

文章编号: 1000 - 0615(2001)04 - 0373 - 06

综述 ·

水产动物 B 族维生素营养研究方法进展

Advances in methods of vitamin Bs nutrition studies on aquatic animals

朱 伟, 麦康森

(青岛海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

ZHU Wei, MAI Kang-sen

(College of Fisheries, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

关键词: 水产动物; 营养; B 族维生素

Key words: aquatic animals; nutrition; vitamin Bs

中图分类号: Q959.223; Q57 文献标识码: A

B 族维生素是一类具有辅酶功能的水溶性维生素, 主要包括硫胺素(B₁)、核黄素(B₂)、泛酸(B₃)、尼克酸和尼克酰胺(B₅)、吡哆醇(B₆)、生物素(B₇)、叶酸(B₁₁)及钴胺素(B₁₂), 它们在动物营养中起重要作用, 随着水产养殖的兴起, 对水产动物 B 族维生素的营养生理及需要量等的研究也发展迅速。近年来, 人们对水产动物 B 族维生素营养研究的方法进行了深入探索, 找到了一些反映维生素营养状况的生化指标, 并结合对生长和缺乏症的观察, 确定了一些水产动物 B 族维生素的需要量。总结这些研究方法, 特别是能够快速、准确反映维生素营养状况的生化指标, 对今后的研究具有重要的指导意义。

1 B 族维生素营养研究方法的三个层次

营养学中研究维生素的方法主要有以下几个不同层次: 第一个层次为喂给动物不含某种维生素的饲料, 观察其生长情况及缺乏症, 这样可以初步看出动物是否需要某维生素; 第二个层次为饲喂不同含量的某维生素的饲料, 观察其对生长的影响, 在确定其是否需要的同时, 还知道了需求量。但这两个层次的研究往往需要较长时间, 因为某种维生素的缺乏导致的缺乏症和生长速度的变化需要较长时间才表现出来, 有些甚至无明显缺乏症。而事实上, 远在外部缺乏症表现出来之前, 其体内的生理过程已发生变化, 正常的代谢已经受到影响。因此选择某种能够快速、敏感地反映体内特定维生素营养状况的生化指标, 对于维生素营养研究来说是非常重要的。所以第三个层次的研究方法是选择适合的生化指标, 结合前两个层次的研究, 对动物某种维生素的营养状况做出综合评价。

2 各种 B 族维生素在不同水产养殖动物中的缺乏症

由于 B 族维生素在动物体内的重要作用, 它们在体内缺乏时就表现出缺乏症, 即形态、行为或生理的异常。由于各种维生素所起作用不同及动物种类不同, 缺乏症也有所不同, 因此, 可以通过对缺乏症的观察, 了解维生素在体内的营养状况。

收稿日期: 2000 - 05 - 23

基金项目: 资助优秀青年教师基金[教人司(1988)9号]; 国家杰出青年科学基金(39925029)

第一作者: 朱 伟(1964 -), 男, 内蒙赤峰人, 副教授, 博士研究生。主要从事水产动物营养与饲料学的研究。E-mail: w-zhu@263.net

2.1 维生素 B₁ 缺乏症

鲑、斑点叉尾鲷、日本鳗鲡硫胺素缺乏症表现为厌食、生长缓慢、神经紊乱如刺激过敏及运动失调^[1,2]；真鲷表现为生长不良、皮下和鳍充血；鲤表现为鳍充血、神经过敏、色素减退和皮下出血^[3]。斑节对虾的缺乏症为厌食、体色变黑和运动失调^[4,5]。

2.2 维生素 B₂ 缺乏症

罗非鱼的核黄素缺乏症为嗜眠、鳍损伤、厌食、体色异常、体小、白内障和贫血。鲑鳟类表现为生长不良、厌食、白内障、眼球晶体和角膜粘连、黑色素沉着；斑点叉尾鲷表现为厌食、生长不良和鱼体发育不良；鲤表现为厌食、消瘦、死亡率高、心肌出血和肾坏死；真鲷表现为生长不良；日本鳗鲡表现为生长不良、皮炎、畏光、鳍充血及腹部充血^[3]；斑节对虾核黄素缺乏导致体色变浅，刺激过敏及腹节连接处表皮突起^[6]。

