

文章编号:1000-8551(2019)06-1116-06

# 电子鼻检测辐照肉鸭产品的挥发性风味物质

冯敏<sup>1,2</sup> 汪敏<sup>1</sup> 常国斌<sup>3</sup> 张扬<sup>3</sup> 赵永富<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>江苏省农业科学院农业设施与装备研究所,江苏南京 210014;<sup>2</sup>农业农村部长江中下游设施农业工程重点实验室,江苏南京 210014;<sup>3</sup>扬州大学动物科学与技术学院,江苏扬州 225004)

**摘要:**为了研究辐照肉鸭产品的“辐照味”问题,通过挥发性风味物质区分辐照肉鸭产品,对烤鸭、盐水鸭2种肉鸭产品进行不同剂量的辐照处理后,采用电子鼻检测产品中挥发性风味物质的变化,并对产品中挥发性风味物质的主要类别进行分析。结果表明,辐照处理后2种肉鸭产品中的挥发性风味物质的响应值都发生了变化,但辐照前后主要的挥发性风味物质的类别都是氨类和芳香型化合物、硫化氢、芳香化合物和有机硫化物。Loading、LDA、PCA分析结果表明,LDA分析能够有效区分经不同剂量辐照处理的烤鸭和盐水鸭。本研究结果为促进辐照技术在鸭肉产品中的应用提供了理论依据。

**关键词:**肉鸭产品;辐照;挥发性风味成分;电子鼻

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2019.06.1116

近几年,随着生活水平的提高,人们对肉类产品的消费观念发生了较大变化,不再仅以猪肉、牛羊肉等畜肉产品为主,逐渐向鸡、鸭、鹅等家禽肉产品转变,其中,盐水鸭、烤鸭等肉鸭产品在家禽肉产品中占据了半壁江山<sup>[1]</sup>。我国的养鸭业历史悠久,早在公元前500年就有大群养鸭、食用鸭肉和鸭蛋的记载。上世纪80年代,我国的养鸭业迅速发展,饲养量以平均每年5%~8%的速度递增<sup>[2]</sup>,市场对肉鸭产品的需求量日益增大的同时,对其产品质量的要求也越来越高<sup>[3]</sup>,但由于鸭肉含水量高(高达78%)、营养丰富(富含优质蛋白质、维生素、微量元素等),为微生物提供了良好的生长、繁殖环境。因此,肉鸭产品加工过程中如果杀菌不彻底,极易出现出水、变色、涨袋、货架期短等问题<sup>[4-5]</sup>。

辐照技术以其杀菌彻底,且可在不破坏产品包装的前提下对预包装产品进行加工处理等优势引起了广泛关注。上世纪80年代,我国对肉鸭产品的辐照加工研究已有报道<sup>[6]</sup>,目前已经涉及辐照保鲜工艺<sup>[7-8]</sup>、辐照对营养品质的影响<sup>[9-10]</sup>、辐照对产品风味的影响<sup>[11]</sup>等。江苏省农业科学院核农应用研究室前期开展了盐水鸭辐照保鲜工艺方面的研究,发现对经保鲜剂处理

的盐水鸭在真空包装后进行辐照处理(2~8 kGy),辐照杀菌效果显著,可将盐水鸭产品的货架期延长至2~3月,但辐照剂量超过4 kGy后盐水鸭的风味发生了变化,含有“辐照味”,且随辐照剂量的增加其“辐照味”加剧<sup>[8]</sup>。目前,盐水鸭的辐照处理尚处于研究阶段,未应用于商业化生产,故无相关标准明确规定盐水鸭辐照加工的适宜剂量,“辐照味”仍是一个未解的难题。

