

尿素对中华绒螯蟹幼蟹非特异性免疫功能的影响

袁滢滢¹ 吴朝霞^{1*} 孙文涛² 黄 珊¹ 范翠翠¹

(¹ 沈阳农业大学食品学院, 110866)

(² 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

摘 要 分别用 0.24、0.48、0.72、0.96、1.20g/L 的尿素溶液饲养中华绒螯蟹幼蟹 7d, 测定幼蟹血清中超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)、谷胱甘肽-S 转移酶(Glutathione-S transferase, GST)的活性和丙二醛(Malondialdehyde, MDA)的含量。结果表明, 随着时间的延长, 各浓度组中华绒螯蟹幼蟹血清中上述 3 种酶的活性逐渐下降, 丙二醛含量逐渐上升; 随着浓度的增加, 3 种酶活性有逐渐下降的趋势, 但 0.24g/L 尿素浓度组中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化物歧化酶活性和 0.96g/L 浓度组中华绒螯蟹幼蟹血清中谷胱甘肽-S 转移酶活性显著高于其他处理组, 这两组中华绒螯蟹血清中丙二醛含量则相应下降。表明尿素浓度增加使得中华绒螯蟹幼蟹体内清除脂质过氧化物、过氧化氢和自由基的能力下降, 对中华绒螯蟹幼蟹体内的非特异性防御系统有损伤。

关键词 中华绒螯蟹 尿素 血淋巴 非特异性免疫功能

中图分类号 S948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)02-0083-06

Impact of urea on non-specific immune response of juvenile *Eriocheir sinensis*

YUAN Ying-ying¹ WU Zhao-xia^{1*} SUN Wen-tao²
HUANG Shan¹ FAN Cui-cui¹

(¹ College of Food Science, Shenyang Agricultural University 110866)

(² Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161)

ABSTRACT Urea is an important factor for paddy production in paddy-crab ecosystem. However, application of urea may impose negative effects on the growth of crabs. In our research, the effects of different concentrations of urea on the non-specific immune system of juvenile *Eriocheir sinensis* were studied in order to provide necessary theoretical support for setting up regulations for the paddy-crab ecosystem. The juvenile *E. sinensis* were reared in water containing 0.24, 0.48, 0.72, 0.96, and 1.2 g/L urea respectively for 7 days without feeding. The activities of three enzymes including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione-S transferase (GST), as well as the content of malondialdehyde (MDA) in crab serum were determined. The results showed that the activities of SOD, CAT, and GST decreased grad-

辽宁省科技厅农业攻关计划(2007203001)资助

* 通讯作者。E-mail: wuzxsau@163.com, Tel: 13066686988

收稿日期: 2010-07-29; 接受日期: 2010-09-26

作者简介: 袁滢滢(1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事果蔬加工研究。E-mail: xiaoyigoodluck7@126.com, Tel: 13840402327

ually in crab serum for all urea concentrations during the experimental period, while the content of MDA increased instead. Also the activities of the above three enzymes showed a decreasing tendency as the urea concentration increased. However, the SOD activity in 0.24g/L and the GST activity in 0.96g/L urea treatments were significantly higher than those in the other urea-treated groups, while the content of MDA in these two treatments decreased. The results suggest that the added urea reduces the *E. sinensis's* capability of eliminating lipid peroxides, hydrogen peroxide and free radicals. As a result, the non-specific defense system was damaged with the application of urea.

