

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20201207002

http://www.yykxjz.cn/

刘瑞卿, 何梅琳, 王长海. 微藻饵料在经济棘皮动物养殖中的应用及研究进展. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 17–25

Liu RQ, He ML, Wang CH. Progress in research on application of microalgae bait in echinoderm culture. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(3): 17–25

微藻饵料在经济棘皮动物养殖中的应用及研究进展*

刘瑞卿^{1,2} 何梅琳^{1,2} 王长海^{1,2,3①}

1. 南京农业大学资源与环境科学学院 江苏省海洋生物学重点实验室 南京 210095;
2. 南京农业大学 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心 南京 210095;
3. 江苏海洋大学 江苏省海洋生物产业技术协同创新中心 连云港 222005)

摘要 棘皮动物因其富含蛋白质、氨基酸、不饱和脂肪酸和其他生理活性物质, 有较高的食用及药用价值, 是我国一类重要的水产经济动物, 需求日益提升, 因此, 发展棘皮动物养殖研究及其产业化十分紧迫。微藻富含蛋白质、碳水化合物、维生素、类胡萝卜素和丰富的多不饱和脂肪酸等营养物质, 在新型水产饲料资源开发中备受关注。微藻作为幼体动物的鲜活饵料, 在促进幼体生长、提高存活率方面显著优于人工饵料, 在棘皮动物养殖中也得到广泛应用。本文对近年来微藻及其生物活性物质在经济棘皮动物(海参和海胆)养殖中的应用及研究进展进行概括总结, 首次围绕微藻在经济棘皮动物生长、发育、变态过程中的作用以及微藻饵料在经济棘皮动物养殖中的应用进行综述, 概括了经济棘皮动物养殖常用微藻种类, 分析了微藻对海参、海胆脂肪酸组成以及免疫功能的影响, 对经济棘皮动物养殖中存在的问题进行探讨并提出建议, 以期为我国海参、海胆养殖业的发展提供参考。

关键词 微藻; 饵料; 海参; 海胆; 变态发育; 不饱和脂肪酸

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)03-0017-09

中国海域棘皮动物种类丰富, 其中, 海参纲(Holothuroidea)、海胆纲(Echinoidea)中许多种类已成为我国主要海产养殖经济物种(表 1)。随着棘皮动物营养价值逐渐被认可, 市场供不应求, 因此, 亟需扩大棘皮动物的养殖范围和规模。棘皮动物养殖期间的死亡率高、生长速度慢、营养品质下降成为限制其产业发展的主要瓶颈, 为满足幼体和成体的营养需求, 优质饵料供应是解决这些问题的关键(Carboni *et al.*, 2012)。海洋动物需要某些必需脂肪酸(EFA), 特别是

n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸(PUFA), 以保证其正常的生长、发育和免疫。已有研究表明, 必需脂肪酸的摄入量能直接影响水产养殖动物幼体的发育和生存(Coutteau *et al.*, 1997; Tocher *et al.*, 2003)。微藻作为鱼、虾、贝类幼体或成体直接或间接的天然饵料, 因其富含蛋白质、脂肪、多糖、维生素、抗氧化物质、色素及微量元素等营养物质, 在新型水产饲料资源开发中备受关注(Abinandan *et al.*, 2015)。其中, 硅藻在棘皮动物(海参和海胆)生长、发育、变态过程中发挥着

* 国家重点研发计划课题(2018YFD0901605)资助 [This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901605)]. 刘瑞卿, E-mail: liuruiqing00@outlook.com

① 通讯作者: 王长海, 教授, E-mail: chwang@njau.edu.cn

收稿日期: 2020-12-07, 收修改稿日期: 2021-01-11

表1 我国常见海参、海胆养殖种类
Tab.1 Main species of sea cucumber and sea urchins in China

品种 Species	养殖现状 Current breeding situation	常用开口饵料 Common juvenile bait	参考文献 Reference
光棘球海胆 <i>Strongylocentrotus nudus</i>	辽东和山东半岛以及渤海的 部分岛屿主要出口海产品	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> 盐藻 <i>Dunaliella salina</i> 金藻 <i>Chrysophyceae</i> 新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	吴湛辉等, 2010
中间球海胆 <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	分布于辽宁、山东, 为主要 经济养殖动物	纤细角毛藻 <i>Chaetoceros gracilis</i> 菱形藻 <i>Nitzschia</i> 双面曲壳藻 <i>Achnanthes biasolettiana</i>	常亚青等, 2020; 王子臣等, 1997
紫海胆 <i>Anthocardia crassispira</i>	浙江、福建等南方沿海海胆 类主要经济种类	金藻 <i>Chrysophyceae</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	席世改等, 2020
花刺参 <i>Stichopus variegatus</i> Sempen	华南沿海地区养殖的新品 种, 具有重要经济价值	等鞭金藻 <i>Isochrysis galbana</i> 螺旋藻 <i>Spirulina</i> 海洋红酵母 <i>Phaffia rhodozyma</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	Hu <i>et al</i> , 2010; 王怀洪等, 2017
糙刺参 <i>Holothuria metriatyla</i>	广西东兴、广东中部和西部 以及海南等南方沿海地区, 是一种重要的食用海参	菱形藻 <i>Nitzschia</i> 舟形藻 <i>Navicula</i>	韦丁等, 2010
刺参 <i>Apostichopus japonicus</i> Selenka	中国的黄渤海海域, 养殖技 术较为成熟	盐藻 <i>D. salina</i> 海洋红酵母 <i>P. rhodozyma</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	孙景春, 2012; Shan <i>et al</i> , 2014

关键作用(王吉桥等, 2010a), 在棘皮动物饵料开发中具有广阔前景。本文将围绕微藻在棘皮动物生长、发育、变态过程中的作用以及微藻饵料在棘皮动物养殖中的应用进行综述, 并对微藻在棘皮动物养殖中存在的问题进行讨论并提出建议, 以期对棘皮动物养殖提供更多的方案。

