

# 星斑川鲽营养需求与饲料研究进展

孙永智, 郝甜甜, 王际英, 李宝山, 黄炳山, 刘京熙\*

山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台  
Email: sssunyongzhi@126.com, \*cwk\_0917@163.com

收稿日期: 2021年8月9日; 录用日期: 2021年8月23日; 发布日期: 2021年9月9日

## 摘要

星斑川鲽(*Platichthys stellatus*)是我国北方重要的海水经济养殖品种, 具有广温、广盐、抗逆性强、生长快等优点, 且营养价值较高。目前, 国内外有关该鱼的营养需求及饲料研究已经有一些报道, 但是对某些营养素的研究还是空白。本文综述了星斑川鲽对蛋白质、氨基酸、脂肪、脂肪酸、碳水化合物和微量营养素的需求, 蛋白源和脂肪源替代鱼粉和鱼油, 功能性饲料添加剂应用等方面的研究进展, 旨在为星斑川鲽的精准营养研究及优质高效配合饲料的开发提供参考资料, 从而推动其养殖业的健康可持续发展。

## 关键词

星斑川鲽, 营养需求, 饲料

# Progress in Nutritional Requirements and Feed Research of Starry Flounder, *Platichthys stellatus*

Yongzhi Sun, Tiantian Hao, Jiying Wang, Baoshan Li, Bingshan Huang, Jingxi Liu\*

Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resources and Environment Research Institute, Yantai Shandong  
Email: sssunyongzhi@126.com, \*cwk\_0917@163.com

Received: Aug. 9<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2021; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The starry flounder *Platichthys stellatus* is a marine fish species with important economic value; it

\*通讯作者。

has the advantages of wide temperature, wide salt, strong stress resistance and fast growth. Up to now, there have been a lot of reports on its nutritional requirements and feed, however studies on some nutrients are still absent. This paper summarized the requirements of starry flounder on protein, amino acids, lipid, fatty acids, carbohydrate and micronutrient, as well as the application of functional feed additives. We hope that this review can provide reference for the study of accurate nutrition and development of high-efficient and environment-friendly formula feed, and thus promote the healthy and sustainable development of *Platichthys stellatus* aquaculture industry.

## Keywords

*Platichthys stellatus*, Nutritional Requirement, Formulated Feed

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)隶属鲷形目(Pleuronectiformes)、鲷科(Pleuronectidae)、川鲷属,是鲷类中的大型鱼种,主要分布在北太平洋的亚洲和美洲沿岸[1],具有广温、广盐、抗逆性强、生长快等优点[2],且易于驯化,养殖成活率高。相比于其它鲷鱼类,星斑川鲷的养殖年产量较少,仅有500~600吨,但星斑川鲷经济价值高,胶原蛋白含量高于牙鲆,加之其耐运输、耐冷冻,冷藏后肉质基本不变,具有较强的规模化养殖前景,必定会促进其饲料产业的蓬勃发展。

我国从2004年开始对星斑川鲷基础生物学和规模化健康养殖技术等方面进行了研究,2006年突破了全人工规模化育苗技术,近年来在山东、江苏沿海等地大面积推广,主要出口日韩,具有较高的市场需求,被认为是继牙鲆和大菱鲆之后最有养殖潜力的海水鱼之一[3]。尽管星斑川鲷育种与规模化养殖技术都有了一定的提高,但有关其营养素需求的研究报道较少。本文根据文献综述了星斑川鲷对蛋白质、脂类、维生素和矿物质等基本营养素需求的概况,以期为建立和完善星斑川鲷的营养需求标准和开发精准营养配合饲料提供参考依据。

