

食用菌添加对鸭肉乳化肠品质特性的影响

陈坤朋, 余依敏, 夏 强, 何 俊, 孙杨赢, 党亚丽, 曹锦轩, 潘道东*

(宁波大学食品与药学学院, 浙江省动物蛋白食品精深加工技术重点实验室, 浙江 宁波 315800)

摘 要: 研究香菇、松露、松茸的添加对鸭肉乳化肠(简称鸭肉肠)品质及感官特性的影响。分别将质量分数为0.80%香菇、松露、松茸的粉末添加到鸭肉肠中, 考察添加物对鸭肉肠颜色、质构、脂肪氧化、游离氨基酸和游离脂肪酸含量的影响, 并进行电子舌和感官评价分析。结果表明: 与对照组相比, 香菇、松露、松茸的添加增加了鸭肉肠中不饱和游离脂肪酸和游离氨基酸含量, 氨基酸总量分别提高了38.0%、34.0%和27.0%。食用菌的添加抑制了鸭肉肠的脂肪氧化程度, 鸭肉肠硬度和咀嚼度降低, L^* 、 a^* 和 b^* 均有不同程度的变化, 同时鲜味强度提高, 而添加松茸的鸭肉肠鲜味强度最大, 电子舌可以对不同组别的鸭肉肠进行区分。香菇、松露和松茸的添加使鸭肉肠有更好的整体可接受性, 因此食用菌添加可以作为提高乳化肠制品品质的一种有效的方法。

关键词: 食用菌; 鸭肉乳化肠; 脂肪氧化; 游离氨基酸; 滋味

Effect of Addition of Edible Mushrooms on the Quality Characteristics of Emulsified Duck Sausage

CHEN Kunpeng, YU Yimin, XIA Qiang, HE Jun, SUN Yangying, DANG Yali, CAO Jinxuan, PAN Daodong*

(Key Laboratory of Food Deep Processing Technology of Animal Protein of Zhejiang Province,
College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315800, China)

Abstract: The aim of the work was to evaluate the effect of the addition of *Lentinula edodes* (LE), truffle (TR) or *Tricholoma matsutake* (TM) on the quality and sensory characteristics of emulsified duck sausage. Sausage samples were prepared with the addition of 0.8% (m/m) LE, TR and TM powders, respectively, and their color, texture, lipid oxidation, and contents of amino acids and free fatty acids were evaluated. Electronic tongue analysis and sensory evaluation were also performed. Addition of LE, TR and TM significantly increased the contents of free fatty acids and free amino acids (FAA), resulting in 38.0%, 34.0% and 27.0% increase in the total amount of free amino acids, respectively. Lipid oxidation of sausages was effectively inhibited by the addition of these edible mushrooms. They decreased hardness and chewiness. caused changes in L^* , a^* , and b^* values to different degrees, and enhanced umami intensity with the greatest effect being observed by the addition of TM. Sausages added with the edible mushrooms could be discriminated clearly by electronic tongue. Addition of each of the mushrooms imparted better overall sensory acceptance to emulsified duck sausage, and therefore could represent an effective way to improve the quality of emulsified sausage products.

Keywords: edible mushroom; emulsified duck sausage; lipid oxidation; free amino acids; taste

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191028-305

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 18-0251-07

引文格式:

陈坤朋, 余依敏, 夏强, 等. 食用菌添加对鸭肉乳化肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 251-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191028-305. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Kunpeng, YU Yimin, XIA Qiang, et al. Effect of addition of edible mushrooms on the quality characteristics of emulsified duck sausage[J]. Food Science, 2020, 41(18): 251-257. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191028-305. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2019-10-28

基金项目: 宁波市公益性项目(202002N3076); 国家现代农业(水禽)产业技术体系建设专项(CARS-42-25)

第一作者简介: 陈坤朋(1994—)(ORCID: 0000-0003-4884-2189), 男, 硕士, 研究方向为畜产食品加工及检测。

E-mail: ningdapengpeng@163.com

*通信作者简介: 潘道东(1964—)(ORCID: 0000-0003-2935-9781), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工及检测技术。

E-mail: daodongpan@163.com

肉和肉制品是脂肪、蛋白质、矿物质和维生素的重要来源,并且是饮食中不可缺少的一部分^[1]。2018年我国禽肉产量为1 994万 t,呈现为逐年增长的趋势^[2],鸭肉的加工利用也得到了一定的发展,其中鸭肉乳化肠类制品逐渐增多。

乳化肠因其独特的质构和风味深受消费者喜爱,但其中含有较多的脂肪、胆固醇及饱和脂肪酸,摄入过多可能会增加某些流行性疾病和慢性疾病的风险。另外,由于脂肪含量较高,产品容易发生脂肪氧化从而导致产品品质降低。目前,大量的天然性原料已经被运用到肉制品中,如核桃青皮^[3]、香料浸出液^[4]、绿茶提取物^[5]等。结果显示,它们能抑制肉制品脂肪氧化、改善产品营养品质和风味,因此,在肉制品中加入健康的生物活性成分和功能性成分已经成为一种趋势^[6],这些添加物改善肉制品的品质、增加产品的膳食和营养特性方面起到了很好的作用^[7]。

