

肉制品中亚硝酸盐状况分析及快检技术研究进展

何新叶¹, 周璇¹, 薛满¹, 张一青^{2*}

(1. 苏州市食品检验检测中心, 苏州 215104; 2. 苏州市市场监督管理局, 苏州 215031)

摘 要: 亚硝酸盐作为肉制品加工行业中一种常见的添加剂, 不仅能够增加肉制品的色泽、避免不良风味形成, 同时具有抑菌防腐的作用, 但亚硝酸盐摄入过多会对人体产生一定的健康危害。在近年来对肉制品的监测中发现, 亚硝酸盐的超标问题仍然比较常见。肉制品中亚硝酸盐通过细菌作用转化而来或于加工过程中添加后, 在贮藏过程中还会发生含量变化。因此, 应用快速可靠的亚硝酸盐快检产品显得尤为重要。本文主要对肉制品中亚硝酸盐的来源及对人体的危害、监测情况、贮藏时的含量变化、亚硝酸盐快检技术的研究进展和应用现状进行了概述, 并分析了现有快检产品目前存在的问题及发展前景。

关键词: 亚硝酸盐; 快速检测; 食品安全

Status analysis and progress in rapid detection of nitrite in meat products

HE Xin-Ye¹, ZHOU Xuan¹, XUE Man², ZHANG Yi-Qing^{2*}

(1. Suzhou Institute for Food Control, Suzhou 215104, China;
2. Suzhou Administration for Market Regulation, Suzhou 215031, China)

ABSTRACT: As a common additive in meat processing industry, nitrite can not only increase the color of meat products, avoid the formation of bad flavor, but also inhibit bacteria and prevent corrosion. However, excessive intake of nitrite will harm to health. In recent years, the problem of nitrite exceeding the standard is still common. Nitrite in meat products is transformed by bacteria or added during processing, and the content changes during storage. Therefore, it is very important to apply reliable nitrite rapid test products. This paper summarized the sources of nitrite in meat products, the harms to human body, monitoring situation, content change during storage, research progress and application of rapid detection of nitrite, and also analyzed the existing problems and development prospects of fast inspection products of nitrite.

KEY WORDS: nitrite; rapid detection; food safety

1 引言

肉类在居民膳食结构中占据着重要地位, 近年来, 基于我国经济的发展, 居民生活水平改善, 我国的肉类需求不断上升^[1], 摄入肉制品的安全性也更加受到关注。近年

来肉类食品中的亚硝酸盐超标仍是肉类食品安全中的一个主要问题, 如四川省食品药品监督管理局食品安全监督抽检信息公告(2018年第15号)公布1批次卤味及1批次餐饮制售亚硝酸盐含量超出标准^[2]。许多国家及地区都对亚硝酸盐残留量及食用量都有规定, 我国强制性标准

基金项目: 江苏省食品药品监督管理局食品药品监管科研项目(201707)、食品快检数据追溯预警信息平台 and 快检产品质量评价模式试点项目

Fund: Supported by Food and Drug Supervision Research Project of Jiangsu Food and Drug Administration (201707), and the Platform Tracing of Food Rapid Inspection Data and Early Warning Information and Pilot Project of Quality Evaluation Mode of Rapid Inspection

***通讯作者:** 张一青, 硕士, 主要研究方向食品安全政策法规。E-mail: 652761759@qq.com

***Corresponding author:** ZHANG Yi-Qing, Master, Suzhou Administration for Market Regulation, Suzhou 215031, China. E-mail: 652761759@qq.com

GB2760-2014《食品添加剂使用标准》^[3]规定,根据肉制品的不同品种,亚硝酸盐在肉制品中的最终残留量不得超过 30~70 mg/kg。卫生部、国家食品药品监督管理总局于 2012 年联合公告^[4]禁止餐饮服务单位采购、贮存、使用食品添加剂亚硝酸盐(亚硝酸钠、亚硝酸钾),食品药品监督管理总局 2018 年第 18 号公告^[5]中再次声明,严防将亚硝酸盐误作食盐使用加工食品。

目前食品中亚硝酸盐快速检测技术已在基层推广应用^[6]。鉴于此,本文旨在通过阐述肉制品中亚硝酸盐的来源、危害、变化及监测状况分析,以及对现有快检方法进行综述,以期在基层亚硝酸盐快筛和控制提供一定参考。

