^{60}Co-γ辐照剂量对鲈鱼感官和质构的影响

钮晓艳，王玮琼，陈玉霞，熊光权

（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）

摘要：本文研究了不同γ射线辐照剂量对鲈鱼制品品质的影响，为高品质鲈鱼制品的生产提供依据。将鲈鱼进行^{60}Co-γ射线辐照，采用模糊感官评定法对其感官品质进行综合评定，并以仪器质构剖面法对其质构特性进行降维-主成分分析。结果表明，随辐照剂量的增加感官评定等级降低，0~4.78 kGy 综合评定级别为“好”，5.21 kGy 级别为“中”，6.49~8.74 kGy 判定级别为“差”，且当辐照剂量大于等于 7.57 kGy 时会产生较大辐照异味。通过主成分分析，筛选出方差贡献率分别为 57.011%和 27.832%的两个主成分，结合主成分的载荷图分析确定影响鱼肉辐照后质构代表因素为胶着度和硬度。1.55~4.78 kGy 剂量以内，胶着度和硬度变化趋势不显著(p>0.05)。故以 1.55~4.78 kGy 进行辐照处理，能同时保持鲈鱼产品感官和质构，此结果为鲈鱼等淡水产品的辐照杀菌技术的研究应用提供了理论依据。

关键词：鲈鱼；辐照；感官；质构；品质

文章篇号：1673-9078(2017)5-202-206 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.032

Effects of ^{60}Co-γ Irradiation Dose on the Sensory Quality and Texture of *Micropterus salmoides*

ZU Xiao-yan, WANG Wei-qiong, CHEN Yu-xia, XIONG Guang-quan

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: To provide a basis for the production of high-quality *Micropterus salmoides* products, the effect of different doses of ^{60}Co-γ irradiation on the qualities (sensory and texture) of *Micropterus salmoides* products was studied. *Micropterus salmoides* samples were irradiated with ^{60}Co-γ, the fuzzy mathematic method was adopted for the comprehensive evaluation of their sensory quality, and texture profile analysis and principal components analysis (PCA) (for dimensionality reduction) were performed for texture evaluation. The results showed that the level of sensory evaluation decreased with increasing irradiation doses. The sensory qualities of fish meat irradiated at doses of 0~4.78 kGy, 5.21 kGy, and 6.49~8.74 kGy were evaluated as “good”, “moderate”, and “poor,” respectively. A significant irradiation smell was generated at irradiation doses of 7.57 kGy and higher. From PCA, two principal components were screened out and their variance contribution rates were 57.011% and 27.832%, respectively. In combination with the loading plot of the principal components, the representative factors affecting the post-irradiation fish meat quality were determined to be gumminess and hardness, which showed no significant change (p>0.05) within an irradiation dosage range of 1.55~4.78 kGy. In summary, the sensory and texture of the *Micropterus salmoides* product can be maintained by using 1.55~4.78 kGy irradiation treatment. The results of this study lay a theoretical foundation for further study of radiation sterilization of *Micropterus salmoides* and other freshwater products.

Key words: *Micropterus salmoides*; irradiation; sensory; texture; quality

辐照技术是对食品进行非热加工的新技术，可以最大限度地保留食品的色、香、味及营养成分。其基本原理是利用^{60}Co 放射源产生的γ射线辐照食品，使食品中的生物体产生物理或化学反应，抑制其新陈代谢或生长发育，甚至使细胞组织死亡，从而达到消毒灭菌、延长食品贮藏时间、减少损失的目的[1]。长期以来，许多学者对肉制品在不同辐照剂量下的产品品质特性进行了研究，分析影响产品品质的主要因素。例如：用 0 kGy、2.5 kGy 和 5.0 kGy ^{60}Co-γ射线辐照火腿，发现辐照后对样品内、外色差影响很小，另外也没有因为含硫化合物的出现而影响异味度，辐照可

