



肉制品中亚硝酸盐替代物应用研究进展

张素燕, 高爱武*

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 在肉制品的生产过程中, 亚硝酸盐作为传统食品添加剂, 具有发色、抗氧化、呈现特有风味、抑制细菌等作用。但是, 当亚硝酸盐的量积累到一定程度后, 在适宜条件下亚硝酸盐与蛋白质分解产物——胺类物质发生反应, 生成强致癌物质亚硝胺。亚硝胺会在人体中积累, 对人体产生不可忽视的危害。因此, 人们一直以来都在寻找亚硝酸盐的替代物以减少亚硝酸盐的使用量。本文综述了肉制品中添加亚硝酸盐的作用、危害以及亚硝酸盐替代物的研究进展。

关键词: 亚硝酸盐; 亚硝酸盐替代物; 亚硝胺; 发色; 抑菌

A Review of the Application of Nitrite Substitutes in Meat Products

ZHANG Suyan, GAO Aiwu*

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In meat production, nitrite is often applied as a color fixative, antioxidant, unique flavor agent and preservative. When it accumulates to a certain level, nitrite can react with amines as protein degradation products under appropriate conditions to produce carcinogenic nitrosamines. Once they accumulate in the body, carcinogenic nitrosamines will cause serious harm to the human body. Researchers are always looking for nitrite substitutes for the purpose of reducing the use of nitrite in meat products. This article reviews the functions and harms of nitrite added in meat products, and the development of nitrite substitutes.

Key words: nitrite; nitrite substitutes; nitrosamine; color fixative; antibacterial

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.10.009

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 10-0045-04

引文格式:

张素燕, 高爱武. 肉制品中亚硝酸盐替代物应用研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(10): 45-48. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.10.009. <http://rlyj.cnki.net>

ZHANG Suyan, GAO Aiwu. A review of the application of nitrite substitutes in meat products[J]. Meat Research, 2016, 30(10): 45-48. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.10.009. <http://rlyj.cnki.net>

亚硝酸盐的化学性质很不稳定, 可以与各种胺类反应生成亚硝胺, 亚硝胺是一种相对分子质量较小、生物半衰期为24 h的强氧化剂^[1]。在肉制品的加工过程中, 亚硝酸盐是一种非常重要的成分, 可以起到使肉制品呈现稳定的红色、抑制脂质氧化、呈现腌肉特有风味、抑制肉毒梭菌和金黄色葡萄球菌生长的作用。然而, 在亚硝酸盐的使用过程中, 使用量以及残留量超标问题一直是世界各国食品安全关注的焦点之一。亚硝酸盐在肉制品中若添加过量, 在热处理加工时, 容易生成亚硝基二甲胺和亚硝基吡咯烷等物质, 它们会对人体产生致癌、致突变、致畸作用, 危害人们的生命健康^[2]。因此, 在肉制品加工过程中, 必须严格控制添加亚硝酸盐的剂量, 并

在实践中寻找亚硝酸盐的替代物, 以期达到减少亚硝酸盐使用量的目的。

1 亚硝酸盐的作用与危害

1.1 亚硝酸盐的作用

肉制品加工过程中, 加入的亚硝酸盐在弱酸条件下生成非常不稳定的亚硝酸, 亚硝酸与还原性物质作用生成一氧化氮。生成的一氧化氮与还原状态的肌红蛋白发生反应, 能生成使肉制品呈现出稳定红色的亚硝基肌红蛋白。

肉制品的脂质氧化是指肉和肉制品在加工和贮存过

收稿日期: 2016-04-27

作者简介: 张素燕 (1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。E-mail: 13484711726@163.com

*通信作者: 高爱武 (1969—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: awgnnd@imau.edu.cn

程中,脂类物质在光、氧气、温度、微生物等因素的作下,发生氧化反应,产生不良风味,降低肉制品食用品质,甚至会生成有毒、有害物质^[3]。这种不良风味就是平时所说的“过煮味”,为防止这种现象的发生,可以在肉制品中添加亚硝酸钠。研究证明,在肉制品中添加亚硝酸盐能够抑制脂质的自动氧化,改善肉制品的品质^[4]。

肉制品中添加亚硝酸钠后,可以有效地抑制羰基化合物的生成,从而大大减弱由于脂肪自动氧化生成的脂肪氧化味。另外,亚硝酸钠添加到肉制品中,会产生典型的腌肉风味。研究表明,肉制品的腌肉风味是由许多化合物累加效果所产生的复合感觉^[5]。

