

# 脂肪酶对中式香肠脂肪降解、氧化和风味的影响

封莉, 邓绍林, 黄明\*, 徐幸莲, 周光宏

(南京农业大学食品科技学院, 南京肉制品加工产业创新中心, 食品安全与营养协同创新中心, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 为提高高温短时烘烤的中式香肠品质, 本实验研究了添加量为肉质量0.00%、0.02%、0.04%、0.06%、0.08%和0.10%水平的脂肪酶(Palataase)对中式香肠脂质降解、脂肪氧化、挥发性风味物质和感官品质的影响。结果表明: 添加脂肪酶能有效加速中式香肠中的脂肪降解和脂肪氧化, 促进香肠中脂质来源的挥发性风味物质的生成。添加适量(0.06%)外源脂肪酶能使香肠香气显著增强, 并且不影响香肠的其他感官品质; 过量添加外源脂肪酶则会导致香肠过度氧化, 影响感官品质。

**关键词:** 中式香肠; 脂肪酶; 游离脂肪酸; 脂肪氧化; 挥发性风味物质; 感官品质

## Effect of Palatase on Lipid Hydrolysis, Lipid Oxidation and Sensory Attributes of Chinese Sausage

FENG Li, DENG Shaolin, HUANG Ming\*, XU Xinglian, ZHOU Guanghong

(Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Innovation Center of Nanjing Meat Products Processing Industry, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The objective of this study was to improve the quality of Chinese sausage processed at high temperature by using exogenous lipase. Effects of Palatase (a commercial lipase) on lipid hydrolysis, lipid oxidation, volatile components and sensory attributes were studied at addition levels of 0.00%, 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% and 0.10%. The results showed that palatase addition led to acceleration of lipid hydrolysis, lipid oxidation, and accumulation of lipid-derived volatile components. Moderate addition of Palatase (0.06%) enhanced aroma without influencing the acceptability, while too much addition could result in excessive oxidation with off-flavors.

**Key words:** Chinese sausage; lipase; free fatty acids; lipid oxidation; volatile components; sensory attributes

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)01-0051-08

doi:10.7506/spkx1002-6630-201501010

中式香肠是我国传统腌腊肉制品中的一大类, 由于其风味鲜美、醇厚浓郁、回味绵长, 不仅深受中国人民的喜爱, 也享誉海内外<sup>[1]</sup>。传统的中式香肠一般是在寒冬腊月温度较低时将原料进行腌制, 然后经过长时间自然风干和成熟过程加工而成的一类食品。中式香肠的传统加工方式存在受气候制约、加工周期长等缺点, 虽然现代化的加工技术通过高温烘烤能在短期内生产出香肠, 但大多数消费者仍然喜欢传统自然晾晒的香肠, 究其原因主要是因为短期烘烤香肠的风味相比于传统工艺的香肠略显单一。

现有的研究表明, 脂类物质在肉制品风味形成中有两大重要作用: 一是作为风味化合物的溶剂, 在风味化合物形成过程中蓄积该类化合物作为风味物质的场所; 二是通过水解、氧化或与其他化合物进一步发生酯化、美拉德反应等过程形成各种风味化合物<sup>[2]</sup>。脂质水解和

氧化被认为是腌腊肉制品风味形成的主要途径之一, 与脂质水解生成的游离脂肪酸相比其他脂类物质更易于发生氧化反应<sup>[3]</sup>, 因此, 加工过程中适当地促进脂肪水解, 可能会改善中式香肠的风味。此外, 酶在风味形成方面也起到了重要的作用, 它参与脂肪的水解及氧化反应。由于内源酶较为复杂, 因此近来有很多研究从外源酶着手, 通过向肉制品中添加外源酶来加速脂肪的降解以促进风味的形成。Fernández等<sup>[4-5]</sup>研究发现, 将胰脂酶添加到发酵香肠中, 对风味的形成有促进作用, 也可减少成熟时间。甘春生<sup>[6]</sup>通过对切片火腿注射中性脂肪酶和蛋白酶, 在较短的时间内生产出与传统工艺条件下金华火腿主要特征风味一致的产品。国内有研究者分别在羊肉发酵香肠<sup>[7]</sup>、腊鸭腿<sup>[8]</sup>中加入脂肪酶, 发现适量地添加外源脂肪酶能加速腌腊肉制品的脂肪酸的分解, 进而促进风味前体物质的降解和风味物质的生成。因此, 在肉制品

收稿日期: 2014-03-03

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划项目(2011AA100805-0-2)

作者简介: 封莉(1989—), 女, 硕士研究生, 主要从事肉品加工与质量控制研究。E-mail: 2011108023@njau.edu.cn

\*通信作者: 黄明(1970—), 男, 教授, 博士后, 主要从事肉品加工与质量控制研究。E-mail: minghuang@njau.edu.cn

加工过程中添加脂肪酶, 在内源酶和微生物的基础上促进脂肪的水解和氧化, 增加风味前体物质的积累, 有利于促进肉制品风味物质的生成。

可用于食品中酶解增香的脂肪酶主要有3种来源: 植物脂肪酶、动物脂肪酶和微生物脂肪酶。其中微生物脂肪酶由于具有较高的酶活和较低的价格, 因而被认为是较为理想的工业化应用的脂肪酶<sup>[9]</sup>。脂肪酶Palatase 20000L是诺维信公司产品, 它来自于基因修饰的米曲霉类 (*Aspergillus oryzae*) 微生物的深层发酵, 并经高度纯化后而得到的1,3-专一性脂肪酶<sup>[10]</sup>。王蓓<sup>[10]</sup>比较多个厂家的7种食品级的脂肪酶对脂肪底物的酶解活力, 认为Palatase 20000L具有很高的催化脂肪水解的活力, 且其酶解产物具有较好的风味品质。Palatase 20000L也已经被成功应用于奶味香精的研究中<sup>[10-11]</sup>。因此, 本实验选择Palatase 20000L作为应用到中式香肠中的外源脂肪酶。

国内对脂肪酶应用到肉制品加工中的研究起步较晚, 外源添加脂肪酶到高温烘烤中式香肠上也是鲜有报道。故本实验研究添加不同水平外源脂肪酶对中式香肠脂肪降解、脂肪氧化、挥发性风味物质和感官品质的影响, 以期工业化生产高温短时烘烤的中式香肠提供一定的理论指导。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

猪后腿肉和背膘, 购于江苏食品集团有限公司。

Palatase 20000L脂肪酶 (奶酪香精脂肪酶, 食品级, 标称活力20000LU-MM/g) 诺维信 (中国) 生物技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

恒温恒湿培养箱 德国Binder公司; BVBj-30F真空搅拌机、KF-280灌肠机 杭州艾博科技工程有限公司; DC800-FB-E真空包装机 美国快尔卫包装机公司; Avanti J-C高速冷冻离心机 美国Beckman Coulter公司; GM200制样机 德国Restch公司; TH200水分活度自动分析仪 瑞士Novasina公司; XDDC-2006旋蒸发生器 上海亚荣生化仪器厂; IN-2450紫外分光光度计 日本岛津公司; T25-DS25分散机 德国IKA公司; TRACE GC Ultra气相色谱、DSQII气质联用仪 美国Thermo公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 中式香肠的制作

参照广式腊肠工艺配方制作<sup>[12]</sup>。猪后腿肉通过5 mm筛板绞肉机绞碎, 猪背膘人工切成5 mm×5 mm×5 mm见方肉丁。将绞碎的肉根据基本配方 (表1) 混匀, 添加不同量的脂肪酶: 对照组不添加 (C)、添加0.02%

