

徐奕晴, 祝向阳, 颜培实. 生物发酵饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、饲料利用及抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 237–240.

生物发酵饲料对中华绒螯蟹幼蟹生长、饲料利用及抗氧化酶活性的影响

徐奕晴, 祝向阳, 颜培实

(南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

摘要:以鱼粉、豆粕、玉米粉为蛋白源配制对照饲料, 用生物发酵料替代部分鱼粉配制 3 种与对照饲料等氮、等能的试验饲料, 其中生物发酵料用量为 5%、10%、15%, 分别替代全鱼粉对照组鱼粉 12.5%、25%、37.5%, 饲喂中华绒螯蟹幼蟹 56 d[初始均重(5.92 ± 0.23) g], 研究生物发酵料替代部分鱼粉对幼蟹生长、饲料利用和抗氧化酶活性的影响。试验结果, 生物发酵饲料可改善中华绒螯蟹幼蟹生长性能, 提高饲料利用率, 幼蟹在 10% 生物发酵饲料组中的特定生长率和饲料效率均显著高于全鱼粉对照组; 随着生物发酵饲料添加量的提高, 幼蟹血清和肌肉组织中 T-AOC、SOD 活性呈递增趋势, 15% 生物发酵饲料组显著高于对照组; 肝胰腺中 T-AOC、GSH-Px 活性随生物发酵饲料添加量的提高先增加后减小, 均在 10% 组达到最高, 并显著高于对照组; 不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹血清和组织中 CAT 活性影响不显著。结果表明, 生物发酵饲料可以替代部分鱼粉运用于中华绒螯蟹幼蟹饲料中, 适宜添加量为 10%。

关键词:生物发酵饲料; 中华绒螯蟹; 生长; 饲料效率; 抗氧化酶

中图分类号: S963.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0237-04

随着畜禽饲养业的迅猛发展, 对动物性蛋白特别是鱼粉的需求也越来越多。但目前鱼粉产量日益减少, 价格上涨, 饲料工业不得不寻找高效且价格相对低廉的原料来替代鱼粉。与鱼粉相比, 各种替代鱼粉的动植物蛋白原料均存在不同程度的抗营养因子、适口性差、氨基酸不平衡等问题^[1-5]。采用相关方法对这些蛋白源进行加工处理, 提高其营养价值具有重要意义。生物发酵处理相对于物理、化学等方法具有成本低、无化学残留、易被动物消化吸收等特点, 在水产业中已开始受到重视, 已有研究表明, 发酵蛋白源替代鱼粉能够促进水产动物生长, 增强免疫能力^[6-8]。中华绒螯蟹, 俗称河蟹、大闸蟹, 是我国重要的淡水养殖甲壳类品种。有关配合饲料中动植物蛋白源替代鱼粉的研究已有报道, 但对于生物发酵蛋白源替代鱼粉作为中华绒螯蟹新型功能性配合饲料的应用价值, 目前相关研究较少。本试验将生物发酵蛋白料按不同比例替代鱼粉配制生物发酵饲料, 研究其对中华绒螯蟹幼蟹生长、饲料利用及抗氧化能力的影响, 确定生物发酵饲料的饲用效果, 为生物发酵饲料在甲壳类水产动物中的使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 动物与饲养管理

试验选用的中华绒螯蟹幼蟹购自江苏省高淳武家嘴水产

养殖场, 干法运回实验室后放入置有若干水草的水泥池中暂养 1 周。试验选取 240 只幼蟹(分 3 个试验组和 1 个对照组, 每组各设 3 个平行处理), 分养于长 60 cm、宽 27 cm、高 30 cm 的玻璃缸中。试验期间, 每天于 09:00 和 16:30 投喂 2 次至饱食, 每次投喂前用虹吸法清除粪便及杂物, 投喂后收集残饵称重。试验期间水温为 (24 ± 2) °C, 每天换总水量的 1/3 水, 试验期间水体 pH 值为 7.2~7.4, 溶解氧含量 > 5 mg/L, 氨氮小于 0.2 mg/L。

