

징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Haan) 유생의 탈피주기별 탄소수지

신윤경 · 진 평
부산수산대학교 해양생물학과

Carbon Budget during the Molt Cycle of *Macrobrachium nipponense* (De Haan) Larvae

Yun Kyung SHIN and Pyung CHIN

Department of Marine Biology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

Larvae of the freshwater shrimp, *Macrobrachium nipponense* were reared in the laboratory at constant condition (25°C, 7‰), and their feeding rate, oxygen consumption rate, and growth rate were measured in regular intervals of time during larval development. Regression equations describing rates of feeding, growth and respiration as functions of time during individual larval molt cycles were inserted in a simulation model in order to analyse time-dependent patterns of variation as well as in bioenergetic efficiencies.

Absolute values for feeding, growth, respiration and assimilation showed clear changes during the molt cycle. The absolute and specific values of respiration (R: R/C) showed small variation during the individual molt cycles. Significance of respiration in relation to growth (G) increased within the carbon budget, respiration rate (R/C) outbalanced growth rate (G/C) in late premolt. When the portion of metabolizable carbon is respired (R/G), metabolic coefficient was < 1 (i.e. R<G) in postmolt phase. The cumulative carbon budgets showed in subsequent larval instars conspicuously increasing figures in terms of their parameters. F, G and R increased to a particularly high level from the hatching to the postlarval instar, and hence, net growth efficiency (K_n) decreased concurrently.

In cumulative carbon budget, total feeding was 491.54µg C/ind., assimilation was 85.3%, respiration was 47.7%, and growth was 37.6% from hatching to postlarval stage.

Key words : *Macrobrachium nipponense*, molt cycle, feeding, growth, respiration, assimilation, bioenergetic efficiency.

서 론

갑각류의 탈피주기동안에 일어나는 생리적 변화는 체내 물질대사의 균형과 밀접하게 관련되어 있다. 이런 관점에서 먹이로서 섭취한 에너지를 성장, 대사, 생식, 탈피 및 배설등과 같은 각각의 부분으로 분배하는 에너지수지를 파악하고, 물질 또는 에너지의 특정한 분배를 통하여 나타나는 개체의 특성을 규명할 필요가 있다.

수서 생태계에 있어서 물질 및 에너지흐름에 대한 평가는 생체량에 대한 섭이율, 성장률 및 대사율에 대한 정보를 요하며, 이와같은 자료는 1차 생산자로부터 유래되는 유기물질을 체조직내에서 고영양단계로 전환시키는 전환효율을 파악하는데도 기초자료가 된다. 특히 갑각류에 있어서 연속적인 발생을 통한 물질과 에너지 전환에 대한 연구는 대사와 탈피주기간의 관계를 분명하게 이해하는데 필요한 과제라고 하겠다.

자연 및 실험실에서 사육한 갑각류 유생의 성장과 탈피주기에 따른 에너지 대사에 관한 연구 (Levine and Sulkin, 1979; McNamara et al., 1980; Dawirs, 1983; Anger and Jacobi, 1985; Dawirs and Dietrich, 1986; Anger et al., 1989) 가운데 일부 연구에서

만 에너지 또는 물질의 흡수 및 분배에 대하여 다루고 있으며 (Levine and Sulkin, 1979; Dawirs, 1983), 이러한 연구는 단일탈피주기 내에서라기 보다는 오히려 유생단계간의 총체적 차이에 주로 초점을 맞추었다. 갑각류 유생의 발생단계별 생리적 변화 및 물질 합

Table 1. Fitted parameters (y_0 , a , b) and correlation coefficients (r) for regression equation describing change during larval molt cycles; feeding rate (F), growth (dry weight: W; carbon: C; nitrogen: N; hydrogen: H), and respiration (R) of *Macrobrachium nipponense* larvae

