

# 番茄红素改善鸡肉脯的品质

吴斌<sup>1,2,3</sup>, 刘学铭<sup>2</sup>, 王旭萍<sup>2</sup>, 王玉涛<sup>1,3</sup>, 李明源<sup>1,3</sup>, 程镜蓉<sup>2,4</sup>, 朱明军<sup>1,3,4</sup>

(1. 喀什大学生命与地理科学学院, 新疆喀什 844000) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

(3. 新疆维吾尔自治区叶尔羌绿洲生态与生物资源研究高校重点实验室, 新疆喀什 844000)

(4. 华南理工大学生物科学与工程学院, 广东广州 510006)

**摘要:** 将番茄红素加入鸡肉脯中, 分析肉脯在色泽、质构、脂质与蛋白质氧化、抗氧化性能以及感官特性等方面的变化。研究发现: 番茄红素能有效改善肉脯的色泽和质构, 表现为产品  $a^*$  (红度) 值的上升,  $b^*$  (黄度) 值和  $L^*$  (亮度) 值的下降, 以及弹性的提高; 随着番茄红素添加量的增加, 产品的脂质与蛋白质氧化可得到有效的控制, 抗氧化能力显著提升, 当其添加量为 0.90 g/kg 时, 产品的感官接受度最高, 成品的丙二醛含量为 0.74 mg/kg、羰基和巯基的含量分别为 0.14 nmol/mg 蛋白和 270.66 nmol/mg 蛋白, 且表现出良好的抗氧化性 (ABTS、DPPH 清除能力以及 FRAP 抗氧化能力分别为 195.16  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  蛋白、131.74  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  蛋白和 44.39  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  蛋白)。研究结果显示, 番茄红素具有改良加工肉制品品质的潜能, 有望作为一种天然肉制品添加剂, 用于功能性肉制品的开发。

**关键词:** 鸡肉脯; 番茄红素; 抗氧化性; 色泽; 感官评价

文章编号: 1673-9078(2020)02-159-165

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.023

## Quality Improvement of Dried Chicken Meat Gruel Slice with Lycopene

WU Bin<sup>1,2,3</sup>, LIU Xue-ming<sup>2</sup>, WANG Xu-ping<sup>2</sup>, WANG Yu-tao<sup>1,3</sup>, LI Ming-yuan<sup>1,3</sup>, CHENG Jing-rong<sup>2,4</sup>,  
ZHU Ming-jun<sup>1,3,4</sup>

(1.College of Life and Geographic Sciences, Kashi University, Kashi 844000, China) (2.Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)(3.The Key Laboratory of Ecology and Biological Resources in Yarkand Oasis at Colleges & Universities under the Department of Education of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashi University, Kashi 844000, China)  
(4.School of Biology and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** The effects of lycopene on the chicken jerky qualities, including color, texture, lipid and protein oxidation, antioxidant capacity and sensory characteristics were evaluated. The results showed that lycopene could improve the color and texture of the product effectively, considering the increment of  $a^*$  value and springiness, and the decrement of  $b^*$  and  $L^*$  value. The addition of lycopene led to a concentration-dependent inhibition of the lipid and protein oxidation. The antioxidant activity was significantly improved when the lycopene concentration increased. With a lycopene dosage of 0.90 g/kg, a highest sensory acceptance of the product was obtained. The developed product had 0.74 mg/kg MDA, 0.14 nmol/mg prot. carbonyl, and 270.66 nmol/mg prot. sulfhydryl groups. Besides, it exhibited excellent antioxidant activity in vitro (ABTS scavenging ability of 195.16  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  prot., DPPH scavenging ability of 131.74  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  prot., and FARP vale of 44.39  $\mu\text{mol}/\text{mg}$  prot.). The above results indicate that lycopene has the potential to improve the quality of processed meat products and is expected to be a natural meat additive for the development of functional meat products.

**Key words:** dried chicken meat gruel slice; lycopene; antioxidant; color; sensory evaluation

收稿日期: 2019-08-13

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2019B020212003); 国家自然科学基金项目 (31972074); 广东省自然科学基金项目 (2018A030313202; 2018A030313796); 广州市科技计划项目 (201704020054; 201807010080; 201806040007); 广东省农业厅项目 (2018LM2154); 广东省科技计划项目 (2017A040405036)

作者简介: 吴斌(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 程镜蓉 (1988-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工; 共同通讯作者: 朱明军(1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 发酵工程

