


凡纳滨对虾养殖生物学 理论研究与应 用

申玉春 朱春华 李广丽 吴灶和 著

 中国农业出版社

SP68.22
20123

阅 览

凡纳滨对虾养殖生物学 理论研究与应

申玉春 朱春华 著
李广丽 吴灶和



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

凡纳滨对虾养殖生物学理论研究与应用/申玉春等

著. —北京: 中国农业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-109-16166-5

I. ①凡… II. ①申… III. ①中国对虾—对虾养殖—
研究 IV. ①S968.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 207638 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 曾丹霞

文字编辑 曾丹霞

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 15

字数: 230 千字

定价: 28.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

对虾养殖是我国海水养殖业中的支柱产业,近年来对虾养殖规模的迅速扩大,使得养殖环境恶化,养殖自身污染问题日益突出。与对虾养殖密切相关的养殖生物学理论与技术、养殖模式以及生态环境等问题日益成为业内人士关注的热点问题。为了保护海洋环境,促进我国对虾养殖业的持续健康发展,本书对凡纳滨对虾养殖生物学理论与应用方面进行了探讨。主要内容共分6章,着重论述了水体盐度、钙镁离子含量、饲料蛋白质水平对凡纳滨对虾生长的影响,以及蜕壳和生长的关系;分析了凡纳滨对虾不同生长阶段食物组成结构以及摄食人工饲料的转化效率;研究了凡纳滨对虾谷氨酸脱氢酶、丙酮酸羧激酶、一氧化氮合成酶和超氧化物歧化酶活性;试验观察了凡纳滨对虾性腺发育、性别分化时期,以及眼柄粗提物和环境因子对凡纳滨对虾性别分化的影响;研究了凡纳滨对虾池塘水质与底质生态环境状况;提出了“生态调控”与“营养调控”相结合控制对虾养殖池塘环境的理论,建立了一种虾-鱼-贝-藻区域化循环水养殖模式。该养殖模式实现了虾池环境的“生物修复”与“自我调控”,整个系统达到生物学安全、零交换水、环境友好、清洁无公害的要求。

本书可供高等院校、科研院所以及从事对虾养殖研究和开发工作的师生、学者、养殖技术人员和管理工作者参考使用。

[前 言]

近年来,随着近海天然渔业资源衰减和人类对高质量海产品的需求不断增长,我国对虾养殖面积和养殖产量均持续大幅度增加(2009年130万t)。对虾养殖规模的迅速扩大,使得养殖环境恶化,养殖自身污染问题日益突出。我国对虾养殖多为单一品种的精养或半精养池塘养殖方式,其特点是高密度、大量投饵和有限量的换水。投放的饵料中仅有部分被对虾吸收用于生长,相当数量均以有机质或其分解产物形式沉积池底或直接排入海中,造成养殖自身环境和邻近浅海生态环境的恶化。有研究表明,对虾池塘养殖排放废水是造成近海水域富营养化的重要原因。针对我国水产养殖业普遍存在的资源利用不合理、病害频发、产品质量不高等突出问题,农业部于2006年颁布了《水产养殖业增长方式转变行动实施方案》。旨在推行水产健康养殖方式,提高水产养殖与资源环境协调发展的能力,促进水产养殖向资源节约、环境友好的方向转变。在上述思想指导下,本书针对我国对虾养殖环境自身污染严重的现状,着重论述了主要生态因子与凡纳滨对虾生长的关系、凡纳滨对虾食物组成与饲料转换效率、凡纳滨对虾酶活力与免疫机制、凡纳滨对虾性别分化与调控机制、凡纳滨对虾池塘生态环境状况等内容。提出了“生态调控”与“营养调控”相结合控制对虾养殖池塘环境的理论,创立了一种虾-鱼-贝-藻区域化循环水养殖模式。该养殖模式实现了虾池环境的“生物修复”与“自我调控”,整个系统达到生物学安全、零交换水、环境友好、清洁无公害的要求。这对

