KFAS 한국수산과학회지
Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 53(1), 132-138, 2020

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 53(1),132-138,2020

바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*) 유생의 착저와 초기 성장에 미치는 기질 크기 및 유기물 함량

와와푸 · 김성균 · 김창훈*

부경대학교 해양바이오신소재학과

Effects of Substrate Sizes and Organic Contents on Larval Settlement and Growth in the Early Stage of the Polychaete *Marphysa sanguinea*

War War Phoo, Sung Kyun Kim and Chang-Hoon Kim*

Department of Marine Bio-materials & Aquaculture, Pukyong National University, Busan 48517, Korea

Marphysa sanguinea is the most well-known polychaete species with a high economic value. However, this species has a high mortality in the early rearing stage of aquaculture. This study was conducted to find out the optimal substrate size and organic contents for the growth and survival rate of *M. sanguinea* larvae and juveniles. It was observed that the smaller grain size (<Ø 0.063 mm) and high organic contents (5-10%) induced settlement and reduced settlement time of larvae. Moreover, the growth and survival rate of larvae reached high levels at Ø 0.004-0.016 mm of grain sizes and 5-7.5% of organic contents as advantageous substrates for settlement. The survival rate of juveniles reached over 90% in less than Ø 0.016 mm substrate on 15-day experiment for different grain sizes of substrates. These results indicated that substrate compositions of less than Ø 0.016 mm of sand size and 5-7.5% of organic contents in mud will enhance the productivity of *M. sanguinea* at the early stage.

Keywords: *Marphysa sanguinea*, Larval settlement, Growth, Substrate size, Organic contents

서 론

갯벌에 서식하는 무척추동물 중 갯지렁이는 종수와 서식밀도에서 가장 높은 비율을 차지하며, 전 세계적으로 9,000종 이상의 종이 알려지고 있다(Rouse and Pleijei, 2001). 해양생태계 내에서 다양한 유기물 섭식과 분해자로서 중요한 위치를 차지(Rhoads, 1973)할 뿐 만 아니라, 상업적인 측면에서도 높은 가치를 가지는 갯지렁이는 주로 어류 및 갑각류의 먹이원 및 낚시용 미끼로써 전 세계의 연안국에서 이용되어져왔다(Byrd, 1996). 주요 생산국은 중국과 유럽이고, 소비 시장이 아시아, 남미, 유럽 및 미국 등지에 널리 형성되어 있어서(Olive, 1994; Watson et al., 2016), 상업적인 잠재력 가치가 높은 것으로 평가되고 있다(Olive, 1999). 또한 유럽에서는 이미 이들 자원의 효율적인 관리를 위해 관련 제도를 정비하여 양식 기술개발에 점차 지원을 늘리고 있다(Watson et al., 2016).

우리나라에 서식하는 300여종의 갯지렁이 중 낚시용 미끼로써 많이 이용되고 있는 종은 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*, 청충), 바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*, 본충), 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*, 석충), 넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes oxypoda*, 황금충) 등의 대형종이다(Paik, 1989). 그러나 1980년대 이후부터 자원의 회복력을 무시한 남획으로 생산량은 줄어드는 대신, 수입량은 2002년 이후 점차 증가하고 있다(KCS, 2015). 따라서 갯지렁이 자원 확보 및 어민 소득증대(현재 유통가격, 8-10만원)를 위해 양식기술개발이 무엇보다 필요한 실정이다. 종묘생산과 양성기술 분야에서 바위털갯지렁이, 눈썹참갯지렁이, 두토막눈썹참갯지렁이 등을 연구하였으나, 바위털갯지렁이를 제외한 갯지렁이는 경제성 부족으로 양식과 관련한 연구 결과는 찾아보기 어렵다. 한편, 바위털갯지렁이는 퇴적물 속에 서식굴을 파고 생활하므로 사육시 퇴적물이 필요하며, 서식공으로부터 몸체를 완전히 노출시키지 않고 대부분 서식 기질의 보호 아래 먹이활동 및 배변활동 등을 한다(Kang at al., 2000). 또한 갯지렁이류는 초기 생활사 과

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5917 Fax: +82. 51. 629. 5908
E-mail address: chkpknu@hanmail.net

https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0132
Korean J Fish Aquat Sci 53(1), 132-138, February 2020
Received 11 February 2020; **Revised** 20 February 2020; **Accepted** 26 February 2020
저자 직위: war war phoo(대학원생), 김성균(대학원수료생), 김창훈(교수)

