

4种烹饪方式对草鱼肉中孔雀石绿、结晶紫及其代谢物消减的影响

杨金兰¹, 陈俊¹, 王旭峰², 陈成桐¹, 罗龙娟¹, 叶淑迎¹, 王海宇¹, 赵东豪^{2*}

(1. 广州市海洋与渔业环境监测中心, 广州 510235; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东省渔业生态环境重点开放实验室, 广州 510300)

摘要: **目的** 探讨煮、蒸、炸和微波等4种烹饪方式对草鱼肉中孔雀石绿、结晶紫及其代谢物消减的影响。

方法 在空白草鱼肉中添加孔雀石绿、隐色孔雀石绿、结晶紫和隐色结晶紫后, 分别用4种方式烹饪, 采用高效液相色谱串联质谱测定药物的含量。**结果** 结果表明: 经过炸、微波、煮和蒸等烹饪方法处理后, 鱼肉中的药物浓度分别降低了79.8%~93.7%、69.4%~91.2%、72.0%~86.2%和69.6%~77.8%。相同的烹饪方式, 原药的消减速度均高于代谢物, 药物的消减速率顺序为: 炸>微波>煮>蒸。**结论** 高温加热能促进孔雀石绿、结晶紫及其代谢产物的消减。

关键词: 烹饪方式; 消减规律; 孔雀石绿; 结晶紫; 鱼肉

Effects of four cooking methods on the reduction of malachite green, crystal violet and their metabolites in *Ctenopharyngodon idellus* muscle

YANG Jin-Lan¹, CHEN Jun¹, WANG Xu-Feng², CHEN Cheng-Tong¹, LUO Long-Juan¹,
YE Shu-Ying¹, WANG Hai-Yu¹, ZHAO Dong-Hao^{2*}

(1. Guangzhou Environmental Monitoring Center of Ocean and Fishery, Guangzhou 510235, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of cooking methods, such as boiling, steaming, frying and microwaving on the reduction of malachite green (MG), crystal violet (CV) and their metabolites in *Ctenopharyngodon idellus* muscle. **Methods** Malachite green, cryptochrome malachite green, crystalline violet and cryptochrome crystalline violet were added to the blank grass fish and respectively cooked in 4 ways. The content of the drug was determined by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. **Results** The results showed that the 4 cooking methods of frying, microwaving, boiling and steaming reduced the drug concentrations of 79.8%-93.7%, 69.4%-91.2%, 72.0%-86.2% and 69.6%-77.8%, respectively. The degradation rate of the prototype drug was higher than that of the metabolites in the same cooking method. The order of the drug's deceleration rate was: frying>microwaving>boiling>steaming. **Conclusion** Cooking with high temperature can

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571869)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31571869)

*通讯作者: 赵东豪, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与风险评估研究。E-mail: donghaozhao@126.com

*Corresponding author: ZHAO Dong-Hao, Ph.D, Associate Professor, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China. E-mail: donghaozhao@126.com

accelerate the degradation of MG, CV and their metabolites.

KEY WORDS: cooking mode; reduction; malachite green; crystal violet; fish muscle

1 引言

孔雀石绿(malachite green, MG)、结晶紫(crystal violet, CV)属于三苯甲烷类染料, 具有致癌、致畸性和致突变等作用^[1,2]。它们在鱼及其他生物体内会经过代谢分别转化成隐色孔雀石绿(leucomalachite green, LMG)和隐色结晶紫(leucocrystal violet, LCV), 残留时间长。2002 年农业部发布的《食品动物禁用的兽药及其它其他化合物清单》, 将孔雀石绿列为禁用药^[3,4], 但由于其在防治鱼水霉病、烂鳃病等^[5]时效果显著, 且价格低廉, 在水产品中屡禁不止, 时有检出。曾玉梅等^[6]2015 年广州市的水产品中孔雀石绿和结晶紫的检出率分别为 6%和 0.8%。