电子鼻是一种通过模拟哺乳动物嗅觉识别食品中挥发性成分进而快速检测、分析食品品质的仪器<sup>[12]</sup>,现已被广泛应用于检测鱼肉<sup>[13]</sup>、牛肉<sup>[14]</sup>、腊肉<sup>[15]</sup>、鸡肉<sup>[16]</sup>、盐水鸭<sup>[17]</sup>等产品的挥发性风味化合物。本研究以盐水鸭、烤鸭2种肉鸭产品为试验材料,采用电子鼻检测了2种肉鸭产品在辐照前后包装袋内挥发性风味物质组成的变化,并对检测值进行传感器贡献率分析(Loading分析)、主成分分析(principal component analysis, PCA)分析和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)分析,以期为进一步深入研究“辐照味”、区分辐照肉鸭产品,促进辐照技术在鸭肉产品中的应用提供技术依据。

收稿日期:2018-01-15 接受日期:2018-03-26

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(15)1010]

作者简介:冯敏,女,副研究员,主要从事农副产品加工研究。E-mail:fengmin8156@163.com

\* 通讯作者:赵永富,男,研究员,主要从事农副产品辐照加工及质量安全研究。E-mail:zyfzyf2002@163.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验用烤鸭、盐水鸭样品购自南京市板鸭厂。盐水鸭和烤鸭样品均是同一批次加工的产品,且原料肉鸭为同一品种、同一鸭龄。加工完成后按 1/4 只每袋进行切割、真空包装后运送至实验室;辐照处理前,除了工艺中必须的煮制、烤制工序外,未对样品进行其他的杀菌处理。

### 1.2 主要仪器与设备

VS2660 真空包装机,深圳爱博士实业有限公司;GM200 搅拌捣磨仪,德国 RETSCH 公司;PEN3 便携式电子鼻,德国 Airsense 公司,含有 W1C/S<sub>1</sub>、W5S/S<sub>2</sub>、W3C/S<sub>3</sub>、W6S/S<sub>4</sub>、W5C/S<sub>5</sub>、W1S/S<sub>6</sub>、W1W/S<sub>7</sub>、W2S/S<sub>8</sub>、W2W/S<sub>9</sub>、W3S/S<sub>10</sub> 10 个不同的金属传感器,特异性响应的气体类型依次为芳香型化合物、氮氧化物、氨类和芳香型化合物、氢气、烯烃和芳香型化合物、烃类物质、硫化氢、醇类和部分芳香型化合物、芳香化合物和有机硫化物、烷烃。顶空瓶(50 mL),德国 Airsense 公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 辐照处理 样品的辐照处理于南京航空航天大学辐照中心进行。辐照源为<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线,预设辐照剂量分别为 0、2、4、6、8 kGy,每个剂量处理设 3 个重复,辐照剂量率为 0.9 kGy·h<sup>-1</sup>,辐照后于低温条件(4℃左右)下储藏备用。

1.3.2 电子鼻气味值的提取 参照沈旭娇等<sup>[18]</sup>、顾欣哲等<sup>[19]</sup>的方法进行电子鼻气味值提取。

烤鸭:精确称取 5 g 烤鸭腿肉,将其剪碎后置于 20 mL 的样品瓶中,于 20℃ 顶空萃取 30 min,电子鼻测量参数设置:洗气时间 120 s、调零时间 5 s、样品准备时间 5 s、进样时间 60 s、流速 300 mL·min<sup>-1</sup>。

盐水鸭:精确称取 10 g 盐水鸭腿肉,绞碎后置于 150 mL 的三角瓶中,用锡纸密封后,在 30℃ 条件下水浴顶空萃取 30 min,电子鼻测量参数设置:洗气时间 120 s、调零时间 5 s、样品准备时间 5 s、进样时间 90 s、流速 150 mL·min<sup>-1</sup>。

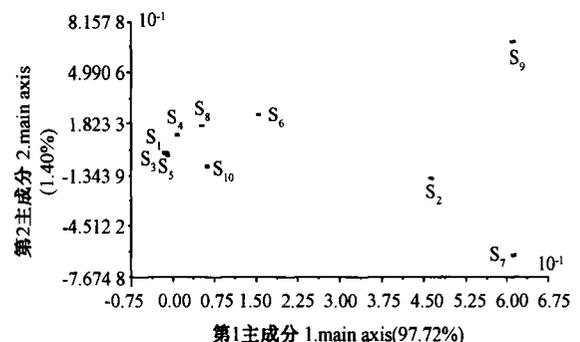
### 1.4 数据处理

采用电子鼻自带 WinMuster 软件进行 Loading 分析、PCA 分析和 LDA 分析。应用 SPSS19.0 软件中的 t 检验对辐照前后各传感器的的气味值进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烤鸭、盐水鸭辐照前后气味值的 Loading 分析

