

中华假磷虾碳氮收支的实验研究

郭东晖^{1,2}, 李少菁^{1,2*}, 陈 峰^{1,2}, 王桂忠^{1,2}, 陈 钢^{1,2}

(1. 厦门大学 海洋学系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 实验室培养条件下, 以新近孵化的卤虫 (*Artemia salina*) 为食物, 观测中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 雌性成体、仔虾和后期带叉幼体的碳氮收支。实验表明摄食率随食物浓度的升高呈线性提高, 成体未出现饱和现象, 反映其较高的摄食潜力。呼吸率 (碳消耗率) 与碳的摄食率及同化率分别呈线性正相关, 比动力作用分别为 9% ~ 16% (摄入碳) 和 10% ~ 17% (同化碳) 以后期幼体更小。总氮排泄率与氮的摄食率及同化率也分别呈显著正相关, 但仔虾例外。排粪率随摄食率升高而提高, 从而同化效率与摄食率无关, 介于 0.84 ~ 0.95。食物氮源是中华假磷虾生长的主要限制因子, 当摄食率低于 10 $\mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ (干重) 时, 假磷虾呈负生长。同化的氮以排泄消耗为主, 体质生长次之, 而蜕皮损失最少。同化的碳也以呼吸消耗和体质生长居多, 但随摄食率有变化, 蜕皮损失最少。在成熟雌体, 估算的生殖生长 (碳、氮) 比蜕皮损失略高。净生长效率随摄食率 (及同化率) 升高而升高。达一定值后, 仔虾和后期带叉幼体净生长效率略有下降。

关键词: 中华假磷虾; 碳氮收支; 厦门港

中图分类号: Q584 文献标识码: A 文章编号: 0253 - 4193(2005)01 - 0101 - 06

1 引言

全世界海洋中磷虾类约 85 种, 在海洋生态系统中占有重要地位, 尤其在南极水域, 是维系海洋初级生产者与更高营养级的主要环节之一^[1]。开展磷虾生态能学的研究是深入了解海洋生态系统能流的基础。Lasker^[2,3]最先在培养条件下观测了太平洋磷虾 (*Euphausia pacifica*) 的蜕皮率, 并初步估算其碳的收支; 随后 Sameoto^[4]也报道了另外 3 种磷虾的能量收支, 但尤以 Ross^[5]对太平洋磷虾的碳、氮收支研究较为完整。有关中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*) 生态能学的研究尚未见报道, 本文在中华假磷虾生长率的实验研究基础上^[6], 报道其实验室培养条件下不同发育期碳氮收支, 以期进一步开展生态能学的研究。

2 材料和方法

2.1 采集和培养

中华假磷虾活体采自厦门港, 挑选体长相近的雌性成体 (9.00 ~ 10.36 mm)、仔虾 (6.47 ~ 7.29 mm) 和后期带叉幼体 (3.06 ~ 3.27 mm), 依发育期不同采用 75 和 145 cm^3 具塞磨口玻璃瓶, 23 恒温 (± 0.5) 暗处单尾培养。供以定量新近孵化的卤虫 (*Artemia salina*) 无节幼体, 实验设 5 个饵料浓度组, 每组 5 ~ 6 个平行, 2 个对照组, 连续 4 d 以等量海水 (经 0.45 μm 滤膜过滤) 与饵料更新。

2.2 样品处理

每隔 12 ~ 24 h 收集并称量动物蜕皮和粪块, 所有供碳、氮组成分析的样品均在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下干燥至恒重。其余的同李少菁^[6]处理方法一样。

收稿日期: 2002 - 11 - 25; 修订日期: 2003 - 01 - 02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39800021); 福建省自然科学基金资助项目 (B9910004)。

作者简介: 郭东晖 (1973—), 男, 福建省厦门市人, 博士生, 从事浮游动物学研究。

* 通讯作者: E-mail: xzopecol@jingxian.xmu.edu.cn

2.3 生理速率的测定

摄食率 (I)测定依平衡法^[7]. 12~24 h检查饵料数量的减少,并且把它计为动物的摄食量.若无节幼体经动物咬而未食并被摒弃且尚余身体过半,则定为未被摄食,否则计为被食量.根据摄入的卤虫无节幼体碳、氮含量,动物的摄食率表示为每毫克干重摄入量,即 $\mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (碳或氮),同时计排粪块数,并换算为排粪率 (F),单位同摄食率.同化效率 (AE)按 $AE = (I - F) / I$ 计算.