在肉制品中添加亚硝酸盐具有抑菌作用,其抑菌作用的强弱与一定范围的使用量呈现正相关,且只有游离的亚硝酸盐具有抑菌效果^[6]。肉毒梭状芽孢杆菌是在常温、低酸和厌氧条件下生长的一种的革兰氏阳性细菌,低温存放过程中,真空包装的肉制品也容易造成肉毒梭菌的生长繁殖,并产生肉毒毒素。肉毒毒素是一种毒性极强,对人的神经具有很强麻痹作用的毒素之一,硝酸盐和亚硝酸盐作为添加剂能够抑制肉毒梭菌的生长和繁殖,从而减少肉毒毒素的生成。有关研究指出^[7],亚硝酸盐抑制细菌的作用机理可能是:通过抑制细菌相关DNA以及基因的表达,达到抑制细菌细胞壁和细胞膜形成的目的;抑制蛋白质代谢与能量代谢。有研究^[8]表明,饮食中的硝酸盐和亚硝酸盐转化为一氧化氮后,对人们心血管疾病能够起到有益作用,有一定降低血压的效果。

1.2 亚硝酸盐的危害

亚硝酸盐中含有的亚硝酸根离子具有很强的氧化性,当人体摄入过量的亚硝酸盐时,人体内正常血红蛋白含有的 Fe^{2+} 离子就会被氧化成 Fe^{3+} ,使血液失去携带氧的能力,氧合血红蛋白变成高铁血红蛋白,由此可能会引发高铁血红蛋白症,使人体出现缺氧症状,严重时可能危及人们的生命安全^[9]。

当人体内同时存在亚硝酸盐与胺类或酰胺类等物质时,它们很容易发生化合反应,生成亚硝基化合物,该物质对人体有强致癌作用^[10]。在人体胃的酸性环境里,亚硝酸盐也可以转化为亚硝胺。在人们日常生活中,存在于人体内的绝大部分亚硝酸盐会随着尿液排出体外,只是在特定的温度、微生物和酸碱度条件下才会转化成亚硝胺。*N*-亚硝基吡咯烷和*N*-亚硝基二甲胺是对人体毒性较大的*N*-亚硝胺化合物^[11-12]。亚硝胺引起动物多种组织和器官发生癌变的机理,一般认为是RNA和DNA的鸟嘌呤发生了甲基化、核酸发生烷基化而产生的^[13]。一次多量或者长期摄入都会引起癌症,特别是胃癌。在酸性溶液或紫外线照射条件下,亚硝酸盐比较容易发生水解、氧化及转为亚甲基等反应,显现出致癌活性;中性或碱性条件下表现出比较稳定的性质^[14]。*N*-亚硝基化合物可

以在食道、气管、皮肤、肠、肾、脑、外围神经等引起肿瘤,目前为止,还没有发现对其致癌性有抵抗作用的动物^[15]。弱酸性条件下,亚硝酸盐和二级胺发生亚硝化反应生成亚硝胺,因此要达到阻断亚硝胺合成的目的,可以通过减少亚硝酸盐或二级胺的含量^[16]。

在肉制品的生产过程中,不能忽视亚硝酸盐的作用,同时,也要致力于减少亚硝酸盐的使用量,从而减少亚硝酸盐的危害。在生产腌腊肉制品过程中,如果不添加硝酸盐或亚硝酸盐,生产得到的肉制品就不具有腌腊肉制品特有的风味、色泽等品质,尤其是不能抑制肉毒梭状芽孢杆菌的生长繁殖,产生肉毒毒素,将会对人体造成更大的危害。现在越来越多的研究者都在朝着肉制品中减少亚硝酸盐添加量的方向而不断努力,以期得到不直接添加或亚硝酸盐添加量最少的前提下,保持肉制品的原有特性^[17]。

2 亚硝酸盐常用替代物

为保证人们的健康,使人们更加放心地食用肉制品,人们一直在不断寻找亚硝酸盐替代品,研究降低亚硝酸盐的使用量,减少其在肉制品中的残留量等问题。研究者们对亚硝酸盐替代物进行不断研究,生产上已经应用的亚硝酸盐替代物主要包括:发色剂(甜菜红、蛋黄粉、红曲色素、氨基酸、抗坏血酸等);抗氧化剂(竹叶抗氧化物、茶多酚等);抑菌剂(山梨酸钾、乳酸菌、乳酸链球菌素等);亚硝胺生成阻断剂(烟酰胺、姜蒜汁、 α -生育酚等)^[18]。现在,还没有发现可以完全替代亚硝酸盐的物质,因此亚硝酸盐在肉制品生产过程中仍是广泛使用的腌制剂^[19]。

