

## 饲料中补充番茄红素对鲫鱼抗氧化能力的影响

孟 好<sup>1</sup>, 杨鸢劫<sup>2\*</sup>, 王建美<sup>3</sup>, 单志萍<sup>1</sup>

(1. 江苏省微生物研究所有限责任公司, 无锡 214063; 2. 江苏省淡水水产研究所, 南京 210017;  
3. 镇江市丹徒区水产技术推广站, 镇江 212028)

**摘 要:** 在基础饲料中分别添加番茄红素 (lycopene, LCP) 含量为 0.50%、0.75% 和 1.00% 的番茄红素油 1.5%, 对照组为 1.5% 的鱼油, 即饲料中番茄红素添加量为 0、75.0、112.5、150.0 mg·kg<sup>-1</sup>。人工投喂饲养平均体长 22.4±1.13 cm, 平均体重 180.60±37.23 g 的鲫鱼 50 d。每网箱随机取样 20 尾 (n=20) 试验鱼, 进行血清总超氧化物歧化酶活性 (T-SOD)、丙二醛含量 (MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶活力 (GSH-Px)、一氧化氮含量 (NO) 和抑制羟自由基能力 (·OH) 测定, 以研究番茄红素对养殖鲫鱼抗氧化能力的影响。试验数据以平均值±标准差 (Mean±SD) 表示, SPSS11.5 软件 Duncan 多重比较检验。结果显示, 添加番茄红素试验组血清 T-SOD 活性比对照组分别提高了 8.49、43.33 和 48.57 U·mL<sup>-1</sup>, 番茄红素添加量 112.5 和 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> 组的血清 T-SOD 活性与对照组比较有显著差异 (P < 0.05)。添加番茄红素试验组血清中 MDA 含量分别比对照组降低了 3.75、4.55 和 2.70 nmol·mL<sup>-1</sup>, 添加番茄红素和试验组与对照组比较血清 MDA 含量均无显著差异 (P > 0.05)。添加番茄红素试验组血清 GSH-Px 活力分别比对照组提高了 99.32、138.77 和 122.61 U, 添加番茄红素的各试验组与对照组比较血清 GSH-Px 活力均有显著差异 (P < 0.05)。添加番茄红素试验组血清 NO 含量分别高于对照组 12.83、8.30 和 13.02 μmol·mL<sup>-1</sup>, 添加番茄红素 75.0 和 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> 组与对照组比较血清 NO 含量有显著差异 (P < 0.05)。添加番茄红素试验组血清中抑制·OH 能力比对照组降低了 318.50、290.91 和 277.99 U·mL<sup>-1</sup>, 添加番茄红素 75.0 mg·kg<sup>-1</sup> 组与对照组比较血清中抑制·OH 能力差异显著 (P < 0.05)。添加番茄红素各试验组间比较 T-SOD 活性、GSH-Px 活力、MDA 含量、NO 含量和抑制·OH 能力均无显著差异 (P > 0.05)。综合试验结果, 在鲫鱼人工配合饲料的油脂中添加番茄红素, 有效地提高了养殖鲫鱼内源性抗氧化物质的水平, 实现了抗氧化剂的抗氧化作用。

**关键词:** 番茄红素油; 鲫鱼; 饲料添加剂; 抗氧化能力

中图分类号: S965.117

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)01-0059-06

### Effects of lycopene supplement on the antioxidant capacity of *Carassius auratus*

MENG Yu<sup>1</sup>, YANG Yuan-jie<sup>2</sup>, WANG Jian-mei<sup>3</sup>, SHAN Zhi-ping<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Institute of Microbiology Co., Ltd., Wuxi 214063;

2. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017;