保护海洋环境，维系对虾养殖业的可持续健康发展具有重要的理论和现实意义。

本书涉及的各项科学研究工作在广东省自然科学基金项目“生态调控与营养调控降低对虾养殖污染的研究”、“雄性腺激素在对虾性别决定中作用机理的研究”、“凡纳滨对虾一氧化氮合成酶的研究”，广东省科技计划项目“对虾养殖污染控制与质量安全保证技术研究”与示范”资助下完成。2011年1月广东省科学技术厅组织高层次专家对该成果进行了鉴定。鉴定委员会认为，研究成果整体上达到同类研究的国内领先、国际先进水平。

在科学研究和本书撰写过程中，广东海洋大学叶富良教授、吴天利讲师，硕士研究生陈作洲、齐明、赵光凤、冉维亮、陈文霞、裴宇和李再亮等做了大量的工作，付出了辛勤的劳动。在对科学问题的探讨过程中参考和引用了有关专家、学者的大量文献，并尽可能在书后一一列出，但由于篇幅所限，没有在书中逐一标注，对此敬请原作者谅解。本书出版得到广东海洋大学著作出版基金的资助。在本书出版之际，向以上个人和单位致以最为真诚的谢忱！

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

申玉春

2011年3月于湛江

[目 录]

前言

第一章 生态因子与凡纳滨对虾生长的关系研究	1
第一节 水体盐度对凡纳滨对虾生长性能的影响	1
第二节 水体 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 含量对凡纳滨对虾生长的影响	5
第三节 不同蛋白质水平的饲料对凡纳滨对虾生长的影响	10
第四节 盐度和营养对凡纳滨对虾生长、耗氧率及排氨率的影响	16
第五节 盐度和营养对凡纳滨对虾蜕壳和生长的影响	27
第二章 凡纳滨对虾食物组成与饲料转换效率的研究	41
第一节 凡纳滨对虾不同生长阶段食物组成结构的研究	41
第二节 凡纳滨对虾摄食人工饲料转换效率的研究	50
第三章 凡纳滨对虾酶活力与免疫机制的研究	58
第一节 盐度和营养对凡纳滨对虾谷氨酸脱氢酶和丙酮酸羧激酶活性的影响	58
第二节 镉胁迫对凡纳滨对虾血清一氧化氮合成酶和超氧化物歧化酶活性的影响	64
第三节 凡纳滨对虾早期幼体消化酶活力的研究	71
第四节 凡纳滨对虾个体发育早期同工酶的研究	76
第五节 L-精氨酸对凡纳滨对虾体液免疫因子的影响	84

第四章 凡纳滨对虾性别分化与调控机制的研究	92
第一节 凡纳滨对虾促雄性腺的组织学研究.....	92
第二节 凡纳滨对虾性别分化时期的初步研究	96
第三节 环境因子对凡纳滨对虾性别分化的影响	106
第四节 眼柄粗提物对凡纳滨对虾性分化的影响	120
第五章 凡纳滨对虾池塘生态环境及其调控	127
第一节 对虾养殖池塘水质调节方法概述	127
第二节 凡纳滨对虾高位养殖池水质理化状况与调控	135
第三节 凡纳滨对虾高位池沉积物理化性质和细菌状况的研究	146
第四节 凡纳滨对虾高位池细菌数量变化及其与 水环境因子的关系	155
第五节 凡纳滨对虾高位池浮游生物和初级生产力的研究	163
第六节 四种化学消毒剂对凡纳滨对虾的毒性实验.....	173
第六章 凡纳滨对虾健康养殖模式与养殖容量	178
第一节 对虾养殖模式概述	178
第二节 凡纳滨对虾淡化养殖模式的研究	183
第三节 虾-鱼-贝-藻区域化循环水养殖模式的研究.....	188
第四节 凡纳滨对虾高位池能量收支与养殖容量.....	201
主要参考文献	210

第一章 生态因子与凡纳滨对虾生长的关系研究

第一节 水体盐度对凡纳滨对虾生长性能的影响

近年来, 不仅我国南部沿海大规模开展凡纳滨对虾养殖, 在内陆地区也进行凡纳滨对虾淡化养殖。但目前对环境因子与凡纳滨对虾生长的关系研究较少, Rodriguez 研究了盐度对凡纳滨对虾的渗透压调节的影响, Edwards 和 Menz 等分别研究了饵料和温度对生长率的影响。因此对不同盐度条件下凡纳滨对虾生长性能进行比较研究, 探索其适宜生长的盐度范围, 可为凡纳滨对虾淡化养殖提供理论依据。