1 微藻在棘皮动物养殖中的应用

1.1 微藻饵料

微藻的大小对海胆生长发育有重要影响, 颗粒过大的微藻无法被海胆幼体摄食, 而一些微藻太小, 脂肪和蛋白含量较低, 饲养效果不佳(史策, 2014)。目前, 海参、海胆养殖中在发育前期常用的饵料藻包括:

1.1.1 硅藻 硅藻属于单细胞真核藻类, 具有硅质化细胞壁, 种类丰富, 可以在不同环境下生存, 对水体营养状态有着较高的敏感性。硅藻分为浮游硅藻和底栖硅藻: 浮游硅藻是棘皮动物浮游期的良好饵料; 底栖硅藻则是棘皮动物在匍匐期的主要饵料(王吉桥等, 2010a)。硅藻富含 EPA(二十碳五烯酸)与 DHA(二十二碳六烯酸)等长链多不饱和脂肪酸(曾蓓蓓等, 2014), 是目前较为常用的养殖饵料。目前, 应用广泛的硅藻包括牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)、中

肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、舟形藻、纤细角毛藻和三角褐指藻(*Phaeodactylum tricorutum*)。

1.1.2 金藻 金藻没有细胞壁, 个体微小, 内部含有大量的胡萝卜素和天然色素, 颜色多为黄绿色或金褐色。金藻以多糖和脂肪为主要贮藏物, 无淀粉, 其胞内和胞外多糖以及 DHA 等活性物质具有重要的开发价值(Bonfanti *et al*, 2018)。金藻无细胞壁, 容易被水产动物幼体消化吸收, 因此, 被广泛用于水产养殖业中, 是海胆、刺参幼体的优良鲜活开口饵料(Castilla-Gavilán *et al*, 2018)。

1.1.3 盐藻 盐藻是一种无细胞壁的嗜盐单细胞真核藻类, 其细胞外有糖蛋白包被, 可以在高盐环境下生存, 具有非常强的繁殖能力。盐藻富含甘油、胡萝卜素、多糖、蛋白质以及微量元素(Brown, 1991), 在天然色素和功能性食品领域具有极高的研究价值和应用价值(伍先绍等, 2008)。此外, 盐藻多糖能够增强体内巨噬细胞的吞噬功能, 从而提高养殖动物机体免疫能力(钟闰等, 2020)。Basch(1996)研究表明, 杜氏盐藻(*Dunaliella tertiolecta*)是海星幼体的适口饵料, 能够促进海星幼体生长和发育。

1.2 微藻的营养价值和作用

微藻几乎含有所有必需氨基酸, 且大部分氨基酸

与一些水产动物所需氨基酸组成接近(Brown, 1991)。微藻中长链多不饱和脂肪酸是水产动物的关键营养成分, 其在生长性能、膜渗透性、酶活性、免疫功能等方面具有独特的调控作用, 能够提高水产动物的存活率、抗氧化能力、抗应激和抵御疾病的能力(吉红等, 2016; Shahidi *et al*, 2018)。Qi 等(2018)发现, 微藻脂肪酸组成及差异对中间球海胆和光棘球海胆主要卵黄蛋白(MYP)的表达有显著影响, MYP 在海胆体内物质营养运输储存、渗透压调节、免疫功能上发挥着重要作用。在中间球海胆养成期, 投喂牟氏角毛藻的 MYP 表达量显著高于杜氏盐藻和球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)。同时, 提出在该研究中牟氏角毛藻 EPA/DHA 和 EPA/ARA(二十二碳六烯酸)比值明显高于球等鞭金藻, 证明了 EPA、DHA 和 ARA 在海胆性腺发育中发挥着重要作用。此外, 微藻富含 Ca、P、Mg、K、Na、Zn 和 Fe 等矿物元素, 能够满足水产动物营养需求(Levassor *et al*, 2020)。

1.3 微藻增强水产动物抗病能力

微藻富含维生素、植物甾醇、多糖和多酚类等活性物质, 能够增强机体免疫力(Dineshbabu *et al*, 2019; 王吉桥等, 2010b)。微藻还富含类胡萝卜素、虾青素和叶黄素等重要的天然色素, 其中, 类胡萝卜素作为维生素 A 的前体, 同时可作为免疫增强剂(王吉桥等, 2012), 促进水产动物生长和提高存活率。王吉桥等(2012)探究了 β -胡萝卜素和虾青素对仿刺参生长及抗氧化能力的影响, 发现在仿刺参饵料中添加一定量的 β -胡萝卜素, 生长速率与对照相比提高 100%, 同时抗氧化能力也有所提高, 而虾青素对仿刺参抗氧化能力影响更加显著。

细菌是水产动物集约化养殖中的主要致病因素, 且耐药细菌病原体的数量在不断增加。微藻和其含有的天然活性成分都具有抗菌活性, 在鱼虾养殖过程中可以用来杀灭病原菌(赵伟等, 2019)。微藻多糖已被证明具有重要的理化和生物学特性, 盐藻多糖能够抑制金黄色葡萄球菌感染。这些作用可能与盐藻多糖结构中带有硫酸基团, 能进一步活化免疫细胞、增强巨噬细胞的吞噬能力(尹鸿萍等, 2006; Carballo *et al*, 2020, 钟闰等, 2020)。作为一种新的免疫刺激剂具有替代生物活性药物潜力, 减少传统的抗生素使用, 为水产动物养殖保健提供新的思路。

