

겨울철 논의 담수처리에 따른 실지렁이류의 생육특성*

한민수 · 김명현 · 강기경 · 나영은 · 김미란 · 최락중 · 조광진

국립농업과학원 기후변화생태과

Growth Characteristics of Tubificidae spp. by Flooding during Winter in Paddy Fields*

Han, Min-Su · Kim, Myung-Hyun · Kang, Kee-Kyung · Na, Young-Eun
Kim, Miran · Choe, Lak-Jung and Cho, Kwang-Jin

Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA.

ABSTRACT

This study was carried out to provide preliminary data for increasing biodiversity in agricultural ecosystem and investigate availability of using Tubificidae spp. for environment-friendly agriculture through the survey of growth of Tubificidae spp. in flooded paddy fields during winter. We estimated the number of Tubificidae spp. in rice paddy where had been flooded during the previous winter in Ganghwa-gun, Suwon-si, and Hwaseong-si (Bongdam-eup and Paltan-myeon) between March and April from 2010 to 2012. During growing period of rice, the number of Tubificidae spp. was compared between flooded and non-flooded paddy field in Ganghwa-gun. As results, mean density of Tubificidae spp. in winter flooded paddy field was 7,235.5 ind./m² in Ganghwa-gun, 14,347.5 ind./m² in Suwon-si, 59,989.9 ind./m² in Bongdam-eup, and 2,610.6 ind./m² in Paltan-myeon. Mean density of Tubificidae spp. was the highest in flooded paddy fields of Bongdam-eup that was kept wet until rice harvest time and had shallow water. While mean density was the lowest in

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ008954)의 지원에 의해 이루어진 것임.

First author : Han, Min-Su, Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea,
Tel : +82-31-290-0235, E-mail : hanminsu@korea.kr

Corresponding author : Cho, Kwang-Jin, Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea,
Tel : +82-31-290-0234, E-mail : 4233125@hanmail.net

Received : 11 June, 2013. **Revised** : 19 August, 2013. **Accepted** : 17 October, 2013.

Paltan-myeon where had deep water and later flooded paddy field than others. In Ganghwa-gun, during growing period of rice, mean density of Tubificidae spp. in flooded paddy fields (171,109.0 ind./m²) and flooded fallow paddy fields (321,084.2 ind./m²) was much higher than non-flooded paddy fields (1,006.6 ind./m²). Flooded paddy field during winter can help increase the number of Tubificidae spp. which can control weeds and enhance biodiversity in paddy fields for environment-friendly agriculture. Early flooding and shallow water of paddy fields could be a good agriculture practice to encourage the growth of Tubificidae spp..

Key Words : *Agricultural ecosystem, Flooded paddy field, Non-flooded paddy field, Tubificidae spp.*

I. 서 론

실지렁이류(Tubificidae spp.)는 빈모강(Oligochaeta), 물지렁이목(Archiloligochaeta), 실지렁이과(Tubificidae)에 속하는 수서생물로서 논, 물웅덩이, 저수지, 하천의 정수역에 주로 서식한다(Han *et al.*, 2010). 실지렁이과는 60년대 중반까지만 해도 담수, 해양생물학자들로부터 관심을 받지 못하였으나(Brinkhurst and Kennedy, 1965) 유기물이 많은 수역에서 우점하는 생태적 특성으로 인해 현재에는 하천이나 강에서 유기오염물질을 평가하는 지표생물로 활용되고 있다(Lin and Yo, 2008). 국내에서도 여러 하천에서 저서성대형무척추동물의 서식특성에 관한 연구가 이루어지면서 실지렁이류에 대한 생태적 특성도 일부 밝혀져 있다(Bae and Lee, 2001). 우리나라에는 8종의 실지렁이류가 서식하고 있는 것으로 보고되고 있으나, 실지렁이류에 대한 분류가 세부적으로 이루어져 있지 않아 주로 Tubificidae spp.로 표현하며 심지어 실지렁이류와 유사한 환경에서 서식하는 파리목(Diptera)의 깔다구류(*Chironomus* spp.)를 실지렁이로 지칭하기도 한다(Jun and Park, 2005).

