

投喂模式对海水鱼类生长及代谢影响研究进展

仇玉燕^{1,2}, 张志勇¹, 陈淑吟^{1*}, 贾超峰^{1,2}, 孟乾¹, 祝斐¹, 孙瑞健¹, 张志伟¹, 倪可雯^{1,2}

¹江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通

²上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海

Email: yuyanqiu2528@163.com, *shuyinchen89@163.com

收稿日期: 2020年11月12日; 录用日期: 2020年11月30日; 发布日期: 2020年12月7日

摘要

海水鱼类养殖作为我国水产养殖业的重要组成部分, 其产业日益扩大的同时, 也受到多种因素制约。其中饲料投喂是海水鱼类养殖过程中重要一环, 选择何种饲料投喂模式对所饲鱼类的身体机能都有不同程度影响。精准的投喂模式, 能显著提高鱼类生长性能, 降低饲料成本且减轻环境压力。因此, 本文对不同投喂模式(投喂频率、投喂率、投喂方式)对海水鱼类生长发育、消化代谢及免疫应激等方面的影响进行概述, 以期能为海水鱼类的科学高效投喂及健康养殖提供有效帮助。

关键词

海水鱼类, 投喂模式, 投喂频率, 投喂率, 投喂方式

Research Progress on the Effects of Feeding Patterns on the Growth and Metabolism of Marine Fishes

Yuyan Qiu^{1,2}, Zhiyong Zhang¹, Shuyin Chen^{1*}, Chaofeng Jia^{1,2}, Qian Meng¹, Fei Zhu¹, Ruijian Sun¹, Zhiwei Zhang¹, Kewen Ni^{1,2}

¹Marine Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nantong Jiangsu

²National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai

Email: yuyanqiu2528@163.com, *shuyinchen89@163.com

Received: Nov. 12th, 2020; accepted: Nov. 30th, 2020; published: Dec. 7th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 仇玉燕, 张志勇, 陈淑吟, 贾超峰, 孟乾, 祝斐, 孙瑞健, 张志伟, 倪可雯. 投喂模式对海水鱼类生长及代谢影响研究进展[J]. 水产研究, 2020, 7(4): 171-177. DOI: 10.12677/ojfr.2020.74024

Abstract

As an important part of aquaculture in China, mariculture industry is steadily expanding, but it is also restricted by many factors. Among them, feed feeding is an important part in the process of marine fish culture. The selection of feed feeding patterns has different degrees of impact on the physical function of the fish fed. Accurate feeding patterns can significantly improve fish growth performance, reduce feed cost and reduce environmental pressure. Therefore, this paper summarized the effects of different feeding patterns (feeding frequency, feeding rate, feeding mode) on the growth and development, digestion and metabolism and immune stress of marine fish, in order to provide effective help for scientific and efficient feeding and healthy breeding of marine fish.

Keywords

Marine Fish, Feeding Patterns, Feeding Frequency, Feeding Rate, Feeding Mode

Copyright © 2020 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

我国的鱼类养殖历史悠久，是世界上最早进行鱼类养殖的国家。早在殷商时期便有“贞其雨，在圃鱼”的记载；春秋时期，范蠡就著有《养鱼经》[1]。经过千年的技术发展与经验积淀，我国鱼类养殖规模逐步扩大，品种日益繁多，技术日渐精湛。据统计，2018年，我国鱼类养殖产量达2693.78万吨，其中海水养殖鱼类达149.51万吨，连续近40年居世界首位[2]。近年来，海洋牧场开发提至国家战略层面以及海鲜市场需求的日益火爆，海水鱼类养殖迎来又一个春天，集约化养殖模式及绿色高效的饲料投喂模式成为目前从事海水鱼类研究学者重要的研究内容。以海水鱼类为代表的海水养殖业正在向先进的集约式、工业化养殖转型，投喂模式(投喂频率、投喂率及投喂方式等)也应与时俱进，以期达到降本增效的养殖目标[3]。因此，本文概述了不同投喂模式对海水鱼类生长发育、消化代谢及免疫应激等方面的影响，以期能为海水鱼类的科学高效投喂及健康养殖提供有效帮助。

