

Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及风味的影响

戴习林^{1*}, 张立田¹, 臧维玲¹, 邓平平¹, 邹卫丽¹, 丁福江²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海 201376)

摘要: 采取 L49(7⁸)安排 7 水平 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度正交试验, 开展 60 d 凡纳滨对虾养殖试验, 通过比较凡纳滨对虾成活率、日均增长值、日均增重量及鲜味氨基酸含量, 分析养殖水体中 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度三因子对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响; 采取 L8(2⁷)安排 2 水平 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度正交试验, 分析养殖水体中 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度三因子间交互作用对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响。结果表明: 水体中 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对成活率和虾体鲜味氨基酸都有显著影响($P < 0.05$), Ca²⁺、Mg²⁺对凡纳滨对虾生长具有显著影响($P < 0.05$), 其中 Mg²⁺对成活率影响最大, Ca²⁺对生长影响最大, 而鲜味氨基酸受盐度影响最大。Ca²⁺浓度为 100 mg/L 和 400 mg/L, Mg²⁺为 1 200 mg/L, 盐度为 10 时, 成活率最高; Ca²⁺ 200 mg/L 与 Mg²⁺ 300 mg/L 时, 生长速度无明显变化, Ca²⁺浓度为 100 mg/L, Mg²⁺浓度为 150 mg/L, 盐度为 10~20 时, 体长和体质量增加最快; Ca²⁺、Mg²⁺含量与盐度越高, 鲜味氨基酸含量越高, Ca²⁺浓度为 400 mg/L, Mg²⁺浓度为 750 mg/L, 盐度为 35 和 20 时, 风味氨基酸含量最高; 低盐、低钙、低镁水体显著降低了凡纳滨对虾的生长存活; Ca²⁺与 Mg²⁺对成活率及体质量日均增长具有显著的交互作用影响, Ca²⁺与盐度对成活率具有显著的交互作用影响, Mg²⁺与盐度对各试验指标均没有显著影响。

关键词: 凡纳滨对虾; Ca²⁺; Mg²⁺; 盐度; 生长; 风味氨基酸

中图分类号: Q 142; S 917

文献标志码: A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 俗称南美白对虾, 主要分布在东太平洋, 能在盐度 40 以下的水域中正常生长^[1], 生长快, 抗病力较强, 已为当今世界养殖产量最高的虾类品种。该虾具广盐性特点, 并已在内陆地区养殖成功, 但与沿海地区相比, 其生长速度和成活率偏低, 且虾壳较薄, 易受伤, 口感差^[2-3]。究其原因可能是海水中常量离子成分和含量都比较稳定^[4], 而淡水中常量离子含量及比值与海水有一定差异, 其中与对虾的蜕壳和生长有紧密联系的必需离子 Ca²⁺、Mg²⁺在淡水中的含量甚低, 远低于海水, 世界河水中两者平均值仅

分别为 20.4 mg/L 与 3.4 mg/L^[5]。到目前为止, 有关水环境因子对凡纳滨对虾的影响已有一些研究, 如 Rodriguez^[6]研究了盐度对凡纳滨对虾渗透压调节的影响, 朱春华^[7]研究了盐度对凡纳滨对虾生长性能的影响, Peñaflorida^[8]研究了日常投喂饵料中 Ca²⁺的含量对虾体对磷吸收的影响, Davis^[9]研究了内陆井水养殖凡纳滨对虾生长和存活与钙镁钾等离子的关系等。但这些研究均甚少涉及 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度三因素在剔除两因素效应下以及三者之间的交互作用对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响。本试验主要根据我国内陆不同养殖水体的水质

收稿日期: 2011-10-27 修回日期: 2011-12-09

资助项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2010)第 1-6 号]; 上海市科技兴农科技推广项目[沪农科推字(2008)第 5-1 号]; 上海市教育委员会重点学科建设项目[J50701]

通讯作者: 戴习林, E-mail: xldai@shou.edu.cn

类型, 采用 L49(7⁸)正交表安排正交试验探讨 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾成活率, 生长速度及虾体风味影响的相对独立作用, 分别确定三因子最佳含量, 采用 L8(2⁷)正交表安排正交试验, 探讨 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度间交互作用是否对凡纳滨对虾生长存活及虾体风味具有显著影响, 进而得出凡纳滨对虾生长存活及虾体风味最好时的水体盐度和 Ca²⁺、Mg²⁺含量, 为内陆大规模养殖凡纳滨对虾提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验用虾及养殖试验池

试验用虾购自厦门海水淡化苗(S=2), $\bar{L} = (0.800 \pm 0.028)$ cm, $\bar{W} = (0.002 \pm 0.001)$ g, 暂养于 100 L 塑料箱备用。试验池为上海市金山区申漕特种水产开发公司玻璃温室内的水泥育苗池(24.5 m², 3.5 m×7.15 m)。

