

团头鲂营养需求与健康研究进展

任鸣春^{1,2}, 周群兰¹, 缪凌鸿¹, 戈贤平^{1,2*},
刘波^{1,2}, 谢骏^{1,2}, 孙盛明¹

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水鱼类遗传育种和
养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081;
2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

摘要: 团头鲂是我国主要的大宗淡水养殖品种之一, 其养殖规模在近 10 年不断扩大。团头鲂的营养物质需求主要以生长和营养缺乏症为评价指标。而营养物质对鱼类健康, 如免疫反应和抗病力等影响的研究尚不充分。一般认为, 饲料中营养物质搭配合理、品质优良有利于维持鱼类生理健康, 并能保护养殖水环境。此外, 一些营养物质如维生素, 在鱼类的免疫机制中发挥重要作用。未来水产饲料应具有促进水产动物生长和维持健康的双重作用, 通过营养调控预防鱼类疾病是保证水产养殖可持续发展的重要策略之一。本研究综述了团头鲂对蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素和矿物质营养需求的研究进展, 以及饲料营养元素对团头鲂免疫力及抗病力影响的最新报道, 以期对团头鲂高效配合饲料的开发提供科学参考。

关键词: 团头鲂; 水产养殖; 水产饲料; 营养需求; 免疫

中图分类号: S 963

文献标志码: A

团头鲂 (*Megalobrama amblyocephala* Yin), 又称武昌鱼、鳊, 隶属鲤形目 (Cypriniformes), 鲤科 (Cyprinidae), 鲂属 (*Megalobrama*)。团头鲂作为大宗淡水养殖鱼类, 具有食性广、养殖成本低、含肉率高和规格适中等优点, 已经作为优良的淡水养殖品种在全国普遍推广。然而, 近年来因为养殖水环境恶化、养殖密度过高和病原微生物滋生等因素导致了团头鲂疾病暴发, 养殖效益降低, 严重阻碍了其养殖产业的持续健康发展。饲料营养状况是决定鱼类抗病能力的重要因素之一, 饲料中蛋白质、氨基酸、必需脂肪酸、维生素和微量元素供应不足会导致鱼类营养不良, 抵抗力降低, 易患病。因此, 开发营养配比合理的饲料对促进鱼类生长, 并提高其抗病力, 以达到减少抗生素的使用至关重要。近 20 年, 有关团头鲂营养需求的报道为饲料研发和产业的快速增长奠定了基

础。然而大多研究以生长作为评价指标, 近年来才慢慢关注营养与健康免疫的关系, 而兼具促进鱼类生长和增强免疫双重功能的水产饲料是未来的发展方向。本研究综述了近 20 年团头鲂对蛋白质、脂肪、碳水化合物等主要营养物质与维生素和矿物质等营养成分的需求, 以及饲料营养物质对其生理健康影响的研究报道, 旨在为团头鲂高效人工配合饲料的配制提供参考和借鉴, 促进团头鲂养殖业健康持续发展。

1 蛋白质

1.1 蛋白质需要量

蛋白质是保障动物的生命活动最重要的营养素之一, 又是鱼、虾体组成的主要有机物质, 占总干重的 65%~75%, 因此蛋白质营养生理一直是水产动物营养研究的热点。目前不同研究者得到

收稿日期:2014-06-27 修回日期:2014-11-14

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201003020);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46);国家自然科学基金(31302199)

通信作者:戈贤平, E-mail: gexp@ffrc.cn

的团头鲂蛋白质需要量有一定差异(21%~41%),差异主要受到水温、鱼体大小和饲料蛋白质品质等因素的影响。当水温为20℃时,团头鲂鱼种对蛋白质的适宜需求量为27%~30%;而当水温为25~30℃时,其适宜蛋白质需求量则上升为25.6%~41.4%^[1]。Li等^[2]通过实用饲料研究发现,1.76g团头鲂摄食含31%蛋白饲料时,生长和蛋白质利用率最佳;Habte-Tsion等^[3]通过纯化饲料得出,16g团头鲂最适蛋白质需求量为32%;邹志清等^[4]利用纯化饲料研究得出,2龄团头鲂(21.4~30g)对饲料蛋白质需要量为21.05%~30.83%;蒋阳阳等^[5]则利用实用饲料研究报道,1龄50g团头鲂饲料蛋白质的适宜添加量为30%。

