

水产加工品中 N-亚硝胺形成影响因素及 变化规律的研究进展

戴安娜^{1,2}, 郭莹莹¹, 孙伟红¹, 王联珠^{1,3*}, 余腾晖^{3,4*}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003;
3. 福建省冷冻调理水产品加工重点实验室, 厦门 361022; 4. 福建安井食品股份有限公司, 厦门 361022)

摘要: N-亚硝胺(N-nitrosamines, NAs)是一类化学结构多样, 具有致畸性、致突变性和致癌性的强毒性化合物。NAs 不仅在自然界中广泛存在, 而且较易在水产品的腌渍、烤制、烟熏、油炸等加工过程中生成。其中, 水产加工品中 N-二甲基亚硝胺(N-nitrosodimethylamine, NDMA)污染水平较高。NAs 是目前影响水产品安全性的重要因素。本文以水产加工品的安全性为出发点, 介绍了 NAs 的种类、毒性、国内外规定食品中 NAs 的限量值, 及我国市售水产加工品中 NAs 的污染情况。通过分析 NAs 的形成机制, 从水产加工工艺角度入手, 对水产加工品中 NAs 生成的影响因素及变化规律进行综述, 以期为后续制定水产品加工过程中 NAs 有效控制措施和开发 NAs 形成的阻断技术提供理论基础, 对保障我国水产品的质量安全和保护消费者健康具有重要意义。

关键词: 水产品; N-亚硝胺; 毒性; 影响因素; 变化规律

Research progress on influence factors and changing rules of N-nitrosamines formation in aquatic products

DAI An-Na^{1,2}, GUO Ying-Ying¹, SUN Wei-Hong², WANG Lian-Zhu^{1,3*}, YU Teng-Hui^{3,4*}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
3. Fujian Provincial Key Laboratory of Refrigeration and Conditioning Aquatic Products Processing,
Xiamen 361022, China; 4. Fujian Anjoy Foods Co., Ltd., Xiamen 361022, China)

ABSTRACT: N-nitrosamines (NAs) are a class of highly toxic compounds with diverse chemical structures and teratogenicity, mutagenicity and carcinogenicity. NAs are not only widely found in nature, but also easily generated during the pickling, roasting, smoking, frying and other processing of aquatic products. Among them, the contamination level of N-nitrosodimethylamine (NDMA) in processed aquatic products is high. Therefore, NAs are currently an important factor affecting the safety of aquatic products. Taking the safety of processed aquatic products as the starting point, this paper introduced the types and toxicity of NAs, the limit values of NAs in domestic and

基金项目: 食品安全国家标准制定、修订项目(spaq-2020-13)、福建省冷冻调理水产品加工重点实验室开放课题项目(FPKLRCAPP2021-03)

Fund: Supported by the National Food Safety Standard Formulation and Revision Project (spaq-2020-13), and the Open Project of Fujian Key Laboratory of Frozen and Conditioned Aquatic Products Processing (FPKLRCAPP2021-03)

***通信作者:** 王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

余腾晖, 助理工程师, 主要研究方向为食品工程。E-mail: 867571484@qq.com

***Corresponding author:** WANG Lian-Zhu, Professor, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China. E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

YU Teng-Hui, Assistant Engineer, Food Engineering, Fujian Provincial Key Laboratory of Refrigeration and Conditioning Aquatic Products Processing, Xiamen 361022, China. E-mail: 867571484@qq.com

foreign prescribed foods, and the pollution situation of NAs in processed aquatic products sold in China. By analyzing the formation mechanism of NAs, this paper reviewed the influencing factors and change laws of NAs formation in aquatic products from the perspective of aquatic processing technology, in order to provide a theoretical basis for the subsequent formulation of effective control measures for NAs in aquatic products and the development of NAs formation blocking technology, which is of great significance for ensuring the quality safety of aquatic products in China and protecting the health of consumers.

KEY WORDS: aquatic products; N-nitrosamines; toxicity; influence factor; changing rule

0 引言

N-亚硝胺(N-nitrosamines, NAs)是在弱酸性条件下由亚硝酸盐和胺类物质反应生成的一种致癌物质。国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)已将 N-二甲基亚硝胺(N-nitrosodimethylamine, NDMA)和 N-二乙基亚硝胺(N-Nitrosodiethylamine, NDEA)列为 2A 类致癌物^[1]。目前已发现 NAs 广泛存在于各类食品中,大多数研究集中于肉制品、腌菜、饮用水及啤酒方面,而国内外对水产加工品中 NAs 的研究种类及内容较为单一,主要集中于咸鱼、发酵鱼及鱼糜制品。水产加工品中 NAs 含量受到原料种类、加工方法、加工工艺等诸多因素影响,产生机制尚不明确。所以研究水产品加工过程中 NAs 的变化规律,确认影响因素对于控制其 NAs 含量至关重要。本文对 NAs 的危害、影响因素及水产加工品在加工过程中 NAs 的变化规律进行了概述,以期对控制水产加工品中 NAs 提供参考。

1 NAs 化合物概述

1.1 NAs 的种类和毒性

NAs 可根据分子量和蒸汽压的大小分为挥发性 NAs 和非挥发性 NAs 两大类。目前,诸多研究认为非挥发性 NAs 为弱致癌物,还有一部分如亚硝基脯氨酸(N-Nitrosoproline, NPRO)等可能是非致癌物^[2-3],所以目前大多研究集中于挥发性 NAs。食品中常见的挥发性 NAs 有 NDMA、NDEA、N-二丙基亚硝胺(N-nitrosodipropylamine, NDPA)、N-亚硝基吡咯烷(N-nitrosopyrrolidine, NPYR)、N-亚硝基哌啶(N-nitrosopiperidine, NPIP)、N-甲基乙基亚硝胺(N-nitrosodibutylamine, NMEA)、N-二丁基亚硝胺(N-nitrosodibutylamine, NDBA)、N-亚硝基吗啉(N-nitrosomorpholine, NMOR)、N-亚硝基二苯胺(N-nitrosodiphenylamine, NDpHeA) 9 种,其中 NDMA 毒性最强^[4]。