肉脯是一种传统的休闲食品,其美味可口、食用方便、便于运输封装,为广大消费者所喜爱。然而,传统的肉脯富含脂质和蛋白质,在其加工过程(如原料肉的斩拌、腌制等)又会不同程度的引入氧气,不可避免的发生氧化<sup>[1]</sup>。研究表明,过度的氧化往往造成产品品质劣变,色泽加深,甚至产生某些二苯胺、杂环胺类等致癌物<sup>[2]</sup>。肉制品的氧化主要包括蛋白质氧化和脂质氧化,其中脂质的氧化会直接影响产品的色泽、质地和风味等<sup>[2]</sup>,而蛋白质的氧化通常伴随脂质氧化发生,形成蛋白质交联聚合,产生大量羰基、二硫键、杂环胺等<sup>[2,3]</sup>。为了减少脂质和蛋白质的氧化给产品品质带来的不良影响,生产者通常会在产品加工过程中添加一些抗氧化剂。其中,人工抗氧化剂,如二丁基羟基甲苯(BHT)、丁基羟基茴香醚(BHA)、没食子酸丙酯(PG)等,由于价格低廉,稳定性好,抗氧化效果卓越而广泛使用<sup>[4]</sup>。随着科学技术的发展和人们对健康意识的增强,发现人们食用过量的化学抗氧化剂,会引起动物的肝脏增大,染色体突变,甚至可能致癌<sup>[5]</sup>;一些植物的提取物富含多糖、多酚、花青素以及黄酮等抗氧化活性成分,具有潜在的体外抗氧化活性,有望替代传统抗氧化剂用于肉制品的开发。因此研究者们对天然植物源抗氧化剂的开发投入了更多关注,期望寻求稳定性良好,抗氧化效果卓越天然抗氧化剂。目前茶多酚、抗坏血酸钠等天然抗氧化剂添加到食品中,受到消费者的好评。

番茄红素是 600 多种天然脂溶性类胡萝卜素之一,具有大量与其独特结构相关的生物学特性。它是天然类胡萝卜素中最有效的单重态氧猝灭剂。番茄红素作为一种强有力的抗氧化剂能够保护细胞免受损伤,从而降低疾病的风险<sup>[6]</sup>。研究表明经常食用番茄红素可以抑制癌细胞的增生和降低心血管疾病的发病风险<sup>[4]</sup>。随着人们日益认识到番茄红素的健康益处,食品和饮料行业有兴趣开发含有番茄红素配方的产品,以满足消费者对营养价值得到改善产品的需求<sup>[7]</sup>。目前番茄红素广泛用于食品及保健品的生产<sup>[8]</sup>。Meroni 等人<sup>[9]</sup>将番茄红素加入乳剂饮料中,发现产品的抗氧化能力显著提高。Østerlie 等人<sup>[10]</sup>将番茄红素添加肉糜中,发现可以延缓其酸败程度、抑制微生物的生长原因是番茄红素在其中起着抗氧化剂的作用。

肉脯是一种高脂类食品,其丰富的油脂含量可赋予番茄红素良好的溶解稳定性;此外,肉脯中的蛋白可与番茄红素发生共价及非共价结合,减少蛋白质易氧化基团的暴露<sup>[11]</sup>。从理论上讲,番茄红素的添加有望改善肉脯的色泽和氧化稳定性。目前,关于番茄红素作为抗氧化剂和发色剂对肉脯品质的改善作用的研

究鲜有报道。本研究以鸡肉脯为研究对象,尝试将番茄红素添加到肉脯中,探讨产品在色泽、质构、产品氧化稳定性及抗氧化活性等方面的变化,评价番茄红素作为肉制品品质改良剂的可行性;同时结合感官评价确定番茄红素的建议添加量,以期天然植物源抗氧化剂的筛选及新型功能性肉制品的开发提供思路和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料与试剂

鸡胸肉购于山东春雪集团;猪肥肉、蔗糖、食盐购于广州华润万家超市;番茄红素(纯度 5%)购于陕西森弗天然制品有限公司;木瓜蛋白酶(800 U/mg)购于上海源叶生物科技有限公司;ABTS 和 FRAP 试剂盒购于南京建成生物工程研究所;DPPH 试剂购于广州市白云生物技术有限公司;其他试剂购于天津市大茂化学试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

UV-1800 紫外-可见分光光度计,日本岛津;PB-10 酸度计,德国赛多利斯科学仪器公司;TGL-16M 冷冻高速离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;T25D 均质机,德国 IKA 集团;UltraScan VIS 色度仪,美国 Hunter Lab;质构仪 TA-XT.PLUS,英国 SMS 公司;酶标仪 Gen5,美国 BioTek;WRH 热泵干燥机,广东威尔信实业有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 鸡胸肉脯配方

850 g 鸡胸肉、150 g 猪肥肉、90 g 糖、20 g 盐、3 g 复合磷酸盐、5 mL 木瓜蛋白酶(5000 U/g)、(0、0.30、0.60、0.90、1.20 g)添加量的番茄红素。

