

紫色蔬菜汁对中式香肠品质特性的影响

葛庆丰^{1,2}, 顾于滨¹, 陈胜¹, 裴慧洁¹, 王艳¹, 尹永祺¹, 吴满刚^{1,2}, 于海^{1,2*}

(1. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏扬州 225127)

摘要 [目的]从食品安全角度考虑,在中式香肠中添加紫色蔬菜汁,以替代硝酸盐、亚硝酸盐作为发色剂。[方法]以猪肉为原料,添加不同花色苷浓度的3种紫色蔬菜汁制作中式香肠,以亚硝酸盐作为阳性对照,研究3种紫色蔬菜汁对中式香肠pH、色泽、过氧化值(POV值)和挥发性盐基氮(TVB-N)值的影响,选出最佳的花色苷添加浓度,并分析3种紫色蔬菜汁香肠的风味物质组成及含量。[结果]添加花色苷最佳浓度分别为0.15 mg/mL的紫甘蓝汁、0.10 mg/mL的紫薯汁和0.10 mg/mL的紫苜蓿菜汁,可以改善香肠的品质,使香肠的pH、a^{*}值、POV值和TVB-N值显著高于空白组($P < 0.05$),且能达到添加亚硝酸钠香肠的效果。3种紫色蔬菜汁香肠的风味物质主要是醛类,其次是烃类。此外,添加蔬菜汁的香肠中还含有维生素D₃。[结论]将紫色蔬菜汁添加到香肠中可达到添加合成亚硝酸盐的作用效果。

关键词 紫色蔬菜汁;香肠;亚硝酸盐;理化品质;风味物质

中图分类号 TS251 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)36-0058-05

Effect of Purple Vegetable Juice on Quality Characteristics of Chinese Sausage

GE Qing-feng^{1,2}, GU Yu-bin¹, CHEN Sheng¹, YU Hai^{1,2*} et al (1. College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127; 2. Industrial Engineering Center for Huaiyang Cuisine of Jiangsu Province, Yangzhou, Jiangsu 225127)

Abstract [Objective] In order to ensure food safety, purple vegetable juice was used to replace nitrite, as a starter in Chinese sausage. [Method] Taking pork as raw materials, three kinds of purple vegetable juice with different anthocyanins contents were added into the sausage, nitrite as positive control, the influence of three kinds of purple vegetable juice on pH, colour, lustre, POV value and TVB-N value of sausage were investigated, and the best concentration of anthocyanins was selected, and flavor composition of sausage added with different purple vegetable juice were also analyzed. [Result] The best additive amount of anthocyanins were: 0.15 mg/mL of purple cabbage juice, 0.10 mg/mL of purple potato juice and 0.10 mg/mL of purple amaranth juice, respectively. They can effectively promote the colour and lustre of sausage as well as retain the color. As the result of the sensory evaluation showed, sausages containing purple vegetable juice were close or exceed to sausages adding sodium nitrite, in color, aroma, taste and sensory quality. The flavor substances in three sausage were mainly aldehydes, followed by hydrocarbons. In addition, the addition of the vegetable juice in sausage contained vitamin D₃. [Conclusion] Therefore, the vegetable juice could be used as a substitute for nitrite to add into the sausage.

Key words Purple vegetable juice; Sausage; Nitrite; Physical and chemical properties; Volatile flavor compounds

中式香肠含有较高的蛋白质、脂肪,加工过程中添加亚硝酸盐能起到抗氧化和呈色作用,延缓肉制品氧化腐败,但亚硝酸盐易在一定条件下生成致癌物质N-亚硝胺^[1-2]。蔬菜中营养成分丰富,不仅含有丰富的可溶性纤维、维生素、矿物质等,还富集硝酸盐^[3]和酚类物质,硝酸盐在微生物的作用下能转化为亚硝酸盐,同样起到护色和抗氧化作用,提高产品的安全性。樊晓盼等^[4]将新鲜蔬菜(芹菜、洋白菜、菠菜)添加到发酵香肠中,结果表明3组蔬菜发酵香肠色泽、硫代巴比妥酸(TBARS)值、挥发性盐基氮(TVB-N)值和亚硝酸盐残留量显著优于空白组,产品安全性高。张甜等^[5]研究发酵蔬菜汁替代亚硝酸盐在牛肉中的作用效果,结果表明添加15%发酵蔬菜汁制作发酵香肠的理化指标和肉色指标与添加0.01%亚硝酸盐组效果相当。Choi等^[6]将发酵红菜头提取物和V_C同时添加到肉糜中,可替代合成的亚硝酸盐。

