JFMSE, 30(4), pp. 1497~1505, 2018.
수산해양교육연구, 제30권 제4호, 통권94호, 2018.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.08.30.4.1497

바위털갯지렁이, *Marphysa Sanguinea* 어린것의 생존과 성장에 미치는 환수율의 영향

김영경 · 와와푸 · 김창훈†
(부경대학교)

Effects of Water Exchange Rate on the Juvenile Survival and Growth of the Rockworm *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae)

Young-Kyung KIM · War War Phoo · Chang-Hoon KIM†
(Pukyong National University)

Abstract

The rockworm, *Marphysa sanguinea* is the most well known polychaete species with a high economic value. However, this species has a high mortality from the larval stage to the juvenile stage. The purpose of this study was to evaluate to confirm optimum rearing water exchanges that affect survival and growth rates of rockworm juvenile. Juveniles were maintained in five different water exchange rates: no water exchange, one cycle/day, two cycles/day, three cycles/day and continuous exchange (one cycle means that whole water in a tank is replaced by new water one time a day). Each trial was conducted in triplicate for two months. Results showed that, three cycles/day was the most efficient, although the continuous exchange showed the highest survival rate.

Key words : *Marphysa sanguinea*, Water exchange, Juvenile, Survival and Growth

Ⅰ. 서 론

환형동물문에 속하는 갯지렁이(*Polychaeta*)는 해양 무척추동물로 조간대 갯벌과 강 하구에 넓게 분포하는 저서생물 중의 하나이다(Bryan & Gibbs, 1987). 갯지렁이는 실제로 저서생물 중 30% 이상을 차지하며, 그 이상 우점하는 경우도 있다(Knox, 1977). 갯지렁이는 갯벌이나 물속 바닥, 퇴적물 속에 구멍을 파고 그 속에서 산다. 기질에 구멍을 파고 사는 갯지렁이류는 모래진흙, 자갈 또는 점토 등에 거주하며, 기질 속에서 먹이활동과 배변활동을 하며 생활한다(Murugesan et al., 2011). 생활사가 비교적 짧고 번식력이 강하기 때문에 해양에서 풍부한 2차 생산자 역할을 담당하고 있으며, 저질에 굴을 뚫어 해수를 순환시킴으로써 저질 환경을 정화시킨다(Clark, 1977). 또한 갯지렁이는 다른 무척추동물이나 저서어류, 갯벌을 찾는 조류들의 주된 먹이로 이용된다(Ambrose Jr. 1986). 산업적인 측면에서 갯지렁이는 바다낚시와 레저 산업에서 미끼로 사용될 뿐만 아니라, 잠재적 상업적 가치는 한정 지을 수 없을 정도이고(Gambi et al., 1994; Olive, 1999),

† Corresponding author : 051-629-5917, chkpknu@hanmail.net
※ 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의해 연구되었음.

그 필요성과 중요성이 인정되어 최근 전 세계적으로 어업관리를 통한 자원보호 및 양식시도가 이루어지고 있다(Watson et al., 2016).

국내에서 산업적으로 이용하는 주요 갯지렁이들은 바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*), 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*), 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*), 넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes oxypoda*) 등이다(Kang et al., 1997). 특히 바위털갯지렁이는 몸길이 200~300 mm, 체폭 13~15 mm, 220~250개의 가시마디를 가지는 대형종이다(Paik, 1989). 우리나라 전 연안의 조간대 하부에서 상부의 연한 저질이 섞인 바윗돌이나 자갈 사이에 주로 서식하여 채취가 쉬운 점과 고급어종의 미끼로 각광을 받는 고부가가치 때문에 남획에 의한 자원고갈로 갈수록 수입이 늘어나고 있는 실정이다(KORDI, 1991).