(P2)、0.04% (P4)、0.06% (P6)、0.08% (P8)、0.10% (P10), 充分搅拌均匀。然后将搅拌均匀腌制后的肉投入灌肠机内, 灌入猪小肠天然肠衣中。灌制后, 用细针刺孔放气, 刺孔以每3 cm刺一针为宜, 每隔15 cm用棉线结扎分节。分节好的生香肠放在35℃左右的温水中漂洗一下, 除去表面的油, 保持外观。放入预加热烘箱45℃烘烤72 h。烘烤结束后, 将香肠从烘箱中取出, 冷却至室温后, 用真空包装袋包装。每个样品组各取3根香肠, 作为3个平行进行各指标的测定。整个实验重复3次。

表1 中式香肠基本配方表

Table 1 Basic formula of Chinese sausage

原料	猪后腿肉	背脂	盐	糖	大曲酒	亚硝酸钠
添加量/kg	70	30	2	9	3	0.015

#### 1.3.2 水分含量、水分活度 ( $a_w$ ) 和pH值测定

水分含量的测定参照GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》。水分活度 ( $a_w$ ) 值的测定在水分活度自动分析仪中进行。pH值的测定参照GB/T 9695.5—2008《肉与肉制品pH测定》, 均质化试样测定样品pH值。

#### 1.3.3 游离脂肪酸的提取和测定

脂质提取<sup>[13]</sup>: 取3 g绞碎样品于80 mL离心管中, 加入30 mL氯仿-甲醇 (2:1, V/V), 6 000 r/min匀浆2次, 每次20 s, 然后加入30 mL相同体积比的氯仿-甲醇溶液于通风橱中静置1 h, 过滤取滤液转移至离心管, 加入0.2倍体积的生理食盐水, 充分混匀, 3 000 r/min、4℃条件下离心15 min, 取下层有机相, 于40℃左右旋蒸至呈油滴状, 记录旋蒸瓶旋蒸前后差质量。

游离脂肪酸分离<sup>[14]</sup>: 取100 mg旋蒸后脂质于1.5 mL EP管, 用1 mL氯仿溶解。用1 mL氯仿活化氨丙基硅胶柱, 将脂质氯仿溶液移入氨丙基硅胶柱中, 上样完成后, 用3 mL氯仿-异丙醇 (2:1, V/V) 洗脱氨丙基硅胶柱洗脱中性脂肪, 用3 mL质量分数为2%的乙酸乙醚溶液洗脱游离脂肪酸。

游离脂肪酸甲酯化<sup>[15]</sup>: 用氮吹仪吹干游离脂肪酸溶液后, 加入2 mL质量分数为14%三氟化硼-甲醇溶液, 于60℃条件下水浴1 h进行甲酯化, 并加入20 μL 2,2-二甲氧基丙烷作为吸水剂吸收甲酯化过程中生成的微量水。冷却后, 加入1 mL一级水和1 mL正庚烷振荡, 待静置分层后完全, 吸取上层有机相, 氮吹仪挥干溶剂后, 用正庚烷定容至0.5 mL用于气相色谱进行检测。

气相色谱条件<sup>[12]</sup>: 进样口的温度为240℃, 火焰离子检测器 (flame ionization detector, FID) 温度为240℃, 柱升温程序为90℃保持2 min, 以4℃/min速率升温至180℃保持6 min, 以5℃/min速率升温至240℃保持12 min, 载气为高纯氮, 流速1 mL/min, 分流比为

10:1。一种含37种饱和、单不饱和、多不饱和脂肪酸的混合标样(Sulpeco, 型号47885-U)用来定性,用峰面积外标定量各脂肪酸的含量。

#### 1.3.4 脂肪氧化的TBARS值测定

参照Wang等<sup>[16]</sup>的方法,并略作修改:5g绞碎肉样,加入40mL 7.5%三氯乙酸(含0.1%乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA), 0.1%没食子酸),用匀浆机(3档)匀浆1min,再用上述7.5%三氯乙酸定容至50mL,6000×g离心5min,吸取5mL上清液加入5mL 0.08mol/L硫代巴比妥酸溶液(设空白:5mL三氯乙酸加入5mL 0.08mol/L的2-硫代巴比妥酸(2-thiobarbituric acid, TBA), 40℃水浴保温90min,冷却至室温后,在532nm波长处比色(用两个空白管调零),记录吸光度, TBARS值用标准曲线计算。

#### 1.3.5 挥发性风味物质

风味物质成分的提取<sup>[12]</sup>:风味物质的提取采用顶空固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)法。其中萃取头在使用前要老化,以确保脱去其可能吸附的挥发性成分。老化后的萃取头在气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)上检测略有极少量的萃取头固有杂质峰出现,在样品质谱库检索的时候去除,不计入最终结果。

固相微萃取的操作步骤:样品4℃解冻,绞碎;分别称取上述绞碎样品4g于顶空萃取瓶中,应用75μm carboxen/polydimethylsiloxane (CAR/PDMS)固相微萃取头在60℃条件下萃取30min富集挥发性化合物,然后用气相色谱来分析纤维头上的挥发性化合物。

色谱条件:将吸附化合物的纤维头在进样口250℃脱附3min分流近样,分流比为10:1。挥发性成分用TR-5毛细管柱(30m×0.25mm, 0.25μm)进行分离。以氦气做载气,流速为1mL/min。气相色谱程序升温条件如下:炉温在50℃保持2min,以4℃/min的升温速率升至120℃,保持1min,再以10℃/min的升温速率升至250℃,保持2min。GC-MS接口处温度保持250℃。

质谱条件:离子源温度200℃,电离方式为EI<sup>+</sup>,电子能量为70eV,扫描质量范围35~350amu,电子检测器进行检测,检测电压350V。

风味物质成分的鉴定:将挥发性成分的质谱数据与MEANLIB、REPLIB、WILLEY、NISEDEMO 4个图谱库资料进行比较,相似指数(similarity index, SI) 800以上为确认鉴定的化合物,并对鉴定1g化合物的峰面积进行统计学分析。

#### 1.3.6 感官评定

由本实验室的8位食品专业研究生组成感官评定小组。采用盲评计分方式进行评价,要求感官评定人员对每个样品,按照先看色泽,再闻香气,最后再品尝滋味

和质地的顺序进行评定。参照GB/T 23493—2009《中式香肠》,根据其产品的色泽、香气、滋味、质地等4项指标的喜好进行评分(9分制)<sup>[17-18]</sup>。评分标准如下:9.非常喜欢;8.比较喜欢;7.稍微喜欢;6.一般喜欢;5.既不喜欢也不讨厌;4.一般厌恶;3.稍微厌恶;2.比较厌恶;1.非常厌恶。每次评定由每个评定成员单独进行,相互不接触交流,样品评定之间用清水漱口。

#### 1.4 数据处理与分析

数据经Excel2007初步整理后,采用SPSS 20.0.0软件进行统计分析,用One-Way ANOVA方法进行方差分析,采用Duncan's multiple range test进行多重比较,显著水平设为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源脂肪酶(Palatase)对中式香肠水分含量、 $a_w$ 和pH值的影响

表2 不同水平脂肪酶(Palatase)处理的中式香肠水分含量、水分活度和pH值

Table 2 Water content,  $a_w$ , and pH of Chinese sausage with different levels of Palatase

