

盐水鸭辐照前后风味成分的组成及变化

诸永志,曹建民,徐为民,王道营

(江苏省农业科学院 农产品加工研究所,江苏 南京 210014)

【摘 要】 【目的】探讨辐照对盐水鸭风味的影响。【方法】以采用传统工艺生产的盐水鸭为研究对象,辐照后于室温下贮藏,随机抽取辐照后 0 和 10 d 的盐水鸭各 3 只,取其股二头肌作为样品进行风味成分检测。【结果】在辐照前及辐照后 0 和 10 d 的盐水鸭肉中分别检测到 42,60 和 57 种风味化合物,这些成分可归类为:含硫化合物,醇类、羧酸类、烃类化合物,酮类化合物,酯类化合物,醛类化合物,含氮化合物和呋喃类化合物。【结论】盐水鸭辐照后,烃类化合物增加最多,其次是醛类和酮类化合物。

【关键词】 盐水鸭;辐照;风味成分

【中图分类号】 TS251.6⁺8

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)09-0229-06

Components and changes in flavor compounds of water-boiled salted duck pre-and post-irradiation

ZHU Yong-zhi, CAO Jian-min, XU Wei-min, WANG Dao-ying

(Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: 【Objective】 The objective was to investigate the effect of irradiation on water-boiled salted ducks flavor. 【Method】 Water-boiled salted ducks were processed based on a traditional processing technology. Three ducks were selected randomly after irradiated and stored at room temperature for 0 day and 10 days respectively and their biceps femoris were detected for flavor components. 【Result】 Analysis of flavor compounds showed that there were 42 compounds before irradiation, 60 on day 0 after irradiation and 57 on day 10 after irradiation. The flavor compounds were clustered in the following chemical families: sulphur compounds, alcohols, carboxylic acids, hydrocarbon compounds, ketones, esters, aldehydes, nitrogenous compounds and furans. 【Conclusion】 After irradiation of water-boiled salted ducks, hydrocarbon compounds increased the most, then aldehydes and ketones.

Key words: water-boiled salted duck; irradiation; flavor compounds

盐水鸭是南京的著名特产,具有肉质鲜嫩、口味清淡、营养丰富等特点,深受消费者喜爱。但由于盐水鸭制作过程中不能采用高温灭菌处理,熟化后包装的工艺又可能造成二次污染^[1-2],从而限制了盐水鸭的货架期,在很大程度上影响了其销售范围。为延长盐水鸭的货架期,宁幸等^[3]采用真空包装加微波处理的方法,使盐水鸭在夏季最高气温条件下的

货架期可达 16 d 以上;徐幸莲等^[4]采用 Nisin(400 mg/kg)、乳酸钠(35 g/L)浸泡处理后,经真空包装,微波间歇处理 2 次,使盐水鸭腿在常温下的货架期超过 20 d。辐照具有“冷杀菌”特性^[5],将其应用在盐水鸭保鲜中,既可以有效地避免盐水鸭因高温灭菌而失去特有的色、香、味、形,又可以延长其货架期达 60~90 d^[6]。但是,由于盐水鸭含水量和脂肪含

* [收稿日期] 2008-12-18

[基金项目] 国家农业科技成果转化项目(2008GB2C100111)

[作者简介] 诸永志(1975—),男,江苏南京人,助理研究员,主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: wdy0373@yahoo.com.cn

[通信作者] 徐为民(1969—),男,江苏扬州人,副研究员,主要从事农产品加工研究。E-mail: xuchanjaas@yahoo.com.cn

量较高,辐照处理可能会使其产生明显的异味,从而影响其商品价值,但目前尚未见此方面的报道。为此,本试验比较了盐水鸭经 5 kGy 剂量辐照前后风味成分的变化,以期为辐照在盐水鸭生产中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

盐水鸭由南京桂花鸭食品有限公司按传统工艺生产,其生产工艺过程为:原料鸭→解冻→干腌→复卤→煮制→冷却→保鲜剂浸泡→冷却→真空包装→盐水鸭成品。

盐水鸭成品由专用食品冷藏车运至⁶⁰Co 辐照场内辐照,辐照剂量为 5 kGy,用重铬酸银剂量计测定吸收剂量。辐照后于室温下贮藏,随机抽取辐照后贮藏 0 和 10 d 的盐水鸭各 3 只,取其股二头肌样品真空包装,立即于-25℃下冻藏。