鱼类饲料蛋白质和能量须维持一定比例,饲料能量相对不足时,饲料蛋白质将更多地被转化成能量维持鱼的生存,造成蛋白质的浪费,饲料能量过高又会降低鱼的摄食量,减少蛋白质和其他营养素的摄入。蒋阳阳等^[5]报道,50g团头鲂饲料适宜的蛋能比为18.21g/MJ。Li等^[2]报道,当饲料能量为18.57MJ/kg(31%蛋白质和7%脂肪)时,团头鲂幼鱼生长和饲料蛋白质利用率最高。

1.2 必需氨基酸需要量

鱼类对蛋白质的需要实际上是对氨基酸的需要,尤其是对必需氨基酸的需要。与其他鱼类一样,团头鲂的必需氨基酸包括蛋氨酸、赖氨酸、精氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、组氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和色氨酸10种氨基酸。Liao等^[6]通过半纯化饲料研究得出,团头鲂幼鱼(3.3g)对蛋氨酸的需要量为8.5g/kg饲料(25g/kg蛋白质),对总含硫氨基酸的需要量为10.7g/kg饲料(31.5g/kg蛋白质)。团头鲂幼鱼对赖氨酸的需要量为23.6g/kg饲料(69.6g/kg蛋白质)^[7]。Ren等^[8]通过半纯化饲料研究得出,精氨酸含量为18.1g/kg饲料(53.2g/kg蛋白质)时团头鲂幼鱼(2.6g)生长最佳。在较大规格团头鲂中,陆茂英等^[9]利用纯化饲料研究得出,100g团头鲂对精氨酸的需要量为20.4~20.8g/kg饲料,对异亮氨酸的需要量为20.2~21.7g/kg饲料,对组氨酸的需要量为6.0~6.2g/kg饲料,对赖氨酸需要量为18.6~19.8g/kg饲料,对异亮氨酸需要量为14.6~14.7g/kg饲料。

1.3 蛋白质原料消化率和选择

掌握鱼类对原料营养物质消化率数据,是配制

全价饲料的基础,不仅有利于提高饲料营养价值而且可以降低饲料成本和减少对水体的污染。团头鲂属偏草食性的广食性鱼类,其对常规动物性、植物性蛋白质原料及能量原料均有较高的消化能力。吴建开等^[10]研究比较了团头鲂对血粉、羽毛粉、秘鲁鱼粉、肉骨粉、国产鱼粉、豆粕、棉籽粕、菜粕、带壳花生粕、玉米胚芽饼、麸皮和米糠12种饲料原料的表观消化率。研究表明,团头鲂对10种蛋白质饲料的蛋白质消化率均在80%以上,对能量饲料米糠和麸皮也有较高的可消化能。姜雪姣等^[11]比较了团头鲂对鱼粉、肉骨粉、豆粕、棉粕、菜粕、花生粕和干酒糟蛋白(distillers dried grains with solubles, DDGS)的消化率,结果表明团头鲂对菜粕干物质、蛋白质及必需氨基酸、总氨基酸的表观消化率最好,而对棉粕、豆粕和花生粕蛋白质的消化率也与鱼粉相似。另外,DDGS作为一种发酵饲料,团头鲂对其中磷的消化率较高,具有很好的应用前景。

姜雪姣等^[12]研究比较了团头鲂对膨化羽毛粉、酶解羽毛粉、血粉、蚕蛹粉、玉米蛋白粉、玉米、碎米和大麦8种非常规原料的表观消化率,在几种动物蛋白质原料中,团头鲂对蚕蛹粉中的各种营养物质的消化率最高,对血粉和羽毛粉中的营养物质也能较好地利用,玉米蛋白粉也是团头鲂的优质蛋白质饲料原料。而碎米和玉米是较好的能量饲料。因此,加强质量控制,开发畜禽加工的副产品作为团头鲂配合饲料蛋白质来源,开展以多种植物蛋白质原料为复合蛋白源的无鱼粉饲料的应用是可行的。