y		F	W	C	N	H	R
Zoea-1	y_0						
	a		25 μ g	11.23 μ g	2.71 μ g	1.85 μ g	2.48 μ g
	b						
	r						
Zoea-2	y_0	0.8482	26.1383	15.1773	5.3441	1.2961	0.1440
	a	0.0732	0.5838	0.3253	0.0572	0.6946	0.0146
	b	0.2387					
	r	0.9412	0.7204	0.8809	0.7903	0.9719	0.8467
Zoea-3	y_0	-141.9850	46.3258	10.8808	2.7230	3.7731	0.1031
	a	64.6950	0.1352	0.5547	0.5392	0.1699	0.1151
	b	-7.21					
	r	0.9892	0.9356	0.9903	0.9957	0.8122	0.9867
Zoea-4	y_0	-402.1687	8.2689	5.6011	3.2118	1.6736	0.2679
	a	119.94901	1.2057	0.8092	0.5172	0.7376	0.0431
	b	-8.5725					
	r	0.9384	0.9942	0.7769	0.8961	0.9034	0.9278
Zoea-5	y_0	-809.76	53.4475	18.7764	3.9312	4.3934	0.3881
	a	124.7450	0.3063	0.4342	0.4787	0.2608	0.0433
	b	-4.5683					
	r	0.7208	0.9565	0.7205	0.9287	0.9856	0.9669
Zoea-6	y_0	-831.76	7.9609	17.6194	1.2946	1.0027	0.5128
	a	124.7450	1.1035	0.5082	0.9585	0.9040	0.0191
	b	-4.5683					
	r	0.7208	0.9798	0.9036	0.9651	0.9514	0.9055
Zoea-7	y_0	-1461.1055	3.4113	25.4733	2.9971	2.5731	0.6013
	a	167.9182	1.4227	0.3686	0.6321	0.5967	0.0224
	b	-4.7442					
	r	0.8233	0.9919	0.7771	0.9812	0.9541	0.9283
Zoea-8	y_0	-1428.6112	1.5710	7.4204	2.7846	2.6438	0.7173
	a	129.6220	1.6899	0.8912	0.7252	0.5972	1.0268
	b	-2.8923					
	r	0.7939	0.9933	0.9740	0.9793	0.9351	0.882
Zoea-9	y_0	-1720.8145	1.0496	12.3647	4.7221	7.0027	0.9159
	a	127.3888	1.1816	0.8053	0.5747	0.4259	0.0221
	b	-2.3205					
	r	0.9548	0.9961	0.7326	0.9662	0.9506	0.7806
Postlarva	y_0	-2249.1188	0.0986	28.1195	5.1908	7.9250	1.1035
	a	1409.9570	2.5400	0.5957	0.6236	0.3972	0.0114
	b	-2.1773					
	r	0.9080	0.9932	0.8901	0.9274	0.9271	0.9184

량의 변화에 대한 기초자료는 부화해서 후기유생에 이르기까지 전 유생기간 동안의 탄소수지를 구성하는데 이용할 수 있다. 일반적으로 탄소는 유기물질의 지표로서 이용되므로 본 논문의 탄소수지는 징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Haan)의 유생기간 동안 탄소의 흐름을 밝히기 위하여 나타낸 것이다.

본 연구는 우리나라 섬진강 하구역에 서식하는 징거미새우에 대하여 유생의 발생단계별 탈피주기에 따른 생리적, 생화학적 변화를 기초로하여 탄소수지를 파악하므로써 갑각류 유생들의 내면적 물질대사기능과 그 기능들의 상호관련성, 그리고 유생의 발생과정 동안 생물에너지수지의 특성에 대한 변화등을 규명하였다.

재료 및 방법

징거미새우의 유생을 부화해서 후기 유생단계에 이르기까지 일정한 조건 (25°C, 7‰) 하에서 사육하면서 유생단계별로 섭이, 성장 및 호흡을 매일 측정하여 (Shin and Chin, 1994) 탄소수지에 이용할 유생단계별 섭이율, 성장률 및 호흡률에 대한 회귀방정식을 Table 1에 나타내었다.

탈피로 인한 탄소의 손실은 zoea 1~3, zoea 4~6, zoea 7~9, 후기유생으로 나누어서 탈피직후의 탈피체를 수거하여 60°C에서 24시간 건조시켜서 탄소의 함

Table 2. Percentages of carbon (C) lost with shed exuviae in *Macrobrachium nipponense*

	Zoea 1~3	Zoea 4~6	Zoea 7~9	Postlarva
C (%)	9.0%	14.0%	17.2%	21.6%

Table 3. Intermolt period calculated by the equations of Table 1

Stage	Intermolt period	Stage	Intermolt period
Zoea-1	1 day	Zoea-6	4 day
Zoea-2	2 day	Zoea-7	4 day
Zoea-3	2 day	Zoea-8	5 day
Zoea-4	3 day	Zoea-9	5 day
Zoea-5	3 day	Postlarva	6 day

량을 구하였다 (Table 2).

섭이, 성장 및 호흡에 이용된 회귀방정식의 유생단계별 발생기간은 Table 3에 나타내었다.

(1) 탄소수지

유생의 발생단계별 탈피주기 동안 섭이한 영양물질의 흡수와 분배를 다음과 같은 방정식(Warren and Davis, 1967)을 이용하여 나타내었다.

$$\begin{aligned} G &= G_T + G_E & K_1 &= G / F \\ A &= G + R + U & K_2 &= G / A \end{aligned}$$

A: Assimilation K₁: Gross growth efficiency
 F: Feeding (=Ingestion) K₂: Net growth efficiency
 G: growth R: Respiration
 G_T: Tissue growth G_E: Exuvia growth
 U: Excretion of ammonia nitrogen

(2) 누적탄소수지

누적탄소수지는 유생의 발생단계별 탈피주기 동안의 탄소수지를 구성하고 있는 섭이 (F), 성장 (G) 및 호흡 (R)에 대한 방정식(Table 1)을 탈피주기의 기간에 따라 적분하여 나타내었다.

결 과

1. 탈피주기별 탄소수지

섭이(F), 성장(G), 호흡(R) 및 동화량(A)을 탄소를 전환시킨 절대값(μg C/ ind./d)은 각 유생단계별로 유사한 양상을 보였으나, 탈피주기 동안에는 뚜렷한 변화를 나타내었다(Fig. 1).

