

我国虾类产品中亚硫酸盐的安全性评价

励建荣^{1*}, 李学鹏¹, 周 凯¹, 高艳蕾¹, 刘 裕¹, 李钰金², 李薇霞³

(1. 渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013; 2. 泰祥集团 山东海洋食品营养研究院, 荣成 264300; 3. 国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心, 苏州 215011)

摘 要: 亚硫酸盐被认为是一类安全性较高的食品添加剂, 然而现行国家食品添加剂标准中不允许亚硫酸盐在虾类产品中使用, 但国际同类标准中均允许使用亚硫酸盐。本文以风险评估的方式描述食用我国虾产品中亚硫酸盐的膳食风险并通过对国内外相关限量标准来确定安全限量, 提出我国虾类产品中亚硫酸盐的使用建议。从我国国民的饮食习惯来看, 虾类产品中一定残留量的亚硫酸盐对人体健康造成危害的可能性极小, 建议我国食品添加剂标准参考国际标准扩大亚硫酸盐使用范围和确立限量标准。

关键词: 虾类; 亚硫酸盐; 安全限量; 标准; 风险评估

Safety evaluation of sulfite in Chinese domestic shrimp products

LI Jian-Rong^{1*}, LI Xue-Peng¹, ZHOU Kai¹, GAO Yan-Lei¹, LIU Yu¹, LI Yu-Jin², LI Wei-Xia³

(1. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. Shandong Institute of Marine Food Nutrition, Taixiang Group, Rongcheng 264300, China; 3. Patent Examination Cooperation Jiangsu Centre of the Patent Office, SIPO, Suzhou 215011, China)

ABSTRACT: The sulfite was acknowledged to be a safety food additive, however, the usage of sulfite in shrimp products was forbidden in the current national food additives standards at present, while it was permitted in many foreign food additives standards. The safety of sulfite in Chinese domestic shrimp products was evaluated by the way of risk assessment and the sulfite limit in domestic and foreign standards of shrimp products were collected and compared. The possibility of damage to human health due to the ingestion of sulfite contaminated shrimp products was minimal based on the Chinese diet habits. It was suggested that the usage of sulfite should be extend to the shrimp products and the limit should be confirmed according to the international standards.

KEY WORDS: shrimp products; sulfite; safety limit; standard; risk assessment

1 评估背景

鲜虾及其制品因其低脂肪、高蛋白等特点, 深受消费者青睐, 已成为我国居民的一项重要的蛋白质来源, 同时

是我国最重要的出口水产品之一^[1,2]。然而, 由于虾类自身含有大量的酪氨酸和酚氧化酶, 鲜虾在捕获后的贮藏加工过程中会出现黑斑、黑变现象, 尤其是头、尾、附肢等部位^[3]。此外, 6~9月为我国虾类捕获的主要时期, 采捕季节

基金项目: “十二五”国家支撑计划项目(2012BAD29B06)、辽宁省食品安全重点实验室开放课题(LNSAKF2011029)

Fund: Supported by the National Key Technologies R&D Program of China during the 12th Five-Year Plan Period (2012BAD29B06) and the Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province Research Fund(LNSAKF2011029)

*通讯作者: 励建荣, 教授, 博导, 主要研究方向为水产品贮藏加工, 食品安全。E-mail: lijr6491@163.com

*Corresponding author: LI Jian-Rong, Professor, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Keji Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: lijr6491@163.com

时温度相对较高,而养殖地域与加工消费地域相对较远,往往会导致在运输过程中就造成鲜虾的不可逆黑变并伴随腐败,丧失食用价值并造成重大的经济损失。虾体黑变和腐败成为影响虾类养殖加工产业的主要技术难题,保持虾的鲜度和色泽成为虾类流通中的关键技术环节。虽然目前市场上出现各种虾类保鲜剂,但从效果和经济适用的角度来看,生产上通用的做法仍然是在虾捕捞后添加水产品保鲜剂——亚硫酸盐^[4,5]。

亚硫酸盐是一类常用的食品添加剂,长期以来被普遍认为是一类安全性较高的添加剂,从1959年美国FDA将其定为公认安全物质起,被广泛用于食品工业^[6]。亚硫酸盐能够阻断巯基和氨基形成薛夫碱,从而能抑制非酶褐变;另外,二氧化硫也能抑制氧化酶的活性,从而抑制酶促褐变。因此,亚硫酸盐的使用能够有效抑制虾的黑变,起到良好的保鲜效果^[7]。然而近年来发现,部分消费者(尤其是哮喘病患者)在食用了含有亚硫酸盐的水产品后产生了过敏现象,引发了呼吸困难、腹泻、呕吐等症状。有报道指出若人体摄入过多亚硫酸盐对脏器也有损害作用^[8-11]。目前我国对于亚硫酸盐的使用范围和安全限量的规定比较混乱,以至于生产者在生产过程中难以规范使用亚硫酸盐,使得我国虾类产品在销售和出口时经常检出二氧化硫残留量超标问题。