2 肉制品中亚硝酸盐概述

2.1 肉制品中亚硝酸盐的来源

亚硝酸盐的来源之一是作为一种针对肉制品常用的食品添加剂,在生产加工中有着广泛应用^[7]。亚硝酸盐可以与肉中的肌红蛋白发生反应生成亚硝基肌红蛋白,起到增色护色的效果;还可以通过与肉中的不饱和脂肪酸反应后可形成稳定的脂质组成,与血红素反应生成稳定的化合物,从而抑制脂质过氧化物进一步的降解以避免腐败等不良风味的形成;还可抑制肉毒梭状芽胞杆菌的生长,起到延长货架期的作用。因此亚硝酸盐有发色、增强风味、抑菌这些重要作用,目前来说是一种重要的多功能添加剂^[8]。

亚硝酸盐的来源之二是由硝酸盐转化而来。食品中的微量硝酸盐经过细菌的作用下,还原成亚硝酸盐。随着存放时间增长,细菌大量繁殖,转化成的亚硝酸盐的量就越多^[9]。

2.2 亚硝酸盐的危害

亚硝酸盐是一类具有一定毒性的无机化合物,主要包括亚硝酸钠、亚硝酸钾等。一是当人体摄入超量的亚硝酸盐时,存在健康危害^[10]。亚硝酸盐与血液中的血红蛋白结合,使之转变为无携氧能力的高铁血红蛋白,导致人体组织缺氧,过量摄入会产生恶心、呕吐、呼吸困难、失去意识等急性中毒症状,严重时可致死^[11]。二是长期摄入一

定量的亚硝酸盐还存在致癌风险^[12,13]。在胃腔中的酸性环境条件下,亚硝酸盐可在人体中转化生成具有强致癌性的 N-亚硝基化合物^[14,15]。

2.3 我国肉制品中亚硝酸盐监测情况

我国肉制品中亚硝酸盐部分省市的监测情况见表 1 所示,1990~2003 年在我国 21 个省市共 13013 份市售肉制品检样中^[16],合格率为 70.9%,合格率较低。近十年来,我国部分地区肉制品中亚硝酸盐的超标情况稍有改善,总体在 86%~98.3%之间,存在地区差异,且农贸市场中散装熟肉制品超标率较高^[17~21]。总体来说,肉制品中亚硝酸盐超标情况多年来仍不容乐观,超标率仍处于相当高水平。

2012 年至 2017 年苏州市肉制品中亚硝酸盐的监测情况见图 1。苏州市对肉制品中亚硝酸盐的抽检力度逐渐加大,检验批次逐年上升,合格率总体趋势上升,在 93.57%~98.90%之间。但亚硝酸盐的添加仍较为普遍,应保持对其监测。

2.4 亚硝酸盐加工贮藏过程中的含量变化

(1) 加工工艺会对亚硝酸盐含量造成变化。刘万臣等^[22]对 3 种肉制品加工工艺及贮藏条件的实验证明,肉制品经过热处理工艺后,亚硝酸盐含量呈明显的下降趋势。

(2) 贮存时间会对亚硝酸盐造成含量变化。于丽红等^[9]研究发现,鲜肉中亚硝酸盐随着放置时间的增加,亚硝酸盐含量在 2 d 内较为稳定,2 d 后呈上升趋势,并且增速愈来愈大。同时,在相同时间内,熟肉中亚硝酸盐含量的增加量要大于新鲜食品。

(3) 贮存温度不同,亚硝酸盐含量变化速率不同。在相同基质及包装条件下,冷藏贮藏的肉制品要比冷冻贮藏肉制品中亚硝酸盐含量下降趋势明显^[22]。

(4) 不同种类鲜肉的亚硝酸盐含量变化趋势不同。谭帼馨^[23]对猪肉、牛肉、鸡肉和兔肉在不同条件下贮藏 10 d,实验证明猪肉、牛肉在室温条件下亚硝酸盐均会下降,鸡肉和兔肉开始会增大,随后又降低。在冰箱贮藏过程条件下,不同肉类亚硝酸盐都有一个增值高峰期,且到达峰值时间不一致,贮藏过程中趋势变化也并非一致。

表 1 我国部分省市肉制品中亚硝酸盐监测情况
Table 1 Monitoring of nitrite in meat products in some provinces and cities of China

