

饲料中脂肪对水产品品质影响的研究进展

庄柯瑾¹, 王 帅¹, 王锡昌^{1,*}, 吴旭干², 郭燕茹¹

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 随着水产养殖产业的不断发展, 水产品越来越受到消费者青睐, 人们对水产品品质的要求也逐渐提高。根据近年来国内外相关研究报道, 探讨了饲料中不同脂肪源和脂肪水平对养殖水产品感官、营养及风味等品质的影响, 并对接下来的研究方向进行展望, 以期水产品饲料配比及品质提升提供理论依据, 为水产养殖行业提供有利参考。

关键词: 水产品; 品质; 饲料; 脂肪源; 脂肪水平

Review: Influence of Dietary Lipid on the Quality of Aquatic Products

ZHUANG Kejin¹, WANG Shuai¹, WANG Xichang^{1,*}, WU Xugan², GUO Yanru¹

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Aquatic products are becoming more and more popular among consumers with the development of the aquaculture industry, and consumers have expressed an increasing requirement for the quality of aquatic products. According to recent reports, the influence of different dietary lipid sources and levels on the sensory, nutrition and flavor of aquatic products is summarized in this paper, and future research directions are discussed with the aim of providing a theoretical basis for improving dietary collocation and quality of edible aquatic animals and for promoting the development of aquaculture.

Key words: aquatic products; quality; diet; lipid sources; lipid levels

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 15-0288-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201515053

据联合国粮食及农业组织(The Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)数据统计, 1990—2012年, 世界水产品养殖产量从1 310 万t持续增长到6 660 万t, 水产养殖产业正在不断兴起(表1), 中国占世界的水产养殖产量比例正在不断上升, 已经成为世界上水产养殖产量最高的国家^[1]。近些年我国水产品天然捕捞量不断下降, 但是水产养殖产业蓬勃发展、养殖规模和产量逐年扩大的现状填补了捕捞量下降的缺陷^[2]。随着养殖技术的不断提升, 养殖水产品与捕捞水产品相比具有质量更可控、营养更高、味道更鲜美等优点。由于水产品商品价值和营养价值的优势深受消费者喜爱, 人们对水产品品质的要求也越来越高, 不仅要求其品质安全、营养丰富、口味鲜美, 还更加注重水产品的色泽、质地、风味等特点。养殖水产品的品质受水体

环境、养殖方式、饲料调控等多种因素的影响^[3]。饲料是养殖水产品的主要食物来源, 为其提供所需营养成分, 是维持水产品生长繁殖的关键因素, 并且关系到水产品质量安全和消费者身体健康, 因此受到人们极大关注。一般来说, 水产品饲料的主要营养成分包括蛋白质、水分、脂肪、碳水化合物、矿物质和维生素, 其中脂肪是必需脂肪酸的唯一来源, 是良好的能源物质, 能够节约蛋白质, 促进水产品生长繁殖, 对水产品的感官特性和营养成分等品质有改善作用^[4], 因此, 饲料脂肪源替代和高脂饲料在渔用饲料中的应用越来越广泛, 但是脂肪源选择不适或脂肪水平不当仍会对水产品品质造成不良影响。针对上述内容, 本文综述了饲料中脂肪对水产品品质的影响, 希望可以通过对水产品品质的测定来指导水产养殖的饲料脂肪配制问题。

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 上海市科委部分地方院校能力建设项目(13320502100); 上海市食品科学与工程一流学科项目(B2-5005-13-0002); 国家自然科学基金面上项目(31471608)

作者简介: 庄柯瑾(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与风味。E-mail: zhuangkejin@126.com

*通信作者: 王锡昌(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: xcwang@shou.edu.cn

表1 1990—2012年世界及中国水产养殖总产量
Table 1 Total yearly amount of aquatic products in the world and China from 1990 to 2012

项目	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年	2012年
世界总产量/万t	1 307.47	2 438.25	3 241.78	4 429.71	5 903.74	6 663.32
中国总产量/万t	648.24	1 585.56	2 152.21	2 812.07	3 673.42	4 110.83
中国占世界产量/%	49.58	65.03	66.39	63.48	62.22	61.69