1.2 风味物质的提取

将样品于室温下迅速剪成 2~3 mm 的小块,取 4.0 g 立即装入萃取小瓶中,采用顶空固相微萃取(SPME)方法提取风味成分。将复合式 Car/PDMS 萃取头(涂膜厚 75 μm)插入密封的萃取瓶内,使萃取头暴露在瓶内样品上部的顶空中,于 45℃萃取 40 min。将萃取头插入气相色谱仪,于 250℃解吸 2 min,抽回纤维头后拔出萃取头,同时启动仪器采集数据。

1.3 风味成分的鉴定

利用气相色谱-质谱(GC-MS)联用仪(Trace MS, Finnigan)进行风味物质成分分析。气相色谱条件为:OV1701 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×

0.25 μm);载气 He,流速 0.3 mL/min;不分流,恒压 35 kPa;起始柱温 40℃(2 min),以 5℃/min 上升至 60℃,接着以 10℃/min 上升至 100℃,最后以 18℃/min 上升至 240℃,保持 6 min。进样口温度与接口温度均为 250℃,检测温度 240℃。质谱条件:离子源温度 200℃,电离方式 EI,电子能量 70 eV,灯丝电流 150 μA,扫描分子质量 33~450 u。

定性方法:化合物经计算机检索,同时与 NIST Library 和 Wiley Library(version 6.0)相匹配。本研究仅报道匹配度大于 800(最大值 1 000)的鉴定结果。定量方法:相对百分含量按峰面积进行归一化计算。

1.4 统计分析

利用 SAS 9.0 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 盐水鸭辐照前后风味成分的总离子流图

盐水鸭辐照前后风味成分的总离子流图如图 1 和图 2 所示。盐水鸭辐照前后的风味成分变化较大,辐照前可定性、定量的风味化合物有 42 种,辐照后 0 d 为 60 种,辐照后 10 d 为 57 种,辐照后 0 d 鸭肉中的风味成分种类最多,辐照前最少;辐照后盐水鸭检出成分含量有所增加,以辐照后贮藏 10 d 的鸭肉中的风味物质总峰面积最大,但种类略有减少。可检出成分包括含硫化合物 4 种、醇类 13 种、酸类 2 种、烃类 22 种、酮类 8 种、酯类 2 种、醛类 19 种、含氮化合物 2 种、呋喃类 3 种,烃类物质种类最多,其次是醛类物质,具体结果见表 1。

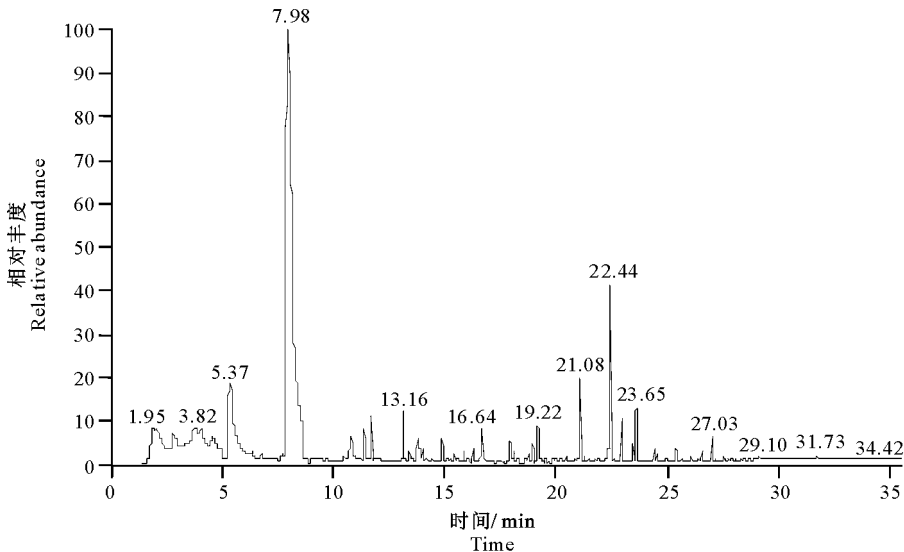


图 1 盐水鸭辐照前风味物质成分的总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatogram (TIC) of flavor components of water-boiled salted duck before irradiation

