

## 姜辣素及其复合制剂对高温下加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响

周建忠<sup>1</sup>, 张亮<sup>2</sup>, 吴伟<sup>3\*</sup> (1. 苏州市吴江区水产技术推广站, 江苏苏州 215200; 2. 南京众成正源生物技术有限公司, 江苏南京 211200; 3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081)

**摘要** [目的] 研究植物提取物姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂对高温下加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响。[方法] 当水温为 30~33 ℃ 时, 采用 3.0 mg/L 的姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂水体泼洒, 每 2 d 使用 1 次, 连续 10 d; 按 0.1% 的添加量将其添加到加州鲈鱼饲料中, 每天投喂 2 次, 连续喂 20 d。采集加州鲈鱼肌肉和肝脏组织样本, 采用比色法测定其肝脏和肌肉中总抗氧化能力 (T-AOC)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和谷胱甘肽-过氧化物酶 (GSH-Px) 的活性以及丙二醛 (MDA) 含量。[结果] 当水温为 30~33 ℃ 时, 与 10 d 相比, 加州鲈鱼养殖 20 d 时其肌肉和肝脏组织中的 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性有所下降, 而 MDA 含量有所上升。采用姜辣素、姜辣素+牛磺酸复合制剂水体泼洒 10 d 后, 加州鲈鱼肌肉和肝脏组织中的 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性有所上升, 而 MDA 含量有所下降。饲料投喂 20 d 后, 加州鲈鱼肌肉和肝脏组织中的抗氧化应激指标均发生了显著变化 ( $P < 0.05$ ), T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性显著上升, MDA 含量则显著下降。[结论] 水体泼洒或饲料投喂姜辣素及姜辣素+牛磺酸复合制剂均可以有效提高加州鲈鱼的抗氧化应激能力, 饲料投喂方式较水体泼洒方式更加有效, 姜辣素+牛磺酸复合制剂比姜辣素的作用效果更加显著。

**关键词** 姜辣素; 牛磺酸; 高温; 加州鲈鱼; 抗氧化应激

中图分类号 S948; R931 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0095-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.025



开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

### Effects of Gingerol and Its Compound Preparation on the Antioxidant Stress Ability of *Micropterus salmoides* under High Temperatures

ZHOU Jian-zhong<sup>1</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>, WU Wei<sup>3</sup> (1. Fisheries Technology Extension Station in Wujiang District of Suzhou City, Suzhou, Jiangsu 215200; 2. Nanjing Zhongcheng Zhengyuan Biotechnology Co., Ltd, Nanjing, Jiangsu 211200; 3. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, Jiangsu 214081)

**Abstract** [Objective] To study the effects of plant extract gingerol and its compound preparation with taurine on the antioxidant stress ability of *Micropterus salmoides* under high temperatures. [Method] When the water temperature was 30~33 ℃, plant extract gingerol and its compound preparation with taurine were sprinkled into water at the concentration of 3.0 mg/L, they were used once every two days for 10 days. In another treatment, plant extract gingerol and its compound preparation with taurine was added in the feed of *M. salmoides* with the addition amount of 0.1%. *M. salmoides* were fed twice every day for 20 days. The muscle and liver tissue samples of *M. salmoides* were collected to determine total antioxidant capacity (T-AOC), the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GSH-Px), malondialdehyde (MDA) content in the liver and muscles by using colorimetric method. [Result] When the water temperature was 30~33 ℃, compared with 10 days, T-AOC and the activities of SOD, CAT, GSH-Px in the muscles and liver of *M. salmoides* cultured for 20 days decreased, while the content of MDA increased. After 10 days of water sprinkling with gingerol, gingerol compound with taurine, T-AOC and the activities of SOD, CAT and GSH-Px in the liver and muscle tissue of *M. salmoides* all showed upward trends, while MDA content showed a downward trend. After continuous feeding for 20 days, the antioxidant stress indices in the liver and muscle tissues of *M. salmoides* changed significantly ( $P < 0.05$ ), T-AOC and the activities of SOD, CAT and GSH-Px increased significantly, while MDA content decreased significantly. [Conclusion] Water sprinkling or feeding with gingerol and gingerol-aurine compound preparation could effectively improve the antioxidant stress capacity of *M. salmoides*. Continuous feeding was more effective than water sprinkling, and gingerol-aurine compound preparation had more significant effects than single gingerol.

