

替代亚硝酸盐生产安全腌肉制品的研究现状

刘彩红¹, 樊晓盼¹, 王思雨¹, 张乃琳¹, 马俪珍^{1,2*}, 肖艳²

- (1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津 300384;
2. 天津市宽达水产食品有限公司, 鱼糜高值转化及品质控制技术企业重点实验室, 天津 300304)

摘要:硝酸盐和亚硝酸盐在腌肉制品加工中同时起着发色、抑菌、抗氧化和提高风味的作用, 但硝酸盐和亚硝酸盐与肉中的二级胺反应会形成致癌物质 N-亚硝胺, 所以寻求一种更加安全有效的硝酸盐和亚硝酸盐替代方式, 在实际生产中具有重要意义。本文就无硝腌肉制品在亚硝酸盐发色作用、抑菌作用和抗氧化作用的替代物方面开展的研究工作进行综述, 提出了天然腌制的概念, 重点介绍目前国内外利用蔬菜替代亚硝酸盐的方法, 包括将蔬菜粉(或汁)中的硝酸盐用硝酸盐还原菌转化为亚硝酸盐后加入腌肉制品中(先发酵法)和将蔬菜粉(或汁)加入肉馅中再发酵(后发酵法)两种生产方式, 并对目前的研究现状、进展、存在问题及今后发展方向进行了论述, 以期生产安全腌肉制品提供借鉴。

关键词:腌肉制品; 硝酸盐和亚硝酸盐; 蔬菜; 发酵

The current research status of replacing nitrite to produce safe cured meat products

LIU Cai-Hong¹, FAN Xiao-Pan¹, WANG Si-Yu¹, ZHANG Nai-Lin¹, MA Li-Zhen^{1,2*}, XIAO Yan²

(1. College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Engineering and Technology Research Center of Agricultural Products Processing, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Kuanda Aquatic Food Co., Ltd., High Value Transformation and Quality Control Technology of Surimi of Enterprise Key Laboratory, Tianjin 300304, China)

ABSTRACT: Nitrate and nitrite play the role of coloring, antibacterial, antioxidant and improving flavor in the process of cured meat products. However, nitrate and nitrite can react with substances of meat to produce N-nitrosamine which is carcinogenic. So it would be critically significant in practical production if we could find a safe alternative method to replace nitrate and nitrite. This paper summarized the research work of alternative aspects of cured meat products without nitrate in coloring, antibacterial and antioxidant of nitrite, proposed the concept of natural cured, which focused on the way of using vegetables to replace nitrite in domestic and abroad at present, including two kinds of production: one was added into the cured meat after nitrate of vegetables powder/juice converted into nitrite with a bacterial starter culture with specific nitrate reducing ability, another was fermented after vegetables powder/juices added into meat. The current research status, progress, problems and development direction of the future were also discussed, which could provide reference for producing safety cured meat products.

基金项目: 天津市科技型中小企业技术创新资金项目(13ZXCXNC02700)

Fund: Supported by the Capital and Technology Innovation Project of Tianjin Municipal Science and Technology Oriented Small and Medium sized Enterprises (13ZXCXNC02700)

*通讯作者: 马俪珍, 教授, 主要研究方向为肉制品品质与安全。E-mail: Malizhen-6329@163.com

*Corresponding author: MA Li-Zhen, Professor, College of Food Science and Biotechnology of Tianjin Agricultural University, No.22, Jinjing Road, XiQing District, Tianjin 300384, China. E-mail: Malizhen-6329@163.com

KEY WORDS: cured meat products; nitrate and nitrite; vegetable; fermentation

1 引言

腌肉制品是指在肉制品加工中添加了硝酸盐(NO_3^-)或亚硝酸盐(NO_2^-)并同时添加食盐、糖、抗坏血酸钠和磷酸盐等对原料肉进行加工处理的产品。硝酸盐和亚硝酸盐在腌肉制品加工中起着非常重要的作用,硝酸盐在硝酸盐还原菌作用下可转化为亚硝酸盐,亚硝酸盐很不稳定,在酸性条件下可分解产生一氧化氮(NO), NO 与肌红蛋白、血红蛋白结合生成亚硝基肌红蛋白和亚硝基血红蛋白,使肉制品呈现稳定的鲜红色,并具有独特风味;亚硝酸盐还具有抑制肉毒梭状芽孢杆菌(*Clostridium botulinum*)生长繁殖的作用,从而防止肉毒素产生;亚硝酸盐还具有抗氧化作用,可抑制肉制品的氧化酸败。