2. 投喂模式简介

投喂模式是指为维持鱼类生长、代谢而投喂饲料的一切技术，主要包括投喂频率、投喂率、投喂方式等[4]。投喂频率是指养殖人员每天进行投喂的次数，如1次/d、2次/d等。投喂率是指在一个投喂日内所投饲料量占鱼类体质量的百分数，是水体中反映饲料密度高低的一个指标。投喂方式就是投喂饲料的途径，如人工投喂、自动投喂、自需式投喂等。投喂模式不同，对鱼类的生长摄食与消化代谢也会产生不同的影响[5]。根据养殖对象的摄食习性、营养需求及生理健康状况等，科学制定投喂模式，有助于达到最佳的投喂效果，实现养殖效益的最大化。

3. 投喂频率

3.1. 投喂频率对海水鱼类生长发育的影响

投喂频率的高低直接影响鱼类的摄食量，进而对其生长发育显著影响。郭浩宇等[6]对许氏平鲷

(*Sebastes schlegelii*)幼鱼的研究发现,选取最适投喂频率(2次/d)时,可显著降低生长差异,相比3次/d、4次/d组能获得较好的生长效果。宋国等[7]对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼的研究发现,当投喂频率为2次/d时,其生长性能最佳,投喂频率继续增加时,生长性能无显著差异。Wang等[8]在鮟状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)研究中也得出了一致性的结论。Xie等[9]对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)幼鱼的研究发现,8次/d投喂频率组的特定生长率显著高于其他投喂频率较低的处理组,但与投喂频率较高的处理组无显著差异。此外,刘淑兰等[10]研究发现当大西洋鲑(*Salmo salar*)的投喂频率为2次/d时其特定生长率最高,但当投喂频率高于或者低于最适投喂频率(2次/d)时均会对生长性能产生负面的影响,这是因为西洋鲑体内可储存大量饲料,因此不适合高频率的投喂。在一定的范围内,投喂频率与海水鱼类养殖效果呈正相关,但当鱼饱食之后,投喂频率的增加并不能显著提高其生长性能,反而造成饲料的浪费和环境的负担。

3.2. 投喂频率对海水鱼类消化代谢的影响

投喂频率的高低对海水鱼类消化代谢能力产生重要影响。投喂频率过低,会导致海水鱼类摄食量不足,使之处于饥饿状态,造成生理损伤;投喂过于频繁,又会导致海水鱼类肠道蠕动加剧,胃排空率上升、能量消耗加快,从而降低消化水平,以至于养殖增本却不增效[11][12]。另外,随着投喂频率的增加,过多的粪便和残饵也会对养殖水环境造成不良影响。何吉祥等[13]发现,在投喂频率为2次/d时,异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的蛋白酶和淀粉酶等消化酶的活力显著升高,过高或过低的投喂频率并未提高异育银鲫的消化能力。高云红[14]研究发现,云龙石斑鱼(*Epinephelus moara*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂)摄食后,胃排空率呈典型的先慢后快再慢的消化类型,云龙石斑鱼胃80%排空(食欲基本恢复)时间为9.5h,100%排空(食欲完全恢复)约为14.8h,因此推断在食欲基本恢复后开始投喂,投喂间隔为10h左右,每日投喂2次,效果最佳。张波等[15]在研究黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)最佳投喂频率时,得出相似结论。Scott A等[16]研究发现降低罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)的投喂频率,可提高池塘养殖罗非鱼肠道菌群多样性和饲料转化率。窦艳君等[17]研究发现,网箱养殖的点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)氮磷等代谢物排放量随着投喂频率增加而增加,是当前养殖水体富营养化的诱因之一。值得一提的是,海水鱼类的适宜投喂频率随着个体发育会发生一定变化,当在幼鱼阶段时,其体型较小,消化器官未发育完全,宜采用“少食多餐”的投喂模式(即适当提高投喂频率)提高养殖成功率。对大多数海水成鱼来说,其生长缓慢或停滞,增加投喂频率并不能提高其消化代谢能力以用于生长,故多采用2次/d为宜[18]。

