

文章编号:1000-8551(2019)12-2405-09

# 发色剂对中式香肠营养、风味成分的影响

唐宏刚<sup>1</sup> 朱培培<sup>1</sup> 肖朝耿<sup>1</sup> 杨慧娟<sup>1</sup> 任发政<sup>2</sup> 郭慧媛<sup>2</sup> 陈黎洪<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>浙江省农业科学院食品科学研究所,浙江 杭州 310021; <sup>2</sup>中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京 100083)

**摘要:**为寻求应用于肉制品加工的亚硝酸盐替代物,以中式香肠为研究对象,从感官评价、营养成分及挥发性风味物质组成探究不同发色剂(试验组1:0.5%甜菜粉+50 mg·kg<sup>-1</sup>亚硝酸钠、试验组2:0.1%甜菜粉+0.06%改性血红蛋白、试验组3:100 mg·kg<sup>-1</sup>亚硝酸钠)对产品营养和风味品质的影响。结果表明,试验组1和2香肠的外观、色泽和口感与试验组3差异不显著,且均与对照组差异显著( $P<0.05$ );试验组1氨基酸总含量显著高于其他组( $P<0.05$ );试验组2脂肪酸含量相对最高,其中十八碳二烯酸含量显著高于其他各组( $P<0.05$ );通过风味分析,试验组1、试验组2分别检出27、26种挥发性成分,风味物质种类多于试验组3,其中试验组2醛类、酯类化合物含量相对较高,风味更好。本研究结果为中式香肠加工过程中亚硝酸盐的有效替代,提升中式香肠品质提供了一定的技术指导。

**关键词:**甜菜粉; 改性血红蛋白; 中式香肠; 营养成分; 风味物质

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2019.12.2405

中式香肠是将原料肉斩拌、加入辅料腌制后灌入动物肠衣,经烘烤或自然晾晒而成的一种特色肉制品<sup>[1]</sup>。因其具有色泽鲜艳、香气浓郁和耐储藏等特点,深受消费者青睐<sup>[2]</sup>。在中式香肠的加工过程中,通常以亚硝酸盐作为食品添加剂。亚硝酸盐不仅能起到发色、抗氧化的作用,而且可以有效抑制微生物的生长繁殖,对其风味形成也具有显著影响<sup>[3]</sup>。但亚硝酸盐对人体具有较强的急性毒性,世界各国严格限制肉制品中亚硝酸盐的添加量。此外,肉制品中的亚硝酸盐可转化为强致癌物——亚硝胺,食品中痕量的亚硝胺即可对人体产生毒害<sup>[4-5]</sup>。因此,发掘天然、安全的发色剂替代亚硝酸盐并在肉制品生产加工中应用,降低肉制品亚硝酸盐残留量,提高产品的品质安全性,是当前肉制品加工领域的研究热点。

目前,国内外学者在亚硝酸盐替代方面开展了较多研究,如采用天然色素类着色剂<sup>[6]</sup>、果蔬汁/粉及提取物<sup>[7-10]</sup>、配体——血红蛋白<sup>[11]</sup>、复配助色剂<sup>[12]</sup>等在肉制品加工过程中替代亚硝酸盐,起到明显的发色与提高色泽稳定性的作用,同时能抑制脂肪氧化。但将甜菜粉作为亚硝酸盐替代物应用于香肠加工的研究较少<sup>[13]</sup>,

而采用的配体——血红蛋白多为亚硝基血红蛋白(nitrosohemoglobin, HbNO)类。浙江省农业科学院食品科学研究所畜产品加工课题组前期研究发现,将甜菜粉与亚硝酸钠复合物、甜菜粉与糖基化酰基血红蛋白复合物分别添加于中式香肠,不仅可以起到降低亚硝酸盐残留的作用,而且还具有较好的发色效果,还不会影响香肠的质构特性<sup>[13-14]</sup>。而上述复合发色剂对中式香肠营养与风味品质的影响仍需作进一步探讨。基于此,本研究对添加不同种类发色剂的香肠产品进行感官评定,测定比较氨基酸、脂肪酸等营养成分的差异,并采用固相微萃取-气相色谱-质谱(solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)联用技术分析挥发性风味物质的种类和含量,旨在为中式香肠加工过程亚硝酸盐的有效替代,提高香肠产品的食用品质及安全性提供一定的理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

甜菜粉、改性血红蛋白,由浙江省农业科学院食品

收稿日期:2019-04-12 接受日期:2019-06-09

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LQ17C200003),国家蛋鸡产业技术体系岗位科学家任务(CARS-40-K26),杭州市农业和社会发展科研主动设计项目(20180416A06)

作者简介:唐宏刚,男,副研究员,主要从事畜产品加工、功能食品配料制造研究。E-mail: zaastang@163.com

\* 通讯作者:陈黎洪,男,研究员,主要从事畜产品加工技术研究。E-mail: cwc528@163.com

科学研究所畜产品加工实验室自制;猪肉、肠衣,购于当地农贸市场;食盐、蔗糖,购于当地食品市场。

柠檬酸三钠、甘油、烟酰胺、D-异抗坏血酸钠、壳聚糖、亚硝酸钠、硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、氢氧化钠、95%乙醇、无水乙醚、海砂、甲醇、三氟化硼、异辛烷、无水硫酸钠、氯化钠、浓盐酸、苯酚、茚三酮溶液等,购自国药集团化学试剂有限公司,所有试剂均为分析纯。

