

罗非鱼营养生理研究进展

刘兴旺 王华朗

(广东恒兴饲料实业股份有限公司, 湛江 524094)

[中图分类号]S965.125

[文献标识码] A

[文章编号]1005-8613(2012)11-0035-05

[摘要]罗非鱼是我国重要淡水养殖鱼类。本文就近年来国内外学者关于罗非鱼的营养需求的研究结果进行综述,以期为罗非鱼营养研究及饲料配制提供科学参考。

[关键词]罗非鱼,饲料,营养生理

罗非鱼自 1957 年引入我国大陆养殖,早期养殖品种以尼罗罗非和奥利亚罗非为主,目前以奥尼罗非和吉富罗非占大多数。到目前为止,我国罗非鱼产量占全球罗非鱼产量 40%~55%,饲料年产量 150 万吨左右(文华等,2012)。近年来,随着人工养殖规模的不断扩大,罗非鱼营养学及饲料配制技术

方面的研究也得到广泛的重视。本文就近年来国内外学者关于罗非鱼的营养研究结果进行综述,以期罗非鱼的营养生理、饲料配制以及今后的相关研究提供科学参考。

1 蛋白质与氨基酸

1.1 蛋白需求

孙泽伟(2004)使用鱼粉作为蛋白源对比了罗非鱼在淡水和海水中蛋白需求的差异。结果显示,罗非鱼在淡水中蛋白质需求量为 24%~28%,而海水中的适宜蛋白需求为 28%~32%。此外,Abdel-Tawwab 等(2010)对比了不同规格罗非鱼的蛋

[收稿日期]2012-10-06

[作者简介]刘兴旺(1979-),男,博士,主要从事水产动物营养与饲料学的相关研究,E-mail: xingwangliu@126.com

[基金项目]国家火炬计划产业化项目:鱼虾高效环保配合饲料产业化与示范。

氏乳杆菌的条件性培养基(培养基中含有微生物分泌的蛋白、细胞因子、神经递质和其他物质),细菌分泌的这些物质可能在肠道上有对应受体。这些观点将促成多层次的科学研究态势。这为利用罗氏乳杆菌作为药物替代物或者补充剂达到治疗病人肠道蠕动疾病的可能性提供了开拓性的证据。更为重要的是,目前罗氏乳杆菌作为肠道缓和剂的研究成果指出,罗氏乳杆菌是一种潜在的治疗肠道运动过度的处理对策,例如溃疡性结肠炎,肠易激综合征和肠炎。这些结果进一步指出“活的药物(益生菌)”作为治疗剂有积极的效果。益生菌的使用消除了药物使用时带来的潜在副作用,所以更加值得信赖。益生菌培养比制药更简单、更便宜。并且站在病

人的角度,益生菌可以随时补充进入病人的膳食(比如:益生菌酸奶)。因此,经过严密的研究发现:益生菌作用效果和作用机制对人类消化疾病所取得的最终结果是至关重要的。然而,我们在人类应用之前,神经调节因子自然特性和人类对益生菌适用性需要更多细节性研究,这些工作将作为引导公众使用的实践性临床实验数据。无论如何,到目前为止取得的成果对罗氏乳杆菌对肠道蠕动的研究提供最新的文献资料,把益生菌作为治疗胃肠道疾病的可行性替代物的发展推上一个重要的台阶。

摘自 Richard You Wu. Lactobacillus: A Probiotic Modulator of Gastrointestinal Motility [J]. The Meducator, Vol. 1, Iss. 19 [2011], Article 7: 12-15.

白需求。对初始体重 0.4~0.5 g 的罗非鱼来说,适宜蛋白水平为 45%,而对体重 17~22 g 或者 37~43 g 的罗非鱼来说,其适宜蛋白需求为 35%。文华等(2012)在初始体重 216.72 g 的吉富罗非鱼上进行了研究,结果显示,在日投喂率 3%的情况下,吉富罗非鱼的蛋白需求为 29.26%。