현재까지 바위털갯지렁이에 관한 연구는 일본의 Imai (1975, 1976, 1981, 1982)의 보고를 포함한 초기발생 및 산란·생태 및 생활사 등(Giangrande, 1997; Cassai & Prevedelli, 1998; Prevedelli et al., 2007; Ouassas et al., 2015)에 대한 생물학적 발생과 성숙 단계의 외부 환경요인에 대한 보고가 대부분이다. 양식 산업화를 위해서는 안정적인 종자생산 기술이 확립되어야 하고, 모충의 성숙 및 산란에 대한 기초적 연구를 포함하여 유생의 방출 및 사육에 관여하는 환경특성에 대해서도 충분히 검토가 되어야 한다. 한편, 국내에서는 2003년(부경대 수산과학기술센터) 이후 양식생산에 관한 꾸준한 연구가 진행되어 왔다. 유생발생 및 치충의 성장에 미치는 사육환경(Kim & Jang, 2008), 기질에 따른 치충의 성장과 생존(Heo, 2011; Kwiri, 2013), 대량 종자생산을 위한 초기 사육기법(Kim, 2012), 유기물 함량에 따른 바위털갯지렁이 유생의 착저와 생장(Kim, 2015), 유생 방출에 미치는 환경특성(Kim et al., 2016), 종자생산 초기단계의 적정먹이와 급이율(Kim et al., 2017) 등에 관한 연구가 진행되었다. 이러한 연구 과정에서 유생에서 어린 것 단계의 약 2개월 동안 발생하는 높은 폐사율이 바위털갯지렁이 양식 산업화를 어렵게 하는 것으로 시사되고 있다. 특히 종자생산 초기 단계의 낮은 생존율은 먹이공급과 이와 관련한 사육수조 내 환경문제와 관계가 있으며, 사료원의 부패로 인해 사육환경이 악화되고, 사육수의 흐름이 원활하지 못해 저질 내 산소공급이 부족하여 종자의 생존과 성장에 문제가 생길 수 있는 것으로 지적하고 있다(Heo, 2011; Kim, 2012). 더욱이 사육 수중의 높은 암모니아 농도는 생물에 스트레스를 유발하고 성장을 방해하며 질병으로 인한 대량 폐사를 유발한다고 보고된 바 있다(Thurston et al., 1981).

따라서 본 연구에서는 바위털갯지렁이의 초기 생존율을 높이고 생산효율을 향상시키기 위해 사육수 환수율을 달리하면서 사육환경이 유생의 생육에 미치는 영향을 조사하였으며 적정 사육 조건을 도출하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

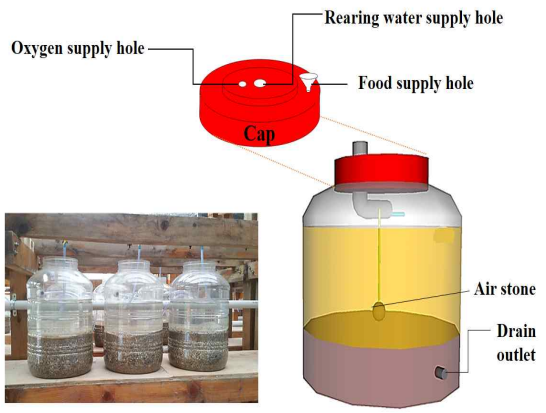
1. 바위털갯지렁이 유생채집과 어린것 사육

경상남도 고성군 하일면 부경대학교 수산과학기술센터 모충사육수조에서 하계에 생산한 바위털갯지렁이 유생을 실험에 사용하였다. 유생을 사용하기 전, 해적생물 및 기타 생물과 찌꺼기를 분리, 제거하였다. 실험 사육수조에 유생은 모두 동일한 날짜에 수용되었으며, 일주일 후 실험을 시작하였다.

사육수조는 20 L 부피의 플라스틱(PET) 용기를 이용하였다. 용기의 측면 하부에 배수구 1개를 만들어 실리콘 호스를 통하여 배수되도록 하고, 사육수의 높이에 해당하는 PVC 관(직경 50 mm)에 꽂아서 유입되는 수량이 하부로 빠져 나가도록 하였다. PVC 관의 높이에 맞춰 수조 내의 물은 수위조절이 가능하게 하였다. 아래 배수구 호스의 입구가 기질로 인해 막히는 것을 방지

하고, 유생 및 어린것의 유출을 방지하기 위해 부직포(약 200 μm망목)로 먼저 호스 위를 덮고 조성하였다.

용기의 뚜껑에는 에어호스 연결구, 먹이 공급구, 해수 공급구 총 3개의 구멍을 뚫어 호스를 각각 연결하였으며, 에어호스 라인에는 에어스톤을 부착하여 산소공급과 물의 교반이 이루어지도록 하였다([Fig. 1]).



[Fig. 1] Experimental setting and design of a PET bottle for rearing *Marphysa sanguinea* juveniles.

2. 사육기질 및 실험조건

기질로는 굴 패각(5~10 mm), 자갈(5 mm), 마사토(1~2 mm 시판용 화강토), 모래(0.02~0.2 mm)를 섞어서 이용하였다. 사육수조 바닥에 굵은 자갈을 먼저 3 cm 높이로 깔고, 그 위에 굴 패각과 마사토를 3:7비율로 섞어 10 cm 높이를 넣고, 맨 위에 모래 2 cm를 채워 총 15 cm의 높이로 기질을 조성하였다.

