

小龙虾基体中氯霉素残留降解因素分析

左二伟, 张玉磊, 吴海平*

[普研(上海)标准技术服务股份有限公司, 上海 201318]

摘要: **目的** 研究温度和氯霉素初始浓度对小龙虾中氯霉素降解的影响。**方法** 将氯霉素初始添加浓度为 0.5、5.0、50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的小龙虾阳性模拟样品放置在 -18、4、25 和 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下, 分别在 2、4、6、12、24、36、48 h 时测定其氯霉素残留量。**结果** 温度对小龙虾中氯霉素降解影响较为显著 ($P < 0.01$), 本质在于微生物降解作用, 而氯霉素初始浓度对其影响不显著。**结论** 小龙虾基体氯霉素阳性降解主要是微生物作用, 小龙虾等水产品在进行氯霉素检测采样过程以及阳性样品复检过程中, 应确保全程冷链运输, 并且阳性样品应尽快完成复检。

关键词: 氯霉素; 残留; 温度; 小龙虾; 降解因素

Analysis of the degradation factors of chloramphenicol residues in crayfish

ZUO Er-Wei, ZHANG Yu-Lei, WU Hai-Ping*

(Shanghai Gratech Standard. Co., Ltd, shanghai 201318, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect of temperature and initial concentration of chloramphenicol on the degradation of chloramphenicol in crayfish. **Methods** The crayfish positive mock samples with initial concentrations of chloramphenicol of 0.5, 5.0 and 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ were placed under constant temperature of -18, 4, 25 and 37 $^{\circ}\text{C}$, respectively, and the residual amount of chloramphenicol was determined at 2, 4, 6, 12, 24, 36, and 48 hours. **Results** Temperature had a significant effect on the degradation of chloramphenicol in crayfish ($P < 0.01$), and the reason was microbial degradation, while the initial concentration of chloramphenicol had no significant effect on it. **Conclusion** The degradation of chloramphenicol in crayfish positive matrix is mainly caused by microorganisms. During the process of chloramphenicol testing and retesting of positive samples for crayfish and other aquatic products, cold chain transportation should be ensured, and positive samples should be retested as soon as possible.

KEY WORDS: chloramphenicol; residue; temperature; crayfish; degradation factors

0 引言

氯霉素(chloramphenicol, CAP)又名氯胺苯醇, 是一种抑菌性广谱抗生素, 因其分子中含有不游离的氯, 故称之为氯霉素。氯霉素对大多数革兰阳性菌和阴性菌具有抑制作用, 在水产养殖中被认为是对虾致病弧菌^[1]等作用最有效的药物, 被广泛用于水产动物的病害防治。然而氯霉素

残留会使人体一些致病菌产生耐药性, 并引起恶心、头痛和腹泻等急性反应, 长期摄入对人体骨髓造血功能具有抑制作用从而引起再生障碍性贫血、粒状白细胞缺乏症等疾病^[2]。2001 年氯霉素事件^[3]引起人们对于水产品中氯霉素残留的广泛关注, 我国于 2002 年以来已经禁止氯霉素在食品动物中使用, 2019 年发布的农业部第 250 号公告^[4]将氯霉素及其盐、酯列为禁止用于食品动物的兽药。

*通信作者: 吴海平, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。E-mail: haiping.wu@gratech.com.cn

*Corresponding author: WU Hai-Ping, Senior Engineer, Shanghai Gratech Standard. Co., Ltd, Shanghai 201318, China. E-mail: haiping.wu@gratech.com.cn