2.3 维生素 B₃ 缺乏症

泛酸缺乏，罗非鱼表现为出血、呆滞、死亡率高、贫血及严重的鳃瓣上皮细胞增生^[7]；鳟表现为厌食、营养不足、消瘦、鳃异常和高死亡率^[8]；鲑鱼类为厌食、生长抑制、营养不良性鳃病（棒状鳃、鳃渗出液增多、鳃丝混乱）、靠近水面游泳、饲料转化率低、消瘦和高死亡率^[9]；斑点叉尾鲷表现为厌食、体重下降、棒状鳃、贫血、高死亡率及皮肤、鳍、胡须糜烂^[10]；鲤为厌食、生长不良、嗜眠、贫血和眼球突出；日本鳗鲡表现为皮炎、表皮充血、生长不良及游动异常^[3]。

2.4 维生素 B₅ 缺乏症

在鱼类，维生素 B₅ 缺乏症表现为丧失食欲、生长缓慢、死亡率升高外，还有虹鳟对光过敏^[11]；鲤的皮肤及鳍损伤、出血^[12]；杂交罗非鱼的口鼻部和鳃的水肿^[13]；日本鳗鲡的运动失调、生长不良、表皮损伤、贫血；斑点叉尾鲷的表皮及鳍损伤、表皮出血、眼球突出、贫血、颌骨变形和鲑鳟鱼的表皮和鳍损伤、贫血^[3]。

2.5 维生素 B₆ 缺乏症

在鱼类表现为贫血、厌食、体色变黑、失去平衡、生长缓慢和高死亡率^[14-18]；大西洋鲑的维生素 B₆ 缺乏症为死亡率升高、行为异常、肾、卵巢和肝的退变、甲状腺减少、肾中造血组织增生^[15]。另外，斑点叉尾鲷有神经失调、抽搐、死亡率高、体呈蓝色的症状；日本鳗鲡表现为生长不良、厌食、癫痫性惊厥；鲑鳟表现为癫痫性惊厥、刺激过敏、螺旋状浮动、呼吸急促、鳃盖弯曲等^[3]。虾维生素 B₆ 缺乏症是增重缓慢、存活率降低、摄食减少^[4,19]。

2.6 维生素 B₁₁ 缺乏症：

鲑鱼表现为生长缓慢、红细胞异形和大小不均及巨红细胞贫血^[20]。斑点叉尾鲷死亡率增高^[21]及贫血及红细胞异形^[22]。

2.7 维生素 B₁₂ 缺乏症：

陆地单胃动物维生素 B₁₂ 缺乏症可导致食欲下降、造血机能受阻和生长缓慢^[23,24]。大麻哈鱼、斑点叉尾鲷和日本鳗鲡也有这些症状出现^[25]。鲑鱼^[26]维生素 B₁₂ 摄入不足，出现破碎红细胞数量高，并有小红细胞和低色素性贫血的征兆。

3 生化指标的选择

B 族维生素在体内主要是以辅酶形式存在的，其主要功能是参与酶促反应，因此能够反映 B 族维生素营养状况的生化指标主要有如下几点：维生素或其相关功能物质在体组织中的积累量；某维生素所参与的酶促反应的酶活性或活性系数；某维生素所参与的代谢途径中代谢物的积累或消耗。由于各种维生素在体内参与代谢的机理及功能不同，所以研究不同的维生素所选用的生化指标也不相同。

3.1 维生素 B₁

其主要辅酶形式焦磷酸硫胺素 (thiamin pyrophosphate, TPP)，主要参与 - 酮酸的脱羧反应，还参与胞液中磷酸戊糖途径的转酮醇基作用。

在鱼类，Covey 等^[27]用红细胞转酮醇酶活性作为确定比目鱼硫胺素最适需要量的指标。Masumoto 等^[28]比较了虹鳟红细胞和肝中转酮醇酶活性和焦磷酸硫胺素含量对胺素缺乏症的敏感性，发现 16 周后红细胞中转酮醇酶活性在饲喂硫胺素缺乏饲料时和对照组有明显不同，而肝脏中转酮醇酶活性在二者间无明显不同。肝和红细胞中的 TPP 水平在饲喂硫胺素缺乏饲料后明显降低。证明在虹鳟红细胞转酮醇酶活性及红细胞和肝 TPP 含量是衡量硫胺素营养状况较敏感的指标。

