

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6755.2016.05.027

桑叶在水产饲料中应用研究进展

潘世会,周慧慧,边富云,何 良

(中国海洋大学农业部水产动物营养与饲料重点实验室,山东 青岛 266003)

摘要:随着水产养殖业集约化和规模化发展,全球鱼粉需求和供应之间的矛盾加大,急需寻找新的蛋白源,保障水产养殖业健康可持续发展。桑叶作为一种新型植物蛋白源,含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质和天然活性物质,并且氨基酸种类齐全,营养价值高,具有较大的开发潜力。本文结合近几年桑叶的研究报道,介绍了桑叶的营养价值,综述了饲料中使用桑叶粉对水产动物的生长、消化、品质和原料表观消化率的影响,初步探讨了提高桑叶在水产饲料中应用的可行性。

关键词:桑叶;鱼粉;生长;品质;表观消化率

我国是世界上唯一的水产养殖产量超过捕捞产量的国家,也是世界上头号水产养殖大国,每年水产养殖所需的饲料数目庞大。长期以来,鱼粉因蛋白含量高、氨基酸平衡、适口性好、抗营养因子少、富含一些未知促摄食生长因子^[1-2]而被作为水产饲料的主要蛋白源^[3]。近年来,随着环境恶化、厄尔尼诺等自然灾害频发、远洋捕捞产量下降、鱼粉价格高涨,导致鱼粉的供应量不能满足水产养殖快速发展的需要,因此急需寻找开发新的蛋白源替代鱼粉。其中,桑叶以较高的蛋白质,丰富的氨基酸和多种天然活性物质等特点而受到关注。2000年,FAO召开“桑树在动物生产应用(mulberry for animal production)”重要会议,共同探讨了桑叶添加在动物饲料中的应用价值。目前,桑叶应用研究报道主要集中在奶牛^[4-5]、山羊^[6-7]、肉鸡^[8-10]、蛋鸡^[11]等畜禽动物上面,并证实了饲料中适量添加桑叶对养殖动物的生产性能有积极的意义。自16世纪以来,我国就有种桑、养蚕和养鱼相结合的“桑基鱼塘”模式,并取得良好的经济效益,一直被人津津乐道。因此新时代桑叶如何高效应用到水产饲料中,是一个值得研究探讨的问题。本文结合近几年国内外相关研究报道,对桑叶粉在水产饲料中的应用情况作一概述。

1 桑叶的营养价值

桑叶(*Morus alba* L.),是桑科植物桑的干燥叶,传统上一直作为家蚕的饲料,至今已经有几千年的历史。我国桑种资源丰富、种植范围广泛,预估每年桑叶累计产量可达1 197万吨^[12]。桑叶含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质和天然活性物质,氨基酸种类齐全,营养价值高,被称为“天然的植物营养库”。目前,国内外对其营养成分报道较多,但因品种、产地、季节和加工方式不同等因素的影响,其结果也有较大的差异。综合近年来的研究报道^[13-20],桑叶的主要营养成分如表1。黄静等(2014)统计桑叶、大豆、苜蓿草、小麦等作物的基础营养成分,发现桑叶的粗蛋白、粗脂肪仅次于大豆,明显高于苜蓿草、玉米等作物,粗纤维的含量是苜蓿草的43%^[21],而苜蓿草营养价值高而被称为“饲草之王”。由此可见,桑叶是一种值得开发利用的蛋白源。

食品中蛋白质的营养价值与其含有的必需氨基酸的种类、数量和氨基酸之间的比例密切相关,其组成比例越接近人体的组成比例,就表明其质量越好。桑叶中的氨基酸不仅含量丰富,而且种类是饲料作物中最齐全的。王芳等(2015)对桑叶蛋白研究发现,桑叶蛋白的7种必需氨基酸(除色

基金项目:公益性(农业)行业科研专项(201303053);山东省杰出青年基金项目(JQ201206)资助。

作者简介:潘世会(1989-),男,硕士生,研究方向:水生动物生理学。panshihuiouc@163.com

通讯作者:何良 E-mail:hegen@ouc.edu.cn

氨酸外)含量可达36.1%,EAA/TAA值可达34.7(色氨酸除外),EAA/NEAA值可达0.531,其营养价值接近在营养学上被公认的“优质蛋白”——大豆蛋白的价值,大豆蛋白的7种必需氨基酸(除色氨酸外)含量为38.1%,EAA/TAA值约0.349和EAA/NEAA约0.538。根据氨基酸比值系数法和模糊识别法评价,其氨基酸比值系

