

基于绿色制造技术的烤鸭品质特性与安全性研究

石金明, 王 园, 彭增起*, 惠 腾, 张雅玮, 王复龙, 李君珂, 崔保威, 郭秀云

(南京农业大学 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 食品安全与营养协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘 要: 本实验比较了传统加工技术与绿色制造技术在烤鸭加工过程中的PM_{2.5}排放量、产品表皮含有的有害物质3,4-苯并芘、12种杂环胺的含量以及对产品感官品质的影响。结果表明: 采用绿色制造技术加工烤鸭时PM_{2.5}的平均排放质量浓度小于200 µg/m³; 生产的烤鸭色泽红润鲜亮, 经高温灭菌后仍然保持较好的质构, 3,4-苯并芘残留量与12种杂环胺残留总量低于1 µg/kg; 传统的烤鸭加工技术PM_{2.5}平均排放质量浓度超过2 000 µg/m³, 产品中3,4-苯并芘残留量最高检出量4.25 µg/kg, 12种杂环胺残留总量最高检出量49.95 µg/kg。

关键词: 烤鸭; 绿色制造; PM_{2.5}; 3,4-苯并芘; 杂环胺; 品质

Roast Duck Quality and Safety Characteristics Based on Green Manufacturing Technology

SHI Jin-ming, WANG Yuan, PENG Zeng-qi*, HUI Teng, ZHANG Ya-wei, WANG Fu-long, LI Jun-ke, CUI Bao-wei, GUO Xiu-yun

(National Center of Meat Quality and Safety Control, Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The green manufacturing technology of poultry can reduce or eliminate the formation of substances harmful to human health and the environment by directed Maillard Reaction through the optimization of formulation, reaction medium, equipment and thermal field. In this study, the emission of airborne particulate matters (PM_{2.5}) during roast duck processing, product sensory quality and the concentrations of harmful substances in roast duck skins were compared between traditional technology and green manufacturing technology. The roast duck produced using green manufacturing technology had brighter color and better texture after high-temperature sterilization, the residual amount of benz(a)pyrene and the total amount of 12 heterocyclic aromatic amine residues were no more than 1 µg/kg, and the mean level of airborne particulate matters from green manufacturing technology was less than 200 µg/m³. By contrast, the mean level of airborne particulate matters from traditional technology was more than 2 000 µg/m³, and the maximum detectable amounts of benz(a)pyrene and 12 heterocyclic aromatic amines in traditionally processed roast duck were 4.25 and 49.95 µg/kg, respectively.

Key words: roast duck; green manufacturing; airborne particulate matters; benz(a)pyrene; heterocyclic amine; quality

中图分类号: TS251.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 23-0274-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201423053

传统烤鸭利用果木烤制而成, 可分为焖炉和挂炉两种方式, 而后又逐渐出现了通过燃气^[1]、电^[2]等制作烤鸭的方法。为了赋予烤鸭独特的色泽、风味, 烤鸭的烤制温度一般都高于200 °C, 获取最佳色泽的温度则要高达270 °C^[3], 采用工艺优化或气体射流冲击技术可使烤鸭加工温度降至180~200 °C^[4], 总的来说, 加工温度较高, 会产生一些强致癌、致突变的物质污染产品, 如多环芳烃类 (polycyclic aromatic hydro, PAHs) 物质、杂环胺类 (heterocyclic amine, HAAs) 物质等^[5-7], 更重要的是传统烤鸭加工产生大量烟气排入大气, 烟气中含有大量PM_{2.5}会污染环境。

同时, 由于较长的烤制时间和温度, 高温灭菌后使得鸭肉肉质松散不耐咀嚼。烤鸭绿色制造技术是通过对产品配方的绿色设计、反应介质条件控制、加工设备的改造以及热力场优化, 借助绿色化工原理和手段, 使配方组分与鸭表皮成分发生定向美拉德反应^[8], 从而减少或消除对人体和环境危害的一种方法^[9-10]。此项技术保持了传统烤鸭制品的色、味、形等特点, 明显降低有害物质3,4-苯并芘和杂环胺残留量, 解决了市售高温灭菌烤鸭产品质构较差的问题, 同时产生的烟气中PM_{2.5}可降低至200 µg/m³以下, 极大提高了产品的安全性, 符合消费者健康安全的消费需求。