目前水产品中氯霉素研究主要是测定方法开发^[5-10]以及药物代谢动力学研究^[11-14],而对于氯霉素残留降解研究较少。杨卫民等^[15]研究发现牛奶中氯霉素的降解主要是微生物降解作用,导致日常检测中牛奶基体的氯霉素类阳性样品检测结果不稳定。杨毅青^[16]研究发现冷藏以及冷冻条件下,鲢鱼、鲤鱼肉和鲈鱼肉中氯霉素残留量随着时间的延长而变化,但并未解释氯霉素残留变化的原因。虽然氯霉素属于禁用兽药,但调查显示水产品中氯霉素滥用情况仍然存在^[17-18]。小龙虾等甲壳类水产品由于其拥有较多的游离氨基酸,在运输以及贮藏过程中极易受微生物活动等影响而变质。目前小龙虾基体氯霉素阳性样品中其残留量在此过程中的变化情况缺少相关研究。本研究通过改变氯霉素的初始添加浓度和贮藏温度等因素,考察小龙虾样品中氯霉素残留量的变化,为小龙虾等水产品中氯霉素阳性样品的复检时限以及运输方式等提供数据支撑。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

Vanquish-TSQ Quantis LC MS/MS 液相-三重四极杆质谱仪(美国赛默飞公司); ANPEL-EFAA-DC24-RT 型氮吹仪(上海安谱实验科技股份有限公司); MULTITUBEVORTEXERADV230v 型数显多管漩涡振荡器(美国 Talbys 公司); 离心机(长沙高新技术产业开发湘仪离心机仪器有限公司); 明澈-D24UVMilli-Q 纯水仪(德国默克 Millipore 公司); ME303 型电子天平(精确度 0.001 g)、ME55/02 电子天平(精确度 0.01 mg)[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; 100 μL 、1000 μL 可调式移液器(德国 Eppendorf 公司)。

氯霉素(纯度 99.5%)、氘代氯霉素(d5-氯霉素)内标(纯度 99.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$)(北京振翔公司); 乙腈(色谱纯,德国默克公司); 乙酸乙酯、正己烷(色谱纯)、无水硫酸钠(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司); 氢氧化铵(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司); 试验用水为超纯水(18.2 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$,德国默克 Millipore 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

氯霉素标准储备液(1000 mg/L): 准确称取 10.05 mg 氯霉素标准品于 10 mL 容量瓶中,用甲醇溶解后定容,摇匀。

氯霉素标准中间液(10 mg/L): 准确吸取 100 μL 氯霉素标准储备液至 10 mL 容量瓶中,用甲醇溶解后定容,摇匀。

氯霉素标准使用液(1000 $\mu\text{g}/\text{L}$): 准确吸取 1.0 mL 的标准中间液至 10 mL 容量瓶中,用乙腈溶解后定容,摇匀。

内标使用液(100 $\mu\text{g}/\text{L}$): 准确吸取 100 μL d₅-氯霉素内

标(99.9 $\mu\text{g}/\text{mL}$)于 100 mL 容量瓶中,用乙腈稀释并定容至刻度,摇匀。

10%(体积比,下同)乙腈溶液: 吸取 10 mL 乙腈于 100 mL 容量瓶中,用水稀释并定容至刻度,摇匀。

1.2.2 降解影响因素实验设计

选取温度和氯霉素初始浓度作为其降解的影响因素,实验设计见表 1,且每个组在 2、4、6、12、24、36、48 h 这 7 个时间间隔时测定氯霉素的残留量,并进行平行实验,样品数量为 $12\times 14=168$ 个。取新鲜且不含氯霉素的小龙虾剥壳,将虾肉匀浆,称取 10 g (精确至 0.01 g)匀浆后的虾肉样品,按照表 1 制备氯霉素初始添加浓度为 0.5、5.0、50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的小龙虾氯霉素阳性模拟样品,分别于-18、4、25 和 37 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温环境中放置。

表 1 降解影响因素实验设计
Table 1 The experiment scheme of degradation factors

组别	温度/ $^{\circ}\text{C}$	初始浓度/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$
1	-18	0.5
2	4	0.5
3	25	0.5
4	37	0.5
5	-18	5
6	4	5
7	25	5
8	37	5
9	-18	50
10	4	50
11	25	50
12	37	50