섭이(F)는 모든 유생단계에서 탈피주기 동안 탈피간기에서 최대를 보였다. 성장률(G)은 모든 유생단계에서 탈피후기와 탈피간기의 초기에서 최대를 나타낸 후 계속 감소하여 탈피전기의 말기에서 최소를 보였다. 그리고 호흡(R)은 각 탈피주기 동안 비교적 일정하게 유지 되었으며 탈피전기의 말기에서는 성장률보다 다소 높은 경향을 나타내었고, 후기 유생단계로

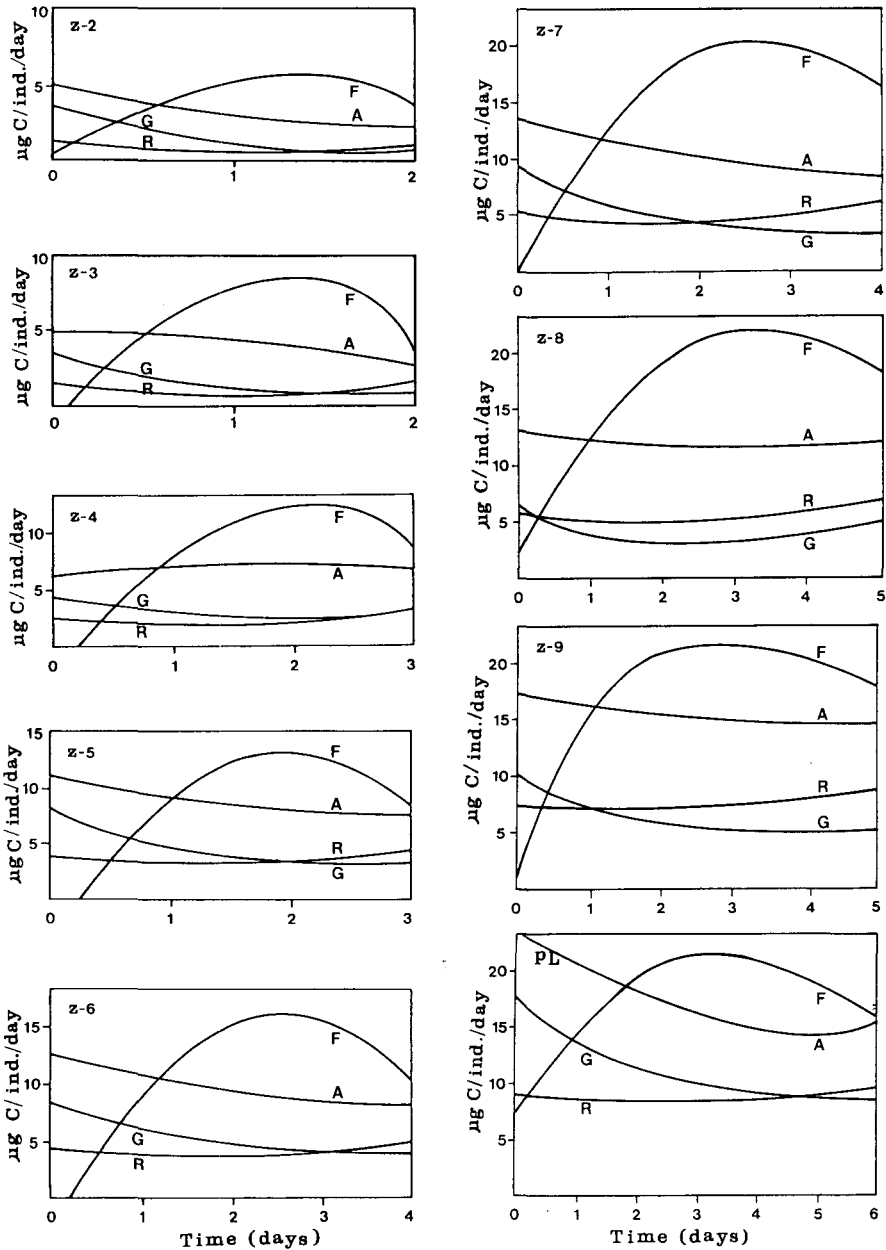


Fig. 1. Carbon budgets of *Macrobrachium nipponense*. Instantaneous individual rates of feeding (F), assimilation (A), respiration (R) and growth (G) in relation to time (d) of development (unit: $\mu\text{g C/ind./day}$).

진행되어 감에 따라 성장률에 비하여 호흡률이 더 높은 경향을 나타내었다.

총동화량의 변화양상은 대체로 성장률에 의하여 좌우되었다.

Fig. 2는 유생의 섭이(F), 성장(G) 및 호흡(R)의 상대적인 값의 변화를 나타낸 것이다.