收稿日期: 2014-01-07

基金项目: 国家现代农业 (肉牛) 产业技术体系建设专项 (nycytx-38)

作者简介: 石金明 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: 2011108033@njau.edu.cn

*通信作者: 彭增起 (1956—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: zqpeng@njau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

樱桃谷鸭白条鸭、香辛料购于南京农贸市场,“北京烤鸭”(产品规格:1 000 g整只真空包装,且包装完好、形态完整的高温灭菌产品)购于北京地区超市。

3,4-苯并芘标准品(纯度>96%) 美国Sigma公司;2-氨基-3-甲基咪唑并[4,5-*f*]喹啉(2-amino-3-methylimidazo[4,5-*f*]quinoline, IQ)、2-氨基-3,8-二甲基咪唑并[4,5-*f*]喹啉(2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-*f*]quinoxalin, MeIQx)、2-氨基-3,4-二甲基咪唑并[4,5-*f*]喹啉(2-amino-3,4-dimethylimidazo[4,5-*f*]quinoine, MeIQ)、2-氨基-3,4,8-三甲基咪唑并[4,5-*f*]喹啉(2-amino-3,4,8-trimethylimidazo[4,5-*f*]quinoxaline, 4,8-DiMeIQx)、2-氨基-3,7,8-三甲基咪唑并[4,5-*f*]喹啉(2-amino-3,7,8-trimethylimidazo[4,5-*f*]quinoxaline, 7,8-DiMeIQx)、3-氨基-1,4-二甲基-5*H*-吡啶并[4,3-*b*]吲哚(3-amino-1,4-dimethyl-5*H*-pyrido[4,3-*b*]indole, Trp-P-1)、3-氨基-1-甲基-5*H*-吡啶并[4,3-*b*]吲哚(3-amino-1-methyl-5*H*-pyrido[4,3-*b*]indole, Trp-P-2)、1-甲基-9*H*-吡啶并[4,3-*b*]吲哚(1-methyl-9*H*-pyrido[4,3-*b*]indole, Harman)、9*H*-吡啶并[4,3-*b*]吲哚(9*H*-pyrido[4,3-*b*]indole, Norharman)、2-氨基-1-甲基-6-苯基咪唑并[4,5-*b*]吡啶(2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-*b*]pyridine, PhIP)、2-氨基-9*H*-吡啶并[2,3-*b*]吲哚(2-amino-9*H*-pyrido[2,3-*b*]indole, AaC)、2-氨基-3-甲基-9*H*-吡啶并[2,3-*b*]吲哚(2-amino-3-methyl-9*H*-pyrido[2,3-*b*]indole, MeAaC)(均为色谱纯)加拿大Toronto Research Chemicals公司;环己烷、二甲基亚砜、甲醇(色谱纯) 美国Tedia公司;乙腈(色谱纯) 美国ROE公司;硫酸钠、醋酸铵、冰醋酸、氨水、氢氧化钠(分析纯) 国药化学试剂有限公司;丙基磺酸(propylsulfonic acid, PRS)固相萃取柱(500 mg/3 mL) 美国Varian公司;Bond ElutC₁₈固相萃取柱(500 mg/3 mL) 美国Supelco公司。

1.2 仪器与设备

TH-150C智能中流量大气总悬浮颗粒物采样器(配置PM_{2.5}切割头及玻璃纤维滤膜90 mm) 武汉天虹仪表有限责任公司;XL104 电子天平 梅特勒托利多仪器(上海)有限公司;KQ-300DE超声波清洗器 昆山舒美超声仪器有限公司;RE-52AA旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;SBEQ-CR1012型固相萃取装置 德国CNW公司;TA-XT2i型质构仪 英国SMS公司;C-LM3B型数显肌肉嫩度仪 北京天翔飞域仪器设备有限公司;Minolta CR200型便携式色差仪 日本Konica公司;Waters 2695型高效液相色谱仪HPLC(配备

Waters 2489紫外可见检测器、Waters2475荧光检测器)美国Waters公司;Agilent 1290 Infinity型超高压液相色谱仪UPLC(G1321B FLD检测器) 美国Agilent公司;HY-04B型高速搅拌机 北京环亚天元机械技术有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品采集