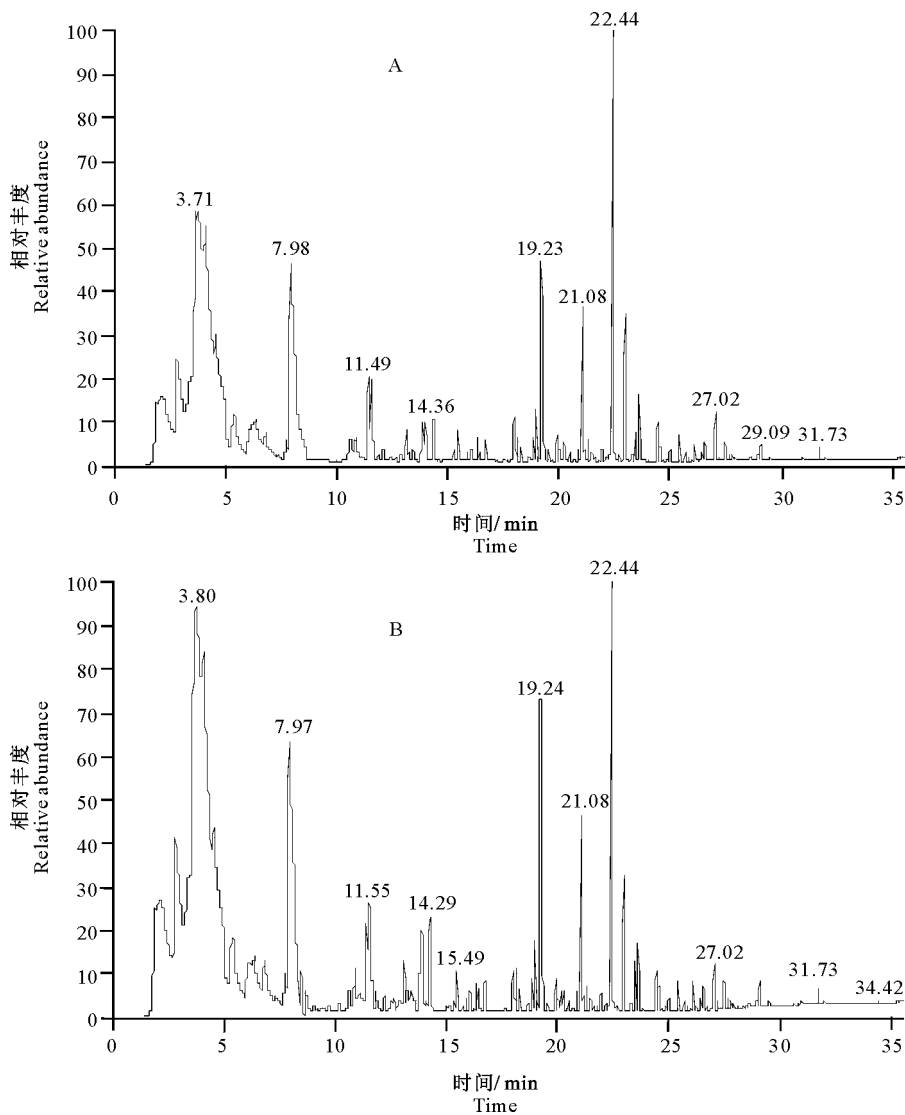


图 2 盐水鸭辐照后风味物质成分的总离子流图
A. 辐照后 0 d; B. 辐照后 10 d

Fig. 2 Total ion chromatogram (TIC) of flavor components of water-boiled salted duck after irradiation
A. 0 d after irradiation; B. 10 d after irradiation

表 1 盐水鸭辐照前后风味成分的组成

风味化合物 Flavor components		项 目 Item	辐照前 Before irradiation	辐照后 0 d 0 d after irradiation	辐照后 10 d 10 d after irradiation
含硫化合物 S-containing compounds	种类 Kind		3	4	4
	质量分数/% Total contents		6.85	10.37	12.23
	总峰面积/(×10 ⁷) Total area		2.22	3.55	4.48
醇类化合物 Alcohols	种类 Kind		9	9	9
	质量分数/% Total contents		20.93	18.33	7.00
	总峰面积/(×10 ⁷) Total area		6.80	6.27	2.56
羧酸类化合物 Acids	种类 Kind		1	2	1
	质量分数/% Total contents		0.52	0.21	0.11
	总峰面积/(×10 ⁷) Total area		0.17	0.07	0.04
烃类化合物 Hydrocarbons	种类 Kind		4	20	18
	质量分数/% Total contents		0.66	10.73	15.44
	总峰面积/(×10 ⁷) Total area		0.21	3.67	5.65

