

次氯酸钠消毒剂对猪黄喉中氨基脒生成量的影响

杨春梅*, 曾议霆, 吴宇, 李兴玉

(成都产品质量检验研究院有限责任公司, 成都 610000)

摘要: **目的** 研究不同浸泡条件下次氯酸钠消毒剂对猪黄喉中氨基脒生成量的影响。**方法** 在不同有效氯质量浓度、浸泡时间、浸泡 pH、浸泡温度下处理黄喉, 样品经甲醇+水(1:1, V:V)洗涤后在酸性条件下经邻硝基苯甲醛衍生, 再利用静电场轨道阱超高分辨质谱仪进行定性, 采用高效液相色谱质谱联用仪结合同位素内标法定量。**结果** 随着有效氯质量浓度(0.005%~0.2%)的增加, 猪黄喉中氨基脒生成量呈直线增加; 且随浸泡时间增加(24 h 内)、pH 增大、温度增高, 均会导致氨基脒含量增加。**结论** 经次氯酸钠消毒剂处理后, 猪黄喉中会产生一定量的氨基脒, 且产生的氨基脒以结合态的形式存在于猪黄喉中。

关键词: 次氯酸钠; 猪黄喉; 氨基脒; 浸泡条件

Effect of sodium hypochlorite disinfectant on the production of semicarbazone in pig aorta

YANG Chun-Mei*, ZENG Yi-Ting, WU Yu, LI Xing-Yu

(Chengdu Institute of Product Quality Inspection Co., Ltd, Chengdu 610000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of sodium hypochlorite disinfectant on the production of semicarbazide in pig aorta under different soaking conditions. **Methods** The pig aorta was treated at different effective chlorine mass concentrations, soaking time, soaking pH, and soaking temperature. The samples were washed with methanol and water (1:1, V:V) and then derivatized with o-nitrobenzaldehyde under acidic condition. The qualitative analysis using an electrostatic field orbital trap ultra-high resolution mass spectrometer was performed, and the quantitative analysis using a high performance liquid chromatography-mass spectrometer coupled with an isotope internal standard method was performed. **Results** With the increase of the mass concentration of available chlorine (0.005%–0.2%), the production of semicarbazone in pig aorta increased linearly. Besides, with the increase of soaking time (within 24 h), pH and temperature, the content of semicarbazone will be increased. **Conclusion** After sodium hypochlorite disinfectant treatment, a certain amount of semicarbazone can be produced in pig aorta, and the semicarbazone produced exists in the form of binding state in pig aorta.

KEY WORDS: sodium hypochlorite; pig aorta; semicarbazide; soaking condition

基金项目: 四川省市场监督管理局科技项目(SCSJ2020010)

Fund: Supported by the Science and Technology Foundation of Sichuan Market Supervision Administration (SCSJ2020010)

*通信作者: 杨春梅, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: 157579074@qq.com

*Corresponding author: YANG Chun-Mei, Master, Senior Engineer, Chengdu Institute of Product Quality Inspection Co., Ltd, Chengdu 610000, China. E-mail: 157579074@qq.com

0 引言

氨基脒(semicarbazide, SEM), 又名氨基甲酰肼, 具有致突变和致癌作用^[1]。一直以来, 氨基脒被认为是硝基呋喃类抗生素呋喃西林的特征性代谢产物, 常作为监测食品中非法使用呋喃西林的残留标志物^[2]。然而, 通过近年来的研究发现, 在没有使用过呋喃西林的动物食品甚至是非动物源性食品中也发现了 SEM, 这显然不是来源于呋喃西林代谢物^[3]。关于来源分析, 除了呋喃西林原药在动物体内代谢会产生 SEM 外, 甲壳类水产品中的 SEM 已成为一种内源性物质存在于甲壳类水产品中^[4-5], 此外, 面粉增筋剂偶氮甲酰胺的高温热解也会引入 SEM^[6], 尤其是在食品加工过程中使用的次氯酸钠等消毒剂, 造成了严重的 SEM 产生^[7-8]。近年来研究比较多的有甲壳类水产品^[9-11]、蜂蛹^[12]、鸡肉^[13-14]等, 而畜产品, 特别是黄喉中 SEM 来源研究, 目前并没有查到相关文献。

黄喉是川渝火锅中一种比较受欢迎的食物, 来自于猪、牛等家畜的大血管^[15], 其主要成分是平滑肌, 含有丰富的蛋白质。依据农业部公告第 560 号的规定, 呋喃西林为禁用兽药, 其代谢物 SEM 不得检出。但在日常检测中已多次检出黄喉中的 SEM 含量超标, 检测值多在 2.0~30.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间, 而在猪的其他组织猪肉及其副产物中却较少检出氨基脒, 考虑到市场在售的猪黄喉多为水发加工