3. Zhenjiang City Dantu District Fishery Technical Extension Station, Zhenjiang 212028)

**Abstract:** Effects of lycopene supplements on antioxidant capacity were studied in Crucian Carp, *Carassius auratus*, with average length 22.4±1.13 cm and weight 180.60 ± 37.23 g. Fish were fed a commercial diet supplemented with Lycopene at levels of 0.50%, 0.75%, 1.00%, and with 1.5% fish oil as the control in cages for 50 days. That is, four diets contained Lycopene at 0, 75, 112.5, and 150 mg·kg<sup>-1</sup> for a control diet and other three diets containing Lycopene. Twenty fish was randomly taken from each cage. As biomarkers, T-SOD, MDA, GSH-Px, NO, and ·OH were measured in blood serum. The experimental data were presented in mean ± standard deviation (SD). Duncan test was performed for the multiple comparisons among four diets using SPSS 11.5 version. The study shows: The levels of T-SOD in fish blood serum were 8.49, 43.33, and 48.57 U·mL<sup>-1</sup> higher in fish fed with three diets added lycopene than that of the control. The levels of T-SOD were significantly higher (P<0.05) in fish fed with diet added 112.5 and 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> lycopene than that of the control. The levels of MDA in the blood

收稿日期: 2010-03-31

基金项目: 江苏省科技厅项目 (BE2008318) 资助。

作者简介: 孟好, 女, 副研究员。E-mail:meng5812yu@yahoo.com.cn

\* 通讯作者: 杨鸢劫, 女, 副研究员。E-mail:yangyj025@126.com

serum of fish fed with diets were 3.75, 4.55, and 2.70 nmol·mL<sup>-1</sup> lower than that of control. But, no significant difference was found in levels of MDA in fish fed diets added 75.0, 112.5, 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> lycopene oil and the control. The levels of GSH-Px activity in the blood serum of fish fed with three lycopene diets were 99.32, 138.77, 122.61 U higher compared to the control. The GSH-Px activity in blood serum of fish fed diets added lycopene was significantly higher ( $P<0.05$ ) than that of the control. The levels of NO in fish fed diets adding lycopene were 12.83, 8.30, and 13.02 μmol·mL<sup>-1</sup> higher than that of control. The levels of NO in fish fed 75 and 150 mg·kg<sup>-1</sup> lycopene were significantly different ( $P<0.05$ ) than that of control fish. The activities of ·OH in fish fed lycopene were 318.50, 290.91, and 277.99 U·mL<sup>-1</sup> lower than that of control. The activity of ·OH was significantly decreased ( $P<0.05$ ) in fish fed diet added 75.0 mg·kg<sup>-1</sup> lycopene than that of the control. No significant differences were found in levels of T-SOD, GSH-Px, MDA, NO, and ·OH in blood serum of fish fed diets added with 75.0, 112.5, 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> lycopene. The experiment demonstrated that lycopene as an antioxidant added to a commercial diet can significantly improve the antioxidant capacity of Crucian Carp.

**Key words:** lycopene oil; *Carassius auratus*; feed additive; antioxidant capacity

番茄红素(lycopene, LCP)由 11 个共轭双键及 2 个非共轭碳-碳双键构成的高度不饱和直链型烃类化合物, 分子式 C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>。纯品为无毒针状深红色晶体, 不溶于水, 难溶于甲醛、乙醇, 可溶于脂肪、乙醚等, 属黄(红)色植物碳氢化合物类胡萝卜素<sup>[1]</sup>。因分子结构含有多个共轭双键的特点, 使其在诸多类胡萝卜素中的抗氧化能力最强, 是目前自然界中被发现的最强抗氧化剂之一<sup>[2-3]</sup>。天然植物中的番茄红素几乎都以反式结构的形式存在, 进入动物机体后以异构体形式存在, 以顺式异构体居多<sup>[4]</sup>。在动物体内, 番茄红素通过小肠吸收并与血浆中的乳糜微粒结合后进入淋巴管, 随血液循环分布到全身的组织器官, 通过物理和化学方式协同作用, 高效淬灭单线态氧及清除过氧化自由基<sup>[5-6]</sup>。基于番茄红素所具有的生理功能, 同时兼有安全无毒的天然色素和营养强化剂作用优点, 被联合国粮农组织(FAO)、食品添加剂委员会(JECFA)和世界卫生组织(WHO)认定为 A 类营养素, 已成为 21 世纪食品添加剂、保健制品, 食用色素等领域的研究热点, 而将番茄红素作为水产养殖动物饲料添加剂的应用研究尚未开展。