1.2.3 前处理方法

取出同一个时间间隔的样品回温至室温,然后称取 5.00 g 试样(精确至 0.01 g)至 50 mL 塑料离心管中,加入 50 μL 内标使用液、5 g 无水硫酸钠、15 mL 乙酸乙酯和 0.45 mL 氢氧化铵,匀质 30 s ,以 4000 r/min 转速离心 5 min ,收集上清液于 50 mL 塑料离心管中;残渣加入 15 mL 乙酸乙酯、0.45 mL 氢氧化铵,涡旋振荡提取 2 min ,以 4000 r/min 离心 5 min ,合并上清液。再加入 15 mL 乙酸乙酯于残渣中,涡旋,离心。合并 3 次上清液于 45 $^{\circ}\text{C}$ 水浴氮吹至干,残留物用 10%乙腈溶液 1.0 mL 复溶,加入 5.0 mL 正己烷涡动混合 30 s ,4000 r/min 离心 5 min ,取水相层过 0.22 μm 滤膜后,供液相-三重四极杆质谱(liquid phase triple quadrupole

mass spectrometry, LC-MS/MS)仪测定。

1.2.4 色谱和质谱条件

1) 色谱条件

色谱柱: Agilent ZoRbax Eclipse Plus C₁₈(2.1 mm×100 mm, 3.5 μm); 柱温: 40 °C; 流动相 A: 乙腈, 流动相 B: 水; 梯度洗脱程序: 初始流动相 B 为 90%, 保持 0.5 min; 0.5~2 min, B 由 90%降为 10%, 保持 1 min; 3.0~3.5 min, B 由 10%升至 90%, 保持 1.5 min。流速: 0.3 mL/min; 进样量: 2 μL。

2) 质谱条件

电喷雾离子源(electron spray ionization, ESI)负离子电离模式; 选择反应监测模式(selective reaction monitoring, SRM); 电离电压: 2500 V; 雾化器温度: 350 °C; 离子传输管温度: 325 °C。其他质谱参数见表 2。