#### 1.3.2 原料肉预处理

将鸡胸肉和猪肥肉去除筋膜、切成块,放于-20 °C 冰箱冰冻 30 min,分别绞成肉糜。

#### 1.3.3 鸡胸肉脯制作工艺

鸡胸肉和猪肥肉→搅拌(30 min)→真空腌制(15 min)→摊片→烘制(55 °C、70%湿度)→烤制(150 °C、3 min)→去边角→切片→真空包装。样品大小(40 mm×40 mm×3 mm)

#### 1.3.4 质构测定

参考 Kargozari 等人的方法<sup>[12]</sup>略加改动,采取 TPA 模式对肉脯进行质构测试,采用 P/50 探头,测前速度 1 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后返回速度 1 mm/s,探头上升高度 30 mm,压缩程度 25%,触发力 5 g,间

隔时间 5 s, 用两块肉脯叠加一起测试, 每组 6 次重复, 结果取其平均值。测定指标: 硬度(N)、粘聚性(N·S)、弹性(cm)和咀嚼性(N·cm)。

### 1.3.5 色差的测定

采用 UltraScan VIS 色度仪测定样品的表面色泽, 测定前用校准板 ( $L^*=97.42$ ,  $a^*=-0.75$ ,  $b^*=1.31$ ) 对色差仪进行校准, 每组样品有 6 个平行组, 记录  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。

### 1.3.6 脂质氧化程度 (TBARS) 测定

在 50 mL 离心管中加入 2 g 肉脯和 18 mL 生理盐水, 10000 r/min 均质 30 s, 取 0.2 mL 均质液, 依次加入 0.2 mL 8.1% SDS、1.5 mL 乙酸缓冲液 (pH 值 3.5)、1.5 mL 0.8% TBA (硫代巴比妥酸) 溶液及 0.6 mL 蒸馏水, 漩涡振荡 30 s, 95 °C 水浴锅水浴 1 h, 10000 r/min 离心 5 min, 记录其在 532 nm 处的吸光值。用 1,1,3,3-四乙氧基丙烷 (TEP) 制备的标准曲线, 得到丙二醛 (MDA) 的含量值。上述 TBARS 测定方法根据 Zhang 等人的方法<sup>[13]</sup>进行修改而来。

### 1.3.7 蛋白质氧化测定

蛋白质含量测定参照李耀姝的方法<sup>[14]</sup>略加改动。取 2 g 样品和 18 mL 生理盐水于离心管中, 均质、离心、过滤、得到滤液。取 1 mL 样品均质滤液, 加入 4 mL 双缩脲, 37 °C 水浴 30 min, 记录在 540 nm 处吸光值。用牛血清蛋白制备标准曲线, 得到蛋白质含量。

蛋白质羰基测定参照 Oliver 等人的方法<sup>[15]</sup>略加改动。取 0.1 mL 滤液, 样品组加入 0.5 mL 含有 2,4-二硝基苯肼 (DNPH) 的 2 mol/L HCl 溶液, 对照组加

入 0.5 mL 2 mol/L HCl 溶液, 在 37 °C 水浴锅水浴 30 min, 然后加入 0.5 mL 的 20% TCA (三氯乙酸) 溶液, 振荡、离心、弃上清, 乙醇-乙酸乙酯 (V/V=1/1) 洗涤 3 次后, 1 mL 6 mol/L 盐酸胍溶液溶解 (37 °C 水浴 15 min), 稀释 1 倍, 测试 370 nm 处吸光值, 以牛血清蛋白为标准, 双缩脲法测定蛋白质含量。摩尔消光系数 22000 L/(mol·cm), 计算公式如下:

$$\text{nmol 羰基/mg 蛋白} = \frac{2 \times 10^6 \times (\text{测定管 OD}_{370} - \text{对照管 OD}_{370})}{22.0 \times 10^3 \times C_{\text{prot}}}$$

蛋白质巯基测定参照 Cui 等人的方法<sup>[16]</sup>略加改动。称取 2 g 样品, 加入 9 倍体积的 Tris-Gly 缓冲液于离心管中, 均质。取 0.5 mL 均质液、2.5 mL Tris-Gly-尿素缓冲液、20 μL Ellman 试剂于离心管中, 37 °C 水浴 15 min, 离心 5 min, 记录在 412 nm 处吸光值, 摩尔消光系数  $13.6 \times 10^3$  L/(mol·cm), 计算公式如下:

$$\text{nmol SH/mg 蛋白} = \frac{10^6 \times A_{412} \times \text{反应总体积}}{13.6 \times 10^3 \times \text{样品体积} \times C_{\text{prot}}}$$