KEY WORDS Chinese mitten crab Urea Haemolymph
Non-specific immune response

中华绒螯蟹 *Eriocheir sinensis*, 简称“河蟹”, 营养价值高, 还具有较高的食疗价值, 是中国传统美食之一; 中华绒螯蟹养殖产业已成为满足我国广大消费者需求和出口创汇的特色产业。稻田养蟹是一项新兴的水产养殖技术, 是根据水稻生态特征、生物学特性与中华绒螯蟹的生活特点设计出的一种立体种养模式。然而稻蟹种养模式中的一个突出问题是肥料的应用对水稻产量和中华绒螯蟹生长和质量的产生不良影响。大量施加尿素, 是保证水稻吸收养分的重要途径之一, 但对中华绒螯蟹的正常生长却是一个胁迫因子。目前国内外针对环境胁迫对中华绒螯蟹生理生化 and 免疫的影响已开展了一系列工作。甲壳类等节肢动物不具有特异性免疫功能, 免疫防御是通过非特异性免疫功能发挥作用(陆宏达等 2007)。氨氮胁迫对中华绒螯蟹免疫系统有影响, 使机体非特异性免疫防御系统遭受损伤, 同时机体清除自由基的能力下降, 机体细胞和组织受到伤害甚至死亡(黄鹤忠等 2006)。以亚硫酸钠(Na_2SO_3)、过氧化氢(H_2O_2)和尿素为效应物, 对中华绒螯蟹 N-乙酰- β -D-氨基葡萄糖苷酶活力作用均有抑制作用(黄小红等 2008)。此外中华绒螯蟹幼体经氨氮或亚硝酸盐暴露后, 血淋巴中谷氨酸盐、谷氨酰胺、尿素的含量以及肝胰腺中谷氨酰胺的含量显著增加(洪美玲等 2007a、b)。饲料中 Vc 添加量为 0.005%~0.01% 时, 可有效地增强中华绒螯蟹的非特异性免疫能力(艾春香等 2002)。此外, 中华绒螯蟹腮中谷胱甘肽转移酶、过氧化氢酶、超氧化歧化酶活性的变化与环境中的氧含量有直接关系(de Oliveira *et al.* 2005)。水体中添加不同浓度的铜(Cu^{2+})对中华绒螯蟹肝胰腺、血淋巴和鳃代谢酶活力有显著影响(杨志彪等 2006)。在稻田养蟹条件下, 肥料对中华绒螯蟹生长和品质的影响研究资料很少, 而有关尿素对中华绒螯蟹非特异性免疫功能的影响尚未见报道。

本试验通过测定在不同浓度的尿素下, 中华绒螯蟹幼蟹体内血清中超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD, EC 1.15.1.1), 过氧化氢酶(Catalase, CAT, EC 1.11.1.6), 谷胱甘肽-S 转移酶(Glutathione-S transferase, GST, EC 2.5.1.18), 丙二醛(Malondialdehyde, MDA), 这 4 种非特异性氧化指标变化状况, 反映中华绒螯蟹幼蟹氧化功能损伤的程度。研究探讨不同浓度尿素对中华绒螯蟹幼蟹生理代谢的影响, 为稻田养蟹病害防控提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验用蟹

中华绒螯蟹幼蟹: 来源于辽宁省盘锦市盘山县, 选择蟹体健康、附肢完整、大小基本一致的幼蟹, 体重为 $7.87 \pm 2.19\text{g}$ 。

1.2 试验尿素

尿素来源于辽宁省辽河化肥厂, 含氮量 46%。

1.3 试验设计

幼蟹运输后在实验室适应 48h,然后置于半径为 15cm、高 13cm 的塑料盆中。试验设计为 5 个试验组和 1 个对照组,设 3 个平行,每盆放养 20 尾幼蟹。为防止幼蟹逃跑,在盆上固定纱网。尿素浓度的设定根据田间尿素施用量和前期毒性试验确定,分别为 0.24、0.48、0.72、0.96、1.20g/L。其中,0.48g/L 为田间常规尿素施用浓度,1.20g/L 为中华绒螯蟹幼蟹出现明显不良反应的尿素浓度;对照组不加尿素。配置尿素溶液的水采用曝气 2d 的自来水。整个试验期不投食,保持水温 $15 \pm 1^\circ\text{C}$,且每天更新盆中尿素溶液。在试验过程中,分别在第 1 天、第 2 天、第 3 天、第 4 天、第 5 天和第 7 天从盆中随机取幼蟹两尾进行测定。