食用菌及其制品不仅滋味独特而且因为含有的膳食纤维(β -葡聚糖)、不饱和脂肪酸、氨基酸、矿物质和抗氧化物质还被作为一种功能性食品^[8]。已有研究表明,食用菌在肉制品生产中能改善多种理化性质与品质特性。如Stephan等^[9]将杏鲍菇作为素食肉制品中蛋白质的来源;Choe等^[10]将金针菇粉引入肉糜体系提高了肉糜的乳化性;Lee等^[11]用香菇和松茸的浸出液浸泡牛肉发现其能促进蛋白质降解达到嫩化牛肉的作用。香菇是一种传统美味食用菌,它占据了我国食用菌产量的20%^[12],其固有的生物活性成分具有抗病毒能力和预防心血管疾病的药用价值^[13]。松露因为独特的风味以及对健康益处被认为是极具经济价值的优良食用菌,它的不饱和脂肪酸尤其是亚油酸含量较高,除此之外松露还具有抗炎、抗氧化、抗菌和免疫抑制的作用^[14]。松茸被称为“绿色黄金”,富含的多糖具有抗氧化抗肿瘤的功能^[15]。

因此,基于其显著益生性,上述3种食用菌在弥补乳化肠质量缺陷、强化健康属性以生产功能性肉制品具备巨大潜力。香菇、松露、松茸的功能价值得到了越来越广泛的验证^[16-17],但将其添加到鸭肉乳化肠中探究对其品质的影响鲜见报道,因此本实验将干制香菇、松露和松茸磨粉后添加到鸭肉乳化肠中探究其对鸭肉乳化肠的质地、颜色、脂肪氧化、游离氨基酸、游离脂肪酸、滋味和感官等品质参数的变化,以期对鸭肉肠营养及品质特性提高和新工艺研究开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香菇、松茸、黑松露(均为冻干品) 云南拇指菌业有限公司;鸭胸肉 河南华英农业发展股份有限

公司;猪背膘 市购;羊肠肠衣 河清肠衣有限公司;食盐、TG酶、 β -环糊精、亚硝酸钠、复合磷酸盐、异抗坏血酸钠、花椒粉、白酒、谷氨酸钠均为食品级;硫代巴比妥酸、三氯甲烷、乙醚(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;14%三氟化硼-甲醇溶液、正己烷、高氯酸、乙酸、三氯乙酸(均为分析纯) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;十七酸甲酯(标准品) Sigma-Aldrich(上海)公司。

1.2 仪器与设备

CR-440色差仪 柯尼卡美能达办公系统(中国)有限公司;XHF-D高速分散器 宁波新芝生物科技有限公司;BJRJ-82型绞肉机 嘉兴艾博实业有限公司;7890B-7000C气相色谱-三重四极杆质谱联用仪 美国Agilent科技有限公司;Isenso, Smartongue电子舌 上海瑞玢科技有限公司;L-8900氨基酸分析仪 日本日立公司;BZBJ-20型斩拌机 嘉兴艾博实业有限公司;TA.XT plus质构仪 英国Stable Micro System公司;Infinte 200PRO型酶标仪 瑞士Tecan公司;DN-36W氮吹仪 上海比朗仪器有限公司;RE-2000A旋转蒸发器 西安禾普生物科技有限公司;JX100-2恒温金属浴 上海净信实业发展有限公司;5804R冷冻离心机 德国艾本德股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 食用菌粉的制备

将准备好的3种干燥食用菌子实体用粉碎机磨粉,过100目筛后分别用密封袋分装,具体为香菇粉(LEP)、松露粉(TRP)、松茸粉(TMP)。并将其放入干燥器中室温条件下贮存,以供进一步使用。

1.3.2 鸭肉乳化肠的加工

本研究制作4种类型的鸭肉乳化肠,每种类型的鸭肉肠按相同的工艺生产3个批次,每个批次鸭肉肠中鸭胸肉1.6 kg、猪背膘0.4 kg、辅料添加量按照鸭胸肉与猪背膘总质量的百分比添加,按产品类型分为4组,其中对照组(C)不添加菌菇粉,其他3组添加不同种类的食用菌菇粉,分别为添加香菇鸭肉肠组(LE)、松露鸭肉肠组(TR)、松茸鸭肉肠组(TM),配方如表1所示。

乳化肠制备工艺流程:以鸭胸肉为原料剔除其中的结缔组织,切成3 cm的立方块,在6 mm孔板绞肉机中绞碎,加入盐、亚硝酸钠、 β -环糊精和多聚磷酸盐混匀,使用斩拌机斩拌腌制好的原料肉,并按顺序依次加入食用菌粉、白酒、花椒粉、TG酶和猪背膘,斩拌期间不断加入冰水控制肉糜温度在10℃以下。3 min后斩拌完成,使用小型灌肠机将肉糜灌入处理好的羊肠肠衣(直径25 mm)中,在75℃条件下煮制40 min。并迅速将其在冰水中冷却,于4℃条件下保存备用。

表1 添加食用菌的鸭肉乳化肠的生产加工方案

Table 1 Formulations of emulsified duck sausages added with different kinds of edible mushrooms

