

수온 및 하상 변화에 대한 참실지렁이 (*Tubifex tubifex*)의 행동 반응

강혜진¹ · 배미정² · 박영석^{1,3,*}

¹경희대학교 생물학과, ²국립낙동강생물자원관 담수생물다양성연구실, ³경희대학교 나노의약생명과학과

Behavioral Response of *Tubifex tubifex* to Changes of Water Temperature and Substrate Composition. Kang, Hyejin¹ (0000-0001-6747-5420), Mi-Jung Bae² (0000-0003-4286-1119) and Young-Seuk Park^{1,3,*} (0000-0001-7025-8945) (¹Department of Biology, Kyung Hee University, Dongdaemun-gu, Seoul 02447, Republic of Korea; ²Freshwater Biodiversity Research Division, Nakdonggang National Institute of Biological Resources, Sangju-si, Gyeongsangbuk-do 37242, Republic of Korea; ³Department of Life and Nanopharmaceutical Sciences, Kyung Hee University, Dongdaemun-gu, Seoul 02447, Republic of Korea)

Abstract In this study, we investigated the response of freshwater oligochaete, *Tubifex tubifex*, to the water temperature changes and the differences of substrate composition in a laboratory condition. The changes of body shape were observed in a test cage according to the water temperature change ranging from 10°C to 30°C with 2°C interval every 10 minutes. The substrate preference was observed with four different substrate composition from silt-clay to coarse sand. Our results displayed that *T. tubifex* preferred substrates with the smallest particle size (<0.063 mm). The water temperature influenced on the activity and body shape of *T. tubifex*, showing low activity with the coiled and constricted body shapes at lower temperature and high activity with relaxed linear body shapes at higher temperature.

Key words: freshwater oligochaete, *Tubifex tubifex*, effects of temperature, substrate preference, body shape

서 론

생물은 종마다 서식 가능한 환경조건에 차이가 있다. 특히, 수온과 하천 바닥의 하상 구조의 차이는 이들의 생활사 및 행동에 큰 영향을 준다(Neddeau *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2012). 하상 입자에 대한 선호도는 종에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 강도래, 하루살이, 날도래류와 같이 유속이 비교적 빠른 여울 지역을 선호하는 종들은 호박돌 등과 같은 큰 크기의 입자를 선호한다(Cummins *et al.*, 1969;

Corkum *et al.*, 1977; Peckarsky, 1991). 반면, 실지렁이붙이(*Lumbriculus variegatus*)와 참실지렁이를 포함한 몇몇 실지렁이과(Tubificidae)에 속하는 종은 미사(silt)(<0.063 mm) 같은 작은 크기의 입자를 선호한다고 보고되었다(Lazim and Learne, 1987; Rodriguez *et al.*, 2001).

계절적 변동, 도시화, 산업폐수 등으로 인한 수온 변화는 저서성대형무척추동물의 서식(Regier *et al.*, 1990; LeBlanc *et al.*, 1997; Neddeau *et al.*, 2003), 생존, 성장을 결정하는 중요한 인자 중 하나이다(Regier *et al.*, 1990). 예를 들어, Sutcliffe *et al.*(1981)에 따르면 옆새우(*Gammarus pulex*)의 성장률은 수온 로그 단위에서 비례한다. Giberson과 Rosenberg(1992)는 하루살이 *Hexagenia* 속이 8°C에서 가장 낮은 성장률을 보이며 20°C일 때 성장률과 산란율

Manuscript received 31 August 2017, revised 22 September 2017, revision accepted 23 September 2017
* Corresponding author: Tel: +82-2-961-0946, Fax: +82-2-961-0244, E-mail: parkys@khu.ac.kr

모두 높은 것으로 보고하였다. 또한 Brittain (1983)은 강도래 네 종(*Nemoura cinerea*, *Nemoura avicularis*, *Capnia atra*, *Diura bicaudata*)의 성장률이 수온과 관계가 있음을 확인하였으며, *C. atra*는 낮은 온도(0.2~1.0°C)에서 다른 세 종들보다 빨리 성장한다고 하였다. 또한 실지렁이 과에 속하는 아가미지렁이(*Branchiura sowerbyi*)의 성장과 생식도 수온에 영향을 받는다고 보고되었다(Aston, 1968; Bonacina *et al.*, 1994). Aston (1968)과 Bonacina *et al.* (1994)에 따르면 아가미지렁이는 25°C에서 부화율이 가장 높았으나 생식력의 경우 15°C에서 20°C까지는 증가하나 25°C에서는 오히려 감소하였다. 또한 Chapman *et al.* (1982)에 따르면 35°C 이상의 수온에 96시간 노출될 경우 담수 지렁이 종들은 치사 효과를 보인다고 하였다. 수온이 낮은 곳(6°C)에서 담수 지렁이의 배설률이 낮고, 수온이 높고 미사의 비율이 낮은 하상에서 배설률이 높다는 보고도 있다(Leppänen and Kukkonen, 1998). 그러나 수온이 실지렁이의 형태적 행동 반응에 미치는 영향에 대한 연구는 보고되지 않았다.