年代	地区	检验批次	合格率/%	结论
1990~2003	我国 21 个省市	13013	70.9	肉制品中亚硝酸盐超标率处于相当高水平 ^[16]
2008~2014	北京市昌平区	334	95.2	驴肉、鸭肉、猪肉制品是昌平区熟肉制品中亚硝酸盐污染的主要品种 ^[17]
2011~2012	山东省大连市	160	93.8	在农贸市场销售的散装酱卤肉制品与熏烤肉品超标风险较高 ^[18]
2012~2013	广西省南宁市	120	98.3	腊味类、烧卤味超标率较高 ^[19]
2012~2013	福建省厦门市	102	90.2	香肠、腊肉类超标率较高 ^[20]
2014~2015	河南省许昌市	225	86.9	散装熟肉制品中亚硝酸盐含量超标率较高 ^[21]

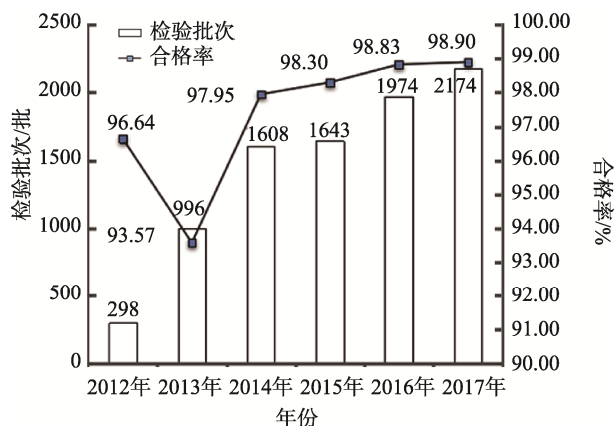


图1 苏州市2012~2017年肉制品中亚硝酸盐监测情况
Fig.1 Monitoring of nitrite in meat products in Suzhou from 2012 to 2017

由此可见,不同产品在不同的加工贮藏条件下,亚硝酸盐含量的变化规律不一致。因此,针对保质期较短的熟肉制品,需要准确快速的检测技术测定含量,消费者也应尽快食用。

3 肉制品中亚硝酸盐的快速检测方法

3.1 电化学传感器法

亚硝酸盐电化学传感器与传统的电化学传感器相似,是将电极表面发生的反应参数转化成可以测量的电化学信号^[24,25]。其中电极修饰层材料是感应元件中重要的组成部分,修饰电极可提高亚硝酸盐的氧化反应信号,利用修饰电极对亚硝酸根的电催化活性和抗毒化能力产生的响应,得到亚硝酸根的浓度与氧化峰电流之间的线性关系,建立快速检测亚硝酸盐含量的新方法^[25-29]。

该检测方法具有良好的选择性、抗干扰能力、重现性、稳定性、灵敏性,可维持较长的使用周期,价格较低廉^[24-29],已成功应用于实际样品中亚硝酸盐的定量测定,表现出高灵敏及高准确性的修饰电极是研究的主要方向^[30,31]。

3.2 高光谱技术

高光谱成像技术是一种新兴的光学无损检测技术,在水果^[32]、蔬菜^[33]、鸡蛋^[34]、茶叶^[35]等食品检测中已有应用。高光谱成像技术可在紫外到红外光谱范围内,对被检测样品以数百个波长以反射、透射、散射和荧光的采集模式连续成像,并将多次采集到的空间信息、光谱信息、光强度信息表达为三维立方体图像。通过图像信息和光谱信息的结合,可以预测和评估被检测样品每一点的内部及外部的品质安全属性,实现组成成分分析、食用品质等评定^[32-36]。

目前,肉制品中亚硝酸盐的高光谱检测方法的研究已有初步进展。杨昆程等^[37]选用腊肉样品,建立了一个快

速、无损并且相对准确的对亚硝酸盐含量进行预测的模型,将采集的高光谱数据同实际含量值关联。结果表明,一阶导数+矢量归一化所建模型效果最佳,模型交互验证均方差 RMSECV 为 0.251,决定系数 r^2 为 0.972。陈晓东等^[38]建立了香肠样品中亚硝酸盐含量测定的高光谱检测模型,在 800~950 nm 波长范围内,分别采用偏最小二乘回归和遗传算法优化的人工神经网络进行定量分析建模,效果均良好,具有可行性。

高光谱检测技术的优势在于快速、无损,并且多参数的检测内外部信息,实现反映样品的综合品质。相对于传统快速检测技术的单一性、前处理相对复杂、存在的实验安全隐患及操作人员综合素质等弱势,极具潜力和发展前景^[37,38]。高光谱成像系统的主要部件是高光谱成像仪、电荷耦合器件相机、传送装置等^[39],市面可售的高光谱成像仪较多如高光谱分选仪。但是由于在软件水平上还存在一定的技术难度,如较难在庞大图像信息中筛选有效数据、较难建立精确度较高的数据模型等^[36],导致目前还未在基层广泛应用。