NAs 对人和动物具有急性毒性、致畸致突变性和致癌性^[5],目前对其致癌效应的研究最多。NAs 能诱导动物多种器官的肿瘤,其中 NDMA、NMEA 和 NDEA 对 20 多种动物的所有器官均具有致癌性^[6],同时大量的流行病学调

查表明,人类的胃癌、食道癌、鼻咽癌、食管癌等均可能与 NAs 有关^[7-10]。NAs 的致癌作用与居住环境和饮食习惯密切相关,具有明显的地域性。在冰岛、芬兰及挪威等习惯吃熏鱼的国家,胃癌的发病率很高^[11]。淮安作为食管癌高发区,其人群暴露于较高水平的 NAs 污染,当地居民喜食腌渍食品,其饮用水及尿液中均有较高水平的 NAs^[12]。XIAO 等^[13]在我国各地采集熟咸鱼进行 NAs 污染情况分析发现,咸鱼中存在大量的 NAs,且高鼻咽癌危险区平均挥发性 NAs 水平高于低鼻咽癌危险区,NDMA、NDEA 水平与鼻咽癌死亡率呈显著正相关。

1.2 食品中挥发性 NAs 的限量值

NAs 作为食品的重要污染源之一,针对其制定有关卫生标准,对于减少食源性危害具有重要意义。目前已有多个国家和地区积极建立水产品 and 肉制品中 NAs 的限量值^[14-18](表 1)。乌克兰和俄罗斯等国家对食品中 NAs 限量规定最为严格,冰岛较为宽松。我国 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中针对毒性最强的 NDMA 制定了限量值,规定水产品(水产品罐头除外)及干制水产品中 NDMA 限量值 $\leq 4.0 \mu\text{g}/\text{kg}$,肉制品(肉类罐头除外)及熟肉干制品中 NDMA 限量值 $\leq 3.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。美国、冰岛、俄罗斯和乌克兰等国家制定了总 NAs 的限量值。爱沙尼亚对烟熏肉制品中 NAs 比肉和肉制品中的限量值低,这也说明烟熏过程可能会导致 NAs 含量升高。制定啤酒中 NAs 限量标准的国家更多。荷兰、德国及乌克兰等国限量值为 $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$,美国为 $5.0 \mu\text{g}/\text{kg}$,我国曾规定啤酒中的 NDMA 限量值为 $3.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。经过多年研究发现,啤酒中的 NDMA 来源于麦芽的烘干过程,通过避免麦芽与明火接触或改成低温干燥等方式可以减少 NDMA 生成量,我国啤酒中 NDMA 超标问题得以解决^[19],这也为其他食品中 NAs 的控制措施提供了参考。

1.3 市售水产加工品中 NAs 含量调查

事实上,几乎所有的食品中都有产生 NAs 的可能性^[20]。国内外对食品中的多种 NAs 进行研究,其中检出率最高的主要是 NDMA、NDEA 和 NPYR 3 种。传统发酵及腌渍食品在加工过程普遍存中亚硝酸盐积累、腐败菌繁殖等问题,从而易导致 NAs 的生成。QIU 等^[21]测定 54 份咸鱼样品的

NAs 含量发现, NDMA 超标率为 57.4%, 含量最高达到 89.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标近 22 倍, NPYR 含量最高达到 99.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 总 NAs 含量为 4.38~104.60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。余卫军^[22]检测的 54 份咸鱼样品中有 57.4% 超标, NDMA 含量最高达到 88.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 超标近 22 倍, NPYR 含量最高达到 99.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 总 NAs 含量 4.38~104.60 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。廖鄂^[21]检测的 33 份发酵鱼中 NDMA 超标率为 36.4%, 3 种 NAs 中 NDMA 含量最高。经分析发现, 海水鱼中总 NAs 和 NDMA 含量明显高于淡水咸鱼。这可能是不同原料鱼中所含 NAs 的前体物质不同, 也可能是由于不同采样地点咸鱼的加工方法不同。翟孟婷等^[23]、孔祥一^[24]在鱼干、虾皮及鱿鱼丝等干制水产品中发现 NDMA 检出率及超标率最高, 最高检出值超出我国限量值 20 倍, 其他几种 NAs 含量较低(表 2)。

近几年, 因具有独特的风味和较长的保质期, 即食干制水产品的市场占比越来越大, 越来越多的研究开始关注干制水产品^[25]。据统计, 2016—2020 年中国质量新闻网等网站通报了 98 家企业生产的 147 批次的干制水产品 NDMA

超标的情况, 主要有烤鱼片、鱿鱼丝、虾皮和海米等, 其含量为 5.18~290.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。由此可见, 市售加工水产品中 NAs 污染水平严重, NDMA 超标问题较为突出, 仍需基于原料鱼的种类及加工工艺等对 NAs 形成和含量的影响进一步分析和研究, 从而制定有效的 NAs 防控策略。

2 NAs 的形成机制及影响因素

2.1 NAs 的形成机制

在加工或贮存过程中, 水产品中富含的氧化三甲胺(trimethylamine oxide, TMAO)在内源酶或微生物作用下可分解为二甲胺(dimethylamine, DMA)、三甲胺(trimethylamine, TMA)等胺类物质^[26]。而在水产品腌制等过程使用的粗盐可能会引入硝酸盐, 硝酸盐在微生物或酶存在的情况下被氧化为亚硝酸盐^[27], 亚硝酸盐在酸性条件下生成亚硝酸, 而亚硝酸分解成发生亚硝化反应的重要前体物质亚硝酐(N_2O_3), 与二甲胺、三甲胺等胺类物质形成 NAs^[28-29]。NAs 的生成反应如图 1 所示^[30-31]。

表 1 部分国家规定的食品中挥发性 NAs 限量值
Table 1 Limit values of volatile NAs in food regulated by some countries