成分	质量分数/%			
	C	LE	TR	TM
食盐	2	2	2	2
谷氨酰胺转氨酶	0.30	0.30	0.30	0.30
冰水	20	20	20	20
β -环糊精	0.10	0.10	0.10	0.10
亚硝酸钠	0.01	0.01	0.01	0.01
复合磷酸盐	0.4	0.4	0.4	0.4
白酒	1	1	1	1
花椒粉	0.04	0.04	0.04	0.04
LEP		0.8		
TRP			0.8	
TMP				0.8

1.3.3 脂肪氧化的测定

过氧化值 (peroxide value, POV) 的测定参考Gu Xinzhe等^[18]的方法; 脂肪提取参照GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》^[19]。

硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substance, TBARS) 值的测定根据Wang Ying等^[20]的方法并略作修改, 2 g样品绞碎冰浴条件下, 加入10 mL 17.5%三氯乙酸溶液, 在2 500 r/min匀浆20 s。过滤匀浆液, 向滤液中加入1 mL 0.02 mol/L的硫代巴比妥酸溶液并混合均匀。沸水浴中保持35 min, 冷却后, 2 000×g离心5 min, 向上清液中加入1 mL三氯甲烷, 混匀静置分层。取上清液体在波长532 nm和600 nm处测量吸光度。TBARS值按下式计算:

$$\text{TBARS值}/(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532\text{ nm}} - A_{600\text{ nm}}}{155} \times 0.5 \times 72.6 \times 1\,000$$

式中: $A_{532\text{ nm}}$ 、 $A_{600\text{ nm}}$ 分别为待测液在波长532 nm及600 nm处的吸光度。

1.3.4 游离氨基酸的测定

根据陶正清等^[21]的方法并作适当修改。将样品绞碎并冷冻干燥后, 称取4 g加入20 mL质量浓度为3 g/100 mL的碘基水杨酸溶液, 用高速分散器均质后4 ℃、10 000 r/min离心15 min, 取上层清液加入2 mL正己烷, 涡旋振荡混匀, 用0.02 mol/L盐酸定容至50 mL, 静置分层后用0.22 μm 滤膜过滤, 用氨基酸自动分析仪检测。结果按干基计。

1.3.5 游离脂肪酸的测定

参考Regueiro等^[22]的方法进行样品中脂质的提取与纯化, 取纯化的20 mg脂肪溶解于1 mL的三氯甲烷中, 将溶液转移至用氯仿活化后的氨基丙二硅酸盐小柱中, 首先使用2 mL氯仿-异丙醇 (2:1, *V/V*) 去除中性脂质; 然后通过3.0 mL质量分数2%乙酸的乙醚溶液洗脱得到游离脂肪酸。

用氮吹仪将溶剂挥干后加入2 mL 14%三氟化硼-甲醇溶液并用涡旋振荡仪混匀后加入十七酸甲酯作为内标

物, 在60 ℃条件下甲基化30 min, 然后加入2,2-甲基丙烷作为脱水剂。冷却后加入1 mL超纯水和1 mL正己烷, 剧烈摇动5 s后静置1 h。上层清液转移至样品瓶中用氮吹仪挥干然后加入1 mL正己烷溶解以备气相色谱分析^[20]。

色谱条件: CD-2560色谱柱 (100 m×250 μm , 0.2 μm); 升温程序: 以6 ℃/min从160 ℃升温至220 ℃, 并保持30 min; 进样口和检测器温度维持在280 ℃; 载气为氮气, 压力保持在80 kPa, 进样量1.5 μL ; 分流比为1:40。

质谱条件: 电子电离源; 离子源温度250 ℃; 电子能量70 eV; 质量扫描范围 m/z 30~500。

定性定量方法: 通过NIST Library数据库匹配定性, 十七酸甲酯作内标定量。

1.3.6 色差测定

使用色差仪对样品进行色度值分析, 色差仪使用前在白板上进行校准。然后将乳化肠样品切成15 mm×25 mm的薄片, 其结果用 L^* (亮度)、 a^* (红度值) 和 b^* (黄度值) 表示。选择肠体4个随机位置切片测定4次, 室温条件下使用D65光源, 10°角观察。

1.3.7 质构测定

参考Olmedilla-Alonso等^[1]的方法并略作修改, 将香肠样品切成25 mm高的圆柱形, 探头类型P/50, 测试速率2 mm/s, 触发力5 g。探头校准高度为30 mm, 返回速率为10 mm/s。将样品放置在测试平台中央, 压缩比为50%。测量结果以硬度、弹性、回复力、咀嚼性表示。

1.3.8 电子舌分析

参考Dang Yali等^[23]的方法并略作修改。准确称取2 g待测样品, 加入25 mL去离子水, 高速匀浆20 s, 超声5 min, 静置后在10 000 r/min离心15 min, 去除上层油脂后过滤, 离心沉淀重复以上步骤, 合并滤液定容到100 mL。取溶液15 mL加入到电子舌专用样品杯中, 使用去离子水作为清洗剂, 样品采集时间为180 s, 测量后的清洗时间为2~3 min, 每隔1 s收集一次样品数据, 并将测量值的平均值作为一次的测量数据。为了消除误差, 每次测量重复6次, 将具有相似性的3个测量值作为主成分分析 (principal component analysis, PCA) 的原始数据。为了比较鸭肉肠鲜味强度上的差别, 以不同浓度梯度的谷氨酸钠溶液作为参照。