참실지렁이는 국내에 널리 분포하는 담수 지렁이의 한 종으로(Timm, 1999), 주로 하천의 수변 또는 유속이 느린 곳에 많이 서식하며 하상에 굴을 파는 습성(burrowing behavior)을 보인다. 몸을 하상에 완전히 묻고 있거나, 앞부분은 파고들고 나머지는 물속에 유영하면서 살기 때문에 수온과 하상의 입자 크기는 서식에 중요한 요인이라고 할 수 있다. 참실지렁이는 담수 지렁이 중 상대적으로 유기물 오염에 대한 내성이 강한 종으로 이들이 많이 서식하는 경우 유기물 오염이 심한 것을 나타내는 수질평가 지표종으로 이용된다(Brinkhurst and Kennedy, 1965; Lin and Yo, 2008).

그러나, 국내에서 참실지렁이 관련 연구는 주로 분류학적 연구(Brinkhurst *et al.*, 1994; Timm, 1999; Seong and Hak, 2000; Park *et al.*, 2013; Lee and Jung, 2014a, b)와 수질정화를 위한 실지렁이의 이용 가능성 연구(Choi, 2005; Jun and Park, 2005), 실지렁이의 생태독성 실험에 관한 연구(Kang *et al.*, 2016)만이 수행되어왔다. 그러나, 이들의 국내 분포, 서식처 선호도 등과 같은 기초생태 관련 연구는 미미하다. 참실지렁이의 분포 및 풍부도는 같은 지역 내 미소서식처에서도 수온과 하상 입자의 차이에 따라서 크게 달라진다고 알려져 있으나, 이를 정량적으로 분석한 연구는 희소하다. 이에, 본 연구에서는 참실지렁이의 미소서식처 선호도를 평가하기 위해, 수온 변화가 참실지렁이의 행동 변화에 미치는 영향을 파악하고, 참실지렁이가 선호하는 하상 입자 크기를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물

실험동물은 참실지렁이(*Tubifex tubifex*)를 이용하였다. 참실지렁이는 어류 등의 먹이로 사용되는데 이를 공급하는 사육 농장(비지떡, <http://www.bizidduk.com>, 전라남도 순천)으로부터 공급받아 사용하였다. 구입된 재료에 포함된 깔따구 등 참실지렁이 이외의 종은 분리, 제거 후 사용하였다. 실험용 참실지렁이는 실험실에서 온도를 22°C로 유지하고, 먹이(Tetra Bits, Tetra)는 주 2회 공급하는 조건에서 1주일 이상 사육하여 적응시킨 후 실험에 사용하였다. 참실지렁이의 종 분류는 mitochondrial cytochrome oxidase subunit 1 유전자 분석을 수행하고 NCBI의 BLAST(NCBI Nucleotide BLAST, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)를 이용하여 확인하였다. 유전자 분석 결과는 NCBI GenBank에 등록하였다(access number: MF669032, MF669033).

2. 수온 증가에 따른 행동 반응

수온 변화에 대한 참실지렁이의 행동 반응을 조사하기 위해 수온 조절이 용이한 항온수조(모델명 DWB-22, 내부 가로 50 cm, 세로 30 cm, 높이 12 cm)를 이용하였으며, 항온수조 내에 6개의 관찰용 수조를 설치하였다. 또한 참실지렁이 관찰 용이성을 위해 항온수조 위에 알루미늄 프레임 설치하고 웹캠(Logitech, webcam C905)을 장착하였다. 각 실험수조에는 참실지렁이 1 개체씩 넣었으며, 한 시간의 순응을 거친 후 참실지렁이의 몸 형태를 관찰하였다. 수온은 10°C에서 30°C까지 10분 간격으로 2°C씩 증가시켰으며, 2°C 간격으로 참실지렁이의 행동 반응을 관찰하였다. 관찰용 수조의 온도를 일정하기 상승시키기 위하여 사전 조사를 한 결과, 관찰용 수조의 수온을 2°C씩 상승시키는 데 10분이 소요되었다. 이에 따라 10분 간격으로 수온을 상승시켰다. 실험에 이용된 참실지렁이의 개체수는 총 60 개체였으며, 실험 오류로 사용 불가능한 2 개체를 제외하고 58 개체를 분석했다.