目前, 关于水产品中孔雀石绿和结晶紫的研究多集中在检测技术^[7-11]、代谢规律^[12-14]、降解方法^[15]等方面, 研究对象都是未经烹饪的水产品, 而对于经过烹饪处理后, 水产品中这 2 种药及其代谢物的消减情况并未见报道。从有关研究文献中可以得知, 动植物中的药物经过烹饪后, 会有一定的消减。王靖^[16]发现牛肉中残留的氟喹诺酮类药物, 经加热后有所消减, 油炸使药物消减最多。Kontou 等^[17]将含有一定浓度代森锰的番茄在 100 °C沸水中煮制 15 min, 药物的消减率高达 71%~79%。从以上这些研究中, 可知烹饪是药物消除最直接有效的方法之一。因此, 研究烹饪方式对鱼肉中孔雀石绿、结晶紫及其代谢物消减情况的影响对食品安全及维护消费者的身体健康具有实际意义。本实验制作了空白草鱼肉加标样品, 分别采用煮、蒸、炸和微波等 4 种方式处理, 研究不同烹饪方式对孔雀石绿、结晶紫及其代谢物的消减情况, 以期同时为水产品药物残留风险评估提供参考。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

孔雀石绿、隐色孔雀石绿、结晶紫、隐色结晶紫的标准品(纯度 99.8%以上)、氘代孔雀石绿、氘代隐色孔雀石绿、氘代结晶紫、氘代隐色结晶紫的标准品(纯度 99.5%以上, 德国 Dr.Ehrenstorfer 公司); 中性氧化铝小柱(美国安捷伦公司); 乙酸铵(优级纯, 广州化学试剂厂); 甲酸、乙腈(色谱纯, 美国 Sigma 公司); 实验用水为超纯水。

AB SCIEX TripleQuad 5500(美国 AB 公司); ER-30S 加热板(上海慧泰仪器制造有限公司); G80F23CN3XLA-R6(A2)微波炉(广东格兰仕电器有限公司); KQ3200E 超声波仪(昆山市超声仪器有限公司); GENIUS3 漩涡混合器(德国 IKA 公司); AT600 希玛红外线测温仪(东莞万创电子制品有限公司)。

2.2 样品制备

草鱼购于广州黄沙市场。将鱼去鳞、去皮, 沿脊背取肌肉, 绞碎匀浆, 混和均匀, -20 °C保存备用。称取鱼糜 5.00 g, 置于 50 mL 聚丙烯离心管中, 加入 0.1 mL 浓度为 0.25 μg/mL 的孔雀石绿、隐色孔雀石绿、结晶紫、隐色结晶紫的混合标准溶液, 旋涡 30 s, 放入 4 °C冰箱 24 h。在烹饪前, 用药匙将离心管里的鱼糜轻轻压成鱼丸。

2.3 烹饪处理

煮: 把水加热至沸腾后, 放入鱼丸, 分别于第 2、3、4、5 min 取出, 冷却后测定。

蒸: 把水加热至沸腾后, 放入蒸盘, 再将鱼丸放置上面, 盖上锅盖, 分别于第 3、4、5、6 min 取出, 冷却后测定。

炸: 将油烧开, 温度 210 °C, 放入鱼丸, 分别于第 1、2、3、4 min 取出, 冷却后测定。

微波加热: 将鱼丸放入微波专用盘中, 按下蒸鱼档, 功率为 800 W, 分别于第 3、4、5、6 min 取出, 冷却后测定。

本实验模拟日常烹饪习惯, 第一个时间点的选择主要是基于实验时, 鱼丸熟透所需时间。日常生活中, 鱼丸通常是煮熟或在熟透基础上再烹饪几分钟后被食用。

2.4 检测方法

2.4.1 样品前处理

将烹饪后的鱼丸装入 50 mL 聚丙烯离心管, 加入适量的混合内标溶液, 于 4 °C冰箱放置 4 h 后, 按照 GB/T 19857-2005^[18]规定的方法处理。

2.4.2 色谱条件

色谱柱: 菲罗门 C₁₈ 柱(50 mm×2.1 mm, 1.7 μm); 流动相: A 为乙腈、B 为 5 mmol/L 乙酸铵(含 0.1%甲酸), 梯度洗脱程序为 0~1 min, 25%~95% A; 1~3 min, 95% A; 3~3.5 min, 95%~25% A; 3.5~8 min, 25% A; 流速 0.3 mL/min; 柱温: 30 °C; 进样量: 10 μL。