비탄소섭이율(F/C)은 탈피주기 동안 감소하는 경향을 나타내었으며 최대값(0.4~0.8)은 모든 유생단계에서 탈피후기에서 나타났으며, 이와 반대로 탈피전기의 말기에서 최소값(0.1~0.3)을 보였다. 비탄소성장률(G/C)은 탈피주기 동안 역시 감소하는 경향을 나타내었으며 최대값(0.4~0.8)은 탈피후기에서, 최소

징거미새우, *Macrobrachium nipponense* (De Haan) 유생의 탈피주기별 탄소수지

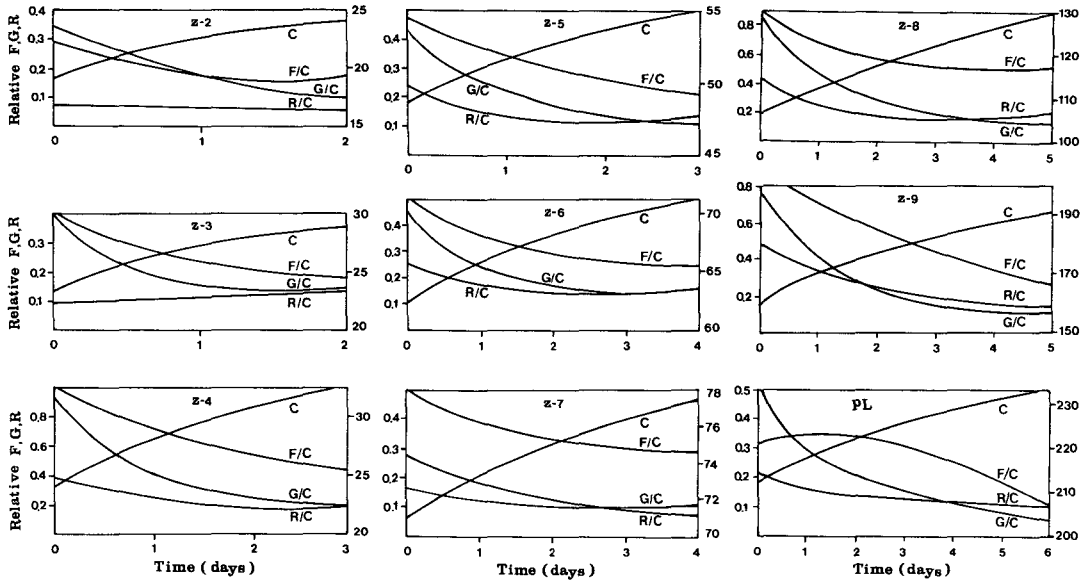


Fig. 2. Carbon budgets of *Macrobrachium nipponense*. Instantaneous relative (c-specific) rates of feeding (F/C), respiration (R/C) and growth (G/C), in relation to time (d) of larval development.

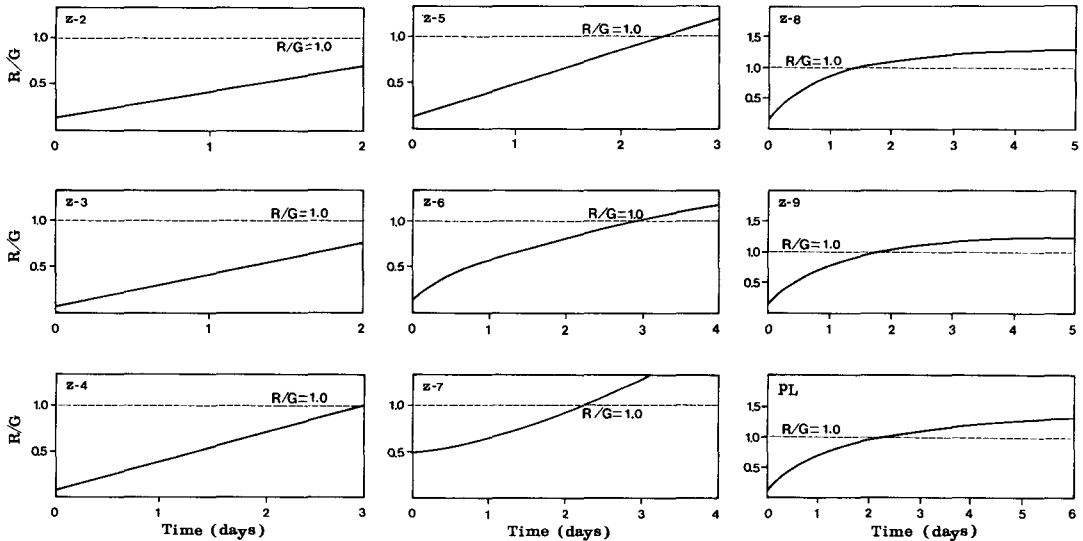


Fig. 3. Carbon budgets of *Macrobrachium nipponense*. Metabolic coefficient (R/G) in relation to time (day) of larval development (unit of R, G: $\mu\text{g C/ind./day}$).

값(0.1~0.2)은 탈피전기로 갈수록 나타났다. 비탄소 호흡률(R/C)은 탈피주기 동안 비교적 일정하게 유지되었으나, 탈피전기로 진행되어 감에 따라 성장률보다 높은 경향을 나타내었다.

