**分类号**   **密 级**

**U D C** **编 号**



**硕 士 学** 位 论 **文**

池塘养殖脊尾白虾的Th长与繁殖研究

于天基

**（1114045）**

指导教师姓名 李健研究员 李霞教授专 业 名 称 水产养殖 论文答辩日期 2014 年 6 月 4 日

学位授予日期 2014 年 6 月

**Academic Dissertation**

The growth and reproduction characteristics of ridgetail white prawn (*Palaemon carinicauda*) cultured in ponds

**By Yu Tianji**

A Thesis Submitted to Dalian Ocean University

In Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master (Agriculture)

Advisor: Li jian Li xia Completed in: 4th, Jun, 2014

Commencement in: Jun, 2014

池塘养殖脊尾白虾的生长与繁殖研究

摘 要

脊尾白虾具有繁殖季节长、生长速度快、环境适应性强等特点。近年来随着海水养殖向低盐度区域的发展，脊尾白虾的养殖产量也迅速增加。本文研究了池塘养殖脊尾白虾的生长与繁殖特性，脊尾白虾营养生理学以及脊尾白虾对pH的适应性。具体研究结果如下：

1投喂不同天然饵料对脊尾白虾性腺发育期组织器官生化组分的影响

研究了牡蛎、鱿鱼、沙蚕对脊尾白虾性腺发育期组织器官生化组分的影响。结果表明，投喂牡蛎组肝胰腺、卵巢、血淋巴三种组织的甘油三酯含量水平都相对较高。投喂鱿鱼组中各组织胆固醇含量最高。喂沙蚕组卵巢与肝胰腺当中Vc含量水平均高于其他饵料组。由于不同天然饵料之间营养成分各有差异，因此在亲虾培育中投喂以上天然饵料的混合饵料能够达到营养互补的效果，但混合饵料不同饵料的混合比例还需要继续实验论证。

2不同卤虫密度对幼体发育的影响及幼体发育过程中消化酶活力的变化

通过设置不同的卤虫密度，研究了对幼体发育的影响；以卤虫为饵料投喂各期幼体，培育24 h后测定消化酶活力。结果表明，随着卤虫密度（*S*）的增大，脊尾白虾幼体变为仔虾时的干质量（*W*, 10-4g）也随之增大；从蚤状幼体发育到仔虾的存活率也随之上升；所有幼体完全变为仔虾所需时间逐渐缩短。淀粉酶活力在Z1、Z2 时期活力较高，而到

Z3急剧下降；胃蛋白酶随着幼体的变态发育，活力呈上升趋势；脂肪酶活力相对较弱，其活力大约只有蛋白酶活力的几十分之一。建议使用卤虫无节幼体培育幼体时，在Z3之前卤虫密度可以保持在1个/ml~2个/ml之间；在Z3~Z5期间，卤虫密度可以保持在2个/ml；而Z5期及之后，卤虫密度应保持在3～5个/ml之间。

3不同蛋白质水平的饲料对脊尾白虾生长性能的影响

研究了不同蛋白水平（31%、35%、39%、43%、47%、51%）饲料对脊尾白虾生长性能的影响。实验周期为30d。结果表明，在蛋白水平为38.96时特定生长率和增重率都达到最大值，饲料系数在蛋白水平为35.10时达到最低值。规划求解得到最大增重率为43.02%，此时对应的蛋白质水平为38.66%。

4池养脊尾白虾的生长与繁殖特性

研究了2012年7—12月和2013年4—9月ft东省日照地区池养脊尾白虾的生长与繁殖特性。结果表明，脊尾白虾生长呈等速生长，体重日增长率夏季最高，秋季次之，春季最低。脊尾白虾肥满度与体长和季节相关。利用von Bertalanffy方程拟合池养脊尾白虾生长模型，计算得出极限体长、拐点月龄和极限月龄。观察到脊尾白虾性成熟个体最小体长为35.93 mm，体重为0.68 g；抱卵个体最小体长为36.35 mm，体重为0.73 g；最大抱

卵个体体长为72.82 mm，体重为6.73 g。繁殖高峰均出现在4-8月，整个养殖期间最后

繁殖个体出于9月底。脊尾白虾抱卵量（*Y*）及孵化幼体数量（*X*）与体重（*W*）之间呈直线相关。估算出脊尾白虾卵子孵化率为46.00%。建议在日照地区于4月初放养抱卵脊尾白虾亲虾进行养殖。

5 pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响

采用静水毒性的实验方法确定了脊尾白虾的半致死pH值，分析了pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响。结果显示，脊尾白虾24、48、72和96h酸性半致死pH值分别为4.25、

4.64、4.71和4.78，碱性半致死pH值分别为10.87、10.55、10.38和10.29。pH胁迫后，在3~6h之内各组织中抗氧化酶活力均开始显著上升；24h~48h各组织中抗氧化酶活力开始回落，胁迫时间达到96h之前，各组织中抗氧化酶水平基本恢复到对照组水平。整个实验过程中肝胰腺中抗氧化酶活力水平明显高于其他组织。实验结果表明，脊尾白虾对

pH有很强的适应性，pH胁迫3~24h之内抗氧化酶活力反馈性升高清除体内多余的活性氧。

关键词：脊尾白虾；生长；繁殖

Abstract

1 Changes of biochemical compositons in tissues and organs of *Palaemon carinicauda* female broodstock during gonad development fed with different natural diets

It was studied that the changes of biochemical compositons in tissues and organs of *Palaemon carinicauda* female broodstock during gonad development fed with oysters, squids and nereids respectively. The results showed that the triglyceride level that group fed with oysters in the hepatopancreas, ovaries and hemolymph were relatively higher. The cholesterol level that group fed with squids were highest in the tissues. The average Vc level that group fed with nereids were higher than other groups. Because nutritional components in the different natural diets are various, parent prawns should be fed with diets mixed with above natural diets for the reason of complement nutrient. The mixing ratio should be figured out furtherly.

2 The effect of different densities of *Artemia* nauplii on the development of larvae and changes of activities of digestive enzymes during the development of larvae

It was studied that the effect of different densities of *Artemia* nauplii on the development of larvae. The activities of digestive enzymes of different larval stages were determined 24 h later, with larvaes fed with *Artemia* nauplii. The results showed that the dry weight( *W*, 10-4g) of juveniles and the survival rates from larvae to juvenile increased as the increase of the density of *Artemia* nauplii(S), with the consume time from larvae to juvenile reduced. The amylase activity was relatively high in the larval stages of Z1 and Z2, but it declined sharply in the larval stages of Z3. The pepsin activity increased as the development of larvae. The lipase activity was only a small percentage of the pepsin activity.

*3* The effect of different crude protein levels on the growth of *Palaemon carinicauda*

It was studied that the effect of different crude protein levels (31%, 35%, 39%, 43%, 47%, and 51%) on the growth of *Palaemon carinicauda* in the period of 30d. The results showed that the growth rate and the specific growth rate was the highest with the crude protein level of 38.96%. The feedstuff coefficient was lowest with the crude protein level of 35.10%.

4 The growth and reproduction characteristics of ridgetail white prawn (*Palaemon carinicauda*) cultured in ponds

The growth and reproduction characteristics of the ridgetail white prawn (*E. carinicauda*) cultured in Rizhao area were studied during July to December, 2012 and April to September, 2013. The results indicated that the growth of *E. carinicauda* was in constant speed. The highest growth rate of weight was in summer, the second in autumn and the lowest in spring. The fatness of *Palaemon carinicauda* was related to its body length and seasonal factors. The limiting body length, the months of age of the inflection point and limiting months of age were figured out using the growth formulation model fitted with the equation of von Bertalanffy. It was observed that the individual minimum body length and weight for sexual mature were

35.93 mm and 0.68 g, laying eggs were 36.35 mm and 0.73 g respectively. And the individual maximum body length and weight for laying eggs were 72.82 mm and 6.73 g respectively. The reproduction peak for *Palaemon carinicauda* was in April, May, July and August, and the reproduction individuals could be observed at the end of September. There was linear correlation between the number of eggs(*Y*), hatching larvae (*X*) and the body weight (*W*). It wa s estimated that the hatchability of *Palaemon carinicauda* was 46.00 percents. Therefore, it is advisable to cultivate the parent prawn of *E. carinicauda* in early April in Rizhao area.

5 The effects of pH changes on antioxidant enzyme activities of ridgetail white prawn (*Palaemon carinicauda*)

Ridgetail white prawn, *Palaemon carinicauda*, is an important mariculture species in China. In this study, the median lethal pH was mensurated in the hydrostatic toxicity experiment and the effects of pH changes on antioxidant enzyme activities of ridgetail white prawn was studied. The median lethal pH in the acidic range was 4.25 for 24 h, 4.64 for 48 h, 4.71 for 72 h and 4.78 for 96 h. The LpH50 in the alkaline zone was 10.87 for 24 h, 10.55 for 48 h, 10.38 for 72 h and 10.29 for 96 h. Ridgetail white prawns were exposed to water of pH6.5 and pH9.5 for 96 h with pH8 set as contrast. The T-AOC, CAT activity and anti-superoxide anion activity in different tissues began to increase notably within 3~6 h of pH stress. The antioxidant enzyme activities started to drop from 24~48 h, and then it fell back to levels of control groups basically before 96 h. The antioxidant enzyme activities in hepatopancreas were highest under pH stress. The results indicated that ridgetail white prawn is highly adaptable to pH stress. The antioxidant enzyme activities would increase for feedback to eliminate unnecessary reactive oxygen within 3~24 h.

**Key words:** *Palaemon carinicauda*; Growth; Reproduction

目 录

[摘 要](#_Toc686867555) 2

[Abstract](#_Toc686867556) 2

[目录](#_Toc686867557) 3

[第一章 文献综述](#_Toc686867558) 5

[1 脊尾白虾Th物学特征](#_Toc686867559) 5

[1.1 形态特征](#_Toc686867560) 5

[1.2 Th活习性](#_Toc686867561) 5

[1.3 环境适应性](#_Toc686867562) 5

[1.3.1 水温](#_Toc686867563) 5

[1.3.2 盐度](#_Toc686867564) 5

[1.3.3 溶氧](#_Toc686867565) 5

[1.3.4 氨氮](#_Toc686867566) 5

[2 脊尾白虾营养Th理学](#_Toc686867567) 5

[1.1 脊尾白虾幼体培育饵料](#_Toc686867568) 5

[1.2 营养Th理](#_Toc686867569) 5

[3 脊尾白虾Th长繁殖特性](#_Toc686867570) 6

[3.1 脊尾白虾Th长特性](#_Toc686867571) 6

[3.1.1 体长与体重的关系](#_Toc686867572) 6

[3.1.2 一般Th长型](#_Toc686867573) 6

[3.1.3 肥满度](#_Toc686867574) 6

[3.1.4 补充类型](#_Toc686867575) 6

[3.2 脊尾白虾繁殖特性](#_Toc686867576) 7

[3.2.1 性比](#_Toc686867577) 7

[3.2.2 相对抱卵量和绝对抱卵量](#_Toc686867578) 7

[3.2.3 繁殖期](#_Toc686867579) 7

[3.2.4 繁殖行为](#_Toc686867580) 7

[3.2.5 胚胎及幼体发育](#_Toc686867581) 7

[4 研究的内容、目的、意义](#_Toc686867582) 7

[第二章 脊尾白虾的营养Th理学研究](#_Toc686867583) 7

[第一节 投喂不同天然饵料对脊尾白虾性腺发育期组织器官Th化组分的影响](#_Toc686867584) 7

[1 材料与方法](#_Toc686867585) 8

[1.1 实验材料](#_Toc686867586) 8

[1.2 实验方法](#_Toc686867587) 8

[2 结果与分析](#_Toc686867588) 8

[2.1 投喂不同饵料对亲虾各组织中甘油三酯含量的影响](#_Toc686867589) 8

[2.2 投喂不同饵料对亲虾各组织中胆固醇含量的影响](#_Toc686867590) 8

[2.3 投喂不同饵料对亲虾各组织中Vc含量的影响](#_Toc686867591) 9

[3 讨论](#_Toc686867592) 9

[第二节 不同卤虫密度对幼体发育的影响及幼体发育过程中消化酶活力的变化](#_Toc686867593) 9

[1 材料与方法](#_Toc686867594) 10

[1.1 实验材料](#_Toc686867595) 10

[1.2 实验方法](#_Toc686867596) 10

[1.2.1 不同卤虫密度对幼体发育的影响](#_Toc686867597) 10

[1.2.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化](#_Toc686867598) 10

[2 结果](#_Toc686867599) 10

[2.1 不同卤虫密度对幼体发育的影响](#_Toc686867600) 10

[2.1.1 不同卤虫密度对仔虾体质量的影响](#_Toc686867601) 10

[2.1.2 不同卤虫密度对脊尾白虾幼体存活率的影响](#_Toc686867602) 11

[2.1.3 卤虫密度对幼体发育速度的影响](#_Toc686867603) 11

[2.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化](#_Toc686867604) 16

[3 讨论](#_Toc686867605) 17

[3.1 脊尾白虾幼体培育适宜的卤虫无节幼体密度](#_Toc686867606) 17

[3.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化](#_Toc686867607) 17

[第三节 不同蛋白质水平的饲料对脊尾白虾Th长性状的影响](#_Toc686867608) 18

[1 材料与方法](#_Toc686867609) 18

[1.1 实验材料](#_Toc686867610) 18

[1.2 试验设计与试验饲料](#_Toc686867611) 18

[1.3 日常管理](#_Toc686867612) 22

[1.4 Th长指标的测定](#_Toc686867613) 23

[1.5 数据处理](#_Toc686867614) 23

[1.1 实验材料](#_Toc686867615) 25

[1.2 测量指标与方法](#_Toc686867616) 25

[1.3 数据分析与统计](#_Toc686867617) 25

[2 结果与分析](#_Toc686867618) 26

[2.1 Th长特性](#_Toc686867619) 26

[2.1.1 体长与体重的关系](#_Toc686867620) 26

[2.1.2 体重日增长率](#_Toc686867621) 26

[2.1.3 不同季节肥满度与体长的关系](#_Toc686867622) 28

[2.1.4 群体组成](#_Toc686867623) 30

[2.1.5 一般Th长型及Th长参数](#_Toc686867624) 31

[2.2 繁殖特性](#_Toc686867625) 31

[2.2.1 性成熟情况、抱卵率统计及体长分布](#_Toc686867626) 31

[2.2.2 亲虾的绝对抱卵量和相对抱卵量](#_Toc686867627) 34

[2.2.3 受精卵孵化率](#_Toc686867628) 35

[2.2.4 雌雄比例统计](#_Toc686867629) 35

[3 讨论](#_Toc686867630) 37

[3.1 体长与体重的关系](#_Toc686867631) 37

[3.2 肥满度的影响因素](#_Toc686867632) 37

[3.3 亲虾的Th长、繁殖规律及繁殖力](#_Toc686867633) 37

[3.4 雌雄性比](#_Toc686867634) 38

[3.5 亲虾的投放方式和投放时间](#_Toc686867635) 38

[第二节 脊尾白虾养殖池塘主要水质指标及浮游动物的监测](#_Toc686867636) 38

[1 材料方法](#_Toc686867637) 38

[1.1 调查对象](#_Toc686867638) 38

[1.2 实验方法](#_Toc686867639) 38

[2 结果与分析](#_Toc686867640) 38

[2.1 脊尾白虾养殖池塘常规水质指标](#_Toc686867641) 38

[2.2 脊尾白虾养殖池塘中水中三氮的存在特征及其变化规律](#_Toc686867642) 42

[2.3 水体浮游动物组成及密度变化规律](#_Toc686867643) 44

[第四章 pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响](#_Toc686867644) 46

[1 材料与方法](#_Toc686867645) 46

[1.1 实验材料](#_Toc686867646) 46

[1.2 试验方法](#_Toc686867647) 46

[1.2.1 半致死pH值的测定](#_Toc686867648) 46

[1.2.2 pH胁迫对抗氧化酶活力的影响](#_Toc686867649) 46

[1.3 数据分析](#_Toc686867650) 46

[2 结果与分析](#_Toc686867651) 46

[2.1 各时间段半致死pH值的测定](#_Toc686867652) 46

[2.2 pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响](#_Toc686867653) 50

[2.2.1 pH胁迫对脊尾白虾总抗氧化力的影响](#_Toc686867654) 50

[2.2.2 pH胁迫对脊尾白虾CAT活力的影响](#_Toc686867655) 51

[2.2.3 pH胁迫对脊尾白虾抗超氧阴离子活力的影响](#_Toc686867656) 53

[3 讨论](#_Toc686867657) 54

[3.1 水体pH对脊尾白虾的毒性效应及机理](#_Toc686867658) 54

[3.2 脊尾白虾对pH值的适应性及与其他虾类的比较](#_Toc686867659) 54

[3.3 脊尾白虾在盐碱水域养殖的可行性](#_Toc686867660) 54

[结 论](#_Toc686867661) 58

[参考文献](#_Toc686867662) 59

[攻读学位期间发表的论文目录](#_Toc686867663) 61

[独创性说明](#_Toc686867664) 62

[大连海洋大学版权使用授权书](#_Toc686867665) 62

# 第一章 文献综述

脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*)俗称小白虾，迎春虾，动物学分类上属于十足目、长臂虾科、长臂虾属、白虾亚属。脊尾白虾是主要生活于暖温带地区的海产虾。一般栖息于海底，在我国黄渤海地区产量低于中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和中国毛虾(*Acetes chinensis*)，居第三位。脊尾白虾肉质鲜美，具有蛋白质含量高、矿物质丰富、脂肪比例低的特点。脊尾白虾可以直接鲜食，也能制作成海米，其卵可制成虾籽，是上等的海味品。

脊尾白虾具有繁殖季节长、生长速度快、环境适应性强（耐低温[1]、广盐[2][3]、食性杂[4]和耐胁迫[5]）等特点。由于东方对虾、车虾等传统虾类养殖过程中病害时有发生，海水养殖向低盐地区发展。脊尾白虾的养殖产量快速增加，成为池塘专养，与其他海产经济种类混合养殖，特别是池塘闲季增收的重要选择[6][7][8][9][10][11]。而目前脊尾白虾的研究以生产性报告较多[[7-](#_bookmark3)11]，池塘养殖下脊尾白虾繁殖、生长特性研究较少。此外脊尾白虾的营养生理、环境适应性研究也鲜见报道。因此，本文对脊尾白虾已有的研究及生物学特性进行了综述，为发展脊尾白虾规模化、规范化生态养殖提供理论支撑。

