

肉制品中 N-亚硝胺检测与控制的研究进展

夏晓楠, 王宗义, 丁 轲, 杜 斌, 韩 涛*

(北京农学院, 食品科学与工程学院, 食品质量与安全北京实验室, 北京 102206)

摘 要: N-亚硝胺是一类公认的带有强毒性的化合物, 是在弱酸性条件下由亚硝酸盐和二级胺反应生成的一种致癌物质, 在肉制品特定的加工环境中容易生成。以往研究表明: 人类是挥发性亚硝胺引起癌症的易感群体, 这些物质存在于食物中被认为是某些人类癌症包括胃癌、食道癌及鼻咽癌等癌症的致病危险因子, 所以国内外对食物中挥发性亚硝胺的检测、形成和控制进行了大量的研究。本文介绍了肉制品中 N-亚硝胺的来源和危害; 总结了该类化合物的检测方法, 如气相色谱法(GC)、气相色谱质谱联用法(GC-MS)、高效液相色谱法(HPLC)等; 应用辐照和天然植物等阻断剂消除和控制肉制品中 N-亚硝胺技术措施的研究进展。

关键词: 肉制品; N-亚硝胺类化合物; 亚硝胺检测; 亚硝胺控制

Research progress on N-nitrosamines detection and control in meat products

XIA Xiao-Nan, WANG Zong-Yi, DING Ke, DU Bin, HAN Tao*

(College of Food Sciences and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: N-nitrosamines are recognized as a kind of carcinogenic compounds, which formed by the reaction of nitrite and secondary amines under faintly acid circumstance. They are easily generated in particular situations of meat processing. Extensive experimental and some epidemiological data suggest that human are susceptible to carcinogenesis by N-nitrosamines and that the presence of these compounds in some foods may be regarded as an aetiological risk factor for certain human cancers including cancers of the stomach, oesophagus and nasopharynx. Therefore, great efforts have been made to investigate these compounds on detection, formation and control. This paper discussed the sources of N-nitrosamines and harms of N-nitrosamine compounds in meat products, summarized the measure methods to this class of compounds, as GC (gas chromatography), GC-MS (gas chromatography-mass spectrometer), HPLC (high performance liquid chromatography). The progress of research has been summarized that irradiation and natural plant has been used for blocking and controlling N-nitrosamines in meat products.

KEY WORDS: meat products; N-nitrosamine compounds; nitrosamine detection; nitrosamine control

基金项目: 科研基地建设-北京实验室-食品质量与安全北京实验室项目(PXM2015_014207_00001)

Fund: Supported by the Project of Research Base Construction-Beijing Laboratory-Beijing Laboratory of Food Quality and Safety (PXM2015_014207_00001)

*通讯作者: 韩涛, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: taohan00@163.com

*Corresponding author: HAN Tao, Professor, College of Food Sciences and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 102206, China. E-mail: taohan00@163.com

1 引言

肉制品是日常饮食中的重要部分。随着消费者食品安全意识的提高,对肉制品安全性也越来越关注。肉制品质量主要依靠风味、色泽和质构来衡量。使用亚硝酸盐和硝酸盐将肉进行腌制便可产生令人愉悦的色泽和风味,还能够有效抑制肉毒杆菌的生长,延缓氧化酸败^[1-4]。肉制品中的亚硝胺,是由亚硝酸盐与胺类物质在适当条件下反应生成^[5-7]。N-亚硝胺(NAMS)是一类公认具有强毒性的化合物,有很强的细胞毒性和诱变性,对机体的神经和肾脏都有损害,且具有致畸性和致癌性^[8],严重威胁人体的健康。近年来,N-亚硝胺类化合物已经引起了国内外学者的极大关注。本文对亚硝胺类化合物的来源、危害及肉制品中N-亚硝胺化合物的分析检测方法与控制技术等进行了概述。