1.2 蛋白能量比

动物对蛋白的需求受饲料能量水平的影响。Janney 等(1982)在莫桑比克罗非鱼的研究显示,初始体重 1.8 g 的罗非鱼饲料中适宜能量蛋白比为 35.91 kJ/g。尼罗罗非鱼上的研究则显示当初始体重为 0.012g 时,最佳能量蛋白比为 38.04 kJ/g (El-Sayed 和 Teshima, 1992),而初始体重 1.7g 尼罗罗非鱼最适能量蛋白比为 34.87 kJ/g (Kubaryk 等, 1980)。El-Sayed 等(2008)则研究了在最佳繁殖能力条件下尼罗罗非鱼亲鱼的最适能量蛋白比为 41.75 kJ/g。Winfrey 和 Stickney 等(1981)在初始体重分别为 2.5g 和 7.5g 的奥利亚罗非鱼上的研究结果则显示其最适能量蛋白比分别为 34.03 kJ/g 和 38.76 kJ/g。在奥尼罗非鱼(初始体重 0.16g)上的研究则得到 37.71 kJ/g 的结果 (Santiago 和 Laron, 1991)。综上所述,不同罗非鱼饲料中最适能量蛋白比平均在 34kJ/g~ 39kJ/g 之间。

1.3 氨基酸需求

到目前为止,关于罗非鱼必需氨基酸需求量的研究还很少。文华(2012)报告了罗非鱼产业体系在吉富罗非鱼上的研究结果,该研究结果认为吉富罗非鱼对赖氨酸的需求量为 1.8%,而蛋氨酸的需求量为 1.25%。此外,较多研究者研究了在必需氨基酸缺乏状态下饲料中添加晶体氨基酸对罗非鱼的积极效果。姚志通等(2006)在尼罗罗非鱼中添加 0.2%(氨基酸含量计算)L-赖氨酸硫酸盐可显著促使罗非鱼增重。林仕梅等(2008)则发现结晶蛋氨酸能够被罗非鱼有效利用,在饲料赖氨酸水平 1.38%的条件下,当补充饲料中蛋氨酸水平达到 0.55%时,罗非鱼增重率最高,饵料系数最低。朱选等(2009)则认为晶体氨基酸包膜后对罗非鱼促长效果要更好,当使用包膜氨基酸平衡饲料赖氨酸水平达 1.39%,蛋氨酸 0.47%时对罗非鱼生长有显著促进作用。金胜洁等(2010)研究认为通过添加赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸使之在饲料中分别达

到 1.43%、0.75%和 1.05%时,可满足罗非鱼的必需氨基酸需要量,且通过补足必需氨基酸,可使罗非鱼饲料蛋白水平从 34%降低至 28%而不造成负面影响。

1.4 蛋白源

吴建开等(2000)比较了 13 种主要饲料蛋白源的营养价值。结果发现秘鲁鱼粉、豆粕和玉米蛋白粉的有效必需氨基酸指数在 70%以上,其营养价值对罗非鱼最高,酵母饲料、血粉和羽毛粉的营养价值较低。姜瑞丽等(2010)则测定了尼罗罗非鱼对豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉的表观消化率分别为 68%、47%、58%和 58%,而其蛋白质表观消化率分别为 100%、83%、78%和 77%。Koprucu 和 Ozdemir (2005)测定了鱼粉、玉米蛋白粉、豆粕、虾粉和虾壳粉的表观消化率分别为 91.6%、93.2%、90.9%、77.0%和 75.7%,而其蛋白质表观消化率分别为 90.5%、89.0%、87.4%、75.8%和 71.0%。Guimaraes 等(2008)比较了尼罗罗非鱼对 4 种动物蛋白鱼粉、肉骨粉、鸡肉粉和羽毛粉,4 种植物蛋白豆粕、棉粕(28%)、棉粕(38%)和玉米蛋白粉的氨基酸表观消化率。所有动物蛋白中,鸡肉粉(89.7%)和鱼粉(88.6%)表现出最高的蛋白质消化率。肉骨粉(78.4%)和羽毛粉(78.5%)蛋白表观消化率最低。植物蛋白中,玉米蛋白粉(91.4%)和豆粕(92.4%)蛋白消化率最高,而棉粕(28%蛋白)(78.6%)最低。氨基酸的表观消化率与蛋白消化率类似,分别为豆粕(92.3%)、玉米蛋白粉(89.6%)、棉粕(28%蛋白)(73.4%)、棉粕(38%蛋白)(80.7%)、鱼粉(88.9%)、肉骨粉(84.4%)、鸡肉粉(91.2%)和羽毛粉(79.7%)。Fasakin 等(2005)也发现所有蛋白源中鸡肉粉对罗非鱼的效果最好,血粉及水解羽毛粉等效果较差。