数分(SRCAA)接近70,可以与猪肉(74)、牛肉(74)的营养价值相媲美。另外,谷氨酸和天冬氨酸分别可以达到48.9 mg/g pro和43.8 mg/g pro,这两种氨基酸可以与氯化钠发生反应,生成鲜味物质,进而促进水产动物的摄食积极性^[17,22]。可见,桑叶蛋白具有较高的营养价值和利用价值。

表1 桑叶粉的主要营养物质含量

营养成分	含量/%	营养成分	含量/mg·kg ⁻¹	营养成分	含量/mg·kg ⁻¹	营养成分	含量/mg·kg ⁻¹
粗蛋白	15~30	钙	(1.0~3.0)×10 ⁴	类胡萝卜素	60~120	烟酸	20~50
粗脂肪	4~10	钾	(0.8~1.0)×10 ⁴	维生素B ₁	5~8	视黄醇	~6.7
粗纤维	8~12	镁	(0.5~0.9)×10 ⁴	维生素B ₂	8~16	多糖	(1.0~1.4)×10 ⁵
无氮浸出物	30~35	铁	300~500	维生素B ₅	30~50	黄酮	(3.3~3.5)×10 ⁴
粗灰分	8~15	锰	40~180	维生素B ₁₁	50~60	1-脱氧野尻霉素	(0.8~1.2)×10 ³
磷	0.3~0.6	锌	20~70	维生素C	300~400		
果胶	10~12	铜	8~12	维生素E	300~400		

2 桑叶在水产养殖中的应用

2.1 桑叶粉对水产动物生长的影响及其在饲料中的适宜添加量

鱼类的生长性能是评价蛋白源优劣的重要指标。相比鱼粉,植物蛋白源由于含有较多的粗纤维、抗营养因子和氨基酸不平衡等特点,在水产饲料中随着添加量的增加,会对水产动物造成不同程度的影响。一般来讲,随着饲料中植物蛋白源添加量的增加,水产动物的生长速度、饲料利用率下降,死亡率增加。而植物蛋白源的添加量在适宜的范围内,不会对养殖动物的生长造成负面影响^[23]。然而,植物蛋白源在水产饲料中的添加量会因处理植物蛋白的方式、添加的形式及不同的养殖对象等因素的影响而有所不同。

2.1.1 直接添加 植物蛋白源中普遍存在抗营养因子,这些抗营养因子不仅会降低饲料的适口性,而且还会破坏营养成分,降低饲料的营养价值。例如,单宁(tannins)可以在口腔中与其他蛋白质结合,具有苦涩味道,影响饲料的适口性,进入肠道后,又可以和肠道消化酶结合,延长饲料消

化时间,影响动物的摄食量。虽然,畜禽上面的研究发现,饲料中添加少量的桑叶有助于提高养殖动物的生长性能、降低料重比,改善肠道菌群^[5,24]。但是,桑叶粉直接添加到水产饲料中能否起到类似的效果,就目前的研究报道,还未有相关报道证实这一点。马恒甲等(2013)研究发现,草鱼饲料中添加5%的桑叶粉不影响草鱼的生长性能;但当添加量达到10%,草鱼的生长性能明显下降^[25]。李法见和杨阳等(2014)的研究表明,罗非鱼饲料中分别添加10%不同产地的桑叶粉,不影响罗非鱼的生长机能^[26]。由此可见,水产动物饲料中直接添加桑叶粉是可行的,不影响水产动物的生长等性能,但是,添加量不宜太高。这可能是饲料添加大量的桑叶时,桑叶中的一些防御蛋白、植物凝集素和丹宁等抗营养因子对水产动物消化吸收造成的负面影响;另外,桑叶表面覆盖蜡质层,单胃动物难以消化利用。

2.1.2 发酵处理后添加 发酵处理是一种借助微生物菌群去除植物蛋白源中抗营养因子和有毒有害物质的高效而廉价的方法。已有大量的研究表明,发酵处理植物蛋白源,可以有效降低或消除