1.4 微藻饵料影响棘皮动物脂肪酸组成

不同的饵料对海胆性腺脂肪酸组成有显著影响(George *et al*, 2010; Cook *et al*, 2000)。因此, 投喂不

同种类的藻类或人工饲料能影响海胆性腺品质。Carboni 等(2012)对比了人工饲料和褐藻对海胆性腺脂肪酸组成的影响, 发现海胆幼体胚胎发育过程中会消耗一些特定的脂肪酸。高摄食油脂含量、DHA/EPA 比值以及高 EPA/ARA 比值的 n-3LC-PUFA(n-3 长链多不饱和脂肪酸)是促进生长的最佳组合。Liu 等(2007)研究表明, 特定 LC-PUFA (DHA/EPA 和 EPA/ARA)之间的比例与它们的绝对含量同样重要, 且较高的 20:3n-3 和 20:4n-3 水平有利于幼体的发育。性腺是海胆的主要食用部分, 其营养成分直接影响产品品质。Carboni 等(2013)发现, 海胆有能力将十八碳多不饱和脂肪酸转化为 LC-PUFA: 饮食输入的 LC-PUFA 生物合成途径的脂肪酸底物(18:2n-6 和 18:3n-3)与它们在性腺中的含量之间的正相关性(Eroldoğan *et al*, 2013), 表明这 2 种脂肪酸的组织水平受饵料水平影响, 从而进一步影响性腺品质。

刺参体壁是主要食用部分, 其营养成分直接影响产品品质。左然涛等(2017)研究表明, 饲料中 DHA 水平显著影响成参体壁营养成分, 在饵料中添加一定量 DHA 时, 刺参体壁中 DHA、n-3 PUFA、DHA/EPA 和 n-3/n-6 PUFA 显著上升, 且不同程度地提高了刺参体壁中酪氨酸、缬氨酸、蛋氨酸等氨基酸的含量。微藻富含多不饱和脂肪酸, 有作为水产动物饵料脂肪来源的潜力, 从而提高水产动物品质。

1.5 微藻改善养殖水体环境

除能量供给外, 微藻能够吸收水产动物幼体排出的 CO₂ 和 N、P 元素, 并通过光合作用转化为 O₂, 达到水体中“CO₂-HCO₃⁻”平衡、pH 平衡的效果(Abinandan *et al*, 2015; Gonçalves *et al*, 2017)。多种微藻共同使用, 还可使水体中的菌相(菌类结构与数量)处于稳定状态(Pankratova *et al*, 2008), 有利于水生动物的健康生长, 能有效改善养殖水体环境, 且将转化分解的营养物质继续用于自身生长, 并作为水产饵料供给水产动物, 对于改善育苗池的水质有重要作用(常亚青等, 2004)。

1.6 微藻作为饲料添加剂

微藻除了直接作为水产动物的适口饵料外, 还能代替鱼粉、鱼油, 作为人工配合饲料的添加剂, 提高饲料的营养成分(胡冬雪等, 2019; 乔洪金等, 2016)。Cirino 等(2017)用螺旋藻、石莼(*Ulva lactuca*)、贻贝、玉米为主要原料制备海胆饵料, 发现比在自然环境中野生型海胆生长效果更好, 海胆性腺发育至成熟期的时间明显缩短, 表明微藻配合饵料比自然环境微藻饵

料提供更均衡的营养成分, 饲养效果更好。

张宝龙等(2018)研究发现, 黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)投喂含有小球藻(*Chlorella vulgaris*)藻粉的饲料, 对黄颡鱼生长、体色以及免疫力有显著影响, 饲料中添加 1.60%小球藻藻粉能诱导机体一氧化氮合酶(NOS)表达, 产生适量的一氧化氮(NO)。NO 通过 NOS 经一系列复杂反应合成, 其通过非特异性的抑制或杀灭细菌、真菌、病毒和寄生虫等, 进而增强机体的非特异性免疫(王广军等, 2009)。微藻所含虾青素对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、金鱼(*Carassius auratus*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等水产动物生长有促进作用(金征宇等, 1999; Rehulka, 2000), 且可提高水产动物生长速率及抗氧化能力, 增强机体免疫力(Savoure *et al*, 1995; 赵淑锐等, 2015; 梁英等, 2016)。尽管目前少有微藻作为饲料添加剂在棘皮动物养殖中的报道, 但大量水产动物的研究表明, 微藻在棘皮动物养殖中有广阔的应用前景: 未来

可将高富油脂、蛋白质的微藻作为饲料添加剂, 降低鱼油、动物性蛋白的需求; 加强微藻活性物质的应用, 开发药源微藻产品, 代替传统抗生素、保健品, 增强棘皮动物天然免疫能力。

2 微藻对棘皮动物生长发育的影响

棘皮动物生活史复杂, 海胆受精卵孵化成浮游幼体后, 幼体寻求合适的基质, 沉降转入底栖生活, 开始进行变态并成为稚胆, 再由稚胆至成年性成熟。浮游幼体到稚胆, 是海胆养殖中最关键的一步。摄食习性也从浮游微藻转向底栖微藻(Sonnenholzner-Varasa *et al*, 2018)。海参也需要经历这一过程(Hu *et al*, 2013)。在樽形幼体前, 刺参处于浮游阶段, 主要摄食浮游单细胞藻类; 进入樽形幼体阶段后, 幼体从附着生活转变为底栖碎屑食性生物(隋锡林, 1989), 表 2 总结了不同微藻饲养海参、海胆研究, 证明微藻对棘皮动物生长发育、变态、存活有重要影响。

表 2 不同微藻对海参、海胆生长发育的影响

Tab.2 Effects of different microalgae on the growth and development of sea cucumber and sea urchin

