

먹이섭취 후 흰다리새우, *Litopenaeus vannamei* (Boone) 소화기관의 trypsin 활성 및 배설률

김수경*, 김대현, 김봉래, 김종식, 조영록, 서형철, 김종화, 한창희¹, 장인권²
국립수산과학원 서해수산연구소 갑각류연구센터, ¹동의대학교,
²국립수산과학원 서해수산연구소

Post Feeding Trypsin Activity in the Digestive Organs and the Gastric Evacuation Rate of *Litopenaeus vannamei* (Boone)

Su-Kyoung Kim*, Dae-Hyun Kim, Bong-Rae Kim, Jong-Seek Kim, Yeong-Rok Cho, Hyung-Cheol Seo,
Jong-Hwa Kim, Chang Hee Han¹ and In Kwon Jang²

Crustacean Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Chungnam 357-945, Korea

¹Dong Eui University, Pusan 608-714, Korea

²West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea

The tryptic enzyme activities from hepatopancreas, foregut, midgut and feces were examined to optimize the feeding method in whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. The highest tryptic enzyme activity was found in hepatopancreas. The enzyme activities of hepatopancreas were 4 times higher than those of foregut per mg dry weight at 30 minutes feeding. Post feeding period, the activities of hepatopancreas increased continuously up to 30 hours after feeding. Trypsin activities of foregut showed about 3 times higher than did those of midgut. Average activity of foregut reached the pick with 303 ± 68 (mean \pm SE) nmol/mg/min at two hours after feeding and kept the activity up to 4 hours after feeding and thereafter the activity decreased. Average tryptic enzyme activity of midgut increased to 96 ± 26 nmol/mg/min up to two hours after feeding and it decreased to 52 ± 17 nmol/mg/min at five hours after feeding eventhough the gastric evacuation rate was still 50% by then. Foregut clearance occurred in 30 minutes after feeding and midgut weight increased up to 2 hours after feeding. Also we found that the maximal food ingestion in foregut was equivalent to the average 0.3% of its body weight by 30 minutes after feeding. Up to 5 hours after feeding, the weight ratio of midgut to body weight reduced, but still the weight ratio of foregut to body weight kept the similarity until then. These indicated that the tryptic enzyme activity and the clearance rate are different among the digestive organs and between foregut and midgut during the post feeding period in whiteleg shrimp.

Keywords: Whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Trypsin, Feeding rate, Evacuation

서 론

흰다리새우는 보리새우과(Penaeidae)에 속하는 대형의 식용 새우로서 원산지가 중남미 태평양 연안이지만 현재 아시아를 포함한 세계 각지에서 널리 양식이 되고 있는 종이다. 우리나라에서는 2003년 국립수산과학원 갑각류연구센터에서 처음으로 미국(하와이)으로부터 바이러스 비감염(SPF, specific pathogen free) 어미새우를 이식하여 종묘생산 및 축적식 양식 가능성을 검토하였고, 기술이전을 통하여 2004년에는 민간 양식장에서 약 100톤이 생산되었다. 2005년도부터는 종묘입식량의 증가추세로

보아 최근 생산량이 감소하고 있는 대하의 대체품종으로 양식이 확대될 전망이다.

흰다리새우 배합사료는 아직 국내에서는 개발되어 있지 않은 상태로, 현재 다른 보리새우류 배합사료를 이용한 양식이 행하여지고 있다. 그러나 본종의 단백질 요구량은 국내에서 양식되고 있는 새우류의 단백질 요구량보다 현저하게 낮은 32%로 보고되고 있다(Kureshy and Davis, 2002). 따라서 수질오염 및 비용절감 차원에서 전용사료 개발이 요구되고 있는 실정이다.

먹이로부터 에너지를 얻기 위해서는 섭취한 영양소가 소화과정을 거치는 동안 소화액에 들어있는 소화효소의 촉매작용에 의해 소화기능을 가지는 세포로 흡수되어야 하며 동화되지 않은 물질들은 동물조직과 효소 등이 혼재한 상태의 배설물로 배출