2.1 红曲色素

红曲色素是由丝状真菌——红曲霉菌经过发酵产生的次级代谢产物,是一种天然色素。这种色素是一类具有相似分子结构以及化学性质类似的物质形成的混合物,主要在细胞结合的状态下产生^[20]。动物性实验表明,在食用红曲色素及其制品的食物后,没有出现急、慢性中毒现象,也无致突变作用,另外还具有保鲜、防腐、抗突变、降低血脂等生理活性^[21]。红曲色素的着色原理是直接将肉制品染成肉红色,而亚硝酸盐的着色原理是与肉制品中的肌红蛋白结合而染色^[22]。这2种方法都能抑制有害微生物的生长,延长食品的保质期,并赋予肉制品特有的“肉红色”以及风味,但从健康的角度出发,红曲色素的应用安全性更高^[23]。Chi等^[24]用正己烷提取红曲色素,实验发现红曲色素对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical 2,2-diphenyl-1-(2,4,6-trinitrophenyl)hydrazyl, DPPH)自由基的清除能力较强。Akihisa等^[25]发现色素Xanthomonasins A、B组分对一氧化氮自由基($\text{NO}\cdot$)具有较强的清除能力。



现在人们虽然对红曲色素的研究已经取得较大进展,但仍存在其相关产品的质量不均一、卫生指标和真菌毒素桔霉素含量超标、存在成分不明确等问题^[26]。红曲色素作为着色剂用于肉制品中时,因肉制品的包装大部分不具有遮光效果,由于红曲色素对光的不稳定性,即使是在自然光照射的条件下,红曲色素的色阶也会显著下降^[27],导致肉制品出现褪色现象,这一特性使得红曲色素在肉制品中的使用受到了极大地限制。因此,在以后的工业生产过程中,应着重对以上在食品应用中出现的问题进行解决。

2.2 乳酸菌

乳酸菌是一类无芽孢、革兰氏阳性细菌的总称,可以利用可发酵碳水化合物产生大量乳酸,在自然界中的分布极其广泛,具有丰富的物种多样性。近年来,乳酸菌在食品各方面的应用越来越广泛。许多研究学者发现,许多乳酸菌能将高铁肌红蛋白转化为亚硝基肌红蛋白。Arihara等^[28]实验发现,将发酵乳杆菌JCM1173培养于MRS (de Mann-Rogosa-Sharp) 液体培养基中,高铁肌红蛋白由棕色转化为亮红色,测得亮红色物质为肌红蛋白的衍生物。Morita等^[29]通过同位素标记实验发现,用于实验的10株发酵乳杆菌可以将高铁肌红蛋白转化为亚硝基肌红蛋白,并产生NO。Gündogdu等^[30]经研究发现,从植物饲料中分离出的5株植物乳杆菌都能够产生NO,并将MRS琼脂中含有的高铁肌红蛋白转化为红色的亚硝基肌红蛋白。

乳酸菌在发酵过程中会产生一些特殊酶系,如控制内毒素的酶系、分解脂肪酸的酶系、分解亚硝胺的酶系、分解有机酸的酶系^[31]。在肉制品的加工过程中添加乳酸菌等微生物,可以有效地提高肉制品的色泽和风味,减少亚硝胺的生成,并且降低亚硝酸盐残留量。乳酸菌在发酵过程中产生的亚硝酸盐还原酶,能够将亚硝酸盐分解为NO,减少腌腊制品中亚硝酸盐的残留量,使食品更加安全^[32]。焦兴弘等^[33]实验发现,将0.3 g/kg乳酸菌加入香肠中,能够抑制肉制品中大多数革兰氏阳性细菌的生长,达到提高肉制品质量的目的,而且其色、香、味没有太大的影响。李春等^[34]通过研究乳酸菌对亚硝酸盐降解的作用机理,发现亚硝酸盐在酸性条件下比较容易降解,尤其是在pH值小于6时,亚硝酸盐能够大量降解。乳杆菌可能成为肉制品生产中亚硝酸盐的替代品,但在实际生产中,将乳杆菌和少量亚硝酸盐的搭配一起使用,其复合效果可能更具有效力^[35]。