一、材料与方 法

实验在容积为 0.1m^3 的玻璃水族箱中进行, 实验用水是在天然海水的基础上用淡水或盐卤按实验设计调配, 通过沉淀、过滤、消毒后备用, pH 为 8.6, 水温控制 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 24h 连续充气。

选择 0.5cm 的凡纳滨对虾健康仔虾, 按实验设计逐步淡化、标粗至全长 1.5~1.8cm 作为实验用虾。采用凡纳滨对虾配合饲料 (蛋白质含量在 40% 左右) 进行投喂。

设定盐度为 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30 八个梯度, 每个梯度设两个重复。每一水族箱中分别放入已淡化到相应盐度、规格比较整齐的实验用虾 100 尾进行实验, 实验时间为 25d, 实验开始和结束时随机取样,

分别测定各箱实验虾体长和体重。实验过程中每天投饵 4 次，日投饲量为虾体重的 5%~8%，视吃食情况进行调整。每天观察记录虾的摄食、活动及死亡情况，定期进行吸污、换水和施药防病等工作。

选择生长比速、存活率、投饵系数作为主要的生长性能指标，采用方差分析和样本均值多重分析方法进行统计分析。其中：

$$\text{生长比速} = \frac{\text{终末体长 (体重)} - \text{初始体长 (体重)}}{\text{实验周期}} \times 100\%$$

$$\text{投饵系数} = \frac{\text{投饲量}}{\text{虾体增重量}}$$

二、结果与分析

在不同的养殖盐度条件下饲养凡纳滨对虾，比较其生长性能（表 1-1-1、表 1-1-2）。结果表明：凡纳滨对虾在盐度为 2~30 的水体中，摄食和活力均显正常，没有明显的不适反应，说明凡纳滨对虾对盐度变化的适应性较强，在外界盐度变化的情况下，能通过主动调节来维持自身渗透平衡。方差分析和日平均增长均值多重分析表明：盐度对凡纳滨对虾生长有显著性影响 ($F > F_{0.05} = 3.50$)（表 1-1-3）。在盐度 14~22 的范围内，凡纳滨对虾体长增长较快 ($|X_i - X_j| > LSD_{0.05}$)，个体增重和投饵系数也表现较好的水平，而在盐度低于 10 或高于 26 的养殖水域中生长较差（表 1-1-4）。众所周知，盐度的差异体现水体中无机离子含量的不同，处于变动水环境中的生物一般围绕其等渗点进行渗透调节，而渗透压调节是一需要耗费能量的生理过程。相比较而言，盐度在 14~22 范围时，可能处在凡纳滨对虾等渗点附近，因此用于渗透压调节的耗能较少，而盐度低于 10 或高于 26 时，因为身体内外存在较大的渗透压梯度差，凡纳滨对虾为维持自身渗透平衡，需要耗费更多的能量，在一定程度上会影响其生长。Dalla (1986) 研究日本对虾发现，当盐度从 37 降到 10 时，耗氧量增加

100%，也印证了这一结论。

表 1-1-1 不同盐度条件下凡纳滨对虾的饲养效果

实验号	盐度	平均始长 (cm)	平均终长 (cm)	平均增长 (cm)	平均始重 ($\times 10^{-2}$ g)	平均终重 ($\times 10^{-2}$ g)	平均增重 ($\times 10^{-2}$ g)
1	2	1.50±0.12	2.30±0.14	1.8	4.2±0.1	30.±0.9	26.4
2	6	1.70±0.15	3.60±0.22	1.9	4.4±0.2	34.±1.1	29.9
3	10	1.60±0.13	3.00±0.15	2.3	4.1±0.2	37.±0.6	33.5
4	14	1.70±0.21	4.30±0.13	2.6	4.5±0.1	42.±0.8	37.5
5	18	1.60±0.12	4.40±0.17	2.8	4.4±0.1	43.±0.7	39.4
6	22	1.50±0.14	4.20±0.21	2.7	4.0±0.2	43.±1.2	39.2
7	26	1.60±0.05	3.80±0.13	2.2	4.1±0.3	37.±0.5	33.1
8	30	1.50±0.20	3.50±0.12	2.0	4.2±0.2	35.±1.4	30.8