笔者将紫色蔬菜汁添加到中式香肠中,以亚硝酸盐作为阳性对照,研究天然蔬菜汁色素对香肠的理化特性和风味物质成分的影响,以期替代添加亚硝酸盐生产发酵香肠的效

果,为新型香肠的生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试原辅料为鲜猪瘦肉、猪肥肉、盐渍肠衣、配料、新鲜紫甘蓝、紫薯、紫苜蓿菜。所用试剂均为分析纯。主要仪器:组织捣碎机(JJ-2型),金坛市科析仪器有限公司;精密pH计(FE20),梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;SC-80C色差仪,北京康光光学仪器有限公司;电子天平(DT-00型),美国双杰兄弟(集团)有限公司;UV2100紫外分光光度计,Unic公司;冷冻高速离心机(5417R型),Eppendorf公司;复合式75 μm Car/PDMS萃取头,美国SUPELCO公司;手动SPME进样器,美国SUPELCO公司;Trace气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),美国Finnigan公司。

1.2 方法

1.2.1 不同花色苷浓度蔬菜汁的制备。新鲜蔬菜→挑选→切块→打浆→过滤除渣→浓缩→花色苷浓度测定→冷藏备用^[7]。

设定紫甘蓝蔬菜汁花色苷浓度分别为0.05、0.10、0.15、0.20 mg/mL;紫薯汁花色苷浓度分别为0.05、0.10、0.15、0.20 mg/mL;紫苜蓿菜汁花色苷浓度分别为0.05、0.10、0.15、0.20 mg/mL。

1.2.2 香肠制作工艺。原料猪肉预处理按肥瘦比为1:3混匀→斩拌→添加配料→拌馅腌制→灌肠→结扎→晾挂自然风干→成品。

基金项目 江苏省农业科技自主创新项目[CX(16)1007];江苏省苏北科技专项(SZ-YC2017004)。

作者简介 葛庆丰(1975—),男,江苏江都人,博士,从事肉品加工与质量安全控制研究。*通讯作者,教授,博士,从事肉品加工与质量安全控制研究。

收稿日期 2017-11-08

配料:白糖 7.00% ~ 8.00%,盐 2.50% ~ 3.50%,大曲 2.00%,生姜 0.15%,味精 0.15% ~ 0.25%,五香粉 0.10%,水 10.00%。

发酵条件:温度 20 °C 左右,相对湿度 90% ~ 95%。

1.2.3 pH 测定。称取 5 g 香肠肉样,绞碎,加入 50 mL 蒸馏水,4 °C 混合反应 30 min 后,过滤取滤液,用 FE20 型精密 pH 计进行测定^[8]。

1.2.4 中式香肠氧化指标测定。POV 值按照文献[9]的方法测定,TVB - N 值测定参照张坤等^[10]的研究方法并加以改进。

1.2.5 挥发性风味物质的测定。参照 Pignoli 等^[11]的方法测定,并加以改进。

1.2.6 色度值测定。参考 Marta Garcia - Esteban 等研究内容^[12]。该试验采用 SC - 80C 型色差仪,将不同处理组香肠最终样品切成厚度 2 ~ 3 mm 的薄片,进行色度的测定。色差仪表色系统的正中间部位是一个直角坐标,即 a^* 、 b^* 坐标方向, + a^* 方向越向外,颜色越接近纯红色, - a^* 方向越向外,颜色越接近纯绿色^[13]。 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别表示亮度值、红度值和黄度值。

1.2.7 数据分析。试验数据均以平均值 ± 标准偏差表示,测定结果使用 Microsoft Excel 统计处理,SPSS 统计分析软件进行单因素方差分析和 Turkey 检验分析差异显著性。

2 结果与分析

2.1 3 种紫色蔬菜汁对香肠风干过程中 pH 变化的影响 由图 1、2、3 可见,3 种紫色蔬菜汁香肠 pH 随着风干时间的延长先降后增。0 ~ 14 d 时,pH 显著降低($P < 0.05$),由于风干前期的发酵条件(发酵温度、香肠中水分含量)有利于乳酸菌生长,使香肠 pH 下降^[14];风干 14 d 时,各组 pH 降到 5.3 左右,此时香肠酸度较高,能有效抑制腐败菌和致病菌的生长^[5]。此外较低的 pH 亦可以使亚硝酸盐分解,减少亚硝胺的生成^[15]。风干 21 ~ 28 d 时,香肠的 pH 逐渐升高,可能是香肠中水分含量减少,肉中酶的作用使蛋白质降解为胺、氨等碱性物质(如碱性游离氨基酸、小肽等)所致^[16-17]。风干 28 d 时,紫薯汁 pH 显著高于空白组($P < 0.05$),可能是空白组中没有添加亚硝酸钠和蔬菜汁,其中的抑菌物质较少,导致产酸的腐败微生物迅速生长,这与张乃琳^[18]的报道一致。空白组和亚硝酸钠组之间无显著性差异($P > 0.05$),3 种蔬菜处理组香肠 pH 无显著性差异($P > 0.05$)。3 种蔬菜汁均能呈现出鲜艳的红色,有利于改善香肠的色泽。