## 2. 星斑川鲷营养需求进展

### 2.1. 蛋白质营养需求

蛋白质是鱼类饲料中最主要和昂贵的营养成分,蛋白质过低会降低甚至停止鱼体的生长发育[4],过高不仅会造成资源浪费,还会增加氮磷排放[5],饲料中适宜的蛋白质对鱼体生长、代谢和繁殖等具有积极作用[6]。丁立云等[7]以鱼粉为蛋白源,发现54.52g的星斑川鲷幼鱼对蛋白质的适宜需求量为53.56%。Lee等[8]采用鱼粉和酪蛋白为主要蛋白源,发现90.0g的星斑川鲷对蛋白质的适宜需求量为50%。综上所述,星斑川鲷幼鱼配合饲料中蛋白质的适宜水平为42%~53.56%。但有关其它生长阶段(如中成鱼和成鱼)配合饲料中适宜蛋白质水平未见相关报道。

### 2.2. 脂肪营养需求

脂肪不仅可为鱼体提供能量,还能为鱼体提供正常生长代谢所需的必需脂肪酸[9],当鱼体摄入饲料脂肪含量不足时,可使鱼体生长缓慢,并出现脂溶性维生素和必需脂肪酸缺乏症[10];当鱼体摄入饲料脂

肪含量过高时, 不仅造成脂肪原料浪费, 而且会导致脂肪过量沉积造成脂肪肝等症状[11]。Ding 等[12]以鱼粉、大豆浓缩蛋白和花生粕为主要蛋白源, 以鱼油和豆油的混合物(1:1)调节脂肪水平, 发现星斑川鲷幼鱼(29.9 g)脂肪需要量为 10.62%, 当饲料脂肪水平达到及超过 10%后, 质量增加率不再升高。Lee 等[13]指出星斑川鲷(1.9 g)的脂肪需求量为 1.9%, 且发现相比于单一添加月桂酸、玉米油和菜籽油的饲料组, 单独添加鱼肝油组幼鱼生长性能更佳。此研究结果与其它鲷鱼上研究结果一致[14], 并且 Ding 等[12]指出, 星斑川鲷对脂肪的需求会随着鱼体大小、养殖环境、饲料营养组成的变化而变化。

### 2.3. 蛋能比

饲料中适宜的蛋能比不仅可以实现脂类对蛋白质的节约作用, 而且可以提高蛋白质的利用率, 减轻养殖水体污染, 对水产养殖业的健康发展具有一定的意义[15]。Wang 等[16]以鱼粉为主要蛋白源, 通过添加不同水平鱼油构建能量梯度, 配制粗蛋白含量为 40%、45%和 50%, 脂肪为 8%、11%和 14%的 9 种饲料, 结果表明, 初始体质量为 30.7 g 的星斑川鲷最适蛋能比为 25.49 mg/kJ 和 27.70 mg/kJ。同样, Lee 等[17]以星斑川鲷成鱼(332 g)为研究对象, 得出粗蛋白为 47%、粗脂肪为 17%和粗蛋白为 52%、粗脂肪为 12 %条件下, 星斑川鲷幼鱼具有较高的生长性能和饲料利用率。

### 2.4. 脂肪酸营养需求

必需脂肪酸在鱼体细胞组成、胆固醇代谢等生理活动中发挥着重要作用[18]。星斑川鲷体内不能合成 n-3、n-6 系列不饱和脂肪酸, 且鱼体转化 18 碳不饱和脂肪酸为 n-3 高不饱和脂肪酸的能力有限, 因此二十碳以上 n-3 高度不饱和脂肪酸(ARA, 20:4n-6; EPA, 20:5n-3; DHA, 22:6n-3)被认为是鱼体的必需脂肪酸[19]。Lee 等[20]以月桂酸、玉米油、亚麻籽油和鱼肝油作为脂肪源, 分别配制不同 n-3 HUFA 水平的实验饲料饲喂星斑川鲷幼鱼(1.9 g) 10 周, 确定其对 n-3 HUFA 的需要量为 0.9%。Ma 等[21]发现饲料 DHA/EPA 值为 1.18 时对星斑川鲷幼鱼(31.70 g)生长效果最好。综上所述, 星斑川鲷自身的 HUFA 合成能力有限, 需要在饲料中添加高不饱和脂肪酸才能满足其正常生长, 且也要考虑不同类脂肪酸的比例。