### 1.3.8 抗氧化性能测定

DPPH 自由基清除能力的测定参照 Bouaziz 等人的方法<sup>[17]</sup>略加改动。样品组: 吸取 20 μL 均质滤液和 180 μL 1 mmol/L DPPH 溶液 (溶于无水乙醇), 对照组: 20 μL 均质滤液和 180 μL 无水乙醇, 避光反应 30 min, 记录 517 nm 处吸光值, 得到样品组与对照组的差值。用 Trolox 作为标准品绘制标准曲线, DPPH 自由基清除能力以 μmol 当量/mg 蛋白表示。

ABTS 自由基清除能力的测定参照总抗氧化能力 (ABTS 快速法) 测试盒说明书。

表1 感官评价评分标准

Table 1 Scoring criteria for sensory evaluation

指标	评分标准	分值
色泽	亮红色, 光泽感好, 诱人	8~10
	亮红色, 光泽感差, 较诱人	5~7
	暗红色, 无光泽	0~4
香气	香气浓郁	8~10
	有一定的香气	5~7
	无香气甚至有异味	0~4
口感	口感好, 有良好的咀嚼性和回弹性	8~10
	口感一般, 咀嚼性和回弹性略差	5~7
	口感偏硬或者偏软, 无咀嚼性和回弹性	0~4
组织形态	片型规则整齐, 厚薄均匀	8~10
	片型基本整齐, 厚薄基本均匀, 有微小空洞	5~7
	片型不规则整齐, 厚薄不均匀	0~4

注: 总体接受程度=色泽×30%+香气×20%+口感×30%+组织形态×20%。

FRAP 抗氧化活性的测定参照总抗氧化能力 (FRAP 法) 测试盒说明书。

### 1.3.9 感官评价

根据李玉邯等人的方法<sup>[18]</sup>略加改变, 鸡肉脯的感

官评价根据表 1 标准,采用 10 分制评分方法。聘请 20 名专业人员进行感官评价,要求评定人员 12 h 不吸烟,不饮酒,不食用辛辣等刺激性食物,评定人员保持一定的距离保证之间互不交谈。

### 1.3.10 统计分析

利用 Microsoft Excel 对试验结果进行数据整理,采用 SPSS 19.0 进行 Duncan 进行数据分析,再利用 Origin 9.0 做图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 番茄红素的添加量对鸡肉脯脂质氧化的影响

影响

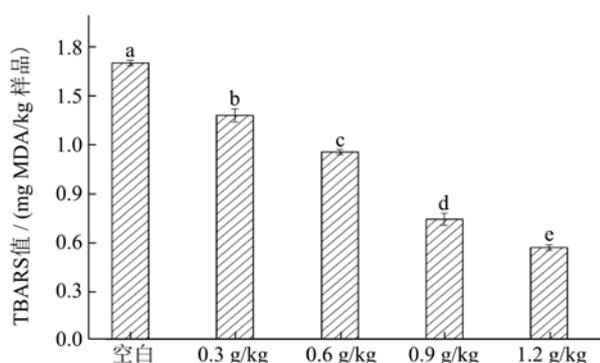


图1 番茄红素对鸡肉脯TBARS值的影响

Fig.1 Influences of lycopene on TBARS values of dried chicken meat gruel slice

注:不同小写字母表示不同样品间相同指标差异水平 ( $p < 0.05$ )。下图同。

脂质氧化是鉴定肉脯品质好坏重要的指标之一,MDA 是脂质氧化的产物,因与硫代巴比妥酸反应显示不同程度的红色而作为判断脂质的氧化程度的指标<sup>[19]</sup>。如图 1 所示,肉脯样品的 MDA 含量随着番茄红素添加量的增加呈现出逐渐降低的趋势 ( $p < 0.05$ ),说明番茄红素能够有效抑制肉脯脂质的氧化。当添加量为 1.20 g/kg 时,该抑制效果最为明显,TBARS 值表示为 0.57 mg MDA/kg 样品。这可能是因为番茄红素的含量增加,消耗了细胞中产生的超氧自由基 ( $O_2^{\cdot -}$ ),进而抑制了不饱和脂肪酸生成烷基自由基与活性氧等复杂的链式反应,降低了脂质氧化反应速率<sup>[20]</sup>。与此同时,Sahin 等人<sup>[21]</sup>也发现随着番茄红素浓度的增加,高密度饲养虹鳟鱼的 MDA 含量下降。

### 2.2 番茄红素对鸡肉脯蛋白质氧化的影响

蛋白质在氧化过程中会产生氢过氧化物和羰基,巯基进一步转化为二硫键,引发蛋白质的交联聚合,

因此羰基和巯基含量被广泛用做判断蛋白质氧化程度的重要指标<sup>[22]</sup>。如图 2 所示,随着番茄红素添加量的增加,产品羰基含量呈现下降的趋势 ( $p < 0.05$ ),这说明番茄红素对羰基的积累表现出抑制作用。当番茄红素添加量为 0.90 g/kg 和 1.20 g/kg 时,产品的羰基值分别为 0.18 nmol/mg 蛋白和 0.07 nmol/mg 蛋白,相比对照组分别下降了 54% 和 77%。Mario 等人<sup>[23]</sup>与本研究结果相似,发现脂质衍生的自由基和氢过氧化物会促进蛋白质的氧化,而番茄红素会降低氢过氧化物的产生速率,进而延缓蛋白质的氧化。