品种 Species	微藻饵料 Microalgae bait	微藻影响 Effects of microalgae feed	参考文献 Reference
绿海胆 <i>Lytechinus variegatus</i>	杜氏盐藻 <i>D. tertiolecta</i>	发育周期不变, 幼体体型更大, 存活率提高	George <i>et al</i> , 2004
拟球海胆 <i>Paracentrotus lividus</i>	杜氏盐藻 <i>D. tertiolecta</i>	发育率、存活率无影响, 生长速度提高	Liu <i>et al</i> , 2007
拟球海胆 <i>P. lividus</i>	菱形藻 <i>Nitzschia</i> 双眉藻 <i>Halamphora coffeaeformis</i>	促进浮游幼体发育, 提高发育率	Castilla-Gavilán <i>et al</i> , 2020
紫海胆 <i>A. crassispina</i>	金藻 <i>Chrysophyceae</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i> 绿色巴夫藻 <i>Pavlova viridis</i> 扁藻 <i>Platymonas subcordiformis</i> 小球藻 <i>C. vulgaris</i>	不同饵料对紫海胆浮游幼体生长发育的效果有差异, 以金藻、角毛藻为饵料发育速度较快	席世改等, 2020
虾夷马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	菱形藻 <i>Nitzschia</i> 舟形藻 <i>Navicula</i> 缝舟藻 <i>Rhaphoneis</i> 双菱藻 <i>Surirella</i> 双眉藻 <i>H. coffeaeformis</i>	较好诱导海胆幼体变态, 提高生长和存活率	Xing <i>et al</i> , 2007
仿刺参 <i>A. japonicus</i> Selenka	菱形筒柱藻 <i>Cylindrotheca fusiformis</i>	提高对饲料的利用效率, 有较好生长率	史策, 2014
刺参 <i>A. japonicus</i> Selenka	金藻 <i>Chrysophyceae</i> 盐藻 <i>D. tertiolecta</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	提高刺参免疫力, 对刺参幼体生长、变态有促进作用	白伟, 2018
仿刺参 <i>A. japonicus</i> Selenka	圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> 舟形藻 <i>Navicula</i> 双肋藻 <i>Amphipleuraceae</i>	提高海参幼体附着率, 提高增长速率	王吉桥等, 2010a

2.1 海胆

Carboni(2012)研究了不同微藻对拟球海胆生长发育的影响,发现微藻饵料可有效提高海胆幼体变态能力,但不同微藻投喂的幼体成活率和生长存在显著差异。其中,以颗石藻(*Cricosphaera elongate*)为饵料的幼体存活率比其他藻株高3倍,生长速度快20%。Carboni(2012)还发现,海胆幼体发育过程中,海胆幼体口后腕长有显著差异。Kelly等(2000)推测,口后腕的缩短可能与海胆幼体过度进食有关,也可能是当食物充足时,幼体在早期蜕变时分配能量的稳态反应(Strathmann *et al.*, 1992; Fenaux *et al.*, 1994; Sato *et al.*, 2006)。研究表明,微藻饵料能够很好地满足海胆幼体的营养需求。

Brundu等(2016)研究了等边金藻、杜氏盐藻和纤角毛藻3种微藻混合液作为饵料对海胆幼体生长发育的影响,发现所有摄食组均促进幼体生长发育。受精卵培育10d后,3种藻株混合投喂的海胆幼体生长速度最快,达到八腕幼体的占(79.9±7.8)%,但幼体变态延滞,完成变态的海胆存活率仅为(4.2±3.5)%,显著低于其他处理组(61.8±16.5)%~(78.4±10.2)%。表明3种微藻混合饵料是海胆发育前期较优的选择,但不适合在海胆变态期投喂,这可能是由于不同藻类间他感作用(Gross, 2003)分泌的可沉降物质,使底栖环境改变,导致海胆幼体匍匐期变态后的存活率降低。

此外,微藻形成的生物膜有助于海胆浮游幼体向底栖幼体转变(Kawamura *et al.*, 1995; Jimmy *et al.*, 2003)。Xing等(2007)比较了8种底栖硅藻作为饵料对虾夷马粪海胆匍匐期幼体附着率的影响,发现海胆幼体在菱形藻和双菱缝舟藻(*Rhaphoneis surirella*)上的附着率达到40%,但在咖啡双眉藻(*Amphora coffeaeformis*)上的附着率仅为6.6%。作者推测该现象与微藻生物膜中分泌的胞外分泌物有直接关系。Castilla-Gavilán等(2020)研究表明,底栖硅藻形成的生物膜有助于海胆幼体变态发育,菱形藻形成的生物膜对幼体附着率显著高于双眉藻形成的生物膜,进一步说明这种差异的原因可能由于生物膜成分的差异,特别是细胞外聚合物的数量。

2.2 海参

海参营养需求的研究尚处于摸索阶段,营养需求标准缺乏,饲料研究落后于产业的发展。微藻饵料同样对海参生长发育有促进作用。许翠娅(2019)对池塘养殖仿刺参过程中附着基上底栖微藻的种类组成、细胞密度和生物量变化进行分析,发现池塘养殖仿刺参稚参的产量和成活率与附着基上底栖微藻的生物量

密切相关。Shi等(2013)发现,摄食14%鲜活菱形筒柱藻与86%海泥混合饲料的刺参有良好的生长速度和能量分配模式。史策(2014)选取营养物质含量更高的叉鞭金藻(*Dicrateria inornata*)、小新月菱形藻(*Nitzschia closterium f. minutissima*)和钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*)混合饲料喂养刺参,发现刺参的生长率反而低于摄食营养物质含量较低的菱形筒柱藻的刺参。作者发现,刺参粪便中的多数菱形筒柱藻细胞发生了较大形变,表明刺参可以较好地破解菱形筒柱藻。水生动物利用微藻细胞内容物的先决条件是通过物理咀嚼或者胃酸、生物酶破坏微藻的细胞壁(Bitterlich, 1985)。虽然菱形筒柱藻蛋白、脂肪含量较低,但其易破解和高比例的呈味氨基酸的特性弥补了营养上的不足,因而其对养殖刺参的饲料效果较好(兰岚等, 2012)。

白伟(2018)探究了不同微藻对刺参浮游幼体生长、免疫、消化及氨基酸组成的影响,发现盐藻对刺参浮游幼体早期饲养效果最好,但盐藻饲喂的耳状幼体期发育缓慢,推测由于盐藻没有细胞壁,在幼体发育的初始阶段更容易被消化。角毛藻在刺参大耳状幼体时期促生效果最好,对幼体的发育和变态有着积极作用。但随着幼体消化系统的逐步完善,营养优势较其他藻种下降,多元化的饵料来源才可满足幼体的营养需求。