收稿日期：2016-06-27

基金项目：国家自然科学青年基金项目（111605052）；湖北省重大科技创新计划项目（2015ABA038）；湖北省农业科技创新中心资助项目（2017-620-000-001-036）

作者简介：钮晓艳（1981-），女，博士，副研究员，主要从事淡水产品深加工研究

通讯作者：熊光权（1965-），男，研究员，主要从事淡水产品深加工研究

显著延长样品保质期[2]。郭军以 5.0 kGy 剂量辐照经熟制料理的鸡肉制品，发现该剂量下产生的轻微辐照味与制品本身的香气成分结合，产生更易接受的风味体系，香气指标略优于对照组[3]。以上研究鲜少涉及淡水鱼，尤其名优淡水鱼制品。

鲈鱼，学名为大口黑鲈（*Micropterus salmoides*），为鲈形目（*Perciformes*）鲈亚目（*Porcoidei*）太阳鱼科（*Cehtrachidae*）黑鲈属（*Micropterus*）其中一种[4]，是我国名贵经济鱼类。淡水鱼（如鲈鱼）水分、蛋白质和不饱和脂肪酸含量高，辐照灭菌过程中，鱼肉蛋白质、脂肪易受到水合电子 e-aq、H^+·自由基、OH^-·自由基等的攻击[5]，导致产品色泽改变、哈味重、口感下降等问题。如何在辐照灭菌过程中使鲈鱼制品最大程度保持原有品质，是现阶段亟需解决的课题。

因此，本文研究不同辐照剂量对鲈鱼品质的影响，进行感官评价和质构特性测定，并着重通过模糊数学法和主成分分析进行鲈鱼辐照的剂量效应研究。研究结果可在理论上提高淡水鱼辐照品质控制的数学统计学认识，并在实践中拓展辐照技术在鱼类保鲜（灭菌）中的应用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲈鱼、食用盐等均购于武汉市武商量贩。γ 射线辐照源（^{60}Co 源，装源量 25.5 万居里，放射活度 1.11×10^{16} Bq），湖北省辐照实验中心。TA-XTPlus 型食品物性测试仪，英国 Stable Micro System 公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备及 ^{60}Co-γ 辐照处理

鲈鱼洗净，取鱼体背部肌肉分割为 2×2 cm^2 的鱼块，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，自然冷却，置真空包装袋密封、冷冻备用。水产品辐照国家标准尚未颁布，参照 GB/T 18526.5-2001 对熟畜禽肉类制品辐照杀菌工艺规定，不影响被辐照产品质量的工艺剂量上限值为 8 kGy，因此设置 ^{60}Co-γ 射线辐照剂量为 0、1、2、3、4、5、6、7、8 kGy。对样品进行辐照处理且以重铬酸银剂量剂跟踪，实测剂量为：0、1.55、2.62、3.25、4.78、5.21、6.49、7.57、8.74 kGy。

1.2.2 感官评价

根据 Sallam 等[6,7]的方法略作改动，将不同方式处理好的鱼块按照随机数表编号，挑选食品专业人员 10 人（5 男 5 女），经培训组成感官评定小组，要求评定员在感官评定前 12 h 内不食用刺激性食物，不饮酒，不吸烟。一个样品评定完后用纯净水漱口，过 10 min 进行下一个鲈鱼样品评定，评定过程各自独立完成[8]。评定标准见表 1，依等级对样品进行好、中、差三个级别的评定。

表 1 鲈鱼感官评价标准

Table 1 Sensory analysis criteria for *Micropterus salmoides*

感官等级	感官因素		
	色泽	口感	气味
好（6 分）	肉质呈正常熟制白色	肉质柔软多汁，鲜美	鱼特有香气，无辐照味
中（3 分）	肉质较正常偏黄	肉质较柔软多汁，鲜味较淡	香气较淡，轻微辐照味
差（1 分）	肉质呈不正常的黄色	肉质偏硬，鲜味淡	有鱼腥等异味，辐照异味较大