### 2.5. 碳水化合物营养需求

虽然与蛋白质和脂肪相比, 糖类物质是鱼类配合饲料中较廉价的成分, 但是糖作为鱼类三大重要营养素之一, 对鱼类的生长具有重要意义[22]。Lee 等[23]以初始体质量为 9.7 g 的星斑川鲷幼鱼为研究对象, 结果表明, 星斑川鲷幼鱼对糊精和  $\alpha$ -马铃薯淀粉的利用率要高于葡萄糖, 幼鱼的质量增加率在 20%的糊精组达到最高值。综上所述, 星斑川鲷饲料中碳水化合物的适宜添加水平为 20%, 且糊精比较适合做碳水化合物原料。然而, 星斑川鲷对碳水化合物的需求情况与鱼体大小规格及生长阶段有一定的关系, 且混合碳水化合物的应用效果等都有待进一步研究。

### 2.6. 微量营养素需求需求

星斑川鲷对维生素的营养需求研究已有一些报道。帅继祥等[24]研究表明, 初始体质量为 36.69 g 的星斑川鲷幼鱼对饲料中胆碱的最适需求量为 1891.80 mg/kg 饲料。饲料铁摄入量过低会影响鱼体生长和饲料效率, 进而影响鱼体免疫机能的下降; 铁摄入量过高, 则引起饲料脂肪氧化酸败, 增加鱼体抗氧化压力, 进而造成鱼体死亡率升高[25]。因此, 饲料中适宜的铁含量不仅可以保证鱼体的正常生长, 又可以合理利用饲料原料, 避免不必要的浪费。冯德智等[26]以富马酸亚铁( $C_4H_2FeO_4$ )作为铁源, 通过 8 周的养殖实验, 分别以特定生长率、血红蛋白含量和血清铁含量为评价指标, 得出星斑川鲷幼鱼铁需求量为 121.1 mg/kg、115.7 mg/kg 和 106.6 mg/kg。崔立娇等[27]以硫酸锌( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , 分析纯)为锌源, 发现星斑川鲷幼鱼获得最大质量增加率时饲料中锌最低含量为 167.88 mg/kg。孙丽慧等[28]表明, 当星斑川鲷饲料原

料中有效磷含量达到 0.96% 时,可考虑不向配合饲料中添加磷酸盐。王波等[29]研究表明,星斑川鲮饲料中钙添加量为 2.0%~4.0%。虽然星斑川鲮对上述维生素和矿物质的需求量研究已有报道,但有关其它一些常见维生素和矿物质的需求研究还较少,仍需进一步详细研究。

### 3. 星斑川鲮饲料研究进展

#### 3.1. 鱼粉替代研究

随着水产养殖业集约化发展,市场对鱼粉的需求量日益增加,过度捕捞、环境污染等因素导致优质鱼粉资源严重匮乏,鱼粉供不应求,价格上涨[30],因此,如何使用动植物蛋白来替代鱼粉的研究愈来愈多[31]。宋志东等[32]采用幼鱼肝脏脂类代谢和蛋白质代谢为评价指标,表明大豆蛋白肽可替代 24% 的鱼粉。马晶晶等[33]研究表明,以特定生长率为参考指标,用紫花苜蓿浓缩叶蛋白替代 19% 的鱼粉,对星斑川鲮幼鱼(83.0 g)生长性能无显著影响。段培昌等[34]以大豆浓缩蛋白、脱酚棉籽蛋白和喷雾血球蛋白为蛋白源,结果表明,当替代饲料中 35% 的鱼粉时对星斑川鲮幼鱼(75.6 g)生长性能无显著影响,且饲料必需氨基酸(EAA)消化率及试验鱼肌肉和全鱼氨基酸组成均无显著性差异。Song 等[35]研究表明,酶解大豆蛋白替代饲料中 70% 的鱼粉对星斑川鲮幼鱼(5 g)的生长和饲料利用无负面影响,在替代水平为 38% 时获得了比全鱼粉组更好的饲养效果。Li 等[36]在星斑川鲮(12.76 g)配合饲料中添加不同水平的大豆浓缩蛋白分别替代 0%~100% 的鱼粉,结果表明,星斑川鲮可以很好的利用大豆浓缩蛋白,但替代水平不宜超过 40%。