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

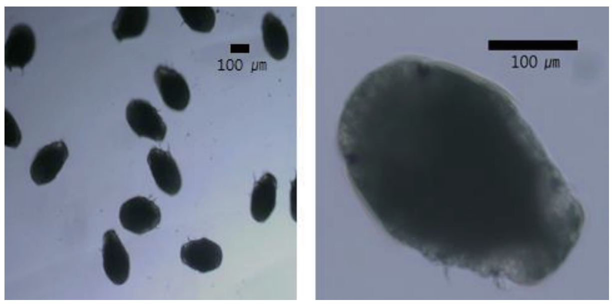

Fig. 1. Trochophore larvae of *Marphysa sanguinea.*

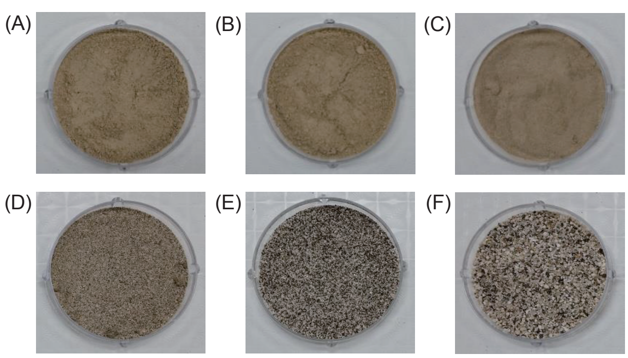

Fig. 2. Sandy loam on different grain sizes in well plate. A, Ø less than 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm.

정에서 물리, 화학 및 생물학적(특히, 포식) 여러 환경요소에 노출되어 적응·생장하지만, 입자성 물질(floc)에 높은 반응친화력(운집, 착저 등)을 보이며(Zimmer et al., 2008), 서식생태학적 관점에서 기질은 가장 중요한 요소 중의 하나이다(Prevedelli, 2007). 본 연구에서는 양식초기 단계에서 유생의 착저에 유리한 기질의 크기 및 유기물량이 미치는 영향을 조사하여 양식 초기단계에서 높은 폐사율로 인해 낮은 생산력을 보이고 있는 바위털갯지렁이 양식생산성을 높일 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

사육기질 크기별 유생의 착저 및 성장조사

실험을 위한 유생은 부경대학교 수산과학기술센터에서 생산한 바위털갯지렁이 담륜자유생(Fig. 1)을 사용하였다. 사육기질은 표준체(Testing sieve, Chung gye sang gong sa, Korea) 세트를 이용하여 마사토를 크기별로 나누어서 사용하였다. 크기는 A, Ø 0.004 mm 미만; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.0160.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm로 하였으며(Fig. 2), A는 점토와 극세립실트, B는 세립실트와

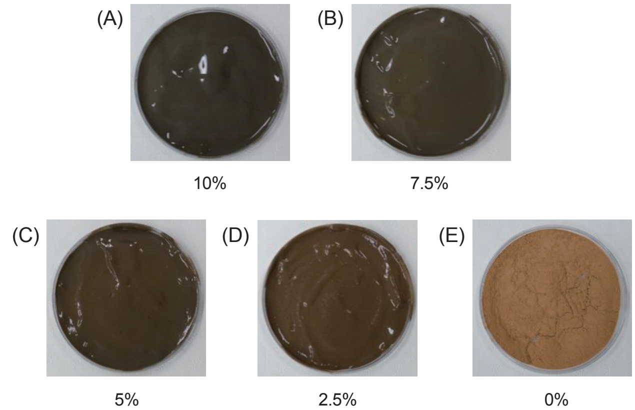

Fig. 3. Experimental mud substrates containing different organic contents in each well plate.

중립실트, C는 조립실트와 극조립실트, D는 세립사와 극세립사, E는 중립사, F는 극조립사와 조립사에 해당된다.

사육기질 크기에 따른 유생의 착저 선택성을 조사하기 위하여 각기 다른 크기의 기질인 A, B, C, D, E, F (Fig. 2) 및 대조구(기질없음)을 petri dish (직경 5 cm) 위에 1 mm 높이로 조성하였다. 빛을 완전히 차단할 수 있는 직경 20 cm, 높이 20 cm의 아크릴 원형수조 안에 petri dish를 배열한 후 멸균해수 2 L를 채웠다. 수조에 1000마리의 유생을 입식하였으며, 수온 20°C, 명암은 0L:24D에서 5일간 두었다. 입식 5일 후 수조 내 petri dish를 들어내어 현미경(OLYMPUS-IX70, Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 착저 유생의 수를 조사하였으며, 실험은 3 반복으로 실시하였다.

유생사육에 적절한 기질의 크기를 조사하기 위하여 6 hole well plate에 멸균해수 15 mL씩 넣고 각기 다른 크기의 기질과 대조구(기질없음)를 1 mm 높이로 조성하였다. 1 홀당 50미의 유생을 입식하였으며, 수온 20°C, 3일에 한번 1/2 환수, 명암은 0L:24D에서 7일간 사육하였다. 유생입식으로부터 3일차, 5일차, 7일차에 현미경(OLYMPUS-IX70, Olympus, Tokyo, Japan)을 이용하여 유생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 유생입식 이후 6시간 간격으로 유생의 착저 완료시간을 측정하였다. 성장은 체절별 측족(chaetiger)수로 나타내었다. 실험은 6반복으로 실시하였다.