试验利用生物发酵法提取番茄红素得到的副产品—番茄红素油作为添加剂, 应用于水产养殖饲料进行再利用。选择鲫鱼(*Carassius auratus*)为试验动物, 在基础饲料中添加含一定比例的番茄红素油。通过对血清中内源性自由基清除系统中总超氧化物歧化酶活性(superoxide dismutase, T-SOD)、丙二醛含量(malondialdehyde, MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶活力(glutathione peroxidase, GSH-Px)、一氧化氮含量(nitric oxide, NO)和羟自由基能力(hydroxyl free radical, ·OH)的测定。研究日粮中番茄红素对养殖鲫鱼抗氧化性能的影响, 为番茄红素在水产养殖动物饲料添加剂中的应用, 以及生产高质量的鱼用

配合饲料提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 基础日粮** 基础日粮为不含油脂和番茄红素的原料组成(表 1), 以进口鱼粉、豆粕、花生粕、菜粕为蛋白源, 玉米粉为糖源, 麸皮为纤维素, 羟甲基纤维为粘合剂, 矿物质预混料的主要成份为 K、Na、Ca、Mg、Mn、Zn 和 Cu, 氨基酸预混料主要成份为赖氨酸和蛋氨酸, 复合维生素为 V<sub>A</sub>、V<sub>B2</sub>、V<sub>C</sub>、V<sub>D3</sub>、V<sub>E</sub>、泛酸钙、烟酸和叶酸等预混料。按照 GB 5009-85 检测标准测定粗蛋白和粗脂肪等营养水平。

**1.1.2 番茄红素油及添加量** 试验用番茄红素油为生物发酵制备番茄红素代谢所产生的油脂, 番茄红素的基准含量为 0.75%, 在基础饲料中分别添加番茄红素含量为 0.50%、0.75%和 1.00%的番茄红素油 1.5%, 对照组添加 1.5%鱼油, 即番茄红素在饲料中的添加量为 0、75.0、112.5 和 150.0 mg·kg<sup>-1</sup>。充分混均后制成粒径 2.4 mm 颗粒饲料, 以 50~60℃烘干, 含水量为 10%以下。

**1.1.3 试验检测试剂与仪器** T-SOD、MDA、GSH-PX、NO 和 ·OH 测定试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。肝素等购自上海生物工程公司。检测仪器为 UV-2800 型紫外可见分光光度计。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验分组与饲养管理** 试验鱼养殖在镇江市丹徒区宝堰镇同发养殖场进行。试验鲫鱼购自江苏省扬州市水产原良种场, 经训养 5 d 后, 挑选体健无伤, 规格相近, 总数 400 尾, 平均体长 22.4±1.13 cm, 平均体重 180.60±37.23 g。试验鱼随机分为 3 个试验组和 1 个对照组, 每组 50 尾, 2 个重复, 分别放养在聚乙烯网箱(3.0 m×4.0 m×2.5 m, 20 目)中

饲养。对照组投喂基础日粮, 试验组分别投喂添加不同比例番茄红素油的试验日粮, 投饵量按鱼体重 4.5% 确定, 每天 8:30 和 16:30 投喂 2 次。饲养期间水温 26~33℃, 溶氧 6.5~8.3 mg·L<sup>-1</sup>, pH 6.9~7.6, 饲养时间 50 d。

表 1 基础日粮组成  
Table 1 Composition of basal feed %

原料 Ingredients	含量 Content
鱼粉 Fish meal	12.0
豆粕 Soybean meal	23.0
花生粕 Peanut meal	10.0
菜粕 Rapeseed meal	13.0
玉米粉 Indian meal	15.0
小麦麸 Wheat bran	20.0
矿物质预混料 Mineral premix <sup>1)</sup>	1.5
氨基酸预混料 Amino acid premix <sup>2)</sup>	1.0
复合维生素 Vitamin premix <sup>3)</sup>	0.5
维生素 Vitamin premix	0.5
羟甲基纤维 Carboxymethyl cellulose	2.0
合计 Total	98.5
营养水平 Nutrient levels	
水份 Moisture	9.47
粗蛋白 Crude protein	32.80
粗纤维 Crude fiber	9.00
粗脂肪 Crude fat	2.50
粗灰分 Crude ash	12.50
总磷 Total phosphor	1.00