风险评估作为一种食品安全评估的新手段,在国内逐渐被重视,在食品安全领域尤其是微生物和重金属污染等方面已经取得了一些成效^[12-14],然而将这种科学体系应用于水产品中添加剂的安全性评价的研究报道仍较少。本文按照风险评估的步骤,依次从危害识别、危害描述、暴露评估、风险描述等方面对虾类产品中亚硫酸盐的危害、残留水平及食用风险进行了分析,旨在提高人们对虾类产品中亚硫酸盐的认识,同时也为水产品中亚硫酸盐限量标准的修订提供理论依据。

2 危害识别

2.1 亚硫酸盐的理化性质

亚硫酸盐是一种含氧酸盐,其酸根为亚硫酸根(SO_3^{2-}),其酸酐为二氧化硫(SO_2)。亚硫酸盐均可溶于水,是食品工业广泛使用的漂白剂、防腐剂和抗氧化剂^[5,15],通常指二氧化硫及能够产生二氧化硫的无机性亚硫酸盐,包括二氧化硫(SO_2)、亚硫酸(H_2SO_3)、亚硫酸盐(如 Na_2SO_3)、亚硫酸氢盐(如 NaHSO_3)、焦亚硫酸盐(如 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)、低亚硫酸盐(如 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)^[16]。二氧化硫常温下为气态,易溶于水,因其pH值不同,游离态的含量各异,pH值为1时约86%为游离态 SO_2 ,当pH值为4时95%二氧化硫转变成亚硫酸。亚硫酸盐容易与多种食品成分产生反应而形成各种亚硫酸盐的有机化合物:①能够将氨基酸、蛋白质中二硫键还原成巯基;②与包括维生素 B_1 、C、K在内的多种维生素反应,且维

生素 B_1 与亚硫酸盐的反应为不可逆的强亲核反应,维生素 B_1 分子裂解成其他产物而降低食品的营养价值^[17],但尚未发现亚硫酸盐的食用能影响食物其他维生素吸收或者降低人体内维生素含量的情况;③通过与不饱和脂肪酸的双键反应从而诱导不饱和脂肪酸的氧化^[18];④亚硫酸盐也极易与醛、酮类反应成烷基磺酸盐,这类产物相当稳定,不易分离,同时这也是亚硫酸盐用来防止酶促或非酶褐变的原因;⑤亚硫酸盐还可与核酸等物质作用,其中有些反应被认为是引起亚硫酸盐使细胞产生变异的原因^[19]。

2.2 亚硫酸盐的毒理作用

目前对于二氧化硫的毒理学机制尚不完全清楚,但是 SO_2 通过产生各种自由基引起组织氧化损伤被认为是其中的一种主要机制。当机体摄入 SO_2 以后,与体液形成亚硫酸盐和亚硫酸氢盐,亚硫酸盐极易通过电子氧化作用形成三氧化硫阴离子自由基($\text{SO}_3^{2-\cdot}$),而亚硫酸氢盐则可与氧迅速反应生成过氧自由基($\text{O}_2^{\cdot-}$),其中未被灭活的自由基可攻击生物膜上的多不饱和脂肪酸,从而进一步激发自由基连锁反应,产生的有机过氧化物可攻击DNA、RNA及酶蛋白,引起基因突变和酶活性丧失,细胞代谢紊乱^[20]。同时, SO_2 还能降低抗氧化物酶(超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等)的活性,减少非酶抗氧化物谷胱甘肽(GSH)水平,从而加剧过氧化自由基对组织的损伤^[10]。

2.3 亚硫酸盐的体内代谢

机体内各种含硫氨基酸包括蛋氨酸、半胱氨酸在内的代谢均能产生亚硫酸盐,环境气体中的二氧化硫也可经过呼吸系统进入体内,含硫药物在生物体内代谢转化过程中,也可生成亚硫酸盐。因此人体内维持的一定亚硫酸盐含量,使得人体可以耐受住一定浓度的亚硫酸盐。随饮食进入人体内的亚硫酸盐和亚硫酸氢盐,加上人体内本身的亚硫酸盐需要经过进一步的代谢才能转化成对人体无害的硫酸盐^[21]。人体内的亚硫酸盐氧化酶可以对亚硫酸盐进行氧化,生成的无毒性的硫酸盐可通过尿液排出体外,同时也可参与机体硫酸酯和含硫酸盐大分子的合成。人体内不同脏器的亚硫酸盐氧化酶活性均不相同,一般来说,在肝脏、肾脏、心脏中的活性较高,大脑、脾脏、肺脏中活性相对较低^[8]。