2.4.3 质谱条件

电离方式: 电喷雾电离; 扫描方式: 正离子扫描; 监测方式: 多反应监测; 毛细管电压为 5500 V; 质谱定性定量离子对信息见表 1。

2.5 基质效应的评估方法

称取空白鱼糜, 按照 2.3 所述方法进行烹饪处理, 待鱼丸冷却, 按照 2.4 所述方法进行提取净化后, 在提取液中添加适量的孔雀石绿、隐色孔雀石绿、结晶紫、隐色结晶紫的混合标准溶液, 再按已定的色谱、质谱条件进行检测, 与同样浓度的纯溶剂或流动相中待测物的离子强度进行比较, 观察基质效应。计算它们的相对比值来评价基质

效应情况。若比值小于 1.0, 说明基质对待测物的响应产生抑制作用; 若大于 1.0, 说明基质的存在增强了待测物的响应; 若等于 1.0, 说明待测物的响应未受影响。

2.6 统计和分析

采用 Excel 2003 软件对数据进行分析。经过 4 种方法加工后, 鱼丸中每种药物残留量的自然对数和时间的关系作直线回归分析, 模式方程表示为: $\ln Y = \ln A_0 - kX$, 此方程转化为指数曲线为 $Y = Ae^{-kX}$ 。Y 为总的药物残留量(μg), X 为加工进行的时间(min), 而 A_0 为未加工时, 鱼丸中的药物残留量。

3 结果与分析

3.1 检测方法的优化

本方法在 GB/T 19857-2005《水产品中孔雀石绿和结晶紫残留量的测定》的基础上, 增加了氘代结晶紫和氘代隐色结晶紫, 分别作为结晶紫和隐色结晶紫的内标物, 比

国标中用氘代孔雀石绿和氘代隐色孔雀石绿定量分析更准确。同时, 本文还研究了加入混合内标, 4 °C 放置 4 h 后再提取时的回收率情况。结果表明, 与原标准方法相比, 优化后的方法准确度高、精密度好(表 2)。

3.2 检测方法的评价

LMG 的工作曲线方程为 $Y = 2.72X + 0.246$ ($r = 0.9990$), MG 的曲线方程为 $Y = 0.672X + 0.0456$ ($r = 0.9990$), CV 的曲线方程为 $Y = 0.531X + 0.143$ ($r = 0.9991$), LCV 的曲线方程为 $Y = 0.793X + 0.0178$ ($r = 0.9998$)。在 0.250~10.0 ng/mL 的浓度范围内, LMG、MG、LCV 和 CV 及其内标的色谱峰峰形良好, 组分完全分离, 见图 1。LMG、MG、LCV 和 CV 的定量限为 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 能够满足本实验的需要。

3.3 加标样品均匀性分析

为消除样品均匀性对实验结果的影响, 制备完所有的加标样品后, 随机抽取 2 组样品, 每组做 3 个平行样, 按照 2.4 所述方法检测, 结果如表 3。

表 1 目标化合物液质测定条件
Tab. 1 Mass spectrometric parameters for target compounds

化合物	母离子/(m/z)	子离子/(m/z)	碰撞能量/V	去簇电压/V
孔雀石绿(MG)	329.0	313.2*, 208.1	50, 50	90
隐色孔雀石绿(LMG)	331.2	239.1*, 316.2	30, 30	90
结晶紫(CV)	372.3	356.3*, 235.2	45, 54	92
隐色结晶紫(LCV)	374.3	358.3*, 238.2	50, 54	91
氘代孔雀石绿(MG-D5)	334.2	318.2	54	90
氘代隐色孔雀石绿(LMG-D6)	337.3	322.3	32	90
氘代结晶紫(CV-D6)	378.2	362.2	47	92
氘代隐色结晶紫(LCV-D6)	380.2	364.2	45	91