注: 1)每千克矿物质预混料含有: 铁 3.75 g; 锌 500 mg; 铜 100 mg; 锰 375 mg; 碘 15 mg; 硒 2.5 mg; 钴 2.5 mg; 镁 12.5 g。2)每千克氨基酸预混料含有: L-赖氨酸 5 g; DL-蛋氨酸 20 g; L-苏氨酸 3 g。3)每千克维生素预混料主要含有: V<sub>A</sub> 2 000 IU, V<sub>B2</sub> 20 mg, V<sub>C</sub> 400 mg, V<sub>D3</sub> 1 500 IU, V<sub>E</sub> 100 IU, DL-泛酸钙 60 mg, 烟酸 160 mg, 叶酸 1.5 mg。

Note: 1) Contained the following per kg of mineral premix: Fe 3.75 g; Zn 500 mg; Cu 100 mg; Mn 375 mg; I 15 mg; Se 2.5 mg; Co 2.5 mg; Mg 12.5 g. 2) Contained the following per kg of amino acid premix: L-lysine 5 g; DL-methionine 20 g; L-threonine 3 g. 3) Contained following per kg of vitamin premix: V<sub>A</sub> 2 000 IU, V<sub>B2</sub> 20 mg, V<sub>C</sub> 400 mg, V<sub>D3</sub> 1500 IU, V<sub>E</sub> 100 IU, DL Calcium 60 mg, Nicotinic acid 160 mg, Folic acid 1.5 mg.

**1.2.2 样品采集及血清制备** 试验鱼投喂不同比例番茄红素油养殖 50 d, 每网箱随机抽取 20 尾( $n = 20$ ), 无菌注射器尾动脉取血, 1%肝素抗凝, 4℃过夜, 4℃ 2 500 r·min<sup>-1</sup> 离心 5 min, 取上层血清, -20℃保存备用。

**1.2.3 血清 T-SOD 活性测定** T-SOD 活性测定采用黄嘌呤氧化酶法(xanthine oxidase, XOD)。待检血清用生理盐水(85%)1:1 稀释, 血清稀释液取样量 50

μL, 涡旋混匀器混匀, OD<sub>550</sub>, 检测温度<25℃。以每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50%时所对应的 SOD 量为一个 SOD 活力单位(U)。

**1.2.4 血清 MDA 含量测定** MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)比色法, 四乙氧基丙烷标准液浓度为 10 nmol·L<sup>-1</sup>。待检血清取样量 100 μL, 涡旋混匀器混匀, OD<sub>532</sub>, 检测温度<25℃, 检测结果以 nmol·L<sup>-1</sup>表示。

**1.2.5 血清 GSH-PX 活力测定** GSH-PX 活力测定采用 Hafeman 比色法。待检血清用生理盐水(85%)1:1 稀释, 血清稀释液取样量 100 μL, 涡旋混匀器混匀, OD<sub>412</sub>, 检测温度<25℃。以 0.1 mL 血清 37℃反应 15 min, 反应体系中谷胱甘肽(GSH)浓度降低 1 μmol·L<sup>-1</sup> 为一个酶活力单位(U)。

**1.2.6 血清 NO 含量测定** NO 含量测定采用 α-萘胺 Griess 法<sup>[7]</sup>, 标准液浓度为 100 μmol·L<sup>-1</sup>。待检血清取样量 100 μL, 涡旋混匀器混匀, OD<sub>550</sub>, 检测温度<25℃, 检测结果以 μmol·L<sup>-1</sup>表示。

**1.2.7 血清 ·OH 能力测定** ·OH 能力采用 Gries 法测定, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 标准液浓度为 0.03%。待检血清用生理盐水(85%)1:14 稀释, 血清稀释液取样量 200 μL, 涡旋混匀器混匀, OD<sub>550</sub>, 检测温度<25℃。以每毫升血清在 37℃反应 1 min, 使反应体系中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浓度降低 1 mmol·L<sup>-1</sup> 为一个抑制·OH 能力单位(U·mL<sup>-1</sup>)。