亚硝酸盐是唯一能同时对腌肉制品起以上4方面作用的物质,至今尚未发现其他物质可以完全替代它。但是,亚硝酸盐亦可与肉制品中的次级胺,如仲胺、叔胺、氨基酸等发生反应,形成致癌物质N-亚硝基化合物,如N-亚硝胺二甲基(N-dimethylnitrosamine, NDMA)、N-亚硝胺二乙基(N-diethylnitrosamine, DENA)、N-亚硝基吡咯烷(N-nitrosopyrrolidine, NPYR)、N-亚硝基哌啶(N-nitrosopiperidine, NPIP)、N-亚硝基二丁胺(N-nitrosodi-n-butylamine, NDBA)等,诱发人体消化系统癌变,目前已成为食品安全关注的焦点之一^[1]。

由于亚硝酸盐与N-亚硝胺以及癌症之间所存在的潜在关系,许多消费者对硝酸盐或亚硝酸盐作为食品添加剂持否定态度。美国农业部^[2]和我国食品添加剂使用准则^[3]均明确规定:生产绿色食品禁止使用硝酸盐或亚硝酸盐等食品添加剂。腌腊肉制品生产中若不添加硝酸盐或亚硝酸盐,生产的产品就不具有腌腊肉制品特有的品质,特别是由于*C.botulinum*的生长繁殖而产生肉毒素导致更大的危害,因而不少研究者致力于研究和开发不直接添加硝酸盐或亚硝酸盐,而又具有典型腌肉制品特性的腌肉制品加工方法^[4],一些肉制品加工企业向肉制品中添加天然物质代替亚硝酸盐,消除消费者对添加化学合成亚硝酸盐的顾虑。本文就目前替代硝酸盐和亚硝酸盐的天然物质的研究现状进行综述,以期为安全肉制品的生产提供理论依据。

2 无硝腌肉制品的研究

目前,许多研究者为了能生产出更加安全放心的腌肉制品,一直致力于寻找亚硝酸盐的替代物,生产出不添加亚硝酸盐的肉制品,即无硝肉制品。因为硝酸盐或亚硝酸盐添加到肉制品中同时具有发色、抑菌、抗氧化和提高风味的作用,所以研究者致力于寻找替代物来实现以上四

方面的作用。

2.1 亚硝酸盐发色作用替代物的研究

研究者在微生物发酵法替代亚硝酸盐呈色方面做了一些研究,如朱英莲^[5]对戊糖乳杆菌替代亚硝酸盐发色效果进行了研究,以生鲜肉为原料,以戊糖乳杆菌为发色剂,以发酵温度、发酵时间、乳酸菌接种量和氯化钠浓度4个因素分别进行单因素实验,以发酵香肠的红度值为指标,用响应面分析法,结果表明戊糖乳杆菌能有效促进肉品发色,提高香肠红度值、亮度值,并提高了肉制品的安全性。孔保华^[6]将发酵乳杆菌JCM1173应用于红肠生产中,设计了3组不同添加量水平的发酵乳杆菌,与亚硝酸盐对照组进行对比,通过测定红度值和感官评定,结果表明在三个浓度水平范围内添加量越高,形成的NO-Mb浓度越大,最大添加量为 10^8 个/g(生肉)时,NO-Mb的含量与60 mg/kg亚硝酸盐腌制肉的相接近,说明发酵乳杆菌JCM1173应用于腌肉制品中替代亚硝酸盐产生良好的色泽是可行的。王柏琴^[7]对红曲色素在发酵香肠中代替亚硝酸盐的发色效果进行了研究,实验以不同浓度的红曲色素添加到发酵香肠中,以150 mg/kg NaNO_2 作为对照,实验结果表明以1600 mg/kg红曲色素为着色剂制作的发酵香肠其颜色接近以150 mg/kg NaNO_2 为发色剂制作的发酵香肠,且在4℃条件下贮藏一个月,颜色保持稳定。王也^[8]等研究了腊肠在加工过程中注射红曲色素替代亚硝酸盐的发色作用效果,结果显示添加量为肉重的0.001%,就能达到亚硝酸盐组的水平。杨锡洪^[9]阐述了组氨酸替代亚硝酸盐发色作用的研究,采用组氨酸与血红蛋白形成配位复合物来替代亚硝酸盐的发色作用,并且研究了pH对复合物的影响,计算出配位平衡常数,并求出标准焓和标准熵,进而制得新型色素糖基化血红蛋白-组氨酸色素,然后将其添加到灌肠中,可以赋予灌肠理想的红色,且色泽稳定。亚硝基血红蛋白也是一种很好的发色剂,将其代替亚硝酸盐添加到肉制品中,会产生良好的色泽,并且提高了肉制品的安全性^[10-14]。