# 1 脊尾白虾Th物学特征

## 1.1 形态特征

成体生物学体长一般4～9cm，不同地区及环境条件下体型会有一定差异。体色透明，背部一般呈淡白色，腹部各节后缘颜色相对加深。体形呈现侧扁，腹部一般稍微隆起，雌性略大。与对虾类的差异是第二腹节侧面甲壳盖遮于第一腹节侧面甲壳上面。额角成侧扁形状，狭长呈S形。头胸甲长一般为额角的三分之二左右。额角基部突出似鸡冠形状，上下缘都有小齿，上部有6-9个小齿，下部有3-6个小齿。第1触角柄部延伸至第 2

触角鳞片的三分之二处。第二对触角长度是脊尾白虾生物学体长的1.7倍。触角上有刺，

鳃甲壳外有刺，无肝刺。第1、2步足为钳状步足，其余3对步足为爪状步足，其中第2对步足最为强壮。腕节和指节基本等长，二者比掌节稍微略长。腹部有一条显著的纵状形脊。尾节后端具2对可以活动的小刺，尾尖侧面有2对小刺。鳃呈叶状。腹部腹肢 6

对，除尾节外，每节具腹肢1对，前5对为游泳足。

雌性没有其他虾类具有的纳精囊，第三对步足基部具有生殖口。产出的卵抱于腹肢上。雄性交接器位于第二腹肢内缘，是呈狭长且带刺的一条棒状突起。第五步足基部有雄性生殖口，为一尖状微小隆起。

## 1.2 Th活习性

通常生活在水体的底层或在水底泥沙上缓慢爬行，依靠腹肢作短距离游泳及上下运动，受惊时弹跳出水面或身体屈曲拍水迅速向后弹出。常用第一对步足钳住食物进食，第二步足常用作抢夺食物或遇敌搏斗，食物过大时也用两对步足同时钳住食物进食。昼夜均活动，幼体时有趋光性，傍晚时活动开始加强。有随潮水涨落而运行的习性。脊尾白虾群体之间存在相互残食的现象，特别是正在蜕皮或者刚刚蜕皮不久的虾容易受到同类的残食。

脊尾白虾属于杂食性虾类，幼体状幼体I期后期主要以单细胞藻类为食，也可捕食小型浮游动物。溞状幼体II期以后主要捕食浮游动物。成体食性广泛，植物性饵料和动物性饵料均可摄食。人工养殖中摄食水体中的有机碎屑，对人工饲料无特殊挑剔性。

## 1.3 环境适应性

### 1.3.1 水温

20~30°C时生长发育最好，26°C时生长发育最快，据报道能够生活的极限温度区间为2~38°C [[1]](#_bookmark4)。但38°C 时，耗氧率显著增加、行动徐缓、摄食量显著下降。当水温升至

39°C脊尾白虾出现时昏厥。当水温达到40°C时脊尾白虾开始死亡。2°C低温条件下脊尾白虾时可以正常活动和捕食。当水温降到1°C时不再进食。短暂的0.5°C时呈假死现象，渐渐升温可重新恢复活力。

### 1.3.2 盐度

脊尾白虾在4-35范围内的水体中均可存活。各个发育阶段的脊尾白虾经逐级淡化后均可适应淡水生活，且其生长速度不低于海水中生长速度，二者基本一致[12]。顾军[[3](#_bookmark5)]逐级淡化实验（10.12到1.08），脊尾白虾成活率为45%。李国峰[[2]](#_bookmark6)等淡水繁育实验结果显示，脊尾白虾能够在盐度2.08条件下繁殖，受精卵孵化率和幼体培育的成活率分别为47%和49.2%。在盐度0~9的范围内，王兴强等人研究了脊尾白虾的生长性状、能量收支与盐度的关系[13]。

### 1.3.3 溶氧

脊尾白虾耐低氧，水体中溶氧低至1mg/L时仍能够正常活动，当溶氧低于0.8mg/L时，脊尾白虾开始出现浮头。李明云的研究表明，脊尾白虾的耗氧率、耗氧量和窒息点均随水温升高而增大，而且当个体体长增加时，窒息点也随之增大[14]。

王琦[15]等人通过研究发现，在维持虾体湿润且用冰降温的条件下，脊尾白虾离水3 h

无死亡，12 h存活率为75%。通过比较得出，脊尾白虾对干露的耐受力强于日本对虾，但比虾蛄弱。

### 1.3.4 氨氮

在虾类人工养殖中，特别在高密度养殖时，氨氮是潜在的虾类主要环境胁迫因子之一。梁俊平[16]等研究得出，脊尾白虾幼虾总氨氮和非离子氨的安全质量浓度分别为8.04、

0.26mg/L；成虾的总氨氮和非离子氨的安全质量浓度分别为12.09、0.50mg/L。

# 2 脊尾白虾营养Th理学

## 1.1 脊尾白虾幼体培育饵料

陆开宏[17]等通过饵料种类、组合、密度的比较试验，研究了脊尾白虾幼体适宜的开口饵料及饵料组合，测定了不同发育时期幼体的日粮及捕食率。结果表明，卤虫无节幼体是脊尾白虾幼体适合饵料[[17](#_bookmark19)]，可以全程使用卤虫无节幼体培育脊尾白虾幼体，而单胞藻和鱼靡可分别在幼体前期、后期使用[[17]](#_bookmark19)。随着幼体的发育，脊尾白虾溞状幼体对生物饵料的捕食率和日粮显著增大[[17]](#_bookmark19)。罗会明[18]等通过标志法研究了脊尾白虾幼体对饵料的摄食与吸收特点。结果表明，幼体在状幼体II期至III期发生食性转换[[18]](#_bookmark20)。幼体的捕食率和吸收率随着饵料密度的增加而增大，在某一密度下达到最大值，对饵料的利用率在一定界限密度之上随着饵料密度的增大而降低，并在某一密度下稳定于较低的水平上。

## 1.2 营养Th理

曹梅[19]等研究了不同蛋白质和脂肪水平饲料对特定生长率的影响，得出脊尾白虾在蛋白质45.05%和粗脂肪8.67%特定生长率达到最大值，高出此水平之后，特定生长率呈下降趋势。王兴强[20]等在日常饲料中进行盐生杜氏藻粉的添加，分别得出了存活率、特定生长率、吸收率、摄食量和饲料系数分别达到最优时对应的添加量。最后分析得出，添加量为2.76%时脊尾白虾特定生长率达到最大值。曹梅等[21]的研究表明盐度波动和中草药制剂对脊尾白虾生长、存活及免疫有显著影响。阎斌伦[22]等试验结果表明中草药添加量为1.91%时，脊尾白虾特定生长率达到最大。

# 3 脊尾白虾Th长繁殖特性

## 3.1 脊尾白虾Th长特性

### 3.1.1 体长与体重的关系

李明云[23]对浙江鄞州池养脊尾白虾报道的体重(*W*, g)对体长(*L*, cm)的回归方程为：*W*0.015948*L*2.948969(*r*=0.9650)，认为5cm以上个体体重增速明显加快，而小个体脊尾白虾主要是体长的增长。施永海[24]等对不同月份出生的脊尾白虾体长与体重的关系作了分析，结果表明体长与体重相关系数均接近于3，脊尾白虾呈等速生长。

### 3.1.2 一般Th长型

李明云[23]对池养脊尾白虾的生长特性用Von Bertalanffy生长方程进行了拟合，体长、体重与月龄的关系式分别为：

*L*10.5[1*e*0.1412(*t*0.54) ]

*t*

，*Wt*

18.30[1*e*0.1412(*t*0.54)] 3

施永海[[24]](#_bookmark27)等对杭州湾北部沿岸水泥养殖池5、6和7月份出生的脊尾白虾用Von Bertalanffy生长方程进行了拟合，认为7月份出生的虾生长较快，并对生长方程求了一阶导数，作了生长速度与加速度的分析。

卢敬让[25]等用Von Bertalanffy生长方程对长江口脊尾白虾资源体长生长作了拟合，并用ELEFAN程序估算了生长参数*k*，极限体长*L*∞，近似寿命，理论生长起点年龄*t*0，总死亡系数*M*和捕捞死亡系数*F*。结果如表1-1所示。

### 3.1.3 肥满度

李明云[23]分析了肥满度与体长的关系，发现体长大于5.0cm的脊尾白虾肥满度明显高于体长低于5.0cm以下的脊尾白虾。将5.0cm作为脊尾白虾肥满度的分界体长。

### 3.1.4 补充类型

卢敬让等[25]研究长江口脊尾白虾资源后，发现脊尾白虾一年当中存在两个补充高峰，分别为6月和11月，补充期大约为2个月。脊尾白虾属于两个季节的补充类型。

表1-1 脊尾白虾主要Th长参数

Table.1-1 The major growth parameters of ridgetail white prawn(*Palaemon carinicauda*)

| 性别/sex | 渐进体长/mm Incremental length/mm | 生长参数  Growth parameters | 理论生长起点  /年  Starting point of growth/a | 近似寿命/年  Life/a |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 雌 | 100.00 | 0.77 | -0.282 | 1.80 |
| 雄 | 101.00 | 0.88 | -0.245 | 0.97 |
| 雌+雄 | 103.00 | 0.88 | -0.244 | 1.42 |

## 3.2 脊尾白虾繁殖特性

### 3.2.1 性比

徐君义[26]等对浙江乐清湾的脊尾白虾研究发现，在生殖季节，3cm以上的个体当中，雌虾明显多于雄虾，雌虾比为2.39: 1；而在非生殖季节，雌雄比为1.16: 1。而在生殖季节，性比的差异主要是由5.0cm以上的繁殖群体当中雌性明显多于雄性造成的。卢敬让

[25]等对长江口脊尾白虾资源统计结果表明，全年雌雄性比为1.11: 1, 4月和5月份雌虾明显多于雄虾。施永海等[24]对水泥池养殖脊尾白虾统计后发现，繁殖前雌雄比例接近1: 1，繁殖后雌雄比为0.3: 1。

### 3.2.2 相对抱卵量和绝对抱卵量

脊尾白虾的绝对抱卵量一般为1500—2000粒[[23](#_bookmark28)]，与生物个体大小相关，李明云[23]对池养脊尾白虾的绝对抱卵量（*X粒*）与体长（*L*, cm）、体重（*W*, g）的直线方程分别为：

*X*粒=804.34*L*—2988.628 (*r*=0.9310), *X*粒=516.025*W*+24.763 (*r*=0.9450)

浙江鄞州池养脊尾白虾[23]相对抱卵量（粒/克体重）范围为310.53—767.93粒/克体

重，平均为512.70粒/克体重。

杭州湾北部沿岸水泥养殖池绝对抱卵量（*X粒*）与体长（*L*, cm）、体重（*W*, g）的直线方程分别为：

*X*粒=66.81*L*—2248(*R2=*0.8566), *X*粒= 562.78 W—115.53(R2=0.9680)

长江口脊尾白虾[25]全年平均抱卵量为1124 粒/尾，个体之间抱卵量差异很大，在

440～6000粒/尾之间。抱卵量（*X粒*）与体长（*L*, cm）之间直线方程为：

*X*粒=98*L*—3809(*r*=0.95)

### 3.2.3 繁殖期

在繁殖期，由于抱卵雌虾在抱卵期间卵巢可以继续发育二次甚至多次成熟，因此每尾雌虾在一年内可以多次繁殖。

脊尾白虾繁殖期较长，繁殖盛期一般在5-6月份和8~9月份，海区水温为12.5-26.8°C，不同地区存在一定差异。在长江口[25]脊尾白虾繁殖季节从3月份持续到9月份，抱卵高峰期为5月到8月，温度在18.5～26.7°C，盐度为5.21～10.96；珠江口[1](#_bookmark4)脊尾白虾可以全年进行繁殖，但在春夏两季抱卵个体比例较高，抱卵量较大；乐清湾脊尾白虾繁殖期从1月下旬开始，2月份可以见到抱卵个体，到10月下旬基本结束，繁殖盛期在4～6月份，且产卵集中在大潮期间。

### 3.2.4 繁殖行为

雌性脊尾白虾无纳精囊结构，所以每当进行产卵前均需进行交配。交配前雌虾须进行生殖蜕皮。王绪峨[27]观察了脊尾白虾的繁殖行为。

雌虾的生殖蜕皮蜕皮时，雌虾侧卧于水底。腹部向内弯曲收缩数次，最后猛地收缩腹部，腹部从背部蜕出。大约半分钟之后，头胸部的腹面用力触碰容器底部。全身抽动数次后，猛地向后弹跳，头胸甲蜕出从而完成全身蜕皮。

交尾雌虾完成生殖蜕皮后游动缓慢。而雄虾行动活跃，竞相靠近雌虾，竞争与雌虾交尾。交尾一般在雌虾蜕皮后5-30 min内进行。交尾时，雄虾游至雌虾的腹部的后侧方或下方，然后与雌虾同向并平行游动。很快雄虾迅速将自己扭转九十度，二者呈垂直交叉。然后快速将头胸部和腹部向内侧弯曲，紧紧抱住雌虾头胸部的后半部，进行交尾。

产卵与抱卵交尾结束后30 min左右开始产卵。产卵时，雌虾在原地同时步足不停挠动，当腹部和头胸部同时不断地向内侧弯曲时，便开始排出卵子。排卵先从卵巢的后端开始。排出的卵从第4游泳足位置开始往前排列，排列到第1游泳足。受精卵分批排出。

### 3.2.5 胚胎及幼体发育

在水温22.8-27.5°C，盐度31.6-31.7条件下，脊尾白虾经历12个发育期，约310h

完成胚胎发育，幼体破膜而出[28]。

当水温保持在22°C，饵料充足的条件下，脊尾白虾幼体经过6次蜕皮，即6个溞状

幼体期，约12天完成幼体发育变态为仔虾[29]。

# 4 研究的内容、目的、意义

本文重点研究了池塘养殖下脊尾白虾的生长与繁殖特性，不同天然饵料对性腺发育期亲虾组织器官生化组分的影响，幼体培育的最适卤虫密度，脊尾白虾生长所需最适蛋白含量以及脊尾白虾对pH的适应性。通过以上研究内容，查清了池塘养殖下脊尾白虾特有的生长与繁殖规律，避免了池塘养殖管理的盲目性与错误性；比较了几种天然饵料对性腺发育期亲虾组织器官生化组分的影响，为人工配合饵料的研发提供了一定的理论基础；比较了不同卤虫密度对幼体发育的影响，为使用优质天然饵料卤虫培育脊尾白虾幼体提供了指导，同时通过测定幼体发育过程中消化酶活力的变化，为进一步优化幼体饵料的选择提供了理论依据；比较了不同蛋白质水平饲料对脊尾白虾生长及消化酶活性的影响，摸清了脊尾白虾生长发育所需的最佳蛋白质含量；测定了脊尾白虾各时间段的半致死pH值，了解了脊尾白虾对pH的适应性，通过pH胁迫下对抗氧化酶活力的影响，探讨了pH胁迫下脊尾白虾可能的抗逆生理过程。为脊尾白虾的生态养殖中关键技术问题提供一定的技术依据。

# 第二章 脊尾白虾的营养Th理学研究

### 第一节 投喂不同天然饵料对脊尾白虾性腺发育期组织器官Th化组分的影响

营养是亲虾培育的最关键因素之一，决定了亲虾生殖器官的发育及其繁殖力。亲虾在其性腺发育时期性腺可增重4—9倍[30]，这就决定了亲虾性腺发育时需要充分得营养物质积累，为胚胎和幼体发育提供支持。如果性腺中营养物质积累无法达到一定水平，则亲虾性腺无法发育成熟，卵母细胞发生萎缩[31]。如果饵料中的营养成分无法满足亲虾性腺发育所需，不但会影响亲虾繁殖力，甚至有可能导致性腺无法发育成熟，亲虾无法繁殖。研究性腺发育期组织器官中的生化组分，是了解亲虾营养需求的一种有效手段。

根据现有的报道，牡蛎、鱿鱼、沙蚕等天然饵料均能显著促进亲虾生殖器官的发育，提升亲虾的繁殖力，而这与天然饵料中特异的营养成分紧密相关[32]。牡蛎中总脂肪含量较高，此外蛋白质及矿物质等含量也较为丰富；沙蚕当中高度不饱和脂肪酸含量丰富，对亲虾性腺成熟具有促进作用；鱿鱼中胆固醇含量较高，必须氨基酸含量丰富。本文通过研究不同天然饵料对脊尾白虾性腺发育期亲虾组织器官中生化组分的影响，比较几种常见的天然饵料对脊尾白虾亲虾的培育效果，了解亲虾性腺发育期的营养需求，为人工配合饲料的开发提供必要的理论基础。

# 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

牡蛎、鱿鱼、沙蚕等购自于青岛南ft市场，牡蛎、沙蚕均为鲜活，鱿鱼为速冻。脊尾白虾来自于日照开航水产有限公司养殖池塘，体长45-52 mm，于200 L PVC水族箱中暂养。24 h充气，每3天彻底换一次水。一周后开始正式实验。

## 1.2 实验方法

设置牡蛎、鱿鱼、沙蚕及三者混合饵料共计4个饵料组，每个饵料组3个重复，每

个重复50尾虾。每天投喂3次，不间断充气，溶氧保持在5.0mg/L以上。饲养1个月以上，挑选卵巢发育至Ⅲ、Ⅳ期的雌虾，取其卵巢、肝胰腺、血淋巴样品，测定甘油三酯、胆固醇、VC含量。

# 2 结果与分析

## 2.1 投喂不同饵料对亲虾各组织中甘油三酯含量的影响

从甘油三酯含量变化图中可以看出，投喂牡蛎组肝胰腺、卵巢、血淋巴三种组织的甘油三酯含量水平都相对较高。甘油三酯是甲壳动物生殖代谢过程中主要的代谢物质，也是能量贮存的主要形式[33]。牡蛎当中有相对较高的脂类物质，经过分解可为虾体提供充足能源物质。但是过多脂类物质的摄入可能会降低亲虾摄食率，导致其他营养素摄入量不足。



牡蛎 鱿鱼 沙蚕 混合

350

含量 content （mg/dl）

300

250

200

150

100

50

0



肝胰腺卵巢血淋巴组织器官

T issues and organs

图2-1 投喂不同天然饵料对各组织中甘油三酯含量的影响

Fig. 2-1 Changes of triglyceride level fed with different natural diets in different tissues

## 2.2 投喂不同饵料对亲虾各组织中胆固醇含量的影响

胆固醇含量变化图中，鱿鱼组中各组织胆固醇含量最高，这与鱿鱼中高含量的胆固醇密切相关。胆固醇是细胞膜的重要组分，同时也是多种生物活性分子的前体物质，对性腺发育和繁殖具有重要的调节作用[[32]](#_bookmark34)。虾类本身不具有合成胆固醇的能力，因此饵料必须提供足量的胆固醇，而乌贼可以为脊尾白虾理想的胆固醇来源。

牡蛎 鱿鱼 沙蚕 混合

40



含量 content （mg/dl）

30

20

10

0

肝胰腺卵巢血淋巴组织器官

T issues and organs

图2-2 投喂不同天然饵料对各组织中胆固醇含量的影响

Fig. 2-2 Changes of cholesterol level fed with different natural diets in different tissues