사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장 조사

사육기질은 고성 자란만에서 채집한 mud를 강열감량을 통해 유기물 함량이 10%인 것을 사용하였다. 채집한 mud를 Ø 0.016 mm인 체에 거른 후 고압증기멸균(121°C, 15분) 전처리하였다. 이후에 처리하지 않은 mud를 유기물 함량 10% mud (10% organic content)로 하고, 600°C에서 4시간 동안 유기물을 모두 태운 ashed mud (0% organic content)로 하였다. 그리

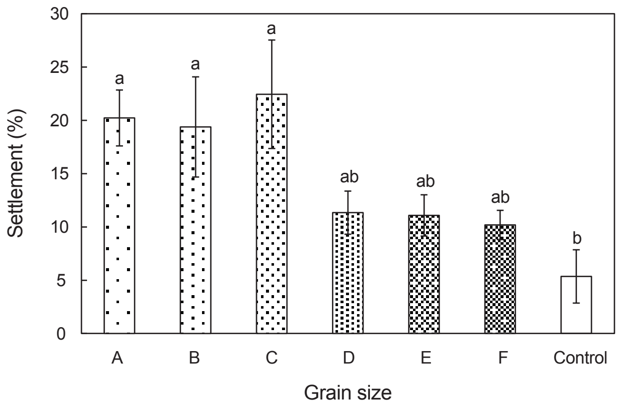

Fig. 4. Settlement selection (%) of *Marphysa sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates. A, Less than Ø 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm; Control, No substrate.

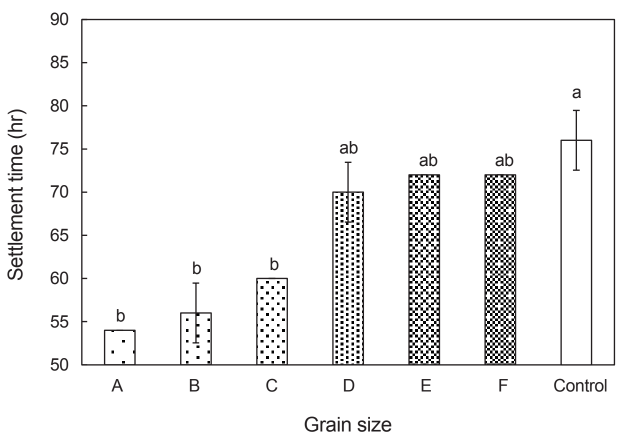

Fig. 5. Settlement time (h) of *Marphysa sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates. A, Less than Ø 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm; Control, No substrate.

고 mud의 건중량은 습중량의 1/3이었으므로, 10% mud 1 g과 ashed mud 0.33 g (습중량 1 g에 해당)을 섞어서 5% mud (5% organic content)를 만들었다. 이와 같은 방법으로 유기물 함량이 10%, 7.5%, 5%, 2.5%, 0%인 mud를 만들었다.

사육기질의 유기물 함량에 따른 유생의 착저 선택성을 조사하기 위하여 각기 다른 유기물 함량의 기질을 petri dish 위에 1 mm 높이로 조성하였다(Fig. 3). 빛을 완전히 차단할 수 있는 직경 20 cm, 높이 20 cm의 수조에 petri dish를 배열한 후 멸균해수 2 L를 채웠다. 수조당 1000미의 유생을 입식하였으며, 수온 20°C, 명암 0L:24D에서 5일간 배양 후 착저 유생의 수와 성장을 조사하였다. 성장은 측족수로 측정하였으며, 7일차, 10일

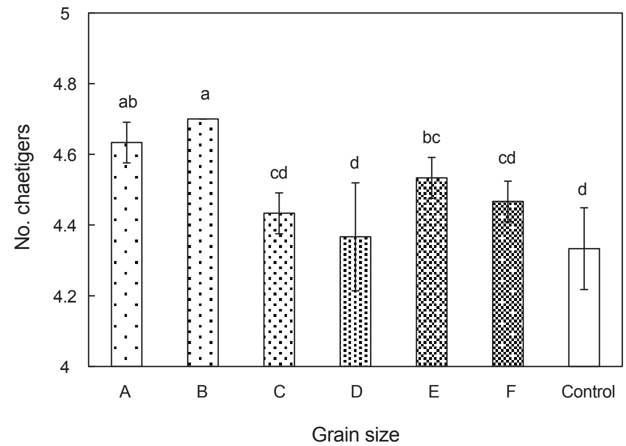

Fig. 6. Chaetigers number of *Marphysa sanguinea* larvae survived on different grain sizes of substrates for 7 days. A, Less than Ø 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm; Control, No substrate. Different letters on the bars indicate a significant difference between treatments (P<0.05).

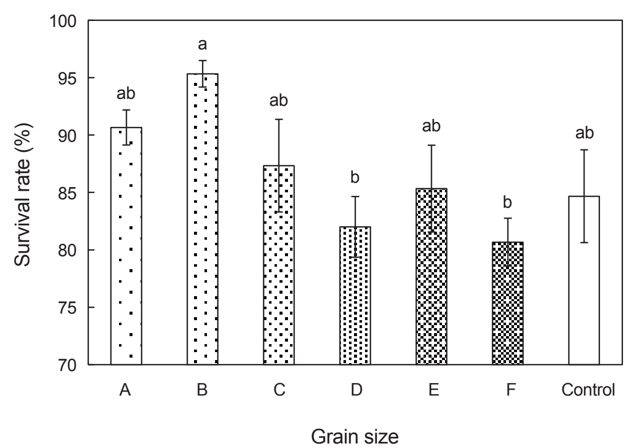

Fig. 7. Survival rate (%) of *Marphysa sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates for 7 days. A, Less than Ø 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm; Control , No substrate. Different letters on the bars indicate a significant difference between treatments (P<0.05).