2.2 亚硝酸盐抑菌作用替代物的研究

亚硝酸盐在腌制肉制品中对有害细菌的抑制有着很强的作用。目前研究的抑菌替代物主要有山梨酸钾、乳酸菌发酵、乳酸盐、乳酸链球菌素、抗氧化剂、多聚磷酸盐、次磷酸盐、延胡索酸酯类、辐射杀菌等。Huhtanen^[15]阐述了将山梨酸钾添加到肉罐头制品中,观察其在贮藏过程中的胀罐情况,结果发现添加了0.4%山梨酸钾的罐头贮藏时间最长,有抑制肉毒梭状芽孢杆菌的作用,且作用效果相当于135 mg/kg亚硝酸钠的作用。Shahidi等^[16]报道了次磷酸钠代替亚硝酸盐添加到肉制品中,结果表明对肉毒梭状芽孢杆菌的效果,300 mg/kg的次磷酸钠可以达到和120

mg/kg 亚硝酸盐同样的抑制效果,并且在适当的 pH 和有益存在的条件下,次磷酸钠的抑菌效果会更好,鉴于次磷酸钠的安全性,很适合作为无硝腌制肉制品的添加剂。王柏琴^[17]等研究了红曲色素、乳酸链球菌和山梨酸钾混合发酵时对肉毒梭状芽孢杆菌的抑制作用,结果表明抑制效果很好,可以作为亚硝酸盐的替代剂。Miller^[18]阐述了无硝火鸡制品,以丙酸盐、柠檬酸盐、醋酸盐、乳酸盐和丙酮酸盐代替亚硝酸盐,都对肉毒梭状芽孢杆菌有抑制作用。此外,一些抗氧化剂如丁基羟基茴香醚(BHA)等也被研究用于抗菌剂,多聚磷酸盐、葱蒜等也具有良好的杀菌、抑菌作用。

2.3 亚硝酸盐抗氧化作用替代物的研究

主要研究的抗氧化剂有茶多酚、抗坏血酸钠、肌肽、丁基对苯二酚(TBHQ)、特丁基-4-羟基茴香醚(BHA)等。Crush^[19]和张梦寒等^[20]分别在牛肉、猪肉、鱼肉和鸡肉中发现肌肽,肌肽能够有效地抑制脂类氧化并防止肉的亮红色减退,且肌肽(1.5%)对冷冻盐渍碎肉的抗氧化性比BHT、生育酚和三磷酸钠强,因此,肌肽作为天然抗氧化剂具有广阔的前景。茶多酚、BHA 可以抑制酯类化合物的氧化,应用于腌制肉制品中能降低脂肪氧化进程,延长其货架期。楼鼎鼎等^[21]探讨了竹叶抗氧化物(AOB)在中式香肠中的应用,从过氧化脂质生成物(丙二醛)和过氧化值(POV)的测定结果显示,加入0.01%~0.02%的AOB能显著提高产品的抗氧化性,说明竹叶中的抗氧化物质代替亚硝酸盐应用于肉制品中是可行的。

3 天然腌肉制品的生产

3.1 “天然腌制”的产生

随着消费者对亚硝酸盐安全性的担忧日益增加,以及天然食品越来越受到人们青睐,于是不添加亚硝酸盐且还能模拟传统腌肉制品感官和品质的肉制品应运而生。有报道显示,2013年美国天然和有机肉制品占据市场29%的份额,比2012年提高7%,而且在有机食品领域,有机肉制品是增长最快的食品。自从1990年以来,由于消费者对于天然和有机肉制品的喜爱,天然和有机肉制品的销售量以每年20%的速度递增^[22]。相对于添加人工合成添加剂的肉制品,消费者宁愿多付10%~40%的费用来购买天然肉制品。

美国农业部规定,凡是标有“有机”和“天然”的肉制品,是不允许含有人工合成型化学物质或者添加剂,比如亚硝酸钠、异抗坏血酸钠等。但是亚硝酸盐是保证腌肉品质和特点的独一无二的添加剂,并且还没有任何一种物质可以替代。所以为了达到既具有腌肉的品质和特点,也能不直接添加人工合成的亚硝酸钠,“天然腌制”被学者提出,其原理是利用特定微生物将天然来源的硝酸盐转化为天然型的亚硝酸盐,从而替代传统的合成型亚硝酸盐^[23-28]。