由图 1 可知,烤鸭样品袋内气味值第 1 主成分的主要贡献传感器为 S<sub>2</sub>、S<sub>7</sub> 和 S<sub>9</sub>,且 3 个传感器贡献大小的排序为 S<sub>7</sub>>S<sub>9</sub>>S<sub>2</sub>;第 2 主成分的主要贡献传感器为 S<sub>9</sub>。第 1 主成分、第 2 主成分的主要贡献传感器在辐照前后无变化,但辐照后各传感器的响应值有不同程度的增强,且辐照后第 1、第 2 主成分的贡献率均增加。辐照前后第 1 主成分贡献率为 94.7%~97.7%,第 2 主成分的贡献率为 1.1%~1.4%。



注:辐照前后样品气味值的 Loading 分析图相似,因此,仅列出辐照剂量为 10 kGy 的样品气味值的分析图。下同。

Note: For unirradiated and irradiated samples, the Loading analysis charts of the sample odor value are similar. Therefore, only the sample odor value analysis diagram with the irradiated dose of 10 kGy is listed. The same as following.

图 1 不同剂量辐照处理下烤鸭的 Loading 分析  
Fig.1 Loading analysis of roast duck irradiated with different doses

由图 2 可知,盐水鸭样品袋内气味值第 1 主成分的主要贡献传感器也为 S<sub>2</sub>、S<sub>7</sub> 和 S<sub>9</sub>,3 个传感器贡献大小的排序为 S<sub>2</sub>>S<sub>7</sub>>S<sub>9</sub>;第 2 主成分的主要贡献传感器为 S<sub>7</sub>、S<sub>9</sub>,贡献大小的排序为 S<sub>7</sub>>S<sub>9</sub>。与烤鸭的 Loading 分析结果相似,盐水鸭 Loading 分析中第 1、第 2 主成分的主要贡献传感器在辐照前后未发生变化,但辐照后的第 1 主成分的贡献率增加,而第 2 主成分的贡献率减小。辐照前后第 1 主成分贡献率为 85.3%~90.9%,第 2 主成分的贡献率为 7.4%~9.4%。

### 2.2 烤鸭、盐水鸭辐照前后气味值的 LDA 分析

由图 3 可知,经不同剂量辐照烤鸭的气味值分布于图中的不同位置,各剂量之间无重叠,且第 1 和第 2 主成分的总贡献率超过 95%,说明第 1 和第 2 主成分已经包含了很大的信息量,能够反映样品的整体信息,

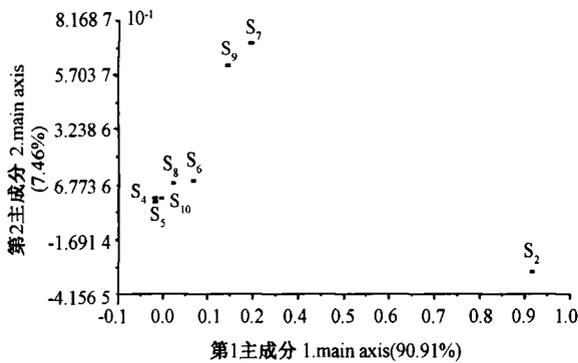


图2 不同剂量辐照处理下盐水鸭的 Loading 分析  
Fig.2 Loading analysis of salty wild duck irradiated with different doses

即在本试验条件下,不同剂量辐照后的气味值存在差异,电子鼻能够有效区分不同剂量辐照后的烤鸭样品的气味。此外,不同剂量辐照后的气味值在图3中的横向分布呈现一定的规律性,即从左向右对应的辐照剂量逐渐增大。

