

饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响

王兴强¹, 马 甦², 董双林², 阎斌伦¹

(1. 淮海工学院 江苏省海洋生物技术重点建设实验室, 江苏 连云港 222005; 2. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要:研究了饲料中添加氯化钠(0, 0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40%, 0.80%, 1.60%, 3.20%, 6.40%和 12.80%)对体湿质量为 1.041~1.104 g 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的存活、生长和能量收支的影响。实验周期 30 d。结果表明:饲料中添加氯化钠显著地影响对虾的存活率、特定生长率和饲料转换效率,而对摄食量和吸收效率的影响不显著;在 0.80%氯化钠水平,凡纳滨对虾的特定生长率显著高于 0, 3.20%, 6.40%和 12.80%氯化钠水平,但与其它处理差异不显著。

关键词:氯化钠;凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*);存活;生长;能量收支

中图分类号: S9; Q95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2006)11-0064-05

Na⁺和 Cl⁻是水生动植物细胞外液的主要阳离子和阴离子,它们所产生的渗透浓度约占细胞外液总渗透浓度的 90%^[1]。在正常海水中,海洋动物有充分的能力来调节体内 Na⁺和 Cl⁻的浓度:不足时,可以通过减少排出,增加吸收和储存来满足机体的需要;过多时,又可借助于水介质排出,因而未发现其缺乏症^[2]。而在淡水或者低盐度环境中,海洋动物体内的 Na⁺和 Cl⁻会不断地渗透到体外;为了维持体内的离子平衡,海洋动物必须从水体和食物中吸收大量的 Na⁺和 Cl⁻。Gwang-Sic 等^[3]研究发现,随着饲料中氯化钠含量的升高,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)存活率和饲料转换效率提高,抵抗盐度胁迫的能力增强。学者们推测,随着饲料中氯化钠含量的提高,海洋动物对 Na⁺和 Cl⁻的主动吸收加快,血淋巴渗透浓度也会随之升高,从而影响其渗透调节^[4,5]。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)能在低盐度水体甚至淡水中存活和生长,但与正常盐度相比,其存活率和生长速度显著降低。本实验旨在探讨在低盐度的条件下,饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响。

1 材料和方法

1.1 实验饲料

实验所用饲料配方见表 1。这些饲料是在能值

基本相等的基础上分别添加 0, 0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40%, 0.80%, 1.60%, 3.20%, 6.40%和 12.80% 10 个水平的氯化钠。饲料制成直径为 1.6 mm 的颗粒, 70 ℃ 下烘干, 4 ℃ 冷藏保存。

1.2 材料来源和淡化

实验在中国海洋大学教育部海水养殖实验室进行。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)幼虾购自海南省一育苗场(平均湿质量 0.95 g±0.32 g),对虾在一个玻璃纤维水槽(200 cm×100 cm×100 cm)中暂养 1 周,水温 25.0 ±0.5 ℃,盐度 31,然后每天以 5 的盐度降至 1,并适应 3 d。低盐度海水用过滤海水加自来水配制(含盐量约为 0.5 ‰)。

1.3 实验设计和管理

实验采用单因子 10 水平设计,每个水族箱(60 cm×45 cm×40 cm,养殖水体 80 L)放养 5 尾对虾,

收稿日期:2004-12-06;修回日期:2006-08-09

基金项目:国家农业跨越计划项目(K2002-15);江苏省自然科学基金项目(BK2006548);江苏省海洋生物技术重点建设实验室开放基金(2006HS017)

作者简介:王兴强(1975-),男,山东济宁人,讲师,博士,从事水生动植物营养生理生态研究,电话:0518-2785867,E-mail:xqwangcaomei@yahoo.com.cn