1.4 蛋白质、氨基酸与团头鲂健康

在养殖过程中,饲料蛋白质摄入不足会导致鱼类生长缓慢、甚至体质量减轻及其他生理反应。Habte-Tsion等^[3]报道,长期摄食蛋白质含量较低的饲料,团头鲂幼鱼生长速度降低,引起血清谷草转氨酶活力显著升高,并且造成肝脏功能的损伤。值得注意的是,蛋白质原料来源和品质也会对鱼类健康产生影响。抗营养因子在植物性蛋白源中广泛存在,有些抗营养因子可以直接对水生动物产生毒害作用,扰乱其正常的生理功能,但团头鲂相关研究还鲜有报道。仅发现在饲料中添加30%的棉仁饼和菜籽粕,团头鲂并未有不良反应,但其中棉酚和硫葡萄糖甙对鱼类的毒性以及配合饲料中的适宜用量有待进一步研究^[10]。

氨基酸是构成机体免疫系统的基本物质,氨基

酸摄入不足可导致血浆氨基酸浓度下降,组织中细胞因子的表达降低,引起多种维生素和微量元素的缺乏,从而降低机体的营养水平和免疫功能,最终增加对疾病的易感性及感染性疾病的发生率和死亡率。精氨酸是一氧化氮(NO)的前体物质,在体内一氧化氮合酶(nitric oxide synthases, NOS)的作用下转变为NO和瓜氨酸。而NO在减少胃肠道粘膜的损害、舒张血管,以及调节机体免疫力方面发挥着重要的作用。研究表明,饲料精氨酸的缺乏会导致团头鲂血清总-NOS活力的降低,而随着饲料精氨酸水平的升高,总-NOS活性逐渐恢复^[8]。研究也表明,饲料缺乏或过量赖氨酸对团头鲂幼鱼的肝功能均有一定的负面影响^[7]。

2 脂肪

2.1 脂肪需要量

脂肪是养殖鱼正常生长、发育、繁殖所需高度可消化能的重要来源。刘梅珍等^[13]采用纯化饲料对团头鲂幼鱼(12~15 g)进行脂肪需要量的研究,得出团头鲂饲料脂肪的适宜含量为2%~5%。实用饲料中含7%脂肪对团头鲂幼鱼生长最为有利^[2],而1龄团头鲂饲料中脂肪适宜含量为6%^[5]。当饲料中脂肪不足时,部分蛋白质将作为能源被消耗掉,因此在饲料中适当提高脂肪含量有助于提高蛋白质的利用效率。团头鲂饲料中脂肪含量在4%~7%,脂肪具有明显的蛋白质节约作用^[5]。

2.2 脂肪源和必需脂肪酸需要量

鱼类对饲料脂肪的利用能力,也与脂肪来源及必需脂肪酸的种类有密切关系。一般认为,饲料中含有1% C18 PUFA(18:3n-3和18:2n-6)就能满足淡水鱼类必需脂肪酸需要量^[14]。高艳玲等^[15]研究报道,团头鲂幼鱼的必需脂肪酸种类包括C18:2n-6和C18:3n-3,但对C18:2n-6需求更大,而C20:5-3对团头鲂比C18:2n-6和C18:3n-3对团头鲂具有更强的必需脂肪酸效力。周文玉等^[16]比较饲料不同含量的豆油和鳕鱼肝油对团头鲂生长的影响,发现鱼油的饲养效果明显优于豆油,饲料中同时添加豆油和鱼油,鱼体生长情况较添加单一的等量豆油或鱼油差。

2.3 脂肪、脂肪酸与团头鲂健康

团头鲂作为草食性鱼类,对饲料脂肪耐受能力不高,当团头鲂摄食含5%脂肪饲料时,肝脏结

构能够维持正常,而长期摄食含15%脂肪饲料,团头鲂肝脏脂肪出现累积^[17],并且对线粒体生物学和生理功能造成损害,进而引起氧化胁迫和肝细胞凋亡,最终导致团头鲂免疫力下降^[18]。在实用饲料中添加3%的豆油、菜油和猪油以及添加4.7%的油菜籽,便能满足团头鲂正常生长所需的必需脂肪酸。但饱和脂肪酸含量高的猪油能引起鱼体内脏指数降低但肝胰脂肪含量偏高,长期投喂会引起脂肪肝,对鱼体健康不利。

