

## 거북등윤충(*Keratella*) 피갑 형태의 연도 및 계절별 변화

라 금 환 · 최 지 민 · 김 현 우\*

(순천대학교 환경교육학과)

The Annual and Seasonal Changes of Lorica Morphology in *Keratella*. La, Geung-Hwan, Ji-Min Choe and Hyun-Woo Kim\* (Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea)

We investigated annual and seasonal changes of *Keratella* spp. among rotifer community in the lower part of the Nakdong River (Mulgum) for four years (1995, 1997, 2005, 2007). As well, the annual and seasonal variations of lorica morphologies including sizes, posterior and anterior spines lengths in *K. cochlearis* were analyzed. The density of *Keratella* spp. showed distinct seasonality such as spring peak and winter scarcity. *K. cochlearis* was the most dominant species within *Keratella* spp. and the relative abundances of 2005 and 2007 were higher than 1995 and 1997. The lorica length and width of *K. cochlearis* did not show the annual changes between four years however, there was an obvious width decrease in summer and increase in winter. The proportion of individuals that has the posterior spine was relatively low throughout four years, especially at summer and autumn. *K. cochlearis* displayed short posterior spine in summer and long posterior spine in winter contrary to the anterior median and intermediate spines.

**Key words :** *Keratella*, lorica morphology, seasonal variation, spine, Nakdong River

### 서 론

최근 지구 온난화로 인해 봄철의 수온이 상승하여 식물플랑크톤의 증가 시기가 빨라지고 있으며(Meis *et al.*, 2009), 특히 봄의 높은 수온은 남조류의 수화현상을 가속화시켜 담수생태계의 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 군집 구조에 큰 영향을 미치고 있다(Lisette *et al.*, 2007). 대량 발생한 남조류의 독성효과뿐만 아니라 변화된 식물플랑크톤 군집 구조는 이들을 먹이원으로 하는 동물플랑크톤 군집에 근본적인 변화를 일으킬 수 있으며(Haney, 1987), 실제로 수온과 광주기의 변화로 봄철에 지각류 휴면란의 부화율이 낮아지고 결과적으로 윤충류 군집의 우점 현상이 발생하고 있다(Dupuis and Hann, 2008). 담수생태계

에서 상대적으로 높은 출현빈도를 보이는 윤충류인 *Keratella* (Kim *et al.*, 2003; May and O'Hare, 2005)는 전형적인 여과섭식자로 종 또는 개체간 경쟁을 하며 포식자와 상호작용한다.

담수산 윤충류인 *Keratella*의 형태변화에 관한 관찰이 시작된 이래(Lauterborn, 1900), 변화의 범위를 파악하고 그 원인을 규명하기 위한 연구들이 여러 방면에서 이루어져왔다. *Keratella*가 나타내는 대표적인 형태변화에는 피갑의 크기 변화와 후돌기 및 후두돌기의 길이의 변화가 알려져 있으며 포식성 윤충인 *Asplanchna*와 포식성 요각류인 *Mesocyclops*에 대한 방어형태로서의 후돌기 발현(Gilbert and Stemberger, 1984; Stemberger and Gilbert, 2006), 온도 변화(Lindström and Pejler, 1975; Hofmann, 1983) 그리고 서식하는 호수의 영양단계(Eloranta,

\* Corresponding author: Tel: 061) 750-3384, Fax: 061) 750-3308, E-mail: hwkim@suncheon.ac.kr

1982)에 따른 변화 등이 연구되었다.

윤충류의 경우 큰 개체의 여과섭식율이 상대적으로 높아 먹이사슬에서 식물플랑크톤의 동태에 큰 영향을 미치기도 하므로(Bogdan and Gilbert, 1982) 연간 또는 계절에 따른 크기의 변화를 파악하는 것은 담수생태계 내 에너지의 흐름을 예측하는 기초적 자료로 활용될 수 있다. 본 연구는 낙동강 물금지역에서 보편적으로 출현하며 종마다 각기 다른 피갑의 형태를 가지는 *Keratella*를 대상으로 10년(1995, 1997년과 2005년 및 2007년)에 걸친 기후변화 요인이 개체군의 종조성에 영향을 미쳤는지 파악하고, 아울러 계절에 따른 *Keratella*의 형태적 변화를 분석하고 그 원인을 고찰해 보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 동물플랑크톤 시료

분석에 사용된 동물플랑크톤 시료는 기존에 2주 간격으로 낙동강 물금 취수장에서 32µm 망목의ネットで 원수 8 L를 여과 농축한 후 포르말린으로 고정하여 보존된 1995년, 1997년, 2005년 그리고 2007년 시료를 사용하였다.