1.3.9 感官评价

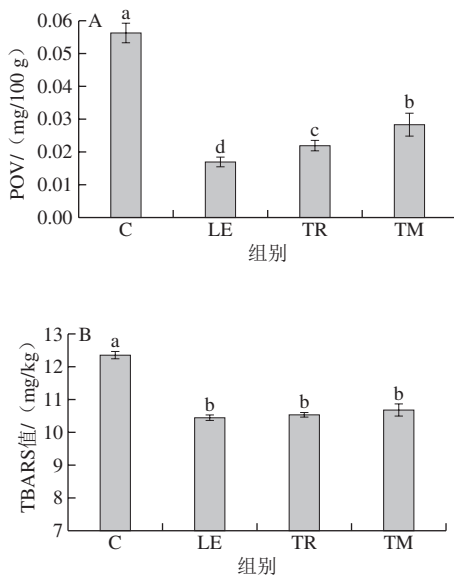
感官评定小组由20人组成, 从农畜产品加工实验的学生中挑选熟悉本产品的成员进行培训, 具体培训过程参考Carpenter等^[24]的方法, 4组样品的感官评定分2 d进行2次, 在每天的下午3点钟进行, 午饭后3 h。样品在蒸汽下加热12 min, 切成1 cm的薄片, 样品之间每个小组成员需清水漱口, 应用盲评计分形式进行。

1.4 数据处理

本实验使用SPSS 23进行显著性分析、方差分析和多重比较, $P<0.05$, 数据间存在显著性差异, 每个实验重复3次, 结果以 $\bar{x}\pm s$ 表示。采用Origin 9.1进行数据整理和作图。

2 结果与分析

2.1 食用菌添加对鸭肉脂肪氧化的影响



不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图1 添加食用菌对鸭肉乳化肠POV (A) 和TBARS值 (B) 的影响
Fig. 1 Effects of edible mushrooms on POV (A) and TBARS value (B) of emulsion-type duck sausages

脂肪是肉制品特别是肉糜制品口感、风味和物化性质稳定的重要基础成分之一, 但脂肪在肉制品加工过程中容易发生脂肪氧化, 这是造成其风味和品质下降的主要原因^[25]。

如图1所示, 与C组相比, 添加食用菌粉的鸭肉肠POV和TBARS值都显著降低 ($P<0.05$)。这可能与香菇、松露、松茸中含有大量多糖、多酚和黄酮类物质有关^[26-27], 研究表明这些物质具有良好的抗氧化能力。如图1A所示, C组的POV显著高于LE、TR、TM组, 表明C组的氧化程度最高, 添加组LE、TR、TM之间具有显著性差异, 其中以LE组抑制作用最强 ($P<0.05$)。由图1B可知, LE、TR、TM组的TBARS值都显著低于C组, 且处理组之间没有显著性差异。这表明3种食用菌的添加均对脂肪氧化产生了抑制作用, 与Choe等^[10]将金针菇应用于广式香肠和Wang Xuping等^[28]将金针菇应用于乳化肠的抗氧化作用结果相似, 均显著降低了产品的脂肪氧化程度。

2.2 食用菌添加对鸭肉肠氨基酸成分的影响

表2 添加食用菌对鸭肉乳化肠氨基酸含量的影响
Table 2 Amino acid profiles of emulsion-type duck sausages added with different kinds of mushroom