2.3 乳酸链球菌素

乳酸链球菌素(nisin)是乳酸链球菌通过发酵产生的一种多肽物质,由34个氨基酸残基组成。Nisin是微生物的代谢产物,它对大多数革兰氏阳性细菌有抑制作

用,如金黄色葡萄球菌、溶血链球菌、肉毒梭状芽孢杆菌等致病菌,并能够有效地抑制芽孢杆菌的孢子,因此在食品行业中,Nisin作为食品防腐剂被广泛使用。Nisin作为世界上公认的天然、安全的食品防腐剂,也是在食品生产中唯一一所被允许的作为防腐剂使用的细菌素。通过人体食用的Nisin,在体内 α -胰凝乳蛋白酶和生理pH值条件共同作用下,发生水解反应分解为氨基酸,该反应对人体肠道内的正常菌群没有影响,一般不会产生类似其他抗菌素食用之后出现的抗性,也不会与其他抗菌素相互作用而出现交叉抗性,是一种安全、高效、无副作用的天然食品防腐剂^[36]。Nisin本身具有许多优良性质^[37]: 1) 使用Nisin可以降低灭菌温度,热处理时间减少,从而对食品风味、色泽以及营养价值的损害较少,同时也减少了能量的消耗; 2) Nisin本身在人体消化道中就被蛋白酶和胰蛋白酶降解,不会因为蓄积而对人体造成伤害; 3) Nisin具有耐低温贮藏、耐酸,热稳定性比较好等特点。

Nisin具有一定促进发色和提高肉制品营养价值的功效,但是,Nisin的抗菌谱相对比较窄^[38]。只能抑制或杀死革兰氏阳性细菌。因此,用Nisin还不能够完全取代肉制品中的亚硝酸盐。在肉制品中,为了减少亚硝酸盐的使用量,可以用Nisin作为亚硝酸盐的部分替代物。

2.4 茶多酚

茶多酚是茶叶中多酚类物质的总称,包括黄烷醇类、酚酸类、黄酮类、黄酮醇类和花色苷类等,主要为黄烷醇(儿茶素)类,占60%~80%。类物质茶多酚又名茶单宁或茶鞣,在茶叶中具有保健功能,而且能够形成茶叶特有的色香味。相关实验^[39]表明,多酚类物质含有酚性羟基,极易发生缩合、氧化、聚合等变化,因此具有较强的自由基清除能力和抗氧化能力。李玲等^[40]通过对比茶多酚、VC以及葡萄籽提取物发现,亚硝酸盐的清除率在不同反应时间和不同含量条件下,清除效果最大的是茶多酚,茶多酚对亚硝酸盐具有很强的清除能力。电子还原电位对茶多酚清除自由基的能力也有一定的影响,其具有比较低的氧化还原电位,能够作为优良的氢或中子的给予体,酚类物质清除自由基的原理为:酚性羟基与生物体内过量的自由基发生反应,生成比较稳定的酚氧自由基,从而消除生物体因自由基氧化而受到的损伤^[41]。杜伟等^[42]实验表明,将一定量的茶多酚添加到火腿肠中,对火腿肠中脂肪氧化酸败具有明显的抑制作用,而且还能够有效地降低产品中亚硝酸盐的残留量。当食品中添加的茶多酚超过一定的含量,会出现苦涩的口感,还会使食品因氧化作用而引起变色,因此,在使用时应注意茶多酚的用量问题。

3 结 语

自20世纪70年代早期以来,人们发现在肉制品中使用亚硝酸盐能够形成致癌物质亚硝胺,人们就开始寻找具有与亚硝酸盐相似作用的替代物。亚硝酸盐在肉制品加工中由于其安全性问题,以及肉制品中减少亚硝酸盐的使用量和残留量的问题,吸引了更多人的关注。人们主要通过使用一种或多种添加剂的复合作用,大大降低肉制品中亚硝酸盐的使用量,从而减少肉制品中亚硝酸盐残留物对人体的危害。