3.3. 投喂频率对海水鱼类免疫应激的影响

免疫应激(Immunological stress)是一系列动物在受到外界环境影响及病害引起免疫反应的神经内分泌反应,由此引起各种功能和代谢变化[19]。投喂频率通常通过影响摄食量进而影响鱼体内脂肪的积累,最终影响鱼类的免疫应激。投喂频率低时,体内存储的脂肪会分解成其他小分子来为机体供能;投喂频率高时,过多的脂肪使得鱼体代谢强度增加,因此而产生的过量活性氧自由基会对鱼体造成氧化损伤[20]。当大西洋鲑的投喂频率超过其最适频率时会造成机体应激[10]。点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)的投喂频率超过其最适范围时,其抗氧化能力也显著增强[17]。谢苏明等[21]研究发现,随着投喂频率的增加,大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)肝脏过氧化氢酶(CAT)活性及血清总蛋白(TP)、血糖(Glu)含量呈下降的趋势,血清总胆固醇(TC)呈上升趋势;养殖前期,投喂频率对肝脏总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性无显著性影响,随着养殖时间延长,大口黑鲈最佳投喂频率组(2次/d)的T-SOD活性显著高于其他投喂频率组。

4. 投喂率

4.1. 投喂率对海水鱼类生长发育的影响

投喂率是影响海水鱼类饲料投喂效果的重要因素之一。许多研究表明,在养殖鱼种的最适摄食量范

围内,投喂率和鱼体生长显著相关。Cho等[4]研究发现,牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的投喂量在70%~100%之间时,其投喂率和特定生长率之间呈显著的线性相关趋势,但当投喂率超过鱼类最适摄食量时,其特定生长率逐渐趋于平稳甚至下降。方巍等[22]研究表明,黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的投喂量在50%~70%范围内时,其特定生长率与投喂量呈显著的正相关,但当投喂量大于70%时,其特定生长率与投喂量无显著的相关性。楼宝等[23]研究发现,黑鲷的投喂率为体重的3.5%时,其生长和饲料利用达到最佳。造成此现象的原因是,在最适摄食量以内时,提高投喂率,鱼类营养供给与生长性能也随之提高;而降低投喂率时,鱼类会因为饲料摄入不足对生长产生影响,增加群体内部攻击、抢食等行为,进而导致整个养殖池中鱼种生长整齐度不高,规格差距大,对养殖效益产生影响[24]。如降低东方蓝鳍鲷(*Thunnus orientalis*)幼鱼的投喂率时,鱼群体内部竞争的概率显著提高[25]。但投喂率太高,不仅会造成鱼体脂过高,影响其口感及品质,大量残饵还会加剧水体富营养化,从而影响鱼类的生长存活等,造成恶性循环[26]。因此,探究所饲鱼种的最佳投喂率对健康养殖具有重要意义。