	mg/g						
氨基酸	C	LE	TR	TM	LEP	TRP	TMP
天冬氨酸 (Asp)	0.12±0.02 ^d	0.59±0.02 ^b	0.79±0.02 ^a	0.37±0.02 ^c	15.11±0.14	16.12±0.16	11.52±0.13
谷氨酸 (Glu)	4.19±0.06 ^c	4.97±0.02 ^a	4.66±0.07 ^b	4.89±0.10 ^a	36.00±0.16	32.72±0.71	27.90±0.36
鲜味氨基酸总量	4.31±0.06 ^c	5.56±0.01 ^a	5.45±0.08 ^a	5.26±0.11 ^b	51.11±0.02	48.83±0.55	39.42±0.23
苏氨酸 (Thr) *	0.47±0.04 ^b	0.65±0.07 ^a	0.61±0.05 ^a	0.59±0.09 ^b	8.44±0.13	6.40±0.21	5.67±0.18
丝氨酸 (Ser)	ND	0.15±0.02	ND	ND	0.79±0.04	0.60±0.06	0.69±0.04
脯氨酸 (Pro)	ND	ND	0.33±0.03	ND	1.75±0.11	1.00±0.15	0.91±0.08
甘氨酸 (Gly)	0.93±0.04 ^c	1.09±0.04 ^b	1.32±0.03 ^a	1.13±0.07 ^b	6.12±0.08	8.10±0.16	6.82±0.12
丙氨酸 (Ala)	0.28±0.05 ^b	0.42±0.06 ^a	0.43±0.03 ^a	0.47±0.06 ^a	11.64±0.15	12.93±0.08	10.83±0.09
半胱氨酸 (Cys)	0.05±0.02	0.06±0.01	0.06±0.02	0.07±0.02	0.94±0.03	0.87±0.04	0.80±0.05
缬氨酸 (Val) *	0.45±0.03 ^b	0.53±0.03 ^a	0.51±0.01 ^a	0.56±0.03 ^a	10.75±0.16	8.35±0.14	7.33±0.24
甲硫氨酸 (Met) *	0.36±0.02 ^b	0.45±0.03 ^b	0.50±0.11 ^a	0.52±0.04 ^a	3.79±0.16	4.09±0.19	2.66±0.57
异亮氨酸 (Ile) *	0.21±0.03 ^c	0.35±0.03 ^a	0.28±0.04 ^b	0.29±0.04 ^b	7.16±0.21	6.44±0.16	5.46±0.17
亮氨酸 (Leu) *	0.51±0.02 ^d	0.82±0.03 ^a	0.75±0.04 ^a	0.60±0.02 ^c	9.12±0.15	7.19±0.29	4.32±0.16
苯丙氨酸 (Phe) *	0.64±0.04 ^c	0.83±0.03 ^a	0.81±0.02 ^a	0.72±0.02 ^b	9.40±0.24	8.60±0.17	7.37±0.20
组氨酸 (His)	0.48±0.01 ^c	0.47±0.01 ^c	0.51±0.01 ^b	0.60±0.01 ^a	3.60±0.21	4.23±0.16	5.20±0.26
酪氨酸 (Tyr)	0.24±0.01 ^c	0.40±0.01 ^a	0.34±0.02 ^b	0.36±0.04 ^b	6.31±0.26	5.41±0.24	5.48±0.21
赖氨酸 (Lys) *	0.32±0.03 ^c	0.95±0.04 ^a	0.51±0.01 ^b	0.56±0.04 ^b	3.65±0.16	2.42±0.14	2.26±0.16
精氨酸 (Arg)	ND	0.06±0.01	ND	ND	0.72±0.08	0.60±0.03	0.54±0.06
必需氨基酸含量	2.96±0.04 ^c	4.57±0.08 ^a	3.97±0.12 ^b	3.85±0.16 ^b	52.29±1.22	43.46±0.98	35.08±1.17
总含量	9.25±0.11 ^d	12.79±0.16 ^a	12.39±0.09 ^b	11.73±0.25 ^c	135.25±2.03	126.03±2.23	105.75±2.19

注: ★必需氨基酸; 同行不同字母表示差异显著 ($P<0.05$); ND.未检出。下同。

由表2可知, 鸭肉肠共检测出17种游离氨基酸, 其中谷氨酸、组氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、苏氨酸是各组鸭肉肠含量较高的氨基酸。在添加食用菌后的鸭肉肠大多数氨基酸含量显著增加 ($P<0.05$), 与C组相比LE、TR、TM组鸭肉肠氨基酸总量分别增加了38.0%、34.0%、27.0%, 必需氨基酸含量增加了54%、34%、30%。这是因为香菇、松露、松茸中本身含有大量的氨基酸^[9,29], 与C组相比各添加组鸭肉肠氨基酸增加大致与食用菌本身氨基酸含量大小有关, 另外食用菌中存在蛋白酶^[30], 这些蛋白酶能将肉中的蛋白质水解成氨基酸以促进鸭肉肠中氨基酸含量的增加。其中, 添加组鸭肉肠中赖氨酸含量显著增加, 而香菇、松露、松茸中本身赖氨酸含量较低, 这可能是因为赖氨酸在蛋白质的水解过程中更容易释放^[31]。因此各添加组 (LE、TR、TM) 鸭肉肠之间氨基酸含量差异与食用菌本身氨基酸含量和酶的种类与数量有关。

与C组相比添加食用菌后的鸭肉肠, 其鲜味氨基酸谷氨酸和天冬氨酸的含量显著增加, 因此可以促使鸭肉肠滋味更丰富鲜美。氨基酸含量的增加一方面是因为其中食用菌本身富含的氨基酸, 另一方面是其中蛋白酶水解肉中蛋白质产生的氨基酸, 氨基酸作为鸭肉肠中主要的营养成分, 不仅能改变产品的滋味, 而且对挥发性成分的形成也有潜在影响。

2.3 食用菌添加对鸭肉肠游离脂肪酸成分的影响

表3 添加食用菌鸭肉乳化肠对游离脂肪酸成分的影响
Table 3 Free fatty acids profiles of emulsion-type duck sausages added with different kinds of mushroom

游离脂肪酸	含量/(mg/g)			
	C	LE	TR	TM
C _{8:0}	ND	ND	ND	0.09±0.01
C _{11:0}	ND	0.08±0.01	ND	ND
C _{12:0}	ND	0.06±0.01	0.05±0.01	ND
C _{14:0}	0.21±0.01	0.20±0.03	0.19±0.01	0.19±0.01
C _{15:0}	ND	0.07±0.02	ND	ND
C _{16:0}	16.19±0.07	16.17±0.03	16.19±0.03	16.18±0.01
C _{16:1}	ND	0.05±0.01	ND	0.06±0.01
C _{18:0}	12.62±0.08	12.48±0.14	12.61±0.07	12.51±0.05
C _{18:1}	3.15±0.14 ^b	3.57±0.01 ^a	3.43±0.20 ^a	3.55±0.03 ^a
C _{18:2}	1.38±0.05 ^b	1.68±0.05 ^a	1.71±0.06 ^a	1.62±0.06 ^a
Σ饱和脂肪酸	29.01±0.07	29.05±0.33	29.04±0.09	28.97±0.05
Σ单不饱和脂肪酸	3.15±0.14 ^b	3.62±0.01 ^a	3.43±0.20 ^a	3.61±0.04 ^a
Σ多不饱和脂肪酸	1.38±0.05 ^b	1.68±0.05 ^a	1.71±0.06 ^a	1.62±0.06 ^a
总量	33.54±0.20 ^b	34.35±0.41 ^a	34.18±0.06 ^a	34.21±0.13 ^a

