

饵料对幼海马生长的影响^{*}

魏祥东, 叶长明, 陈东红

(中山大学生命科学学院, 广东 广州, 510275)

摘 要: 在人工养殖条件下, 幼海马对投喂的饵料具有选择性, 不同的饵料对幼海马生长和成活影响很大。幼海马在不同生长阶段摄食不同的饵料, 随着幼海马体长增加, 捕食对象也逐渐增大。根据幼海马胃内含物的检出率和占胃率发现, 刚出生的幼海马适宜饵料为轮虫和单细胞藻类, 随后最适饵料逐渐变为枝角类、桡足类。当幼海马能摄食枝角类和桡足类后, 生长速度加快, 这两类饵料生物在幼海马胃内总占胃率与生长速度的关系式为: $y = 8.9343 \ln x - 18.6628$ ($r = 0.9021$, $r_{0.05} = 0.8780$, $r > r_{0.05}$)。

关键词: 海马; 饵料; 检出率; 占胃率

中图分类号: S965.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) 03-0060-04

海马是中国传统的名贵中药材, 具有多种药效, 被称为“南方人参”^[1]。此外, 海马还有较高的观赏价值和收藏价值, 深受人们的喜爱。长期以来, 市场上的海马都是依靠捕捞天然海马, 但由于海马的独特生物学特性、生活习性和滥捕等原因, 造成天然海马资源极度贫乏, 使海马成为高价、紧缺的商品^[2]。为了缓解这一矛盾, 许多国家先后开展了海马人工养殖的研究。由于对海马的生物学特性缺乏深入的了解, 尤其是幼海马饵料问题没有解决, 致使幼海马成活率很低, 从而制约海马人工养殖业发展^[3]。作者对幼海马的饵料种类及其对幼海马生长的影响进行了研究, 找到了不同体长幼海马的适宜饵料, 为提高幼海马的成活率和开展海马工厂化养殖提供了切实可行的依据。

1 材料与方法

1.1 试验海马

共 675 尾, 全部来自广东亿达洲海马养殖基地的春苗, 随机选取刚孵化的正常幼海马, 平均体长在 (12.1 ± 0.75) mm, 平均体重为 (85.2 ± 0.24) mg。

1.2 养殖环境

用 15 个 $60 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的玻璃箱体, 设进、排水口, 箱底设散气石, 充气大小可人工调节, 养殖用水为经过沉淀、过滤的, 并调节温度和盐度的天然海水, 除投饵停水外, 采用流水养殖, 每天补水量为 0.5~1 倍。

1.3 供试种苗处理

1.3.1 放养密度 每个箱体放养海马 25 尾, 设 9 个组, 每组 3 个箱体。

1.3.2 饵料 试验期间投喂不同的浮游生物 (自己培养), 投喂量为体质量的 5%~15%。每天分 2 次投喂, 投喂时间为上午 6:00 和下午 16:00。每次投喂 6 h、待澄清后, 用虹吸法除去残饵经 300 目筛绢网过滤并称残饵重, 记录。藻类以小球藻和扁藻为主, 在养殖过程中使其保持为 500 个/L。

1.3.3 环境理化因子 每天定时记录水温、盐度 (日产盐度折射仪)、pH 值 (日产手提式 pH 测定仪)、溶解氧 (上海产溶氧测定仪), 计算月平均值。

1.4 测量方法和计算

放养前测量每尾海马的体长 (全长)、称体质量。每隔 10 d 取样 1 次, 每次取样 15 尾, 测量体长, 称体质量, 并分析幼海马胃中的内含物, 其中大镖蚤、枝角类、臂尾轮虫在胃内容易辨认, 可以直接计数, 藻类按模糊法计数。

$$\text{检出率 (PF)} = \frac{\text{含某成分的标本数}}{\text{实检标本总数}} \times 100\%$$

$$\text{摄食强度} = \frac{\text{某成分总数}}{\text{样本总数}}$$

$$\text{占胃率 (VR)} = \frac{\text{摄食强度}}{6} \times 100\%$$

$$\text{平均体长} = \sum \frac{L}{N}$$

* 收稿日期: 2002-06-21

基金项目: 广东省重点科技计划基金资助项目 (99M03201G)

作者简介: 魏祥东 (1973 年生) 男, 博士生; 通讯联系人: 叶长明; E-mail: lsbrcl0@zsu.edu.cn

$$10\text{ d 增长速度} = \sum \frac{L_t}{N} - \sum \frac{L_0}{N}$$
式中, L 为体长; L_t 为 10 d 后体长; L_0 为实验开始时体长; N 为每次取样总数。

$$\text{平均体质量} = \sum \frac{m}{N}$$
$$10\text{ d 增长速度} = \sum \frac{m_t}{N} - \sum \frac{m_0}{N}$$
式中, m 为体质量; m_t 为 10 d 后体质量; m_0 为实验开始时体长; N 为每次取样总数。