3 危害描述

3.1 亚硫酸盐对人体的危害

低浓度无害:亚硫酸盐在人体机体代谢成硫酸盐后从尿液中排出,而不会产生明显的病理效果。人体在摄取少量(1 g/d)焦亚硫酸钠(以 SO_2 计)后,在体内迅速氧化为硫酸盐,不会引起生理障碍^[22]。

过量的危害:人类食用过量的亚硫酸盐会导致头痛、恶心、晕眩、气喘等过敏反应。有研究表明,人体摄取4~6 g/d亚硫酸盐后,会引起剧烈的胃肠障碍,造成严重腹

泻^[23]。长期使用可引发头痛, 产生的 SO₂ 与血中硫胺素结合会导致肝、脑、脾等脏器病变, 此外, SO₂ 对呼吸道有刺激作用, 引发黏膜炎症、水肿且能破坏红细胞等^[24]。由于哮喘者肺部不具有代谢亚硫酸盐的能力, 因此对亚硫酸盐更是格外敏感^[25,26]。

3.2 亚硫酸盐的毒性

3.2.1 对脏器的损伤

孟紫强在研究亚硫酸盐毒性时发现, 对小鼠软骨、肋骨、脑组织及内脏系统检查未发现畸形变化^[27], 但一定浓度 SO₂ 暴露可能影响或促进人和动物多种器官的某些疾病的发生或加重^[28]。在连续让小鼠吸入高浓度的 SO₂ 时并未观察到 SO₂ 对动物体重增长有负面效应^[29], 但在研究 SO₂ 对小鼠不同组织器官的氧化损伤作用时发现, SO₂ 对不同脏器均存在不同的氧化损伤, 且在不同器官上存在差异, 尤其以脑、心、肝、肺更为严重^[30]。

3.2.2 致癌性

国际癌症研究机构(IARC)将亚硫酸钠的毒性划分为轻微毒性, 致癌作用不显著。对大鼠的慢性毒理实验表明, 最大无作用剂量为 72 mg/(kg·d)(以 SO₂ 计)。FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会用 100 倍的安全系数测得人的 ADI 值为 0.7 mg/(kg·d)^[24]。

3.2.3 生殖发育毒性

小鼠胚胎毒性实验表明亚硫酸钠对孕鼠体重影响较大, 对胎鼠的发育有影响, 然而对胚胎存活率没有影

响^[31,32]。亚硫酸盐和 SO₂ 一样, 都可降低辜丸内谷胱甘肽(GSH)含量和谷胱甘肽转移酶(GST)活力, 从而造成脂质过氧化损伤及精细胞 DNA 损害, 具有生殖毒性^[33]。动物实验表明, 长期食用含有亚硫酸盐的食物, 会出现神经发炎、骨髓萎缩等不良症状^[17]。

4 暴露评估

4.1 暴露途径

养殖水体中亚硫酸盐含量较低, 且亚硫酸盐在活体内代谢迅速, 因此虾体本身亚硫酸盐含量极少。虾产品中亚硫酸盐主要来源是人为添加, 尽管目前用于抑制虾类褐变的保鲜剂种类繁多, 但目前虾捕捞行业中应用较多的仍然是喷洒或者浸泡亚硫酸盐保鲜剂。人体食用含有较多硫酸盐或一定量亚硫酸盐的加工产品, 在体液中易形成它的衍生物亚硫酸盐和亚硫酸氢盐(二者在中性溶液中的摩尔比约为 3: 1), 并通过血液循环分布全身^[34]。

4.2 暴露水平

4.2.1 虾及其制品中亚硫酸盐残留状况

目前, 亚硫酸盐在水产品贮藏方面尤其是在海捕虾保鲜处理中应用十分广泛^[22,35], 在用亚硫酸盐处理鲜虾时主要存在喷洒不均匀, 浸泡浓度过高的现象, 从而造成虾产品中二氧化硫残留量较高^[17]。表 1 列举了近十年来国内虾及其制品中亚硫酸盐残留量情况, 从表 1 中可以看出,

表 1 近年来我国虾类产品中亚硫酸盐(以 SO₂ 残留量计)的残留情况
Table 1 The contents of sulfur dioxide in shrimp products in China