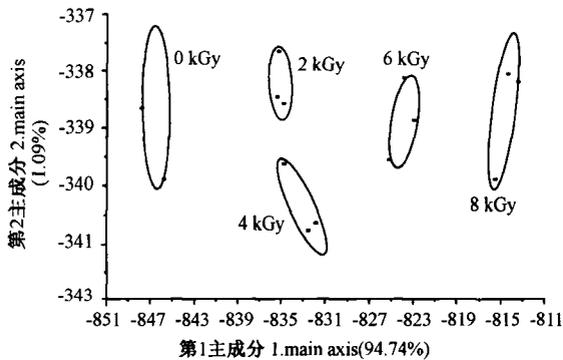


图3 不同剂量辐照处理下烤鸭的 LDA 分析  
Fig.3 LDA analysis of roast duck irradiated with different doses

与烤鸭的分析结果相似,经不同剂量辐照烤鸭的气味值也分布于图中的不同位置,第1和第2主成分的贡献率超过94%,说明不同剂量辐照后的样品气味值也能够通过电子鼻有效地区分出来(图4)。但不同剂量辐照后的气味值在图4中的横向分布的规律不同,即随着辐照剂量的增加,引起的气味值的变化规律不完全相同。

2.3 烤鸭、盐水鸭辐照前后气味值 PCA 分析

由图5可知,未辐照样(0 kGy)的分布位置和2、4 kGy辐照样部分重叠在一起,2 kGy辐照样和4、6 kGy辐照样也有部分重叠在一起,说明本试验条件下,PCA分析不能将这些烤鸭样品区分开。

经不同剂量辐照处理的盐水鸭分布位置的重叠情

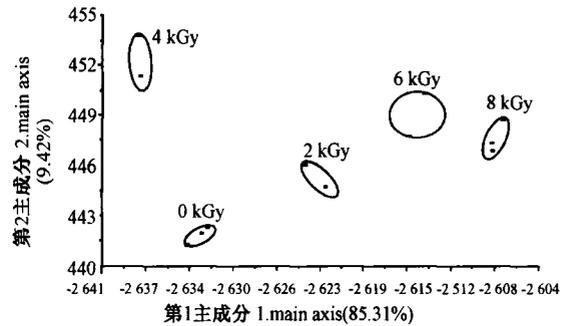


图4 不同剂量辐照处理下盐水鸭的 LDA 分析  
Fig.4 LDA analysis of salty wild duck irradiated with different doses

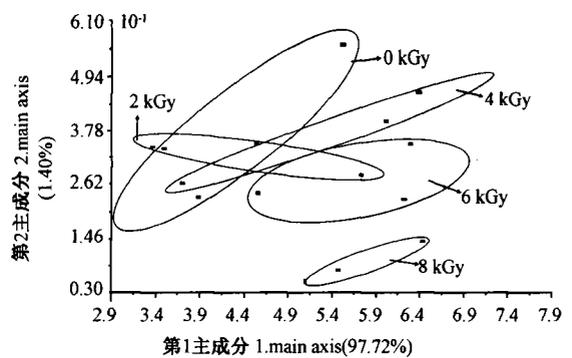


图5 不同剂量辐照处理下烤鸭的 PCA 分析  
Fig.5 PCA analysis of roast duck irradiated with different doses

况比烤鸭更复杂(图6)。未辐照样(0 kGy)的分布位置和2、4、6 kGy辐照样有重叠,2 kGy辐照样与4、6 kGy辐照样有重叠,4 kGy辐照样与6、8 kGy辐照样有重叠,且6 kGy辐照样与8 kGy辐照样也有小部分重叠,说明本试验条件下,PCA分析同样不能将这些盐水鸭样品区分开。