수조 내 사육수의 조성은 24시간 소독한 여과해수를 먼저 채운 뒤, biofloc 배양수를 10 mL씩 3일 간격으로 넣어주었다. 이후, 5일 정도쯤 수질이 안정화되면 중앙제어탱크를 통해 biofloc 배양수만 흘려주었다.

실험구는 수조 내 사육수량 전체를 환수시키는 것을 1 cycle로 계측하였다. 무환수(0 cycle, no water exchange), 하루 1회 환수(1 cycle), 하루 2회 환수(2 cycles), 하루 3회 환수(3 cycles) 및 24시간 연속 환수(24 hours water exchange), 총 5구간을 설정하여 3반복으로 진행하였다. 유수량은 220 mL/min으로 환수되는 전제하에 1 cycle에 50분이 소요된다.

구간별 용기 당 30,000 개체의 바위털갯지렁이 유생을 사용하였으며, 유생의 착저를 돕기 위해 사육수조에 머드 50 mL를 넣고 입식하였으며, 기체발생기와 에어스톤을 통해 7.3-7.5 mg/L 산소를 공급하였다. 먹이는 유생 수용 후 5일째부터 하루 1회 공급하였으며(<Table 1>), 일주일 간격으로 biofloc 배양수 25 mL를 함께 넣어주었다.

<Table 1> Food supply for rearing of the rockworm, *Marphysa sanguinea* juveniles

Larval stocking	5 days	10 days	20 days	40 days	50 days	60 days
No feed	Floc (25 mL) Artemia (0.036 g) Glucose (3.2 g)	Artemia* (0.036 g) PL150** (0.0068 g) Glucose (3.2 g)	Artemia (0.036 g) PL150 (0.0068 g) Glucose (3.2 g)	PL150 (0.0136 g) Glucose (3.2 g)	PL150 (0.068 g) PL300 (0.0068 g) Glucose (3.2 g)	PL150 (0.068 g) PL300 (0.0136 g) Glucose (3.2 g)

* Artemia, Tabia. ** PL150, Inve (Thailand) Ltd.

3. 수질측정

수온, pH, 용존산소(DO, dissolved oxygen), 염분도, 알칼리도, 총 암모니아 질소(TAN, total ammonia nitrogen), 아질산(NO_2-N, nitrite nitrogen), 질산(NO_3-N, nitrate nitrogen), 산화환원전위(ORP, oxidation reduction potential)를 측정하였다.

수온, pH, 용존산소, 염분도는 1일 1회 측정하였고, 알칼리도, 총 암모니아 질소, 아질산, 질산, 산화환원전위는 주 2회 측정하였다. 수온은 온도조절기(OKE-6422H, 세원오케이(주), 한국)를 이용하여 측정하였으며, pH는 Ph/ISE meter (Model735P, ㈜이스텍, 한국)를 이용하여 측정하였다. 용존산소는 용존산소측정기(ProODO, YSI사, 미국)를 이용하여 측정하였으며, 염분도는 염분측정기(Pro30, YSI사, 미국)를 이용하여 측정하였다. 알칼리도는 수질오염공정시험방법으로 실시하였다. 총 암모니아 질소, 아질산 농도는 자외-가시선 분광광도계(Optizen 2120UV, ㈜메카시스, 한국)를 이용하여 분석하였다. 질산은 키트(HS-NO_3(N)-SW kit, ㈜휴마스, 한국)를 이용하여 측정하였다. 산화환원전위 측정은 Professional Series Pro 10(Pro10, YSI사, 미국)를 이용하였다.

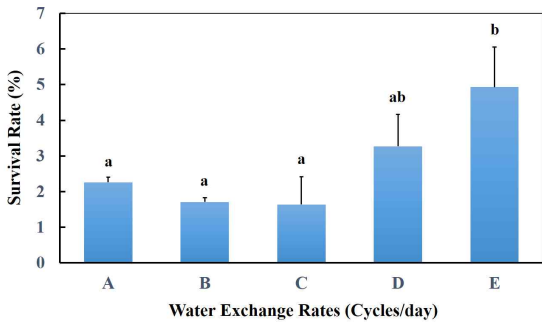
4. 통계처리

자료의 통계처리는 SPSS program 18을 이용하여 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균 간의 유의성($P<0.05$)을 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 사육수 환수율에 따른 어린것의 생존

사육수의 환수율에 따른 바위털갯지렁이 어린것의 생존율(평균±표준편차)을 [Fig. 2]에 나타내었다. 생존율의 경우 C구간이 1.64±0.78%로 가장 낮은 생존율을 나타냈으며, B구간 또한 1.71±0.12%로 C구간과 큰 차이가 없었다. 그 다음으로 A구간이 2.26±0.15%, D구간이 3.27±0.89% 순으로 생존율이 높았다. 마지막으로 E구간에서 4.93±1.13%로 총 다섯 구간 중 제일 높은 생존율을 나타내었다.