*Corresponding author: skkim@nfrda.re.kr

이 된다(Córdova-Murueta et al., 2003). 갑각류 중 보리새우류는 먹이 조성의 변화에도 비교적 잘 적응하고 주로 간체장에서 소화효소를 합성하고 분비한다고 알려져 있다(Le Moullac et al., 1996). 양성 중인 새우류의 먹이섭취는 먹이공급 횟수와 시간(Sick et al., 1973; Sedgwick, 1979), 탈피(Hill and Wassenberg, 1992), 먹이의 양과 분포(Sick et al., 1973; Nunes and Parsons, 1999), 사료 조성 및 기호성(Sick and Baptist, 1973; Holland and Borski, 1993), 일장기간(Reymond and Lagardère, 1990; Nunnes et al., 1996), 수질변화(Liao, 1969) 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려지고 있다. 일반적으로 양성기간 동안 일일 공급량을 분할하여 다회 공급하는 것이 사료의 영양손실을 막고 수질악화를 최소화하여 새우의 성장을 촉진시킨다는 것이 통념으로 되어 있다. 하지만 최근 연구에서 먹이공급 횟수는 흰다리새우의 성장에는 큰 영향을 미치지 않고(Velasco et al., 1999), 보리새우류의 일종인 *Penaeus merguensis* (Sedgwick, 1979)와 가재류의 일종인, *Cherax destructor*에서도 먹이섭취율이 높으면 먹이전환과 동화율이 낮아지고, 소화가 이루어지지 않은 상태에서 배설물로 배출이 된다는 기존 통념과는 상반된 결과가 보고(Mills and McCloud, 1983)되는 등 새우류의 먹이공급체계가 확립되어 있지 않을 뿐 아니라 소화기작에 관해서도 잘 알려져 있지 않다.

한편, 해양생물의 소화기작을 이해하기 위한 연구의 일환으로 단백질 분해효소의 일종인 trypsin을 어류유생의 소화과정 및 영양상태 등을 파악하기 위해 많이 활용하고 있지만(Ueberschaer, 1992, 1999; Hjelmeland et al., 1988), 갑각류의 경우 소화과정에서의 trypsin의 양적변동이나 기능에 관해서는 최근에 일부 종을 대상으로 생리, 생화학적, 사료학적인 분야에서 단편적인 연구가 시도되고 있을 뿐이다(Lee, 1984; Jiang et al., 1991; García-Carreño, 1992). 새우류의 Trypsin은 chemotrypsin과 함께 간체장에서 다량 검출되는 단백질 분해효소로서 60% 이상의 총단백질 분해에 관여하며(Galgani et al., 1984), 이 효소들의 합성과 조절과정을 파악하면 생물체의 생리를 이해하고 새우류 양식시 먹이공급방법을 개선하는데 중요한 자료를 제공할 것이다.

본 연구는 효율적인 먹이공급체계를 확립하기 위한 연구의 일환으로 먹이 섭취 후 경과시간에 따른 trypsin의 활성변동을 각 소화기관별로 분석을 하여 효율적인 먹이공급과 성장을 유도하여 새우류 사육기술을 개발함을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

실험방법

갑각류 연구센터에서 생산한 흰다리새우를 사용하여 2005년도 1월 9일부터 12일까지 72시간 동안 실험을 실시하였다. 먼저 실험동물의 소화관을 완전히 비우기 위해 48시간동안 먹이공급 없이 안정된 상태로 수용하였다. 이후 소화관이 비워진 상

태의 새우(평균 체중 9.9 ± 1.9 g)를 5마리씩 11개의 20 L 원형 아크릴 수조에 수용한 후, 수온은 20 ± 0.5 °C로 유지하고 에어스톤으로 포기를 한 상태에서 2 g씩의 배합사료를 공급하여 충분한 먹이섭취가 이루어지도록 하였으며 시간별 먹이섭취 상태를 관찰하였다.

먹이섭취량 및 배설

먹이공급 1시간 후에는 각 실험구의 잔류먹이를 수거, 동결건조(-56 °C, 48시간)를 하였고 자연손실에 의한 먹이 잔류량의 감소를 비교구로 하여 먹이섭취량을 조사하였다. 개체별로 먹이섭취량의 측정은 다음과 같은 공식에 의해 산정하였다: $FC = F_1 \times (F_0 - F_1)$ (Nunes and Parsons, 2000). FC (Food conversion)는 섭취된 먹이의 건중량(g)을 나타내었으며, F_0 는 실험구의 공급된 먹이량, F_1 은 수집된 먹이 잔류량(g)으로 표기하였다. 자연먹이 손실량을 감안한 F_1 은 새우를 수용하지 않은 수조에 넣은 먹이의 양(CF_0)과 한 시간 경과 후 회수하였을 때 먹이의 양(CF_1)의 비(CF_1/CF_0)로 나타내었다. GER (Gastric evacuation rate)는 먹이섭이 후 소화관의 무게가 최대치에 이른 후부터 소화관의 무게를 제외하고 섭취된 먹이량이 감소하는 비율로 산정하였다.