탄소수지에 있어서, 호흡은 대체로 탈피전기에서 Zoea-4기 이후부터 성장을 능가하고 있으므로 상대적 중요성은 성장과 관련시켜서 볼 수 있었다. 탈피주기

동안 호흡량의 변화는 대사계수, 즉 호흡이 탄소로 전환되어 이화되고 있는 부분으로서 나타낼 수 있다. $R/G=1$ (즉, $R=G$)이라고 볼 때, 전유생단계의 탈피주기 동안 탈피후기에서 $R/G < 1$ ($R < G$)이었으며, 탈피전기로 진행해 감에 따라 $R/G > 1$ ($R > G$)로 증가하였다 (Fig. 3). 특히, Zoea 2, 3기에서는 탈피주기 동안 $R < G$ 였으나, 후기 유생단계로 진행해 감에 따라 $R > G$ 로

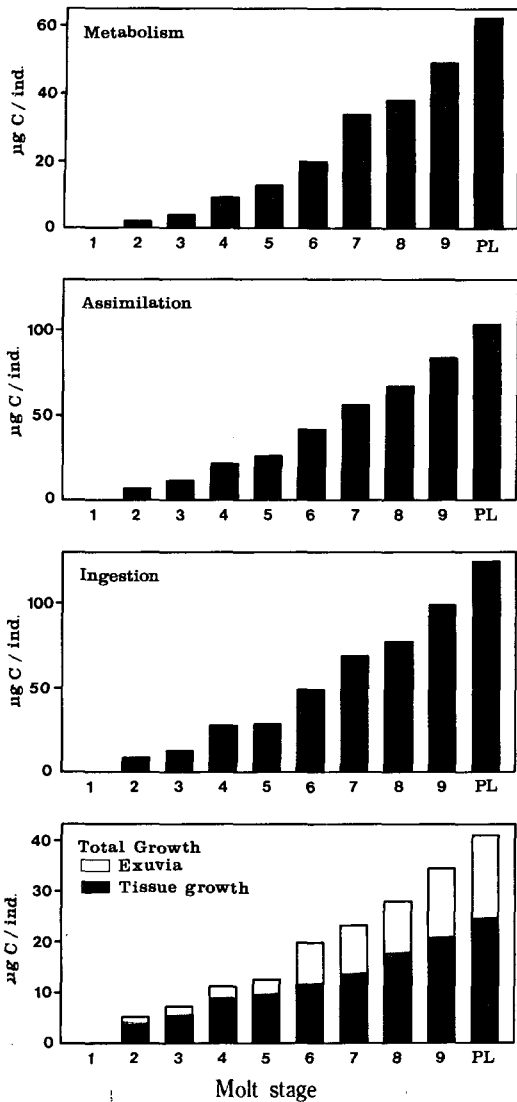


Fig. 4. Carbon budgets of *Macrobrachium nipponense* larval instars. Cumulative values (µg C/ind.) for ingestion (F), growth (tissue growth, G_T ; exuvia production, G_E).

성장량의 현저한 감소를 나타내었다.

2. 누적 탄소수지

누적 탄소수지는 유생단계의 탄소수지를 구성하는 섭이(F), 성장(G), 및 호흡(R)에 대한 방정식을 유생 발생 동안 탈피주기의 기간에 따라 적분하여 구하였다(Fig. 4).

누적 탄소수지를 이루는 섭이, 동화효율 및 총성장 은 유생단계 동안 탈피주기 기간의 진행에 따라 점진 적인 증가를 보였다. 성장은 조직성장(G_T)과 탈피체

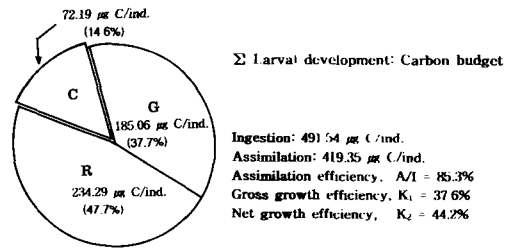


Fig. 5. Carbon budgets during the complete larval development of *Macrobrachium nipponense*.

형성(G_E)을 포함한 것으로서 유생의 각 발생단계에서 탈피체 형성으로 인한 탄소의 소실(Table 1)을 뺀 값을 조직성장(G_T)으로 간주하였다. 조직성장(G_T)은 초기 유생단계에서 증가율이 높았으며, 후기 유생단계에서는 발생기간이 길었음에도 불구하고 증가율이 낮았다.

Table 4는 각 유생단계간의 탄소수지에 대한 차이 및 섭이한 탄소중 체내로 동화된 탄소에 대한 분배를 나타낸 것이다. 호흡률은 대체로 Zoea 1기부터 후기 유생단계까지 증가하였다. 반면 총성장효율(K_1)은 63.0%에서 34.4%로, 그리고 순성장효율(K_2)은 72.5%에서 39.9%까지 감소하였다. 동화된 물질은 조직성장 과 관련되어 있으며, 이는 zoea 1기부터 후기 유생단계까지 63.4%~18.3%로 뚜렷하게 감소하였다. 반면, 호흡과 탈피로 인한 소실은 각각 23.9~51.8%, 9.0%~21.6%로 같은 순서로 증가하였다. 부화 후부터 후기 유생단계까지의 누적탄소수지를 Fig. 5에 나타내었다. 총섭이량은 491.54µg C/ ind.였으며 동화효율은 419.35µg C(85.3%)이고, 호흡, 234.29µg C(47.7%) 그리고 성장은 185.06µg C(37.7%)였다.

