

青堆子虾池中日本刺沙蚕的生物量和数量变动

周一兵^{**}

(养殖系)

摘 要 日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* 在庄河市青堆子河的繁殖时间始于3月下旬, 终于5月底; 4月下旬是其幼虫发生的高峰。从1991年5~8月调查了虾池中沙蚕种群数量变化规律和生物量消长动态。结果表明, 沙蚕附着密度是3 983~22 055尾 m^{-2} ; 附着期间幼体死亡率是84%~92%。在对虾养殖期间, 沙蚕平均密度(尾 m^{-2})是2 489(1 130~3 848); 平均生物量是101.31(57.43~145.18) $g \cdot m^{-2}$; 对虾摄取沙蚕的捕食率是79.43(75.34~89.52)%。回归分析法的评价结果表明影响沙蚕附着期死亡率的主要因素是其本身密度; 以及密度与面积, 盐度与温度的交互作用。

关键词 生物量; 多毛纲; 日本刺沙蚕

中图分类号 Q959.192

日本刺沙蚕 *Neanthes japonica* 分布于我国的黄海、渤海沿岸, 是我国和日本的特有种^[1]。它以沉积物中的有机碎屑为食, 是虾池生物群落中的重要组成之一。由于它是对虾喜食的饵料, 在虾池生态系统中的物质传递和能量流动中起着重要作用, 通过对养虾池日本刺沙蚕在养殖期间的定量调查, 着重探讨了种群生物量和数量变化规律, 为进一步发挥虾池生产潜力和提高资源利用效益提供理论依据。

1 研究方法

1.1 材料和地点

青堆子湾虾场虾池总面积179.98 hm^2 , 选择其中3号池, 8号池, 19号池和28号池作为实验池。各试验池的环境条件见表1。每个池中布设采样点6个(滩面2个, 环沟4个)。定量调查每10~17 d进行一次。采集时使用直径10 cm的筒状采泥器, 采挖深度10

既可在高温季节净化底质, 改善环境, 又可在对虾增重的关键时期提供鲜活饵料, 充分发挥资源的利用价值。

开致谢。

^{**} 周一兵: 1957年生, 男, 讲师, 大连, 116024

~15 cm, 选用 60 目筛绢网直接筛选。筛选出的虫体依照《海洋环境调查规范》中潮间带生物调查篇, 固定、测量体长, 称重和计数。

表 1 虾池的环境特征

项目	3 号	8 号	19 号	28 号
面积 (hm ²)	3.2	5.33	7.13	4.93
底质	泥	泥	泥	砂
盐度 (‰)	11.00~15.39	16.91~22.61	19.16~26.10	20.03~26.60
总无机氮 N (mg/L)	0.153~1.526	0.065~1.309	0.155~9.24	0.169~0.855
磷酸盐磷 PO ₄ -P (mg/L)	0.002~0.017	0.001~0.232	0.002~0.712	0.011~0.568
pH	8.31~9.60	8.24~8.92	8.14~9.10	8.19~9.00
透明度 (cm)	27~40	25~40	25~60	30~65

注: ① 虾池平均水深, 6 月 15 日以前 1.2 m, 6 月 15 日以后 1.5 m

② 虾池水温, 6 月: 27~29 °C; 7 月: 28~30 °C; 8 月: 29.5~31.5 °C

③ 表中数据引自阎喜武^[2]

1.2 调查项目和方法

1.2.1 沙蚕的繁殖时间

为了确定沙蚕开始繁殖的月份和孵化高峰时间, 从 3~5 月, 每日在青堆子湾进行定量采集, 分析沙蚕卵子和幼虫数量 (尾 L⁻¹), 方法依据《海洋环境调查规范》浮游动物调查篇。

1.2.2 沙蚕的存活数量和死亡率

根据逐次调查沙蚕存活数量资料, 计算了种群在虾池中的总死亡系数 (Z), 总死亡率 ($\bar{Z}$, %), 自然死亡系数 (M), 自然死亡率 ($\bar{M}$, %) 和捕食死亡率 (F, %)。上述各指数的求法为:

$$Z = \frac{\ln N_0 - \ln N_t}{t}$$

$$\bar{Z} = 1 - \frac{N_{t+1}}{N_t}$$

$$M = \frac{\ln 1 - \ln 1000}{T_A}$$

式中, T_A ——动物的极限年龄, $T_A = [\lg \frac{1 - e^{-k(t_m+1-t_0)}}{1 - e^{-k(t_m-t_0)}}]^{-1}$, k, t_0 为 Von Bertalanffy 生长方程中的参数, 由种群在生长期内的体长资料求出, t_m 是动物性成熟的年龄。经计算 T_A (年) 分别是: 3.51 (3 号池), 3.81 (8 号池), 4.22 (19 号池) 和 4.58 (28 号池)。

$$\bar{M} = \frac{M}{\bar{Z}}$$

$$F = Z - \bar{M}$$

1.2.3 幼体附着期间的环境分析

根据虾池的面积 (A , hm^2), 盐度 (s , gkg^{-1}), 水温 (T , $^{\circ}\text{C}$), pH 值, 浮游植物生物量 (B_p , mg L^{-1}), 沙蚕密度 (N , 尾 m^{-2}), 采用单相关分析和逐步回归法分析了上述水化学因素和生物学因素对沙蚕幼体死亡的影响。

2 结果

2.1 沙蚕的繁殖期和孵化高峰

图1反映了青堆子湾沙蚕幼虫在1991年3~5月的消长实态 (每5 d 发生数量占总发生量的比重)。沙蚕幼虫出现的时间始于3月下旬, 终于5月底。在3月22~29日的样品中, 没有发现卵子和幼虫, 少量的卵子 (0.18 L^{-1}) 开始出现在3月31日采集的样品中, 以后逐日增多。并在4月12日的样品中第一次出现不同发育阶段的担轮幼虫和3刚节疣足幼虫, 其消长实态在4月20~30日间形成一个高峰, 连段时间幼虫发生数量占整个繁殖期幼虫发生总量的47.92%, 并在4月25日达到峰值, 此时, 幼虫数量达到 19.4 尾 L^{-1} 。显然, 沙蚕幼虫发生盛期是在4月下旬。以后, 种群幼虫发生数量渐少, 5月底之后, 幼虫和卵子均在样品中消失。这表明, 如采每年的环境条件变化不大, 青堆子湾的沙蚕将在3月下旬至5月底间繁殖; 幼虫出现的盛期在4月底, 此间水温是 $(12.77 \pm 1.42)^{\circ}\text{C}$, 盐度是 $(26.91 \pm 2.12) \text{ ‰}$, $\text{pH} = 8.10$ 。从3月下旬~5月底, 水温的变化范围是 $6.00 \sim 20.19^{\circ}\text{C}$, 盐度是 $(21.32 \pm 6.21) \text{ ‰}$ 。