3.3 化学显色法

以化学显色法为原理的方法包括盐酸萘乙二胺分光光度法^[40]、间苯二胺法^[41]等。基于盐酸萘乙二胺分光光度法制成的快检产品原理是,样品中的亚硝酸盐经提取后,在弱酸性条件下可与对氨基苯磺酸重氮化,再与盐酸萘乙二胺反应生成偶氮化合物,其结果呈紫红色,其颜色的深浅在一定范围内与亚硝酸盐含量成正相关^[40]。基于间苯二胺分光光度法的原理是亚硝酸盐与间苯二胺在强酸性条件下发生重氮化偶联反应,生成偶联产物环偶氮氨基苯,其结果呈橙红色。可与通过色阶卡进行目视比色,或者以分光光度计对待测液吸光度与标准系列曲线比较,对样品中亚硝酸盐进行定性或半定量判定^[40]。

以化学显色法为原理的快速检测显色机理明确,具有方法成熟、携带方便、成本较低、操作相对简单、专业素质要求较低、适合现场检测的优势^[42],市面已可售,具有广阔的应用空间。

4 针对化学显色法产品的应用及分析

4.1 产品应用及不足分析

目前基于该方法制成的快检产品类型众多,有试纸法^[43,44]、试管法^[45]、检测系统法^[46]等,在基层已有推广应用。亚硝酸盐试纸法及试管法试剂盒为半定量试剂盒;检测系统法由主机、试剂盒、校准品和操作程序等构成,通常为检测箱^[46]。

但是,市场上的快检产品良莠不齐,存在技术不过关、质量不稳定等问题,部分产品中的不足如下:

(1) 试剂盒包装不完整。苏州市食品检验检测中心在

日常检测的几种亚硝酸盐快检试剂盒使用过程中,发现部分试剂盒缺失批号、生产日期、保质期等重要信息。

(2) 色阶卡不准确。应用盐酸萘乙二胺显色原理制成的试剂盒中,提供的色阶卡不呈紫红色系列,导致失去与色阶卡比较的意义。此外,色阶卡浓度点之间跨度过大,导致无法准确判读在2个浓度点之间的颜色的含量。

(3) 技术指标不过关。孟怡璠等^[47]对市售9种食品中亚硝酸盐快速检测箱作验证评价。验证过程中发现3种检测箱存在灵敏度低、假阴性率高、相对准确度较低的情况。

(4) 现场适用性差。研究发现部分快检箱存在配套试剂及耗材不齐全,辅助设备缺失等情况,对现场使用该产品时造成不便^[47]。

4.2 产品优点及发展前景

基于化学显色法的产品,基本能够满足定性和半定量分析的要求,达到现场应用的目的。但检测方法带来的误差、各产品质量参差不齐等问题客观存在,要不断提高快检产品的质量、方法合理性等,使快检产品的准确度更有保障。

(1) 基于化学显色法研制的产品具有方法成熟的优势。以盐酸萘乙二胺显色法原理的快检产品现有快检标准 KJ 201704《食品中亚硝酸盐的快速检测盐酸萘乙二胺法》^[40]支撑。该方法的参比方法是 GB 5009.33-2016《食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》第二法^[48]。

(2) 相关快检产品高效快速,研发时应考虑前处理的提取效率。亚硝酸盐快速检测产品操作简便,一般在10~30 min内可出具结果,适用于大样本量的测定。与参比方法比较,快检方法仅简化了样品提取步骤如加热、沉淀蛋白质,缩短了样品前处理时间,可能导致快检产品提取率较低,准确度较低,制定色阶卡时考虑到样品提取率的问题对准确性的提高具有意义。

(3) 日常产品比对及验证评价工作对快速检测产品的质量具有推动作用。基层通过采购不同厂家的亚硝酸盐快检产品,在使用中发现问题并反馈至生产厂家,对产品改进有着反向促进作用。此外,现有依据2017年3月28日国家食药总局颁布的《食品快速检测方法评价技术规范》^[49],快检产品需要满足检测限、灵敏度、特异性、假阴性率及假阳性率等的要求。经过评价达到技术规范要求的产品,具有推广于基层肉制品中亚硝酸盐快检初筛工作的价值^[50]。

5 结 语

在自然条件下,亚硝酸盐在肉类中存在一定的本底值。亚硝酸盐也作为一种肉类的常用添加剂,具有发色抑菌等作用,但是摄入过多对健康产生危害。生产厂家使用亚硝酸盐需要全面分析,要充分考虑到加工工艺及贮藏条件导致的亚硝酸盐含量变化情况,避免超标增加潜在的风险。