## 2.3 投喂不同饵料对亲虾各组织中Vc含量的影响

Vc水平与受精卵孵化率之间存在着高度的正相关关系[34]，可以防止高度不饱和脂肪酸的氧化。沙蚕当中含有丰富的Vc，对脊尾白虾性腺成熟和提高受精卵质量有很好促进效果，可以作为脊尾白虾合适的Vc来源。



牡蛎 鱿鱼 沙蚕 混合

35



含量 content （mg/dl）

30

25

20

15

10

5

0

肝胰腺卵巢血淋巴组织器官

T issues and organs

图2-3 投喂不同天然饵料对各组织中Vc含量的影响

Fig. 2-3 Changes of Vc level fed with different natural diets in different tissues

# 3 讨论

甘油三酯是虾类体内主要的能源物质，为受精卵及开口摄食前的幼体提供能量。另外，据报道甘油三酯是甲壳动物生殖代谢中主要的能源物质，也是贮存能量的主要形式

[[33]](#_bookmark40). 实验中投喂牡蛎的实验组卵巢、肝胰腺当中甘油三酯含量均显著高于鱿鱼组和沙蚕

组，这说明牡蛎是亲虾培育过程当中优质的能源物质。

胆固醇是生物膜系统中重要的化学组分，也是许多生物活性分子（如激素等）的前

体物质。对于甲壳动物而言，胆固醇是其性激素的前体物质，对其成熟与繁殖起到重要的调控作用。而虾类本身并不具有合成胆固醇的能力，所以只能依赖外界饵料的摄食。在实验中，投喂鱿鱼组均显著高于牡蛎组和沙蚕组，这说明鱿鱼是亲虾补充胆固醇的优良饵料。另外，牡蛎、鱿鱼和沙蚕三组当中肝胰腺中的胆固醇含量均高于卵巢中的含量，这说明肝胰腺可能是胆固醇的供应器官。

实验中投喂沙蚕组卵巢与肝胰腺当中Vc含量水平均高于其他饵料组，这说明沙蚕是亲虾补充Vc的良好饵料。据报道，双齿围沙蚕的Vc含量高达110.12mg/kg，长吻沙蚕Vc含量为100.06mg/kg[35]。已有的研究发现，亲虾饲料的Vc含量与印度明对虾卵的

Vc含量及受精卵孵化率之间存在着高度正相关关系[[34]](#_bookmark43)。

由于不同天然饵料之间营养成分各有差异，单一饵料虽然某一营养成分含量较高，但营养必然较为单一。因此在亲虾培育中投喂以上天然饵料的混合饵料能够达到营养互补的效果。上述3个图中也可以看出混合饵料组各组织器官中3种生化组分含量均相对较高，达到了均衡营养的效果，但混合饵料不同饵料的混合比例还需要继续实验论证。另外，在开发脊尾白虾亲虾人工配合饲料时，一方面需要考虑以上天然饵料的营养组成，另一方面需结合各种天然饵料在亲虾培育中的实际应用效果。从而确定各主要营养成分在配合饲料中的配比，以开发出经济高效、性能可靠的人工饲料。

## 第二节 不同卤虫密度对幼体发育的影响及幼体发育过程中消化酶活力的变化

脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*)俗称小白虾，迎春虾，在我国产量仅次于中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和中国毛虾(*Acetes chinensis*)。脊尾白虾肉质鲜美，具有高蛋白、低脂肪和富含矿物质的特点。而当下有关脊尾白虾幼体培养饵料的研究较少。罗会明[[18]](#_bookmark20)等通过标志法研究了脊尾白虾幼体对饵料的摄食与吸收特点。陆开宏[[17]](#_bookmark19)等通过饵料种类、组合、密度的比较试验，研究了脊尾白虾幼体适宜的开口饵料及饵料组合，测定了不同发育时期幼体的日粮及捕食率。结果表明，卤虫无节幼体是脊尾白虾幼体适宜饵料，可以全程使用卤虫无节幼体培育脊尾白虾幼体。对于培育脊尾白虾幼体的卤虫适宜密度未见报道。幼体饵料使用量不仅关乎幼体培育的经济成本，更直接影响到幼体培育的存活率和幼体发育的进程，是幼体培育成功与否的关键因子之一。本文在实验室条件下，通过对温度、溶氧、幼体密度等条件的控制，研究了脊尾白虾幼体培育适宜的卤虫密度，以期为脊尾白虾大规模幼体培育的实际生产提供参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

实验用幼体来自实验室培育亲虾抱卵孵化所得，剔除活力较差、体质弱的幼体，挑选其中活力强、体质健壮的幼体进行实验。

实验用卤虫无节幼体来自实验室当天孵化，卤虫卵为优质海水卤虫卵。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 不同卤虫密度对幼体发育的影响

实验水温控制在28±0. 5°C，24 h充气，初始幼体密度为50个/L。设置0.3个/ml、

0.5个/ml、1个/ml、2个/ml、3个/ml、5个/ml、10个/ml和15个/ml共计8个卤虫密度组。每隔12小时调整一次卤虫密度。每天上午8点统计幼体发育情况、存活率。

幼体变为仔虾后，将仔虾捞出后放在滤网上用水冲洗干净后，再用滤纸吸干水分。最后放入预先称重的锡箔制成的容器(*m1*)中，在电热鼓风干燥箱中（60°C）干燥6 h后称重*m2*。则仔虾个体干质量*m3*计算公式如下：

*m3*=( *m2*——*m1*) /*n*

*n*为仔虾的个数，所有称重的质量均精确到10-4g。

幼体的存活率(Survival rate, *SR*)，计算公式如下：

*SR*=( *Z*1*Z*2*Z*3*Z*4*Z*5*Z*6*P*) /50

100%

*Z*1、*Z*2„„*Z*6 分别表示脊尾白虾各期溞状幼体存活的数量，*P* 表示变态为仔虾的数量，50为初始放入幼体的总数。

幼体发育指数(Larval stage index, *LSI*)表示幼体发育的快慢，指数越大表示幼体发育速度越快，计算公式如下：

*LSI* =( *Z*11*Z*22*Z*33*Z*44*Z*55*Z*66*P*7) /(*Z1*+*Z2*+*Z3*+*Z4*+*Z5*+*Z6*+*P*)

*Z*1、*Z*2„„*Z*6 分别表示脊尾白虾各期溞状幼体存活的数量，*P* 表示变态为仔虾的数量。

所有实验数据采用Excel软件和SPSS软件统计分析。

### 1.2.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化

实验期间温度控制在28°C，24 h充气，以卤虫为饵料投喂各期幼体，保证卤虫过量。实验在容积为15 L的水族箱中进行，幼体密度为50个/L水体，均为刚变态的幼体。培育24 h后终止实验，测定相关消化酶活力。消化酶活力的测定采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定。

# 2 结果

## 2.1 不同卤虫密度对幼体发育的影响

### 2.1.1 不同卤虫密度对仔虾体质量的影响

不同卤虫无节幼体密度下幼体变为仔虾初始个体干质量如图2-4所示。可以看出，随着卤虫密度（*S*）的增大，脊尾白虾幼体变为仔虾时的干质量（*W*, 10-4g）也随之增大，且呈现“对数”增长关系。二者关系用一对数方程表示：

*W*=1.075Ln(*S*) +3.5796.

经过回归分析可知，二者呈现极显著相关性（*P*<0.01）。

*W* = 1.0751Ln(*s*) + 3.5796

7 *R 2* = 0.9389

6

仔虾干质量（10-4g）

dry weight of juveniles/10 -4g

5

4

3

2

1

0

0 5 10 15 20

卤虫密度（个/ml）

density

图2-4 卤虫密度与仔虾个体干质量关系图

Fig. 2-4 The relationship between the density of*Artemia* nauplii and the dry weight of juveniles

### 2.1.2 不同卤虫密度对脊尾白虾幼体存活率的影响

从图2-5中可以看出，在0.3～10个/ml的密度条件下，随着卤虫密度的增大，脊尾白虾从蚤状幼体发育到仔虾的存活率也随之上升。当卤虫密度达到3个/ml时，幼体存活率基本达到稳定状态，存活率达到了86%。当卤虫密度增大到15个/ml时，幼体变态为仔虾的存活率出现了下降，存活率为88%。

120%

100%

80%

存活率

survival rate(%)

60%

40%

20%

0%

0 5 10 15 20

卤虫密度（个/ml）

density

图2-5 不同卤虫无节幼体密度下幼体变态为仔虾的存活率

Fig. 2-5 The changes of survival rates from larva to juvenile at different densities of*Artemia* nauplii

### 2.1.3 卤虫密度对幼体发育速度的影响

从表格2-1中可以看出，所有幼体完全变为仔虾所需时间随着卤虫密度的增大而缩短。第5天开始，即幼体变态为Z3之后，各个密度组发育速度开始呈现明显差异。这也表明，幼体变态为Z3之后，摄食量显著增加，所需营养显著增加。其中，卤虫密度为2个/ml时，幼体发育速度相对已经较快，在第6、7、8天甚至显著高于3个/ml密度组合

5个/ml密度组。

全部完成幼体发育最长时间为卤虫密度0.3个/ml时，为20天；最短发育时间为卤

虫密度为10个/ml时，为9天。当90%幼体完全变为仔虾时，各卤虫密度组所需时间分别为18天、13天、14天、10天、12天、10天、9天、8天。

表2-1 不同卤虫无节幼体密度下脊尾白虾幼体发育指数

Table. 2-1 Effect of density of *Artemia* nauplii on the larval stage index of *Palaemon carinicauda*

| 孵化后天数  The days after  incubation |  |  | 幼体发育指数 Larval stage index | | | |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0.3 个  /ml | 0.5 个  /ml | 1 个/ml | 2 个/ml | 3 个/ml | 5 个/ml | 10 个  /ml | 15 个  /ml |
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 1.72d | 1.36bc | 1.38c | 2.00f | 1.18a | 1.24abc | 1.12a | 1.98ef |
| 3 | 2.06cd | 1.96a | 2.96ef | 2.96ef | 1.98a | 2.08d | 2.04bcd | 2.98f |
| 4 | 3.00ab | 2.95a | 3.00ab | 3.00ab | 3.00ab | 3.04b | 3.00ab | 3.19c |
| 5 | 3.00a | 3.26b | 3.90cd | 4.00e | 3.96de | 4.06f | 4.06f | 4.06f |
| 6 | 3.36a | 3.91b | 4.08c | 4.93f | 4.08c | 4.28d | 4.79e | 5.06g |
| 7 | 4.00a | 4.13a | 4.70b | 5.90g | 5.09cde | 5.18e | 5.10de | 5.79fg |
| 8 | 4.24a | 4.90bc | 4.94c | 6.22g | 5.81de | 5.91e | 6.17fg | 6.91h |
| 9 | 4.65a | 4.90b | 5.71c | 6.76ef | 6.35d | 6.77fg | 6.91g | 6.97h |
| 10 | 4.80a | 5.71b | 6.20c | 6.97f | 6.70d | 6.93ef | 7.00g | 6.97fg |
| 11 | 4.89a | 6.24bc | 6.34c | 7.00e | 6.84d | 7.00e |  | 7.00e |
| 12 | 5.11a | 6.43b | 6.69c |  | 6.93d |  |  |  |
| 13 | 5.31a | 6.90cd | 6.85bcd |  | 6.95d |  |  |  |
| 14 | 5.60a | 6.95cd | 6.91bcd |  | 7.00d |  |  |  |
| 15 | 6.08a | 6.95c | 6.91bc |  |  |  |  |  |
| 16 | 6.58a | 6.95bc | 6.97c |  |  |  |  |  |
| 17 | 6.75a | 6.95a | 6.97b |  |  |  |  |  |
| 18 | 6.83a | 7.00b | 7.00b |  |  |  |  |  |
| 19 | 6.92 |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 | 6.92 |  |  |  |  |  |  |  |
| 21 | 7.00 |  |  |  |  |  |  |  |

注：同一行中标有不同字母表示存在显著性差异(*P*<0.05)

## 2.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化

在脊尾白虾幼体发育过程中，三种消化酶表现出不同的变化模式。其中淀粉酶活力在Z1、Z2时期活力较高，而到Z3急剧下降，这也与各种单胞藻无法培育脊尾白虾幼体

到Z3的结果相一致[[17]](#_bookmark19)。胃蛋白酶随着幼体的变态发育，活力呈上升趋势。脂肪酶活力相对较弱，其活力大约只有蛋白酶活力的几十分之一。从幼体整个变态发育的过程来看，其脂肪酶活力基本呈现上升的趋势。另外，淀粉酶活力在Z3迅速下降及胃蛋白酶活力在

Z3的大幅上升也与幼体的食性转换相符合[17](#_bookmark19)。

0.400

0.350

0.300

活力(U/mgprot)

activity

0.250

0.200

0.150

0.100

0.050

0.000

z1 z2 z3 z4 z5 z6 p

幼体发育分期

Different stages of larva

图2-6 幼体发育过程中淀粉酶活力的变化

Fig. 2-6 The changes of the amylase activity in different larval stages

1.000

0.800

活力(U/mgprot)

activity

0.600

0.400

0.200

0.000

z1 z2 z3 z4 z5 z6 p

幼体发育分期

D i f f e r e n t s t a g

图2-7 幼体发育过程中胃蛋白酶活力的变化

Fig. 2-7 The changes of the pepsin activity in different larval stages

50.000

40.000

活力(U/gprot)

activity

30.000

20.000

10.000

0.000

z1 z2 z3 z4 z5 z6 p

幼体发育分期

Different stages of larva

图2-8 幼体发育过程中脂肪酶活力的变化

图2-8 The changes of the lipase activity in different larval stages

# 3 讨论

## 3.1 脊尾白虾幼体培育适宜的卤虫无节幼体密度

在甲壳类幼体的人工培育中，卤虫因其来源广泛、营养成分丰富而成为广泛使用的天然生物饵料。[卤虫含有丰富的蛋白质和无机元素，氨基酸](http://baike.baidu.com/view/15155.htm)组成齐全，粗脂肪含量比较高，其中[不饱和脂肪酸](http://baike.baidu.com/view/18017.htm)高于饱和脂肪酸，高达54.82%。在已有的报道中，卤虫是中华绒螯蟹( *Eriocheir sinenss*)溞状幼体的优质活饵料[36]。凡纳滨对虾幼体期饵料中添加卤虫无节幼体，能够缩短幼体的发育时间，提高幼体的存活率[37]。陆开宏等人对脊尾白虾幼体培育饵料的研究结果表明，卤虫无节幼体是培育脊尾白虾幼体的理想饵料，可以全程单一使用卤虫来培育脊尾白虾幼体[[17]](#_bookmark19)。准确控制卤虫的投喂量，不仅可以避免卤虫的浪费，而且可以防止卤虫的过度生长造成的水质破坏。

罗会明等[[18]](#_bookmark20)研究了脊尾白虾对饵料的摄食与吸收后发现：从Z2到Z3幼体对饵料的捕食率、吸收率均有大幅度的增长；各期幼体对饵料的捕食率及吸收率都随着幼体的发育而增大。本文的实验结果也发现，幼体在发育至Z3期后，各个密度组幼体的发育速度及存活率出现了显著的差异。这表明，脊尾白虾幼体的培育需要分阶段区别对待。幼体在Z1和Z2期（即前3天），各个密度组幼体的存活率和发育速度没有太大差别；在进入

Z3期之后（即第4天），以2个/ml密度组为分界线，低于2个/ml的密度组和高于2 个

/ml的密度组幼体的存活率及发育速度开始呈现显著性差异；待幼体发育至Z5时（即第

6天），以3个/ml为分界线，低于3个/ml的密度组和高于3个/ml的密度组幼体的存活率开始出现显著性差异。综合幼体的成活率、发育速度及仔虾的质量等因素，建议使用卤虫无节幼体培育仔虾时，在Z3之前卤虫密度可以保持在1个/ml~2个/ml之间；在Z3~Z5期间，卤虫密度可以保持在2个/ml；而Z5期及之后，卤虫密度应保持在3～5个/ml之间。

## 3.2 幼体发育过程中消化酶活力的变化

脊尾白虾幼体发育过程中胃蛋白酶与淀粉酶活力的变化与中国对虾[38]、日本对虾[39]的研究结果相似，胃蛋白酶活力随着幼体发育而逐渐增大，淀粉酶活力随着幼体的发育而逐步下降。脊尾白虾幼体脂肪酶活力相对较弱，其活力大约只有蛋白酶活力的几十分之一，但与中国对虾幼体[[38]](#_bookmark55)、日本对虾幼体[[39]](#_bookmark56)所报道的结果相比，活力较大。这可能是由于不同的物种在生态系统中处于不同的生态位[40]，食物与生活环境不同，从而导致其消化酶活性上的较大差别。

脊尾白虾在Z1前期，大颚上只有少量的细小齿，两个小颚内密生刚毛，口器属于滤食型，只能滤食水中的有机杂质及单细胞藻类等。Z1后期大颚上的牙齿数量增多且变尖，

能够捕食水中小型的浮游动物。解剖Z1幼体后也发现，其消化道中既有单胞藻，同时也有卤虫无节幼体[17](#_bookmark19)。这说明Z1时幼体不仅开口摄食，而且还能够主动捕食。待到Z2时，幼体小颚上的滤食刚毛明显减少，而大颚上的牙齿进一步密集，咀嚼面凹陷，咀嚼功能发达，完全转变为捕食型口器。

虽然整个幼体发育过程中实验添加的饵料只有卤虫无节幼体，Z1时其淀粉酶活力要明显高于胃蛋白酶活力，但这结果与Z2时幼体的口器相适应，可能与生物长期进化，基因调控下消化腺的定时分化有关。Z2时淀粉酶活性下降，胃蛋白酶活性上升，胃蛋白酶活力已经高于淀粉酶活力，这与脊尾白虾的食性转换及口器的变化相一致。Z3时，淀粉酶活性急剧下降，只有Z2时的十几分之一，而胃蛋白酶活力进一步上升，其值是淀粉酶的37倍。待到仔虾时，胃蛋白酶活力与淀粉酶活力的比值已达到数百倍。幼体的脂肪酶活力从Z1到仔虾呈现波动上升趋势，期间活力上升了1～2倍。

