

饵料影响锯缘青蟹幼体干重及化学元素(C、H、N)含量的实验研究*

王桂忠 曾朝曙 李少菁 林琼武

(厦门大学海洋系)

摘要 对喂食不同饵料的锯缘青蟹各期幼体的干重及化学元素(C、H、N)含量进行逐日测定,结果表明:在蚤Ⅰ期,一直喂食轮虫的青蟹幼体,其干重及C、H、N含量与从该期起以卤虫无节幼体替代轮虫喂养的幼体相比较,二者相差不大;但进入蚤Ⅱ后,却明显低于在蚤Ⅰ或蚤Ⅱ以卤虫无节幼体替代轮虫喂养的幼体;且差距随幼体发育不断地增大,至变态为大眼幼体时,其干重及C、H、N含量仅为在蚤Ⅰ或蚤Ⅱ起改喂卤虫的60%~70%。虽然不同喂食条件的青蟹幼体其C、H、N绝对含量相差很大,但其各自占干重的百分比却相对稳定,一直喂食轮虫的幼体只稍低。元素比与喂食条件无明显关系。青蟹蚤状幼体各发育期间的生长呈指数式,期内生长呈幂函数式。大眼幼体期内的生长亦呈幂函数式。

关键词 饵料 干重 元素含量 青蟹 蚤状幼体 大眼幼体 生长方程

前言

锯缘青蟹〔*Scylla serrata* (Forsk.)〕广泛分布于我国东南沿海,是重要的经济甲壳动物。近年来,青蟹人工养成在各地发展颇快,但人工育苗未获突破阻碍了养殖业的进一步发展。饵料在育苗中的重要性已众所周知,开展有关的实验研究将为育苗技术的突破打下基础。笔者曾报道了不同饵料影响青蟹幼体存活率与发育率的研究结果^[1],本文报道进一步的研究结果——饵料对幼体干重及化学元素(C、H、N)含量的影响。

1 材料与方方法

1.1 幼体培养

实验幼体来自同一亲蟹。幼体培养于装有砂滤海水的大结晶皿内(直径9cm),逐日换水、投饵、检查蜕皮情况。在检查过程中,将同步发育的幼体集中在同一容器中进行培养,

本文于1993-03-15收到,修改稿于1993-11-18收到。

• 国家自然科学基金资助项目。

以便实验取样时能获得相同发育程度的幼体, 培养过程水温控制在 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$, 盐度 $25\sim 28$.

1.2 投饵方式

根据饵料影响青蟹幼体存活与发育的研究结果^[1], 对实验进行设计并将实验分为3组. A组: 整个蚤状幼体阶段均以足量轮虫(约 $60\text{只}/\text{cm}^3$)培养; B组: 蚤I以轮虫(约 $60\text{只}/\text{cm}^3$)培养, 蚤II以后换喂卤虫无节幼体($10\text{只}/\text{cm}^3$); C组: 蚤I、蚤II喂食轮虫(约 $60\text{只}/\text{cm}^3$), 蚤III以后换喂卤虫无节幼体($10\text{只}/\text{cm}^3$). 以上各组幼体变态成大眼幼体后均以足量的卤虫进行培养.

1.3 测定方法

对不同喂食条件下培养的青蟹幼体的干重及化学元素含量进行逐日测定. 用同步发育的幼体以膜滤海水冲洗数遍, 再以重蒸水短暂淋洗, 吸干外表水份后置于 60°C 烘箱中干燥24h, 干燥后贮于真空干燥器内待分析. 干重在Perkin-Elmer天平上测定(精度为 $1\mu\text{g}$), 以Perkin-Elmer 240型自动元素分析仪分析元素含量.