2.2 3 种紫色蔬菜汁对香肠氧化指标的影响

2.2.1 3 种紫色蔬菜汁对香肠风干过程中 TVB - N 值变化的影响。TVB - N 值是评价肉质鲜度和腐败程度的理化指标^[19],TVB - N 值越大说明香肠腐败程度越严重。由图 4、5、6 可知,各处理组样品 TVB - N 值随着风干时间延长显著增加($P < 0.05$),TVB - N 值在风干 14 d 内增加剧烈,随后缓慢增加。风干 28 d 时,空白组的 TVB - N 值显著高于亚硝酸钠和紫甘蓝汁处理组($P < 0.05$),说明紫甘蓝汁在一定程度上可提高香肠的新鲜度;紫薯汁香肠组 TVB - N 值随着花色苷

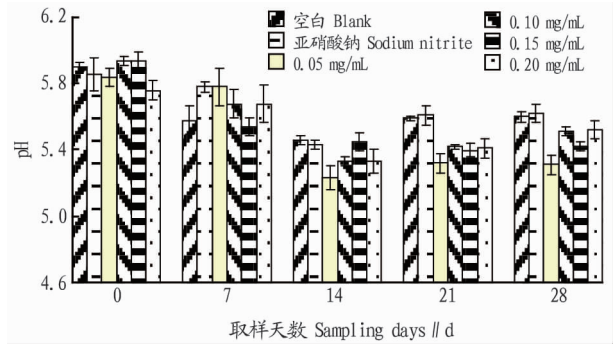


图 1 紫甘蓝汁对香肠 pH 的影响

Fig. 1 Effect of purple cabbage juice on pH of sausage

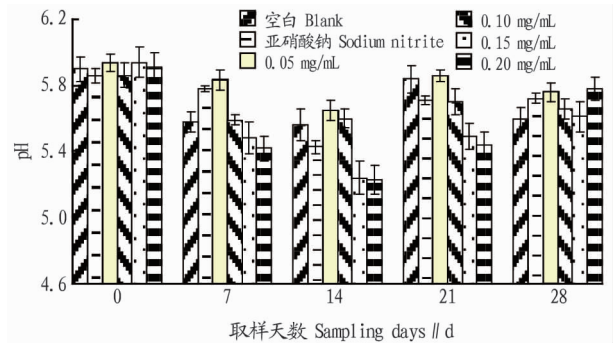


图 2 紫薯汁对香肠 pH 的影响

Fig. 2 Effect of purple potato juice on pH of sausage

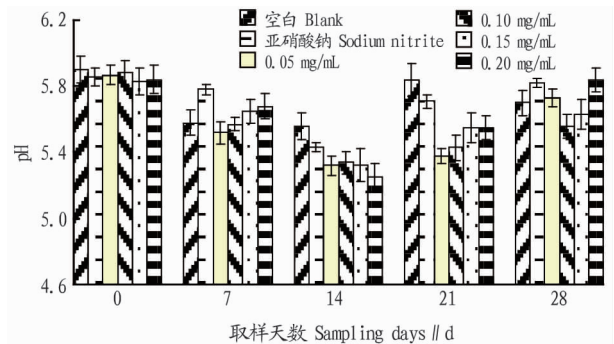


图 3 紫苋菜汁对香肠 pH 的影响

Fig. 3 Effect of purple amaranth juice on pH of sausage

浓度增加而上升,0.10 mg/mL 组显著低于空白组、0.15 和 0.20 mg/mL 组($P < 0.05$);紫苋菜汁 0.10 mg/mL 组和亚硝酸钠组 TNB - N 值相当且显著低于空白组和其余浓度的苋菜汁组($P < 0.05$)。紫甘蓝处理组最终样品的 TVB - N 值显著低于紫薯和紫苋菜香肠组($P < 0.05$)。紫苋菜汁 0.05 mg/mL 花色苷浓度组 TVB - N 值达到 551.90 mg/kg,明显高于其他组,说明香肠肉质腐败程度较高。刘彩红^[20]研究表明,添加发酵芹菜粉来替代亚硝酸盐,在风干肠成熟过程中可有效控制产品新鲜度。紫甘蓝汁花色苷浓度 0.15 mg/mL 组、紫薯汁和紫苋菜汁花色苷浓度 0.10 mg/mL 组 TVB - N 值与亚硝酸钠组含量相当,说明该浓度的蔬菜汁能替代化学合成的硝酸盐,起到抑菌效果,防止食品腐败变质,使食品更加安全。