表 1 饲料配方

Tab.1 Ingredient and proximate composition of the experimental diets

基础饲料 组成	NaCl 的质量分数(%)									
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4	12.8
鱼粉	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2	32.2
豆粕	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
花生粕	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
面粉	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
鱼油	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
复合维生素	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
复合矿物质	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
纤维素	12.8	12.75	12.7	12.6	12.4	12	11.2	9.2	6.4	0
营养成分	质量分数(%)									
水分	6.65	6.05	6.75	6.40	6.42	6.91	6.75	6.31	6.81	6.10
粗蛋白	37.52	36.69	37.63	37.64	37.83	36.63	38.06	37.45	37.75	36.64
脂肪	5.88	5.94	5.95	5.89	5.91	5.81	5.99	6.04	5.96	5.93
灰分	10.32	10.31	10.25	10.42	10.58	10.77	11.54	12.99	16.01	22.42
能值(kJ/g)	17.69	17.47	17.70	17.73	17.71	17.42	17.85	17.68	17.67	17.33

注：基础饲料中 NaCl 质量分数为 1.85%；复合维生素，1 000 g 饲料包括：B₁ 60 mg，核黄素 100 mg，叶酸 10 mg，B₆ 140 mg，烟酸 400 mg，泛酸钙 140 mg，氯化胆碱 4 000 mg，肌醇 4 000 mg，Vc 4 000 mg，生物素 2 mg，对氨基苯甲酸 150 mg，V_E 400 mg，V_K 34 mg，B₁₂ 0.8 mg，V_A 150 000 IU，D₃ 60 000 IU；复合矿物质（无 Na⁺·Cl⁻），1 000 g 饲料包括：Ca (H₂PO₄)₂ 8.800 g，CaCO₃ 8.240 g，K₂HPO₄ 4.000 g，MgSO₄·7H₂O 5.095 g，FeSO₄·7H₂O 0.400 g，ZnSO₄·7H₂O 0.432 g，MnSO₄·H₂O 0.080 g，CuSO₄·5H₂O 0.008 g，KI 0.016 g，Na₂SeO₃ 0.001 g

每个水平设 3 个重复，共 30 个水族箱。实验前停食 24 h，用 MP-120 型电子天平称其初始质量（表 2）。日投饵两次（06:00 和 18:00），过量投饵；投饵 2.5 h 后从每个水族箱收集残饵、粪便和虾壳，70℃ 烘干后保存。每天换水约 2/3，溶解氧维持在 6.0 mg/L 以上，pH 7.7~8.2，光周期 14 L:10 D，水温 25.0 ± 0.5℃，盐度 1。实验周期为 30 d。

1.4 能量测定及收支计算

生长指标计算公式为：特定生长率=100×(ln 末干质量-ln 初干质量)/实验天数；饲料转换效率=100×(末干质量-初干质量)/摄食量；能量转换效率=100×(末能量-初能量)/摄食能；吸收效率=100×(摄食量-排粪量)/摄食量。

对虾的摄食能、生长能、呼吸能、排泄能、排粪能和蜕壳能用 1281 型氧弹仪测定（Parr Instrument，USA），并且符合能量收支式：摄食能=生长能+呼吸能+排泄能+排粪能+蜕壳能。排泄能计算公式：排泄能=(摄食氮-生长氮-排粪氮-蜕壳氮)×24830，式中

24830 为每克氮的能值（J/g）^[6]。预实验表明，对虾的主要排泄物为氨氮，尿素排泄量很少，因而在本研究中忽略不计。氮含量用 P-E-240 型元素分析仪测定。呼吸耗能则由能量收支式求出。

1.5 数据处理

所得数据用单因素方差分析、Turkey's 多重比较以及回归分析进行处理，以 P<0.05 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾存活和生长的影响

结果和变量分析见表 2。单因素方差分析表明，饲料中添加氯化钠显著地影响对虾的存活率、特定生长率和饲料转换效率，而对摄食量和吸收效率的影响不显著。Turkey's 多重比较发现，在 0.80% 氯化钠水平凡纳滨对虾的特定生长率显著高于 0，3.20%，6.40% 和 12.80% 氯化钠水平，但与其它处理差异不显著。

2.2 饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾能量收支的影响

结果和变量分析见表 3。能量分配中呼吸能的支出占最大比例,占摄食能 67.81%~75.26%;其次是生长能部分,占摄食能的 11.12%~20.32%;排泄能、排粪能和蜕壳能是能量支出中较小的部分,分别占摄食能的 5.09%~5.69%, 5.73%~6.63%和 0.97%~1.29%。