[Fig. 2] Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* juveniles according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

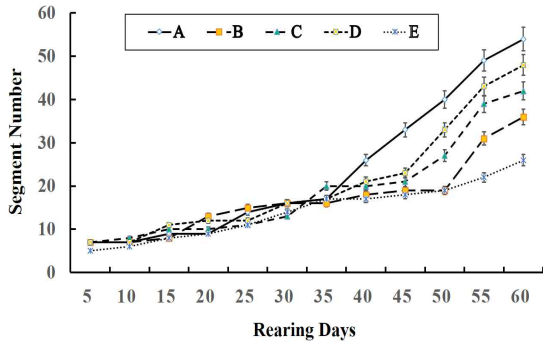
2. 사육수 환수율에 따른 어린것의 성장

사육수 환수율에 따른 강모가 있는 어린것의 체절수를 계수하여 성장속도를 비교하였으며([Fig. 3]), 실험 후 최종 무게를 측정하여 성장을 나타내었다([Fig. 4]).

실험 시작 후 한 달까지는 비슷한 성장속도를 보이다가 약 35일 이후부터 뚜렷한 차이가 보이기 시작했다. A구간과 D구간이 최종 체절 수가 각각 54, 48개로 높은 성장을 보였다. 반면에 E구간에서는 최종 체절수가 A구간의 절반 정도인 26개로 가장 적었다.

5개의 실험구 중 제일 높은 무게 값을 가진 구간은 A구간으로 측정값(평균±표준편차)은 10.0±1.70 mg이었고, 다음 무게가 높은 순서대로 D구간 9.80±10.4 mg, C구간 8.70±2.00 mg, B구간이 8.50±2.90 mg, E구간이 5.60±1.20 mg으로 나타

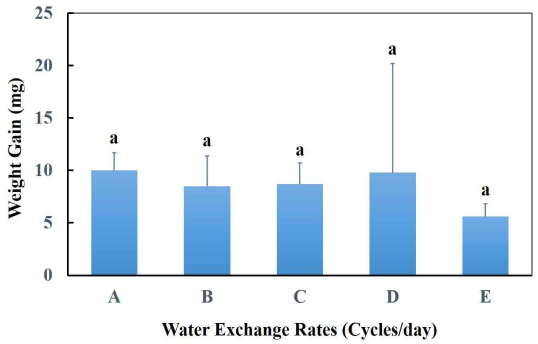
났다. 최종 무게측정값을 통한 성장의 비교는 생존율 구간에서 최대값을 나타낸 E구간이 가장 낮은 무게측정값을 보였다.



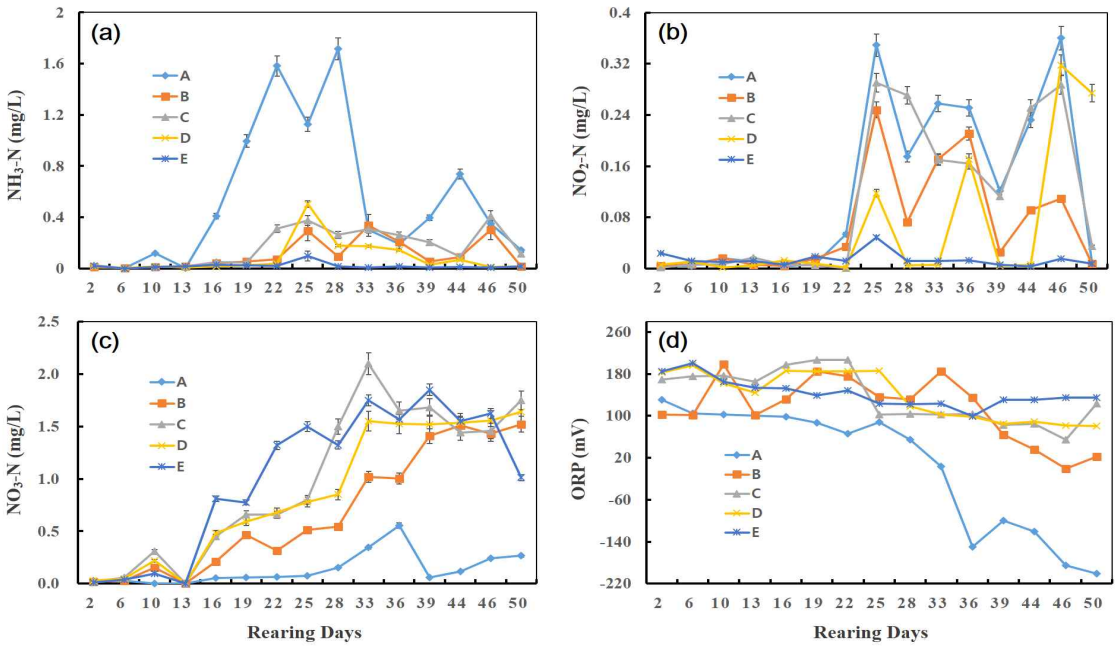
[Fig. 3] Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* juveniles according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