后的产品, 在加工过程中可能由于使用次氯酸钠消毒剂与猪黄喉作用而生成氨基脒。关于次氯酸钠处理产生 SEM 的机理, 有研究表明, 精氨酸和组氨酸在次氯酸钠作用下可以通过降解反应直接生成或进一步生成 SEM^[16], 带酰胺基团的氨基酸与次氯酸钠生成异氰酸盐, 次氯酸钠与精氨酸游离出来的氨生成氯胺, 氯胺与氨再生成联氨, 联氨与异氰酸盐生成 SEM。次氯酸钠处理动物组织形成 SEM 的可能反应途径见图 1。

为了系统地分析次氯酸钠消毒剂是否对猪黄喉中的 SEM 含量存在影响, 本研究特选取猪黄喉为研究对象, 采用浸泡的方式分别从次氯酸钠的有效氯浓度、浸泡时间、浸泡 pH、浸泡温度等方面进行了研究, 分析消毒剂是否对氨基脒生成量存在影响, 以期为畜产品质量安全监管提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

6495B 型高效液相色谱质谱联用仪(美国安捷伦公司); Orbitrap Exploris 120 静电场轨道阱超高分辨质谱仪(美国赛默飞公司); SHA-C 水浴恒温振荡器(金坛市环宇科学仪器厂); Multifuge X3R 高速冷冻离心机[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; 12 孔涡旋混合振荡器(德国 Heidolph 公司); 34 位氮吹仪(美国 Organomation 公司)。

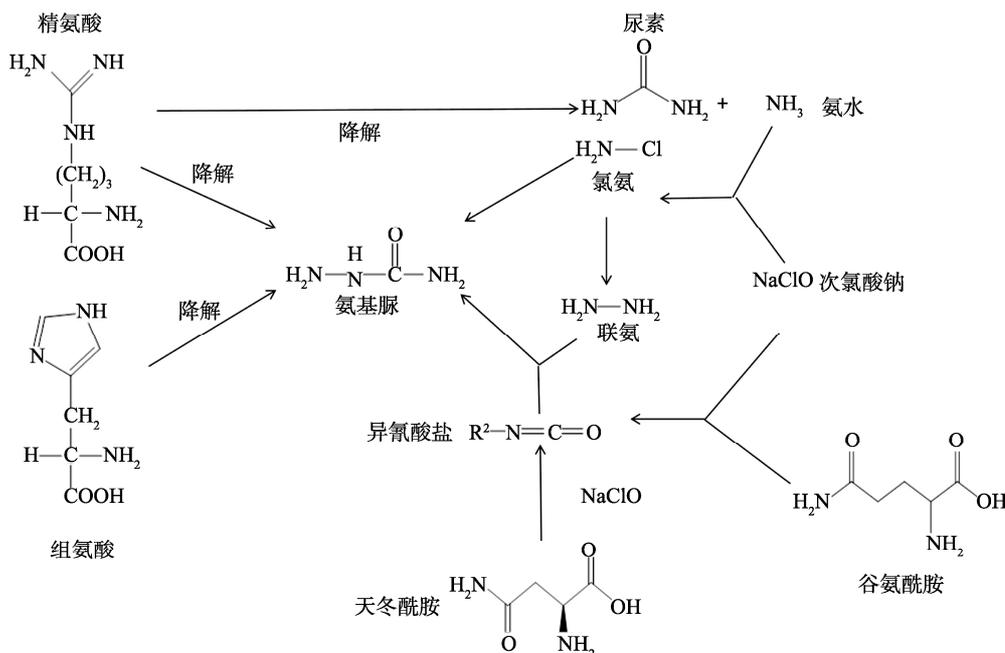


图 1 氨基酸为前体形成氨基脒(SEM)的可能反应途径

Fig.1 Amino acids as precursors to the formation of semicarbazone (SEM) possible reaction pathways

氨基脲对照品(纯度 99.8%, 美国 Dr.Ehrenstorfer GmbH 公司); 氨基脲内标(纯度 99.0%, 美国 WITEGA laboratorien Berlin-Adlershof GmbH 公司); 甲醇、乙腈(色谱纯)、乙酸铵、甲酸(质谱级)(美国 Fisher 公司); 乙酸乙酯(分析纯)、次氯酸钠(有效氯质量浓度为 10%)(成都金山化学试剂有限公司); 正己烷(分析纯, 天津市瑞金特化学品有限公司); 磷酸氢二钾、二甲亚砷、氢氧化钠(分析纯, 成都市科龙化工试剂厂); 盐酸(分析纯, 四川西陇科学有限公司); 邻硝基苯甲醛(纯度 99%, 成都贝斯特试剂有限公司)。