우리나라 논에 서식하는 실지렁이과는 2종(*Tubifex* sp., *Branchiura sowerbyi*)이 기재되어 있으며(Han *et al.*, 2007), 일본에는 우리나라

에서 서식하는 *Branchiura sowerbyi*를 포함하여 4종(*Tubifex tubifex*, *Limnodrilus socialis*, *Limnodrilus willeyi*, *Limnodrilus motomurai*)의 실지렁이류가 더 보고되어 있다(Ito and Igarashi, 1954; Matsumoto and Yamamoto, 1966; Ito *et al.*, 2011).

최근 고품질 안전농산물 생산에 대한 소비자의 욕구가 커짐에 따라 화학비료와 농약사용을 줄이면서 잡초제거에 도움이 되는 왕우렁이, 오리 등을 활용한 친환경유기농업이 부각되었으나 예측하지 못했던 조류독감, 생태계 교란 등과 같은 생태적 위해성으로 인해 이를 대체할 만한 친환경농법이 고려되고 있다. 실지렁이류의 분변토는 농업생태계에 있어서 벼의 생육에 도움을 줄 뿐만 아니라, 잡초의 발아를 억제하거나(Kurihara and Kikuchi, 1988; Izumi, 2006) 어류의 주요 먹이원이 된다(Aston *et al.*, 1982; Marian and Pandian, 1984). 실지렁이류는 하천생태계에서 오염된 수질을 대표하는 지표생물의 역할 뿐만 아니라, 농업생태계에서 화학적인 인공요소를 배제하고 농산물의 생산성을 높이면서 생태적 문제를 해결할 수 있는 대체생물로 활용 가능할 것으로 기대된다.

한편, 관행농법에서 겨울의 논 대부분은 물이 없는 건조한 상태가 되는데, 벼 수확 후의

도적으로 논에 물을 채우는 것을 담수논이라 하며(Arao, 2012) 스페인, 미국, 중국, 일본 등에서 일부 실시하고 있다(Ito *et al.*, 2011). 담수논은 조류의 서식환경을 개선할 뿐만 아니라, 농약, 화학비료의 사용량감소로 인해 벼 생산의 종합적 경제성에 있어 우수하다고 보고되어 있다(Arao, 2012). 특히, 물새의 서식처 및 둥지를 분산시켜 물새의 과밀화로 인한 호소의 수질악화 및 전염병을 예방한다(Brandvold *et al.*, 1976). 벼 생산성에 있어서는 경운으로 벼 포기기를 부식시켜 식물생장에 영향을 주는 질소 고정세균이나 박테리아 번식을 증진시키고 우기에 상관없이 조생종이나 중생종을 재배 할 수 있으며, 잡초를 억제하고 토양의 견밀도를 낮추어 경운을 용이하게 한다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 2007). 이처럼 겨울철 담수논은 다양한 공익적 기능을 통해 자연과 공생할 수 있는 생태적 논 농업의 방향을 제시 해 줄 수 있을 것으로 사료된다.

국내에서 실지렁이류를 대상으로 한 연구는 매우 미진한 실정이며, 담수논의 조성과 생물과의 관련성 연구는 전무한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 겨울철 논에 담수처리가 실지렁이류의 생육에 미치는 영향을 파악하여 향후 논에서 친환경농법을 위한 대체생물로서의 이용가능성에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구범위 및 방법

겨울철 담수처리에 따른 실지렁이류의 생육 특성을 파악하기 위하여 인천광역시 강화군 2개소, 경기도 수원시 2개소, 경기도 화성시 3개소(봉담읍 2개소, 팔탄면 1개소) 등 총 7개소의 담수논과 무담수논을 대상으로 월동 후(3-4월) 실지렁이류의 개체밀도를 파악하였다. 또한 강화군에 위치하는 무담수경과논(전년도 수확 후 담수하지 않은 논으로 이듬해에 벼 재배가 이루어진 논) 1개소, 담수경과논(전년도

수확 후 담수한 논으로 이듬해에 벼 재배가 이루어진 논) 2개소, 담수경과휴경논(전년도 수확 후 담수한 논으로 이듬해에는 휴경한 논) 1개소를 대상으로 담수처리여부에 따른 벼 재배기간(6-8월)동안 실지렁이류의 생육특성을 조사하였다.