2 结果与分析

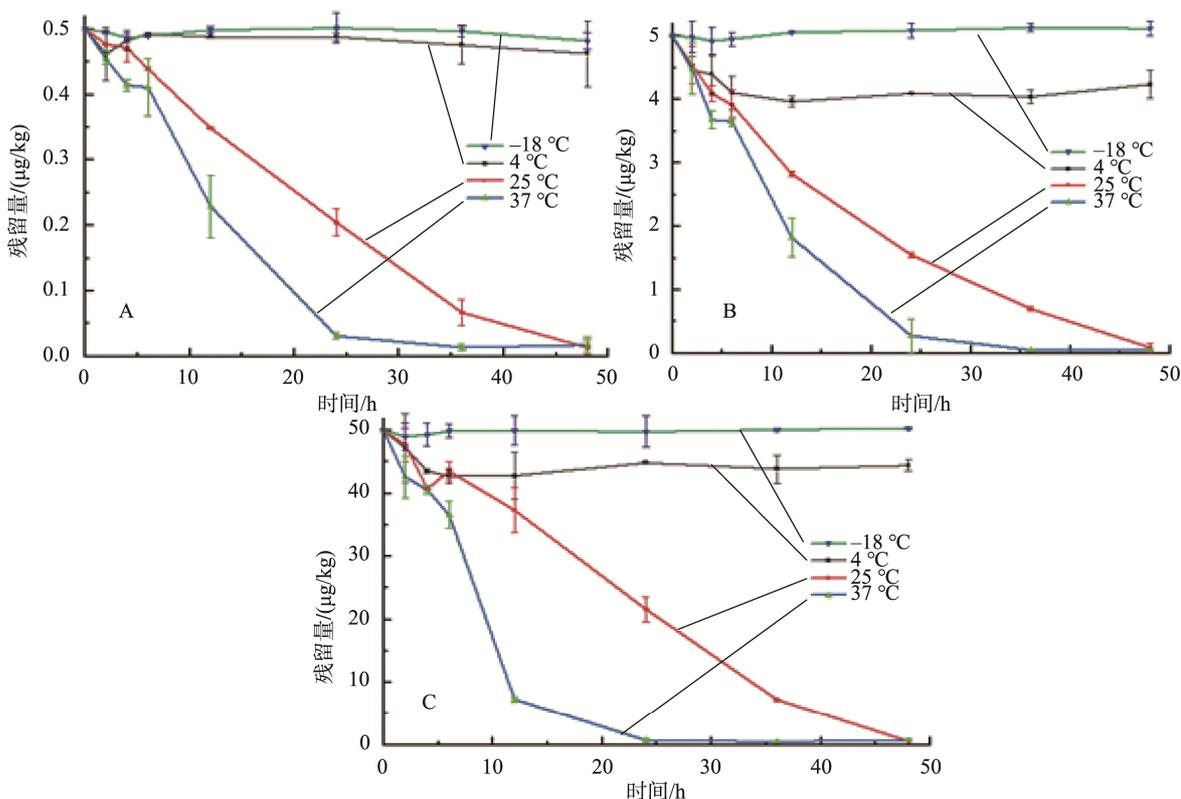
2.1 温度对小龙虾中氯霉素残留降解影响

小龙虾中氯霉素残留量在 4 个温度条件下随时间变化的趋势见图 1。由图 1 可知, 在 25 °C和 37 °C温度条件下, 随着时间的变化, 氯霉素的降解趋势越来越明显, 且温度越高, 降解趋势越明显, 氯霉素在 48 h 内基本被降解完毕。而在 4 °C和-18 °C温度条件下, 氯霉素的降解趋势不明显; 4 °C下, 有约 10%~20%的氯霉素被降解, 而-18 °C下氯霉素在 48 h 内基本没有降解。同时, 在不同氯霉素初始添加浓度条件下, 温度对小龙虾中氯霉素残留量的影响具有类似的行为, 见图 1A~C。由此可知, 在同一氯霉素初始添加浓度下, 环境温度越高, 小龙虾中氯霉素的降解越快。

表 2 氯霉素质谱参数
Table 2 MS parameters of chloramphenicol

序号	化合物	母离子(m/z)	子离子(m/z)	射频透镜电压/V	碰撞电压/V
1	氯霉素	321	152.054*	116	15.78
			257.054		10.31
2	d ₅ -氯霉素	326.088	157.155	127	15.99

注: *为定量离子。



注: A: 氯霉素初始浓度为 0.5 μg/kg; B: 氯霉素初始浓度为 5.0 μg/kg; C: 氯霉素初始浓度为 50 μg/kg。

图 1 温度对小龙虾中氯霉素降解的影响

Fig.1 Effect of temperature on degradation of chloramphenicol in crayfish

2.2 初始浓度对小龙虾中氯霉素残留降解的影响

将在4个温度条件下放置时间间隔为12 h的小龙虾氯霉素阳性模拟样品组中氯霉素降解率与氯霉素初始添加浓度作图,结果见图2。由图2可知,在4 °C和25 °C温度条件下,小龙虾中氯霉素初始浓度为5.0 μg/kg的降解率较多,而初始浓度为50 μg/kg和0.5 μg/kg的降解率相对较低。在-18 °C和37 °C时,3个氯霉素初始浓度条件下,氯霉素的降解率差别不大。

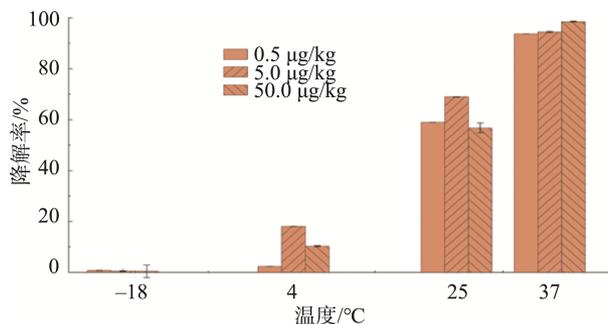


图2 氯霉素初始浓度对于其降解影响

Fig.2 Effects of initial concentration of chloramphenicol on its degradation

同时,在25 °C和37 °C温度条件下,小龙虾中氯霉素

降解过程符合一级动力学方程 $C=C_0e^{-kt}$,其中 C 为氯霉素残留量, C_0 为氯霉素的初始浓度, k 为降解速率常数, t 为时间,结果见表3。由表3可知,25 °C条件下,氯霉素的初始浓度为0.5、5、50 μg/kg时,其降解半衰期分别为11.14、10.09、9.87 h,氯霉素初始浓度越高其降解越快;而37 °C条件下,氯霉素的初始浓度为0.5、5、50 μg/kg时,其降解半衰期分别为10.44、6.45、8.70 h,氯霉素初始中间浓度的降解较快。由上述可知,同一温度条件下,小龙虾中氯霉素的初始浓度对其降解影响无明显规律性。