抗营养因子、显著提高常规营养成分、增加种生物活性因子^[27-29]。Anilava Kaviraj(2012)对桑叶进行了发酵处理,发现经过发酵处理后,桑叶中的植酸和单宁明显降低,基本在配合饲料中检测不出。近年的研究表明,经过发酵技术处理的桑叶粉,在水产饲料中的添加量也有显著的提高^[30]。Mondal等(2011)的研究结果表明,饲料中添加75%的发酵桑叶不影响淡水鲶鱼(*Heteropneustes fossilis*)的生长和饲料利用^[31]。Kausik Mondal(2012)等在研究桑叶部分替代鱼粉对巴塔野鲮(*Labeobata*)的影响的实验中发现,发酵桑叶粉替代50%的鱼粉时,巴塔野鲮的增重率、特定生长率明显高于对照组,而且还展现出良好的饲料利用率^[32]。陈文燕(2015)的研究表明,罗非鱼饲料中添加40%的发酵桑叶不影响其生长性能^[33]。

2.1.3 与其他蛋白源配伍使用

蛋白源配伍是根据水产动物的营养需求,结合不同蛋白源的优缺点,科学合理调整不同蛋白源在混合物的比例,互相补偿各自的营养上的不足,缓解单一蛋白源中氨基酸不足或过多,进而提高整体复合蛋白源的营养价值,从而整体提高其在水产饲料中的使用量。桑叶中的氨基酸种类齐全,是其他植物蛋白源不能媲美的。另外,还富含赖氨酸、苯丙氨酸等必需氨基酸,谷氨酸、天冬氨酸等增进食物鲜味氨基酸和1-脱氧野尻霉素等生物活性物质。Kausik Mondal等(2011)对印度囊鳃鲶(*Heteropneustes fossilis*)的研究发现,以30%鱼的下脚料、24%的桑叶混合发酵后,可以替代饲料中75%的鱼粉而不影响印度囊鳃鲶的生长性能^[31]。Anilava Kaviraj等(2013)对南亚野鲮(*Labeo rohita*)的研究发现,桑叶和鱼的下脚料混合发酵后可以替代饲料中80%的鱼粉,而对南亚野鲮的生长机能和饲料利用率不产生负面影响^[34]。

2.2 对水产动物生理健康的影响

目前,有关桑叶对水产动物生理健康的研究报道比较少,主要集中在肠道消化酶上面。鱼类的消化酶大致可以分为蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶等,其活性受鱼种类、生长阶段、健康状态和环境等因素的影响,但其活性的强弱可以反映鱼类的消化能力的大小,是反映饲料蛋白源优劣的重要指标。Kausik Mondal等(2012)对巴塔野鲮(*Labeobata*)的研究发现,饲料中添加65%的发

酵桑叶,明显提高了巴塔野鲮的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性,但是其后随着添加量的增加,蛋白酶的活性逐渐下降,这种结果可能是饲料中纤维素的增加导致的^[32]。随后,Mondal K等(2015)对巴塔野鲮的研究发现,以24%的桑叶和30%鱼的下脚料混合发酵后替代75%的鱼粉,巴塔野鲮淀粉酶、脂肪酶较对照组有明显的提高,但蛋白酶活性有所降低,这可能与桑叶和鱼的下脚料混合比例不同所致^[35]。可见,饲料中添加适量的桑叶,有助于提高水产动物消化酶活性。

2.3 对水产动物品质的影响

鱼类品质的研究相对于畜禽类起步晚、研究时间短,且目前尚无统一的标准。目前,桑叶对水产动物肌肉品质的影响主要集中在肌肉的pH值、滴水损失及熟肉率等肌肉理化性质的研究。pH值通过影响挥发性芳香化合物生物合成代谢途径,硫化氢、二甲基硫醚和三甲胺等小分子的生成和美拉德反应^[36]等方面影响鱼肉的气味^[37]。正常情况下鱼肉的pH呈中性或偏碱性,鱼死亡后,鱼体贮存的糖原通过糖酵解途径生成大量的乳酸,导致肌肉pH值显著下降,进而引起蛋白质变性,贮存时间缩短^[38]。肌肉蛋白质的持水能力可以通过滴水损失来评价,滴水损失越小,肌肉失水率越小,肌肉的品质也就越好。李法见和杨阳等(2014)对罗非鱼的研究发现,饲料中添加10%的桑叶可以降低肌肉pH的下降速度和滴水损失^[26]。不同处理条件下,肌肉蛋白质的保水能力及烹调损失可以通过熟肉率来反映。李法见等(2014)对罗非鱼的研究发现,饲料中添加10%的桑叶,可以明显提高罗非鱼的熟肉率^[26]。草鱼饲料中添加5%的桑叶,对改善草鱼出肉率和血脂含量有积极的作用。可见,饲料中添加适量的桑叶可以提高水产动物的品质。另外,饲料蛋白源的影响表现在饲料中使用植物蛋白或鱼粉以外的动物蛋白能提高鱼肉的硬度^[39-41],饲料中添加桑叶是否有助于提高鱼体肌肉的硬度,还有待进一步研究。