指标	C组	P2组	P4组	P6组	P8组	P10组
水分含量/%	26.18±1.30 <sup>a</sup>	27.12±0.88 <sup>b</sup>	26.24±0.76 <sup>c</sup>	26.75±0.56 <sup>d</sup>	27.23±1.20 <sup>e</sup>	27.38±1.05 <sup>f</sup>
水分活度	0.842±0.003 <sup>a</sup>	0.848±0.005 <sup>b</sup>	0.841±0.002 <sup>c</sup>	0.851±0.003 <sup>d</sup>	0.839±0.003 <sup>e</sup>	0.852±0.007 <sup>f</sup>
pH	5.62±0.02 <sup>d</sup>	5.20±0.03 <sup>c</sup>	5.22±0.07 <sup>c</sup>	5.08±0.04 <sup>b</sup>	4.96±0.02 <sup>b</sup>	4.62±0.05 <sup>a</sup>

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

香肠中的水分含量对香肠的均一性影响较大,由表2可知,添加外源脂肪酶对于中式香肠中水分含量无显著影响( $P > 0.05$ )。水分活度和pH值对香肠的安全性有较大影响,添加外源脂肪酶(Palatase)对中式香肠的水分活度无显著影响( $P > 0.05$ ),水分活度均低于0.90。添加外源脂肪酶的香肠中pH值显著低于对照处理( $P < 0.05$ ),各实验组pH值随着脂肪酶(Palatase)浓度的增加逐渐降低,可能原因是外源添加的脂肪酶加速了香肠中游离脂肪酸的释放。较低的pH值虽然可以抑制微生物的生长,提高中式香肠的贮藏稳定性<sup>[19]</sup>,但pH值过低的产品酸度过高,消费者一般难以接受<sup>[20]</sup>。香肠的酸度值以pH 5.0~5.1为最适,再低则会有不愉快的感觉<sup>[21]</sup>。

### 2.2 外源脂肪酶对中式香肠脂肪降解的影响

由表3可知,添加外源脂肪酶(Palatase)能显著改变中式香肠中游离脂肪酸的组成,随着外源脂肪酶(Palatase)添加量的增加,中式香肠中总游离脂肪酸的含量明显增加,添加外源脂肪酶(Palatase)使中式香肠的总游离脂肪酸含量在短短3d的烘烤过后增加了35.46%~657.78%。从绝对含量上来看,随着外源脂肪酶(Palatase)的添加量的增加,游离的饱

和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA) 含量显著提高 ( $P<0.05$ ), 处理组与对照组相比分别增加了43.34%、71.93%、94.66%、122.73%和220.32%; 单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 的含量也显著提高 ( $P<0.05$ ), 处理组与对照组相比分别增加了4.29、11.56、62.63、65.34、69.04 倍, 说明随着外源脂肪酶 (Palatase) 的添加SFA和MUFA的生成速率加快, 超过了这两种游离脂肪酸的分解速率。而多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 含量则随着外源脂肪酶 (Palatase) 添加量的增加而显著降低 ( $P<0.05$ ), 尤其是不饱和脂肪酸主要组成的亚油酸含量 ( $P<0.05$ ), 在本实验中P10组已检测不到亚油酸的存在。

表3 外源脂肪酶 (Palatase) 对中式香肠游离脂肪酸含量的影响

Table 3 Effect of Palatase on the content of free fatty acids in Chinese sausage mg/g脂肪

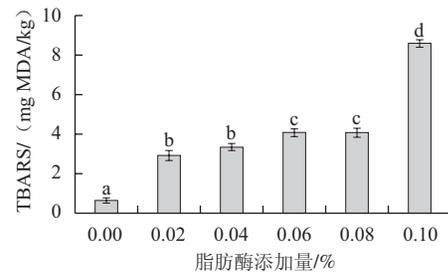
游离脂肪酸	C组	P2组	P4组	P6组	P8组	P10组
棕榈酸 (C <sub>16:1</sub> )	1.409±0.254 <sup>a</sup>	1.823±0.203 <sup>a</sup>	2.041±0.316 <sup>a</sup>	2.424±0.312 <sup>a</sup>	2.827±0.433 <sup>a</sup>	2.710±0.397 <sup>a</sup>
棕榈油酸 (C <sub>18:1</sub> )	0.143±0.037 <sup>a</sup>	0.189±0.022 <sup>a</sup>	0.139±0.040 <sup>a</sup>	0.240±0.057 <sup>a</sup>	0.253±0.054 <sup>a</sup>	0.511±0.053 <sup>a</sup>
硬脂酸 (C <sub>18:0</sub> )	0.707±0.146 <sup>a</sup>	1.210±0.220 <sup>a</sup>	1.597±0.137 <sup>a</sup>	1.695±0.244 <sup>a</sup>	1.887±0.323 <sup>a</sup>	4.067±0.671 <sup>a</sup>
油酸 (C <sub>18:1</sub> )	0.416±0.096 <sup>a</sup>	2.767±0.503 <sup>b</sup>	6.880±1.414 <sup>b</sup>	35.329±4.482 <sup>c</sup>	36.829±3.120 <sup>c</sup>	38.642±4.506 <sup>c</sup>
亚油酸 (C <sub>18:2</sub> )	3.362±0.549 <sup>a</sup>	2.184±0.350 <sup>a</sup>	1.811±0.314 <sup>a</sup>	1.612±0.234 <sup>a</sup>	0.734±0.294 <sup>a</sup>	—
二十碳三烯酸 (C <sub>20:3n-7</sub> )	—	—	—	0.042±0.006 <sup>a</sup>	0.057±0.017 <sup>a</sup>	0.054±0.014 <sup>a</sup>
花生四烯酸 (C <sub>20:4n-6</sub> )	0.014±0.007 <sup>a</sup>	0.025±0.006 <sup>a</sup>	0.060±0.030 <sup>a</sup>	0.012±0.006 <sup>a</sup>	0.010±0.002 <sup>a</sup>	0.035±0.014 <sup>a</sup>
二十碳五烯酸 (C <sub>20:5n-3</sub> )	0.027±0.004 <sup>a</sup>	0.035±0.005 <sup>a</sup>	0.028±0.002 <sup>a</sup>	0.028±0.006 <sup>a</sup>	0.025±0.001 <sup>a</sup>	0.039±0.002 <sup>a</sup>
饱和脂肪酸	2.116 (34.81%)	3.033 (36.84%)	3.638 (28.98%)	4.119 (9.95%)	4.713 (11.06%)	6.778 (14.72%)
单不饱和脂肪酸	0.559 (9.20%)	2.957 (35.91%)	7.019 (55.90%)	35.569 (85.96%)	37.082 (87.00%)	39.153 (85.01%)
多不饱和脂肪酸	3.403 (55.99%)	2.2403 (27.25%)	1.899 (15.12%)	1.693 (4.09%)	0.827 (1.94%)	0.127 (0.28%)
游离脂肪酸总量	6.078	8.233	12.556	41.381	42.621	46.058

注: 饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸括号中内容表示该脂肪酸在总脂肪含量中所占百分比。