### 1.3 试验数据统计分析

试验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示。数据统计采用 SPSS11.5 软件, Duncan 多重比较检验试验组间差异,  $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 血清 T-SOD 活性

对照组血清中 T-SOD 活性为 99.05 U·mL<sup>-1</sup>, 添加番茄红素试验组血清中 T-SOD 活性依次为 107.54、142.38 和 147.62 U·mL<sup>-1</sup>。随着番茄红素添加量的增加, 试验组血清 T-SOD 活性比对照组分别提高了 8.49、43.33 和 48.57 U·mL<sup>-1</sup>。Duncan 多重比较检验, 番茄红素添加量 112.5 和 150.0 mg·kg<sup>-1</sup> 组的血清 T-SOD 活性与对照组有显著差异( $P < 0.05$ )。添加番茄红素的试验组间, 血清 T-SOD 活性无显著差异( $P > 0.05$ ) (表 2)。

### 2.2 血清 MDA 含量

对照组血清中 MDA 含量为 13.60 nmol·mL<sup>-1</sup>, 添加番茄红素试验组血清中 MDA 含量依次为 9.85、9.05 和 10.90 nmol·mL<sup>-1</sup>, 分别比对照组降低了 3.75、

4.55 和 2.7 nmol·mL<sup>-1</sup>。Duncan 多重比较检验, 添加番茄红素的各试验组间、试验组与对照组血清 MDA 含量均无显著差异( $P>0.05$ ) (表 2)。

### 2.3 血清 GSH-Px 活力

对照组血清 GSH-Px 活力为 279.45 U, 添加番茄红素试验组血清 GSH-Px 活力依次为 378.77、418.22 和 402.06 U, 分别比对照组提高了 99.32、138.77 和 122.61 U。Duncan 多重比较检验, 添加番茄红素的各试验组与对照组比较血清 GSH-Px 活力均有显著差异( $P<0.05$ )。添加番茄红素的试验组间血清 GSH-Px 活力差异不显著( $P>0.05$ ) (表 2)。

### 2.4 血清 NO 含量

对照组血清 NO 含量 28.68  $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 添加番茄红素试验组血清 NO 含量依次为 41.51、36.98 和

41.70  $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 分别高于对照组 12.83、8.30 和 13.02  $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。Duncan 多重比较检验显示, 添加番茄红素 75.0 和 150.0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  组与对照组比较血清 NO 含量有显著差异( $P<0.05$ ), 添加番茄红素的试验组间比较血清 NO 含量无显著差异( $P>0.05$ ) (表 2)。

### 2.5 血清中抑制·OH 能力

对照组血清中抑制·OH 能力为 1 043.86  $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 添加番茄红素试验组血清中抑制·OH 能力依次为 725.36、752.95 和 765.87  $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$ , 比对照组降低了 318.50、290.91 和 277.99  $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。Duncan 多重比较检验显示, 添加番茄红素 75.0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  组与对照组比较血清中抑制·OH 能力差异显著( $P<0.05$ )。添加番茄红素的试验组间血清中抑制·OH 能力无显著差异( $P>0.05$ ) (表 2)。

表 2 鲫鱼血清中 T-SOD、MDA、GSH-Px、NO 和·OH 测定结果  
Table 2 Test results of T-SOD, MDA, GSH-Px, NO and ·OH in serum of *Carassius auratus*

试验组 Test group	T-SOD /U	MDA /nmol·mL <sup>-1</sup>	GSH-Px /U	NO/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$	·OH /U·mL <sup>-1</sup>
对照组 Control group	99.05±25.93 <sup>a</sup>	13.60±7.36	279.45±40.49 <sup>a</sup>	28.68±6.72 <sup>a</sup>	1 043.86±196.01 <sup>b</sup>
1	107.54±9.13 <sup>ab</sup>	9.85±0.74	378.77±57.60 <sup>b</sup>	41.51±3.59 <sup>b</sup>	725.36±127.23 <sup>a</sup>
2	142.38±23.63 <sup>b</sup>	9.05±1.26	418.22±63.36 <sup>b</sup>	36.98±6.98 <sup>ab</sup>	752.95±134.67 <sup>ab</sup>
3	147.62±33.93 <sup>b</sup>	10.90±3.09	402.06±40.86 <sup>b</sup>	41.70±10.47 <sup>b</sup>	765.87±42.79 <sup>ab</sup>

注: 同一列数据中不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ,  $n=20$ )。

Note: The different letter of the same column denotes the level of significant difference ( $P<0.05$ ,  $n=20$ ).