单因素方差分析表明,饲料中添加氯化钠显著的影响对虾生长能、呼吸能和排泄能组分,而对排粪能和蜕壳能组分的影响不显著。Turkey's 多重比较发现,在 0.80%氯化钠水平对虾生长能占摄食能的比例显著高于其它处理组,而在 12.80%氯化钠水平对虾生长能占摄食能的比例显著低于其它处理组。

表 2 饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾存活、生长、摄食、转换和吸收的影响

Tab.2 The effects of sodium chloride in diets on survival, growth, food consumption, food efficiency and absorption efficiency of *L. vannamei* juveniles

NaCl (%)	存活率 (%)	初质量 (g)	末质量 (g)	特定生长率 (%)	摄食量 (g)	饲料转换效率 (%)	吸收效率 (%)
0.00	80.00±0.00 ^{bc}	1.050±0.015	3.843±0.325 ^{abc}	4.58±0.26 ^{bcd}	3.741±0.377	16.64±0.26 ^b	75.61±0.55
0.05	80.00±0.00 ^{bc}	1.074±0.014	4.177±0.387 ^{abc}	4.80±0.27 ^{abcd}	4.189±0.525	16.61±0.29 ^b	76.35±0.23
0.10	93.33±11.55 ^{ab}	1.072±0.031	4.148±0.446 ^{abc}	4.81±0.43 ^{abcd}	4.092±0.611	17.01±0.06 ^b	75.87±1.04
0.20	86.67±11.55 ^{abc}	1.070±0.037	4.784±0.615 ^a	5.31±0.36 ^{ab}	4.904±0.880	17.23±0.43 ^b	76.20±0.74
0.40	100.00±0.00 ^a	1.041±0.046	4.459±0.155 ^{ab}	5.43±0.11 ^{ab}	4.472±0.115	19.05±0.29 ^a	76.57±1.40
0.80	100.00±0.00 ^a	1.073±0.034	4.863±0.504 ^a	5.63±0.46 ^a	4.863±0.656	19.54±0.23 ^a	76.95±1.57
1.60	100.00±0.00 ^a	1.104±0.011	4.568±0.466 ^{ab}	5.25±0.32 ^{abc}	4.508±0.585	18.82±0.15 ^a	76.74±1.19
3.20	93.33±11.55 ^{ab}	1.053±0.018	3.756±0.133 ^{abc}	4.76±0.15 ^{bcd}	3.994±0.311	16.77±0.51 ^b	75.38±1.01
6.40	66.67±11.55 ^c	1.050±0.019	3.660±0.321 ^{bc}	4.42±0.24 ^{cd}	3.982±0.463	14.64±0.14 ^c	75.97±1.37
12.80	60.00±0.00 ^c	1.097±0.013	3.300±0.186 ^c	3.96±0.17 ^d	4.142±0.260	12.06±0.41 ^d	75.03±1.36

注:同一列中具有不同上标字母的平均值组间差异显著 ($P<0.05$)

表 3 饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾能量收支的影响

Tab.3 The effects of sodium chloride in diets on energy budget of *L. vannamei* juveniles

NaCl (%)	摄食能 (kJ/(g·d))	占摄食能的百分比 (%)				
		生长能	呼吸能	排泄能	排粪能	蜕壳能
0.00	2.36±0.24	15.52±0.27 ^e	71.63±0.50 ^{cd}	6.19±0.04 ^c	5.64±0.13	1.03±0.26
0.05	2.60±0.33	17.81±0.31 ^c	69.70±0.54 ^e	5.84±0.05 ^{de}	5.45±0.05	1.20±0.28
0.10	2.59±0.39	18.67±0.10 ^{bc}	69.06±0.25 ^e	5.87±0.02 ^d	5.43±0.23	0.98±0.12
0.20	3.10±0.57	18.92±0.49 ^b	68.89±0.44 ^{ef}	5.87±0.06 ^d	5.35±0.17	0.97±0.19
0.40	2.78±0.07	18.76±0.28 ^b	69.17±0.53 ^e	5.77±0.05 ^{de}	5.20±0.31	1.10±0.26
0.80	3.08±0.42	20.32±0.24 ^a	67.81±0.29 ^f	5.73±0.01 ^e	5.14±0.35	1.00±0.14
1.60	2.88±0.37	16.52±0.12 ^d	71.09±0.31 ^d	6.20±0.01 ^c	5.09±0.26	1.11±0.31
3.20	2.51±0.20	14.50±0.40 ^f	72.48±0.33 ^{bc}	6.26±0.05 ^c	5.55±0.23	1.21±0.18
6.40	2.52±0.29	13.47±0.12 ^e	73.56±0.25 ^b	6.49±0.02 ^b	5.44±0.31	1.03±0.11
12.80	2.55±0.16	11.12±0.41 ^h	75.26±0.56 ^a	6.63±0.06 ^a	5.69±0.31	1.29±0.08