游离脂肪酸组成的变化可能有两方面因素导致。一方面外源脂肪酶 (Palatase) 的添加使得各种游离脂肪酸均更多地得到释放, 不同的脂肪酸所在位点不同, 释放速率可能会有差异。由表3可知, 添加脂肪酶 (Palatase), 中式香肠中游离脂肪酸组成增长最为显著的是油酸, P2组的油酸含量相比对照组增加了5.65 倍, 而P10组的油酸含量则相比对照增加了91.89 倍; SFA增加趋势缓慢; PUFA则显著减少。另一方面不同的游离脂肪酸的降解速率使其在产品中最终含量有所不同。不同的游离脂肪酸, 其易被氧化的程度不同, 其中多不饱和脂肪酸最易被氧化, 其次是单不饱和脂肪酸, 而饱和脂肪酸则不易发生氧化<sup>[22]</sup>。从相对含量来看, 对照组中主要的游离脂肪酸是PUFA, 随着脂肪酶 (Palatase) 添加量的增加, PUFA在中式香肠游离脂肪酸组成中所占比例越来越小, 脂肪酶 (Palatase) 添加量最大的P10组中PUFA仅占0.28%。与PUFA变化相反的是, 随着脂肪酶 (Palatase) 添加量的增加, MUFA (尤其是油酸) 在游离脂肪酸组成中所占比例由对照组的9.20%升高到

P10组的85.01%。因此, 不同于胰脂酶、柱状假丝酵母 (*Candida cylindracea*) 和*Rhizomucor miehei*有利于SFA的释放<sup>[23-25]</sup>, Palatase更有利于MUFA中油酸的释放。

2.3 外源脂肪酶 (Palatase) 对中式香肠脂肪氧化TBARS值的影响



不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

图1 外源脂肪酶 (Palatase) 对中式香肠的TBARS值的影响

Fig.1 Effect of Palatase on TBARS values of Chinese sausage

肉类食品中的脂肪氧化程度通常采用2-硫代巴比妥酸实验法 (即TBARS值法) 进行评价, TBARS值是指油脂中的脂肪酸氧化分解后的衍生物如丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 与2-硫代巴比妥酸反应的结果, 其值的高低表示脂肪氧化二级产物的多少, 即表示脂肪氧化终产物的含量<sup>[26]</sup>。随着脂肪氧化程度的增加, 氧化的次级产物不断增多, 则TBARS值也不断增大。TBARS值与感官评定结果有良好的相关性, 因此被广泛用于评价肉制品脂肪氧化程度<sup>[27]</sup>。由图1可知, 随着外源脂肪酶 (Palatase) 添加量的增加, 中式香肠的TBARS值呈显著上升趋势 ( $P<0.05$ )。在经过短短3 d的烘烤过后, 中式香肠的TBARS值由于外源脂肪酶 (Palatase) 的添加增加了3.26~11.40 倍。对样品中的TBARS值仅有0.70 mg MDA/kg, 与广式腊肠的氧化程度相当; 添加0.02%~0.08%的脂肪酶Palatase, 香肠的TBARS值与贮藏30 d的广式腊肠的相当<sup>[12]</sup>; 添加0.10%的脂肪酶Palatase, 香肠的TBARS值与贮藏90 d的广式腊肠相当<sup>[28]</sup>。因此, 脂肪酶Palatase的添加使中式香肠的脂肪氧化在烘烤加工期间飞速提高。促进脂肪氧化对产品有利有弊, 一方面, 脂肪氧化是腌腊肉制品风味物质的重要来源, 另一方面, 脂肪氧化程度的提高限制了产品的货架期和安全性<sup>[28]</sup>。

2.4 外源脂肪酶 (Palatase) 对中式香肠挥发性风味物质的影响

由表4可知, 对照样品中共鉴定出42种挥发性风味物质, 其中醇类化合物7种 (含量21.21%), 酸类化合物5种 (含量3.59%), 酯类化合物11种 (含量44.18%), 醛类化合物11种 (含量24.75%), 酮类化合物3种 (含量1.95%), 烷烃及环状化合物5种 (含量4.33%)。可见中式香肠的主要风味成分来自于酯类、醛类、酸类和醇类化合物。添加外源脂肪酶 (Palatase) 后, 中式香

表4 外源脂肪酶 (Palatase) 对中式香肠中挥发性风味物质峰面积的影响  
Table 4 Effect of Palatase on the volatile flavor compounds of Chinese sausage