2 结果

2.1 幼体干重及C、H、N含量

不同喂食条件培养的青蟹幼体其干重及C、H、N含量在不同发育期相差很大. 表1~6说明了这种差异. 由表2看出, 一直喂轮虫的A组与从蚤III起换喂卤虫无节幼体的B组比较, 它们在蚤I期内干重及C、H、N的含量相差不大. 但进入蚤III后, B组幼体的干重及C、H、N含量迅速增大, 比A组高了许多; 从蚤III起才以卤虫替代轮虫喂养的C组幼体, 在换饵后的第1天, 它们的干重以及C、H、N含量即明显高于A组, 第2天则高出更多, 但仍比B组低(表3). 刚蜕皮进入蚤IV的幼体, 其干重及C、H、N含量以B组最高, A组最低, C组介于两者之间但接近A组(图1). 随后C、A两组的差距进一步拉大. 到蚤IV的后期, C组幼体的干重及C、H、N含量已近2倍于A组(表4). 虽然刚蜕皮进入蚤V的幼体其干重及C、

表1 青蟹卵和蚤I干重及C、H、N含量

发育期	卵	蚤 I						
		0	1	2	3	4	5	6
发育时间(d)	0	0	1	2	3	4	5	6
测定个数	—	100	80	80	80	80	80	60
干重($\mu\text{g}/\text{个}$)	—	10.7	15.2	16.5	17.3	16.5	15.6	16.9
C含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	—	2.80	4.33	4.88	5.69	5.05	4.81	5.06
占干重%	54.06	26.19	28.49	29.56	32.88	30.61	30.86	29.95
H含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	—	0.36	0.48	0.68	0.71	0.72	0.44	0.66
占干重%	7.78	3.36	3.17	4.12	4.12	4.33	2.83	3.89
N含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	—	0.65	1.02	1.09	1.34	1.28	1.19	1.24
占干重%	10.03	6.08	6.73	6.63	7.76	7.75	7.61	7.33

表2 青蟹溞I干重及C、H、N含量

组别	A							B				
	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4~6	
发育时间(d)	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4~6	
测定个数	60	50	50	45	45	45	25	45	45	45	30	
干重($\mu\text{g}/\text{个}$)	22.0	24.9	26.15	27.5	26.5	26.7	25.8	22.38	24.48	29.71	23.33	
C	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	6.14	7.42	8.26	8.48	8.57	8.79	7.90	6.72	7.93	8.53	7.22
	占干重%	27.89	29.81	31.59	30.83	32.35	32.91	30.63	30.03	32.40	28.72	30.96
H	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	0.67	1.03	1.07	1.17	1.19	0.78	0.97	0.92	0.89	1.17	0.95
	占干重%	3.04	4.12	4.11	4.27	4.49	2.92	3.75	4.11	3.63	3.95	4.08
N	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	1.33	1.73	1.88	2.02	2.09	2.31	1.88	1.57	1.86	2.03	1.77
	占干重%	6.06	6.95	7.20	7.33	7.87	8.65	7.30	7.00	7.59	6.82	7.60

表3 青蟹溞II干重及C、H、N含量

组别	A					B			C			
	0	1	2	3	4	0	1	2	3			
发育时间(d)	0	1	2	3	4	0	1	2	3			
测定个数	30	30	30	30	25	30	25	25	25			
干重($\mu\text{g}/\text{个}$)	34.7	39.8	41.2	47.1	50.5	53.9	53.8	68.4	45.7	57.6	50.6	
C	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	9.92	12.70	13.01	15.17	16.58	15.84	20.07	24.32	14.22	20.45	17.62
	占干重%	28.59	31.92	31.57	32.21	32.84	29.38	33.56	35.55	31.11	35.51	34.82
H	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	1.36	1.37	1.41	2.14	2.20	2.18	2.90	3.56	2.00	2.97	2.47
	占干重%	3.92	3.45	3.42	4.55	4.35	4.05	4.85	5.20	4.38	5.15	4.89
N	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	2.48	2.95	3.14	3.64	4.00	3.43	4.37	5.62	3.19	4.66	4.08
	占干重%	7.15	7.41	7.61	7.73	7.92	6.37	7.30	8.22	6.98	8.09	8.07