**Key words** Gingerol; Taurine; High temperature; *Micropterus salmoides*; Antioxidant stress

加州鲈鱼 (*Micropterus salmoides*) 即大口黑鲈, 是广温性肉食性淡水鱼类, 经济价值较高, 已成为我国主要的淡水养殖优良品种之一。江苏省苏州市吴江区是加州鲈鱼的主要养殖区之一, 池塘养殖面积 0.2 万余  $\text{hm}^2$ 。随着加州鲈鱼养殖规模的日益扩大以及集约化程度的不断提高, 加州鲈鱼养殖环境水体污染并由此导致的病害暴发现象日益显现。夏季高温期间, 加州鲈鱼养殖池塘水质有机污染和富营养化污染严重, 有害藻类和微生物数量剧增, 水体中溶解氧含量变化明显, 加州鲈鱼应激反应严重, 已危害其健康和生长。加州鲈鱼在夏季生长过程中因受高温、水质污染等外界影响或自身机体内部作用可在机体内产生活性氧自由基 (ROS)。

活性氧自由基是外源性化学物质或机体代谢产物对生物机体氧化损伤的主要因素。ROS 不仅可以通过生物膜中多不饱和脂肪酸的过氧化引起细胞损伤, 而且还能通过脂氢过氧化物的分解产物引起细胞损伤, 因而 ROS 是造成生物机体损伤的重要因素<sup>[1-2]</sup>。生物体内生成的 ROS 大约 95% 与线粒体内的呼吸链电子传递过程有关<sup>[3]</sup>, 其影响可在生物机体组织的总抗氧化能力 (T-AOC)、丙二醛 (MDA) 含量以及超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽-过氧化物酶 (GSH-Px) 和过氧化氢酶 (CAT) 等活性上体现<sup>[4]</sup>。

生姜及其提取物近年来在水产养殖上的应用较多, 在抗菌、驱虫和抗缺氧方面效果良好<sup>[5-6]</sup>。生姜的主要成分是姜辣素。研究表明, 生姜对小鼠具有一定的抗胃溃疡作用, 能使小鼠淋巴细胞增殖、免疫功能加强<sup>[7]</sup>。姜辣素具有很强的抗氧化能力, 是天然植物生姜抗氧化的主要作用成分<sup>[8]</sup>, 其对鱼类抗氧化应激系统的影响研究少见报道。笔者根据现

**作者简介** 周建忠 (1978—), 男, 江苏苏州人, 高级工程师, 硕士, 从事水产养殖及水产环境保护研究。\* 通信作者, 研究员, 从事污染生态学与环境生物学研究。

**收稿日期** 2021-10-18

有姜辣素产品的使用剂量,采用水体泼洒和饲料投喂的方法,研究了姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂对高温期加州鲈鱼肌肉和肝脏中 T-AOC、MDA 含量以及 SOD、GSH-Px、CAT 活性的影响,旨在为姜辣素这一植物提取物在水产养殖业上的科学应用提供参考。

## 1 材料与与方法

**1.1 试验材料** 试验池塘选择苏州市吴江区的加州鲈鱼养殖池塘,池塘面积为 6 670~7 337 m<sup>2</sup>,平均水深 1.5 m。试验池塘共 9 个,其中 1 个对照池,4 个为水体泼洒试验池,4 个为饲料投喂试验池。水体泼洒试验于 2021 年 7 月 21 日至 7 月 30 日进行,共 10 d;饲料投喂试验于 2021 年 7 月 21 日至 8 月 9 日进行,共 20 d。试验期间水温为 30~33 ℃。每个池塘中养殖的加州鲈鱼规格、密度基本一致,养殖所用饲料为加州鲈配合饲料,试验期间养殖管理方法基本一致。