注：感官等级“好”以未辐照鱼肉为参照，“差”以辐照 8.74 kGy 鱼肉为参照，感官等级介于两者之间为“中”。

1.2.3 模糊数学模型的建立

决定鲈鱼制品质量的指标有色泽、口感、气味，故设定因素集为 U={色泽，口感，气味}。每个指标对应有好、中、差三个评定级别，即评语集为 V={好 v1，中 v2，差 v3}，；设定权重集为 A={0.3，0.3，0.4}，即色泽占比 30%，口感占比 30%，气味占比 40%。确定根据感官评定结果，建立 3 个单因素评价矩阵，用模糊数学评价方法对其进行分析。

感官评判员对 8 个样品的三个因素，根据表 1 进行等级确定，最后统计每个因素在等级中的票数分布，折算为赞成的比率（票数/评判人数），得到样品模糊评判矩阵 R_j，权重 A 乘以模糊矩阵，即对应第 j 号样品评价结果为 Y_j（$Y_j=A\cdot R_j$；j 取 1~8）。Y_j 表示第 j 号样品感官评价为好、中、差的赞成比率[9]。

1.2.4 鱼肉质构特性（texture profile analysis，TPA）的测定

沿鱼块纤维的方向取 1 cm 高的样品，每个处理的样品平行测定 4 次，用 TA-XT Plus 质构仪进行测定，以“二次压缩”模式进行质地分析，结果取 4 次测定平均值。选择条件：探头 P/36R；测前速率 1.0 mm/s；测中速率 1.0 mm/s；测后速率 1.0 mm/s；探头 2 次测定间隔时间 10.00 s；运行力度 5 g；触发类型为自动；压缩比 30%。选取的 6 个分析指标为硬度、弹性、胶着度、咀嚼度、内聚性和回复性[10]。

1.3 数据分析

采用 SPSS 18.0 和 Microsoft Excel 2003 对实验收集的数据进行处理、表格制作及绘图，各数据以平均值±标准差表示。以邓肯检验法(Duncan 法)进行差异显著性分析；以模糊数学法，对感官数据进行综合分析；运用 Pearson 相关检验以及主成分分析法对质构参数进行相关性和主成分分析。

2 结果与讨论

2.1 辐照剂量对鲈鱼感官评定的影响

表 2 鲈鱼感官评定票数分布

Table 2 Distribution of votes on the sensory evaluation of *Micropterus salmoides*

辐照剂量/kGy	色泽			口感			气味		
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
0	10	0	0	8	2	0	9	1	0
1.55	9	1	0	7	2	1	10	0	0
2.62	9	1	0	5	3	2	7	3	0
3.12	7	3	0	7	1	2	6	4	0
4.78	4	5	1	6	2	2	3	5	2
5.21	2	6	2	7	3	0	1	5	4
6.49	2	5	3	8	1	1	0	3	7
7.57	0	4	6	8	2	0	0	1	9
8.74	0	3	7	8	2	0	2	5	3

根据感官评价结果，辐照处理对色泽、气味感官有较大影响，对口感影响较小。由于辐照剂量使鱼肉色泽有所下降，随辐照剂量的增加，色泽为“好”的票数显著降低；口感为“好”的得票率随辐照剂量的增加波动较小，规律不明显。总体来说，气味“好”的票数随辐照剂量的增加而降低，且当辐照剂量大于等于 7.57 kGy 时品评人员普遍难以接受其辐照异味。由表 2 可得鱼肉各样品的色泽、口感、气味指标在各等级中的票数比率，将样品依次以 1~8 命名后，根据感官指标等级比率得模糊评判矩阵 R_j（j=1~8）：