呼吸率和氨氮排泄率 [$\mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$]按水瓶法^[8]同步测定.当动物自海区采获后,先行驯养 24 h后测定的代谢率为基础代谢率,供以卤虫无节幼体连续培养后的测定值为活动代谢率.呼吸率基于呼吸商 (0.86)^[9]转换为动物每毫克干重的体碳损失 [$\mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$],即每消耗 $1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$ 氧相当于损失体碳 0.428 μg .

2.4 化学分析和数据处理

元素 (C, H, N)组成分析用 Perkin - Elmer 240C 元素分析仪,以乙酰苯胺为标准,精度为 0.000 1.卤虫无节幼体、中华假磷虾及其蜕皮和粪块的碳、氮组成及碳/氮见表 1.

表 1 卤虫无节幼体和中华假磷虾 (干重)元素组成
(n 为取样数)

种类	C	N	C/N	n
卤虫无节幼体 整体	43.72 \pm 4.86	8.10 \pm 0.40	5.52 \pm 0.88	3
中华假磷虾 整体	39.37 \pm 3.25	10.96 \pm 1.50	3.62 \pm 0.27	20
蜕皮	22.04 \pm 1.53	3.39 \pm 1.21	6.87 \pm 2.00	2
粪块	8.49 \pm 2.42	1.17 \pm 0.48	7.46 \pm 1.00	2

溶解氧含量按改良的 Winkler 碘量法^[9]测定.氨氮浓度采用靛酚蓝分光光度法^[10,11],但次氯酸钠浓度有效氯含量约为 $2 \text{ mg}/\text{cm}^3$.数据统计及其分析参见杨纪珂和齐翔林^[12].

3 结果

表 2 为中华假磷虾雌性成体、仔虾与后期带叉幼体在 23 °C 下的碳氮收支,饵料浓度表示为每立方分米培养水体中含有碳或氮的微克数 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$ 或 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$).可以看出,假磷虾摄食与饵料浓度均呈线性正相关 (见表 3),在最高的饵料浓度下,假磷虾成体尚未达到饱和摄食.仔虾同化效率随摄食率的变化不显著 (见表 2a, b).假磷虾呼吸率与摄食率及同

化率均呈线性正相关 (见表 4),其相关系数即为比动力作用系数 (SDA coefficient)^[13,14].中华假磷虾成体与仔虾的 SDA 系数比幼体更高.换言之,前者将摄入 (或同化)的碳更多地呼吸消耗了.在成体与幼体,排泄率与摄食率及同化率也分别呈线性正相关,但对于仔虾,这种相关不显著.幼体比成体将摄入的氮更多地以总氮 (或 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$)排泄.蜕皮仅占同化的很小部分,如在成体,此值为 2.3%~10.0% (C) 或 1.9%~7.9% (N).随摄食率的提高,假磷虾将摄入的能量主要用以体质生长 (C)或以排泄 (可溶性 N)而消耗了.碳与氮的净生长效率随摄食率的变化是有差异的.在雌性成体,碳的净生长效率随摄食率的提高而提高,当摄食率达较高值 [如 $92.9 \mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (干重)]时,净生长效率的增加已不显著,介于 0.65~0.68;毛生长效率 (K_1)的变化与净生长效率协同.氮的净生长效率变化却与上述有别.不论是成体或仔虾,当摄食率未超过 $7.5 \sim 9.6 \mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (干重) (见表 2a, b)时,净生长效率均为负值,即动物消耗了体内的氮贮存,而摄食率提高到 $11.6 \sim 18.3 \mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (干重)时,动物出现正生长,净生长效率随摄食率的提高而明显上升.可见,成体或仔虾仅在其每毫克干体重摄入的氮达约 $10 \mu\text{g}$ 以上后才开始在体内积累氮,因此氮是中华假磷虾生长的限制因子.氮的毛生长效率变化同净生长效率.至于后期带叉幼体 (见表 2c)实验所提供的饵料浓度,其最小摄食率已达 $17.3 \mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (干重),从而,净生长效率达 0.36 (正生长),这与上述现象相一致.幼体中碳的毛生长效率和净生长效率与成体及仔虾的类似.无论如何,在相同或相近的饵料浓度下,生长效率以幼体最高,仔虾次之,成体最低,这与幼体期快速生长的特点相吻合.