조사기간은 2010년부터 2012년까지 3년간이며 조사대상이 된 실지렁이류는 실지렁이(*Tubifex* sp.)와 아가미실지렁이(*Branchiura sowerbyi*)다. 월동 후(3-4월) 실지렁이류의 채집횟수는 월 1회씩 총 2회 실시하였으며 1회 조사시 3반복하여 평균값으로 나타내었다. 벼 재배기간 동안(6-8월)의 실지렁이류의 채집횟수는 월 1회씩 총 3회 조사하였으며 1회조사시 3반복하여 평균값으로 나타내었다. 채집방법은 지름 10cm × 높이 20cm의 코아를 제작하여 채집한 후 아이스박스에 담아 실험실에서 세척 분리하여 보존액에 담아두고 성체를 분류 및 계수하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 겨울철 담수여부에 따른 월동 후 실지렁이류의 생육특성

수확 후 겨울철 무담수논에서는 실지렁이류가 월동을 위해 난의 형태를 유지하고 있어 성체로 발달한 실지렁이류는 관찰되지 않았다. 겨울철 담수논에서 실지렁이류의 총 개체밀도는 봉담읍에서 59,989.9 ind./m²로 가장 많았고 다음으로 수원시, 강화군, 팔탄면 순으로 나타났다(Table 1). 가장 낮은 개체밀도가 확인된 팔탄면의 2,610.6 ind./m²에 비해 강화는 2.8배, 수원 5.5배, 봉담 23.0배의 차이가 나타났다. 이러한 차이는 담수기간 및 수심과 관계가 있는 것으로 고려되는데, 벼 수확기에도 물이 완전히 마르지 않는 곡간지의 봉담읍은 실지렁이의 부화가 빠르고 성장기간이 긴 반면, 저수지에 빗물가두기를 하여 담수논의 조성기

Table 1. Tubificidae spp. mean density (ind./m²) after winter in non-flooded paddy field (A) and flooded paddy field (B) of survey areas.

| Survey years | Taxons | Ganghwa (n=12) | | Suwon (n=12) | | Bongdam (n=12) | | Paltan (n=6) | | Pr > F |
|--------------|--------------------|----------------|-----------------------|--------------|------------------------|----------------|------------------------|--------------|-----------------------|--------|
| | | A | B | A | B | A | B | A | B | |
| 2010 | <i>B. sowerbyi</i> | Not found | 2,984.5 ^a | Not found | 2,296.6 ^b | Not found | 1,058.4 ^b | Not found | 148.2 ^b | 0.0005 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | | 2,497.7 ^{ab} | | 201.1 ^b | | 1,883.9 ^a | | 1,354.7 ^{ab} | 0.0163 |
| | Subtotal | | 5,482.2 ^a | | 2,497.7 ^b | | 2,942.3 ^{ab} | | 1,502.9 ^b | 0.0046 |
| 2011 | <i>B. sowerbyi</i> | Not found | 3,513.7 | Not found | 3,704.2 | Not found | 1,651.0 | Not found | 190.5 | NS |
| | <i>Tubifex</i> sp. | | 3,302.0 | | 1,397.0 | | 19,018.3 | | 5,503.4 | NS |
| | Subtotal | | 6,815.7 | | 5,101.2 | | 20,669.3 | | 5,693.9 | NS |
| 2012 | <i>B. sowerbyi</i> | Not found | 2,010.9 ^b | Not found | 11,197.2 ^a | Not found | 32,924.8 ^{ab} | Not found | 105.9 ^b | 0.0049 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | | 7,397.8 ^b | | 24,246.4 ^{ab} | | 123,433.4 ^a | | 529.2 ^b | 0.0047 |
| | Subtotal | | 9,408.6 ^b | | 35,443.6 ^{ab} | | 156,358.2 ^a | | 635.0 | 0.0077 |
| Mean | <i>B. sowerbyi</i> | Not found | 2,836.3 | Not found | 5,732.6 | Not found | 11,878.0 | Not found | 148.2 | NS |
| | <i>Tubifex</i> sp. | | 4,399.1 ^b | | 8,614.8 ^b | | 48,111.8 ^b | | 2,462.4 ^b | 0.0037 |
| | Subtotal | | 7,235.5 ^b | | 14,347.5 ^{ab} | | 59,989.9 ^b | | 2,610.6 ^b | 0.0080 |

a, b : Different letters indicate significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

간이 늦어진 팔탄면은 실지렁이의 부화가 늦고 성장기간이 짧아 개체밀도가 낮은 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 일본의 담수논에서 실지렁이와 깔다구가 성장기간이 길수록 개체수가 증가한다는 결과와 일치한다(Iwabuchi, 2003). 또한 팔탄면의 담수논은 저수지 주변에 위치하고 있어 담수시 수심이 1m 이상으로 깊어져 아가미실지렁이의 부화율이 낮았고 주로 서식하는 실지렁이 또한 수온이 낮아 번식이 힘들어 개체밀도가 낮았던 것으로 판단되었다.