注: *为定量离子。

表 2 2 种方法的比较
Table 2 Comparison of two methods

方法	加标水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均回收率/%				相对标准偏差/%			
		MG	LMG	CV	LCV	MG	LMG	CV	LCV
本方法	1.50	95.2	95.6	102	98.3	3.2	2.1	4.0	2.9
	2.50	90.3	97.6	98.6	92.6	2.6	2.9	3.9	3.0
	4.00	95.0	95.3	100	95.1	3.0	2.1	3.9	4.2
国标法	1.50	85.3	91.2	123	135	4.0	2.9	10.2	11.2
	2.50	92.0	86.2	125	140	2.9	2.6	7.8	9.2
	4.00	98.6	81.2	142	129	3.2	4.6	10.9	13.2

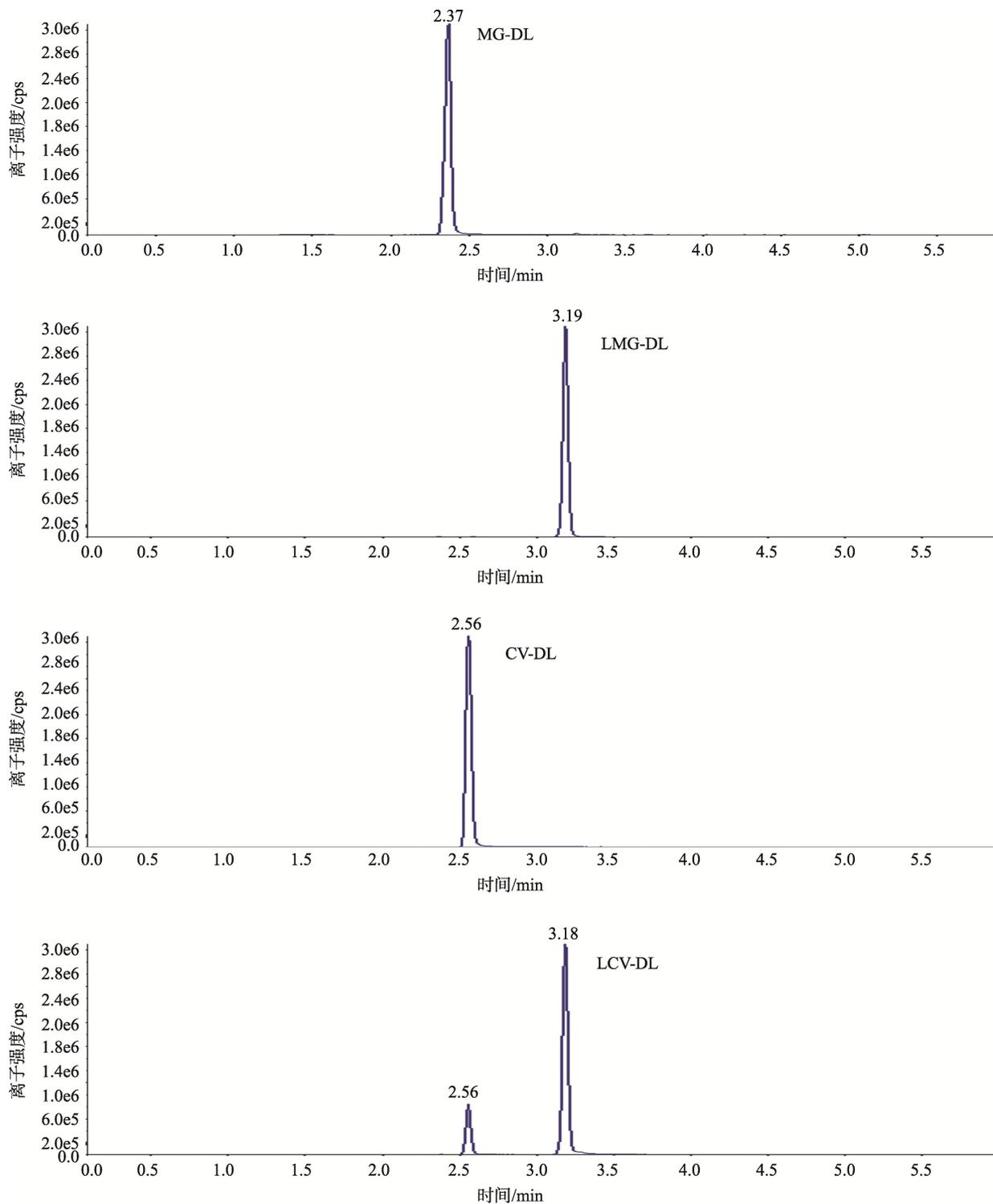


图 1 混合标准品定量离子色谱图
Fig.1 Quantitative chromatogram of mixed standards

根据公式 $F = \frac{S_2^2}{S_1^2}$, 其中 S_2 为方差较大者, S_1 为方差较小者, 算出 F 值。

经单因素方差分析: F 值均小于 $F_{0.05}(2,2)=19.0$, 见表 3。结果表明, 其差异不显著, 即采用此方法制作的鱼肉丸, 均匀性良好。

表 3 鱼肉中添加 LMG、MG、LCV、CV 均匀性分析
Table 3 Effects of supplementation of LMG, MG, LCV and CV in fish muscle

化合物	测定值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)			平均值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	F 值
	1	2	3		
MG1	5.02	5.00	4.92	4.98	6.7
MG2	5.06	5.16	4.87	5.03	
LMG1	5.10	4.95	4.90	4.98	9.0
LMG2	5.06	5.01	5.03	5.03	
CV1	4.91	5.09	4.92	4.97	4.0
CV2	5.12	5.08	5.00	5.07	