样品来源: 从成都市当地超市抽检的猪黄喉。

1.2 方法

1.2.1 次氯酸钠溶液浸泡处理

称取约 1.0 g 猪黄喉样品到 50 mL 离心管中, 分别加入不同浓度的次氯酸钠溶液 3.0 mL, 漩涡振荡 1 min, 以样品完全浸泡为准, 置于水浴恒温振荡器上, 于不同条件下振荡反应。每个条件下的样品均做 3 个平行, 同时用纯水代替次氯酸钠, 对猪黄喉做同样处理, 以此为对照实验。

浸泡结束后, 加 20 mL 的甲醇+水(1:1, V:V), 漩涡振荡 5 min, 离心, 除去上清液, 再加 20 mL 的甲醇+水(1:1, V:V), 重复洗涤一次样品, 以除去样品中的次氯酸钠。

1.2.2 衍生、提取和净化

样品的洗涤、水解和衍生参考 GB/T 21311—2007《动物源性食品中硝基咪唑类药物代谢物残留量检测方法 高效液相串联质谱法》, 提取、净化和标准曲线配制过程参考农业部 781 号公告-4-2006《动物源食品中硝基咪唑类代谢物残留量的测定 高效液相色谱-串联质谱法》。

1.3 液相色谱-串联质谱条件

1.3.1 色谱条件

色谱柱: Poroshell 120 EC-C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 2.7 μm); 柱温: 30 °C; 流速: 0.3 mL/min; 进样量: 5 μL; 流动相: A 为 0.1%甲酸(含 0.5 mmol/L 的乙酸铵)溶液, B 为乙腈。流动相及洗脱条件见表 1。

1.3.2 质谱条件

质谱条件: 扫描方式为电喷雾电离正离子模式(ESI+); 检测方式为多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM);

毛细管电压: 3000 V; 喷嘴电压: 1500 V; 监测条件见表 2。

表 1 流动相和梯度洗脱条件
Table 1 Mobile phase and gradient elution conditions

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0	90	10
3	60	40
4.5	10	90
6	90	10
8	90	10

2 结果与分析

2.1 定性测定

为排除假阳性样品, 实验用静电场轨道阱超高分辨质谱仪对阳性样品及 SEM 标准品定性, 扫描方式: FullMS-ddMS₂; 扫描范围: 100-300 m/z; 一级全扫描分辨率: 120000(FWHM); 数据依赖二级扫描分辨率 60000(FWHM)。一级全扫描提取离子图见图 2, 一级质荷比偏差见图 3, 二级碎片离子与普库对比图见图 4。结果显示, 样品与标准品出峰时间一致, 均在 3.54 min 出峰, 一级质荷比偏差 0.6897 ppm, 二级碎片离子偏差均小于 10 ppm, 证明经次氯酸钠浸泡后的样品中含有 SEM。

2.2 方法学验证

采用标准添加法进行定量限和检出限验证, 以信噪比 S/N > 3 为方法的检出限, 信噪比 S/N > 10 为方法的定量限。参考农业部 781 号公告-4-2006 标准的检出限 0.25 μg/kg 和定量限 0.5 μg/kg, 以 0.25 μg/kg 的水平添加时, 信噪比 S/N 为 27.3, 以 0.5 μg/kg 的水平添加时, 信噪比 S/N 为 36.8, 可以满足定量要求。

以定量限为基础, 添加 0.5、1.0、5.0 μg/kg 3 个水平, 考察回收率和精密度, 每个添加水平做 6 个平行, 取平均值, 结果见表 3。该方法的平均回收率为 96.4%~102.8%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)小于 5%, 表明该方法准确可靠。

表 2 多反应监测(MRM)条件
Table 2 Multiple reaction monitoring (MRM) conditions

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	驻留时间/s	碰撞能量/V	碰撞池加速电压/V
SEM	209.1	166.0*	0.08	8	5
SEM	209.1	134.1	0.08	8	5
¹³ C ¹⁵ N-SEM	212.1	168.1	0.08	8	5