Boni 等^[29]提出焦磷酸硫胺素效应 (TPP 效应) 是硫胺素营养状况的更敏感的指标。实验显示，随着饲料硫胺素添加

量的升高, TPP 效应下降。

对于虾、蟹类甲壳动物,可用血淋巴中硫胺素、一磷酸硫胺素和焦磷酸硫胺素等测定硫胺素的营养状况。Deshimaru 和 Kuroki^[4]用生长指标和体组织中硫胺素含量为依据测得对虾的盐酸硫胺素需要量分别为 $60\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $120\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料。

Chen 等^[30]用生长、血淋巴中硫胺素、一磷酸硫胺素和 TPP 效应来确定幼斑节对虾对硫胺素的需要量。用血淋巴中硫胺素浓度估计量为 $13.9\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料,与用增重估计的量 ($12.9\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料) 相似,而用血淋巴中焦磷酸硫胺素的浓度估计量要高出许多 ($57.8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料)。Chen 等^[31]比较了肌肉、血淋巴和肝中转酮醇酶活性和 TPP 效应来估计饲喂 9 周后的斑节对虾的硫胺素状况。随着硫胺素添加量的升高,转酮醇酶活性也增加,同时 TPP 效应下降。用肌肉 TPP 效应估计的需要量为 $18.3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料,与用生长估计的相似。这表明与脊椎动物一样,用组织 TPP 效应作为硫胺素状况的指标比转酮醇酶活性要好。在这些指标中,血淋巴中 TPP 效应是最敏感和最具体的指标。

3.2 维生素 B₂

辅酶形式是黄素 5'-磷酸(核黄素单核苷酸, FMN) 和黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD), 它们是动物体内许多氧化还原酶类的辅酶。

在鱼类,也可以用红细胞 EGR 来评价核黄素的营养状况, Hughes 和 Rumsry^[32]提出红细胞谷胱甘肽还原酶活性是虹鳟核黄素状况的敏感指标。但是, Woodward^[33]指出虹鳟 EGR 活性低,测定困难,而另一种黄素酶, D-氨基酸氧化酶(D-AAO) 在虹鳟中比 EGR 更敏感。他用肝脏的以上两种酶估计虹鳟的最适核黄素需要量,发现肝脏谷胱甘肽还原酶(HGR) 无变化,而 D-AAO 活性随着核黄素的缺乏而下降,说明 D-AAO 是确定幼虹鳟核黄素需要量的最敏感指标。Serrini 等^[34]用 D-AAO 活性和外观缺乏症确定鲈的核黄素需要量。Amexaga 和 Knox^[35]用外观缺乏症、生长指标、组织(红细胞和肝脏)中 D-AAO 活性作为指标评价虹鳟核黄素营养状况。

在甲壳动物中, Chen 和 Hwang^[6]用体组织最大核黄素浓度来估计斑节对虾的最适核黄素需要量,并且认为血淋巴谷胱甘肽还原酶活性系数对核黄素缺乏不敏感,不能作为衡量对虾核黄素营养状况的指标。徐志昌等^[36]以生长为指标估计中国对虾的 VB₂ 需求量为 $80\text{mg}/\text{kg}$ 饲料。而对于 D-AAO 则没有进行过尝试。

3.3 维生素 B₃

是一类含硫的维生素,其生物活性形式是 4-磷酸泛酰巯基乙胺类辅酶,其中辅酶 A 是最重要的一种,因此辅酶 A 在体组织中的含量可以作为泛酸营养状况的指标。Soliman 和 Wilson^[7]用生长指标来确定罗非鱼对泛酸需要量。Murai 和 Andrews^[10]用生化指标、饲料转化率(FCR) 和外观缺乏症作为指标确定斑点叉尾鲴的泛酸需要量。对于辅酶 A, 还没有进行过测定。

3.4 维生素 B₅

是动物体内辅酶(尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸, NAD) 和辅酶(尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸, NADP) 的组成部分。

