

물렁가시붉은새우(*Pandalopsis japonica*) 부화유생 사육을 위한 영양강화 알테미아, 바지락살 및 배합사료의 공급 효과

권오남 · 임매순 · 박기영*

강릉원주대학교 해양생물연구교육센터, 충청남도수산물리소, 강릉원주대학교 해양자원육성학과

Effects of Three Diets on the Larval Growth of Pandalid Shrimp *Pandalopsis japonica*

O-Nam Kwon, Mae-Soon Lim¹ and Kie-Young Park^{2*}

Marine Biology Center for Research and Education, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-853, Korea

¹Chungcheongnam-do Fisheries Management Office, Boryeong 355-150, Korea

²Department of Marine Biology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

Larvae of pandalid shrimp *Pandalopsis japonica* are benthic, and may prefer bottom to planktonic food items. Three diets, enriched *Artemia* meta-nauplii (AR), clam meat (CM), and crumbled shrimp (CD), were evaluated as food for early larvae in terms of biometric growth R:D ratios. Larvae fed AR and CM had significantly greater total length and dry weight than did larvae fed CD ($P<0.05$). Survival was significantly greater in larvae fed CM than in those fed AR and CD ($P<0.05$). R:D ratios were also significantly higher in larvae fed AR and CM than in those fed CD ($P<0.05$). Planktonic *Artemia* meta-nauplii containing high levels of fatty acids and amino acids were not suitable for either normal somatic growth or survival at early benthic larval stages. Furthermore, it is necessary to determine the optimal feeding duration to increase digestibility of AD. Thus, we propose that clam meat is the best diet for pandalid shrimp larvae.

Key words: *Pandalopsis japonica*, Larvae, Food, Clam meat, *Artemia*

서 론

물렁가시붉은새우(*Pandalopsis japonicus*)는 절지동물문(Phylum Arthropoda) 십각목(Order Decapoda) 도화새우과(Family Pandalidae)에 속하며 전장 10 cm 이상으로 동해안에서 겨울철 새우통발에 의해 조업되는 동해안 유용새우자원이다(NFRDI, 2014). 도화새우과에는 물렁가시붉은새우를 포함해서 점박이 꼬마도화새우(*Plesionika ortmanni*), 북방도화새우(*Pandalus prensor*), 긴줄꼬마도화새우(*Plesionika izumiae*), 도화새우(*Pandalus hypsinotus*), 북쪽분홍새우(*Pandalus eous*) 및 남방도화새우(*Pandalus gracilis*)가 있는데, 산업적으로 중요한 종은 본 연구의 물렁가시붉은새우와 도화새우, 북쪽분홍새우가 있다. 북쪽분홍새우는 아직까지 자원관리를 위한 방류사업은 이루어 지지 않고 있으며, 도화새우의 경우 초기 유생의 크기가 작

고, 먹이적응이 순조롭지 않아서 유생발달과 에너지수지에 대한 생태생리학적 보고가 있을 뿐(Kim et al., 1996) 아직까지 기초적인 연구들만 진행되고 있다(Choi and Ma, 2004). 동해안의 유용 갑각류 자원인 물렁가시붉은새우의 종묘생산과 방류를 위한 연구는 수 년 전부터 진행되어 오고 있지만, 방류량의 증가는 크게 기대할 수 없는 실정이다. 방류량의 증가를 위해서는 이들의 생태생리학적 특성을 이해하고 고밀도 종묘생산을 위한 여러 가지 방법이 모색되어야 하지만, 현재까지는 초기 적정 먹이 조차 보고된 바가 없다. 도화새우과의 다른 종류들은 부유생활을 하는 조에아로 부화하지만(Kim et al., 1996), 물렁가시붉은새우의 부화 조에아는 저서생활을 하는 특징이 있다(Kim et al., 2013). 물렁가시붉은새우는 수 년 전부터 동해안에서 시험적으로 종묘생산이 실시되어 왔고, 최근 울릉도, 독도를 포함해서 동해안에 방류되기 시작하였다. 물렁가시붉은새우의 종묘생산을