目前,人们主要从部分替代亚硝酸盐,从而减少亚硝酸盐使用量和阻断致癌物质亚硝胺的生成两方面进行研究。其中,替代亚硝酸盐的研究主要包括发色剂类:甜菜红、红曲色素、抗坏血酸等;抗氧化剂类:茶多酚、竹叶抗氧化物等;抑菌剂类:山梨酸钾、乳酸链球菌素等;亚硝胺生成阻断剂的研究主要包括姜蒜汁、 α -生育酚、焦性没食子酸等。

现如今,随着经济高速发展和人们食品安全意识的逐步增强,人们越来越关注低亚硝酸盐含量或不添加亚硝酸盐的肉制品,降低肉制品中亚硝酸盐含量的问题越来越迫切,估计这种趋势会一直持续下去。随着人们对亚硝酸盐在肉制品中研究的不断深入,人们正在逐步解决亚硝酸盐替代物问题,相信在不久的将来,通过研究人员的不懈努力,一定能找到一种可行的亚硝酸盐替代物。

参考文献:

- [1] 张颖琦, 刘志学, 徐映如, 等. 亚硝酸盐对人体的危害及检测方法的进展[J]. 职业与健康, 2015, 31(6): 851-852. DOI:10.13329/j.cnki.zyyjk.2015.0299.
- [2] NOLLET L M L, TOLDRÁ F. Advanced technologies for meat processing[M]. France: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006:311.
- [3] 张英. 亚硝酸盐在肉制品中的作用及其替代物的研究现状[J]. 江苏调味副食品, 2012 (6): 22-23.
- [4] VASAVADA M N, CORNFORTH D P. Evaluation of milk mineral antioxidant activity in beef meatballs and nitrite-cured sausage[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4): C250-C253.
- [5] 张毅峰. 亚硝酸盐在肉制品中的应用及趋势[J]. 肉类工业, 2015(10): 46-47.
- [6] GRETER A B G, RUITER A. Prevention of clostridium outgrowth in heated and hermetically sealed meat products by nitrite: a review[J]. European Food Research Technology, 2001, 213: 165-169. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb07168.x.
- [7] 董庆利, 屠康. 腌制肉中亚硝酸盐抑菌机理的研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(3): 48-52. DOI:10.13241/j.cnki.pmb.2006.03.019.
- [8] LUNDBERG J O, CARLSTROM M, LARSEN F J, et al. Roles of dietary inorganic nitrate in cardiovascular health and disease[J]. Cardiovascular Research, 2011, 89(3): 525-532. DOI:10.1093/cvr/cvq325.
- [9] 刘彩红. 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: 5-6.
- [10] 陈瑶, 刘成国. 亚硝酸盐在腊肉加工中的作用及其替代物的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, 24(5): 33-34.
- [11] SEN N P, DONALDSON B, SEAMAN S, et al. Recent nitrosamine analyses in cooked bacon[J]. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 1977, 10(1): A13-A15. DOI:10.1016/S0315-5463(77)73411-X.
- [12] SEN N P, SEAMAN S MILES W F. Volatile nitrosamines in various cured meat products: effect of cooking and recent trends[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1979, 27: 1354-1357. DOI:10.1021/jf60226a052.
- [13] LIJINSKY W. *N*-Nitroso compounds in the diet[J]. Mutation Research, 1999, 443(1/2): 129-138. DOI:10.1016/S1383-5742(99)00015-0.
- [14] SCHULLER H M. Nitrosamines as nicotinic receptor ligands[J]. Life Science, 2007, 80(24/25): 2274-2280.
- [15] 何田静, 林昆. 腌制食品与人类肿瘤的关系[J]. 汕头大学医学院学报, 2010, 23(3): 181-183.
- [16] HONIKEL K O. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products[J]. Meat Science, 2008, 78(1/2): 68-76. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.030.
- [17] SINDELAR J J, CORDRAY J C, OLSON D G, et al. Investigating quality attribute and consumer acceptance of uncured, no-nitrate/nitrite-added commercial hams, basons, and frankfurters[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(8): S551-S559. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00486.x.
- [18] 周蓓莉, 肖进文, 刘生峰, 等. 传统腌腊制品中亚硝酸盐的危害及其替代物的研究进展[J]. 中国食品添加, 2012(2): 166-167.
- [19] 权美平, 刘璞. 肉制品中几种亚硝酸盐替代品的比较[J]. 畜产品与安全, 2011(5): 37-38. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2011.10.001.