Trypsin 효소 활성측정

Trypsin 활성은 먹이공급 후 0.5, 1, 2, 3, 4 그리고 5 시간이 지난 후, 새우를 5마리씩 채포하여 간체장, 전장, 중장 그리고 배설물을 분리하고(Fig. 2), -60°C에서 동결 건조하여 형광광도법으로 각 개체마다 측정을 하였다(Ueberschaer, 2000). 새우들로부터 절취한 간체장(1~1.5 mg), 전장(1.5~2.5 mg) 그리고 중장(2.5~3.5 mg)은 Tris-HCl 용액(0.1 M Tris(hydroxymethyl)aminomethan, 0.02 M $CaCl_2 \cdot H_2O$, Merck사, HCl, pH 8) 500 μ l를 첨가하여 마쇄를 하고, 0~4°C, 4,110 g에서 60분간 원심분리를 하여, 상등액을 50 μ l씩 microplate에 3회 분주를 하고 0.2 mmol의 Na-benzoyl-L-arginin-4-methylcoumarinyl-7-amid (Bachem, 사, 0.5% dimethyl-sulfoxide, Merck) 기질용액을 250 μ l씩 첨가하여 fluorescence microplate reader (Fluoroskan Ascent FL, Thermo사)로 30°C에서 20분간 가운을 한 후, 2분 간격으로

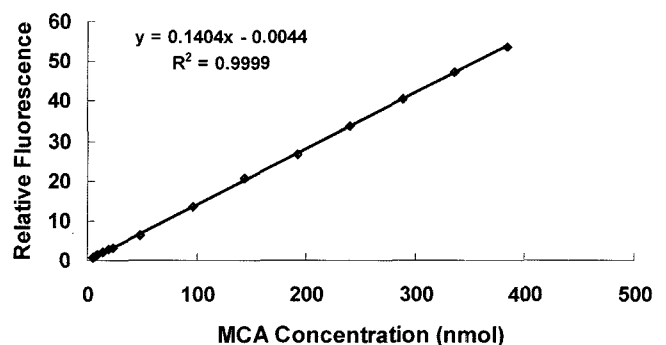


Fig. 1. The lineal relation between relative fluorescence and MCA concentration as a standard value.

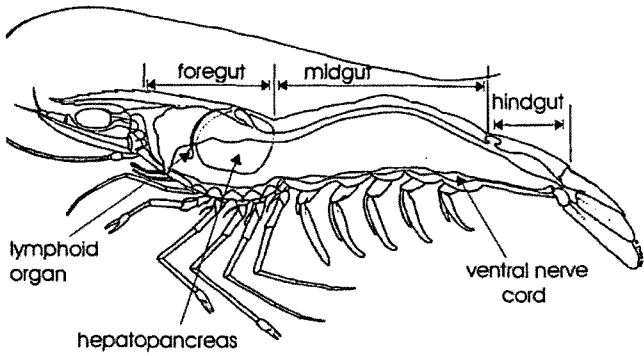


Fig. 2. Simple external anatomy of a shrimp (www. Sci.tamucc.edu).

5번 측정을 하여 평균 trypsin의 활성을 측정하였다. 효소의 활성은 1분 동안 단위중량당 기질의 가수분해된 양으로 표시하였다(hydrolysed MCA nmol/mg/min). 측정시 extinction은 380 nm, emission은 440 nm였다. 표준검정식(standard curve)은 7-amino-4-methylcoumarin (Bachem사) 0.5 mg을 100 µl dimethylsulfoxide 용액에 녹여 Tris-HCl 용액으로 희석을 하고 각 농도별로 측정을 하였다(Fig. 1).

결 과

먹이섭취량 및 배설

각 실험구마다 수용한 새우 체중의 10%에 해당하는 먹이를 공급한 후 1시간이 경과하였을 때 각 실험구의 섭취량을 Table 1에 표기하였다. 자연먹이 손실량(11%)을 감안한 각 실험구별 1시간동안의 먹이 섭취량(FC)은 평균 0.72±0.05 g이었다. 먹이 공급 후 30분 만에 5마리의 흰다리새우가 0.43 g의 먹이를 섭취하여 1시간동안의 섭취량의 약 80%를 30분 이내에 섭취하였다. 한편, 섭식 후 10분 후에 최초로 배설이 이루어졌고, 30분 후 2.5 mg (건중량) 그리고 소화경과시간에 따라 각 실험구에서 5.1~21.1 mg의 배설물이 수거되었다. 배설물을 나타내는 GER은 소화시간이 경과함에 따라 지속적으로 증가하여 5시간 후 50%의 비율을 나타내었고 섭취된 먹이의 절반이 소화흡수

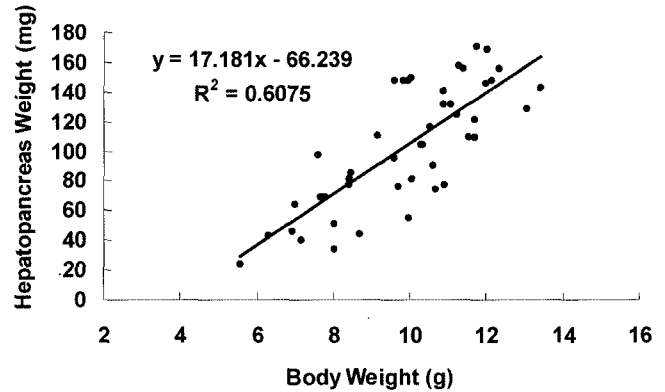


Fig. 3. Linear relation between dry hepatopancreas weight and wet body weight of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*.