众所周知,蔬菜是一种易于富集硝酸盐的植物性食品,但不同种类的蔬菜、同一种类蔬菜的不同组织器官、不同栽培方式或栽培季节硝酸盐含量差别较大,如菠菜3369~7615 mg/kg、空心菜1220~2500 mg/kg、芹菜2274~5123 mg/kg、胡萝卜1166~3672 mg/kg^[29-30]。蔬菜中的硝酸盐在一定条件下可以还原成亚硝酸盐,Sebranek^[23]研究报道,室温下储藏10 d,胡萝卜汁、芹菜汁、甜菜汁和菠菜汁中的硝酸盐含量均会下降14%~22%,而亚硝酸盐含量则由痕量变为128~189 mg/kg。因此,在肉制品加工过程中加入蔬菜(汁/粉),可以完全或部分替代化学合成的亚硝酸盐,同时还可提高肉制品中的膳食纤维等营养价值。

殷露琴^[31]以芹菜粉、菠菜粉和硝酸盐还原菌为主要原材料,研究开发了一种用于酱牛肉的绿色复合腌制剂,无需加入化学合成亚硝酸盐或硝酸盐,即可使肉制品在发色、氧化稳定性、风味和抗微生物等方面起到良好作用。Krause^[32]利用肉葡萄球菌(*Staphylococcus carnosus*)发酵芹菜汁,研究了硝酸盐转化为亚硝酸盐的适宜发酵条件,并将这种发酵蔬菜粉添加到肉制品加工中,结果显示:添加发酵蔬菜粉的试验组与添加亚硝酸盐的对照组在色泽、抗氧化性等品质方面差异不显著($P>0.05$)。Terns^[22]将未发酵的芹菜粉直接添加到原料肉中进行发酵,与直接添加亚硝酸盐的对照组相比,在感官品质、色差、脂肪氧化等品质方面均无显著差异($P>0.05$)。

由此看来,应用天然富含硝酸盐的蔬菜来替代直接添加化学合成硝酸盐或亚硝酸盐生产腌肉制品具有潜在的应用价值和深远意义,将成为今后肉制品加工的一个主要研究方向。

3.2 影响蔬菜中硝酸盐还原为亚硝酸盐的因素

目前天然腌制主要有两种方式,一是将蔬菜粉和微生物同时添加在肉中,在热处理之前给予一定的发酵时间,让蔬菜粉中的硝酸盐充分转化为亚硝酸盐,此种腌制方法称为后发酵法;二是考虑到前一种方法中,蔬菜粉含有的硝酸盐在肉中转化迅速,无法测量和控制转化量,且发酵时间较长,增加生产成本,所以将菌种和蔬菜粉先发酵,制作成已知天然亚硝酸盐含量的发酵蔬菜粉,然后直接用于天然腌制^[33],这种腌制方式称为先发酵法。无论哪种方式,都要综合考虑硝酸盐还原菌的种类及添加比例、发酵温度、发酵时间和蔬菜添加量等因素^[22-27]的影响。

凝固酶阴性球菌的变异微球菌(*Kocuria varians*)、木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosum*)和肉葡萄球菌(*Staphylococcus carnosus*)均具有硝酸盐还原作用。在应用蔬菜替代亚硝酸盐生产腌肉制品过程中,所使用的硝酸盐还原菌种类非常重要。董竞等^[34]通过研究从传统侗族酸肉中筛选出9株具有硝酸盐还原能力的菌株,并证实其中活性最高的两个菌株均为肉葡萄球菌。温度对硝酸盐还原作用的影响主要是因为温度影响了硝酸盐还原菌的代谢,肉

葡萄球菌在温度高于 30 °C 时, 硝酸盐还原成亚硝酸盐的转化效率显著高于 15 °C~20 °C。一般硝酸盐还原菌的推荐作用温度为 38 °C~42 °C^[13]。时间和蔬菜的添加量也是影响硝酸盐还原作用的重要因素。Sindelar 等^[24-26]研究发现, 添加 0.2% 和 0.4% 芹菜粉在 38 °C 条件下保温 30 min 后亚硝酸盐含量分别为 5.6 mg/kg 和 17.7 mg/kg, 而经过 120 min 保温时间后亚硝酸盐含量分别为 24.5 mg/kg 和 46.0 mg/kg。因此, 在腌肉制品加工过程中, 可通过菌种、温度、时间、蔬菜(粉/汁)添加量等因素来对制品中的亚硝酸盐含量加以控制。