1 饲料中不同脂肪源对水产品品质的影响

水产饲料中常见的脂肪源有鱼油、菜籽油、亚麻油、大豆油、玉米油、猪油等。鱼油富含 $n-3$ 多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid, PUFA），是水产饲料最理想的脂肪源，但是由于近些年水产品养殖量不断增长，对鱼油的需求量越来越大，导致其价格不断升高^[5-6]，因此合理选择其他脂肪源来代替鱼油是近些年研究的重点。植物油来源广泛、供应充足，并且价格比动物油和鱼油低很多，适当的用植物油来代替鱼油，能够节省消费、带来更大的经济效益，因此被认为是一种最具潜力的鱼油替代资源，但是由于植物油中十六碳和十八碳脂肪酸含量较高而其余脂肪酸含量较少，不能保证水产品的正常生长和营养需求，植物油完全替代鱼油也不能满足人们对水产品的营养保健需求，因此目前饲料配制都采用植物油部分替代鱼油的方式^[7]。

1.1 脂肪源对水产品生长性能的影响

饲料中脂肪源不同主要是指脂肪酸的种类和比例不同，由于水产品对脂肪酸的利用能力不同，因此不同脂肪源会对水产品产生不同程度的影响。由于植物油中含有丰富的 $n-6$ PUFA，缺乏水产品生长繁殖所必需的 $n-3$ 高不饱和脂肪酸（high unsaturated fatty acid, HUFA），当在饲料中加入植物油替代鱼油时，饲料的脂肪酸组成会发生变化，从而会对水产品的生长性能产生影响，因此植物油替代鱼油时，必须保证多不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例均衡，这样才能使水产品获得最好的生长效果。有研究表明饲料中一定量的植物油替代鱼油可以促进水产品生长，但替代水平过高会对水产品增重产生负作用。Duan Qingyuan等^[8]以50%和100%大豆油来替代鱼油对大黄鱼进行12周喂养，实验结果显示：大豆油完全替代鱼油会降低大黄鱼的生长性能，使其最终体质量和特定生长率显著低于其他组；而用大豆油部分替代鱼油时，却明显改善了大黄鱼的生长性能，并且50%大豆油组的饲料系数比鱼油组低，这表示用大豆油部分替代鱼油可以获得较好的生长效果。这之前Montero^[9]和王爱民^[10]等在实验中得到的研究结果相似。因此在生产上要注意不同鱼类对饲料中脂肪的适宜需求量。

1.2 脂肪源对水产品营养价值的影响

用不同脂肪源的饲料喂养水产动物会对基本营养成分含量产生不同程度的影响（表2）。实验得到的结果并

不完全相同，这可能是由于不同种类的水产养殖动物对不同植物油的需求量不同，即使相同的水产养殖动物，生长阶段不同、大小不同、或者之前的饲喂状况不同都会对最终结果产生影响。

水产品机体脂肪酸含量和组成受饲料中脂肪源的显著影响。用鲑鱼油、亚麻油、混合油（ m （鲑鱼油）： m （亚麻油）=1:1）饲喂剑尾鱼，结果显示投喂亚麻油饲料组的剑尾鱼肌肉中花生四烯酸（arachidonic acid, ARA）、二十碳五烯酸（eicosapentamethic acid, EPA）、二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid, DHA）含量是3组中最少的；肝脏和肌肉中的 $C_{18:2\ n-6}$ 、 $C_{18:3\ n-3}$ 、总 $n-3$ 和 $n-6$ PUFA含量随饲料中亚油酸含量的增加而增加，而肝脏中的总 $n-3$ PUFA、总PUFA和 $n-3/n-6$ PUFA随亚油酸含量的增加而降低^[11]。由此可见，使用鲑鱼油作为唯一的饲料脂肪源会导致PUFA过量，引起ARA、EPA、DHA比例不均衡。用不同脂肪源：大豆油、花生油、猪油和混合油（ m （鱼油）： m （豆油）=1:1）配制不同饲料，对管角螺进行60 d饲喂，结果发现鱼油组的肌肉和肝脏中EPA、DHA含量， $n-3/n-6$ 均为最高，与混合油组没有显著差异^[12]；鱼油组对管角螺肌肉粗蛋白水平的提高最为明显，混合油组与鱼油组并没有显著差异，因此无论从生产还是对人类营养保健功能的角度来讲，混合油都可以作为管角螺的良好脂肪酸来源。Bell^[13]和Luo Zhi^[14]等分别用蔬菜油和共轭亚油酸对大西洋鲑鱼和尼罗罗非鱼进行饲喂，得出了基本相同的结论：肌肉中的脂肪酸组成明显受饲料脂肪源的影响，并且随着蔬菜油替代鱼油水平的上升和共轭亚油酸含量的增加，脂肪沉积量也不断增加，特别是DHA含量有显著提高，但是会降低 $n-3/n-6$ PUFA值和EPA、DHA占总脂肪酸的比例。这是由于植物油中含有较高含量的 $C_{18:2\ n-6}$ 和 $C_{18:3\ n-3}$ ，但是饱和脂肪酸含量却很少，饲料中添加大量的植物油会使 $C_{18:2\ n-6}$ 显著积累，但是EPA、DHA的量减少，从而改变水产品体内脂肪酸的组成，由于海水鱼类转化C18为长链多不饱和脂肪酸的能力有限，因此这种现象在海水鱼中体现的更为明显。