表 1-1-2 盐度对凡纳滨对虾生长的影响

实验号	盐度	总增重量 (g)	总投饲量 (g)	投饵系数	增长比速 (%)	增重比速 (%)	存活率 (%)
1	2	18.22	52.3	2.87	7.4	1.056	59
2	6	23.02	56.2	2.44	7.6	1.196	77
3	10	25.38	55.8	2.02	9.2	1.340	88
4	14	27.75	53.8	1.94	10.4	1.500	86
5	18	31.85	58.6	1.82	11.2	1.576	92
6	22	31.67	62.4	1.97	10.8	1.568	91
7	26	25.69	61.4	2.39	8.8	1.342	90
8	30	22.60	58.1	2.57	8.0	1.232	87

虾类生长是通过蜕皮来完成的，体长增长呈阶梯状，即在蜕皮时快速增长，而蜕皮之后到下次蜕皮前大小几乎很少增加，蜕壳伴随虾类的整个生命过程，与厚壳甲壳动物相比，对虾类的蜕壳更为频繁，而蜕壳期表皮钙化需要大量的钙。Dall 等（1981）研究发现，对虾类没有形成钙的贮存机制，蜕皮后早期钙化对钙的需求量突然增加，必须从海水中吸收获得。在低盐水体中 Ca^{2+} 含量明显低于高盐水体，生活在低盐水体中的凡纳滨对虾获取 Ca^{2+} 相对较少，蜕皮后表皮钙化困难，导致蜕皮间隔延长，从而表现出增长缓慢。这与董双林等（1994）认为水体中 Ca^{2+} 的浓度不同

会使日本沼虾生长率和能量收支出现差异的结论相一致。

表 1-1-3 实验虾日平均增长的方差分析

变异来源	平方和 SS	自由度 df	方差 S^2	F 检验	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
盐度间	0.001 74	7	0.000 248 5	3.617	3.50	6.18
误差	0.000 55	8	0.000 068 7			
总变异量	0.002 29	15				

表 1-1-4 实验虾日平均增长均值多重分析

编号	盐度	均值 (cm)	$ X_i - X_8 $	$ X_i - X_7 $	$ X_i - X_6 $	$ X_i - X_5 $	$ X_i - X_4 $	$ X_i - X_3 $	$ X_i - X_2 $	LSD _{0.05}
1	18	0.112	0.040*	0.036*	0.032*	0.024*	0.020*	0.008	0.004	0.019 1
2	22	0.108	0.036*	0.032*	0.028*	0.020*	0.016	0.004		
3	14	0.104	0.032*	0.028*	0.024*	0.016	0.012			
4	10	0.092	0.020*	0.016	0.012	0.004				
5	26	0.088	0.016	0.012	0.008					
6	30	0.080	0.008	0.004						
7	6	0.076	0.004							
8	2	0.072								

* 表示差异显著。

由表 1-1-2 可以看到, 在盐度为 10 以上的水体中凡纳滨对虾存活率较高 (>86%) 且没有明显差异, 而在盐度低于 6 的水体中, 其成活率较低 (<77%), 说明盐度对凡纳滨对虾存活率有一定的影响。实验过程中发现, 盐度低于 6 的两个实验组, 凡纳滨对虾蜕皮后甲壳迟迟不能硬化且甲壳较薄, 当水温变化较大或在吸污、换水时, 大部分的虾活动出现异常, 摄食量下降, 少量虾体色发白并死亡。合理的解释是虾类在甲壳硬化之前对外界的抵抗能力较差, 蜕皮间隔期延长, 导致了成活率下降。鉴于凡纳滨对虾可在较低盐度的水体中存活, 影响凡纳滨对虾生长速度和成活率的因子中, Ca^{2+} 含量可能是比盐度更重要的影响因素。在低盐水体中要保证凡纳滨对虾养殖成活率和较快的生长速度, 必须注意调整水体中 Ca^{2+} 含量。