2 结 果

2.1 不同体长幼海马对浮游生物的摄食强度

不同体长的幼海马对浮游生物的摄食强度有很大差别 (见表 1)。从表 1 中可以看出, 刚孵化的幼海马主要摄食臂尾轮虫 (轮虫类), 同时也摄食小球藻、硅藻和扁藻, 但幼海马对不同单细胞藻类的摄食率也不同, 其中小球藻的摄食率最高, 达 90. %; 硅藻、扁藻分别为 88. 5%和 80. 4%。随着幼海马体长的增加, 开始摄食较大的的枝角类和桡足类, 同时摄食中的小型浮游动物及单细胞藻类都逐渐减少。试验证明, 轮虫、枝角类、桡足类是幼海马不同生长阶段的最适饵料生物, 变化规律为: 轮虫→枝角类→桡足类。在养殖过程中添加一些单细胞藻类有助于幼海马的生长。

表 1 不同体长的 幼海马 对浮游生物的摄食强度¹⁾
Tab 1 The feeding intension of different length young sea horses on plankton

试验日期	浮游生物种类 (个/尾)					
	轮虫	枝角类	镖蚤	小球藻	扁藻	硅藻
0505	35	5	—	+++++	++	++++
0515	30	15	8	+++	++	+++
0525	25	30	20	++	+	++
0604	15	40	30	+	+	+

1) + 表示检出的藻类数量, + 越多, 检出的藻类数量越多

2.2 不同体长的幼海马胃内浮游生物检出频率、种类及分布规律

分析幼海马胃中浮游生物的检出频率和占胃率, 也可得出不同体长的幼海马对饵料生物具有选择性。从表 2 中可以看出, 刚孵化的幼海马胃中的轮虫占 94. 8%, 占胃率为 88. 3%, 是刚孵化的海马最主要的食物成份。此外, 单细胞藻类的的检出率也较高, 但占胃率却较低。随着幼海马体长增加, 枝角类和镖蚤的检出率和占胃率呈增长趋势, 轮虫则呈下降趋势。随着幼海马的生长, 较大型的浮游动物的检出率和占胃率都增加, 而小型浮游生

长的检出率和占胃率都下降, 且各种大型浮游动物的占胃率有此消彼长的规律。从幼海马胃内主要浮游生物的平均检出率的变化规律可以看出, 幼海马不同生长阶段的适宜饵料种类不同, 不同体长的幼海马对饵料具有选择性。

表 2 幼海马胃内浮游生物检出频率 (PF) 和占胃率 (VR) 与生长速度的关系
Tab 2 The relation between growth rate and the detection frequency and victual rate of plankton in young sea horse stomachs

试验日期		0505	0515	0525	0604
样本数/尾		15	15	15	15
L/mm		12. 1 ±	20. 2 ±	38. 5 ±	58. 2 ±
		0. 75	0. 91	0. 65	1. 03
10 d 增长速度 (mm·d ⁻¹)		—	8. 1	18. 3	19. 7
$\bar{m}$ /mg		85. 2 ±	178. 5 ±	793. 2 ±	1674. 3 ±
		0. 24	0. 14	0. 34	0. 87
10 d 增质量速度 (mg·d ⁻¹)		—	103. 3	615. 3	889. 9
轮虫	PF/%	94. 8	87. 5	74. 16	40. 4
	VR/%	88. 3	63. 2	43. 4	10. 16
枝角类	PF/%	3. 5	65. 8	88. 6	97. 4
	VR/%	1. 5	15. 5	18. 5	56. 3
镖蚤	PF/%	2. 5	38. 8	75. 6	98. 8
	VR/%	0. 2	8. 6	25. 5	30. 2
小球藻	PF/%	90. 8	88. 5	65. 16	30. 5
	VR/%	7. 5	5. 6	4. 9	1. 5
扁藻	PF/%	80. 4	60. 3	45. 4	15. 6
	VR/%	0. 5	2. 6	1. 6	0. 9
硅藻	PF/%	88. 5	65. 3	58. 5	28. 9
	VR/%	2. 0	4. 5	6. 1	1. 0