### 第三节 不同蛋白质水平的饲料对脊尾白虾Th长性状的影响

脊尾白虾(*Palaemon carinicauda* Hohhuis)又名白虾、小白虾和迎春虾等，隶属于长臂虾属(Palaemon)，白虾亚属(*Palaemon*)，系热温带海水底栖虾类，以黄渤海产量最高，具有繁殖能力强、生长速度快（一年可养殖多茬）、生长季节长（一年长达11个月）和环境适应性广（广温[[1]](#_bookmark4)、广盐[[2](#_bookmark6)][[3]](#_bookmark5)、食性杂[[1]](#_bookmark4)、氨氮等逆性环境适应性强[[5]](#_bookmark7)）等优点。近年来，中国明对虾、日本囊对虾等传统虾类养殖过程中病害时有发生，水产养殖向低盐度区域的发展。脊尾白虾的养殖产量迅速增加，成为池塘单独养殖，与其他海产经济种类混合养殖，甚至在秋冬季养殖的重要品种[6-11]。

目前关于饲料营养对脊尾白虾生长的影响研究比较少，对脊尾白虾消化酶活性的研究则处于空白状态。阎斌伦等[[22]](#_bookmark22)研究了饲料中添加不同质量分数的中草药对脊尾白虾生长和存活的影响；曹梅等[[21]](#_bookmark23)研究了盐度、中草药制剂及其相互作用对脊尾白虾存活、生长和免疫的影响，测定了不同饲料粗蛋白水平和粗脂肪水平下脊尾白虾的特定生长率

[[19]](#_bookmark24). 本文通过研究不同蛋白质的饲料对脊尾白虾的生长性状的影响，初步了解脊尾白虾

消化生理特性，确定脊尾白虾饲料最适蛋白质含量，为脊尾白虾配合饲料营养标准提供依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

试验所用脊尾白虾来自日照开航水产有限公司养殖池塘，体质健康，活力良好。试验在日照开航水产有限公司黄海水产研究所实验室进行。脊尾白虾于200L PVC桶内暂养一周，24 h充气。

## 1.2 试验设计与试验饲料

所有饲料原料均购自青岛七好生物科技有限公司，试验共设6个蛋白水平（31%、

35%、39%、43%、47%、51%），每个蛋白水平设3个重复，每个重复30尾虾。试验饲料原料经过粉碎并过60目筛，混匀加水搅拌用颗粒机制成粒径为1.5mm的的颗粒，用烘箱烘干后备用。试验的饲料配方及营养成分组成见表2-2。

表2-2 不同粗蛋白水平的饲料配方与营养成分

Table 2-2 Ingredient and proximate composition of different crude protein levels of experimental diets

|  | 31% | 35% | 39% | 43% | 47% | 51% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 原料 |  |  |  |  |  |  |
| 鱼粉（%） | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 |
| 酪蛋白  （%） | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 | 30 |
| 玉米蛋白  粉（%） | 30 | 26 | 22 | 18 | 14 | 10 |
| 小麦粉  （%） | 36 | 32 | 28 | 24 | 20 | 16 |
| 鱼油（%） | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 卵磷脂  （%） | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 复合维生  素（%） | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 复合矿物  质（%） | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 虾糠（%） | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 粘合剂  （%） | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 营养成分 |  |  |  |  |  |  |
| 粗蛋白  (%) | 31.14 | 35.10 | 38.96 | 43.05 | 46.92 | 50.93 |
| 粗脂肪  (%) | 8.46 | 8.61 | 8.58 | 8.79 | 8.68 | 8.91 |
| 粗灰分  (%) | 10.68 | 10.92 | 11.25 | 11.64 | 12.89 | 13.13 |
| 总能量  (MJ/Kg) | 17.32 | 17.39 | 17.55 | 17.66 | 17.81 | 17.89 |

注：1. 多维(g/kg): VA 2.5; VD 6.25; VE 75; VK 2.5; VB1 0.25; VB2 1.0; VB3 5.0; VB6 0.75; VB12 2.5; VB5 2.5;

叶酸0.25; Th物素2.5；肌醇379；纤维素500

2. 多矿(g/kg): KCl, 90g; KI, 40mg; NaCl, 40g; CuSO4-5H2O, 3g; ZnSO4-7H2O, 4g; CoSO4-7H2O, 20mg; FeSO4-7H2O, 20g; MnSO4-H2O, 3g; MgSO4-7H2O, 124g; Ca( HPO4) 2-2H2O, 500g; CaCO3, 215g

## 1.3 日常管理

实验期间水温为20±3°C，盐度为26±2，pH 8±0.2，24 h连续充气，保证溶氧在5mg/L以上。每个200L PVC桶内放养脊尾白虾30尾，每天早中晚投喂3次，投喂量为虾体重的5%～8%，根据摄食情况随时调整投喂量。实验周期为30 d。每周彻底换一次水。

## 1.4 Th长指标的测定

实验到达30 d时，停止实验，24 h后捕捞脊尾白虾，擦干水分后进行称重（精确到

0.01g）。计算特定生长率、增重率、饲料系数。

特定生长率(SGR, %/d) =100×( LnWt－LnW0) /t增重率(WG, %) =100×( Wt －W0) / W0

饲料系数(FCR) =FI/W

式中，Wt为实验终止时脊尾白虾的平均体重（g），W0为实验初始时脊尾白虾的平均体重（g），t为养殖周期（d），FI为实验周期内脊尾白虾摄食饲料的干质量（g），W为养殖周期内脊尾白虾的体重增长质量（g），PC为饲料蛋白质水平(%)。

## 1.5 数据处理

所有实验数据均采用Excel和SPSS软件进行统计分析，数据采用平均数±标准差表示。

2结果与分析

蛋白质对虾类起着特别重要的作用，它是机体不可或缺的构成物质，同时是许多生物活性物质（酶、抗体和激素等）的主要构成物质。但是高蛋白质水平的饲料容易使水体的氨浓度升高，会影响脊尾白虾的生长和机体免疫力。

不同蛋白质水平下脊尾白虾生长状况如表2-3所示。结果显示，随着饲料蛋白水平的增加，脊尾白虾的特定生长率和增重率都呈现先升高后下降的趋势。并且在蛋白水平为38.96时特定生长率和增重率都达到最大值，显著高于31.14和50.93两个蛋白水平

（*P*<0.05），与其他3个蛋白质水平差异性不显著（*P*> 0.05）。饲料系数随着饲料中蛋白水平

的升高，呈现先降低后上升的趋势。饲料系数在蛋白水平为35.10时达到最低值，显著低于31.14%和50.93%蛋白质水平(*P*<0.05)，与其他蛋白水平差异不显著（*P*> 0.05）。

对蛋白质水平（*p*）和增重率(*WG*)作回归性分析，得到回归方程：

*WG*= 0.0123 *p*3-1.6674*p*2+73.774*p*-1027.7(*R*2=0.9323)

规划求解得到最大增重率为43.02%，此时对应的蛋白质水平为38.66%。

50

*WG* = 0.0123*p* 3 - 1.6674*p* 2 + 73.774*p* - 1027.7

*R 2* = 0.9323

45

40

35

30

增重率

*WG* /%

25

20

15

10

5

0

31 35 39 43 47 51 55

饲料蛋白质水平

Dietary protein content/%

图2-9 不同蛋白质水平饲料对脊尾白虾增重率的影响

Fig. 2-9 Effects of dietary protein levels on weight gain rate of*Palaemon carinicauda*

表2-3 不同蛋白质水平饲料对脊尾白虾生长性能的影响

Table. 2-3 Effects of dietary protein levels on growth of *Palaemon carinicauda*

| 蛋白质水平  /% Protein  level/% | 初始均重/g Initial Weight/g | 终末均重/g Terminal Weight/g | 增重率/% WG/% | 特定生长率  /% SGR/% | 饲料系数  Feed coefficient |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 31.14 | 1.33±0.29a | 1.66±0.29 | 24.88±5.11a | 0.74±0.11a | 3.58±0.47c |
| 35.10 | 1.32±0.33a | 1.83±0.26 | 38.76±6.57de | 1.09±0.13ef | 2.05±0.41a |
| 38.96 | 1.31±0.32a | 1.92±0.22 | 46.52±5.38e | 1.27±0.17f | 2.54±0.36ab |
| 43.05 | 1.32±0.27a | 1.82±0.34 | 37.90±6.26cde | 1.07±0.21def | 2.31±0.28a |
| 46.92 | 1.29±0.34a | 1.77±0.34 | 36.50±7.68bcde | 1.04±0.09cdef | 2.63±0.31ab |
| 50.93 | 1.29±0.35a | 1.70±0.29 | 31.15±4.73abcd | 0.90±0.05b | 3.06±0.43bc |

3讨论

蛋白质是生命的基础，它与各种生命活动紧密联系在一起。它是组织器官的主要构[成物质，是许多生物活性物质（酶、激素、抗体等）的主要组分。此外，蛋白质还参与遗传物质](http://baike.baidu.com/view/212150.htm)调控，以及细胞中氧化还原反应、[电子传递](http://baike.baidu.com/view/818945.htm)、神经冲动传导。甚而学习和记忆等高级生命活动也有蛋白质的参与。蛋白质缺乏导致代谢率下降，免疫力下降，发育迟缓等症状。但蛋白质摄入过多同样会导致消耗体内大量的钙质，加重肾脏的负担，产生大量的氨，恶化水环境。

本实验结果表明，脊尾白虾最适宜蛋白水平为38.66%，与曹梅等人[[19]](#_bookmark24)的研究结果存在差异。存在差异可能与蛋白源的差异有关。曹梅等人以鱼粉、豆粕和花生粕为主要蛋白源，本实验采用的主要蛋白源为酪蛋白、鱼粉和玉米蛋白粉。此外，养殖环境及日常

管理也有所差异。本实验养殖期间温度为20±3°C，盐度为26±2，一天投喂3次；曹梅等人养殖期间温度为23.5°C ~25°C，盐度为16，一天投喂两次。Shiau[41]等研究表明，斑节对虾在海水和咸淡水不同环境下对蛋白质需求有所不同；张加润等推测虾的种类及规格，饲料蛋白源和养殖环境等因素都会影响虾对蛋白质的营养需求[42]。这说明，某种生物对蛋白质的最适需求量并不是一个定值，随着环境的变化及其他因素，最适蛋白需求很可能在一个范围之内波动。

脊尾白虾最适蛋白水平相对中国对虾[43]、日本对虾都相对明显较低，这可能与脊尾白虾的杂食食性有关。

饲料系数是评价饲料质量的重要指标之一，饲料系数越低，表明饲料的转化效率越高，饲料的应用效果越佳。本实验中，随着饲料中蛋白水平的上升，饲料系数则先下降后升高。当蛋白质水平超过43.05时，饲料系数增大，而增重率降低，这与虞冰如等人[44]关于日本沼虾(*Marobrachium nipponense*)的研究结果类似。据报道，当饲料中蛋白水平超过39.27%时，罗氏沼虾[45]的增重率下降，饲料系数增大。这说明，虾类对蛋白质的需求都存在一个适宜范围，超过适宜范围之外，不仅导致饲料的利用率降低，而且养殖对象的生长性能也会下降。

第三章池养脊尾白虾的Th长与繁殖特性

第一节池养脊尾白虾的Th长与繁殖特性

脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*)又名白虾、小白虾或迎春虾等，隶属于长臂虾属

（*Palaemon*）白虾亚属(*Palaemon*)，在中国以黄、渤海产量最高，具有生长速度快（一年可养殖多茬）、繁殖能力强、繁殖季节长（4—10月）和环境适应性广（广温[[1]](#_bookmark4)、广盐[[2](#_bookmark6)[-3]](#_bookmark5)、食性杂[[4]](#_bookmark8)和氨氮适应性强[[5]](#_bookmark7)）等优点。脊尾白虾一般生活在近岸的浅海、近岸河口及半咸淡水域中，经过驯化也能适应淡水生活[[2](#_bookmark6)[-3]](#_bookmark5)。脊尾白虾对温度的耐受范围广，在2～35℃水温范围内均可生存。在冬天低温时靠钻洞冬眠越过冬天。脊尾白虾属于杂食性虾类，但喜摄食动物性饲料。幼体阶段摄食浮游植物和浮游动物；成体捕食底栖动物，也摄食水体中的有机碎屑及底栖藻类。

近年来，中国明对虾、日本囊对虾等传统虾类养殖过程中病害时有发生，水产养殖向低盐度区域的发展。脊尾白虾的养殖产量迅速增加，成为池塘单独养殖，与其他海产经济种类混合养殖，甚至在秋冬季养殖的重要品种[[6-](#_bookmark9)11]。目前有关脊尾白虾的研究[[1](#_bookmark4)[,6]](#_bookmark9)基本上都集中在生物资源特性和生活习性等方面，对池塘养殖脊尾白虾生长特性与繁殖特性的研究还比较少，仅局限于生产性报告[7[-11]](#_bookmark10)的研究。因此，实验室在日照地区开展池塘养殖条件下脊尾白虾群体生长和繁殖特性的研究，以期为脊尾白虾的池塘养殖、轮捕、投饵及其他生产管理提供基础资料，从而达到提高养殖产量的目的。

1材料与方法

## 1.1 实验材料

实验自2012年4—12月和2013年4—9月在日照开航水产有限公司进行。亲虾为实验室人工培育。2012年4月30日，分别以投放未抱卵虾、抱卵虾未抱卵虾各50%和抱卵虾3种不同的亲虾投放方式于3个池塘（A、B和C）中。每半月从养殖池塘采样 1

次。2013年则分别于4月9日和5月4日投放部分抱卵亲虾（抱卵比例分别为11%和14%）于2个池塘（D和E），同样每半个月采样1次。生长季节的划分：3、4和5月为春季，6、7和8月为夏季，9、10和11月为秋季。

整个实验期间，各个池塘之间水质情况差别不大。水温变化范围为9～31℃，最低气温出现在4月份刚放养时，水温为9℃，最高气温出现在8月中旬，水温达31 ℃；盐度波动范围为21～31；水体pH波动范围为7.3～8.6，养殖中后期逐渐降低，收获前降到最低；溶氧水平在4～7 mg/L；亚硝酸氮浓度在0.01～0.1 mg/L，养殖中期含量较高，

前期含量较低；硝酸盐浓度在0.1～6 mg/L之间，呈逐渐积聚、增大的趋势；氨氮浓度在0.2～1.2 mg/L，中期含量最高，前期与后期相对较低。

## 1.2 测量指标与方法

脊尾白虾样品用旋网和抄网获取，当场进行处理，分雌雄性别记录各自的形态学参数。每次取样，每个池塘取样数量不少于50 尾，每个池塘设取样点8个以上。一般同

一时间点每个池塘连续取样3次。体长用游标卡尺测量（精确到0.01 mm），重量（湿重）

采用吸水纸吸去体表水分后用电子天平称重（精确到0.01 g）。形态参数的代表符号及定义如下：*L*为生物学体长（mm），眼柄基部至尾节末端的直线长度；*W*为体重（精确到

0.01 g），以吸去体表水分后的湿重计。

## 1.3 数据分析与统计

所得数据用Excel软件进行统计与回归分析。用Walford线图研究脊尾白虾的生长规律，以选用合适的生长方程。体重与体长的关系应用*W*=a*L*b模型进行拟合，生长规律用von Bertalanffy方程进行拟合。应用Walford直线方程求von Bertalanffy生长方程参数，进行回归分析求出各参数值。

肥满度的计算公式为：

肥满度=*W*×100/*L*3式（1）其中*W*为体重，*L*为体长。

采用Pauly经验公式[[46]] 计算自然死亡系数*M*：

Ln*M*=0.006 6-0.279Ln*L*∞+0.654 3Ln*k*+0.446 34Ln*T* (2)

其中*L*为体长，*k*为生长系数，*T*为水温（℃）。采用式（3）计算拐点月龄*T*tp：

*T*tp=Ln*b*/*k*+*t*0[[46]](#_bookmark72) (3)

其中*b*为体长体重的相关系数，*t*0为理论生长起点。采用式（4）计算极限月龄*T*max：

*T*max=3/*k*+*t*0[[46]](#_bookmark72)式（4）体重的日增长率的计算公式为：

日增长率=（ln*W*2-ln*W*1）/(*t*2-*t*1) (5)

# 2 结果与分析

## 2.1 Th长特性

### 2.1.1 体长与体重的关系

池塘养殖脊尾白虾体长与体重的相关曲线如图3-1所示。

8



6

体重/g Weigh

4

2

0

0 20 40 60 80

体长/mm Body length

图3-1 池塘养殖脊尾白虾体长与体重的相关曲线

Fig. 3-1 Correlation curve between the body length and weight of*Palaemon carinicauda* cultured in ponds

从图3-1中可以看出，脊尾白虾的体长与体重之间呈现明显的指数关系。即体长初始增长较快，体重增长相对滞后，随着体长增长放慢，体重增长加快。

对池养脊尾白虾的体重与体长的关系进行拟合，得到：

*W*=1.026×10-5*L*3.08（*r*=0.995，相关性极显著）式（6）从拟合方程中可以看出，池塘养殖脊尾白虾近似等速生长。

### 2.1.2 体重日增长率

2013年、2012年池塘脊尾白虾体重日增长率分别如图3-2、3-3所示。

D E

0.10

体重日增长率

Growth rate of weigh

0.05

0.00

6-12 6-28 7-19 7-26 8-14 8-29 9-13

日期/(month-day) Date

0.15

0.10

体重日增长率

Growth rate of weigh

0.05

0.00

6-12 6-28 7-19 7-26 8-14 8-29 9-13

日期/(month-day) Date

图3-2 2013年池塘D和E中脊尾白虾G1在不同时期的体重日增长率

Fig. 3-2 The changes of weight growth rate of G1 in pond D and E in 2013

从图3-2中可以看出，2个图中曲线都在6月28日出现高峰。这代表了脊尾白虾生命周期中的某个转折阶段，即性腺初始发育阶段，脊尾白虾完成了幼虾发育阶段，身体内部器官组织和外部结构发育完善，进入性腺发育阶段。大部分脊尾白虾在8月中旬达到性成熟，进行繁殖交配。而交配完成后，脊尾白虾体重增速迅速下滑。不同的是，池塘D此时G1代脊尾白虾基本达到商品规格的比例为62.5 %，而池塘E则只有52.6 %，前者是后者的1.2倍。建议于8月中上旬捕捞G1代，只留下小部分G1代亲虾繁殖，以便为G2的生长提供适宜的生长环境与饵料条件。

A B C

0.15

体重日增长率

Growth rate of weight

0.10

0.05

0.00

7- 7- 8-

19 31 12

8- 9-

30 13

9- 10-

27 13

日期/(month-day) Date

图3-3 2012年池塘A、B和C中养殖脊尾白虾在不同时期的体重日增长率

Fig. 3-3 The growth rate of*Palaemon carinicauda* in pond A、B and C in 2012

从图3-3中可以看出，3个池塘脊尾白虾的日体重增长率随时间变化基本呈现由高到低的趋势，这表明脊尾白虾由7月份到11月份的日体重增长率逐渐下降。但是，从B和C两个池塘图中可以看出，二者均在8月30日出现了一“峰值”，这是由于G2代的迅速生长造成的。而池塘A只在7月中旬时体重日增长率较高，说明池塘A中只有G1代在适宜的环境下迅速生长发育成熟。结合抱卵比例变化图可知，池塘A在9月中旬，G1性成熟产生的G2代，由于气温降低、饵料条件缺乏等，G2代无法完成正常生长发育，存活率较低[[16]](#_bookmark16)。因此不适宜投放非抱卵虾。

