

硅藻在鲍育苗中的重要作用研究进展

Research advances on the role of diatoms in abalone seed production

赵东海¹, 高亚辉¹, 吴文忠², 陈旭新²

(1. 厦门大学 生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 福建东山出入境检验检疫局, 福建 东山 363400)

关键词: 硅藻(Bacillariophyceae); 鲍鱼(*Haliotis*); 育苗

中图分类号: S917.3, S968.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2005)09-0088-04

近年来, 鲍鱼(*Haliotis*)养殖规模不断扩大, 养殖量也不断上升。2000年中国商品鲍产量已达到2000吨以上。但目前养鲍业中普遍存在着养殖稳定性低、病害严重等急需解决的问题。

硅藻(Bacillariophyceae)是海洋养殖水域浮游植物和底栖藻类中的最主要类群, 在鲍鱼养殖中, 特别在早期育苗中起着重要的作用。底栖硅藻是鲍幼虫附着和变态的重要诱导物, 也是匍匐幼体和早期稚鲍的主要饵料。此外, 底栖硅藻所形成的硅藻膜是鲍幼体的主要生活环境。因此研究硅藻在鲍育苗中的作用对于提高鲍育苗成功率, 提高育苗技术等具有重要意义。

1 硅藻膜—鲍幼体的重要生活环境

包括硅藻膜在内的生物膜上往往存在一个特殊区域称为扩散界面层^[1], 其特点是界面层内水流速度逐渐下降, 直至固液交接面处变为零。扩散界面层的存在限制了基质面与水体间溶解氧、营养物质和其他物质的交换, 最终形成一个微小浓度梯度。在鲍育苗中, 匍匐幼体生活于硅藻膜上, 其高度通常低于界面层厚度, 且此时呼吸孔尚未形成, 物质交换必须通过基质面与幼体壳缘间缝隙(约50 μm)进行, 因此硅藻膜的长势及其潜在的界面层环境对鲍幼体早期生长有着重要影响。

研究表明, 硅藻膜上藻细胞密度过高(>6 000 细胞/mm²)将引起鲍幼体大量死亡(死亡率高达90%), 原因有硅藻膜过度生长导致幼体窒息, 幼体行动受到阻碍, 细菌和其他有害生物滋生以及由于扩散界面层的存在而产生不良水质^[2]。过于厚密的硅藻膜所产生的大量氧气在界面层内积聚, 容易对鲍幼体产生毒害作用; 而在黑暗或遮阴条件下, 硅藻膜上大量的生物代谢和有机物分解将消耗过多氧气, 又可能使幼体处于缺氧状态。例如当光照从59 μE/

(s·m²)下降到4 μE/(s·m²), 硅藻膜上氧饱和度可在3 min内从140%降到50%^[1]。关于界面层内溶氧状态及其他因素如pH、氨氮浓度等对鲍幼体的作用及机理还需要作进一步研究。目前发现光照对硅藻膜和鲍幼体的生长有重要影响^[3]。

2 硅藻在鲍幼虫附着和变态中的作用

硅藻可以较好地诱导鲍浮游幼虫的附着和变态, 其诱导作用与硅藻的生长状态、细胞密度和种类等密切相关。

2.1 硅藻的生长状态

生长状态包括硅藻形态和生理状况等。一般认为那些形状扁平且能平卧状附着而形成平整基质面的硅藻如卵形藻(*Cocconeis*)、某些舟形藻(*Navicula*)等能获得较高的幼虫附着率; 而一些直立状硅藻如曲壳藻(*Achnanthes*)、直链藻(*Melosira*)等长成丛林状, 不利于幼虫附着, 因而诱导效果较差。新月筒柱藻(*Cylindrotheca closterium*)运动能力强而粘附性低, 因而诱导作用也相对低。此外, 生长状态较好的硅藻往往更能促进幼体附着和变态。

2.2 硅藻细胞密度和膜龄

一般认为细胞密度高或膜龄大的硅藻膜对鲍幼

收稿日期: 2004-7-15; 修回日期: 2005-3-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270118); 福建省自然科学基金计划资助项目(B0510005)

作者简介: 赵东海(1979-), 男, 浙江绍兴人, 硕士, 研究方向为硅藻分类与生理生化, E-mail: dhzhao 2002@sins.com; 高亚辉, 通讯作者, 教授, 电话: 0592-2181386, E-mail: gaoyh@jingxian.xmu.edu.cn