化合物种类	序号	保留时间/min	化合物名称	峰面积 (×10 <sup>7</sup> )					
				C组	P2组	P4组	P6组	P8组	P10组
醇类化合物	1	1.87	乙醇	37.44±1.75 <sup>d</sup>	19.83±1.56 <sup>c</sup>	14.37±0.61 <sup>b</sup>	11.19±0.84 <sup>ab</sup>	10.70±0.71 <sup>a</sup>	10.81±0.34 <sup>a</sup>
	2	7.87	3-甲基-1-丁醇	2.14±0.30 <sup>b</sup>	0.89±0.17 <sup>b</sup>	0.28±0.07 <sup>a</sup>	0.31±0.07 <sup>a</sup>	—	—
	3	9.12	1-戊醇	2.93±0.29 <sup>bc</sup>	3.75±0.55 <sup>c</sup>	2.83±0.26 <sup>abc</sup>	2.01±0.10 <sup>ab</sup>	2.15±0.18 <sup>ab</sup>	1.92±0.05 <sup>a</sup>
	4	9.66	2,3-丁二醇	6.78±0.97 <sup>a</sup>	10.15±4.18 <sup>a</sup>	16.87±3.79 <sup>b</sup>	15.97±3.66 <sup>b</sup>	8.95±3.21 <sup>a</sup>	6.84±0.80 <sup>a</sup>
	5	13.48	正己醇	1.13±0.07 <sup>a</sup>	0.65±0.09 <sup>a</sup>	0.47±0.06 <sup>abc</sup>	0.32±0.05 <sup>a</sup>	0.34±0.09 <sup>ab</sup>	0.56±0.06 <sup>bc</sup>
	6	18.40	1-辛烯-3-醇	3.10±0.24 <sup>a</sup>	3.46±0.29 <sup>a</sup>	3.21±0.11 <sup>a</sup>	3.05±0.09 <sup>a</sup>	3.51±0.31 <sup>a</sup>	3.54±0.04 <sup>a</sup>
	7	22.55	3-甲基-1-庚烯-3-醇	1.74±0.21 <sup>a</sup>	2.89±0.22 <sup>a</sup>	2.74±0.17 <sup>a</sup>	2.50±0.16 <sup>a</sup>	2.98±0.88 <sup>a</sup>	2.95±0.12 <sup>a</sup>
			总量	55.26	41.62	40.77	35.35	28.62	26.62
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	21.20	15.94	15.78	13.57	11.34	10.15	
酸类化合物	8	3.07	乙酸/醋酸	2.48±0.13 <sup>a</sup>	4.06±0.33 <sup>bc</sup>	4.69±0.61 <sup>c</sup>	6.70±0.30 <sup>d</sup>	3.21±0.17 <sup>ab</sup>	5.17±0.37 <sup>c</sup>
	9	11.62	3-甲基-丁酸	0.58±0.06 <sup>a</sup>	0.91±0.13 <sup>b</sup>	1.42±0.05 <sup>c</sup>	1.52±0.02 <sup>c</sup>	0.91±0.10 <sup>b</sup>	1.04±0.05 <sup>b</sup>
	10	12.00	2-甲基-丁酸	0.19±0.05 <sup>ab</sup>	0.30±0.08 <sup>bc</sup>	0.46±0.00 <sup>c</sup>	0.46±0.01 <sup>c</sup>	0.25±0.13 <sup>b</sup>	0.05±0.05 <sup>a</sup>
	11	17.88	己酸	6.00±0.75 <sup>a</sup>	9.40±0.55 <sup>b</sup>	7.92±0.42 <sup>ab</sup>	6.93±0.21 <sup>ab</sup>	5.18±1.75 <sup>a</sup>	6.40±0.41 <sup>a</sup>
	12	27.68	2-壬烯酸	0.08±0.04 <sup>a</sup>	0.62±0.02 <sup>b</sup>	0.92±0.04 <sup>c</sup>	1.07±0.07 <sup>c</sup>	1.36±0.14 <sup>d</sup>	1.33±0.07 <sup>d</sup>
	13	27.93	2-十一碳烯酸	—	0.23±0.06 <sup>a</sup>	0.29±0.07 <sup>a</sup>	0.30±0.08 <sup>a</sup>	0.60±0.03 <sup>b</sup>	0.62±0.05 <sup>b</sup>
			总量	9.32	15.52	15.70	16.98	11.50	14.62
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	3.57	5.94	6.08	6.52	4.56	5.58	
酯类化合物	14	3.80	乙酸乙酯	5.02±0.30 <sup>a</sup>	7.27±0.03 <sup>bc</sup>	8.38±0.77 <sup>cd</sup>	9.43±0.38 <sup>d</sup>	6.73±0.31 <sup>b</sup>	6.55±0.27 <sup>b</sup>
	15	8.78	丁酸乙酯	0.58±0.03 <sup>ab</sup>	0.57±0.10 <sup>ab</sup>	0.77±0.02 <sup>c</sup>	0.71±0.00 <sup>bc</sup>	0.71±0.03 <sup>bc</sup>	0.51±0.01 <sup>a</sup>
	16	11.02	2-羟基-丙酸乙酯	2.22±0.47 <sup>a</sup>	4.10±0.02 <sup>d</sup>	3.14±0.21 <sup>bc</sup>	3.95±0.41 <sup>cd</sup>	2.60±0.25 <sup>ab</sup>	7.93±0.06 <sup>c</sup>
	17	12.66	2-甲基-丁酸乙酯	0.79±0.10 <sup>a</sup>	0.68±0.06 <sup>ab</sup>	0.86±0.07 <sup>b</sup>	0.69±0.02 <sup>ab</sup>	0.77±0.02 <sup>b</sup>	0.53±0.05 <sup>a</sup>
	18	12.85	3-甲基-丁酸乙酯	4.88±0.34 <sup>a</sup>	5.75±0.46 <sup>ab</sup>	6.40±0.14 <sup>b</sup>	6.46±0.10 <sup>b</sup>	4.93±0.32 <sup>a</sup>	5.82±0.37 <sup>ab</sup>
	19	14.87	戊酸乙酯	1.60±0.11 <sup>d</sup>	1.36±0.10 <sup>cd</sup>	1.13±0.14 <sup>bc</sup>	0.91±0.01 <sup>a</sup>	1.07±0.04 <sup>a</sup>	1.02±0.04 <sup>b</sup>
	20	19.14	己酸乙酯	95.04±9.77 <sup>c</sup>	76.43±4.25 <sup>b</sup>	59.99±6.85 <sup>ab</sup>	57.01±3.63 <sup>a</sup>	49.16±2.50 <sup>a</sup>	43.40±4.21 <sup>a</sup>
	21	21.37	2-羟基-4-甲基-戊酸乙酯	0.31±0.02 <sup>a</sup>	0.54±0.02 <sup>c</sup>	0.47±0.03 <sup>ab</sup>	0.38±0.10 <sup>ab</sup>	0.34±0.09 <sup>a</sup>	0.99±0.03 <sup>d</sup>
	22	21.55	己酸4-十六烷酯	3.19±0.43 <sup>a</sup>	4.96±0.66 <sup>b</sup>	4.53±0.16 <sup>b</sup>	4.24±0.03 <sup>ab</sup>	5.41±0.38 <sup>b</sup>	4.86±0.33 <sup>b</sup>
	23	24.45	苯甲酸乙酯	—	—	—	—	0.40±0.02 <sup>a</sup>	0.41±0.03 <sup>a</sup>
	24	24.84	辛酸乙酯	1.16±0.21 <sup>a</sup>	4.52±0.15 <sup>b</sup>	5.79±0.36 <sup>c</sup>	5.34±0.20 <sup>bc</sup>	7.72±0.18 <sup>d</sup>	7.34±0.46 <sup>d</sup>
	25	26.60	壬酸乙酯	—	—	—	—	—	0.25±0.07
	26	28.10	4-癸烯酸乙酯	—	0.28±0.07 <sup>a</sup>	0.53±0.04 <sup>b</sup>	0.54±0.02 <sup>b</sup>	0.85±0.04 <sup>c</sup>	0.83±0.06 <sup>c</sup>
	27	28.26	癸酸乙酯	0.40±0.08 <sup>a</sup>	3.82±0.66 <sup>b</sup>	6.88±0.48 <sup>c</sup>	7.19±0.35 <sup>c</sup>	11.39±0.56 <sup>d</sup>	11.41±0.77 <sup>d</sup>
	28	28.50	油酸乙酯	—	—	0.42±0.11 <sup>a</sup>	0.53±0.18 <sup>ab</sup>	1.11±0.23 <sup>c</sup>	1.48±0.16 <sup>c</sup>
	29	29.58	9-十六碳烯酸乙酯	—	—	0.28±0.07 <sup>a</sup>	0.32±0.15 <sup>a</sup>	0.67±0.25 <sup>ab</sup>	1.04±0.18 <sup>b</sup>
	30	30.35	十六烷酸(棕榈酸)乙酯	—	0.71±0.42 <sup>a</sup>	1.90±0.27 <sup>b</sup>	2.37±0.40 <sup>b</sup>	3.88±0.52 <sup>c</sup>	4.88±0.38 <sup>c</sup>
31	30.91	十二烷酸(月桂酸)乙酯	—	0.44±0.13 <sup>a</sup>	0.96±0.08 <sup>b</sup>	1.09±0.07 <sup>b</sup>	1.88±0.11 <sup>c</sup>	2.08±0.19 <sup>c</sup>	
32	33.32	十四碳酸乙酯	—	0.71±0.21 <sup>a</sup>	1.61±0.14 <sup>b</sup>	1.84±0.12 <sup>b</sup>	3.18±0.15 <sup>c</sup>	3.97±0.36 <sup>d</sup>	
		总量	115.18	112.15	104.05	102.99	102.78	105.32	
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	44.18	42.95	40.28	39.53	40.73	40.16	
醛类化合物	33	5.18	3-甲基-丁醛	0.24±0.09 <sup>a</sup>	0.58±0.09 <sup>b</sup>	0.44±0.03 <sup>b</sup>	0.31±0.07 <sup>a</sup>	0.35±0.09 <sup>a</sup>	—
	34	5.26	3-甲基-戊醛	0.27±0.06	—	—	—	—	—
	35	10.64	正己醛	56.84±1.56 <sup>a</sup>	60.65±1.08 <sup>a</sup>	61.58±10.65 <sup>a</sup>	66.34±6.63 <sup>a</sup>	68.92±5.34 <sup>a</sup>	78.70±11.63 <sup>a</sup>
	36	15.08	庚醛	1.46±0.17 <sup>a</sup>	2.71±0.39 <sup>b</sup>	2.30±0.27 <sup>ab</sup>	2.05±0.16 <sup>ab</sup>	2.53±0.41 <sup>b</sup>	2.40±0.13 <sup>b</sup>
	37	17.54	2-庚烯醛	1.88±0.05 <sup>a</sup>	3.53±0.34 <sup>b</sup>	4.16±0.25 <sup>b</sup>	3.76±0.14 <sup>b</sup>	5.32±0.43 <sup>c</sup>	3.92±0.27 <sup>b</sup>
	38	19.50	辛醛	0.68±0.07 <sup>a</sup>	1.47±0.23 <sup>b</sup>	1.24±0.15 <sup>b</sup>	1.08±0.09 <sup>ab</sup>	1.27±0.19 <sup>b</sup>	1.26±0.07 <sup>b</sup>
	39	19.89	2,4-二烯醛	0.28±0.00 <sup>a</sup>	0.46±0.03 <sup>a</sup>	0.61±0.03 <sup>a</sup>	0.55±0.02 <sup>b</sup>	0.79±0.05 <sup>d</sup>	0.62±0.04 <sup>c</sup>
	40	21.26	苯乙醛	0.35±0.03 <sup>a</sup>	0.38±0.05 <sup>a</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.05 <sup>a</sup>	0.38±0.04 <sup>a</sup>	0.38±0.04 <sup>a</sup>
	41	22.82	壬醛	1.75±0.19 <sup>a</sup>	3.14±0.33 <sup>b</sup>	2.92±0.25 <sup>b</sup>	2.60±0.19 <sup>b</sup>	3.06±0.33 <sup>b</sup>	3.10±0.11 <sup>b</sup>
	42	24.21	2-壬烯醛	0.44±0.05 <sup>a</sup>	0.78±0.09 <sup>b</sup>	0.79±0.06 <sup>b</sup>	0.75±0.05 <sup>b</sup>	1.02±0.11 <sup>c</sup>	0.93±0.03 <sup>bc</sup>
	43	25.44	2,4-壬二烯醛	0.32±0.03 <sup>a</sup>	0.58±0.02 <sup>b</sup>	0.64±0.05 <sup>bc</sup>	0.63±0.03 <sup>bc</sup>	0.77±0.08 <sup>cd</sup>	0.81±0.03 <sup>d</sup>
	44	26.22	2-癸烯醛	—	0.50±0.13 <sup>ab</sup>	0.48±0.06 <sup>ab</sup>	0.38±0.08 <sup>a</sup>	0.66±0.11 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>b</sup>
	45	27.25	2,4-癸二烯醛	—	0.45±0.16 <sup>a</sup>	0.43±0.11 <sup>a</sup>	0.54±0.07 <sup>a</sup>	0.94±0.12 <sup>b</sup>	1.05±0.05 <sup>b</sup>
		总量	64.51	75.22	76.01	79.38	86.00	93.87	
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	24.75	28.80	29.43	30.47	34.08	35.80	
酮类化合物	46	6.89	3-羟基-2-丁酮	4.13±0.27 <sup>b</sup>	2.76±0.20 <sup>a</sup>	4.63±0.93 <sup>b</sup>	6.49±0.34 <sup>c</sup>	1.61±0.20 <sup>a</sup>	2.05±0.17 <sup>a</sup>
	47	14.47	2-庚酮	0.41±0.06 <sup>a</sup>	0.49±0.13 <sup>a</sup>	0.32±0.10 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.14 <sup>a</sup>	0.17±0.10 <sup>a</sup>
	48	18.57	2,3-辛二酮	0.56±0.05	—	—	—	—	—
	49	21.66	3,5-辛二烯-2-酮	0.07±0.03 <sup>a</sup>	0.32±0.00 <sup>b</sup>	0.49±0.04 <sup>c</sup>	0.52±0.04 <sup>c</sup>	1.13±0.09 <sup>d</sup>	0.51±0.05 <sup>c</sup>
			总量	5.17	3.58	5.44	7.21	2.97	2.73
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	1.98	1.37	2.11	2.77	1.18	1.04	
烷烃化合物及环状化合物	50	6.54	庚烷	7.96±0.76 <sup>a</sup>	9.43±2.18 <sup>ab</sup>	12.60±0.63 <sup>bc</sup>	15.39±2.31 <sup>c</sup>	15.45±0.39 <sup>c</sup>	15.83±0.63 <sup>c</sup>
	51	7.54	1,1-二氧基-乙烷	1.88±0.13 <sup>cd</sup>	1.33±0.09 <sup>b</sup>	1.43±0.04 <sup>bc</sup>	0.99±0.03 <sup>b</sup>	1.97±0.31 <sup>d</sup>	0.37±0.07 <sup>a</sup>
	52	9.39	甲苯	0.59±0.04 <sup>a</sup>	0.72±0.04 <sup>a</sup>	0.84±0.16 <sup>a</sup>	0.78±0.02 <sup>a</sup>	0.93±0.07 <sup>a</sup>	0.86±0.09 <sup>bc</sup>
	53	18.95	2-戊烷基-咪唑	0.35±0.06 <sup>a</sup>	1.08±0.25 <sup>bc</sup>	0.90±0.10 <sup>b</sup>	0.99±0.07 <sup>b</sup>	1.53±0.25 <sup>c</sup>	1.26±0.01 <sup>bc</sup>
	54	20.36	1,4-二氯苯	0.49±0.02 <sup>a</sup>	0.48±0.03 <sup>a</sup>	0.56±0.02 <sup>ab</sup>	0.46±0.06 <sup>a</sup>	0.59±0.05 <sup>ab</sup>	0.74±0.14 <sup>c</sup>
		总量	11.27	13.04	16.32	18.61	20.46	19.06	
		占总挥发性物质峰面积百分比/%	4.32	4.99	6.32	7.14	8.11	7.27	
		合计	260.69	261.13	258.30	260.53	252.34	262.21	