肉制品中亚硝酸盐的快速检测方法正在逐步发展,现有化学显色法、电化学传感器法、高光谱技术法等多种检测手段。目前研究技术成熟、成本较低、结果较为准确、携带便捷、在基层大范围推广的主要是基于化学显色法的快速检测产品。在实际应用中,发现部分产品具有包装不完整、技术指标不达标、现场适用性差等问题。为使快检技术在肉制品中亚硝酸盐的监测中体现其预警铃的真实作用,相关快检产品的评价验证及市场的规范制度仍有待进一步发展,以保证食品快速检测结果的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] 金藏玉,林慧龙,王成纲. 从我国居民肉类与粮食产量和消耗量分析农业结构调整的必要性[J]. 草业科学, 2016, 33(2): 330-337.
Jin CY, Lin HL, Wang CG. Adjustment of Chinese agricultural structure from the perspective of grain production and consumption of meat in China [J]. Pratacult Sci, 2016, 33(2): 330-337.
- [2] 四川省食品药品监督管理局食品安全监督抽检信息公告(2018年第15号)[EB/OL]. [2018-4-4] <http://www.scfda.gov.cn/CL3374/131279.html>.
Sichuan Food and Drug Administration Food Safety Supervision and Inspection Information Notice(No. 15 of 2018) [EB/OL]. [2018-4-4]. <http://www.scfda.gov.cn/CL3374/131279.html>.
- [3] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard-Standard for the use of food additives [S].
- [4] 关于禁止餐饮服务单位采购、贮存、使用食品添加剂亚硝酸盐的公告(2012年第10号)[EB/OL]. [2012-11-13]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7891/201206/2ee4444501fe41e1b726325330fb2d94.shtml>
Notice on the Prohibition of the Procurement, Storage, and Use of Nitrite as Food Additives by Catering Service Units(No. 10 of 2012) [EB/OL]. [2012-11-13]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7891/201206/2ee4444501fe41e1b726325330fb2d94.shtml>
- [5] 总局关于餐饮服务提供者禁用亚硝酸盐、加强醇基燃料管理的公告(2018年第18号)[EB/OL]. [2018-2-9]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1830/224589.html>.
Notice on the Prohibition of Nitrite and Strengthening of Alcohol-based Fuel Management of Catering Service Providers by CFDA (No. 18, 2018) [EB/OL]. [2018-2-9]. <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1830/224589.html>.
- [6] 张丽,杨其法,徐云,等. “食品中亚硝酸盐快速检测技术”推广应用效果分析[J]. 中国农村卫生事业管理, 2012, 32(10): 1058-1060.
Zhang L, Yang QF, Xu Y, et al. Analysis on the application effect of "Rapid detection technology of nitrite in food" [J]. Chin Rural Health Serv Admin, 2012, 32(10): 1058-1060.
- [7] 方韶昀. 食品中亚硝酸盐的来源及其检测方法[J]. 现代食品, 2016, (9): 80-81.
Fang SJ. Sources and detection of nitrite in food [J]. Mod Food, 2016, (9): 80-81.
- [8] 陈瑶,刘成国,罗扬,等. 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, (5): 32-36.
Chen Y, Liu CG, Luo Y, et al. The effect of nitrite in processing of cured meat and the progress of its substitute [J]. Meat Res, 2010, (5): 32-36.
- [9] 于丽红,于书玲,詹冬琴,等. 食品中亚硝酸盐含量的变化以及测定