3.3 后发酵法在天然和有机腌肉制品中的应用

Terns^[27]测定了不同肉葡萄球菌与木糖葡萄球菌混合菌种的添加量以及发酵时间对灌肠制品的影响, 证明了发酵 90 min 组与加入亚硝酸钠组在 0、14 d 要比不发酵组红度值更高, 并且发酵 90 min 组、亚硝酸钠组及添加 0.02% 菌种不发酵组在 28、56、84 d 比添加 0.01% 菌种不发酵组红度值更高。同时还研究不同发酵剂添加水平和樱桃粉添加量对腌肉制品品质影响, 发现所有处理组与亚硝酸钠对比组在 pH、色泽及腌肉色素浓度上没有显著区别, 并且在感官评价上与对比组具有可比较性($P>0.05$)。

3.4 先发酵法在天然有机腌肉制品中的应用

Krause^[32]将富含硝酸盐的蔬菜与具有硝酸盐还原作用的肉葡萄球菌发酵系统反应, 生成了 200~230 mg/kg 的亚硝酸盐, 并且加入发酵芹菜的灌肠在 42 天内与加入亚硝酸钠的灌肠在红度方面没有明显差异($P>0.05$), 加入亚硝酸钠灌肠在一个星期内的亚硝酸盐残留量显著多于加入发酵芹菜组($P<0.05$)。

3.5 蔬菜替代亚硝酸盐加工腌肉制品应该考虑和研究的问题

腌肉制品中蔬菜添加量是一个需要严格把握的重要技术参数, 芹菜粉中硝酸盐含量为 27462 mg/kg, 添加 0.2%、0.35% 和 0.4% 芹菜粉, 分别相当于添加了 69 mg/kg、120 mg/kg 和 139 mg/kg 的亚硝酸盐^[27]。但在实际生产中, 蔬菜中的硝酸盐也不可能完全转化为亚硝酸盐, 所以添加蔬菜量不足, 腌肉制品中残留的亚硝酸盐量就会很低。特别是当采用蔬菜粉添加到肉中再发酵的加工方式时, 发酵过程中很难精确把握亚硝酸盐的浓度变化, 这是由于亚硝酸盐是非常活跃的化合物, 它既是氧化剂, 同时也是还原剂或亚硝化剂^[35], 可与肉中的各种成分发生反应, 从而降低了腌肉制品中残留的亚硝酸盐含量, 这样有可能导致腌肉制品中 *C.botulinum* 的生长繁殖, 产生更大的危害, 这一微生物安全性问题需要特别关注。幸运的是 *C.botulinum* 对酸较为敏感, 在 pH4.5 以下和 9.0 以上时, 所有菌株都受到抑制。所以发酵肉制品可以很好地控制 *C.botulinum* 产生内毒素。

亚硝酸盐对 *C. botulinum* 生长繁殖起着重要的抑制作

用。单从亚硝酸盐对肉的发色作用来看, 添加浓度可以降低到 50 mg/kg, 但对 *C. botulinum* 生长繁殖的抑制作用需要添加浓度达到 150 mg/kg。所以人们多年来一直在寻找别的方法来代替亚硝酸盐或降低亚硝酸盐的使用量达到同样对 *C. botulinum* 生长繁殖所起到的抑制作用。这些方法包括(1)利用乳酸菌发酵方法降低肉 pH^[36-37]; (2) α -生育酚+抗坏血酸+低浓度亚硝酸盐^[38]; (3)山梨酸或山梨酸酯+低水平亚硝酸盐^[39-42]; (4)二氧化硫^[43]; (5)辐照+超高压^[44-45]; (6)微波处理; (7)Nisin+亚硝酸钠^[46]。在肉浆中接种 *C.sporogenes*(PA3679)菌, 并添加 75~100 mg/kg Nisin 和 40mg/kgNaNO₂, 37 °C 培养 56 d, 可以很好地抑制 *C. sporogenes* 芽孢的生长。Scott^[47]报道 50 mg/kg (2,000 IU/mL) Nisin 在蛋白胨酵母葡萄糖培养基中可以抑制 *Clostridium botulinum* type A 芽孢的生长, 但是 125 mg/kg (5,000 IU/mL) Nisin 却不能阻止加工肉中这些芽孢的生长。梭状芽孢杆菌对热抵抗力很强, 许多食品的热加工过程都很难杀灭芽孢。从芽孢到活的营养体一般发育要经过三个过程: 激活、发芽和生长。Nisin 不能够影响芽孢菌的发芽, 但能够阻止发芽后的增大和以后的芽孢生长^[48]。