4 讨论

在本文提供的饵料浓度下,中华假磷虾的摄食率与饵料浓度呈线性正相关.这与一些海洋浮游桡足类的非饱和摄食十分相似^[15].根据多年来在厦门海区的浮游植物数量分布的调查^[16,17],可知本海区浮游植物浓度甚低,氮低于 $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 、碳低于 $90 \mu\text{g}/\text{dm}^3$,若不考虑假磷虾还可以从一些微型或小型浮游动物获取食物来源,其正常的生长和繁殖将受到浮游植物浓度的限制.因此,上述摄食率与饵料浓度的正线性相关模式应具有实际应用价值,但是对其他磷虾类尚缺乏此类研究,仅 Willison 和 Cox

报道自然海区中太平洋磷虾的摄食率与叶绿素 a 浓度呈指数正相关^[18]。值得提出的是, 本文采用直接的方法测定的假磷虾同化效率介于 84% ~ 95% (表 2), 与 Lasker^[3]采用同位素方法测定的太平洋磷虾

的同化效率 (84% ~ 95%) 较为接近。相对于同位素标记法, 本文采用直接估算法, 假设前提或误差来源更少^[19], 因而也更接近于真实值。

表 2 23 下中华假磷虾碳和氮的收支

a. 雌性成体 (干重为 0.972 mg/个)									
饲料浓度	摄食率	排粪率	同化率	呼吸率	代谢率	生长率	同化效率	净生长效率	毛生长效率
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (碳)	I	F	A	R	M	G	AE	K_2	K_1
302	23.8	3.7	20.1	15.4	2.0	2.7	0.84	0.23	0.11
586	41.3	6.3	35.1	20.5	2.0	12.6	0.85	0.42	0.35
885	63.7	6.6	57.0	23.9	2.0	31.1	0.90	0.58	0.52
1173	92.9	9.6	83.3	28.9	2.0	52.4	0.90	0.65	0.59
1488	93.8	7.8	86.0	27.2	2.0	56.8	0.92	0.68	0.63
排泄率									
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (氮)	I	F	A	E	M	G	AE	K_2	K_1
55	4.3	0.5	3.8	8.9	0.3	- 5.4	0.88	- 1.34	- 1.19
107	7.5	0.8	6.7	9.9	0.3	- 3.5	0.89	- 0.48	- 0.43
161	11.6	0.9	10.7	10.1	0.3	0.3	0.92	0.06	0.05
214	16.9	1.3	15.6	11.6	0.3	3.7	0.92	0.26	0.24
271	17.1	1.1	16.0	11.3	0.3	4.4	0.94	0.29	0.27
b 仔虾 (干重为 0.409 mg/个)									
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (碳)	I	F	A	R	M	G	AE	K_2	K_1
298	52.9	4.3	48.5	20.8	2.0	25.8	0.92	0.57	0.52
603	100.4	9.8	90.6	26.3	2.0	62.3	0.90	0.71	0.64
914	157.2	11.4	145.8	37.7	2.0	106.1	0.93	0.74	0.69
1122	207.0	18.5	188.5	47.0	2.0	139.5	0.91	0.75	0.68
1491	192.9	15.0	178.0	47.6	2.0	128.4	0.92	0.73	0.68
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (氮)	I	F	A	E	M	G	AE	K_2	K_1