2.3 小龙虾中氯霉素残留降解影响因素分析

采用SPSS 26.0软件对小龙虾氯霉素阳性模拟样品中氯霉素残留降解率与温度和氯霉素初始浓度进行方差分析,结果见表4。由表4可知,温度对小龙虾中氯霉素残留降解影响较显著($P < 0.01$),而氯霉素初始浓度对其影响不显著。

在考察温度对小龙虾中氯霉素降解影响时,发现小龙虾肉在25 °C和37 °C温度条件下放置12 h时有明显的臭味,且样品有腐败泛白现象。小龙虾肉在不同温度条件下中菌落总数见图3。25 °C和37 °C是大多数微生物生长适宜温度,小龙虾肉在此温度下放置过程中微生物不断增殖,且温度越高微生物增长也越多,而氯霉素降解也越多,微

表3 氯霉素初始浓度对其降解影响

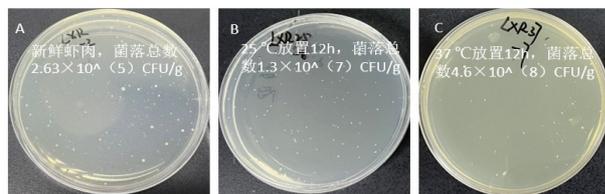
Table 3 Effect of initial concentration of chloramphenicol on its degradation

8	添加量/(μg/kg)	氯霉素残留量/(μg/kg)							k	线性相关系数 r	半衰期/h
		2 h	4 h	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h			
25	0.5	0.497	0.471	0.439	0.349	0.205	0.067	0.014	0.0622	0.954	11.14
	5	4.542	4.093	3.918	2.826	1.551	0.701	0.090	0.0687	0.958	10.09
	50	47.691	40.757	43.495	39.330	21.620	7.259	0.594	0.0702	0.916	9.87
37	0.5	0.478	0.446	0.441	0.272	0.116	0.039	0.020	0.0664	0.992	10.44
	5	4.491	3.755	3.638	1.822	0.277	0.052	0.050	0.1075	0.980	6.45
	50	43.979	40.462	40.793	23.474	11.233	3.950	0.629	0.0797	0.978	8.70

表4 小龙虾中氯霉素降解因素方差分析

Table 4 Analysis of variance of degradation factors of chloramphenicol in crayfish

影响因素	自由度	平均值±标准偏差	F	P	
温度	3	-18 °C	12.555±0.16263	103.671	< 0.01
		4 °C	20.648±1.66312		
		25 °C	43.484±0.88813		
		37 °C	63.560±6.09809		
初始浓度	2	0.5 μg/kg	32.025±2.63751	8.996	0.054
		5 μg/kg	43.484±0.88813		
		50 μg/kg	25.3244±6.96415		



注:A:新鲜未添加氯霉素的小龙虾肉中菌落总数稀释 10^2 倍图;B:添加氯霉素后 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 放置12h时小龙虾肉中菌落总数稀释 10^6 倍图;C:添加氯霉素后 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 放置12h时小龙虾肉中菌落总数稀释 10^7 倍图。

图3 不同温度条件下小龙虾氯霉素阳性模拟样品中菌落计数
Fig.3 Colony counts in crayfish chloramphenicol positive simulated samples under different temperature conditions