续表 1 Continued table 1

风味化合物 Flavor components	项目 Item	辐照前 Before irradiation	辐照后 0 d 0 d after irradiation	辐照后 10 d 10 d after irradiation
酮类化合物 Ketones	种类 Kind	6	6	7
	质量分数/% Total contents	27.48	15.92	26.86
	总峰面积/($\times 10^7$) Total area	8.92	5.45	9.83
酯类化合物 Esters	种类 Kind	1	1	2
	质量分数/% Total contents	0.46	1.39	1.82
	总峰面积/($\times 10^7$) Total area	0.15	0.47	0.66
醛类化合物 Aldehydes	种类 Kind	14	15	11
	质量分数/% Total contents	39.85	41.38	34.17
	总峰面积/($\times 10^7$) Total area	12.94	14.16	12.50
含氮与呋喃类化合物 N-containing & Furans	种类 Kind	4	3	5
	质量分数/% Total contents	3.25	1.67	2.37
	总峰面积/($\times 10^7$) Total area	1.06	0.57	0.86
总计 Total	种类 Kind	42	60	57
	质量分数/% Total contents	100.00	100.00	100.00
	总峰面积/ $\times (10^7)$ Total area	32.30	34.14	36.54

2.2 盐水鸭辐照前后主要风味成分的变化

由表 2 可知,与辐照前相比,辐照后 0 d 的鸭肉中新增加了 30 种风味成分,其中含硫化合物 1 种、醇类 3 种、酸类 1 种、酮类 2 种、烃类 17 种、醛类 5 种、含氮化合物 1 种;辐照后 10 d 的鸭肉新增加了 25 种风味成分,其中含硫化合物 1 种、醇类 2 种、烃类 15 种、酮类 2 种、酯类 1 种、醛类 3 种、含氮化合物 1 种;新增加的烃类、醛类和酮类可能是“辐照味”的主要成分^[7]。辐照后 10 d 盐水鸭的风味物质种

类较辐照后 0 d 新增了 3 种,分别是烃类、醛类等与脂肪氧化关系密切的化合物^[8],并且风味物质的总量也有所增加。脂类物质和氧气在诱发剂(金属、光、射线等)的作用下发生反应,生成氢过氧化物和新的自由基,自由基又诱发自动氧化反应,如此循环,最后由游离基碰撞生成的聚合物形成低分子产物烃类、醛类和酮类等物质^[5],可见脂类在辐照的诱导作用下氧化产生了更多的挥发性物质。

表 2 盐水鸭辐照后发生变化的主要风味成分的质量分数

Table 2 Main Changes of flavor components of water-boiled salted duck pre-and post-irradiation