후 배설되었다. 23시간 경과시 GER은 86%, 30시간 후 89%로 나타나 먹이섭취 후 장시간이 지나도 11%의 먹이가 증장에 일부 잔류하고 있는 것으로 나타났다. 배설물내의 trypsin 효소의 활성은 시간에 따라 증감을 반복하는 경향을 보였고 먹이 섭취량에 따른 배설물의 양은 상관관계를 나타내지 않는 것으로 분석되었다.

소화시간에 따른 체중에 대한 간체장, 전장과 중장의 무게비율

체중(습중량)과 간체장 무게(건중량)의 관계는 $Y=19.358X-88.519$ 의 상관관계식을 보여 체중이 클수록 간체장의 무게가 비례하여 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

각 실험구마다 1일간 먹이섭취량(수용한 새우체중의 10%)에 해당하는 먹이를 공급한 후 경과시간에 따른 체중(습중량)에 대한 전장과 중장의 건중량 비율을 Fig. 4에 나타내었다. 소화관을 비우기 위해 48시간 절식한 새우의 경우(0 h) 체중에 대한 전장과 중장의 무게비율은 0.1%와 0.06%로 매우 낮은 반면, 먹이를 공급하고 30분 이후에는 전장의 무게가 급격히 증가하여 체중의 0.3±0.06%까지 도달하였다. 하지만 1시간 경과후의 새우에서는 0.28±0.03%로 더 이상 전장의 무게는 증가되지 않는 반면, 중장의 무게가 0.13±0.2%로 증가하기 시작하였다. 총 먹이 섭취량으로 계산되어지는 체중에 대한 전장과 중장의 무게

Table 1. Food intake during one hour feeding time and trypsin activity in feces. Control means artificial pellet in same experimental condition (20 Liter tank, aeration) without shrimps. Food intake was compensated with natural loss in experimental tank. BW=wet body weight, FC=the amount of food ingested by 5 shrimps, GER=gastric evacuation rate

	Control	0.5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	23 h	30 h
Mean BW		9.7±1.0	10.8±0.6	9.8±1.3	10.8±0.8	10.3±1.7	10.2±1.4	10.6±2.5	8.5±2.3
Supplied food in g	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Remained food in g (after 1h)	1.78	1.52	1.19	1.26	1.23	1.11	1.20	1.23	1.13
FC	(F _i =0.89)	0.43				0.72±0.05			
GER (%)			0	21	23	39	50	86	89
Feces in dry weight (mg)		2.5	9.5	18.3	13.3	7.1	9.8	21.1	5.1
Trypsin in feces (nmol/mg/min)		83.4±2.1	34.4±4.5	12.6±1.5	121.0±6.7	81.6±1.5	21.4±1.3	11.2±1.2	21.4±1.1

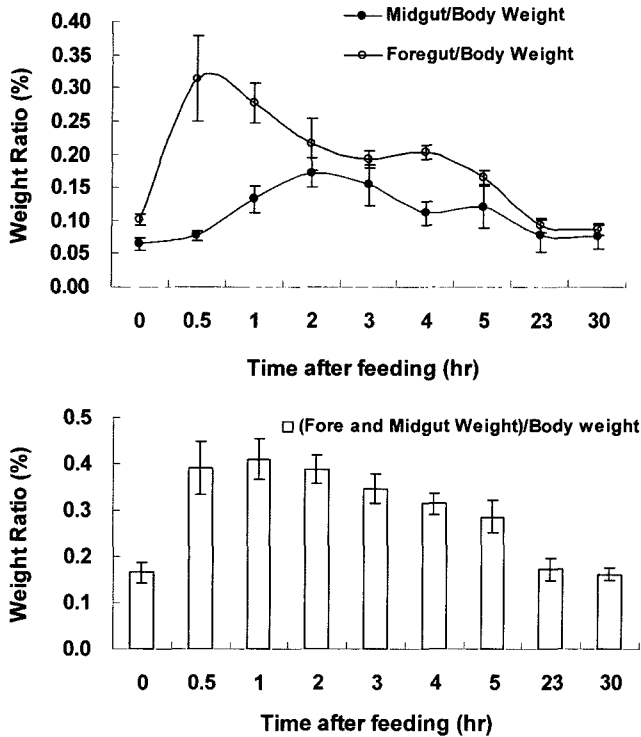


Fig. 4. The weight ratios of each part of freeze-dried gut (fore and mid gut) to the total wet body weight of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, according to the time after feeding at 20 °C. Feeding schedule was 1 hour. Error bar indicates standard error.