国家或地区	目标物质	食品种类	限量值/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$
GB 2762—2017	NDMA	水产品(水产品罐头除外); 干制水产品	≤ 4
		肉制品(肉类罐头除外); 熟肉干制品	≤ 3
美国	NAs 总量	腌制肉	≤ 10
冰岛	NAs 总量	海产品	≤ 7
		肉制品	≤ 10
爱沙尼亚	NDMA+NDEA	新鲜鱼、烟熏鱼	≤ 3
		肉和肉制品	≤ 2
		烟熏肉制品	≤ 4
俄罗斯	NAs 总量	水产品	≤ 3
		肉制品	≤ 2
乌克兰	NAs 总量	海产品	≤ 3
		肉制品	≤ 2

表 2 市售水产加工品中 NAs 含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Table 2 NAs content in commercially available aquatic products ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

产品名称	样品量(n)	NDMA	NDEA	NPYR	总 NAs	来源
咸鱼	54	0.21~89.43	ND~12.68	ND~99.20	0.79~104.60	[21]
发酵鱼	33	ND~19.96	ND~3.45	ND~4.78	3.38~40.36	[2]
咸鱼	33	0.23~88.42	0.04~12.68	ND~99.20	4.38~104.60	[22]
鱼干	8	0.70~80.00	0.25~1.18	ND~3.75	-	[23]
虾皮	6	3.72~25.40	ND	ND~1.19	-	[23]
虾仁	4	0.47~9.05	ND	ND~1.19	-	[23]
蟹肉罐头	-	ND	ND	ND~1.20	-	[24]
干制鱼糜	-	0.74~4.65	0.44~1.93	ND~3.71	-	[24]
烤制鱿鱼丝	-	0.53~16.87	0.33~2.91	ND~2.77	-	[24]

注: -表示文献中未提及; ND 表示未检出。

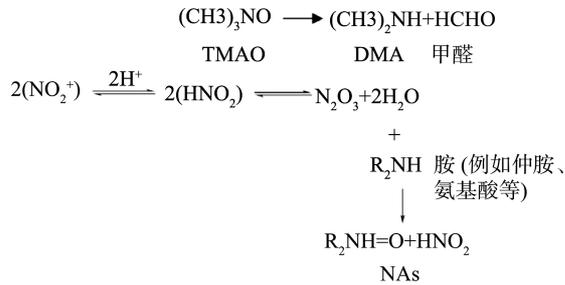


图1 NAs的反应过程

Fig.1 Formation process of NAs

2.2 NAs 的形成影响因素

影响水产加工品中 NAs 生成的因素有很多, 主要包括加工工艺及方法(加热温度、加热方式)、pH、微生物作用、NAs 前体物质、添加剂及脂肪等^[32]。

2.2.1 温度及加工方法

温度是影响 NAs 形成的最重要的因素。加热既能增加水产品的风味, 也可通过由此产生的高温实现灭菌以确保食用安全性, 然而高温加热也影响 NAs 物质的产生。YURCHENKO 等^[17]发现鲑鱼等加工制成的热熏鱼肉中 NDMA、NDEA 等含量远高于冷熏鱼肉。在肉制品中发也现了相同的现象, 如孙敬^[33]发现, 火腿在 50~60℃下煮制, NDEA 形成量小于 1 μg/kg, 当温度高于 70℃, NDEA 含量显著增加($P < 0.05$), 当温度升高至 90℃, NDEA 含量约为 5 μg/kg。温度升高导致 NAs 含量增加的原因主要有两方面, 其一, 高温导致生成 NAs 的反应速率加快, 如促进蛋白质降解为胺类物质, 加速亚硝化反应, 进而影响 NAs 含量^[11]。其二, 常见的挥发性 NAs 的沸点约为 200℃, 通常 NAs 随着温度的升高含量不断增加, 在烤制、烘干等加工过程中, 食品中的水分含量降低, 胺类物质及已生成的 NAs 因浓缩而含量升高。但值得注意的是, 但是在油炸等高温工艺中加工一段时间后, NAs 含量可能在达到峰值以后因超过其沸点挥发而出现含量下降的现象^[34]。

腌渍过程通常在室温下进行, 所以水产品腌渍过程中 NAs 含量变化相对较小, 油炸和煎制可使干腌香肠中 NAs 的含量增加 30%^[35], 而烟熏或烧烤等加工方式因与明火和烟气接触而对 NAs 的影响最大, 日本烟熏鱼肉中 NDMA 甚至超过 100 μg/kg^[36]。除受温度影响外, 还有两方面重要原因, 一是烟气可能含有浓度增加的 NO_x 化合物, 其可作为亚硝化剂的前体。另一方面, 燃烧烟雾可能已经含有 NAs^[37]。

2.2.2 pH

研究表明 pH 在 2.5~3.4 时二级胺最容易发生亚硝基化。若 pH 过高, 亚硝酸盐的合成受到抑制, 从而阻断 NAs 的生成; 若 pH 过低, 胺类物质在较高的 H⁺浓度下易发生质子化, 也不利于 NAs 的形成^[38]。例如, 尹立辉等^[39]研究发现 NDMA 的浓度在 pH 较低时呈现缓慢上升的趋势, 并

在 pH 为 3.0 时达到最大值 52.2 μg/mL, 然后迅速下降, 在 pH 为 5.0 时, NDMA 浓度降幅高达 96.4%。

2.2.3 微生物

微生物可通过多种方式影响 NAs 的生成, 主要表现在 3 个方面。一是梭菌属和肠菌属微生物能够合成 NAs, 青霉菌和根霉菌等对 NAs 合成反应有催化作用; 二是微生物可能通过促进硝酸盐转化和蛋白质降解等途径影响 NAs 的合成^[40], 例如, 发酵香肠中的阴沟肠杆菌和沙门氏菌有较高的脱羧酶活性, 具有极强的产尸胺和腐胺的能力, 进而与亚硝酸盐发生反应生成 NAs^[41]; 三是微生物在繁殖过程中产酸, 为 NAs 的形成提供酸性条件。