54	9.6	0.6	9.0	15.7	0.3	- 7.0	0.94	- 0.74	- 0.70
110	18.3	1.3	17.0	14.7	0.3	2.0	0.93	0.14	0.12
167	28.7	1.6	27.1	16.1	0.3	10.7	0.95	0.41	0.38
204	37.7	2.5	34.8	19.3	0.3	15.2	0.93	0.45	0.41
272	32.9	2.0	30.9	23.5	0.3	7.0	0.94	0.24	0.22
c. 后期带叉幼体 (干重为 0.057 mg/个)*									
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (碳)	I	A	R	M	G	K_2	K_1		
137	123.3	110.9	20.5	2.0	88.4	0.82	0.73		
473	94.8	85.3	18.0	2.0	65.3	0.79	0.71		
736	240.9	216.8	30.1	2.0	184.7	0.86	0.78		
1013	278.8	250.9	24.1	2.0	224.8	0.90	0.81		
1340	259.8	233.8	35.7	2.0	196.1	0.85	0.76		
$Q/\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (氮)	I	A	E	M	G	K_2	K_1		
25	22.5	20.2	10.6	0.3	9.3	0.48	0.43		
86	17.3	15.6	10.0	0.3	5.3	0.36	0.32		
134	43.9	39.5	23.4	0.3	15.8	0.41	0.37		
184	50.8	45.7	20.5	0.3	24.9	0.55	0.50		
244	47.4	42.6	19.4	0.3	23.0	0.54	0.49		

* 以同化效率 $AE=0.9$ 进行估算; I, F, A, R, M, G, E 单位为 $\mu\text{g}/(\text{mg}\cdot\text{d})$ (干重)。

表 3 23 下中华假磷虾饵料浓度 (Q)与摄食率 (I)相关方程系数

发育阶段	$I_C = a + bQ_C$				$I_N = a + bQ_N$			n	
	a	b	r		a	b	r		
雌性成体	2.82	0.067	0.984 4	<0.01	0.51	0.067	0.984 5	<0.01	6
仔虾	12.45	0.140	0.960 6	<0.01	2.72	0.140	0.943 5	<0.01	6
带叉幼体	47.81	0.190	0.891 3	<0.05	8.71	0.190	0.891 3	<0.05	6

表 4 23 下中华假磷虾摄食率 (I)或同化率 (A)与呼吸率 (R)或排泄率 (E)相关方程系数

代谢率	发育阶段	$R \text{ (和 } E) = a + bI_C \text{ (和 } I_N)$				$R \text{ (和 } E) = a + bA_C \text{ (和 } A_N)$			n	
		a	b	r		a	b	r		
呼吸率	雌性成体	14.33	0.15	0.994 0	<0.01	14.55	0.16	0.992 0	<0.01	6
	仔虾	14.08	0.16	0.978 7	<0.01	14.09	0.17	0.979 9	0.01	6
	带叉幼体	9.79	0.09	0.968 1	<0.01	9.79	0.10	0.968 1	0.01	6
排泄率	雌性成体	8.76	0.15	0.944 7	<0.01	8.79	0.16	0.946 4	<0.01	6
	带叉幼体	3.32	0.37	0.927 8	<0.05	3.32	0.41	0.927 8	<0.05	5