表4 青蟹溞III干重及C、H、N含量

组别	A					B			C		
	0	1	2	3	4	0	0	1	2	3	
发育时间(d)	0	1	2	3	4	0	0	1	2	3	
测定个数	15	10	10	10	10	15	15	10	10	10	
干重($\mu\text{g}/\text{个}$)	69.4	87.8	102.0	90.6	97.0	109.9	79.7	112.4	120.6	170.3	
C	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	20.48	27.28	32.37	31.00	29.06	34.15	24.11	40.76	43.72	61.15
	占干重%	29.51	31.07	31.74	34.22	29.96	31.07	30.48	36.26	36.25	35.91
H	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	2.87	3.94	3.21	2.96	3.77	4.93	3.43	5.90	6.33	8.92
	占干重%	4.14	4.49	3.15	3.27	3.89	4.49	4.34	5.25	5.25	5.24
N	含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	4.61	6.23	7.90	7.21	6.94	7.80	5.56	8.96	9.83	13.83
	占干重%	6.64	7.10	7.38	7.96	7.15	7.10	7.03	7.97	8.15	8.12

表5 青蟹蚤V干重及C、H、N含量

组别	A				B		C		
发育时间(d)	0	1	3	4	0	0	1	2	3
测定个数	8	5	5	5	6	6	5	5	5
干重($\mu\text{g}/\text{个}$)	151.0	185.0	154.0	201.0	241.0	220.5	291.0	304.7	333.7
C 含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	41.30	59.83	55.06	68.28	79.63	71.12	103.45	116.58	123.70
占干重%	29.34	32.31	35.75	33.97	33.01	32.26	35.55	38.26	37.07
H 含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	5.86	6.12	7.02	9.17	11.16	10.14	12.34	13.62	18.49
占干重%	3.88	3.31	4.56	4.56	4.63	4.60	4.24	4.47	5.54
N 含量($\mu\text{g}/\text{个}$)	9.80	13.71	12.92	16.72	17.59	15.46	23.25	27.94	28.80
占干重%	6.49	7.41	8.39	8.32	7.30	7.01	7.99	9.17	8.63

H、N含量仍保持B组高，A组低，C组居中的趋势，但C组已很接近B组（图1，表5）。至新蜕皮变态的大眼幼体，C组的干重及C、H、N含量与B组已相差无几，而A组却低得多，仅为前两者的60%~70%，大致只相当于B、C组新蜕皮的蚤V幼体（图1，表5、6），两者相比竟相差了一个发育期。

变态后所有大眼幼体均以足量的卤虫培养。尽管刚进入大眼幼体期，不同组的幼体干重及C、H、N含量相差很大，但到了稚蟹第1期，各组间干重及C、H、N含量已相差无几（表6）。表明只要在大眼幼体阶段喂以足量的卤虫，幼体经过加强摄食和营养积累，能够弥补蚤状幼体阶段饵料不适引起的营养缺失。

A、B、C三组不同喂食条件的幼体在蚤状幼体阶段其干重分别增加了24、36和35倍；碳分别增加了29、43、41倍；氢分别增加了31、47、45倍；氮分别增加了31、46、43倍。而从孵化至稚蟹第1期，幼体的干重增加了100倍左右；C、H、N含量各增加了120~130倍（表1、6）。各发育期增幅以大眼幼体期最高，干重及C、H、N含量各增加了3倍多。日增幅以新变态的大眼幼体最高，在1天内干重及C、H、N含量各增加了1.7倍左右（表6）。刚变态的稚蟹干重及C、H、N含量较临变态的大眼幼体有明显的下降，表明变态蜕皮过程有较大的能量丧失（表6）。