综上所述,有关星斑川鲮饲料中鱼粉替代主要是利用价格低,来源广的植物蛋白和陆生动物蛋白作为替代物,但替代鱼粉的原料还主要集中在单一蛋白源替代方面,对多种混合蛋白源替代鱼粉的研究还有待进一步加强。

#### 3.2. 鱼油替代研究

鱼油是海水鱼配合饲料中主要的脂肪源,尤其是鱼油中的高不饱和脂肪酸对水产动物的生长及代谢具有不可替代的作用[37]。张燕等[38]以初始体质量为 7.35 g 的星斑川鲮幼鱼为研究对象,分别添加裂壶藻粉、微绿球藻粉及两种藻粉的混合物(裂壶藻:微绿球藻 = 1:6.26)替代基础饲料中的鱼油,结果表明,裂壶藻粉组特定生长率与鱼油组无显著差异,并且在一定程度上能提高星斑川鲮肌肉品质。有关星斑川鲮配合饲料中鱼油替代研究仅见于微藻粉。因此,星斑川鲮配合饲料中鱼油的替代研究还有待完善,且混合动植物油替代鱼油的应用研究将是未来重点。虽然海水鱼配合饲料中植物油替代鱼油对鱼体生长不一定有负面影响,但是会导致脂肪在肝脏中过多沉积,肌肉中高不饱和脂肪酸的沉积量也会明显降低[39],从而会影响其营养价值,这也是鱼油替代研究亟待解决的问题之一。

#### 3.3. 饲料添加剂的研究

随着水产饲料中抗生素的禁止使用,越来越多的研究选择从安全、健康、无污染的饲料添加剂来达到促进鱼体对饲料的消化利用,提高其生长性能及抗病力的目的。目前,有关星斑川鲮饲料添加剂研究主要集中在生物活性物质、益生菌及氨基酸方面。

##### 3.3.1. 生物活性物质

王际英等[40]研究表明星斑川鲮(46.03 g)饲料壳聚糖的适宜添加量为 0.50%。Schmidt 等[41]研究表明在星斑川鲮配合饲料中添加 0.2% 的  $\beta$ -1-3-葡聚糖和甘露寡糖可显著提高星斑川鲮(8.13 g)鱼体的生长性能,并能改善鱼体的生理生化指标。宋志东等[42]研究发现饲料中添加 2% 甜叶菊提取液对鱼体抗氧化能力具有一定的积极作用。



### 3.3.2. 益生菌及益生元

Park 等[43]分别在每千克饲料中添加枯草芽孢杆菌(SP1,  $2 \times 10^9$  CFU)、地衣芽孢杆菌(SP2,  $2 \times 10^9$  CFU)、混合益生菌 1 (MP1, 枯草芽孢杆菌+地衣芽孢杆菌,  $2 \times 10^9$  CFU)、混合益生菌 2 (枯草芽孢杆菌+地衣芽孢杆菌+多粘类芽孢杆菌+米曲霉+酿酒酵母, MP2,  $2 \times 10^9$  CFU)、土霉素(OTC, 5 g), 养殖 8 周后, 以生长性能、非特异性指标和抗病力评价, 单一益生菌和混合益生菌在星斑川鲷(46.5 g)上的应用效果与抗生素具有同等功效。张德瑞等[44]在星斑川鲷(15.05 g)饲料中添加不同剂量的乳制品-酵母益生元, 以特定生长率为评价指标, 发现 1.32%添加量组生长性能最佳, 且饲料中添加适量乳制品-酵母益生元可以提高星斑川鲷幼鱼的抗氧化能力, 减轻自由基对机体的损伤。