1.4 样品的制备

用清水冲洗随机选取的两尾幼蟹,并用洁净的吸水纸吸取幼蟹表面的水分,称重,用消毒的一次性 5ml 注射器从幼蟹第三步足基部抽取血淋巴,抽取的血淋巴在 16 000r/min 下低温高速离心 30min,取上清液进行相关指标的测定。

1.5 检测指标及测定方法

测定中华绒螯蟹幼蟹体内血清中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽-S 转移酶活性以及丙二醛的含量,采用南京建成生物研究所生产的试剂盒,方法参照说明书进行。

1.6 数据处理

数据用 SPSS 16.0 软件统计,用单因子方差分析和 Duncan's 多重比较进行差异显著性检验,结果用“平均值±标准差”表示。

2 结果

2.1 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化物歧化酶活性的影响

水环境中添加不同浓度的尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化物歧化酶活性的影响结果见表 1。在未添加尿素的对照组,SOD 活性呈现逐渐下降的趋势;0.24g/L 浓度组中华绒螯蟹血清中 SOD 活性比对照组 SOD 活性增大,但是随着时间的增长,SOD 活性呈现逐渐下降的趋势;其他处理组的 SOD 活性则随着浓度的增加逐渐下降。SOD 活性的改变说明中华绒螯蟹幼蟹体内清除自由基的能力与尿素浓度、饲养时间有显著关联,尿素浓度越大,饲养时间越长,SOD 活性越低。

表 1 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化物歧化酶活性的影响(SOD 活力单位:U/ml)
Table 1 Effects of urea on activity of superoxide dismutase in serum of juvenile *E. sinensis*

尿素 Urea(g/L)	第 1 天 The 1st day	第 2 天 The 2nd day	第 3 天 The 3rd day	第 4 天 The 4th day	第 5 天 The 5th day	第 7 天 The 7th day
0.00	125.46±2.81 ^{aA}	122.09±2.61 ^{aA}	121.74±4.72 ^{aA}	120.15±5.80 ^{aA}	119.29±4.59 ^{aA}	116.26±3.99 ^{aA}
0.24	142.03±3.53 ^{bB}	139.04±2.55 ^{bB}	138.48±4.93 ^{bB}	138.06±3.98 ^{bB}	134.53±4.06 ^{bB}	131.62±5.13 ^{bB}
0.48	120.64±5.27 ^{bB}	120.27±4.59 ^{bB}	119.74±6.25 ^{bB}	115.61±5.51 ^{bB}	114.82±4.84 ^{bB}	111.49±5.02 ^{bB}
0.72	102.66±3.22 ^{cC}	102.24±4.77 ^{cC}	99.45±5.34 ^{cC}	95.60±5.04 ^{cC}	94.66±4.26 ^{cC}	91.86±3.79 ^{cC}
0.96	93.65±3.35 ^{dCD}	90.83±3.50 ^{dD}	89.32±5.52 ^{dCD}	86.58±3.70 ^{dCD}	85.17±5.31 ^{dCD}	84.14±4.61 ^{dC}
1.20	83.18±6.28 ^{eD}	79.81±4.77 ^{eE}	78.26±5.30 ^{eD}	75.74±4.71 ^{eD}	74.74±4.96 ^{eD}	70.92±2.79 ^{eD}

注:同列数值上标小写字母表示差异显著($P < 0.05$),上标大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

2.2 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中过氧化氢酶活性的影响

水环境中添加不同浓度的尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中过氧化氢酶的影响结果见表 2。在相同浓度的尿