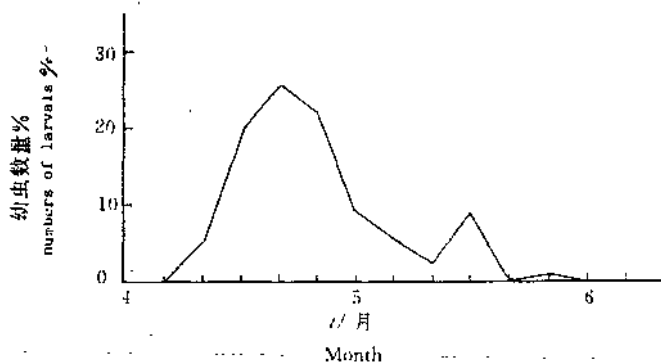


图1 日本刺沙蚕幼虫数量的消长

2.2 沙蚕的附着密度和数量变化

沙蚕密度和生物量调查结果汇总于表2。

表 2 日本刺沙蚕的存活数量和死亡

日期 (1991 年)	时序	N	B	Z	M	F	
3 号池							
5 月 13 日	1	22 055	4.28				
5 月 24 日	2	6 480	29.59	70.62			
5 月 28 日	3	3 966	71.80	82.02			
6 月 2 日	4	1 833	63.46	91.69			
6 月 13 日	5	1 319	65.19	28.04	3.50	24.54	
7 月 3 日	6	1 146	219.02	37.48	4.68	32.79	
7 月 13 日	7	679	242.14	40.75	5.09	35.66	$K=0.094$
7 月 30 日	8	403	231.85	64.83	8.10	56.73	$M=0.054$
8 月 7 日	9	339	288.96	70.42	8.80	61.62	$Z=0.4322$
8 月 19 日	10	255	238.54	77.75	9.71	68.04	$M/Z=0.1249$
8 号池							
5 月 13 日	1	11 153	4.31				
5 月 24 日	2	7 348	37	34.12			
5 月 28 日	3	4 239	82.61	62.01			
6 月 2 日	4	1 014	30.08	90.91			
6 月 13 日	5	1 008	52.24	0.59	0.06	0.53	
7 月 3 日	6	531	119.47	47.63	5.04	42.69	
7 月 13 日	7	488	164.33	8.10	0.86	7.24	$K=0.2081$
7 月 30 日	8	191	97.69	64.03	6.77	57.26	$M=0.0497$
8 月 7 日	9	170	102.44	67.98	7.19	60.79	$Z=0.4696$
8 月 19 日	10	154	135.21	71.00	7.51	63.49	$M/Z=0.1058$
19 号池							
5 月 13 日	1	4 354	3.21				
5 月 24 日	2	2 727	23.86	37.37			
5 月 28 日	3	1 621	52.41	62.77			
6 月 2 日	4	647	42.10	85.14			
6 月 13 日	5	638	65.69	1.39	0.16	1.23	
7 月 3 日	6	509	143.33	16.69	1.89	14.8	
7 月 13 日	7	414	139.83	18.66	2.10	16.56	$K=0.3408$
7 月 30 日	8	198	121.02	61.10	6.92	54.18	$M=0.0449$
8 月 7 日	9	106	82.59	79.17	8.96	70.21	$Z=0.3965$
8 月 19 日	10	85	85.33	83.30	9.43	73.87	$M/Z=0.1132$
28 号池							
5 月 13 日	1	3 983	3.45				
5 月 24 日	2	3 956	35.53	0.68			
5 月 28 日	3	1 498	73.90	62.39			
6 月 2 日	4	655	36.20	83.56			
6 月 13 日	5	625	59.16	4.58	0.34	4.24	
7 月 3 日	6	535	114.96	18.32	1.38	16.94	
7 月 13 日	7	467	154.71	12.71	0.95	11.76	$K=0.4429$
7 月 30 日	8	45	47.98	91.59	6.88	84.71	$M=0.0436$
8 月 7 日	9	21	23.43	96.07	7.21	88.86	$Z=0.5803$
8 月 19 日	10	21	24.99	96.07	7.21	88.86	$M/Z=0.0751$

注：表中所有符号的含义及其单位见本文的“研究方法”节和“结果”节

各池间附着密度(尾 m^{-2})的大小顺序是:3号池(22 055) > 8号池(11 153) > 19号池(4 354) > 28号池(3 983)。图2显示沙蚕在生长期存活数量的变化趋势均呈阶梯形曲线,明显分成了3个阶段。