2.2.2 3 种紫色蔬菜汁对香肠风干过程中过氧化值(POV)的影响。POV 值是衡量肉制品中油脂氧化酸败的一级指标,POV 值越高说明肉制品中脂质氧化产物积累越多^[21]。在香

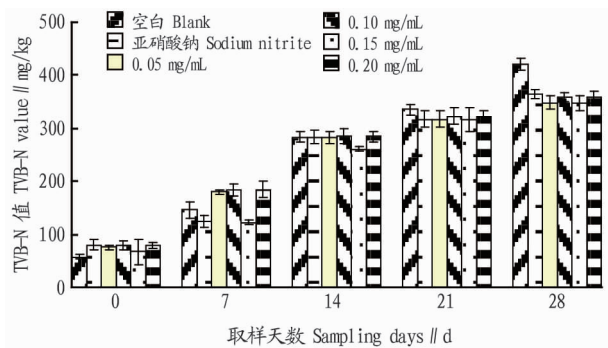


图4 紫甘蓝汁对香肠 TVB-N 值的影响

Fig.4 Effect of purple cabbage juice on TVB-N value of sausage

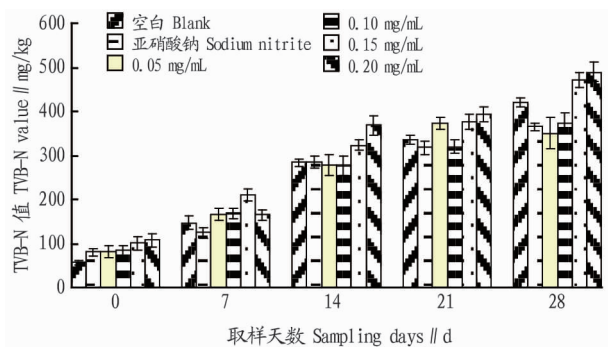


图5 紫薯汁对香肠 TVB-N 值的影响

Fig.5 Effect of purple potato juice on TVB-N value of sausage

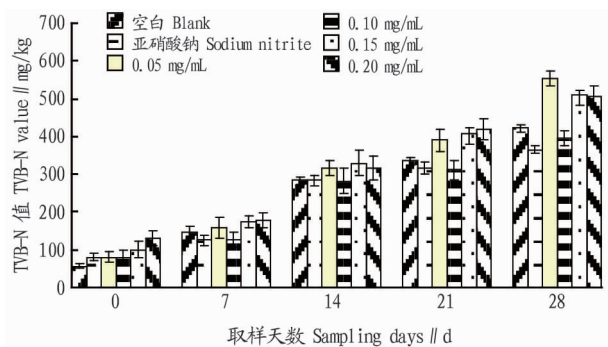


图6 紫苋菜汁对香肠 TVB-N 值的影响

Fig.6 Effect of purple amaranth juice on TVB-N value of sausage

肠风干过程中 POV 值呈现波动性的变化,3 组蔬菜汁香肠的 POV 值变化趋势基本一致,由图 7、8、9 可知,香肠风干 7 d 内,POV 值显著降低($P < 0.05$),随后各处理组香肠 POV 值显著升高,添加蔬菜汁组的香肠升高趋势小于空白组和亚硝酸组香肠,并且在一段时间内 POV 值呈现负值,可见其表现出一定的抗氧化作用。风干 14 d 时,空白和亚硝酸组香肠 POV 值显著高于蔬菜汁组($P < 0.05$)。Kapoulas 等^[22]和 Søltøft 等^[23]研究表明,蔬菜除了提供维生素和纤维素外,还富含类黄酮等多酚类物质。因此,蔬菜应用于肉制品中能有效防止产品脂肪氧化。风干 21 d 时,空白组和 3 种蔬菜汁组 POV 值达到最高,说明随着时间的延长,过氧化物逐渐积累导致 POV 值升高,随后有所下降,可能是因为一些中间产物进一步迅速氧化生成一些小分子物质。在香肠风干前期,