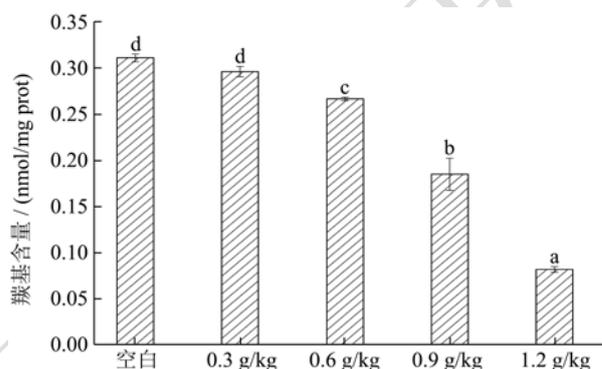


图2 番茄红素对鸡肉脯羰基含量的影响

Fig.2 Effect of lycopene on carbonyl content of dried chicken meat gruel slice

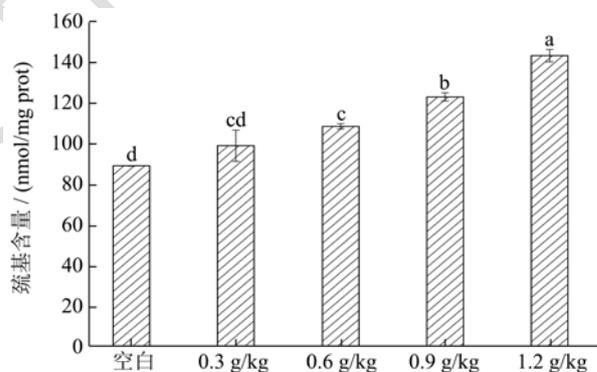


图3 番茄红素对鸡肉脯巯基含量的影响

Fig.3 Effect of lycopene on the sulfhydryl content of dried chicken meat gruel slice

有研究显示,巯基氧化后会形成二硫键,蛋白质空间结构遭到破坏,进而加速蛋白质的氧化<sup>[24]</sup>。番茄红素的添加,可以有效延缓巯基向二硫键的转化。如图 3 所示,随着番茄红素添加量的增加,产品的巯基含量也显著增加 ( $p < 0.05$ )。值得注意的是,在添加量为 1.20 g/kg 时,产品的巯基含量为 143.28 nmol/mg 蛋白,约为空白组的 1.6 倍。这可能是因为番茄红素抑制了活性氧对肉脯蛋白质中的半胱氨酸残基的进攻,使它们转化为二硫键和其他硫醇氧产物物速率降低<sup>[25]</sup>。

### 2.3 番茄红素的添加量对鸡肉脯的抗氧化性

的影响

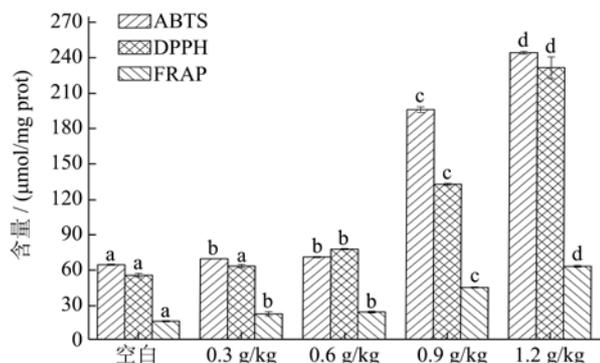


图4 番茄红素对鸡肉脯抗氧化性的影响

Fig.4 Influence of lycopene on antioxidant activity of dried chicken meat gruel slice

如图 4 所示,肉脯的 ABTS、DPPH 自由基清除能力和总还原力 (FARP 值) 与番茄红素的添加量呈现正相关关系 ( $p < 0.05$ )。这说明番茄红素的添加可以赋予产品一定的抗氧化活性,这与 Riahi 等的描述一致<sup>[26]</sup>。值得注意的是,在添加量为 1.20 g/kg 时,产品的抗氧化活性达到最大,分别为 243.36  $\mu\text{mol/mg}$  蛋白 (ABTS 清除率)、230.51  $\mu\text{mol/mg}$  蛋白 (DPPH 清除率) 和 62.25  $\mu\text{mol/mg}$  蛋白 (FARP 值)。这是由于番茄红素是一种非环状的结构,含有 11 个共轭双键的类胡萝卜素,该结构能够稳定、分离活性氧和清除自由基,特别是单线态氧<sup>[27,28]</sup>。自由基是有氧化反应氧分子的不完全还原,导致生物分子或细胞器的结构和功能损伤。番茄红素能够抑制蛋白质和脂质氧化,进而能够与活性氧反应,清除自由基<sup>[29]</sup>。因此,随着番茄红素添加量的增大,清除自由基的能力也随之变强。