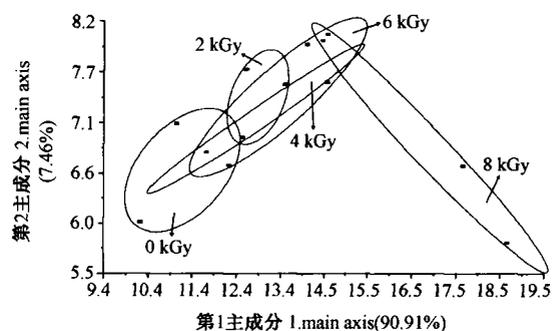


图6 不同剂量辐照处理下盐水鸭的 PCA 分析  
Fig.6 PCA analysis of salty wild duck irradiated with different doses

## 2.4 烤鸭、盐水鸭辐照前后气味值差异显著性分析

由表1可知,烤鸭经一定剂量辐照处理后,除 $S_3$ 、 $S_4$ 和 $S_8$ 外,其他7个传感器的响应值都发生了显著变化。与未辐照样(0 kGy)相比, $S_1$ 和 $S_{10}$ 的响应值在辐照剂量为6 kGy时达到显著差异, $S_2$ 、 $S_5$ 和 $S_6$ 在4 kGy

时达到显著差异, $S_7$ 和 $S_9$ 在2 kGy时达到显著差异;除 $S_6$ 外,其他传感器的响应值都是达到相应的辐照剂量后显著增加,且总体上随着辐照剂量的增加呈逐渐增加的趋势。综上,经辐照处理,烤鸭挥发性风味物质的响应值发生了变化,但主要风味的类别无明显变化。

表1 辐照处理前后电子鼻传感器对烤鸭气味的响应值方差分析

Table 1 Analysis of variance of response values of electronic nose sensors for flavor of roast duck

传感器 Sensor	辐照剂量 Irradiation dose/kGy				
	0	2	4	6	8
$S_1$	1.034±0.020a	1.047±0.027a	1.055±0.667a	1.082±0.028b	1.081±0.008b
$S_2$	1.854±0.336a	1.929±0.436ab	2.316±0.026b	2.453±0.361c	2.630±0.274d
$S_3$	1.015±0.007a	1.022±0.011a	1.029±0.497a	1.040±0.015a	1.038±0.001a
$S_4$	1.029±0.030a	1.025±0.011a	1.038±0.013a	1.032±0.011a	1.023±0.010a
$S_5$	0.994±0.005a	0.998±0.006a	1.021±0.021b	1.002±0.006a	1.021±0.020b
$S_6$	1.802±0.119a	1.091±0.116a	1.184±0.033b	1.237±0.138c	1.199±0.074b
$S_7$	2.193±0.421a	2.661±0.513b	3.134±0.142c	3.408±0.435d	3.668±0.267e
$S_8$	1.030±0.045a	1.034±0.042a	1.068±0.632a	1.093±0.067a	1.073±0.040a
$S_9$	2.623±0.614a	2.774±0.515b	3.291±0.052c	3.405±0.441d	3.475±0.311d
$S_{10}$	1.049±0.031a	1.078±0.027a	1.079±0.736a	1.109±0.052b	1.104±0.009b

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same line indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

表2 辐照处理前后电子鼻传感器对盐水鸭气味的响应值方差分析

Table 2 Analysis of variance of response values of electronic nose sensors for flavor of salty wild duck

传感器 Sensor	辐照剂量 Irradiation dose/kGy				
	0	2	4	6	8
$S_1$	1.217±0.017a	1.283±0.023a	1.288±0.667a	1.288±0.050a	1.336±0.040b
$S_2$	8.220±0.603a	9.782±0.381b	10.290±0.085c	10.264±0.981d	13.929±2.009e
$S_3$	1.095±0.008a	1.114±0.013a	1.111±1.457a	1.124±0.018ab	1.141±0.006b
$S_4$	1.253±0.004a	1.278±0.014a	1.270±0.018a	1.253±0.012a	1.244±0.015a
$S_5$	1.052±0.003a	1.059±0.008a	1.058±0.021a	1.240±0.244b	1.070±0.002a
$S_6$	2.945±0.263a	3.228±0.134b	3.187±0.010b	3.191±0.304b	3.483±0.205c
$S_7$	6.697±0.432a	8.030±0.356b	8.176±0.368b	8.114±0.616b	8.537±0.071c
$S_8$	1.877±0.063a	2.077±0.094b	2.082±0.999b	2.024±0.142b	2.192±0.114b
$S_9$	5.830±0.340a	6.711±0.196b	6.726±0.260b	6.888±0.441b	7.152±0.282c
$S_{10}$	1.338±0.034a	1.384±0.015a	1.417±0.450b	1.409±0.059b	1.454±0.048c