风味成分 Flavor components	辐照前 Before irradiation	辐照后 0 d 0 d after irradiation	辐照后 10 d 10 d after irradiation
3-甲硫基丙醛 Propanal,3-(methylthio)	0.00±0.00 a	0.16±0.05 b	0.28±0.05 c
二硫甲烷 Methane	0.97±0.11 a	1.08±0.25 b	2.45±0.18 c
二甲基二硫化物 Dimethyl disulfide	0.95±0.23 a	2.95±0.24 b	3.14±0.45 b
硫化氢 Hydrogen sulfide	0.00±0.00 a	1.31±0.06 b	1.42±0.15 b
3-甲硫基丙醛 Propanal,3-(methylthio)	0.00±0.00 a	0.21±0.03 b	0.37±0.14 c
十三醇 1-Tridecanol	0.00±0.00 a	0.15±0.08 b	0.00±0.00 a
1-己醇 1-Hexanol	0.13±0.05 a	0.93±0.24 b	1.64±0.18 c
7-辛烯-4-醇 7-Octen-4-ol	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.42±0.03 b
6-十五烯-1-醇 (z)6-Pentadecen-1-ol	0.00±0.00 a	0.24±0.17 b	0.00±0.00 a
辛醇 1-Octanol	0.91±0.10 a	0.21±0.08 b	0.25±0.13 b
9-十六烯-1-醇 9-Hexadecen-1-ol,(z)	0.00±0.00 a	0.23±0.03 b	0.31±0.06 b
3-辛烯-1-醇 3-Octen-1-ol	1.25±0.11a	0.54±0.09 b	0.00±0.00 c
壬酸 Nonanoic acid	0.00±0.00 a	0.06±0.02 b	0.11±0.03 a
癸炔 1-Decyne	0.00±0.00 a	0.23±0.05 b	0.35±0.06 b
癸烷 Decane	0.00±0.00 a	0.25±0.06 b	0.71±0.31 c
十一烷 Undecane	0.00±0.00 a	0.33±0.02 b	0.78±0.07 c
环己烷 Cyclohexane	0.00±0.00 a	0.18±0.11 b	0.00±0.00 a
壬烷 Nonane	0.00±0.00 a	0.24±0.03 b	0.67±0.18 c
正十五烷 Pentadecane	0.00±0.00 a	1.27±0.13 b	1.68±0.03 c
十四烷 Tetradecane	0.11±0.06 a	0.41±0.02 b	0.55±0.15 c
己基环己烷 Cyclohexane-hexyl	0.00±0.00 a	0.07±0.01 b	0.00±0.00 a

续表 2 Continued table 2

风味成分 Flavor components	辐照前 Before irradiation	辐照后 0 d 0 d after irradiation	辐照后 10 d 10 d after irradiation
正十三碳烷 Tridecane	0.00±0.00 a	0.45±0.03 b	0.81±0.09 c
1-庚烯 1-Heptene	0.00±0.00 a	0.38±0.07 b	0.94±0.05 c
甲苯 Benzene,methyl	0.98±0.24 a	2.43±1.02 b	4.01±0.51 c
辛烯 1-Octene	0.00±0.00 a	0.17±0.00 b	0.21±0.97 b
氨气 ammonia	0.00±0.00 a	0.65±0.18 b	0.71±0.05 b
1-壬烯 1-Nonene	0.00±0.00 a	0.22±0.07 b	0.28±0.03 b
癸烯 1-Decene	0.00±0.00 a	0.35±0.06 b	1.35±0.03 c
3-十一烯 3-Undecene,(e)	0.00±0.00 a	0.08±0.02 b	0.46±0.15 c
十二烯 1-Dodecene	0.00±0.00 a	0.14±0.02 b	0.60±0.20 c
3-十二烯 3- Dodecene,(e)	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.19±0.06 b
十三烯 1-Tridecene	0.00±0.00 a	0.17±0.05 b	0.00±0.00 a
十四烯 1-Tetradecene	0.00±0.00 a	1.02±0.72 b	1.14±0.36 b
乙烷基苯 Benzene,ethyl-(cas)	0.00±0.00 a	0.44±0.01b	0.36±0.02 b
2-十二烷基环丁酮 2-Dodecylcyclobutanon	0.00±0.00 a	0.14±0.01b	0.16±0.05 b
2-丙酮 2-Propanone	0.34±0.15 a	0.48±0.19 a	2.85±0.33 a
2-十四烷基环丁酮 2-Tetradecylcyclobutanon	0.00±0.00 a	0.33±0.03 b	0.36±0.05 b
2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	23.11±2.47 a	19.65±2.98 b	18.75±2.19 b
乙酸乙酯 Ethyl acetate	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.57±0.04 b
邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	0.25±0.11 a	1.42±0.25 b	1.51±0.17 b
3-甲基丁醛 Butanal,3-methyl-	0.00±0.00 a	0.13±0.02 b	0.39±0.11 c
己醛 Hexanal	0.00±0.00 a	12.57±1.16 b	11.67±0.84 c
十二醛 Dodecanal	0.00±0.00 a	0.12±0.02 b	0.07±0.03 b
3-甲基丁醛 Butanal,3-methyl-	0.00±0.00 a	0.18±0.01 b	0.39±0.07 c
苯基乙醛 Phenyl acetaldehyde	0.00±0.00 a	0.06±0.01 b	0.00±0.00 a
2-三氟乙酸十三烷 2-Trifluoroacetoxytridecane	0.00±0.00 a	0.15±0.01 b	0.23±0.06 c