촬영한 영상 속 참실지렁이 개체의 꼬임과 이완 정도를 구분하여 수온 변화에 대한 반응을 판단하였다. 몸체의 꼬임 정도에 따라 네 가지 유형으로 구분하였다(Fig. 1a): 유형 1; 몸체가 완전히 꼬여있는 경우, 유형 2; 꼬여있지만 몸의 양 말단이 풀려 있는 경우, 유형 3; 한 번 또는 두 번의 나선상 꼬임만 존재하는 경우, 유형 4; 꼬임 없이 선형인 경우. 또한 개체 몸체의 수축 또는 이완 정도를 평가하기 위해 개체의 몸 전체를 포함한 가장 작은 원의 지름을

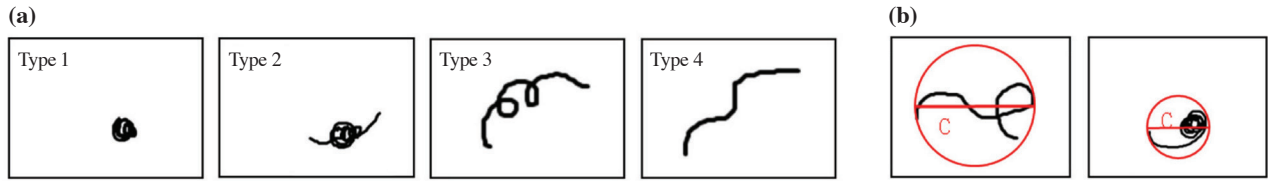


Fig. 1. (a) Examples of body shape types for oligochaetes responding to water temperature changes. (b) Measurement of contraction degree (C; mm).

측정하였으며, 이를 수축 정도 (contraction degree) 지수로 사용하였다 (Fig. 1b). 원의 지름 측정은 i-Solution (Version 2001, iMTechnology) 프로그램을 이용하였다.

3. 참실지렁이의 하상 선호도 실험

참실지렁이의 하상 입자 크기에 대한 선호도를 조사하기 위해 서로 다른 크기의 하상을 동시에 비교할 수 있도록 관찰 상자를 설치하였다. 가로와 세로가 각각 20 cm 인 아크릴 수조를 준비하고 이를 칸막이를 이용하여 균등하게 네 구역으로 분리하였다. 각각의 구역에는 서로 다른 입자 크기로 구성된 하상을 설치하였다. 하상 입자 크기 구성은 서로 다른 2가지 조건에서 실시하였다. 조건 1은 미사-진흙 (silt-clay, <0.0625 mm), 아주 고운 모래 (very fine sand, 0.0625~0.125 mm), 고운 모래 (fine sand, 0.125~0.25 mm), 모래 (medium sand, 0.25~0.5 mm)로 구성하였으며, 조건 2는 silt-clay, very fine + fine sand, medium sand, 굵은 모래 (coarse sand, 0.5~1 mm)로 구성하였다. 각 하상은 관찰 상자에 높이 3cm로 채웠다. 이후 하상 입자들이 섞이지 않도록 탈염시킨 물을 조심스럽게 채웠다. 이후 서로 다른 크기의 하상이 섞이지 않게 주의 하며 칸막이를 제거하였다. 관찰 상자 중앙에 참실지렁이 군체 (약 3000마리)를 넣었으며 72시간 (3일) 후에 각 하상 별로 존재하는 참실지렁이 개체수를 확인하였다 (Fig. 2). 실험 기간 동안 먹이는 공급하지 않았으며, 암조건, 온도 22°C를 유지하였다. 참실지렁이의 개체수 산정은 서로 얽혀 있는 개체들이 많아 무게를 측정하여 정량화하였다. 72 시간 후 각 하상 조건의 개체수는 각 하상을 선택한 개체들을 모아 무게를 측정하고 이를 개체수로 환산하였다. 참실지렁이 개체를 하나씩 구분하여 헤아리는 것이 매우 어렵기 때문에 무게-개체수 관계식을 산출하여 개체수를 추론하였다. 개체수 추론은 사전 실험을 통하여 300 개체 (습윤 중량 90 mg)의 무게를 측정하여 비례식으로 사용하였다. 조건 1의 경우 10회 반복 자료, 조건 2의 경우 실험 오류를 제외한 6회 반복 자료를 사용하였다.