3 微藻饵料应用在经济棘皮动物养殖领域存在的问题与前景

3.1 微藻应用在经济棘皮动物养殖中存在的问题及建议

随着国内棘皮动物养殖业的迅猛发展,水产饵料的需求日益增加。由于海参、海胆的幼体摄食能力低下,饵料范围窄,在不同时期对饵料中营养物质的需求不同,要求针对不同时期的幼体营养需求来配套提供高品质的饵料。但多数水产养殖企业自有的微藻饵料生产工艺粗放,难以满足高品质饵料的要求。目前,国内外对海参、海胆幼体发育的营养需求特征与微藻饵料关键营养因子的相关性研究不足,也阻碍了根据幼体营养需求开发适口商品饵料的进程。另外,棘皮动物幼体对外界养殖环境极为敏感,营养不全面或不适合的饵料,可能会导致营养供给不足、幼体生长缓慢和变态发育存活率低等一系列问题,因此,微藻饵料作为棘皮动物幼年期必需的饵料,其产量和品质已成为棘皮动物苗种规模化的主要制约因素之一。目前,市场上微藻饵料产品面临的主要问题:没有统

一的质量标准,商品化的产品稀缺,产品质量和功效不稳定,鲜活饵料保存不易,鲜饵供应与育苗期不匹配等。

针对棘皮动物幼体的营养需要与饵料相关性的研究不完善的问题,有必要进一步加深相关的基础研究,对饵料的关键营养因子,如微藻多不饱和脂肪酸的种类、含量和比例与棘皮动物生长发育相关性进行全面研究,为开发特定营养因子配比的定向高品质饵料提供基础数据。同时,根据微藻的营养特点和生物学功能,培养选育更有价值的不同藻种,扩充微藻饵料的品种。微藻及其生物活性物质作为饲料添加剂,也在棘皮动物养殖中具有极高的应用潜力。微藻高附加值产物,如虾青素、多酚、甾醇等,作为饲料添加剂,可提高棘皮动物免疫力、抗氧化能力,为降低大量抗生素的使用提供可能性。

此外,相关行业应基于微藻高密度培养和营养关联分析尽快制定全面的微藻饵料产品的标准和规范,改善现有的粗放式饵料生产工艺,引导微藻饵料行业的规范化发展,推进新型高效微藻饵料的创制和发展。鲜活饵料产品的开发则一方面需要选育生长迅速、抗逆性强、营养价值高的品种,改善培养工艺来降低生产成本;另一方面则要考虑下游企业育苗需求的时效性,做好饵料供应和育苗时间的精准对接,真正形成与棘皮动物育苗配套的鲜饵生产工艺及产业链。只有加速微藻饵料产品的开发和标准化,降低饵料微藻培养和活性物质提取工艺生产成本,才能扩大微藻饵料在棘皮动物养殖中的应用,促进棘皮动物养殖业的进一步发展。

3.2 微藻在经济棘皮动物养殖中的应用前景

微藻富含蛋白质、维生素和脂肪酸等营养物质,作为幼体动物的鲜活饵料,在新型水产饲料资源开发中备受关注。随着对微藻生理生化研究的深入,对微藻高附加值提取物加工工艺的优化,开发特定营养因子配比的定向高品质饵料将极大提高经济棘皮动物养殖效率,且该模式将成为未来动物饵料应用的典型。微藻饵料资源也将为动物饵料工业可持续发展提供广阔的发展前景。

参 考 文 献

- Abinandan S, Shanthakumar S. Challenges and opportunities in application of microalgae (*Chlorophyta*) for wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 52: 123–132
- Bai W. Effects of different algal diets on the growth, immunity, digestion and nutrient composition of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Master's Thesis of Dalian Ocean University, 2018 [白伟. 不同藻类饵料对仿刺参生长性能、免疫消化及营养组成影响的研究. 大连海洋大学硕士研究生学位论文, 2018]
- Basch LV. Effects of algal and larval densities on development and survival of asteroid larvae. *Marine Biology*, 1996, 126(4): 693–701
- Bitterlich G. Digestive processes in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) studied *in vitro*. *Aquaculture*, 1985, 50(1–2): 123–131
- Bonfanti C, Cardoso C, Afonso C, et al. Potential of microalga *Isochrysis galbana*: Bioactivity and bioaccessibility. *Algal Research*, 2018, 29: 242–248
- Brown MR. The amino-acid and sugar composition of 16 species of microalgae used in mariculture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1991, 145(1): 79–99
- Brundu G, Vian Monleón L, Vallainc D, et al. Effects of larval diet and metamorphosis cue on survival and growth of sea urchin post-larvae (*Paracentrotus lividus*; Lamarck, 1816). *Aquaculture*, 2016, 465: 265–271
- Carballo C, Mateus AP, Maya C, et al. Microalgal extracts induce larval programming and modify growth and the immune response to bioactive treatments and LCDV in *Senegalese sole* post-larvae. *Fish and Shellfish Immunology*, 2020, 106(1): 263–272
- Carboni S, Hughes AD, Atack T, et al. Fatty acid profiles during gametogenesis in sea urchin (*Paracentrotus lividus*): Effects of dietary inputs on gonad, egg and embryo profiles. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2013, 164(2): 376–382
- Carboni S, Vignier J, Chiantore M, et al. Effects of dietary microalgae on growth, survival and fatty acid composition of sea urchin *Paracentrotus lividus* throughout larval development. *Aquaculture*, 2012, 324–325: 250–258
- Castilla-Gavilán M, Reznicev M, Turpin V, et al. Sea urchin recruitment: Effect of diatom based biofilms on *Paracentrotus lividus* competent larvae. *Aquaculture*, 2020, 515: 734559
- Castilla-Gavilána M, Florence B, Bruno C, et al. Optimising microalgae diets in sea urchin *Paracentrotus lividus* larviculture to promote aquaculture diversification. *Aquaculture*, 2018, 490: 251–259
- Chang YQ, Gao XS. Artificial seedling and breeding technology of *Strongylocentrotus intermedius* (V). *Fisheries Science*, 2004(10): 45–46 [常亚青, 高绪生. 中间球海胆的人工育苗及增养殖技术(之五). *水产科学*, 2004(10): 45–46]
- Chang YQ, Zhao C, Hu FY, et al. Aquaculture of *Strongylocentrotus intermedius* in Fujian coastal areas. *Southern China Fisheries Science*, 2020, 16(3): 1–9 [常亚青, 赵冲, 胡方圆, 等. 福建沿海试养中间球海胆的初步研究. *南方水产科学*, 2020, 16(3): 1–9]
- Chang YQ. Biological research and breeding of sea cucumber and sea urchin. Beijing: China Ocean Press, 2004 [常亚青. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社, 2004]
- Cirino P, Ciaravolo M, Paglialonga A, et al. Long-term maintenance of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in culture. *Aquaculture Reports*, 2017, 7: 27–33
- Cook EJ, Bell MV, Black KD, et al. Fatty acid compositions of