고 찰

탄소수지를 구성하고 있는 변수 가운데 탈피주기동안 성장률과 섭이율은 뚜렷한 변화를 보인 반면 호흡률은 비교적 일정한 수준을 유지하였다. 비탄소섭이율(F/C)은 탈피후기에 최대를 나타내었으며, 이는 하루 동안 탄소생체량의 약 40~80%를 차지하였다. *Artemia*를 섭이시킨 유우파우지드는 약 21~22%(Stuart, 1986), 그리고 계류, *Hyas araneus*의 zoea유생은 약 40%를 나타내었다(Anger, 1990). 또 새우류에서 Omori

(1979)는 30~60%를 보고하였는데, 이는 본 연구의 결과보다 다소 낮았다. 본 연구의 결과에서 F/C가 다른 자료들과 비교하여 다소 높게 나타난 것은 섭이율이 과대평가 되었거나 유생의 크기가 작고 또한 탈피주기가 짧은 점에 기인된 것으로 생각된다.

징거미새우 유생의 비탄소성장률은 탈피주기 동안 그리고 유생단계가 진행해 감에 따라 감소하였다. 이와 유사한 양상은 hermit crab zoea에서 볼 수 있으며, 이 시기의 G/C와 G/N은 대개 4~14%/ day에서 변화하였다(Anger, 1989). Stephenson and Knight (1980)은 지수식 성장 모델을 이용하여 새우 유생은 하루에 약 8%씩 일정하게 무게를 증가시킨다고 보고하고 있다. 그러나 Ross (1982a)는 유우파우지드에서 비탄소성장률(G/C)이 일정하다는 가설을 무시하고, 생체량의 증가에 따라 뚜렷이 감소한다고 보고 하였다. 이러한 양상은 본 연구의 결과도 잘 일치하고 있으며 다른 갑각류와 해산동물의 성장에 관한 문헌에서도 잘 보고 되고 있다(Childress and Price, 1983;

Dawirs and Dietrich, 1986; Anger, 1989; Anger et al., 1989).

탈피주기와 유생단계의 진행에 따른 비탄소성장률의 감소는 비탄소섭이율 감소와 잘 일치하고 있다. 비탄소호흡률은 비교적 일정하게 유지되고 있는데 이는 탈피주기동안, 그리고 개체가 성장해 감에 따라 에너지분배가 이동해가는 것이라 볼 수 있다.

징거미새우 유생에서 탈피주기동안 탈피후기와 탈피간기의 초기에서 먹이 전환률이 가장 높았으며, 이는 질소보다는 탄소에서 즉, 단백질보다는 지질이 더욱 뚜렷하였다. 그러므로 탄소 동화효율은 초기 유생 단계에서, 그리고 탈피전기에서 비교적 높았으나 동화된 탄소의 대부분은 열생산, 즉 호흡에 의해서 소비되었다.

본 실험에서 성장과 대사율간의 관계는 유생의 발생이 진행해 감에 따라 성장보다는 대사율이 더욱 커지는 쪽으로 이동하였으며, 따라서 총성장(63~34%)과 순성장효율(73~40%)이 감소하는 경향이 뚜렷하

Table 4. Carbon budget partitioning ($\mu\text{g C}/\text{ind.}; \%$) during the larval development of *Macrobrachium nipponense* (De Haan) (unit: larva, μg)

Molt stage	Ingestion	Assimilation	Respiration	Tissue growth (G_T)	Exuvia (G_E)	Loss	K_1	K_2
1			0.84		0.87 (9.0)			
2	8.65	7.52 (86.9)	2.07 (23.9)	4.77 (63.4)	0.68 (9.0)	1.13 (13.1)	63.0	72.5
2	12.87	11.26 (87.5)	4.47 (34.7)	5.78 (51.3)	1.01 (9.0)	1.61 (12.5)	52.8	60.3
4	27.89	21.16 (75.9)	9.23 (33.1)	8.95 (42.3)	2.98 (14.0)	6.73 (24.1)	42.8	56.4
5	29.08	25.63 (88.1)	13.02 (44.8)	8.98 (35.0)	3.63 (14.0)	3.17 (10.9)	43.4	49.2
6	48.90	40.91 (83.7)	20.73 (42.4)	14.45 (35.3)	5.73 (14.0)	8.00 (16.3)	41.3	49.3
7	69.27	57.20 (82.6)	34.14 (49.3)	13.22 (23.1)	9.84 (17.2)	12.07 (17.4)	33.3	43.0
8	77.37	66.97 (86.6)	38.34 (49.6)	17.11 (25.5)	11.52 (17.2)	10.37 (13.4)	37.0	42.8
9	95.78	83.96 (87.7)	49.00 (51.2)	20.52 (24.4)	14.44 (17.2)	11.82 (12.3)	36.5	41.6
PL	120.56	103.90 (86.2)	62.45 (51.8)	19.01 (18.3)	22.44 (21.6)	16.66 (13.8)	34.4	39.9

* The values in parenthesis are percentage for parameters.