LCV1	5.01	4.95	4.90	4.95	3.3
LCV2	5.00	4.85	5.06	4.97	

3.4 基质效应对检测的影响

基质效应在化学分析中客观存在,不可能被完全消除。在生物样品分析中通常采用内标法、空白基质标准添加法及优化色谱-质谱分析条件对可能的基质效应进行消除和(或)补偿。但同位素与待测组分在样品制备、色谱分离及质谱检测的全过程中具有相似的行为,受基质效应的影响也一致,因此,同位素内标法被认为是补偿基质效应最理想的方法^[19]。本文通过实验,得出煮、蒸、炸、微波处理过的肉糜中的 4 种药物 LMG、MG、LCV 和 CV 的基

质效应的对比值范围分别为 0.62~0.67、0.60~0.71、0.65~0.73 和 0.72~0.77,说明不同烹饪方式下,药物存在不同的基质抑制效应,本实验检测结果通过同位素内标进行有效基质补偿,保证定量结果的准确性。

3.5 LMG、MG、LCV 和 CV 在不同烹饪方式下的消减情况分析

由表 4 和表 5 可知,采用公式 $Y(\ln A)=kX+b$ 拟合, k 的绝对值越大,消减的速率越快。不同的烹饪方式,鱼肉中药物的消减速率顺序为:炸>微波>煮>蒸;相同的烹饪方式,原药的消减速度均高于代谢物。这与陶昕晨^[20]在研究加工方式对虾体内 3 种氯霉素类药物残留消除影响的结果一致。烹饪方式导致的药物消减速率的不同,可能与以下因素有关:(1)烹饪温度影响孔雀石绿和结晶紫及其代谢物的消减速率。油炸温度 210 $^{\circ}\text{C}$,能使鱼肉中的 4 种药物在短时间内快速消减。微波加热频率快且带有光波,故其消减速度也快。煮和蒸使鱼肉温度的上升没有其他 2 种烹饪方式高,但药物会随着水分的流失而消减。故烹饪温度是影响这 4 种药物的消减速率的最重要因素。林锦良等^[21]在研究温度和光照对孔雀石绿降解的影响时,也得到了相似的结果。(2)加热介质对 4 种药物溶解性的影响。孔雀石绿及其代谢物在脂肪组织中容易蓄积^[22],油炸时药物消减的速率更快。(3)孔雀石绿的代谢物比原形药物更稳定。黄向荣等^[23]发现,不同储藏条件下,加标鳊鱼样品中 LMG 都比 MG 更难降解。

表 4 烹饪后鱼肉丸中 LMG、MG、LCV 和 CV 残留量平均值($n=3$)
Table 4 Absolute quantities of LMG, MG, LCV, CV residues in fish muscle by cooking($n=3$)