2.4 对饲料表观消化率的影响

消化率(Digestibility)是指被动物消化吸收的蛋白质或其他营养物质占摄入食物的百分比,它是反映鱼类对饲料营养物质消化吸收状况的重要指标,也是评价饲料原料营养价值的重要指标。

Kausik Mondal(2012)对巴塔野鲮(Labeobata)的研究发现,以发酵桑叶分别替代饲料中50%、75%、80%的鱼粉,随着发酵桑叶粉的增加饲料表观消化率逐渐降低,但是这种变化不大,都在88.78%~88.99%之间^[32]。Kausik Mondal(2011)对淡水鲶鱼(Heteropneustes fossilis)的研究发现,饲料中添加65%~80%的发酵桑叶,随着添加量的增加,表观消化率逐渐下降,变化范围在78.70%~89.17%,其中添加75%和80%发酵桑叶粉组的表观消化率与对照组差异显著^[31]。姜瑞丽(2010)分别以30%的豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉和70%的基础饲料组成的饲料喂养罗非鱼,发现罗非鱼对其表观干物质消化率分别为67.99%、47.07%、58.39%和58.32%^[42]。由此可见,虽然配方、鱼的种类不同,但是可以看出不同食性的鱼对发酵桑叶粉的表观消化率要高于豆粕、菜粕、肉骨粉和羽毛粉,肉食性鱼类对植物蛋白源的消化率较草食性鱼类的表观消化率偏低。

3 提高桑叶在水产饲料中利用的途径

3.1 桑叶粉深加工,浓缩提取桑叶蛋白

水产动物不同于陆地畜禽动物,其对饲料中的蛋白质要求比较高,而且不能有效利用饲料中的碳水化合物。在寻找开发水产动物饲料新蛋白源时,必须考虑蛋白源中的蛋白质含量。桑叶粉中的粗蛋白含量虽然较玉米、苜蓿草、小麦等饲料作物的蛋白含量高^[21],但比鱼粉低得多,鱼粉粗蛋白含量一般在60%以上^[43-44]。因此,桑叶粉深加工,浓缩提取桑叶蛋白是提高其在水产饲料中应用的有效方法。蛋白浓缩加工工艺在大豆、玉米等农作物加工领域中已经比较成熟,但在桑叶粉上面还处于摸索研究阶段。据报道,桑叶粉经过浓缩、提取等加工工艺处理,蛋白含量极大提高^[44]。但是,目前还未有桑叶蛋白在水产饲料应用的报道,但可以大胆预想,今后桑叶蛋白将是水产饲料中替代鱼粉研究的一个热点方向。

3.2 发酵及与其他蛋白源配伍使用

发酵可以有效降低植物蛋白源中的抗营养因子,提高蛋白源的营养价值^[27-28,45],并在水产饲料应用中取得良好的效果。但是,目前发酵桑叶的工艺并不成熟,使用的菌种比较复杂,发酵时间长。例如,Kausik Mondal(2011)就发酵桑叶和鱼

的下脚料配合使用对淡水鲶鱼的研究中,以乳酸杆菌(Lactobacillus sp.)、红假单胞菌(Rhodopseudomonas sp.)、自生固氮菌(Azotobacter sp.)、啤酒酵母(Saccharomyces sp.)和链霉菌(Streptomyces sp.)在27~30℃的条件下发酵混合物,用时36~40d^[31]。Kausik Mondal(2012)就发酵桑叶对巴塔野鲮的生长和消化酶活性的研究中,以乳酸杆菌(Lactobacillus sp.)、红假单胞菌(Rhodopseudomonas sp.)、自生固氮菌(Azotobacter sp.)、啤酒酵母(Saccharomyces sp.)在27~30℃的条件下发酵桑叶,用时40~44d^[32]。而H Has(2013)就发酵桑叶对肉鸡的末重、干物质和粗纤维的消化及能量代谢的研究中,先用马的瘤胃液处理,然后在厌氧、37~41℃的条件下,用时一周即可发酵完成,大大缩短发酵时间^[46]。因此,未来关于桑叶的发酵,可以优化发酵菌种,发酵条件,提高发酵效率和发酵质量。