素溶液中,随着时间的变化,CAT活性变化不显著。随着尿素浓度增加,中华绒螯蟹血清中的CAT活性减少,并且变化趋势显著。说明随着尿素浓度增加,中华绒螯蟹幼蟹体内催化分解过氧化氢能力降低,而过氧化氢是经过氧化氢酶催化的氧化还原反应中产生的细胞毒性物质。所以CAT活性减少,使得中华绒螯蟹幼蟹体内过氧化氢物质增多,中华绒螯蟹幼蟹正常的生理代谢活动受到很大的影响。

表2 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中过氧化氢酶活性的影响(CAT活力单位:U/ml)

Table 2 Effects of urea on activity of catalase in serum of juvenile *E. sinensis*

尿素 Urea(g/L)	第1天 The 1st day	第2天 The 2nd day	第3天 The 3rd day	第4天 The 4th day	第5天 The 5th day	第7天 The 7th day
0.00	8.09±0.51 ^{aA}	7.4±0.38 ^{aA}	6.78±0.52 ^{aA}	6.58±0.39 ^{aA}	6.25±0.37 ^{aA}	6.17±0.35 ^{aA}
0.24	6.31±0.45 ^{bb}	6.09±0.59 ^{bb}	5.46±0.51 ^{bb}	5.00±0.34 ^{bb}	4.82±0.28 ^{bb}	4.61±0.35 ^{bb}
0.48	5.48±0.45 ^{bbc}	5.00±0.56 ^{bc}	4.80±0.55 ^{bc}	4.48±0.39 ^{bb}	4.27±0.28 ^{cb}	3.89±0.49 ^{bb}
0.72	4.46±0.46 ^{cd}	4.47±0.47 ^{cb}	3.79±0.49 ^{cd}	2.69±0.47 ^{cb}	2.35±0.30 ^{dc}	2.04±0.46 ^{cb}
0.96	3.79±0.74 ^{de}	3.22±0.24 ^{db}	2.67±0.34 ^{de}	2.61±0.64 ^{cd}	2.21±0.22 ^{dc}	2.12±0.51 ^{cb}
1.20	2.54±0.5 ^{de}	2.27±0.33 ^{db}	2.19±0.32 ^{de}	1.85±0.36 ^{dc}	1.46±0.31 ^{ed}	1.32±0.41 ^{cb}

注:同列数值上标小写字母表示差异显著($P<0.05$),上标大写字母表示差异极显著($P<0.01$)

2.3 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中谷胱甘肽-S转移酶活性的影响

水环境中添加不同浓度的尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中谷胱甘肽-S转移酶活性的影响结果见表3。0.96和0.24g/L浓度组中华绒螯蟹血清中GST活性显著上升;其他处理组该酶活性则随着尿素浓度增加呈现下降的趋势。并且各处理组随着饲养时间的延长,GST活性逐渐降低。说明随着尿素浓度的增大,饲养时间的延长,中华绒螯蟹幼蟹体内清除过氧化物的能力降低,中华绒螯蟹体内自身解毒的功能下降。

表3 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中谷胱甘肽-S转移酶活性的影响(GST活力单位:U/ml)

Table 3 Effects of urea on activity of glutathione-S transferase in serum of juvenile *E. sinensis*