1.2 试验基础用水与药品

试验基础用水为经沉淀过滤、杀菌消毒的养殖场邻近三洪河河水, 盐度 0.3, Ca²⁺为 50 mg/L, Mg²⁺为 20 mg/L。调配试验用水的化学药品分别为工业纯 NaCl(日晒盐)、CaCl₂·2H₂O、MgCl₂·6H₂O、KCl、NaBr、H₃BO₃ 和 Na₂SO₄。

1.3 试验设计

依据我国内陆不同地区地表水水质类型^[5]及预试验结果, 选择 L49(7⁸)正交表安排 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度三因素 7 水平试验, 研究三者对凡纳滨对虾存活、生长、鲜味氨基酸的效应, 分析 3 个因子对凡纳滨对虾影响趋势; 选择 L8(2⁷)正交表安排 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度三因素 2 水平试验, 考察三者之间的交互作用效应, 各试验组均设一个平行组, 两正交表中各因素水平分别列于表 1 和表 2。

表 1 L49(7⁸)中 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度水平
Tab. 1 L49(7⁸) Ca²⁺、Mg²⁺ and salinity levels

水平 level	因素 factor		
	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	盐度 salinity
1	30	10	0.3
2	50	20	2
3	100	150	5
4	200	300	10
5	300	500	20
6	400	750	30
7	500	1200	35

表 2 L8(2⁷)中 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度水平
Tab. 2 L8(2⁷) Ca²⁺、Mg²⁺ and salinity levels

水平 level	因素 factor		
	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	盐度 salinity
1	50	20	0.3
2	400	1 200	35

1.4 试验方法

试验用水调配 除 L49(7⁸)中 Ca²⁺、Mg²⁺水平为 1 试验组的基准水为经氢氧化钠处理降低钙镁含量, 并调节 pH 后的河水, 其它试验组均以河水作为调配基准水。按试验设计要求先调节 Ca²⁺、Mg²⁺水平, 再以盐度为 35 大洋水作为参照, 依据臧维玲等^[10]对罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)育苗用水调配原则, 按照设定盐度比例分别添加其它离子(K⁺、Br⁻、H₃BO₃、SO₄²⁻), 最后以 NaCl(日晒盐)调节各试验组盐度水平, 水深 50 cm, 经充分曝气一周后用于试验。

试验用虾驯化与放养 各试验组受试虾苗约 1 000 尾分别在 100 L 塑料箱中驯养, 每日早晚分别用各自调配水换水^[11]驯化, 同时每日早中晚各投虾片一次, 并及时排出残饵污物。10 d 后驯化完毕, 将各组驯化苗完全随机人工计数 500 尾置于试验池中, $\bar{L} = (0.920 \pm 0.028)$ cm, $\bar{W} = (0.003 \pm 0.001)$ g。

日常管理 试验期间每天定时投喂配合饲料, 早期每日 4 次, 后期每日 3 次, 连续散气石充气增氧, 定期排污, 不换水, 每 15 天测量盐度及 Ca²⁺、Mg²⁺含量, 及时补充因蒸发所失基础水, 试验期间各水体中 TAN 0.1 mg/L, NO₂⁻-N 0.005 mg/L, 水温(30.6±1.4) °C。60 d 后准确计数各池存活虾数, 并分别准确测量体长与体质量。

1.5 虾体肌肉风味氨基酸测定

随机选取每个试验池 5~10 尾虾, 去壳取 0.15~0.20 g 肌肉, 加入 4%磺基水杨酸匀浆后, 10×10⁴ r/min 离心 18 min, 取上清液于 25 mL 比色管中, 用 4%的磺基水杨酸定容至 25 mL, 取 10 mL 用日立 835-50 型高速氨基酸分析仪分析^[17], 测定 4 种风味氨基酸谷氨酸、天门冬氨酸、丙氨酸和甘氨酸含量。

1.6 试验指标的测定

水体中 Ca²⁺、Mg²⁺含量测定采用络合滴定法进行滴定^[5], 盐度采用德国 WTW 多参数水质分析仪 Multi 340i 测量。

成活率=试验结束时对虾尾数/试验开始时放养尾数

体长日均增长=(试验结束时虾体均长 - 试验开始时虾体均长)/养殖天数

日均增重量=(试验结束时虾体均重 - 试验开始时虾体均重)/养殖天数

饱和度=平均体质量/平均体长³

鲜味氨基酸含量=谷氨酸含量+天门冬氨酸含量+丙氨酸含量+甘氨酸含量

1.7 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据整理和分析。方差分析和极差分析处理正交试验数据, Duncan's 法均值多重比较, 差异显著性设置为 P<0.05。

2 结果

2.1 Ca²⁺对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响

水体中 Ca²⁺浓度对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响结果见表 3 和图 1。

由图 1-a 看出, 成活率有两个峰值, Ca²⁺含量在 30~100 mg/L 时, 凡纳滨对虾成活率随 Ca²⁺的增加而增加, 在 100~300 mg/L 时, 随 Ca²⁺含量的增加而降低, Ca²⁺升至 400 mg/L 时, 为第二个峰值, 再升至 500 mg/L, 成活率又降至 71.0%。同时表 3 结果表明 Ca²⁺为 100 mg/L 和 400 mg/L 时, 两含量间凡纳滨对虾成活率无显著差异, 显著高于其余试验组, 30 mg/L 时, 成活率最低, 显著低于其它试验组, 可见水体中 Ca²⁺显著影响凡纳滨对虾成活率。