3. 사육수 환수율에 따른 수질환경 변화

실험이 하계에 진행되어 사육수온은 비교적 높은 27~30℃로 유지되었다. 용존산소도 기체발생기와 에어스톤을 통해 7.3~7.5 mg/L로, 염분도 중앙제어탱크를 통해 30 psu로 유지되었다.



[Fig. 4] Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* juveniles according to different water exchange rates. Weight gain : Σ mg / n (n=30).



[Fig. 5] Chemical water quality changes of TAN (a), nitrite (b), nitrate (c) and ORP (d) according to different water exchanges rates in rearing bottles.

알칼리도의 경우 탄산칼슘($CaCO_3$)을 넣어 일정하게 유지시켜 주었다. pH의 경우 A구간이 7.12~7.62로 다소 낮았으며, E구간이 7.49~7.70로 대체로 높은 값을 가졌으며, 나머지 구간들은 서로 비슷한 수치를 나타내었다. 화학적 수질환경의 변화를 [Fig. 5]에 나타내었다. 총 암모니아 질소는 무환수 A구간이 0.002~1.714 mg/L의 넓은 범위로 높은 값을 나타내었고, 0.007~0.097 mg/L 범위로 낮은 값을 유지한 E구간을 포함하여 나머지 구간들은 서로 비슷하게 무환수 구간보다 낮게 나타났다([Fig. 5a]). 아질산의 경우 A구간, B구간, C구간이 높은 수치를 유지하였고, D구간과 E구간이 대체로 낮은 값을 유지하였다([Fig. 5b]). 질산의 경우 실험이 진행될수록 그 값이 누적되었으며, A구간이 0.003~0.555 mg/L로 낮은 값으로 측정되었으며, 나머지 구간들은 A구간 값의 두 배 이상에 달하는 높은 값을 가졌다([Fig. 5c]). 수조 내 용존산소량과 관련이 있는 산화환원전위는 A구간에서 131~-201 mV의 범위로 큰 변화를 보였으며, 1개월 이후에 수치가 급격히 떨어지는 형태를 보였다. 그 외의 구간에서는 B구간에서 다소 떨어진 것을 제외하고 100 mV 이상으로 비교적 일정하게 유지되었다([Fig. 5d]).

Ⅳ. 고 찰

바위털갯지렁이 발생 후 유생단계에서 착저하여 성장 및 생존에 영향을 받기 쉬운 어린것 단계에 영향을 끼치는 요인은 먹이, 수질, 기질, 해적생물 식해 등 다양한 요인을 들 수 있는데(Kim, 2017), 그 중에서도 사육수 환수율에 따른 유생의 착저 후 초기 어린것의 생존과 성장에 끼치는 영향에 대해 알아보고자 진행하였다.