- [J]. 广州化工, 2013, 41(6): 119–121.
- Yu LH, YU SL, Zhan DQ, *et al.* The change and determination of nitrite content in food [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2013, 41(6): 119–121.
- [10] 皇甫超申, 史齐, 李延红, 等. 亚硝酸盐对人体健康的利害分析[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(8): 733–736.
- Huangfu CS, Shi Q, Li YL, *et al.* Harm-benefit analysis of nitrite relative to human health [J]. *Environ Health*, 2010, 27(8): 733–736.
- [11] 杨海莹, 郭风军, 范维江, 等. 饮食中亚硝酸盐的来源及其对人体的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(3): 209–213.
- Yang HY, Guo FJ, Fan WJ, *et al.* Sources of nitrite in the diet and its effects to human health [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(3): 209–213.
- [12] 宋明文, 周涛发, 蔡子华, 等. 浙江典型癌症高发区地质环境[J]. 物探与化探, 2010, 34(3): 382–385.
- Song MY, Zhou TF, Cai ZH, *et al.* Geological environment of a typical cancer high-incidence area in Zhejiang province [J]. *Geophys Geochem Explor*, 2010, 34(3): 382–385.
- [13] 邓熙, 林秋奇, 顾继光, 等. 广州市饮用水源中硝酸盐亚硝酸盐含量与癌症死亡率联系[J]. 生态科学, 2004, 23(1): 38–41.
- Deng X, Lin QQ, Gu JG, *et al.* Correlation between concentration of nitrate, nitrite in drinking water source and cancer mortality for Guangzhou city [J]. *Ecol Sci*, 2004, 23(1): 38–41.
- [14] 李欣, 孔保华, 马丽珍. 肉制品中亚硝胺的形成及影响因素的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(10): 353–357.
- Li X, Kong BH, Ma LZ. Research progress of formation and effecting factors of nitrosamines in meat products [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(10): 353–357.
- [15] Manassaram DM, Backer LC, Moll DM. A review of nitrates in drinking water: Maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes [J]. *Environ Health Persp*, 2006, 114(3): 320–327.
- [16] 胡萍, 余少文, 尹婉婷, 等. 中国 21 个省市食品中亚硝酸盐监测状况分析[J]. 深圳大学学报(理工版), 2005, 22(2): 113–118.
- Hu P, Yu SW, Yin WT, *et al.* Analysis of the monitoring status about nitrite in food in China [J]. *J Shenzhen Univ (Sci Eng Ed)*, 2005, 22(2): 113–118.
- [17] 古文娟, 曹民, 闫彬彬. 2008–2014 年北京市昌平区熟肉制品中亚硝酸盐检测结果[J]. 职业与健康, 2015, 31(14): 1974–1978.
- Gu WJ, Cao M, Yan GB. Nitrite detection results of cooked meat products in Changping district of Beijing city from 2008–2014 [J]. *Occup and Health*, 2015, 31(14): 1974–1978.
- [18] 张磊, 董倩倩, 郑晓南, 等. 2011–2012 年大连市熟肉制品亚硝酸盐含量监测结果分析[J]. 职业与健康, 2014, 30(8): 1132–1133.
- Zhang L, Dong QQ, Zhen XN, *et al.* Analysis on the content of nitrite in cooked meat products in Dalian from 2011–2012 [J]. *Occup Health*, 2014, 30(8): 1132–1133.
- [19] 黎永艳, 李必斌, 陆亦在. 2012–2013 年南宁市市售肉制品中食品添加剂的监测分析[J]. 职业与健康, 2015, 31(4): 463–465.
- Li YY, Li BB, Lu YZ. Monitoring and analysis of food additives in commercially available meat products in Nanning city from 2012–2013 [J]. *Occup Health*, 2015, 31(4): 463–465.
- [20] 周娜, 朱宝平, 林剑锋. 厦门市腌制蔬菜和熟肉制品中亚硝酸盐残留量的调查研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 24(7): 1017–1025.
- Zhou N, Zhu BP, Lin JF. Investigation on the nitrite residue in salted vegetables and cooked meat in Xiamen [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2014, 24(7): 1017–1025.