与烤鸭的分析结果有所不同,盐水鸭经一定剂量的辐照处理后,除 $S_4$ 外,其他9个传感器的响应值都发生了显著变化(表2)。与未辐照样(0 kGy)相比, $S_1$ 和 $S_3$ 的响应值在辐照剂量为8 kGy时达到显著差异, $S_2$ 、 $S_6$ 、 $S_7$ 、 $S_8$ 和 $S_9$ 在2 kGy时达到显著差异, $S_{10}$ 在4 kGy时达

到显著差异;这8个传感器的响应值都是达到相应的辐照剂量后显著增加,且总体上随着辐照剂量的增加呈增加的趋势。 $S_5$ 的响应值在6 kGy时显著增加,8 kGy时与未辐照样无显著差异。综上,经辐照处理,盐水鸭挥发性风味物质的响应值也发生了变化。

### 3 讨论

肉类食品的“辐照味”是辐照后产生的自由基、活性物质与营养成分相互作用生成的挥发性物质<sup>[20]</sup>。通常肉类在辐照后生成的有“辐照味”物质达100种以上<sup>[21-22]</sup>。本研究中,2种肉鸭产品的检测结果中传感器 $S_2$ 、 $S_7$ 和 $S_9$ 的响应值较高,LDA分析能够将不同剂量辐照处理的肉鸭产品明显区分出来。辐照处理改变了肉鸭样品中各类挥发性风味物质的响应值,但没有改变挥发性风味物质的主要组成类别,即辐照前后起主要作用的传感器都是 $S_2$ 、 $S_7$ 和 $S_9$ ,这3个传感器响应的特异性气体分别为氨类和芳香型化合物、硫化氢、芳香化合物和有机硫化物。研究表明,肉类在辐照后生成的硫化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)主要来自蛋白质的降解<sup>[23]</sup>。施帅等<sup>[11]</sup>发现经辐照处理后,含硫化合物等物质的含量随着贮藏时间的延长而增加,可能是由于辐照处理导致含硫氨基酸降解后形成了新的含硫化合物。氨类等含氮化合物的增加也可能是蛋白质降解导致的,因为蛋白质分子遭受射线辐照后,分子中的二硫键、氢键等容易断裂,使蛋白质分子的三级、二级结构遭到破坏,生成了挥发性的氨类等含氮化合物<sup>[24-25]</sup>。因此,本研究中,2种肉鸭产品辐照处理后,传感器的响应值发生变化可能是由于辐照处理后产品中的脂肪、蛋白质降解或氨基酸结构遭到破坏引起的。

电子鼻与顶空固相微萃取-气质联用法<sup>[26]</sup>、同时蒸馏萃取-气质联用法<sup>[27]</sup>、衍生化-气质联用法<sup>[28]</sup>等检测方法不同,其检测得到的不是被测样品中各挥发性物质的定性或定量结果,而是样品的整体风味信息<sup>[29-30]</sup>。沈旭娇等<sup>[18]</sup>采用与本研究相同型号的电子鼻检测盐水鸭芳香成分,传感器 $S_8$ 、 $S_7$ 和 $S_9$ 所起的作用最大,对电子鼻的检测结果进行LDA分析的结果优于PCA分析,这与本研究的结果相似。赵泽伟等<sup>[31]</sup>利用固相微萃取-气质联用法(olid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry SPME-GC-MS)和电子鼻测定薏仁饮料贮藏过程中挥发性化合物的变化,发现电子鼻和SPME-GC-MS联用能较好地薏仁饮料贮藏期间挥发性化合物进行检测、分析,同时能有效区分不同贮藏时间样品的品质变化。综上,在研究辐照处理对肉制品挥发性风味物质的中,可以将电子鼻和SPME-GC-MS等方法联用以定性或定量检测辐照前后挥发性风味物质的变化。