1.3.1.1 烟气样品

燃气烤鸭制作流程:原料白条鸭(20只左右)清洗,4℃条件下湿腌10 h左右,先将燃气烤鸭炉200℃预热15 min,再将原料鸭悬挂在烤鸭炉内,调整温度至250℃烘烤1 h左右即可。收集燃气烤鸭炉250℃烤制阶段产生的烟气。

烤鸭绿色制造加工技术流程:原料白条鸭(20只左右)清洗,4℃条件下干腌6 h、湿腌6~8 h,然后将原料鸭在控温烟熏箱中设置90℃热风干燥15~20 min,立即喷淋增香液^[11],随后调整温度至130℃加工1 h即可。收集绿色制造技术130℃加工阶段产生的烟气。

PM_{2.5}样品的采集使用智能中流量大气总悬浮颗粒物采样器(配PM_{2.5}采样切割头),在100 L/min流速条件下收集烟气,烟气中细颗粒物用玻璃纤维滤膜采集(玻璃纤维滤膜经高温(500℃)处理和24 h恒温(20℃)恒湿(50%)处理),整个过程严格按照HJ 618—2011《环境空气PM₁₀和PM_{2.5}的测定 重量法》操作。

1.3.1.2 烤鸭样品

购买北京市售真空包装高温灭菌的“北京烤鸭”作为待测样品,燃气烤鸭炉烤制的烤鸭真空包装高温灭菌后作为“燃气烤鸭”待测样品,绿色制造技术制作的烤鸭真空包装高温灭菌后作为绿色制造技术烤鸭待测样品。烤鸭样品取胸部表皮绞碎搅拌后作为待测样品。

1.3.2 样品分析

1.3.2.1 PM_{2.5}测定

参照HJ 618—2011《环境空气PM₁₀和PM_{2.5}的测定 重量法》。

1.3.2.2 3,4-苯并芘含量测定

分别选取不同批次的真空包装高温灭菌的2种北京市售“北京烤鸭”(编号A和B)、“燃气烤鸭”(编号D)及绿色制造技术加工的烤鸭(编号L)各3只,选取腿部和胸部鸭皮进行3,4-苯并芘含量检测(编号单数(如A1-1)为腿部样品、双数(如A1-2)为胸部样品)。采用NY/T 1666—2008《肉制品中3,4-苯并芘高效液相色谱法》检测前处理方法,色谱条件转换为超高效液相色谱条件下检测。色谱柱:ZORBAX Eclipse Plus C₁₈柱(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm);色谱条件:柱温30℃;流动相:乙腈-水(75:25, *V/V*),流速0.5 mL/min,进样量10 μL;荧光激发波长384 nm,发射波长406 nm。最低检出限为0.04 μg/kg。

1.3.2.3 12种杂环胺含量测定

分别选取不同批次的真空包装高温灭菌的2种北京市售“北京烤鸭”（编号A和B）、“燃气烤鸭”（编号D）及绿色制造技术加工的烤鸭（编号L）各3只检测鸭皮样品中12种杂环胺含量，每只取绞碎均匀的鸭皮样品各3个。

杂环胺检测分析采用高效液相色谱法。准确称取5.0 mg各种HAA标准品分别溶于甲醇中，并定容至50 mL，得100 μg/mL各种HAA的标准储备液。再吸取定量的各种标准HAA储备液制成杂环胺混合标准工作液，并将杂环胺IQ、MeIQ、MeIQx、4,8-DiMeIQx、7,8-DiMeIQx溶液稀释至1 000、500、200、100、50、20、10 ng/mL，Harman、Norharman、Trp-P-2、PhIP、Trp-P-1、AαC、MeAαC稀释至100、50、20、10、5、2、1 ng/mL，以建立标准曲线。