表2 番茄红素对鸡胸肉脯加工过程中质构的影响

Table 2 Effect of lycopene on the texture properties of dried chicken meat gruel slice during preparation

项目	空白	0.30 g/kg	0.60 g/kg	0.90 g/kg	1.20 g/kg
硬度/N	9898.90±259.30 <sup>a</sup>	10176.80±302.20 <sup>a</sup>	9985.20±911.50 <sup>a</sup>	10994.30±1020.40 <sup>a</sup>	11012.20±229.50 <sup>a</sup>
弹性/cm	0.88±0.02 <sup>b</sup>	0.92±0.01 <sup>ab</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>	0.93±0.00 <sup>a</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>
粘聚性/(N·S)	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.89±0.00 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>
咀嚼性/(N·cm)	7729.50±328.90 <sup>b</sup>	8303.80±201.00 <sup>ab</sup>	8401.50±539.70 <sup>ab</sup>	9048.60±880.20 <sup>ab</sup>	9176.00±582.10 <sup>a</sup>

注:小写肩标字母表示不同样品在同一行上的差异性水平 ( $p < 0.05$ )。下表同。

表3 番茄红素对鸡肉脯中色泽的影响

Table 3 Effect of lycopene on the color of dried chicken meat gruel slice

项目	空白	0.30 g/kg	0.60 g/kg	0.90 g/kg	1.20 g/kg
$L^*$	46.44±0.05 <sup>a</sup>	40.62±0.22 <sup>b</sup>	38.90±0.28 <sup>c</sup>	38.46±0.31 <sup>c</sup>	37.58±0.20 <sup>d</sup>
$a^*$	6.86±0.11 <sup>c</sup>	15.57±0.13 <sup>d</sup>	18.27±0.25 <sup>c</sup>	18.81±0.11 <sup>b</sup>	20.23±0.21 <sup>a</sup>
$b^*$	25.46±0.29 <sup>a</sup>	21.52±0.22 <sup>b</sup>	18.57±0.29 <sup>c</sup>	17.39±0.21 <sup>d</sup>	16.88±0.16 <sup>d</sup>

2.4 番茄红素对鸡肉脯质构的影响

质构是影响食品品质的重要因素,反映了食品的力学特性和组织结构<sup>[30]</sup>。如表 2 所示,硬度是描述食品变形或穿透食品所需力的机械质地特性,是食品保持形状内部结合力,各组间没有表现出显著性差异 ( $p > 0.05$ )<sup>[31]</sup>,说明番茄红素对产品硬度的影响较小;弹性是在外力作用下发生形变后恢复原来状态的能力,表中数据显示,随着番茄红素添加量的增加,产品的弹性略有增加,但效果不显著 ( $p > 0.05$ );咀嚼性反映了肉脯的嫩度和韧性,是硬度、粘聚性和弹性三者的乘积<sup>[30]</sup>,由于硬度和粘聚性没有显著性差别,使咀嚼性与弹性成正相关,随着添加量的增加而略有上升,但效果不显著。总体而言,番茄红素对各指标的影响较小,不会对产品质构造成破坏。

2.5 番茄红素对鸡肉脯色泽的影响

色泽的好坏直接影响消费者对产品的接受程度。如表 3 所示,产品的  $a^*$  值随着番茄红素添加量的增加逐渐上升,而产品的  $L^*$  值却逐渐下降,这可能是番茄红素多烯链上的成色物质与蛋白质结合所致,使产品显示出红色,亮度随之变暗<sup>[32]</sup>。随着番茄红素添加量的增加,样品  $b^*$  值呈现出下降的趋势,这可能与番茄红素抑制脂质氧化的性能有关<sup>[33]</sup>。Faustman 等人<sup>[34]</sup>指出脂质氧化产生氢过氧化物,将血红蛋白中的  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$  使肉脯呈现黄色,而番茄红素能有效抑制脂溶性自由基诱导的脂质过氧化反应,从而抑制脂质的氧化,故随着番茄红素添加量的增加,肉脯的黄度下降,从而提高消费者接受度。