## 3 讨论

抗氧化剂的抗氧化作用主要通过抑制自由基的产生、直接清除自由基, 以及通过提高内源性抗氧化物质的水平来实现。番茄红素是一种不含氧的类胡萝卜素, 在类胡萝卜素中具有最强的抗氧化活性和极强的清除自由基的能力, 对单线态氧自由基的捕捉能力是  $\beta$ -胡萝卜素的 2 倍,  $\alpha$ -生育酚的 10 倍,  $V_E$  的 100 倍<sup>[8]</sup>。试验证实, 番茄红素可以通过保护重要的细胞生物大分子 (包括脂类、脂蛋白、蛋白质和 DNA), 以及调控细胞间隙连接通讯、激素调控和免疫应答等预防疾病的发生<sup>[9-12]</sup>。Kim<sup>[12]</sup>研究表明, 番茄红素可以提高机体抗氧化酶活力, 降低脂质过氧化, 从而拮抗四氯化碳引起的氧化损伤, 对大鼠的急性肝损伤有一定保护作用。Vanhet 等<sup>[13]</sup>研究发现, 番茄红素保护淋巴细胞免受二氧化氮自由基造成的细胞膜损害或细胞致死的能力非常强, 清除氧自由基的能力也较其他类胡萝卜素强。Rao<sup>[14]</sup>认为摄食番茄红素可以有效抑制脂质、蛋白质和 DNA 的氧化, 明显减少血清中脂质过氧化产物 MDA 等。

SOD 是体内重要的清除氧自由基的酶, 对于增强细胞的防御能力和整个机体的免疫功能具有重要作用<sup>[15-17]</sup>。MDA 是脂质过氧化反应的最终产物, 其含量反映脂质过氧化的程度, 间接反映了机体细胞受 FR 损伤的程度。SOD 和 MDA 在预防生物分子损伤方面有着十分重要的作用<sup>[15, 18-19]</sup>。GSH-Px 是机体内广泛存在的一种重要的过氧化物分解酶, 其生理功能主要是催化 GSH 参与过氧化反应, 清除在细胞呼吸代谢过程中产生的过氧化物和·OH, 在保护细胞免受自由基损伤过程中起着关键作用。NO 广泛分布于生物体内各组织中, 是一种极不稳定的生物自由基, 广泛参与机体多个系统中疾病的发生、发展及转化过程, 在免疫调节等方面有着十分重要的生物学作用<sup>[20-21]</sup>。·OH 是一个氧化能力很强的自由基, 对生物体毒性最强、危害最大。可以通过发生电子转移夺取氧原子和羟基化等与生物体内的多种分子作用, 可引起蛋白质变性, 酶失活, DNA 链断裂和生物膜结构损伤等<sup>[22]</sup>。

潘洪志<sup>[23]</sup>、李辉<sup>[24]</sup>、张成香<sup>[25]</sup>应用番茄红素对大鼠进行抗氧化研究, 结果显示 SOD 和 GSH-Px 活性与对照组比较有显著升高, 而 MDA 却有显著的

降低, 说明番茄红素具有良好的抗氧化作用。万丽葵研究表明<sup>[26]</sup>, 番茄红素不仅提高了机体的 SOD 和 GSH-Px 等酶类抗氧化物的浓度和活力, 而且可能通过提高  $V_A$ 、 $V_E$  等非酶抗氧化系统的抗氧化能力来发挥抗氧化作用。Matos<sup>[27]</sup>、Velmurugan<sup>[28]</sup>、Balaiya<sup>[29]</sup>、Kazim<sup>[30]</sup>、Di Maseio P<sup>[5]</sup>、Woodall<sup>[6]</sup>、Riso<sup>[31]</sup>在不同的试验中均发现, 番茄红素可以显著降低脂质过氧化程度, 保护生物膜和 DNA 免受自由基的损伤, 有效的预防疾病的发生。Rao<sup>[32]</sup>和 Takeoka<sup>[33]</sup>的研究进一步证实, 血清和组织中番茄红素水平与很多慢性疾病的发生呈显著负相关。陈丽萍<sup>[22]</sup>在对番茄红素抑制·OH 能力的研究中得到, 番茄红素抑制·OH 能力远高于芍药苷和 Vc。