基于目前食品中 NAs 污染较为严重的问题, 利用生物发酵技术控制 NAs 逐渐受到国内外学者的关注。研究发现, 添加乳酸菌、木糖葡萄球菌、戊糖片球菌等微生物可以降低亚硝酸盐和生物胺含量从而阻断 NAs 形成^[42-44]。李木子^[45]研究发现弯曲乳杆菌能显著降低风干肠中的 NDEA、NPIP、NDPA、NDPheA 含量; 刘璐璐等^[46]将商业发酵剂(木糖葡萄球菌+类植物乳杆菌+清酒乳杆菌)所制得的菌体碎片[微生物亚硝化抑制剂(microbial nitrosation inhibitor, MNI)]应用到培根中发现, 添加 0.05% MNI, NDMA 抑制率可达 59.64%, NAs 总量可抑制 26.19%。

2.2.4 NAs 前体物质

虽然目前水产品中 NAs 的反应生成机制尚不明确, 但是一般认为 TMAO 的分解产物——DMA、TMA, 是 NAs 的直接前体物质, 可以与亚硝酐(N₂O₃)生成 NAs。TMAO 广泛存在于海洋动物中, 但不同种类海洋动物体内 TMAO 的含量存在差异, 整体呈现出头足类>甲壳类>硬骨鱼类的趋势, 同种海洋动物的 TMAO 含量受所处生存环境的深度、盐度及温度等密切相关^[47-48]。

此外, 水产品中常见的生物胺, 如腐胺、尸胺、组胺、酪胺、精胺、亚精胺等不仅能反映水产品的鲜度, 而且能在酶和微生物的作用下与亚硝化物反应生成 NAs, 已有研究发现尸胺参与 NDEA 和 NPIP 的形成^[49]。许伟等^[50]发现, 随着原料肉腐败程度的加重, 生物胺及 NDEA 含量升高, 且尸胺与 NDEA 的形成量具有较高的相关性($r=0.903$)。有些氨基酸也可以通过形成胺类物质进而生成 NAs。如赖氨酸、脯氨酸、丙氨酸、氨基乙酸、缬氨酸等游离氨基酸在微生物和酶作用下产生的腐胺和尸胺进而参与 NDMA 和 NDEA 的形成^[51]。

2.2.5 添加剂

在水产品加工过程中, 食盐、硝酸盐/亚硝酸盐、调味料及天然/合成抗氧化剂等添加剂会影响 NAs 形成。添加食用盐可能会通过抑制微生物的生长进而对 NAs 的形成产生抑制作用。BULUSHI 等^[52]发现添加 1.5% NaCl 较未添加 NaCl 的肉制品, 其 NAs 含量低 50%, 该结果证实了食用盐对 NAs 形成具有抑制作用。亚硝酸盐在食品加工中

可以起到增香、发色、调味等积极作用,但是会提高生成 NAs 的风险。DRABIK-MARKIEWICZ 等^[53]认为亚硝酸盐的添加量与 NAs 形成量之间呈正相关, FIDDLER 等^[54]认为亚硝酸盐残留量与 NAs 正相关。关于亚硝酸盐的添加量、残留量及 NAs 生成量 3 者之间的关系较为复杂,亚硝酸盐或硝酸盐与胺类物质经过多个反应生成 NAs,食品基质复杂,影响因素较多,可能与产品类型、温度等因素有关。目前众多研究集中于寻找亚硝酸盐的替代物,但是替代物只能发挥亚硝酸盐的部分功能,且因其成本、稳定性等原因效果均不理想,还无法在实际生产中得以应用。

目前已有大量研究证实,黑胡椒、硝酸盐/亚硝酸盐对 NAs 的形成具有促进作用。其中,黑胡椒作为一种调味料应用于食品加工中,但有研究表明添加黑胡椒会导致 NPIP 的生成^[55]。而食用盐抗坏血酸钠、大蒜油、维生素 E、叔丁基对苯二酚、没食子丙酸、儿茶素、单宁酸等多种天然/合成添加剂对 NAs 有一定的消减的作用^[56-57],其中抗坏血酸的抑制率高达 90%。

2.2.6 脂肪

添加脂肪也能促进 NAs 生成。姜皓等^[58]研究发现,随着培根脂肪含量增加,培根中的 NAs 呈现显著增加趋势($P<0.05$), MOTTRAM 等^[59]发现腊肉中的脂肪含量也对 NDMA 的含量有影响。将腊肉分离成瘦肉和脂肪两部分,经 180℃ 油煎 12 min 后,瘦肉中的 NDMA 为 2.6 μg/kg,脂肪中的 NDMA 为 14.9 μg/kg,完整的腊肉中 NDMA 含量为 6.7 μg/kg。高媛媛等^[60]发现,添加鸡皮比添加猪背膘和大豆油对 NAs 的促进作用更加明显。熊凤娇等^[61]发现油脂对 NDMA 和 NDEA 的形成均有促进作用,且随添加比例上升有增加趋势。经过分析发现,过氧化值(peroxide value, POV)较高(POV 约为 28 mmol/kg)的花生油和亚麻籽油较葵花籽油(POV=12.41 mmol/kg)促进 NAs 生成作用更加明显。脂肪对 NAs 的促进作用主要是因为脂肪在高温煎炸过程中实际受热温度比瘦肉高,更重要的是油脂氧化形成的丙二醛和自由基等氧化产物可促进 NAs 生成^[62]。