第二节 水体 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 含量对

凡纳滨对虾生长的影响

凡纳滨对虾能在低盐水体甚至远离海岸的内陆淡水水域中生长,但是与盐度为 10~20 的咸淡水中的生长相比,在内陆淡水水域中凡纳滨对虾的生长速度和成活率明显降低,养成后虾壳较薄导致离水存活时间缩短,活虾上市运输困难。内陆淡水水域中凡纳滨对虾生长性能的下降使其淡化养殖推广受到一定的影响。因此研究淡化养殖水体中的 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 含量对凡纳滨对虾生长的影响,探讨低盐水体中影响凡纳滨对虾生长的水化学因子,对凡纳滨对虾淡化养殖有重要的指导意义。

一、材料与方法

取自育苗场同批孵化的凡纳滨对虾仔虾苗,采用逐步淡化的方式将相对密度降低到 1.000,并将其标粗至体长为 2cm 左右,选择个体均匀、健康、活力强的虾苗作为实验用虾,每组的样本数为 100 尾。实验容器为 100L 水族箱,经冲洗消毒后备用。取深井水(相对密度=1.000, pH=8.2)为基础水,按试验设计添加无水 CaCl_2 和 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,按不同 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度梯度配制实验用水,采用络合滴定法来确定其实际浓度。试验期为 28d,水温 24~29℃,24h 连续充气。试验过程投喂凡纳滨对虾 0[#] 饲料,以饱食为准,每天采用虹吸法排污。水族箱上覆盖黑色遮光布避免强光照射。

参照淡水和天然海水中钙镁离子的组成,设置实验水体中 Ca^{2+} 含量为 35.36、189.44 和 320.56mg/L 三个水平, Mg^{2+} 含量为 91.01、410.96 和 746.3mg/L 三个水平,采用正交试验进行凡纳滨对虾生长性能的比较,确定凡纳滨对虾生长所需的钙镁近似值。固定 Ca^{2+} 含量为 185.4mg/L,

调整水体中 Mg^{2+} 含量范围为 276.4~490.8mg/L, Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值为 1.49~2.64, 或固定 Mg^{2+} 含量为 401.9mg/L, 调整水体中 Ca^{2+} 含量范围为 101.3~261.8mg/L, Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值为 1.53~3.97, 分别设五个浓度梯度, 每组设两次重复, 并以基础水作对照, 进行对比试验确定淡化养殖水体中凡纳滨对虾生长的钙镁含量适宜范围。

实验开始时每组随机抽取 10 尾虾分别测定其初始头胸甲长和体重, 结束时每组也随机抽取 10 尾虾分别测定其终末头胸甲长和体重并统计死亡数。以日增长率、日增重率和成活率作为指标进行极差分析和方差分析。

二、结果与分析

1. Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 含量对凡纳滨对虾生长的影响

正交试验结果 (表 1-2-1) 表明: 在淡化养殖水体中添加不同浓度 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} , 对凡纳滨对虾的生长有明显的影。从日增长率、日增重率和成活率指标来看, 水体中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 含量分别为 410.96mg/L 和 189.44mg/L 实验组, 凡纳滨对虾的生长性能较好。由样本极差分析可知, 淡化水体中 Ca^{2+} 含量高低是影响凡纳滨对虾生长的重要因素。

表 1-2-1 凡纳滨对虾生长的正交实验结果

实验号	Mg^{2+} (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	平均 $TL_{初}$ (cm)	平均 $W_{初}$ (g)	平均 $TL_{终}$ (cm)	平均 $W_{终}$ (g)	日增 长率 (%)	日增 重率 (%)	成活率 (%)
1	91.01	35.36	1.98±0.17*	0.08±0.01	4.22±0.30	0.89±0.04	8.00	2.89	33
2	91.01	189.44	1.98±0.21	0.09±0.02	5.08±0.24	1.58±0.05	11.4	5.32	44
3	91.01	320.56	1.98±0.15	0.09±0.01	4.33±0.42	0.95±0.07	8.39	3.07	32
4	410.96	35.36	1.99±0.14	0.08±0.01	4.38±0.35	1.05±0.12	8.54	3.46	49
5	410.96	189.44	1.99±0.08	0.09±0.02	6.04±0.24	2.65±0.16	14.4	9.14	63
6	410.96	320.56	1.99±0.15	0.10±0.03	4.55±0.32	1.12±0.13	9.16	3.64	48
7	746.3	35.36	2.01±0.24	0.08±0.02	4.31±0.28	0.95±0.08	8.21	3.11	35