样品处理参照Gross^[12]、万可慧^[13]等的方法并略做修改。色谱柱：使用TSK-gel ODS-80TM柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）。色谱条件：流速1 mL/min，进样量20 μL，柱温30℃；采用二元流动相体系：A为乙腈；B为0.05 mol/L醋酸铵-醋酸缓冲液（pH 3.25）。其梯度洗脱程序见表1。IQ、MeIQ、MeIQx、4,8-DiMeIQx、7,8-DiMeIQx通过紫外检测器在263 nm波长处检测，其他HAA可通过对荧光检测器编程来检测，激发/发射波长设定为：Harman和Norharman，300 nm/440 nm（0~16.5 min）；Trp-P-2、PhIP和Trp-P-1，315 nm/410 nm（16.5~20.5 min）；AαC和MeAαC，335 nm/410 nm（20.5~35 min）。

表1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution program

时间/min	流动相体积分数/%	
	A	B
0	5	95
25	45	55
35	5	95

1.3.2.4 色泽测定

分别选取不同批次的真空包装高温灭菌的2种北京市售“北京烤鸭”（编号A和B）、“燃气烤鸭”（编号D）及绿色制造技术加工的烤鸭（编号L），取3个不同批次的烤鸭各2只测定用便携式色差仪测定不同部位表皮L*、a*、b*值，每只分别取样测量5次以上，数值取平均值。

1.3.2.5 烤鸭鸭胸肉品质分析

分别选取不同批次的真空包装经高温灭菌的2种北京市售“北京烤鸭”（编号A和B）、“燃气烤鸭”（编号D）及绿色制造技术加工的烤鸭（编号L）对比鸭胸肉硬度值、咀嚼性和剪切力。鸭胸肉经剔除可见脂肪和结

缔组织等不利因素后进行分析，每种烤鸭分别取3个不同批次的烤鸭各2只测定，每只分别取样测量5次以上，数值取平均值。

取鸭胸肉修整为1 cm×1 cm×1 cm的正方体，样品在室温下（约20℃）放置24 h，在室温下采用质构仪进行质地多面分析（texture profile analysis，TPA）测定。测试条件：测前速率：4 mm/s，测试速率：2 mm/s，测后速率：4 mm/s，压缩比：50%，时间：5 s，触发力：5 g，探头为P50。沿肌纤维方向取鸭胸肉修整为1 cm×1 cm×3 cm大小的肉样用肌肉嫩度仪测试样品的剪切力。

1.4 数据处理与统计分析

实验数据采用SAS 9.0统计软件进行统计分析。显著性分析采用邓肯氏多重比较（Duncan's检验）法，数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 加工烟气中PM_{2.5}排放情况

表2 烤鸭加工烟气中PM_{2.5}质量浓度（n=6）

Table 2 Concentration of PM_{2.5} in fumes of roast duck processing (n = 6)

加工类型	PM _{2.5} 质量浓度/(μg/m ³)
传统“燃气烤鸭”加工烟气	2 020.00±198.04 ^a
绿色制造技术烤鸭加工烟气	156.00±44.23 ^b

注：同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下同。

传统的烧烤、油炸等加工方式因加工温度高，尤其是食物原料与高温热源直接接触产生的PM_{2.5}等会对产品与环境造成污染^[14-16]。赵五红等^[17]检测了某烤鸭店对周围居民区造成的污染情况显示，烤鸭店周围空气中SO₂浓度、NO_x浓度、总颗粒物浓度及3,4-苯并芘浓度均存在超标现象，其中空气中3,4-苯并芘最高检测质量浓度为13 ng/m³。赵矫健等^[18]报道，厨房煎鱼时排放的PM_{2.5}比我国环境空气质量标准一级限值（35 μg/m³）高了58倍^[19]，最高质量浓度达到2 050 μg/m³。本实验使用燃气烤鸭炉（加工温度250℃）和绿色制造技术（加工温度130℃）分别加工20只烤鸭，其结果如表2所示，燃气烤鸭炉烤鸭加工烟气中PM_{2.5}平均质量浓度为2 020 μg/m³，超过我国环境空气质量标准二级限值（75 μg/m³）25.9倍，而绿色制造技术加工烟气中PM_{2.5}平均排放质量浓度仅为156 μg/m³，仅为传统加工方式的十分之一。对比结果显示，绿色制造技术由于其较低的加工温度和环保的加工方式能显著减少烤鸭加工过程中PM_{2.5}的生成，从而降低对环境的危害。