表2 不同脂肪源对水产品基本营养成分的影响
Table 2 Effects of dietary lipid sources on the basic nutrient components of aquatic products

脂肪源	实验对象	主要结果	资料来源
大豆油、鱼油	大黄鱼	大豆油组全鱼的水分和粗脂肪含量高于鱼油组，肌肉的蛋白质、脂肪和水分含量没有明显差别	[8]
大豆油、鱼油	中华绒螯蟹	各组中华绒螯蟹的粗蛋白、粗脂肪和灰分含量相似	[15]
共轭亚油酸、鱼油	南美白对虾	共轭亚油酸替代鱼油增加了肌肉中脂肪含量	[16]
大豆油、鱼油	多宝鱼	全鱼的水分、灰分、脂肪、蛋白质含量没有显著差异	[17]
植物性饵料、人工饲料、动物性饵料	中华绒螯蟹	肝脏组织中，粗蛋白和灰分含量无显著差异；动物性饵料组粗脂肪含量最高，水分含量最低；各组肌肉组织中一般营养成分含量无明显差异	[18]
大豆油、菜籽油、鱼油	军曹鱼	鱼油组全鱼脂肪含量最高，水分含量最低；背肌和肝脏营养成分没有显著差异；鱼油组粗蛋白和脂肪含量显著高于植物油组	[19]
大豆油、鱼油	奥尼罗非鱼	豆油组的鱼体内脂肪的含量明显高于鱼油组，但肌肉中脂肪含量无显著影响	[20]
大豆油、花生油、鱼油	管角螺	鱼油组全鱼粗蛋白含量最高，且肝脏粗脂肪含量最高，水分和灰分含量没有显著差异	[12]

1.3 不同脂肪源对水产品感官特性的影响

1.3.1 质构

水产品的质构特性与肌肉中水分和脂肪含量有关，用大豆油替代鱼油会引起水产品贮存过程中发生比较严重的水分流失，进而增加水产品的硬度和脆性^[8]。Gatlin等^[21]在文章中提到现有的植物油对水产品影响的研究中，有40%的文章指出植物油替代鱼油显著影响水产品的质量，特别是发生较高水平替代时会对质构产生更加显著的影响。Fountoulaki等^[22]在实验中指出，通过感官评价得出包括鱼油组的所有组可接受分数都较低，这可能是由于所有饲料组的鱼油含量都较低而导致对质构产生了负面影响。而用大豆油饲喂金头鲷，降低了鱼体的硬度，使鱼体更多汁、更有弹性^[23]。有学者指出，脂肪源对水产品质构产生的影响也可能与生长速率有关^[24]，上文已经提及饲料中不同的脂肪源会对水产品生长性能产生一定的影响，若生长速率较慢则肌肉的沉积速率也相对较慢，从而使肌纤维结合比较紧密，因此测得的质构会较好，反之亦然。