虫附着和变态的诱导效果要比浓度低或膜龄小的硅藻膜要好。Daume 等^[4]报道绿唇鲍幼虫的附着数与多枝舟形藻 (*N. ramosissima*) 的分裂频率和细胞密度成正相关,但同时发现膜龄较大的新月筒柱藻对幼虫附着和变态产生不良影响,这也说明硅藻密度过高可能对幼体早期发育不利。

2.3 硅藻种类组成

卵形藻、舟形藻和一些直立状硅藻对鲍幼虫附着和变态的不同诱导效果说明硅藻的诱导能力依据其种类而定。硅藻的诱导能力还与其种类组成有关,如硅藻种群变化可引起红鲍 (*H. rufescens*) 附着率的改变。研究表明舟形藻与双眉藻 (*Amphora*) 组成的混合硅藻的诱导效果要比单种双眉藻好。

值得注意的是,同一种硅藻对不同鲍种附着的诱导效果可能不同,如多枝舟形藻和盾形卵形藻小型变种 (*C. scutellum var. parva*) 能诱导皱纹盘鲍 (*H. discus hannai*) 和绿唇鲍 (*H. laevigata*) 附着,但对黑唇鲍 (*H. rubra*) 却不起作用^[4]。

3 硅藻的饵料作用

3.1 硅藻的饵料价值

硅藻的利用率^[5]是决定硅藻饵料价值的一个关键因素,它是指硅藻在鲍幼体舔食和消化过程中被破壳利用的比例。硅藻形态、粘附强度、硅质壳强度以及鲍幼体个体大小或年龄等因素都会影响硅藻的有效利用。

3.1.1 硅藻细胞形态

硅藻细胞大小和胶质柄长度会影响鲍幼体对它们的摄取和利用,特别是对早期或个体小的匍匐幼体来讲这种限制作用更为明显。例如日本株系的长柄曲壳藻 (*A. longipes*) 可被壳长 750~1 300 μm 的黑足鲍 (*H. iris*) 利用,而新西兰株系的长柄曲壳藻由于个体太大则无法被同样鲍幼体利用,从而获得明显不同的生长率和存活率^[6]。

3.1.2 硅藻粘附强度

一些硅藻如盾形卵形藻 (*C. scutellum*)、假边卵形藻 (*C. pseudomarginata*) 和短柄曲壳藻 (*A. brevipis*) 等紧密地粘附于基质上,鲍幼体需要用足够大的力量才能将其移动并摄食。这类硅藻在被舔食下来时往往破壳,反而一些附着并不牢固的硅藻如双眉藻、舟形藻等,虽然易被摄食,但在通过幼体肠道后仍保持完好,因而利用率较低。

3.1.3 硅质壳结构强度

并非所有附着性弱的硅藻利用率都低,其中有些硅藻由于细胞壁硅质化程度较低而易被幼体破壳。例如新月筒柱藻和某些菱形藻 (*Nitzschia*) 就属于此类。

3.1.4 其他

硅藻能否被有效利用同时还取决于幼体的口宽、齿舌的运动能力以及肠胃消化能力等^[7]。硅藻利用率随着幼体的生长而变化,在育苗中应注意硅藻的种类变化并保证饵料的适口性。

硅藻的生长特性和生化组成也能影响其饵料价值。生长速度快、对培养条件并不苛刻的小型底栖硅藻往往是鲍幼体良好的饵料。当硅藻细胞内物质开始被幼体利用时,其生化组成便成为影响幼体生长的重要因素。不同硅藻其营养组成是不同的^[8]。目前有关底栖硅藻的生化组成及其在鲍幼体生长中的作用报道较少。

3.2 硅藻与鲍幼体生长的关系

一般认为,硅藻对鲍早期匍匐幼体(壳长 $<600\sim 800\ \mu\text{m}$)生长的影响并不明显,因为此时幼体还未能利用硅藻胞内物质,而主要依赖自身卵黄发育,此外还可能利用一些藻类胞外分泌物、细菌和有机碎屑等。Kawamura 和 Takami^[9]发现,附着后前 10d,皱纹盘鲍在多枝舟形藻等 4 种不同类型硅藻上的生长效果一致,说明这期间硅藻胞内物质不起作用,而变态后 10d,幼体在盾形卵形藻小型变种上生长减慢,作者认为这与此种硅藻分泌的胞外产物较少有关。黑足鲍早期匍匐幼体在硅藻上也会表现出不同的生长率^[6]。幼体早期生长和存活的差异可能与藻类分泌的胞外产物及其所附带的菌类等有关。