在鱼类,有些研究者用肝中 NAD 最大储积量来确定尼克酸的需要量^[37-39], 而 Ng 等^[40]在实验中证明,斑点叉尾鲴肝中 NAD 水平随着饲料尼克酸含量上升而呈线性上升。同样,在老鼠的实验中即使饲料中尼克酸含量达到药理剂量,肝中 NAD 水平也没有平台^[41],说明有些动物肝中 NAD 水平不能用来确定鱼类的尼克酸的需要量。

在甲壳动物中, Shiau 和 Suen^[42]用生长(平均增重、FCR) 和存活率估计了斑节对虾的尼克酸需要量。徐志昌等^[36]以生长为指标估计中国对虾的 VB₅ 需求量。对生化指标, 还无进一步探索。

3.5 维生素 B₆

即吡哆素,是吡哆醇(PN)、吡哆醛(PL) 和吡哆胺(PM) 的总称。它们的主要辅酶活性形式是 5-磷酸吡哆醛(PLP) 和 5-磷酸吡哆胺(PMP)。维生素 B₆ 与氨基酸代谢有密切的关系。

在鱼类中谷草转氨酶(GOT) 和谷丙转氨酶(GPT) 被用于测定维生素 B₆ 营养状况,如虹鳟^[43],比目鱼^[44]和金头鲷^[16]。Albrechtsen 等^[45]报道大西洋鲑肌肉中 GOT 活性与肌肉中维生素 B₆ 含量显著相关。

在饲喂无维生素 B₆ 饲料的虾的肝脏中,其 PLP/PMP 比为 1:1,当添加 PN 后,变为 1:2,说明多余的维生素 B₆ 在肝脏中以 PMP 形式储存。但饲料中蛋白质含量对二者的含量未见影响,以虾肌肉中的谷草转氨酶活性所估计的需要量与肌肉中 PLP 与 PMP 含量值的结果相似^[19]。徐志昌等^[36]用生长指标估计了中国对虾 VB₆ 需要量,并认为类胰蛋白酶活力和饱和脂肪酸含量在添加 $14\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 饲料时最高。许实荣指出中国对虾肝胰脏蛋白酶及淀粉酶比活力受饲料 VB₆ 添加量的影响^[46]。

3.6 维生素 B₁₁

其辅酶形式是四氢叶酸,作为一碳基团的供体或受体参与许多生化反应,在氨基酸和核苷酸等物质代谢中起着重要

作用。

在人类及哺乳类动物中,血清中叶酸含量、全血叶酸含量、血浆中高半胱氨酸含量、尿中亚氨基基谷氨酸和咪唑丙烯酸及腺嘌呤的前体如 5-氨基咪唑 4-甲酰核苷酸都可作为估计叶酸营养状况的指标。人类估计叶酸营养状况的另一种方法是测定病人淋巴细胞中甲酸渗入到丝氨酸或高半胱氨酸的量,因为这个反应需要四氢叶酸作为辅酶^[47]

在鱼类,血浆和肝脏中叶酸含量被用来测定叶酸的营养状况。在斑点叉尾鲷中,5-甲基四氢叶酸是主要的叶酸衍生物,占叶酸的各种形式的 86%~98%^[22]。

3.7 维生素 B₁₂

即钴胺素,一般只能由微生物合成,其主要辅酶形式是 5'-脱氧腺苷钴胺素。

Shiau 和 Lung^[48]指出,虾体内维生素 B₁₂浓度可以作为确定维生素 B₁₂营养状况的指标。但当饲料中添加 0.2~0.8 mg kg⁻¹饲料时,身体维生素 B₁₂含量呈直线上升,即 0.8mg 的添加量仍未达到上限。在每公斤饲料中添加 0.05mg 和 0.2mg 维生素 B₁₂对虾体增重明显高于未添加的,说明虾需要补充维生素 B₁₂。

由此可以看出,除生长和外观缺乏症外,体组织维生素 B₁₂含量是估计维生素 B₁₂营养状况的指标。

4 水产动物营养研究的特殊性及应注意的问题

在水产动物养殖中,由于饲料要浸泡在水中,所以必须考虑其溶失问题。由于鱼类的吞食特性,饲料在水中暴露时间短,水溶性维生素溶失很少,因此可以直接以干粉形式添加到饲料中。而对于抱食性的虾和舔食性的贝类来说,饲料在水中暴露时间长,在食入前,水溶性维生素已有部分溶失^[49],从这个角度来看,实验结果偏高。因此在研究这类动物的水溶性维生素营养时,要把所研究的维生素进行处理,一般制成微粘颗粒、微球或微胶囊后再添加到饲料中,以保证实验的准确性。