### 4 结论

电子鼻检测结果表明,辐照处理导致烤鸭、盐水鸭袋内挥发性风味物质的响应值发生了变化,但主要的挥发性风味物质的类别未发生明显变化,辐照处理前后肉鸭的挥发性风味物质均是氨类和芳香型化合物、硫化氢、芳香化合物和有机硫化物。采用电子鼻检测样品袋内各类气体的响应值,LDA分析可以将经不同剂量(0~8 kGy)辐照处理的样品区分出来。今后的研究可将电子鼻和其他挥发性风味物质检测方法联合使用,以便深入研究并解决肉鸭产品“辐照味”问题,为明确肉制品适宜的辐照剂量提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 李素梅,史经化.肉鸭产品质量影响因素探析[J].中国畜牧业,2016(23):56-57
- [2] 侯水生,黄苇,张林,刘五岳.我国养鸭业发展现状与问题分析[J].中国禽业导刊,2006,23(24):11-13
- [3] 徐友文,张福潮.我国养鸭业现状和实施鸭无公害养殖的宏观措施[J].湖南畜牧兽医,2007(1):1-3
- [2] 聂书舫.肉鸭产品市场前景分析[J].水禽世界,2014(4):56-57
- [3] 李宾全.鸭产业链发展与产品深加工趋势[J].当代畜禽养殖业,2012,20(5):15-17
- [4] 李澧,朱佳廷,冯敏,严建民,李淑荣,杨萍,顾贵强,王德宁.辐照灭菌对干制鸭肉品质的影响[J].江苏农业科学,2012,40(12):278-280
- [5] 郑梦林,刘明芹,王宏勋,易阳,闵婷.不同保鲜方式对冷鲜鸭肉中肠杆菌生长影响评价[J].食品工业,2015,36(8):108-111
- [6] 蒋致诚,王惠琴,蒋保季,赵淑珍,尹学钧,张宏伟,张淑华,温祥云,孙冶平,崔允文,李占英.辐照冻鸭毒理学安全性评价研究—90天喂养试验及染色体畸变分析[J].首都医学院学报,1987,8(2):98-104
- [7] 杨郡亭,赵永富,王志东,石岩,季萍,汪昌保.盐水鸭辐照保鲜工艺研究[J].江苏农业科学,2012,40(11):282-284
- [8] 赵永富,刘春泉,朱佳廷,严登秀,王超.盐水鸭低剂量辐射保鲜效果的研究[J].江苏农业科学,2005,33(2):101-103
- [9] 曹宏,翟建青,韩燕,汪兴海,包建忠,王锦荣,陈秀兰.辐照对酱鸭保质期和营养品质的影响[J].核农学报,2010,24(5):996-1000
- [10] 李宗菊,陈宗道,刘光珍.辐照对板鸭保藏及其品质影响的研究[J].同位素,1992,5(3):141-147
- [11] 施帅,李志方,王正云,祁兴普.辐照盐水鸭贮藏过程中的风味变化[J].江苏农业科学,2011,39(3):336-339
- [12] 田晓静,王俊.电子鼻技术在肉与肉制品检测中的应用进展[J].肉类研究,2012,26(6):42-45
- [13] 荣建华,熊诗,张亮子,谢淑丽,熊善柏.基于电子鼻和SPME-GC-MS联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J].食品科学,