- [20] VENDRUSCOLO F, BÜHLER R M M, de CARVALHO J C, et al. *Monascus*: a reality on the production and application of microbial pigments[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2016, 178(2): 211-223. DOI:10.1007/s12010-015-1880-z.
- [21] JEUN H, JUNG H, KIM J H, et al. Effect of the *Monascus* pigment threonine derivative on regulation of the cholesterol level in mice[J]. Food Chemistry, 2008, 107(3): 1078-1085. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.09.021.
- [22] 张红涛, 孔保华, 蒋亚男. 肉制品中亚硝酸盐替代物的研究进展及应用[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(3): 50-52.
- [23] 王金字, 董文宾, 杨春红, 等. 红曲色素的研究及应用新进展[J]. 食品科技, 2010, 35(1): 245-248. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2010.01.054.
- [24] CHI D P, HYUCK J J, HANG W L, et al. Antioxidant activity of *Monascus* pigment of *Monascus purpureus* P-57 mutant[J]. The Korean Journal Microbiology, 2005, 41(2): 135-139.
- [25] AKIHISA T, TOKUDA H, YASUKAWA K, et al. Azaphilones, furanoisophthalides, and amino acids from the extracts of *Monascus pilosus*-fermented rice (red-mold rice) and their chemopreventive effects[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2005, 53(3): 562-565.
- [26] 梁彬霞, 白卫东, 杨晓敏, 等. 红曲色素的功能特性研究进展[J]. 中国酿造, 2012, 31(3): 21-23.
- [27] 黄林, 程新, 魏赛金, 等. 红曲霉JR所产红曲色素的稳定性研究[J]. 食品添加剂, 2011, 36(2): 93-96.
- [28] ARIHARA K, KUSHIDA H, KONDO Y, et al. Conversion of metmyoglobin to bright red myoglobin derivatives by *chromobacterium violaceum*, *Kurthia* sp., and *Lactobacillus fermentum* JCM1173[J]. Journal of Food Science, 1993, 58(1): 38-42.
- [29] MORITA H, YOSHIKAWA H, SAKATA R, et al. Synthesis of nitric oxide from the two equivalent guanidino nitrogens of *L*-arginine by *Lactobacillus fermentum*[J]. Journal of Bacteriology, 1997, 179(24): 7812-7815.
- [30] GÜNDOĞDU A K, KARAHAN A G, ÇAKMAKÇI M L. Production of nitric oxide (NO) by lactic acid bacteria isolated from fermented products[J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(1): 35-38.
- [31] 杜娟, 王青华, 刘利强. 亚硝酸盐在肉制品中应用的危害分析及其替代物的研究[J]. 工艺技术, 2007, 32(8): 166-168. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2007.08.019.
- [32] OH C K, OH M C, KIM S T. The depletion of sodium nitrite by lactic acid bacteria isolated from kimchi[J]. Journal of Medicinal Food, 2004, 7(1): 38-44.
- [33] 焦弘弘. 乳酸菌在肉制品加工过程中的应用[J]. 畜牧兽医科技信息, 2008(2): 1-2. DOI:10.13881/j.cnki.hljxmsy.2003.08.046.
- [34] 李春. 亚硝酸盐降解影响因素的研究[J]. 食品工业, 2010(4): 7-9.
- [35] 李沛军, 孔保华, 郑冬梅. 微生物发酵法替代肉制品中亚硝酸盐呈色作用的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 388-391.
- [36] 黄宾, 张志胜, 靳慈杰, 等. 几种天然保鲜剂抑菌能力的研究[J]. 食品工业, 2008(5): 61-63.
- [37] 李红, 赵春燕. 乳酸链球菌素的研究进展[J]. 食品科技, 2006, 31(1): 75-78. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2006.01.024.
- [38] 付丽. 乳铁蛋白的抑菌作用及其对冷却肉保鲜和护色效果的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006: 3-4.
- [39] 王振云, 周璇, 李惠侠, 等. 茶多酚对氧化应激所致奶牛乳腺上皮细胞损伤的保护作用[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(3): 101-106.
- [40] 李玲, 张余, 周光宏, 等. 植物多酚对模拟胃酸体系中亚硝酸盐清除能力与亚硝胺生成的影响[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(3): 111-116.
- [41] 王媛, 陈小波, 荣华, 等. 茶多酚抗氧化作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1232-1235. DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2013.03.043.
- [42] 杜伟, 张振中, 郭海英. 降低火腿肠中亚硝酸钠含量的研究[J]. 肉类研究, 2003, 17(4): 6-8.