3.3 添加晶体氨基酸

桑叶蛋白的氨基酸虽然丰富、种类齐全,但是经氨基酸比值系数法和模糊识别法分析,异亮氨酸为其第一限制氨基酸^[17]。异亮氨酸(Ile)是鱼类等水产动物的必需氨基酸,主要的生理功能为参与氨基酸和蛋白质的调节,如促胰岛素分泌与蛋白质合成过程中,可以为谷氨酰胺合成提供底物,作为机体内组织器官蛋白质代谢的信号物等,对机体组织修复和生长,维持体内氮平衡有积极的作用^[47]。据报道,饲料中添加异亮氨酸可以肉鸡和哺乳猪的生产性能^[48]。但目前还未有桑叶应用的水产动物饲料中添加异亮氨酸的研究报道。因此,未来桑水产饲料中添加异亮氨酸是否有助于提高桑叶应用价值还需要进一步实验验证。

4 结语

有关桑叶在水产饲料中的应有研究表明,桑叶粉直接添加到水产动物饲料中是可行的,但是效果并不理想。而发酵与其他蛋白源复合发酵的桑叶,可以高效替代水产饲料中的鱼粉,并且适量添加对养殖动物的生长性能、消化、鱼体的品质有积极的意义。随着水产养殖业的快速发展,鱼粉的供需矛盾加剧,中国作为水产养殖大国,寻找开发新的蛋白源对水产养殖和水产饲料整个行业

的发展具有重要的意义。结合桑叶粉的营养价值及其在水产饲料中的研究现状,高效廉价地提取桑叶蛋白、发酵工艺处理和桑叶与其他蛋白源配伍使用应是研发者今后研究的重点。

参考文献:

- [1] Berge G M, Storebakken T. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry[J]. *Aquaculture*, 1996, 145(1): 205-212
- [2] Kiel M J, Yilmaz H, Iwashita T, et al. SLAM family receptors distinguish hematopoietic stem and progenitor cells and reveal endothelial niches for stem cells[J]. *Cell*, 2005, 121(7): 1109-1121
- [3] Bonaldo A, Parma L, Mandrioli L, et al. Increasing dietary plant proteins affects growth performance and ammonia excretion but not digestibility and gut histology in turbot (*Psetta maxima*) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2011, 318(1): 101-108
- [4] 苏海涯, 吴跃明, 刘建新. 桑叶中的营养物质及其在反刍动物饲养中的应用[J]. *中国奶牛*, 2002(1): 26-28
- [5] 郭建军, 李晓滨, 齐雪梅, 等. 饲料中添加桑叶对奶牛产奶量和奶品质的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2011(02): 96-97
- [6] Kantwa S C, Gupta L, Singh B P, et al. Nutritional evaluation of mulberry (*Morus alba* L.) green leaves in sheep and goats[J]. *Indian Journal of Small Ruminants*, 2006, 12(2): 202-205
- [7] 雷云芳, 钱金明. 蚕沙及剩余桑叶饲养山羊试验简报[J]. *蚕桑茶叶通讯*, 1998(4): 17-17
- [8] 常文环. 桑叶粉对肉鸡生长性能、血清尿素氮和肉品质的影响[J]. *当代畜禽养殖业*, 2007(1): 61-63
- [9] 吴萍, 厉宝林, 李龙, 等. 日粮中添加桑叶粉对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和肉品质的影响[J]. *中国家禽*, 2007, 29(7): 13-15
- [10] 兰翠英, 董国忠, 黄先智, 等. 桑叶粉对肉鸡生长性能和屠宰性能及肉质的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2012(13): 27-31
- [11] 兰翠英, 董国忠, 黄先智. 桑叶粉对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J]. *中国饲料*, 2011(19): 40-44
- [12] 杜周和, 刘俊凤, 左艳春, 等. 桑叶的营养特性及其饲料开发利用价值[J]. *草业学报*, 2011, 20(5): 192-200
- [13] 丁佐龙. 桑叶营养成分分析及其饲用价值初探[J]. *安徽农业大学学报*, 1999, 26(4): 478-480
- [14] 苏海涯, 吴跃明, 刘建新. 桑叶中的营养物质和生物活性物质[J]. *饲料研究*, 2001(9): 1-3
- [15] 刘文娇, 薛凌峰. 桑叶作为饲料资源的应用研究进展[J]. *兽药与饲料添加剂*, 2007, 12(6): 23-26
- [16] 张永俊, 张跃辉, 王妍. 黑龙江省东南部地区主栽桑树桑叶营养成分测定与分析[J]. *现代农业科技*, 2011(5): 15-16
- [17] 王芳, 乔璐, 张庆庆, 等. 桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. *食品科学*, 2015(01): 225-228
- [18] 张爱芹. 畜牧业新型饲料源——桑叶的营养价值及青贮技术[J]. *甘肃农业*, 2008(9): 62.
- [19] USTUNDAG A O, OZDOGAN M. Usage possibilities of mulberry leaves in poultry nutrition[J]. *Scientific Papers, Series D. Animal Science*, 2015, 58: 170-178
- [20] 中国饲料数据库情报网中心. 中国饲料成分及营养价值表(2013年第24版)[J]. *中国饲料*, 2013(21): 34-43
- [21] 黄静, 邝哲师, 刘吉平, 邹宇晓, 赵祥杰, 沈维治, 廖森泰. 桑叶在动物饲料的应用研究现状与发展策略[J]. *蚕业科学*, 2014(06): 1114-1121
- [22] 王凤翼, 钱方. 大豆蛋白的生产与应用[M]. 北京: 中国轻工出版社, 2004. 110-115
- [23] 艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(6): 929-935
- [24] 李有贵, 张雷, 钟石, 等. 饲料中添加桑叶对育肥猪生长性能、脂肪代谢和肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(9): 1805-1811
- [25] 马恒甲, 刘新轶, 谢楠, 等. 桑叶粉在草鱼饲料中的应用初探[J]. *杭州农业与科技*, 2013(3): 29-30
- [26] 李法见, 杨阳, 陈文燕, 等. 桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3485-3492
- [27] Feng X M, Larsen T O, Schnürer J. Production of volatile compounds by *Rhizopus oligosporus* during soybean and barley tempeh fermentation[J]. *International journal of food microbiology*, 2007, 113(2): 133-141
- [28] Hong K J, Lee C H, Kim S W. Aspergillus oryzae GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals[J]. *Journal of medicinal food*, 2004, 7(4): 430-435
- [29] 黄艳娜, 蒋钦杨. 发酵豆粕替代鱼粉在水产养殖业的应用[J]. *饲料研究*, 2014(11): 67-70.
- [30] Kaviraj A, Mondal K, Mukhopadhyay P K, et al. Impact of fermented mulberry leaf and fish offal in diet formulation of Indian major carp (*Labeo rohita*) [C]// *Proceedings of the Zoological Society*. Springer-Verlag, 2013, 66(1): 64-73
- [31] Mondal K, Kaviraj A, Mukhopadhyay P K. Introducing mulberry leaf meal along with fish offal meal in the diet of freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis* [J]. *Electronic Journal of Biology*, 2011, 7(3): 54-59
- [32] Mondal K, Kaviraj A, Mukhopadhyay P K. Effects of partial replacement of fishmeal in the diet by mulberry leaf meal on growth performance and digestive enzyme activities of Indian minor carp *Labeo bata* [J]. *International Journal of Aquatic Science*, 2012, 3(1): 72-83
- [33] 陈文燕, 陈拥军, 彭祥和, 等. 罗非鱼低鱼粉饲料中桑叶发酵蛋白替代鱼粉的研究[J]. *动物营养学报*, 2015(12): 40
- [34] Kaviraj A, Mondal K, Mukhopadhyay P K, et al. Impact of fermented mulberry leaf and fish offal in diet formulation of Indian major carp (*Labeo rohita*) [C]// *Proceedings of the Zoological Society*. Springer-Verlag, 2013, 66(1): 64-73

(下转第83页)