**1.2 仪器与试剂** 姜辣素由南京众成正源生物技术有限公司提供,主要成分为姜醇+姜酚,每毫升提取液中含姜醇+姜酚 1.50 mg;姜辣素+牛磺酸复合制剂由南京众成正源生物技术有限公司提供,每毫升复配液中含姜醇+姜酚 1.50 mg,牛磺酸 30 mg;T-AOC、MDA、SOD、CAT 和 GSH-Px 测定试剂盒、考马斯亮蓝法总蛋白测定试剂盒和标准蛋白由南京建成生物工程研究所有限公司提供;其他试剂均为分析纯,由国药集团化学试剂上海公司提供。

试验仪器有 METTLER AL104 电子天平、SIGMA 2-16 K 低温冷冻离心机、XW-80A 涡旋混合器、BCD-18WSL 电冰箱、721 分光光度计、HH.W21.Cu600 电热恒温水温箱、80-2 离心沉淀器、玻璃组织匀浆器等。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 水体泼洒姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响** 将姜辣素、姜辣素+牛磺酸复合制剂按 3.0 mg/L 的浓度投入加州鲈鱼养殖水体,每 2 d 投放 1 次,10 d 试验结束后取加州鲈鱼的肝脏和肌肉,分析抗氧化应激指标,了解水体泼洒姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响。试验设 2 个重复。

**1.3.2 饲料投喂姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响** 将姜辣素、姜辣素+牛磺酸复合制剂按 0.1% 的添加量加入加州鲈鱼饲料中,每天投喂 2 次,连续喂养

20 d,试验结束后取加州鲈鱼的肝脏和肌肉,分析抗氧化应激指标,了解饲料投喂姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响。试验设 2 个重复。

**1.4 样品采集和测定分析** 试验结束后,随机采集 3~5 条加州鲈鱼,平均体重为(350 g±5)g,用吸水纸擦干其表面后,解剖取肌肉或肝脏组织合并成混合样。取肌肉组织(或肝脏组织)约 5 g,在 0~4 ℃ 预冷的生理盐水中漂洗,除去血液,用滤纸拭干后称重。然后,放入 10 mL 烧杯中,先用移液管取总量的 2/3,将经 0~4 ℃ 预冷的匀浆介质[含 0.01 mol/L 的蔗糖、0.14 mol/L 的 NaCl、0.01 mol/L 的 Tris-HCl、0.000 1 mol/L 的 Na<sub>2</sub>EDTA, pH 为 7.4;所加入匀浆介质的液体体积(mL)与组织重量(g)之比为 9:1]<sup>[2]</sup>置于烧杯中,用医用剪刀尽快剪碎组织,倒入匀浆器中,再用剩余的 1/3 匀浆介质冲洗残留在烧杯中的组织,一并倒入匀浆器。在冰水浴中充分转动研磨,制成 10% 质量浓度的肝脏或肌肉组织匀浆液<sup>[2]</sup>。

将上述肝脏或肌肉组织悬液使用有关试剂盒测定其 T-AOC 和 MDA 含量,并使用考马斯亮蓝法总蛋白测定试剂盒和标准蛋白测定蛋白质含量,测试方法均为比色法(操作按试剂盒说明书进行)。在测定 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性前,需要对样品进行处理,匀浆悬液用 3 000 r/min 的转速离心 10~15 min,取上清液使用有关试剂盒测定其 SOD、CAT 和 GSH-Px 的活性<sup>[2,4]</sup>。试验结果使用 SPSS 统计软件进行 *t* 检验, $P<0.05$  表示差异显著, $P<0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

**2.1 水体泼洒姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响** 为对比姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂以水体直接泼洒的方式对高温下加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响,以 3.0 mg/L 的浓度每 2 d 泼洒 1 次,连续 10 d。试验结束后采样,分析加州鲈鱼肝脏和肌肉组织的抗氧化应激能力,结果见表 1。