烹饪方式	烹饪时间/min	MG		LMG		CV		LCV	
		平均值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	相对标准 偏差/%						
煮	2	1.48	3.5	2.11	3.9	1.96	3.8	1.78	4.2
	3	1.13	4.0	2.01	3.1	1.57	3.2	1.60	3.9
	4	0.980	3.5	1.75	2.6	1.27	2.5	1.49	3.9
	5	0.690	4.2	1.40	3.2	0.720	2.6	1.21	3.0
蒸	3	1.95	3.9	2.25	2.6	2.35	2.6	1.84	2.9
	4	1.56	5.0	2.04	3.8	1.7	2.8	1.61	3.5
	5	1.41	3.1	1.85	2.6	1.54	2.4	1.56	3.8
炸	6	1.20	6.2	1.52	2.9	1.11	3.5	1.26	3.0
	1	1.21	2.6	1.56	3.1	1.24	4.6	1.37	4.8
	2	0.723	5.6	1.16	3.0	1.05	4.0	1.19	5.0
	3	0.501	2.8	0.812	2.9	0.732	4.9	1.01	4.0
微波	4	0.314	4.3	0.644	3.6	0.421	4.0	0.832	3.9
	3	1.01	5.6	2.55	3.4	2.10	3.6	2.31	3.6
	4	0.820	4.3	2.10	6.4	1.62	3.1	1.91	53.4
	5	0.621	2.1	1.79	2.6	1.08	3.0	1.76	2.9
	6	0.441	3.2	1.21	2.9	0.82	2.9	1.53	2.1

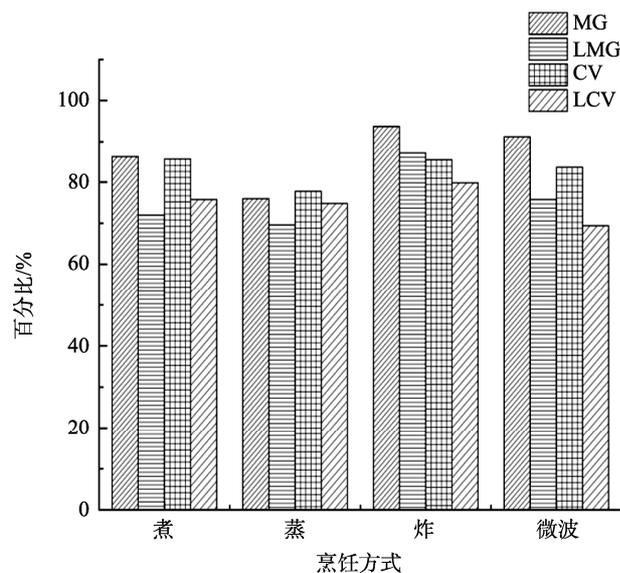
表 5 烹饪后鱼肉丸中 LMG、MG、LCV 和 CV 消减模式的方程
Table 5 Reducing pattern equations of LMG, MG, LCV and CV by cooking

烹饪方式		MG	LMG	CV	LCV
煮	方程式	$Y=-0.2432X+0.8819$	$Y=-0.1369X+1.0644$	$Y=-0.3216X+1.3844$	$Y=-0.1229X+0.8392$
	r^2	0.976	0.925	0.934	0.949
蒸	方程式	$Y=-0.1558X+1.1105$	$Y=-0.1274X+1.2129$	$Y=-0.2349X+1.5374$	$Y=-0.1168X+0.9658$
	r^2	0.978	0.965	0.964	0.924
炸	方程式	$Y=-0.4414X+0.6076$	$Y=-0.3011X+0.7389$	$Y=-0.3601X+0.6721$	$Y=-0.166X+0.4937$
	r^2	0.996	0.994	0.946	0.995
微波	方程式	$Y=-0.2764X+0.8729$	$Y=-0.2396X+1.691$	$Y=-0.322X+1.7277$	$Y=-0.1318X+1.2117$
	r^2	0.988	0.956	0.993	0.977

本实验采用 $Y=kX+b$ 直线回归模式分析烹饪后鱼肉丸中 LMG、MG、LCV 和 CV 消减快慢的影响。方程见表 5, 式中, $Y=\ln A$ (A: 总含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$); X =时间(min)。