## 1.2 主要仪器与设备

ALB-224 型电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;DHG-9146A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;龙科 A 定氮蒸馏装置,上海化科实验器材有限公司;2300 kjeltec Analyser Unit 自动凯氏定氮仪,瑞典 FOSS 公司;索氏提取器 Soxtec 2055 脂肪测定仪,丹麦 FOSS 公司;Trace GC Ultra 气相色谱仪,美国热电公司;SYKAM 433D 氨基酸分析仪,德国赛卡姆公司;DZF-6050 真空干燥箱,浙江赛德仪器公司;Agilent 7890-5975C 气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦公司;SPME 萃取头,美国安捷伦公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 甜菜粉制备 市场上购买的甜菜清洗干净,于 55℃ 烘箱中烘干,粉碎机粉碎,过 60 目筛,4℃ 冰箱保存备用。

1.3.2 改性血红蛋白制备 将经过抗凝处理的新鲜

猪血用 4~8 层纱布过滤除去杂质,静置 4~8 h。4 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 15 min 滤去上清液,加等量蒸馏水充分搅拌 3 h 使血红蛋白释放。在血红蛋白液中加入 10 mg·mL<sup>-1</sup> 甘油,充分搅拌,分别加入质量分数 1% 烟酰胺和 1% D-异抗坏血酸钠,搅拌均匀后调节 pH 值为 7.3~7.5,于 4℃ 避光反应 24 h。将反应液与 0.5% 壳聚糖溶液按 1:1 体积比混合,调节 pH 值为 7.0 左右,50℃ 水浴 5 min,用 4 层纱布过滤去除未反应、变性蛋白质,所得滤液冷冻干燥(冷冻温度 -40℃,冻干时间 48 h)。

1.3.3 中式香肠样品制备及分组 将新鲜猪肉(肥瘦比 1:4)切成丁状,斩拌时加入 3% 食盐、2% 蔗糖、0.8% 曲酒(52 度)、10% 冰水,分别加入定量不同发色剂,4℃ 腌制 24 h,灌装,然后于 45~50℃ 烘烤 48 h,4℃ 储存。具体分组:对照组、试验组 1(0.5% 甜菜粉+50 mg·kg<sup>-1</sup> 亚硝酸钠)、试验组 2(0.1% 甜菜粉+0.06% 改性血红蛋白)、试验组 3(100 mg·kg<sup>-1</sup> 亚硝酸钠)。

1.3.4 感官评价 邀请 8 位身体健康的食品专业人员,分别对香肠的外观、组织状态、色泽、气味、口感进行评分<sup>[15-16]</sup>,采用 10 分制进行感官评价。样品去皮后切成约 3 cm 厚,编号,分别放入相同的白盘中,每次呈送一个样品。评价员独立进行评价,相互之间不影响。样品评定后用清水漱口,2 个样品评价间隔不少于 5 min,以免影响评价员的判断<sup>[17]</sup>。

表 1 感官评价评分标准

Table 1 Criterion for sensory evaluation of Chinese sausages

| 指标 Index                       | 评价标准 Evaluation criterion | 得分 Score |
|--------------------------------|---------------------------|----------|
| 外观<br>Appearance               | 肠衣完整,紧包肉馅,肠体饱满,无斑点        | 8~10     |
|                                | 肠衣较完整,肠体饱满                | 5~7      |
|                                | 肠衣易分离,包裹肉馅较松散,表面有斑点       | 1~4      |
| 组织状态<br>Histological structure | 切片紧实,肉质细腻                 | 8~10     |
|                                | 切片完整,肉质均匀                 | 5~7      |
|                                | 切片不完整,肉质松散                | 1~4      |
| 色泽<br>Color                    | 呈现鲜红色,发色均匀                | 8~10     |
|                                | 呈红色,发色较均匀                 | 5~7      |
|                                | 呈暗色,发色不均匀                 | 1~4      |
| 气味<br>Odour                    | 肉香味浓郁                     | 8~10     |
|                                | 肉香味一般,但无脂肪酸败味             | 5~7      |
|                                | 无肉香味,有脂肪酸败味               | 1~4      |
| 口感<br>Taste                    | 肉质嫩,有韧性和嚼劲                | 8~10     |
|                                | 肉质一般,有一定的韧性               | 5~7      |
|                                | 肉质较差,无咀嚼感                 | 1~4      |

1.3.5 蛋白质含量测定 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[18]</sup>。

1.3.6 粗脂肪含量测定 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》<sup>[19]</sup>。

1.3.7 氨基酸和脂肪酸测定 氨基酸测定参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》<sup>[20]</sup>;脂肪酸测定参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》<sup>[21]</sup>。

1.3.8 风味成分分析 参考 Sun 等<sup>[22]</sup>和滕安国等<sup>[23]</sup>的方法,并作适当改动。称取 4 g 粉碎后的香肠样品,装入顶空样品瓶约 2/3 处,用硅胶隔垫密封。样品置于 50℃ 水浴保温 30 min。将 SPME 针管插入萃取瓶,使老化后的萃取头伸至样品上端,探头置于顶空样品瓶上部,吸附平衡 30 min。将萃取头插入 GC-MS 进样器解析 20 min。GC-MS 条件:色谱柱 DB-17ms (30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度 260℃,程序升温:初始温度 40℃, 10℃·min<sup>-1</sup> 升至 280℃,保持 5 min,再 5℃·min<sup>-1</sup> 升至 250℃,保持 10 min;载气为高纯度氦气(99.999%),流速 1 mL·min<sup>-1</sup>,不分流进样;

电子轰击离子源 EI,电子能量 70 eV;离子源温度 230℃,四级杆温度为 150℃;溶剂延迟时间 1.5 min;全扫描(fμμ)方式 33~500 amu。