从表 1 可以看出,试验期间水温为 30~33 ℃,经过连续 10 d 的短期泼洒,加州鲈鱼肝脏和肌肉组织中的抗氧化应激指标发生了一些变化,变化规律相似。与对照组相比,姜辣素组、姜辣素+牛磺酸复合制剂组 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性有所升高,而 MDA 含量有所降低,但 CAT 活性略有升高。

表 1 水体泼洒姜辣素及其复合制剂对加州鲈抗氧化应激能力的影响

Table 1 Effects of gingerol and its compound preparation on the antioxidant stress ability of *M.salmoides* by water sprinkling

组织 Tissues	组别 Group	浓度 Concentration//mg/L	T-AOC U/mg	MDA 含量 MDA content nmol/mg	SOD 活性 SOD activity U/mg	CAT 活性 CAT activity U/mg	GSH-Px 活性 GSH-Px activity U/mg
肝脏 Liver	姜辣素组	3.0	37.18*	6.28	241.36*	19.06	342.38
	姜辣素+牛磺酸复合制剂组	3.0	40.23**	5.88*	260.15**	19.15	372.56*
	对照组	0	31.26	6.58	200.38	18.24	330.72
肌肉 Muscle	姜辣素组	3.0	32.42*	5.87	202.38*	16.26	308.14*
	姜辣素+牛磺酸复合制剂组	3.0	37.66**	5.03**	225.12**	16.40	334.56**
	对照组	0	25.88	6.08	162.98	15.68	266.48

注:\*表示与对照组差异显著( $P<0.05$ ),\*\*表示与对照组差异极显著( $P<0.01$ )

Note:\* indicated significant difference with control group ( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant difference with control group ( $P<0.01$ )

5 个抗氧化应激指标中,T-AOC 以及 SOD、CAT、GSH-

Px 活性反映的是鱼类机体的抗氧化应激能力,而 MDA 含量

反映的是鱼类机体中氧化损伤产物的含量,反映了机体氧化损伤程度。T-AOC 包括酶促和非酶促 2 个体系:酶促体系以微量元素为活性中心,涉及 SOD、GSH-Px、CAT、GST 等酶;非酶促体系以氨基酸、维生素和金属蛋白质为主导,比如  $V_E$ 、 $V_C$ 、半胱氨酸、色氨酸、葡萄糖、转铁蛋白和乳铁蛋白等。T-AOC 抗氧化作用主要通过 3 条途径实现:①消除自由基和活性氧,以免引发脂质过氧化;②分解过氧化物,阻断过氧化链;③除去起催化作用的金属离子。T-AOC 各成分之间起到相互协同作用以及代偿作用与依赖作用<sup>[2,9]</sup>。T-AOC 的上升体现出机体可抵御外源亲电基团的氧化,减少组织或细胞自身损伤的酶或非酶物质的增加,间接反映出机体的抗氧化能力。作为 T-AOC 的组成部分,SOD、CAT、GSH-Px 活性的上升均体现出机体抵御外来物质的氧化损伤,清除系统中 ROS 影响能力的提升<sup>[2,4,10]</sup>。MDA 是脂质过氧化的产物,其含量可反映机体组织内脂质过氧化程度,间接反映出细胞损伤程度,MDA 含量的下降体现出机体良好的抗氧化状态<sup>[11]</sup>。

在肝脏组织中,姜辣素组 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性较对照组分别上升 18.94%、20.45%、4.50% 和 3.53%;姜辣素+牛磺酸复合制剂组 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性较对照组分别上升 28.69%、29.83%、4.99% 和 12.65%。2 个试验组除了 CAT 活性相差不大外,姜辣素+牛磺酸复合制剂组的抗氧化应激能力均明显好于姜辣素组,表明姜辣素+牛磺酸复合制剂可以显著提高加州鲈鱼的抗氧化