温度较高,脂肪氧化速度快,在风干后期温度降低,脂肪氧化速度也有所减慢,过氧化物进一步氧化的速度大于过氧化物形成的速度,导致 POV 值下降。

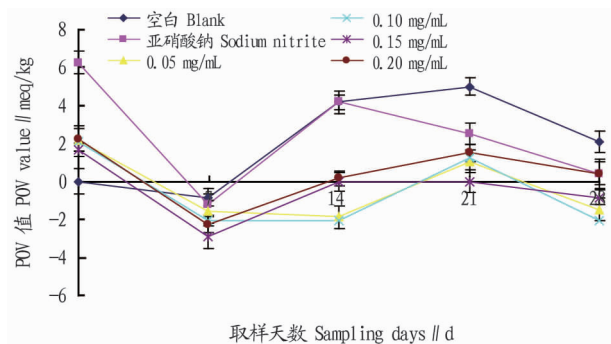


图7 紫甘蓝汁对香肠 POV 值的影响

Fig.7 Effect of purple cabbage juice on POV value of sausage

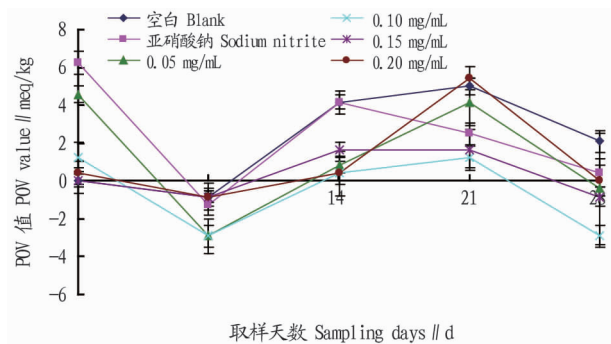


图8 紫薯汁对香肠 POV 值的影响

Fig.8 Effect of purple potato juice on POV value of sausage

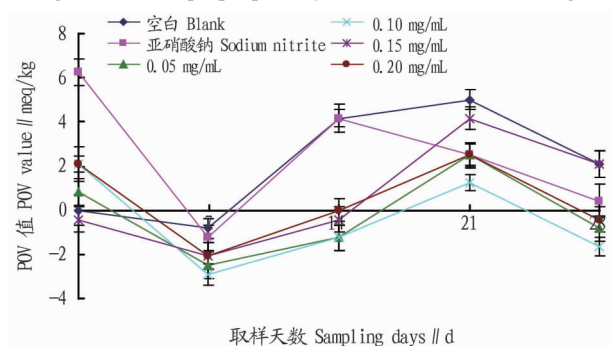


图9 紫苋菜汁对香肠 POV 值的影响

Fig.9 Effect of purple amaranth juice on POV value of sausage

2.3 3 种紫色蔬菜汁对香肠色度值的影响

2.3.1 紫甘蓝汁对香肠色度值的影响。由表 1 可知,紫甘蓝不同处理组香肠与空白、亚硝酸组香肠 L 、 a^* 、 b^* 值存在显著差异($P < 0.05$)。空白组香肠的 L 值显著高于亚硝酸组和紫甘蓝组香肠($P < 0.05$),其 a^* 值显著低于 0.15 mg/mL 组($P < 0.05$),除 0.15 mg/mL 组外其余各组 a^* 值差异不显著($P > 0.05$)。0.15 mg/mL 组和 0.10 mg/mL 组的香肠 a^* 和 b^* 值与亚硝酸组香肠差异不显著($P > 0.05$), L 值显著高于亚硝酸组。0.15 mg/mL 组香肠 a^* 值显著最高, L 值与亚硝酸组无显著性差异($P > 0.05$),其 b^* 显著低于其他组。因此,花色苷浓度为 0.15 mg/mL 的紫甘蓝汁,对香肠色泽具有最佳促进作用。

表1 紫甘蓝汁对香肠色度值的影响评价结果

Table 1 Evaluation results of the influence of purple cabbage juice on sausage chromaticity value

处理 Treatment mg/mL	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *
空白 Blank	48.20 ± 1.03 a	6.46 ± 0.73 b	9.04 ± 0.16 a
亚硝酸钠 Sodium nitrite	43.71 ± 0.40 c	7.70 ± 1.25 b	7.53 ± 0.48 b
0.05	44.04 ± 0.88 b	6.13 ± 0.28 b	6.08 ± 0.22 bc
0.10	44.24 ± 0.58 b	6.73 ± 0.78 b	6.68 ± 0.72 bc
0.15	43.62 ± 0.64 c	11.80 ± 0.87 a	5.53 ± 0.51 c
0.20	47.30 ± 1.33 a	6.76 ± 0.74 b	8.74 ± 0.76 a

注:处理时间 28 d,同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note:the processing time was 28 d,and the different lowercase letters of the same column showed significant differences($P < 0.05$)