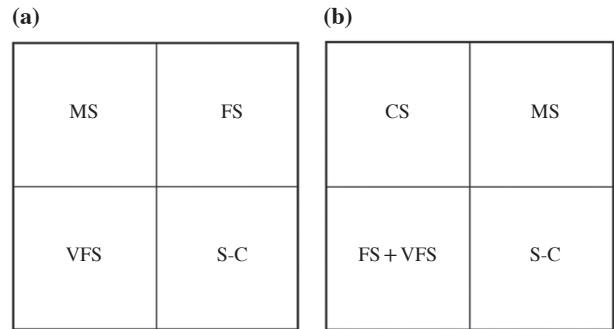


Fig. 2. Schematic diagram of test cage for substrate preference of *T. tubifex*. (a) Condition 1; MS, FS, VFS, S-C (MS: medium sand, FS: fine sand, VFS: very fine sand, S-C: silt-clay). (b) Condition 2: CS, MS, FS + VFS, S-C (CS: coarse sand).

4. 통계 분석

수온 변화에 따른 참실지렁이 활동성 변화 분석 및 하상 선호도는 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 수행하여 비교하였다. 통계적 유의성이 있는 경우 다중비교분석법인 Tukey HSD test로 검증하였다. 참실지렁이의 활동성 변화 분석은 수축 정도 지수를 이용하였으며 하상 선호도의 경우 참실지렁이의 개체수 차이를 비교하였다. 일원분산분석은 R (v.3.2.5, <https://www.r-project.org/>)의 package stats (R Core Team 2016), Tukey HSD test는 package agricolae (de Mendiburu, 2017)를 이용하여 수행했다.

결 과

1. 수온 증가에 따른 행동 반응

참실지렁이는 낮은 실험 온도 (10~16°C)에서는 유형 1과 2와 같이 몸을 수축하고 꼬여있는 비율이 50~67%로 가장 높았다. 수온이 증가함에 따라 서서히 꼬임이 풀리며 길게 이완되었다. 전반적으로 18°C에서 대부분 개체들의 몸이 풀어졌으며 (약 76%가 유형 3, 4의 형태를 보임) 24°C 이상에서는 유형 4가 75% 이상으로 몸이 길게 펼쳐

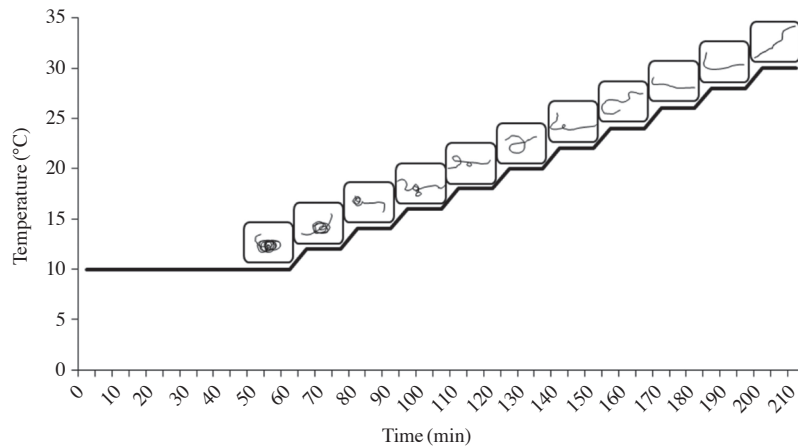


Fig. 3. Example of morphological change of *T. tubifex* according to water temperature increase.