## 1.4 数据分析

试验数据以平均值±标准偏差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用 SPSS 17.0 进行显著性分析( $P<0.05$ )。采用 Microsoft Excel 2010 软件绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价

由表 2 可知,各试验组香肠的感官评分均高于对照组;其中试验组 1、2 样品在外观、色泽、口感方面的评分与对照组具有显著差异( $P<0.05$ );试验组 2 的气味评分显著高于对照组( $P<0.05$ );试验组 1、试验组 2 与添加亚硝酸钠的试验组 3 间感官评分差异均不显著。表明复合发色剂能够显著提高中式香肠的感官品质,其作用效果与单独添加亚硝酸钠无明显差别。

表 2 感官评价结果

Table 2 Results of sensory evaluation

| 组别<br>Groups          | 外观<br>Appearance | 组织状态<br>Histological structure | 色泽<br>Color | 气味<br>Odour | 口感<br>Taste |
|-----------------------|------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 对照组<br>Control group  | 6.69±1.19b       | 6.81±1.28a                     | 6.63±0.69b  | 6.56±0.68b  | 6.63±0.69b  |
| 试验组 1<br>Test group 1 | 7.69±0.53a       | 7.81±0.70a                     | 7.69±0.53a  | 6.94±0.68ab | 7.38±0.44a  |
| 试验组 2<br>Test group 2 | 7.94±0.68a       | 7.50±0.89a                     | 7.63±0.64a  | 7.44±0.82a  | 7.69±0.80a  |
| 试验组 3<br>Test group 3 | 7.44±1.08ab      | 7.63±0.95a                     | 7.63±0.79a  | 7.69±0.70a  | 7.69±0.70a  |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

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

### 2.2 发色剂对中式香肠蛋白质、脂肪含量的影响

由表 3 可知,4 组香肠样品的蛋白质含量依次为 26.40%、29.21%、28.02%和 26.61%,其中试验组 1 的蛋白质含量最高,且显著高于其他组( $P<0.05$ )。4 组香肠样品中脂肪含量依次为 18.80%、19.81%、18.20%和 18.73%,试验组 2 脂肪含量最低,且各组间差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.3 发色剂对中式香肠氨基酸组成的影响

由表 4 可知,4 组中式香肠均检出 16 种氨基酸,其中谷氨酸含量最高,其次为天冬氨酸和赖氨酸。试验组 1 香肠样品的氨基酸总含量最高,达 26.00%,其次是试验组 2(23.59%),两组间差异显著( $P<0.05$ )。试验组 1、试验组 2 的总氨基酸含量均显著高于对照组和试验组 3( $P<0.05$ )。

表 3 中式香肠蛋白质、脂肪含量

Table 3 Protein and fat content of Chinese sausages

| 组别<br>Groups          | 蛋白质含量<br>Protein content | 脂肪含量<br>Fat content |
|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 对照组<br>Control group  | 26.40±0.01d              | 18.80±0.01b         |
| 试验组 1<br>Test group 1 | 29.21±0.02a              | 19.81±0.01a         |
| 试验组 2<br>Test group 2 | 28.02±0.02b              | 18.20±0.02d         |
| 试验组 3<br>Test group 3 | 26.61±0.01c              | 18.73±0.02c         |

表4 中式香肠氨基酸含量与组成

Table 4 Amino acid content and composition of Chinese sausages

/%

| 氨基酸<br>Amino acids                   | 对照组<br>Control group | 试验组 1<br>Test group 1 | 试验组 2<br>Test group 2 | 试验组 3<br>Test group 3 |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| * 天冬氨酸 Asp                           | 2.24±0.03c           | 2.60±0.02a            | 2.33±0.01b            | 2.17±0.01d            |
| 苏氨酸 Thr                              | 1.10±0.01c           | 1.27±0.02a            | 1.14±0.01b            | 1.06±0.00d            |
| 丝氨酸 Ser                              | 0.98±0.01c           | 1.16±0.01a            | 1.04±0.02b            | 0.94±0.01d            |
| * 谷氨酸 Glu                            | 3.43±0.01c           | 3.99±0.02a            | 3.61±0.02b            | 3.34±0.01d            |
| 脯氨酸 Pro                              | 0.91±0.01c           | 1.09±0.01a            | 0.96±0.01b            | 0.89±0.01c            |
| * 甘氨酸 Gly                            | 1.13±0.01c           | 1.31±0.02a            | 1.26±0.01b            | 1.10±0.01d            |
| * 丙氨酸 Ala                            | 1.38±0.01c           | 1.60±0.01a            | 1.46±0.01b            | 1.34±0.01d            |
| 缬氨酸 Val                              | 1.04±0.01c           | 1.28±0.01a            | 1.13±0.02b            | 1.02±0.02c            |
| 甲硫氨酸 Met                             | 0.60±0.01b           | 0.68±0.02a            | 0.62±0.02b            | 0.62±0.01b            |
| 异亮氨酸 Ile                             | 1.08±0.02c           | 1.27±0.02a            | 1.13±0.02b            | 1.04±0.01d            |
| 亮氨酸 Leu                              | 1.96±0.02c           | 2.26±0.03a            | 2.04±0.02b            | 1.88±0.01d            |
| * 酪氨酸 Tyr                            | 0.60±0.01b           | 0.70±0.01a            | 0.59±0.01bc           | 0.58±0.00c            |
| * 苯丙氨酸 Phe                           | 0.96±0.01b           | 1.13±0.01a            | 0.98±0.01b            | 0.91±0.01c            |
| 组氨酸 His                              | 1.36±0.01c           | 1.56±0.03a            | 1.49±0.02b            | 1.30±0.01d            |
| 赖氨酸 Lys                              | 2.12±0.02c           | 2.42±0.02a            | 2.28±0.02b            | 2.06±0.01d            |
| 精氨酸 Arg                              | 1.44±0.02c           | 1.68±0.02a            | 1.54±0.02b            | 1.42±0.01c            |
| 呈味氨基酸<br>Flavour-related amino acids | 9.74±0.01c           | 11.33±0.02a           | 10.23±0.01b           | 9.44±0.01c            |
| 总氨基酸<br>Total amino acids            | 22.33±0.03c          | 26.00±0.01a           | 23.59±0.01b           | 21.67±0.01d           |

注: \* 表示呈味氨基酸。同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

Note: \* indicates flavour-related amino acids. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level.