### 3.3.3. 氨基酸及小肽

宋志东等[45]配制 4 种等氮等能的饲料, 分别为大豆浓缩蛋白饲料、酶解大豆蛋白饲料、大豆浓缩蛋白补充晶体氨基酸饲料以及酶解大豆蛋白补充晶体氨基酸饲料, 喂养初始体质量为(4.81 ± 0.01) g 的星斑川鲷幼鱼 56 d, 结果发现, 添加晶体氨基酸无法改善星斑川鲷幼鱼利用大豆浓缩蛋白的效果, 而酶解大豆蛋白中添加蛋氨酸能够提高星斑川鲷幼鱼的生长性能。姜柯君等[46]在星斑川鲷配合饲料中分别添加小肽, 养殖 8 周后以质量增加率为评价指标, 得出饲料中小肽的最适添加量为 0.93%。上述有关星斑川鲷饲料添加剂的适宜添加水平可为优质配合饲料的研发提供参考。

## 4. 展望

目前仍有一些影响星斑川鲷饲料和养殖业发展的问题需要解决: 1) 营养需求数据不全面: 星斑川鲷对氨基酸的需求及氨基酸表观消化率、蛋白源的表观消化率未见报道; 对维生素和矿物质的研究数据有限。2) 替代蛋白源方面, 主要还集中在单种蛋白源替代鱼粉, 多种蛋白源混合使用替代鱼粉较少, 脂肪源替代鱼油研究还需深入, 其适宜的替代水平和技术还未建立起来。3) 目前, 星斑川鲷营养需求研究大部分集中在幼鱼阶段, 不同生长阶段的鱼体营养需求参数和特点不清楚, 有必要对其不同生长阶段的营养需求进行研究。4) 关于星斑川鲷配合饲料的开发方面, 应合理配比营养素, 增强鱼体的消化能力和抗病能力, 同时降低生产成本。针对上述问题开展研究, 对于促进星斑川鲷优质高效配合饲料的研发及其养殖业的健康可持续发展具有重要意义。

## 基金项目

烟台市科技计划项目(2018ZHGY066, 2020XDRH091)。

## 参考文献

- [1] 王际英, 姜柯君, 夏斌, 等. 小肽对星斑川鲷幼鱼消化酶活性、抗氧化能力和生化组成的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1154-1164.
- [2] Liu, Z.M., Chen, J., Lv, Y.P., et al. (2018) Molecular Characterization of a Hecpudin Homologue in Starry Flounder (*Platichthys stellatus*) and Its Synergistic Interaction with Antibiotics. *Fish and Shellfish Immunology*, **83**, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.019>
- [3] 王波, 孙萍, 方华华, 等. 星斑川鲷形态特征及相关参数的观测[J]. 海洋学报, 2010, 32(2): 139-147.
- [4] Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M.H., Khattab, Y.A.E., et al. (2010) Effect of Dietary Protein Level, Initial Body Weight, and Their Interaction on the Growth, Feed Utilization, and Physiological Alteration of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, **298**, 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.027>
- [5] Yang, S.D., Liou, C.H. and Liu, F.G. (2002) Effects of Dietary Protein Level on Growth Performance, Carcass Composition and Ammonia Excretion in Juvenile Silver Perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, **213**, 363-372. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00120-5)
- [6] Chou, B. and Shiau, S. (1996) Optimal Dietary Lipid Level for Growth of Juvenile Hybrid Tilapia, *Oreochromis nilo-*