如表3所示,不同种类食用菌的添加丰富了鸭肉肠脂肪酸的种类,并且提高了游离脂肪酸的总含量。鸭肉肠各组之间饱和脂肪酸含量无显著差异($P>0.05$),但是不饱和脂肪酸含量差异显著($P<0.05$),与C组相比LE、TR、TM显著提高了鸭肉肠不饱和脂肪酸的含量,尤其是油酸(C_{18:1})和亚油酸(C_{18:2})2种不饱和脂肪酸含量显著增加,可能是由于食用菌中本身脂肪酸含量差异引起的,研究表明食用菌中主要的脂肪酸是油酸和亚油酸2种不饱和脂肪酸^[32],且香菇、松露、松茸这3种不饱和脂肪酸含量占总脂肪酸含量的60%~70%^[11,33-34]。

因此LE、TR、TM的添加能够增加鸭肉肠中的不饱和脂肪酸的含量,从而提高了鸭肉肠的营养特性。

2.4 食用菌添加对鸭肉乳化肠颜色的影响

表4 不同食用菌鸭肉乳化肠颜色参数
Table 4 Color parameters of emulsified duck sausages added with various kinds of mushroom

指标	C	LE	TR	TM
L^*	62.96±0.44 ^a	61.03±0.60 ^b	60.81±0.61 ^b	61.43±0.37 ^b
a^*	8.69±0.25 ^a	6.26±0.17 ^c	6.13±0.37 ^c	7.36±0.25 ^b
b^*	10.55±0.39 ^b	11.56±0.23 ^a	11.37±0.40 ^a	11.64±0.25 ^a

由表4可知,各组鸭肉肠中C组的 L^* 值最高,不同食用菌LE、TR、TM添加的鸭肉肠 L^* 值与C组相比显著下降($P<0.05$),添加组之间鸭肉肠 L^* 值没有显著性差异。食用菌粉的添加显著降低了鸭肉肠的 a^* 值,且C组与TR、LE具有显著性差异($P<0.05$),可能和添加物本身的颜色差异有关。与C组相比实验组显著增加了鸭肉肠的 b^* 值,部分原因可能是食用菌本身富含膳食纤维,有研究证明黄色/白色的纤维添加进肉制品中会提高其 b^* 值^[35]。

2.5 食用菌添加对鸭肉乳化肠质构的影响

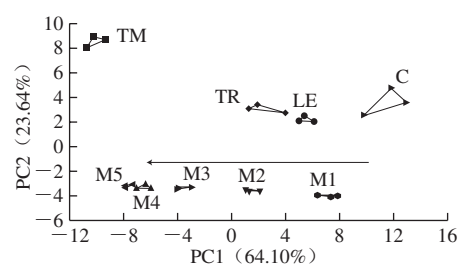
表5 不同食用菌鸭肉乳化肠质构特性
Table 5 Textural profiles of emulsion-type duck sausages added with various kinds of mushroom

组别	硬度/N	弹性/cm	内聚力/(N·S)	咀嚼性/(N·cm)
C	2 557.2±35.3 ^a	0.86±0.03	0.81±0.00 ^a	1 764.9±82.9 ^a
LE	2 272±58.2 ^b	0.86±0.24	0.78±0.06 ^b	1 523.1±19.3 ^b
TR	1 874.9±57.2 ^c	0.84±0.00	0.76±0.06 ^b	1 197.6±77.5 ^c
TM	2 201.7±274.6 ^b	0.87±0.02	0.80±0.02 ^a	1 560.4±51.0 ^b

由表5可知,不同种类的食用菌添加后对鸭肉肠的质构都产生了一定的影响,LE、TR、TM与C组相比内聚力有所下降,但各组之间鸭肉肠的弹性无显著性差异($P>0.05$)。

硬度和咀嚼性随着各种食用菌的添加有所下降($P<0.05$),原因可能是食用菌中膳食纤维含量较高,Choe等^[10]发现在肉制品中添加膳食纤维能降低其硬度、咀嚼性和内聚力。其中TR组硬度和咀嚼性降低最多,LE和TM组差异不显著,TR组和LE、TM组相比有显著性差异($P<0.05$),可能是松露比香菇和松茸含有更多的膳食纤维,而香菇和松茸间膳食纤维含量相似。Cheung^[36]综述了各种食用菌的膳食纤维含量,可以看出松露中膳食纤维的含量超出香菇和松茸近2倍。Han Minyi等^[37]证明膳食纤维能破坏肉品种蛋白质的凝胶网络结构,从而一定程度上降低凝胶强度。另外食用菌中含有的蛋白水解酶,可以把鸭肉肠中的小部分蛋白质水结成氨基酸和肽,从而对鸭肉肠质构产生一定的影响。

2.6 食用菌添加对鸭肉肠滋味的影响



M1. 0.1% MSG; M2. 0.2% MSG; M3. 0.3% MSG; M4. 0.4% MSG.