차, 12일차에 측정하여 나타내었으며, 실험은 3반복으로 실시하였다.

통계처리

자료의 통계처리는 SPSS program 18로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(least significant difference,

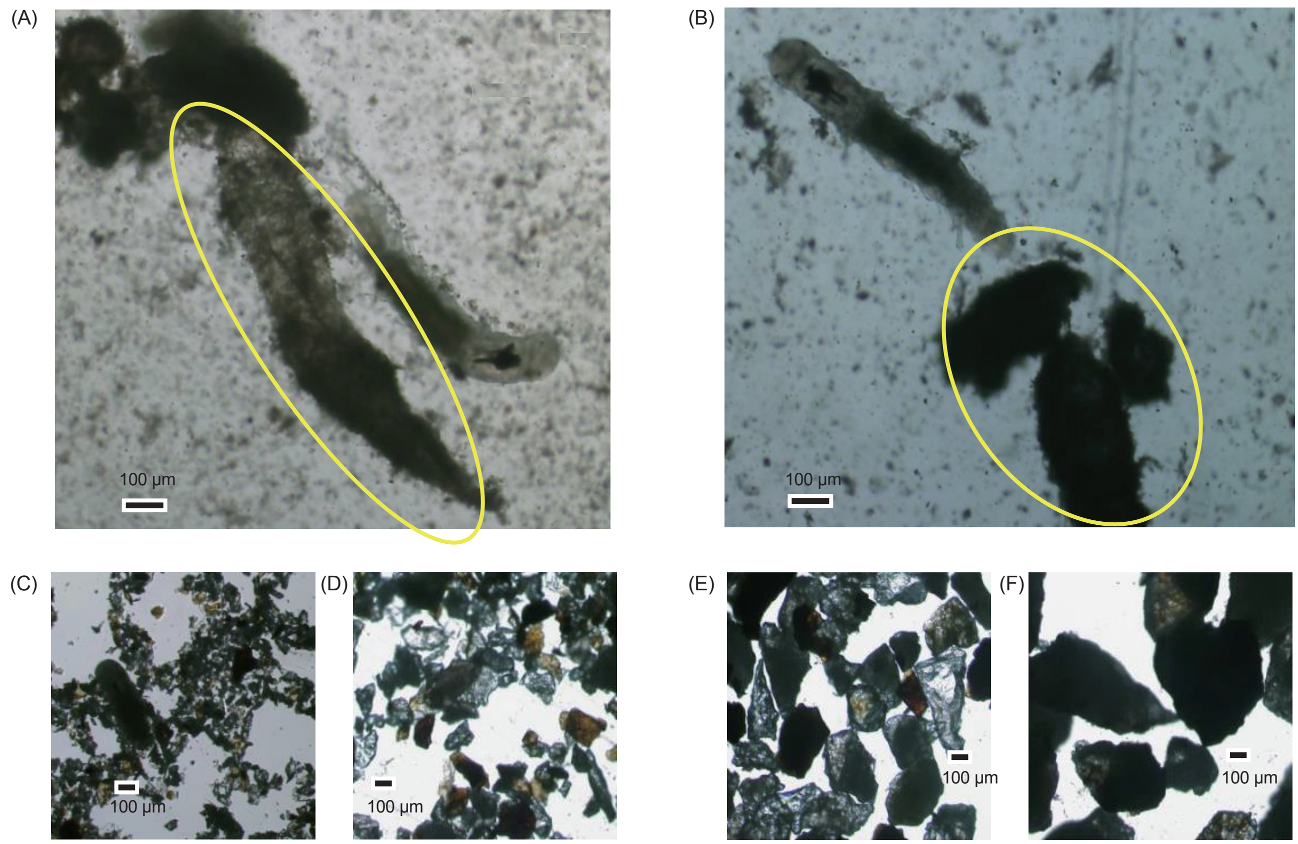

Fig. 8. The formation of inhabitation tube. A-B, Formation of stable inhabitation tube in red circles; C-F, without inhabitation tube ; A, Less than Ø 0.004 mm; B, Ø 0.004-0.016 mm; C, Ø 0.016-0.063 mm; D, Ø 0.063-0.25 mm; E, Ø 0.25-0.5 mm; F, Ø 0.5-2 mm.

LSD)으로 평균 간의 유의성($P<0.05$)을 검정하였다.