- gonadal material and diets of the sea urchin, *Psammechinus miliaris*: Trophic and nutritional implications. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, 255(2): 261–274
- Coutteau P, Mourente G. Lipid classes and their content of n-3 highly unsaturated fatty acids (HUFA) in *Artemia franciscana* after hatching, HUFA-enrichment and subsequent starvation. *Marine Biology*, 1997, 130(1): 81–91
- Dineshbabu G, Goswami G, Kumar R, et al. Microalgae-nutritious, sustainable aqua- and animal feed source. *Journal of Functional Foods*, 2019, 62: 103545
- Eroldoğan TO, Yılmaz AH, Turchini GM, et al. Fatty acid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Effects of n-6 PUFA and MUFA in fish oil replaced diets. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2013, 39(4): 941–955
- Fenaux L, Strathmann MF, Strathmann RR. Five tests of food-limited growth of larvae in coastal waters by comparisons of rates of development and form of echinoplutei. *Limnology and Oceanography*, 1994, 1(39): 84–98
- George SB, Lawrence JM, Lawrence AL. Complete larval development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* fed an artificial feed. *Aquaculture*, 2004, 242(1–4): 217–228
- George SB, Lawrence JM, Lawrence AL. Fertilization and development of eggs of the sea urchin *Lytechinus variegatus* maintained on an extruded feed. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 2(31): 232–238
- Gonçalves AL, Pires JCM, Simões M. A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Research*, 2017, 24(SI): 403–415
- Gross EM. Allelopathy of aquatic autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2003, 22: 313–339
- Hu C, Xu Y, Wen J, et al. Larval development and juvenile growth of the sea cucumber *Stichopus* sp. (Curry fish). *Aquaculture*, 2010, 300(1–4): 73–79
- Hu CQ, Li HP, Xia JJ, et al. Spawning, larval development and juvenile growth of the sea cucumber *Stichopus horrens*. *Aquaculture*, 2013, 404–405: 47–54
- Hu DX, Ma J, Wang CQ, et al. Effects of replacement of dietary fish meal by *Nannochloropsis* sp. meal on growth performance, body composition, and serum biochemical indices of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(4): 21–30 [胡冬雪, 马季, 王成强, 等. 拟微绿球藻粉替代鱼粉对大菱鲆幼鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2019, 40(4): 21–30]
- Ji H, Xiao FF, Xing JX, et al. Research progress on the application of microalgae resources in aquatic feed. *Feed Industry*, 2016, 41(16): 1–12 [吉红, 肖芬芬, 邢君霞, 等. 微藻资源在水产饲料中应用的研究进展. *饲料工业*, 2016, 41(16): 1–12]
- Jimmy RA, Kelly MS, Beaumont AR. The effect of diet type and quantity on the development of common sea urchin larvae *Echinus esculentus*. *Aquaculture*, 2003, 220(1–4): 261–275
- Jin ZY, Guo SD, Lü YH. Effects of astaxanthin-rich *Phaffia* on the body color and growth status of *Macrobrachium rosenbergii*. *Feed Industry*, 1999(20): 27–31 [金征宇, 过世东, 吕玉华. 饲料中添加富含虾青素的法夫酵母对罗氏沼虾的体色及生长状况的影响. *饲料工业*, 1999(20): 27–31]
- Kawamura T, Saido T, Takami H, et al. Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995, 194(2): 189–199
- Kelly MS, Hunter AJ, Scholfield CL, et al. Morphology and survivorship of larval *Psammechinus miliaris* in response to varying food quantity and quality. *Aquaculture*, 2000, 183(3–4): 223–240
- Lan L, Wang QH, He Y, et al. Analysis of nutrient components in continuous culture of alga *Cylindrica*. *Journal of Ocean University of China (Natural Sciences)*, 2012, 42(6): 72–75 [兰岚, 王巧晗, 赫勇, 等. 流加-连续培养的筒柱藻营养成分分析. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2012, 42(6): 72–75]
- Levassor W, Perré P, Pozzobon V. A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnology Advances*, 2020, 41: 107545
- Liang Y, Huang XL, Tian CY. Advances in studies on marine medicinal microalgae. *Journal of Ocean University of China (Natural Sciences)*, 2016, 46(11): 32–43 [梁英, 黄徐林, 田传远. 海洋药源微藻研究进展. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2016, 46(11): 32–43]
- Liu H, Kelly MS, Cook EJ, et al. The effect of diet type on growth and fatty acid composition of the sea urchin larvae, II. *Psammechinus miliaris* (Gmelin). *Aquaculture*, 2007, 264(1–4): 263–278
- Pankratova EM, Trefilova LV, Zyablykh RY, et al. Cyanobacterium *Nostoc paludosum* Kutz as a basis for creation of agriculturally useful microbial associations by the example of bacteria of the genus *Rhizobium*. *Microbiology*, 2008, 77(2): 228–234
- Qi SB, Zhao XW, Zhang WJ, et al. The effects of 3 different microalgae species on the growth, metamorphosis and MYP gene expression of two sea urchins, *Strongylocentrotus intermedius* and *S. nudus*. *Aquaculture*, 2018, 492: 123–131
- Qiao HJ, Song ZD, Ma JJ, et al. Effects of microalgae supplemented in feed instead of fish oil on growth, body composition and fatty acid composition of *Paralichthys olivaceus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(5): 56–63 [乔洪金, 宋志东, 马晶晶, 等. 饲料中添加微藻替代鱼油对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼生长、体成分及脂肪酸组成的影响. *渔业科学进展*, 2016, 37(5): 56–63]
- Rehulka J. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 2000, 190(1): 27–47
- Sato Y, Kaneko H, Negishi S, et al. Larval arm resorption proceeds concomitantly with programmed cell death during metamorphosis of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Cell and Tissue Research*, 2006, 326(3): 851–860
- Savoure N, Briand G, Amory-Touz MC, et al. Vitamin-A status and metabolism of cutaneous polyamines in the hairless mouse after UV irradiation: Action of beta-carotene and astaxanthin. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 1995, 65(2): 79–86
- Shahidi F, Ambigaipalan P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2018, 9(1): 345–381