1.3.2 色泽

饲料脂肪源还会对水产品体色产生不同程度的影响，实验研究表明。菜籽油替代鱼油后，大黄鱼腹部亮度值、黄色值和背部黄色值均无明显变化，而背部亮度值和红色值显著提高^[25]。Izquierdo等^[23]研究表明，用大豆油和亚麻油替代鱼油会使金头鲷的肌肉亮度值增加，然而Menoyo等^[26]在相同实验条件下却发现金头鲷肌肉的亮度值没有明显变化，红色值和黄色值却显著下降，这可能是由于大豆油和亚麻油替代使肌肉中 $n-3$ PUFA含量大量减少而导致鱼肉的颜色发生改变。这些实验表明，饲料中的脂肪源与体色的变化没有显著的相关性。这可能是由于不同脂肪源含有的类胡萝卜素含量不同，不同种类水产品对色素的吸收和代谢能力又有所不同，最终对水产品体色产生不同程度的影响^[27]。

1.3.3 风味

研究发现，用植物油代替鱼油饲喂水产品会对风味产生不一样的影响。鱼油替代对金头鲷的风味并没有产生显著的影响^[22,28]，以大西洋鲑鱼为实验对象也得出相同的结论^[29]。Izquierdo等^[30]在金头鲷鱼油替代实验中发现用菜籽油和亚麻油替代鱼油时，并没有发现感官特性的变化，但是用大豆油替代时却显著影响了鱼的气味和滋味，在接下来的实验中又发现用大豆油做替代实验会使金头鲷产生轻微的泥土味道^[23]，这个结果与Regost等^[17]得出的结果类似：用大豆油替代鱼油来饲喂大菱鲆会产生明显的马铃薯气味。上述实验产生不同的结果可能是由于水产品中脂肪氧合酶的种类和含量不同而形成不同的挥发性成分所引起，也可能与鱼的种类和大小、饲料中脂肪含量有关。脂肪源不同必然导致脂肪酸的种类有所

不同，鱼油中富含多不饱和脂肪酸，多不饱和脂肪酸一般被认为是挥发性风味物质的前体物质，当其受热氧化或降解时会产生对水产品风味贡献较大的醛类、酮类、醇类等物质，然而不饱和脂肪酸含量过多也会产生三甲胺等对水产品有负面作用的气味，在饲料中添加适量的植物油可以降低多不饱和脂肪酸的比例，从减少某些不利气味的形成。

2 饲料中不同脂肪水平对水产品品质的影响

饲料中适当的脂肪水平可以提高水产品的特定生长率和饲料利用率，促进水产品生长。饲料中的脂肪含量不足或缺乏，会导致水产品生长缓慢、抗病力下降，而过高的脂肪含量则会导致鱼体脂肪沉积，抑制鱼类生长。因此，脂肪最适需求量是饲料研究的重要因素。

2.1 不同脂肪水平对水产品生长性能的影响

虽然不同种类水产动物对饲料中脂肪的需求量不同，但实验表明不同脂肪水平对水产品生长性能影响的趋势相同（表3）：在脂肪水平适当的情况下，水产动物的生长性能最优；脂肪水平过低时饲料的能量不能满足水产品需求，导致生长率过低，同时还会大量消耗饲料中所含蛋白质，导致饲料系数升高，造成资源浪费；过高的脂肪含量短期内会促进水产品生长，但是长此以来脂肪会在水产品体内特别是肝脏中蓄积，对器官功能产生影响，从而影响水产品的生长速率，严重时还会导致水产品脂肪肝的生成，使抗病能力下降。

表3 不同脂肪水平对水产品生长性能的影响
Table 3 Effects of dietary lipid levels on the growth of edible aquatic animals

脂肪水平/%	实验对象	主要结果	资料来源
3、6、9、12、15、18	军曹鱼	3%组生长率最低脂肪含量过高对鱼的生长性能不利	[31]
1.6、3.7、5.6、7.5、9.6、11.4	施氏鲱鱼	7.5%和9.6%组鱼体增质量率最高11.4%组鱼体增质量率显著降低	[32]
10、15、20、25	大菱鲆	10%和15%组生长性能最优过高的脂肪含量使生长率降低	[33]
4、7、10	克氏螯虾	10%组增质量率及特定生长率显著低于4%和7%组	[34]
4.64、6.56、8.47、12.31	凡纳滨对虾	8.47%组体质量增加最佳	[35]
4、7、10、13、16	窄指河蟹	13%组体质量得率和特定生长率最高4%和7%组最低	[36]