(续)

实验号	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	平均 TL _初 (cm)	平均 W _初 (g)	平均 TL _终 (cm)	平均 W _终 (g)	日增 长率 (%)	日增 重率 (%)	成活率 (%)
8	746.3	189.44	2.00±0.18	0.09±0.01	4.56±0.37	1.21±0.03	9.14	4.00	45
9	746.3	320.56	1.98±0.11	0.11±0.02	4.27±0.17	0.99±0.08	7.86	3.14	28

注：总长 (TL) = 5.0 + 4.5 × 头胸甲长 (CL)，以下同。

* 表示均值 ± 标准差。

对虾的大小增长是呈阶梯式的，即在蜕皮时快速增长，蜕皮后到下一次蜕皮前，大小几乎很少增加。蜕壳伴随虾类的整个生命过程。与厚壳甲壳动物相比，对虾类的蜕壳更为频繁，而蜕皮需要大量的钙。Dall 等研究发现，对虾类没有形成钙的贮存机制，蜕皮后早期钙化使其对钙的需求量突然增加，必须从海水中吸收获得。在低盐水体中 Ca²⁺ 含量明显低于高盐水体，生活在低盐水体中的凡纳滨对虾获取 Ca²⁺ 相对较少，蜕皮后表皮钙化困难，导致蜕皮间隔延长，从而表现出生长缓慢。实验结果表明，淡化水体中添加不同浓度 Mg²⁺、Ca²⁺，凡纳滨对虾的生长有明显的差异。董双林等研究日本沼虾也证明了这点。

海洋甲壳动物生活在广阔的海域，显示出其具有相应范围内的渗透压调节能力。天然海区的对虾一般栖息环境的盐度变化较大，使绝大多数对虾对盐度都具有广泛的适应性。Rodriguez 研究指出，凡纳滨对虾在低盐度时能很好地进行渗透调节，但不能适应高盐环境。笔者研究发现，凡纳滨对虾即使在近似淡水的内陆池塘也能正常生活。本实验结果进一步证明了上述结论。说明凡纳滨对虾的渗透压调节机制使其在较低盐度的环境中也能很好地适应，盐度可能不是制约凡纳滨对虾生长的主要因素。

2. 水体中 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量及 Mg²⁺/Ca²⁺ (R) 的合适范围

固定水体中 Ca²⁺ 含量调整 Mg²⁺ 含量或固定水体中 Mg²⁺ 含量调整 Ca²⁺ 含量进行对比试验，结果 (表 1-2-2) 显示：当水体中添加 Ca²⁺、

Mg²⁺以后,凡纳滨对虾的日增长率、日增重率和成活率与对照组相比,均表现较高的水平 ($F > F_{0.01}$)。由方差分析(表 1-2-3)和样本均值多重分析(表 1-2-4)结果可以看出,水体中 Ca²⁺、Mg²⁺含量及 Mg²⁺/Ca²⁺(R 值)分别为 182.5~223.4mg/L、328.7~399.3mg/L、1.77~2.20 时,凡纳滨对虾的生长速度较快,成活率较高 ($|X_i - X_j| > LSD_{0.05}$),超出这一范围,凡纳滨对虾的生长速度明显降低,证明上述范围是凡纳滨对虾生长的适宜范围。