4 展 望

利用蔬菜中所含的硝酸盐替代化学合成的亚硝酸盐生产腌肉制品是一个新的研究领域, 目前的研究主要集中在蔬菜对腌肉制品色泽、氧化稳定性、硝酸盐和亚硝酸盐残留量以及风味等品质特性的影响, 而对加工腌肉制品的安全稳定性研究报道较少, 特别是对 N-亚硝胺的形成是促进作用还是抑制作用在所检索的文献中鲜有报道。目前, 消费者对于腌肉食品的安全性日益重视, 天然有机腌肉制品备受青睐, 天然有机食品要求加工过程中不允许加入任何人工合成的物质, 亚硝酸盐作为一种人工合成添加剂, 具有形成可致癌的 N-亚硝胺类的潜在危险, 越来越受到消费者的抵制。但是, 对于腌肉加工而言, 亚硝酸盐的地位不可取代, 目前还没有一种物质可以完全替代亚硝酸盐的作用, 其致癌性也已经通过最大使用和最大残留标准得到最大程度的控制, 亚硝酸盐的有益作用远远大于其有害作用, 所以, 在腌肉加工领域必须使用亚硝酸盐。如何解决上述矛盾, 近几年学者们开始利用天然型亚硝酸盐替代人工合成型亚硝酸盐来生产天然有机腌肉制品, 这一方法将逐步成为平衡消费者需求和生产加工需求的突破点, 在这方面的研究还需要深入探究。

参考文献

- [1] CassensRG. Use of sodium nitrite in cured meats today [J]. Food Technol, 1995, 49: 115.
- [2] USDA. (2005). Foodstandardsandlabelingpolicybook [EB/OL]. <www.fsis.usda.gov/OPPDE/larc/Policies/Labeling_Policy_Book_082005.pdf>. Accessed 27.12.06.