### 2. *Keratella*의 형태변화 분석

낙동강(물금)에 서식하는 *Keratella*의 장기적인 형태변화 여부와 계절성을 분석하기 위하여 1995년과 1997년 그리고 각각 10년 후인 2005년과 2007년 시료를 선정하였다. 충분히 교반된 농축시료(연도별로 각각 25개 내외)에서 1 mL를 취하여 광학현미경(Axioskop 40, Zeiss) 하에서 *Keratella* 속 중 높은 빈도로 출현하는 *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* 그리고 *K. valga*의 개체수를 계수하였다. 그리고 형태에 큰 변화를 보이는 *K. cochlearis*의 경우 중앙 후두돌기(anterior median spine: AMS) 길이, 중간 후두돌기(anterior intermediate spine: AIS) 길이, 피갑 길이(lorica length: LL), 피갑 폭(lorica width: LW) 그리고 후두돌기(posterior spine: PS)의 발현여부와 길이를 영상 분석 프로그램(Axio Vision 4.6, Zeiss)을 이용하여 측정하였다(Fig. 1). 측정된 *Keratella* spp.의 출현 개체수와 종조성은 각 연도마다 계절별로(봄: 3~5월, 여름: 6~8월, 가을: 9~11월, 겨울: 12~2월) 비교 분석하였다. 그리고 *K. cochlearis*의 4년도 간의 피갑형태 측정자료(AMS, AIS, LL, LW 그리고 PS)는 같은 계절끼리 하나의 그룹으로 묶은 후, 계절에 따른 *K. cochlearis*의 형태변

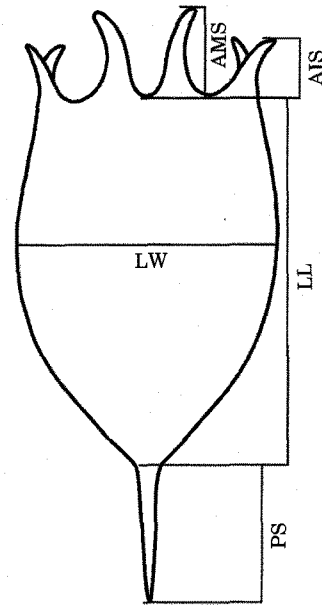


Fig. 1. Size measurement of *Keratella cochlearis* (AMS: anterior median spine, AIS: anterior intermediate spine, LL: lorica length, LW: lorica width, PS: posterior spine).

화를 one-way ANOVA를 통해 평가하였다(SPSS 16.0).

## 결 과

### 1. *Keratella* spp.의 개체수 및 종조성 변화

낙동강 물금지역의 *Keratella* spp. 개체수는 1995년과 1997년에 각각 122개체와 225개체 그리고 2005년과 2007년에는 각각 320개체와 191개체로 2005년의 개체수가 가장 많았다. 계절별 총 개체수 변화는 봄에 높고 겨울에 가장 낮은 양상을 보였으며, 여름에 개체수가 급격하게 감소하였던 1997년과 2007년에는 가을에 증가되는 양상을 보이기도 하였다. 연중 *K. cochlearis*가 우점하였고, 상대풍부도는 1995년 66.4% 그리고 1997년 85.5%에서 10년이 경과한 2005년에는 89.1% 그리고 2007년에는 96.3%로 다소 높아지는 경향성을 보였다. 이외는 달리 *K. quadrata*와 *K. valga*의 상대풍부도는 다소 감소하였으며, 각각 0.6%~9.8%와 1.6%~23.8%의 비율을 나타내었다. 계절별 종조성 변화는 봄에 *K. cochlearis*가 88.5%로 매우 높았으며 여름에는 *K. quadrata*와 *K. valga*의 상대풍부도가 32.2% 정도로 다른 계절에 비해 다소 높은 비율을 나타내었다(Fig. 2).