3 糖类

3.1 饲料糖类适宜添加量

糖类并不是鱼类所必需的营养元素,但是作为最廉价的能量来源,在鱼类饲料中适量添加能够起到降低饲料成本和节约蛋白质的作用。并且淀粉等糖类作为天然粘合剂,可以提高饲料的耐水性和稳定性,已经在鱼类配合饲料中被广泛应用。作为草食性鱼类,团头鲂消化道的 α -糖苷酶、淀粉酶以及 β -葡萄糖醛酸酶活性均高于杂食性和肉食性鱼类,对饲料糖类利用和代谢能力也相对较强。Zhou等^[19]报道,团头鲂饲料适宜的糖水平为31%。脂肪和糖均可以为鱼类提供能量,起到节约部分蛋白质的作用,而糖和脂肪的比例也会对鱼类生长、体组成造成影响,甚至影响免疫力。Li等^[20]报道,糖脂比在2.45~5.64时,团头鲂幼鱼(6.6 g)获得最佳生长,经过回归拟合确定团头鲂幼鱼饲料最适糖脂比为3.58。

纤维素作为非淀粉多糖不易被鱼类消化吸收,但在饲料中适量添加纤维素却具有吸附大量水分,促进肠蠕动,加快粪便排泄的作用,而含量过高会抑制消化,影响营养物质有效利用。一般认为,团头鲂鱼种阶段饲料纤维素含量应 $\leq 11\%$,而成鱼阶段则 $\leq 14\%$ ^[21]。

3.2 饲料糖类与团头鲂健康

饲料糖类过量添加会抑制鱼类生长、引起代谢紊乱和体内脂肪的过度堆积,甚至会导致免疫力下降。Zhou等^[19]报道,饲料中糖类添加过量(47%)不仅影响团头鲂幼鱼生长,而且会显著提高血清草转氨酶活力、皮质醇水平,降低血清溶菌酶、肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性;团头鲂摄食含38%淀粉的饲料,热应激蛋白(HSP70)显著高于摄食含19%、25%和31%淀粉饲料组;感染嗜水气单胞菌后,47%糖添加过量组团头鲂幼

鱼存活率显著下降。

4 维生素

4.1 维生素需要量

鱼类对维生素的需要量极微,但维生素却是参与鱼类新陈代谢、免疫功能、生长和繁殖的重要有机物质,其主要是通过调节体内物质和能量代谢以及参与氧化还原反应对机体起作用。鱼类需要 11 种水溶性维生素:硫胺素(VB_1)、核黄素(VB_2)、吡哆醇(VB_6)、泛酸、尼克酸(VB_3)、生物素、叶酸、钴胺素(VB_{12})、肌醇、胆碱、抗坏血酸(VC)以及 4 种脂溶性维生素 VA 、 VD 、 VE 和 VK 。

维生素 C 对鱼类的营养、免疫具有重要作用,一直是鱼类营养与饲料研究的热点。崔峰等^[22]在团头鲂幼鱼饲料中添加 VC 多聚磷酸酯($LAPP$)和动力 C 两种不同类型 VC 进行养殖实验,研究表明,团头鲂幼鱼饲料中 $LAPP$ 添加量应为 400 mg/kg 以上;动力 C 最佳添加量为 300 mg/kg 。万金娟等^[23]通过在纯化饲料中添加包膜 VC ,以团头鲂幼鱼增重率为评价指标,得到团头鲂幼鱼饲料中 VC 的适宜添加量为 150 mg/kg 。

肌醇,即环己六醇,起到促进脂肪分解、防止脂肪肝发生的作用。崔红红等^[24]研究报道,饲料中添加 $200\sim 400\text{ mg/kg}$ 肌醇有利于团头鲂幼鱼的生长,并在降低肝脏和肌肉脂肪、增加肌肉蛋白质含量等方面发挥作用,以特定生长率为评价指标,团头鲂幼鱼饲料中肌醇适宜添加量为 294 mg/kg 。