2.2 脂肪水平对水产品营养价值的影响

饲料的脂肪水平会在一定程度上影响水产品的肝体比、脂体比和肥满度，从而对水产品的基本营养成分特别是脂肪含量产生进一步的影响。研究表明，水产品的水分和蛋白质含量与饲料中脂肪水平关系不大，而脂肪含量与饲料中脂肪水平相关。Regost等^[33]指出高脂饲料对大菱鲆全鱼的水分、灰分、蛋白质含量均无显著影响，但总脂量随着饲料脂肪含量的增加而显著增加，其中肌肉脂肪含量没有明显变化，但是肝脏的脂肪沉积量明显增加，适当范围的肝脏脂肪沉积量可以增强其营养保健功能，但是沉积量过高会对水产品造成不利影响，以克氏螯虾为实验对

象,得出相似的结论^[34]。肖懿哲等^[32]也指出饲料中脂肪含量增加引起施氏鲷鱼肝脏总脂含量的显著增加。赵亚婷等^[37]用DHA含量不同的饲料饲养中华绒螯蟹幼蟹,测得幼蟹肝胰腺和肌肉中水分含量、肌肉中总脂含量均没有显著差异,但是肝胰腺的总脂含量与饲料中DHA含量成正相关,并且指出,肌肉中脂肪含量不发生明显改变的原因可能由于肝脏是水产品的重要消化和储能器官,脂肪大多被肝脏所吸收,并且只有小部分被选择性地转移到肌肉等其他组织中,从而引起肝脏脂肪含量变化较大,也可能是由于过量的脂肪超过了水产品的需求,从而在肝脏中堆积,引起肝脏中脂肪含量增加。

研究表明,水产品的脂肪酸含量及组成受饲料脂肪水平和脂肪酸组成的显著影响^[7]。赵亚婷等^[37]实验得出,随着饲料中DHA含量的增加,中华绒螯蟹幼蟹肝胰腺和肌肉中PUFA、DHA含量和DHA/EPA值都显著增加。朱庆国等^[38]用不同水平 $n-3$ HUPA的饲料饲喂斜带石斑鱼幼鱼,结果表明,各实验组幼鱼肌肉中DHA、EPA都随饲料中 $n-3$ PUFA水平的增加而增加,因此 $n-3$ PUFA含量与饲料中 $n-3$ HUPA水平成正相关,而肌肉中 $C_{18:1\ n-9}$ 、 $C_{18:2\ n-6}$ 与 $C_{18:3\ n-3}$ 随着饲料中 $n-3$ PUFA水平的增加而下降。马晶晶等^[39]对黑鲷幼鱼进行实验,得出类似的结论,即随着饲料中 $n-3$ PUFA水平的增加,鱼体肝脏、肌肉组织中的总 $n-3$ PUFA呈上升趋势,而总饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)呈下降趋势。以军曹鱼为实验对象也得出了相同的实验结论^[40]。

2.3 脂肪水平对水产品风味的影响

水产品的风味由挥发性气味物质和非挥发性滋味物质组成,受多种不同含量组分相互作用影响,气味物质一般由多不饱和脂肪酸受热氧化产生,滋味物质受游离氨基酸、小分子肽、核苷酸、有机碱等物质的影响。目前的国内外文献关于脂肪对风味影响方面的研究很少。Regost等^[33]指出用不同脂肪水平的饲料饲喂大菱鲆,仅对鱼腹部肌肉的甜味有显著影响,并且15%和25%组鱼的甜味明显高于10%和20%组。有报道指出,氧化三甲胺是有机碱的一种,有甜味,但是过量的氧化三甲胺会分解产生难闻的腐败味道^[41]。Einen等^[42]以鲑鱼为实验对象,饲喂不同脂肪水平的饲料后制成烟熏鱼片,结果指出脂肪水平从256 g/kg升高到389 g/kg有利于烟熏鱼片气味和滋味的增强。烟熏过程中,构成木材的各种多糖被热分解而碳化,产生各种有机酸、醇类、醛类、吡啶等物质,这些物质与鱼肉本身所含脂肪受热产生的物质相互作用产生独特的气味和滋味^[41]。饲料中脂肪水平不同导致水产品摄入的脂肪含量不同,进而导致脂肪酸含量不同。若摄入的脂肪源含有较高含量的不饱和脂肪酸,在脂肪水平适量的情况下不饱和脂肪酸含量越高对水产品的风味越有利,但水平过高反而会产生负面影响。