3 水产品加工过程中 NAs 的变化规律

IYENGAR 等^[63]检测不同水产品(鲑鱼、鳕鱼、比目鱼、海鲈、扇贝)中 NDMA、NDEA 等 5 种挥发性 NAs,在鲜鱼中发现仅有微量 NDMN,在烘烤和油炸后 NDMN 和 NDEN 含量增加。YURCHENKO 等^[17]通过调查 2001—2005 年间 294 种市售不同鱼肉制品中 NAs 含量情况,有同样的发现:新鲜鱼肉中均未检测到 NAs 残留,而在鱼肉制品中 NDMA、NDEA、NPYR、NPIP、NDBA 5 种 NAs 含量均升高,其中油炸和发酵鱼中 NAs 的含量较高,分别为 8.29、5.37 μg/kg,其次是咸鱼、腌制鱼和熏鱼,含量为 1.92~3.81 μg/kg。以上研究表明,水产品加工过程中 NAs 含量会显著升高。本文对水产品加工过程中 NAs 的变化规

律进行总结。

3.1 咸鱼腌制过程中 NAs 的变化规律

陈胜军等^[64]研究蓝圆鲈在不同腌制条件下 NAs 的变化规律。发现粗盐腌制咸鱼的 NAs 含量始终高于精盐,原因可能是粗盐中含有亚硝酸盐,与鱼肉中所含有的丰富的生物胺反应生成 NAs。不同盐度腌制的咸鱼中 NAs 含量也有所不同,高盐鱼比可以使微生物的活性受到抑制,所以 NAs 含量较低。孙璞等^[65]采用 16 s DNA 基因克隆文库的分析方法,监测海水鱼在腌制过程中细菌群落多样性及优势菌属的变化规律,发现腌制前优势菌属为芽孢梭菌属,此时 NAs 未检出,腌制后(5、10、15、20 d)优势菌属为嗜冷杆菌属分别占 70%、93%、90%、76.8%,NAs 含量在腌渍第 15 d 达到峰值,为 10.83 μg/kg,随后在 20 d 降至 6.51 μg/kg。嗜冷杆菌属的变化趋势与 NAs 相同,证明了嗜冷杆菌属与 NAs 生成量有关,但是影响 NAs 形成的机制尚不明确。

3.2 鱼糜制品加工过程中 NAs 的变化规律

鱼豆腐是最常见且消费量最大的油炸鱼糜制品,冷冻鱼糜经过斩拌、蒸煮、油炸、速冻等过程即可得到成品。熊凤娇等^[66]测定鱼豆腐加工过程中 NAs 含量,发现 NMEA 和 NDEA 在加入肥膘(未检出 NAs)后含量显著增加,但在随后的蒸煮成型和油炸阶段,二者的含量又有降低,原因可能是鱼豆腐在加热时部分 NAs 挥发性损失。王洋等^[67]研究包馅鱼肉卷皮(主要原料为带鱼浆)在进料、盐擂、乳化、成型等关键加工环节中 NAs 的变化,在加工过程中共检测到 NDEA 和 NMEA 两种挥发性 NAs,含量呈现先上升后下降的趋势,在带鱼浆中仅含有微量 NAs,在盐擂阶段二者的含量达到最高值(NDEA 约为 10 μg/kg, NMEA 约为 22 μg/kg),在后续乳化、蒸煮成型加工阶段含量呈下降趋势, NDEA 约为 5 μg/kg, NMEA 约为 7 μg/kg。盐擂阶段 NAs 含量上升的原因可能有两方面,其一是斩拌的机械力破坏肉中的肌纤维膜,使空气中的氧气与脂类物质充分接触,加快了脂肪氧化,其二是鱼糜制品中含有丰富的内源酶,经斩拌后使肌原纤维蛋白溶解性增强,更易被水解酶类降解,然后在转氨酶作用下生成胺类。在乳化过程含量下降原因可能是由于不断加入冰水等其他原料加以稀释^[67]。蒸煮阶段 NAs 含量下降原因是 NDMA 和 NMEA 随着温度不断上升而挥发。

通过分析水产制品在加工过程中 NAs 变化规律发现,在腌渍及高温加热等加工环节通常会导致 NAs 含量升高,但是持续加热温度可能使已生成的 NAs 挥发而致使成品中 NAs 含量下降。鱼糜制品在盐擂、添加脂肪后的斩拌过程 NAs 的含量也会升高。在腌渍阶段尽可能避免使用粗盐,采用高盐鱼比、低温腌渍会抑制 NAs 的生成。

4 总结与展望

本文通过探究水产品加工过程中 NAs 化合物生成的

影响因素, 阐明不同类型水产品在不同加工条件下生成 NAs 的动态变化规律, 在此基础上为改进生产工艺, 控制水产加工品中 NAs 的含量提供科学依据, 从而提高我国水产加工品的食用安全性。加大对水产加工品中 NAs 控制及工艺优化是进一步的研究方向。另外, 通过建立水产加工品中 NAs 膳食暴露评估模型, 结合 NAs 含量污染监测水平, 评估水产加工品中 NAs 化合物对人体的暴露水平与安全水平, 通过水产加工品中 NAs 食用安全性的风险评估, 进一步确立 GB 2762—2017 中关于水产品及其制品中 NDMA 限量值的科学性和合理性。