합의 비율은 1시간에 이르러 $0.41 \pm 0.04\%$ 로 최대값을 기록하였고 그 이후에는 서서히 감소되는 경향을 보였다. 전장무게와 중장무게와의 관계는 먹이섭취가 활발히 이루어진 0.5 시간 이후부터는 상호 역관계를 나타내어 전장의 무게가 서서히 감소하는 2 시간까지는 중장의 무게가 증가하였다. 그러나 3시간 이후에는 체중에 대한 전장무게의 비율이 일정하였으며 중장무게 또한 섭취 후 3시간에서 5시간 사이에는 그 비율이 일정하게 유지되었다.

간체장 및 장의 부위별 trypsin 효소 활성변화

먹이 섭취 후 경과시간에 따른 각 부위의 trypsin의 활성변화는 Fig. 5와 같다. 간체장의 trypsin 효소 활성은 48시간 절식한 개체 및 1시간동안 충분히 먹이를 섭취한 실험구에서 각각 610 ± 88 (SE) n mol/mg/min, 680 ± 99 n mol/mg/min로 뚜렷한 변화는 관찰되지 않았으나, 3시간경과 후부터 급격히 증가하기 시작하여 4시간 후 907 ± 229 n mol/mg/min의 높은 값을 나타내었다. 전장에서 trypsin 효소 활성은 먹이섭취 30분 후에 131 ± 29 n mol/mg/min로 중장과 비교하면 2배정도 높았다. 이러한 효소활성은 1시간 후(135 ± 68 n mol/mg/min)까지 지속되다가 2~5시간에 $277 \sim 306$ n mol/mg/min을 보여, 중장보다 약 3배의 높은 활성을 나타내었다. 중장의 경우에는 trypsin 효소 활

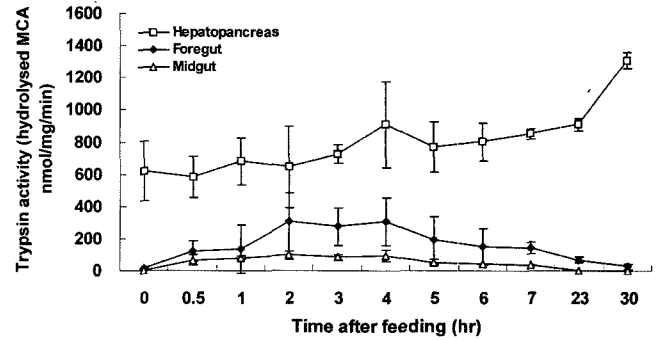


Fig. 5. Trypsin activities in digestive organs, hepatopancreas, foregut and midgut of *Litopenaeus vannamei* after 1 hour feeding at 20 °C. Error bar indicates standard error.

성이 먹이섭취 30분 후에 65 ± 29 n mol/mg/min로 증가하여 소화시간이 경과함에도 불구하고 $80 \sim 97$ n mol/mg/min로 비교적 일정하게 유지되었다. 그러나 5시간이 경과한 후에는 부위에 상관없이 trypsin 효소 활성은 감소하여 간체장에서 767 ± 93 n mol/mg/min, 전장에서 152 ± 66 n mol/mg/min 그리고 중장에서 52 ± 17 n mol/mg/min을 나타내었다.

고 찰

장이 비워지는데 걸리는 시간(GE: gastric evacuation)은 소화흡수에 관한 유익한 정보를 제공할 뿐만 아니라 일일 먹이 섭취량과 동화율을 결정하는 중요한 요인이 된다(Loya-Javellana et al., 1995). 갑각류에 관한 연구에 있어서 GE의 정의는 먹이를 공급하지 않은 상태에서 장이 비워지는데 걸린 시간(Moore, 1977)이나 위 내용물의 무게가 감소하는 비율(Marchant and Hynes, 1981) 또는 위나 소화관이 먹이로 채워진 정도(Murtaugh, 1984, 1985; Hill and Wassenberg, 1992) 등으로 정의된다. 본 연구에서 GE는 1시간동안 먹이를 충분히 섭취한 새우의 소화관(전장과 중장) 무게에서 배설로 인한 무게 차이로 정의하였다(Table 1). 보리새우류의 전장은 10분 이내에 채워지고 2~4 시간 사이에 빠르게 비워지며(Marte, 1980; Cockcroft and McLachlan, 1986) 배변현상은 먹이를 섭취한 후 1~6시간 사이에 이루어진다고 보고되어 있다(Dall, 1968; Al-Mohanna and Nott, 1987).