4.2. 投喂率对海水鱼类消化代谢的影响

适宜的投喂率可使海水鱼类的消化能力达到最佳状态,充分吸收饲料的营养成分用于生长与蛋白积累。投喂率对海水鱼类胃存储饲料量及消化代谢功能有直接影响,进而对鱼饲料转化率(FCR)产生间接影响。一般来说,在不考虑所投喂饲料种类、可得性及适口性等情况下,投喂率越高,鱼胃饲料存储量越多,消化代谢能力越强,当超过某一阈值时,消化代谢能力逐渐降低[24]。宋国等[27]在对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼的适宜投喂模式的研究中发现,当投喂率从体重的3%增加到11%,条石鲷饲料转化率呈现先降低后升高的变化规律,在投喂率为体重的7%时,条石鲷幼鱼的消化吸收能力与饲料利用率均达到最佳,且在此投喂率下有利于蛋白积累。楼宝等[23]研究发现,黑鲷鱼苗(24.21~29.65 g)、成鱼(148.13~163.39 g)的适宜投喂率分别为其体重的3.0%和2.5%。这表明黑鲷投喂率和鱼体重之间存在显著的相关性,随着鱼体重的增加,黑鲷的适宜投喂率降低。另外,Zhang等[28]通过建立摄食率和氮磷废物排放之间数学模型,发现当投喂率为最佳投喂率时,水体中的氮磷废物排放量达到最低。孙国祥等[29]研究发现投喂率为大西洋鲑体质量的1.0%时,氨氮排放量显著低于其他组,投喂率为体质量的0.8%时,磷排放量显著低于其他组。因此,探究海水鱼类的最佳投喂率不仅可以帮助了解其消化代谢能力,还能对养殖水环境进行有效调控,对落实目前绿色养殖理念具有重要意义。

4.3. 投喂率对海水鱼类免疫应激的影响

投喂率对海水鱼类的免疫应激能力有显著影响。投喂率过低时,鱼类摄入的饲料减少,机体所需的养分不足,导致其免疫能力下降;投喂率过高时,投入水体中的饲料过多,大量的残饵在水体内腐败,造成病菌滋生和水质污染,进而增加患病率、降低鱼体免疫能力[30]。由此可见,不适宜的投喂率会降低海水鱼类的免疫能力,增加患病风险,使得养殖难度加大。血液红细胞是鱼体内参与免疫调节的重要细胞,是二氧化碳与氧气的运输者。有研究表明,在一定范围内,提高投喂率可增加鱼体内红细胞数量,进而增加其免疫防御能力[31]。

5. 投喂方式

目前海水鱼类养殖投喂方式主要有人工投喂、自动化投喂和自需式投喂等。不同投喂方式适用于不同的养殖鱼种和养殖环境,具有各自的优缺点。人工投喂的最大优势之一是便于观察,养殖户可以随时根据鱼类的摄食情况及时对投喂量进行合理调整,保证鱼类摄食充分、平均。缺点是饵料抛撒不均匀、饲料浪费。自动化投喂具有饲料投撒均匀、减轻工人的劳动强度、降本增效的优点。但是这种方式的灵

活性较差, 不便于随时掌握摄食情况进行相应调整。自需式投喂的优点是鱼类获取饲料可以根据自身的需要, 灵活性较高。与其他投喂方式相比, 鱼体规格差异小、饲料利用率高、死亡率低。但自需式投喂机目前还处于研制阶段, 如何满足不同海水鱼类的采食习性是亟待解决的一个难题[32] [33]。

此外, 投喂方式又可根据投喂地点的不同细分为单固定点投喂、多固定点投喂以及全池投喂等[34]。当养殖环境的水体较大时, 养殖者多会选择固定点投喂来降低时间及饲料成本, 但这种方式会导致距离投喂点较远的鱼类无法获得充足的饲料, 而距离投喂点较近或者社会性较强的鱼类则会占据投喂点, 获得饲料的机会也相应增加, 最终会导致个体差异大, 规格不齐。全池分散投喂相较于固定点投喂方式会有更好的养殖效果, 可最大限度的提高生长整齐度, 减小规格差距[35]。

已有研究发现, 鱼类在不同投喂方式下的生长性能不同, 不同鱼类在同种投喂方式下的生长性能也不同[32] [35]。因此, 针对摄食习惯不同的鱼类, 养殖者对投喂方式也要做出及时、合理的调整, 提高其生长性能并减少饲料浪费。