对于水产动物,由于实验动物可能从水环境中摄取到一定量的水溶性维生素,因此在实验中应采取过滤等措施严格控制水质,同时为了尽快观察到缺乏症,就要考虑在饲料中添加一定量的抗维生素^[3]。

有些动物,肠道微生物以能够合成某种维生素,结果是动物实际吸收的量高于饲料中添加的量。为了观察到这一因素的影响,可在实验中设一添加抗生素的处理,以抑制肠道微生物合成维生素^[50]

在众多的生化指标中,有的在一些动物中很敏感,而在另一些动物中又不敏感,如谷胱甘肽还原酶。这可能是由于各种动物消化系统和生理上的差异造成的,其原因及存在的普遍性都有待于进一步研究。

可以预见,随着对水产动物 B 族维生素营养研究的深入,最终将会建立起一整套的评价 B 族维生素营养状况及确定其需求量的方法。

参考文献:

- [1] National Research Council. 1981. Nutritional requirement of cold water fishes[S]. National Academy Press, Washington, DC.
- [2] National Research Council. 1983. Nutritional requirement of warm water fishes and shellfishes[S]. National Academy Press, Washington, DC.
- [3] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [4] Deshimaru O, Kuroki K. Requirement of prawns for dietary thiamin, pyridoxine, and choline chloride[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1979, 45:363 - 367.
- [5] Cautun M R, Dela C M. Growth and midgut cell profile of *Penaeus monodon* juveniles fed water soluble vitamin deficient diets[J]. Aquac, 1979, 81:137 - 144.
- [6] Chen H Y, Hwang G. Estimation of the dietary riboflavin required to maximize tissue riboflavin concentration in juvenile shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. J Nutr, 1992, 122:2474 - 2478.
- [7] Soilman A K, Wilson R P. Water-soluble vitamin requirements of tilapia. I. Pantothenic acid requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus* [J]. Aquac, 1992, 104:121 - 126.
- [8] Poston H A, Page J W. Gross and histological signs of dietary deficiencies of biotin and pantothenic acid in lake trout, *Salvelinus namaycush* [J]. Cornell Vet, 1982, 72:242 - 261.
- [9] Wolf E. Dietary gill diseases of trout[J]. Fish Res Bull, 1945, 7:1 - 32.
- [10] Murai T, Andrews J W. Pantothenic acid requirements of Channel catfish fingerlings[J]. J Nutr, 1979, 109:1140 - 1142.
- [11] Andrews J W, Murai T. Dietary niacin requirements for channel catfish[J]. J Nutr, 1978, 108:1508 - 1511.
- [12] Aoe K, Masuda I, Takada T. Water-soluble vitamin requirements of carp. A requirement for niacin[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1967, 33:681 - 685.
- [13] Shiau S Y, Suen G S. Estimation of the niacin requirements for tilapia fed diets containing glucose or dextrin[J]. J Nutr, 1992, 122:2030 - 2036.