图2 食用菌鸭肉乳化肠电子舌结果图

Fig. 2 PCA plot of electronic tongue data for taste characteristics of emulsified duck sausages added with different kinds of edible mushroom

如图2所示,累计贡献率为87.74%,说明基本能够反映整体样品的差异性信息。各组鸭肉肠分布在不同的区域,说明添加食用菌可以改变鸭肉肠的滋味特性。由于食用菌本身具有强烈的鲜味,因此选择通过参照谷氨酸钠溶液作为参照观察鸭肉肠鲜味程度,基于谷氨酸钠溶液鲜味强度的线性关系,可以看出箭头的方向代表鲜味强度不断增强。可以得出鲜味强度关系为TM>TR>

LE>C, 即食用菌的添加提高了鸭肉肠的鲜味强度。结合表2结果中鸭肉肠中氨基酸含量的变化, 推测鸭肉肠滋味的改变与鲜味氨基酸含量增加有关, 由PCA结果可以得出结论即食用菌的添加可以改变鸭肉肠的滋味特性。

2.7 感官评价

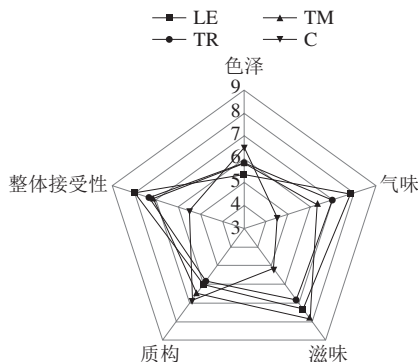


图3 食用菌鸭肉乳化肠的感官特性

Fig. 3 Sensory properties of duck sausages added with various kinds of mushrooms

如图3所示, 与C组相比食用菌添加组在质构和色泽方面分数较低, 此结果与表4、5关于鸭肉肠颜色和质构测量的结果一致。香菇、松茸和松露引入提高了鸭肉肠的滋味和气味的感官分数, 这可能是因为食用菌提高了鸭肉肠风味。LE整体可接受性最高, 其次是TR和TM, 而C组分数最低, 这表明气味和滋味在鸭肉肠整体可接受性上起着重要作用。

3 结论

香菇、松露和松茸的添加是一种提高鸭肉肠品质的有效方法, 可以降低鸭肉肠脂肪氧化程度, 增加产品的稳定性, 优化产品的营养结构, 使鸭肉肠中游离氨基酸和游离脂肪酸的含量得到了不同程度提升。通过电子舌PCA表明LE、TR和TM与C组滋味上产生差异, 添加食用菌使鸭肉肠鲜味增强, 感官上具有更好的整体可接受性。但是由于食用菌对鸭肉肠质构和颜色改变, 需要进一步研究加工过程和配方优化控制其产生的不利影响。

参考文献:

- [1] OLMEDILLA-ALONSO B, JIMÉNEZ-COLMENERO F, SÁNCHEZ-MUNIZ F J. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods[J]. Meat Science, 2013, 95(4): 919-930. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.03.030.
- [2] 2018年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2019-02-28) [2019-10-01]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html.
- [3] SALEJDA A M, JANIEWICZ U, KORZENIOWSKA M, et al. Effect of walnut green husk addition on some quality properties of cooked sausages[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 751-757. DOI:10.1016/j.lwt.2015.08.069.

- [4] KONG B H, ZHANG H Y, XIONG Y L. Antioxidant activity of spice extracts in a liposome system and in cooked pork patties and the possible mode of action[J]. Meat Science, 2010, 85(4): 772-778. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.04.003.
- [5] SCHILLING M W, PHAM A J, WILLIAMS J B, et al. Changes in the physicochemical, microbial, and sensory characteristics of fresh pork sausage containing rosemary and green tea extracts during retail display[J]. Meat Science, 2018, 143: 199-209. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.05.009.
- [6] JIANG J, XIONG Y L. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: a review[J]. Meat Science, 2016, 120: 107-117. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.04.005.
- [7] LÓPEZ-LÓPEZ I, COFRADES S, RUIZ-CAPILLAS C, et al. Design and nutritional properties of potential functional frankfurters based on lipid formulation, added seaweed and low salt content[J]. Meat Science, 2009, 83(2): 255-262. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.05.014.
- [8] VETTER J. Biological values of cultivated mushrooms: a review[J]. Acta Alimentaria, 2019, 48(2): 229-240. DOI:10.1556/066.2019.48.2.11.
- [9] STEPHAN A, AHLBORN J, ZAJUL M, et al. Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages[J]. European Food Research and Technology, 2018, 244(5): 913-924. DOI:10.1007/s00217-017-3012-1.
- [10] CHOE J, LEE J, JO K, et al. Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages[J]. Meat Science, 2018, 143: 114-118. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.04.038.
- [11] LEE K H, KIM H K, KIM S H, et al. Effects of mushroom extract on textural properties and muscle protein degradation of bovine *longissimus dorsi* muscle[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2017, 81(3): 558-564. DOI:10.1080/09168451.2016.1263144.
- [12] LI S F, WANG A J, LIU L, et al. Evaluation of nutritional values of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) stipes[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12(3): 2012-2019. DOI:10.1007/s11694-018-9816-2.
- [13] DERMIKI M, PHANPHENSOPHON N, MOTTRAM D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 77-83. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.03.018.
- [14] HAMZA A, ZOUARI N, ZOUARI S, et al. Nutraceutical potential, antioxidant and antibacterial activities of *Terfezia boudieri* Chatin, wild edible desert truffle from Tunisia arid zone[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2016, 9(3): 383-389. DOI:10.1016/j.arabjc.2013.06.015.
- [15] YOU L J, GAO Q, FENG M Y, et al. Structural characterisation of polysaccharides from *Tricholoma matsutake* and their antioxidant and antitumour activities[J]. Food Chemistry, 2013, 138(4): 2242-2249. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.11.140.
- [16] RATHORE H, PRASAD S, SHARMA S. Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: a review[J]. Pharma Nutrition, 2017, 5(2): 35-46. DOI:10.1016/j.phanu.2017.02.001.
- [17] GIAVASIS I. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2014, 26: 162-173. DOI:10.1016/j.copbio.2014.01.010.
- [18] GU X Z, SUN Y, TU K, et al. Evaluation of lipid oxidation of Chinese-style sausage during processing and storage based on electronic nose[J]. Meat Science, 2017, 133: 1-9. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.017.