## 2.4 发色剂对中式香肠脂肪酸组成的影响

由表5可知,各组香肠中均检出6种脂肪酸,包括直链饱和脂肪酸,如十四烷酸、十六烷酸和十八烷酸;其中十六烷酸含量最高,且各组之间差异均不显著( $P>0.05$ );不饱和脂肪酸,如十六碳烯酸、十八碳烯酸和

十八碳二烯酸,其中十八碳烯酸的含量最高,同时也是所检出的脂肪酸中含量最高的。对照组十八碳烯酸含量显著高于其他试验组( $P<0.05$ );十八碳二烯酸为多不饱和脂肪酸,试验组2的十八碳二烯酸含量显著高于其他组( $P<0.05$ )。

表5 中式香肠的脂肪酸含量

Table 5 Fatty acids content of Chinese sausages

/%

| 组别 Groups             | 十四烷酸 C14:0 | 十六烷酸 C16:0  | 十六碳烯酸 C16:1 | 十八烷酸 C18:0  | 十八碳烯酸 C18:1 | 十八碳二烯酸 C18:2 |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 对照组<br>Control group  | 1.86±0.04b | 36.96±0.04a | 1.90±0.01c  | 19.38±0.03a | 38.18±0.03a | 1.72±0.02d   |
| 试验组 1<br>Test group 1 | 1.96±0.03a | 37.10±0.20a | 2.00±0.01a  | 19.14±0.04b | 37.92±0.02d | 1.88±0.03c   |
| 试验组 2<br>Test group 2 | 1.80±0.02c | 37.08±0.03a | 1.94±0.02b  | 18.98±0.05c | 37.98±0.01c | 2.22±0.01a   |
| 试验组 3<br>Test group 3 | 1.88±0.00b | 36.94±0.08a | 1.83±0.03d  | 19.22±0.04b | 38.07±0.02b | 2.06±0.03b   |

## 2.5 发色剂对中式香肠风味成分的影响

香肠的挥发性风味成分 GC-MS 色谱图如图1所示,所得图谱经 NIST 质谱数据库进行检索,对试验样

品进行定性定量分析。按结构分类统计,挥发性风味物质种类和相对含量结果如表6所示。

研究发现,中式香肠中的挥发性成分主要分为酯

表 6 中式香肠的风味分析结果  
Table 6 Results of flavor analysis of Chinese sausages

| 保留时间<br>Retention time/min | 化合物名称<br>Compound name | 分子式<br>Molecular formula                       | 相对含量 Relative content/% |                       |                       |                       |
|----------------------------|------------------------|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                            |                        |  | 对照组<br>Control group    | 试验组 1<br>Test group 1 | 试验组 2<br>Test group 2 | 试验组 3<br>Test group 3 |
| 14.975                     | 乙酸乙酯                   | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | 0.33                    | 0.63                  | ND                    | ND                    |
| 26.369                     | 丁酸乙酯                   | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 2.59                    | 3.76                  | 2.16                  | 5.30                  |
| 27.641                     | 2-甲基丁酸乙酯               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 0.21                    | 0.33                  | ND                    | ND                    |
| 28.886                     | 3-甲基丁酸乙酯               | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 0.27                    | 0.34                  | ND                    | ND                    |
| 34.231                     | 戊酸乙酯                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 0.55                    | 0.40                  | 0.43                  | ND                    |
| 41.844                     | 己酸乙酯                   | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 12.78                   | 5.59                  | 10.13                 | 7.52                  |
| 49.104                     | 庚酸乙酯                   | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>  | 0.56                    | 0.31                  | 0.48                  | ND                    |
| 49.886                     | 2-羟基丙酸乙酯               | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>  | 0.81                    | 1.16                  | 0.88                  | 1.55                  |
| 55.834                     | 辛酸乙酯                   | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 1.77                    | 1.78                  | 1.68                  | 1.85                  |
| 61.015                     | 壬酸乙酯                   | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 0.37                    | 0.22                  | ND                    | ND                    |
| 65.208                     | 癸酸乙酯                   | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> | ND                      | 1.38                  | 0.93                  | 1.53                  |
| 酯类 Esters                  |                        |  | 20.24                   | 15.9                  | 16.69                 | 17.75                 |
| 56.729                     | 乙酸                     | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>   | ND                      | 0.38                  | ND                    | ND                    |
| 64.813                     | 丁酸                     | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>   | ND                      | 0.21                  | ND                    | ND                    |
| 64.807                     | 戊酸                     | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>  | ND                      | ND                    | 0.27                  | ND                    |
| 71.822                     | 己酸                     | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>  | 0.84                    | 0.66                  | 0.71                  | ND                    |
| 酸类 Acids                   |                        |  | 0.84                    | 1.25                  | 0.98                  |                       |
| 6.533                      | 乙醛                     | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O                | 0.16                    | 0.12                  | ND                    | ND                    |
| 21.661                     | 戊醛                     | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O               | 0.48                    | ND                    | 0.61                  | ND                    |
| 29.926                     | 己醛                     | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O               | 9.62                    | 0.26                  | 9.63                  | ND                    |
| 38.126                     | 庚醛                     | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O               | 0.41                    | 0.06                  | 0.53                  | ND                    |
| 45.968                     | 辛醛                     | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O               | 0.54                    | ND                    | 0.64                  | ND                    |
| 48.645                     | 反-2-庚烯醛                | C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O               | 0.25                    | ND                    | ND                    | ND                    |
| 53.366                     | 壬醛                     | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O               | 0.95                    | 0.47                  | 1.05                  | ND                    |
| 60.92                      | 苯甲醛                    | C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O                | 0.29                    | 0.28                  | 2.44                  | ND                    |
| 65.868                     | 苯乙醛                    | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O                | ND                      | 27.99                 | 22.0                  | ND                    |
| 71.29                      | 反反-2,4-癸二烯醛            | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O              | ND                      | ND                    | 0.23                  | ND                    |
| 醛类 Aldehydes               |                        |  | 12.7                    | 29.18                 | 37.13                 |                       |
| 18.926                     | 乙醇                     | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O                | 38.88                   | 38.82                 | 22.73                 | 65.29                 |
| 39.996                     | 3-甲基丁醇                 | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O               | 1.96                    | 1.65                  | 1.41                  | 3.07                  |
| 43.200                     | 戊醇                     | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O               | 0.86                    | ND                    | 0.71                  | ND                    |
| 50.560                     | 己醇                     | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O               | 0.23                    | 0.08                  | ND                    | ND                    |
| 56.672                     | 1-辛烯-3-醇               | C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O               | 2.44                    | ND                    | 2.21                  | ND                    |
| 61.983                     | 正辛醇                    | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O               | 0.26                    | 0.08                  | 0.30                  | ND                    |
| 醇类 Alcohols                |                        |  | 44.63                   | 40.63                 | 27.36                 | 68.36                 |
| 10.633                     | 丙酮                     | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O                | ND                      | 0.07                  | ND                    | ND                    |
| 37.945                     | 2-庚酮                   | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O               | 0.22                    | ND                    | ND                    | ND                    |