6. 展望

近年来, 海水鱼类养殖面积及产量逐年攀高, 品种多元化、模式工厂化、养殖生态化、投喂精细化趋势日益显现。精准的饲料投喂既可以使养殖利益最大化, 还可以使环境风险最小化。然而目前海水鱼类养殖饲料投喂模式仍多以经验为主, 理论框架、技术支持以及装备标准化还未建立, 要想实行海水鱼类绿色高效养殖仍任重道远。未来应加快不同海水养殖鱼种的饲料投喂模式研究, 根据当地水文条件, 采取因地制宜的高效投喂模式。根据海水鱼类的不同摄食习性, 探究所饲鱼种的最优投喂频率、最佳投喂率及最适投喂方式, 使海水鱼类养殖向绿色高效的方向发展, 争取实现“多快好省”的养殖目标。另外, 应加快打造“饲料厂家-养殖户(企业)-环保部门”一体化平台, 科学制定投喂模式, 实现精准投喂, 共建经济与生态共赢的新模式。

基金项目

江苏省农业重大新品种创制项目(PZC201744); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(17)2021)。

参考文献

- [1] 游修龄. 池塘养鱼的最早记载和《范蠡养鱼经》问世时间问题[J]. 动物学杂志, 2004, 39(3): 115-118.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [3] 董双林. 论我国水产养殖业生态集约化发展[J]. 中国渔业经济, 2015, 33(5): 4-9.
- [4] Cho, C.Y. (1992) Feeding Systems for Rainbow Trout and Other Salmonids with Reference to Current Estimates of Energy and Protein Requirements. *Aquaculture*, **100**, 107-123. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90353-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90353-M)
- [5] 周志刚, 解缓启, 崔奕波. 鱼类投喂系统的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2003(5): 15-17.
- [6] 郭浩宇, 张秀梅, 高天翔. 人工隐蔽物及投喂频率对许氏平鲈幼鱼生长和行为的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 319-331.
- [7] 宋国, 彭世明, 孙鹏, 等. 饥饿与再投喂及投喂频率对条石鲷幼鱼生长和消化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1269-1277.
- [8] Wang, Y., Kong, L., Li, K., *et al.* (2007) Effects of Feeding Frequency and Ration Level on Growth, Feed Utilization and Nitrogen Waste Output of Cuneate Drum (*Nibea miichthioides*) Reared in Net Pens. *Aquaculture*, **271**, 350-356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.022>
- [9] Xie, F., Ai, Q., Mai, K., *et al.* (2011) The Optimal Feeding Frequency of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) Larvae. *Aquaculture*, **311**, 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.005>
- [10] 刘淑兰, 孙国祥, 李杰, 等. 投喂频率对大西洋鲑生长和生理指标的影响[J]. 水产科学, 2019, 38(3): 341-346.
- [11] Ruohonen, K., Vielma, J. and Grove, D.J. (1998) Effects of Feeding Frequency on Growth and Food Utilisation of

- Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fed Low-Fat Herring or Dry Pellets. *Aquaculture*, **165**, 111-121. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00235-X)
- [12] Karen, S.D. and Joseph, A.B. (2002) Feeding Frequency Affects Food Consumption, Feeding Pattern and Growth of Juvenile Yellowtail Flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture*, **213**, 279-292. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00224-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00224-7)
- [13] 何吉祥, 崔凯, 徐晓英, 等. 投喂频率对异育银鲫高糖、高脂饲料利用的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(6): 874-881.
- [14] 高云红, 景琦琦, 黄滨, 等. 云龙石斑鱼胃排空特征和摄食消化特性研究[J]. 渔业科学进展, 2020, 41: 1-9.
- [15] 张波, 孙耀, 唐启升. 黑鲷的胃排空率[J]. 应用生态学报, 2000(2): 287-289.
- [16] Scott, A.S., Jimi, R., Courtney, A.D., et al. (2020) Enhanced Biodiversity of Gut Flora and Feed Efficiency in Pond Cultured Tilapia under Reduced Frequency Feeding Strategies. *PLoS ONE*, **15**, e0236100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236100>
- [17] 窦艳君, 邢克智, 王庆奎, 等. 投喂频率对点带石斑鱼生长和血浆抗氧化指标的影响[J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 1-6.
- [18] Biswas, G., Thirunavaukkarasu, A.R., Sundaray, J.K., et al. (2010) Optimization of Feeding Frequency of Asian Seabass (*Lates calcarifer*) Fry Reared in Net Cages under Brackish Water Environment. *Aquaculture*, **305**, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.002>
- [19] Iwama, G.K. (2007) The Welfare of Fish. *Diseases of Aquatic Organisms*, **75**, 155-158. <https://doi.org/10.3354/dao075155>
- [20] Tian, J., Wen, H., Zeng, L.B., et al. (2013) Changes in the Activities and mRNA Expression Levels of Lipoprotein Lipase (LPL), Hormonesensitive Lipase (HSL) and Fatty Acid Synthetase (FAS) of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) during Fasting and Re-Feeding. *Aquaculture*, **400-401**, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.032>
- [21] 谢苏明, 王裕玉, 聂志娟, 等. 投喂频率对池塘工程化循环水养殖大口黑鲈生长、生理及肝脏 GH、IGF-I 基因表达丰度的影响[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 363-374.
- [22] 方巍. 黄颡鱼摄食和投喂策略的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [23] 楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 不同投饵率对黑鲷生长及体生化成分的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007(3): 230-235.
- [24] Hung, S.S.O., Lutes, P.B. and Conte, F.S. (1989) Growth and Feed Efficiency of White Sturgeon (*Acipenser transmontanus*) Subyearling at Different Feeding Rates. *Aquaculture*, **80**, 147-153. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90280-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90280-9)
- [25] Ishibashi, Y., Miki, T., Sawada, Y., et al. (2013) Effects of Feeding Conditions and Size Differences on Aggressive Behaviour and Cannibalism in the Pacific Bluefin Tuna *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel) Larvae. *Aquaculture Research*, **45**, 45-53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03203.x>
- [26] Bureau, D.P., Hua, K. and Cho, C.Y. (2006) Effect of Feeding Level on Growth and Nutrient Deposition in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) Growing from 150 to 600 g. *Aquaculture Research*, **37**, 1090-1098. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01532.x>
- [27] 宋国. 条石鲷幼鱼投喂策略的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [28] Zhang, L., Zhao, Z.G., Xiong, D.M., et al. (2011) Effects of Ration Level on Growth, Nitrogenous Excretion and Energy Budget of Juvenile Yellow Catfish, *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson). *Aquaculture Research*, **42**, 899-905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02626.x>
- [29] 孙国祥. 大西洋鲑工业化循环水养殖投喂策略研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2014.
- [30] 种金豆, 李琪, 王涛. 培育密度和投饵量对长牡蛎壳黑选育品系幼虫生长存活及附着变态的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(2): 21-29.
- [31] Alcorn, S.W., Pascho, R.J., Murray, A.L., et al. (2003) Effects of Ration Level on Immune Functions in Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, **217**, 529-545. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00369-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00369-1)
- [32] 王华, 李勇, 陈康, 等. 水产养殖动物摄食节律与投喂模式的研究进展[J]. 饲料工业, 2008, 29(24): 17-21.
- [33] Shima, T., Suzuki, N., Yamamoto, T., et al. (2001) A Comparative Study of Self-Feeder and Automatic Feeder: Effects on the Growth Performance of Rainbow Trout Fry. *Aquaculture Research*, **32**, 142-146. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00038.x>
- [34] Azzaydi, M., Madrid, J.A., Zamora, S., et al. (1998) Effect of Three Feeding Strategies (Automatic, Ad Libitum De-

mand-Feeding and Time-Restricted Demand-Feeding) on Feeding Rhythms and Growth in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture*, **163**, 285-296. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00238-5)

- [35] 李笑天, 刘宝良, 费凡, 等. 投喂策略对水产动物生长生理及行为特征影响研究进展[J]. 渔业现代化, 2020, 47(2): 7-15.