- ticus* × *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, **143**, 185-195. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(96\)01266-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)01266-5)
- [7] 丁立云, 张利民, 王际英, 等. 饲料蛋白水平对星斑川鲷幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1285-1292.
- [8] Lee, S.M. (2006) Optimum Dietary Protein for Growth of Juvenile Starry Flounder, *Platichthys stellatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **37**, 200-203. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00027.x>
- [9] Ng, W.K., Abdullah, N. and Dw Silva, S.S. (2008) The Dietary Protein Requirement of the Malaysian Mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the Lack of Protein-Sparing Action by Dietary Lipid. *Aquaculture*, **284**, 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.051>
- [10] 张红娟, 陈秀玲, 张瑞玲, 等. 海水鱼对脂肪的需求及脂肪源替代研究进展[J]. 水产科学, 2015, 34(2): 122-127.
- [11] 张海涛, 王安利, 李国立, 等. 营养素对鱼类脂肪肝病变的影响[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 882-891.
- [12] Ding, L.Y., Zhang, L.M., Wang, J.Y., et al. (2010) Effect of Dietary Lipid Level on the Growth Performance, Feed Utilization, Body Composition and Blood Chemistry of Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture Research*, **41**, 1470-1478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02440.x>
- [13] Lee, S.M., Lee, J.H. and Kim, K.D. (2003) Effect of Dietary Essential Fatty Acids on Growth, Body Composition and Blood Chemistry of Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, **225**, 269-281. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3)
- [14] Hebb, C.D., Castell, J.D., Anderson, D.M., et al. (2003) Growth and Feed Conversion of Juvenile Winter Flounder (*Pleuronectes americanus*) in Relation to Different Protein to Lipid Levels in Isocaloric Diets. *Aquaculture*, **221**, 439-449. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00064-4)
- [15] 公绪鹏, 李宝山, 张利民, 等. 饲料蛋白质和能量含量对云纹龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成及消化酶活力的影响[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 85-95.
- [16] Wang, J.Y., Li, B.S., Ma, J.J., et al. (2007) Optimum Dietary Protein to Lipid Ratio for Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture Research*, **48**, 189-201. <https://doi.org/10.1111/are.12873>
- [17] Lee, J.H., Cho, S.H., Lim, H.K., et al. (2004) Effects of Dietary Protein and Lipid Levels on Growth, Feed Utilization and Body Composition of Adult Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Fisheries and Aquatic Sciences*, **7**, 184-191. <https://doi.org/10.5657/fas.2004.7.4.184>
- [18] 王婧瑶, 吴莉芳, 段晶, 等. 饲料中必需脂肪酸对鱼类生长、抗氧化能力及脂肪酸代谢酶活性的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(9): 184-191.
- [19] Tocher, D.R. (2010) Fatty Acid Requirements in Ontogeny of Marine and Freshwater Fish. *Aquaculture Research*, **41**, 717-732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02150.x>
- [20] Lee, S.M., Lee, J.H., Kim, K.D., et al. (2003) Effect of Dietary Essential Fatty Acids on Growth, Body Composition and Blood Chemistry of Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, **225**, 269-281. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3)
- [21] Ma, J.J., Wang, J.Y., Zhang, D.R., et al. (2014) Estimation of Optimum Docosahexaenoic to Eicosapentaenoic Acid Ratio (DHA/EPA) for Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, **433**, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.042>
- [22] Krogdahl, A., Henre, G.I., Mommsen, T.P., et al. (2015) Carbohydrates in Fish Nutrition: Digestion and Absorption in Postlarval Stages. *Aquaculture Nutrition*, **11**, 103-122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00327.x>
- [23] Lee, S.M. and Lee, J.H. (2004) Effect of Dietary Glucose, Dextrin and Starch on Growth and Body Composition of Juvenile Starry Flounder *Platichthys stellatus*. *Fisheries Science*, **70**, 53-58. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2003.00770.x>
- [24] 帅继祥, 张利民, 王际英, 等. 星斑川鲷幼鱼胆碱需求量的研究[J]. 水生生物学报, 2011, 35(2): 365-371.
- [25] Ye, C.X., Liu, Y.J., Mai, K.S., et al. (2007) Effect of Dietary Iron Supplement on Growth, Haematology and Microelements of Juvenile Grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture Nutrition*, **13**, 471-477. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00501.x>
- [26] 冯德智. 虹鳟(*Oncorhynchus mukiss*)和星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)幼鱼对铁营养需求研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 20-56.
- [27] 崔立娇, 张利民, 王际英, 等. 饲料锌水平对星斑川鲷幼鱼生长、组织累积和抗氧化功能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(9): 1420-1428.
- [28] 孙丽慧, 张利民, 王际英, 等. 不同饲料对星斑川鲷幼鱼生长和养殖水环境的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(6): 544-549.
- [29] 王波, 王宗灵, 孙丕喜, 等. 星斑川鲷的养殖条件及发展前景[J]. 渔业现代化, 2006(5): 17-18.