应激水平。与对照组相比,2 个试验组 MDA 含量均有所下降,分别下降 4.56% 和 10.64%,其中姜辣素组与对照组差异显著 ( $P<0.05$ ),姜辣素+牛磺酸复合制剂组与对照组相比差异极显著 ( $P<0.01$ )。牛磺酸是水产生动物体内的一种含硫氨基酸,可以提高机体的免疫能力,增强细胞膜的抗氧化能力<sup>[12]</sup>,其与姜辣素复配具有增强鱼类机体抗氧化应激的作用。

姜辣素组加州鲈鱼肌肉组织中 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性较对照组分别增加 25.27%、24.17%、3.70% 和 15.63%;与对照组相比,姜辣素+牛磺酸复合制剂组加州鲈鱼肌肉组织中 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性分别增加 45.52%、38.13%、4.59% 和 25.55%。与对照组相比,姜辣素组、姜辣素+牛磺酸复合制剂组加州鲈鱼肌肉组织中 MDA 含量分别下降 3.45% 和 17.27%。与肝脏组织相比,加州鲈鱼肌肉组织中抗氧化应激水平的提升程度更高,这与水体泼洒方式有关。姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂进入水体后,可通过表皮吸收、体表渗透等途径进入机体,因此作为皮下肌肉组织,其与内脏组织相比接触的时间会更早,但具体作用机理有待深入研究。

**2.2 饲料投喂姜辣素及其复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响** 为对比姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂以饲料投喂的方式对高温下加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响,按 0.1% 的添加量加入加州鲈鱼的饲料中,连续饲喂 20 d。试验结束后采样,测定加州鲈鱼肝脏和肌肉组织的抗氧化应激能力,结果见表 2。

表 2 饲料投喂姜辣素及复合制剂对加州鲈鱼抗氧化应激能力的影响

Table 2 Effects of gingerol and its compound preparation on antioxidant stress ability of *M.salmoides* by feeding

组织 Tissues	组别 Group	添加量 Addition amount//%	T-AOC U/mg	MDA 含量 MDA content nmol/mg	SOD 活性 SOD activity U/mg	CAT 活性 CAT activity U/mg	GSH-Px 活性 GSH-Px activity U/mg
肝脏 Liver	姜辣素组	0.1	35.26*	5.79*	233.23*	17.48*	355.24*
	姜辣素+牛磺酸复合制剂组	0.1	41.06**	5.02**	252.78**	17.52*	382.12**
	对照组	0	27.86	6.87	178.92	15.49	300.12
肌肉 Muscle	姜辣素组	0.1	28.16*	5.67*	200.38*	16.15*	298.10*
	姜辣素+牛磺酸复合制剂组	0.1	33.66**	4.93**	220.86**	16.40*	316.38**
	对照组	0	23.68	6.56	156.78	14.52	253.67

注: \* 表示与对照组差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\* 表示与对照组差异极显著 ( $P<0.01$ )

Note: \* indicated significant difference with control group ( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant difference with control group ( $P<0.01$ )

由表 2 可知,当水温为 30~33 °C 时,对照组在试验 20 d 时的抗氧化应激能力与 10 d 时相比(表 1)有一定程度的下降,表明高温会影响加州鲈鱼的抗氧化应激能力,造成相应的应激反应。采用姜辣素及其与牛磺酸的复合制剂饲料投喂 20 d 后,加州鲈鱼肌肉和肝脏组织中的抗氧化应激指标均发生了显著变化,其中 T-AOC 以及 SOD、GSH-Px 和 CAT 活性显著升高,MDA 含量则显著下降 ( $P<0.05$ ),这种变化趋势整体上与水体泼洒试验类似,但变化程度更显著。与对照组相比,姜辣素组加州鲈鱼肝脏组织中 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性分别提高 26.56%、30.35%、12.85% 和 18.37%,姜辣素+牛磺酸复合制剂组 T-AOC 以及 SOD、CAT、GSH-Px 活性分别提高 47.38%、41.28%、13.11% 和 27.32%。与对照组相比,加州鲈鱼肌肉组织中 T-AOC 以及 SOD、CAT