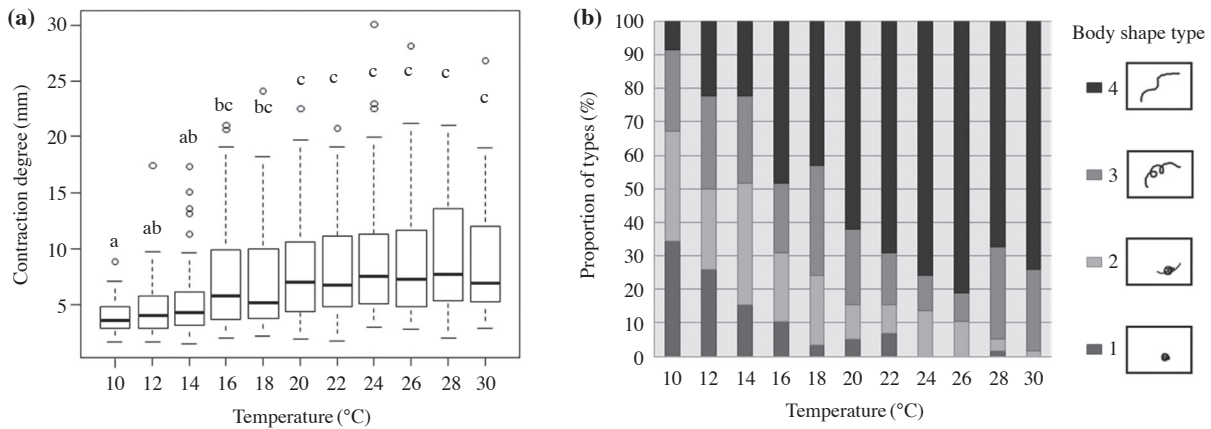


Fig. 4. Changes of contraction degree (a) and proportion of body shape types (b) for *T. tubifex* responding to temperature changes. Different alphabets on boxplot present significant differences among different temperature based on Tukey HSD ($p < 0.05$). In the boxplot, underline, middle line and upperline indicate 25 percentile, median, 75 percentile, respectively. Outside lines are minimum and maximum values, and open circles are outliers.

진 형태가 주로 지속되었다(Figs. 3, 4). 선형으로 풀린 개체들은 비커 내부를 유영하며 유형 4와 유형 3으로 관찰되는 경향을 보였다. 수온에 따른 수축 지수의 변화는 가장 낮은 온도인 10°C일 때, 중간 온도인 12~18°C일 때, 그리고 20°C 이상일 때에 그 차이가 통계적으로 유의했다(ANOVA, Tukey HSD test, $p < 0.05$). 유형 1과 2의 형태일 때 참실지렁이의 몸은 가장 많이 수축되어 있는 상태이고, 유형 3, 4로 꼬임이 감소하고 유영하는 모습으로 관찰될 때 몸의 이완된 정도는 증가하였다(Fig. 5). 각 수축 형태에 따른 수축 지수는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이러한 형태적 변화는 활동성 변화를 대변한다(ANOVA, Tukey HSD test, $p < 0.05$).

2. 하상 선호성

참실지렁이의 하상 선호성 실험 결과 하상 구성 조건에 관계 없이 수조 내 가장 작은 입자로 이루어진 하상에서 가장 많은 개체들이 관찰되어 하상 입자 크기가 작은 것을 선호함을 보였다. 하상 구성 조건 1의 경우, 미사-진흙(silt-clay)이 40% 정도의 선호성으로 가장 높았으며, 모래(medium sand)는 20% 정도의 선호성을 보였다(Fig. 6). 선호성의 차이는 통계적으로 유의했다(ANOVA, $p < 0.05$). 하상 구성 조건 2에서도 가장 작은 입자인 미사-진흙을 70%로 가장 선호하였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

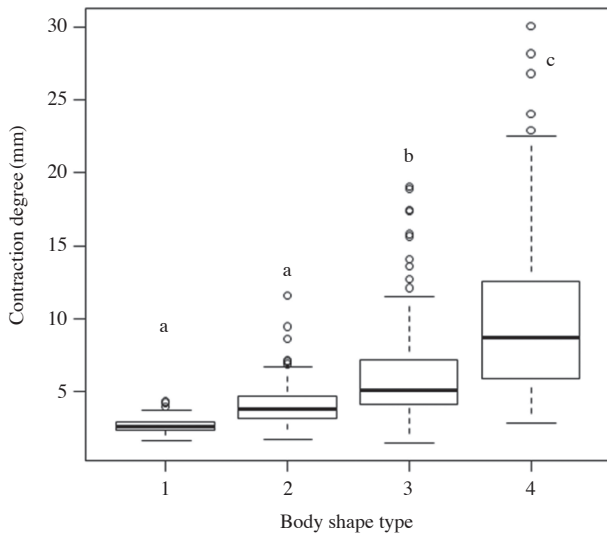


Fig. 5. Differences of contraction degree at different body shape types. Different alphabets on boxplot present significant differences among different temperature based on Tukey HSD ($p < 0.05$). In the boxplot, underline, middle line and upperline indicate 25 percentile, median, 75 percentile, respectively. Outside lines are minimum and maximum values, and open circles are outliers.