2.2 3,4-苯并芘检测结果

由表3可知，“北京烤鸭”A、B及“燃气烤鸭”D部分鸭皮样品检测到3,4-苯并芘存在，且最高检出量为“北京烤鸭”A样品，检出量为4.25 μg/kg。本实验不同鸭皮

样品之间及相同鸭皮样品腿部与胸部样品检测结果存在差异,这可能是由于传统加工方式烤鸭加工过程中(如明火烤制)热源不稳定、烤鸭受热不均匀造成的。绿色制造技术加工的烤鸭鸭皮中均未检测到3,4-苯并芘存在。

表3 烤鸭鸭皮中3,4-苯并芘含量
Table 3 Concentration of benzo(a)pyrene in roast duck skins

编号	检出量/ ($\mu\text{g/kg}$)	编号	检出量/ ($\mu\text{g/kg}$)	编号	检出量/ ($\mu\text{g/kg}$)	编号	检出量/ ($\mu\text{g/kg}$)
A1-1	0.88	B1-1	—	D1-1	0.19	L1-1	—
A1-2	0.75	B1-2	—	D1-2	0.14	L1-2	—
A2-1	—	B2-1	1.69	D2-1	—	L2-1	—
A2-2	—	B2-2	0.14	D2-2	—	L2-2	—
A3-1	4.25	B3-1	—	D3-1	0.38	L3-1	—
A3-2	1.63	B3-2	—	D3-2	0.26	L3-2	—

注:—,未检出。下同。

夏贤明等^[20]使用荧光分光光度法检测挂炉和焖炉“北京烤鸭”中3,4-苯并芘含量分别为0.38和0.21 $\mu\text{g/kg}$;杨貌端等^[21]使用荧光分光光度法检测挂炉和焖炉“北京烤鸭”鸭皮中3,4-苯并芘含量,结果显示3,4-苯并芘含量为0.16~1.30 $\mu\text{g/kg}$;Lin Guofang等^[22]使用气相色谱法检测明火加工的“北京烤鸭”鸭皮中3,4-苯并芘最高含量为8.7 $\mu\text{g/kg}$,瘦肉中3,4-苯并芘含量小于1 $\mu\text{g/kg}$,封闭烤箱和电烤箱加工的烤鸭鸭皮和瘦肉中3,4-苯并芘含量小于1 $\mu\text{g/kg}$;杨文侠等^[23]使用液相色谱法检测190 $^{\circ}\text{C}$ 条件下气体射流冲击烤鸭鸭皮中3,4-苯并芘含量为6.83 $\mu\text{g/kg}$ 。由于原料及烤鸭加工方式的差异导致检测也会存在差异。GB/T 5009.27—2003《食品中苯并(a)芘的测定》方法采用荧光分光光度法和目测比色法进行分析,操作过程耗时繁琐、准确度低,尤其是在滤纸上点样和展开时,存在样品斑点扩散大、滤纸背景干扰等问题,导致难以观测到所要取用的荧光斑点,因此本实验使用NY/T 1666—2008《肉制品中3,4-苯并芘高效液相色谱法》进行检测。

传统的加工方式加工温度高使得在烤鸭加工过程中易于生成较多的多环芳烃类物质。对比结果表明,烤鸭绿色制造技术加工温度低,可以降低烤鸭产品中多环芳烃类物质的形成与危害。

2.3 12种杂环胺含量检测结果

表4 烤鸭鸭皮中12种杂环胺含量
Table 4 Concentrations of HAAs in roast duck skins

杂环胺种类	IQ	MeIQx	4,8-DiMeIQx	Norharman	Harman	Trp-P-2	PhIP	AαC	总量
“北京烤鸭”A	—	2.08±0.77	—	8.25±1.34 ^b	5.22±1.07 ^b	—	1.27±0.39 ^b	—	16.82
“北京烤鸭”B	—	—	1.36±0.50 ^b	6.73±1.29 ^b	3.83±1.17 ^b	1.09±0.26 ^b	—	—	13.01
“燃气烤鸭”D	10.94±2.09	—	6.29±1.76 ^b	14.34±2.49 ^b	11.62±1.98 ^b	1.66±0.35 ^b	4.32±0.63 ^b	0.78±0.18	49.95
“绿色烤鸭”L	—	—	—	0.62±0.11 ^c	0.31±0.05 ^c	—	—	—	0.93