所有植物蛋白中,大豆蛋白的效果相对较好。Fagbenro(1998)研究发现尼罗罗非鱼对全脂大豆干物质消化率为 65.9%,对其粗蛋白消化率为 88.5%。对其他豆类的粗蛋白消化率也均在 80%以上。Riche 和 Garling(2004)还发现大豆中的植酸不会影响罗非鱼对蛋白的消化吸收。Amirkolaie 等(2005)还发现豆粕中不可溶性的非淀粉多糖可以提高水体中粪的回收利用率,从而提高池塘中有机颗粒的循环效率。Wilson 等(2004)认为在补充必需氨基酸

和磷酸二氢钙的情况下罗非鱼饲料中豆粕可以完全替代鱼粉。此外,李国立等(2008)也发现,使用生物鱼粉(一种蝇蛆蛋白的发酵产品)完全替代或部分替代罗非鱼饲料中的鱼粉完全可行。刘勇等(2009a)则发现豆粕可替代 1/3 的鱼粉(对照组 9%)不会对奥尼罗非鱼生长造成影响。而当以鲜杂鱼:豆粕(1:1)混合发酵的蛋白替代时,则可替代 2/3 的鱼粉蛋白而不影响罗非鱼生长性能(刘勇等, 2009b)。

El-sayed 等(2003)在尼罗罗非鱼上的研究发现,当用豆粕、棉粕、向日葵粕和亚麻仁粉(1:1:1:1)混合物并补充赖氨酸和蛋氨酸后可 100%替代饲料中的鱼粉。侯鑫等(2009)也发现使用 6%发酵豆粕+0.2%赖氨酸硫酸盐和 0.14%羟基蛋氨酸钙替代饲料中全部鱼粉(5%)是可行的。而仲维玮等(2010)以棉粕、菜粕、玉米蛋白粉和蚕豆(1:1:1:1)的混合蛋白替代鱼粉时,发现可以替代饲料中 75%的鱼粉蛋白(对照组鱼粉从 24%降低到 6%)。需要注意的是,在池塘养殖条件下罗非鱼能够有效利用水体中的生物饵料(Rojas 和 Verreth, 2003)。因此有研究显示在肥水塘中尼罗罗非鱼不需要动物蛋白(Liti 等 2006a)。

此外,罗非鱼蛋白源中对棉菜粕的研究较多。Davies 等(1990)研究认为罗非鱼饲料中菜粕的极限用量为 15%。文华(2012)也发现 15%菜粕组吉富罗非鱼肝脏正常,当菜粕水平达到 30%时,罗非鱼个别肝细胞会发生核偏移的现象。林仕梅(2007)研究了饲料中不同植物蛋白源对罗非鱼生长和健康的影响。结构发现饲料中 36%豆粕或 39%棉粕不会影响罗非鱼的生长,而饲料中 50%菜粕对罗非鱼生长和健康是不利的。此外,配方中棉粕和菜粕的总量超过 52%对罗非鱼是不安全的。Mbahinzireki 等(2001)认为棉粕可作为替代鱼粉的主要蛋白源,只要饲料中棉粕用量不超过 50%,对罗非鱼是无害的。而文华(2012)则认为吉富罗非鱼饲料中棉粕不应超过 37%。此外,仲维玮(2010)认为棉粕中棉酚过高可引起鱼体肝功能异常。因此可以采取过量添加硫酸亚铁(棉酚含量的 5 倍)或高温处理的方法对棉粕进行脱毒,以提高其利用率。

何晓庆等(2009)评估了 DDGS 替代豆粕对奥

尼罗非鱼生长的影响,结果发现 DDGS 替代豆粕(对照组 30%)不超过 50%时,对罗非鱼生长影响不显著。另外,张伟涛等(2008)评估了木薯渣在罗非鱼饲料中使用的效果,发现当饲料中使用 20%木薯渣时对罗非鱼生长无不良影响。田雪等(2008)也发现木薯粉能提高罗非鱼的增重率和蛋白质效率。Liti 等(2006b)比较了罗非鱼利用米糠、麦皮和玉米皮的效果,结果发现玉米皮效果最好,米糠最差。