胆碱在动物脂肪沉积过程中起着十分重要的作用。一般来说,饲料中缺乏胆碱会导致鱼类生长受阻、饲料利用率低、脂肪代谢能力低下等诸多症状。Jiang 等^[25]报道,团头鲂幼鱼饲料中需要添加外源胆碱,以维持生长和正常的生理功能,胆碱的需要量为 $1\ 198\sim 1\ 525\text{ mg/kg}$ 饲料。王敏等^[26]研究了团头鲂对 7 种常规饲料原料中胆碱的利用:鱼粉 87.42% 、豆粕 112.54% 、菜粕 76.84% 、棉粕 98.00% 、次粉 95.91% 、麸皮 43.88% 、米糠 91.55% ,对于团头鲂幼鱼而言,豆粕是一种很好的胆碱饲料原料,菜粕可以作为一种有效的植物性胆碱饲料来源,而饲料原料所含胆碱不足以满足团头鲂幼鱼需要量,需要额外

添加。

维生素 E 是鱼类必需的脂溶性维生素,除有抗不育功能外,还主要起到抗氧化剂的作用。周明等^[27]研究发现,饲料中添加 $25.0\sim 200.0\text{ mg/kg}$ 维生素 E 可在一定程度上促进团头鲂生长,改善肉质。以增重率为评价指标,得到团头鲂饲料中维生素 E 的适宜添加水平为 138.5 mg/kg 。

维生素 B6(VB_6)是一种水溶性维生素,主要包括吡哆醇、吡哆醛和吡哆胺等 3 种形式,是维持机体正常代谢所必需的微量营养物质。王莹等^[28]以肝脏中的 GOT 及 GPT 活性以及吡哆醇含量为评价指标,拟合折线模型得到团头鲂幼鱼的适宜吡哆醇需求量约为 $4.17\sim 5.02\text{ mg/kg}$ 。

生物素,又名维生素 H,属于水溶性 B 族维生素,是维持动物正常生理机能必需的维生素之一。Qian 等^[29]研究表明,饲料中添加适量的生物素能够促进团头鲂幼鱼生长,以增重率为评价指标,团头鲂幼鱼生物素的需要量为 0.063 mg/kg 饲料。

4.2 维生素与团头鲂健康

维生素缺乏会导致动物生理功能的异常、器官机能障碍等缺乏症,饲料中添加适宜的维生素有利于提高鱼类机体免疫能力。值得注意的是,一些特殊的生理情况下,如繁殖和应激状态鱼类对维生素需求增加。饲料中添加 $133.7\sim 251.5\text{ mg/kg}$ VC 能显著提高团头鲂幼鱼免疫力,并且在感染嗜水气单胞菌情况下, 251.5 mg/kg Vc 组团头鲂存活率最高,高于正常环境下需要量 150 mg/kg ^[30]。 VE 是水产动物的抗氧化营养物质,可以减少对免疫系统有损害的脂类过氧化物的产生。周明等^[31]报道,在高温应激条件下,饲料中添加适量的维生素 E($50\sim 400\text{ mg/kg}$)有利于调节血脂变化,提高团头鲂肠道抗氧化能力,并且可缓解高温应激对团头鲂血液指标波动的影响,减轻脂质过氧化水平,对团头鲂起到一定保护作用,这一需要量也要高于正常生长的需要量。

5 矿物质

5.1 矿物质需要量

无机盐是构成机体组织的重要成分,是维持机体渗透压、调节机体正常生理代谢不可缺少的营养素。与大多数陆生动物不同,鱼类除了从饲料中获得矿物元素外,还可以从水环境中吸收矿物质。淡水动物主要通过鳃和体表吸收,而海水

鱼则从肠和体表吸收,因而其饲料中矿物质的适宜添加量应根据养殖环境的不同而变化。石文雷等^[32]采用正交实验研究得出,团头鲂矿物质需要量分别为钙 0.31%~1.07%、磷 0.38%~0.72%、钾 0.41%~0.57%、钠 0.14%~0.15%、镁 0.04%、铁 0.024%~0.048%。朱雅珠等^[33]采用正交实验研究了痕量微量矿物质的需要量:铁 100 mg/kg, 锌 20 mg/kg, 铜 5 mg/kg, 碘 0.6 mg/kg, 锰 20~50 mg/kg, 钴 1.0 mg/kg, 硒 0.12 mg/kg。Shao 等^[34]报道,饲料中添加 3~6 mg/kg 铜便能满足团头鲂幼鱼的需求,而添加 9 mg/kg 铜能显著提高饲料效率。