2.3 不同饵料对幼海马生长及成活率的影响

从表 3 可以看出, 投喂不同饵料对幼海马生长和成活影响较大。刚孵化的幼海马, 时投喂臂尾轮虫加单细胞藻类 (如扁藻, 含量 $1. 5 \times 10^4$ 个/mL) 组的生长速度及成活率较高, 而投喂大型桡足类组的成活率最低。但随着幼海马体长的增加, 幼海马就能捕信大型浮游生物, 因而在养殖后期投喂大型桡足类浮游生物组的幼海马生长速度加速, 成活率也提高, 这也说明不同体长的海马对饵料具有选择性。从幼海马胃内浮游生物检出率与其体长增长速率、体质量增体质量速度的关系可以看出, 随着海马胃中大型浮游生物占胃率的升高, 生长速度逐渐加快, 体长、体质量增加也加快 (见表 3)。通过分析发现, 两种主要的大型浮游动物在幼海马胃内总占胃率与生长速度之间的关系可以用下式表示:

$$y = 8.934\ 3 \ln x - 18.662\ 8,$$
$$r = 0.902\ 1, r_{0.05} = 0.878\ 0, r > r_{0.05}$$

表 3 不同饵料对幼海马生长影响¹⁾

Tab 3 Effects of different foods on growth of young sea horses

饵料种类	实验开始		10 d 后			20 d 后			30 d 后		
	L/mm	$\bar{m}$ /mg	L/mm	$\bar{m}$ /mg	存活率/%	L/mm	$\bar{m}$ /mg	存活率/%	L/mm	$\bar{m}$ /mg	存活率/%
臂尾轮虫+扁藻组	8.5	75.3	24.2	193.5	86.0	40.8	809.2	87.3	59.9	1 697.6	87.3
臂尾轮虫+小球藻	8.3	75.1	24.5	191.7	86.5	40.4	808.8	88.1	60.1	1 698.1	88.2
臂尾轮虫组	8.3	74.6	22.4	185.4	84.0	39.3	805.7	85.2	59.0	1 695.6	86.4
大型桡足类+扁藻	8.5	74.9	18.0	170.3	69.3	36.8	781.4	78.5	57.4	1 679.8	82.0
大型桡足类+小球藻	8.3	75.2	17.8	173.7	69.2	36.5	781.8	78.6	56.9	1 679.5	81.3
大型桡足类组	8.5	75.0	17.0	161.9	68.0	35.9	770.2	75.2	55.6	1 670.3	80.9
桡足类无节幼体+扁藻	8.5	74.5	20.3	178.5	75.6	39.4	795.0	84.6	59.1	1 694.9	86.5
桡足类无节幼体+小球藻	8.4	73.9	20.6	178.1	74.9	39.1	794.7	84.9	58.8	1 695.2	85.9
桡足类无节幼体组	8.3	74.4	19.8	173.4	74.0	38.2	790.7	81.7	57.5	1 680.6	83.3

1) 每组 100 尾稚海马, 5 L

3 讨 论

大海马是热带、亚热带海域生长的小型鱼类。在天然海域中, 由于适宜饵料生物较少、捕食困难和水流等因素的影响, 使海马生长很慢, 需 3~4 a 才能达到上市标准。但在人工养殖时, 由于能人工控制水流和各种理化因子, 因而只要能提供充足的、适宜的饵料, 就能使海马的生长速度加快, 从而大大缩短海马生长时间 (在人工养殖条件下, 一般 6 个月就可达到上市标准)^[4]。因此, 在海马培育过程中, 提供一套饵料培育系统是至关重要的。海马的受精卵在雄海马育儿囊内发育, 主要靠卵黄提供营养。当幼苗出生后, 开口后就能主动摄食, 并有选择饵料的能力。正常稚海马只要有适宜饵料和适合的水环境, 生长速度就很快。实验结果表明, 海马如果没有适宜的饵料, 生长缓慢, 有的甚至不吃其它饵料而饿死。因而为幼海马提供适宜的饵料是提高幼海马成活率和生长速度有重大影响, 也是海马养殖成败的关键^[4,9]。实验中还发现, 在刚孵化的幼海马的饵料中加入少量适宜的单细胞藻类 (如小球藻、扁藻等), 可以提高幼海马的成活率, 加速幼海马的生长。这可能是因为加入单细胞藻类后, 有利于海马吞食; 可以为浮游动物提供饵料, 从而为幼海马提供充足的饵料; 还可以增加海马养殖池生物多样性, 调节水质, 优化养殖生态环境, 故幼海马成活率会提高, 生长速度加快。

在幼海马生长过程中, 饵料种类必须随着个体生长而改变, 这主要是受海马的口管大小的影响。刚孵化的幼海马的口管径为 0.45~0.68 mm, 平均为 0.56 mm, 故只能捕食小型浮游生物 (如轮虫、单细胞藻类)。随着海马体长增长, 口管直径增大, 捕食对象也逐渐增大 (如: 轮虫→枝角类→桡足类)^[4-9]。