2 肉制品中N-亚硝胺类化合物的来源及危害

N-亚硝胺类化合物本身在环境中很少,但是它的前体物质胺类、硝酸盐、亚硝酸盐广泛存在于自然界中,在微生物或者天然催化剂的作用下便可在人体或环境中形成N-亚硝基化合物^[9-10]。亚硝酸盐是肉制品中不可完全替代的添加物,且肉制品中富含丰富的蛋白质,由于蛋白质内源蛋白酶和微生物酶的分解作用,得到的产物包括肽类、氨基酸和胺类等物质。亚硝酸盐和这些物质均能在一定条件下反应,便可在腌腊制品、烟熏制品、发酵制品和人体内合成一定量的N-亚硝胺类化合物,直接或间接地对人体具有致突变、致畸和致癌的作用^[11-12],因此,对食品中亚硝胺的研究主要集中的在肉制品上。

3 N-亚硝胺类化合物分析检测方法的研究进展

N-亚硝胺是一类很强的化学致癌性物质,其中N-二甲基亚硝胺(NDMA)是毒性最强的挥发性N-亚硝胺类化合物,许多国家都对NDMA有限量规定。因此,对肉制品中挥发性亚硝胺类物质的分析测定方法研究较多且较成熟。但就肉制品而言,由于亚硝胺含量低,样品基质复杂,无论何种检测方法,样品前处理技术仍然是NAMS检测的难点和关键点,一般需要经过提取、净化和浓缩等步骤,提取方法包括真空蒸馏法^[13,14]、水蒸气蒸馏法^[15]、有机溶剂提取法^[16,17]和过热的水结合固相萃取^[18]等;净化方法有液液萃取^[15]、液液微萃取^[19]、超临界萃取法^[20]和分散固相萃取^[21,22]等。浓缩方法一般采用K-D浓缩器^[23]、旋转蒸发仪法^[24]、水浴浓缩法^[25]等。

随着分析化学的发展和新仪器的更新换代,亚硝胺的检测技术也不断突破,目前测定肉制品中N-亚硝胺含量的方法主要包括:气相色谱-热能分析仪(GC-TEA)^[26]、气相色谱氢火焰检测器(GC-FID)^[27]、气相色谱质谱联用技术

(GC-MS)^[28-30]、气相色谱串联质谱(GC-MS/MS)^[21]、气相色谱-高分辨质谱法(GC-HRMS)^[15]、液相色谱串联质谱(LC-MS/MS)^[17]等。

3.1 气相色谱法(GC)

气相色谱法以其选择性好、分离效率高、分析速度快、灵敏度高等特点,且可联合多种检测器,如氢火焰检测器(FID)、电子捕获检测器(ECD)、氮磷检测器(NPD)、热能分析仪(TEA)等,因此广泛应用于食品污染物的分析,成为挥发性亚硝胺类物质最主要的检测方法。

GC-TEA 是专门用于检测 N-亚硝基化合物的检测器,也是我国国家标准 5009.26-2003 中检测 N-亚硝胺的第一方法,Raquel^[26]等采用顶空固相微萃取亚硝胺,通过 GC-TEA 检测香肠中 4 个挥发性亚硝胺,回收率为 105%~110%,检出限为 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。这种方法针对性强,灵敏度高,检测迅速,但 TEA 价格昂贵且专用性强,一般实验室很难配备。

FID是根据有色谱柱分离而来的待测组分经过氢火焰时,产生离子碎片和自由电子,在极化电压作用下进而形成电流信号,通过该信号的强度与被测物含量之间的关系,得出该物质的含量。王瑞等^[31]使用配有 FID 检测器的气相色谱仪,测定广式腊肠生产过程中挥发性 N-亚硝胺类化合物,线性范围 1~10 $\mu\text{g}/\text{mL}$,平均回收率 85%,方法简单、准确。Mohammad 等^[32]运用二氯甲烷液液提取亚硝胺,使用配有 FID 检测器的气相色谱仪检测肉制品中 7 种挥发性亚硝胺,线性范围 0.6~500 $\mu\text{g}/\text{L}$,检出限为 0.077~0.18 $\mu\text{g}/\text{kg}$,平均回收率为 82%~105.5%。由于 GC-FID 设备简单经济,使用方便,常用于一般实验室对亚硝胺含量的检测。

3.2 气相色谱质谱联用法(GC-MS)