和 GSH-Px 活性姜辣素组分别提高 18.92%、27.81%、11.23% 和 17.51%,姜辣素+牛磺酸复合制剂组分别提高 42.15%、40.87%、12.95% 和 24.72%。与对照组相比,2 个试验组 MDA 含量有所下降,姜辣素组、姜辣素+牛磺酸复合制剂组加州鲈鱼肝脏组织中 MDA 含量分别下降 15.72% 和 26.93%,姜辣素组、姜辣素+牛磺酸复合制剂组肌肉组织中 MDA 含量分别下降 13.57% 和 24.85%。与水体泼洒方式不同的是,饲料投喂方式下加州鲈鱼肝脏组织的抗氧化应激能力提高程度要好于肌肉组织。相对于水体浸浴接触,连续 20 d 的饲料投喂使得加州鲈鱼对姜辣素及其复合制剂的吸收更加全面、直接和有效,且不被利用的饲料散失在水体中也可产生类似水体泼洒的效果。研究结果表明,饲料投喂姜辣素更有利于提高加

(下转第 109 页)

43.33%, 幼苗很少发新根。试管苗不需炼苗, 可直接从培养瓶移栽到基质中, 这与曾斌等<sup>[10]</sup>将已生根的瓶苗移出培养室, 放置散射光较强处炼苗, 使瓶苗在出瓶前充分进行光、湿、温锻炼的研究结果一致。移出 3 d 后拧松瓶盖, 5 d 后将

瓶盖揭开, 7 d 后小心倒出瓶苗, 用自来水冲洗, 洗净培养基, 并直接移植到塑料小拱棚或温室内的苗床上, 这与潘春云等<sup>[11]</sup>先将葡萄试管苗炼苗 7~11 d, 再移栽到营养钵中有所不同。

表 5 不同基质对葡萄试管苗移栽成活率的影响

Table 5 Effects of different substrates on the survival rate of seedling transplanting in grape test tube

品种 varieties	基质 Matrix	移栽数 Number of transplanting//株	从移栽到发新根天数 Days from transplanting to new roots//d	30 d 苗高 Seedling height in 30 days//cm	30 d 成活株数 Number of surviving plants in 30 days//株	成活率 Survival rate %
先锋 Xianfeng	细河砂	60	16	9.13	52	86.67
	腐殖质土	60	很少发根	6.31	20	33.33
	蛭石	60	18	9.17	43	71.67
红富士 Red Fuji	细河砂	60	13	9.27	53	88.33
	腐殖质土	60	很少发根	6.30	20	33.33
	蛭石	60	15	8.06	47	78.33
黑奥林 Heiolin	细河砂	60	11	11.33	60	100
	腐殖质土	60	少量发根	6.17	26	43.33
	蛭石	60	15	11.61	51	85.00

## 参考文献

- [1] 冯发文, 田群芳. 巨峰葡萄组织培养快繁技术研究[J]. 落叶果树, 2011, 43(2): 6-8.
- [2] 黄贞光, 谭素英, 李四俊, 等. 葡萄组织培养快速繁殖及微茎尖培养研究[J]. 果树科学, 1990, 7(1): 13-18.
- [3] 李国树, 邱璐, 徐成东, 等. 葡萄组织培养快速繁殖体系研究[J]. 北方园艺, 2011(9): 134-136.
- [4] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 248.
- [5] 富桂荣, 李勤贤, 胡宗双. 植物组织培养技术在农业生产中的应用[J]. 农业科技与信息, 2007(5): 22-23.