5.2 矿物质与健康

矿物质如锌、铁、铜和硒作为金属酶的辅酶,对维持高等脊椎动物免疫系统的细胞功能是至关重要的,但至今有关微量元素对团头鲂免疫系统的影响仍少有报道。Shao 等^[34]发现,饲料添加 100 mg/kg 铜能够提高 AKP 和 ACP 活性,并且能影响肠道微生物菌群结构,进而增加铜在组织中的累积。

6 小结

近年来,随着团头鲂养殖规模和产量的持续增加,针对团头鲂营养需求和健康的研究报道也逐渐增多。但相对于草鱼、鲫等其他大宗淡水养殖品种,团头鲂相关研究的广度和深度仍相对不足。鱼类在不同生长阶段对饲料营养物质的需求存在差异。一般而言,鱼类生长速率会随鱼类成熟而逐渐降低,而影响对营养物质的需求也会逐步降低,并且饲料原料品质、养殖条件,甚至研究手段的不同也会对团头鲂营养需求的确定带来影响。因此,淡水渔业研究中心、南京农业大学和苏州大学营养团队统一研究方法,用 5 年时间完成了不同生长阶段团头鲂对蛋白质、脂肪、碳水化合物等主要营养物与对维生素、矿物元素等 38 种营养成分的营养需求参数的定量研究。相信随着实验数据的逐渐发表,营养数据库的逐步建立,必将为团头鲂精确饲料配方的设计,为其产业的安全、健康和可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] Shi W L, Shan J, Liu M Z, *et al.* A study of the optimum demand of protein by blunt-snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [R]. Roman: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1988.
- [2] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2010, 303 (1): 65 - 70.
- [3] Habte-Tsion H M, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, muscle composition, blood composition and digestive enzymes activities of Wuchang bream, (*Megalobrama amblycephala*) fry [J]. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 2013, <http://www.siamb.org.il/article-1219-IJA-65-2013-925.aspx>.
- [4] Zou Z Q, Yuan F X, Chen S X. Dietary protein requirement of blunt snout bream [J]. *Freshwater Fisheries*, 1987 (3): 21 - 25. [邹志清, 苑福熙, 陈双喜. 团头鲂饲料中最适蛋白质含量. *淡水渔业*, 1987 (3): 21 - 24.]
- [5] Jiang Y Y, Li X F, Liu W B, *et al.* Effects of different protein and lipid levels on the growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) Yearlings [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36 (5): 826 - 836. [蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响. *水生生物学报*, 2012, 36 (5): 826 - 836.]
- [6] Liao Y J, Ren M C, Liu B, *et al.* Dietary methionine requirement of juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) at a constant dietary cystine level [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20 (6): 741 - 752.
- [7] Liao Y J, Liu B, Ren M C, *et al.* Effects of different protein and lipid levels on the growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) Yearlings [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37 (11): 1716 - 1724. [廖英杰, 刘波, 任鸣春, 等. 赖氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清生化及游离必需氨基酸的影响. *水产学报*, 2013, 37 (11): 1716 - 1724.]
- [8] Ren M C, Liao Y J, Xie J, *et al.* Dietary arginine requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture*, 2013, 414 - 415: 229 - 234.
- [9] Lu M Y, Shi W L, Liu M Z, *et al.* The requirement of five essential amino acids in the diet of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Journal of*