气相色谱质谱联用技术结合了气相色谱高效的分离能力和质谱法确定分子量和分子结构的能力,对于分析和鉴定复杂组分,是目前公认的最为有效的检测系统之一。赵华等^[33]采用超声振荡法提取亚硝胺后,经固相萃取柱净化、旋转蒸发仪浓缩,利用 GC-MS 检测腌制水产中 6 种挥发性 N-亚硝胺,线性范围在 10~1000 $\mu\text{g}/\text{L}$,检出限低,除 NDPA 为 0.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 外,其他 5 种 N-亚硝胺为 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$,回收率可达 79%~105%;李玲等^[34]采用水蒸气蒸馏提取,二氯甲烷液液萃取净化,K-D 浓缩器浓缩后,GC-MS 测定肉制品中 9 种挥发性亚硝胺,线性范围 0.1~10 $\mu\text{g}/\text{mL}$,定量检测限 0.05~0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$,回收率 62%~78%;Huang 等^[29]采用微波辅助萃取-微分散固相萃取法提取亚硝胺,GC-MS 检测肉制品中 7 种挥发性 N-亚硝胺,线性范围在 0.25~500 ng/mL ,检出限为 0.01~0.12 ng/g ,定量限 0.03~0.36 ng/g ,回收率为 79%~107%。此方法具有分离效率高、选择性好、灵敏度高和检测限低等优点,因此是目前检测亚硝胺常用的方法。

3.3 高效液相色谱法(HPLC)

高效液相色谱检测 N-亚硝胺的研究很少,但是它除了有气相色谱的高效、灵敏、选择性强等优点外,其对样品的要求低,前处理过程简单,不仅可以检测挥发性亚硝胺,对非挥发性、热不稳定或分子量较高的亚硝胺也具有好的分析能力。Herrmann 等^[17]采用 LC-(APCI/ESI) MS/MS 方法同时检测肉制品加工过程中挥发性 N-亚硝胺和非挥发性 N-亚硝胺含量,试样通过挥发性 N-亚硝胺和非挥发性 N-亚硝胺的检出限分别为 0.2 和 1 $\mu\text{g/kg}$ 。此方法具有简单、灵敏度好和分析速度快等优点,目前国内运用此方法检测肉制品中亚硝胺含量的研究较少。

4 亚硝胺的控制措施

由于亚硝胺是由胺类和硝酸盐、亚硝酸盐两类物质在环境、人体内合成,因而,对于亚硝胺的控制存在三种方法,①对于已生成的亚硝胺的分解作用,以减少人体的摄入;②从原料出发,阻断亚硝胺的生成;③控制硝酸盐和亚硝酸盐的添加量,且低温保存肉制品。目前关于使用抑制剂阻断其形成的研究较多。

4.1 阻断的 N-亚硝胺形成

在控制亚硝胺的众多措施中, N-亚硝胺生成阻断方面的研究最为深入。最先使用的阻断剂是抗坏血酸^[35],现在人们关注的焦点从抗坏血酸(Vc)转移到果蔬、香辛料和天然产物(如黄酮、酚类)上。国内外许多研究者通过亚硝胺的体外细胞试验,证实了许多植物、果蔬和香辛料的提取物具有阻断亚硝胺的合成作用和抑制变异原作用,这类混合物包括洋葱^[36]、大蒜^[37]、猕猴桃^[38]、甘蓝^[39]、绿茶^[40]、柑橘皮^[41]、肉桂^[42]、丁香^[43]提取物等。李暮春等^[44]考察了肉桂、迷迭香及 VE 对风干肠中亚硝胺阻断的影响,随着肉桂、迷迭香提取物和 VE 添加量的增加,风干肠在发酵过程中 N-亚硝基二甲胺(NDEA)、N-亚硝基吡啶(NPIP)、N-亚硝基二丙胺(NDPA)、N-亚硝基二丁胺(NDBA)、N-亚硝基二苯胺(NDPhA)含量均有所下降,且 N-亚硝基二甲胺(NDMA)、N-亚硝基吡咯烷(NPYR)和 N-亚硝基吗啉(NMOR)没有检出,说明肉桂、迷迭香和 VE 能够在肉制品中有效地阻断亚硝胺的形成。张健斌等^[45]选择了部分抗氧化活性较高的香辛料(八角、丁香、洋葱、大蒜、小茴香和芫荽),研究了这些香辛料提取液分别对 NDMA 形成的阻断效果,结果表明:八角和丁香的抑制效果随着添加量的增加而增强,抑制率最高可达到 90%以上;芫荽和小茴香的作用则是先强后弱,而洋葱和大蒜的抑制作用不明显。邢必亮等^[46]考察了 V_C、V_E 和茶多酚对腌肉中挥发性 N-亚硝胺形成的影响,结果观察到随着各物质添加量的增加,NDMA 含量均下降,但茶多酚有回升的现象,因此 V_C 和 V_E 能够有效阻断肉制品中亚硝胺的形成。魏萌等^[47]研究了