토의 및 결론

수온의 증가에 대한 실험을 통해 참실지렁이가 수온이 낮을 때는 몸체가 꼬여있는 상태를 유지하며 활동성도 낮고, 수온이 증가함에 따라 몸의 꼬임이 풀어지고 활동성이 증가한다는 것을 확인하였다. 하상이 존재하는 경우에도 수온이 낮으면 지렁이는 활동성이 저하되어 하상 속에 파고 들어 물속을 유영하지 않는다(Choi, 2005). 수온은 실지렁이과(Tubificidae)의 생존과 성장 또는 생식활동에 영향을 미친다(Aston, 1968; Chapman *et al.*, 1982; Bonacina *et al.*, 1994; Leppänen and Kukkonen, 1998). 이와 함께 본 연구에서 수온에 따라 실지렁이의 행동도 변한다는 것을 확인할 수 있었다. 문헌과 본 실험의 결과로 개체가 적합하지 않은 환경에 대한 방어기작으로 낮은 활동성과 꼬인 형태를 보인다고 할 수 있다.

이 연구에서 참실지렁이는 서로 다른 크기의 하상 입자가 있을 때 가장 작은 크기의 입자를 선호하였다. 이러한 결과는 하상의 구성을 바꾸어 실험한 경우에도 유사한 결과를 보였다. 참실지렁이가 작은 하상을 선호하는 이유는 입자를 먹은 후 유기물을 흡수하고 다시 배출하는 섭식행동에서 작은 크기의 입자가 큰 표면적을 제공하기 때문으로 판단된다(Lazim and Learner, 1987). 실험 조건 1에서 가장 작은 하상 미사-진흙 다음으로 선호된 것은 모래

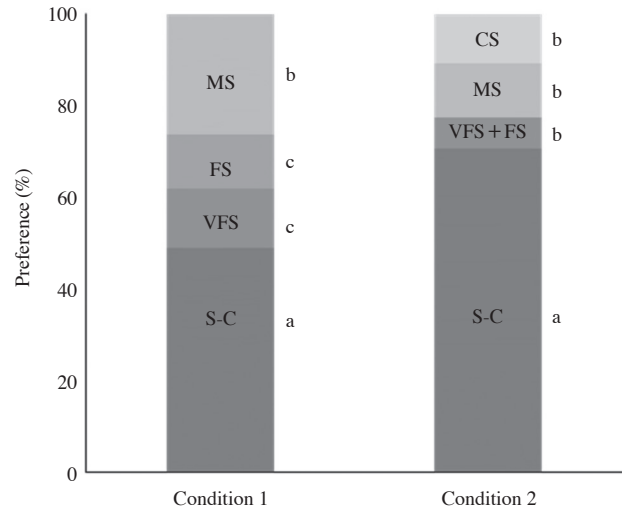


Fig. 6. Substrate preference with different substrate combinations. Condition 1: MS, FS, VFS, S-C; condition 2: CS, MS, VFS + FS, S-C. (CS: coarse sand (0.5~1.0 mm), MS: medium sand (0.25~0.5 mm), FS: fine sand (0.125~0.25 mm), VFS: very fine sand (0.0625~0.125 mm), S-C: silt-clay (<0.0625 mm)). Different alphabets beside barplot present significant differences among different substrate based on Tukey HSD ($p < 0.05$).

였다. 이러한 하상 입자 크기에 대한 선호성은 이전 연구에서도 유사한 결과가 보고되었다(Ladle, 1971; Lazim and Learner, 1987). 한편, 23종의 담수 지렁이(9 tubificids, 2 lumbriculids, 12 naidids)를 채집하여 분석한 Verdonshot (1999)에 따르면 참실지렁이는 유기물을 포함한 가는 모래(입자 직경 0.25~0.5 mm)나 유기물(총 유기물 함량 1% 이상)을 포함하는 굵은 모래(0.5~2 mm)를 선호한다고 하였다. Verdonshot(1999) 외에도 하상의 선호도에 관해서는 입자 크기뿐만 아니라 유기물의 양, 또는 하상 내 미생물의 구성(McMurtry *et al.*, 1983), 이용 가능한 먹이의 양(Brinkhurst, 1967) 등 여러 다른 조건들이 중요하다는 것을 보여주는 연구들이 있으므로 실제 분포를 예측하는 것은 입자 크기만으로는 어려울 것이라고 예상된다.