尿素 Urea(g/L)	第1天 The 1st day	第2天 The 2nd day	第3天 The 3rd day	第4天 The 4th day	第5天 The 5th day	第7天 The 7th day
0.00	108.01±12.90 ^{aA}	105.42±13.89 ^{aA}	105.01±12.31 ^{aA}	104.63±11.55 ^{aA}	103.54±10.63 ^{aA}	102.51±11.46 ^{aA}
0.24	133.84±13.40 ^{abAB}	127.68±17.79 ^{abAB}	125.15±12.43 ^{abAB}	124.83±11.04 ^{abAB}	123.44±12.56 ^{abAB}	121.54±10.71 ^{abAB}
0.48	98.85±17.14 ^{abAB}	97.57±18.84 ^{abAB}	91.89±14.36 ^{abAB}	85.93±13.56 ^{bABC}	84.03±10.33 ^{bABC}	82.32±10.50 ^{bABC}
0.72	79.19±15.44 ^{bcAB}	75.32±14.98 ^{bcAB}	72.56±12.59 ^{bcAB}	71.04±11.95 ^{bcBC}	68.12±13.43 ^{bcBC}	66.52±13.94 ^{bcBC}
0.96	111.54±16.59 ^{cb}	108.14±15.61 ^{cb}	106.67±18.70 ^{cb}	97.31±13.02 ^{cb}	96.37±12.14 ^{cdBC}	92.86±12.50 ^{cb}
1.20	75.12±15.59 ^{cb}	74.29±12.16 ^{db}	70.32±12.39 ^{cb}	69.26±14.89 ^{cb}	66.17±13.03 ^{dc}	63.18±12.47 ^{cb}

注:同列数值上标小写字母表示差异显著($P<0.05$),上标大写字母表示差异极显著($P<0.01$)

2.4 尿素对中华绒螯蟹血清中丙二醛含量的影响

水环境中添加不同浓度的尿素对中华绒螯蟹血清中丙二醛含量的影响结果见表4。各尿素处理组均随着饲养时间的延长,MDA的含量逐渐上升;添加尿素的处理中,0.24g/L浓度组中华绒螯蟹血清中丙二醛的含量与对照组相比含量减少,但其他浓度的尿素组,均与对照组相比有增大的趋势。MDA含量增高,说明中华绒螯蟹受自由基攻击增强,中华绒螯蟹体内脂质过氧化程度增强,可能反映了中华绒螯蟹体内细胞受到一定程度的损伤。

表 4 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中丙二醛含量的影响(MDA 活力单位: nmol/ml)

Table 4 Effects of urea on MDA content in serum of juvenile *E. sinensis*

尿素 Urea(g/L)	第 1 天 The 1st day	第 2 天 The 2nd day	第 3 天 The 3rd day	第 4 天 The 4th day	第 5 天 The 5th day	第 7 天 The 7th day
0.00	7.65±0.36 ^{aA}	8.06±0.40 ^{aA}	8.37±0.47 ^{aA}	8.63±0.37 ^{aA}	9.33±0.63 ^{aA}	9.70±0.50 ^{aA}
0.24	6.49±0.49 ^{aA}	7.07±0.70 ^{aA}	7.83±0.56 ^{aA}	8.32±0.42 ^{abAB}	8.34±0.49 ^{abA}	8.73±0.52 ^{aA}
0.48	7.98±0.85 ^{abAB}	8.62±0.61 ^{abAB}	9.72±0.51 ^{bAB}	10.04±0.51 ^{bB}	10.74±0.54 ^{abAB}	10.98±0.52 ^{bB}
0.72	9.59±0.52 ^{bcBC}	10.29±0.98 ^{bcABC}	10.77±0.51 ^{bAB}	10.96±0.37 ^{bB}	11.76±0.51 ^{bAB}	12.44±0.39 ^{bB}
0.96	9.06±0.61 ^{cBC}	9.33±0.49 ^{cdBC}	9.62±0.62 ^{cBC}	9.98±0.70 ^{cC}	10.61±0.96 ^{cBC}	10.98±0.6 ^{bcBC}
1.20	9.86±0.78 ^{dC}	10.23±0.58 ^{dC}	10.80±0.56 ^{cC}	11.40±0.54 ^{cC}	11.96±0.70 ^{cC}	12.30±0.40 ^{cC}

注:同列数值上标小写字母表示差异显著($P < 0.05$),上标大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化歧化酶活性的影响