参考文献

- [1] GUSHGARI AJ, HALDEN RU. Critical review of major sources of human exposure to N-nitrosamines [J]. *Chemosphere*, 2018, 210: 1124–1136.
- [2] 廖鄂. 淡水鱼发酵过程中 N-亚硝胺的形成及控制机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
LIAO E. Study on mechanism of N-nitrosamines formation and control during freshwater fish fermentation [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [3] 邓思杨, 石硕, 董依迪, 等. 肉制品中亚硝胺形成机制及植物源提取物对其阻断效果的研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 317–322.
DENG SY, SHI S, DONG YD, *et al.* Recent progress in understanding formation mechanism of N-nitrosamines in processed meat products and inhibition of N-nitrosamines by botanical extracts [J]. *Food Sci*, 2019, 40(3): 317–322.
- [4] 田建军, 张开屏, 景智波, 等. 发酵肉制品加工中衍生的非健康因子控制研究进展[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(1): 275–283.
TIAN JJ, ZHANG KP, JING ZB, *et al.* Recent progress on control of the unhealthy factors deriving from spontaneously fermented meat products processing [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2020, 20(1): 275–283.
- [5] 郑雯, 邵英秀. N-亚硝基化合物的危害性、来源及预防措施[J]. *北京农业*, 2011, (15): 7–8.
ZHENG W, SHAO YX. The danger, source and precautions of N-nitroso compounds [J]. *Beijing Agric*, 2011, (15): 7–8.
- [6] 陆婷婷, 朱小芳, 林东翔, 等. N-亚硝胺致癌机理及检测方法研究进展[J]. *广东化工*, 2021, 48(23): 88–89, 92.
LU TT, ZHU XF, LIN DX, *et al.* Mechanism of carcinogenesis of N-nitrosamines and its recent development in detection [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2021, 48(23): 88–89, 92.
- [7] 张潇. 腌熏肉制品中 N-亚硝胺类化合物分析方法研究[D]. 上海: 东华大学, 2021.
ZHANG X. Study on analytical methods of N-nitrosamine compounds in cured and smoked meat products [D]. Shanghai: Donghua University, 2021.
- [8] HERRMANN SS, GRANBY K, DUEDAHL-OLESEN L. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages [J]. *Food Chem*, 2015, 174: 516–526.
- [9] FAN CC, LIN TF. N-nitrosamines in drinking water and beer: Detection and risk assessment [J]. *Chemosphere Environ Toxicol Risk Assess*, 2018, 200: 48–56.
- [10] XIAN YP, WU YL, DONG H, *et al.* Ice-bath assisted sodium hydroxide purification coupled with GC-MS/MS analysis for simultaneous quantification of ethyl carbamate and 12 N-nitrosamines in yellow rice wine and beer [J]. *Food Chem*, 2019, 300: 125200.
- [11] 李欣, 孔保华, 马佩珍. 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.
- [12] ZHAO C, LU Q, GU Y, *et al.* Distribution of N-nitrosamines in drinking water and human urinary excretions in high incidence area of esophageal cancer in Huai'an, China [J]. *Chemosphere*, 2019, 235: 288–296.
- [13] XIAO NZ, LU SH, LIU B. Volatile N-nitrosamines and their precursors in Chinese salted fish-A possible etiological factor for NPC in China [J]. *Int J Cancer*, 2010, 59(2): 155–158.
- [14] 梁秀清, 杨颖, 张红霞, 等. 肉制品中挥发性 N-亚硝胺化合物检测技术研究进展[J]. *肉类研究*, 2021, 35(1): 98–104.
LIANG XQ, YANG Y, ZHANG HX, *et al.* Recent progress in techniques for detection of volatile N-nitrosamines in meat products [J]. *Meat Res*, 2020, 35(1): 98–104.
- [15] 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*, 2004, 91(1): 173–179.
- [16] SCHEEREN MB, SABIK H, GARIEPY C, *et al.* Determination of N-nitrosamines in processed meats by liquid extraction combined with gas chromatography-methanol chemical ionization/mass spectrometry [J]. *Food Addit Contam A*, 2015, 32(9): 1436–1447.
- [17] YURCHENKO S, MÖLDER U. Volatile N-nitrosamines in various fish products [J]. *Food Chem*, 2005, 96(2): 325–333.
- [18] 魏延玲, 刘洪岩, 赵彦华. 鱼肉类制品中 N-亚硝胺类化合物检测研究进展[J]. *水产养殖*, 2021, 42(11): 35–39.
WEI YL, LIU HY, ZHAO YH. Research progress in the detection of N-nitrosamines in fish products [J]. *J Aquacult*, 2021, 42(11): 35–39.
- [19] 王洁, 孙建云, 冯新昌. 啤酒、肉制品中亚硝胺含量的调查[J]. *甘肃科技纵横*, 2009, 38(2): 199, 46.
WANG J, SUN JY, FENG XC. Investigation of nitrosamine content in beer and meat products [J]. *Sci Tech Inform Gansu*, 2009, 38(2): 199, 46.
- [20] LI X, BEI E, QIU Y, *et al.* Intake of volatile nitrosamines by Chinese residents in different provinces via food and drinking water [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 754(4): 142121.
- [21] QIU Y, CHEN J, YU W, *et al.* Contamination of Chinese salted fish with volatile N-nitrosamines as determined by QuEChERS and gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2017, 232: 763–769.
- [22] 余卫军. 市售动物性腌制食品(腊肠和咸鱼)中挥发性亚硝胺的调查研究报告[D]. 广州: 南方医科大学, 2016.
YU WJ. Investigation of volatile nitrosamines in animality preserved food (sausage and salted fish) on sale [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2016.
- [23] 翟孟婷, 王宗义, 徐芮, 等. 碱液处理-活性炭柱固相萃取结合 GC-MS/MS 法检测鱼干、虾皮和虾仁中 8 种 N-亚硝胺[J]. *质谱学报*, 2018, 39(3): 351–359.
ZHAI MT, WANG ZY, XU R, *et al.* Determination of 8 N-nitrosamines in dried fish, dried small shrimp and shrimp meat by GC-MS/MS with alkali solution treating followed active carbon cartridge solid phase extraction [J].