$$R_0=\begin{vmatrix}1.0 & 0 & 0\\ 0.8 & 0.2 & 0\\ 0.9 & 0.1 & 0\end{vmatrix};\quad R_1=\begin{vmatrix}0.9 & 0.1 & 0\\ 0.7 & 0.2 & 0.1\\ 1.0 & 0 & 0\end{vmatrix}$$

$$R_2=\begin{vmatrix}0.9 & 0.1 & 0\\ 0.5 & 0.3 & 0.2\\ 0.7 & 0.3 & 0\end{vmatrix};\quad R_3=\begin{vmatrix}0.7 & 0.3 & 0\\ 0.7 & 0.1 & 0.2\\ 0.6 & 0.4 & 0\end{vmatrix}$$

$$R_4=\begin{vmatrix}0.4 & 0.5 & 0.1\\ 0.6 & 0.2 & 0.2\\ 0.3 & 0.5 & 0.2\end{vmatrix};\quad R_5=\begin{vmatrix}0.2 & 0.6 & 0.2\\ 0.7 & 0.3 & 0\\ 0.1 & 0.5 & 0.4\end{vmatrix}$$

$$R_6=\begin{vmatrix}0.2 & 0.5 & 0.3\\ 0.8 & 0.1 & 0.1\\ 0 & 0.3 & 0.7\end{vmatrix};\quad R_7=\begin{vmatrix}0 & 0.4 & 0.6\\ 0.8 & 0.2 & 0\\ 0 & 0.1 & 0.9\end{vmatrix}$$

$$R_8=\begin{vmatrix}0 & 0.3 & 0.7\\ 0.7 & 0.2 & 0.1\\ 0.2 & 0.5 & 0.3\end{vmatrix}$$

用矩阵乘法计算样品对各类的综合隶属度为 $Y=A\times R$[9]，可得鲈鱼感官质量综合评判的结果向量如下：

$$Y_0=A\times R_0=\{0.3,0.3,0.4\}\times\begin{vmatrix}1.0 & 0 & 0\\ 0.8 & 0.2 & 0\\ 0.9 & 0.1 & 0\end{vmatrix}=\{y_1,\ y_2,\ y_3\};$$

$y_1=0.3\times1.0+0.3\times0.8+0.4\times0.9=0.90$；

$y_2=0.3\times0+0.3\times0.2+0.4\times0.1=0.10$；

$y_3=0.3\times0+0.3\times0+0\times0=0$。

y_1、y_2 和 y_3 分别表示为样品（经过辐照处理）在好、中、差三个级别分别获得的赞成比率。因此根据 Y_0={0.90,0.10,0.00}可知：有 90%的感官评定员认为在此条件下鲈鱼制品品质好，10%认为良。取 y_1、y_2 和 y_3 中的峰值，即 y_1=0.90，进行综合分析的模糊评定，得出该样品等级综合评判为“好”的结论[9]。以此类推，可得其他样品综合评分结果依次如下：

Y_1={0.88,0.09,0.03}；Y_2={0.70,0.24,0.06}；

Y_3={0.66,0.28,0.06}；Y_4={0.42,0.41,0.17}；

Y_5={0.31,0.47,0.22}；Y_6={0.30,0.30,0.40}；

Y_7={0.24,0.22,0.54}；Y_8={0.29,0.35,0.36}；

分析各个样品综合评判的峰值，其由好到差的排列顺序依次为：Y_0、Y_1、Y_2、Y_3、Y_4、Y_5、Y_7、Y_6、Y_8。Y_0 至 Y_4 综合评定级别为“好”，Y_5 级别为“中”，Y_6 至 Y_8 判定级别为“差”。可知随着辐照剂量的增加，综合感官评价呈现逐渐下降的趋势，在 0~4.78 kGy 的辐照剂量时，各类感官指标能被大多数评价员所接受。故在选择辐照剂量时尽量在 0~4.78 kGy 之间，且剂量