年份	地点	品种	合格率	最高残留量(mg/kg)	参考文献
2003~2004	浙江	冻虾仁	71.4%	-	[36]
2006	烟台	日本冻虾	-	181.7	[37]
2006	宁波	腌制生食动物性水产品	77.14%	-	[38]
2005			80.3%	452	
2006	浙江	海捕虾	85.0%	212	[39]
2007			93.5%	135	
2006~2009	上海	虾仁	60%	-	[40]
2009	无锡	虾仁	-	70	[41]
2009	宁波	主要为海捕虾	14 批次不合格	-	[42]
2010	温岭	虾仁	68.6%	1180	[43]
2011	宁波	冷冻带头白虾	-	134/147(两批次)	[9]
2011	上海	南美白对虾	71.4%	144.67	[44]
2012	青岛	鲜活虾、冷冻虾及虾仁	93.0%	255.44	[15]

所有的抽样检测中,亚硫酸盐含量(以 SO_2 残留量计)大部分存在超标(标准不一但合格率大部分没到 100%),在检测出来的虾样品中,二氧化硫最高残留量甚至高于 1000 mg/kg,远远超过了联合国粮农组织给出虾肉终产品的安全限量 100 mg/kg,给食品安全埋下了很大的隐患。

4.2.2 人群中亚硫酸盐的可能摄入量

根据世界粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)规定,人体对亚硫酸盐(以 SO_2 计)的无毒性剂量(ADI)值为 0.7 mg/(kg·d),则最大暂定周摄入量(PTWI)为 4.9 mg/kg。若以成年人平均体重为 60 kg 进行计算,则每天最大摄入量为 42 mg,每周最大摄入量为 294 mg。孙炜琳等^[45]的统计结果表明,到 2011 年,我国人均水产品年消费量城镇居民为 14.6 kg/人,农村居民为 5.4 kg/人,即我国水产品消费量最高的城市居民每日摄入量为 41.0 g/人,假定我国居民每日摄入的水产品全部为虾类,根据近年来我国虾制品亚硫酸盐的检测情况(表 1)中最高残留量(1180 mg/kg,实际检出量大部分远低于该值),对我国水产食品消费量最高的城市居民摄入量数据进行计算,得出食用虾类后人体亚硫酸盐的日最大理论摄入量(MDI): $\text{MDI}=41.0 \text{ g}/(\text{人}\cdot\text{天})\times 1 \text{ 人}\times 1 \text{ 天}\times 10^{-3}\times 1180 \text{ mg}/\text{kg}=48.4 \text{ mg}$,理论最大周摄入量(TMWI)= $\text{MDI}\times 7 \text{ d}=338.7 \text{ mg}$ 。由于每日摄入的水产品不可能全是虾类,假设每日摄入的水产品一半为虾类,则理论最大周摄入量(TMWI)为暂定周摄入量(PTWI)的 57.6%。对于处于内地的消费者来说,虾类食品占实际总膳食的小部分,故其理论最大周摄入量(TMWI)远低于规定的无毒性剂量。

5 风险描述

目前,食品科技工作者在虾类保鲜中致力于研发各种非亚硫酸盐保鲜剂方面取得了长足的进步^[46-48],这为改善膳食中亚硫酸盐的摄入减轻了很大压力。人体摄入的少量亚硫酸盐(低于 0.7 mg/(kg·d))在机体内代谢成硫酸盐后从尿液中排出,不会产生明显的病理效果。而根据暴露水平数据,以 FAO 对虾肉终产品中亚硫酸盐含量的规定(以 SO_2 残留量计,低于 100 mg/kg),以成人平均体重 60 kg 折算,可得出每天消费 0.42 kg(或每周消费 2.94 kg,年消费 149.52 kg,远高于 2011 年我国城镇居民水产品消费量)以下的虾类产品时,亚硫酸盐残留量不会超过 FAO 和 WHO 制定的周最大允许摄入量。另外,从目前我国国民的饮食习惯来看,根据 FAO 标准规定的虾类制品中亚硫酸盐限量对居民健康造成危害的可能性很小。