注: 带*的离子为定量离子。

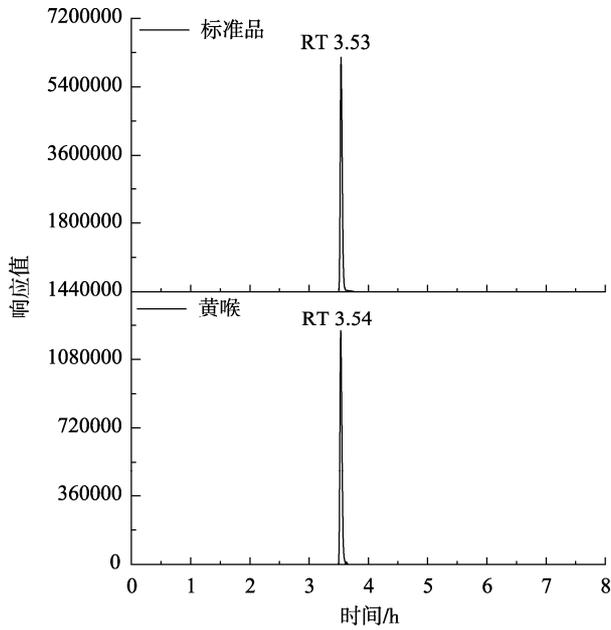


图 2 一级全扫提取离子流色谱图

Fig.2 One-stage full sweep extraction of ion flow chromatogram

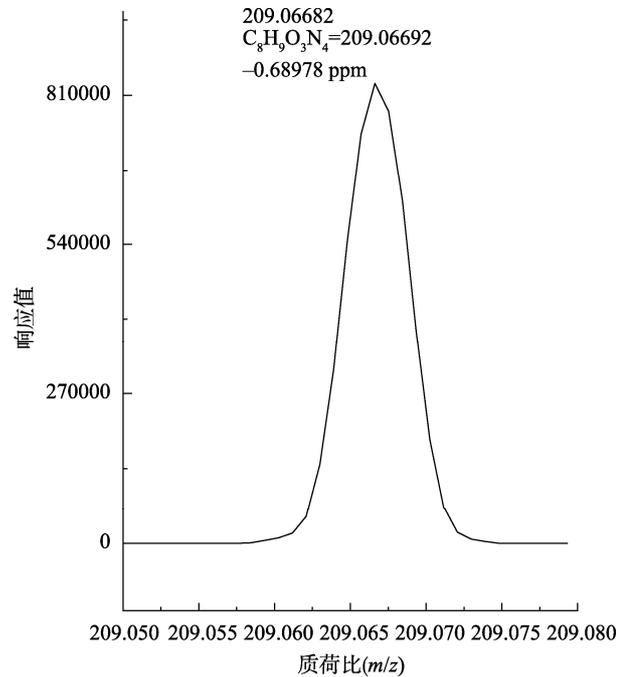


图 3 一级质荷比偏差

Fig.3 First order mass-charge ratio deviation

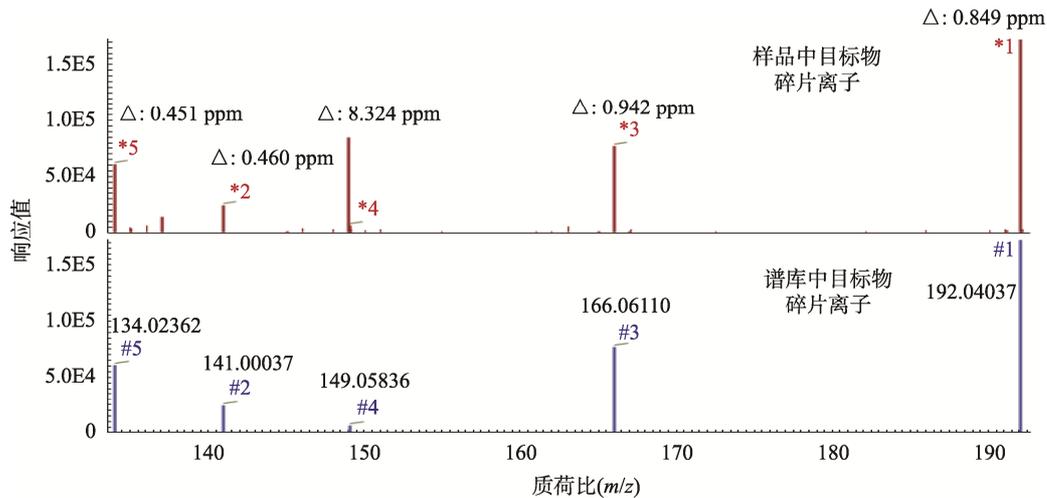


图 4 二级碎片离子与谱库对比图

Fig.4 Comparison of secondary debris ions with Database

表 3 不同添加水平下的回收率和精密度($n=6$)
Table 3 Recovery rate and precision at different adding levels($n=6$)