본 연구에서 최초의 배변현상은 먹이섭취 10분 후에 소량의 배설이 관찰되었으며, 30분이 지난 후 2.5 mg(건중량)이 수거됨으로 위의 보리새우류의 연구에서 나타난 2~4시간보다 빠르게 소화가 진행이 된 것으로 나타났다. 전장의 무게가 최고에 이른 새우는 역으로 중장에서는 최소의 무게비율을 나타내었고, 1시간동안 섭식 후 전장에 저장된 먹이들이 효소와 혼합이 되어 중장으로 이동되기까지 약 2시간이 소요 되었으며, 그 이후에는 전장에서 중장으로의 먹이 이동량이 완만해지는 것으로 나타났다. 갑각류의 소화시간은 수온, 먹이농도, 생물의 크기,

공식, 탈피단계, 먹이섭취 및 배설물 등의 영향으로(Marchant and Hynes, 1981; Murtaugh, 1984 and 1985; Heyraud, 1979; Kumaly et al., 1990) 개체간에도 차이가 큰 것으로 보고되어 있다. 본 연구에서도 먹이가 지속적으로 공급된 1시간 동안에도 실험구마다 먹이 이동량과 배설량의 차이를 보여 개체간의 소화시간의 차이가 큰 것으로 나타났다(Fig. 4와 Table 1). 배설은 먹이섭취 2시간 이후부터 지속적으로 일어났으나, 본 시험에서의 장이 비워지는 비율인 GER은 5시간에 50%, 23시간 후 86% 그리고 먹이섭취 후 하루가 지난 30시간 후에도 89%로 나타나 지속적으로 먹이를 섭취하지 못할 경우에 소화관 내를 이동하는 먹이의 속도가 완만해짐으로 소화관 내 먹이가 잔류하는 것으로 추정되었다. 새우류는 전장의 먹이량을 일정하게 유지하기 위해 지속적으로 섭식을 하는 습성을 갖고 있다(Cuzon et al., 2000). 이에 따라, 지속적인 섭식으로 배설이 촉진되고 먹이가 장에 머무르는 시간이 짧아지면 소화효율이 떨어지고 동화되지 않은 먹이의 배설로 인한 수질악화, 사료 소모 등의 결과를 나타낼 수 있으므로 이에 관한 더 세밀한 연구가 실행되어야 할 것으로 생각된다.

어류의 경우에 간체장의 조직에서 대부분의 trypsin은 효소학적으로 비활성 상태인 proenzyme (trypsinogen)으로 존재하고 소화관에서 활성화가 되는 것으로 알려져 있다(Ueberschaer et al., 1992). 본 실험에서는 흰다리새우의 간체장에서 trypsin이 다량 검출된 점으로 보아 척추동물과는 달리 간체장에서 이미 trypsin이 활성화 되어 있는 상태로 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 trypsin의 활성변화는 소화기관의 부위 및 개체간에 따라 큰 차이를 나타내었다. 특히 소화관내에 먹이가 존재하지 않을 경우에는 장내 trypsin 활성이 낮은 것으로 나타났다. 소화액을 생성하고 분비하는 간체장에서는 실험 시작 전 2일간의 절식상태에서 낮은 활성을 나타내었으나, 먹이 섭취 후 먹이공급이 중지되고 전장에서 중장으로 다량의 먹이가 이동된 2시간 후에도 비교적 일정한 600 ± 193 (SE) n mol/mg/min의 활성을 가짐으로서 trypsin이 소화관으로 이동하여 전장과 중장에서는 높은 효소 활성을 보이고 간체장에서는 일정한 효소 활성을 나타낸 것으로 비교적 빠른 시간 안에 간체장에서 효소생성이 촉진되고 이동되는 것을 알 수 있었다. 먹이섭취 후 23~30 시간에는 간체장에서의 trypsin 활성이 급격하게 증가하는 것으로 보아 간체장에서 소화효소가 지속적으로 다량 생성되고 소화관내의 잔존 먹이량이 감소되어 이동량이 적어지고, 분비되지 않은 효소들이 저장되는 것으로 나타났다. 전장과 중장의 경우는 먹이섭취가 계속된 1 시간 동안의 효소활성이 약 5시간까지 유지되었고, 더 이상의 먹이섭취가 일어나지 않은 상태에서도 중장의 먹이가 배설되지 않고 50% 정도 잔류하고 있는 것으로 나타나 영양학적인 측면에서 적절 먹이 공급주기를 파악한다면 단백질 흡수율을 높이고 사료를 절감하여 생산성 향상에 기여 할 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