생존율 부분에서 계속 환수해 준 실험구와 3환수구가 다른 실험구(무환수, 1-2환수)보다 높은 생존율을 가졌으며, 실제로 무태장어의 경우, 환수를 하지 않은 실험구에서는 생물이 사료를 먹는 양이 계속 줄고, 사료를 먹지 않아서 폐사가 많이 일어난다고 하였다(Lim et al., 2014). 본 실험에서 무환수를 비롯한 1환수, 2환수 구간에서 낮은 생존율이 나온 것과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 또 Lim et al. (2014)의 연구에서 주수가 계속 되어진 실험구에서는 폐사가 크게 일어나지 않고, 사료도 잘 섭취하여 성장이 비교적 서로 비슷하게 나타났다는 점 또한 본 실험의 24시간 환수, 3환수 구간에서 높은 생존율 값이 나온 결과와 유사하였다. 현재까지 진행된 바위털갯지렁이의 종자생산에 관한 연구에서 거의 대부분이 1~3개월 사이 초기단계에서 급격한 생존율의 저하를 보이고 있으며, 주요 원인은 우선 요각류 등의 식해 및 수질 환경 변화에 따른 폐사가 가장 심각한 것으로 판단하고 있다(Kim, 2017). 본 연구에서 나타난 환수율이 높은 실험구에서 3~5% 정도의 낮은 생존율은 산업적 측면에서는 전혀 경제성이 없는 것으로 볼 수 있지만, 대량생산 과정에서 약 2배 정도 높은 유의한 차이의 생존율을 고려한다면 주요 문제점이 개선된 생산 시스템에서는 엄청난 생산량의 차이를 기대할 수 있을 것이다. 성장 부분에서는 생존율이 가장 높았던 24시간 환수 구간이 가장 낮은 성장을 보인 반면, 생존율이 낮았던 무환수 구간이 가장 높은 체절 성장을 나타내었다. 상대밀도에 따라 개체군이 많으면 한 개체 당 섭취할 수 있는 영양분이 적기 때문에 성장이 좋지 않을 확률이 크며, 밀도가 낮으면 한 개체 당 섭취 가능한 먹이 영양원이 많아 성장률이 높을 수밖에 없기 때문이다. 그 외 나머지 구간에서는 성장에 큰 차이가 없는 점으로부터 사육수의 환수량이 바위털갯지렁이 치충의 무게 성장에는 크게 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다. 이와 같이 종자생산 초기 단계 뿐만 아니라 어린것과 성체의 사육과정에서도 성장률과 생존율이 거의 반비례하는 양상을 나타내는 결과를 보이고 있고(Kim, 2017; Vo, 2017), 저질 중에 잠입 서식하는 갯지렁이 생물량에 대한 시간경과에 따른 적절한 먹이량의 산정

이 어려워 공급된 먹이원의 부족 또는 잉여 유기물의 축적으로 수질에 미치는 영향이 큰 것으로 해석되고 있다(Kim et al., 2017).

본 연구에서도 자연생태계 또는 순환시스템 양식 과정에서 나타나는 수질환경의 변화([Fig. 5])가 1개월 전후의 초기 개체군의 생존율에 영향을 미침에 따라 이후 체절([Fig. 3])과 체중([Fig. 4])에도 영향을 미치는 결과를 초래한 것으로 볼 수 있다. 흰다리새우 사육과정(Jang et al., 2008)에서도 사육 2주째까지 아질산(NO_2-N) 농도가 낮은 값을 유지하다가 이후 점차 크게 증가하면서 생존율에 영향을 미친다는 점이 본 실험의 수질결과와 유사하다. 아질산 농도의 상승은 무환수 고밀도 사육시스템을 이용하는 다른 연구에서도 자주 관찰된다(Samocha et al., 2000; Browdy et al., 2001; Avnimelech, 2012). 따라서, 본 실험의 무환수 구간에서 아질산의 값은 높은 반면 질산염의 값이 다른 구간보다 낮은 이유는 물의 흐름이 원활하지 못해 발생한 기질부패가 원인이었을 가능성이 클 것으로 추정된다. 또한 용존산소의 경우 표층, 중층 사육수에는 기체발생기를 통해 같은 양의 산소를 주입하여 일정하게 유지를 시켰으나, 저층을 포함하여 기질 내의 산소는 측정하지 못하여 정확하게 알 수 없기 때문에 앞으로 이런 실험에 공극수 내의 산소조사가 필요하다고 생각된다. 산화환원전위 값이 낮을수록 기질의 혐기성이 강한 것을 의미한다. 100~-200 mV 범위는 황화수소가 형성되며 혐기상태가 급속히 진행되면서 저서생물의 생육에 큰 영향을 미치는 범위에 속한다. -200 mV 이하의 값은 매우 심각하여 거의 모든 생물의 생존이 어려운 수준을 말한다. 본 실험에서 생존율이 가장 낮았던 무환수 구간의 산화환원전위 값이 −220 mV 가까이 떨어진 것(Fig. 5d)으로 보아 기질 내의 부패로 인한 혐기성 조건이 진행되어 바위털갯지렁이 유생의 착저 후 어린것의 성장과정에서 생존율에 악영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. Algazzar(2008)는 고밀도 어류 양식에 있어 환수율의 효과를 알아본 결과, 실제 암모니아의 농도는 환수율이 높을수록 낮았으며, 환수율이 적을수록 암모니아의 농도가 높다고 보고하고 있다. 본 실험에서도 환수가 없었던 무환수 구간에서 총 암모니아 질소 농도가 가장 높았으며, 환수량이 많은 24시간 환수 구간에서 총 암모니아 질소 농도가 가장 낮았다. 즉, 환수량이 낮아 기질의 부패가 발생하며, 기질 내부에 산소공급이 부족하게 되어 유기물 분해를 통한 탈질과정의 진행으로 인하여 독성을 가지는 총 암모니아 질소의 농도가 증가하며, 이어서 아질산의 농도 또한 증가하여 생물의 생육에 부적절한 영향을 끼치는 것으로 확인되었다.