越小，对感官的影响亦小。

2.2 辐照剂量对质构特性的影响

如表 3 所示，随剂量的升高，鱼肉 TPA 各项参数之间存在共线性现象，剂量小于 3.25 kGy 时，辐照后的鱼肉质构参数总体上无显著性差异(p>0.05)；剂量大于 3.25 kGy 后，硬度、弹性、胶着度、咀嚼性变化趋势均为先升高后逐渐降低，且均在 5.21~6.49 kGy 之间达到最高值。内聚性、回复性随剂量不同，参数值上下波动，规律不明显。由于质构指标较多，质构各指标之间存在共线性问题，不利于对鱼肉品质进行准确评价，因此进一步进行指标间的相关性分析。

表 3 辐照剂量对质构特性的影响

Table 3 TPA test results with different doses of ^{60}Co-γ irradiation

辐照剂量/kGy	硬度/g	弹性	内聚性	胶着度/g	咀嚼度/g	回复性
0	672.48±64.58^{a}	0.76±0.11^{a}	0.54±0.04^{ab}	364.24±55.73^{a}	282.06±75.57^{a}	0.19±0.02^{a}
1.55	732.55±74.04^{abc}	0.70±0.01^{a}	0.62±0.03^{cd}	453.88±55.29^{abc}	322.68±57.02^{ab}	0.26±0.02^{c}
2.62	749.50±49.60^{abc}	0.67±0.07^{a}	0.61±0.02^{bcd}	457.67±39.57^{abc}	304.81±38.65^{ab}	0.23±0.01^{bc}
3.25	800.80±73.99^{abc}	0.73±0.12^{a}	0.57±0.05^{abc}	455.72±57.55^{abc}	341.01±66.54^{ab}	0.21±0.03^{ab}
4.78	846.87±69.97^{c}	0.78±0.14^{a}	0.65±0.04^{d}	547.08±40.70^{c}	430.97±61.20^{bc}	0.24±0.01^{bc}
5.21	1079.6±97.70^{d}	0.79±0.14^{a}	0.62±0.04^{cd}	673.06±71.63^{d}	542.88±95.39^{cd}	0.26±0.01^{c}
6.49	974.08±39.86^{d}	1.36±0.15^{b}	0.56±0.02^{abc}	548.49±41.17^{c}	760.62±69.13^{e}	0.22±0.01^{abc}
7.57	761.29±85.39^{abc}	0.80±0.16^{a}	0.53±0.03^{a}	486.78±68.60^{bc}	389.42±81.13^{ab}	0.23±0.02^{bc}
8.74	694.92±56.34^{ab}	0.79±0.07^{a}	0.56±0.02^{abc}	387.56±25.39^{a}	308.00±37.43^{ab}	0.22±0.01^{ab}

注：同一列的不同字母表示显著性达到 p<0.05 水平。

表 4 TPA 分析指标之间的皮尔逊相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients among TPA analysis

	硬度	弹性	内聚性	胶着度	咀嚼度	回复性
硬度	1					
弹性	0.565**	1				
内聚性	0.495**	0.043	1			
胶着度	0.954**	0.415*	0.614**	1		
咀嚼度	0.567**	0.598**	-0.142	0.441*	1	
回复性	0.592**	0.123	0.750**	0.740**	0.029	1

注：**在 0.01 水平（双侧）上显著相关，*在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

由表 4 可知，硬度与弹性、内聚性、胶着度、咀嚼性、回复性存在极显著相关性(p<0.01)；弹性与咀嚼度存在极显著相关性(p<0.01)，与胶着度显著相关(p<0.05)；内聚性与回复性、胶着度极显著相关(p<0.01)；胶着度与回复性极显著相关(p<0.01)、与咀嚼度显著相关(p<0.05)。为更好的反映鱼肉样品的质构特性的贡献程度，确定辐照后影响鱼肉质构的主要因素，根据上述相关性分析结果，对 TPA 测定指标结果进行主成分分析。