2 脂肪与脂肪酸

对不同罗非鱼品种脂肪需求量的研究较多,不同研究结果有一定差异。Chou 和 Shiau(1996)研究认为奥尼罗非鱼(初始体重 1.34g)脂肪的最适需求量为 12%,而满足其最低生长需求的脂肪水平为 5%。128~160 g,10%,庞思成等(1994)认为对 128~160 g 的罗非鱼来说,饲料总脂肪水平达到 10%左右时效果最好。池作授等(2010)也发现对初始体重 0.032 g 的罗非鱼仔稚鱼来说,饲料脂肪 10.98%时生长效果最好。涂伟等(2012)研究认为初始体重 46.14 g 的尼罗罗非鱼适宜脂肪需求为 8.3%~9.75%。在吉富罗非鱼上的研究则显示当饲料蛋白水平 30%时,其适宜脂肪水平为 7.67%~9.34%(初始体重 2.63 g)或 8.77%~9.14%(文华 2012)。值得关注的是,部分研究结果虽然饲料中较高的脂肪可促进罗非鱼生长,但是可能会对其肝脏脂肪代谢或血液生化指标产生负作用。到目前为止,关于罗非鱼脂肪酸营养生理的研究还很少,文华(2012)认为吉富罗非鱼饲料中适宜亚油酸添加量为 1.03%~2.00%,亚油酸/亚麻酸的适宜比例为 2.96。

3 碳水化合物

强俊等(2009)在初始体重 0.069g 的奥尼罗非鱼上研究显示,当饲料蛋白 45%时,其最适碳水化合物水平为 9.7%。而 shiau 等(1995)在初始体重 1g 罗非鱼上的研究显示 21%~28%均为其饲料中适宜的碳水化合物水平。Wang 等(2005)也认为对初始体重 9.1 g 的罗非鱼来说,其饲料适宜碳水化合物水平为 22%。吴凡等(2011)的研究发现在奥尼罗非鱼饲料中碳水化合物对蛋白质有一定的节约作用,不同蛋白水平下,饲料碳水化合物以 34%~41%为宜。过高(48%)的碳水化合物会显著增加罗非鱼血清胆固醇和甘油三酯水平,并对鱼类肝脏有一定损害。此外,研究显示奥尼罗非鱼对不同碳水化合物

源的利用效果分别为淀粉 > 麦芽糖 > 蔗糖 > 乳糖 > 葡萄糖(Shiau 和 Chuang, 1995)。而 Lin 等(1997)的研究也显示罗非鱼对多糖(淀粉)的利用要好于单糖(葡萄糖)。

4 矿物元素需求量

磷是水产饲料中最重要的矿物元素之一,然而其过量排放也可能造成对水体污染。因此,应在满足动物磷需求的情况下尽量降低饲料中总磷水平。曹经晔等(1987)研究认为初始体重 0.33g 的尼罗罗非鱼总磷的需求量为 0.93%,齐红莉等(2010)研究得到其磷的最适需求量为 0.7%,徐昌义等(1990)得到的结果则为 0.547%,Haylor 等(1988)则认为对初始体重 0.4 g 的尼罗罗非鱼来说,0.46%的磷即可满足其生长需求。Viola 等(1986)研究了体重 120~400 g 奥尼罗非鱼的磷需求,认为饲料中总磷水平在 0.7%~1%时可满足其需求。此外,Robinson 等(1984)研究了奥利亚罗非鱼对钙的需求量,认为饲料中 170~650 mg/kg 的钙对罗非鱼最为适宜。而陈冰等(2007)的研究认为奥尼罗非鱼饲料中钙磷比为 1:1.8 最为适宜。

一般来说,饲料中富含的钠离子可满足鱼类对钠的需求。Shiau 等(2004)研究了奥尼罗非鱼对钠的需求量,认为饲料中 1500mg/kg 的钠对鱼的生长最为适宜。Darowaka(1983)则研究了尼罗罗非鱼对镁的需求量为 590~770 mg/kg。冷向军等(2002)报道了罗非鱼饲料中使用醋酸镁的效果要优于硫酸镁,同时认为罗非鱼镁的适宜需求量在 400~500 mg/kg 之间。

Shiau 和 Su(2003)研究了不同铁源条件下奥尼罗非鱼对铁的需求量,结果显示当以柠檬酸铁作为铁源时,罗非鱼铁的需求量 150~160 mg/kg,而当以硫酸亚铁做铁源时,其需求量为 85 mg/kg。文华(2012)则发现 174.58 g 吉富罗非鱼铁需求量为 49.43 mg/kg,而初始体重为 3.34 g 时,其铁的需求量为 80 mg/kg。Sa 等(2004)研究了奥尼罗非鱼对饲料中锌的适宜需求量,当分别以体重及骨骼锌饱和水平为评价指标时,其锌需求量分别为 44.50 和 79.51 mg/kg。赵红霞等(2009)则发现在实用饲料中添加 60 mg/kg 的锌能够有效提高罗非鱼幼鱼的生长性能。吴红岩等(2008)则认为饲料中 20 mg/kg 的锌即可满足罗非鱼幼鱼生长及抗氧化功