참실지렁이를 이용하여 수온 변화 및 하상 구성에 따른 반응을 분석한 결과 참실지렁이는 명확한 반응을 보였다. 다만 같은 종이라도 서로 다른 개체군은 서로 서식하는 환경에 적응해 있어서 개체군의 각 개체는 동일한 환경 또는 자극에 대한 반응에 차이가 있을 수 있다(Poddubnaya, 1980; Reynoldson *et al.*, 1996). 또한 성장 단계에 따라서도 환경 선호성의 차이가 있을 수 있다(Sutcliffe *et al.*, 1981). 따라서 실험실에서의 실험 결과와 실제 실지렁이가 분포하는 지점에서의 반응(행동)이 완벽히 일치하지 않을 수도 있을 것이다. 추후 보다 넓은 공간, 다양한 야외 조건에서

조사된 자료에 근거하여 지리적 인자, 하상 인자, 이화학적 수질 인자 등을 고려하여 담수 지렁이의 분포 및 서식지 특성, 생태학적 특성 등에 대한 연구가 필요하다.

적 요

담수에 서식하는 참실지렁이(*Tubifex tubifex*)가 수온 변화에 따라 보이는 반응과 하상의 구성에 대한 선호성을 분석하였다. 수온이 증가할 때 참실지렁이는 활동성이 증가하였다. 10~16°C의 낮은 온도에서 50% 이상의 개체가 몸을 수축하고 꼬여있는 상태로 관찰되었으며, 24°C 이상의 온도에서는 대부분의 개체가 몸을 꼬임 없이 이완시킨 상태로 관찰되었다. 하상입자의 크기가 다른 여러 하상을 이용한 실험에서는 가장 작은 입자인 미사-진흙(silt-clay, <0.063 mm)을 선호하였다.

사 사

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 기초연구사업(NRF-2013R1A1A2009494) 및 중견연구지원사업(NRF-2016R1A2B4011801)의 일부로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Aston, R.J. 1968. The effect of temperature on the life cycle, growth and fecundity of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta: Tubificidae). *Journal of Zoology* **154**(1): 29-40.
- Bonacina, C., A. Pasteris, G. Bonomi and D. Marzuoli. 1994. Quantitative observations on the population ecology of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta, Tubificidae). *Aquatic Oligochaete Biology* **V**: 267-274.
- Brinkhurst, R.O. 1967. The distribution of aquatic oligochaetes in Saginaw Bay, Lake Huron. *Limnology and Oceanography* **12**(1): 137-143.
- Brinkhurst, R.O. and C.R. Kennedy. 1965. Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream. *The Journal of Animal Ecology* **34**(2): 429-443.
- Brinkhurst, R.O., P. Rodriguez, T.-S. Chon and T.-S. Kwon. 1994. A new genus of Lumbriculidae (Oligochaeta) from Korea. *Canadian Journal of Zoology* **72**(11): 1960-1966.
- Brittain, J.E. 1983. The influence of temperature on nymphal growth rates in mountain stoneflies (Plecoptera). *Ecology* **64**(3): 440-446.
- Chapman, P.M., M.A. Farrell and R.O. Brinkhurst. 1982. Relative tolerances of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors. *Aquatic Toxicology* **2**(1): 47-67.
- Choi, Y.H. 2005. The Blood worm (*Limnodrilus socialis*'s) Using Capacity for Treatment of Aquaculture Wastewater. Masters Degree Thesis, Chungju University.
- Corkum, L.D., P.J. Pointing and J.J. Ciborowski. 1977. The influence of current velocity and substrate on the distribution and drift of two species of mayflies (Ephemeroptera). *Canadian Journal of Zoology* **55**(12): 1970-1977.
- Cummins, K.W. and G.H. Lauff. 1969. The influence of substrate particle size on the microdistribution of stream macrobenthos. *Hydrobiologia* **34**(2): 145-181.
- de Mendiburu, F. 2017. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-6. URL <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Giberson, D.J. and D.M. Rosenberg. 1992. Effects of temperature, food quantity, and nymphal rearing density on life-history traits of a northern population of Hexagenia (Ephemeroptera: Ephemeridae). *Journal of the North American Benthological Society* **11**(2): 181-193.
- Jones, J.I., J.F. Murphy, A.L. Collins, D.A. Sear, P.S. Naden and P.D. Armitage. 2012. The impact of fine sediment on macro-invertebrates. *River Research and Applications* **28**(8): 1055-1071.
- Jun, T.S. and J.H. Park. 2005. The Blood worm, *Limnodrilus socialis*'s Using Capacity for Treatment of Aquaculture Wastewater. *Chungju University Theses Collection* **40**(1): 201-206.
- Kang, H., M.J. Bae and Y.S. Park. 2016. Ecotoxicological Studies Using Aquatic Oligochaetes: Review. *Korean Journal of Ecology and Environment* **49**(4): 343-353.
- Ladle, M. 1971. The biology of Oligochaeta from Dorset chalk streams. *Freshwater Biology* **1**(1): 83-97.
- Lazim, M.N. and M.A. Learner. 1987. The influence of sediment composition and leaf litter on the distribution of tubificid worms (Oligochaeta). *Oecologia* **72**(1): 131-136.
- LeBlanc, R.T., R.D. Brown and J.E. FitzGibbon. 1997. Modeling the effects of land use change on the water temperature in unregulated urban streams. *Journal of Environmental Management* **49**(4): 445-469.
- Lee, J. and J. Jung. 2014a. Four unrecorded species of tubificid oligochaetes (Annelida: Clitellata) in Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity* **30**(4): 240.
- Lee, J. and J. Jung. 2014b. Two aquatic oligochaete species, *Dero dorsalis* and *Allonais pectinata* (Annelida: Clitellata: Naididae), new to Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity* **30**(2): 119.
- Leppänen, M.T. and J.V. Kukkonen. 1998. Factors affecting feeding rate, reproduction and growth of an oligochaete *Lumbriculus variegatus* (Müller). *Hydrobiologia* **377**(1): 183-194.