试验应用番茄红素在鲫鱼人工配合饲料中按不同比例添加, 血清检测结果显示, 试验组与对照组比较 T-SOD 活性、GSH-Px 活力、NO 含量均明显高于对照组, MDA 含量和抑制·OH 能力有一定的降低。多重比较检验显示, 番茄红素添加量 0.75% 和 1.00% 试验组 T-SOD 活性差异显著( $P < 0.05$ ), 试验组 GSH-Px 活力均有显著差异( $P < 0.05$ ), 试验组 MDA 含量差异均不显著( $P > 0.05$ ), 0.50% 和 1.00% 试验组 NO 含量显著差异( $P < 0.05$ ), 0.50% 试验组抑制·OH 能力显著差异( $P < 0.05$ )。试验组间多重比较检验 T-SOD 活性、GSH-Px 活力、MDA 含量、NO 含量和抑制·OH 能力无显著差异( $P > 0.05$ )。

试验结果提示, 在鲫鱼人工配合饲料油脂中添加番茄红素, 具有抑制血清中 MDA 含量、抑制·OH 能力和 NO 含量的作用, 同时提高了 T-SOD 和 GSH-Px 活力。番茄红素所具有的抗氧化性, 有效地提高了养殖鲫鱼内源性抗氧化物质的水平, 实现了抗氧化剂的抗氧化作用。诱导调节 NO 在养殖鱼类体内的含量, 增强了养殖鱼类的机体免疫功能, 有助于减少抗菌药物的使用。诸多生物学功能决定了番茄红素应用于水产养殖饲料, 不仅使养殖鱼类体色鲜艳, 鱼体品质得到提高, 同时具有有效地抑制养殖动物体内有害的氧化作用发生, 预防和抑制了疾病的发生, 符合绿色添加剂的标准。番茄红素作为一种饲料添加剂应用应得到更加深入的关注。