表 3、图 1-b 和图 1-c 表明, Ca²⁺显著影响凡纳

滨对虾的生长, Ca²⁺为 100 mg/L 时其体长日均增长最快, 其次是 50 mg/L 组, 再次是 200~500 mg/L, 但其体长日均增长值是 100 mg/L 组的 98%, 而 Ca²⁺为 30 mg/L 时, 体长日均增长值最小, 显著低于其余 Ca²⁺水平组, 仅为 100 mg/L 组的 90%。体质量日均增加量也呈现类似体长规律, 虽然 Ca²⁺为 300 mg/L 时, 日均增重量也较高, 但各 Ca²⁺水平组对虾肥满度间无显著差异。

由图 1-d 可发现, 凡纳滨对虾肌肉中游离的风味氨基酸总量呈现随 Ca²⁺的增加而增加的规律, 表 3 数据显示, Ca²⁺为 500 mg/L 时, 风味氨基酸含量最高, 显著高于其余组, 30 mg/L 时, 风味氨基酸含量最低, 可见 Ca²⁺对凡纳滨对虾成虾风味有显著影响。

2.2 Mg²⁺对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味的影响

由表 3 数据和图 2-a 可知, Mg²⁺不仅显著影响凡纳滨对虾成活率, 且呈现除 Mg²⁺为 150 mg/L 外, 成活率随 Mg²⁺浓度增加而升高的规律, Mg²⁺为 1 200 mg/L 时, 其成活率最高, 达到 79.6%(P<0.05), Mg²⁺为 100 mg/L 时成活率最低, 仅为 53.3%(P<0.05)。

表3表明 Mg²⁺对凡纳滨对虾生长具有显著影响, Mg²⁺为150 mg/L 时生长速度最快, Mg²⁺为50 mg/L 时生长速度最慢。但图2-b、图2-c 却显示, 水体中 Mg²⁺ 300 mg/L 时其生长速度差别不大, 而 < 300 mg/L 时, 各水平组间对虾生长速度变化较大。

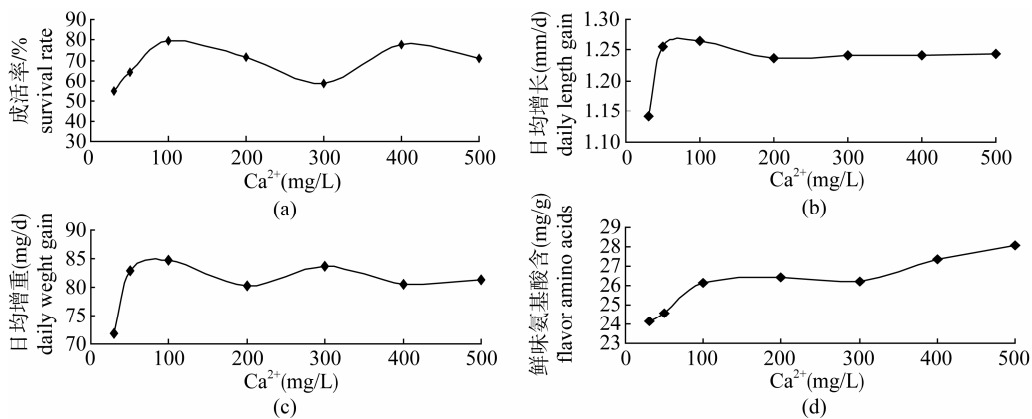


图 1 不同 Ca²⁺含量下凡纳滨对虾的成活率、日均增长值、日均增重量及鲜味氨基酸含量 (a) 成活率; (b) 日均增长值; (c) 日均增重; (d) 鲜味氨基酸量。

Fig. 1 The survival rate, daily length gain, daily weight gain and flavor amino acids of *L. vannamei* at different Ca²⁺ concentration

(a) survival rate; (b) daily length gain; (c) daily weight gain; (d) flavor amino acids.

表 3 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活、生长、鲜味氨基酸的影响
Tab. 3 Effect of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity on survival, growth and flavor amino acids of *L. vannamei*