- [21] 高丽红, 俎志平, 刘克克. 2014–2015 年许昌市熟肉制品亚硝酸盐含量监测结果分析[J]. 中国校医, 2016, 30(4): 264–265.
- Gao LH, Zu ZP, Liu KK. Nitrite content monitoring of cooked meat in Xuchang city, 2014–2015 [J]. *Chin J School Doctor*, 2016, 30(4): 264–265.
- [22] 刘万臣, 刘爱萍, 赵榕, 等. 肉制品加工及贮存过程中亚硝酸盐含量的变化与安全性分析[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 113–116.
- Liu WC, Liu AP, Zhao R, *et al.* Change and safety assessment of nitrite in meat products during processing and storage [J]. *Food Sci*, 2010, 31(1): 113–116.
- [23] 谭帼馨. 蔬菜和肉类亚硝酸盐的测定研究及其在贮藏中的变化[D]. 广州: 广东工业大学, 2001.
- Tan GX. Study on the determination of nitrite in vegetables and meat and its changes in storage [D]. *Guangzhou: Guangdong University of Technology*, 2001.
- [24] 毛燕, 包宇, 韩冬雪, 等. 亚硝酸盐电化学传感器研究进展[J]. 分析化学, 2018, 46(2): 147–156.
- Mao Y, Bao Y, Han DX, *et al.* Research Progress on Nitrite Electrochemical Sensor [J]. *Chin J Anal Chem*, 2018, 46(2): 147–156.
- [25] Salimi A, Hallaj R, Mamkhezri H, *et al.* Electrochemical properties and electrocatalytic activity of FAD immobilized onto cobalt oxide nanoparticles: Application to nitrite detection [J]. *J Electroanal Chem*, 2008, 619–620(15): 31–38.
- [26] Kozub BR, Rees NV. Electrochemical determination of nitrite at a bare glassy carbon electrode, why chemically modify electrodes [J]. *Sens Actuator B*, 2010, 143: 539–546.
- [27] 谢云, 周敏, 曹小娟, 等. 修饰电极伏安法快速测定食品中抗坏血酸和亚硝酸盐[J]. 分析实验室, 2018, 37(6): 646–650.
- Xie Y, Zhou M, Cao XJ, *et al.* Rapid voltammetric determination of ascorbic acid and nitrite in the food samples at a composite modified electrode [J]. *Chin J Anal Lab*, 2018, 37(6): 646–650.
- [28] 徐后传, 丁顺, 操小栋, 等. 血红蛋白/纳米金-还原氧化石墨烯复合物修饰电极对食品中亚硝酸盐的快速电化学传感检测[J]. 现代食品科技, 2015, 31(11): 319–323.
- Xu HC, Ding S, Cao XD, *et al.* Rapid detection of nitrite in food using the electrode modified by hemoglobin/gold nanoparticle-reduced graphene oxide composite [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2015, 31(11): 319–323.
- [29] 许贺, 滕军, 黄金烨, 等. 聚罗丹明 B/碳纳米管修饰玻碳电极对亚硝酸盐的灵敏检测[J]. 分析测试学报, 2018, 37(4): 427–433.
- Xu H, Teng J, Huang JY, *et al.* Sensitive detection of nitrite using a polyrhodamine B/carbon nanotubes modified glassy carbon electrode [J]. *J Instrum Anal*, 2018, 37(4): 427–433.
- [30] 马闯, 高娟娟, 张树鹏, 等. 基于不同工作电极的亚硝酸盐电化学传感器[J]. 大学化学, 2018, 33(6): 1–10.
- Ma C, Gao JJ, Zhang SP, *et al.* Electrochemical sensors for nitrite based on different working electrodes [J]. *Univ Chem*, 2018, 33(6): 1–10.
- [31] Marlinda AR, Pandikumar A, Yusoff N, *et al.* Electrochemical sensing of nitrite using a glassy carbon electrode modified with reduced functionalized graphene oxide decorated with flower-like zinc oxide [J]. *Microchim Acta*, 2014, DOI 10.1007/s00604-014-1436-x
- [32] 孟庆龙, 张艳, 尚静. 基于高光谱成像技术的苹果表面缺陷无损检测[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 168–172.
- Meng QL, Zhang Y, Shang J. Nondestructive detection of defect on apples