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0562>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 47(5) 562-566, October 2014

Received 14 January 2014; Revised 16 July 2014; Accepted 25 September 2014

*Corresponding author: Tel: +82. 33-640-2342 Fax: +82. 33-640-2340

E-mail address: parkky@gwnu.ac.kr

위하여 지금까지는 유생의 크기와 먹이 확보의 수월성으로 부화 직후의 알테미아를 초기 먹이로 선택해서 사용하고 있다. 하지만 부유하는 알테미아를 공급하는 것은 물렁가시붉은새우의 부화 유생인 조애아 단계의 생태적 특징을 고려하지 않은 먹이 공급방법이었다.

따라서 본 연구에서는 물렁가시붉은새우 조애아 유생의 저서 생활을 하는 생태적 특징을 고려하여 가진 영양강화한 알테미아, 바닥으로 공급되는 이매패류의 육질부 그리고 새우용 배합 사료를 이용하여 사육 초기 적정 먹이를 규명하기 위한 사육 실험을 실시하여 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험생물

2013년 2월 2-3일, 이틀 동안 부화한 물렁가시붉은새우 (*Pandalopsis japonicus*) 부화 유생인 zoea I기 착저 유생(전장, 8.2 ± 0.15 mm, 건중량 0.37 ± 0.022 mg)을 모하 관리수조에서 별도로 수집하여 실험에 사용하였다. 실험 전 먹이는 난황을 가지고 있는 갯 부화한 알테미아 유생을 난각 분리 후 사용하였다. 사육 조건은 수온 7.5 ± 0.36 °C, 염분농도 33 ± 0.1 ppt의 표층수를 투명한 플라스틱 25 L 수조에서 일일 24회전 시켰다. 새우 치하의 수용밀도는 사육수 20 L에 바닥면적을 고려하여 40 마리/수조로 하였다. 실험용 사료는 갯 부화한 알테미아 유생을 24 시간 지질 영양강화한 것(AR), 다진 바지락(*Amygdala philippinarum*) 살(CM) 그리고 부순 치하용 사료(AD, 수협, 한국)이 있으며, 일일 0.2 g (최초 1-15일), 0.4 g (16일-실험종료일)을 2회로 나누어서 각 실험구에 맞도록 매일 아침(09:00)과 오후(15:00)에 공급하였다. 또한 모든 사육실험은 Kim et al. (2013)에 따라 post-larvae기로 성장하는 약 1개월 동안 3회 반복하여 동시에 실험하였다.

성장측정

1개월 간의 사육에서 얻어진 성장한 물렁가시붉은새우 치하는 개체수를 측정하여 생존율을 계산한 후, 임의의 10마리씩을 전장 및 미각장 측정을 위해 일부의 사육수와 함께 얼음물에 담궜다가 0.01 mm까지 디지털 버니어캘리퍼스(Mytutoyo, Japan)로 측정하였다. 성장 측정을 마친 치하는 개체별로 구분하여 60 °C 열풍건조기(Daesan, Korea)에서 24시간 방치 후 전자저울(Precisa, Swiss)로 0.1 mg까지 측정하였다.

생화학적 성분분석

실험에 사용된 새우의 사료는 영양강화한 알테미아, 다진 바지락 살 그리고 치하용 사료를 사용하였다. 바지락은 NFRDI (2009)의 수산물 성분표(2009)를 참고하여 일반성분과 지방산 및 아미노산을 mg/g dry matter로 환산하여 확인하였으며, 치하용 사료와 영양강화한 알테미아는 동결건조 후 2 mg 이하로