生物生长过程中氯霉素作为可被利用碳源而被不断消耗。在 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $-18\text{ }^\circ\text{C}$ 低温条件下,微生物增殖受到抑制,而氯霉素降解也较少。当然,低温条件下小龙虾等水产品仍受微生物活动影响,但其中微生物增殖较慢,BEKAERT等^[19]研究挪威龙虾在 $2\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏过程中发现微生物在3d后才缓慢增长约 10^4 CFU/g ,在15d内菌落总数不超过 10^8 CFU/g 。由上述分析可知,小龙虾中氯霉素残留降解受温度影响较多,其本质在于微生物作用。氯霉素本身是比较稳定的抗生素,但在一定条件下可被微生物降解^[20-21]。因此,在小龙虾等水产品中氯霉素检测项目采样以及复检过程中,应该确保样品全程冷链运输以减少微生物作用影响,同时应尽快完成阳性样品的复检,以免结果出现较大差异。

3 结论

通过改变温度和氯霉素的初始浓度两个因素,研究了小龙虾样品中氯霉素的降解变化。结果表明,温度对小龙虾中氯霉素影响较为显著,原因主要是微生物降解作用。同时氯霉素的初始浓度对其影响不显著,在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $37\text{ }^\circ\text{C}$ 温度条件下,氯霉素在 $0.5\text{--}50\text{ }\mu\text{g/kg}$ 浓度范围内,小龙虾阳性样品中低浓度氯霉素同样可被降解。本研究结果也为小龙虾氯霉素阳性样品的复检时限以及采样运输方式等提供参考。

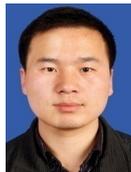
参考文献

- [1] 杨季芳,吴友吕,吕美玲,等.中国对虾弧菌病的药物治疗研究[J].东海海洋,1992,(4):42-50.
YANG JF, WU YL, LV ML, *et al.* Study on drug treatment for vibriosis of cultural prawn [J]. J Marine Sci, 1992, (4): 42-50.
- [2] HENRY M, FEDER J, OSIER C, *et al.* Chloramphenicol: A review of its use in clinical practice [J]. Rev Infect Dis, 1981, 3(3): 479-491.
- [3] 邢健. 2001 氯霉素事件: 中国遭遇欧盟伏击战[J]. WTO 经济导刊, 2004, (4): 26-28.
XING J. The 2001 chloramphenicol incident: China encountered the European Union ambush [J]. Chin Sustain Trib, 2004, (4): 26-28.
- [4] 农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告第 250 号. 食品动物中禁止使用的药品及其他化合物清单 [EB/OL]. [2020-01-06]. <http://law.foodmate.net/show-199686.html>
Ministry of Agriculture and Rural Areas. Announcement No. 250 of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. List of drugs and other compounds prohibited to be used in food animals [EB/OL]. [2020-01-06]. <http://law.foodmate.net/show-199686.html>
- [5] 赵飞. 固相萃取-超高效液相色谱-串联四级杆质谱检测水产品中氯霉素类药物残留[J]. 山东化工, 2016, 45(20): 86-89.
ZHAO F. Determination of chloramphenicol drugs in sea food by SPE-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Shandong Chem Ind, 2016, 45(20): 86-89.
- [6] 柯庆青,李诗言,周凡,等.基于通过型固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法同时测定水产品中的氯霉素和红霉素[J].食品科学,2017,38(24):241-246.
KE QQ, LI SY, ZHOU F, *et al.* Simultaneous determination of chloramphenicol and erythromycin residues in aquatic products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with Oasis PRiME HLB solid phase extraction cleanup [J]. Food Sci, 2017, 38(24): 241-246.
- [7] 郭军,王文兰,赵全东,等.气相色谱法测定水产品中氯霉素残留的不确定度评定[J].食品安全质量检测学报,2018,9(23):6216-6220.
GUO J, WANG WL, ZHAO QD, *et al.* Uncertainty evaluation for the determination of chloramphenicol residue in aquatic products by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(23): 6216-6220.
- [8] 张桂云,杨伟强.分散固相萃取-高效液相色谱串联质谱法测定水产品中氯霉素类药物的残留量[J].福建分析测试,2019,28(2):17-22.
ZHANG GY, YANG WQ. Determination of chloramphenicols in aquatic products based on the combination of DSPE method and HPLC-MS/MS [J]. Fujian Anal Test, 2019, 28(2): 17-22.
- [9] 崔乃元,赵义良,马立才,等.水产品中氯霉素时间分辨荧光免疫层析定量检测方法[J].食品与发酵工业,2019,45(24):241-245.
CUI NY, ZHAO YL, MA LC, *et al.* Quantitative determination of chloramphenicol in aquatic products by time-resolved fluorescence immunochromatography [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(24): 241-245.
- [10] 吴彦蕾.超高效液相色谱-串联质谱法快速筛查水产品中氯霉素类药物残留[J].食品与发酵科技,2020,56(4):98-104.
WU YL. Rapid screening of three chloramphenicols in aquatic products by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Ferment Sci Technol, 2020, 56(4): 98-104.
- [11] WANG W, LIN H, XUE C, *et al.* Elimination of chloramphenicol, sulphamethoxazole and oxytetracycline in shrimp, penaeus chinensis following medicated-feed treatment [J]. Environ Int, 2004, 30(3): 367-373.