3 结 语

本文综述了饲料中脂肪对水产品品质的影响。综合国内外研究发现,在饲料脂肪水平适量的条件下,针对不同水产品的各生长发育阶段,植物油替代鱼油会提高饲料的利用率,使水产品达到更好的生长效果,同时有利于水产品营养价值和风味的提高。

养殖品种因其生长特性不同对饲料的营养需求不同,并且同一品种的水产品在不同生长阶段对饲料的利用率也不相同,若饲料中脂肪源或脂肪添加量不合理则会对水产品品质造成不良影响,因此要从提高水产品品质方面为出发点对其进行更加深入的研究。目前,饲料中脂肪对水产品品质的影响方面对鱼类研究较多,对甲壳类的研究却很少,并且大部分是针对水产品生长繁殖过程中的体成分和生长性能方面进行研究,而忽视了对水产品品质特别是对风味方面的研究,因此要加强对甲壳类的研究,并且加深对水产品风味方面的研究,也可以对机理和功能性方面进行更加深入的探讨,拓宽研究范围,以期对水产养殖行业有更系统的指导,同时也能对水产品品质有更加全面的提高。

参考文献:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture, 2012[R/OL]. Rome, 2012: 40-41. <http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e00.htm>.
- [2] 潘煜辰,李亦奇,葛宇.我国水产品行业质量调研报告[J].质量与标准化,2013(11): 30-34.
- [3] FAUCONNEAU B. Health value and safety quality of aquaculture products[J]. Revue de Médecine Vétérinaire, 2002, 153(5): 331-336.
- [4] CALKINS C, HODGEN J. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80.
- [5] TURCHINI G M, TORSTENSEN B E, NG W K. Fish oil replacement in finfish nutrition[J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(1): 10-57.
- [6] GLENCROSS B D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species[J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(2): 71-124.
- [7] 彭士明,施兆鸿,侯俊利.海水鱼脂类营养与饲料的研究进展[J].海洋渔业,2010,32(2): 218-224.
- [8] DUAN Qingyuan, MAI Kangsen, SHENTU Jikang, et al. Replacement of dietary fish oil with vegetable oils improves the growth and flesh quality of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Ocean University of China, 2014, 13(3): 445-452.
- [9] MONTERO D, MATHLOUTHI F, TORT L, et al. Replacement of dietary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream (*Sparus aurata*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010, 29(6): 1073-1081.
- [10] 王爱民.饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生长及脂肪代谢调节的研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [11] LING S, KUAH M K, TENGKU MUHAMMAD T S, et al. Effect of dietary HUFA on reproductive performance, tissue fatty acid profile and desaturase and elongase mRNAs in female swordtail (*Xiphophorus helleri*)[J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 204-214.