添加水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	回收率/%	精密度 RSD/%
0.5	102.8	4.1
1.0	96.4	3.7
5.0	97.1	2.9

2.3 有效氯质量浓度对猪黄喉中 SEM 产生量的影响

次氯酸钠作为消毒液在食品加工中使用广泛,当用于手和手套的消毒时质量浓度一般在 50~100 mg/L,当用于生产工具和设备消毒时质量浓度一般在 200~500 mg/L。本研究设置 0.005%、0.01%、0.02%、0.05%、0.1%、0.2% 6 个有效氯浓度,在 25 °C 恒定条件下,浸泡 1.5 h 后测定 SEM。检测结果如图 5 所示,从图 5 可以看出,经不同浓度的次氯酸钠处理后的猪黄喉中均有一定程度的 SEM 产

生,且在有效氯质量浓度为 0.005%时就有少量的 SEM 产生。SEM 含量随着有效氯质量浓度增大呈快速增长趋势,在有效氯质量浓度为 0.005%~0.2%的范围内呈现出良好的线性关系,相关系数为 0.99693。

如果严格按照要求去配制次氯酸钠溶液进行消毒,处理后并未清洗,长期接触后,可能产生 SEM 0.4~20 $\mu\text{g}/\text{kg}$,该数值范围与我们日常抽检样品检测结果(2.0~30.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$)比较接近。如果实际生产过程中企业操作人员仅凭经验和习惯大概配制,有可能使实际使用的次氯酸钠溶液的浓度更高,产生更多 SEM。

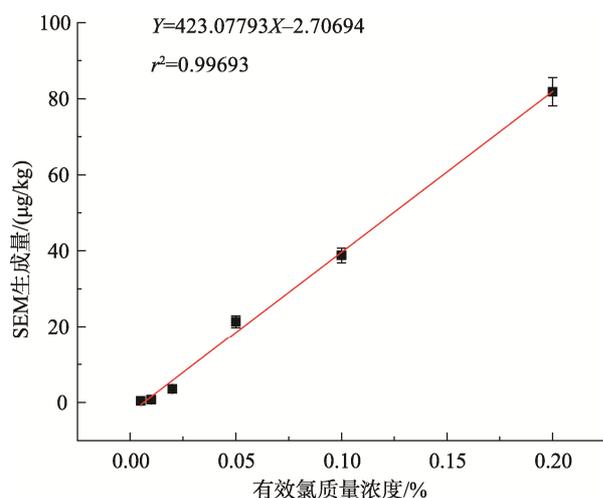


图 5 浸泡浓度对 SEM 产生量的影响($n=3$)

Fig.5 Effect of immersion concentration on the production of SEM($n=3$)

2.4 浸泡时间对猪黄喉中 SEM 产生量的影响

本研究考察了浸泡时间对猪黄喉中 SEM 生成量的影响,在 25 $^{\circ}\text{C}$ 时,分别在有效氯质量浓度为 0.05%、0.1%、0.2%条件下浸泡 1、3、6、24 h。测定结果见图 6。从图 6 可以看出,浸泡 1 h 后,有效氯质量浓度从 0.05%到 0.2%就有由低到高不同程度的 SEM 产生,随着时间的延长,SEM 生成量也逐渐增加,分别从浸泡 1 h 的 10.7、25.0、74.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$,增加到 24 h 的 224.2、449.4、651.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。但浸泡从 1 h 到 3 h 时,SEM 生成量增加不明显,增加最多的为在 0.2%的有效氯质量浓度下浸泡后,但最多的只增加了 5.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。3 h 后,SEM 增加量明显提高,3~6 h 不同浓度下浸泡后 SEM 生成量均增加了 2 倍多;到 24 h 时,0.05%到 0.2%增加的相对量逐渐降低,SEM 生成量的增加量从 4 倍到 1 倍。这是由于随着浸泡时间增加,有效氯质量浓度慢慢降低,而次氯酸钠浓度越高越容易分解^[17],导致新产生的 SEM 越来越少。