1.2 试验饲料

试验用生物发酵蛋白原料由北京嘉博文生物科技有限公司提供, 原料组成见表 1, 发酵蛋白原料水分含量 11.03%、灰分含量 7.49%、粗蛋白质含量 50.37%、粗脂肪含量 1.39%、粗纤维含量 5.05%。基础饲料和不同比例生物发酵饲料组成见表 2。

表 1 生物发酵蛋白料组成

原料	含量 (%)
发酵豆粕	35
发酵菜粕	4
发酵棉粕	6
发酵虾壳粉	5
次粉	16
鱼粉	15
豆粕	13
其他	6

1.3 测定指标及方法

生长性能指标测定, 试验结束时, 各组河蟹均单独称重, 每个平行处理随机选取 10 只河蟹, 单独称重后于冰盘上解剖取出其肝胰腺和肌肉, 随后放入液氮中速冻, 之后转入 -80 °C 冰

收稿日期: 2014-04-03

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201003020); 江苏省水产三项工程项目(编号: PJ2010-56)。

作者简介: 徐奕晴(1987—), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: txyiqing@126.com。

通信作者: 颜培实, 教授。E-mail: yanps@hotmail.com。

表 2 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

原料	饲料组成(%)			
	0	5	10	15
生物发酵料	0.0	5.0	10.0	15.0
鱼粉	40.0	35.0	30.0	25.0
豆粕	25.0	25.0	25.0	25.0
玉米粉	8.0	8.0	8.0	8.0
次粉	18.5	18.5	18.5	18.5
鱼油	2.0	2.0	2.0	2.0
大豆卵磷脂	1.0	1.0	1.0	1.0
维生素预混料	2.0	2.0	2.0	2.0
矿物质预混料	1.0	1.0	1.0	1.0
胆固醇	0.1	0.1	0.1	0.1
氯化胆碱	0.2	0.2	0.2	0.2
磷酸二氢钙	2.0	2.0	2.0	2.0
蛋氨酸	0.1	0.1	0.1	0.1
羧甲基纤维素钠	0.1	0.1	0.1	0.1
合计	100	100	100	100
营养水平				
水分	9.89	9.57	9.30	9.12
灰分	12.49	11.97	11.59	11.23
粗蛋白质	39.87	39.29	38.91	38.73
粗脂肪	5.90	6.12	5.84	5.84
粗纤维	2.87	2.91	2.93	3.45
能量(MJ/kg)	13.88	13.81	13.91	13.93

注:1. 1 kg 饲料含:硫胺素 20 mg、核黄素 20 mg、吡哆醛 10 mg、尼克酸 100 mg、泛酸钙 50 mg、生物素 1 mg、叶酸 5 mg、肌醇 500 mg、维生素 E 50 mg、维生素 A 2 mg、维生素 B₁₂ 0.02 mg、维生素 K₃ 10 mg、维生素 D₃ 0.05 mg。2. 1 kg 饲料含:ZnSO₄ · 7H₂O 525.5 mg、MnSO₄ · H₂O 49.2 mg、KI 5.23 mg、FeSO₄ · 7H₂O 238.8 mg、MgSO₄ · 7H₂O 4.62 g、CuSO₄ · 5H₂O 11.8 mg、CoCl₂ · 6H₂O 0.2 mg、Na₂SeO₄ 0.66 mg、KCl 600 mg、NaCl 107.1 mg。

表 3 生物发酵饲料对中华绒螯蟹生长和饲料利用的影响

生物发酵饲料添加量(%)	初体重(g)	末体重(g)	特定生长率(%/d)	摄食量(g/只)	饲料效率(%)	成活率(%)
0	5.92 ± 0.23a	9.77 ± 0.30a	0.88 ± 0.05a	8.52 ± 0.28a	45.12 ± 3.51a	61.98 ± 6.71a
5	5.92 ± 0.23a	10.13 ± 0.32ab	0.95 ± 0.05ab	8.57 ± 0.22a	49.07 ± 3.69ab	70.31 ± 7.81a
10	5.92 ± 0.23a	10.88 ± 0.36b	1.07 ± 0.06b	8.80 ± 0.31a	56.32 ± 4.12b	69.79 ± 0.60a
15	5.92 ± 0.23a	10.20 ± 0.19ab	0.96 ± 0.03ab	8.44 ± 0.38a	50.75 ± 2.27ab	68.82 ± 0.98a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。表 4 ~ 表 6 同。