与摄食相关的代谢率升高或热量的产生被称为比动力作用. 有关研究在鱼类居多. 一般认为, 鱼类 SDA 是由于摄食后蛋白质周转过程——包括蛋白质的合成、分解以及氨基酸氧化加速所引起的代谢耗能增长的现象^[20]. 在海洋浮游甲壳类, Kiørboe 等通过考察汤氏纺锤水蚤 (*Acartia tonsa*) SDA 有关的过程并经生理和生化的理论推导, 表明其 SDA 主要归因于生物合成 (即“生长”占 SDA 的 50% ~ 116%)^[14]; 随后 Thor 和 Shakuntala 等^[23]对桡足类 SDA 的系统研究也证实 SDA 与蛋白质代谢紧密相关^[21~23]. 可见, 海洋浮游甲壳类 SDA 形成的原因也主要是蛋白质合成的加速, 即生长的加速. 本文的中华假磷虾幼体的 SDA 系数比成体与仔虾明显更小 (表 4), 即幼体呼吸耗能在其同化的能量中所占比例更小, 这与幼体更高的净生长效率是一致的. 因此, 中华假磷虾的 SDA 应与其生长 (主要是蛋白质的合成) 直接相关.

中华假磷虾所同化的碳、氮配给不同生理过程是有差异的 (见表 2). 在实验期内, 未见雌体抱卵, 从自然海区采获得成熟雌体每胎怀卵 28 ~ 46 个, 卵径 $(301.3 \pm 7.8) \mu\text{m}$ ($n = 13$), 按卵的相对大小决定其脂类和蛋白质含量^[24], 估算中华假磷虾每个卵含碳、氮分别为 0.46 和 0.044 μg , 则每胎卵含碳、氮总量分别为 12.9 ~ 21.2 和 1.2 ~ 2.0 μg . 在实验期 (4 d) 内, 假磷虾未产卵, 则体重为 0.972 mg 的成熟雌体产卵率小于 3.3 ~ 5.4 $\mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ (干重) 或

0.3 ~ 0.5 $\mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ (干重). 比较两种磷虾同化的碳、氮在不同生理过程中的配给, 从表 5 可以看出蜕皮和生殖生长所占比率最少, 更多的能量以代谢 (尤其是泌氮) 而消耗了, 但体质生长也不容忽视 (特别是碳). 从氮的收支看, 饵料氮源是中华假磷虾生长的限制因子, 这与蛋白质是其最主要的代谢底物密切相关. 关于颗粒氮对海洋浮游动物生长的限制作用, 尚少见诸报道, 不过已有研究表明藻类氮 碳值影响海洋浮游桡足类的现场产卵率^[25, 26]. 在北极哲水蚤 (*Calanus glacialis*) 的能量代谢主要依靠蛋白质的分解, 从而氮的更新率较碳的高 2.6 ~ 8.9 倍^[27]. 因此, 受颗粒氮源限制生长的浮游动物, 应有源源不断的氮供给才能保证其正常生长. 如前估算, 厦门海区浮游植物生物量可能低至限制中华假磷虾生长的 10 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, 这时假磷虾将利用浮游植物以外的食物方能维持正生长. 由此可见, 碎屑及一些微型或小型浮游动物 (如纤毛虫和桡足类) 是可供中华假磷虾选择的食物来源, 不过中华假磷虾的食物组成尚待查证, 以期更好地阐述其食物氮源不足时的摄食对策.

据蔡秉及报道, 厦门海区中华假磷虾四季平均总量为 17.32 个/ m^3 ^[28], 若以中华假磷虾平均蜕皮干重为 32.60 $\mu\text{g}/\text{个}$, 平均蜕皮间期以 3.60 d 计^[6], 并根据表 1 其蜕皮的碳、氮含量, 可估算厦门海区中华假磷虾平均蜕皮率为 35 $\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (碳) 或 5 $\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ (氮). 又假定本海区的假磷虾摄食不

同饵料而未受限制,则中华假磷虾种群的平均排粪率(氮)因此,假磷虾的蜕皮与粪块在本海区有机物通量研究中具有较重要的意义。

表 5 两种磷虾同化的碳氮在不同生理过程中的配给 (%)