결 과

사육기질 크기에 따른 유생의 착저 및 성장

유생의 사육기질 크기에 따른 착저 선택성(Fig. 4)은 A, B, C 기질이 각각 20%, 20%, 23%로 다른 기질에 비해서 유의하게 높았다. 기질이 없는 control은 5%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 기질 크기에 따른 착저 완료시간은 A~B~C>D>E=F>control의 순서로 빠르게 관찰되었다(Fig. 5). A, B, C 기질이 54-60시간으로 유의하게 낮았으며, 기질이 없는 control이 76시간으로 가장 높았다. 사육기질의 크기가 작을수록(<Ø 0.063 mm) 착저 선택성이 높았고, 착저 완료시간이 빨랐다. 반면에 비교적 크기가 큰 기질(>Ø 0.063 mm) 일수록 착저 선택성이 낮았고, 착저 완료시간이 늦었다. 모든 실험구에서 유생 분출 24시간 만에 절반 이상의 유생이 착저를 완료하였다.

유생의 사육기질 크기에 따른 성장(Fig. 6)은 B 기질에서 체절 측족수가 4.7개로 가장 많았고, 나머지 기질보다 유의하게 많았다. 유생의 사육기질 크기에 따른 생존율(Fig. 7)은 B 기질에서 95.3%로 가장 높았다. A, C, E 기질과 control의 생존율이 84.7-90.7% 범위로 이들 간의 유의한 차이는 없었다. 현미경으로 관찰한 크기별 기질의 서식관 형태를 Fig. 8에 나타내었다. Ø 0.016 mm 미만의 기질인 A, B 기질에서는 안정적인 서식관을 관찰할 수 있었지만 Ø 0.016 mm 이상의 기질들(C, D, E, F)에서는 서식관을 거의 관찰할 수 없었다.

사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장

유생의 사육기질 유기물 함량에 따른 착저 선택성(Fig. 9)은 유기물 함량이 가장 높은 10% mud가 27.6±12.6%로 유의하게 높았고, 7.5% mud와 5% mud는 각각 21.9±4.8%, 19.6±6.7%로 비교적 높은 선택성을 보였고 2.5% mud와 0% (유기물 제거) mud는 각각 9.7±1.9%, 11.7±7.2%로 control (9.6±5.7%)과 같이 유의하게 낮은 선택성을 보였다. 착저 완료 시간은 유기물이 함유되어 있는 구간들이 50시간 이하로 비교적 빨리 착저하였고, 0% mud (60시간)와 control (76시간)과는 유의한 차이를 보였다(Fig. 10). 시간경과에 따른 착저한 유생의 수를 관찰한 결과, 모든 실험구에서 유생 분출 24시간 만에 절반 이상의 유생이 착저를 완료하였다. 기질이 없는 control

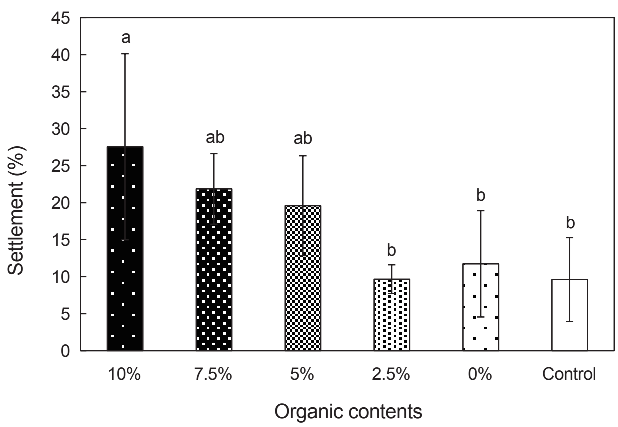

Fig. 9. Settlement selection (%) of *Marphysa sanguinea* larvae by organic contents of substrates.

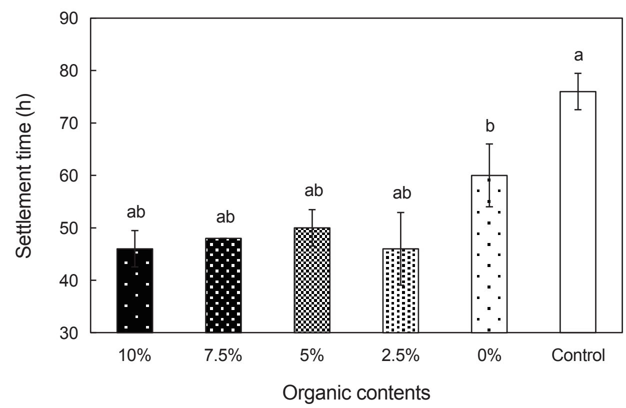

Fig. 10. Settlement time (h) of *Marphysa sanguinea* larvae by organic contents of substrates.

을 제외한 모든 실험구에서 빠르게 착저가 진행되었고, 시간경과에 따른 착저 유생의 수가 큰 차이를 보이지 않았다. 유기물이 함유되어 있지 않은 0% mud에서의 유생은 유기물이 함유되어 있는 구간들과 비슷한 속도로 착저하였지만 착저 완료 시간은 비교적 늦었다.