- 2015, 36(10): 124-128
- [14] 贾洪锋, 卢一, 何江红, 潘涛, 肖岚, 张振宇, 朱丽敏. 电子鼻在牦牛肉和牛肉猪肉识别中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 358-363
- [15] 黄业传, 李凤, 黄甜, 孙娟. 利用电子鼻和气质联用研究腊肉挥发性风味物质的形成规律[J]. 食品工业科技, 2014, 35(6): 73-77, 80
- [16] 唐春红, 陈旭华, 张春晖, 李侠, 陈琳莉, 孙红梅, 王金枝. 不同卤制方法对鸡腿肉中挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 123-129
- [17] 陶正清, 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 盐水鸭工业化加工过程中主要滋味物质的测定及呈味作用评价[J]. 核农学报, 2014, 28(4): 632-639
- [18] 沈旭娇, 刘登勇, 周光宏, 王进, 杨硕. 电子鼻评价超高压-热结合处理对盐水鸭风味品质的影响[J]. 肉类工业, 2014, 35(7): 21-29
- [19] 顾欣哲, 吴振川, 刘芮瑜, 尹涛, 何淑文, 屠康, 潘磊庆. 基于电子鼻和神经网络对广式香肠脂肪氧化的评价[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 142-148
- [20] Olivia B W, Christine M. Food irradiation-position of ADA [J]. Journal of the American Dietetic Association, 2000, 100(2): 246-253
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 王锋, 哈益明, 周洪杰, 高美须. 辐照对食品营养成分的影响[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 45-48
- [24] 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
- [25] 诸永志, 曹建民, 徐为民, 王道营. 盐水鸭辐照前后风味成分的组成及变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 39(7): 229-234
- [26] 姜绍通, 王旗, 蔡克周, 潘丽军. 顶空固相微萃取-气质联用法测定山楂核烟熏液的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 206-211
- [27] 邓文辉, 赵燕, 涂勇刚, 李建科, 王俊杰, 罗序英. 同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用测定皮蛋蛋黄中挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 212-220
- [28] 刘晓慧, 许丽娟, 李永歌, 刘会双, 杨雪娟, 孙宝山, 刘江, 魏然. 酸水解玉米蛋白调味料中非挥发性风味物质的同时测定[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 152-158
- [29] 李聪, 徐宝才, 李世保, 郝敬芝. 市售盐水鸭挥发性风味物质研究分析[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 350-358
- [30] Tikk K, Haugen J, Andersen H, Aaslyng D M. Monitoring of warmed over flavour in pork using the electronic nose-correlation to sensory attributes and secondary lipid oxidation products [J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1254-1263
- [31] 赵泽伟, 丁筑红, 许培振, 顾苑婷, 丁小娟. 基于 SPME-GC-MS 和电子鼻分析方法的薏仁饮料贮藏过程风味化合物变化分析[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 276-281

## The Detection of Volatile Flavor Substances of Irradiated Duck Products by Electronic Nose

FENG Min<sup>1,2</sup> WANG Min<sup>1</sup> CHANG Guobin<sup>3</sup> ZHANG Yang<sup>3</sup> ZHAO Yongfu<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Application of Energy, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014;

<sup>2</sup> Key Laboratory of Protected Agriculture Engineering in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, Jiangsu 210014; <sup>3</sup> Yangzhou University College of Animal Science

and Technology, Yangzhou, Jiangsu 225004)

**Abstract:** In order to study the "Irradiation off-odor" of duck products, and distinguish the irradiated duck products through the volatile flavor substances, samples of roasted ducks and salty wild ducks were irradiated with different doses. The changes of volatile flavor substances were detected using electronic nose, and the main categories of volatile flavor substances in duck products were investigated. The results show that the response values of the volatile flavor substances of two duck products change after irradiation, but the main volatile flavor substances before and after irradiation did not change which were aromatic compounds, ammonia hydrogen sulfide, aromatic compounds and organic sulfide. From the results of three kinds of analysis (Loading, LDA and PCA), the LDA analysis can effectively distinguish roasted ducks or salty wild ducks irradiated with different doses. It provides the potential for promoting irradiation technology in duck products.

**Keywords:** duck products, irradiation, volatile flavor components, electronic nose