본 실험을 통해 바위털갯지렁이 유생 사육환경에서 사육수의 환수율은 중요한 요인으로 작용되며, 적정 환수량 이상으로 환수를 할수록 수조 내의 독성을 가지는 암모니아 및 아질산의 농도는 낮아지는 것이 확인되었다. 이는 유생 착저 후 적정한 사육환경 유지로 어린것의 높은 생존율과 연결이 되며, 환수를 하지 않는 구간은 기질의 부패로 인해 혐기상태가 조성되어 유생 및 유충의 생존에 악영향을 미친 것으로 판단된다. 이에 반해 성장률 면에서는 환수율이 크게 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다. 궁극적으로는 환수율을 높여 배수량이 늘어남으로 인하여 공급한 어린것의 먹이원이 되는 미립자 사료원이 계외로 빠져 나갔을 것으로 판단된다. 결국 환수율이 높은 실험구에서 수질환경이 양호하여 개체수는 많으나 먹이원이 부족하여 오히려 성장(체절수 및 체중)에서 역으로 부진한 결과를 초래한 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 종자생산 초기 사육과정의 생태환경 조성을 통한 생존율 향상은 물론, 성장 요인을 감안한 대량생산시스템 구현에 따른 체계적인 산업생산에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

Algazzar, M. · Osman, M. F. & Sadek, S. S.(2008). Effects of water exchange rate in intensive aquaculture system on fish productivity of desert concrete circulated ponds in Egypt. Aquafish Collaborative Research Support Program. 613~615.

Ambrose Jr, W.(1986). Estimate of removal rate of *Nereis virens* (Polychaeta: Nereidae) from an intertidal mud flat by gulls (*Larus* spp.). Marine Biology 90(2), 243~247.

Avnimelech, Y.(2012). Biofloc Technology-A Practical Guide Book. 2nd Edition. Baton Rouge Lousiana: The World Aquaculture Society. pp. 272.

Browdy, C. L. · Bratvold, D. · Stokes, A. · McIntosh, R. · Browdy, C. & Jory, D.(2001). Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. Paper presented at the new wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture.

Bryan, G. W. & Gibbs, P. E.(1987). Polychaete common ragworms as indicators of heavy-metal availability in marine deposits. Robert E Krieger Publishing Co., Malabar, Florida, USA. 37-39.

Cassai, C. & Prevedelli, D.(1998). Reproductive effort, fecundity and energy allocation in two species of the genus *Perinereis* (Polychaeta: Nereididae). Invertebrate Reproduction and Development, 34(2-3), 125~131.

Clark, R. B.(1977). Reproduction, speciation and polychaete taxonomy. Essay on Polychaetous Annelids in Memory of Dr. Olga Hartman. 477~502.

Gambi, M. C. · Castelli, A. · Giangrande, A. · Lanera, P. · Prevedelli, D. & Zunarelli, V. R.(1994). Polychaetes of commercial and applied interest in Italy: an overview. Dauvin JC, Laubier L, Reish, DJ (eds) Actes de la 4eme Conference Internationale des Polychaetes. Mem. Mus. Nat. Hist. Nat. (Fr). 162, 593~603.

Giangrande, A.(1997). Polychaete reproductive patterns, life cycles and life histories: an overview. Oceanography and Marine Biology 35, 323~386.

Heo, C. H.(2011). Larval development and effect of substrates on juvenile growth of polychaete *Marphysa sanguinea*. Master thesis. Pukyoung National University, Busan, Korea. 42 pp.

Imai, T.(1975). Spawning and early development of *Marphysa sanguinea* (Montagu). The Aquaculture 23, 14~20.

Imai, T.(1976). On the growth of polychaete worm, *Marphysa sanguinea*. The Aquiculture 24(2), 61-67.

Imai, T.(1981). Feeding and excreting of *Marphysa sanguinea* (Montagu), Annelida Polychaeta. Bulletin of the Kanagawa Prefectural Fisheries Experiment Station.

Imai, T.(1982). The early development and breeding of *Marphysa sanguinea* (Montagu). Benthos Research 23, 36~41.