表 6(续)

| 保留时间<br>Retention time/min               | 化合物名称<br>Compound name | 分子式<br>Molecular formula                      | 相对含量 Relative content/% |                       |                       |                       |
|--|------------------------|---|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|  |                        |   | 对照组<br>Control group    | 试验组 1<br>Test group 1 | 试验组 2<br>Test group 2 | 试验组 3<br>Test group 3 |
| 酮类 Ketones                               |                        |   | 0.22                    | 0.07                  |                       |                       |
| 4.485                                    | 戊烷                     | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                | 1.10                    | ND                    | 1.10                  | ND                    |
| 6.412                                    | 庚烷                     | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>                | 0.30                    | ND                    | 0.33                  | ND                    |
| 9.529                                    | 辛烷                     | C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>                | ND                      | ND                    | 1.46                  | ND                    |
| 39.138                                   | D-柠檬烯                  | C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>               | 0.45                    | 0.42                  | ND                    | ND                    |
| 41.645                                   | 2-戊基呋喃                 | C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O              | 0.28                    | 0.26                  | 0.25                  | ND                    |
| 4.122                                    | 1-氮杂环丁烷乙胺              | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> | ND                      | ND                    | ND                    | 0.81                  |
| 68.601                                   | 甲氧基苯基肼                 | C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub> | ND                      | ND                    | ND                    | 2.50                  |
| 71.820                                   | 甲基-β-吡喃核糖苷             | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub> | ND                      | ND                    | ND                    | 0.88                  |
| 烷烃及环状化合物<br>Alkanes and cyclic compounds |                        |   | 2.13                    | 0.68                  | 3.14                  | 4.19                  |

注:ND 表示未检出。

Note:ND means no detected.