注:同一列中具有不同上标字母的平均值组间差异显著 ($P<0.05$)

3 讨论

关于饲料中添加氯化钠对水生生物影响的研究见表 4。从目前阐明的种类来看,有以下 3 种类型:(1)提高存活率,促进生长,这在虹鳟鱼^[3,7],美国红鱼^[4]和罗非鱼^[9]等中已得到证实。(2)对水生生物的存活率和生长无显著影响。Liu 等^[13]在中国明对虾饲料中添加了 0.0%~1.5%的 Na⁺,未发现其对对虾有任何促生长作用;Murray 和 Andrews^[10]在斑点叉尾鮰饲料中添加 0.0%~2.0%的食盐,发现其组间并无显著差异。(3)抑制水生生物的生长。Duston^[5]研究发现,在大西洋鲑饲料中添加过量的盐,其生长和饲料效率明显下降。这可能是因为由于大量无机离子的摄入大大超过了鱼体的处理能力,影响了鱼体的渗透平衡和离子平衡^[2]。本研究结果表明,海生的凡纳滨对虾,经淡化在盐度 1 的水体中饲养,饲料中添加氯化钠对其生长和转换效率影响显著。在 0.80%氯化钠水平凡纳滨对虾的特定生长率和饲料转换效率最高,而在 12.80%氯化钠水平凡纳滨对虾的特定生长率和饲料转换效率最低(表 2)。

表 4 水生动物饲料中氯化钠的适宜添加量
Tab.4 The optimum content of sodium chloride in artificial feed for aquatic animals

种类	适宜添加量
1 虹鳟鱼 ^[3] (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	2.5%
2 虹鳟鱼 ^[7] (<i>Salmo gairdneri</i>)	4%
3 鲤鱼 ^[8] (<i>Cyprinus carpio</i>)	1.5%
4 罗非鱼 ^[9] (<i>Oreochromis niloticus</i>)	8%
5 美国红鱼 ^[4] (<i>Sciaenops ocellatus</i>)	2%
6 斑点叉尾鮰 ^[10] (<i>Ictalurus punctatus</i>)	无需添加
7 虹鳟鱼 ^[11] (<i>Salmo gairdneri</i>)	无需添加
8 真鲷 ^[12] (<i>Chrysophrys major</i>)	无需添加
9 中国明对虾 ^[13] (<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	无需添加
10 大西洋鲑 ^[5] (<i>Salmo salar</i>)	抑制生长

本研究中,0.80%氯化钠饲料添加组对虾的呼吸能和排泄能占摄食能的比例最低,故该虾在此氯化钠水平时用于维持体内环境稳定的耗能最少,能量转换效率最高(表 3),此时的特定生长率也最大(表 2)。但在 12.80%氯化钠水平,对虾的呼吸能和排泄能占

摄食能的比例显著高于其它处理,而生长能占摄食能的比例显著低于其它处理。这表明凡纳滨对虾在氯化钠摄入量过量的情况下,要消耗较多的能量来排出体内过多的 Na⁺和 Cl⁻,造成代谢耗能增加,实际的能量利用效率降低。不过,饲料中添加氯化钠对凡纳滨对虾排粪能占摄食能的比例影响不显著,这说明凡纳滨对虾的能量利用效率虽然因氯化钠的过量摄入而降低,但对对虾所摄入饲料的吸收利用的能量机制还是正常的,这在虹鳟中已得到佐证^[7]。