- [3] NY/T 392-2000 绿色食品食品添加剂使用准则[S].
NY/T 392-2000 Food additives application guideline for green food production [S].
- [4] Sindelar JJ, Cordray JC, Olson DG, *et al.* Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and frankfurters[J]. *J Food Sci*, 2007, 72(8): S551-S559.
- [5] 朱英莲, 李沛瑶. 戊糖乳杆菌替代亚硝酸盐发色效果的研究[J]. *肉类研究*, 2014, 39(5): 120-124.
Zhu YL, Li PY. The effect of curing agent of *Lactobacillus pentoseus* [J]. *Meat Res*, 2014, 39(5): 120-124.
- [6] 张雪, 孔保华. 发酵乳杆菌适度发酵替代红肠生产中亚硝酸盐发色效果的研究[J]. *肉类研究*, 2005, 31(6): 123-126.
Zhang X, Kong BH. Color development of *Lactobacillus fermentum* JCM1173 instead of nitrite on red sausages by Moderate Fermentation [J]. *Meat Res*, 2005, 31(6): 123-126.
- [7] 王柏琴, 杨洁彬, 刘克. 红曲色素在发酵香肠中代替亚硝酸盐发色的应用[J]. *食品与发酵工业*, 1995(3): 60-61.
Wang BQ, Yang HB, Liu K. Application of monascus pigment substituting nitrite in color formation of fermented sausages [J]. *Food Ferment Ind*, 1995, (3): 60-61.
- [8] 王也, 胡长利, 崔建云. 红曲红色素替代亚硝酸钠作为腊肉中着色剂的研究[J]. *农业工程技术: 中国国家农产品加工信息*, 2006 (1): 26-30.
Wang Y, Hu CL, Cui JY. The study of monascus pigments substituting sodium nitrite as colorant of cured meat [J]. *Agric Eng Technol: China Natl Produce Process Inform*, 2006, (1): 26-30.
- [9] 杨锡洪, 夏文水. 亚硝酸盐替代物-组氨酸发色作用的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(5): 102-106.
Yang XH, Xia WS. Research on color fixation of histidine as a substitute for nitrite [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2005, 24 (5): 102-106.
- [10] 马美湖, 谭敬军. 香肠无硝新方法的研究[J]. *中国畜产与食品*, 1997, (2): 55-56.
Ma MH, Tan JJ. The study of new way of without nitrite in sausage [J]. *China Anim Ind Food*, 1997, (2): 55-56.
- [11] 孔保华, 陶菲, 郑冬梅. 腌肉着色剂制备工艺的研究[J]. *食品科学*, 2002, 23(8): 197-200.
Kong BH, Tao F, Zheng DM. Research of pigment preparation process of Cured Meat [J]. *Food Sci*, 2002, 23(8): 197-200.
- [12] 王远明. 无硝血红蛋白着色剂的研制[J]. *华东理工大学学报*, 1998, (6): 655-658.
Wang YM. Preparation of hemoglobin colorant without nitroso-compound [J]. *J East China Univ Sci Technol*, 1998, (6): 655-658.
- [13] Rubin LJ, Diosady LL, Wood DF. Preparation of the cooked cured-meat pigment dinitrosyl ferrihemochrome from hemin and nitric oxide [J]. *J Food Sci*, 1985, 50: 272.
- [14] Shahidi F, Pegg RB. Novel synthesis of cooked cured-meat pigment [J]. *J Food Sci*, 1991, 56(3): 1205-1212.
- [15] Huhtanen CN, Feinberg J. Sorbic acid inhibition of *Clostridium botulinum* in nitrite-free poultry frankfurters [J]. *J Food Sci*, 1980, 45(3): 453-457.
- [16] Shahidi F. Developing alternative meat-curing systems [J]. *Trend Food Sci Technol*, 1991, (2): 219-222.
- [17] 王柏琴, 杨洁彬. 红曲色素, 乳酸链球菌素, 山梨酸钾对肉毒梭状芽孢杆菌的抑制研究[J]. *食品与发酵工业*, 1995 (6): 29-32.
Wang BQ, Yang JB. Inhibition of Monascorubin, Nisin and Potassium Sorbate on *Clostridium botulinum* Type B [J]. *Food Ferment Ind*, 1995, (6): 29-32.
- [18] Miller AJ, Call JE, Whiting RC. Comparison of organic acid salts for *Clostridium botulinum* control in an uncured turkey product[J]. *J Food Protect*, 1993, 56: 958-962.
- [19] Crush KG. Carnosine and related substances in animal tissues [J]. *Comp Biochem Phys*, 1998, 34(1): 3-30.
- [20] 张梦寒, 徐幸莲, 周光宏. 肌肽对肌肉中脂类氧化的抑制作用[J]. *肉类研究*, 2001, 15(4): 16-18.
Zhang MH, Xu XL, Zhou GH. Anti-oxidative Function of Carnosine on Muscular Lipid [J]. *Meat Res*, 2001, 15(4): 16-18.
- [21] 楼鼎鼎, 梁燕. 竹叶抗氧化物在中式香肠中的应用研究[J]. *食品科学*, 2004, 25 (11): 189-191.
Lou DD, Liang Y. Application of Aob (Antioxidant of Bamboo Leaf) on Chinese sausage [J]. *Meat Sci*, 2004, 25(11): 189-191.
- [22] Terns MJ, Milkowski AL, Claus JR, *et al.* Investigating the effect of incubation time and starter culture addition level on quality attributes of indirectly cured, emulsified cooked sausages [J]. *Meat Sci*, 2011, 88(3): 454-461.
- [23] Sebranek J, Bacus J. Natural and organic cured meat products: regulatory, manufacturing, marketing, quality and safety issues [J]. *American Meat Sci Assoc White Paper Series*, 2007, 1: 1-15.
- [24] Sindelar JJ, Cordray JC, Olson DG, *et al.* Investigating quality attributes and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, bacons, and frankfurters [J]. *J Food Sci*, 2007, 72(8): S551-S559.
- [25] Sindelar JJ, Cordray JC, Sebranek JG, *et al.* Effects of varying levels of vegetable juice powder and incubation time on color, residual nitrate and nitrite, pigment, pH, and trained sensory attributes of ready-to-eat uncured ham [J]. *J Food Sci*, 2007, 72(6): S388-S395.
- [26] Sindelar JJ, Terns MJ, Meyn E, *et al.* Development of a method to manufacture uncured, no-nitrate/nitrite-added whole muscle jerky [J]. *Meat Sci*, 2010, 86: 298-303.
- [27] Terns MJ, Milkowski AL, Claus JR, *et al.* Investigating the effect of incubation time and starter culture addition level on quality attributes of indirectly cured, emulsified cooked sausages [J]. *Meat Sci*, 2011, 88: 454-461.
- [28] Bacus J. Natural ingredients for cured and smoked meats[C]. //Proceedings of the 59th reciprocal meat conference. 2006: 77-78.
- [29] 王利群, 王文兵, 吴守一, 等. 蔬菜硝酸盐含量与硝酸还原酶活性的研究[J]. *食品科学*, 2003, 24(12): 37-40.
Wang LQ, Wang WB, Wu SY, *et al.* Nitrate content in vegetables and Influence of nitrate on nitrate reductase activity [J]. *Food Sci*, 24, (12): 37-40.
- [30] 王钊, 王卫平, 华楚行, 等. 杭州市场蔬菜硝酸盐含量分析及质量评价[J]. *浙江农业学报*, 2004, 16(5): 271-273.
Wang F, Wang WP, Hua CY, *et al.* Testing of nitrate contents in vegetables in Hangzhou market and the evaluation on quality of vegetables [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2004, 16(5): 271-273.
- [31] 殷露琴, 卢义伯, 赵立庆. 一种酱牛肉用绿色复合添加剂[P]. 中国