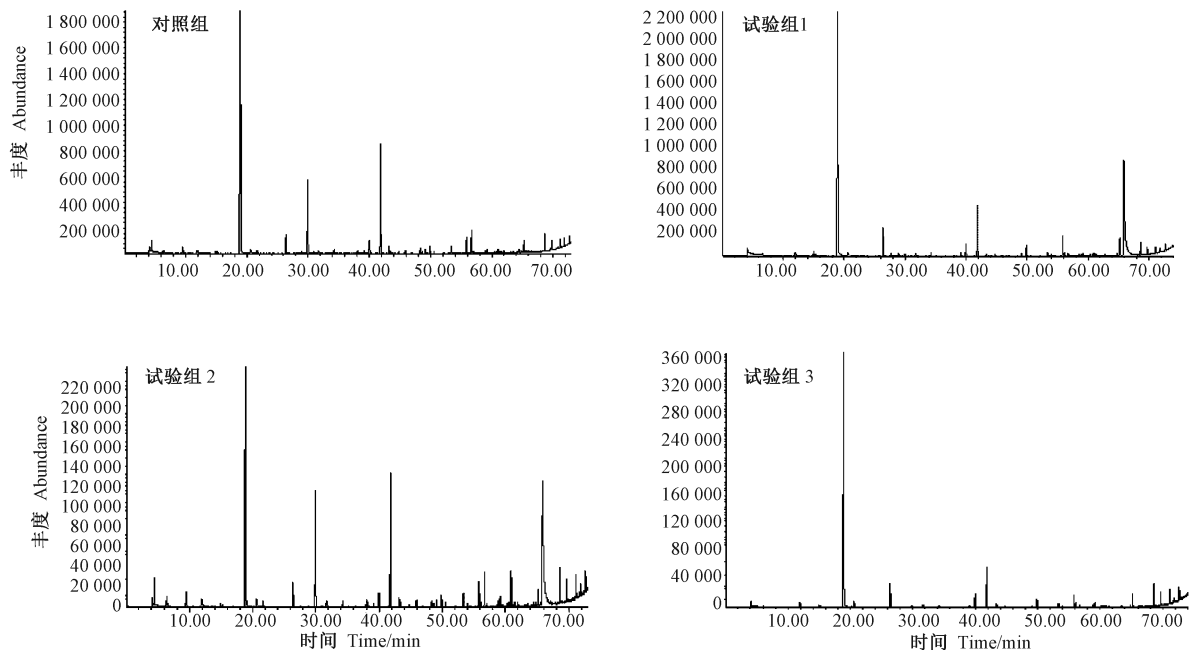


图 1 中式香肠香气成分总离子图

Fig.1 Total ion chromatogram for aroma components of Chinese sausages

类、酸类、醛类、醇类、酮类及烷烃类,各组的检测结果具有明显差别。试验组 1 共检出 27 种风味物质,试验组 2 共检出 26 种风味物质,试验组 3 未检出酸类、醛类、酮类物质。其中酯类以己酸乙酯含量最高,试验组 2 己酸乙酯含量高于试验组 1 和 3;酸类包括乙酸、丁酸、戊酸和己酸,其中试验组 1 乙酸、丁酸含量较高;醛类包括饱和醛、单烯醛和二烯醛,试验组 1 和 2 苯乙醛含量较高;醇类中乙醇含量最高,试验组 3 乙醇含量明

显高于其他组;酮类包括丙酮、2-庚酮,试验组 2 和 3 均未检出。

### 3 讨论

亚硝酸钠作为最常用的肉制品发色剂,对产品的色泽、风味起明显改善作用<sup>[24-25]</sup>。这在本研究中也得到了证实,添加亚硝酸钠的中式香肠在色泽、气味、口

感方面均得到显著提升。甜菜粉与亚硝酸钠复合物、甜菜粉与改性血红蛋白复合物具有与亚硝酸钠相类似的效果,使中式香肠呈现均匀的鲜红色,香气浓郁,有韧性和嚼劲,有效提高感官评分,尤以甜菜粉与改性血红蛋白复合物的作用效果更为突出。目前替代亚硝酸盐的改性血红蛋白多为亚硝基血红蛋白类色素,在光照条件下不稳定,易发生分解和褪色<sup>[26]</sup>。本研究采用的改性血红蛋白将血红蛋白进行了酰基和糖基化,提升了热稳定性和分散性,对中式香肠的外观同样具有改善作用,产品能够被消费者所接受。

蛋白质、脂肪含量对肉制品的食用品质和风味具有十分重要的影响。蛋白质在中式香肠加工过程中会通过内源酶、微生物和氧化三种途径发生降解,对风味物质的形成有重要作用<sup>[27]</sup>。脂类物质在肉制品风味形成过程中既作为溶剂蓄积风味化合物,又通过水解、氧化或与其他化合物发生反应等过程形成各种风味化合物<sup>[28]</sup>。另一方面,中式香肠中蛋白质和脂肪易受空气中的氧及自由基影响而发生氧化,产生不良风味和有害物质<sup>[29]</sup>。本研究中,与未添加发色剂的对照组相比,试验组中式香肠蛋白质含量均提高。对照组蛋白质含量较低的原因可能是蛋白质部分降解为胺类化合物和多肽,而3个试验组则是由于发色剂与肌红蛋白相结合,使其更加稳定、不易降解。中式香肠的脂肪含量范围为18.20%~19.81%,添加甜菜粉与亚硝酸钠复合物的香肠脂肪含量相对最高,但具体原因需作进一步分析。

氨基酸是蛋白质的主要组成成分,氨基酸种类及其含量是衡量肉类营养质量高低的一项重要指标<sup>[30]</sup>。谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸均为可溶性呈味氨基酸,其中谷氨酸和天冬氨酸是形成鲜味物质的重要前体物质<sup>[31]</sup>。丰富的氨基酸有助于大脑蛋白和神经递质的合成,对保护神经系统活动、提高记忆力以及改善睡眠十分有利。本研究中,中式香肠呈味氨基酸的含量相对较高,添加不同量的甜菜粉能提高呈味氨基酸及总氨基酸含量,显示具有较好的风味和较高的营养价值。脂肪酸是影响食品感官特性和营养价值的最重要组分之一<sup>[32]</sup>,多不饱和脂肪酸具有较强的调节血脂、降低胆固醇的作用,能促进肝中的胆固醇分解为胆酸排出体外;还具有促进蛋白质合成代谢、抑制分解代谢,增进食欲、增强体质,促进生长发育及组织再生的作用<sup>[33]</sup>。本研究发现,添加甜菜粉与改性血红蛋白复合物提高了中式香肠中十八碳二烯酸含量。