3.6 LMG、MG、LCV 和 CV 在不同烹饪方式下的消减百分率

由图 2 可知, 经炸、微波、煮和蒸等烹饪方法处理后, 鱼丸中的药物浓度分别降低了 79.8%~93.7%、69.4%~91.2%、72.0%~86.2%和 69.6%~77.8%。在 4 种烹饪方式中, 炸与微波对药物的消减最有效。



注: *从每种烹饪方式的第 4 个时间点采样测定。

图 2 烹饪后鱼肉中 LMG、MG、LCV 和 CV 的消减百分率

Fig.2 Reducing percentage of LMG, MG, LCV and CV in fish muscle by cooking

4 结论

研究了煮、蒸、炸和微波这 4 种烹饪方式对草鱼肉中 LMG、MG、LCV 和 CV 消减的影响。结果表明: 相同的

烹饪方式, 原药的消减速度均高于代谢物, 鱼肉中药物的消减速率顺序为: 炸>微波>煮>蒸。高温加热能促进 MG、CV 及其代谢产物的消减。

参考文献

- [1] Culp SJ, Mellick PW, Trotter RW, *et al.* Carcinogenicity of malachite green chloride and leucomalachite green in B6C3F1 mice and F344 rats [J]. *Food Chem Toxicol*, 2006, 44(8): 1204–1212.
- [2] 翟毓秀, 郭莹莹, 耿霞, 等. 孔雀石绿的代谢机理及生物毒性研究进展 [J]. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(1): 27–32.
Zhai YX, Guo YY, Geng X, *et al.* Advances in studies on metabolic mechanism and bio-toxicity of malachite green [J]. *J Ocean Univ China*, 2007, 37(1): 27–32
- [3] 农业部. 农业部公告第 193 号: 食品动物禁用的兽药及其它化合物清单 [Z].
The Ministry of Agriculture. No.193 bulletin of ministry of agriculture: The detailed list of banning to use veterinary medicine and other chemical compound on animal for food commodity [Z].
- [4] Du LN, Zhao M, Li G, *et al.* Highly efficient decolorization of malachite green by a novel *Micrococcus* sp. strain BD15 [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2011, 19 (7): 2898–2907.
- [5] Bergwerff AA, Kuiper R V, Scherpenisse P. Persistence of residues of malachite green in juvenile eels (*Anguilla anguilla*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 233(1/4): 55–63.
- [6] 曾玉梅, 卢嘉明明, 董欣. 广州市水产品鱼类中孔雀石绿及结晶紫残留状况分析 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2015, 27(1): 79–81.
Zeng YM, Lu JMM, Dong X. Analysis of malachite green and crystal violet residues in fishes in Guangzhou city [J]. *Chin J Food Hyg*, 2015, 27(1): 79–81.
- [7] Aydin F, Yilmaz E, Soylok M. A simple and novel deep eutectic solvent based ultrasound-assisted emulsification liquid phase microextraction method for malachite green in farmed and ornamental aquarium fish water samples [J]. *Microchem J*, 2017, 132: 280–285.
- [8] 孙文芳, 黄薇, 刘祥萍, 等. 超高效液相色谱-质谱联用法测定小龙虾肌肉及虾黄中的孔雀石绿及隐色孔雀石绿 [J]. *现代预防医学*, 2018, 45(8): 1475–1478.
Sun WF, Huang W, Liu XP, *et al.* Determination of malachite green and leucomalachite green in crayfish using ultra-high performance liquid

- chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Mod Prev Med*, 2018, 45(8): 1475–1478.
- [9] Nurul HAP, Faridah S, Gayah AR, *et al.* Malachite green and leuco-malachite green detection in fish using modified enzyme biosensor [J]. *Procedia Chem*, 2016, 20: 85–89.
- [10] Li L, Peng AH, Lin ZZ, *et al.* Biomimetic ELISA detection of malachite green based on molecularly imprinted polymer film [J]. *Food Chem*, 2017, 229: 403–408.
- [11] Sun HB, Liu H, Wu YY. A flexible and highly sensitive surface-enhanced raman scattering film in-situ detection of malachite green on fish skin [J]. *Mater Lett*, 2017, 207: 125–128.
- [12] 丁军伟, 邓建朝, 杨贤庆, 等. 孔雀石绿及隐色孔雀石绿在花鲈组织中的分布与消除规律[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(4): 132–136.
Ding JW, Deng JC, Yang XQ, *et al.* Tissue distribution and elimination of malachite green and leucomalachite green in perch (*Lateolabrax maculatus*) [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(4): 132–136.
- [13] 杨金兰, 陈培基, 李刘冬, 等. 孔雀石绿在南美白对虾苗中的消除规律[J]. *食品科学*, 2013, 34(13): 71–74.
Yang JL, Chen PJ, Li LD, *et al.* Accumulation and elimination of malachite green in *Penaeus vannamei* boone fingerlings [J]. *Food Sci*, 2013, 34(13): 71–74.
- [14] Bajc Z, Jencic V, Gacnik KS. Elimination of malachite green residues from meat of rainbow trout and carp after water-born exposure [J]. *Aquaculture*, 2011, 321(1/2): 13–16.
- [15] 刘单单, 李春生, 杨贤庆, 等. 孔雀石绿降解菌 *Enterobacter* sp. B-20 的分离、鉴定和降解特性研究[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(1): 50–59.
Liu DD, Li CS, Yang XQ, *et al.* Isolation, identification and degradation characteristics of *Enterobacter* sp. B-20 from malachite green degradation bacteria [J]. *Fish Sci South China*, 2018, 14(1): 50–59.
- [16] 王靖. 贮藏和加工工艺对牛肉品质及氟喹诺酮类药物残留的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2015.
Wang Q. Effects of storage and processing technic on quality and fluoroquinolones residues in beef [J]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2015.
- [17] Kontou S, Tsipi D, Tzia C. Stability of the dithiocarbamate pesticide maneb in tomato homogenates during cold storage and thermal processing [J]. *Food Addit Contam*, 2004, 21(11): 1083–1089.
- [18] GB/T 19857-20005 水产品中孔雀石绿和结晶紫残留量的测定[S].
GB/T 19857-20005 Determination of malachite green and crystal violet residues in aquatic product [S].
- [19] Matuszewski BK. Standard line slopes as a measure of relative matrix effect in quantitative HPLC-MS bioanalysis [J]. *J Chromatogr B*, 2006, 830: 293–300.
- [20] 陶昕晨. 三种氯霉素类药物在对虾体内残留消除的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.
Tao XC. Rules of residues and disappearance of three kinds of chloramphenicols in shrimp [D]. ZhanJiang: Guangdong Ocean University, 2013.
- [21] 林锦良, 段嘉宾, 罗非凡. 水体环境中孔雀石绿的可见光化学稳定性探索[J]. *绿色科技*, 2018, (12): 152–155.
Lin JL, Duan JB, Luo FF. Investigation on visible photochemical stability of malachite green in aqueous solution [J]. *J Green Sci Technol*, 2018, (12): 152–155.
- [22] 刘峰延, 葛家春, 朱晓华. 孔雀石绿在水产动物体内的分布及新陈代谢规律[J]. *中国水产*, 2006, (1): 58–59.
Liu FY, Ge JC, Zhu XH. Distribution and metabolism of malachite green in aquatic animals [J]. *Chin Fish*, 2006, (1): 58–59.
- [23] 黄向荣, 万译文, 李小玲, 等. 不同储藏条件下鳊鱼样品中孔雀石绿及隐色孔雀石绿的降解规律研究[J]. *湖南农业科学*, 2014, (9): 69–74.
Huang XR, Wan YW, Li XL, *et al.* Degradation of malachite green and leuco malachite green under different storage conditions in mandarin fish muscle samples [J]. *Hunan Agric Sci*, 2014, (9): 69–74.

(责任编辑: 武英华)

作者简介



杨金兰, 硕士, 工程师, 主要研究方向为海洋与渔业环境监测及水产品质量安全研究。

E-mail: 527977629@qq.com



赵东豪, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与风险评估研究。

E-mail: donghaozhao@126.com