- [30] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展, 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- [31] 周露阳, 吴代武, 高敏敏, 等. 鱼溶浆、酶解鱼溶浆和酶解鱼浆完全替代鱼粉对黄颡鱼生长的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(3): 504-516.
- [32] 宋志东, 王际英, 李培玉, 等. 摄食豆肽对星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)幼鱼肝脏蛋白表达的影响[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(5): 45-54.
- [33] 马晶晶, 张利民, 王际英. 紫花苜蓿浓缩叶蛋白替代鱼粉对星斑川鲷幼鱼生长、体组成及血液生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 246-255.
- [34] 段培昌, 张利民, 王际英, 等. 新型蛋白源替代饲料中鱼粉对星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)幼鱼氨基酸组成的影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 229-236.
- [35] Song, Z.D., Li, P.Y., Wang, J.Y., et al. (2014) Effects of Fishmeal Replacement with Soy Protein Hydrolysates on Growth Performance, Blood Biochemistry, Gastrointestinal Digestion and Muscle Composition of Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, **426-427**, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.002>
- [36] Li, P.Y., Wang, J.Y., Song, Z.D., et al. (2015) Evaluation of Soy Protein Concentrate as a Substitute for Fishmeal in Diets for Juvenile Starry Flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, **448**, 578-585. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.049>
- [37] Jin, M., Lu, Y., Yuan, Y., et al. (2017) Regulation of Growth, Antioxidant Capacity, Fatty Acid Profiles, Hematological Characteristics and Expression of Lipid Related Genes by Different Dietary n-3 Highly Unsaturated Fatty Acids in Juvenile Black Seabream (*Acanthopagrus schlegelii*). *Aquaculture*, **471**, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.004>
- [38] 张燕, 乔洪金, 李宝山, 等. 微藻粉替代鱼油对星斑川鲷幼鱼生长、体组成和生理指标的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1223-1233.
- [39] 郑建明, 赵捷杰, 陈四清, 等. 豆油替代鱼油对圆斑星鲷幼鱼生长和肌肉脂肪酸的影响[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 39-46.
- [40] 王际英, 蒋锦坤, 张利民, 等. 壳聚糖对星斑川鲷幼鱼生长、脂肪含量及抗氧化能力的影响[J]. 中国农通学报, 2013, 29(8): 64-70.
- [41] Schmidt, J., Bischoff, A.A., Wei, M., et al. (2017) Effect of Beta-1-3-Glucan and Mannans on Growth and Fitness of Starry Flounder (*Platichthys stellatus*): A Potential New Candidate for Aquaculture in Temperate Regions. *Journal of Fisheries Sciences*, **11**, 17-25. <https://doi.org/10.21767/1307-234X.1000125>
- [42] 宋志东, 王际英, 张利民, 等. 甜叶菊提取液对星斑川鲷生长性能和生理生化指标的影响[J]. 饲料博览, 2009(9): 1-4.
- [43] Park, Y.J., Moniruzzaman, M., Lee, S.H., et al. (2016) Comparison of the Effects of Dietary Single and Multi-Probiotics on Growth, Non-Specific Immune Responses and Disease Resistance in Starry Flounder, *Platichthys stellatus*. *Fish & Shellfish Immunology*, **59**, 351-357. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.11.006>
- [44] 张德瑞, 张利民, 王际英, 等. 乳制品——酵母益生元对星斑川鲷幼鱼生长性能和抗氧化能力的影响[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(4): 34-42.
- [45] 宋志东, 李培玉. 补充蛋氨酸对星斑川鲷生长、血液指标、代谢酶以及体组成的影响[J]. 广东饲料, 2016, 25(9): 25-29.
- [46] 姜柯君, 王际英, 张德瑞, 等. 饲料中添加小肽对星斑川鲷幼鱼生长性能、体组成及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(1): 222-230.