注：—，无检测峰。

肠的挥发性风味物质的成分发生明显变化, 风味物质种类分别增加到48、50、50、50、49种。随着脂肪酶(Palataase)含量的增加, 醇类物质种类和含量均减少, 而酯物质的种类则不断丰富, 酸和醛类物质的含量显著增加( $P<0.05$ )。脂质降解和氧化被认为是腌腊肉制品风味形成的主要途径之一, 而醛类和酮类物质是脂肪氧化的主要产物, 表明添加外源脂肪酶(Palataase)能促进脂质降解和氧化, 从而加速促进中式香肠中风味物质的形成。

无论添加外源脂肪酶(Palataase)与否, 在鉴定出的化合物中, 乙酯类物质占有绝对的优势(37.85%~42.90%)。因此, 不同于西式干腌肉制品中大多烯萜类和醛类化合物<sup>[29-30]</sup>, 乙醇的衍生物——乙酯类物质是中式香肠的主要风味物质。中式香肠加工原料中大量的大曲酒的添加, 以及加工过程中维持在pH 6.0左右的低酸环境, 使得大量乙醇被消耗, 形成大量乙酯类化合物<sup>[31]</sup>。酯类物质具有典型的水果香气, 是重要的挥发性风味物质, 而高含量的乙酯类化合物是中式香肠区别于其他类型肉制品风味的典型特征<sup>[31]</sup>。