因素 factor	水平 level	成活率/% survival rate	体长日均增长/(mm/d) daily length gain	日均增重/(mg/d) daily weight gain	肥满度 fatness	鲜味氨基酸总量/(mg/g) flavor amino acids
Ca ²⁺	1	55.4 ^c ±18.1	1.141 ^d ±0.081	71.72 ^d ±6.98	14.8±1.9	24.15±4.93
	2	64.2 ^c ±12.8	1.255 ^{ab} ±0.111	82.79 ^{ab} ±12.53	12.8±1.5	24.55±6.23
	3	79.7 ^a ±4.7	1.265 ^a ±0.086	84.70 ^a ±13.61	12.7±0.9	26.15±2.69
	4	71.5 ^b ±19.2	1.238 ^c ±0.065	80.30 ^b ±8.97	12.8±0.8	26.45±3.17
	5	58.5 ^d ±12.0	1.241 ^{bc} ±0.114	83.62 ^a ±17.78	13.3±1.4	26.25±2.70
	6	77.6 ^a ±10.1	1.243 ^{bc} ±0.076	80.50 ^c ±7.57	12.3±1.4	27.34±4.68
	7	71.0 ^b ±19.2	1.245 ^{bc} ±0.045	81.41 ^b ±9.07	12.7±0.3	28.07±3.16
Mg ²⁺	1	65.0 ^c ±16.7	1.244 ^b ±0.107	80.36 ^b ±13.75	12.7±1.3	24.05 ^c ±3.41
	2	65.5 ^d ±17.6	1.180 ^d ±0.093	75.64 ^c ±7.12	14.2±2.0	26.31 ^{ab} ±3.05
	3	53.3 ^f ±16.9	1.309 ^a ±0.075	90.23 ^a ±10.71	12.2±0.8	27.03 ^a ±4.58
	4	70.5 ^c ±11.4	1.221 ^c ±0.080	76.09 ^c ±7.12	12.8±1.4	28.13 ^a ±4.06
	5	70.8 ^c ±18.0	1.218 ^c ±0.080	81.73 ^b ±11.59	13.7±1.2	27.87 ^a ±1.83
	6	73.8 ^b ±9.8	1.237 ^b ±0.097	80.99 ^b ±16.08	13.0±1.1	24.34 ^a ±5.15
	7	79.6 ^a ±7.2	1.221 ^c ±0.068	77.09 ^c ±10.70	12.8±1.1	25.24 ^{bc} ±5.19
盐度 salinity	1	71.9 ^c ±10.5	1.189±0.099	72.58±13.85	13.1±1.3	23.50 ^c ±5.66
	2	68.8 ^d ±14.7	1.255±0.069	80.70±10.09	12.3±0.6	23.90 ^c ±3.94
	3	77.7 ^b ±5.5	1.201±0.066	76.86±6.39	13.5±1.2	24.61 ^{bc} ±2.73
	4	79.9 ^a ±4.8	1.267±0.105	84.33±15.20	12.6±1.4	26.66 ^b ±3.60
	5	63.8 ^c ±16.2	1.263±0.089	84.25±11.58	13.4±1.4	27.75 ^{ab} ±2.51
	6	57.1 ^f ±20.4	1.258±0.114	82.68±15.21	12.9±1.9	28.49 ^a ±2.80
	7	59.6 ^f ±18.5	1.216±0.069	79.60±4.52	13.5±1.5	28.07 ^a ±4.81

注: 同一指标数据的上标小写英文字母不同表示相互之间存在显著差异。下同。

Notes: The data in the same line with different superscript lower-case English letters mean significant differences. The same as below.

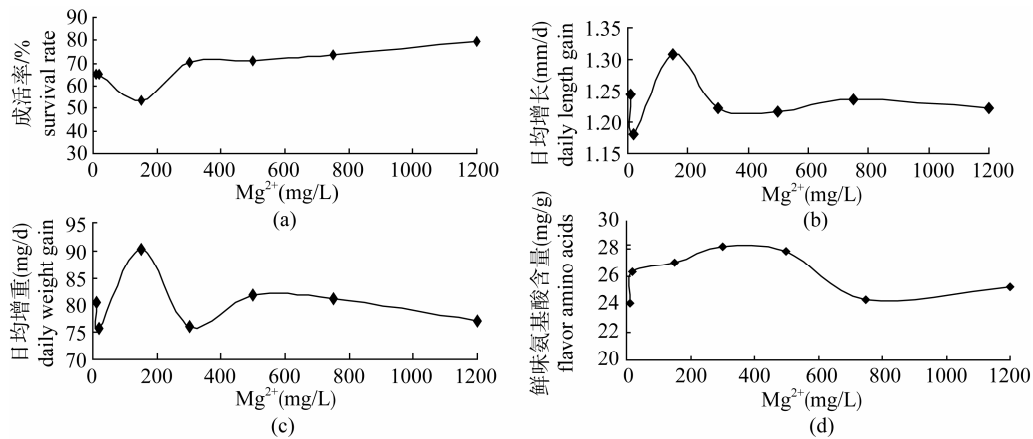


图 2 不同 Mg²⁺含量下凡纳滨对虾的成活率、日均增长值、日均增重量、鲜味氨基酸含量
(a) 成活率; (b) 日均增长值; (c) 日均增重量; (d) 鲜味氨基酸量。

Fig. 2 The survival rate, daily length gain, daily weight gain, flavor amino acids of *L. vannamei* at different Mg²⁺ concentration

(a) survival rate; (b) daily length gain; (c) daily weight gain; (d) flavor amino acids.