- J Chin Mass Spectr Soc, 2018, 39(3): 351-359.
- [24] 孔祥一. 水产制品中 N-亚硝胺类化合物的检测技术研究[D]. 厦门: 集美大学, 2021.
KONG XY. Determination of N-nitrosamines in aquatic products [D]. Xiamen: Jimei University, 2021.
- [25] 申美容. 干制水产品中四环素类药物残留和 N-亚硝胺的检测方法研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021.
SHEN MR. Study on the detection methods of tetracycline residues and N-nitrosamine dried aquatic products [D]. Yantai: Yantai University, 2021.
- [26] 刘雨萱, 黄晓红, 徐晔, 等. 肉制品中 N-亚硝胺的危害、形成机制及乳酸菌对其控制效果的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(16): 283-289.
LIU YX, HUANG XH, XU Y, *et al.* The progress of carcinogenic effects of nitrosamines on meat products and its controlling by lactic acid bacteria [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(16): 283-289.
- [27] 熊凤娇. 鱼糜制品加工过程中脂肪对 N-亚硝胺形成的影响及其机制研究[D]. 天津: 天津农学院, 2019.
XIONG FJ. Effect of fat on N-nitrosamine formation and its mechanism during surimi processing [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2019.
- [28] 王双玉, 孙枫林, 吕晓静, 等. 食品中 N-亚硝胺类化合物检测、风险评估与控制的研究进展[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(11): 876-880.
WANG SY, SUN FL, LV XJ, *et al.* Advances on detection, risk assessment and control of N-nitrosamines in food [J]. Prev Med Trib, 2022, 28(11): 876-880.
- [29] 杨子, 王松灵. 亚硝胺体内暴露水平及影响因素[J]. 口腔生物医学, 2020, 11(2): 67-70.
YANG Z, WANG SL. Nitrosamine exposure *in vivo* and influencing factors [J]. Oral Biomed, 2020, 11(2): 67-70.
- [30] 厉晨皓. 食品中 N-亚硝胺类化合物的检测研究进展[J]. 现代食品, 2021, (3): 40-43.
LI CH. Research progress in the detection of N-nitrosamines compounds in food [J]. Mod Food, 2021, (3): 40-43.
- [31] 王文勇, 张英慧, 赖长生. 肉及肉制品中亚硝胺的研究进展[J]. 肉类工业, 2017, (4): 49-53.
WANG WY, ZHANG YH, LAI CS. Research progress on nitrosamine in meat and meat products [J]. Meat Ind, 2017, (4): 49-53.
- [32] 杨姗姗, 王兆琦, 王晓雯, 等. 水产品中 N-亚硝胺形成和控制的研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 228-233.
YANG SS, WANG ZQ, WANG XW, *et al.* Research progress of formation and control of N-nitrosamines in aquatic products [J]. Food Ind, 2022, 43(4): 228-233.
- [33] 孙敬. 蒸煮火腿中亚硝胺形成影响因素的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
SUN J. Study on influence factors of N-nitrosamine formation in cooked ham [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [34] DRABIK-MARKIEWICZ G, DEJAEGHER B, MEY ED, *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.
- [35] LI L, WANG P, XU X, *et al.* Influence of various cooking methods on the concentrations of volatile N-nitrosamines and biogenic amines in dry-cured sausages [J]. J Food Sci, 2012, 77(5): 560-565.
- [36] LIJINSKY W. N-Nitroso compounds in the diet [J]. Mutat Res, 1999, 443: 129-138.
- [37] 王晓礼, 孙永, 刘楠, 等. 加工水产品中 N-亚硝胺的形成和控制技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 6799-6807.
WANG XL, SUN Y, LIU N, *et al.* Research progress on formation and control technology of N-nitrosamines in processed fishery products [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(21): 6799-6807.
- [38] WU YX, QIN LR, CHEN JW, *et al.* Nitrite, biogenic amines and volatile N-nitrosamines in commercial Chinese traditional fermented fish products [J]. Food Addit Contam B, 2022, 15(1): 10-19.
- [39] 尹立辉, 马丽珍. 反应条件对 N-亚硝基二甲胺生成影响的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 457-460.
YIN LH, MA LZ. Research of reaction conditions effect on concentration of N-nitrosodimethylamine [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(7): 457-460.
- [40] 黄智, 程伟伟, 张大磊, 等. 肉制品中亚硝胺形成影响因素和控制措施研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 372-376.
HUANG Z, CHENG WW, ZHANG DL, *et al.* Research progress in impact factors and control technology of nitrosamines in meat products [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(21): 372-376.
- [41] SUN Q, CHEN Q, LI F, *et al.* Biogenic amine inhibition and quality protection of Harbin dry sausages by inoculation with *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum* [J]. Food Control, 2016, 68: 358-366.
- [42] CALLEJON S, SENDRA R, FERRER S. Identification of a novel enzymatic activity from lactic acid bacteria able to degrade biogenic amines in wine [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2014, 98(1): 185-198.
- [43] BERARDOA, CLAEYS E, VOSSEN E, *et al.* Protein oxidation affects proteolysis in a meat model system [J]. Meat Sci, 2015, 106: 78-84.
- [44] 杨姗姗, 王晓雯, 林翠苹. 水产品中生物胺的研究进展[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2021, 38(1): 65-73.
YANG SS, WANG XW, LIN CP. Research progress of biogenic amines in aquatic products [J]. J Qingdao Agric Univ (Nat Sci Ed), 2021, 38(1): 65-73.
- [45] 李木子. 微生物发酵技术降低风干肠中亚硝胺的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
LI MZ. Degradation of nitrosamines in harbin dry sausages by microbial fermentation [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015.
- [46] 刘璐璐, 李秀明, 陈媛媛, 等. 微生物亚硝化抑制剂对新型培根品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(2): 1-8.
LIU LL, LI XM, CHEN YY, *et al.* Effects of microbial nitrosation inhibitors on the quality of new bacon [J]. Meat Res, 2021, 35(2): 1-8.
- [47] 陆长坤, 宋若晗, 曲克明, 等. 海洋动物体内氧化三甲胺和甘氨酸甜菜碱的浓度特征及影响因素[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(22): 18-28.
LU CK, SONG RH, QU KM, *et al.* Concentration characteristics and influencing factors of TMAO and glycine betaine in marine animals [J]. J Anhui Agric Sci, 2021, 49(22): 18-28.
- [48] 章钱. 基于 In_2O_3 纳米气体传感器检测鱼肉新鲜度气体标志物-三甲胺的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2021.
ZHANG Q. Study on detection of fish freshness gas marker trimethylamine based on In_2O_3 nano-gas sensor [D]. Nanning: Guangxi University, 2021.
- [49] ANSORENA D, MONTEL MC, ROKKA M, *et al.* Analysis of biogenic