在幼海马生长后期, 虽然投喂小型浮游动物, 海马也能捕食, 但与投喂大型浮游生物的海马, 它们生长速度慢很多, 这是由于海马在捕食过程中, 要消耗大量的能量。当投喂小型浮游生物时, 由于小型浮游生物的比能值较低; 个体小、游动快, 不易被捕食, 为了得到充足的营养, 海马必须加大捕食量、延长捕食时间。因此, 在捕食小型浮游生物的过程中, 消耗的能量较多, 消化的时间较短, 因而生长速度较慢; 而大型浮游动物比能值较高, 游动较慢, 因而容易捕食, 捕食过程中消耗的能量也少, 所以生长速度较快。这与 Vincent 等的研究结果一致, 也是天然水体中海马生长缓慢的重要原因之一^[4-7]。

致谢: 感谢吕军仪教授对本研究的支持和帮助。

参考文献:

[1] 马泽芳. 海马的用途及国际贸易现状[J]. 农牧产品开发, 1999(12): 7—8.

[2] 高山. 东南亚海域海马日减受关注[J]. 东南亚南亚信息, 1996(19): 18—19.

[3] PAYNE M F, RIPPINGALE R J. Rearing west Australia seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched Artemia[J]. Aquaculture, 2000, 188: 353—361.

[4] 吕军仪, 吴金英, 杨大伟, 等. 大海马在人工养殖条件下的生长速率[J]. 中国水产科学, 2001, 8(1): 59—63 .

[5] WILSON W J, VINCENT A C J. Preliminary success in closing the life cycle of exploited seahorse species *Hippocampus* spp. , in capeivity[J]. Aquarium Sciences and Conservation, 1998, (2): 179—196.

[6] VINCENT A C J. The international trade in seahorse[J]. Traffic International, 1996: 163.

[7] VINCENT A C J. Seahorse culturing[J]. Austasia Aquacul, 1998, 11(5): 72—73.

Effects of Foods on Growth of Young Sea Horses (*Hippocampus*)

WEI Xiang-dong, YE Chang-ming, CHEN Dong-hong

(School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Abstract: Under intensive conditions, young sea horses are inclined to some foods, and different foods have great effects on their growth and survival. Young sea horses at different growth phases swallow different foods. Along with their growth, volumes of food organisms of sea horses become bigger and bigger. According to the detection frequency and victual rate in stomachs young sea horse, the most favorite foods of natal sea horses are rotifer and single cellular algae, then are cladocera, copoda. When young sea horses are feed with the later, they grow much faster. The relation between growth rate and the victual rate of the two kinds of foods can be expressed as:

$$y = 8.9343 \ln x - 18.6628 \quad r = 0.9021, \quad r_{0.05} = 0.8780, \quad r > r_{0.05}$$

Key words: sea horse (*Hippocampus*); food; picking frequency; victual rate

(上接第 50 页)

Cloning and Characterization of Insecticidal Toxin Genes from *Xenorhabdus nematophilus* BP

CUI Long¹, QIU Li-hong¹, FANG Yuan-yuan¹, PANG Yi¹, LI Guo-xun²

(1.State Key Laboratory for Biocontrol //School of Life Sciences,

Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2.College of Plant Protection, Agriculture University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: A cosmid library of *Xenorhabdus nematophilus* BP, the symbiotic bacteria of entomopathogenic nematode (EN) *Steinernema carpocapsae*, was constructed and two clones of the resulting library, cos76 and cos83 were found possess strong and moderate oral toxicity against neonate of cotton ball worm *Helicoverpa amigera*, respectively. To identify the toxin genes presented in these two clones, seven pairs of primers were designed based on the published sequences and used for PCR amplification with both clones. All seven pairs of primers yielded products from cos83 while only five did from cos76. All PCR products were sequenced. The results showed that each sequence of the five PCR products obtained from cos76 was identical with that from cos83, indicating that the toxin genes in cos76 were part of those in cos83. The BLAST results showed that the amino acid sequences deduced from seven PCR products from cos83 had mean homology of 95% and 65% with those from insecticidal toxin genes of *X. nematophilus* PMF1296 and *P. luminescens* W14, respectively. The results indicate that toxin produced by cos83 is a member of the oral toxin family of EN symbiotic bacteria but it differ substantially from other members of the family therefore worthy of further investigation.

Key words: *Xenorhabdus nematophilus* BP; cosmid genomic library; screening; insecticidal positive clones