정량된 시료를 자동아미노산분석기(L-8800, Hitachi, Japan)로 분석하였으며 Folch et al. (1957)의 방법으로 지질을 추출하여 Parrish (1987)의 방법에 따라 유리지방산을 methylation 시켜서 auto-sampler가 장착된 Gas chromatography (6890N, Agilent, U.S.A.)로 분리분석(Kwon et al., 2013a, 2013b)하였다. 실험 종료 시 치하의 핵산분석을 위한 시료는 각 실험구의 각 반복수조에서 임의로 2마리씩 채취하여 분석 시까지 -25 °C에 보관하였다. 채취된 치하는 micro grinders (Kontes PELLET PESTLE®)를 이용하여 1,800 rpm에서 1분간 균질화하여 핵산분석용 시료로 사용하였다. RNA와 DNA는 3 M KOH와 5% perchloric acid (PCA)를 용매로 하여 추출하였다. 그리고 추출된 RNA와 DNA 수용액은 흡광계(Thermo, U.S.A.)로 260 nm의 파장값을 Peragón et al. (2001)과 Fukuda et al. (1986)에 방법에 따라 정량하였다. 치하의 수용성 단백질은 각 시료의 균질액 중 일정량을 원심분리한 후 상등액을 Bradford (1976)의 Bio-red protein assay 법으로 측정하여 albumin으로 정량하였다.

통계처리

실험을 통해 얻어진 1개월 사육 치하의 생존율, 전장, 미각장, 건조중량, 단백질, 핵산비 및 RNA와 DNA 함량은 SPSS program (Ver 19.0)을 이용하여 ANOVA test를 실시한 후 Duncan의 다중검정을 통해 평균간의 유의성을 95% 범위에서 분석하였다(Duncan, 1955).

결 과

물렁가시붉은새우 유생의 성장 및 생존율 실험에 사용된 먹이의 총 지질과 지방산 조성은 Table 1에 나타내었다. AR구는 총지질이 25.8%였으며, 이중 포화지방산이 20.5%, 단일불포화지방산이 19.4%였고 고도불포화지방산은 60.1%로 높았다. CM구는 총 지질함량 1.9% 중 28.8%가 포화지방산, 22.1%가 단일불포화지방산이었고, 49.1%가 고도불포화지방산이었다. AD구는 7.0%의 총 지질 함량이었다. 지방산 조성으로는 영양강화한 알테미아가 EPA 함량은 2.32%, DHA 함량이 29.2%를 차지하였다. 조갯살인 경우 EPA가 9.6%였으며, DHA 함량이 23.3%로 조사되었다.

1개월간 성장한 물렁가시붉은새우 치하의 생존, 성장, 수용성단백질 및 핵산 함량은 Table 2에 나타내었다. 생존율은 CM에서 $60.0 \pm 5.20\%$ 로 유의적으로 가장 높게 나타났으며 ($P < 0.05$), AR에서 가장 낮은 $35.0 \pm 0.52\%$ 로 조사되었다. 전장은 13.5 ± 0.07 mm로 CM에서 유의적으로 가장 높았지만 ($P < 0.05$), AR구와 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 건조중량과 미각장은 모든 실험구에서 19.5-23.3 mg과 3.3-3.5 mm로 차이를 나타내지 않았다($P > 0.05$). 개체별 단백질 함량 또한 0.139-0.142 mg/ind로 실험구간 유의적인 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 핵산에서 RNA 함량은 AR과 CM에서 각각

Table 1. Fatty acid composition (% of total fatty acids) and protein-bound amino acid (mg/g dry matter) of enriched *Artemia* sp. for 24 hours (AR), clam *Tapes philippinarum* meat (CM) and artificial crumbled shrimp diets (AD) supplied for the Pandalid shrimp, *Pandalopsis japonica* larvae for a month