- Fisheries of China, 1992, 16(1): 40 - 49. [陆茂英, 石文雷, 刘梅珍, 等. 团头鲂对饲料中五种必需氨基酸的需要量. 水产学报, 1992, 16(1): 40 - 49.]
- [10] Wu J K, Yong W Y, You W Z, *et al.* Apparent digestibility and digestible energy of 12 feedstuffs for bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) [J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 2(3): 55 - 62. [吴建开, 雍文岳, 游文章, 等. 团头鲂对 12 种饲料原料消化率和可消化能的测定. 中国水产科学, 1995, 2(3): 55 - 62.]
- [11] Jiang X J, Liang D N, Liu W B, *et al.* Apparent digestibility of proteins, amino acids and phosphorus of seven feed ingredients for bluntnose black bream [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 119 - 126. [姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 7 种饲料的蛋白质、氨基酸及磷的表现消化率. 中国水产科学, 2011, 18(1): 119 - 126.]
- [12] Jiang X J, Liang D N, Liu W B, *et al.* Apparent digestibility of eight unconventional feed ingredients for *Megalobrama amblycephala* [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(6): 932 - 939. [姜雪姣, 梁丹妮, 刘文斌, 等. 团头鲂对 8 种非常规饲料原料中营养物质的表现消化率. 水产学报, 2011, 35(6): 932 - 939.]
- [13] Liu M Z, Shi W L, Zhu C W, *et al.* Effects of dietary lipids level on the growth of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) Fingerling [J]. Journal of Fisheries of China, 1992, 16(4): 330 - 336. [刘梅珍, 石文雷, 朱晨炜, 等. 饲料中脂肪的含量对团头鲂鱼种生长的影响. 水产学报, 1992, 16(4): 330 - 336.]
- [14] National Research Council (NRC). Nutrient requirement of fish and shrimp [M]. Washinton D C: National Academy Press, 2011: 107 - 109.
- [15] Gao Y L, Ye Y T, Tan F F, *et al.* Effects of dietary lipid sources and choline on growth of *Megalobrama amblycephala* [J]. Feed Research, 2009, (6 - 7): 59 - 64. [高艳玲, 叶元土, 谭芳芳. 不同脂肪源和复合肉碱对团头鲂生长的研究. 饲料研究, 2009, (6 - 7): 59 - 64.]
- [16] Zhou W Y, Yu C Y, Liu J Z, *et al.* Effects of quality and quantity of fat in diet on growth of *Megalobrama amblycephala* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1997, 24(1): 3 - 6. [周文玉, 俞春玉, 刘建忠, 等. 饲料中油脂的质和量对团头鲂生长的影响. 水产科技情报, 1997, 24(1): 3 - 6.]
- [17] Lu K L, Xu W N, Li J Y, *et al.* Alterations of liver histology and blood biochemistry in blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* fed high-fat diets [J]. Fisheries Science, 2013, 79(4): 661 - 671.
- [18] Lu K L, Xu W N, Liu W B, *et al.* Association of mitochondrial dysfunction with oxidative stress and immune suppression in blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* fed a high-fat diet [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 2014, 26(2): 100 - 112.
- [19] Zhou C P, Liu B, Ge X P, *et al.* Effect of dietary carbohydrate on the growth performance, immune response, hepatic antioxidant abilities and heat shock protein 70 expression of Wuchang bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1348 - 1356.
- [20] Li X F, Wang Y, Liu W B, *et al.* Effects of dietary carbohydrate/lipid ratios on growth performance, body composition and glucose metabolism of fingerling blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture nutrition, 2013, 19(5): 701 - 708.
- [21] Zhang Y Y, Liu B, Zhou C P, *et al.* The Research Progress of Nutritional Requirements for *Megalobrama amblycephala* Yih [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2010, 38(32): 18239 - 18241. [张媛媛, 刘波, 周传朋, 等. 团头鲂对营养需求的研究进展. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18239 - 18241.]
- [22] Cui F, Wang S, Bao F Y, *et al.* Effects of Different Types of Vitamin C on the growth of infant *Megalobrama amblycephala* [J]. Journal of Anhui Agrotechnical Teachers College, 2002, 16(4): 7 - 9. [崔峰, 王松, 鲍方印, 等. 饲料中添加不同类型 Vc 对团头鲂幼鱼生长的影响. 安徽技术师范学院学报, 2002, 16(4): 7 - 9.]
- [23] Wang J J, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary vitamin C on growth performance, hematology and muscle physiochemical indexes of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(1): 112 - 119. [王金娟, 刘波, 戈贤平, 等. 维生素 C 对团头鲂幼鱼生长、血液学及肌肉理化指标的影响. 上海海洋大学学报, 2013, 22(1): 112 - 119.]
- [24] Cui H H, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary inositol on growth performance, physiological and biochemical indexes of serum and fat content in liver and muscle of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(6): 868 - 875.