种类	性别或发育阶段		生理过程				文献
			代谢	生殖	蜕皮	生长	
太平洋磷虾	整个生活周期	C	72	1	17	10	[3][5]
		N	69~81	0	4.2~4.3	24~29	
	后期带叉幼体	C	57~68	0	4.9~5.2	38~50	
		N	49~60	0	3.6~4.0	16~18	
	仔虾—成体	C	54~65	0	4.1~4.3	23~26	
		N	38~52	10.4~11.5	3.0~3.8	10~12	
成体	C	50~63	10.2~12.1	3.1~3.9	13~18		
	N	10~21	0	0.8~2.3	77~90	本文	
中华假磷虾	后期带叉幼体	C	45~64	0	0.7~1.5		34~54
		N	25~43	0	1.1~4.1		53~74
仔虾		C	56~87	0	0.9~1.8		12~44
		N	32~87	<3.8~26.9*	2.3~10.0		13~66
雌性成体		C	56~71~94	<1.9~4.7*	1.9~7.9		2.8~28
		N					

*估算值。

5 结语

中华假磷虾具有较高的摄食潜力,同化的碳以呼吸消耗和体质生长居多,蜕皮损失最少;同化的氮

以排泄消耗为主,体质生长次之,蜕皮损失最少。食物氮源是中华假磷虾生长的主要限制因子,当摄食率低于 $10 \mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{d})$ (干重)时,假磷虾呈负生长。

参考文献:

- [1] MAUCLINE J. The biology of mysids and euphausiids[J]. Adv Mar Biol, 1980, 18: 1—677.
- [2] LASKER R. Moulting frequency of a deep sea crustacean, *Euphausia pacifica*[J]. Nature, 1964, 203(4940): 96.
- [3] LASKER R. Feeding, growth, respiration and carbon utilization of a euphausiid crustacean[J]. J Fish Res Bd Canada, 1966, 23(9): 1 291—1 317.
- [4] SAMEOTO D D. Respiration rates, energy budgets and molting frequencies of three species of euphausiids found in the Gulf of St Lawrence[J]. J Fish Res Board Can, 1976, 33(11): 2 568—2 576.
- [5] ROSS R M. Energetic of *Euphausia pacifica* Complete carbon and nitrogen budget at 8 and 12 throughout the life span[J]. Mar Biol, 1982, 68(1): 15—23.
- [6] 李少菁,陈峰,王桂忠. 中华假磷虾生长率实验研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(增刊): 129—134.
- [7] IKEDA T. Feeding rates of planktonic copepods from a tropical sea[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1977, 29(3): 263—277.
- [8] MARSHALL S M, NICHOLLS A G, ORR A P. On the biology of *Calanus finmarchicus*. Oxygen consumption in relation to environmental conditions[J]. J Mar Biol Ass UK, 1935, 20(1): 1—28.
- [9] OMORI M, IKEDA T. Methods in marine zooplankton ecology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [10] 蒋岳文. 靛酚蓝分光光度法测定海水中氨-氮[J]. 海洋环境科学, 1990, 9(1): 75—80.
- [11] SOLORZANS L. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method[J]. Limnol Oceanogr, 1969, 14(5): 799—801.
- [12] 杨纪珂,齐翔林. 现代生物统计[M]. 合肥:安徽出版社, 1985.
- [13] JOBLING M. Towards an explanation of specific dynamic action[J]. J Fish Biol, 1983, 23(5): 549—555.
- [14] KIRBOE T, M HLENBERG F, HAMBURGER K B. Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa*: relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1985, 26(1): 85—97.
- [15] HUNTLEY M. Feeding biology of *Calanus*: a new perspective[J]. Hydrobiologia, 1988, 167/168: 83—99.