2.2 生物发酵饲料对幼蟹血清抗氧化能力的影响

由表 4 可知,随着生物发酵饲料水平的提高,幼蟹血清中 T - AOC、SOD 活性呈递增趋势,且 10% 生物发酵饲料组 T - AOC 活性和 15% 组 T - AOC、SOD 活性均显著高于对照

箱中保存待测。中华绒螯幼蟹的生长指标参照以下计算公式:

特定生长率 = (ln*m_f* - ln*m_i*) / *d* × 100% ;

摄食量 = *IT* / *N_f*;

饲料效率 = *m* / *IT*;

成活率 = 100 × *N_f* / *N_i*。

式中:*N_f*、*N_i*为试验结束和开始时的蟹个体数;*m_f*、*m_i*为试验结束和开始时蟹体平均湿质量(g);*m*为试验结束后蟹总重与试验前蟹总重之差(总增质量);*IT*为试验期间蟹总摄食饲料干质量;*d*为试验时间(56 d)。

抗氧化酶活性分析:从幼蟹螯足基关节处折断取血淋巴,置于 Eppendorf 管中在 4 ℃ 过夜,经过高速冷冻离心机离心后吸出血清放入 - 80 ℃ 保存待测。血清与肝胰腺、肌肉组织中总抗氧化能力 T - AOC、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH - Px)活性的测定均采用江苏省南京建成生物研究所生产的试剂盒,测定方法参考说明书进行。

1.4 数据分析

数据统计分析采用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析,并采用 Duncan 方法进行多重比较,数据以“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 生物发酵饲料对幼蟹生长与饲料利用的影响

由表 3 可知,生物发酵饲料可明显改善中华绒螯蟹幼蟹生长性能,幼蟹在 10% 生物发酵饲料组中的特定生长率和饲料效率均显著高于对照组,但随着生物发酵饲料含量的上升,幼蟹生长性能并未显著提高。不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹的摄食量和存活率无显著影响。

表 4 生物发酵饲料对中华绒螯蟹血清抗氧化功能的影响

生物发酵饲料添加量(%)	T - AOC(U/mg)	SOD(U/mg)	MDA(nmol/mg)	CAT(U/mg)
0	0.29 ± 0.01a	133.86 ± 1.94a	0.09 ± 0.01a	0.74 ± 0.18ab
5	0.31 ± 0.02a	152.79 ± 7.87ab	0.13 ± 0.01ab	0.44 ± 0.04c
10	0.44 ± 0.04b	162.01 ± 6.83ab	0.16 ± 0.02b	0.94 ± 0.10a
15	0.46 ± 0.04b	174.73 ± 6.30b	0.22 ± 0.02c	0.52 ± 0.09bc

2.3 生物发酵饲料对幼蟹组织抗氧化能力的影响

由表 5 可知,随着饲料中生物发酵料含量提高,肝胰腺中

组,但 T - AOC、SOD 在 10% 组和 15% 组间差异均不显著,10% 组 CAT 活性显著高于 5% 和 15% 组,但与对照组无显著差异,血清 MDA 含量随生物饲料含量提高而增加,15% 生物发酵饲料组 MDA 含量显著高于其他 3 组。

T - AOC、SOD 和 GSH - Px 活性呈先增加后减小的趋势,且 10% 组 T - AOC、SOD、GSH - Px 活性均显著高于对照组,而

15% 组 SOD 活性显著高于生物发酵料低于 10% 的组;不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹肝胰腺 CAT、MDA 含量影响不显著。

对于肌肉组织而言,10% 组 SOD 活性和 15% 组 T - AOC、

SOD 活性均显著高于对照组,但 T - AOC、SOD 在 10% 组和 15% 组间差异均不显著;不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹肌肉 CAT、MDA 含量影响不显著(表 6)。