经过采样计算，春季亲虾体重日增长率很低，仅为0.006~0.007。且于五月底出现了“负增长”，这是由于亲虾繁殖后死亡造成的。由于在6月初抱卵比例已经比较低，所以应该及时捕捞初始放养的亲虾，防止亲虾死亡造成的损失。

综合以上分析可知，脊尾白虾在夏季的体重日增长率最高，其次为秋季，最低为春季。

### 2.1.3 不同季节肥满度与体长的关系

集合5个池塘采到的样品，分春、夏和秋3季节对不同体长脊尾白虾的肥满度进行

分析，结果如表1所示。从表1可以看出，春季和夏季情况基本一致，随着体长的增长，

脊尾白虾的肥满度也在逐渐提高。秋季时，各个体长组肥满度相差不大。将春夏秋3个季节的肥满度进行对比，发现春季大部分体长组肥满度最高，夏季大部分体长组的肥满

度都要高于秋季。春季肥满度较高可能是由于亲虾经过越冬营养物质积累所致；夏季则可能是由于脊尾白虾处于繁殖高峰期，池中饵料生物丰富，温度等条件适于脊尾白虾的营养积累；而秋季时，脊尾白虾繁殖过后，营养大量消耗，温度降低，天然饵料减少，肥满度降低。

表 3-1 不同季节不同体长组脊尾白虾的肥满度

Tab. 3-1 The fatness of *Palaemon carinicauda* with different body lengths in different seasons

| 季节Sea  son |  |  |  | 体长/mm Body length/mm | | |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.00~  19.99 | 20.00~  29.99 | 30.00~  39.99 | 40.00~  44.99 | 45.00~  49.99 | 50.00~  54.99 | 55.00~  59.99 | 60.00~  69.99 | 70.00~  79.99 |
| 春  季 | — | — | 1.488 | 1.508 | 1.505 | 1.467 | 1.514 | 1.561 | 1.584 |
| 夏  季 | 1.309 | 1.358 | 1.414 | 1.429 | 1.435 | 1.488 | 1.495 | 1.544 | — |
| 秋  季 |  |  |  |  |  |  |  |  | — |
| — | 1.418 | 1.368 | 1.370 | 1.367 | 1.375 | 1.373 | 1.384 |  |

注：—示无。

### 2.1.4 群体组成

池养脊尾白虾不同时期种群体长组成情况如图3-4所示。

A B

10mm 20mm 30mm 40mm 50mm 60mm

10mm 20mm 30mm 40mm 50mm 60mm



100

百分比/ % Percent

80

60

40

20

0

7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-13 10-29

日期/(month-day) Date

100

80



百分比/ % Percent

60

40

20

0



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-13 10-29

日期/(month-day) Date

C

10mm 20mm 30mm 40mm 50mm 60mm



100

百分比/ % Percent

80

60

40

20

0



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-13 10-29

日期/(month-day) Date

图3-4 池塘A、B和C中脊尾白虾在不同时期的群体体长组成

10mm、20mm、30mm、40mm、50mm和60mm分别表示脊尾白虾群体中10~19.99 mm、20~29.99 mm、

30~39.99 mm、40~49.99 mm、50~59.99 mm和60~69.99 mm体长组。

Fig. 3-4 The body length compositions of *Palaemon carinicauda* in pond A, B and C during different periods

10Mm, 20mm, 30mm, 40mm、50mm and 60mm respectively stand for the body length group of

10~19.99mm, 20~29.99mm, 30~39.99mm, 40~49.99mm, 50~59.99mm and 60~69.99mm.

种群的体长频率分布可以看出种群组成的变化及世代交替的过程。7月中下旬为新老两个世代交替的时期，从7月19日、7月31日可以看出幼虾（10 mm体长组）高峰，其中池塘B由于池中杂鱼太多，导致幼虾损失严重，未见高峰。之后8月上中旬20、30和40 mm体长组所占群体比例基本相同，同为优势体长组。在8月下旬和9月上中旬，

40 mm体长组成为优势体长组，在3个池塘种群中所占比例均为最高。之后从9月下旬

到11月，优势体长组变为50 mm体长组。

### 2.1.5 一般Th长型及Th长参数

对所收集的数据做Walford线图，结果如图3-5所示。*Lt*和*Lt*+1表示相邻两个时间点脊尾白虾的体长。经回归分析知，*Lt*+1 与*Lt* 之间均存在极显著相关性。因此可用von

Bertalanffy生长方程进行拟合，拟合结果为：

*Lt*=73.92[1-e-0.13（*t*+1.08）] (7)

采用Pauly经验公式（式（2）），计算得出池塘脊尾白虾自然死亡系数*M*为0.36。采用式（3）计算池塘脊尾白虾生长拐点月龄（*T*tp）为3.79。

采用式（4）计算池塘脊尾白虾极限月龄为11。

60



*L t+1* = 0.8805 *L t* + 8.8766

*R 2* = 0.9222

体长/mm Body length *Lt+1*

50

40

30

20

20 30 40 50 60

体长/mm Body length *L t*

图3-5 池养脊尾白虾生长walford 线

Fig. 5 The line graph of walford

## 2.2 繁殖特性

### 2.2.1 性成熟情况、抱卵率统计及体长分布

参加生殖的个体最小体长为35.93 mm，体重为0.68 g；最小抱卵个体体长为36.35

mm，体重为0.73 g；最大抱卵个体体长为72.82 mm，体重为6.73 g。这与李明云报道[[14]](#_bookmark15)

的抱卵个体最小体长为4.61 cm，最大体长达9.0 cm有较大差异。

池养脊尾白虾的抱卵率，在各个时间相差很大。脊尾白虾春季繁殖高峰为4、5月份，夏秋季繁殖高峰出现在7、8月，最后繁殖个体出现在9月底。

A、B、C和D池塘中脊尾白虾不同时期的抱卵比例及抱卵体长分布如图3-6所示。



A

40%

抱卵比例/%

Brood proportion

30%

20%

10%

0%

7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27

日期/(month-day) Date

A

30%

60mm 50mm 40mm 30mm

20%

百分比/%

Percent

10%

0%



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27

日期/(month-day) Date

B

40%

抱卵比例/%

Brood proportion

30%

20%

10%

0%

7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27



日期/(month-day) Date

B

30%

60mm 50mm 40mm 30mm

20%

百分比/%

Percent

10%

0%



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27

日期/(month-day) Date



C

40%

抱卵比例/%

Brood proportion

30%

20%

10%

0%

7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27

日期/(month-day) Date

C

30%

60mm 50mm 40mm 30mm

20%

百分比/%

Percent

10%

0%



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27

日期/(month-day) Date

D

60%

抱卵比例/%

Brood proportion

40%

20%

0%

D

50%



60mm 50mm 40mm 30mm 70mm

40%

百分比/%

Percent

30%

20%

10%

0%

日期/(month-day) Date日期/(month-day) Date

图3-6 池塘A、B、C和D中脊尾白虾在不同时期的抱卵比例及抱卵体长百分比

图例30、40、50、60和70 mm分别表示脊尾白虾群体中30～39.99、40～49.99、50～59.99、60～69.99

和70～79.99 mm体长组。

Fig. 3-6 The proportion and the percentages of body length of brooding prawns in pond A, B, C and D during different periods

30Mm, 40mm, 50mm, 60mm and 70mm respectively stand for the body length group of 30~39.99 mm，

40~49.99 mm, 50~59.99 mm, 60~69.99 mm and 70~79.99 m

放养亲虾全部为未抱卵虾（即池塘A），第1次抱卵高峰期出现在8月中旬，抱卵比例高达29.31%，其中40 mm体长组抱卵比例占到了群体的25%，而在同期群体组成中，

40 mm体长组占群体32%, 50 mm占3%；第2次抱卵高峰期出现在9月中旬，抱卵比例为25%，其中50 mm体长组抱卵比例占到了群体的15.18%, 40 mm体长组占到了

9.82%，而同期群体组成中50 mm体长组占到34%, 40 mm体长组占到了53%。两次数据相比较，显然可以得知有部分亲虾二次抱卵。亲虾的二次繁殖抱卵与G1代初次参加繁殖导致了这次抱卵繁殖高峰。二次抱卵与卵巢能否二次成熟有关，这与卵巢的物质积累相关。

放养亲虾为非抱卵和抱卵虾各半（即池塘B），抱卵率呈现逐渐上升趋势，到8月中旬达到高峰期；放养亲虾全部为抱卵虾，从7月中旬到9月下旬一直都有抱卵虾出现，

抱卵高峰期出现在7月下旬，结合抱卵比例图与抱卵体长分布图可知，亲虾二次性成熟、

G1代初次性成熟共同参加繁殖。结合体长分布图可知，亲虾二次繁殖后死亡。

无论哪种放养方式，G1代在当年都达到了性成熟参加繁殖，但因为第1次成熟之后，环境温度降低，无法达到所需积温，故卵巢无法再次发育成熟，待第2年春季才能进行

繁殖。所以，应于8月上中旬将放养抱卵虾和抱卵虾、非抱卵虾各半的2个池塘捕捞G1代，留下部分G1作为亲虾繁殖；于8月底捕捞放养非抱卵虾池塘G1，留下少部分作为亲虾，以便为G2代生长提供适宜环境与空间。

### 2.2.2 亲虾的绝对抱卵量和相对抱卵量

脊尾白虾抱卵量范围为237～2 212粒，池塘养殖脊尾白虾绝对抱卵量与其体重规格存在一定关系，随着体重的增加，抱卵量也随之上升。抱卵量（*Y*，粒）与体重（*W*, g）之间呈直线相关，直线方程为：

*Y*=276.94*W*-18.192（*R*2=0.9263） (8)

经回归分析知，二者之间存在极显著关系（*P<0.01*）。

相对抱卵量为136.19～396.74粒/g体重，平均259.69粒/g体重。

2500

*Y* = 276.94*W* - 18.192

*R 2* = 0.9263

2000

抱卵数/粒

Number of eggs

1500

1000

500

0

0 2 4 6 8

体重/g Weight

图3-7 脊尾白虾体重与抱卵数量的关系

Fig. 3-7 The relationship between the weight and number of eggs

### 2.2.3 受精卵孵化率

孵化实验在室外露天大棚中进行，于每个容积为20 L的整理箱中放养1尾抱卵亲虾，

投喂人工配合饲料。在水温为17～25℃、盐度为28～31的条件下，池养脊尾白虾的孵化幼体数量（*X*，尾）与其体重（*W*, g）之间呈直线相关，其直线方程为*X*=179.87*W*-244.25

（*r*=0.961 9）（图3-8）。经回归分析可知，二者之间存在极显著的相关性（*P<0.01*）。根据体重与抱卵量的关系，由统计出的幼体孵化数，估计上述条件下脊尾白虾幼体孵化率为46.00%。

1000

*X* = 179.87*W* - 244.25

*r* = 0.9619

800

幼体数量/尾

Number of lavae

600

400

200

0

0 2 4 6 8

体重/g Weight

图3-8 脊尾白虾体重与孵化幼体数量的关系

Fig. 3-8 The relationship between the number of hatching larvae and body weight

### 2.2.4 雌雄比例统计

B池塘不同时期所呈现的雌雄比例如表3-2所示。从表3-2可以看出，从始至终未成熟虾雌雄比都接近于1︰1。而在繁殖季节，即7、8月份，成虾中雌虾都明显多于雄虾。而繁殖季节过后，雌虾又显著少于雄虾。可能是由于繁殖消耗过大，雌虾大量死亡所致。其他各池塘虽然雌雄比例略有不同，但是变化规律同池塘B一致（繁殖季节雌虾明显多于雄虾，繁殖过后雌虾又显著少于雄虾）。

表3-2 池塘B脊尾白虾在不同时期的雌雄比

Tab. 3-2 The sex ratios of*Palaemon carinicauda* in the pond B during different periods

| 项目  Item | 7 月 19  日 | 7 月 31  日 | 8 月 13  日 | 8 月 30  日 | 9 月 13  日 | 9 月 27  日 | 10 月  13 日 | 10 月  29 日 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 雌雄比 | 2.20 | 1.33 | 0.96 | 0.76 | 0.54 | 0.45 | 0.42 | 0.49 |
| 成虾雌雄比 | 2.29 | 2.07 | 1.20 | 0.93 | 0.51 | 0.39 | 0.46 | 0.44 |
| 未成熟  虾雌雄比 | 1.00 | 1.07 | 0.89 | 0.98 | 1.00 | 1.11 | 0.95 | 1.14 |

# 3 讨论

## 3.1 体长与体重的关系

由图3-1可以看出，脊尾白虾体长与体重的关系基本符合*W*=*aL*b规律。体重与体长大约呈3次方关系，生长呈现等速生长。这与黄诚[47]认为水生动物体长与体重呈异速生长的观点不一致。从季节比较来看，秋季的*b*（*b*=2.98）值比春夏(*b*=3.12, *b*=3.26)两季的*b*值更接近等速*b*′=3，这表明脊尾白虾在秋季的等速生长性更强。这种在不同季节生长存在着差异的现象在其他虾中[48][49]中也存在。

## 3.2 肥满度的影响因素

李明云[23]研究认为脊尾白虾肥满度以体长5 cm为主要分界线，5 cm以上个体肥满度明显地高于5 cm以下个体。而本研究认为，脊尾白虾肥满度除与体长相关外，与所处季节也有很大关系。在春、夏两季中，随着体长的增长，脊尾白虾肥满度也在逐渐提高。而在秋季时，各个体长组肥满度相差不大。在春、夏和秋3个季节中，春季大部分体长组肥满度最高，夏季大部分体长组肥满度都要高于秋季的肥满度。

## 3.3 亲虾的Th长、繁殖规律及繁殖力

实验通过采集脊尾白虾7、8、9和10月池塘生长数据，得到walford线图，认为脊尾白虾*Lt*+1与*Lt*之间均存在极显著相关性。von Bertalanffy生长方程对池养脊尾白虾的生长进行拟合，得到脊尾白虾极限体长为73.92mm。利用Pauly经验公式计算所得的脊尾白虾极限月龄及渐进体长与池塘调查基本一致，但与李明云[23]的研究结果极限体长为

10.5 cm相比偏小。

根据池塘D两次抱卵高峰的时间间隔估计，日照池养脊尾白虾经过3个月的生长，大部分可达性成熟，参加繁殖。这与董存有关于珠江口脊尾白虾50～70 d即可成熟抱卵的报道有较大差距[[1]](#_bookmark4)。脊尾白虾性成熟个体最小体长为35.93 mm，体重为0.68 g；抱卵

的个体最小体长为36.35 mm，体重为0.73 g。整个调查期间，最后繁殖个体出现于9月底。最大抱卵个体体长为72.82 mm，体重为6.73g。这与浙江鄞州[23]的抱卵个体最小体长4.61 cm、最大体长9.0 cm有较大差异，与董存有珠江口地区报道的最小3.5 cm、最大5.6 cm也有较大差距[[1]](#_bookmark4)。据最后抱卵时间推测，当年7月份之前出生的G1代，在当年大部分可以性成熟参加繁殖，待来年春季再次繁殖，这与施永海等人的结论一致[[24](#_bookmark27)]；而脊尾白虾经过两次繁殖后，几乎全部死亡。

珠江口脊尾白虾的繁殖期从1月一直延续到12月，繁殖盛期为4~11月[[1]](#_bookmark4)；乐清湾水域脊尾白虾的产卵期始自早春2月, 4~6月为产卵盛期，10月下旬基本结束[26]；长江口

脊尾白虾生殖季节是从3月延续到9月[[25]](#_bookmark29)；而日照池养脊尾白虾的繁殖盛期，在春季为

4、5月份，夏秋季为7、8月份，繁殖期可延续到9月下旬。

根据采集到的样品，脊尾白虾抱卵量为237～2212粒，相对抱卵量为136.19～396.74粒/g体重。抱卵量（*Y*）与体重（*W*）之间呈直线相关，直线方程为*Y*=276.94*W*-18.192。李明云[23]对浙江鄞州池养脊尾白虾的报道结果是*Y*=516.025*W*+24.763，相对抱卵量为

310.53～767.93粒/g体重，平均512.7粒/g体重；施永海[[24]](#_bookmark27)报道的杭州湾北部沿岸水泥池养殖结果是*Y*=562. 78*W*-115. 53；卢敬让等[[25]](#_bookmark29)等报道的长江口脊尾白虾全年平均抱卵量为1 124粒/尾，抱卵量在440～6 000粒/尾之间。

生物个体的生长和繁殖不仅取决于其种的特性，而与其生活的环境有关。陈杰等[[50]]通过五个淡水湖秀丽白虾形态差异的比较，得出温度和底泥是导致秀丽白虾包括体长在内的形态变异的主要原因；陈国华等[[51]]把影响银鱼生长的外在因素主要归结于食物的保障程度；张永普等[[52]]等认为泥蚶之所以发生形态变异，是因为其对环境的长期适应，而水温和底质是发生形态变异的重要诱因。张跃环等[[53]]认为水温和底质是导致菲律宾蛤仔不同地理群体体重、壳长和壳厚等形态发生变异的主要因子。

日照与浙江鄞州和珠江口地区纬度差异大，气温差异明显。日照年平均气温12.7 ℃，

浙江鄞州年平均气温16.2℃，珠江口年平均气温22.5℃。根据已有的研究，温度是调控脊尾白虾生殖生理[[54]]和生长代谢[[55]]的重要因子。水产动物性腺发育成熟都需要达到其特定数值的有效积温。有效积温是高于物种性腺发育生物学零度的温度与时间的乘积。在所需营养条件保证的条件下，达到有效积温的时间决定了性成熟速度。珠江口地区温度较高，达到所需积温所需时间较短，所以珠江口脊尾白虾可以在较短时间内成熟[[1]](#_bookmark4)。一般认为，温度越高，个体性成熟越早，越容易产生性成熟的小型个体[[50]](#_bookmark80)。这也解释了珠江口地区抱卵脊尾白虾体型偏小的原因。日照与浙江鄞州地区脊尾白虾性成熟所需时间基本相同，而浙江鄞州地区温度略高于日照地区，导致摄食率增加，生长速度加快[[56]]，从而导致鄞州地区脊尾白虾抱卵个体体型较大，个体体长与其繁殖力显著相关[[57]]，所以浙江鄞州地区脊尾白虾绝对抱卵量较大；而在一定范围内，性腺成熟系数随着水温的上升而增大，水温的升高对卵巢的发育具有促进作用[[58]]，所以鄞州地区脊尾白虾相对抱卵量较大。