였다. 갑각류 성체에서 탈피기를 위해 필요한 물질과 에너지의 대부분은 낚은 외피의 재흡수에 의해서 제공된다. 그러나 유우파우지드를 제외하고 십각목 유생은 낚은 외피의 많은 양을 재흡수하지 못한다 (Anger, 1984). 탈피체 형성으로 인한 성장(G_E)은 조직성장(G_T)과 관련하여, 유생의 발생단계가 진행해감에 따라 증가한 반면, 조직성장(G_T)은 감소하였다. Calow(1977)은 발생이 진행되어 가고 있는 동물에서 순성장효율을 연구 하였으며 일반적으로 성체로 되어감에 따라서 0에 달하는 감소 경향을 보인다고 보고하였다. 생체량 증가에 따른 순성장효율(K_2)의 증가는 일부 몇몇 십각목유생에 관하여 보고되어 있으나 (Mootz and Epifanio, 1974; Levine and Sulkin, 1979; Stephenson and Knight, 1980; Johns, 1982), K_2 값의 감소는 조건대 암반에 서식하는 계류의 유생(Dawirs, 1983), 유우파우지드(Ross, 1982b), 단각류 (Soldatova, 1970) 및 단미류(Anger, 1990)등 대부분의 종에서 보고하고 있으므로 K_2 값의 감소는 십각목유생에 있어서 대체로 일반적인 양상일 것으로 간주된다. 이는 발생시간의 경과에 따라 총성장과 순성장이 감소하는 경향은 작은 개체일수록 높은 순성장효율을 가지는 경향과 일치한다.

순성장효율을 중간에 비교하여 보면 보리새우의 유생에서 56~88%로서 가장 높고, 이미류의 zoea유생에서는 44~58%, 그리고 계류의 유생에서 6~60%로서 가장 낮았다 (Anger, 1991). 따라서 순성장효율은 먹이독립성의 정도를 나타내므로 순성장효율이 감소하는 경향은 유생기동안 유생단계의 수가 적고 변이가 적은 것과 관련이 있으며, 탈피주기 동안 형태적 변화 정도가 큰 것과 관련이 있다. Caridea는 탈피회수를 증가시키고, 형태적 변화를 감소시켜서 부적절한 환경에도 견디어 낼 수 있는 반면(Knowlton, 1974) 단미류 유생은 발생단계를 줄이고 형태적 변화를 크게 하기 위하여 체내에 충분한 축적에너지를 보유하여 보유물에 의존하는 특징을 가지고 있다(Anger, 1990).

이상과 같은 내용을 종합하여 볼때 징거미새우 유생의 탄소수지의 특성은 유생단계가 길고, 탈피주기가 짧으며, 유생발생의 진행에 따라 순성장효율이 감소하는점 등으로 미루어 유생기동안 서식하는 기수지역의 불안정한 환경과 종의 생리적특성에 의한 전략인

것으로 여겨진다.

요 약

담수산 징거미새우, *Macrobrachium nipponense*의 유생을 수온 25°C, 염분 7‰의 일정한 조건하에서 사육하면서 섭이율, 호흡률 및 성장률을 측정하였으며, 이를 토대로 하여 생물에너지학적 효율을 분석하기 위하여 모든 유생기간 동안 탄소의 흡수 및 분배에 대한 탄소수지를 구명하였다. 생리적, 생화학적 자료로서 시간의 경과에 따른 발생변화의 양상과 섭이율, 성장률 및 호흡률 등을 회귀방정식으로 나타내었다.

일일 섭이율(F)과 비탄소섭이율(F/C)은 대체로 탈피후기에서 최소를 나타내었다. 그리고 성장율(G, G/C)은 탈피주기 동안 감소하는 경향을 나타내었다. 탈피주기 동안 탄소는 초기에 증가하는 경향을 나타내었으며, 질소는 탈피전기까지 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었다. 단백질은 탈피전기의 중기에 다소 높은 축적을 보이면서 탈피전기의 말기까지 일정량을 유지하면서 체물질을 구성하는 우점성분으로 일정하게 유지되었다.

유생의 섭이(F), 성장(G), 호흡(R) 및 동화량(A)의 절대값은 탈피주기동안 뚜렷한 변화를 나타내었다. 탈피주기 가운데 탈피전기로 진행하면서, 성장율보다 호흡율이 더 커졌으며, 탈피주기 동안 변화하고 있는 호흡을 대사계수, 즉 호흡이 탄소로 전환되어 이화되고 있는 부분으로 나타내었다. 탈피후기에서 $R/G < 1$, ($R < G$)이며, 탈피전기로 진행해감에 따라 $R/G > 1$, ($R > G$)로 변동하였다.