表 5 生物发酵饲料对中华绒螯蟹肝胰腺抗氧化功能的影响

生物发酵饲料添加量(%)	T - AOC (U/mg)	SOD (U/mg)	MDA (nmol/mg)	CAT (U/mg)	GSH - Px (U/mg)
0	0.34 ± 0.05a	115.26 ± 7.45a	0.99 ± 0.18a	28.42 ± 5.51a	57.34 ± 7.22a
5	0.47 ± 0.04ab	110.01 ± 5.76a	0.94 ± 0.13a	26.07 ± 2.78a	65.01 ± 3.63a
10	0.58 ± 0.09b	145.36 ± 10.29b	1.16 ± 0.14a	32.12 ± 2.33a	86.82 ± 6.41a
15	0.37 ± 0.05a	141.83 ± 7.57b	0.87 ± 0.12a	26.56 ± 1.51a	70.04 ± 6.63ab

表 6 生物发酵饲料对中华绒螯蟹肌肉抗氧化功能的影响

生物发酵饲料添加量(%)	T - AOC (U/mg)	SOD (U/mg)	MDA (nmol/mg)	CAT (U/mg)
0	0.13 ± 0.01ab	95.16 ± 5.56a	0.13 ± 0.02a	6.61 ± 0.96a
5	0.10 ± 0.01a	114.25 ± 7.92ab	0.11 ± 0.01a	5.67 ± 0.33a
10	0.16 ± 0.01bc	126.69 ± 9.26bc	0.13 ± 0.01a	6.43 ± 0.85a
15	0.19 ± 0.01c	143.36 ± 8.85c	0.13 ± 0.02a	6.87 ± 0.36a

3 讨论

3.1 生物发酵饲料对幼蟹生长与饲料利用的影响

生物发酵蛋白料是一种采用高温加工工艺生产研发的新型发酵蛋白料,相关研究结果发现,当发酵蛋白源替代鱼粉量较高时,大部分水产动物生长都会受到一定程度的抑制。当把发酵蛋白料的添加量控制在一定范围内时,发酵饲料会促进水产动物的生长^[9-11]。本试验研究结果表明,生物发酵饲料可明显改善中华绒螯蟹幼蟹生长性能,幼蟹在 10% 生物发酵饲料组中的特定生长率和饲料效率均显著高于对照组,特定生长率增加了 21.6%,饲料效率提高了 24.8%。与孔丽等研究异育银鲫、杂交罗非鱼、凡纳滨对虾的结果^[12-14]相似。动植物蛋白料经过微生物发酵处理后,蛋白酶抑制因子、游离棉酚等抗营养因子减少,饲料适口性得到改善,能够促进水产动物的生长发育,提高饲料利用率。微生物处理过程温和,不但不会破坏饲料原有的营养成分,同时还能够生成菌体蛋白,产生大量活性肽,降解部分大分子蛋白质成为能够被水产动物直接消化吸收的小分子蛋白质、小肽、氨基酸等营养物质,提高饲料营养价值^[15]。随着生物发酵饲料替代鱼粉含量的上升,幼蟹生长性能呈下降趋势,与相关研究结果相似,刘勇等研究混合发酵蛋白替代鱼粉用量 1/3、2/3 时,奥尼罗非鱼增重率、饲料效率、特定增长率与对照组无显著差异,混合发酵蛋白全部替代鱼粉后鱼体生长性能显著降低^[16]。杨耐德等研究发现发酵豆粕替代低于 33.33% 的鱼粉对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用率无显著影响,过高的替代水平会降低对虾的生长性能和饲料利用率^[17]。本试验结果表明,不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹存活率无显著影响。存活率直接反映动物机体内在对饲料的适应能力,生物发酵料替代鱼粉水平对存活率没有显著影响,说明生物发酵饲料作为蛋白源可以在一定程度上替代部分鱼粉,促进中华绒螯蟹幼蟹的生长。