6 风险管理建议

我国在 2011 年修订的 GB 2760-2011《食品添加剂使用卫生标准》中没有对虾类产品或水产品中亚硫酸盐添

加量进行规定,根据食品添加剂的使用规定说明即不允许在此类食品中添加亚硫酸盐。水产行业标准 SC/T 3110-1996《冻虾仁》、SC/T 3120-2012《冻熟对虾》、SC/T 3114-2002《冻螯虾》和农业标准 NY/T 840-2012《绿色食品 虾》均与其保持一致。然而,在表 2 中可以看到,我国现行有效的水产行业标准 SC/T 3113-2002《冻虾》中表示虾类中可以添加亚硫酸盐食品添加剂,且规定其残留量(以 SO_2 计) $\leq 100 \text{ mg}/\text{kg}$,SC/T 3026-2006《冻虾仁加工技术规范》中显示海捕虾原料中二氧化硫残留量低于 100 mg/kg 即可;但冻虾仁成品中亚硫酸盐含量超过 10 mg/kg 时必须在标签中说明;地方标准 DB 44/T151-2003《冻南美白对虾》也允许海捕虾中使用亚硫酸盐,且残留量与水产行业标准一致。另外,中国水产流通与加工协会标准规定在熟冻对虾中亚硫酸盐残留量(以 SO_2 计) $\leq 30 \text{ mg}/\text{kg}$ 即可,地方标准 DB 44/T 394-2006《冻熟虾》也有类似的规定。这就造成了国内标准中能否在虾类产品使用亚硫酸盐作为添加剂以及其用量的冲突。在一些报道中,相关的监管部门指出产品的二氧化硫超标时,却并未指明参考的是哪个标准和残留量,对公众造成误解和恐慌。

而从国外标准对使用亚硫酸盐的规定中可以看出,大多数发达国家和地区均允许水产品尤其是虾类中使用亚硫酸盐。FAO 推荐在虾肉终产品中亚硫酸盐残留限量(以 SO_2 计) $\leq 100 \text{ mg}/\text{kg}$,欧盟在水产品中亚硫酸盐(以 SO_2 计)做出了广泛应用和更为细致的要求:在新鲜,冷冻以及煮熟的甲壳类和软体类动物中均可使用亚硫酸盐,但对于不同单位二氧化硫残留量有不同的限制(如表 2)。美国 FDA 和欧盟同时规定,食品中亚硫酸盐含量一旦超过 10 mg/kg,必须在标签上注明。国际食品法典委员会(CAC)在亚硫酸盐使用于冷冻虾中做出的限量规定:生制品可食性部分 $\leq 100 \text{ mg}/\text{kg}$,熟产品的可食性部分 $\leq 30 \text{ mg}/\text{kg}$,而其它水产品中并未做出明确规定。

因此,按照目前国内混乱的亚硫酸盐使用标准,难以对虾类产品生产做出有效指导。李小蕾等^[49]认为在《食品添加剂使用卫生标准》中应将亚硫酸盐的使用范围扩大,允许亚硫酸盐类作为虾蟹类的保鲜剂使用,这种看法值得考虑。综合考虑我国虾类捕捞养殖加工产业的实际国情和与国际标准接轨的情况,建议在 GB 2760 中扩大亚硫酸盐使用范围,允许其在虾类产品中使用,使用标准可参考 FAO 标准,即虾类生制品可食用部分 $\leq 100 \text{ mg}/\text{kg}$,熟制品可食用部分 $\leq 30 \text{ mg}/\text{kg}$ 。在规定限量标准的同时,建议规范使用方法,引导生产者科学、合理、合法使用,有效遏制亚硫酸盐的滥用现象,提高虾类产品食用安全,维护消费者权益。

表 2 国内外有关虾类产品中亚硫酸盐的限量标准
Table 2 Sulfite residue limits in aquatic products at home and abroad

地区/组织	标准规定对象	限量标准 (以二氧化硫计, mg/kg) “-”表示未涉及	
中国	GB 2760-2011《食品添加剂使用卫生标准》	虾蟹类	-
	GB 2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》	动物性水产品	-
	SC/T 3110-1996《冻虾仁》	冻虾仁	-
	SC/T 3120-2012《冻熟对虾》	冻熟对虾	-
	SC/T 3114-2002《冻螯虾》	冻螯虾	-
	SC/T 3026-2006《冻虾仁加工技术规范》	海捕虾原料	≤100
	SC/T 3113-2002《冻虾》	冻虾(海、河虾均适用)	≤100
	NY/T 840-2012《绿色食品 虾》	绿色食品虾(鲜活虾与冻虾)	-
	DB 44/T151-2003《冻南美白对虾》	南美白对虾	≤100
	DB 44/T 394-2006《冻熟虾》	冻熟虾	≤30
	联合国粮农组织 FAO	虾肉终产品	≤100
	食品法典委员会 CAC	冻虾	生制品(可食部分)≤100 熟制品(可食部分)≤30
	美国食品药品监督管理局 FDA	进口水产品	100
欧盟	新鲜的、冷冻的和深度冷冻的甲壳动物 和头足动物甲壳类, 对虾, 须虾:		
	a)80 个单位以下;		150
	b)80~120 个单位之间;		180
	c)超过 120 个单位;		300
	煮熟的甲壳类和海生软体动物:		
	a)80 个单位以下		135
	b)80~120 个单位		180
日本	c)120 个单位以上		270
	虾, 冷冻生鲜蟹(对肉而言)		≤100
	澳大利亚	虾肉终产品	≤100
韩国	进口海蟹		30
	其他		100
澳大利亚, 新西兰	虾肉最终产品		100
	熟制甲壳类制品		30
	生的甲壳动物		100

参考文献

[1] 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 农业部渔业局, 28–30.
China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau, 28–30.