- [6] 马远, 张振文, 杨玉洁, 等. 葡萄组织培养应用研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2002(4): 23-26.
- [7] 曹孜义, 齐与枢, 郭采月. 葡萄试管繁殖[J]. 葡萄科技, 1979(4): 7-10.
- [8] 毛明珍, 田海山, 吕昌文. 葡萄试管苗繁殖技术研究[J]. 新疆农业科学, 1984, 21(4): 22-23, 50.
- [9] 徐庆玉, 张秀清, 王春英, 等. 葡萄的组织培养及其应用[J]. 山东农业科学, 1987, 19(4): 23-24.
- [10] 曾斌, 罗淑萍, 任盈盈, 等. 木纳格葡萄组织培养快繁技术的研究简报[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(3): 340-343.
- [11] 潘春云, 卢丙之, 赵新节. 葡萄试管苗移栽技术[J]. 落叶果树, 1988, 20(1): 13-14.

(上接第 97 页)

州鲈鱼高温期间的抗氧化应激能力, 而牛磺酸的添加更提升了这种效果。

## 3 结论

(1) 当水温为 30~33 ℃时, 与 10 d 相比, 加州鲈鱼养殖 20 d 时其肌肉和肝脏组织中的 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性有所下降, 而 MDA 含量有所上升, 表明高温可对加州鲈鱼产生氧化应激效应。

(2) 当水温为 30~33 ℃时, 采用姜辣素、姜辣素+牛磺酸复合制剂按 3.0 mg/L 的浓度进行每 2 d 1 次的水体泼洒, 连续 10 d 后加州鲈鱼肌肉和肝脏组织中的 T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性呈上升趋势, 而 MDA 含量呈下降趋势, 其在肝脏组织中的变化不如肌肉组织明显。这表明水体泼洒姜辣素及姜辣素+牛磺酸复合制剂可以有效提高加州鲈鱼的抗氧化应激能力, 姜辣素+牛磺酸复合制剂比姜辣素的作用效果更好。

(3) 当水温为 30~33 ℃时, 采用姜辣素、姜辣素+牛磺酸复合制剂按 0.1% 的添加量进行每天 2 次连续饲喂, 20 d 后加州鲈鱼肌肉和肝脏组织中的抗氧化应激指标均发生了显著变化 ( $P < 0.05$ ), T-AOC 以及 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性显著上升, 而 MDA 含量则显著下降, 其在肝脏组织中的变化比肌

肉组织更加明显。这表明连续饲料投喂姜辣素及其复合制剂可以显著提高加州鲈鱼的抗氧化应激能力, 且作用效果好于水体泼洒方式。

## 参考文献

- [1] 方允中, 郑荣梁. 自由基生物学的理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 王正健. 复合植物源抗氧化剂的研制及在中华鳖养殖上的应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [3] LIU S S. Generating, partitioning, targeting and functioning of superoxide in mitochondria[J]. Bioscience reports, 1997, 17(3): 259-272.
- [4] 聂凤琴. 多溴联苯醚对鲫鱼分子毒理效应的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [5] 韦盘秋, 鲁晶娣, 黄杰, 等. 8 种中草药对常见水产病原菌的抑制作用[J]. 畜牧与兽医, 2018, 50(11): 115-119.
- [6] 李晓璐, 王琼, 刘妍, 等. 生姜对脆肉鲩在活体运输过程中抗缺氧能力的影响及冷藏保鲜效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(3): 53-59, 63.
- [7] 潘华柱. 姜辣素对小鼠免疫系统辐射损伤的保护及作用机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [8] 李田叶. 生姜及其不同炮制品中姜辣素类化合物的抗氧化性分析和抑菌性分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2016.
- [9] 程树培. 环境生物技术实验指南[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995.
- [10] GOC Z, SZAROMA W, KAPUSTA E, et al. Protective effects of melatonin on the activity of SOD, CAT, GSH-Px and GSH content in organs of mice after administration of SNP[J]. Chinese journal of physiology, 2017, 60(1): 1-10.
- [11] 李瑗伶, 蓝昕, 司万童, 等. 己烯雌酚对染镉草鱼 GSH-Px、SOD 和 MDA 影响的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 350-353.
- [12] 邱小琮, 赵红雪, 王远吉, 等. 牛磺酸对鲤非特异性免疫及抗氧化能力的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4): 429-434.