3.2 生物发酵饲料对幼蟹血清和组织抗氧化能力的影响

虾蟹类甲壳动物免疫反应主要依赖于非特异性免疫,非

特异性免疫酶在机体防御体系中具有重要作用,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶等免疫酶的抗氧化能力强弱间接反映出动物机体的免疫状态^[18-19]。T - AOC 作为反映机体抗氧化能力的总指标,对动物机体非特异性免疫功能的评定具有重要意义,SOD 是抗氧化体系中首先被激活的酶类,能够清除机体内的超氧阴离子,其活性与动物机体的免疫水平密切相关^[20]。而 GSH - Px 主要作用是特异地催化还原型谷胱甘肽,以清除细胞呼吸代谢过程中产生的过氧化氢和脂质过氧化产物。本试验结果表明,幼蟹血清中 10% 组 T - AOC 活性、15% 组 T - AOC、SOD 活性均显著高于对照组;肝胰腺中 10% 组 T - AOC、SOD、GSH - Px 活性显著高于对照组,分别比对照提高了 70.6%、26.1%、51.4%;肌肉中 10% 组 SOD 活性、15% 组 T - AOC、SOD 活性均显著高于对照组,说明生物发酵饲料可明显提高中华绒螯蟹幼蟹抗氧化能力。试验幼蟹血清中 10% 组 CAT 活性显著高于 5%、15% 组。CAT 主要参与活性氧代谢,与 SOD、POD 等共同组成物体体内活性氧防御系统,是虾蟹类重要的免疫因子。CAT 还能催化过氧化氢和氯离子生成次氯酸,能与细菌的蛋白质、多肽和氨基酸发生快速反应使氨基基团氯化而起到抗菌作用^[21-22]。丙二醛是脂质过氧化产物,可反映机体体内脂质氧化的程度,间接反映机体细胞损伤程度,试验结果不同添加比例生物发酵饲料对幼蟹组织中 MDA 含量影响不显著。王天神等研究了 3 种饲料对克氏原螯虾生长、免疫酶、氨基酸含量及消化酶活性的影响发现,生物饲料显著提高克氏原螯虾血液中的 SOD、CAT 活性^[23]。王一娟等研究抗菌肽对河蟹生长、免疫及抗氧化能力的影响发现,添加抗菌肽的试验组能够显著提高肝脏、肌肉组织中 SOD、T - AOC 水平,降低 MDA 浓度^[24]。任秀芳等研究壳聚糖对克氏原螯虾存活、血清生化指标和非特异性免疫功能的影响发现,饲料中添加壳聚糖可以提高克氏原螯虾血清和肝胰腺中 SOD、CAT 水平,增强非特异性免疫功能^[25]。动植物蛋白源经过微生物发酵处理后,使发酵饲料中富含小肽、氨基酸、核苷酸和壳聚糖等可促进免疫器官发育的营养成分,可以激发动物机体的细胞免疫和体液

免疫,提高血淋巴中凝集素、抗菌肽等活性,增强机体免疫力^[26]。目前有关发酵饲料增强水产动物免疫力的研究还仅是从营养学角度进行的理论推断,发酵后的营养成分对水产动物免疫功能的作用机制还有待于进一步研究。

生物发酵料替代部分鱼粉饲喂中华绒螯蟹幼蟹,可有效提高中华绒螯蟹幼蟹对饲料的利用,促进幼蟹的生长,提高抗氧化酶活性。结果表明,生物发酵料适宜添加量为 10%,即可替代鱼粉 25%。

参考文献:

- [1] Lim C. Substitution of cottonseed meal for Marine animal protein in diets for *Penaeus vannamei* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1996, 27(4): 402–409.
- [2] Tibaldi E, Hakim Y, Uni Z, et al. Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 182–193.
- [3] Cheng ZJ, Hardy R W. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2002, 212(1): 361–372.
- [4] 王 崇, 雷 武, 解绶启, 等. 饲料中豆粕替代鱼粉蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影响 [J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 740–747.
- [5] 闫桂云. 水产饲料中鱼粉替代物的研究进展 [J]. 北京水产, 2008(4): 55–56, 70.
- [6] 陈 萱, 梁运祥, 陈昌福. 发酵豆粕饲料对异育银鲫非特异性免疫功能的影响 [J]. 淡水渔业, 2005, 35(2): 6–8.
- [7] 黄 峰, 李 惠, 刘 军, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对斑点叉尾鲷消化酶活性的影响 [J]. 水利渔业, 2008, 28(4): 38–40.
- [8] 黄雄斌, 李国富. 方正鲫饲料中发酵豆粕和豆粕替代鱼粉的研究 [J]. 湖南农业科学, 2010(13): 143–145, 148.
- [9] 杨 霞, 叶金云, 张易祥, 等. 普通棉籽粕和发酵棉籽粕替代鱼粉对中华绒螯蟹幼蟹生长性能、体成分及肝胰腺消化酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(3): 683–693.
- [10] Luo Z, Liu YJ, Mai KS, et al. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J]. Journal of Fish Eries of China, 2004, 28(2): 175–181.
- [11] Refstie S, Sahlstrom S, Brathen E, et al. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2005, 246(1/2/3/4): 331–345.
- [12] 孔 丽, 张 伟, 叶元土, 等. 氨基酸粉·发酵棉粕和发酵菜粕在异育银鲫饲料中的应用效果 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3610–3612, 3623.
- [13] 侯 鑫, 梁桂英, 阳会军, 等. 杂交罗非鱼饲料中豆粕、发酵豆粕和晶体氨基酸替代鱼粉的研究 [J]. 南方水产, 2009, 5(2): 28–33.
- [14] 李贵生, 徐金龙. 发酵豆粕与发酵杂粕代替部分鱼粉饲养凡纳滨对虾的比较 [J]. 暨南大学学报: 自然科学版, 2012, 33(3): 311–315.
- [15] 赵朝阳, 王天神, 周 鑫, 等. 生物饲料在虾蟹健康养殖中的应用前景 [J]. 饲料研究, 2011(6): 69–71.
- [16] 刘 勇, 冷向军, 李小勤, 等. 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼幼鱼生长、营养物质消化率及血清非特异性免疫的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 2160–2166.
- [17] 杨耐德, 符广才. 凡纳滨对虾饲料中发酵豆粕替代鱼粉的研究 [J]. 饲料工业, 2008, 29(10): 24–26.
- [18] 孙立梅, 陈立桥, 李二超, 等. 高比例棉粕饲料中补充蛋氨酸对中华绒螯蟹幼蟹摄食、生长及抗氧化酶活性的影响 [J]. 水生生物学报, 2013, 37(2): 336–343.
- [19] Ferrari A, Venturino A, Pechén de D, Angelo A M. Effects of carbaryl and azinphos methyl on juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) detoxifying enzymes [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2007, 88(2): 134–142.
- [20] Mccord J M, Fridovich I. Superoxide dismutase an enzymic function for erythrocyte (hemocuprein) [J]. Journal of Biological Chemistry, 1969, 244(22): 6049–6055.
- [21] Winston G W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology, 1991, 100(1): 173–176.
- [22] Diguiseppi J, Fridovich I, Mccord J M. The toxicology of molecular Oxygen [J]. CRC Critical Reviews in Toxicology, 1984, 12(4): 315–342.
- [23] 王天神, 周 鑫, 赵朝阳. 3 种饲料对克氏原螯虾生长、免疫酶、氨基酸含量及消化酶活性的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(6): 1011–1016.
- [24] 王一娟, 何义进, 谢 骏, 等. 抗菌肽对河蟹生长、免疫及抗氧化能力的影响 [J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 340–343.
- [25] 任秀芳, 周 鑫, 张 萍, 等. 壳聚糖对克氏原螯虾存活、血清生化指标和非特异性免疫功能的影响 [J]. 淡水渔业, 2013, 43(3): 77–82.
- [26] 刘 勇, 冷向军, 李小勤. 发酵蛋白在水产饲料中的应用 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 101–106.