注: $n=3$;同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: $n=3$;Means with different lower-case letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨 论

从试验结果可以看出,盐水鸭辐照后,烃类化合物增加最多,其次是醛类化合物和酮类化合物,新增的 3 类化合物可能是“辐照味”的主要成分。“辐照味”是由自由基、活性物质与食品中营养物质相互作用而生成的挥发性物质^[7]。通常肉类在辐照后生成的有“辐照味”物质达 100 种以上,主要有 C₁—C₂₀ 的烷烃,C₂—C₂₀ 的烯烃,C₄—C₂₀ 的二烯烃,C₂—C₂₀ 的炔烃,C₂—C₆ 的醛类,C₃—C₆ 的酮类,C₁—C₄ 硫醇类,C₂—C₆ 硫醚和二硫化物等^[8]。其中,烃类和醛酮类化合物主要来自脂肪的降解,而硫化物和芳香族化合物(如苯、甲苯等)则主要由蛋白质降解产生^[9]。但也有报道证实,在有氧情况下,辐照处理的畜禽肉会产生类似醛的气味^[10],在氮气中则产生类似硫醇的气味^[11]。本试验采用真空包装,对脂肪氧化反应有一定的抑制作用,所以辐照后醛类、硫醇等有“辐照味”的成分较少,可见真空包装有利于减少辐照味的产生。

小剂量辐照处理不会产生“辐照味”,但大剂量

辐照肉类产品会产生“辐照味”^[8],本试验的辐照剂量为 5 kGy,为小剂量辐照,产生的“辐照味”很微弱,并不影响盐水鸭的主体风味,辐照后盐水鸭的风味基本可以接受。本试验盐水鸭辐照前的主体风味成分与刘源等^[12]和张李阳等^[13]的分析结果相似,但辐照后增加了少量的烃类、醛类、酮类以及 NH₃、H₂S 等。据报道,辐照后新增加的烃类、酮类和酸类主要来自脂质降解、氧化作用,因为在辐照过程中,脂质分子吸收辐射能,形成离子和高能态分子,高能态分子可进一步降解,生成烃、醛、酸、酯等辐解产物^[9];新增的含氮化合物主要来自于蛋白质降解,射线照射食品蛋白质分子,很容易使其二硫键、氢键、盐键、醚键断裂,破坏蛋白质分子的三级、二级结构,从而产生一些挥发性的含氮、含硫化合物^[11];新增的 2-十二烷基环丁酮、2-十四烷基环丁酮主要来自于脂类的自动氧化,因为辐照可促进脂类的自动氧化作用,从而促使游离基的生成,使氢过氧化物和抗氧化物质分解反应加快,生成醛、醛酯、含氧酸、乙醇、酮等^[10]。值得注意的是,2-十二烷基环丁酮、2-十四烷基环丁酮是环酮类化合物,可作为含脂食品

辐照的标志化合物,用于检测食品是否被辐照过,还可用于食品辐照剂量的评估^[14]。辐照后 10 d 的盐水鸭较辐照后 0 d 增加了 7-辛烯-4-醇、3-十二烯和乙酸乙酯等 3 种特征化合物,这与施帅^[15]的报道相似,这些物质主要来自脂质的氧化作用,其应该与辐照后产物在贮藏中的进一步反应有关,如果能对辐照后食品的贮藏条件(如低温)加以控制,可以降低反应速度,限制辐照介质自由基的产生,从而减轻辐照异味。如何能更有效地减少辐照异味,如添加抗氧化剂、改变包装材料等^[16],均有待于进一步研究。

[参考文献]

[1] 赵永富,刘春泉,朱佳廷,等. 盐水鸭低剂量辐射保鲜效果的研究 [J]. 江苏农业科学,2005(2):101-103.
Zhao Y F, Liu C Q, Zhu J T, et al. Study on γ -radiation preservation of salted duck by low dose [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2005(2):101-103. (in Chinese)

[2] 刘源,周光宏,徐幸莲. 盐水鸭香味研究 [J]. 食品与发酵工业,2005,31(3):109-114.
Liu Y, Zhou G H, Xu X L. Study on aroma of water boiled salted duck [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(3): 109-114. (in Chinese)