- [12] 罗江, 蒋霞敏, 杜学星. 不同脂肪源对管角螺生长和体成分的影响[J]. 生物学杂志, 2014, 31(1): 45-50.
- [13] BELL J G, PRATOOMYOT J, STRACHAN F, et al. Growth, flesh adiposity and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) families with contrasting flesh adiposity: effects of replacement of dietary fish oil with vegetable oils[J]. Aquaculture, 2010, 306(1): 225-232.
- [14] LUO Zhi, TAN Xiaoying, LIU Caixia, et al. Effect of dietary conjugated linoleic acid levels on growth performance, muscle fatty acid profile, hepatic intermediary metabolism and antioxidant responses in genetically improved farmed tilapia strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Aquaculture Research, 2012, 43(9): 1392-1403.
- [15] WU Xugan, CHENG Yongxu, SUI Liying, et al. Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock[J]. Aquaculture, 2007, 273(4): 602-613.
- [16] ZHONG Weijing, ZHANG Shengpeng, LI Jinfeng, et al. Effects of dietary replacement of fish oil by conjugated linoleic acid on some meat quality traits of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1739-1743.
- [17] REGOST C, ARZEL J, CARDINAL M, et al. Total replacement of fish oil by soybean oil with return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*): 2. Flesh quality properties[J]. Aquaculture, 2003, 220(1/4): 737-747.
- [18] 李旭光, 周刚, 张彤晴, 等. 不同饵料饲喂对中华绒螯蟹一般营养成分的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 410-412.
- [19] 王骥腾, 韩涛, 田丽霞, 等. 3种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2007, 26(3): 237-245.
- [20] 韩春艳, 郑清梅, 冯丽娜. 脂肪源对奥尼罗非鱼体脂沉积及代谢的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(9): 530-534.
- [21] GATLIN D M, BARROWS F T, BROWN P, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review[J]. Aquaculture Research, 2007, 38(6): 551-579.
- [22] FOUNTOULAKI E, VASILAKI A, HURTADO R, et al. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile: recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures[J]. Aquaculture, 2009, 289(3/4): 317-326.
- [23] IZQUIERDO M, MONTERO D, ROBAINA L, et al. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding[J]. Aquaculture, 2005, 250(1/2): 431-444.
- [24] 宋益贞. 不同脂肪源对罗非鱼生长特性和肌肉品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [25] 易新文, 张文兵, 麦康森, 等. 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 751-760.
- [26] MENOYO D, IZQUIERDO M, ROBAINA L, et al. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils[J]. British Journal of Nutrition, 2004, 92(1): 41-52.
- [27] CHOUBERT G, MENDES-PINTO M M, MORAIS R. Pigmenting efficacy of astaxanthin fed to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: effect of dietary astaxanthin and lipid sources[J]. Aquaculture, 2006, 257(1/4): 429-436.
- [28] NASOPOULOU C, STAMATAKIS G, DEMOPOULOS C A, et al. Effects of olive pomace and olive pomace oil on growth performance, fatty acid composition and cardio protective properties of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1108-1113.
- [29] HIXSON S M, PARRISH C C, ANDERSON D M. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality[J]. Food Chemistry, 2014, 157(8): 51-61.
- [30] IZQUIERDO M, OBACH A, ARANTZAMENDI L, et al. Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality[J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(6): 397-407.
- [31] CHOU R L, SU Maosen, CHEN H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Aquaculture, 2001, 193(1/2): 81-89.
- [32] 肖懿哲, 陈月忠. 饲料脂肪含量对施氏鲟生长及其肝脏脂质组成的影响[J]. 台湾海峡, 2001, 20(3): 376-380.
- [33] REGOST C, ARZEL J, CARDINAL M, et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*)[J]. Aquaculture, 2001, 193(3/4): 291-309.
- [34] 徐维娜, 刘文斌, 沈美芳, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 521-529.
- [35] 黄凯, 吴宏玉, 朱定贵, 等. 饲料脂肪水平对凡纳滨对虾生长, 肌肉和肝胰腺脂肪酸组成的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(5): 249-255.
- [36] VALIPOUR A, OZORIO R O, SHARIATMADARI F, et al. Effects of dietary lipid levels on growth, survival, and molting of yearling narrow clawed crayfish, *Astacus leptodactylus*[J]. Journal of Applied Aquaculture, 2012, 24(4): 316-325.
- [37] 赵亚婷, 吴旭干, 常国亮, 等. 饲料中DHA含量对中华绒螯蟹幼蟹生长、脂类组成和低氧胁迫的影响[J]. 水生生物学报, 2013, 37(6): 1133-1144.
- [38] 朱庆国, 林建斌, 黄种持, 等. 饲料中不同水平n-3 HUFA对斜带石斑鱼幼鱼生长及肌肉脂肪酸组成的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 20-27.
- [39] 马晶晶, 邵庆均, 许梓荣, 等. n-3高不饱和脂肪酸对黑鲷幼鱼生长及脂肪代谢的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 639-649.
- [40] 刘兴旺, 谭北平, 麦康森, 等. 饲料中不同水平n-3 HUFA对军曹鱼生长及脂肪酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2007, 31(2): 190-195.
- [41] 任仙娥, 张水华. 鱼肉风味的研究现状[J]. 中国调味品, 2003, 28(12): 17-21.
- [42] EINEN O, SKREDE G. Quality characteristics in raw and smoked fillets of Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed high-energy diets[J]. Aquaculture Nutrition, 1998, 4(2): 99-108.