유생의 사육기질 유기물 함량에 따른 12일간의 성장을 Fig. 11에 나타내었다. 7일까지의 성장은 control을 제외한 모든 구간이 유의한 차이를 보이지 않았다. 10일차에는 비교적 유기물 함량이 높은 5%, 7.5%, 10% mud 구간에서 측족수 5개 이상으로 높은 결과를 보였으며, 2.5%와 0% mud에서는 각각 4.8, 4.9개로 낮은 수치를 보였다. 12일차에서의 측족수는 10%>7.5%>5%>2.5%>0%>control의 순서로 높았다. 10% mud에서 5.3개로 가장 높았으며, 0% mud는 5.0개 그리고 control은 4.7개로 가장 낮았다.

Fig. 12에 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 12일간의 생존율을 나타내었다. 생존율은 7일차에 10% mud를 제외한 모든 구간이 84% 이상의 생존율을 보인 반면, 10% mud는 78%로 가장 낮은 생존율을 나타냈다. 10일차에는 7.5%와 5% mud에서 각각 77.7%, 78.7%로 생존율이 높았고, 10% mud의 생존율은 60.7%로 감소하였다. 12일차에서는 5%와 7.5% mud가 70.3%, 72%로 유의하게 높은 생존율을 나타냈으며, 5% 이하의 유기물 농도가 낮은 구간은 시간이 경과하면서 생존율이 유의하게 낮아졌다. 한편, 유기물 농도가 높은 10% mud도 유의한 차이를 보이면서 낮아져 12일차는 생존율이 50.7%로 가장 낮았다.

고 찰

고부가 바위털갯지렁이의 인공종자생산 과정에서 제시되고 있는 초기 착저단계의 급격한 폐사율에 대한 문제점을 해석하기 위하여 유생 착저에 영향을 미치는 기질의 특성 및 착저 시간을 규명하여 기초자료를 제공하고자 하였다. 현재까지 바위털갯지렁이 기질에 관한 국내 연구는 Kang et al. (1997), Kang et al. (2000), Heo (2011), Kim and Jang (2008), Kim (2012) 등에 의해 저질크기 선택성, 잠입 깊이, 서식굴 형태 및 기질에 따른 성장 및 생산성에 대해 실시되어져 왔으나, 폐사율이 가장 높은 유생 착저에서 치충 사육 초기단계의 사육기질의 각 요소별 특징에 대해서는 다루지 않았다. 한편 많은 해양저서무척추동물종의 유생은 서식지와 연관된 특정한 화학적 신호에 따른 변태(Pawlik, 1992), 기질의 크기에 따른 유생의 변태 신호(Gray, 1974), 유생의 서식지 선택에서 유기물의 질(Thiyagarajan et al., 2005)의 중요성이 강조된 바 있으나, 바위털갯지렁이에 대한 기질의 크기와 유기물 함량이 발생초기 유생의 착저 및 성장과 생존에 미치는 연구는 찾아볼 수 없다.

본 실험에서 기질 크기별 착저 선택성을 확인한 결과 비교적 크기가 작은 Ø 0.063 mm 미만인 실트와 점토로 분류되는 기질이 크기가 큰 다른 기질에 비해 높은 값을 나타내었다. 착저 시간 또한 입자 크기가 작을수록 빨랐다. 한편 기질의 유기물 함량별 착저 선택성과 착저 시간은 유기물 함량이 가장 높은 10% mud에서 가장 높았다. 버들갯지렁이류인 *Capitella* sp.는 저질이 없는 깨끗한 사육환경 내에서 변태가 최소한 수일간 지연된다(Pechenik and Cerulli, 1991). 저질에 착생하는 동물의 부유생활기 기간은 종 특이성이 높고, 대부분의 유생이 변태를 지연하는 것은 유생의 능력에 의존한다고 보고된 바 있다(Pechenik 2006). 대부분의 해양 저서 무척추동물 유생의 착저와 가입과정에는 많은 변수가 작용하지만 화학적 자극(chemical cues)과 유인물(inducers)에 의한 기질 선택 및 변태에 기여할 가능성이 제시되었고(Morse, 1991; Pawlik, 1992), 유생의 반응이 단백질과 효소계를 인식하는 신경계 시그널 역할과 관련될 것이라 추정되었다(Rodriguez et al., 1993). *Capitella* sp. 후기 유생의 착저와 변태에 펄 입자 크기와 함유된 유기물이 화학적 자극요소로 작용한다는 결과를 보고(Cohen and Pechenik, 1999)하였

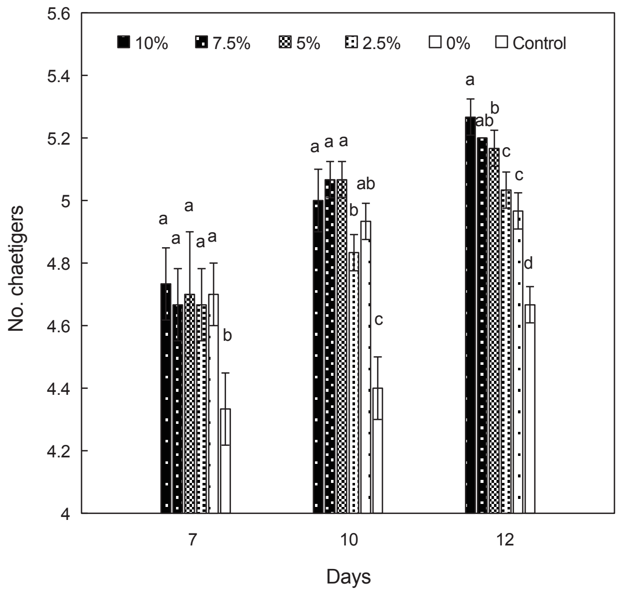

Fig. 11. Chaetigers number of *Marphysa sanguinea* larvae by organic contents of substrates for 12 days. Different letters on the bars indicate a significant difference between treatments (P<0.05).