对于壳长达到一定长度(如 800 μm)的鲍幼体而言,不同的硅藻饵料能产生不同的存活率和生长率(表 1)。适口的饵料硅藻总能被有效摄取并在离开鲍肠道前破壳和消化。幼体生长的差异性主要是由对硅藻的利用率不同而引起。利用率高的硅藻往往能获得较高的幼体生长率。但幼体必须利用足量的硅藻才能保证较快生长,例如假边卵形藻利用率虽高,但早期黑足鲍(壳长 $\leq 870\ \mu\text{m}$)只能少量利用此藻,因而生长明显低于其他利用率高的硅藻^[6]。

进入稚鲍期后,鲍已能大量利用底栖硅藻,但仍存在选择摄食性。如皱纹盘鲍和中间鲍 (*H. midae*) 稚鲍在摄食硅藻时总是选择直立状硅藻(如长柄曲壳藻)和附着性较弱的硅藻而留下平卧状和粘附牢固的种类^[7]。

表 1 鲍幼体在不同种硅藻上的生长率

鲍种类	硅藻种类	鲍年龄(d) 或壳长(μm)	生长率 (μm/d)	硅藻利用率 (%)	温度 (℃)	参考文献
<i>Haliotis fulgens</i>	<i>Navicula incerta</i>	11~39 d	37.1	—	17	[3]
<i>H. laevigata</i>	<i>Navicula ramosissima</i>	0~3 d	37.8	—	15	[4]
	<i>Cylindrotheca closterium</i>		7.5	—		
	<i>Amphora sp.</i>		0	—		
	<i>Cocconeis scutellum</i>		5.2	—		
<i>H. discus hannai</i>	<i>Achnanthes brevipes var. intermedia</i>	900~2 500 μm	57.2	64.3	20	[5]
	<i>Achnanthes longipes</i>		47.8	71.5		
	<i>Amphora angusta var. ventricosa</i>		29	8.2		
	<i>Cocconeis scutellum var. parva</i>		46.4	84.3		
	<i>Cylindrotheca closterium</i>		50.1	100		
	<i>Navicula ramosissima</i>		21.1	16.5		
	<i>Nitzschia sp.</i>		13.6	8.5		
	<i>Pleurosigma sp.</i>		24.2	3.8		
	<i>Synedra investiens</i>		20.5	5.6		
<i>H. iris</i>	<i>Achnanthes longipes-1</i>	549~1 280 μm	33.7	93.5	17	[6]
	<i>Achnanthes longipes-2</i>		11.3	—		
	<i>Cocconeis pseudomarginata</i>		11.8	94.6		
	<i>Navicula britannica</i>		16.4	4.3		
	<i>Navicula ramosissima</i>		17	1.8		
	<i>Navicula sp.</i>		15.1	18.6		
	<i>Nitzschia ovalis</i>		15.4	32.3		
	<i>Nitzschia sp.</i>		35.3	92.7		
<i>H. gigantea</i>	<i>Actinocyclus tenuissimus</i>	321~836 μm	12.8	—	19	[7]
	<i>Cocconeis sp.</i>		32.6	—		
	<i>Melosira moniliiformis</i>		12.8	—		
	<i>Navicula ramosissima</i>		28	—		

注：“—”表示参考文献中未显示相关内容。

4 硅藻胞外产物(硅藻胞外分泌物)的作用

诱导物的存在保证幼体附着到安全并能提供充足营养的基质上。藻类胞外产物以胞外多糖为主要成分^[10],它们可能也起着积极的诱导作用。已有研究表明,成鲍分泌的足粘液、细菌、红藻等藻类的抽提物或分泌物以及某些化学物质(如 GABA、溴化甲烷)等可以诱导鲍幼虫的附着和变态,而对硅藻胞外

产物在鲍幼虫附着和变态中的作用至今尚未有专门报道。不同生理状态、细胞密度或膜龄的硅藻对鲍幼虫附着和变态的不同诱导效果可能与硅藻分泌的胞外产物有关。

硅藻胞外产物还可能是鲍幼体早期生长的重要食物。鲍幼虫在浮游和变态期间就利用水体中的溶解有机物(DOM)作为除自身携带的卵黄之外的最初能量来源^[11]。黄足鲍(*H. australis*)浮游幼虫在纯净海水中比在具有硅藻膜的水体中更容易过早死亡,