对于肉质来说，硬度越大，抗拒牙齿压力的能力越大，咀嚼所需的能量越大，咀嚼度越高，恢复形变的速度越快，弹性越大，发生断裂所需的变形量越大，内聚性、胶着度就越大。对于鱼肉来说，其特有质构特性为一种综合表现，通过硬度、弹性、内聚性、胶着度、咀嚼度、回复性以及嫩度来体现。从表 5 中可以看出，因子 F1 和 F2 特征值均大于 1，且方差贡献率分别为 57.011% 和 27.832%，累积率达到了 84.843%。由此可知，前两个因子能完全解释鱼肉样品质构情况，可代替原 6 个 TPA 指标对鱼肉样品质构特征评定，作为反映其质构的整体信息，因此取前两个因子作为鱼肉的主成分。

为更直观反映鱼肉样品的质构特性，采用正交旋转法对 TPA 数据的主成分因子进行旋转，计算各指标的特征向量系数[11]，构建具有统计意义的模型，建立主成分（F_1 和 F_2）与鱼肉样品 TPA 质构指标之间的表达式：

F_1=0.28X_1+0.17X_2+0.19X_3+0.28X_4+0.15X_5 +0.22X_6；

F_2=0.09X_1+0.38X_2-0.39X_3-0.04X_4+0.45X_5-0.31X_6。

上述公式中 Xi 为标准化数据，且 X_1~X_6 分别代表：硬度、弹性、内聚性、胶着度、咀嚼性和回复性。根据表达式的特征向量系数可知，主成分 1（F_1）载

荷较高的是胶着度、硬度和回复性；主成分 2（F_2）的是咀嚼度和弹性。

表 5 TPA 分析的各成分特征值与方差贡献

Table 5 Eigen value and variance contribution of each component of TPA analysis

因子	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
F_1	3.421	57.011	57.011
F_2	1.670	27.832	84.843
F_3	0.445	7.414	92.257
F_4	0.233	3.883	96.140
F_5	0.213	3.551	99.691
F_6	0.019	0.309	100.000

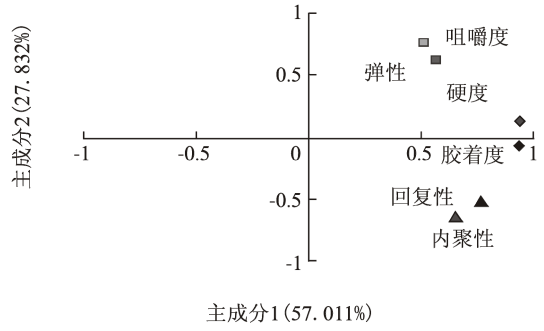


图 1 主成分载荷图

Fig.1 Biplot of principal component analysis

主成分载荷反映了各指标对主成分的贡献率的大小，其前两个主成分载荷见表 5，主成分的载荷图见图 1。载荷图表明指标距离原点越远，其变量被两个主成分介绍程度越高[12]，因而对比每个因子与原点的距离（d），可知其由大致小的排列顺序依次为：胶着度(d=0.97)> 硬度(d=0.96)> 回复性(d=0.92)> 内聚性(d=0.92)>咀嚼度(d=0.91)>弹性(d=0.84)。因此可以选择胶着度、硬度作为评价辐照对鱼肉样品影响的重要指标。

结合不同辐照处理剂量与 TPA 参数的关系可知：硬度随不同辐照剂量处理后，变化趋势与胶着度相同；当辐照剂量为 1.55~4.78 kGy 时，鱼肉硬度和胶着度升高，但无显著性差异（p>0.05）；在 5.21 kGy 时达到最大值；而当剂量大于 5.21 kGy 后，可能由于辐照导致肽键断裂，蛋白胶束结构被破坏从而导致了胶着度、硬度降低[13]。综合考虑辐照对质构的影响，1.55~4.78 kGy 剂量辐照，质构参数均处于可接受范围内，鲈鱼质构特性良好。