- amines in northern and southern European sausages and role of flora in amine production [J]. *Meat Sci*, 2002, 61: 141–147.
- [50] 许伟, 郇延军, 孙冬梅, 等. 原料猪肉的新鲜度对发酵香肠中亚硝酸盐和亚硝胺变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(10): 180–184.
XU W, XUN YJ, SUN DM, *et al.* Effect of raw pork freshness on changes of nitrite and N-nitrosamine in fermented sausages [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(10): 180–184.
- [51] 周亚军, 王楸颖, 马永强, 等. 3 种氨基酸对西式熏煮火腿品质及 N-亚硝胺形成的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 29–36.
ZHOU YJ, WANG QY, MA YQ, *et al.* Effects of three amino acids on quality and N-nitrosamine formation of western-style smoked sausage [J]. *Food Sci*, 2020, 41(16): 29–36.
- [52] BULUSHI IA, POOLE S, DEETH HC, *et al.* Biogenic amines in fish: Roles in intoxication, spoilage, and nitrosamine formation-A review [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2009, 49(4): 369–377.
- [53] DRABIK-MARKIEWICZ G, MAAGDENBERG K, MEY ED, *et al.* Role of proline and hydroxyproline in N-nitrosamine formation during heating in cured meat [J]. *Meat Sci*, 2009, 81(3): 479–486.
- [54] FIDDLER W, PIOTROWSKI EG, PENSABENE JW, *et al.* Effect of sodium nitrite concentration on N-nitrosodimethylamine formation in frankfurters [J]. *J Food Sci*, 2010, 37(5): 668–670.
- [55] EVELINE M, KATRIJN K, HANNELORE M, *et al.* The occurrence of N-nitrosamines, residual nitrite and biogenic amines in commercial dry fermented sausages and evaluation of their occasional relation [J]. *Meat Sci*, 2014, 96(2): 821–828.
- [56] 孙钦秀, 董福家, 孔保华, 等. 添加亚硝酸钠和维生素 E 对哈尔滨风干肠中亚硝胺的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(12): 296–301, 306.
SUN QX, DONG FJ, KONH BH, *et al.* Influence of sodium nitrite and vitamin E addition on the nitrosamine in Harbin dry sausage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(12): 296–301, 306.
- [57] 陈文静, 姜皓, 杨华, 等. 复合香辛料亚硝化抑制剂对西式培根品质的影响[J]. *肉类研究*, 2020, 34(2): 13–19.
CHEN WJ, JIANG H, YANG H, *et al.* Effect of composite spice nitrosation inhibitor on the quality of Western bacon [J]. *Meat Res*, 2020, 34(2): 13–19.
- [58] 姜皓, 陈援援, 杨璐, 等. 原料肉脂肪比例对培根加工过程中安全性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(20): 300–306.
JIANG H, CHEN YY, YANG L, *et al.* Effect of fat ration in raw meat on safety indicators during processing of bacon [J]. *Food Sci*, 2020, 41(20): 300–306.
- [59] MOTTRAM DS, PATTERSON RLS, EDWARDS RA, *et al.* The preferential formation of volatile N-nitrosamines in the fat of fried bacon [J]. *J Sci Food Agric*, 1977, 28(11): 1025–1029
- [60] 高媛媛, 周晓璐, 王蕊, 等. 添加脂肪的种类和比例对炸鱼丸品质及 N-亚硝胺含量的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(20): 154–159.
GAO YY, ZHOU XL, WANG R, *et al.* Effect of fat types and proportions on the quality and N-nitrosamine content of fried fish ball [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(20): 154–159.
- [61] 熊凤娇, 马俪珍, 王洋, 等. 亚硝化模拟体系中油脂对 N-亚硝胺形成的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(18): 21–28.
XIAONG FJ, MA LZ, WANG Y, *et al.* Effects of oils on the formation of N-nitrosamines in model nitrosation system [J]. *Food Sci*, 2018, 39(18): 21–28.
- [62] 朱清清. 腊肉加工过程中亚硝胺生成规律及其控制研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
ZHU QQ. Study on the regularity and inhibition of N-nitrosamines in the producing process of preserved ham [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015
- [63] IYENGAR JR, PANALAKS T, MILES WF, *et al.* A survey of fish products for volatile N-nitrosamines [J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 27(6): 527–530.
- [64] 陈胜军, 杨贤庆, 李来好, 等. 蓝圆鲹在腌制过程中 N-二甲基亚硝胺和 N-二乙基亚硝胺的变化规律[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(11): 59–63.
CHEN SJ, YANG XQ, LI LH, *et al.* The relation of NDMA and NDEA in *Decapterus maruadsi* with different curing conditions [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, (11): 59–63.
- [65] 孙瑛, 王萍亚, 黄朱梁, 等. 海水鱼腌制过程细菌群落和 N-亚硝胺变化分析[J]. *食品科技*, 2018, 43(12): 154–160.
SUN Y, WANG YP, HUANG ZL, *et al.* The analysis of microbial community diversity and N-nitrosamine changes during pickled processing of marine fish [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(12): 154–160.
- [66] 熊凤娇, 王洋, 马俪珍, 等. 鱼豆腐加工过程中 N-亚硝胺含量的动态变化[J]. *肉类研究*, 2017, 31(6): 13–18.
XIONG FJ, WANG Y, MA LZ, *et al.* Dynamic changes of N-nitrosamine content during processing of fish tofu [J]. *Meat Res*, 2017, 31(6): 13–18.
- [67] 王洋, 熊凤娇, 李秀明, 等. 原料及加工工艺对包馅鱼肉卷 N-亚硝胺含量的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(8): 34–39.
WANG Y, XIONG FJ, LI XM, *et al.* Influence of ingredients and processing stages on N-nitrosamine contents in stuffed fish roll [J]. *Meat Res*, 2018, 32(8): 34–39.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



戴安娜, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: annadai1111@163.com



王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。

E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

余腾晖, 助理工程师, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: 867571484@qq.com