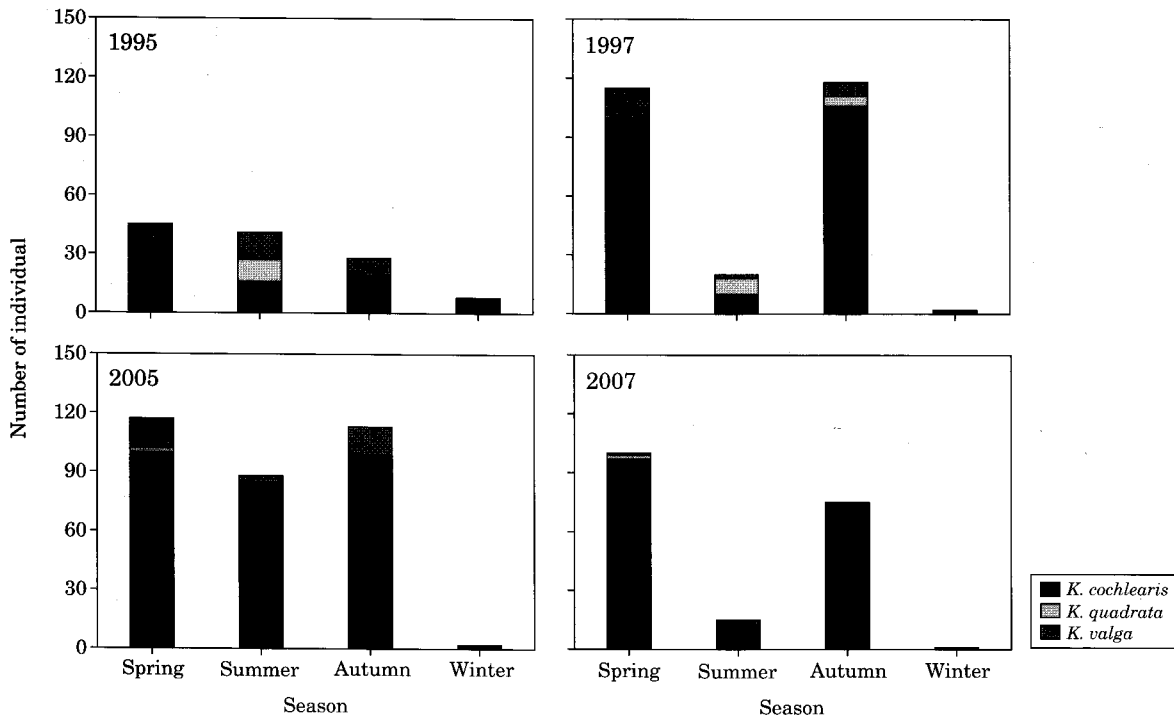


Fig. 2. Annual and seasonal changes of species composition.

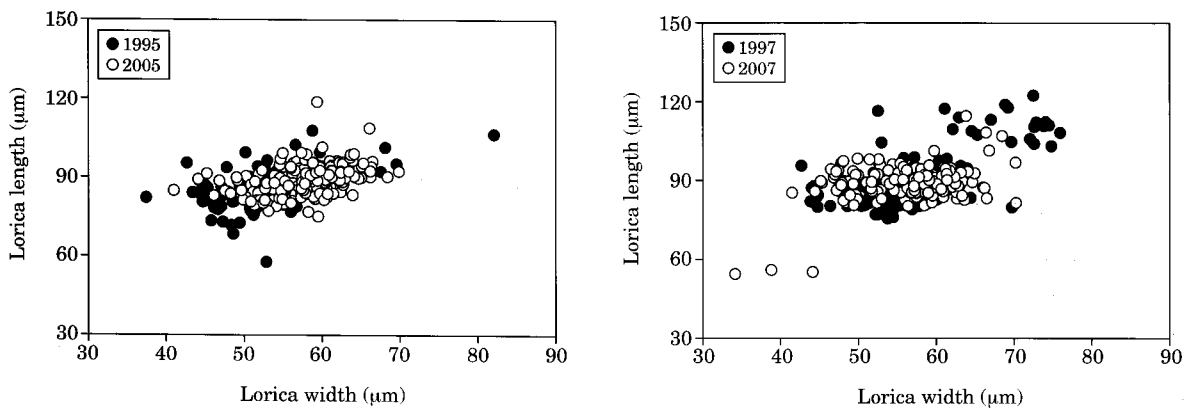


Fig. 3. Annual distribution of lorica length and width in *K. cochlearis*.