图 2-d 表明虾体内风味氨基酸含量随 Mg²⁺浓度增加而逐渐升高。方差分析表明在 Mg²⁺浓度为 750 mg/L 和 1 200 mg/L 时风味氨基酸含量较高, Mg²⁺浓度为 10 mg/L 时风味氨基酸含量最低 (P<0.05)。

2.3 盐度对凡纳滨对虾存活、生长及成虾风味的影响

由表 3 知盐度对凡纳滨对虾成活率具有显著影响, 盐度为 10 时, 成活率最高, 在 30 和 35 时, 其成活率较低, 且从图 3-a 可发现盐度由 0.5 上升

到 10 时凡纳滨对虾成活率逐渐升高, 此后随盐度增加逐渐降低。

虽然表 3 数据表明水体盐度对凡纳滨对虾体长和体质量的增加无显著影响, 但除去盐度为 5 水平外, 对虾生长与盐度的关系如图 3-b 和图 3-c 折线, 呈抛物线状趋势, 生长速度在盐度为 10~20 时较快。

由图 3-d 知虾肉风味氨基酸含量随水体盐度升高而呈逐渐增加趋势, 且各盐度水平对虾肉风味氨基酸含量间存在显著差异, 盐度为 35 和 20 时, 风味氨基酸含量最高, 盐度为 0.3 时, 风味氨基酸含量最低, 仅为 23.50 mg/g。

2.4 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味影响极差分析

Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味影响极差分析见表 4。表 4 表明 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活的影响大小依次为

Mg²⁺、Ca²⁺、盐度; 而对生长的影响 Ca²⁺、Mg²⁺较大, 盐度最小; 盐度对风味氨基酸含量影响最显著, Mg²⁺、Ca²⁺次之。

2.5 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度间交互作用对凡纳滨对虾存活、生长及虾体风味影响

表 5 为 Ca²⁺、Mg²⁺与盐度三者之间对凡纳滨对虾存活、生长、鲜味氨基酸影响的交互作用结果, 数据表明 Ca²⁺、Mg²⁺交互作用对凡纳滨对虾成活率、体质量日均增长有显著影响; Ca²⁺、盐度交互作用对成活率具有显著影响; Mg²⁺、盐度交互作用对各试验指标均没有显著影响。同时还看出该试验中 Ca²⁺对凡纳滨对虾成活率、体长日均增长、体质量日均增长及鲜味氨基酸含量都有显著影响, Mg²⁺对成活率、体质量日均增长及肌肉鲜味氨基酸含量具有显著影响, 盐度对成活率及肌肉鲜味氨基酸含量具有显著影响, 这与前一试验结果一致。

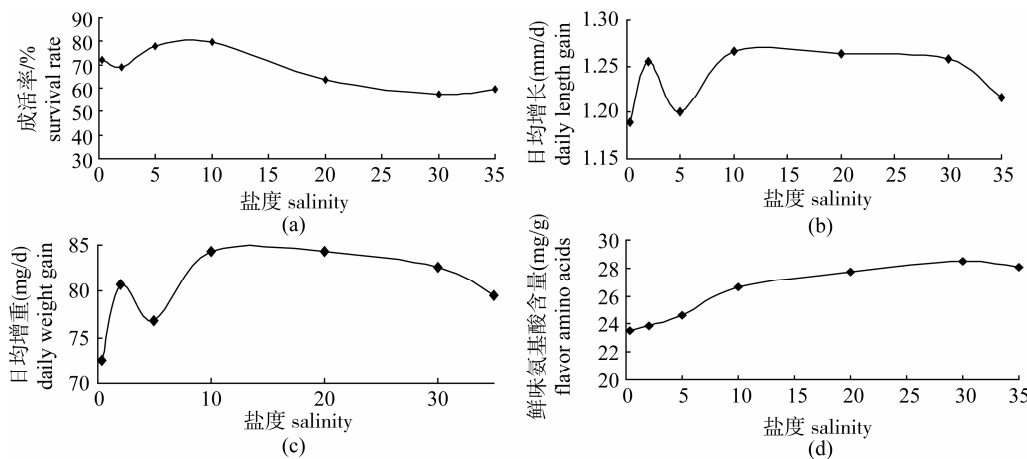


图 3 不同盐度下凡纳滨对虾的成活率、日均增长值、日均增重量、鲜味氨基酸含量 (a) 成活率; (b) 日均增长值; (c) 日均增重; (d) 鲜味氨基酸量。

Fig. 3 The survival rate, daily length gain, daily weight gain, flavor amino acids of *L. vannamei* at different salinity

(a) survival rate; (b) daily length gain; (c) daily weight gain; (d) flavor amino acids.