15 种不同品种蓝莓果对蒸煮火腿中亚硝胺的抑制情况,证实 15 种蓝莓果对亚硝胺均有抑制作用,抑制率为 53.64%~71.54%。果蔬植物中富含 V_C、V_E、黄酮等还原性物质,香辛料中富含不饱和脂肪酸、酚类和黄酮类等抗氧化物质,这类物质可使亚硝酸、亚硝酸盐等还原为一氧化氮。另外,香辛料还能够抑制发酵肉制品中产胺微生物的生长,从而阻断亚硝胺的生成。

4.2 分解已生成的 N-亚硝胺

近年来,利用辐照技术对肉制品进行处理已经成为了主流技术,既可以延长货架期,也可以降低 N-亚硝胺含量,与 V_C、气调包装联合起来,效果更好。Wei 等^[48]以中国的如皋火腿为对象进行辐照研究,先将样品进行真空包装,并在 -20 $^{\circ}\text{C}$ 下储存,在第 55、135、265、325 天的 30 条火腿进行辐照处理,加工完成后测定火腿中 N-亚硝胺含量,结果发现以 ^{60}Co 辐照源, γ -射线的剂量在 5 kGy,就可立即分解火腿中 NDMA、NDEA、NPYR,甚至 NDEA 在第 55 天和第 135 天时没有检出,因此可得出 γ -射线至少能够降解 3 种 N-亚硝胺: NDMA、NDEA 和 NPYR。Byun 等^[49]对意大利辣香肠和蒜味腊肠进行辐照处理,采用真空包装、充气包装和充 CO₂ 包装三种包装方式,用 0、5、10、20 kGy 四个剂量的 γ -射线进行照射,之后在 4 $^{\circ}\text{C}$ 储存 4 周,检测到发酵香肠中 NDMA 和 NPYR 含量显著下降。但是,目前对于辐照降低亚硝胺的研究较少,将辐照工艺应用于肉制品加工中还存在许多问题,特别是食品安全性问题受到消费者的极大关注,因此利用辐照处理减低肉制品中亚硝胺含量还有待进一步研究。

4.3 减少摄入 N-亚硝胺及其前体物质

目前,亚硝酸盐仍是肉制品加工过程中不可替代的添加物,能起到发色、防腐和形成肉制品特有风味的作用,但是亚硝酸盐可能产生致畸、致癌、致突变的 N-亚硝胺,因此,国内外研究者都在积极寻找一种亚硝酸盐的替代品,但目前还没有发现一种能够完全替代亚硝酸盐在肉制品中的作用^[50],因此要严格控制硝酸盐和亚硝酸盐的添加量。要严格按照国际规定使用硝酸盐、亚硝酸盐及执行残留量标准。我国规定肉制品的使用量,硝酸钠<0.5 g/kg,亚硝酸钠<0.15 g/kg;残留量以亚硝酸钠计算,不超过 0.03~0.05 g/kg^[51]。通过制定亚硝酸盐添加量及残留量的标准,减少 N-亚硝胺前体物质的摄入。