- [崔红红,刘波,戈贤平,等.肌醇对团头鲂幼鱼生长、血清生化及组织成分含量的影响.上海海洋大学学报,2013,22(6):868-875.]
- [25] Jiang G Z, Wang M, Liu W B, *et al.* Dietary choline requirement for juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(4):499-505.
- [26] Wang M, Jiang G Z, Liu W B, *et al.* Utilization of choline in different levels and dietary choline availability values in seven common feed ingredients for juvenile blunt snout bream [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(1):51-57. [王敏,蒋广震,刘文斌,等.团头鲂幼鱼对不同浓度胆碱的利用率及7种常见饲料原料中胆碱生物学效价的评定.水生生物学报,2014,38(1):51-57.]
- [27] Zhou M, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of Dietary Vitamin E Supplemental Level on Growth Performance, Blood and Muscle Physiochemical Indexes of *Megalobrama amblycephala* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(7):1488-1496. [周明,刘波,戈贤平,等.饲料维生素E添加水平对团头鲂生长性能及血液和肌肉理化指标的影响.动物营养学报,2013,25(7):1488-1496.]
- [28] Wang Y, Li X F, Zhang W W, *et al.* Optimal dietary pyridoxine requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(4):632-639. [王莹,李向飞,张微微,等.团头鲂幼鱼吡哆醇适宜需求量的研究.水生生物学报,2013,37(4):632-639.]
- [29] Qian Y, Li X F, Sun C X, *et al.* Dietary biotin requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20(6):616-622.
- [30] Wang J J, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary vitamin C on the non-specific immunity, three HSPs mRNA expression and diseases resistance of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(1):10-18. [王金娟,刘波,戈贤平,等.日粮中不同水平维生素C对团头鲂幼鱼免疫力的影响.水生生物学报,2014,38(1):10-18.]
- [31] Zhou M, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of Vitamin E on serum biochemical indexes and antioxidant capacity of *Megalobrama amblycephala* under acute high temperature stress and recovery [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(9):1369-1377. [周明,刘波,戈贤平,等.不同水平维生素E对高温应激及常温恢复后团头鲂血清生化指标、肠道抗氧化能力的影响.水产学报,2013,37(9):1369-1377.]
- [32] Shi W L, Liu M Z, Lu M Y, *et al.* Studies on requirement of *Megalobrama amblycephala* for several main inorganic salts [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1997, 21(4):458-461. [石文雷,刘梅珍,陆茂英,等.团头鲂对几种主要无机盐需要量的研究.水产学报,1997,21(4):458-461.]
- [33] Zhu Y Z, Yang G H. Requirement of *Megalobrama amblycephala* fingerlings for trace elements [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1998, 7(suppl.):123-129. [朱雅珠,杨国华.团头鲂鱼种对微量元素需要的研究.上海水产大学学报,1998,7(增刊):123-129.]
- [34] Shao X P, Liu W B, Lu K L, *et al.* Effects of tribasic copper chloride on growth, copper status, antioxidant activities, immune responses and intestinal microflora of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2012, 338-341:154-159.

Advances on the nutrition requirements and effects of dietary nutrition on immunity for blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* Yin

REN Mingchun^{1,2}, ZHOU Qunlan¹, MIAO Linghong¹, GE Xianping^{1,2*},
LIU Bo^{1,2}, XIE Jun^{1,2}, SUN Shengming¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: Blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) is one of the major freshwater aquaculture species in China, and aquaculture of this species has been rapidly expanded in the last decade. Efforts have been made over the past two decades, especially in the case of farmed fish species, to understand the dietary nutritional requirement. However, dietary nutritional requirements have generally been based on growth and deficiency symptoms, rather than on the health status indicators including immune responses and disease resistance. Generally, the physiological outcomes attributed to these nutrients or additives are presumed to be translated to good health and protected water environment. In addition, some ingredients such as vitamin have showed to play an important role in immunity function of fish. Aqua-feeds of the future are expected to impart dual benefits of good growth and health to the farmed organism, and preventive health care through nutritional means is certainly a strategy to ensure sustainability in environment friendly aquaculture. Indeed, this review addressed these concerns by providing an overview of published nutrient requirements (dietary protein, lipid, carbohydrate, vitamins and minerals) on the growth and the links between nutrition, immune response and resistance to diseases of *M. amblycephala*, and the influence of water temperature on the determination of these nutrients requirement in order to provide scientific references for efficient development of compound feed for this species.

Key words: blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala* Yin); aquaculture; aquafeed; nutrient requirement; immunity

Corresponding author: GE Xianping. E-mail: gexp@ffrc.cn