参考文献:

- [1] Castille F L J, Lawrence A L. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology A**, 1981, **68**(1): 75-80.
- [2] Fang W H, Wang H, Lai Q F, *et al.* Effects of salinity on the osmotic and ionic concentrations in the hemolymph of *Penaeus orientalis*[J]. **Journal of Shanghai Fisheries University**, 1995, **4**(2): 122-127.
- [3] Gwang-Sic P, Toshio T, Masahito Y, *et al.* Effect of dietary sodium chloride levels on growth and tolerance to sea water of rainbow trout[J]. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, 1998, **64**(3): 469-474.
- [4] Gatlin D M, MacKenzie D S, Craig S R, *et al.* Effects of dietary sodium chloride on red drum juveniles in waters of various salinities[J]. **Progressive Fish-Culturist**, 1992, **54**(4): 220-227.
- [5] Duston J. Effects of dietary betaine and sodium chloride on seawater adaptation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.)[J]. **Comparative Biochemistry and Physiology A**, 1993, **105**(4): 673-677.
- [6] Elliott J M. Energy losses in the waster products of brown trout (*Salmon trout* L.)[J]. **Journal Animal Ecology**, 1977, **45**: 561-580.
- [7] Salman N A, Eddy F B. Effect of dietary sodium chloride on growth, food intake and conversion efficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson)[J]. **Aquaculture**, 1988, **70**(1-2): 131-144.
- [8] Nandeesh M C, Gangadhar B, Keshavanath P, *et al.* Effect of dietary sodium chloride supplementation on growth, biochemical composition and digestive enzyme activity of

- young *Cyprinus carpio* (Linn.) and *Cirrhinus mrigala* (Ham.)[J]. **Journal of Aquaculture in the Tropics**, 2000, 2: 135-144.
- [9] Fontainhas-Fernandes A, Russell-Pinto F, Gomes E, *et al.* The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from freshwater to seawater[J]. **Fish Physiology and Biochemistry**, 2000, 23(4): 307-316.
- [10] Murray M W, Andrews J W. Channel catfish: the absence of an effect of dietary salt on growth[J]. **Progressive Fish-Culturist**, 1979, 41(3): 155-156.
- [11] MacLeod M G. Relationships between dietary sodium chloride, food intake and food conversion in the rainbow trout[J]. **Journal of Fish Biology**, 1978, 13(1): 73-78.
- [12] Sakamoto S, Yone Y. Requirement of red sea bream for dietary Na and K[J]. **Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University**, 1978, 23(1-2): 79-84.
- [13] Liu F Y., He-fang L, Hui-liang W, *et al.* Requirements of shrimp, *Penaeus chinensis* O'Sbeck for potassium, sodium, magnesium and iodine[J]. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, 1995, 13(2): 141-146.

The effects of sodium chloride as a diet supplement on survival, growth and energy budget of *Litopenaeus vannamei* juvenile

WANG Xing-qiang¹, MA Shen², DONG Shuang-lin², YAN Bin-lun¹

(1. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;
2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Dec., 6, 2006

Key words: sodium chloride; *Litopenaeus vannamei*; survival; growth; energy budget

Abstract: The study was conducted to investigate the effects of sodium chloride as a diet supplement (0, 0.05%, 0.10%, 0.20%, 0.40%, 0.80%, 1.60%, 3.20%, 6.40% and 12.80%) on the survival, growth and energy budget of *Litopenaeus vannamei* juvenile with the initial wet body weight of 1.041g~1.104 g. The experiment lasted for 30 d. The results showed that I. Sodium chloride had significant effects on the survival, specific growth rate and food efficiency, but not on food consumption and absorption efficiency; II. The specific growth rate in shrimps fed diet with 0.80% of sodium chloride was significantly higher than those fed diet with 0, 3.20%, 6.40% and 12.80% of sodium chloride, but was not significantly different from other treatments.

(本文编辑：刘珊珊)