四是宣传工作也要紧抓不放。我们可以通过新媒体和传统媒体来进行推广,利用讲座和论坛、留言和养殖户进行互动,利用亲身体验来感受有机水产养殖的好处。还要定期进行回访,让消费者有信心,刺激消费。对于规模较大、环境较优质的基地积极向国家申报,给予一定的物质和精神奖励,从而鼓励大家多多参与进来。

五是强化合作,互通有无。国内的有机水产

养殖仍然处于探索之中,各个地区的养殖企业和管理部门应该强化合作,相互借鉴,相互扶持,共同进步。同时,还要多多学习国外的先进技术,走出去、请进来相结合,鼓励大家多多参与到国际竞争中去,积极参与国际上组织的博览会、展销会等,从而全面提升我国有机水产养殖的水平和影响力。

(收稿日期:2016-03-15)

(上接第81页)

- [35] Mondal K, Kaviraj A, Mukhopadhyay P K. Growth performance of Indian minor carp *Labeo bata* fed varying inclusions of fermented fish-offal and mulberry leaf meal based-diets[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2015, 14(3): 567-582
- [36] Kawai T, Sakaguchi M. Fish flavor[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 1996, 36(3): 257-298
- [37] 马睿. 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014
- [38] 林荣泉. 加强畜禽产品卫生安全管理[J]. 肉类工业, 2008(12): 48-49
- [39] De Francesco M, Parisi G, Médale F, et al. Effect of long-term feeding with a plant protein mixture based diet on growth and body/fillet quality traits of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 2004, 236(1): 413-429
- [40] Hu L, Yun B, Xue M, et al. Effects of fish meal quality and fish meal substitution by animal protein blend on growth performance, flesh quality and liver histology of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. Aquaculture, 2013, 372: 52-61
- [41] 关磊, 朱瑞俊, 李小勤, 等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 748-753
- [42] 姜瑞丽, 王岩, 谢宁峡, 等. 尼罗罗非鱼对豆粕, 菜粕, 肉骨粉和羽毛粉的表现消化率[J]. 上海海洋大学学报, 2010(3): 339-343
- [43] Mohanta K N, Subramanian S, Korikantimath V S. Replacement of fish meal protein by surimi by product protein in the diet of blue gourami *Trichogaster trichopterus* fingerlings [J]. Journal of animal physiology and animal nutrition, 2013, 97(1): 10-19.
- [44] 杨晶, 张敏娟, 薛忠民, 等. 桑树叶蛋白提取及蛋白粉制备工艺[J]. 蚕业科学, 2015, 41(3): 518-524
- [45] Hur S J, Lee S Y, Kim Y C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods [J]. Food chemistry, 2014, 160: 346-356
- [46] Has H, Yunianto V D, Sukamto B. The effectivity of fermented mulberry leaves with rumen liquor as broiler feed on final body weight, dry matter and crude fiber digestibility, and metabolic energy[J]. Journal of Animal Production, 2013, 15(3): 173-179
- [47] 路凯, 徐玮, 麦康森, 王震, 严晶, 徐瀚林, 艾庆辉. 生长中期花鲈对 L-异亮氨酸需要量的研究[J]. 水产学报, 2015(02): 203-212
- [48] Miranda D J A, Vieira S L, Angel C R, et al. Broiler responses to feeds formulated with or without minimum crude protein restrictions and using supplemental l-valine and l-isoleucine[J]. The Journal of Applied Poultry Research, 2014, 23(4): 691-704

Use of Mulberry Leaf in Aquatic Animal Diets: A Review

PAN Shi-hui, ZHOU Hui-hui, BIAN Fu-yun, HE Gen

(Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feed, Ocean University of China, Qingdao, China, 266003)

Abstract: With the rapid development of aquaculture, the contradiction between demand and supply of global fishmeal gradually increase. It is urgent to find new sources of protein to ensure the healthy and sustainable development of aquaculture. Mulberry leaves has great potential because it contains rich protein, vitamins, minerals, natural active substances and balanced amino acids profile. This paper evaluates the nutritional value of Mulberry leaf, and reviews its effects on aquatic animals in growth performance, digestion, meat quality and apparent digestibility. This review also discussed the main research fields of mulberry leaves as a kind of aquatic feed.

Key words: Mulberry leaves; Growth; Quality; Digestion

(收稿日期:2016-03-15)