能的需求。

文华(2012)报道了初始体重 3.34 g 的吉富罗非鱼对铜的需求量为 8 mg/kg。而奥尼罗非鱼对锰的适宜需求量为 7 mg/kg(Shiau 等 2008)。而尼罗罗非鱼对钴的需求量为 0.3~3.0 mg/kg(刘伟等 2011),对碘的需求量为 0.5~2.0 mg/kg(文华 2012)。

铬是一种重金属,过去常常认为鱼类对其不能消化利用,从而作为测定饲料消化率的指示剂。Shiau 和 Shy(1998)发现,饲料中添加 300 mg/kg 的三氧化二铬能够对罗非鱼有显著的促长作用,此作用在铬含量为 204 mg/kg 时最好。蒋伟明等(2004)也发现饲料中添加 1.7 mg/kg 的甘氨酸铬或烟酸铬组有助于奥尼罗非鱼的生长。杨奇慧等(2012)也发现饲料中添加 0.8~1.2 mg/kg 的吡啶甲酸铬可显著提高吉富罗非鱼增重率和蛋白质效率。潘庆等(2002)也发现有机铬能促进罗非鱼对葡萄糖的利用。但添加 2 mg/kg 的吡啶甲酸铬并未见到对罗非鱼生长的促进作用(Pan 等 2003)。

值得提出的是,以上研究结果均是在试验条件下测得的,试验多选用精制饲料,水体中无机元素中含量较低。Dato-Cajegas 和 Yakupitiyage(1996)在半封闭养殖系统中养殖尼罗罗非鱼,使用以豆粕和米糠为主要原料的实用饲料,结果发现在此条件下,磷是必须添加的,而镁、钠、钾和锌、铁、锰、碘的添加不是必需的。

5 维生素需求

脂溶性维生素方面,研究较多的为维生素 E。维生素需求量受脂肪水平的影响,研究显示,当饲料脂肪水平为 6%时,罗非鱼维生素 E 脂肪需求量为 30 mg/kg,而当脂肪水平为 13%时,维生素 E 需求量提高到 50 mg/kg(文华 2012)。Huang 等(2003)发现维生素 E 可显著提高罗非鱼肌肉脂肪抗氧化能力。因此,当饲料中使用油脂氧化时,罗非鱼维生素 E 需求量比正常情况下应有所提高(Huang 和 Huang 2004)。Shiau 和 Hsu(2002)发现在维生素 E 缺乏的情况下,过量的(3 倍)维生素 C 对 E 有一定节约效应。然而, Kim 等(2003)没有发现维生素 E 与硒在抗病力方面的协同作用。此外, Hu 等(2006)分别以增重和肝脏饱和量为指标测定罗非鱼饲料中维生素 A 的适宜需求量分别为 5850 和 6970 IU/kg。此外,研究还显示,罗非鱼

能够利用 β -胡萝卜素满足维生素 A 需求。在基础饲料中维生素 A 含量为 84 IU/kg 的饲料中, β -胡萝卜素的适宜需求量为 28.6~44.3mg/kg。 β -胡萝卜素到维生素 A 的转化率约为 19 : 1。而也有研究显示, 尼罗罗非鱼对维生素 D₃ 的最适需求量为 10⁴ IU/kg。

Falcon 等(2007)研究发现当饲料中缺乏维生素 C 时会导致罗非鱼在低温应激状态下伤害红细胞, 从而造成损伤。饲料中添加 600 mg/kg 的维生素 C 能够显著提高罗非鱼抗低温能力, 而添加脂肪的效果则不明显。此外, Shiau 和 Hsu(1995)对比了维生素 C 硫酸盐和磷酸盐对罗非鱼的效果, 结果显示硫酸盐形式 Vc 的适宜添加量为 41~48 mg/kg(此时 Vc19~23 mg/kg), 而磷酸盐形式 Vc 适宜添加量为 37~42 mg/kg(此时 Vc17~20 mg/kg)。最近在初始体重 220 g 的吉富罗非鱼上的研究结果则显示吉富罗非鱼的维生素 C 需求量为 200 mg/kg(文华, 2012)。