2.3.2 紫薯汁对香肠色度值的影响。紫薯汁香肠色度值见表 2。由表 2 可知,不同处理组香肠与空白、亚硝酸钠组香肠 *L*、*a**、*b** 值存在显著性差异($P < 0.05$),紫薯汁香肠组 *L* 值显著低于空白和亚硝酸钠组,0.10 mg/mL 组 *a** 值显著高于空白、0.05、0.20 mg/mL 3 个处理组,*b** 显著最低($P < 0.05$)。紫薯汁香肠组的 *L* 值和 *a** 值随着紫薯花色苷浓度升高而降低,*b** 值随浓度的升高而升高。从香肠整体色泽考虑,花色苷浓度为 0.10 mg/mL 的紫薯汁对香肠的色度值具有最佳促进作用,可增加香肠的红色,又保持较低的黄度值。因此紫薯汁浓度为 0.10 mg/mL 时对香肠色泽效果最好。

表2 紫薯汁对香肠色度值的影响评价结果

Table 2 Evaluation results of the influence of purple potato juice on sausage chromaticity value

处理 Treatment mg/mL	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *
空白 Blank	48.20 ± 1.03 a	6.46 ± 0.73 bc	9.04 ± 0.16 a
亚硝酸钠 Sodium nitrite	43.71 ± 0.40 b	7.70 ± 1.25 ab	7.53 ± 0.48 b
0.05	40.33 ± 0.61 cd	6.80 ± 0.36 bc	8.40 ± 0.46 ab
0.10	41.40 ± 0.57 c	9.15 ± 0.28 a	6.52 ± 0.50 c
0.15	40.28 ± 0.72 cd	7.27 ± 0.51 abc	7.77 ± 0.26 b
0.20	39.19 ± 0.62 d	5.60 ± 0.83 c	9.08 ± 0.15 a

注:处理时间 28 d,同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note:the processing time was 28 d,and the different lowercase letters of the same column showed significant differences($P < 0.05$)

2.3.3 紫苋菜汁对香肠色度值的影响。由表 3 可知,紫苋菜不同处理组和空白、亚硝酸钠组香肠的 *L*、*a**、*b** 值存在显著差异性($P < 0.05$),紫苋菜汁香肠组 *L* 值显著低于空白组和亚硝酸盐组,可能是蔬菜汁的颜色影响了香肠的亮度,0.10 mg/mL 组 *L* 值显著高于 0.20 mg/mL 组,*a** 值与亚硝酸钠组差异不显著,但显著高于其他处理组,并且其 *b** 值显著最低。由此可知,紫苋菜花色苷浓度对香肠亮度值影响较大,它们之间存在负相关。因此花色苷浓度为 0.10 mg/mL 的紫苋菜汁对香肠的色泽具有最佳促进作用,可增加香肠红色,并且香肠的黄度值较低。

紫甘蓝汁花色苷浓度为 0.15 mg/mL、紫薯汁和紫苋菜汁花色苷浓度为 0.10 mg/mL 时,*a** 值均显著高于空白组

($P < 0.05$),可能是蔬菜汁中含有丰富的硝酸盐,硝酸盐在硝酸盐还原酶的作用下转化为亚硝酸盐,进而再分解为一氧化氮,一氧化氮与肉中肌红蛋白作用生成亚硝基肌红蛋白,呈鲜艳的红色,产生独特风味^[3-4]。因此,3 种紫色蔬菜汁在不影响香肠其他品质又能促进香肠色泽的条件下可以替代亚硝酸钠的发色作用。

表3 紫苋菜汁对香肠色度值的影响评价结果

Table 3 Evaluation results of the influence of purple amaranth juice on sausage chromaticity value

处理 Treatment mg/mL	<i>L</i>	<i>a</i> *	<i>b</i> *
空白 Blank	48.20 ± 1.03 a	6.46 ± 0.73 bc	9.04 ± 0.16 a
亚硝酸钠 Sodium nitrite	43.71 ± 0.40 b	7.70 ± 1.25 ab	7.53 ± 0.48 bc
0.05	41.07 ± 0.40 c	6.17 ± 0.53 bc	6.91 ± 0.41 c
0.10	41.52 ± 0.58 c	9.09 ± 0.14 a	5.61 ± 0.37 d
0.15	39.62 ± 0.53 cd	6.05 ± 0.83 bc	6.50 ± 0.46 cd
0.20	38.38 ± 0.75 d	5.16 ± 0.28 c	8.26 ± 0.45 ab

注:处理时间 28 d,同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note:the processing time was 28 d,and the different lowercase letters of the same column showed significant differences($P < 0.05$)

2.4 不同处理组香肠挥发性风味物质分析 风干香肠中的风味物质主要是通过蛋白质降解产生氨基酸等物质,脂肪氧化产生的酯类等芳香化合物,以及微生物代谢产生的物质^[24-26]。蔬菜中风味是由其不同芳香物质所决定的,主要包括醛类、醇类、酮类和酯类以及含硫化合物等^[27],上述成分的气味当作为一个整体时,才具有其蔬菜的芳香特征^[28]。