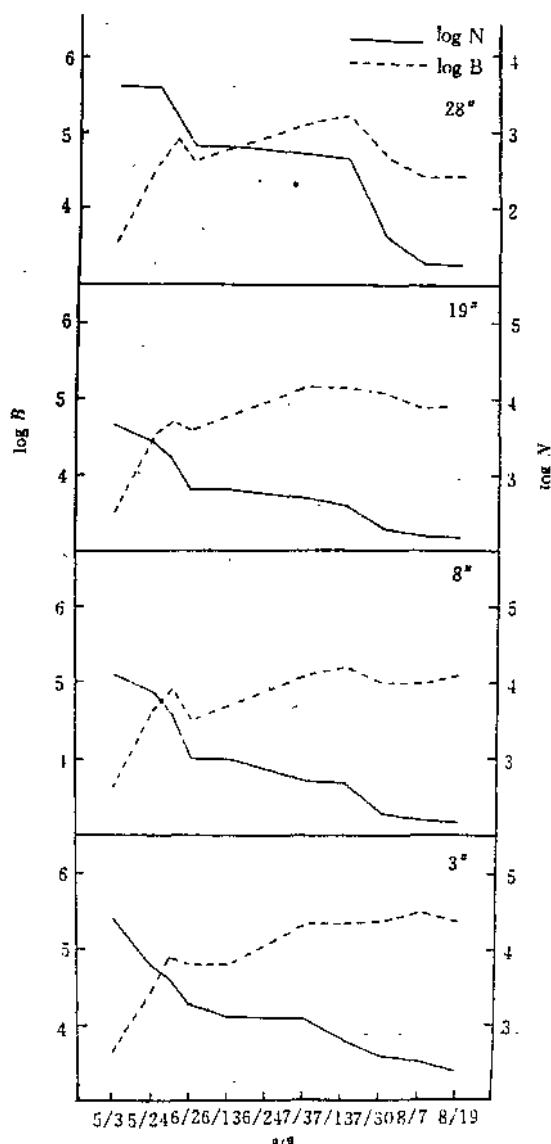


图2 日本刺沙蚕的生物量消长和存活曲线

日本刺沙蚕的生物量消长
存活曲线 ——

5月13日~6月2日,存活曲线陡峭下垂,沙蚕密度(尾 m^{-2})递减非常显著,3号池:22 055~1 833;8号池:11 153~1 014;19号池:4 354~647;28号池:3 983~655。此间,虾苗还没有入池,这表明幼体从浮游生活转变为底栖生活的过程中存在着较高死亡率,死亡率可由下式计算, $Z = (1 - N_t/N_1) \times 100\%$ 。四座虾池中,死亡率最高的是3号池:91.69%;最低的是28号池:83.56%。

6月2日~7月3日,存活曲线由凹陷趋向平缓。4座虾池中的沙蚕数量(尾 m^{-2})都处于稳定状态,3号池:1 833~1 146;8号池:1 014~531;19号池:647~509;28号池:655~535。这段时间对虾体长均小于6 cm,沙蚕由于对虾捕食造成的死亡量尚低,死亡率 $[Z = (1 - N_t/N_1) \times 100\%]$ 平均是30.03(16.69~47.63)%;其中自然死亡率是3.25(0.06~3.50),捕食死亡率是26.78(14.8~42.59)%。

7月3日~8月19日,存活曲线复呈锐减趋势。到8月19日,各池沙蚕数量(尾 m^{-2})分别是——3号池:255;8号池:154;19号池:85;28号池:21。死亡率 $[Z = (1 - N_{10}/N_1) \times 100\%]$ 平均是82.03(71.00~96.07)%。其中自然死亡率是8.46(7.2~9.71)%;捕食死亡率是73.57(63.49~88.86)%。综而观之,我们可由下式估算虾池中沙蚕的利用率: $F = Z - M = (1 - N_{10}/N_1)(1 - M/Z)$ 。在4座虾池中,这一比值分别是——3号池:75.34%;8号池:75.84%;19号池:77.03%;28号池:89.52%。

2.3 沙蚕的生物量及其消长

4座虾池中,沙蚕生物量的差别与数量差别是一致的。从表2中看,生物量(B , gm^{-2})的大小顺序是:3号池(145.18) > 8号池(82.54) > 19号池(77.15) > 28号池(57.43)。考察生物量随时间顺序的变化(图2),表现出两个增长阶段,在6月3日之前,生物量(gm^{-2})增长迅速,3号池:4.28~63.46;8号池:4.31~30.08;19号池:3.21~43.10;28号池:3.45~36.20。这期间生物量增长和密度递减反映了种群发育初期矛盾的两个方面。一方面,生活史特征决定了幼体附着过程中的高死亡率;另一方面,沙蚕早期生长具有较高的体重特定增长率,这是导致前期种群生物量迅速增加的原因。6月3日~7月13日是种群生物量增长的第二阶段,其间池中对虾体长均<6 cm,掠食沙蚕的能力尚弱,同时沙蚕能在池中与对虾争食饵料,因此,种群存活数量稳定,死亡率较低,构成了这时期生物量持续增长的基础。

2.4 幼体附着期间的环境分析

根据虾池中沙蚕群体存活曲线特征,将5月13日~6月3日的种群死亡率 $[Z_1 = (1 - N_t/N_1) \times 100\%]$ 与其间的水化学因素和生物学因素(表3)作相关与回归分析,结果如下:

1) 单回归模型 相关显著($P = 0.05$)的单回归模型是

$$Z_1 = 83.4105 + 4.2479 \times 10^{-4}N \quad (N=4, r=0.8809) \quad (1)$$

$$Z_1 = 105.7288 + 0.8477S \quad (N=4, r=-0.8440) \quad (2)$$

2) 复回归模型

$$Z_1 = 72.3087 + 1.3989 \times 10^{-5}A \cdot N + 1.4365 \times 10^{-2} \cdot S \cdot T$$

$$R = 0.9999, S = 8.6428 \times 10^{-2}, P = 0.05, N = 4 \quad (3)$$

另外,沙蚕密度与盐度的单回归模型是

$$N_1 = 53779.47 - 2054.36S \quad (N=4, r=-0.9863) \quad (4)$$

表3 虾池环境性状和沙蚕幼体死亡率的调查结果

池塘	生物学性状			水化学性状			池塘形态
	Z	N	B_p	S	T	pH	
3号池	91.69	22 055	7.51	15.38	20.6	8.53	3.2
8号池	90.91	11 153	2.75	21.35	19.95	8.67	5.33
19号池	85.14	4 354	2.63	23.13	19.20	8.50	7.13
28号池	83.56	3 983	1.08	24.63	20.00	8.60	4.93