따라서 겨울철 담수논이 조성되어야 실지렁이류가 성장을 일찍 시작하며 수확 후 담수논을 조성하는 시기가 빠를수록 실지렁이류의 성장기간이 길어져 번식에 유리하고 수심은 10cm 내외로 조성해야 겨울햇살이 바닥까지 닿아 유기물의 분해가 촉진되고 수온이 높아져 실지렁이류의 성장과 번식에 유리할 것으로 판단되었다.

2. 겨울철 담수여부에 따른 벼 재배기간 동안 실지렁이류의 생육특성

Table 2는 강화군에 위치하는 수확 후 무담수경과논과 담수경과논 그리고 담수경과휴경논에서 벼 생육기(6-8월)에 실지렁이류에 대한 개체밀도를 조사한 결과이다. 무담수경과논의 개체밀도는 1,006.6 ind./m²로 이에 비해 담수경과논이 170배, 담수경과휴경논이 319배 많았다. 담수경과휴경논에서 실지렁이류의 개체밀도가 가장 높은 것은 이앙 전 논갈이와 같은 인위적인 간섭과 교란이 배제되었기 때문으로 사료된다. Ito *et al.*(2011)의 연구결과에 의하면 6-8월 평균 실지렁이 개체밀도는 담수경과논이 무담수경과논 보다 약 7배 높았다고 보고하였으나, 본 조사에서는 이보다 더 큰 차이가 확인되었다.

일본의 담수논 조성에 의한 실지렁이를 이용한 제초효과 연구에서 10a(1,000m²)당 2만 마리 이상이면 잡초씨앗을 지렁이분이 매몰시

Table 2. Tubificidae spp. mean density(ind./m²) during growing period of rice after transplanting in Ganghwa-gun.

| Survey years | Taxons | A(n=9) | B(n=18) | C(n=9) | Pr > F |
|--------------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------|
| 2010 | <i>B. sowerbyi</i> | 733.8 ^b | 8,290.3 ^a | 6,632.2 ^a | < 0.0001 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | 465.6 ^b | 53,572.8 ^a | 39,779.2 ^a | < 0.0001 |
| | Subtotal | 1,199.4 ^b | 61,863.1 ^a | 46,411.4 ^a | < 0.0001 |
| 2011 | <i>B. sowerbyi</i> | 663.2 ^b | 10,823.2 ^{ab} | 15,254.1 ^a | 0.0082 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | 451.5 ^b | 169,566.2 ^{ab} | 340,726.9 ^a | 0.0105 |
| | Subtotal | 1,114.8 ^b | 180,389.4 ^{ab} | 355,981.0 ^a | 0.0098 |
| 2012 | <i>B. sowerbyi</i> | 338.6 ^b | 55,753.0 ^{ab} | 106,736.4 ^a | 0.0037 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | 366.9 ^b | 215,321.4 ^{ab} | 454,123.8 ^a | 0.0191 |
| | Subtotal | 705.5 ^b | 271,074.4 ^{ab} | 560,860.2 ^a | 0.0126 |
| Mean | <i>B. sowerbyi</i> | 578.6 ^b | 24,955.5 ^{ab} | 42,874.3 ^a | 0.0031 |
| | <i>Tubifex</i> sp. | 428.0 ^b | 146,153.5 ^a | 278,210.0 ^a | 0.0003 |
| | Subtotal | 1,006.6 ^b | 171,109.0 ^a | 321,084.2 ^a | 0.0002 |

A : Non-flooded paddy field, B : Flooded paddy field, C : Flooded fallow paddy field.