- [12] 蒋原. HPLC/MS/MS 测定兽药残留及其在螯虾中消除规律的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
JIANG Y. Drug residues detection and their dynamical changes in crawfish using HPLC/MS/MS [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2005.
- [13] 李爱. 近岸养殖区中氯霉素迁移转化规律的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2006.
LI A. Transportation and transformation of chloramphenicol in coastal environment [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2006.
- [14] 陈晋旭. 氯霉素和氟苯尼考在淡水小龙虾中残留的检测[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
CHEN JX. Studies on the residues of chloramphenicol and florfenicol in crayfish tissues [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [15] 杨卫民, 李燕杰, 张琦, 等. 牛奶中氯霉素、甲矾霉素、氟苯尼考降解因子浅析[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(3): 721-729.
YANG WM, LI YJ, ZHANG Q, *et al.* Degradation factor analysis of chloramphenicol, thiamphenicol and florfenicol in dairy [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(3): 721-729.
- [16] 杨毅青. 贮藏和加工工艺对三种淡水鱼品质及氯霉素残留的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2014.
YANG YQ. Effects of storage and processing technology on quality and chloramphenicol residues in three freshwater fishes [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2014.
- [17] 高裕锋, 甄振鹏, 张琳, 等. 广东省部分地区市售水产品中氯霉素残留情况调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(3): 372-374.
GAO YF, ZHEN ZP, ZHANG L, *et al.* Investigation of chloramphenicol residues in aquatic products in several areas of Guangdong province [J]. Chin J Food Hyg, 2016, 28(3): 372-374.
- [18] 柳海, 方磊, 杨家锋, 等. 2015—2018年宁波市产地养殖水产品兽药残留风险与评估[J]. 食品安全导刊, 2020, (6): 89-90.
LIU H, FANG L, YANG JF, *et al.* Risk and assessment of veterinary drug residues in cultured aquatic products in Ningbo from 2015 to 2018 [J]. Chin Food Saf Magaz, 2020, (6): 89-90.
- [19] BEKAERT K, DEVRIESE L, MAES S, *et al.* Characterization of the dominant bacterial communities during storage of norway lobster and norway lobster tails (*Nephrops norvegicus*) based on 16S rDNA analysis by PCR-DGGE [J]. Food Microbiol, 2015, 46: 132-138.
- [20] 吕玄文. 淡水养殖鱼塘中氯霉素污染及微生物降解研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
LV XW. Investigation of chloramphenicol pollution in the freshwater aquaculture and the biodegradation of chloramphenicol [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.
- [21] 赵梦君. 氯霉素降解菌株 LMS-CY 的分离鉴定、降解特性及其初步应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
ZHAO MJ. Isolation, identification, degradation characteristics and preliminary application of a chloramphenicol-degrading strain LMS-CY [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介



左二伟, 工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。

E-mail: erwei.zuo@gratech.com.cn



吴海平, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全与检测。

E-mail: haiping.wu@gratech.com.cn