[2] Solval KM, Espinoza Rodezno LA, Moncada M, *et al.* Evaluation of chitosan nanoparticles as a glazing material for cryogenically frozen shrimp [J]. Food Sci Technol, 2014, 1(57): 172–180.

[3] 黄万有, 吉宏武, 刘书成, 等. 凡纳滨对虾 PPO 的组织分布和活性与其贮藏过程中黑变的关系[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 89–94.
Huang WY, Ji HW, Liu SC, *et al.* Relation of tissue distribution and activity of polyphenol oxidase from *Litopenaeus vannamei* and its melanosis during storage [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(2): 89–94.

[4] Bonoa G, Badaluccoa CV, Cusumano S, *et al.* Toward shrimp without chemical additives: A combined freezing-MAP approach [J]. Food Sci Technol, 2012, 1(46): 274–279.

[5] 胡冬梅, 孙涛, 谢晶南. 美白对虾保鲜剂研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 365–368.
Hu DM, Sun T, Xie JN. Progress in the shrimp preservative [J]. Food Sci, 2011, 32(13): 365–368.

[6] 周德庆, 张双灵, 辛胜昌. 亚硫酸盐在食品加工中的作用及其应用[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 198–201.
Zhou DQ, Zhang SL, Xin SC. Review on the function and application of sulphite in food processing [J]. Food Sci, 2004, 25(12): 198–201.