		AR	CM*	AD**		
Total lipid (%)		25.8	1.9	7.0		
Fatty acid (% of fatty acid area)	SFA***	C16:0	8.5	10.3	0.5	
		Others (C14:0 and C18:0)	4.9	8.7	5.4	
		Sum	20.5	28.8	5.9	
	MUFA**	C16:1			21.0	
		C18:1	12.7	3.8	0.6	
		Others (C16:1 and C22:1)	3.6	17.1	20.3	
		Sum	19.4	22.1	42.0	
	PUFA**	C18:3	20.1	1.4	10.3	
		C20:5	2.3	11.4	7.3	
		C22:6	29.2	23.3	14.1	
		Others (C18:2 and C22:5)	6.2	2.5	20.3	
		Sum	60.1	49.1	52.1	
	Protein (%)		34.2	57.6	38.0	
	Amino acid (mg/g dry matter)	EAA**	Isoleusin	180.4	284.8	153.3
			Leusin	256.1	476.0	316.2
Lysine			277.7	651.9	332.3	
Methionin			37.0	176.0	122.6	
Phenilalanin			157.7	246.2	174.2	
Threonin			157.9	303.8	216.2	
Valine			205.8	282.9	192.0	
Sum			1,272.6	2,421.5	1,506.7	
Non-EAA**		Cystein	45.1	86.1	61.3	
		Tyrosine	126.2	249.4	175.8	
		Histidine	85.7	155.7	100.0	
		Arginine	258.8	546.2	350.1	
		Alanin	244.5	418.	242.0	
		Aspartic acid	259.8	495.6	306.5	
		Glutamic acid	234.6	541.8	338.8	
Proline	182.3	222.2	145.2			
Serine	125.1	293.7	193.6			
Sum	1,562.1	3,008.9	1913.3			

* No. 3 artificial diets to shrimp juvenile manufactured by Suhyup Diet Co. LTD.

**SFA, MUFA, PUFA, EAA and Non-EAA indicate saturated fatty acids, mono-unsaturated fatty acids, poly unsaturated fatty acids, essential amino acids and non-essential amino acids.

AR, enriched *Artemia* sp. for 24 hours after hatching ($563.8 \pm 77.15 \mu\text{m}$); CM, boiled clam *Tapes philippinarum* meat; AD, artificial crumbled shrimp diets (under $500 \mu\text{m}$ sieved particles).

$0.10 \pm 0.002 \text{ mg/ind.}$ 와 $0.10 \pm 0.002 \text{ mg/ind.}$ 로 $0.08 \pm 0.002 \text{ mg/ind.}$ 의 AD보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). DNA 함량은 AR과 CM에서 각각 $3.5 \pm 0.13 \text{ mg/ind.}$ 와 $3.7 \pm 0.07 \text{ mg/ind.}$ 로 AD의 $3.0 \pm 0.17 \text{ mg/ind.}$ 보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 또

한 RNA/DNA ratio는 CM에서 0.028 ± 0.0007 로 유의적으로 가장 높았지만($P < 0.05$), AR의 0.027 ± 0.0004 와 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$).

Table 2. Total length (mm), uropod length (mm), wet weight (mg), survival (%), protein contents (mg/ind.), RNA contents (mg/ind.), DNA contents (mg/ind.) and RNA/DNA ratio of *Pandalopsis japonica* post-larva fed on different three diets (AR, CM and AD)¹

		AR	CM	AD	
Initial	Total length (mm)		8.2±0.15		
	Dry weight (mg)		0.37±0.022		
After a month	Survival (%)	35.0±0.52 ^a	60.0±5.20 ^c	43.3±4.70 ^b	
	Total length (mm)	13.4±0.14 ^b	13.5±0.07 ^b	11.2±0.39 ^a	
	Dry weight (mg/ind.)	22.3±0.59 ^{ab}	23.3±0.72 ^b	19.5±1.05 ^a	
	Uropod length (mm)	3.4±0.18	3.5±0.13	3.3±0.22	
	Protein (mg/ind.)	0.139±0.0012	0.142±0.0015	0.141±0.0025	
	Nucleic acid	RNA (mg/ind.)	0.10±0.002 ^b	0.10±0.002 ^b	0.08±0.002 ^a
		DNA (mg/ind.)	3.5±0.13 ^b	3.6±0.07 ^b	3.0±0.17 ^a
		Ratio	0.027±0.0004 ^{ab}	0.028±0.0007 ^b	0.025±0.0009 ^a

¹Superscripts in a row indicate significant difference among the tested different feed.

AR, enriched Artemia sp. for 24 hours after hatching (563.8±77.15 µm); CM, boiled clam *Amygdala Philippinarum* meat; AD, artificial crumbled diets (under 500 µm sieved particles).