氨氮胁迫浓度的增加和胁迫时间的延长,使得中华绒螯蟹非特异性细胞免疫和血淋巴中的免疫应答因子活力等免疫防御系统逐渐遭到损伤(黄鹤忠等 2006)。添加 V_E 能显著地提高中华绒螯蟹各组织中 ALP 和 ACP 活性,降低 SOD 活性,在促进河蟹正常生长的同时,也能有效地提高其非特异性免疫能力(艾春香等 2003)。从本文研究结果看出,SOD 活性的降低与尿素的浓度和时间呈正相关,可以推测出,中华绒螯蟹幼蟹体内为了清除由于尿素侵入而产生的大量自由基,消耗了大量的 SOD,使得 SOD 的活性低于对照组。在正常生理条件下,氧自由基在机体中不断产生,但也不断清除,处于平衡状态的氧自由基的浓度是很低的,不会对机体产生危害,只有在衰老或病理情况下,氧自由基产生与消除失去平衡,可能造成氧自由基积累,会对中华绒螯蟹幼蟹机体造成损害。在 0.24g/L 尿素浓度中,中华绒螯蟹幼蟹血清中 SOD 活性比对照组增大,具体原因尚有待进一步研究。

3.2 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中过氧化氢酶活性的影响

单态氧、过氧化物、氢过氧自由基抑制 CAT 的活性(Kono *et al.* 1982;Escobar *et al.* 1996)。CAT 促进中华绒螯蟹幼蟹体内的过氧化氢分解成水和氧,清除由于应激条件下产生的过氧化氢,从而使幼蟹体内细胞免于遭受过氧化氢的毒害。从本试验结果可以看出,当尿素进入到中华绒螯蟹幼蟹的体内,增加了中华绒螯蟹幼蟹体内的过氧化氢物质,使得中华绒螯蟹幼蟹消耗了大量的 CAT,导致 CAT 活性明显下降。研究尼罗罗非鱼 *Reochromis niloticu* 鳃中 CAT 的活性时,发现受污染的尼罗罗非鱼鳃 CAT 活性降低,SOD 活性也呈现降低的变化(Bainy *et al.* 1996)。

3.3 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中谷胱甘肽-S 转移酶活性的影响

谷胱甘肽-S 转移酶的降低,减少了谷胱甘肽(GSH)在体内的合成,影响了其在体内的积累量。当体内谷胱甘肽含量充足时,其清除自由基的效果会更加强大。将罗非鱼在镉浓度为 3.0mg/L 的水环境中染毒 8d,谷胱甘肽的合成减少,谷胱甘肽消耗增加,故使肝脏中谷胱甘肽含量下降(惠天朝等 2001)。在本试验中,随尿素浓度的增加,中华绒螯蟹幼蟹血清中 GST 降低,说明中华绒螯蟹幼蟹体内谷胱甘肽含量下降,减低了中华绒螯蟹幼蟹体内清除脂质过氧化物和自由基的能力,使得中华绒螯蟹幼蟹自身解毒功能下降,可能会造成河蟹在稻田中的成活率下降,这与我们前期田间试验的结果相一致。

3.4 尿素对中华绒螯蟹幼蟹血清中丙二醛含量的影响

中华绒螯蟹脂质含量较高,前期试验测定约为 6%~8%。尿素进入中华绒螯蟹幼蟹体内,经代谢产生大

量自由基,自由基与脂质发生氧化反应,丙二醛是重要的氧化终产物之一,也是评估氧化损伤和衰老的重要指标。从本试验的结果可以看出,与 SOD 活性比较,当 SOD 活性下降,中华绒螯蟹幼蟹体内自由基累积,脂质受自由基攻击加大,丙二醛的含量增加,间接反映出了中华绒螯蟹幼蟹细胞受到损伤,影响了稻田养殖中华绒螯蟹的生长乃至品质。