- [14] Smith C E, Birn M, Halver J E. Biochemical, Physiological, and pathological changes in pyridoxine deficient rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. J Fish Res Bd Can, 1974, 31:1893 - 1898.
- [15] Herman R L. Histopathology associated with pyridoxine deficiency in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquac, 1985, 46:173 - 177.
- [16] Kissil G W, Cowey C B, Adron J W, et al. Pyridoxine requirements of the gilthead bream, *Sparus aurata* [J]. Aquac, 1981, 23:243 - 255.
- [17] Wanakowat J, Boonyaratpalin M, Pimoljinda T, et al. Vitamin B₆ requirement of huvenile seabass, *Lates calcarifer* [A]. In: Takeda M, Watanabe T (Eds). Proc. Third Int Symp. on Feeding and Nutr. In Fish [C]. 28 Aug. 1 - Sept. 1989, Toba, Japan. 1989, 141 - 147.
- [18] Albrektsen S, Waagbo R, Sandnes K. Tissue vitamin B₆ concentration and aspartate aminotransferase (Asp T) activity in Atlantic salmon (*Salmo Salar*) fed by graded dietary levels of vitamin B₆ [J]. Fik Dir Skr Ser Ernaring, 1993, 6:21 - 34.
- [19] Giri I N A, Teshima S I, Kanazawa M. Effect of dietary pyridoxine and protein levels on growth, vitamin B₆ content, and free amino acid profile *Penaues japonicus* [J]. Aquac, 1997, 157:263 - 275.
- [20] Smith, Hematological changes in coho salmon fed a folic acid deficient diet [J]. J Fish Res Board Can, 1968, 25:151 - 156.
- [21] Dupree, H K. Vitamin Essential for Growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus* [M]. Techni pap no. 7. Bureau of sport fishes and Wildlife, Washington, DC 1996.
- [22] Duncan P L, Lovell R T, Butterworth C E, et al. Dietary folate requirement determined for channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. J Nutr, 1993, 123:1888 - 1897.
- [23] Herbert V. Folic acid and vitamin B₁₂ [A]. In Goodhart R S and Shils M E (Editors), Modern Nutrition in Health and Disease [C]. 5th edn. Lee and Febiger, Philadelphia, Pennsylvania USA, 1975, 221 - 224.
- [24] Oace S M, Chan M. Nutrition deficiencies in animals: vitamin B₁₂ [A]. In: M Rechcigl Jr. (Editor), CRC Handbook Series in Nutrition and foods, Section E: Nutritional Disorders [C], Vol. 2, Effect Nutrient Deficiencies in Animals. CRC. Press Boca Raton FL. 1978, 133 - 141.
- [25] Halver J E. Nutrition of salmonid fishes. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon [J]. J Nutr, 1957, 62:225 - 243.
- [26] Phillips A M, Jr H A, Podoliak H A, et al. The production of anemia in brown trout [J]. Fish Res Bull, 1964, (27):66 - 67.
- [27] Cowey C B, Adron J W, Knox D, et al. Study on the nutrition of marine flatfish. The thiamine requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Br J Nutr, 1975, 34:383 - 390.
- [28] Masumoto T, Hardy R W, Casillas E. Comparison of transketolase activity and thiamin pyrophosphate levels in erythrocytes and liver of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) as indicators of thiamin status [J]. J Nutr, 1987, 119:1422 - 1426.
- [29] Boni L, Kieckens L, Hendriks A. An evaluation of a modified erythrocyte transketolase assay for assessing thiamin nutritional adequacy [J]. J Nutr Sei Vitaminol, 1980, 25:507 - 514.
- [30] Chen H Y, Wu F C, Tang S Y. Thiamin Requirement of Juvenile Shrimp (*Penaues monodon*) [J]. J Nutr, 1991, 121:1984 - 1989.
- [31] Chen H Y, Wu F C, Tang S Y. Sensitivity of transketolase to the thiamin status of juvenile marine shrimp (*Penaues monodon*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1994, 109A(3):655 - 659.
- [32] Hughes S G, Rumsey G L. Riboflavin requirement of fingerling trout [J]. Prog Fish-Cult, 1981, 43:167 - 172.
- [33] Woodward B. Sensitivity of hepatic D-amino acid oxidase and glutathione to the riboflavin status of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Aquac, 1983, 34:193 - 201.
- [34] Serrini G, Zhang Z, Wilson R P. Dietary riboflavin requirement fo fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquac, 1996, 139:285 - 290.
- [35] Amezaga M R, Knox D. Riboflavin requirements in on-growing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquac, 1990, 88:87 - 98.
- [36] 徐志昌, 刘铁斌, 李爱杰. 中国对虾对维生素 B₂、B₅、B₆ 营养需要的研究 [J]. 水产学报, 1995, 19(2):97 - 104.
- [37] Phillips A M, Brockway D R. The niacin and requirement of trout [J]. Trans Am Fish Soc, 1947, 76:152 - 159.
- [38] Halver J E. The vitamins [A]. Fish Nutrition [C], Academic Press, San Diego, CA. 1989, 31 - 109.
- [39] Shimeno S. Yellowtail *Seriola quinqueradiata* [A]. Nutrient Requirements of Finfish [C]. CRC Press, Boca Raton. FL. 1991, 181 - 191.
- [40] Ng W K, Serini G, Zhang Z, et al. Niacin requirement and inability of tryptophan to act as a precursor of NAD⁺ in channel catfish, *Inctaurus punctatus* [J]. Aquac, 1997. 152:273 - 285.
- [41] Jackson T M, Rawling J M, Roebuck B D, et al. Large supplements of nicotinic acid and nicotinamide increase tissue NAD⁺ and poly (ADP - ribose) level do not affect diethylnitrosamine-induced altered hepatic foci in fischer - 344 rats [J]. J Nutr, 1995, 1455 - 1461.
- [42] Shiau S Y, Suen G S. The dietary requirement of juvenile grass shrimp (*Penaues monodon*) for niacin [J]. Aquac, 1994, 125:139 - 145.
- [43] D'Apollonia S, Anderson P D. Optimal assay conditions for serum and liver glutamate oxaloacetate transaminase, glutamate pyruvate transaminase, and sorbitol dehydrogenase form the rainbow trout, *Salmo gairdneri* [J]. Can J Fish Aquatic Sci, 1980, 37:163 - 169.
- [44] Adron J W, Know D, Cowey C B, et al. Studies on the nutrition of marine flafish: the pyridoxine requirement of turbot, *Scophthalmus maximus* [J]. Br J Nutr, 1978, 40:261 - 268.
- [45] Albrektsen S, Sandnes K, Glette J, et al. Influence of dietary vitamin B₆ on tissue vitamin B₆ contents and immunity in Atlantic salmon, *Salmo salar* L [J]. Aquacult Res, 1995, 26:331 - 339.