表 4 Ca²⁺、Mg²⁺、盐度对凡纳滨对虾存活、生长、鲜味氨基酸影响极差分析

Tab. 4 Range analysis of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity to survival, growth and flavor amino acids of *L. vannamei*

因素 factor	极差 range			
	成活率 survival rate	体长日均增长 daily length gain	日均增重 daily weight gain	鲜味氨基酸含量 flavor amino acids
Ca ²⁺	1.74	6.80	5.64	27.45
Mg ²⁺	1.85	5.40	6.23	28.60
盐度 salinity	1.72	5.18	4.94	34.93

表 5 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾存活、生长、鲜味氨基酸交互效应Tab. 5 The interaction effect of Ca^{2+} , Mg^{2+} and salinity on survival, growth and flavor amino acids of *L. vannamei*

因素 factor	水平 level	成活率/% survival rate	体长日均增长/(mm/d) daily length gain	体质量日均增长(mg/d) daily weight gain	鲜味氨基酸含量(mg/g) flavor amino acids
Ca^{2+}	1	43.0 ^b ±25.7	1.079 ^b ±0.046	68.750 ^b ±6.71	25.27±2.52
	2	70.0 ^a ±21.2	1.222 ^a ±0.045	79.792 ^a ±4.31	26.91±3.32
Mg^{2+}	1	48.5 ^b ±19.4	1.131±0.103	71.250 ^b ±9.25	24.02 ^b ±2.46
	2	64.5 ^a ±31.1	1.170±0.055	77.292 ^a ±4.53	28.16 ^a ±2.02
盐度 salinity	1	70.0 ^a ±17.3	1.182±0.089	76.375±9.26	24.38 ^b ±3.23
	2	43.0 ^b ±28.0	1.119±0.067	72.167±5.48	27.80 ^a ±1.55
Ca^{2+} × Mg^{2+}	1	69.5 ^a ±28.8	1.128±0.095	70.708 ^b ±9.43	26.61±3.17
	2	43.5 ^b ±16.8	1.173±0.066	77.833 ^a ±3.18	25.57±2.85
Ca^{2+} ×salinity	1	67.5 ^a ±14.6	1.138±0.050	72.417±6.69	25.83±2.83
	2	45.5 ^b ±31.6	1.162±0.108	76.125±8.54	26.35±3.25
Mg^{2+} ×salinity	1	56.5±27.5	1.156±0.085	72.833±7.66	25.43±3.80
	2	56.5±26.6	1.144±0.084	75.708±7.86	26.75±1.85

3 讨论

3.1 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾存活的影响

Dall 等^[13]提出水体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾存活具有重要影响,对虾类的表皮薄而柔软,在淡化养殖水体中, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子含量较低,对虾难以吸收足够的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 维持正常的生理功能,从而影响对虾的存活^[13-14],本次试验结果与之一致。比较图 1-a、图 2-a、图 3-a 可发现 Ca^{2+} 为 100 mg/L 与 400 mg/L,盐度为 10、 Mg^{2+} 为 1 200 mg/L 时,凡纳滨对虾成活率最高,可能是凡纳滨对虾成虾多生活于沿岸海水水域,幼虾喜欢在河口地区觅食生长所致^[1]。当 Ca^{2+} < 100 mg/L 时成活率随 Ca^{2+} 浓度增加逐渐升高,此与陈昌生等^[15]研究得出的凡纳滨对虾在钙镁离子含量极低的蒸馏水中不能存活且存活率随着 Ca^{2+} 浓度的逐渐增加而提高的结论基本一致。 Mg^{2+} 300 mg/L 时,对虾存活率随 Mg^{2+} 增加而上升,陈昌生等^[15]也有类似报道。虽然凡纳滨对虾成活率最高盐度水平为 10,稍低于朱春华等^[7]报道的 18,两者的不同可能是因 Ca^{2+} 与盐度对凡纳滨对虾的存活有显著的交互效应,而本试验结果是在剔除 Ca^{2+} 、 Ca^{2+} 与盐度交互效应基础上所得所致,但两者盐度都属于半咸水盐度范围。当盐度 20 时,成活率显著降低,甚至低于 0.5 水平,此可能是凡纳滨对虾在低盐度时能很好地进行渗透调节,但不能很好适应高盐环境所致^[6]。但盐度低于 5 时,成活率虽仍较高,但与 Mg^{2+} < 300 mg/L 时一致,对虾成活率与盐度、

Mg^{2+} 含量之间关系不如盐度 20、 Mg^{2+} 300 mg/L 下那样有规律,也即波动较大。同时试验中发现盐度为 2, Ca^{2+} 为 500 mg/L, Mg^{2+} 为 750 mg/L 的试验组对虾成活率最高,为 95%,盐度为 35、 Ca^{2+} 为 500 mg/L、 Mg^{2+} 为 1 200 mg/L,盐度为 30、 Ca^{2+} 为 60 mg/L、 Mg^{2+} 为 1 200 mg/L($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}=20$)和盐度为 20、 Ca^{2+} 为 200 mg/L、 Mg^{2+} 为 10 mg/L($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}=0.05$)试验组的对虾成活率也较高,分别达到 86%、78%、83%,高于所有试验组的平均成活率 65.8%,此与谢达祥等^[2]、刘存歧等^[3]、陈昌生等^[15]的报道不相一致,可见不仅 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度,也即硬度和盐度显著影响凡纳滨对虾的存活,而且 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 与盐度对凡纳滨对虾的存活有显著的交互效应,而三者对凡纳滨对虾存活的具体影响还需作进一步的深入研究。因此对于不同水质类型水体养殖凡纳滨对虾,首先考虑的是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量与盐度之间的相对关系,其次再考虑各自的绝对含量。对于淡水养殖环境,因盐度、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 均较低,特别是 Mg^{2+} 含量甚低,应因地制宜,可通过适量提高盐度,或增加 Mg^{2+} 含量,或两者均增加,以促进对虾存活提高成活率,此均已在我国江南山区凡纳滨对虾养殖生产中得到实践证明。