随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加, 乙酯类物质中短链脂肪酸乙酯(如乙酸乙酯、丁酸乙酯、戊酸乙酯、己酸乙酯等)含量不断降低, 而一些碳链更长的中链脂肪酸乙酯(如2-羟基-丙酸乙酯、己酸4-十六酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯)含量显著升高( $P<0.05$ )。最为突出的是一些中长链脂肪酸, 如壬酸乙酯、4-癸烯酸乙酯、油酸乙酯、十二碳酸乙酯、十四碳酸乙酯、十六碳酸乙酯和9-十六碳酸乙酯等在对照样品中不存在, 随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加, 这些C9~C16的长链脂肪酸乙酯不断出现并含量增加。脂肪酶(Palataase)水解导致的游离脂肪酸的释放, 使中式香肠中挥发性酯类化合物的种类更为丰富。

羰基类化合物(醛类和酮类)是肉制品风味成分中十分重要的风味物质<sup>[32]</sup>, 其中醛类物质是中式香肠的第二大类挥发性风味物质, 醛类化合物和含量受外源脂肪酶(Palataase)添加的影响很大。与对照组相比, 添加脂肪酶(Palataase)后, 醛类物质峰面积显著增加( $P<0.05$ ), 随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加, 醛类物质的峰面积分别增加了16.59%、11.78%、23.02%、33.34%和45.54%。有研究表明, 醛类化合物主要来源于不饱和脂肪酸的氧化, 尤其是直链醛<sup>[33]</sup>。中式香肠的醛类物质中主要是直链醛, 大多数直链醛在添加外源脂肪酶(Palataase)后含量显著增加( $P<0.05$ )。因此, 可以认为脂肪酶(Palataase)的催化作用引起了游离脂肪酸的释放, 从而促进了中式香肠氧化加速。醛类化合物可以产生广泛的风味, 是重要的香气物质, 具有较低的阈值。C6~C10的醛类是所有熟肉制品中最重要的挥发性

风味化合物, 对肉制品的香气有重要贡献<sup>[3]</sup>。正己醛具有青草香和叶香, 庚醛具有甜杏和坚果香气, 2-庚烯醛具有脂肪香和青香, 辛醛具有果香和脂肪香, 壬醛具有脂肪香和花香, 2,4-癸二烯醛具有油炸食物的香味<sup>[3,34]</sup>。其中正己醛是脂肪氧化的标志性产物, 是腌腊肉制品的主要风味物质之一<sup>[31]</sup>。因此, 添加外源脂肪酶(Palataase)能在较短的烘烤时间内加速这些脂质氧化形成的风味物质的积累。有研究表明, 大多数支链醛主要是来自于氨基酸的Strecker降解<sup>[35]</sup>, 由表4可知, 中式香肠中的支链醛含量较少, 可见Strecker降解在中式香肠的生产过程中对风味的贡献很微弱。酮类物质是醛类物质进一步氧化所得产物。综合羰基类化合物的变化可知, 添加外源脂肪酶(Palataase)能加速脂肪氧化的进程, 而脂质降解和氧化被认为是腌腊肉制品风味形成的主要途径之一<sup>[36]</sup>, 因此适量添加脂肪酶(Palataase)控制氧化程度, 有利于促进中式香肠的挥发性风味物质在短时间内累积。

醇类化合物中含量最多的是乙醇, 这与原料中大曲酒的添加相关。随着外源脂肪酶(Palataase)添加量的增加, 更多的游离脂肪酸被释放, 游离脂肪酸和乙醇间的酯化作用增强, 乙醇含量显著减少( $P<0.05$ )。Shahidi等<sup>[37]</sup>认为除乙醇外的大部分醇类物质均是脂质氧化而来。添加外源脂肪酶(Palataase)使香肠中除乙醇外的大部分醇类物质含量升高的结果, 这与外源脂肪酶(Palataase)导致的脂质氧化水平的显著升高的结果相一致。

中式香肠中的挥发性有机酸主要是短链酸和支链酸。添加外源脂肪酶(Palataase)能显著升高中式香肠中挥发性酸类物质的含量( $P<0.05$ ), 随着脂肪酶(Palataase)添加量的升高, 酸类物质的峰面积变化无明显规律。短链脂肪酸可能是来源于中性脂肪和磷脂的降解<sup>[38]</sup>; 也可能来源于氨基酸脱氨产物或微生物代谢<sup>[30]</sup>。短链脂肪酸(C链长度 $<6$ )是中式香肠中主要的挥发性酸类物质, 这些短链脂肪酸阈值较低, 有强烈的奶酪香气, 对香肠的圆润的酯香风味有积极作用<sup>[30]</sup>。

烷烃类化合物是腌腊肉制品中游离脂肪酸氧化的中间产物<sup>[12]</sup>。烷烃类化合物在本实验的终产品中仅有少量检出。外源脂肪酶(Palataase)处理的香肠中庚烷、2-戊烷基-咪喃的含量比对照组显著增加( $P<0.05$ ), 这也反映了外源酶添加促进了脂肪氧化的进程。

## 2.5 感官评定

表5 香肠感官评定

Table 5 Sensory evaluation of sausages with different levels of Platase

项目	评分					
	C组	P2组	P4组	P6组	P8组	P10组
色泽	6.96±0.65 <sup>a</sup>	6.67±0.63 <sup>a</sup>	6.92±0.59 <sup>a</sup>	6.71±0.75 <sup>a</sup>	6.75±0.71 <sup>a</sup>	6.71±0.63 <sup>a</sup>
香气	5.63±0.51 <sup>a</sup>	5.88±0.75 <sup>ab</sup>	6.13±0.89 <sup>ab</sup>	6.79±0.76 <sup>b</sup>	7.08±0.70 <sup>b</sup>	5.88±1.00 <sup>ab</sup>
滋味	6.75±0.87 <sup>b</sup>	4.58±0.87 <sup>a</sup>	5.13±0.69 <sup>a</sup>	6.67±0.72 <sup>b</sup>	6.92±0.92 <sup>b</sup>	5.46±1.09 <sup>a</sup>
质构	6.63±0.85 <sup>c</sup>	6.58±0.78 <sup>bc</sup>	6.42±0.72 <sup>bc</sup>	5.92±0.78 <sup>bc</sup>	5.75±0.75 <sup>bc</sup>	5.50±0.82 <sup>c</sup>

由表5可知,外源脂肪酶(Palataase)对中式香肠的色泽无显著影响( $P>0.05$ ),但对香气、滋味和质构都有显著影响( $P<0.05$ )。

随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加香肠香气得分先升高后降低,P8组样品的香气得分最高,继续增加脂肪酶(Palataase)添加量,香气得分降低。根据TBARS值、游离脂肪酸组成以及挥发性风味物质的组成可知,随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加,中式香肠的脂肪氧化程度逐渐升高,脂肪氧化是腌腊肉制品风味形成的主要原因。适当的脂肪氧化能产生良好的风味,而过度氧化会导致香肠产生异味,这就解释了香气值在脂肪酶(Palataase)适量添加时香气得分升高,而P10香气组却得分不高。

加少量的外源脂肪酶(Palataase),滋味得分显著下降( $P<0.05$ ),随着脂肪酶(Palataase)添加量的升高,滋味得分则逐渐升高,P8组样品的滋味得分最高。感官评定小组评价认为P6、P8和P10组味道相比对照组丰富,P10组样品哈败味较明显,P2、P4组则酸味较重。滋味得分可能与pH值和氧化生成的呈味物质两方面有关:添加少量脂肪酶(Palataase),游离脂肪酸被加速释放,而样品的氧化程度则增幅较小,此时游离脂肪酸水解产生的酸味占优势;随着脂肪酶(Palataase)添加量的增加,样品的氧化程度逐渐增大,更多水解释放出的不饱和游离脂肪酸氧化生成风味物质,香肠的滋味逐渐好转;但过量添加脂肪酶(Palataase)后,香肠氧化过度,则会产生过度氧化导致的哈败味。因此,外源脂肪酶(Palataase)的添加量需要控制在适当范围内。