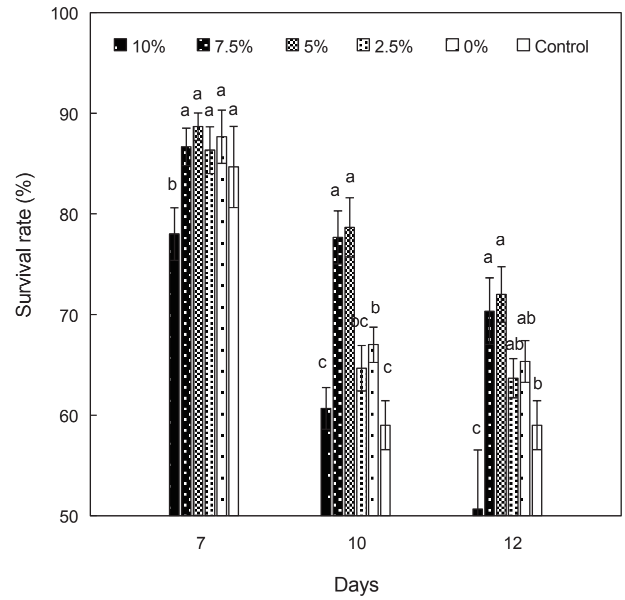

Fig. 12. Survival rate (%) of *Marphysa sanguinea* larvae by organic contents of substrates for 12 days. Different letters on the bars indicate a significant difference between treatments (P<0.05).

다. 본 연구에서 크기가 작고 유기물 함량이 높은 기질이 바위털갯지렁이 유생의 착저와 유충의 성장에 보다 선택적으로 반응한 것과 거의 동일한 결과이다. 즉, 유생의 착저 이후 유충단계를 거치면서 포식자 방어를 위한 서식관 구축, 이에 적합한 신체 구조변화(변태) 등, 이 시기에 많은 에너지를 필요로 하는 시기로 볼 수 있다. 적절한 기질과 유인물 및 에너지원의 부족으로 다른 갯지렁이 유생과 마찬가지로 착저(변태) 시기에 명확한 차이를 보인 것으로 해석할 수 있다. 따라서 바위털갯지렁이 유생은 착저할 기질을 스스로 탐색할 수 있는 능력이 있어서 기질의 물리적, 화학적 특성을 구별하여 이용하는 것으로 유추할 수 있다. 유생의 착저에 영향을 미치는 세분화된 기질 특성을 규명하기 위해서는 기질의 질감, 화학적 조성 등에 대한 보다 구체적인 연구가 필요할 것이다.

기질 크기에 따른 유생의 성장 및 생존율은 크기가 아주 작은 mud 수준(Ø 0.004 이하-0.016 mm)인 기질에서 높은 반면, 그 이상의 크기에서는 서식관의 미형성으로 노출에 의한 스트레스 또는 미립자 기질이 함유하는 화학적 원소 등의 영향이 큰 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 사육기질의 유기물 함량에 따른 유생의 성장 및 생존율에서도 나타나고 있다. Heo (2011)에 의하면 유생 분출 후 7일이 경과하면서 장의 형성이 뚜렷해지고 상, 하악의 운동이 확실해지면서 섭이를 시작한다고 보고하였다. 본 연구에서도 사육기질의 유기물 함량이 악치(jaw)가 완전히 생겨나기 이전인 7일까지는 성장에 영향을 미치지 않고 있으나, 12일차에는 10% mud가 체절 측족수가 많고, 유기물 함량이 낮아질수록 발달이 늦은 것을 알 수 있다. 폐쇄된 사육환경 내에서 12일 동안 3일에 한번 1/2의 해수를 환수하는 조건에서는 대량의 초기 어린개체군의 발달과 성장에 필요한 미지의 원소 중에서 제한요인이 작용하고 있는 것으로 유추할 수 있다. 환수의 주기가 더 짧거나, 연속 유수조건에서는 성장과 생존율이 높게 나타나기 때문이다(Kim et al., 2018). 즉, 초기 생존율은 안정적인 서식관을 형성할 수 있는 작은 기질 크기에 의해 결정이 되고, 이후의 생존에는 사료 급이 외의 기질의 유기물 또는 사육해수에 포함된 미지의 영양소가 필요하다는 것을 의미한다(Zimmer et al., 2008). 또한 이와 관련된 최근 연구(Kim, 2019)에서도 유생기의 부유기간을 거쳐 착저단계에서 수중 구성원소의 충실한 공급, 즉 이들 대량사육생물의 안정적인 물질대사에 제한요인이 되지 않게 하여 안정적인 성장 발달과 높은 생존율(70% 이상)을 입증함으로써 이를 뒷받침할 수 있는 결과를 제시하고 있다. 사육 기질과 유기물 함량에 포함된 각종 원소의 분석은 물론, 초기 성장의 제한요인에 대한 보다 구체적인 연구가 절실히 필요하다.