[7] 谭乐义, 龚方, 林黎明, 等. 亚硫酸盐保鲜剂在对虾保鲜中的应用研究 [C]. 食品安全技术与标准国际研讨会暨 AOAC 中国区会议论文集,

- 2011, 104–108.
- Tan LY, Gong F, Lin LM, *et al.* Sulfite preservatives in shrimp preservation research [C]. International symposium on technology and food safety standards AOAC Chinese conference proceedings, 2011, 104–108.
- [8] 白剑英. 食品添加剂亚硫酸盐的研究进展[J]. 环境与职业医学, 2007, 24(4): 431–434.
- Bai JY. Progress in the research of sulfites as a food additive [J]. J Environ Occup Med, 2007, 24(4): 431–434.
- [9] 二氧化硫超标, 宁波口岸首次退运南美冷冻白虾[N]. 中国宁波网, 2011-04-19.
- The first rejection of the frozen white shrimp from South America for the sulfur dioxide out of limits [N]. <http://www.cnnb.com.cn>, 2011-4-19.
- [10] Clough SR. Encyclopedia of toxicology (The third edition) [M]. American, 2014: 341–343
- [11] Zhang JB, Zhang H, Wang HL, *et al.* Risk analysis of sulfites used as food additives in China [J]. Biomed Environ Sci, 2014, 2(27): 147–154.
- [12] Hosoya K, Nakayama M, Tomiyama D, *et al.* Risk analysis and rapid detection of the genus *Thermoascus*, food spoilage fungi [J]. Food Control, 2014, 41: 7–12.
- [13] 郭耀东, 陈璐, 袁亚宏, 等. 基于概率分析的玉米食品中黄曲霉毒素 B₁ 膳食暴露及风险评估[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 24–27.
- Guo YD, Chen L, Yuan YH, *et al.* Dietary exposure and risk assessment of aflatoxin b1 in corn-based foods in china using probabilistic approach [J]. Food Sci, 2013, 34(11): 24–27.
- [14] Taweel A, Shuhaimi-Othman M, Ahmad AK. Assessment of heavy metals in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from the langat river and engineering lake in bangi, malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2013, 93(1): 45–51.
- [15] 张瑞玲, 朱兰兰, 周德庆, 等. 虾及其冻品中亚硫酸盐检测方法的改进及含量分析[J]. 渔业现代化, 2012, 39(6): 66–70.
- Zhang RL, Zhu LL, Zhou DQ, *et al.* Improvement of sulfite determination and sulphite content analysis in shrimps and its frozen products [J]. Fish Mod, 2012, 39(6): 66–70.
- [16] 周玫. 亚硫酸盐的安全性[J]. 四川食品工业科技, 1996, 3: 59–60.
- Zhou M. The safety of Sulfite application [J]. Sichuan Sci Technol Food Ind, 1996, 3: 59–60.
- [17] 朱春红. 亚硫酸盐在食品加工中的作用与危害[J]. 技术与市场, 2012, 19(3): 95–96.
- Zhu CH. The function and hazards of sulfite in food process [J]. Technol Market, 2012, 19(3): 95–96.
- [18] 凌关庭. 食品添加剂手册(第四版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- Ling GT. Handbook of food additives (The 4th edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013.
- [19] 孟紫强, 秦国华. 二氧化硫吸入致大鼠肺组织基因表达谱改变[J]. 中国公共卫生, 2006, 22(3): 274–276.
- Meng ZQ, Qin GH. Alteration of gene expression profiles in lungs of rats following shlfur dioxide inhalation [J]. Chin J Pub Health, 2006, 22(3): 274–276.
- [20] Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR. Food chemistry (the 4th edition) [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013.
- [21] Wang ZT, Jiang DG, Yang DJ, *et al.* Analysis of results of surveillance on use of food additives in china during 2003~2004 [J]. Chin J Food Hyg, 2006, 18(2): 99–103.
- [22] 吴燕燕, 李来好, 杨贤庆, 等. 亚硫酸盐在对虾保鲜加工中的残留变化[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2007, 25(1): 62–65.
- Wu YY, Li LH, Yang XQ, *et al.* Sulfite residue in prawn(*litopenaeus vannamei*) of preservation processing [J]. J Guangxi Norm Uni: Natu Sci Edit, 2007, 25(1): 62–65.
- [23] 王丽丽, 纪淑娟, 李顺. 食品中二氧化硫及亚硫酸盐的作用与检测方法[J]. 食品与药品, 2007, 9(02A): 64–67.
- Wang LL, Ji SJ, Li S. Progress on function and determination of sulfur dioxide and sulphite in foods [J]. Food Drug, 2007, 9(02A): 64–67.
- [24] 美国国家档案和登录管理局联邦注册处. 美国联邦管理法规 FDA 食品法规[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 20–23.
- The national archives and the federal register administration. The federal regulations FDA food laws and regulations [S]. Beijing: China Light Industry Press, 2003: 20–23.
- [25] Lester MR. Sulfite sensitivity: significance in human health [J]. J Am Coll Nutr, 2013, 14(3): 229–232.
- [26] Simon RA. Update on sulfite sensitivity [J]. Allergy, 1998, 53(s46): 78–79.
- [27] 孟紫强, 张海飞. 二氧化硫衍生物对大鼠离体主动脉环收缩影响[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(12): 1412–1414.
- Meng ZQ, Zhang HF. Effects of SO₂ derivatives on isolated thoracic aorta rings in rats [J]. Chin J Public Heath, 2005, 21(12): 1412–1414.
- [28] 孟紫强. 氧化应激效应与 SO₂ 全身性毒作用研究[J]. 中国公共卫生, 2003, 9(12): 1422–1424.
- Meng ZQ. Oxidation stress effects of SO₂ and its systemic toxin [J]. Chin J Public Heath, 2003, 9(12): 1422–1424.
- [29] 孟紫强, 白巨利. 二氧化硫对大鼠肺泡巨噬细胞 DNA 的损伤作用[J]. 环境科学学报, 2003, 23(6): 285–287.
- Meng ZQ, Bai JL. Damage effects of sulfur dioxide inhalation on DNA damages in alveolar macrophages from male rats [J]. J Environ Sci, 2003, 23(6): 285–287.
- [30] 解静芳, 孟紫强. 二氧化硫衍生物对小鼠心、肝、肺蛋白质的氧化损伤作用[J]. 环境科学学报, 2006, 26(7): 1175–1179.
- Xie JF, Meng ZQ. Oxidative damage of sulfur dioxide derivatives on hearts, livers and lungs of mice [J]. J Environ Sci, 2006, 26(7): 1175–1179.
- [31] 沈明浩, 任大勇, 权伍荣. 漂白剂亚硫酸钠对小鼠生殖毒性的影响[J]. 环境与职业医学, 2007, 24(2): 26–30.
- Shen MH, Ren DY, Quan WR. Research on mice reproductive toxicity of sodium sulfite [J]. J Environ Occup Med, 2007, 24(2): 26–30.
- [32] 党卫红, 任平国. 亚硫酸盐生殖毒性研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(4): 373–375.
- Dang WH, Ren PG. Study on reproduction toxicity of sulfite in food additive [J]. Mod Food Sci Technol, 2009, 25(4): 373–375.
- [33] Lester MR. Sulfite sensitivity: significance in human health [J]. J Am Coll Nutr, 1995, 14(3): 229–232.
- [34] Qin GH, Wang JX, Huo YJ, *et al.* Sulfur dioxide inhalation stimulated mitochondrial biogenesis in rat brains [J]. Toxicol, 2012, 300(1-2): 67–74.
- [35] 卓华龙, 柳海, 申屠基康. 海捕虾保鲜效果的比较[J]. 中国食品卫生杂志, 2007, 19(3): 228–233.
- Zhuo HL, Liu H, Shentu JK. Comparison of effect of 4 freshness-preserving agents and 3 methods of application on preservation