- [16] 林金美. 厦门西海域浮游植物的生态 [J]. 台湾海峡, 1991, 10(4): 345—350.
- [17] LU Dao-li, YANG Yi-ping, HU Ming-hui, et al. Selenium content of marine food chain organisms from the coast of China [J]. Mar Envir Res, 1987, 22(2): 151—165.
- [17] WILLASON SW, COXJL. Diel feeding, laminarinase activity, and phytoplankton consumption by euphausiids [J]. Biol Oceanogr, 1987, 4(1): 1—24.
- [18] SRSZEN M E, WATRASC J. Rapid freeze preservation minimizes radioisotope leakage from zooplankton in feeding experiments [J]. J Plankton Res, 1987, 9(5): 945—953.
- [19] JOBLNGM. The influence of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review [J]. J Fish Biol, 1981, 18(4): 385—400.
- [20] THOR P. Specific dynamic action in calanoid copepods [D]. Danmark: Roskilde Univ, 2000.
- [21] THOR P. Relationship between specific dynamic action and protein deposition in calanoid copepods [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 245(2): 171—182.
- [22] THOR P. Specific dynamic action and carbon incorporation in *Calanus finmarchicus* copepodites and females [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 272(2): 159—169.
- [23] SHAKUNTALA K, REDDY SR. Crustacean egg size as an indicator of egg fat/protein reserves [J]. Int J Invertebr Reprod, 1982, 4: 381—384.
- [24] AMBLER JW. Effect of food quantity and food quality on egg production of *Acartia tonsa* Dana from East Lago, Galveston, Texas [J]. Estu Coast Shelf Sci, 1986, 23(2): 183—196.
- [25] STOETRAP J G, JENSEN J. Influence of algal diet on feeding and egg production of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1990, 141(2,3): 87—105.
- [26] BAMSTEDT U, TANDE K S. Respiration and excretion rate of *Calanus glacialis* in arctic waters of the Barents Sea [J]. Mar Biol, 1985, 87(3): 259—266.
- [27] 蔡秉及, 连光山, 林茂, 等. 厦门港及邻近海域浮游动物的生态研究 [J]. 海洋学报, 1994, 16(4): 137—142.

The experimental studies on the carbon and nitrogen budgets in *Pseudeuphausia sinica*

GUO Dong-hui^{1,2}, LI Shao-jing^{1,2}, CHEN Feng^{1,2}, WANG Gui-zhong^{1,2}, CHEN Gang^{1,2}

(1. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Institute of Subtropical Ocean, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The carbon and nitrogen budgets are estimated on the adult females, juveniles and post-furcilia larvae of *Pseudeuphausia sinica* in the laboratory with newly hatching nauplii of *Artemia salina* as food. It is found that the ingestion rate is linearly related to the food concentration, suggesting high feeding potential. The linear correlation can be established between the respiration rate (carbon consumption rate) and carbon ingestion rate, as well as carbon assimilation rate. The regression coefficients (i.e. specific dynamic action coefficients) are 9% ~ 16% (ingest C) and 10% ~ 17% (assimilated C) respectively, with lower in the post-furcilia larvae. There also existed a linear correlation equation between estimated total nitrogen excretion rate and the rates of nitrogen ingestion and assimilation separately, except for the juveniles. The defecation rates increase with increasing the ingestion rate, as a result, assimilation efficiency is not related to the ingestion rate, ranged from 0.84 ~ 0.95. The results indicated that the nitrogen content in food particles is a key factor limiting the growth of *P. sinica*. The critical ingestion rate is 10 $\mu\text{g}/\text{mg}$ body dry weight per day. Assimilated N is lost mostly by excretion, following allocated to somatic growth. The nitrogen loss by moult only account for a minor part. As for carbon budget, respiration and somatic growth also account for most of assimilation, but vary with ingestion rates. Moult loss is minor. Estimated reproductive growth (C & N) in the adult females accounted for somewhat higher percent of assimilation than the moult growth. The net growth efficiency (K_2) increases with increasing ingestion rates, but decreases slightly for juvenile and post-furcilia larvae after the rates up to a certain value.

Key words: *Pseudeuphausia sinica*; carbon and nitrogen budgets; Xiamen Harbor