肉制品中蛋白质含量丰富,尽量低温贮藏以减少胺类物质的形成,同时,低温保藏还可减少硝酸盐还原成亚硝酸盐,进而控制亚硝胺的形成^[52]。

5 结束语

在肉制品中亚硝胺分为挥发性亚硝胺和非挥发性亚硝胺,挥发性亚硝胺化合物的测定方法研究比较多且较成

熟,气相色谱-热能分析法、气质联用法、气相色谱常规检测器等方法都能取得比较满意的效果。非挥发性亚硝胺种类多、含量高、净化分离难,分析比较困难,因此对于非挥发性亚硝胺的检测方法国内还未形成较成熟的检测方法,目前 Herrmann 等^[17]通过乙腈提取,运用液相色谱-串联质谱法同时测定肉制品中挥发性亚硝胺和非挥发性亚硝胺,检出限为 0.2~1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。因此,对肉制品中非挥发性亚硝胺的检测方法的建立应引起重视。

减少 N-亚硝胺含量的方法,关于添加剂阻断 N-亚硝胺生成的研究较多,而关于其降解技术的研究较少,随着科学技术的不断发展,更加有效减少 N-亚硝胺含量的方法还需要进一步的研究开发。另外,希望可以尽早找出可以有效替代硝酸盐及亚硝酸盐的物质,以减少肉制品中亚硝酸盐和 N-亚硝胺给人类健康带来的危害。

参考文献

- [1] Honikel KO. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products [J]. Meat Sci, 2008, 78(1/2): 68–76.
- [2] Cassens RG. Use of sodium nitrite in cured meats today [J]. Food Technol, 1995, 49(7): 72–79, 115.
- [3] Kanner J. Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications [J]. Meat Sci, 1994, 36: 169–189.
- [4] Pierson MD, Smoot LA. Nitrite, nitrite alternatives, and the control of clostridium botulinum in cured meats [J]. Crit Rev Food Sci, 1982, 17(2): 141–187.
- [5] Ayanaba A, Alexander M. Microbial formation of nitrosamines *in vitro* [J]. App Microbiol, 1973, 25: 862–868.
- [6] Mirvish SS. Formation of N-nitroso compounds: chemistry, kinetics, and *in vivo* occurrence [J]. Toxicol Appl Pharmacol, 1975, 31: 325–351.
- [7] Mirvish SS. Role of N-nitrosocompounds(NOC) and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposures to NOC [J]. Cancer Lett, 1995, 93(1): 17–48.
- [8] Tricher AR, Preussmann R. Carcinogenic N-nitrosamines in the diet: occurrence, formation, mechanisms and carcinogenic potential [J]. Genetic Toxicol, 1991, 259(3–4): 277–289.
- [9] 朱雨霏. 亚硝胺类化合物的致癌作用及预防[J]. 环境保护与循环经济, 2008, 25(4): 34–35.
Zhu YF. The Carcinogenic effect and preventing measures of N-nitrosocompounds [J]. Environ Prot Circular Economy, 2008, 25(4): 34–35.
- [10] 马丽珍, 南庆贤, 方长法. N-亚硝胺类化合物与食品安全性[J]. 农产品加工, 2005, 50(12): 9–14.
Ma LZ, Nan QX, Fang CF. N-Nitrosamine compounds and food safety [J]. Acad Periodical Farm Prod Process, 2005, 50(12): 9–14.
- [11] 马丽珍, 张健斌, 孟培培. 食品中亚硝胺类化合物的危害及控制研究进展[J]. 保鲜与加工, 2012, 12(2): 1–4.
Ma LZ, Zhang JB, Meng PP. Progress of research on the hazards and control of N-nitrosamines in food [J]. Storage Process, 2012, 12(2): 1–4.
- [12] Crews C. Processing contaminants: n-nitrosamines [J]. Encyclopedia Food Saf, 2014, 2: 409–415.
- [13] AOAC Official Method 982.22, N- nitrosamines (Volatile) in Fried Bacon, Mineral oil vacuum distillation-thermal energy analyzer method [S]. First Action 1982, Final Action 1984.
- [14] AOAC Official Method 981.28, N- nitrosamines (Volatile) in minced fish-meat and surimi-meat frankfurters, Gas chromatography-thermal energy analyzer(TEA) method [S]. First Action 1991, Final Action 1995.
- [15] GB/T 5009.26-2003 食品中 N-亚硝胺类的测定[S].
GB/T 5009.26-2003 Determination of N- nitrosamines in foods [S].
- [16] SanchesFilho PJ, Rios A, Valcárcel M, *et al.* Method of determination of nitrosamines in sausages by CO₂ supercritical fluid extraction (SFE) and micellarelelectrokinetic chromatography (MEKC) [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(3): 603–607.
- [17] Herrmann SS, Duedahl-Olesen L, Granby K. Simultaneous determination of volatile and non-volatile nitrosamines in processed meat products by liquid chromatography tandem mass spectrometry using atmospheric pressure chemical ionisation and electrospray ionization [J]. J Chromatogr A, 2014, 1330: 20–29.
- [18] Chienthavorn O, Subprasert P, Insuan W. Nitrosamines extraction from frankfurter sausages by using superheated water [J]. Sep Sci Technol, 2014, 49(6): 838–846.
- [19] Campillo N, Vinas P, Castillo NM, *et al.* Determination of volatile nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction and dispersive liquid-liquid micro-extraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2011, 1218(14): 1815–1821.
- [20] SanchesFilho PJ, Rios A, Valcarcel M, *et al.* Method of determination of nitrosamines in sausages by CO₂ supercritical fluid extraction (SFE) and micellarelelectrokinetic chromatography (MEKC) [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(3): 603–607.
- [21] Sannino A, Bolzoni L. GC/CI-MS/MS method for the identification and quantification of volatile N-nitrosamines in meat products [J]. Food Chem, 2013, 141(4): 3925–3930.
- [22] Al-Kaseem M, Al-Assaf Z, Karabeet F. Determination of seven volatile N-Nitrosamines in fast food [J]. Pharmacol Pharm, 2014, 5(2): 195–203.
- [23] Drabik-Markiewicz G, Dejaegher B, De Mey E, *et al.* Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat [J]. Food Chem, 2011, 126(4): 1539–1545.
- [24] 杨兴龙, 丁红梅, 陈彬, 等. 气相色谱-质谱法测定肉制品中的亚硝胺[J]. 肉类工业, 2010, (356): 36–39.
Yang XL, Ding HM, Chen B, *et al.* Determination of nitrosamines contents in meat products by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Meat Ind, 2010, (356): 36–39.
- [25] Yurchenko S, Mölder U. The occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products [J]. Food Chem, 2007, 100(4): 1713–1721.
- [26] Andrade R, Reyes FGR, Rath S. A method for the determination of volatile N-nitrosamines in food by HS-SPME-GC-TEA [J]. Food Chem, 2005, 91(1): 173–179.