## 2.6 感官评价

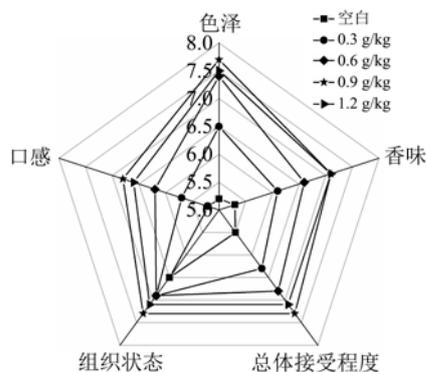


图5 番茄红素对鸡肉脯感官特性的影响

Fig.5 Influence of lycopene on the sensory characteristics of dried chicken meat gruel slice

如图5所示,番茄红素的添加使得肉脯在色泽、香味及口感等方面的评分显著提高,这说明番茄红素对改良肉脯感官品质的效果显著。这可能是因为番茄红素对产品的蛋白质和脂质发挥了保护作用,改善了产品的质构和风味。另外,番茄红素本身为红色,能够赋予产品更诱人的色泽<sup>[35]</sup>。值得注意的是,当番茄红素的添加量为1.20 g/kg时,产品的色泽会由于过于鲜亮,导致色泽评分显著下降( $p < 0.05$ ),致使产品的整体接受程度下降。另外,产品的口感和组织形态都略差于添加量为0.90 g/kg的产品。综合考虑,建议番茄红素的添加量为0.90 g/kg。

## 3 结论

本研究首次探究番茄红素作为天然改良剂添加到肉制品的可行性。经研究发现,番茄红素的添加能够有效改善鸡肉脯色泽的同时使产品表现出较好的抗氧化性能。与对照相比,添加番茄红素的肉脯脂质及蛋白质的氧化得到明显抑制,色泽得到有效改善,感官接受度显著提高。然而当其添加量超过0.90 g/kg时,产品色泽会受到不利影响,致使产品的总体接受度下降,因此,番茄红素在鸡肉脯中的较适添加量为0.90 g/kg。上述研究结果表明番茄红素在改善肉制品的品质方面有望成为传统肉制品添加剂的有效替代物,进而表明在加工食品应用方向有广阔的前景。

## 参考文献

- [1] 姚芳,刘靖,褚洁明,等.抗氧化剂对猪肉脯抗氧化性能的影响研究[J].食品工业科技,2009,2(30):105-107  
YAO Fang, LIU Jing, CHU Jie-ming, et al. Effect of antioxidant on the antioxidant activity of pork jerky [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 2(30): 105-107
- [2] 孟彤,刘源,仇春洪,等.蛋白质氧化及对肉品品质影响[J].中国食品学报,2015,15(1):173-181  
MENG Tong, LIU Yuan, QIU Chun-yang, et al. Research progress on oxidation mechanisms and its effects on meat quality [J]. Chinese Journal of Food Science, 2015, 15(1): 173-181
- [3] Xu L, Zhu M, Liu X, et al. Inhibitory effect of mulberry (*Morus alba*) polyphenol on the lipid and protein oxidation of dried minced pork slices during heat processing and storage [J]. LWT, 2018, 91: 222-228
- [4] 张泽生,郭擎,高云峰,等.天然抗氧化剂的产业化进展[J].食品研究与开发,2017,38(7):206-209  
ZHANG Ze-sheng, GUO Qing, GAO Yun-feng, et al. Progress in the industrialization of natural antioxidants [J]. Food Research and Development, 2017, 38(7): 206-209
- [5] 胡佳慧,刘璐,乔宇,等.玉米须总黄酮提取物对猪肉脯抗氧化性影响的研究[J].食品科学技术学报,2018,36(3):66-71  
HU Jia-hui, LIU Lu, QIAO Yu, et al. Antioxidant effects of total flavonoids extract from corn silk on dried pork slices [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(3): 66-71
- [6] Tapiero H, Townsend D M, Tew K D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2004, 58(2): 100-110
- [7] Meroni E, Raikos V. Formulating orange oil-in-water beverage emulsions for effective delivery of bioactives: Improvements in chemical stability, antioxidant activity and gastrointestinal fate of lycopene using carrier oils [J]. Food Research International, 2018, 106: 439-445.
- [8] 王颂萍.番茄酱部分替代亚硝酸盐对低温乳化肠品质的影响[D].邯郸:河北工程大学,2015  
WANG Song-ping. Production of low-temperature emulsion sausage with tomato paste partially substitute of nitrite [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015
- [9] Meroni E, Raikos V. Formulating orange oil-in-water beverage emulsions for effective delivery of bioactives: Improvements in chemical stability, antioxidant activity and gastrointestinal fate of lycopene using carrier oils [J]. Food Research International, 2018, 106: 439-445
- [10] Østerlie M, Lerfall J. Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour [J]. Food Research International, 2005, 38(8): 925-929
- [11] 白梅竹,李红亮,张林雅.番茄红素与牛血清白蛋白的相互作用[J].光谱实验室,2012,29(2):668-671  
BAI Mei-zhu, LI Hong-liang, ZHANG Lin-ya. Interaction