肉制品在烘烤过程中生成杂环胺的种类和含量主要取决于肉品的成分、加工方式、烘烤温度和时间,

其中以烘烤温度和时间为主要的影响因素,烘烤温度越高、时间越长,产生的杂环胺种类和含量也就越多^[6]。Solyakov等^[24]发现烤后鸡皮中杂环胺的含量达18.1~26.5 ng/g 。邵斌等^[25]测定了烧鸡皮、烤鸭皮中9种杂环胺含量分别为13.81、65.33 $\mu\text{g/kg}$,烤鸭皮总共检测出6种杂环胺分别为IQ、4,8-DiMeIQx、Norharman、Harman、Trp-P-2、PhIP。Liao Guozhou等^[26]使用不同加工方式加工鸭胸肉检测16种杂环胺生成量,200 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烤箱烘烤鸭胸肉生成了Norharman、Harman、Trp-P-2、Trp-P-1、AαC、MeAαC6种杂环胺,总量为6.82 $\mu\text{g/kg}$ 。Pais等^[27]在275 $^{\circ}\text{C}$ 、25 min烘烤后的鸡胸肉中发现MeIQx和PhIP,烤后的PhIP含量高达37.5 $\mu\text{g/kg}$ 。由表4可知,250 $^{\circ}\text{C}$ 燃气烤鸭炉烤制的“烤鸭”D鸭皮中检测出7种杂环胺,分别为IQ、4,8-DiMeIQx、Norharman、Harman、Trp-P-2、PhIP、AαC,总量高达49.95 $\mu\text{g/kg}$ 。“北京烤鸭”A中检测到了Norharman、Harman、MeIQx与PhIP;“北京烤鸭”B中还存在Trp-P-2;而绿色制造加工的烤鸭仅存在Norharman和Harman 2种杂环胺,总量仅为0.93 $\mu\text{g/kg}$ 。

从肉制品中杂环胺形成原理分析,随着加工温度的上升和加工时间的延长,肉制品中的杂环胺含量会显著上升,MeIQx、PhIP、4,8-DiMeIQx等喹啉类杂环胺一般形成于100~200 $^{\circ}\text{C}$ 的加工温度,氨基喹啉类杂环胺如Trp-P-2、AαC等一般形成于更高加工温度。本实验研究结果中绿色制造技术制作烤鸭鸭皮中12种杂环胺残留种类少,且含量仅为传统加工技术残留量的几十分之一,表明降低加工温度可减少杂环胺的形成。

2.4 鸭表皮色泽分析

表5 烤鸭鸭表皮色泽
Table 5 Skin color of roast duck

指标	L^* 值	a^* 值	b^* 值
“北京烤鸭”A	36.81±0.64 ^c	9.76±0.66 ^b	15.89±1.08 ^c
“北京烤鸭”B	41.43±1.43 ^b	12.96±1.39 ^a	23.89±2.35 ^a
“燃气烤鸭”D	34.97±2.50 ^c	13.33±0.87 ^a	19.85±2.81 ^b
“绿色烤鸭”L	44.22±1.57 ^a	12.16±1.74 ^a	25.67±2.74 ^a

色泽是消费者对肉制品的直观感觉,直接影响着消费者的购买欲与食用欲,是肉制品的重要指标之一。通过色差仪进行测定的 L^* 值代表亮度,数值越小表示肉的颜色越暗。由表5可知,绿色制造技术加工的烤鸭表皮 L^* 值显著大于真空包装的“北京烤鸭”与“燃气烤鸭”(P<0.05)。 a^* 值是指示绿色色调向红色色调的过渡,其值越小说明色调越偏向绿色色调。绿色制造技术加工的烤鸭表皮的 a^* 值显著大于真空包装的“北京烤鸭”A(P<0.05),与“北京烤鸭”B与“燃气烤鸭”D表皮的 a^* 值的差异不显著(P>0.05),表示与“北京烤鸭”B和“燃气烤鸭”D表皮有相近的红色度指示值 a^* 。 b^* 值