根据实际生产车间考察,猪肉及畜产品生产加工过程中,不会长期用次氯酸钠浸泡消毒,只会对生产车间和

各个环节所用的设备、工具进行消毒杀菌,整个过程中黄喉与次氯酸钠溶液可以长期接触。

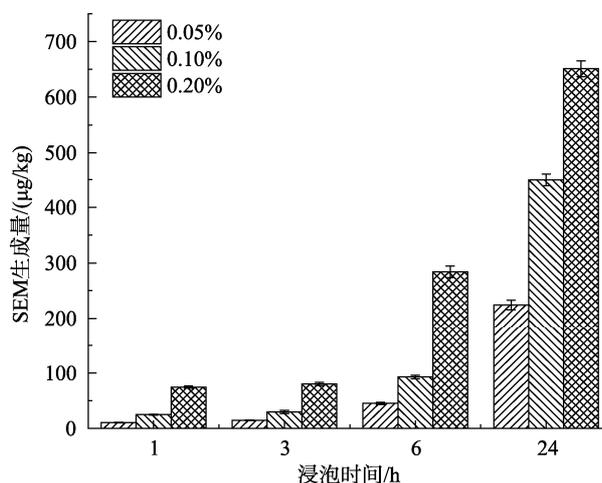


图 6 浸泡时间对 SEM 生成量的影响($n=3$)

Fig.6 Effects of soaking time on the production of SEM($n=3$)

2.5 浸泡 pH 对猪黄喉中 SEM 生成量的影响

将黄喉置于 pH 为 7、9、10、11、12 的次氯酸钠溶液中,25 $^{\circ}\text{C}$ 浸泡 1 h,测定结果见表 4。从表 4 中可以明显看出,pH 对黄喉中 SEM 的生成量有很大影响,当有效氯质量浓度为 0.05%、0.1%、0.2%时,黄喉中 SEM 生成量随 pH 增大而显著增多,分别从 pH 为 7 的 7.36、10.0、19.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 增加到 pH 为 12.0 的 191.7、1025.2、3140.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$,分别增加了 25、101、163 倍。这是因为 pH 值对次氯酸钠稳定性影响很大,pH 较低时,溶液分解快,pH 较高时,溶液分解慢,有效氯浓度比较稳定^[18-19]。在 BENDALL^[20]的实验中,作者发现乳制品中检出的 SEM 是在加工过程中使用的次氯酸钠在高 pH 值条件下与尿素通过霍夫曼反应形成的,该发现与本研究结果有一定的一致性。但与王明兴^[3]的研究:凡纳滨对虾在 pH 7 左右形成 SEM 量更多,两者结果不同;且王建^[21]发现甲壳类水产品中 SEM 的产生并不是高 pH 作用引起的。这可能与样品的组织结构、蛋白质含量和氨基酸组成有关。猪黄喉含大量的弹性纤维、弹性膜和较疏松的结缔组织等结构,富含丰富蛋白质,含量达 15 g/100 g,次氯酸钠处理后即使用 1:1(V:V)的甲醇+水清洗两遍后仍有较高水平检出,说明生成的氨基脲不全是游离体。

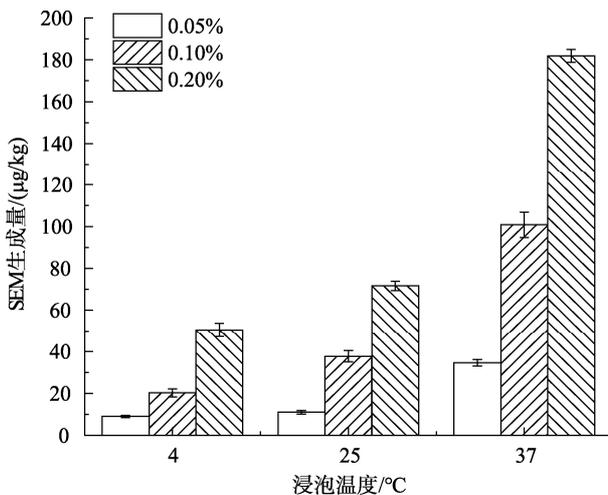
鉴于次氯酸钠在高 pH 条件下活性较低,甚至失去活性,杀菌消毒效果不好,且对黄喉中 SEM 生成量影响很大,因此建议黄喉在加工过程中使用次氯酸钠溶液应将 pH 控制在 7.0~7.5,因为在此范围稳定性较好且活性较强。

表4 pH对SEM生成量的影响

有效氯 质量浓度	不同 pH 条件下 SEM 生成量($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
	pH 7	pH 9	pH 10	pH 11	pH 12
0.05%	7.36	9.82	66.9	126.2	191.7
0.10%	10.0	28.9	115.2	388.2	1025.2
0.20%	19.1	81.0	236.0	1399.2	3140.3