注:表中所用符号的含义及其单位见“研究方法”。

3 讨论

1) 本文研究表明,日本刺沙蚕在青堆子湾的繁殖时间始于3月下旬,终于5月底,4月下旬是种群幼虫发生的高峰。其间幼虫发生数量占整个繁殖期幼虫发生总量的47.92%,最高数量达19.4尾 L^{-1} 。对于大多数多毛类种,温度周期和光照节律是控制性

腺成熟和雄配子同步释放的重要因素。同一种类的不同种群繁殖时间决定于它们的地理分布,如山东即墨丁字湾的日本刺沙蚕在2月下旬开始产卵^[3]。这种情况也存在于沙蚕科的其它种类中——大连湾双齿围沙蚕(*Perinereis aizuhiensis*)繁殖高峰期发生在6月底至7月中旬;舟山双齿围沙蚕在5月初至6月上旬产卵^[4];而厦门潮间带的双齿围沙蚕,3月底到4月初为繁殖高峰期^[5]。(2) 虾池沙蚕幼体在附着期间存在很高的死亡率,这种现象与*Pectinaria Koreni*种群^[6]和*Nephtys hombergii*种群^[7]的状况极其相同;在自然条件下,沙蚕幼体附着率为12%~15%^[8]。在虾池中,日本刺沙蚕幼体附着率平均是12.87(8.3~29)%。单回归模型分析表明,沙蚕幼体附着期间的死亡率与种群密度之间存在明显的正相关($r=0.8809, n=4$),而种群密度与水体盐度之间存在负相关关系($r=-0.9863, n=4$),这表明,在虾池条件下,附着密度每增加1000尾 m^{-2} ,死亡率将相应增加约0.4个百分点;当水体盐度每降低1‰时,沙蚕密度可期望增加约2000尾 m^{-2} 左右。模型预测的真实性如何,还有待于实际情况进一步证实,但从模型中至少可以看出在虾池中,盐度是决定幼体生态分布的一个重要因子。这个结果与香川义信^[1]对日本刺沙蚕盐度适应的研究结果是一致的。回归分析还表明,死亡率与盐度之间也存在负相关性($r=0.8440, n=4$),这意味着,随着盐度降低,死亡率随之上升。从上述回归分析结果中看,死亡率与盐度的关系和密度与盐度的关系没有表现出一致性,差别的原因在于:养虾池采取纳潮和移植等措施,造成沙蚕在池中高密度集居,因此,盐度对死亡率的真正影响很可能被种群本身的密度作用所掩盖。

逐步回归分析结果表明,影响沙蚕幼体附着期间死亡率的主要因素是种群密度(N)与虾池面积(A)的复合作用和盐度(S)与水温(T)的复合作用。复回归模型的相关系数 $R=0.999$ 和 $P<0.05$,说明 Z_1 与 $N \cdot A$ 和 $S \cdot T$ 之间存在非常明显的相关性。用 F 检验的结果表明,与附着期间死亡率关系最密切的因子是密度与面积的复合作用($F=2050.512$),其次为盐度和温度的复合作用($F=93.4026$)。

单相关分析和复相关分析都没有表现出浮游植物生物量的作用影响,但这并不意味着此因素不重要,相反沙蚕幼体在生长中很大程度取决于浮游植物丰度。产生这种现象的原因在于:养虾池经清池后,前期浮游植物丰度普遍较低,各虾池在相同时间内浮游植物生物量性状差异亦不显著,所以不能表现出其对沙蚕附着率的影响作用。