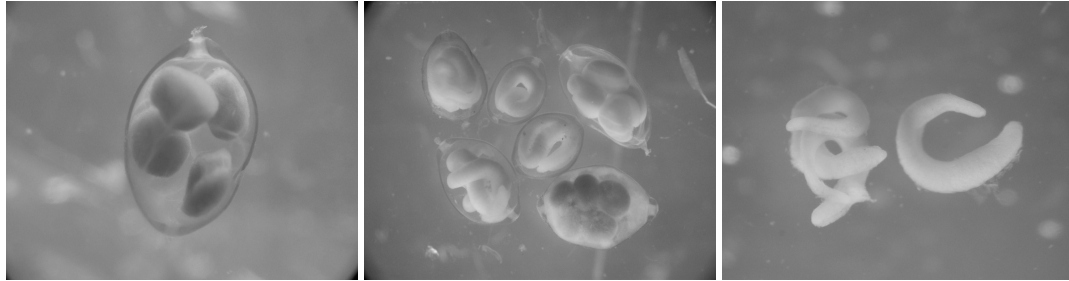
a, b : Different letters indicate significantly different at 5% level by Tukey's HSD test.

켜 발아를 저해하므로 제초효과가 있다고 보고 된 바 있으며(Izumi, 2006), 본 연구결과에서도 1m²당 전체평균이 약 7,200~59,900마리로 10a(1,000m²)당 최저 7백만 마리에서 59백만 마리 이상 서식할 것으로 예상됨에 따라 충분히 잡초방제 효과가 있을 것으로 판단된다. 따라서 겨울철 담수처리를 통한 실지렁이류의 개체수를 증진시킨다면, 잡초제거 효과로 인해 친환경농법의 하나로 사용이 증가하고 있지만 예상치 못한 생태적 교란을 야기 시키는 외래수생생물(ex. 왕우렁이; *Pomacea canaliculata* (Lamark))을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 겨울철에 담수하지 않고 4월의 이앙 전 논갈이 후 담수한 무담수경과논에서는 4월 담수 이후 월동한 난이 분화하여 1난피에서 4-6개정도의 실지렁이가 부화되기 시작한다(Figure 1). 하지만 전년도 수확 후 담수논을 조성한 논에서는 전년도 수확기에 낙수로 인해 실지렁이가 난으로 전환되었다가 수확 후

담수는 조성으로 난이 부화하여 11월부터 이듬해 4월까지 약 6개월가량 추운 겨울철에도 더디게 성장하여 반성체가 된다(Figure 2b). 이로 인해 무담수경과논에서 보다 성장기간이 길어 이앙 후 5개월이 경과한 수확기 낙수전인 9월에 조사된 담수경과논의 실지렁이 체장이 무담수경과논의 체장보다 길며, 이때의 담수경과논에서 서식하는 실지렁이의 최대 성장체의 체장은 약 100mm이었다(Figure 2a).

4월 관개와 함께 부화하여 성장한 무담수경과논의 실지렁이는 6개월 정도 성장하여 성체가 되지만 일부는 다 성장하지 못하고 반성숙체로 남아 있었다(Figure 2b). 이러한 반성숙체의 실지렁이는 수확기 낙수로 인해 다시 난으로 전환되어 다 자란 성체의 실지렁이보다 분해 기능이 저하되고 산란 난피의 개수도 적어져 무담수경과논에서 개체밀도가 낮아지게 되는 결과로 이어진다. 따라서 담수는 조성은 실지렁이류의 정상적인 성장을 도울 뿐 아니라 개체수를



(a) Egg mass of *Tubifex* sp. (b) Growing *Tubifex* sp. into egg (c) *Tubifex* sp. hatching from egg

Figure 1. The hatching process of *Tubifex* sp. in flooded paddy field.



(a) Adult of *Tubifex* sp. in flooded paddy field



(b) Subadult of *Tubifex* sp. in non-flooded paddy field

Figure 2. Growth of *Tubifex* sp. between flooded paddy field and non-flooded paddy field after a 90-day from transplantation of rice seedlings. These were collected on August 21, 2010.

증진시켜 논 생태계의 생물다양성 복원과 개선을 위한 출발점이 될 것으로 생각된다.