由表 4 可知,各处理组挥发性风味物质种类和相对含量有所差异。根据文献报道^[29-30],醛类物质是香肠风味形成的主要贡献物质之一,3 组蔬菜汁香肠中的醛类物质显著高于亚硝酸钠组和空白组($P < 0.05$)。紫甘蓝和紫薯组香肠烃类物质种类高于其他 3 组,但相对含量显著低于空白、亚硝酸钠和紫苋菜处理组($P < 0.05$)。紫甘蓝组的酸类物质相对含量显著高于其他几组($P < 0.05$)。不同处理组之间空白组酯类含量最高,其次为紫甘蓝组,香肠成熟过程中脂肪氧化,降解为脂类化合物,由于它们的阈值较低,可促进香肠的风味^[31]。酮类物质为亚硝酸钠组含量最高,紫甘蓝和空白组无显著差异,紫薯和紫苋菜组无显著差异($P > 0.05$)。紫甘蓝组、紫苋菜组和紫薯组醇类物质均显著高于亚硝酸钠组和空白组($P < 0.05$),香肠中脂肪水解后在酶作用下产生醇、醛、酮等化合物,呈现水果芳香味。亚硝酸钠组芳烃类物质相对含量最低,空白组和紫薯汁组无显著性差异($P > 0.05$),紫甘蓝汁和紫苋菜汁组为 18.79% 和 6.29%。另外在其他物质中,3 组蔬菜汁组香肠含有维生素 D₃,其中紫甘蓝类含量最高。

3 结论

综合蔬菜汁组香肠的 pH、TVB - N 值、POV 值、色度和风味指标,3 种紫色蔬菜汁最佳花色苷浓度为紫甘蓝汁 0.15 mg/mL、紫薯汁 0.1 mg/mL、紫苋菜汁 0.1 mg/mL,该浓度下的蔬菜汁 pH 和红色值均显著高于空白组,抗氧化效果

表4 不同处理组香肠挥发性风味物质相对含量

Table 4 Relative content of volatile flavor compounds of sausage among different treatments

%

处理 Treatment	醛类 Aldehydes	烃类 Hydrocarbons	酸类 Acid	酯类 Esters	酮类 Ketones	醇类 Alcohols	醚类 Ethers	芳烃类 Arenes	胺类 Amine	其他 Others	维生素 D ₃ Vitamin D ₃
空白 Blank	10.65	21.59	2.79	7.48	1.37	0.61	2.66	24.26	1.61	18.01	nd
亚硝酸钠 Sodium nitrite	10.42	38.87	7.18	3.48	9.28	1.53	nd	0.34	3.6	19.2	nd
紫甘蓝汁 0.15 mg/mL Purple cabbage juice 0.15 mg/mL	27.1	14.24	10.06	4.76	1.32	9.61	2.11	18.79	0.79	13.23	0.86
紫薯汁 0.10 mg/mL Purple potato juice 0.10 mg/mL	27.28	15.31	2.14	3.54	2.87	2.25	nd	23.62	0.56	9.78	0.30
紫苋菜汁 0.10 mg/mL Purple amaranth juice 0.10 mg/mL	26.16	33.13	3.73	2.02	2.17	5.74	nd	6.29	2.59	3.98	0.26