- Shan HW, Zhang L, Gao L, *et al.* A comparative study of intensive *Litopenaeus vannamei* culture on four bottom substrates without water change. *Journal of Ocean University of China*, 2014(13): 705–711
- Shi C, Dong SL, Wang F, *et al.* Effects of four fresh microalgae in diet on growth and energy budget of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture*, 2013, 416–417: 296–301
- Shi C. Study on the effect of fresh *Rhomboid tubulosa* (Diatom) on the bait of Chinese ginseng root. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2014 [史策. 鲜活菱形筒柱藻(硅藻)对刺参饵料效果的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2014]
- Sonnenholzner-Varasa JR, Noelia T, Panchana OMM. Breeding, larval development, and growth of juveniles of the edible sea urchin *Tripneustes depressus*: A new target species for aquaculture in Ecuador. *Aquaculture*, 2018, 496: 134–145
- Strathmann RR, Fenaux L, Strathmann MF. Heterochronic developmental plasticity in larval sea urchins and its implications for evolution of non-feeding larvae. *Evolution*, 1992, 46(4): 972–986
- Sui XL. The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1989, 20(4): 314–321 [隋锡林. 影响刺参幼体发育与存活率的主要因子. 海洋与湖沼, 1989, 20(4): 314–321]
- Sun JC. Preliminary study on *Apostichopus japonicus* attachment metamorphosis induced by benthic diatoms. Master's Thesis of Ocean University of China, 2012 [孙景春. 底栖硅藻诱导仿刺参(*Apostichopus japonicus*)幼体附着变态的初步研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2012]
- Tocher DR. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11(2): 107–184
- Wang GJ, Xie J, Yu DG, *et al.* Research progress of nitric oxide and nitric oxide synthase in aquatic animal immune system. *Aquatic Science and Technology*, 2009(3): 1–6, 13 [王广军, 谢骏, 余德光, 等. 一氧化氮及一氧化氮合酶在水生动物免疫系统中的研究进展. 水产科技, 2009(3): 1–6, 13]
- Wang HH, Yan JX, Feng YQ, *et al.* Embryonic and larval development of sea cucumber *Stichopus hermanni*. *Fisheries Science*, 2017, 36(5): 606–611 [王怀洪, 严俊贤, 冯永勤, 等. 花刺参胚胎和幼体发育的形态观察. 水产科学, 2017, 36(5): 606–611]
- Wang JQ, Cong WH, Jiang YS, *et al.* Effects of benthic diatom species and density on growth and survival in larval and juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Journal of Dalian Ocean University*, 2010a, 25(3): 203–209 [王吉桥, 丛文虎, 姜玉声, 等. 底栖硅藻种类和密度对仿刺参幼体和稚参生长与成活的影响. 大连海洋大学学报, 2010a, 25(3): 203–209]
- Wang JQ, Fan YY, Xu ZX, *et al.* Effects of dietary β -carotene and astaxanthin levels on anti-oxidation in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2012, 27(3): 215–220 [王吉桥, 樊莹莹, 徐振祥, 等. 饲料中 β -胡萝卜素和虾青素添加量对仿刺参幼参生长及抗氧化能力的影响. 大连海洋大学学报, 2012, 27(3): 215–220]
- Wang JQ, Su JW, Zhang K, *et al.* The effects of dietary vitamin C sources and levels on immunity of juvenile sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Fisheries Science*, 2010b, 29(7): 381–386 [王吉桥, 苏久旺, 张坤, 等. 维生素C剂型和剂量对仿刺参幼参免疫的影响. 水产科学, 2010b, 29(7): 381–386]
- Wang ZC, Chang YQ. Studies on hatching of Japanese sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1997(1): 61–68 [王子臣, 常亚青. 虾夷马粪海胆人工育苗的研究. 中国水产科学, 1997(1): 61–68]
- Wei D, Chen J. Research on nutrient contents of *Holothuria scabra* Jaeger. *Food Science and Technology*, 2010, 35(10): 99–101 [韦丁, 陈健. 糙海参营养成分的探究. 食品科技, 2010, 35(10): 99–101]
- Wu XS, He ZF, Gong X. *Dunaliella salina* and its application in foods. *China Food Additives*, 2008(2): 127–130 [伍先绍, 贺稚非, 龚霄. 杜氏盐藻及其在功能食品中的应用. 中国食品添加剂, 2008(2): 127–130]
- Wu ZH, Lin GM, Dai YY. Technique for big-sized fingerling rearing of *Alosa sapidissima*. *Chinese Fisheries*, 2010(6): 39–41 [吴湛辉, 林国明, 戴玉勇. 光棘球海胆大规模苗种培育技术. 中国水产, 2010(6): 39–41]
- Xi SG, Qin CX, Ma ZH, *et al.* Effects of dietary microalgae on growth and survival of larval development of sea urchin (*Anthocidaris crassispina*). *Southern China Fisheries Science*, 2020, 16(2): 115–120 [席世改, 秦传新, 马振华, 等. 微藻饵料对紫海胆浮游幼体生长及存活影响的研究. 南方水产科学, 2020, 16(2): 115–120]
- Xing RL, Wang CH, Cao XB, *et al.* The potential value of different species of benthic diatoms as food for newly metamorphosed sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Aquaculture*, 2007, 263(1–4): 142–149
- Xu CY. Effects of shelter type and benthic microalgae on growth and survival of sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka in earthen ponds. *Journal of Fisheries Research*, 2019, 41(4): 284–292 [许翠娅. 不同类型附着基及其底栖微藻对池塘养殖仿刺参生长和存活的影响. 渔业研究, 2019, 41(4): 284–292]
- Yin HP, Sheng YQ. Study on *in vivo* anti-microbial and anti-inflammatory activities of polysaccharide from *Dunaliella salina*. *Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics*, 2006, 27(6): 361–363 [尹鸿萍, 盛玉青. 盐藻多糖体内抑菌及抗炎作用的研究. 中国生化药物杂志, 2006, 27(6): 361–363]
- Zeng BB, Huang XX, Wei LK, *et al.* Suitable culture conditions and cellular biochemical composition of three diatoms from brackish water. *Marine Fisheries*, 2014, 36(4): 320–328 [曾蓓蓓, 黄旭雄, 危立坤, 等. 3种半咸水硅藻的适宜培养条件及其细胞生化成分. 海洋渔业, 2014, 36(4): 320–328]
- Zhang BL, Qu M, Bao LM, *et al.* Effects of different levels of chl_a on the growth and immunity of *Pelteobanus fulvidrus*. *Animals Breeding and Feed*, 2018(9): 48–53 [张宝龙, 曲木, 暴雨梅, 等. 饲料中添加不同水平小球藻对黄颡鱼生长及免疫力的影响. 养殖与饲料, 2018(9): 48–53]
- Zhao SR, Zheng MQ, Wu YT, *et al.* Investigation with ESR on the radical scavenging effect of *Spirulina in vitro*. *Food Research and Development*, 2015, 36(18): 91–94 [赵淑锐,