- [27] 孙卫青, 马偲珍. 腊肉加工过程中 N-亚硝胺的分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(10): 60–62.
- Sun WQ, Ma LZ. The online detection of N-Nitrosamine of preserved ham [J]. Food Res Dev, 2011, 32(10): 60–62.
- [28] Campillo N, Viñas P, Martínez-Castillo N, *et al.* Determination of volatile nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction and dispersive liquid-liquid microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2011, 1218: 1815–1821.
- [29] Huang MC, Chen HC, Fu SC, *et al.* Determination of volatile N-nitrosamines in meat products by microwave-assisted extraction coupled with dispersive micro solid-phase extraction and gas chromatography-chemical ionisation mass spectrometry [J]. Food Chem, 2013, 138(1): 227–233.
- [30] 何淑娟, 赵丽敏, 张岩, 等. 气相色谱-质谱法测定肉制品中的 9 种挥发性 N-亚硝胺类物质[J]. 肉类研究, 2015, 29(1): 27–30.
- He SJ, Zhao LM, Zhang Y, *et al.* Determination of Nine N-Nitroso compounds in meat products by gas chromatograph-mass spectrometry [J]. Meat Res, 2015, 29(1): 27–30.
- [31] 王瑞, 马偲珍, 方长发, 等. 气相色谱法测定熟肉制品中挥发性 N-亚硝胺类化合物[J]. 中国食品学报, 2007, 7(2): 124–127
- Wang R, Ma LZ, Fang CF, *et al.* Determination of volatile n-nitrosamine compounds in cooked meat products by gas chromatography [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2007, 7(2): 124–127.
- [32] Mohammad AK, Zaid AA, Francois K. Development and validation of GC-FID method for the determination of volatile N-nitrosamines in meat [J]. Int J Pharm Sci Rev Res, 2014, 25(1): 59–64.
- [33] 赵华, 王秀元, 王萍亚, 等. 气相色谱-质谱联用法测定腌制水产品中的挥发性 N-亚硝胺类化合物[J]. 色谱, 2013, 31(3): 223–227.
- Zhao H, Wang XY, Wang PY, *et al.* Determination of volatile N-nitrosamine compounds in salted aquatic products by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2013, 31(3): 223–227.
- [34] 李玲, 徐幸莲, 周光宏. 气质联用检测传统中式香肠中的 9 种挥发性亚硝胺[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 241–244
- Li L, Xu XL, Zhou GH. Determination of nine volatile N-nitrosamines by gas chromatography mass spectrometry in traditional Chinese sausage [J]. Food Sci, 2013, 34(14): 241–244.
- [35] Mirvish SS. Ascorbate-nitrite reaction: possible means of blocking the formation of carcinogenic N-nitrosacompounds [J]. Science, 1972, 177: 65–68.
- [36] Ikken Y, Cambero I, Marin ML, *et al.* Antimutagenic effect of fruit and vegetable aqueous extracts against N-Nitrosamines evaluated by the amestest [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(12): 5194–5200.
- [37] Narmada RS, Ahmed SUC. Effect of certain plant phenolics on nitrosamine formation [J]. J Agric Food Chem, 1989, 37(3): 721–725.
- [38] 宋圃菊, 张琳, 丁兰. 中华猕猴桃汁的防癌作用--(二)在体外模拟胃液中 对亚硝胺合成的阻断作用—Ames 试验方法检测[J]. 营养学报, 1984, (3): 241–246.
- Song PJ, Zhang L, Ding L. The blocking effects of Chinese actinidiaSinensis planch juice on the formation of N-nitrosamine [J]. Acta Nutr Sin, 1984, (3): 241–246.