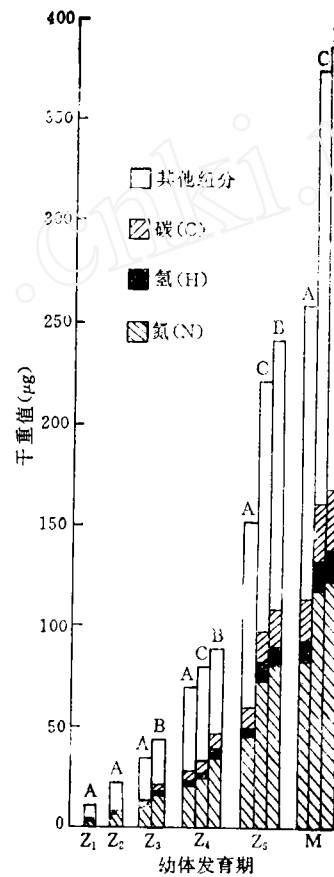


图1 不同喂食条件培养的青蟹幼体在刚蜕皮进入各发育期时的干重，C、H、N含量（A、B、C分别表示不同喂食条件的实验组别）

表6 青蟹大眼幼体、刚变态的稚蟹第1期干重及C、H、N含量

发育期	大眼幼体										稚蟹第1期			
	A			B			C				A	B	C	
组别	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	0	0
发育时间(d)	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1
测定个数	258.0	386.0	373.5	639.5	784.0	807.1	877.0	1002	952.2	1112	1234	1009	1087	1062
干重(μg/个)	81.22	120.59	116.12	202.53	255.04	263.44	295.58	345.89	332.41	394.43	450.53	328.03	360.01	372.93
含量(μg/个)	31.48	31.24	31.09	31.67	32.53	32.64	34.16	34.52	34.91	35.47	36.51	32.51	33.12	35.45
C 占干重%	11.04	17.02	16.17	25.58	34.42	31.15	35.17	41.48	47.04	52.04	59.85	38.34	43.81	47.23
H 占干重%	4.28	4.41	4.33	4.00	4.39	3.86	4.01	4.14	4.94	4.68	4.85	3.80	4.03	4.19
N 含量(μg/个)	19.92	30.19	28.20	44.64	55.19	54.56	66.13	77.35	—	92.30	106.12	75.27	85.55	96.78
N 占干重%	7.72	7.82	7.55	6.98	7.04	6.76	7.54	7.72	—	8.30	8.60	7.46	7.87	9.20

2.2 C、H、N占干重的百分比及元素比

表1~6表明不同喂食条件下幼体的C、H、N占干重的百分比只是略有差异,与C、H、N的绝对含量的差别相比,这种差异很小。这表明饵料营养的丰富与否主要影响幼体的C、H、N及干重的绝对含量,对各有机营养物质占干重的百分比的影响则很有限。换言之,幼体体内有机物质与无机物质所占比例是保持相对稳定的,饵料对其影响不大。由表1~6可看出,在整个幼体发育过程中C、H、N占干重百分比分别波动于26%~37%、3.0%~5.5%和6%~9%之间。

比较各发育期同步发育的幼体,其元素比与喂食条件无明显的相关关系,说明处于相同发育程度的幼体其累积的蛋白质及脂类等营养物质的比例也是相对稳定的,投饵方式及营养状况对其不会产生明显的影响。各发育期新蜕皮幼体的C、H、N占干重的百分率之和均低于前一期临蜕皮的幼体,表明蜕皮过程幼体吸收了水体中的无机盐。据测定,青蟹幼体在发育过程中C/N、H/N值分别波动于4.0~4.6和0.35~0.65之间。

在整个幼体发育过程中,不管是那一种的喂食条件,幼体的C、H、N占干重的百分比都是以将变态的Ⅴ为最高,其次为将变态的大眼幼体,这表明青蟹幼体在这两次变态前需在体内积累高比例的有机营养物质来保证变态的顺利进行。C、H、N占干重百分比的最低值出现于刚孵化的Ⅰ幼体,三者之和仅为干重的36%,而青蟹刚产下的卵,其C、H、N占干重的百分比之和则高达72%(表1),说明有半数的卵黄营养是消耗于胚胎发育期间,

表7 在不同喂食条件下,青蟹Ⅴ幼体各发育期间生长方程 $Y = ae^{bX}$ 的 a 、 b 值

组别	Y	a	b	r	p
A	DW	5.585	0.6443	0.9967	<0.001
	C	1.450	0.6727	0.9973	<0.001
	H	0.1705	0.7034	0.9995	<0.001
	N	0.3375	0.6669	0.9994	<0.001
B	DW	5.185	0.7140	0.9848	<0.001
	C	1.197	0.8411	0.9996	<0.001
	H	0.1372	0.8864	0.9965	<0.001
	N	0.2734	0.8365	0.9993	<0.001
C	DW	4.735	0.7339	0.9911	<0.001
	C	1.181	0.7838	0.9913	<0.001
	H	0.1345	0.8309	0.9932	<0.001
	N	0.2760	0.7768	0.9954	<0.001