表 1-2-2 Mg²⁺、Ca²⁺含量及 Mg²⁺/Ca²⁺(R 值)对凡纳滨对虾生长的影响

实验号	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	R	平均 TL _初 (cm)	平均 TL _终 (cm)	平均 W _初 (g)	平均 W _终 (g)	日增 长率 (%)	日增 重率 (%)	成活 率 (%)
1	401.9	101.3	3.97	2.03±0.15	3.53±0.32	0.12±0.03	0.52±0.06	5.36	1.43	35
2	401.9	149.8	2.68	2.01±0.08	3.79±0.05	0.10±0.02	0.66±0.04	6.36	2.00	52
3	401.9	182.5	2.20	2.01±0.17	4.15±0.16	0.11±0.02	0.89±0.05	7.64	2.79	58
4	401.9	223.4	1.80	2.04±0.08	4.08±0.28	0.14±0.05	0.77±0.12	7.29	2.25	53
5	401.9	261.8	1.53	2.02±0.12	3.68±0.15	0.12±0.01	0.56±0.06	5.93	1.57	32
6	276.4	185.4	1.49	2.05±0.18	3.44±0.35	0.14±0.03	0.47±0.11	4.96	1.18	29
7	328.7	185.4	1.77	2.04±0.02	3.99±0.23	0.11±0.04	0.75±0.07	6.96	2.29	46
8	399.3	185.4	2.15	2.03±0.05	4.05±0.12	0.12±0.02	0.78±0.16	7.22	2.36	51
9	441.3	185.4	2.38	2.05±0.08	3.56±0.38	0.12±0.05	0.51±0.21	5.39	1.39	34
10	490.8	185.4	2.64	2.03±0.07	3.48±0.14	0.12±0.04	0.46±0.06	5.18	1.21	37
对照	14.6	51.3	0.28	2.03±0.11	3.05±0.12	0.11±0.02	0.39±0.07	3.64	1.00	17

有研究证明,动物体内 Ca²⁺、Mg²⁺作为神经递质乙酰胆碱的主要载体,在神经传导过程中, Ca²⁺触发乙酰胆碱的释放, Mg²⁺降低乙酰胆碱的释放, Ca²⁺、Mg²⁺之间有拮抗作用。另外, Mg²⁺也是新陈代谢过程中许多生化反应的辅酶,细胞膜中参与物质主动运输的载体——Na 泵在缺 Mg²⁺时,便不具活力。动物体内环境 Ca²⁺、Mg²⁺等离子含量与离子平衡对其生理作用过程有重要影响。对于长期生活在水环境中的水生动物,一般具有相对难渗透的表皮以减少渗透的影响。对虾类的表皮薄而柔软,当身体内外环境存在渗透压差时,必须通过主动调节来维持体内环境离子的

水平与平衡。在淡化养殖水体这种低渗介质中, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子含量较低, 凡纳滨对虾难以通过主动调节吸收足够的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 维持正常的生理功能, 从而影响凡纳滨对虾的生长。当水体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度达到凡纳滨对虾生长的合适范围时, 虾体通过离子调节过程中耗能较少, 正常的生理功能得以维持。实验过程发现, 对照组中部分个体不蜕壳或是因为蜕壳困难而死亡, 其他实验组未出现此现象。表明, 在淡化水体中增加 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量有助于凡纳滨对虾的蜕皮和生长。

表 1-2-3 凡纳滨对虾日增长率的方差分析结果

变异来源	平方和 SS	自由度 df	方差 S^2	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
Ca^{2+} 浓度间	20.70	5	4.14	57.74	4.39	8.47
误差	0.43	6	0.0716			
总变异	21.13	11				
Mg^{2+} 浓度间	18.17	5	3.634	45.425	4.39	8.47
误差	0.48	6	0.08			
总变异	18.65	11				

表 1-2-4 凡纳滨对虾日增长率的均值多重分析

Ca^{2+}	日增长率	X_i -对照	X_i-X_5	X_i-X_4	X_i-X_3	X_i-X_2	$\text{LSD}_{0.05}$	$\text{LSD}_{0.01}$
182.5	7.64	4.00**	2.28**	1.71**	1.28**	0.35	0.688	1.079
223.4	7.29	3.65**	1.93**	1.36**	0.84*			
149.8	6.36	2.72**	1.00*	0.43				
261.8	5.93	2.29**	0.57					
101.3	5.36	1.72**						
Mg^{2+}	日增长率	X_i -对照	X_i-X_5	X_i-X_4	X_i-X_3	X_i-X_2	$\text{LSD}_{0.05}$	$\text{LSD}_{0.01}$
399.3	7.22	3.58**	2.26**	2.04**	1.83**	0.26	0.727	1.14
328.7	6.96	3.32**	2.00**	1.78**	1.57**			
441.3	5.39	1.75**	0.43	0.21				
490.8	5.18	1.54**	0.22					
276.4	4.96	1.32**						
对照	3.64							

* 表示差异显著; **表示差异极显著。

对于海水而言, 因其 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子含量及离子组成相对较稳定, 虾类长期适应环境, 生长发育比较正常。而对于内陆淡水环境, 离子