3) Heip等(1979)^[9]曾总结了栖于潮间带、河口、海湾、盐沼和内陆半盐水池塘不同水域中杂色沙蚕(*Nereis diversicolor*)生物量和数量分布(表4)。从表中可见,在不同生境中,沙蚕的数量有很大的变化幅度;少者10尾 m^{-2} ,多者达17000尾 m^{-2} 。生物量亦可相差50倍以上。其中,Belgium半盐水池塘中杂色沙蚕的最高密度是17000尾 m^{-2} ,平均生物量为24g m^{-2} ,都是最高的纪录;其生物量最高值出现在8~9月间,可达38.2g m^{-2} 。我国关于沙蚕生物量和数量的系统调查还不多见。据吴宝铃等报道^[10],在青岛潮间带多齿围沙蚕(*Perinereis nuntia*)幼体附着密度最高达3110尾 m^{-2} ;种群零龄群平均密度是1519尾 m^{-2} ;年均生物量是3.55g m^{-2} ;种群总年均生物量则为22.01g m^{-2} 。

表4. 杂色刺沙蚕在不同生境中的现存量和数量

地点 Place	种群密度 Population density (no. m ⁻²)	现存量 Standing crop (g dwt m ⁻²)	资料来源 Source
Tees estuary	10~200	0.7 (Max)	Gray (1976)
Thames at Chiddwell	55~300		Dales (1951)
Danish estuaries	5 000 (Max)	13.75	Muus (1967)
Severn	6 800 (Max)		Blyden & Little (1979)
Medway	10 000 (Max)		Wharfe (1977)
Zwintsalt marsh	230~2 000	2.2~5.2	Govaere (1969)
Landlocked brackish water Pond in Belgium	5 000~17 000	24	Heip & Hermon (1979)
Ythem estuary		4.2	Chambers & Milne (1975)

与上述资料相比,从1991年5~8月,4座虾池中沙蚕生物量均高于多齿围沙蚕零龄群生物量1.85~4.55倍,并且是其整个种群年均生物量的30.03%~70.83%;虾池中沙蚕附着密度为潮间带多齿围沙蚕的1.28~7.09倍。若与Belgium半盐水池塘中杂色刺沙蚕种群年均生物量相比,3号池的生物量为其69%,其余各池为27%~39%;3号池沙蚕的附着密度是杂色沙蚕最大密度的1.30倍,其余各池附着密度仅为杂色沙蚕最大密度的23%~66%。在虾池中,沙蚕生物量的最高值出现在7月初~8月初,约占Belgium半盐水池塘中杂色沙蚕最高生物量的43%~87%。

多毛类动物一般被看做是典型的r-选择动物^[11]。虾池通过纳潮或移植作用,使沙蚕在池中产生高密度集居,但各个虾池间沙蚕附着密度却存在很大差异,产生这种现象的原因是:(1) 各个虾池之间环境性状存在很大差别,例如3号池面积最小,每次纳潮都有淡水汇入,盐度最低,营养盐丰富,有利于浮游植物发生,相反,28号池面积较大,盐度最高,浮游植物生物量最低。(2) 虾池在纳潮时彼此间进水的时间先后和长短均不相同。(3) 底质性质不同:3号池底质是泥,而28号池底为砂质。沉积物颗粒大小与有机物含量是影响沙蚕数量和生物量分布的主要因子^[12]。

在养虾池中移植沙蚕的目的是在对虾养殖中后期补充动物性饵料,尤其在8月份高温期是对虾生长增重的关键时刻,张志南等^[12]认为,这期间池底沙蚕密度若能保持在400尾m⁻²,就能有效发挥沙蚕的生态作用。考察4座试验虾池,在7月底~8月初,只有3号池的沙蚕密度在300~400尾m⁻²之间,其余各池平均只有122尾m⁻²。存在这种状况的原因在于:沙蚕在养殖中后期受到对虾强大的捕食压力,难以完成整个生命周期,同时,池底滩面质地较硬,有碍沙蚕潜居。可见,虾池在7~8月间究竟能够维持多大沙蚕密度,取决于沙蚕在前期的附着数量,浮游植物丰度和底质的松软程度。

4) 本文研究表明,在虾池生态系统中,对虾对沙蚕的捕食率为79.43(75.34~89.52)%。体长4~6cm的对虾主动掠食沙蚕的能力尚弱,相反,沙蚕幼体却能与对虾争饵,真正捕食关系建立,是在对虾体长>6cm之后。因此,养殖前中期是沙蚕管理的重要阶段,此时按常量投饵,配以低值饵料,满足沙蚕生长需求,保持一定密度的沙蚕,

(接前页左下边)