Y: 各发育期刚蜕皮幼体干重(DW)及C、H、N值, X: 发育期数。

同时也表明刚孵化的Ⅰ,其体内贮存的有机营养已经很有限,孵化之后应马上投饵。

2.3 青蟹幼体的生长

根据图1的结果,我们可以把青蟹Ⅴ幼体各发育期间的生长用指数方程 $Y = ae^{bX}$ 来表

示。A、B、C三种不同喂食条件组的幼体，其生长方程回归所得的 a 、 b 值列于表7。

根据表1~6的结果，我们可以把青蟹蚤状幼体在正常的发育时间内，各发育期内的生长用幂函数表示，大眼幼体亦不例外。对大眼幼体阶段幼体的生长方程 $Y=Y_0(t+1)^m$ 回归所得的 Y_0 和 m 值列于表8。

表8 青蟹大眼幼体生长方程 $Y=Y_0(t+1)^m$ 回归结果

Y	Y_0	m	r	p
DW	414.5	0.482 4	0.977 0	<0.001
C	126.0	0.554 5	0.984 2	<0.001
H	16.59	0.549 1	0.974 8	<0.001
N	28.30	0.565 2	0.986 9	<0.001

Y: 幼体干重(DW)及C、H、N值, t : 幼体从蜕皮进入大眼阶段后算起的发育天数。

3 讨论

近年来已有不少有关蟹类幼体干重及元素含量的研究报道^[2~9]，这些报道多是以研究幼体生长及能量代谢为目的。由于元素含量反映了动物体内的有机组分，元素比又代表幼体内蛋白质、脂类等营养组分的相对比例^[10]，所以，综合分析比较幼体干重和C、H、N含量及元素比，不但可以揭示幼体营养和生长的状况，而且还可以评价饵料效果。

根据饵料影响青蟹幼体存活与发育的实验研究结果^[11]，我们曾提出，在青蟹幼体的培养过程中，蚤Ⅰ、蚤Ⅱ期宜以高密度轮虫喂养，蚤Ⅲ起改喂卤虫，甚至在蚤Ⅱ后期即可添加部分卤虫与轮虫混合喂养，这样可以达到高的存活率。干重及元素分析结果证实了这一饵料搭配的正确性。本实验研究结果表明，从蚤Ⅱ起喂食卤虫，幼体在该期内干重及C、H、N含量都与喂食轮虫的没有太大差别(表2)，说明此时轮虫营养可满足幼体需求。由于轮虫个体小，游动慢，比卤虫更易于被早期幼体捕食，因此，此时喂食轮虫效果更佳。在蚤Ⅲ期，改喂卤虫后第1天幼体干重及C、H、N含量即明显高于只喂食轮虫的个体，随着幼体的发育二者相差更大(表3)，说明从蚤Ⅲ起轮虫已越来越不能满足幼体的营养需求。从蚤Ⅲ起幼体已能有效地捕食卤虫，所以此时应改喂卤虫。

从蚤Ⅲ期起改以卤虫培养的幼体，虽然在开始时其干重及C、H、N含量比从蚤Ⅱ期起即喂卤虫的低，但在随后的发育中却很快趋近，至新变态的大眼幼体二者已相差无几(图1，表3~6)。这一结果与笔者在青蟹幼体摄食率的研究中所得的结果相吻合，在摄食率的研究中我们发现，从蚤Ⅲ起改喂卤虫，幼体在换饵后的一段时间内日摄食率明显高于一直喂食卤虫的幼体(另文发表)，这表明在蚤Ⅲ期改喂卤虫之后，幼体可以通过加强摄食使其营养状况得以改善，赶上在发育早期就喂食卤虫的个体。这个结果一方面从营养学的角度证明了从蚤Ⅲ起改喂卤虫是正确的，另一方面也表明青蟹幼体在一定程度上能够通过发育后期加强摄入营养价值高的饵料来补偿发育早期营养的缺陷。