SPME/GC-MS 测定结果表明,挥发性风味物质中

醇类、酯类、醛类相对含量较高。各组香肠的乙醇含量均最高,其来源于加工原料中添加的曲酒,尽管醇类物质对肉制品风味的贡献被认为不重要<sup>[34]</sup>,但醇类物质在微生物作用下可以产生酯类物质<sup>[35]</sup>。已有研究表明,乙酯类化合物是中式香肠的主要风味物质,赋予香肠果香和奶油香味<sup>[36-37]</sup>。添加不同发色剂后,香肠的乙酯类化合物含量有所降低,试验组间相差不大。醛类和酮类化合物是肉制品风味成分中十分重要的风味物质,主要来源于脂肪氧化,其风味阈值较低,对肉制品的风味贡献较大<sup>[38]</sup>。本研究发现,使用具有较强抗氧化作用的亚硝酸钠作为发色剂,抑制了脂肪氧化,试验组3未检出醛类和酮类化合物。添加2种复合发色剂使香肠的醛类化合物含量明显提高,利于风味物质的加速形成。含6~10个碳原子的醛类化合物(己醛、庚醛、辛醛、2-庚烯醛、壬醛)具有特殊的熟肉风味,对肉制品的香气有重要贡献<sup>[39]</sup>。其中己醛具有青草和苹果香味,能够起到明显改善风味的作用<sup>[40]</sup>。苯乙醛由苯丙氨酸降解生成,是氨基酸代谢的特征产物,具有玫瑰花香<sup>[41-42]</sup>。上述醛类化合物在添加甜菜粉和改性血红蛋白试验组中含量较高,表明中式香肠的风味更好。酸类化合物包括乙酸、丁酸、戊酸和己酸,阈值较低且具有强烈的奶酪香气,对中式香肠的风味有重要作用<sup>[43]</sup>。添加亚硝酸钠的试验组未检出酸类物质,可能与原料的中性脂肪和磷脂降解受到抑制有关。试验组1检出的酸类物质最高,这与甜菜粉的化学组分可能有一定关联,有待今后深入研究。

## 4 结论

在中式香肠加工过程中,添加不同种类发色剂对产品的感官评分、营养成分及风味物质组成产生较大的影响。感官评价结果表明,添加0.5%甜菜粉+50 mg·kg<sup>-1</sup>亚硝酸钠、0.1%甜菜粉+0.06%改性血红蛋白与100 mg·kg<sup>-1</sup>亚硝酸钠对香肠外观、组织状态、色泽、气味、口感的改善作用无显著差别。复合发色剂组香肠的蛋白、氨基酸含量较其他组均显著增加,甜菜粉与改性血红蛋白复合物组的十八碳二烯酸含量较其他组显著提高。与添加亚硝酸钠相比,复合发色剂使香肠的挥发性风味物质种类增多,醛类、酸类化合物含量相对较高。从改善产品感官特征、提高营养价值及风味品质的角度认为,复合发色剂可应用于中式香肠加工,有效减少或替代亚硝酸盐的使用,且甜菜粉与改性血红蛋白复合物的作用效果更明显。

## 参考文献:

- [1] 周光宏. 肉品学[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:1-3
- [2] Gu X Z, Sun Y, Tu K, Pan L Q. Evaluation of lipid oxidation of Chinese-style sausage during processing and storage based on electronic nose[J]. *Meat Science*, 2017, 133: 1-9
- [3] Wójciak K M, Karwowska M, Dolatowski Z J. Use of acid whey and mustard seed to replace nitrites during cooked sausage production [J]. *Meat Science*, 2014, 96(2): 750-756
- [4] 周家华, 崔英德, 曾颖. 食品添加剂[M]. 北京:化学工业出版社, 2008
- [5] Sindelar J J, Milkowski A L. Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: A review of curing and examining the risk/benefit of its use[J]. *American Meat Science Association White Paper Series*, 2011, 3: 1-14
- [6] 李杉杉, 肖龙泉, 刘海强, 邹强, 刘达玉. 红曲红色素替代亚硝酸盐在川式香肠中的应用研究[J]. *成都大学学报(自然科学版)*, 2015, 34(2): 121-124
- [7] Hospital X F, Carballo J, Fernandez M, Arnau J, Gratacos M, Hierro E. Technological implications of reducing nitrate and nitrite levels in dry-fermented sausages: Typical microbiota, residual nitrate and nitrite and volatile profile[J]. *Food Control*, 2015, 57: 275-281
- [8] Fatemeh R, Fariba Z, Ebrahim H, Homa B, Sobhan S. Oxidation phenomena and color properties of grape pomace on nitrite-reduced meat emulsion systems[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 350-358
- [9] Wang Y L, Li F, Zhuang H, Chen X, Li L L, Qiao W W, Zhang J H. Effects of plant polyphenols and  $\alpha$ -tocopherol on lipid oxidation, residual nitrites, biogenic amines, and N-nitrosamines formation during ripening and storage of dry-cured bacon [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 60(1):199-206
- [10] 姚宏亮, 顾亚凤, 杨勇胜, 葛贤珍, 徐塘敏. 不同发色剂在广式腊肉中的发色应用研究[J]. *中国调味品*, 2012, 37(7): 43-44
- [11] 李飞, 隋新, 郝芮瑶, 张新新. 亚硝基血红蛋白类腌肉色素合成与应用的研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2014(5): 180-184
- [12] 徐洁洁, 杨海燕, 李瑾瑜, 孔令明. 发色助剂对熏马肉色泽及亚硝酸钠残留的影响[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(4): 28-31
- [13] 朱培培, 唐宏刚, 肖朝耿, 陈黎洪, 陆胜民. 甜菜粉与亚硝酸钠复合对中式香肠品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(1): 269-272, 327
- [14] 肖朝耿, 谭芦兰, 朱培培, 杨慧娟, 谌迪, 卢文静, 任发政, 郭慧媛, 葛升源, 唐宏刚, 陈黎洪. 糖基化酰基血红蛋白与甜菜粉对中式香肠品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(4): 161-168
- [15] 宋永, 乔娜, 温婷婷, 平文祥. 顶空固相微萃取-气质联用分析哈尔滨风干肠中的挥发性风味化合物[J]. *食品科学*, 2013, 34(2): 224-226
- [16] 牛爽. 发酵干香肠生产过程中挥发性风味成分变化的研究[D]. 北京:中国农业大学, 2004
- [17] 罗登林, 武延辉, 徐宝成. 菊粉取代玉米磷酸酯双淀粉对香肠质构和感官特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(7): 211-217, 210
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2016
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2016
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2016
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2016
- [22] Sun W Z, Zhao Q Z, Zhao H F, Zhao M M, Yang B. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 319-325
- [23] 滕安国, 刘学勤, 刘安军, 林秋倩. 气相色谱-质谱联用分析色拉米香肠的挥发性成分[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(4): 898-902
- [24] Feng X C, Li C Y, Jia X, Guo Y, Lei N, Hackman R M, Chen L, Zhou G H. Influence of sodium nitrite on protein oxidation and nitrosation of sausages subjected to processing and storage[J]. *Meat Science*, 2016, 116: 260-267
- [25] Honikel K O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products[J]. *Meat Science*, 2008, 78: 68-76
- [26] 李飞, 隋新, 郝芮瑶, 张新新. 亚硝基血红蛋白类腌肉色素合成与应用的研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2014(5): 180-184
- [27] 封莉. 外源蛋白酶在中式香肠中的应用研究[D]. 南京:南京农业大学, 2014
- [28] 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
- [29] 蒋栋磊, 顾于滨, 裴慧洁, 练良晋, 葛庆丰, 于海, 吴满刚, 尹永祺, 汪志君. 桂皮提取物对中式香肠脂质、蛋白氧化和品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12):81-87
- [30] 刘兆芳, 杨静峰, 董秀萍, 朱莉莉, 朱蓓薇. 河蟹肉酶解产物的氨基酸组成分析[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(6): 126-129
- [31] 章杰, 何航, 揭晓蝶, 田旭, 程雅婷, 陈霏瑶, 刘安芳. 四川白鹅氨基酸组成分析及营养评价[J]. *食品与机械*, 2018, 34(9): 62-67
- [32] Wood J D, Enser M, Fisher A V, Nute G R, Sheard P R, Richardson R I, Whittington F M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review[J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 343-358
- [33] 王莉梅, 刘睿杰, 金青哲, 张榴萍, 李碧霞, 王兴国. 多不饱和脂肪酸在癌症发生中的作用机制研究进展[J]. *中国油脂*, 2014, 39(8): 37-41
- [34] 牛爽, 乔发东, 徐静, 金志雄, 张春晖, 李红伟, 马长伟. 发酵干香肠中挥发性成分的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(2): 101-104
- [35] 汪森, 于海, 吴满刚, 徐铮铮, 郭明亮, 葛庆丰. 发酵肉制品风味形成研究进展[J]. *食品工业*, 2014(9): 221-226
- [36] 封莉, 邓绍林, 黄明, 徐幸莲, 周光宏. 脂肪酶对中式香肠脂肪降