这从一定程度上说明硅藻膜可以分泌某些幼虫需要的营养物质^[12]。黑唇鲍(*H. ruber*)附着后能摄取一种红藻分泌于表层的多糖并作为其最初食物^[13]。皱纹盘鲍和黑足鲍早期匍匐幼体在多枝舟形藻上所表现出的较高生长率和存活率被认为与幼体利用了该藻较为丰富的胞外分泌物有关^[5,14]。壳长小于 800 μm 的皱纹盘鲍幼体在盾形卵形藻上生长逐渐变差甚至死亡也被认为是由该藻分泌的胞外产物较少引起^[15]。鲍幼体在硅藻膜上附着后早期生长所表现出的不同效果可能与硅藻膜分泌的胞外产物的数量和质量密切相关。但目前还没有直接的实验证据表明鲍幼体早期确实利用了硅藻胞外产物,至于具体利用程度如何,胞外产物的作用有多大等也不清楚。它涉及到鲍早期在未能完全利用硅藻胞内物质之前的最初食物来源问题,关系到鲍幼体早期健康生长和存活,因此这方面值得深入研究。

在硅藻与鲍幼体生长发育关系方面,有许多问题是需要进一步研究的,例如鲍幼体何时能在胃肠道内消化利用硅藻,适口饵料硅藻的营养价值评价及筛选、培养,如何合理控制育苗板(膜)上硅藻的种类、数量和组成,不同种鲍对硅藻的选择摄食特点等。这些问题的深入研究或合理解决将有助于了解鲍幼体的生长摄食特性,并培植适口饵料,以提高鲍育苗成活率和稳定性。

参考文献:

- [1] Searcy-Bernal R. Boundary layers and abalone postlarval culture; Preliminary studies[J]. *Aquac*, 1996, 140: 129-137.
- [2] Robert R D, Lapworth C, Barker R J. Effect of starvation on the growth and survival of post-larval abalone (*Haliotis iris*)[J]. *Aquac*, 2001, 200: 323-338.
- [3] Searcy-Bernal R, Anguiano-Beltrán C, Esparza-Hernández A. The effect of irradiance of the survival and growth of abalone postlarvae *Haliotis fulgens* fed *Navicula incerta*[J]. *Aquac*, 2003, 228: 237-248.
- [4] Daume S, Brand-Gardner S, Woelkerling W J. Preferential settlement of abalone larvae; diatom films vs. non-geniculate coralline red algae[J]. *Aquac*, 1999, 174: 243-254.
- [5] Kawamura T, Saido T, Takami H, et al. Dietary value of benthic diatoms for the growth of post-larval abalone *Haliotis discus hannai*[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1995, 194: 189-199.
- [6] Kawamura T, Robert R D, Nicholson C M. Factors affecting the food value of diatoms strains for post-larval abalone *Haliotis iris*[J]. *Aquac*, 1998, 160: 81-88.
- [7] Kawamura T, Robert R D, Takami H. A review of the feeding and growth of postlarval abalone[J]. *J Shellfish Res*, 1998, 17: 615-625.
- [8] Dunstan G A, Volkman J K, Barrett S M, et al. Essential polyunsaturated fatty acids from 14 species of diatom (Bacillariophyceae)[J]. *Phytochemistry*, 1994, 35: 155-161.
- [9] Kawamura T, Takami H. Analysis of feeding and growth rate of newly metamorphosed abalone *Haliotis discus hannai* fed on four species of benthic diatoms[J]. *Fish Sci*, 1995, 61: 357-358.
- [10] Hoagland K D, Rosowski J R, Gretz M R, et al. Diatom extracellular polymeric substances; function, fine structure, chemistry, and physiology[J]. *J Phycol*, 1993, 29: 537-566.
- [11] Shilling F M, Hoegh-Guldberg O, Manahan D T. Sources of energy for increased metabolic demand during metamorphosis of the abalone *Haliotis rufescens* (Mollusca)[J]. *Biol Bull*, 1996, 191: 402-412.
- [12] Moss G A. Factors affecting settlement and early post-settlement survival of the New Zealand abalone *Haliotis australis*[J]. *N Z J Mar Freshwater Res*, 1999, 33: 271-278.
- [13] Daume S, Brand S, Woelkerling W J. Effects of post-larval abalone (*Haliotis rubra*) grazing on the epiphytic diatom assemblage of coralline red algae[J]. *Moll Res*, 1997, 18: 119-130.
- [14] Gallardo W G, Buen S M A. Evaluation of mucus, *Navicula*, and mixed diatoms as larval settlement inducers for the tropical abalone *Haliotis asinina*[J]. *Aquac*, 2003, 221: 357-364.
- [15] Takami H, Kawamura T, Yamashita Y. Survival and growth rates of post-larval abalone *Haliotis discus hannai* fed on conspecific trail mucus and/or benthic diatom *Cocconeis scutellum* var. *parva*[J]. *Aquac*, 1997, 152: 129-138.

(本文编辑 谭雪静)