- using hyperspectral imaging technology [J]. Food Res Dev, 2019, 40(5): 168–172.
- [33] 吉海彦, 任占奇, 饶震红. 高光谱成像技术鉴别菠菜叶片农药残留种类[J]. 发光学报, 2018, 39(12): 1778–1784.
- Ji HY, Ren ZQ, Rao ZH. Identification of pesticide residue types in spinach leaves based on hyperspectral imaging [J]. Chin J Lumin, 2018, 39(12): 1778–1784.
- [34] 赵楠, 刘强, 孙柯, 等. 高光谱成像技术快速预测鸡蛋液菌落总数[J]. 食品科学. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20180713.1852.058.html>.
- Zhao N, Liu Q, Sun K, *et al*. Rapid prediction of the total viable count of bacteria in liquid egg based on hyperspectral imaging technology [J]. Food Sci. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20180713.1852.058.html>.
- [35] 吴伟斌, 刘文超, 李泽艺, 等. 基于高光谱的茶叶含水量检测模型建立与试验研究[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(5): 818–824.
- Wu WB, Liu WC, Li ZY, *et al*. Study on detection model establishment and experiment of tea water content based on hyperspectral [J]. J Henan Agric Univ, 2018, 52(5): 818–824.
- [36] 彭彦昆, 张雷蕾. 农产品品质安全高光谱无损检测技术进展和趋势[J]. 农业机械学报, 2013, 44(44): 137–145.
- Peng YK, Zhang LL. Advancement and trend of hyperspectral imaging technique for nondestructive detection of agro-product quality and safety [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2013, 44(44): 137–145.
- [37] 杨昆程, 郭培源, 刘硕, 等. 高光谱技术在腊肉亚硝酸盐含量检测的应用[J]. 科技通报, 2016, 32(4): 70–79.
- Yang KC, Guo PY, Liu S, *et al*. Inspect nitrite of china bacon with hyperspectral technology [J]. Bull Sci Technol, 2016, 32(4): 70–79.
- [38] 陈晓东, 郭培源. 基于主成分分析法提取高光谱图像特征检测香肠亚硝酸盐含量[J]. 肉类研究, 2016, 30(12): 22–27.
- Chen XD, Guo PY. Detection of nitrite in sausages based on feature extraction of hyperspectral images using principal component analysis [J]. Meat Res, 2016, 30(12): 22–27.
- [39] 刘峥, 殷勇. 基于高光谱技术的香肠亚硝酸盐快速检测方法[J/OL]. 食品与机械. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20190223.2350.022.html>
- Liu Z, Yin Y. Rapid detection method of sausage nitrite based on hyperspectral technology [J/OL]. Food Mach. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20190223.2350.022.html>.
- [40] KJ 201704 食品中亚硝酸盐的快速检测盐酸萘乙二胺法[S].
- KJ 201704 Rapid Detection of nitrite in food by naphthylenediamine hydrochloride method [S].
- [41] 刘凤银, 张媚健, 李轩, 等. 食品中亚硝酸盐快速检测试纸法的建立与应用[J]. 现代食品, 2017, 7(14): 105–109.
- Liu FY, Zhang MJ, Li X, *et al*. Establishment and application of test method for rapid detection of nitrite in food [J]. Mod Food, 2017, 7(14): 105–109.
- [42] 安俊楠. 火腿肠中亚硝酸盐测定方法比较[J]. 食品安全导刊, 2016, 18(6): 122.
- An JN. Comparison of determination methods of nitrite in ham sausage [J]. China Food Saf Magaz, 2016, 18(6): 122.
- [43] 孙京新, 仇宏伟, 李凤梅. 食品中硝酸盐快速检测试纸条的设计与应用[J]. 食品科技, 2008, 33(7): 224–227.
- Sun JX, Qiu HW, Li FM. Designing and application of test strip for fast detecting nitrate in food [J]. Food Sci Technol, 2008, 33(7): 224–227.
- [44] 汪菊, 付大友, 徐晨曦. 食品中亚硝酸盐快速检测方法的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 278–280.
- Wang J, Fu DY, Xu CX. Study on the rapid determination method of nitrite in food [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(9): 278–280.
- [45] 贾丽华, 王海华, 孙宁宁, 等. 速测盒法快速测定肉及肉制品中亚硝酸盐[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2611–2615.
- Jia LH, Wang HH, Sun NN, *et al*. Rapid detection of nitrite in meat and meat products [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2611–2615.
- [46] 高德江, 谢志国, 戴丰, 等. 食品中亚硝酸盐现场快速定量检测系统的研制[J]. 现代科学仪器, 2013, 8(4): 92–95.
- Gao DJ, Xie ZG, Dai F, *et al*. Development of field rapid quantitative detection system for nitrite in food [J]. Mod Sci Instrum, 2013, 8(4): 92–95.
- [47] 孟怡璠, 李崇勇, 李涛, 等. 市售9种食品中亚硝酸盐快速检测箱的验证性评价及分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2646–2651.
- Meng YF, Li CY, Li T, *et al*. Verification evaluation and analysis of 9 kinds of food rapid inspection boxes for nitrite sold in the market [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2646–2651.
- [48] GB 5009.33-2016 食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
- GB 5009.33-2016 National standard for food safety-Determination of nitrite and nitrate in food stuffs-Second spectrophotometric method [S].
- [49] 总局办公厅关于印发食品快速检测方法评价技术规范的通知(食药监办科〔2017〕43号)[EB/OL]. [2017-3-31] <http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1605/171311.html>.
- China Food and Drug Administration. Technical specification for the evaluation of food rapid detection methods noticed by CFDA [EB/OL]. [2017-3-1]. <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL1605/171311.html>.
- [50] 李涛, 林芳, 王一欣, 等. 食品安全快速检测技术存在问题分析及解决措施[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 3259–3262.
- Li T, Lin F, Wang YX, *et al*. Problems analysis in food safety rapid detection and the solutions [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(8): 3259–3262.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



何新叶, 助理工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: hxy3393@163.com



张一青, 主要研究方向为食品安全政策法规。
E-mail: 652761759@qq.com