3.2 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾生长的影响

虾类的生长是通过蜕皮来实现阶梯式增长的,而在每次蜕皮后表皮钙化需要大量的钙质,Dall 等^[13]研究发现对虾类体内没有钙的储存机制,蜕皮后早期钙化对钙的需要量突然增加,必须从水中吸获得,如果 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 质量浓度较低,蜕皮后表

面钙化困难,导致蜕皮时间间隔的延长,生长缓慢,且当水体中 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,其生长速度便较快^[16-17]。本试验中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对凡纳滨对虾生长速度的影响具有显著差异, Ca^{2+} 浓度为 50 mg/L, Mg^{2+} 浓度为 30 mg/L,盐度为 0.3 时,凡纳滨对虾生长速度均最低,由此说明钙镁含量低会明显制约凡纳滨对虾的生长速度,而盐度太低又影响到凡纳滨对虾的渗透压调节,使得渗透压调节的耗能增加,能量转换效率降低,从而导致其生长速度减慢,这与 Panikkar^[18]关于对虾的渗透压研究相吻合。而 Ca^{2+} 浓度为 100、300 mg/L, Mg^{2+} 浓度为 150 mg/L 时凡纳滨对虾生长速度最快,虽然 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度均不是最高水平,但其含量已满足凡纳滨对虾蜕皮后甲壳的钙化。而生长速度最快时的盐度为 10 和 20 也再次说明凡纳滨对虾在等渗环境时其能量消耗最少,生长速度最快。同时试验发现 Ca^{2+} 超过 100 mg/L, Mg^{2+} 超过 150 mg/L,盐度超过 10 时,对虾生长速度已变化不大,由此可见,在低盐、低钙、低镁条件下,对虾体内离子的补充,对凡纳滨对虾的生长起关键作用,而且 Ca^{2+} 与盐度对其生长也有显著的交互作用影响,所以在考虑其中一个因子时也要关注另一个因子对其影响。

综上所述, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 作为凡纳滨对虾生长存活的限制性因子,在其离子浓度较低时都明显限制了凡纳滨对虾生长存活,因此在淡水养殖条件下应尽可能的满足凡纳滨对虾蜕皮所需要的钙镁离子量,同时适当增加水体盐度更有利于其生长存活。

3.3 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾虾体风味的影响

虾体风味主要由体内风味氨基酸种类及含量决定的,包括鲜味氨基酸和甘味氨基酸^[19-20]。活动敏捷的海洋甲壳类动物中,游离氨基酸不仅对其机体细胞内的渗透压调节起着重要的作用,而且其中的风味氨基酸也决定着水产品的味道品质,从而影响水产品的经济价值^[21]。试验得出养殖水体盐度显著影响凡纳滨对虾虾体肌肉风味氨基酸含量,盐度越高风味氨基酸含量也越高。与黄凯等^[12]、潘英等^[22]等报道的盐度对凡纳滨对虾风味有一定影响且盐度高时其风味更佳的结论一致,也和 Dalla^[23]得出的盐度对日本囊对虾(*Marsupenaeus*

japonicus)游离氨基酸含量的影响报道一致。

Shahidi^[24]曾指出养殖水体中的矿物元素的离子浓度也可以影响水产品风味,其中包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。试验得出 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 显著影响凡纳滨对虾虾体肌肉风味氨基酸含量,含量越高风味氨基酸含量也越高,可见提高矿物元素离子可以提高虾体风味。试验得出盐度为 35, Ca^{2+} 为 500 mg/L, Mg^{2+} 为 750 mg/L 水平时凡纳滨对虾的风味氨基酸含量均最高,也就是说在硬度较高或海水中养成的凡纳滨对虾风味更好,此可能就是生长于海水中的虾口感明显好于淡水虾的主要原因。可见对于内陆地区淡化养殖水体中饲养凡纳滨对虾可通过适当提高水体盐度及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量,亦或者成虾上市前一段时间提高一下水体盐度,使养成后虾体风味更佳。

参考文献:

- [1] 张伟权. 世界重要养殖品种—南美白对虾生物学简介[J]. 海洋科学, 1990(3): 69-73.
- [2] 谢达祥, 陈晓汉. 水体中钙和镁对凡纳滨对虾幼体成活率和生长的影响[J]. 水利渔业, 2007, 27(5): 46-51.
- [3] 刘存歧, 刘丽静, 张亚娟, 等. 基于卤水的养殖用水中 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 对凡纳滨对虾生长及体内 SOD AKP 的影响[J]. 水产科学, 2007, 26(2): 67-69.
- [4] 斯塔姆 W, 摩尔根 J J. 水化学: 天然水体化学平衡导论[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [5] 雷衍之, 臧维玲. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [6] Rodriguez G A. Osmoregulation and total serum protein of two species of penaeid shrimps from the coast of Mexico[J]. Journal of Crustacean Biology, 1981(1): 392-400.
- [7] 朱春华. 盐度对南美白对虾生长性能的影响[J]. 水产养殖, 2002(3): 25-27.
- [8] Peñaflores V D. Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juvenile shrimp, *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 1999, 172(3-4): 281-289.
- [9] Davis D A. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. Aquaculture, 172 (1999) 281-289.
- [10] 臧维玲, 戴习林, 张建达, 等. 罗氏沼虾育苗水中 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量及 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 对出苗率的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 552-557.
- [11] 臧维玲, 林喜臣, 戴习林. 淡化方式与盐度对凡纳滨对虾幼虾生长的影响[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(4): 308-312.
- [12] 黄凯, 蒋焕超, 吴宏玉, 等. 盐度对凡纳滨对虾肌肉中游离氨基酸含量的影响[J]. 海洋渔业, 2010, 32(4): 422-426.

- [13] Dall W, Smith D M. Ionic regulation of four species of panacid prawn[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1981, 55, 219–232.
- [14] 雷衍之. 淡水养殖水化学[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1993: 76–77.
- [15] 陈昌生, 纪德华, 王兴标. Ca²⁺、Mg²⁺对凡纳滨对虾存活及生长的影响[J]. *水产学报*, 2004, 28(4): 413–418 .
- [16] Digby P S B. Calcification in crustacean: the fundamental process[J]. *Physiologist*, 1980, 23: 105.
- [17] Dong S L, Du N S, Lan W. Effects of pH and Ca²⁺ concentration on growth and energy budget of *Macrobrachium nipponense*[J]. *Fish China*, 1994, 18(2): 118–122.
- [18] Panikkar N K. Osmotic behavior of shrimps and prawns in relation to their biology and culture [J]. *FAO Fish Rep*, 1968, 57: 527–538 .
- [19] 武彦文, 欧阳杰. 氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J]. *中国调味品*, 2001(1): 20–22 .
- [20] 刘纯洁, 张娟婷. 食品添加剂手册[M]. 北京: 中国展望出版社, 1988: 157–160.
- [21] 施腺芳. 鱼类生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 156–159.
- [22] 潘英, 王如才, 罗永巨, 等. 海水和淡水养殖南美白对虾肌肉营养成分的分析比较[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(6): 828–834.
- [23] Dalla V G L. Salinity responses of the juvenile penned shrimp *Penaeus japonicus*[J]. *Aquaculture*, 1986, 55 (4): 307–316.
- [24] Shahidi F. 肉制品与水产品的风味[M]. 2版. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.

Effect of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity on survival, growth and shrimp taste of *Litopenaeus vannamei*

DAI Xi-lin^{1*}, ZHANG Li-tian¹, ZANG Wei-ling¹, DENG Ping-ping¹,
ZOU Wei-li¹, DING Fu-jiang²

(1. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Co. Ltd, Shanghai 201376, China)

Abstract: Salinity, calcium and magnesium play key roles in the survival and growth of *Litopenaeus vannamei*. In the present study, two experiments were conducted to test the effect of salinity, calcium and magnesium on survival, growth and flavor of the shrimp, *L. vannamei*. The first experiment designed using the Taguchi method with three factors (Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity), each with 7 levels (L49), was run for 60 days to analyze the independent role of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity on the survival, growth and flavor of *L. vannamei*. Additionally, a L8 test of three factors, each with two levels, was conducted to analyze the interaction of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity on the survival, growth and flavor of *L. vannamei*. The results showed that Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity significantly affect the survival and flavor amino acids of *L. vannamei*, and Ca²⁺ and Mg²⁺ significantly influence the growth. The highest survival rate was observed at Ca²⁺ of 100 mg/L and 400 mg/L, Mg²⁺ of 1200 mg/L, and salinity of 10; The growth did not significantly change at Ca²⁺ of 200 mg/L, and Mg²⁺ of 300 mg/L. The highest length and weight gains were found at Ca²⁺ of 100 mg/L, Mg²⁺ of 150 mg/L and salinity of 10-20; The content of flavor amino acids increased with the increase of Ca²⁺, Mg²⁺ and salinity, and the highest content of flavor amino acids occurred at Ca²⁺ of 400 mg/L, Mg²⁺ of 750 mg/L, and salinity of 20 and 35. Low salinity and concentration of Ca²⁺, Mg²⁺ significantly reduced the growth and survival of the shrimp. The interaction between Ca²⁺ and Mg²⁺ was significant on survival and daily weight gain of the shrimp, and the combined effect of Ca²⁺ and salinity was significant on survival of the shrimp. However, the interaction between Mg²⁺ and salinity was not significant on any of the three parameters.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; Ca²⁺; Mg²⁺; salinity; growth; flavor amino acids

Corresponding author: DAI Xi-lin. E-mail: xldai@shou.edu.cn