是指示蓝色色调向黄色色调的过渡, 值越大说明偏黄色, 绿色制造加工的烤鸭表皮与“北京烤鸭”B表皮的 b^* 值差异不显著($P>0.05$), 与“北京烤鸭”A和“燃气烤鸭”D表皮的 b^* 值差异显著($P<0.05$)。上述结果表明, 绿色制造加工的烤鸭高温灭菌后拥有与“北京烤鸭”有相近的色泽, 呈现艳丽的枣红色, “北京烤鸭”A与“燃气烤鸭”D颜色暗红发黑。对比检测结果说明, 绿色制造技术加工的烤鸭保持了传统烤鸭诱人的色泽, 且颜色更鲜亮, 能够吸引消费者。

2.5 烤鸭鸭胸肉品质分析

表6 烤鸭鸭胸肉硬度、咀嚼性与剪切力分析结果
Table 6 Hardness, chewiness and shear force of roast duck breast

样品名称	硬度/g	咀嚼性	剪切力/N
“北京烤鸭”A	508.49±42.85 ^d	117.83±5.07 ^d	7.90±0.50 ^c
“北京烤鸭”B	659.19±47.55 ^c	158.22±10.57 ^c	8.36±0.49 ^c
“燃气烤鸭”D	896.21±54.60 ^b	223.66±14.49 ^b	11.09±0.49 ^b
“绿色烤鸭”L	1 658.98±97.45 ^a	490.89±60.52 ^a	19.14±1.93 ^a

传统方式生产的烤鸭经高温灭菌后呈现肉质变烂、发面等现象, 食用品质变差。嫩度与咀嚼性是肉制品品质的重要参数, 因此本实验主要选取硬度、咀嚼性和剪切力为烤鸭品质的评价指标来分析不同加工方式生产烤鸭的品质差异。由表6可知, 同样经过高温灭菌绿色制造技术加工的烤鸭硬度、咀嚼性显著高于“北京烤鸭”与“燃气烤鸭”($P<0.05$)。“北京烤鸭”A、“北京烤鸭”B与“燃气烤鸭”D之间硬度、咀嚼性差异显著($P<0.05$), 且硬度与咀嚼性依次提高。王毅明^[28]研究发现高温灭菌对烤鸭产品组织结构破坏程度很大, 从而使肉品的硬度、弹性等减小, 这可能与肉中蛋白、脂肪, 特别是胶原蛋白的受热变性等反应有关。剪切力值对比分析显示, “绿色烤鸭”L剪切力显著高于“北京烤鸭”与“燃气烤鸭”D($P<0.05$); “北京烤鸭”A和B剪切力值无显著差异($P>0.05$), 但显著低于“燃气烤鸭”D($P<0.05$)。由此可以看出, 绿色制造技术加工的烤鸭经高温灭菌后肉质比“北京烤鸭”和“燃气烤鸭”紧致, 并保持了良好的咀嚼性, 其品质明显优于传统加工方式制作的烤鸭。

3 结论

烤鸭绿色制造技术加工排放的烟气中 $PM_{2.5}$ 平均排放质量浓度小于 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 生产的烤鸭色泽红润鲜亮, 经高温灭菌后鸭肉仍然能保持较好的质构特性, 3,4-苯并芘残留量与12种杂环胺残留量均低于 $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。传统烤鸭加工方式 $PM_{2.5}$ 平均排放质量浓度超过 $2\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 传统烤鸭3,4-苯并芘残留量最高检出量 $4.25 \mu\text{g}/\text{kg}$, 12种杂环胺残留量最高检出量 $49.95 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。该技术保持了产品的诱

人色泽, 高温灭菌后的产品品质明显优于传统加工方式制造的产品, 还使产品更加健康美味, 同时使烤鸭加工过程绿色环保, 适合未来工业化推广。

参考文献:

- [1] 葛志祥, 徐吉浣. 燃气红外辐射烤鸭炉的研制[J]. 上海煤气, 2000(5): 42-44.
- [2] 唐刚. 香辣电烤鸭加工方法[J]. 农村百事通, 2010(19): 20.
- [3] 董振祥. “酥不腻”烤鸭机理浅析[J]. 中国烹饪, 2000(9): 28-29.
- [4] 杨文侠, 张世湘, 姜新杰, 等. 气体射流冲击烤鸭加工装备技术及食用安全性评估[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(2): 116-120.
- [5] CHEN B H, LIN Y S. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons during processing of duck meat[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(4): 1394-1403.
- [6] 冯云, 彭增起, 崔国梅. 烘烤对肉制品中多环芳烃和杂环胺含量的影响[J]. 肉类工业, 2009(8): 27-30.
- [7] THIEBAUD H P, KNIZE M G, KUZMICKY P A, et al. Mutagenicity and chemical analysis of fumes from cooking meat[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(7): 1502-1510.
- [8] 邵斌, 彭增起. 传统烧鸡加工业面临的挑战和机遇[J]. 肉类研究, 2011, 25(5): 33-36.
- [9] 彭增起, 吕慧超. 绿色制造技术: 肉类工业面临的挑战与机遇[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 345-348.
- [10] 吕慧超, 彭增起, 刘彪. 绿色制造技术在我国肉类工业中的发展[J]. 肉类工业, 2013(6): 45-49.
- [11] 彭增起. 苏鸡加工工艺: 中国, 200910181203.4[P]. 2009-07-20.
- [12] GROSS G A, GRÜTER A. Quantitation of mutagenic/carcinogenic heterocyclic aromatic amines in food products[J]. Journal of Chromatography, 1992, 592(1/2): 271-278.
- [13] 万可慧, 彭增起, 邵斌, 等. 高效液相色谱法测定牛肉干制品中10种杂环胺[J]. 色谱, 2012, 30(3): 290-296.
- [14] KLEEMAN M J, SCHAUER J J, CASS G R. Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from wood burning, meat charbroiling, and cigarettes[J]. Environmental Science & Technology, 1999, 33(20): 3516-3523.
- [15] ZHAO Yunliang, HU Min, SJAAK S, et al. Chemical compositions of fine particulate organic matter emitted from Chinese cooking[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(1): 99-105.
- [16] 刘中文, 孙咏梅, 裴著革. 烹调油烟雾中有机成分的分析[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(9): 1046-1048.
- [17] 赵五红, 杨文敏, 原福胜, 等. 某烤鸭店对周围居民区污染的检测分析[J]. 山西医科大学学报, 2003, 34(1): 35-36.
- [18] 赵矫健, 康格格. 厨房煎鱼 $PM_{2.5}$ 超标58倍[N]. 华商晨报, 2012-05-09(A07).
- [19] GB 3095—2012 环境空气质量标准[S].
- [20] 夏贤明, 吴美云, 饶泽青. 北京烤鸭、烤羊肉串中3,4-苯并芘的测定[J]. 食品科学, 1985, 6(1): 1-3.
- [21] 杨貌端, 杜学勤. 北京烤鸭中3,4-苯并芘含量调查报告[J]. 食品科学, 1986, 7(7): 40-41.
- [22] LIN Guofang, STEFAN W, BILLY T, et al. The occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in Peking duck: relevance to food safety assessment[J]. Food Chemistry, 2011, 129(2): 524-527.
- [23] 杨文侠, 张世湘, 姜新杰, 等. 气体射流冲击烤鸭加工技术及抑制多环芳烃研究[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 90-95.
- [24] SOLYAKOV A, SKOG K. Screening for heterocyclic amines in chicken cooked in various ways[J]. Food and Chemical Toxicology, 2002, 40(8): 1205-1211.
- [25] 邵斌, 彭增起, 杨洪生, 等. 固相萃取-高效液相色谱法同时测定传统禽肉制品中的9种杂环胺类化合物[J]. 色谱, 2011, 29(8): 755-761.
- [26] LIAO Guozhou, WANG Guiying, XU Xinglian, et al. Effect of cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and duck breast[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 149-154.
- [27] PAIS P, SALMON C P, KNIZE M G, et al. Formation of mutagenic/carcinogenic heterocyclic amines in dry-heated model systems, meats, and meat drippings[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(3): 1098-1108.
- [28] 王毅明. 调理鸭肉制品的加工工艺及货架期研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 21-22.