흰다리새우 양식기법의 최적화를 위하여 소화기간 동안의 간체장, 전장 그리고 중장에서의 trypsin의 활성변화를 조사하였다. 체중에 대한 전장, 중장의 무게 그리고 그 무게 합 비율은 섭취된 먹이의 이동 및 소화과정을 나타내는 지표로서 공급량과 잔류량에 의한 먹이섭취량을 측정하는 것 보다 더 정확한 지표로서 사용 가능하였다. 평균적으로 최대 먹이섭취량은 전장에서 먹이섭취 후 30분 이내에 체중에 0.3%로 나타났다. 또한 30분 이후부터 전장이 비워지기 시작되었으며 중장의 무게가 최대에 이르는 시점은 2시간째였다. 3~5시간 후에는 먹이가 배설됨으로 인하여 중장의 체중에 대한 무게비가 감소하였으나 전장에서는 비교적 같은 비율을 유지하였다. 먹이섭취에 의한 trypsin 활성변화는 간체장에서 가장 커서 전장에서의 활성변화에 비하여 약 3배로 나타났다. 소화시간이 지날수록 간체장에서의 trypsin 활성은 지속적으로 증가하였다. 전장에서의 trypsin 효소의 활성은 중장보다 약 2~3배정도 높았다. 먹이섭취 후 2시간이 지났을 때 trypsin 활성은 303 n mol/mg/min였고, 4시간까지 이 활성이 유지(277~306 n mol/mg/min) 되었으며, 그 후에는 점차 감소하였다. 중장에서는 trypsin 활성이 먹이를 섭취하여 한 시간이 지나면서 65 ± 29 (SE) n mol/mg/min로 증가하였다. 그 이후에는 80~97 n mol/mg/min의 범위를 나타내었으며, 5시간이 경과 하였을 때 52 ± 17 (SE) n mol/mg/min로 감소하였고 소화관내에 잔류하고 있는 먹이량은 최대 섭취량의 50%로 나타났다.

감사의 글

실험에 많은 도움을 준 갑각류 연구센터 오세갑, 원정재, 김용평, 김창덕, 김인수 씨 그리고 오석일 군에게 감사를 드리며 본 연구는 국립수산물과학원 갑각류 연구센터의 경상과제인 새우 양식생산성 향상을 위한 연구(RP-2005-AQ-017)의 결과입니다.

참고문헌

- Al-Mohanna, S. Y. and J. A. Nott, 1987. R-cell and the digestive cycle in *Penaeus semisulcatus* (Crustacea: Decapoda). *Marine Biology*, 95, 129-137.
- Cockcroft, A. and A. McLachlan, 1986. Food and feeding habits of the surf zone penaeid prawn *Macropetasma africanus* (Balss). *Marine Ecology*, 7, 345-357.
- Córdova-Murueta, J. H., F. L. García-Carreño, de los A. María and del T. Navarrete, 2003. Digestive enzymes present in crustacean feces as a tool for biochemical, physiological and ecological studies. *J. of Exp. Mar. Biol. and Ecol.*, 297, 43-56.
- Cuzon, G., C. Rosas, G. Gaxiola, G. Taboada and A. Van Wormhoudt, 2000. Utilization of carbohydrates by shrimp. In: *V. Symposium Internacional de Nutrición Acuicola* (ed. by L.E.

- Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M. A. Olvera-Novoa and R. Civera-Cerecedo), 328–339.
- Dall, W., 1968. Food and feeding of some Australian penaeid shrimps. *FAO Fish. Rep.*, 57, 251–258.
- Galgani, M. L., Y. Benyamin and H. J. Ceccaldi, 1984. Identification of digestive proteinases of *Penaeus kerathurus* (Forskål): A comparison with *Penaeus japonicus*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 78B, 355–361.
- García-Carreno, F. L., 1992. The digestive proteases of langostilla (*Pleuroncodes planipes*, Decapoda): their partial characterization, and the effect of feed on their composition. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103B, 575–578.
- Heyraud, M., 1979. Food ingestion and digestive transit time in euphausiid *Meganctiphanes norvegica* as a function of animal size. *J. Plankton Res.*, 1, 301–311.
- Hill, B. J. and T. J. Wassenberg, 1992. Preferences and amount of food eaten by the prawn *Penaeus esculentus* over the moult cycle. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43, 727–735.
- Hjelmeland, K., B. H. Pedersen and E. M. Nilssen, 1988. Trypsin content in intestines of herring Larvae, *Clupea harengus*, ingesting inert polystyrene spheres or live crustacea pry. *Mar. Biol.*, 98, 331–335.
- Holland, K. N. and R. J. Borski, 1993. A palatability bioassay for determining ingestive stimuli in the marine shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 109, 153–164.
- Jiang, S. T., M. W. Moody and H. C. Chen, 1991. Purification and characterization of proteases from digestive track of grass shrimp (*Penaeus monodon*). *J. Food Sci.*, 56, 322–326.
- Kurmalı, K., D. A. Jones and A. B. Yule, 1990. Acceptability and digestion of diets fed to larval stages of *Homarus gammarus* and the role of dietary conditioning behaviour. *Mar. Biol.*, 106, 181–190.
- Kureshy, N. and D. A. Davis, 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 204, 125–143.
- Le Moullac, G., B. Klein, D. Sellos and A. Van Wormhoudt, 1996. Adaptation of trypsin, chymotrypsin and α -amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 208, 107–125.
- Lee, P. G., 1984. Digestive enzymes of Penaeid shrimp: a descriptive and quantitative examination of the relationships of enzyme activity with growth, age and diet. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, USA, 148 pp.
- Loya-Javellana, G. N., D.R. Fielder and M. J. Thorne, 1995. Foregut evacuation, return of appetite and gastric fluid secretion in the tropical freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture*, 134, 295–306.
- Marchant, R. and H. B. N. Hynes, 1981. Field estimates of feeding rate for *Gammarus pseudolimneus* (Crustacea: Amphipoda) in the Credit River, Ontario. *Freshwater Biol.*, 11, 27–36.
- Marte, C. L., 1980. The food and feeding habit of *Penaeus monodon* Fabricius collected from Makato River, Aklan, Philippines (Decapoda, Natantia). *Crustacean*, 38, 225–236.
- Mills, B. J. and P. I. McCloud, 1983. Effects of stocking and feeding rates on experimental pond production of the crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture*, 34, 51–72.
- Moore, J. W., 1977. Some aspects of the feeding biology of benthic invertebrates. *Hydrobiologica*, 53, 139–146.
- Murtaugh, P. A., 1984. Variable gut residence time: problems in inferring feeding rate from stomach fullness of a mysid crustacean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 1287–1293.
- Murtaugh, P. A., 1985. The influence of food concentration and feeding rate on the gut residence time of *Daphnia*. *J. Plankton Res.*, 7, 45–420.
- Nunes, A. J. P., S. Goddard and T. C. V. Gesteira, 1996. Feeding activity patterns of the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. *Aquaculture*, 144, 371–386.
- Nunes, A. J. P. and G. J. Parsons, 1999. Feeding levels of the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* in response to food dispersal. *J. World Aquacult. Soc.*, 30, 331–348.
- Nunes, A. J. P. and G. J. Parsons, 2000. Size-related feeding and gastric evacuation measurements for the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis*. *Aquaculture*, 187, 133–151.
- Reymond, H. and J. P. Lagardère, 1990. Feeding rhythms and food of *Penaeus japonicus* Bate (Crustacea, Penaeidae) in salt water ponds: role of halophilic entomofauna. *Aquaculture*, 81, 125–143.
- Sedgwick, R. W., 1979. Effect of ration size and feeding frequency on the growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* de Man. *Aquaculture*, 16, 7–30.
- Sick, L. V. and G. J. Baptist, 1973. Effects of selected physical and nutritional factors on rates of pelleted diet ingestion by post-larval penaeid shrimp. *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.*, 89, 161–165.
- Sick, L. V., D. B. White and G. J. Baptist, 1973. The effect of duration of feeding, amount of food, light intensity and animal size on rate of ingestion of pelleted food by juvenile penaeid shrimp. *Prog. Fish-Cult.*, 35, 22–26.
- Ueberschaer, B., B. H. Pedersen and K. Hjelmeland, 1992. Quantification of trypsin with radioimmunoassay in herring larvae (*Clupea harengus*) compared with a highly sensitive fluorescence technique to determine tryptic enzyme activity. *Mar. Biol.*, 13, 469–473.
- Ueberschaer, B., 2000. Die Trypsinaktivitaet als biochemischer Indikator zur Bestimmung des Ernahrungszustandes sowie der Fressaktivitaet von Fischlarven und seine Anwendung in Feldstudien. PhD Thesis, University of Hamburg. Weissensee Verlag, Berlin 2000, ISBN 3-934479-11-1, p 201.
- Velasco, M., A. L. Lawrence and F. L. Castille, 1999. Effect of variations in daily feeding frequency and ration size on growth of shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture*, 179, 14–148.

원고접수 : 2005년 9월 3일

수정본 수리 : 2006년 2월 2일