- [19] 卫生部. 肉与肉制品卫生标准的分析方法: GB/T 5009.44—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [20] WANG Y, JIANG Y T, CAO J X, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 33-40. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.05.048.
- [21] 陶正清, 刘登勇, 周光宏, 等. 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. DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2014.04.0632.
- [22] REGUEIRO J A G, GIBERT J, DÍAZ I. Determination of neutral lipids from subcutaneous fat of cured ham by capillary gas chromatography and liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 1994, 667(1): 225-233. DOI:10.1016/0021-9673(94)89071-4.
- [23] DANG Y L, HAO L, ZHOU T, et al. Establishment of new assessment method for the synergistic effect between umami peptides and monosodium glutamate using electronic tongue[J]. Food Research International, 2019, 121: 20-27. DOI:10.1016/j.foodres.2019.03.001.
- [24] CARPENTER R P, LYON D H, HASDELL T A. Guidelines for sensory analysis in food product development and quality control[M]. Springer Science & Business Media, 2012.
- [25] FELLENDORF S, O'SULLIVAN M G, KERRY J P. Impact of varying salt and fat levels on the physicochemical properties and sensory quality of white pudding[J]. Meat Science, 2015, 103: 75-82. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.12.010.
- [26] ZHU H J, TIAN L, ZHANG L, et al. Preparation, characterization and antioxidant activity of polysaccharide from spent *Lentinus edodes* substrate[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 976-984. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2018.01.196.
- [27] BOONSONG S, KLAYPRADIT W, WILAI PUN P. Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants[J]. Agriculture and Natural Resources, 2016, 50(2): 89-97. DOI:10.1016/j.anres.2015.07.002.
- [28] WANG X P, XU M, CHENG J, et al. Effect of *Flammulina velutipes* on the physicochemical and sensory characteristics of Cantonese sausages[J]. Meat Science, 2019, 154: 22-28. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.04.003.
- [29] BACH F, HELM C V, BELLETTINI M B, et al. Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(11): 2382-2392. DOI:10.1111/ijfs.13522.
- [30] GAUR T, RAO P, KUSHWAHA K. Nutritional and anti-nutritional components of some selected edible mushroom species[J]. Indina Journal of Natural Products and Resources, 2016, 7(2): 155-161.
- [31] ERDEMIR E, AKSU M İ. Changes in the composition of free amino acid during production of pastirma cured with different levels of sodium nitrite[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(2): 1745-4549. DOI:10.1111/jfpp.12801.
- [32] SANDE D, OLIVEIRA G P D, MOURA M A F E, et al. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids[J]. Food Research International, 2019, 125: 108-524. DOI:10.1016/j.foodres.2019.108524.
- [33] ÖZTÜRK M, DURU M E, KIVRAK Ş, et al. *In vitro* antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: a comparative study on the three most edible mushrooms[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(6): 1353-1360. DOI:10.1016/j.fct.2011.03.019.
- [34] RAHMAN M A, ABDULLAH N, AMINUDIN N. *Lentinula edodes* (shiitake mushroom): an assessment of *in vitro* anti-atherosclerotic bio-functionality[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2018, 25(8): 1515-1523. DOI:10.1016/j.sjbs.2016.01.021.
- [35] HENNING S S C, TSHALIBE P, HOFFMAN L C. Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 92-98. DOI:10.1016/j.lwt.2016.07.007.
- [36] CHEUNG P C K. Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: preparation and health benefits[J]. Food Science and Human Wellness, 2013, 2(3): 162-166. DOI:10.1016/j.fshw.2013.08.001.
- [37] HAN M Y, BERTRAM H C. Designing healthier comminuted meat products: effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system[J]. Meat Science, 2017, 133: 159-165. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.07.001.