注：“nd”表示未检测出

Note: “nd” means not detected

较好。3种紫色蔬菜汁香肠风味物质的种类及相对含量与空白组和亚硝酸钠组香肠相比存在显著性差异,醛类是香肠中主要的挥发性风味物质,且3组蔬菜汁组香肠含有维生素D₃。

参考文献

- [1] BEDALE W, SINDELAR J J, MILKOWSKI A L. Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions [J]. *Meat science*, 2016, 120: 85-92.
- [2] JEONG J. Alternative curing technology in meat products [J]. *Anim Food Sci Ind*, 2016, 5: 77-84.
- [3] KIM J D, LEE O H, LEE J S, et al. Safety effects against nitrite and nitrosamine as well as anti-mutagenic potentials of kale and Angelica keiskei vegetable juices [J]. *Journal of the Korean society of food science and nutrition*, 2014, 43 (8): 1207-1216.
- [4] 樊晓盼, 尚鑫茹, 马丽珍, 等. 新鲜蔬菜的添加对发酵香肠成熟过程中理化指标变化的影响 [J]. *食品工业科技*, 2013, 37 (14): 112-117.
- [5] 张甜, 关倩霞, 杨华. 发酵蔬菜汁替代亚硝酸盐在牛肉灌肠中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2016, 37 (9): 23-28.
- [6] CHOI Y S, KIM T K, JEON K H, et al. Effects of pre-converted nitrite from red beet and ascorbic acid on quality characteristics in meat emulsions [J]. *Korean journal for food science of animal resources*, 2017, 37 (2): 288-296.
- [7] 武俊瑞, 乌日娜, 岳喜庆, 等. 胡萝卜花色香肠的研制 [J]. *食品工业科技*, 2009 (2): 195-196.
- [8] 冯秀娟. 香肠发酵菌种的筛选及其应用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [9] SALLAM K I, ISHIOOROSHI M, SAMEJIMA K. Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage [J]. *Lebenson Wiss Technol*, 2004, 37 (8): 849-855.
- [10] 张坤, 彭科怀, 杜洪凤. 分光光度法测定肉与肉制品中挥发性盐基氮 [J]. *预防医学情报杂志*, 2009, 25 (1): 78-80.
- [11] PIGNOLI G, BOU R, RODRIGUEZ-ESTRADA M T, et al. Suitability of saturated aldehydes as lipid oxidation markers in washed turkey meat [J]. *Meat science*, 2009, 83 (3): 412-416.
- [12] GARCÍA-ESTEBAN M, ANSORENA D, GIMENO O, et al. Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham [J]. *Meat science*, 2003, 63 (3): 287-292.
- [13] KENNEALLY P M, SCHWARZ G, FRANSEN N G, et al. Lipolytic starter culture effects on production of free fatty acids in fermented sausages [J]. *J Food Sci*, 1998, 63 (3): 538-543.
- [14] 杜智慧. 不同发酵剂对发酵香肠品质影响的研究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2014.
- [15] 李沛然. 发酵芹菜粉制备及在灌肠中应用效果研究 [D]. 天津: 天津农学院, 2014.
- [16] CEBALLOS L S, RAMOS-MORALES E, DE LA TORRE ADARVE G, et al. Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology [J]. *Journal of food composition and analysis*, 2009, 22 (4): 322-329.
- [17] 朱迎春, 杜智慧, 马丽珍, 等. 发酵剂对发酵香肠微生物及理化特性的影响 [J]. *现代食品科技*, 2015 (9): 198-204.
- [18] 张乃琳. 发酵芹菜粉替代亚硝酸盐对单核细胞增生李斯特菌抑制作用的研究 [D]. 天津: 天津农学院, 2015.
- [19] 彭杨思, 刘培, 章骅. 肉与肉制品中挥发性盐基氮测定方法的比较 [J]. *食品研究与开发*, 2016, 37 (4): 152-154.
- [20] 刘彩虹. 发酵芹菜粉替代亚硝酸盐在亚硝化反应体系及腌肉制品中的作用效果研究 [D]. 天津: 天津农学院, 2015.
- [21] 章林. 鼠尾草 (*Sabia officinalis*) 对中式香肠抗氧化和食用品质的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [22] KAPOULAS N, ILIĆ Z S, DUROVKA M, et al. Effect of organic and conventional production practices on nutritional value and antioxidant activity of tomatoes [J]. *African journal of biotechnology*, 2011, 10 (71): 15938-15945.
- [23] SØLTOFT M, NIELSEN J, HOLST LAURSEN K, et al. Effects of organic and conventional growth systems on the content of flavonoids in onions and phenolic acids in carrots and potatoes [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58 (19): 10323-10329.
- [24] LORENZO J M, BEDIA M, BAÑÓ N S. Relationship between flavour deterioration and the volatile compound profile of semi-ripened sausage [J]. *Meat science*, 2013, 93 (3): 614-620.
- [25] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Effect of fat content on aroma generation during processing of dry fermented sausages [J]. *Meat science*, 2011, 87 (3): 264-273.
- [26] 刘静, 吴晓彤. 发酵肉制品的风味物质来源及其研究进展 [J]. *内蒙古科技与经济*, 2016 (15): 95-96.
- [27] 刘春香, 何启伟, 付明清. 番茄、黄瓜的风味物质及研究 [J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2003, 34 (2): 193-198.
- [28] BALDWIN E A, SCOTT J W, SHEWMAKER C K, et al. Flavor trivia and tomato aroma: Biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components [J]. *HortScience*, 2000, 35 (6): 1013-1021.
- [29] TOLDRÁ F. Biochemistry of fermented meat [J]. *Food biochemistry and food processing*, 2012, 2: 331-343.
- [30] 唐静, 张迎阳, 吴海舟, 等. 传统腌腊肉制品挥发性风味物质的研究进展 [J]. *食品科学*, 2014, 35 (15): 283-288.
- [31] 汪淼, 于海, 吴满刚, 等. 发酵肉制品风味形成研究进展 [J]. *食品工业*, 2014, 35 (9): 221-226.