综上所述，本研究认为水温是导致不同地区脊尾白虾生长和繁殖差异的关键因子。

## 3.4 雌雄性比

从表3-2可以看出，在繁殖时期，雌虾明显多于雄虾，尤其是成熟群体，这与徐君义[26]对浙江乐清湾脊尾白虾研究的结果一致。

由于虾蟹类在进化上较为低级，遗传因素对性别决定的影响力要小于高等脊椎动物。所以外界环境也常对虾蟹类的性别发生作用，甚至导致性别的转换。按照遗传学的理论，如果环境是雌雄分化的限制因子，当环境变化时，则会导致相关的代谢过程发生变化，

从而改变功能基因的遗传表达。最终新的发育路线和秩序建立，从而使性别发生改变。许多环境因子均会影响虾蟹类的雌雄及其转换。据报道，雄性克氏原螯虾（*Procambarus*

*clarkii）*的倒刺在繁殖时出现，繁殖过后又退化[[59]]。杨丛海等[[60]]用高温处理中国对虾的受精卵，导致雌雄比例失常。季节因素同样影响雌雄比例。褐虾在寒冷季节雌性显著多于雄性（约3倍），夏季雌雄比例基本都占50%，秋季时雌性显著少于雄性[61](#_bookmark82)。鹰爪虾春季雌性多于雄性，秋季时发生反转。拟须虾(*Aristacomorpla*) 4～5月雌性多于雄性，8～

10月雄性所占比例更大[[61]]。

本研究在连续观察测量中，发现一些卵巢明显发育的雌性脊尾白虾也有雄性特征：第五对步足之间具有“雄性突起”。但是这种“雄性突起”相对一般雄虾来讲没有那么显著。据此推测脊尾白虾中也可能存在“性别转变”，雄虾在发育过程中由于某种原因导致其雄性生殖器官发育停止而雌性生殖发育开始。在虾蟹类已知的性别转变机制中，大都认为是由X器官、Y器官、大颚器和促雄性腺等内分泌腺来调节的。而目前的研究主要集中在这些内分泌器官的移植[[62]]、切除[[63]]引起性别转变及其分泌物功能和基因克隆等方面，至于外界环境因素或者其他因素如何影响这些内分泌器官以至于使虾蟹类发生性别转变，目前尚未见相关报道。在脊尾白虾当中，仅王春琳等[[64]]报道切除眼柄能促进脊尾白虾性腺成熟，其性别转变和性别调控机制均未曾报道。因此，脊尾白虾在繁殖季节雌雄比例升高现象是否是由于性转变导致仍需进一步证实。

## 3.5 亲虾的投放方式和投放时间

共设置了3种不同的亲虾投放方式：投放未抱卵虾、投放抱卵虾和未抱卵虾各50%、投放抱卵虾。从调查结果来看，3种不同的投放方式最显著的差异在于G2的存活率。

从图3-3的体重日增长率变化图可以看出，投放未抱卵虾的池塘未见G2的生长高峰。施永海等[[24]](#_bookmark27)根据体重日增长率将脊尾白虾划分为快速生长期、繁殖滞长期、稳定生长期和生长衰老期。脊尾白虾性成熟前存在某一体重日增长率的高峰期，而池塘A未见这一生长“高峰”，表明了G2代没有正常地生长发育，存活率较低。而在2012年12月1日采集到的样品中，池塘A G2代仅占10%，而另外池塘B和C中G2所占比例分别为48%和57%。由此可见，池塘养殖脊尾白虾，初春时应当投放抱卵脊尾白虾作为亲虾。

从2个不同投放时间的池塘来看，4月初投放亲虾的池塘G1由于生长期较长，在繁殖季节到来时，G1规格较大，性成熟群体所占比例较大，二者相差41.5%。所以从G1捕捞规格和G2群体的补充角度考虑，应选择4月初在日照放养脊尾白虾。脊尾白虾具有广温性，能耐受较低温度[[1]](#_bookmark4)，春季较早放养有利于充分利用养殖池塘，提高养殖效益。

### 第二节 脊尾白虾养殖池塘主要水质指标及浮游动物的监测

在池塘养殖中，水质因子如溶氧、水温、pH值、三氮和盐度等不仅直接影响虾类的生长与体内免疫因子活性[65][66][67][68]，而且病害的发生往往与养殖环境紧密相关[69]。池塘浮游动物是脊尾白虾幼体时主要的摄食天然饵料，同时在池塘生态系统中对于物质循环和能量流动都起着非常重要的作用[70]，影响着整个系统的生产性能。

本文通过对脊尾白虾养殖池塘主要水质指标和主要浮游动物种类及数量的监测，了解池塘主要水质指标的变化规律，浮游动物的季节性变化，为脊尾白虾池塘养殖的科学管理提供参考。

# 1 材料方法

## 1.1 调查对象

实验在日照开航水产有限公司生态养殖示范区脊尾白虾养殖池塘进行，池塘水深平均在1.80~2.0m左右。调查对象共计三个池塘，分别为放养未抱卵虾池塘、抱卵虾和未抱卵虾各50%池塘和全部为抱卵虾池塘，分别记为池塘A, B，C。

## 1.2 实验方法

2012年7月至10月基本每隔半个月调查一次。水温、溶氧、盐度和pH采用水质仪直接测量；氨氮采用纳氏试剂法进行测定，亚硝酸盐采用重氮偶合比色法进行测定，硝酸氮盐采用紫外分光光度法进行测定。

浮游动物采用专用浮游动物网进行采集，现场用甲醛固定，在显微镜下分类计数。

# 2 结果与分析

## 2.1 脊尾白虾养殖池塘常规水质指标

从溶氧曲线可以看出，三个池塘的DO随时间变化基本一致，都是由时间段2（7月上中旬）开始下降，在时间段2、3、4（7月、8月上中旬）经历一段低谷期，期间溶氧小于等于4mg/L，之后DO值开始攀升，趋于平稳，达到7~8mg/L。结合水温记录表可以看出，时间段2、3、4恰好是夏季温度最高的时期，水温达到30℃以上。后期溶氧

的升高亦可以解释后期硝酸盐含量的升高。

从PH表中可以看出，夏秋两季三个池塘水中pH波动范围在7.3~8.49，后期pH偏低，不利于脊尾白虾的生长。前期pH较高是因为浮游植物的光合作用消耗大量CO2，使得水体酸碱缓冲系统发生移动致使水体pH偏高。可以看出，随着养殖时间的推移，

pH是呈下降的趋势，可能是由于积累于池底的残饵和大量悬浮有机物在微生物作用下分解产生的有机酸所致。

从盐度表中可以看出，除6月28日所测盐度高于30之外，其他时间盐度波动范围为23~26之间，适宜脊尾白虾的生长。



10

8

含量(mg/l)

cnntent

6

4

2

0

7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-

13

A B C

10-

29



日期/(month-day) Date

图3-9 池塘溶氧变化曲线

Fig. 3-9 The changes of DO level in the water of pond

表3-3 脊尾白虾养殖池塘水温记录表

Table.3-3 Water temperature

| 日期/池塘  Date/Pond | 6.28  28Th, June | 7.19  19Th, July | 7.31  31Th, July | 8.13  13Th, August | 8.30  30Th, August | 9.13  13Th, September | 9.27  27Th, September | 10.13  13Th, October |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | 24.6 | 29.21 | 31.22 | 29.83 | 27.4 | 24.33 | 22.81 | 17.95 |
| B | 24.8 | 29.47 | 31.23 | 30 | 27.44 | 24.3 | 22.73 | 17.9 |
| C | 24.66 | 29.63 | 31.08 | 29.8 | 27.44 | 24.27 | 22.69 | 17.87 |

表3-4 脊尾白虾养殖池塘PH记录表

Table.3-4 pH of water

| 日期/池塘  Date/Pond | 6.28  28Th, June | 7.19  19Th, July | 7.31  31Th, July | 8.13  13Th, August | 8.30  30Th, August | 9.13  13Th, September | 9.27  27Th, September | 10.13  13Th, October |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | 8.47 | 8.28 | 8.14 | 8.03 | 7.46 | 7.59 | 7.88 | 7.68 |
| B | 8.49 | 8.48 | 8.6 | 8.4 | 7.41 | 7.55 | 7.54 | 7.45 |
| C | 8.46 | 8.09 | 8.24 | 8.09 | 7.42 | 7.54 | 7.59 | 7.3 |

表3-5 脊尾白虾养殖池塘盐度记录表

Table.3-5 Salt of water

| 日期/池塘  Date/Pond | 6.28  28Th, June | 7.19  19Th, July | 7.31  31Th, July | 8.13  13Th, August | 8.30  30Th, August | 9.13  13Th, September | 9.27  27Th, September | 10.13  13Th, October |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A | 31.25 | 22.3 | 24.58 | 24.27 | 24.24 | 24.32 | 23.68 | 25.68 |
| B | 31.81 | 26.39 | 23.02 | 22.77 | 23.58 | 23.94 | 23.65 | 25.51 |
| C | 32.07 | 24.63 | 23.45 | 23.18 | 23.54 | 23.68 | 23.25 | 25.16 |

## 2.2 脊尾白虾养殖池塘中水中三氮的存在特征及其变化规律

三个养殖池塘不同时期水中三氮的含量变化如图所示。



0.2000

0.1500

含量(mg/l)

cnntent

0.1000

0.0500

0.0000



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-

13

A B C

10-

29



日期/(month-day) Date

图3-10 三个池塘不同时期水中亚硝酸氮含量变化曲线

Fig. 3-10 The changes of nitite-N level in the water of pond

1.4000

1.2000

含量(mg/l)

cnntent

1.0000

0.8000

0.6000

0.4000

0.2000

0.0000



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-

13



B

C

A

10-

29

日期/(month-day) Date

图3-11 三个池塘不同时期水中氨氮含量变化曲线

Fig. 3-11 The changes of ammonia-N level in the water of pond

7.0000

6.0000

含量(mg/l)

cnntent

5.0000

4.0000

3.0000

2.0000

1.0000

0.0000



7-19 7-31 8-12 8-30 9-13 9-27 10-

13

A B C

10-

29



日期/(month-day) Date

图3-12 三个池塘不同时期水中硝酸氮含量变化曲线

Fig. 3-12 The changes of nitrate-N level in the water of pond

从亚硝酸氮的曲线可以看出，三个池塘的曲线呈现典型的“ft峰”状，两头低，中间高且升降表现出极大的一致性，峰值均出现在时间段4（8月上中旬），A、B和C峰值分别达到0.1741mg/L、0.1191mg/L、0.1395mg/L。最低值出现在时间段8（10月上中旬）。A、B、C的平均值分别为0.0646mg/L、0.0514mg/L、0.0434mg/L。

氨氮曲线没有明显的规律可言，三个池塘的曲线都呈现无规律的波动。A、B、C三个池塘的最大值分别为0.9831mg/L、0.9806mg/L、1.2287mg/L，分别出现在时间段6（9月上中旬）、5（8月底）、6（9月上中旬）。分季节来看，A池塘夏、秋两季的平均值分别为0.5211mg/L、0.7189mg/L；B池塘夏、秋两季的平均值分别为0.3773mg/L、0.7623mg/L；C池塘夏、秋两季的平均值分别为0.6094mg/L、0.7940mg/L。经t检验可知，除A池塘夏秋两季数据差异不显著之外，B、C均存在极显著差异。A、B、C夏秋两季的平均值分别为0.62mg/L、0.5698mg/L、0.8171mg/L，经t检验可知，A与C、B与C之间存在极显著性差异，而A与B之间不存在显著性差异。

硝酸氮的曲线，三个池塘表现出良好的一致性，即都是从1个较低水平，在时间段

4（8月上中旬）数值陡然上升，在时间段5（8月底）达到高水平，随后曲线趋于平缓。硝酸氮数值的迅速上升，可能是由于养殖的后期，残余饵料等有机物积累过多，后期换水频率过低，秋季温度降低，溶解氧升高等原因导致硝化作用增强。

## 2.3 水体浮游动物组成及密度变化规律

三个池塘浮游动物密度随时间变化情况如图所示。

桡足类 等足类 六肢幼虫 多毛幼虫

500



450

400

350

密度（个/L）

Density

300

250

200

150

100

50

0



6.1 6.28 7.12 7.27 8.8 8.24 9.11 9.23 10.9 11.1

日期/(month-day) Date

图3-13 池塘A浮游动物密度变化图

Fig. 3-13 The changes of zooplankton level in the pond A



桡足类 等足类 六肢幼虫 多毛幼虫

1400

1200

1000

密度（个/L）

Density

800

600

400

200

0

6.1 6.28 7.12 7.27 8.8 8.24 9.11 9.23 10.9 11.1

日期/(month-day) Date

图3-14 池塘B浮游动物密度变化图

Fig. 3-14 The changes of zooplankton level in the pond B



桡足类 等足类 六肢幼虫 多毛幼虫

2500

2000

1500

密度（个/L）

Density

1000

500

0

6.1 6.28 7.12 7.27 8.8 8.24 9.11 9.23 10.9 11.1

日期/(month-day) Date

图3-15 池塘C浮游动物密度变化图

Fig. 3-15 The changes of zooplankton level in the pond C

从中可以看出，3个养殖池塘水体浮游动物主要组成为桡足类、等足类、六肢幼虫、多毛类。三个池塘浮游动物密度的变化趋势基本一致，即都是先下降，后上升。6月份密度较大，7、8、9月份逐渐下降，10、11月份密度又逐渐上升。浮游动物密度较低的

时期，恰巧是脊尾白虾的繁殖高峰期，可能是脊尾白虾幼体摄食浮游动物的缘故。三个池塘密度最大值分别出现在11月1日、6月28日、6月28日，其密度分别为1056个/L、

3315个/L、3908个/L。三个池塘6月份至11月份的密度平均值分别为386、545、805。经t检验可知，B与C浮游动物密度存在显著差异，其余池塘之间不存在显著差异。分池塘来看，从6月至11月，A池塘中桡足类、等足类、六肢幼虫、多毛类所占比例分别为41.16%、28.25%、26.26%、4.33%；B中桡足类、等足类、六肢幼虫、多毛类所占比例分别为40.51%、21.21%、34.27%、4.02%；C中桡足类、等足类、六肢幼虫、多毛类所占比例分别为42.03%、13.75%、35.30%、8.92%。

从时间上来看，6月1日三个池塘的优势种群分别为桡足类、多毛类、多毛类；6月28日三个池塘的优势种群分别为六肢幼虫、六肢幼虫、桡足类；7月12日优势种群分别为桡足类、六肢幼虫、六肢幼虫；7月27日优势种群分别为六肢幼虫、六肢幼虫、桡足类；8月8日三个池塘优势种群都为桡足类；8月24日优势种群分别为六肢幼虫、桡足类、等足类；9月11日三个池塘优势种群都是六肢幼虫；9月23日三个池塘优势种群都为六肢幼虫；10月9日优势种群分别为桡足类、六肢幼虫、六肢幼虫；11月1日三个池塘优势种群都为桡足类。

# 第四章 [pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响](http://www.baidu.com/link?url=4KBFqqTejkV4_3P2rTGJZjzn3mPM4BLSD-cgvMiCCTre1Hrvb20LfFTAsui-6_u0)

脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*)又名白虾、小白虾和迎春虾等，隶属于长臂虾属

（Palaemon），白虾亚属(Palaemon)，系热温带海水底栖虾类，以黄渤海产量最高。近年来，东方对虾、车虾等传统虾类养殖过程中病害时有发生，海水养殖向低盐度区域的发展，脊尾白虾的养殖产量迅速增加。我国有3067万hm2盐碱水域[[71]]，盐碱水土资源的开发利用具有重要的意义。但因其碳酸盐碱度和pH值较高，水中电解离子失衡，化学成分杂乱等因素，除少数水域进行了淡水鱼类养殖外，大多数水域仍然无法利用[[72]]。而脊尾白虾环境适应性广，对碱度和高pH等逆性条件具有较强适应性，因此开展脊尾白虾盐碱水域养殖，不仅可以创造额外经济价值，提高海水养殖产量，并且对脊尾白虾的扩大养殖具有重要意义。

pH是养殖水环境重要的水质指标，也是脊尾白虾开展盐碱水域养殖的重要限制因子。据报道环境胁迫因子与机体对应的生理变化，可能是介于氧化还原过程相联系的

[[73][74][75]]. 胁迫干扰了机体的正常代谢活动，活性氧自由基数量激增而进一步使组织器

官受到损伤。因此可用生物体抗氧化酶活系统评估pH对生物体的胁迫效应。

本文通过测定脊尾白虾半致死pH值，分析pH胁迫对脊尾白虾体内T-AOC、抗超氧阴离子、CAT活力的影响，从而初步了解脊尾白虾对pH胁迫的适应能力，探讨脊尾白虾对pH胁迫的反应机制，为脊尾白虾开展盐碱水域养殖提供相关的理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

所用脊尾白虾来自日照开航水产有限公司的养殖池塘，生物学体长5.0±0.4cm，体重2.1±0.3g。实验开始前暂养一周，24h小时充气，投喂配合饲料。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 半致死pH值的测定

在预实验的基础上，设置pH梯度为4、4.3、4.6、4.9、5.2、5、5、6、7、8、9、9.3、

9.6、9.9、10.2、10.5、10.8、11.1。每个pH梯度设置3个重复，每个重复10尾虾。采用1mol/L的HCL、NaHCO3、Na2CO3、NaOH溶液调整水体pH，实验中每隔6h调整一次pH，保持24h pH变化小于0.1.