- 解、氧化和风味的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 51-58
- [37] 周瑞铮,周惠健,葛庆丰,吴满刚,周晓燕,于海. 添加白芝麻粉对中式香肠品质特性的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(11): 26-31
- [38] Asuming-Bediako N, Jaspal M H, Hallett K, Bayntun J, Baker A, Sheard P R. Effects of replacing pork backfat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages[J]. Meat Science, 2014, 96(1): 187-194
- [39] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: A review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [40] 付晶晶,王正雯,潘道东,曹锦轩,孙杨赢,何俊. 发酵香肠工艺优化及其风味成分的测定[J]. 核农学报, 2018, 32(7): 1384-1392
- [41] Xie J C, Sun B G, Wang S B. Aromatic constituents from Chinese traditional smoke-cured bacon of Mini-pig [J]. Food Science and Technology International, 2008, 14(4): 329-340
- [42] 郝宝瑞,张坤生,张顺亮,王守伟,成晓瑜. 基于 GC-O-MS 和 AEDA 法对清酱肉挥发性风味成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 153-157
- [43] Ansorena D, Gimeno O, Astiasaran I, Bello J. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: Chorizo de Pamplona[J]. Food Research International, 2001, 34(1): 67-75

## Effect of Colorant on the Nutritional Ingredient and Flavor Compound of Chinese Sausage

TANG Honggang<sup>1</sup> ZHU Peipei<sup>1</sup> XIAO Chaogeng<sup>1</sup> YANG Huijuan<sup>1</sup>  
REN Fazheng<sup>2</sup> GUO Huiyuan<sup>2</sup> CHEN Lihong<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021;

<sup>2</sup>College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:** In order to seek nitrite substitutes for meat products, the effect of different colorants (Test group 1: 0.5% beet powder + 50 mg·kg<sup>-1</sup> sodium nitrite, Test group 2: 0.1% beet powder + 0.06% modified hemoglobin, Test group 3: 100 mg·kg<sup>-1</sup> sodium nitrite) on the sensory evaluation, nutrients and volatile flavor compounds of Chinese sausage was investigated. The results showed that the difference of appearance, color and taste among three test groups was not significant, but were significantly different from those of the control group ( $P < 0.05$ ). The total content of amino acids in Test group 1 was significantly higher than other groups ( $P < 0.05$ ). The content of fatty acids in Test group 2 was relatively high, and the content of C18:2 was significantly higher than other groups ( $P < 0.05$ ). Compared to Test group 3, more volatile flavor compounds were detected in Test group 1 and 2. The contents of aldehydes and esters in Test group 2 were higher than Test group 1, indicating of better flavor. This study provides a technical guidance for substituting nitrite during the sausage process, which can improve the quality of Chinese sausage.

**Keywords:** beet powder, modified hemoglobin, Chinese sausage, nutritional ingredient, flavor compound