- 专利:200810155771, 2009.
- Yin LQ, Lu YB, Zhao LQ. Organic compound additives in A kind of sauce beef[P]. Chinese Patent , 200810155771, 2009.
- [32] Krause BL, Sebranek JG, Rust RE, *et al.* Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat, uncured, no-nitrite-or-nitrate-added, ground, cooked and sliced ham [J]. *Meat Sci*, 2011, 89: 507–513.
- [33] Casaburi A, Blaiotta G, Mauriello G, *et al.* Technological activities of *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus simulans* strains isolated from fermented sausages [J]. *Meat Sci*, 2005, 71: 643–650.
- [34] 董竞, 冯美琴, 周超, 等. 侗族酸肉中硝酸盐还原菌的分离筛选及其特性研究[J]. *食品科学*, 2009 (13): 241–244.
- Dong J, Feng MQ, Zhou C, *et al.* Isolation and Identification of Nitrate Reducing Bacteria from Traditionally Fermented Meat Product“Nanx Wudl”[J]. *Food Sci*, 2009, (13): 241–244.
- [35] Honikel KO. Curing agents. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of meat sciences*, 2004:195–201. Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- [36] Christiansen LN, Tompkin RB, Shaparis AB. Effect of sodium nitrite and nitrate on *Clostridium botulinum* growth and toxin production in a summer style sausage [J]. *J Food Sci*, 1975, 40:488–490.
- [37] Tanaka N, Traisman E, Lee MH, *et al.* Inhibition of botulinum toxin formation in bacon by acid development [J]. *J Food Protect*, 1980, 43:450–457.
- [38] Ranieri S. Nitrite update-search intensifies for bacon using alternatives [J]. *Food Prod*, 1979, 13:28.
- [39] Ivey FJ, Robach MC. Effect of sorbic acid and sodium nitrite on *Clostridium botulinum* outgrowth and toxin production in canned comminuted pork [J]. *J Food Sci*, 1978, 43:1782–1785.
- [40] Sofos JN, Busta FF, Bhothipaksa K, *et al.* Sodium nitrite and sorbic acid effects on *Clostridium botulinum* spore germination and total microbial growth in chicken frankfurter emulsions during temperature abuse [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1979, 37:1103–1109.
- [41] Sofos JN, Busta FF, Bhothipaksa K, *et al.* Sodium nitrite and sorbic acid effects on *Clostridium botulinum* toxin formation in chicken frankfurter-type emulsions [J]. *J Food Sci*, 1979, 44:668–675.
- [42] Tompkin RB, Christiansen LN, Shaparis AB, *et al.* Effect of potassium sorbate on *Salmonellae*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, and *Clostridium botulinum* in cooked, uncured sausage [J]. *Appl Microbiol*, 1974, 28:262–264.
- [43] Tompkin RB, Christiansen LN, Shaparis AB. Antibotulinal efficacy of sulfur dioxide in meat[J]. *Appl. Environ. Microbiol*, 1980, 39: 1096–1099.
- [44] Craford YJ, Murano EA, Olson DG, *et al.* Use of high hydrostatic pressure and irradiation to eliminate *Clostridium sporogenes* in chicken breast [J]. *J. Food Prot*, 1996, 59:711–715
- [45] Diehl JF. Food Irradiation. Part 1-What the studies reveal [J]. *Food Eng*, 1977, 2: 22–25.
- [46] Rayman MK, Aris B, Hurst A. Nisin: a Possible Alternative or Adjunct to Nitrite in the Preservation of Meats [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1981, 41(2): 375–380
- [47] Scott VN, Taylor SL. Effect of nisin on the outgrowth of *Clostridium botulinum* spores [J]. *J Food Sci*, 1981, 46: 117–126.
- [48] Thomas LV, Clarkson MR, Delves-Broughton J. Nisin. In: Nadu, A.S. (Ed.), *Natural Food Antimicrobial Systems [M]*. CRC Press, Boca Raton, 2000: 463–524.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



刘彩虹, 硕士研究生, 主要研究方向为肉制品品质与安全。

E-mail: 2459083331@qq.com



马丽珍, 教授, 主要研究方向为肉制品品质与安全。

E-mail: Malizhen-6329@163.com