黄凯等(2007)在初始体重 0.5 g 的奥尼罗非鱼上进行试验, 建议饲料中胆碱的适宜添加量为 0.2%~0.3%。而文华(2012)在吉富罗非(初始体重 220g) 上的研究结果则显示 600 mg/kg 的胆碱即可满足其生长需求。肌醇方面, Shiau 和 Su(2005)的研究认为罗非鱼的肌醇适宜需求量为 400 mg/kg。而 Peres 等(2004)则认为尼罗罗非鱼不需要外源的肌醇来维持正常生长, 肌醇的添加对抗病、红细胞生成也没有显著作用, 但是对抗脂肪肝有一定的效果。此外, 文华(2012)在吉富罗非上的研究显示其烟酸的适宜需求量为 158.63 mg/kg。而 Shiau 和 Hsieh(1997)的研究结果发现分别在 28%和 36%蛋白水平时, 奥尼罗非鱼维生素 B6 的需求量分别为 1.7~9.5 mg PN/kg 和 15~16.5 mg PN/kg。而保证奥尼罗非鱼最大生长的生物素需求量为 0.06 mg/kg (Shiau 和 Chin, 1999)。

6 非营养性添加剂研究

研究显示, 奥尼罗非鱼饲料中添加 1.2 g/kg 的果寡糖可显著提高其生长(Lv 等, 2007)。刘爱君等(2009) 的研究也显示 5 g/kg 的甘露寡糖能够显著提高奥尼罗非鱼非特异性免疫水平, 并促进罗非鱼生长, 其效果与添加 8 mg/kg 黄霉素效果相似。Lara-Flores 等(2003)在初始体重 0.15 g 的罗非鱼上

研究发现益生菌和酵母均能促进罗非鱼的生长。酸化剂方面, 潘庆等(2004)发现添加 0.2%柠檬酸的试验组罗非鱼消化酶活性升高, 特定增长率显著高于对照组。李海涛等(2009)的研究也发现饲料中添加 0.3%的酸化剂(建明工业提供, 主要成分为乳酸、柠檬酸和磷酸等)能够显著促进奥尼罗非鱼生长和饲料利用。

肉碱在罗非鱼上的生理功能也是研究的热点。张明辉等(2008)在吉富罗非鱼上的研究显示饲料中添加 200~400 mg/kg 外源性 L- 肉碱可明显促进罗非鱼生长, 提高饲料转化效率。战歌(2008)发现 L- 肉碱添加量为 150 mg/kg 时也能够促进罗非鱼生长并有利于脂肪代谢。该研究结果与黄凯等(2010)在奥尼罗非鱼上的研究结果相似。除 L- 肉碱外, 朱定贵等(2011)研究认为奥尼罗非鱼饲料中添加 0.45%~0.6%的甜菜碱既能起到促进生长的效果, 又能有效预防和控制罗非鱼脂肪肝的发生。林仕梅和罗莉(2010)则发现在 8.5%饲料脂肪水平下添加 0.1%复合降脂因子(牛磺酸: 甜菜碱: L- 肉碱 = 3 : 4 : 2) 后, 罗非鱼肝脏生理机能会显著改善, 蛋白质效率显著提高。此外, 李海涛等(2010)发现饲料中添加溶血卵磷脂也具有提高幼鱼脂肪利用及促进生长的作用。

诱食剂方面, 李星星等(2006)研究显示在饲料中添加 0.05% DMPT、0.1% DMPT、0.1%鱼溶肽蛋白、0.3%甜菜碱、1%甘氨酸、0.5% L- 氨酸以及 2%五味子汁时均对奥尼罗非鱼有极显著的诱食效果。黄峰等(2008)则发现饲料中添加 50~200 mg/kg 氧化三甲胺能够有效促进罗非鱼摄食和生长, 提高饲料效率和蛋白质效率。

此外, 聂国兴等(2007)研究了小麦基础饲料中添加木聚糖酶对尼罗罗非鱼的效果, 发现小麦基础饲料中添加木聚糖酶可显著降低肠道食糜粘度, 促进肠绒毛、微绒毛的发育。因此, 建议以小麦为罗非鱼糖源时, 可添加 0.1%木聚糖酶以促进罗非鱼生长。Liebert 和 Portz(2005)则研究了饲料中添加植酸酶对提高磷、能量和蛋白利用率的效果。结果发现, 饲料中添加植酸酶 750 FTU/kg(罗氏)时, 可显著提高罗非鱼磷的利用率, 在较低磷水平调节下可促进罗非鱼生长。

参考文献(略)