## 参考文献:

- [1] 谢佳乐, 张甫生, 罗雪雅, 等. 番茄红素的生物学功能及制取方法[J]. 食品与药品, 2006, 8(8): 15-58.
- [2] 段慧荣, 李冬梅, 孙权, 等. 番茄红素在饲料添加剂中的应用[J]. 饲料饲草, 2009: 36-37.
- [3] 范立梅. 类胡萝卜素的生物学功能[J]. 生物学通报, 2001, 36(4): 10.
- [4] Van K H, Brouwer I A, West C E, et al. Bioavailability of lutein from vegetables is 5 times higher than that of beta-carotene[J]. Am J Clin Nutr, 1999, 70(2): 179-82.
- [5] Di Mascio P, Devasagayam T P, Kaiser S, et al. Carotenoids, tocopherols and thiols as biological singlet molecular oxygen quenchers[J]. Biochem Soc Trans, 1990, 18(6): 1054-1056.
- [6] Woodall A A, Lee S W, Weesie R J, et al. Oxidation of carotenoids by free radicals: relationship between structure and reactivity[J]. Biochim Biophys Acta, 1997, 1336(1): 33-42.
- [7] 李恩民, 许丽艳, 李琳, 等.  $\alpha$ -萘胺分光光度法检测血清中一氧化氮含量[J]. 分析化学, 1995, 23(8): 979.
- [8] Ganji V, Kafai M R. Population determinants of serum lycopene concentrations in the United State: Data from the Third National Health and Nutrition Examination Surey, 1998-1994[J]. Journal of Nutrition, 2005, 135: 567-572.
- [9] Bshn F. Carotenoids protect against cell membrane damage by the nitrogen dioxide radical[J]. Nature Medicine, 1995, 1: 98-99.
- [10] RAO A V. Processed tomato products as a source of dietary lycopene: bioavailability and antioxidant properties[J]. Can J Diet Pract Res, 2004, 65: 1 615.
- [11] 李京, 惠伯棣, 裴凌鹏. 番茄红素一被关注的功能因子[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 461-464.
- [12] Kim Y, Disilvestro R, Clinton S. Effects of lycopene-beadlet or tomato-powder feeding on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats[J]. Phytomedicine, 2004, 11(3): 156.
- [13] Vanhet Hof K H, Brouwer I A, West C E, et al. Bioavailability of lutein from vegetables is 5 times higher than that of beta-carotene[J]. Am J Clin Nutr, 1999, 70(2): 261-268.
- [14] Rao A V, Agarwal S. Bioavailability and in vivo antioxidant properties of lycopene from tomato products and their possible role in prevention of cancer[J]. Nutr Cancer, 1998, 31(3): 199-203.
- [15] 方允中, 李文杰. 自由基与酶—基础理论及其在生物学和医学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 67-69.
- [16] 王雷, 李光友, 毛远新, 等. 口服免疫性药物对养殖中国对虾病害防治作用的研究[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(5): 481-486.
- [17] 丁美丽, 林林, 李光友, 等. 有机污染对中国对虾体内外环境的影响研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 7-12.
- [18] 方允中, 李文杰. 自由基与酶[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 67-69.
- [19] 孙虎山, 李光友. 栉孔扇贝血淋巴中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性及其性质的研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 18(6): 20-22.
- [20] 王勇军, 王长法, 张士瑾. 水产动物中一氧化氮合酶的研究概况[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 88-94.
- [21] 钟慈声, 孙安阳. 一氧化氮的生物医学[M]. 上海: 上海医科大学出版社, 1977: 28-33.
- [22] 陈丽萍, 何书英. 番茄红素的抗氧化活性[J]. 华西药学

- 杂志, 2008, 23(6): 653-655.
- [23] 潘洪志, 姜秀梅, 万丽葵, 等. 番茄红素对 S<sub>180</sub> 荷瘤小鼠抗肿瘤作用的试验研究[J]. 卫生研究, 2004, 33(4): 456-457.
- [24] 李辉, 张清慧, 潘洪志, 等. 番茄红素抗氧化损伤的试验研究[J]. 实用预防医学, 2005, 12(4): 768-769.
- [25] 张成香, 李世芬, 赵岩. 番茄红素对 SD 老龄大鼠抗氧化作用的影响[J]. 南京医科大学学报: 自然科学版, 2008, 28(7): 899-905.
- [26] 万丽葵, 潘洪志, 陈文华, 等. 番茄红素对四氯化碳急性损伤的保护作用[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(1): 44-46.
- [27] Matos H R, Di Mascio P, Medeiros M H. Protective effect of lycopene on lipid peroxidation and oxidative DNA damage in cell culture[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2000, 383(1): 56-59.
- [28] Velmurugan B, Bhuvaneshwari V, Nagini S. Antiperoxidative effects of lycopene during N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine-induced gastric carcinogenesis[J]. Fitoterapia, 2002, 73(7/8): 604-611.
- [29] Velmurugan B, Kurapathy V P, Mohan C, et al. Combination of S-allylcysteine and lycopene protects against N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine-induced genotoxicity and oxidative stress in mice[J]. Nutrition Research, 2005, 25(6): 577-586.
- [30] Sahin K, Onderci M, Sahin N, et al. Effects of lycopene supplementation on antioxidant status, oxidative stress, performance and carcass characteristics in heat-stressed Japanese quail[J]. Journal of Thermal Biology, 2006, 31(4): 307-312.
- [31] Riso P, Pinder A, Santangelo A, et al. Does tomato consumption effectively increase the resistance of lymphocyte DNA to oxidative damage[J]. Am J Clin Nutr, 1999, 69(4): 712-718.
- [32] Rao A V, Agarwal S. Role of anti-oxidant lycopene in cancer and heart disease[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2000, 19: 305-323.
- [33] Takeoka G R, Dao L, Flessa S, et al. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(5): 3713-3717.