3. 겨울철 담수처리 후 실지렁이류의 개체밀도 변화

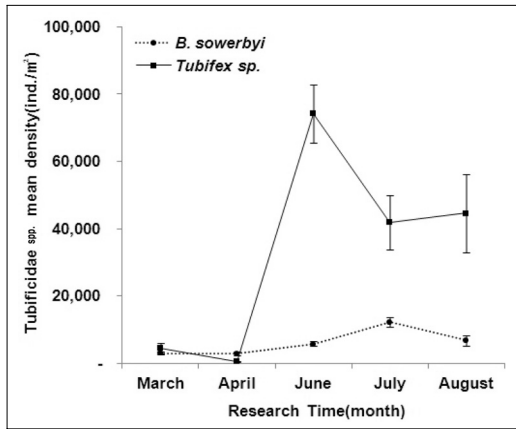
3년간 월동 이후 3월부터 8월까지(5월 생략) 강화군에 위치하는 겨울철 담수논에서의 월별 실지렁이류의 발생 양상을 살펴보았다. 그 결과, 실지렁이류의 개체밀도는 아가미실지렁이보다 실지렁이가 5-15배 이상 현저히 높았으며 3월부터 개체밀도가 점차적으로 증가하기 시작하여 실지렁이는 2010년과 2012년에는 6월에, 2011년에는 7월에 가장 높았고, 아가미실지렁이는 2010년과 2011년에는 7월에, 2012년에는 6월에 개체밀도가 가장 높게 나타났다(Figure 3). 일본의 연구에 따르면, 겨울철 담수논에서 실지

렁이류의 전반적인 개체밀도 경향성은 4월말부터 실지렁이류가 출현하여 6월 중순에서 7월 하순에 최대밀도를 나타낸다고 보고되어 있는데 (Ito *et al.*, 2011), 이는 본 연구결과와 유사한 추이였으나 실지렁이류의 출현시기가 일본보다 1달 가량 빠른 것이 특징적이었다.

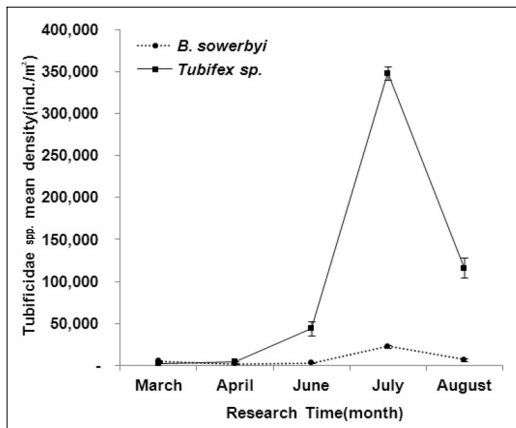
IV. 결 론

본 연구는 겨울철 논에 담수처리에 따른 실지렁이류의 생육특성을 파악하여 논에서 친환경 농업을 위한 대체생물로서의 이용가능성과 논생태계의 생물다양성 증진에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

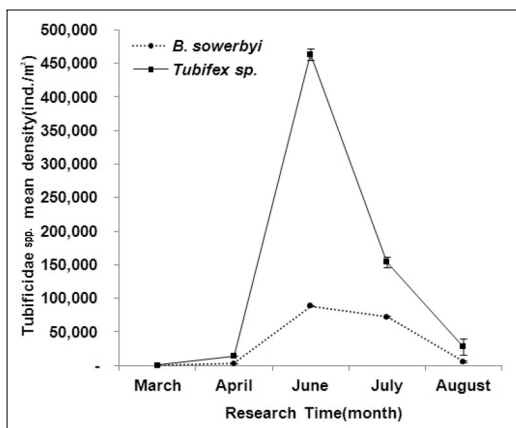
2010년부터 2012년까지 3년간 강화군, 수원



(a) 2010



(b) 2011



(c) 2012

Figure 3. Monthly Trend of Tubificidae spp. density in flooded paddy field of Ganghwa-gun (n=6).

시, 화성시(봉담읍, 팔탄면)에 겨울철 담수논에서 월동 후(3-4월) 실지렁이의 생육특성과 강화군에 위치하는 무담수경과논, 담수경과논, 담수경과휴경논을 대상으로 담수처리여부에 따른 벼 재배기간(6-8월)동안의 실지렁이류의 생육특성을 조사하였다. 그 결과, 월동 후 실지렁이류의 개체밀도는 벼 수확기에도 물이 마르지 않고 수심이 얇은 특성을 지닌 담수논에서 높게 조사되었다. 이는 논에 담수하는 시기가 빠를수록 실지렁이류의 성장기간이 길어져 번식에 유리하고 얇은 수심은 햇빛이 바닥까지 닿아 유기물의 분해가 촉진되고 수온이 높아져 실지렁이류의 성장과 번식에 유리하였기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 강화군에서의 담수처리여부에 따른 벼 재배기간 동안의 실지렁이류의 개체밀도는 무담수경과논에 비해 담수경과논과 담수경과휴경논에서 각각 170배, 319배 높게 조사되었다. 따라서 실지렁이류의 개체수 증진을 위하여 수확 후 단기간에 얇은 수심의 담수논 조성이 필요하며, 더불어 담수기간을 최대한 늘리는 것은 논 생태계의 생물다양성 증진과 친환경농업을 위한 필수적인 과정이라 사료되었다. 실지렁이류의 개체밀도가 일정수준 이상이 되면 벼 재배 시 잡초방제효과가 있는 것으로 알려져 있기 때문에 담수논 조성을 통한 실지렁이류의 개체수를 증가시킨다면 실지렁이류를 이용한 친환경농법이 기대된다.