- of sea prawn [J]. Chin J Food Hyg, 2007, 19(3): 228–233.
- [36] 2009 年宁波市食品安全报告[R]. 宁波市食品药品监督管理局, 2010.
- Ningbo food safety report in 2009 [R]. Ningbo food and drug administration, 2010.
- [37] 二氧化硫超标日本冻虾被退[N]. 食品商务网, 2006-04-18.
- The Japanese frozen shrimp was set back for the sulfur dioxide out of limits [N]. The food business, 2006-04-18.
- [38] 陈建军, 林少春. 瓶装腌制生食动物性水产品卫生状况调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(6): 722–723.
- Chen JJ, Lin SC. Bottled and marinated raw animal health survey of aquatic products [J]. Chin J Health Lab Technol, 2006, 16(6): 722–723.
- [39] 郭颖燕. 海捕虾二氧化硫和氯霉素残留量检测结果分析[J]. 中国卫生检测杂志, 2008, 14(6): 2422–2425.
- Guo YY. The residue result analysis of Sea shrimp sulfur dioxide and chloramphenicol [J]. Chin J Health Lab Technol, 2008, 14(6): 2422–2425.
- [40] 徐斌. 2005-2009 年椒江区主要食品监测分析[J]. 上海预防医学杂志, 2010, 2(10): 538–539.
- Xu B. Food monitoring and analysis in Jiaojiang district of shanghai in 2005-2009 [J]. Shanghai J Prev Med, 2010, 2(10): 538–539.
- [41] 超市冻虾仁二氧化硫超标被没收罚款 2 万元[N]. 无锡商报, 2009-11-15.
- Supermarket was fined 20000 yuan for excess sulfur dioxide on frozen shrimps [N]. Wuxi business, 2009-11-15.
- [42] 胡伟松. 宁波市江东区腌制、干制生食水产品抽检结果分析[J]. 海峡预防医学杂志, 2007, 13(5): 13–15.
- Hu WS. The sampling observation results of Salted and dried aquatic products in Jiangdong district of Ningbo [J]. Strait J Prev Med, 2007, 13(5): 13–15.
- [43] 沈仁富, 沈鑫钿, 江夏明. 温岭市虾仁中二氧化硫污染状况分析[J]. 中国公共卫生管理, 2011, 27(6): 687.
- Shen RF, Shen XT, Jiang XM. The sulfite pollution analysis of shrimps in Wenling [J]. Chin Public Health Manage, 2011, 27(6): 687.
- [44] 李小蕾. 上海市克氏原螯虾中亚硫酸盐及其他部分危害因素的安全性评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Li XL. The safety evaluation of sulfite and other harzard factors in Procambarus clarkia in shanghai [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [45] 孙炜琳, 刘佩. 近十年来我国水产品供求变化及趋势分析[N]. 中国农业科学研究院, 2013-12-19.
- Sun WL, Liu P. The changes of supply and demand on Chinese aquatic product and the trend analysis in past decade[N]. Chinese Academy of Agricultural Science, 2013-12-19.
- [46] Nirmal NP, Benjakul S. Effect of catechin and ferulic acid on melanosis and quality of Pacific white shrimp subjected to prior freeze-thawing during refrigerated storage [J]. Food Control, 2010, 21: 1263–1271.
- [47] 青岛安芙兰生物科技有限公司. 一种天然南极磷虾保鲜剂 103040074A [P]. 2013.
- Qingdao Amphora Group Consists of Qingdao Amphora Trading Co.,Ltd. A natural antarctic krill antistaling agent 103040074A [P]. 2013.
- [48] Wu SJ. Effect of chitosan-based edible coating on preservation of white shrimp during partially frozen storage [J]. Int J Bio Macromol, 2014, 65: 325–328.
- [49] 李小蕾, 蔡友琼, 钱蓓蕾. 亚硫酸盐用于虾蟹类保鲜剂的限量探讨[J]. 中国渔业质量与标准, 2012, 2(1): 27–33.
- Li XL, Cai YQ, Qian BL. Investigation on standard of sulfite used in crabs and shrimps [J]. Chin Fish Qual Stand, 2012, 2(1): 27–33.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



励建荣, 教授, 博导, 主要研究方向
为水产品贮藏加工, 食品安全。
E-mail: lijr6491@163.com