27] 袁森, 庞林江, 路兴花, 等. 烹饪方式对鸡肉挥发性香气及质构特征的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 33-36.
- [28] AL-BACHIR M, MEHIO A. Irradiated luncheon meat; microbiological, chemical and sensory characteristics during storage [J]. Food Chemistry, 2001, 75(2): 169-175.
- [29] 赵延伟, 吕振磊, 王坤, 等. 面条的质构与感官评价的相关性研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 25-28.