사 사

본 연구는 해양수산기술지역특성화사업(R&D/20140418)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Byrd KM. 1996. Subsistence strategies in coastal Ecuador. In: Case studies in Environmental Archaeology. (eds by Reitz J, Newsom a LA and Scudder SJ). Plenum Press, New York, NY, U.S.A., 305-318.

Cohen RA and Pechenik JA. 1999. Relationship between sediment organic content, metamorphosis, and postlarval performance in the deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I. J Exp Mar Biol Ecol 240, 1-18. https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00047-7.

Gray JS. 1974. Animal-sediment relationships. Oceanogr Mar Biol Annu Rev 12, 223-261.

Heo CH. 2011. Larval development and effect of substrates on juvenile growth of polychaete *Marphysa sanguinea*. Master thesis. Pukyoung National University, Busan, Korea.

Kang KH, Kim JM and Lee YH. 2000. Studies on the habitat ecology for indoor tanks aquaculture of the polychaete *Marphysa sanguinea*. Bull Fish Sci Inst Yosu Nat'l Univ 9, 114−121.

Kang KH, Lee JH, Yoo SK and Chang YJ. 1997. Sediment preference and burrow shape of the polychaete, *Perinereis aibuhitensis* according to the laboratory culture. Korean J Fish Aquatic Sci 30, 634-639.

KCS (Korea Customs Service). 2015. Korea customs service, Trade statistics. KCS, Daejeon, Korea.

Kim CH. 2019. A guide book on artificial seed production of the high-value polychaete, *Marphysa victori.* Young House, Busan, Korea, 166.

Kim CH and Jang SW. 2008. Effects of rearing conditions on the artificial seed production of a polychaete *Maphysa sanguinea*. J Aquacult 21, 34-40.

Kim KH. 2012. Early-rearing techniques for the mass seeding production of polychaete *Marphysa sanguinea*. M.S. thesis, Pukyoung National University, Busan, Korea.

Kim YK, Phoo WW and Kim CH. 2018. Effects of water exchange rate on the juvenile survival and growth of the rockworm *Marphysa sanguinea* (Polychaeta: Eunicidae). J Fish Mar Sci Edu 30, 1497-1505. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.08.30.4.1497.

Morse ANC. 1991. How do planktonic larvae know where to settle ?. Am Scient 79, 154-167.

Olive PJW. 1994. Polychaeta as a world resource: a review of patterns of exploitation as sea angling baits and the potential for aquaculture based production. Memoires du Museum National D'Histoire Naturelle 162, 603-610.

Olive PJW. 1999. Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism. Hydrobiologia 402, 175-183. https://doi.org/10.1023/A:1003744610012.

Paik EI. 1989. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 31, Polychaeta. Ministry of Education, Seoul, Korea, 424-425.

Pawlik JR. 1992. Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates. Oceanogr Mar Biol Annu Rev 30, 273-335.

Pechenik JA. 2006. Larval experience and latent effects: metamorphosis is not a new beginning. Integr Comp Biol 46, 323-333. https://doi.org/10.1093/icb/icj028.

Pechenik JA and Cerulli TA. 1991. Influence of delayed metamorphosis on survival, growth, and reproduction of the marine polychaete, *Capitella* sp. I. J Exp Mar Biol Ecol 151, 17-27.

Prevedelli D. 2007. Life cycle of *Marphysa sanguinea* (Polychaeta:Eunicidae) in the Venice Lagoon (Italy). Mar Ecol, 28, 384-393. https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2007.00160.x.

Rhoads DC. 1973. Influence of deposit-feeding benthos on water turbidity and nutrient recycling. Am J Sci 273, 1-22.

Rodriguez SR, Ojeda FP and Inestrosa NC. 1993. Settlement of benthic marine invertebrates. Mar Eco Prog Ser 97, 193-207.

Rouse GW and Pleijel F. 2001. Polychaetes. Oxford University Press, London, U.K., 354.

Thiyagarajan V, Soo L and Qian PY. 2005. The role of sediment organic matter composition in larval habitat selection by the polychaete *Capitella* sp. I. J Exp Mar Biol Ecol 323, 70-83. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.03.001.

Watson GJ, Murray JM, Schaefer M and Bonner A. 2016. Bait worms: a valuable and important fishery with implications for fisheries and conservation management. Fish Fish 18, 59-67. https://doi.org/10.1111/faf.12178.

Zimmer CA, Starczak VR, Arch VS and Zimmer RK. 2008. Larval settlement in flocculated particulates. J Mar Res 66, 275-297. https://doi.org/10.1357/002224008785837167.