인용 문헌

Arao, M. 2012. Symbiosis of the person and water birds by winter flooding I : Miyagi Prefecture · Tajiri, Osaki-shi area 「Miracle of Kabukuri pond」. Lake Inba-numa Watershed Research and Management 1, 113-120.

Aston, R. J. · Sadler, K. and Milner, A. G. P. 1982. The effects of temperature on the culture of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta, Tubificidae)

- on activated sludge, *Aquaculture* 29, 137-145.
- Bae, Y. J. and Lee, B. H. 2001. Human impacts on stream ecosystems and freshwater arthropods in Korea. *Entomological Research*, 31, 63-76. (in Korean with English summary)
- Brandvold, D. K. · Popp, C. J. and Brierley, J. A. 1976. Waterfowl refuge effect on water quality : II. Chemical and physical parameters. *Journal of Water Pollution Control Federation* 48, 680-687.
- Brinkhurst, R. O. and Kennedy, C. R. 1965. Studies on the biology of the Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) in a polluted stream. *Journal of Animal Ecology* 34, 429-443.
- Han, M. S. · Kang, K. K. · Na, Y. E. · Bang, H. S. · Kim, M. H. · Jung, M. P. · Lee, J. T. · Hong, H. K. and Yoon, D. U. 2010. Aquatic invertebrate in paddy ecosystem of Korea. National Academy of Agricultural Science.
- Han, M. S. · Na, Y. E. · Bang, H. S. · Kim, M. H. · Kim, M. K. · Roh, K. A. and Lee, J. T. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 26, 267-273. (in Korean with English summary)
- Ito, H. and Igarashi, R. 1954. On the habitat segregation of aquatic oligochaetes in rice seedling beds. *Japanese Journal of Ecology* 4, 126-128. (in Japanese with English summary)
- Ito, T. · Kawase, M. · Hara, K. and Kon, C. 2011. Ecology and function of aquatic oligochaetes in winter-wlooded rice fields with organic farming. *Soil Microorganisms* 65, 94-99. (in Japanese)
- Iwabuchi, S. 2008. Meaning and use of winter-flooding paddy field. *Rural Environment* 19, pp.50-59.
- Izumi, W. 2006. Rice paddy recycling for restoration of distract and environment. Ienohikari Pub. pp. 88-97. (in Japanese)
- Jun, T. S. and Park, J. H. 2005. The blood worm, *Limnodrilus Socialis*'s using capacity for treatment of aquaculture wastewater. *Journal of Chungju University* 40, 201-206. (in Korean with English summary)
- Kurihara, Y. and Kikuchi, E. 1988. The use of tubificids for weeding and aquaculture in paddy fields in Japan. *Journal of Tropical Ecology* 4, 393-401.
- Lin, K. J. and Yo, S. P. 2008. The effect of organic pollution on the abundance and distribution of aquatic oligochaetes in an urban water basin, Taiwan. *Hydrobiologia*, 596, 213-223.
- Marian, M. P. and Pandian, T. J. 1984. Culture and harvesting technique for *Tubifex tubifex*, *Aquaculture* 42, 303-315.
- Matsumoto, M. and Yamamoto, G. 1966. On the seasonal rhythmicity of oviposition in the aquatic oligochaete, *Tubifex hattai* Nomura. *Japanese Journal of Ecology* 16, 134-139. (in Japanese with English summary)
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2007. Research trend about multifunctionality and biodiversity of flooded paddy fields during winter in Japan; Research result about environmental technology development by Ministry of the Environment Government of Japan. National Institute of Agricultural Science and Technology.