- [46] 许实荣,孙 凤,娄康后. 中国对虾营养研究. B 族维生素(B₁、B₆)对蛋白酶和淀粉酶活力的影响[J]. 海洋科学,1987. (4)33 - 37.
- [47] Selhub J, Rosenberg I H. Folic acid[A]. In: Ziegler EE and Filer LJ (Editors) Present Knowledge in Nutrition (7th Edition) [C]. International Life Sciences Institute Press. Washington, DC 1996.
- [48] Shiau S Y, Lung C Q. No dietary vitamin B - 12 required for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Comp Biochem Physiol, 1993, 105A: 147 - 150.
- [49] Gadiant M, Schai E. Leaching of various vitamin form shrimp feeds [J]. Fish Farmer, 1994 (January/ February). 27 - 28.
- [50] Lovell R T, Limsuwan T. Intestinal synthesis and dietary nonessentiality of vitamin B₁₂ for *Tilapia nilotica* [J]. Tran Amer Fish Soc, 1982, 111: 485 - 490.

欢迎订阅 2002 年《水产学报》

《水产学报》是中国水产学会主办的学术性刊物。于 1964 年创刊。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器以及水产基础研究的论文、简报和综述。并酌登学术动态和重要书刊的评介。

本刊为双月刊,大 16 开,国内外公开发行人。每期单价:15.00 元。国内统一刊号:CN31 - 1283/S;国际标准刊号:ISSN1000 - 0615。国外发行代号:Q - 387,国内邮发代号:4 - 297。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。请保存订刊收据,本刊将向订户优惠提供《水产学报》创刊至 2001 年的全文检索光盘。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 48 信箱, 邮编:200090

联系电话:021 - 65710232, 传真:021 - 65680965

E-mail :scxuebao @online. sh. cn

欢迎订阅 2002 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学技术为主的综合性学术刊物。主要反映各学科科研成果,促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及水产基础研究等方面的论文、调查报告、研究简报、综述与评述、简讯等,并酌登学术动态和重要书刊的评介等。

本刊为季刊,大 16 开,国内公开发行人。每期单价:6.00 元。国际标准刊号:ISSN1004 - 7271,国内统一刊号:CN31 - 1613/S。国内邮发代号:4 - 604,国际发行代号:4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款至编辑部订阅。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 38 信箱,邮编:200090

联系电话:021 - 65710892, 传真:021 - 65680965

E-mail :xuebao @shfu. edu. cn