3 结论

本研究发现，辐照处理对色泽、气味感官有较大影响，对口感影响较小，且当辐照剂量大于等于 7.57 kGy 时品评人员普遍难以接受其辐照异味。模糊感官评定综合得分随辐照剂量的增加而降低，0~4.78 kGy 综合评定级别为“好”，5.21 kGy 级别为“中”，6.49~8.74 kGy 判定级别为“差”，表明 0~4.78 kGy 辐照剂量对感官影响较小。通过主成分分析，筛选出方差贡献率分别为 57.011%和 27.832%两个主成分，通过主成分的载荷图确定影响鱼肉辐照后质构代表因素为胶着度和硬度。1.55~4.78 kGy 剂量内，胶着度和硬度变化趋势不显著，可知低剂量辐照对样品的质构影响较小。综上所述，使用 1.55~4.78 kGy 对鲈鱼进行辐照处理，能较大限度保持产品原有的感官品质和质构特性。

参考文献

[1] 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].食品科学,2016,37(21):271-278
LI Cheng-liang, JIN Guo-feng, MA Su-min, et al. Research progress on the influence and control of irradiation treatment on meat quality [J]. Food Science, 2016, 37(21): 271-278

[2] 陈常秀,全先庆.^{60}Co-γ 射线辐照和储藏对火腿感官品质的影响[J].食品科学,2013,34(10):317-321
CHEN Chang-xiu, QUAN Xian-qing. Effect of ^{60}Co-gamma ray irradiation and storage on sensory quality of hams [J]. Food Science, 2013, 34(10): 317-321

[3] 郭军,吴小说,刘廷国,等.^{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
GUO Jun, WU Xiao-shuo, LIU Ting-guo, et al. Effect of ^{60}Co-γ irradiation on shelf life and sensory quality of braised pieces of chicken [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(3): 502-508

[4] 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
QU Fei-fei. Analysis of the competitiveness and effecting factors of aquatic product processing industry in China [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013

[5] 施培新.食品辐照加工原理与技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004
SHI Pei-xin. Food irradiation principle and technology of processing [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2004

[6] Braghieri A, Piazzolla N, Carlucci A, et al. Development and validation of a quantitative frame of reference for meat sensory evaluation [J]. Food Quality & Preference, 2012, 25(1): 63-68

[7] Sallam K I. Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids [J]. Food

Chemistry, 2007, 101(2): 592-600

[8] Ian C C N, Celene S A, Onofer M M. Volatile constituents of cooked bullfrog (*Rana catesbeiana*) legs [J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 186-191

[9] 张春江,王宇,臧明伍,等.模糊数学综合评判法在酱牛肉感官评价中的应用[J].食品科学,2009,30(7):60-62
ZHANG Chun-jiang, WANG Yu, ZANG Ming-wu, et al. Application of fuzzy integrated evaluation to sensory quality analysis of Chinese traditional spiced beef [J]. Food Science, 2009, 30(7): 60-62

[10] Monaco R D, Cacella S, Masi P. Predicting sensory cohesiveness, hardness and springiness of solid foods from instrumental measurements [J]. Journal of Texture Studies, 2008, 39(2): 129-149

[11] 蔡路昀,马帅,程煊茹,等.不同烤制时间对沙丁鱼片风味及品质的影响[J].水产学报,2016,40(5):785-799
CAI Lu-yun, MA Shuai, CHENG Xuan-ru, et al. Effects of different roasting time periods on character and flavor in sardine slices [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 785-799

[12] Xu S, Zhou Z Y, Lu H Z, et al. Improved algorithms for the classification of rough rice using a bionic electronic nose based on PCA and the wilks distribution [J]. Sensors, 2014, 14(3): 5486-5501

[13] Labreche S, Bazzo S, Cade S, et al. Shelf life determination by electronic nose: application to milk [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106(1): 199-206

现代食品科技