고 찰

동해안 유용새우류 중 물렁가시붉은새우(*P. japonicas*)는 조에아로 부화해서 다른 종류들과는 달리 바로 저서생활을 한다. 따라서 부유성 먹이보다는 바닥에 가라앉아 있는 먹이를 선호할 가능성이 높다. 본 연구에서 이 물렁가시붉은새우의 조에아 1기 치하까지 부유하는 알테미아보다 조개살을 공급한 경우에 생존율이 월등히 높았다. 이것은 알테미아가 유생과 치하를 활력이 높은 개체들만 섭취가 가능했던 것으로 판단된다. 즉 폐사한 개체들은 알테미아의 유영성으로 인하여 섭식이 어려웠던 것을 의미한다.

사료는 주로 흰다리새우, *Litopenus vannamei*용 사료였지만, 새우 치하의 영양요구가 잘 고려되어 만들어진 것에 대해서는 의심할 여지가 없다. 그럼에도 불구하고 사료를 공급한 경우 생존율이 알테미아보다는 높았지만, 전장과 건중량 같은 성장요소가 알테미아 보다도 낮았다(Table 2). 일반적인 어류의 자어 혹은 무척추동물의 유생들은 섭취 후 소화흡수과정을 거쳐서 배출될 때까지의 시간이 2-3시간 정도이다(Kwon et al., 2013c). 본 실험에서 상업용 사료보다 알테미아 공급구에서 성장이 우수하였던 것은 새우 유생이 상업화된 사료를 충분히 소화, 흡수할 만큼 소화력이 발달하지 않았다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 또한 Kolkovski (2001)는 미립자사료의 낮은 동화효율을 높이기 위해서는 반드시 살아있는 먹이생물 혹은 활성을 가지는 효소를 직접적으로 공급해 줘야만 한다고 하였다. 결국 결과는 사료의 완벽한 영양학적 조성을 충분히 활용할 수 있는 능력을 갖추지 못했다는 일반적인 초기생활사 상의 문제가 물렁가시붉은새우에서도 적용된다는 것을 보여주고 있다.

새우 유생의 식성이 실험실에서와 자연에서 다를 수는 있지만, Levay et al. (2001)은 장의 형태를 근거로 새우, *Lysmata*

debelius 유생은 육식성이며, 조에아 1에서 2기로 변태하는 단계에서 위의 기능이 발달하게 된다고 보고하였다(Jones et al., 1997). *L. debelius*의 유생보다 *P. japonica*의 유생은 훨씬 더 크고 장이 항문까지 선형으로 이어지는 전형적인 육식성 소화기관의 특징을 보인다. 이로 인해 기능적인 위의 활동이 없다면 미립자사료와 같은 가공/성형된 입자로부터 영양분을 원활하게 공급받는 것은 힘들어서 사육 초기 폐사가 많았을 가능성이 매우 높다.

이것을 뒷받침할 근거로 핵산관련 지수를 사용할 수 있다. 한 개체에서의 RNA 함량은 세포 내 활성을 직접적으로 가리키는 것이기 때문에(Fukuda et al., 1986) 사료공급구에서 낮은 RNA 함량은 섭취 혹은 섭취 후 소화/흡수된 영양분의 양이 적다는 것을 의미한다. 그리고 사료 공급구에서 DNA 함량이 낮은 것은 낮은 세포활성으로 세포분열이 적었기 때문에 단위 세포 내에 일정량 존재하는 이 함량이 낮게 조사되었던 것이다. 결국 단위세포 당 세포의 활성도의 지표가 되는 RNA/DNA ratio가 사료 공급구에서 낮게 나타난 것은 낮은 세포 활성으로 인한 체성장이 늦다는 것을 나타내는 결과이다. 이 ratio와 체성장 경향은 일치한다.