香肠的质构得分则随着脂肪酶(Palataase)的添加而显著降低( $P<0.05$ ),可能原因是脂肪氧化引发的蛋白质氧化聚合有关。蛋白质氧化会形成羰基导致蛋白质功能特性的下降,同时通过二硫键的作用形成蛋白质交联,从而导致硬度的增加<sup>[39]</sup>。

### 3 结论

适量添加外源脂肪酶(Palataase)可以有效地促进高温短时烘烤中式香肠中的脂肪降解和氧化,为其独特风味的形成提供了脂质来源的风味前体物质及风味物质(醛、酮、酯等),从而改善中式香肠的感官品质;过量添加外源脂肪酶(Palataase)会导致中式香肠的过度氧化,不利于产品的风味和安全。综合理化数据和感官分析结果,脂肪酶(Palataase)添加水平为0.06%时能显著提高香肠香气,并且不影响香肠的色泽、滋味和质构等感官品质。

### 参考文献:

- [1] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 127-129.
- [2] SHAHIDI F, 李洁, 朱国斌. 肉制品与水产品的风味[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [3] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [4] FERNÁNDEZ M, de la HOZ L, DÍAZ O, et al. Effect of the addition of pancreatic lipase on the ripening of dry-fermented sausages. Part 1. Microbial, physico-chemical and lipolytic changes[J]. Meat Science, 1995, 40(2): 159-170.
- [5] FERNÁNDEZ M, de la HOZ L, DÍAZ O, et al. Effect of the addition of pancreatic lipase on the ripening of dry-fermented sausages. Part 2. Free fatty acids, short-chain fatty acids, carbonyls and sensory quality[J]. Meat Science, 1995, 40(3): 351-362.
- [6] 甘春生. 外源酶调控火腿片成熟技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 1-36.
- [7] 杨华, 张琳, 马丽珍, 等. 外源酶缩短羊肉发酵香肠成熟期的效果研究[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 81-86.
- [8] 吴若娜, 李诚, 付刚, 等. 外源脂肪酶对腊鸭腿品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(19): 161-164; 168.
- [9] 王小芬, 张艳红, 王俊华, 等. 微生物脂肪酶的研究进展[J]. 科技导报, 2006(2): 10-12.
- [10] 王蓓. 酶法制备天然牛奶风味基料及牛奶香精的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 18-56.
- [11] 刘晓艳, 成坚, 徐晓飞. 非水体系脂肪酶催化生成奶味香精的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(4): 191-193.
- [12] 孙为正. 广式腊肠加工过程中脂质水解、蛋白质降解及风味成分变化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011: 45-97.
- [13] FOLCH J, LEES M, SLOANE-STANLEY G. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. The Journal of biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [14] KALUZNY M, DUNCAN L, MERRITT M, et al. Rapid separation of lipid classes in high yield and purity using bonded phase columns[J]. Journal of Lipid Research, 1985, 26(1): 135-140.
- [15] 郭向莹, 李伟群, 孙仪, 等. 超高压处理对低温鸡肉早餐肠在冷藏期间脂肪氧化的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 316-320.
- [16] WANG B, PACE R D, DESSAI A P, et al. Modified extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values in meat with increased specificity and simplicity[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(8): 2833-2836.
- [17] ZHANG L, LIN Y H, LENG X J, et al. Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 145-150.
- [18] STONE H, BLEIBAUM R, THOMAS H A. Sensory evaluation practices[M]. 3th ed. New York: Academic Press, 2004.
- [19] NOLLET L M, TOLDRÁ F. Handbook of processed meats and poultry analysis[M]. Florida: CRC Press, 2010.
- [20] 马汉军, 周光宏, 余小颖, 等. 中式发酵香肠pH与 $A_w$ 的关系及其对产品风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 87-91.
- [21] 曾凡斌, 潘思秩. 食品加工中风味规律的探索[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊2): 316-320.
- [22] TIMÓN M, VENTANAS J, CARRAPISO A, et al. Subcutaneous and intermuscular fat characterisation of dry-cured Iberian hams[J]. Meat Science, 2001, 58(1): 85-91.
- [23] ZALACAIN I, ZAPELENA M J, ASTIASARÁN I, et al. Dry fermented sausages elaborated with lipase from *Candida cylindracea*. Comparison with traditional formulations[J]. Meat Science, 1995, 40(1): 55-61.

- [24] ZALACAIN I, ZAPELENA M J, ASTIASARAN I, et al. Addition of lipase from *Candida cylindracea* to a traditional formulation of a dry fermented sausage[J]. *Meat Science*, 1996, 42(2): 155-163.
- [25] ZALACAIN I, ZAPELENA M J, de PEÑA M P, et al. Use of lipase from *Rhizomucor miehei* in dry fermented sausages elaboration: microbial, chemical and sensory analysis[J]. *Meat Science*, 1997, 45(1): 99-105.
- [26] ULU H. Evaluation of three 2-thiobarbituric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products[J]. *Meat Science*, 2004, 67(4): 683-687.
- [27] POSTE L M, WILLEMOT C, BUTLER G, et al. Sensory aroma scores and TBA values as indices of warmed-over flavor in pork[J]. *Journal of Food Science*, 1986, 51(4): 886-888.
- [28] 赵谋明, 孙为正, 吴燕涛, 等. 广式腊肠脂质降解与氧化的控制研究[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(8): 10-13.
- [29] ANSORENA D, ASTIASARAN I, BELLO J. Influence of the simultaneous addition of the protease flavourzyme and the lipase novozym 677BG on dry fermented sausage compounds extracted by SDE and analyzed by GC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(6): 2395-2400.
- [30] ANSORENA D, GIMENO O, ASTIASARÁN I, et al. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: chorizo de Pamplona[J]. *Food Research International*, 2001, 34(1): 67-75.
- [31] 周非白, 孙为正, 赵谋明. 广式腊肠挥发性风味物质的形成机理及贮存与蒸煮的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(3): 17-22.
- [32] 郇延军, 周光宏, 徐幸莲. 脂类物质在火腿风味形成中的作用[J]. *食品科学*, 2004, 25(1): 186-190.
- [33] SÁNCHEZ-PEÑA C M, LUNA G, GARCÍA-GONZÁLEZ D L, et al. Characterization of French and Spanish dry-cured hams: influence of the volatiles from the muscles and the subcutaneous fat quantified by SPME-GC[J]. *Meat Science*, 2005, 69(4): 635-645.
- [34] 孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [35] 龙卓珊. 广式腊肠风味形成机理及贮藏期变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [36] 郇延军. 金华火腿加工过程中脂类物质及风味成分变化的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [37] SHAHIDI F, RUBIN L J, D'SOUZA L A, et al. Meat flavor volatiles: a review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation[J]. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1986, 24(2): 141-243.
- [38] MOTILVA M-J, TOLDRÁ F, NIETO P, et al. Muscle lipolysis phenomena in the processing of dry-cured ham[J]. *Food Chemistry*, 1993, 48(2): 121-125.
- [39] GANHÃO R, MORCUENDE D, ESTÉVEZ M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: influence on colour and texture deterioration during chill storage[J]. *Meat Science*, 2010, 85(3): 402-409.