- [39] Choi SY, Chung MJ, Lee SJ, *et al.* N-nitrosamine inhibition by strawberry, garlic, kale, and the effects of nitrite-scavenging and N-nitrosamine formation by functional compounds in strawberry and garlic [J]. Food Control, 2007, 18(5): 485–491.
- [40] Choi SY, Chung MJ, Sung NJ. Volatile N-nitrosamine inhibition after intake Korean green tea and Maesil (Prunusmume SIEB. Et ZACC) extracts with an amine-rich diet in subjects ingesting nitrate [J]. Food Chem Toxicol, 2002, 40(7): 949–957.
- [41] 冯纪南, 黄海英, 余瑞金, 等. 柑橘皮黄酮提取工艺及抑制亚硝化反应[J]. 光谱实验室, 2013, 30(5): 2372–2377.
- Feng JN, Huang HY, Yu RJ, *et al.* Extraction technology and inhibition nitrosation reaction of flavonoids from citrus peel [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2013, 30(5): 2372–2377.
- [42] 李暮春, 孔保华, 孙方达, 等. 肉桂提取物降低哈尔滨风干肠中亚硝胺作用的研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(3): 228–234.
- Li MC, Kong BH, Sun FD, *et al.* Analyzing the effect of cassia extracts on the decrease in nitrosamine content of Harbin dry sausages [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 31(3): 228–234.
- [43] 周凤超, 张腾霄, 郭丽, 等. 香辛料提取物清楚亚硝酸盐及阻断亚硝胺合成的比较研究[J]. 食品工业, 2015, 36(3): 182–185
- Zhou FC, Zhang TX, Guo L, *et al.* Comparative studies of scavenging nitrite and disconnecting nitrosamine synthesis by spices extracts [J]. Food Ind, 2015, 36(3): 182–185.
- [44] 李暮春. 风干肠中亚硝胺的动态变化及控制研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- Li MC. The formation and control of nitrosamines in Harbin dry sausages [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014.
- [45] 张健斌, 马偲珍, 孔保华, 等. 香辛料对二甲基亚硝胺形成的抑制作用[J]. 食品机械, 2008, 24(4): 93–96.
- Zhang JB, Ma LZ, Kong BH, *et al.* Inhibitory effect of extract of some spices and herbs on formation of N-nitrosodimethylamine(NDMA) [J]. Food Mach, 2008, 24(2): 93–96.
- [46] 邢必亮, 徐幸莲. 降低腌肉亚硝胺含量的复合抗氧化剂研究[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 104–107.
- Xing BL, Xu XL. Effect of simultaneous addition of vitamins C and E and tea polyphenols on N-nitrosodimethylamine residue in salted pork [J]. Food Sci, 2011, 32(1): 104–107.
- [47] 魏萌, 吕玲珠, 刘黄友, 等. 蓝莓对蒸煮火腿中亚硝酸盐和亚硝胺的抑制作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(11): 3610–3614.
- Wei M, Lv LZ, Liu HY, *et al.* Study on the inhibition effect of blueberry on nitrite and nitrosamines in cooked ham products [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(11): 3610–3614.
- [48] Wei FS, Xu XL, Zhou GH, *et al.* Irradiated Chinese Rugao ham: Changes in volatile N-nitrosamine, biogenic amine and residual nitrite during ripening and post-ripening [J]. Meat Sci, 2009, 81(3): 451–455.
- [49] Byun MW, Ahn HJ, Kim JH, *et al.* Determination of volatile N-nitrosamines in irradiated fermented sausage by gas chromatography coupled to a thermal energy analyzer [J]. J Chromatogr A, 2004,