- between lycopene and bovine serum albumin [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2012, 29(2): 668-671
- [12] Kargozari M, Moini S, Akhondzadeh Basti A, et al. Development of Turkish dry-fermented sausage (sucuk) reformulated with camel meat and hump fat and evaluation of physicochemical, textural, fatty acid and volatile compound profiles during ripening [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(2): 849-858
- [13] 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
- [14] 李耀妹.牛乳蛋白质检测试纸的研制[D].沈阳:东北农业大学, 2017
- LI Yao-shu. Study on the strip for detecting protein of milk [D]. Shenyang: College of Food Science, 2017
- [15] Oliver C N, Ahn B W, Moerman E J, et al. Age-related changes in oxidized proteins [J]. Journal of Biological Chemistry, 1987, 262(12): 5488
- [16] Cui C, Zhou X, Zhao M, et al. Effect of thermal treatment on the enzymatic hydrolysis of chicken proteins [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(1): 37-41
- [17] Bouaziz M, Fki I, Jemai H, et al. Effect of storage on refined and husk olive oils composition: Stabilization by addition of natural antioxidants from Chemlali olive leaves [J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 253-262
- [18] 李玉邯,陈宇飞,杨柳,等.洋葱粉对猪肉脯品质及抗氧化性能的影响[J].中国调味品,2015,10:4-6
- LI Yu-han, CHEN Yu-fei, YANG Liu, et al. The effect of onion powder on sensory quality and antioxidant activity of pork jerky [J]. China Condiment, 2015, 10: 4-6
- [19] Ghani M A, Barril C, Bedgood D R, et al. Measurement of antioxidant activity with the thiobarbituric acid reactive substances assay [J]. Food Chemistry, 2017, 230: 195-207
- [20] Cunha L C M, Monteiro M L G, Lorenzo J M, et al. Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products [J]. Food Research International, 2018, 111: 379-390
- [21] Sahin K, Yazlak H, Orhan C, et al. The effect of lycopene on antioxidant status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared under high stocking density [J]. Aquaculture, 2014, 418-419: 132-138
- [22] Xiong Y L, Decker E, Faustman C, et al. Protein oxidation and implications for muscle food quality [J]. Antioxidants in Muscle Foods Nutritional Strategies to Improve Quality, 2000
- [23] Mario E, Velimatti O, Marina H. Analysis of protein oxidation markers alpha-amino adipic and gamma-glutamic semialdehydes in food proteins using liquid chromatography (LC)-electrospray ionization (ESI)-multistage tandem mass spectrometry (MS) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(9): 3901-3910
- [24] 胡佳慧,熊光权,乔宇.微冻贮藏过程中能量代谢酶活性和蛋白质氧化降解对鲈鱼质构特性的影响[J].食品科学,2018,39(23):227-234
- HU Jia-hui, XIONG Guang-quan, QIAO Yu. Effects of energy metabolism-related enzyme activities and protein oxidation on texture properties of percid (*Micropterus salmoides*) during superchilled storage [J]. Food Science, 2018, 39(23): 227-234
- [25] Rysman T, Hecke T V, Poucke C V, et al. Protein oxidation and proteolysis during storage and *in vitro* digestion of pork and beef patties [J]. Food Chemistry, 2016, 209: 177-184
- [26] Riahi A, Hdidder C. Bioactive compounds and antioxidant activity of organically grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars as affected by fertilization [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 151: 90-96
- [27] Tuyen P, Do Tan K, Minh L, et al. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of *Castanopsis phuthoensis* and *Castanopsis grandicicatricata* [M]. 2016
- [28] Rice-Evans C A, Sampson J, Bramley P M, et al. Why do we expect carotenoids to be antioxidants *in vivo*? [J]. Free Radical Research Communications, 1997, 26(4): 381-398
- [29] Kandi S, Charles A L. Statistical comparative study between the conventional DPPH spectrophotometric and dropping DPPH analytical method without spectrophotometer: Evaluation for the advancement of antioxidant activity analysis [J]. Food Chemistry, 2019, 287: 338-345
- [30] 张秋会,宋莲军,黄现青,等.质构仪在食品分析与检测中的应用[J].农产品加工, 2017,24:52-56
- ZHANG Qiu-hui, SONG Lian-jun, HUANG Xian-qing, et al. Implication of texture analyzer in food analysis and detection [J]. Farm Products Processing, 2017, 24: 52-56
- [31] 杨欢欢.低温肉制品质构评定方法的建立[D].郑州:河南农业大学,2012
- YANG Huan-huan. Establishment of texture evaluation method of low temperature meat product [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012