青蟹幼体C、H、N占干重的百分比以及C/N值符合热带、亚热带浮游动物的一般规律，也与其他蟹类，如寄居蟹(*Pagurus bernhards*)、真蟹(*Carcinus maenas*)^[7, 8]、相爱蟹(*Hyas araneus*、*H. coarctatus*)^[8, 4, 9]等相一致。青蟹、真蟹、相爱蟹的幼体其C/N值

都在各发育期的前期较高, 后期较低, 表明蟹类幼体在蜕皮周期的前期积累的多是脂类, 后期积累的多是蛋白质。但是, 在幼体的整个发育过程中(蚤 I~稚蟹第 1 期), 青蟹幼体的干重及 C、H、N 含量的相对增幅则远远超过其他蟹类。青蟹幼体增加的幅度高达 100~130 倍, 而相蟹的增幅低于 $10^{(2, 4, 9)}$, 与青蟹同科的真蟹幼体的增幅也低于 20。

青蟹蚤状幼体各发育期间的生长可用指数方程表示, 蚤状幼体阶段在正常的发育时间内, 各发育期内的生长可用幂函数表示。这与相蟹^[2, 5, 9]和真蟹^[7, 8]是相同的, 但大眼幼体期内的生长也可用幂函数来表示, 这一点则与相蟹和真蟹不同^[2, 3, 5, 6, 8, 9]。据报道, 这些蟹类在大眼幼体阶段均以抛物线的形式进行生长, 即: 在大眼幼体期的前 50%~60% 的时间里, 幼体是正生长的, 随后则表现为负生长。据此, Dawirs^[8]和 Anger^[6]认为, 抛物线形式是短尾类大眼幼体的通用生长模式。但这一模式显然不适用于青蟹, 青蟹大眼幼体的生长仍可用幂函数表示, 发育后期生长虽有减缓, 但未出现负生长现象。由于 Dawirs 和 Anger 只是根据少数几种蟹类的实验结果提出了上述的模式, 因此这个模式是否适用于所有短尾类的大眼幼体尚有待于进一步研究。

参考文献

- 1 曾朝曙, 李少菁. 锯缘青蟹 [*Scylla Serrata* (Forsk.)] 幼体实验生态研究, I. 饵料对幼体存活与发育的影响. 甲壳动物学论文集(第三辑), 北京: 科学出版社, 1991
- 2 Anger K *et al.* Elemental composition (C, H, N) and energy in growing and starving larvae of *Hyas araneus* (Decapoda: Majidae). *Fish. Bull. NOAA*, 1982, 80, 419~433
- 3 Anger K *et al.* Changes in biomass and chemical composition of spider crab (*Hyas araneus*) larvae reared in the laboratory. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1983, 12, 91~101
- 4 Anger K. Development and growth in larval and juvenile *Hyas coarctatus* (Decapoda: Majidae) reared in the laboratory. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1984, 19, 115~123
- 5 Anger K *et al.* Respiration and growth of *Hyas araneus* L. larvae (Decapoda: Majidae) from hatching to metamorphosis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1985, 88, 257~270
- 6 Anger K. Energetics of spider crab *Hyas araneus* megalopa in relation to temperature and the molt cycle. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1987, 36, 115~122
- 7 Dawirs R R. Respiration, energy balance and development during growth and starvation of *Carcinus maenas* L. larvae (Decapoda: Portunidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1983, 69, 297~302
- 8 Dawirs R R *et al.* Temperature and growth in *Carcinus maenas* L. (Decapoda: Portunidae) larvae reared in the laboratory from hatching through metamorphosis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1986, 100, 47~74
- 9 Jacobi C C *et al.* Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus* (Decapoda: Majidae). *Mar Biol.*, 1985, 87, 173~180
- 10 Omori M *et al.* *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1984, 93~96