4 小结

通过测定中华绒螯蟹幼蟹血清中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽-S 转移酶活性和丙二醛的含量,研究不同浓度尿素对中华绒螯蟹幼蟹非特异性免疫指标变化状况。虽然各种酶的结构和功能不同,呈现出不同的变化趋势,但是总的变化趋势是随着尿素浓度的增加,中华绒螯蟹幼蟹体内免疫机能下降。说明在稻田养蟹中,尿素作为促进水稻增产施加的主要肥料之一,其施用量需要精确制定,使其既能满足水稻的正常营养需求,又尽可能减小对中华绒螯蟹幼蟹生长代谢的影响。本试验中,0.48g/L 的尿素浓度为田间常规施肥浓度,但试验结果显示,当尿素浓度为 0.24g/L 时,3 种酶的活性已经受到较为显著的影响,幼蟹血清中丙二醛的含量明显上升。因此,在今后的试验中,还应进一步明确尿素对幼蟹生理代谢和免疫机能的影响及机理,为稻蟹种养模式的技术规程提供必要的理论依据。

参 考 文 献

- 艾春香,陈立侨,高露姣,温小波,江洪波. 2002. Vc 对河蟹血清和组织中超氧化物歧化酶及磷酸酶活性的影响. 台湾海峡, 21(4): 431~438
- 艾春香,陈立侨,温小波,刘晓玲,高露姣,江洪波. 2003. V_E 对河蟹血清和组织中超氧化物歧化酶及磷酸酶活性的影响. 台湾海峡, 22(1): 24~31
- 杨志彪,赵云龙,周忠良,李娜,杨健. 2006. 水体铜对中华绒螯蟹代谢酶活力的影响. 海洋与湖沼, 37(2): 118~124
- 陆宏达,刘凯,张明辉. 2007. 中华绒螯蟹血淋巴中酚氧化酶的部分生化特性. 上海水产大学学报, 16(3): 236~241
- 洪美玲,陈立侨,顾顺樟,刘超,龙章强,张伟. 2007a. 氨氮胁迫对中华绒螯蟹免疫指标及胰腺腺组织结构的影响. 中国水产科学, 14(3): 412~418
- 洪美玲,陈立侨. 2007b. 水中亚硝酸盐和氨氮对中华绒螯蟹幼体的毒性效应及维生素 E 的营养调节. 见: 华东师范大学博士学位论文
- 黄小红,陈宏惠,金艳冬,薛国聪. 2008. 亚硫酸钠、过氧化氢和尿素对河蟹 N-乙酰-β-D-氨基葡萄糖苷酶活力的影响. 福建农林大学学报(自然科学版), 37(1): 87~91
- 黄鹤忠,李义,宋学宏,王永玲,杨彩根. 2006. 氨氮胁迫对中华绒螯蟹免疫功能的影响. 海洋与湖沼, 37(3): 198~205
- 惠天朝,王家刚,朱荫涓. 2001. 镉对罗非鱼肝组织中 GSH 代谢的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 27(5): 575~578
- Bainy, A. C. D., Saito, E., Carvalho, P. S. M., and Junqueira, V. B. C. 1996. Oxidative stress in gill, erythrocytes, liver and kidney of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from a polluted site. *Aquat. Toxicol.* 34: 151~162
- de Oliveira, U. O., da Rosa Araujo, A. S. *et al.* 2005. Effects of environmental anoxia and different periods of reoxygenation on oxidative balance in gills of the estuarine crab *Chasmagnathus granulata*. *Comp. Biochem. Physiol. Part B; Biochem. Mol. Biol.* 40: 51~57
- Escobar, J. A., Rubio, M. A., and Lissi, E. A. 1996. SOD and catalase inactivation by singlet oxygen and peroxy radicals. *Free Radic. Biol. Med.* 20: 285~290
- Kono, Y., and Fridovich, I. 1982. Superoxide radical inhibits catalase. *Biol. Chem.* 10: 5 751~5 754
- Pinho, G. L. L., da Rosa, C. M. *et al.* 2005. Antioxidant responses and oxidative stress after microcystin exposure in the hepatopancreas of an estuarine crab species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1: 353~360