2.6 浸泡温度对猪黄喉中 SEM 生成量的影响

本研究在有效氯质量浓度为 0.05%、0.1%、0.2% 的条件下, 改变浸泡温度, 在 4、25、37 °C 恒温浸泡 1 h, 实验结果如图 7 所示。从图 7 可以看出, 温度越高, SEM 生成量越多, 尤其是 25~37 °C 的增加量比较显著, 超过 4~25 °C 的增加量, 但是低浓度的相对增加量高于高浓度。在 0.05%、0.1%、0.2% 条件下, 温度从 25 °C 到 37 °C, SEM 生成量分别增加了 2.1、1.7、1.5 倍。这说明在一定次氯酸钠浓度范围内, 浸泡温度越高越有利于次氯酸钠与黄喉样品反应, 导致产生的 SEM 越高。而较低浓度的次氯酸钠对温度变化更为敏感, 这是因为升高温度会增加分子(或离子)间的有效碰撞, 形成遭遇对, 促使次氯酸钠分解, 高浓度的次氯酸钠在较高温度条件下更易分解^[22]。从多方面考虑, 为了减少猪黄喉在加工处理过程中产生 SEM, 也为了样品的保鲜, 在加工、运输、销售环节都应该严格控制温度在 4 °C 以下。

图7 浸泡温度对 SEM 生成量的影响($n=3$)Fig.7 Effects of immersion temperature on the production of SEM($n=3$)

3 结论与讨论

本研究系统地分析了不同浸泡条件下次氯酸钠消毒剂对猪黄喉中 SEM 生成量的影响, 实验结果表明, 黄喉中

氨基脲来源与生产加工过程中次氯酸钠的使用有很大关系, 且在不同条件下氨基脲的生成量差异明显, 高浓度的次氯酸钠消毒液更有助于生成氨基脲。除此, 氨基脲的生成量与作用时间、作用温度、浸泡 pH 成正比关系, 产生的 SEM 会以结合态的形式存在于猪黄喉中, 并非呋喃西林的代谢物, 该研究为监管呋喃西林滥用提供了科学依据, 为食品加工企业提供了指导性意见。

参考文献

- [1] 范继鹏, 余秀娟, 徐振东, 等. 面粉制品中氨基脲的测定及风险分析研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(2): 49-53.
FAN JP, YU XJ, XU ZD, *et al.* Determination and risk analysis of semicarbazide in flour products [J]. Grain Sci Technol Econ, 2018, 43(2): 49-53.
- [2] 沈金灿, 谢冬冬, 康海宁, 等. 次氯酸钠消毒处理条件对鸡爪中氨基脲残留的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 1-5.
SHEN JC, XIE DD, KANG HN, *et al.* Effects of sodium hypochlorite disinfection conditions on semicarbazide residues in chicken feet [J]. Food Sci, 2015, 36(10): 1-5.
- [3] 王明兴. 氨基脲在凡纳滨对虾体内药代动力学及加工中的形成研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.
WANG MX. Study on the formation of semicarbazide in the pharmacokinetics and processing of *Litopenaeus vannamei* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013.
- [4] ROBERT MC, BOB H, DAVID E, *et al.* The occurrence of semicarbazide in the meat and shell of Bangladeshi fresh-water shrimp [J]. Food Chem, 2013, 136(3/4): 1562-1567.
- [5] YU WL, LIU WH, SANG YX, *et al.* Analysis of endogenous semicarbazide during the whole growth cycle of *Litopenaeus vannamei* and its possible biosynthetic pathway [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(29): 8235-8242.
- [6] 姚敬, 黄伟雄, 李少霞, 等. 小麦粉制品中氨基脲的检测及与偶氮甲酰胺的转化规律研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(18): 2600-2606.
YAO J, HUANG WX, LI SX, *et al.* The detection of semicarbazide in wheat flour products and the study on its transformation with azoformamide [J]. Chin J Health Lab Technol, 2016, 26(18): 2600-2606.
- [7] 魏云计, 马卉, 冯民, 等. 皮制品中氨基脲的测定和来源分析[J]. 分析试验室, 2014, 33(增刊): 70-72.
WEI YJ, MA H, FENG M, *et al.* Determination and source analysis of semicarbazide in leather products [J]. Chin J Anal Lab, 2014, 33(Supplement): 70-72.
- [8] 谢冬冬, 万志刚, 沈金灿, 等. 不同鸡组织经次氯酸钠处理后氨基脲生成量差异研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(11): 3394-3399.
XIE DD, WAN ZG, SHEN JC, *et al.* Study on the difference of semicarbazide production in different chicken tissues after sodium hypochlorite treatment [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(11): 3394-3399.
- [9] 彭婕, 甘金华, 陈建武, 等. 中华绒螯蟹中氨基脲的分布及产生机理分析[J]. 淡水渔业, 2015, 45(4): 108-112.
PENG J, GAN JH, CHEN JW, *et al.* Analysis on the distribution and production mechanism of semicarbazide in Chinese mitten crab [J]. Freshw Fish, 2015, 45(4): 108-112.
- [10] 倪永付, 朱莉萍, 王勇, 等. 微山湖小青虾各部分呋喃西林代谢物含量