- 郑美青, 吴英婷, 等. 螺旋藻体外清除自由基的 ESR 研究. 食品研究与开发, 2015, 36(18): 91–94]
- Zhao W, Gao BY, Huang LD, *et al.* Nutritional value, physiological function and disease resistance activity of microalgae and their bioactive components in aquaculture. *Feed Industry*, 2019, 40(8): 9–16 [赵伟, 高保燕, 黄罗冬, 等. 微藻及其生物活性成分在水产养殖中的营养价值、生理功能和抗病活性. 饲料工业, 2019, 40(8): 9–16]
- Zhong R, Wu SW, He XM, *et al.* Antitumor activity and mechanism of exopolysaccharides from *Salina dualiella*. *Science and Technology of Food Industry*, 2020(22): 126–133 [钟闰, 吴思伟, 何秀苗, 等. 杜氏盐藻胞外多糖抗肿瘤活性及其机制研究. 食品工业科技, 2020(22): 126–133]
- Zuo RT, Li M, Qin YB, *et al.* Effects of dietary docosahexaenoic acid (DHA) content on growth performance and nutrient composition in body wall of adult sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2017, 32(2): 172–177 [左然涛, 李敏, 秦宇博, 等. 饲料中 DHA 含量对刺参成参生长及其体壁营养成分的影响. 大连海洋大学学报, 2017, 32(2): 172–177]

(编辑 陈 辉)

Progress in Research on Application of Microalgae Bait in Echinoderm Culture

LIU Ruiqing^{1,2}, HE Meilin^{1,2}, WANG Changhai^{1,2,3}①

(1. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Jiangsu Key Laboratory of Marine Biology, Nanjing 210095; 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 3. Co-Innovation Center of Jiangsu Marine Bio-Industry Technology, Ocean University of Jiangsu, Lianyungang 222005)

Abstract Echinodermata are important aquatic animals of commercial value in China. Enriched in proteins, amino acids, unsaturated fatty acids, and other physiologically active substances, they are considered healthy food with increasing consumer demand. Therefore, there is an urgent need to develop and industrialize echinoderm breeding. However, the high mortality rate, slow growth rate, and low nutritional quality during echinoderm breeding are the main bottlenecks limiting the development of the echinoderm industry. It is well known that marine animals require certain essential fatty acids, particularly n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids, for their normal growth, development, and immunity. Essential fatty acids can directly affect the development and survival of juvenile of echinoderms grown in aquaculture. To meet the nutritional needs of juveniles and adults, the supply of high-quality bait is essential to overcome these bottlenecks. Microalgae are rich in proteins, carbohydrates, vitamins, carotenoids, polyunsaturated fatty acids, and other nutrients, and have attracted increased attention in the development of new aquatic feed resources. Fresh bait for young animals is significantly better than artificial bait in promoting growth and improving survival rates. It is also widely used in breeding echinoderms. In this paper, the research progress on the application of microalgae and bioactive chemicals in typical commercial echinoderm (sea cucumber and sea urchin) farming and breeding were reviewed with respect to their effects on the growth, development, and impact on the larval growth. We have summarized the microalgae species commonly used in economic echinoderm breeding and the effects of microalgae on the fatty acid composition and immune status of sea cucumbers and sea urchins were analyzed. Furthermore, the challenges limiting the application of microalgae bait in echinoderm breeding and farming are discussed, and alternative solutions are offered for sea cucumber and sea urchin culture in China.

Key words Microalgae; Bait; Sea cucumber; Sea urchin; Metamorphosis; Unsaturated fatty acids

① Corresponding author: WANG Changhai, E-mail: chwang@njau.edu.cn