결과적으로 본 연구에서 영양적으로 낮지 않은 사료와 알테미아 공급구에서 보인 결과는 의미가 상반된다고 할 수 있다. 첫 번째로 AR구의 성장은 양호했지만 생존율이 낮은 이유는 부유성 알테미아를 충분히 섭취하기에는 물렁가시붉은새우 초기 유생들의 활력이 낮다는 것을 의미한다. 두 번째로 사료 공급구의 낮은 성장과 생존율은 초기 유생들의 낮은 소화력으로 인해 흡수할 수 있는 영양분이 적어서 낮았다고 판단된다. 하지만 위(functional stomach)의 기능이 활발해지는 조에아 2기 혹은 메갈로파 단계에서는 미립자사료의 소화흡수력이 높아졌을 가능성이 있기 때문에 실험 초기 높은 폐사율이 있었을 가능성을 시

사하는 부분이다. 결국 조개를 다져서 공급하는 것은 물렁가시 붉은새우들의 유생의 낮은 소화력과 부족한 포식능력을 고려하였을 때 가장 적합한 먹이라고 판단된다. 하지만 방류 전까지 성장을 시키기에는 다소 먹이공급상의 불편한 부분이 있기 때문에 배합사료와 생먹이를 함께 공급하는 방법으로 개선해야 할 여지가 있다고 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 수산실용화학기술개발사업에 의해 이루어진 것임

References

- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72, 248-254.
- Choi JH and Ma CW. 2004. Larval survival rate and growth of *Pandalus gracilis* using two temperature conditions reared in the laboratory. *J Aquaculture* 17, 58-61.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F-tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Folch J, Lees M and Stanley GHS. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
- Fukuda M, Y Yano, H Nakano and M Sugiyama. 1986. Protein and nucleic acid changes during early developmental stages of Cresthead flounder. *Bull Jap Soc Sci Fish* 52, 951-955.
- Jones DA, Kumlu M, Le Vay L and Fletcher DJ. 1997. The digestive physiology of herbivorous, omnivorous and carnivorous crustacean larvae: a review. *Aquaculture* 155, 285-295.
- Kim DH, JJ Lee and KY Park. 1996. Energy budget for larval development of *Pandalis hypsinotus* BRANDT. *J Aquaculture* 9, 179-186.
- Kim WG, Kwon ON and KY Park. 2013. Energy Budgets of Pandalid Shrimp, *Pandalopsis japonica* Larvae in the Different Larval Stages. *Kor J Fish Aquat Sci* 46, 807-812. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0807>.
- Kolkovski S. 2001. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles-implications and applications to formulated diets. *Aquaculture* 200, 181-201.
- Kwon ON, KIM BM, DS Kim, Park KY and Park HG. 2013a. Method of determination on amino acid, No 10-2013-0132916, KPRIS, Seoul, Korea, 1-16.
- Kwon ON, KIM BM, DS Kim, Park KY and Park HG. 2013b. Method of determination on fatty acid, No 10-2013-0132915, KPRIS, Seoul, Korea, 1-17.
- Kwon ON, KY Park and HG Park. 2013c. The rotifer *Brachionus calyciflorus* and water flea *Moina macrocopa* as alternative food for production of the fighting fish *Betta splendens*. *Kor J Fish Aquat Sci* 46, 393-398. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0393>.
- LeVay L, Jones DA, Puello-Cruz AC, Sangha RC and Ngamphongsai C. 2001. Review – Digestion in relation to feeding strategies exhibited by crustacean larvae. *Comp Biochem Physiol A* 128, 623-630.
- National Fisheries Research and Development Institute. 2009. Chemical compositions of marine products in Korea 2009. NFRDI, 1-352.
- National Fisheries Research and Development Institute. 2014. Species Information System. Retrieved from <http://portal.nfrdi.re.kr/oceanlife/intro/introduce.jsp> on 2 Jan.
- Parrish CC. 1987. Separation of aquatic lipid classes by Chromarod thin-layer chromatography with measurement by Iatroscan flame ionization detection. *Can J Fish Aquat Sci* 44, 722-731.
- Peragón J, Barroso JB, Garcia-Salguero, L Higuera M and Lupiáñez JA. 2001. Growth, protein-turnover rates and nucleic-acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development. *International J Biochem Cell Biol* 22, 1227-1238.