### 1.2.2 pH胁迫对抗氧化酶活力的影响

共设置3个pH梯度，分别为6.5（低pH胁迫组）、8（对照组）、9.5（高pH胁迫组）。每组设4个平行，每个平行30只虾。采用1mol/L的HCL、NaOH溶液调整水体pH，实验中每隔6h调整一次pH，保持24h pH变化小于0.1。

在pH突变后每隔0、3、6、12、24、48、72、96h进行取样，每次取8尾虾。整个实验期间不换水。

用1 mL的一次性注射器吸取0.5mL预冷（4℃）的抗凝剂，从脊尾白虾心脏和腹部第二游泳足基部抽取0.5ml血淋巴，离心(4℃, 800g, 15min)，取上清置–80℃冰箱保存；肝胰腺、鳃和肌肉，按质量体积比1: 10加入匀浆介质。冷冻匀浆完成后，3000r/min下冷冻离心10 min取上清液，于–80℃保存备用。

T-AOC、抗超氧阴离子能力、CAT活性均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定

## 1.3 数据分析

使用SPSS 11.5和Excel软件进行数据处理、方差分析( ANOVA)和均值多重比较分析法( LSD法) 。

# 2 结果与分析

## 2.1 各时间段半致死pH值的测定

在各pH值下，24h、48h、72h、96h的死亡率统计如表4-1。

从结果可以看出，在24h内，pH=4.9～pH=10.2的范围内，脊尾白虾在实验条件下未出现死亡；在pH=4和pH=11条件下脊尾白虾全部死亡，其余pH值下脊尾白虾死亡均不超过半数。在48h内，在pH=4.9～9.9范围内，脊尾白虾未出现死亡；pH=4～pH=4.6、

pH=10.8～11.1范围内脊尾白虾超过半数出现死亡。在72h之内，pH=5.2～9.9的范围内，脊尾白虾未出现死亡；pH=4～4.6、10.5～11.1的范围内脊尾白虾大部分死亡。96h之内，在pH=5.5～pH=9.9 的范围内，脊尾白虾在实验条件下未出现死亡；pH=4～pH=4.6、

pH=10.5～pH=11.1范围内，脊尾白虾几乎全部死亡。可以看出，随着胁迫时间的延长，脊尾白虾的累积死亡率增加。

表4-1 各pH值下脊尾白虾的死亡率

Table.4-1 The death rates exposed to pH stress

|  | 24h | 48h | 72h | 96h |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| pH | 平均死亡率  Average mortality | 平均死亡率  Average mortality | 平均死亡率  Average mortality | 平均死亡率  Average mortality |
| 4 | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 4.3 | 43.3% | 100% | 100% | 100% |
| 4.6 | 10.0% | 60.0% | 86.7% | 100% |
| 4.9 | 0% | 0% | 3.3% | 26.7% |
| 5.2 | 0% | 0% | 0% | 3.3% |
| 5.5 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 6 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 7 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 8 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9.3 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9.6 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9.9 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 10.2 | 0% | 3.3% | 23.3 | 36.7 |
| 10.5 | 20.0% | 43.3% | 73.3% | 93.3% |
| 10.8 | 40.0% | 100% | 100% | 100% |
| 11.1 | 100% | 100% | 100% | 100% |

通过算术比例法[[76]]计算脊尾白虾24h、48h、72h、96h的LpH50（半致死pH值），结果如表3-2所示。

如果将96hLpH0作为安全范围[[77]]，则脊尾白虾pH安全范围为5.24~10.01。

表4-2 脊尾白虾酸碱性条件下半致死值

Table.4-2 The median lethal pH

| 时间/半致死值  Time/LpH50 | 酸性半致死值  LpH50 in the acid range | 碱性半致死值  LpH50 in the alkaline zone |
| --- | --- | --- |
| 24h LpH50 | 4.25 | 10.87 |
| 48h LpH50 | 4.64 | 10.55 |
| 72h LpH50 | 4.71 | 10.38 |
| 96h LpH50 | 4.78 | 10.29 |

## 2.2 pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响

### 2.2.1 pH胁迫对脊尾白虾总抗氧化力的影响

pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

0.6



鳃总抗氧化活力(单位

/mgprot)

gill T-AOC activity

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0

0 3 6 12 24 48 72 96



\*

\*

\* \* \* \*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

时间/h

2.5

2

肝总抗氧化活力（单位

/mgprot） hepatopancreas T-AOC activity

1.5

1

0.5

0



\*

\* \*

\* \* \*

\*

\* \* \*

\*

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

0.6



肌肉总抗氧化活力（单位

/mgprot） muscle T-AOC activity

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

0.7

0.6



\* \*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\* \* \* \* \* \*

血淋巴总抗氧化活力（单位

/ml） hemolymph T-AOC activity

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0



\*

\*

\*

\*

\* \*

\*

\* \*

\*

\*

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

图4-1 脊尾白虾不同组织总抗氧化能力(T-AOC)随pH胁迫时间的变化情况

Fig. 4-1 The changes of total antioxidation activity

注：\*表示与对照组差异显著(*p*<0.05)

pH胁迫之前，脊尾白虾各组织总抗氧化活力最高的是肝胰腺，其次是鳃和血淋巴，最低的是肌肉。pH胁迫之后，鳃中总抗氧化力随着胁迫时间的延长，呈现稳步上升的趋势，除48h胁迫组T-AOC水平相对于对照组出现了短暂时间的下降，12h、24h、72h、

96h胁迫组T-AOC水平均显著高于对照组；胁迫组肝胰腺中总抗氧化力整体呈现先上升后下降的趋势，胁迫后12h、24h胁迫组总抗氧化水平明显高于对照组，48h之后胁迫组T-AOC水平基本与对照组持平；肌肉中胁迫组总抗氧化力于6h明显高于对照组，48h之后又明显低于对照组；胁迫后血淋巴中T-AOC水平在6～24h之间明显高于对照组，随后总抗氧化水平恢复到对照组水平。

### 2.2.2 pH胁迫对脊尾白虾CAT活力的影响

正常情况下，脊尾白虾各组织CAT活力最高的是肝胰腺，其次是鳃和血淋巴，最低

的是肌肉。胁迫过程中，CAT平均水平由高到低依次为肝胰腺、是血淋巴、鳃、肌肉，除鳃和肌肉在6h时CAT水平出现短暂的下降外，各组织CAT水平整体均呈现“先升高后降低”的趋势，96h后基本恢复到对照组水平。



pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

4

鳃CAT 活性(U/mgprot)

gill CAT activity

3.5

3

2.5

2

1.5

1

0.5

0

0 3 6 12 24 48 72 96



\* \*

\*

\*

\*

\* \*

时间/h

12

10



\* \* \*

\* \*

\*

\*

\*

\*

\* \*

肝胰腺CAT 活性

（U/mgprot）

hepatopancreas CAT activity

8

6

4

2

0

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

3



肌肉CAT 活性（U/mgprot）

muscle CAT activity

2.5

2

1.5

1

0.5

0

0 3 6 12 24 48 72 96



\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

时间/h

10

8



\*

\*

\*

\*

\*

\* \*

\* \*

\* \*

\*

\*

血淋巴CAT 活性（U/ml）

hemolymph CAT activity

6

4

2

0

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

图4-2 脊尾白虾不同组织CAT活力随pH胁迫时间的变化情况

Fig. 4-2 The changes of catalase activity

注：\*表示与对照组差异显著(*p*<0.05)

### 2.2.3 pH胁迫对脊尾白虾抗超氧阴离子活力的影响

随着胁迫时间的延长，除肝在96h之内呈现一直上升的趋势外，其余各组织基本都呈现先上升后下降的趋势，最后抗超氧阴离子活力水平基本与对照组持平。在胁迫过程中，各组织中肝的抗超氧阴离子活力水平最高，低胁迫处理组最高活力57.91U/gprot，高胁迫处理组最高值接近46.57U/gprot。鳃和肌肉都于胁迫6~12h之后活力达到最大值；血淋巴中于24h之后达到最大值。

pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

60 70



\*

\*

\*

\* \*

\*

\*

\*

\*

\* \*



鳃抗超氧阴离子活力

（U/gprot）

gill anti-superoxide anino activity

肝胰腺抗超氧阴离子活力

（U/gprot） hepatopancreas anti- superoxide anion activity

50 60

\*

\* \* \*



40 50

40

30

30

20 20

10 10

0 0

\* \* \*

\* \*

\* \* \*

\* \*

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h



pH=6 pH=7.5 pH=9

pH=6 pH=7.5 pH=9

40



\*

\*

\*

\* \*

\* \* \* \* \* \*

\* \*

\* \*

A



肌肉抗超氧阴离子活力

（U/gprot）

muscle anti-superoxide anion activity

35

30

25

20

15

10

5

0

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

500

400

血淋巴抗超氧阴离子活力

（U/L）

hemolymph anti-superoxide anion activity

300

200

100

0



\*

\*

\* \*

\*

\*

\* \*

\* \*

0 3 6 12 24 48 72 96

时间/h

图4-3 脊尾白虾不同组织抗超氧阴离子活力随pH胁迫时间的变化情况

Fig. 4-3 The changes of anti-superoxide anion activity

# 3 讨论

## 3.1 水体pH对脊尾白虾的毒性效应及机理

pH对养殖水生生物有重要的影响。pH的改变，会改变水体胶体物质的电荷性质，从而改变胶体的吸附能力，使水中相关成分发生变化。如水体中最重要的物质基础磷酸盐和无机化合物[[78]]。pH与水中NH3和NH4+的转化相关，因此可能对机体造成毒性伤害。当水体中pH剧烈变化从而对水生生物造成环境胁迫时，会影响到虾类的生长[[79]]、存活[80][81][82][83]、物质代谢、耗氧率[84][85][86]、免疫相关因子（包括抗氧化酶及其他相关非特异性免疫因子等）表达量[87][88][89]、离子转运酶及消化酶活力[90]等。在本试验中，随着水体pH偏离其正常生活水体pH值时，脊尾白虾死亡率逐渐增加；随着胁迫时间的延长，脊尾白虾的累积死亡率也显著增加。这与在其他虾类中的研究结果相一致。pH过高或过低时，首先破坏了依赖于离子转运酶的渗透调节系统，从而影响到甲壳类血液的酸碱平衡，进而影响到呼吸代谢、能量代谢、氨氮排泄率[91][92][93]，使鳃和肝受到损伤[94]，最后引起虾类的死亡。

活性氧（氧自由基）主要包括超氧阴离子(O2)、羟自由基和H2O2，适量的活性氧对机体具有一定的保护作用，能够抵御外来病原体并参与信号传导。但过量的活性氧则会导致氧化胁迫[95]，造成机体生物膜膜脂过氧化、碱基突变、DNA链的断裂和蛋白质的损伤。在正常的生理状态下，抗氧化系统能够及时清除机体代谢产生的活性氧。当活性氧大量产生并超出抗氧化系统清除能力所及时，二者之间平衡关系被打破，抗氧化系统发生紊乱。

本实验中，pH胁迫之后肝、鳃、肌肉、血液中抗氧化酶（T-AOC、CAT、抗超氧阴离子）活力都在3~6h内升高，这是由于pH的突然变化导致脊尾白虾体内活性氧增加，机体进行反馈性调节，酶活力升高以消灭机体过多的活性氧。而后24~48h抗氧化酶活力开始回落，到96h之前各组织中抗氧化酶水平基本恢复到对照组水平，这表明脊尾白虾体内活性氧水平已经在抗氧化系统调节下降低到胁迫前水平，抗氧化系统与体内活性氧二者之间重新回到平衡状态。这与中国对虾抗氧化酶水平胁迫后急剧上升而后受到抑制有较大差别[[87]](#_bookmark102)。

当处于环境胁迫之下，水生甲壳动物会通过神经系统调节渗透器官（主要是鳃），改变其组织结构、血淋巴渗透压和离子转运等生理过程。消除胁迫对机体带来的不利，保证正常的新陈代谢[96]。鳃中与渗透调节功能有关的主要结构为角质层和离子转运型上皮，二者上有大量与离子运输有关的结构如离子通道和离子转运酶等，其中与酸碱平衡相关的主要为V-ATPase、HCO3-ATPase和碳酸酐酶。它们的主要功能是分解ATP产生能量将H+质子泵出细胞外或泵入细胞管泡腔内、在血液及其他组织中维持酸碱平衡和帮助体内组织排除二氧化碳（参与呼吸作用）。有学者认为，甲壳动物的离子转运酶在神经系统调节下一般经过短、长期两个阶段。短期调节是诱导激活已有的离子转运酶进行渗透调节[97]。长期调节一方面使离子转运型鳃上皮细胞膜增加关键的褶皱皮层，从而使质膜上Na+-K+-ATPase位点和离子通道的数量得到提高。另一方面神经内分泌因子cAMP等使靶酶完成蛋白磷酸化，并产生新酶[98]。

本文中脊尾白虾有较强的pH适应性及pH胁迫下抗氧化酶系统的稳定性可能与脊尾白虾的神经内分泌系统对离子转运酶的短期及长期调节相关。

## 3.2 脊尾白虾对pH值的适应性及与其他虾类的比较

从实验结果可以看出，在实验时间96h之内，pH=5.2~pH=9.9的范围内，脊尾白虾几乎没有死亡，超出此范围之外脊尾白虾存活率出现显著变化。表4-3、4-4列出了本文得出的脊尾白虾pH耐受力数据及其他虾类报道的的相关pH耐受力数据。

通过比较可以看出，脊尾白虾对pH有很强的适应性，其适应性超过日本沼虾、中国对虾、日本囊对虾、凡纳滨对虾。如果将96hLpH0作为安全范围，则脊尾白虾pH安全范围为5.24~10.01。

## 3.3 脊尾白虾在盐碱水域养殖的可行性

实验结果显示，在实验时间96h之内，pH=5.2~pH=9.9的范围内，脊尾白虾几乎没有死亡，而我国相当部分盐碱水域pH在9左右，所以脊尾白虾移入盐碱水域养殖基本不存在pH上的障碍。但是盐碱水域还具有碱度较高的特点，过高的碱度对水体高pH有着维持作用，此外还会降低水体Ca2+的浓度影响蜕皮及其他正常生理活动。另外不同的盐碱水域往往还具有其他复杂多变的水化学组成，因此开展脊尾白虾盐碱水域养殖仍需因地制宜开展进一步研究。

表4-3 不同虾类不同pH下存活率比较

Table 4-3 The survival rates of different shrimps exposed to pH stress

| 种类  Species |  | 不同 pH 下存活率  The survival rates of different shrimps exposed to pH stress | | | | | | | | 备注  Remarks |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中国对虾 |  |  | 9.0 |  |  | 9.2 |  | 9.4 | | 淡化幼虾，体  长 2.4cm，温度 19-21℃ |
| 24h | 略大于 90% | |  |  | 80% |  | 0% | |
|  |  | 7.1 |  | 7.6 |  | 8.1 | 8.6 |  | 9.1 | 仔虾，体长0.7-0.9cm，盐度 31，温度  20±0.5℃ |
| 日本囊对虾 | 96h | 72.33  ± 4.43 | 85.67±5.7 | |  | 90±  3.37 | 83.33±  2.8 | | 80±  6.67 |
|  | 24h | 5.5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 9.3 | 9.6 | 9.9 | 体长 3.75±  0.52cm，温度  27℃ |
| 脊尾白  虾 | 48h | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 72h | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
|  | 96h | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

表4-4 不同虾类LpH50比较

Table 4-4 The median lethal pH of different shrimps

| 种类  Species |  |  | 24hLpH50 | 48hLpH50 | 72hLpH50 | 96hLpH50 | 备注  Remarks |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 日本沼虾 |  |  | 10.13 | 9.72 | 9.67 | 9.51 | 体长 2.92±  0.74cm，温度 21.4  ±1.6℃ |
| 凡纳滨对虾 | 碱度 | 2mmol/L | 9.42 | 9.30 | 9.15 | 9.00 | 淡化幼虾，体长4.32±1.42cm，温度 24.2±1.4℃, |
| 4mmol/L | 9.16 | 8.90 | 8.82 | 8.80 |
| 8mmol/L | 8.80 | 8.60 | 8.42 | 8.25 |
| 脊尾白  虾 |  | 酸性 | 4.25 | 4.64 | 4.71 | 4.78 | 体长 3.75±  0.52cm，温度 27℃ |
|  | 碱性 | 10.87 | 10.55 | 10.38 | 10.29 |

结 论

1研究了牡蛎、鱿鱼、沙蚕对脊尾白虾性腺发育期组织器官生化组分的影响。结果表明，投喂牡蛎组肝胰腺、卵巢、血淋巴三种组织的甘油三酯含量水平都相对较高。投喂鱿鱼组中各组织胆固醇含量最高。喂沙蚕组卵巢与肝胰腺当中Vc含量水平均高于其他饵料组。

2通过设置不同的卤虫密度，研究了对幼体发育的影响；以卤虫为饵料投喂各期幼体，培育24 h后测定消化酶活力。建议使用卤虫无节幼体培育幼体时，在Z3之前卤虫密度可以保持在1个/ml~2个/ml之间；在Z3~Z5期间，卤虫密度可以保持在2个/ml；而

Z5期及之后，卤虫密度应保持在3～5个/ml之间。淀粉酶活力在Z1、Z2时期活力较高，而到Z3急剧下降；胃蛋白酶随着幼体的变态发育，活力呈上升趋势；脂肪酶活力相对较弱，其活力大约只有蛋白酶活力的几十分之一。

3研究了不同蛋白水平（31%、35%、39%、43%、47%、51%）饲料对脊尾白虾生长性能的影响。实验周期为30d。结果表明，在蛋白水平为38.96时特定生长率和增重率都达到最大值，饲料系数在蛋白水平为35.10时达到最低值。

4研究了池养脊尾白虾的生长与繁殖特性。结果表明，脊尾白虾生长呈等速生长，体重日增长率夏季最高。脊尾白虾肥满度与体长和季节相关。利用von Bertalanffy方程拟合池养脊尾白虾生长模型，计算得出极限体长、拐点月龄和极限月龄。观察到脊尾白虾性成熟个体最小体长为35.93 mm，体重为0.68 g；抱卵个体最小体长为36.35 mm，体

重为0.73 g；最大抱卵个体体长为72.82 mm，体重为6.73 g。繁殖高峰均出现在4-8月，

整个养殖期间最后繁殖个体出于9月底。脊尾白虾抱卵量（*Y*）与体重（*W*）之间呈直线相关，直线方程为：*Y* =261.48*W*-0.561 8。在水温为17～25℃和盐度为28～31的条件下，池养脊尾白虾的孵化幼体数量（*X*）与其体重（*W*）之间呈直线相关，其直线方程为：*X*=179.87*W*-244.25，估算出脊尾白虾卵子孵化率为46.00%。建议在日照地区于4月初放养抱卵脊尾白虾亲虾进行养殖。

5采用静水毒性的实验方法确定了脊尾白虾的半致死pH值，分析了pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响。结果显示，脊尾白虾24、48、72和96h酸性半致死pH值分别为4.25、4.64、4.71和4.78，碱性半致死pH值分别为10.87、10.55、10.38和10.29。

pH胁迫后，在3~6h之内各组织中抗氧化酶活力均开始显著上升；24h~48h各组织中抗氧化酶活力开始回落，胁迫时间达到96h之前，各组织中抗氧化酶水平基本恢复到对照组水平。整个实验过程中肝胰腺中抗氧化酶活力水平明显高于其他组织。实验结果表明，脊尾白虾对pH有很强的适应性，pH胁迫3~24h之内抗氧化酶活力反馈性升高清除体内多余的活性氧。

参考文献

[1] 董存有. 珠江口脊尾白虾的一些生物学观察[J]. 四川动物, 1989, 8(4): 36-38.

[2] 李国峰, 张振华, 严玉洲. 脊尾白虾在低盐度水体中的人工繁育试验[J]. 水产养殖, 2000 (1): 6-7.

[3] 顾军, 李国峰, 张振华, 等. 脊尾白虾对水体盐度的适应性试验[J]. 水产养殖, 2004, 25(2): 39-40.

[4] 李明德. 天津脊尾白*Palaemon(Palaemon) carincauda Holthuis*个体生态[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(10): 10-13.