Jang, I. K. · Kim, J. S. · Cho, K. J. · Seo, H. C. · Cho, Y. L. · Gopalakannan, A. & Kim, B. R.(2008). Intensive aquaculture of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in non exchanged systems. J. Aquaculture 21(4), 339~345.

Kang, K. H. · Lee, J. H. · Chang Y. J. & Yoo, S. K.(1997). Spawning and egg development of a polychaete, *Perinereis aibuhitensis* reared at indoor tanks. J. Aquaculture 10(1), 17~24.

Kim, C. H. & Jang, S. W.(2008). Effects of rearing conditions on the artificial seed production of a polychaete *Marphysa sanguinea*. J Aquaculture 21, 34~40.

Kim, K. H.(2012). Early-rearing techniques for the mass seeding production of polychaete *Marphysa sanguinea*. Master thesis. Pukyoung National University, Busan, Korea.

Kim, K. H.(2017). Development of artificial seed production process and mass culture system of the rockworm *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae). A thesis for the degree of Doctor of Engineering, Pukyong National University. 177 pp.

Kim, K. H. · Vo, T. T. E. · Kim, H. J. & Kim, C. H.(2016). Environmental characteristics on larval release of rockworm polychaete *Marphysa sanguinea*, Korean Journal of Fisheries Aqatic Science 49(4), 486~492.

Kim, K. H. · Kim, B. K. · Kim, S. K. · Phoo, W. W. · Maran, B. A. V. & Kim, C. H.(2017). Appropriate feeding for early juvenile stages of eunicid polychaete *Marphysa sanguinea*, Fisheries and Aquatic Science, DOI 10.1186/s41240-017-0064-x.

Kim, S. K.(2015). Effects of rearing substrates in Early Rearing Stage of the Polychaete *Marphysa sanguinea*. Master thesis. Pukyoung National University, Busan, Korea.

Knox, G. A.(1977). The Antarctic polychaete fauna: its characteristics, distribution patterns, and evolution. Adaptation within Antarctic Ecosystems. 1111-1127.

KORDI(1991). Studies on the resource assessment and rearing techniques of marine polychaetes in Korea. Korea Ocean Research Development Institute BSPG 00122-366-3, 267.

Kwiri, C. W.(2013). An effect of culture substrates on the growth and survival of rockworm (*Marphysa sanguinea*). A thesis for the degree of Master of Fisheries Science in KOICA-PKNU International Graduate Program of Fisheries Science, Pukyong National University. 50.

Lim, T. J.・Park, S. B.・Lee, K. W. & Ahn, J. C.(2014). Effects of water exchange rates on growth and rearing environment of *Anguilla marmorata*. Proceedings of 2014 Symposium of Korean Fisheries & Aquatic Sciences. p. 77.

Murugesan, P.・Krishnaprakash, R. & Balasubramanian, T.(2011). Polychaetes - An introduction; and its role in ecology and aquaculture. Proceedings of the national academy of sciences India section B-biological sciences 81, 153~159.

Olive, P. J. W.(1999). Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism. Hydrobiologia 402, 175~183.

Ouassas, M.・Lefrere, L.・Alla, A.A.・Agnaou. M.・Gillet, P & Moukrim. A.(2015). Reproductive cycle of *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae) in a Saharan wetland: Khnifiss Lagoon (South of Morocco). J Mater Environmental Science 6, 246~253.

Paik, E. I.(1989). Korea illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea (Polychaeta), Ministry of Education, 424~425.

Prevedelli, D.・Massamba, N. G.・Ansaloni, I. & Simonini, R.(2007). Life cycle of *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae) in the Venice Lagoon (Italy). Marine Ecology 28(3), 384-393.

Samocha, T.・Cordova, J.・Blancher, T. & De Wind, A.(2000). Raceway nursery production increases shrimp survival and yields in Ecuador. Advocate 3(6), 66~68.

Thurston, R. V.・Russo, R. C. & Vinogradov, G. A.(1981). Ammonia toxicity to fishes. Effect of pH on the toxicity of the unionized ammonia species. Environmental Science & Technology 15(7), 837~840.

Vo, Thi Thu Em(2017). Effects of salinity and copepods on artificial seed production of the rockworm *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae). A thesis for the degree of Doctor of Fisheries Science, Pukyong National University. 193 pp.

Watson, G. J.・Murray, J. M.・Schaefer, M. & Bonner, A.(2016). Bait worms: a valuable and important fishery with implications for fisheries and conservation management. Fish and Fisheries, 59~67.

• Received : 19 July, 2018
• Revised : 06 August, 2018
• Accepted : 17 August, 2018