부화후부터 후기 유생단계까지의 누적탄소수지를 보면, 총섭이량은 491.54 $\mu\text{g C/ind.}$ 였으며, 동화효율은 85.3%, 호흡율은 47.7% 그리고 성장율은 37.6%였다. 그리고 총섭이량중 동화되지 않고 소실된 양은 72.19 $\mu\text{g C/ind.}$ 로서 14.6%를 차지하였다.

참 고 문 헌

- Anger, K. 1984. Gain and loss of particulate organic and inorganic matter in larval and juvenile spi-

- der crabs, *Hyas araneus* during growth and exuviation. Helgol. Meeresunters, 38, 107~122.
- Anger, K. 1989. Growth and exuvial loss during larval and early juvenile development of the hermit crab *Pagurus bernhardus* reared in the laboratory. Mar. Bio., 103, 503~511.
- Anger, K. 1990. Modelling development changes in the carbon and nitrogen budgets of larval brachyuran crabs. Helgol. Meeresunters, 44, 53~80.
- Anger, K. 1991. Developmental changes in the bioenergetics of decapod larvae. Memo. Queensland Mus., 31, 289~308.
- Anger, K. and C. C. Jacobi. 1985. Respiration and growth of *Hyas araneus* L. larvae (Decapoda: Majidae) from hatching to metamorphosis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 88, 257~270.
- Anger, K., J. Harms, C. P. Schel and B. Seeger. 1989. Physiological and biochemical changes during the larval development of a brachyuran crab reared under constant conditions in the laboratory. Helgol. Meeresunters, 43, 225~244.
- Calow, P. 1977. Conversion efficiencies in heterotrophic organisms. Bio. Rev., 52, 385~409.
- Childress, J. J. and M. H. Price. 1983. Growth rate of the bathypelagic crustacean *Gnathophausia ingens* (Mysidacea: Lophogastridae). II. Accumulation of material and energy. Mar. Biol., 76, 165~177.
- Christiansen, M. E. 1988. Hormonal process in decapod crustacean larvae. Sym. Zool. Soc. Lond., 59, 47~68.
- Dawirs, R. R. 1983. Respiration, energy balance and development during growth and starvation of *Carcinus maenas* L. larvae (Decapoda: Portunidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 69, 105~128.
- Dawirs, R. R. and A. Dietrich. 1986. Temperature and laboratory feeding rates in *Carcinus maenas* L. (Decapoda: Portunidae) larvae from hatching through metamorphosis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 99, 133~147.
- Johns, D. M. 1982. Physiological studies on *Cancer irroratus* larvae. III. Effects of temperature and salinity on the partitioning of energy resources during development. Mar. Ecol. Prog. Ser., 8, 75~85.
- Knowlton, R. E. 1974. Larval development process and controlling factors in decapod crustacea, with emphasis on Caridea. Thalassia Jugoslavica, 10, 139~358.
- Levine, D. M. and S. D. Sulkin. 1979. Partitioning and utilization of energy during the larval development of the xanthid crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 40, 247~257.
- McNamara, J. C., G. S. Moreira, and P. S. Moreira. 1980. Respiratory metabolism of *Macrobrachium olfersii* (Wiegmann) zoeae during the molting cycle from eclosion to first ecdysis. Biol. Bull., 159, 692~699.
- Mootz, C. A. and C. E. Epifanio. 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. Biol. Bull., 146, 44~55.
- Omori, M. 1979. Growth, feeding, and mortality of larval and early postlarval stages of the oceanic shrimp *Sergestes similis* Hansen. Limnol. Oceanogr., 24(2), 273~288.
- Ross, R. M. 1982a. Energetics of *Euphausia pacifica*. I. Effects of body carbon and nitrogen and temperature on measured and predicted production. Mar. Biol., 68, 1~13.
- Ross, R. M. 1982b. Energetics of *Euphausia pacifica*. II. Complete carbon and nitrogen budgets of 8° and 12°C throughout the life span. Mar. Biol., 68, 15~23.
- Soldatova, L. N. 1970. The energy balance of the amphipod *Pontogammarus maeoticus*. Oceanol. Wash., 10, 129~138.
- Stephenson, M. J. and A. W. Knight. 1980. Growth, respiration and caloric content of larvae of the prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Comp. Endocri., 64, 122~128.

- Shin Y. K. and P. Chin. 1994. Physiological changes in related to molt cycle of *Macrobrachium nipponense* (De Haan). Bull. Korean Fish. Soc., 27 (4), 380~389 (in Korean).
- Stuart, V. 1986. Feeding and metabolism of *Euphausia lucens* (Euphausiacea) in the southern Benguela Current. Mar. Ecol. Prog. Ser., 30, 117~125.
- Warren, C. E. and G. E. Davis. 1967. Laboratory Studies on the Feeding, Bioenergetics, and Growth of Fish. In the Biological Basis of Freshwater Fish Production. Ed. S. D. Gerking, Wiley, New York, pp. 175~214.
-
- 1994년 7월 15일 접수
1995년 5월 6일 수리