- 测定[J]. 食品与发酵科技, 2011, 48(1): 86-88.
- NI YF, ZHU LP, WANG Y, *et al.* Determination of the nitrofurural metabolites in each part of the small green shrimp in Weishan lake [J]. Food Ferment Technol, 2011, 48(1): 86-88.
- [11] 舒秀君, 程波, 徐娟娟, 等. 日本沼虾养殖过程中氨基脒存在特征研究[J]. 淡水渔业, 2020, 50(3): 11-16.
- SHU XJ, CHENG B, XU JJ, *et al.* Study on the characteristics of semicarbazide (SEM) in *Macrobrachium nipponense* during the culture period [J]. Freshw Fish, 2020, 50(3): 11-16.
- [12] 周萍, 胡福良, 章征天, 等. 雄蜂蛹中硝基呋喃类代谢物含量的测定及超标原因分析[J]. 中国蜂业, 2008, 59(7): 5-9.
- ZHOU P, HU FL, ZHANG ZT, *et al.* Determination of nitrofurural metabolites in drone pupae and analysis of the reasons for exceeding the standard [J]. Apicul China, 2008, 59(7): 5-9.
- [13] 袁涛, 田国华, 吴伟, 等. 次氯酸钠、酒精及穿串用竹签对鸡肉产品中呋喃西林代谢物检测结果的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18733-18735.
- YUAN T, TIAN GH, WU W, *et al.* The influence of sodium hypochlorite, alcohol and bamboo sticks for stringing on the detection results of nitrofurural metabolites in chicken products [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(30): 18733-18735.
- [14] JOHNSTON J, DUVERNA R, WILLIAMS M, *et al.* Investigating the suitability of semicarbazide as an indicator of preharvest nitrofurazone use in raw chicken [J]. J Food Prot, 2020, 83(8): 1368-1373.
- [15] 周敏, 朱萌萌, 周婷婷, 等. 液液萃取-磺化净化-LC/MS/MS 测定黄喉中的五氯酚酸钠[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 280-283.
- ZHOU M, ZHU MM, ZHOU TT, *et al.* Determination of sodium pentachlorophenate in throat by liquid-liquid extraction-sulfonation purification-LC/MS/MS [J]. Food Ind, 2019, 40(3): 280-283.
- [16] HOENICKE K, GATERMANN R, HARTIG L. Formation of semicarbazide (SEM) in food by hypochlorite treatment: is SEM a specific maker for nitrofurazone abuse [J]. Food Addit Contam, 2004, 21(6): 526-537.
- [17] 张景利. 次氯酸钠水溶液的稳定性[J]. 中国洗涤用品工业, 2010, (1): 77-79.
- ZHANG JL. The stability of sodium hypochlorite aqueous solution [J]. China Clean Ind, 2010, (1): 77-79.
- [18] 李杰, 张文福. 次氯酸钠消毒液稳定性研究进展[J]. 中国消毒学杂志, 2015, 32(12): 1233-1237.
- LI J, ZHANG WF. Research progress on the stability of sodium hypochlorite disinfectant [J]. Chin J Disinfect, 2015, 32(12): 1233-1237.
- [19] 马德埭, 苏瑜, 薛仲华. 次氯酸钠水溶液分解动力学的研究[J]. 上海工程技术大学学报, 2002, 16(1): 8-10.
- MA DF, SU Y, XUE ZH. Research on the decomposition kinetics of sodium hypochlorite aqueous solution [J]. J Shanghai Univ Eng Sci, 2002, 16(1): 8-10.
- [20] BENDALL JG. Semicarbazide is non-specific as a marker metabolite to reveal nitrofurazone abuse as it can form under Hofmann conditions [J]. Food Addit Contam: Part A, 2009, 26(1): 47-56.
- [21] 王建. 甲壳类水产中呋喃西林及氨基脒的研究[D]. 浙江: 浙江工商大学, 2014.
- WANG J. Researches of nitrofurazone and semicarbazide in marine crustaceans [D]. Zhejiang: Zhejiang Gongshang University, 2014.
- [22] BOZIC M, LIPUS JC, KOKOL V, *et al.* Magnetic field effects on redox potential of reduction and oxidation agents [J]. Croat Chem Acta, 2008, 81(3): 413-421.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



杨春梅, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: 157579074@qq.com