[3] 宁幸,杨玉清. 盐水鸭的保鲜技术 [J]. 肉禽蛋,1993(6):37-39.
Ning X, Yang Y Q. Preservation of water boiled salted duck [J]. Meat Poultry Egg, 1993(6):37-39. (in Chinese)

[4] 徐幸莲,吕凤霞,冯东岳. Nisin、乳酸钠和微波对盐水鸭货架期的影响 [J]. 食品工业科技,2000,21(6):39-41.
Xu X L, Lv F X, Feng D Y. Effect of Nisin, sodium lactate (Na) and microwave irradiation on the shelflife of salted duck [J]. Science and Technology of Food Industry, 2000, 21(6):39-41. (in Chinese)

[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 P X. Principles of food irradiation processing and technology [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004. (in Chinese)

[6] 曹宏,包建忠,翟建青. 辐照保鲜扬州盐水鹅产业化发展思路 [J]. 核农学报,2002,16(4):247-248.
Cao H, Bao J Z, Zhai J Q. The prospect of industrialization of the irradiated Yangzhou brine-goose [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2002, 16(4):247-248. (in Chinese)

[7] Olivia B W, Christine M. Food irradiation-position of ADA [J]. Journal of the American Dietetic Association, 2000, 100

(2):246-253.

[8] Shahidi F. 肉制品与水产品的风味 [M]. 李洁,朱国斌,译. 北京:中国轻工业出版社,2001.
Shahidi F. Flavor of meat, meat products and seafoods [M]. Translated by Li J, Zhu G B. Beijing: China Light Industry Press, 2001. (in Chinese)

[9] 王锋,哈益明,周洪杰,等. 辐照对食品营养成分的影响 [J]. 食品与机械,2005,21(5):45-48.
Wang F, Ha Y M, Zhou H J, et al. Effect of irradiation on the nutrient composition of food [J]. Food and Machinery, 2005, 21(5):45-48. (in Chinese)

[10] Narvaiz P, Ladomery L. Estimation of the effect of food irradiation on total dietary intake of vitamins as compared with dietary allowances study for Argentina [J]. Radiat Phys Chem, 1996, 48:360-361.

[11] 韩晶,李开雄,李丽华. 食品辐照技术的特性及在肉制品中的应用研究 [J]. 肉类研究,2009(1):57-62.
Han J, Li K X, Li L H. The specific property of food irradiation technology and its application in meat products [J]. Meat Research, 2009(1):57-62. (in Chinese)

[12] 刘源,周光宏,徐幸莲,等. 南京盐水鸭挥发性风味化合物的研究 [J]. 食品科学,2006,27(1):166-171.
Liu Y, Zhou G H, Xu X L, et al. Study on volatile flavor compounds of Nanjing water boiled salted duck [J]. Food Science, 2006, 27(1):166-171. (in Chinese)

[13] 张李阳,陆利霞,熊强,等. 盐水鸭生产中老卤成分及风味物质初步分析 [J]. 中国调味品,2007(7):62-64.
Zhang L Y, Lu L X, Xiong Q, et al. Primary analysis of main components and flavor elements of old brine for salted duck [J]. China Condiment, 2007(7):62-64. (in Chinese)

[14] 张海伟,哈益明,王锋. 含脂食品辐解产物 2-烷基环丁酮的研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报,2007,25(1):1-4
Zhang H W, Ha Y M, Wang F. Progresses in studies on 2-alkylcyclobutanones in irradiated lipid-containing foods [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2007, 25(1):1-4. (in Chinese)

[15] 施帅. 辐照和茶多酚对盐水鸭保鲜及贮藏品质的影响 [D]. 南京:南京农业大学,2006.
Shi S. Combined effect of irradiation and tea polyphenols on the quality of salted duck during storage [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006. (in Chinese)

[16] 郭亚萍,高美须,靳烨,等. 用辐照技术保障预制食品的安全与质量 [J]. 核农学报,2005,19(3):232-235.
Guo Y P, Gao M X, Jin Y, et al. Ensurance of hygienic safety and quality on prepared meal by irradiation [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2005, 19(3):232-235. (in Chinese)