- Lin, K.J. and S.P. Yo. 2008. The effect of organic pollution on the abundance and distribution of aquatic oligochaetes in an urban water basin, Taiwan. *Hydrobiologia* **596**(1): 213-223.
- McMurtry, M.J., D.J. Rapport and K.E. Chua. 1983. Substrate selection by tubificid oligochaetes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **40**(10): 1639-1646.
- Nedeau, E.J., R.W. Merritt and M.G. Kaufman. 2003. The effect of an industrial effluent on an urban stream benthic community: water quality vs. habitat quality. *Environmental Pollution* **123**(1): 1-13.
- Park, H.J., T. Timm and Y.J. Bae. 2013. Taxonomy of the Korean freshwater Oligochaeta (Annelida) with eight species new to Korea. *Entomological Research Bulletin* **29**(2): 180-188.
- Peckarsky, B.L. 1991. Habitat selection by stream-dwelling predatory stoneflies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**(6): 1069-1076.
- Poddubnaya, T.L. 1980. Life cycles of mass species of Tubificidae (Oligochaeta). In *Aquatic oligochaete biology* (pp. 175-184). Springer US.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Regier, H.A., J.A. Holmes and D. Pauly. 1990. Influence of temperature changes on aquatic ecosystems: an interpretation of empirical data. *Transactions of the American Fisheries Society* **119**(2): 374-389.
- Reynoldson, T.B., P. Rodriguez and M.M. Madrid. 1996. A comparison of reproduction, growth and acute toxicity in two populations of *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) from the North American Great Lakes and Northern Spain. In *Aquatic Oligochaete Biology VI* (pp. 199-206). Springer Netherlands.
- Rodriguez, P., M. Martinez-Madrid, J.A. Arrate and E. Navarro. 2001. Selective feeding by the aquatic oligochaete *Tubifex tubifex* (Tubificidae, Clitellata). *Hydrobiologia* **463**(1): 133-140.
- Seong, M.Y. and B.K. Hak. 2000. Freshwater oligochaetes (Oligochaeta, Tubificida, Naididae) from several swamps in Kyungsangnam-do, Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diversity* **16**(2): 239-255.
- Sutcliffe, D.W., T.R. Carrick and L.G. Willoughby. 1981. Effects of diet, body size, age and temperature on growth rates in the amphipod *Gammarus pulex*. *Freshwater Biology* **11**(2): 183-214.
- Timm, T. 1999. Distribution of freshwater oligochaetes in the west and east coastal regions of the North Pacific Ocean. *Hydrobiologia* **406**: 67-81.
- Verdonschot, P.F. 1999. Micro-distribution of oligochaetes in a soft-bottomed lowland stream (Elsbeek; The Netherlands). *Hydrobiologia* **406**: 149-163.