1054(1-2): 403-407.

[50] Drabik-Markiewicz G, Van den Maagdenberg K, De Mey E, *et al.* Role of proline and hydroxyproline in N-nitrosamine formation during heating in cured meat [J]. Meat Sci, 2009, 81(3): 479-486.

[51] GB 2762-2012 食品中污染物限量 [S].

GB 2762-2012 Limitation of pollutant in foods [S].

[52] 吴素萍. 食品中 N-亚硝基化合物的危害性及预防措施[J]. 中国调味品, 2008, (8): 84-87.

Wu SP. The hazardous nature of N-nitroso compounds in food and corresponding preventive measures [J]. Chin Condiment, 2008, (8): 84-87.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



夏晓楠, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。

E-mail: 15210289496@163.com



韩 涛, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。

E-mail: taohan00@163.com

“食品加工与贮藏保鲜新技术”专题征稿函

民以食为天。食品的安全与质量, 直接关系到民族的健康和体质, 影响到国家或地区的政治安定和社会进步。而食品的加工质量与贮藏安全性与食品加工与贮藏保鲜技术的成熟与革新息息相关。近年来, 基因工程、酶工程、发酵工程、细胞工程、辐照技术、超临界流体萃取技术、微胶囊技术、膜分离技术、超高压技术、脉冲电场技术等被广泛应用于食品的加工与贮藏保鲜, 为食品工业的发展注入了新活力。

鉴于此, 本刊特别策划“食品加工与贮藏保鲜新技术”专题, 由江南大学的张慤教授担任专题主编。专题将围绕食品工业中食品微细化处理、食品混合、食品干燥、食品成分提取与分离、食品浓缩与结晶、食品膨化、食品杀菌、食品低温处理与贮藏保鲜、食品包装等各个环节中的高新技术展开, 探讨技术原理、技术特点、优势与局限性、影响因素、工艺及设备、应用实践等各个方面展开讨论, 计划在 2015 年 11 月正式出版。

本刊主编 吴永宁 研究员与 张慤 教授 与本刊特邀请您撰稿, 展示您的研究成果与学术发现, 以期食品加工与贮藏保鲜新技术的推广应用、科研开发提供理论和实践指导。请您请在 2015 年 10 月 30 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

Email: jfoods@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部