[5] 梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 氨氮对脊尾白虾幼虾和成虾的毒性试验[J]. 水产科学, 2012, 31(9): 526-529.

[6] 王兴强, 阎斌伦, 马甡, 等. 脊尾白虾生物学及养殖生态学研究进展[J]. 齐鲁渔业, 2005, 32(8): 21-23.

[7] 梅肖乐, 倪金俤, 陈焕根, 等. 梭鱼、缢蛏、脊尾白虾无公害综合养殖技术[J]. 水产养殖, 2005, 26(6): 24-25.

[8] 黄则平, 张沛花. 三疣梭子蟹与脊尾白虾池塘混养技术[J]. 水产养殖, 2004, 25(5): 8-9.

[9] 丁理法, 陈飞, 李永富, 等. 锯缘青蟹与脊尾白虾生态养殖技术研究[J]. 中国水产, 2009, (9): 42-44.

[10] 唐兴本. 中国对虾、脊尾白虾、毛蚶的三季轮养技术[J]. 中国水产, 2004, (10): 62-63.

[11] 施敏健, 卞佩佩, 于正洲. 微孔增氧设施在三疣梭子蟹与脊尾白虾混养中的应用[J]. 水产养殖, 2010, (3): 5-7.

[12] 王春琳, 张芬来, 宋利平, 等. 脊尾白虾*Palaemon carincauda*淡水驯化的研究[J]. 浙江水产学院学报, 1995, 14(2): 105-110.

[13] 王兴强, 曹梅. 低盐和低温对脊尾白虾生长和能量收支的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 66-71.

[14] 李明云, 包坚敏. 脊尾白虾窒息点与耗氧率的试验观察[J]. 海洋渔业, 1992, (6): 251-253.

[15] 王琦, 李健, 李吉涛, 等. 干露胁迫对脊尾白虾(*Palaemon carinicauda*) HSP70和ferritin基因表达的影响[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 409-414

[16] 梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 氨氮对脊尾白虾幼虾和成虾的毒性试验[J]. 水产科学, 2012, 31(9): 526-529.

[17] 陆开宏, 华建权, 陈贤龙. 人工培育脊尾白虾溞状幼体的饵料基础研究[J]. 黄渤海海洋, 2001, 19(4): 63-70.

[18] 罗会明, 黄厚哲. 脊尾白虾幼体对饵料的摄食与吸收[J]. 厦门大学学报, 1980, 19(4): 100-107.

[19] 曹梅, 王兴强, 阎斌伦, 等. 脊尾白虾对蛋白质和脂肪需求量研究[J]. 淮海工学院学报, 2009, 18(1): 87-89.

[20] 王兴强, 曹梅, 阎斌伦. 盐生杜氏藻粉对脊尾白虾存活和生长的影响[J]. 水产养殖, 2006, 27(3): 17-19.

[21] 曹梅, 王兴强, 阎斌伦, 等. 盐度波动和中草药制剂对脊尾白虾存活·生长和免疫的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(7): 3512-3515.

[22] 阎斌伦, 王兴强, 何执中, 等. 中草药对脊尾白虾存活和生长的影响[J]. 淮海工学院学报, 2007, 16 ( 3 ): 62- 65.

[23] 李明云. 池养脊尾白虾的繁殖、生长及其最大持续轮捕量的初步探讨[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 85-92.

[24] 施永海, 张根玉, 刘建忠, 等. 不同月份出生的脊尾白虾之生长及生殖特性[J]. 水产科技情报, 2009, 36(3): 131-136.

[25] 卢敬让, 戴玉蓉, 李辉权. 长江口脊尾白虾渔业资源特征和生殖习性[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(4): 1-27.

[26] 徐君义. 浙江乐清湾脊尾白虾脊尾白虾的繁殖和世代的初步研究[J]. 动物学杂志, 1990, 25(6): 3-7.

[27] 王绪峨. 脊尾白虾繁殖生物学的初步观察[J]. 动物学杂志, 1987, 22(1): 7-10.

[28] 王绪峨. 脊尾白虾早期胚胎发育以及温、盐度与其孵化的关系[J]. 水产学报, 1989, 13(1): 59-64.

[29] 梁象秋, 李亚娟, 周昭曼. 脊尾白虾的幼体发育[J]. 水产学报, 1988, 12(2): 157-168.

[30] Mourente G, Rodriguez A. Variation in the lipid content of wild-caught females of the marine shrimp*Penaeus kerathrrus* during sexual maturation [J]. Mar. Biol., 1991, 110: 21-28.

[31] Palacios E, Ibarra A M, Racotta I S. Tissue biochemical composition inrelation to multiple spawning in wild and pond- reared Penaeus vannamei brookstock[J]. Aquacult., 2000, 185: 353-371.

[32] 杜少波, 胡超群, 沈琪. 亲虾营养研究进展[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(4): 80-91.

[33] Harrison K E. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of decapod crustaceans: a review[J]. J Shellfish Res, 1990(9): 1-128.

[34] Cahu C L, Cuzon G, Quazuguel P. Effect of highly unsaturated fatty acids, α-tocopherol and ascorbicacid in brood stock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus*[J]. Comp. Biochem. Physiol., 1995, 112A: 417-424.

[35] 杜少波, 胡超群, 沈琪, 等. 凡纳滨对虾亲虾常用天然饵料营养成分的比较研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(1): 50-59.

[36] 张列士, 李军. 中华绒螯蟹增养殖技术[ M]. 北京: 金盾出版社, 2002: 124-208.

[37] 李绍彬. 南美白对虾蚤状期幼体的营养对其变态的影响[J]. 海水养殖, 2000, (4): 11- 13.

[38] 潘鲁青, 王克行. 中国对虾幼体消化酶活力的实验研究[J]. 水产学报, 1997, 21(1): 26-31.

[39] 潘鲁青, 王伟. 日本对虾幼体几种消化酶活力的研究[J]. 海洋湖沼通报, 1997, 15-18.

[40] 于书坤, 张树荣. 虾类及甲壳动物消化酶研究的现状[J]. 海洋科学, 1986, 10(2): 60~ 63.

[41] Shiau S Y, Kwok C C, Chou B S. Optimal dietary Protein level of *Penaeus monodon* Reared in seawater and brackish water[J]. Aquaculture, 1991, 57(4): 711-716.

[42] 张加润, 黄忠, 林黑着, 等. 饲料中不同蛋白含量对斑节对虾幼虾生长及消化酶的影响[J]. 海洋渔业, 2012, 34(4): 429-437.

[43] 徐新章, 李爱杰. 中国对虾配饵中蛋白质、糖、纤维素、脂肪的适宜含量及日需量研究[J]. 海洋科学, 1988, (6): 1-6.

[44] 虞冰如, 沈竑. 日本沼虾饲料最适蛋白质脂肪含量及能量蛋白比的研究[J]. 水产学报, 1990, 14(4): 321-327.

[45] 吴锐全, 肖学铮, 黄樟翰, 等. 罗氏沼虾饲料蛋白质最适含量的研究[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(3): 164 -168.

[46] 李思发. 淡水鱼类种群生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.

[4747] 黄诚. 新疆乌伦古湖河鲈种群的生长模型及生态参数的研究[J]. 南京大学学报, 1993, 29(2): 272-277.

[48] 唐建清, 宋胜磊, 吕佳, 等. 克氏原螯虾种群生长模型及生态参数的研究[J]. 南京师大学报, 2003, 26(1): 96-100.

[49] 刘军, 龚世园, 何绪刚, 等. 湖北武湖日本沼虾的生长特性[J]. 湖泊科学, 2003, 15(2): 177-183.

[50] 陈杰, 郭慧, 陈立侨, 等. 中国秀丽白虾不同地理群体的形态变异[J]. 华东师范大学学报, 2007, 3(2): 72-80.

[51] 陈国华, 张本. 鄱阳湖产银鱼的繁殖生物学[J]. 湖泊科学, 1990, 2(1): 59-65.

[52] 张永普, 林志华, 应雪萍. 不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 339-342.

[53] 张跃环, 闫喜武, 霍忠明, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔生长发育的比较[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(1): 34-39.

[54] 赖晓芳, 沈善瑞, 吕海波. 水温和盐度对脊尾白虾氮磷代谢的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 258-259.

[55] 王兴强, 曹梅. 低温和低盐对脊尾白虾生长和能量收支的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 66-70.

[56] 董云伟, 董双林, 田相利, 等. 不同水温对刺参幼参生长、呼吸及体组成的影响[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 33-37.

[57] 张乐, 李皎, 丁悦秀, 等. 黄颡鱼个体繁殖力的研究[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(11): 164-171.

[58] 徐加元, 岳彩峰, 戴颖, 等. 水温﹑光周期和饲料对克氏原螯虾雌虾成活和性腺发育的影响[J]. 华中师范大学学报, 2008, 42(1): 97-101.

[59] Taketomi Y. Androgenic gland secondary sexual characters in the crayfish *Procambarus clarkia*[J]. Crussta Biol, 1990, 10(3): 492-497.

[60] 杨丛海, 王清印, 孔杰, 等. 高温处理中国对虾受精卵性比结构的影响[J]. 海洋科学, 1993 (4): 1-2.

[61] 郑重. 甲壳动物的环境决定型性别决定和性比研究[J]. 台湾海峡, 1990, 9(3): 19l-199.

[62] Akiyodi K G, Adiyodi R G. Endocrine control of reproduction in decapod crustacea[J]. Biol. Rev, 1970, 45: 121-164.

[63] Sagi A, Cohen D, Milner Y. Effect of androgenic gland ablation on morphotypic different iation andsexual characteristic of the male fresh water prawns, *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Gen Comp Endocrinol, 1990, 77: 15-22.

[64] 王春琳, 陈云彬, 陈阳明, 等. 脊尾白虾人工促熟的初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 1995, 14(2): 105-110.

[65] 李强, 李华, 姜传俊, 等. 温度对凡纳滨对虾血淋巴免疫指标的影响[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(2): 132-135.

[66] 郑振华, 董双林, 田相利. pH不同处理时间的周期性变动对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(1): 45-51.

[67] 邱德全, 杨士平, 邱明生. 氨氮促使携带白斑综合症病毒凡纳滨对虾发病及其血细胞、酚氧化酶和

过氧化氢酶变化[J]. 渔业现代化, 2007, 34(1): 36-39.

[68] 邱德全, 周鲜娇, 邱明生. 氨氮胁迫下凡纳滨对虾抗病力和副溶血弧菌噬菌体防病效果研究[J]. 水生生物学报, 2008, 32(4): 455-461.

[69] 江育林. 对虾养殖、环境、病害[J]. 中国水产, 1994, (5): 35-36.

[70] Lu M, Xie P. Studies on the structure of crustacean zooplankton in houhu region of lake Donghu, Wuhan. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(2): 124-129.

[71] 贾恢先. 中国西北内陆盐渍化防治与可持续农业的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23( 6): 1063-1068.

[72] 申屠青春, 董双林, 赵文, 等. 游生物和水化因子的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11( 3): 449-454.

[73] Ryter S W, Kim H P, Hoetzel A, et al. Mechanisms of cell death in oxidative stress[J]. Antioxid Redox Signal, 2007, 9(1): 49−89.

[74] Assefa Z, Laethem A V, Garmyn M, et al. Ultraviolet radiation-induced apoptosis in keratinocytes: onthe role of cytosolic factors[J]. Biochim Biophys Acta: Rev Cancer, 2005, 1775(2): 90−106.

[75] Richier S, Sabourault C, Courtiade J, et al. Oxidative stress and apoptotic events during thermal stress in the symbiotic sea anemone, Anemonia viridis[J]. FEBS J, 2006, 273(18): 4186−4198.

[76] 娄忠玉, 钱续. 福尔马林对银鲑鱼苗半致死浓度试验[J]. 水利渔业, 2003, 23(1): 58.

[77] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔. 日本沼虾幼虾对碱度和pH的适应性[J]. 动物学杂志, 2005, 40(6): 74-79.

[78] 赖晓芳, 沈善瑞, 吕海波. 氨态氮和pH对脊尾白虾氮磷代谢的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(13): 5745-5746.

[79] 张林娟, 潘鲁青, 栾治华. pH变化对日本囊对虾仔虾离子转运酶活力和存活、生长的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(5): 758-764.

[80] 么宗利, 王慧, 周凯, 等. 碳酸盐碱度和p H值对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响[J] 生态学杂志, 2010, 29(5): 945-950.

[81] 赵先银, 李健, 陈萍, 等. pH胁迫对3种对虾存活率离子转运酶和免疫酶活力的影响[J] 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 720-728.

[82] 房文红, 王慧, 来琦芳. 碳酸盐碱度、pH对中国对虾幼虾的致毒效应[J]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 78-81.

[83] 杨富亿, 孙丽敏, 杨欣乔. 南美白对虾对内陆碳酸盐型盐碱水环境适应性研究[J]. 水产养殖, 2004, 25(6): 26-28.

[84] 林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 575-580.

[85] 吴一挺, 王志铮, 杨磊, 等. pH对日本沼虾耗氧率及鳃组织CAT、SOD活力的影响[J]. 浙江海洋学院学报, 2011, 30(6): 503-506.

[86] Chen J. C., Lin C. Y.. Responses of oxygen consumption, ammonia-N excretion and urea-Nexcretion of Penaeus chinensis exposed to ambient ammonia at different salinity and pH level[J]. Aquaculture, 1995, 136(3): 243-255.

[87] 王芸, 李健, 李吉涛, 等. pH胁迫对中国明对虾抗氧化系统酶活力及基因表达的影响[J]. 中国水产

科学, 2011, 18(3): 556-564.

[88] 赵先银, 李健, 李吉涛, 等. pH胁迫对日本对虾非特异性免疫因子及RN A/ DNA比值的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 60-66.

[89] 朱毅菲, 熊传喜, 王良发. 温度、pH对克氏原螯虾血清酚氧化酶活力及稳定性的影响[J]. 淡水渔业, 2006, 36(5): 16-19.

[90] 姜永华, 颜素芬. pH值对中国龙虾消化酶活力的影响[J]. 动物学报, 2008, 54(2): 317-322.

[91] KORMANIK G A, CAMERON J N. Ammonia excretion in the seawaterblue crab (Callinectes sapidus) occurs by diffusion, and not Na+/NH4+ exchange[J]. J Comp Physiol, 1981, 141: 457-462.

[92] MAURO N A, MOORE G W. Effects of environmental pH on ammonia excretion, blood pH, andoxygen uptake in fresh water crustaceans[J]. Comp Biol Physiol, 1987, 87: 1-3.

[93] 于敏, 王顺昌, 卢韫. 中华绒螯蟹在不同pH 下氨氮排泄和血淋巴含氮成分的变化[J]. 水生生物学报, 2008, 32(1): 62-67.

[94] 潘鲁青, 姜令绪. 盐度pH突变对2种养殖对虾免疫力的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(6): 903-910.

[95] Franco R, Sánchez -Olea R, Reyes-Reyes E M, et al. Environ- mental toxicity, oxidative stress and apoptosis: Ménageàtrois[J]. Mutat Res: Genet Toxicol Environ Mutagen, 2009, 674(1-2): 3-22.

[96] 潘鲁青, 刘泓宇. 甲壳动物渗透调节生理学研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 109-114.

[97] Sommer M J, Mantel L H. Effect of dopamine cyclic AMP and pericardial organs on sodium uptake and Na+/K+-ATPase activity in gills of the green crab *Carcinus maenas*[J]. J Exp Zool, 1988, 248: 272-277. [98] Trausch G, Forget M C, Devos P. Biomines-stimulated pho-sphorylation and Na+K+-ATPase in the gills of the Chinese crab *Eriocheir sinensis*[J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 94B: 487-492.

## 攻读学位期间发表的论文目录

[1] 于天基, 李健, 李吉涛, 等. 池养脊尾白虾的生长与繁殖特性[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(2): 16-25.

[2] 于天基, 李健, 李吉涛, 等. pH胁迫对脊尾白虾抗氧化酶活力的影响[J]. 海洋科学

[3] Ren Hai, Li Jian, Ying Yu, Yu Tianji, Li Dongli. Expression patterns of catalase and selenium-dependent glutathione peroxidase from Palaemon carinicauda in response to low salinity stress[J]. Acta Oceanologica Sinica

## 独创性说明

作者郑重声明：本硕士论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包括其他人已经发表或撰写的研究成果，也不包含为获得大连海洋大学或其他单位的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

作者签名：

年月日

## 大连海洋大学版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师同意大连海洋大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海洋大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复杂手段保存和汇编学位论文。

致 谢

紧张而短暂的学习生活就要结束了，三年的研究生生活步入了尾声！回首遥望，值得回忆的东西太多。三年来，我踏踏实实度过了自己的研究生生活。在论文完成之际，衷心感谢导师李健研究员、李霞教授对我科研工作的悉心指导和孜孜教诲。两位导师知识渊博、治学严谨，对科学的执着追求，深深地感动了我，使我终身受益。在黄海水产研究所两年的学习和生活中，心中充满了无限感激！衷心感谢恩师李健研究员！感谢您对我学习和生活的关心！感谢师母刘萍老师在学习和生活方面的热情帮助，您做事认真负责的态度深深感染着我，是我学习的榜样。

感谢李吉涛老师在我平日实验中给予的悉心指导和无私的建议与批评，您的指导与建议贯穿了我整个研究生生涯，从开题一直到毕业论文的完成。感谢您对我莫大的帮助！另外感谢实验室的何玉英、陈萍、常志强、吕建建、翟倩倩老师，博士后英瑜、刘博，你们的努力给我们实验室室的发展带来强大的动力，很高兴能认识你们。

由衷的感谢刘德月、戴芳钰老师在学习、生活和科研方面给予的无私帮助、教诲和鼓励，是二位老师教会了我脊尾白虾养殖及育苗工作。二位老师实事求是的工作作风、科学严谨的治学态度以及对自己学生毫无保留传授经验的师表风范，令我受益匪浅，我将铭记在心。

最衷心地感谢我的父母！二十多年来，他们不断用爱辛勤的培育着我，他们一直坚信知识能够改变命运，在物资和精神上给了我莫大的支持和鼓励，让我轻松面对各种压力。

感谢在生活、学习、实验中关心我、帮助我的师兄梁俊平、任海、刘磊，师姐梁忠秀、孙铭、王琦、张晓燕、杜盈；感谢和我一起奋斗的同窗李金宝、葛红星、李少飞、葛倩倩、冯艳艳等；感谢生活中带给我欢乐、试验中带给我便利的师弟索帅、师妹李志敏、李东利、王莹。另外感谢日照开航水产有限公司张继建经理提供的实验场地和公司员工为本人实验带来的帮助

最后感谢我的母校和黄海水产研究所，感谢所有关心和帮助我的亲人、老师、朋友、同学„„。