2. *K. cochlearis*의 피갑의 크기 변화

*K. cochlearis*의 피갑 길이는 53.9µm~121.9µm 그리고 피갑 폭은 34.3µm~82.2µm 내로 큰 개체와 작은 개체간 약 2배의 크기 차이를 보였다. 연도별 평균 피갑 길이 및 폭은 1995년(n=81)에 각각 84.9µm와 52.3µm이었고, 1997년(n=218)에는 각각 88.3µm와 56.8µm로 파악되었으며, 2005년(n=285)에는 88.0µm와 57.9µm 그리고 2007년(n=184)에는 88.5µm와 56.9µm로 각 연도

별로 유사하게 나타났다(Fig. 3).

*K. cochlearis*의 계절별 평균 피갑 폭은 봄(n=335)에 56.8µm, 여름(n=123)에 56.0µm, 가을(n=297)에 57.1µm 그리고 겨울(n=13)에 57.6µm로 근소한 차이를 보였다. 반면, 피갑 길이는 봄에 88.9µm, 여름에 84.0µm, 가을에 88.1µm 그리고 겨울에 91.6µm로 여름에 감소하였고 겨울에 증가하였다. 계절에 따른 피갑 길이의 차이는 통계적으로 유의하였으며( $F=15.995, p=0.000$ ), 사후 검증 결과 여름의 짧은 피갑 길이가 다른 계절들과 구분

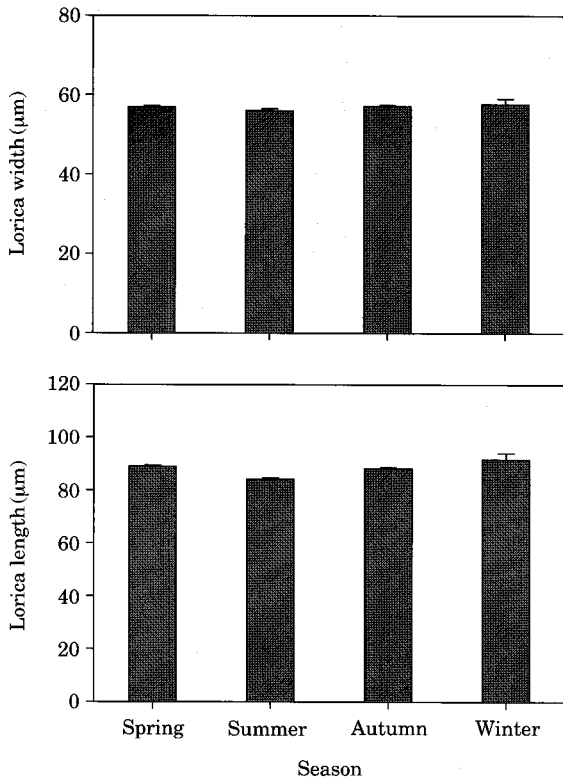


Fig. 4. Seasonal changes of lorica sizes in *K. cochlearis*.

되는 것으로 나타났다(Fig. 4).

3. *K. cochlearis*의 후돌기 및 후두돌기의 길이 변화

*K. cochlearis* 중 후돌기 (posterior spine)가 있는 개체들과 없는 개체들의 비율은 각 연도에 따라 큰 차이를 보였다( $F=12.043, p=0.000$ ). 후돌기가 있는 개체들의 평균 비율은 1995년에는 41.9%, 1997년에는 27.3% 그리고 2005년에는 8.4%로 가장 낮았으며, 2007년에는 13.3%로 후돌기가 없는 개체들의 비율이 높게 나타났다. 사후검증에서의 유의적인 차이는 1995년과 2005년( $p=0.000$ ) 간에는 파악되었으나, 1997년과 2007년 간에는 유의적 차이가 없어 10년을 전후한 명확한 변화 양상은 나타나지 않았다. 계절별로 후돌기가 발현된 *K. cochlearis*의 비율은 봄과 겨울에 각각 35.5%와 34.4%로 높았던 반면 여름과 가을에는 각각 8.3%와 12.7%로 낮았다(Fig. 5).

*K. cochlearis*의 후돌기 길이 변화는 봄에  $30.6\mu\text{m}$  ( $n=116$ ), 여름에  $23.2\mu\text{m}$  ( $n=11$ ), 가을에  $28.8\mu\text{m}$  ( $n=37$ ) 그리고 겨울에  $30.9\mu\text{m}$  ( $n=8$ )로 여름에 가장 짧고 겨울에 가장 길었으나, 측정에 사용된 개체수가 적고 표본간의 편차가 심하여 유의적인 차이점은 나타나지 않았다(Fig. 6).

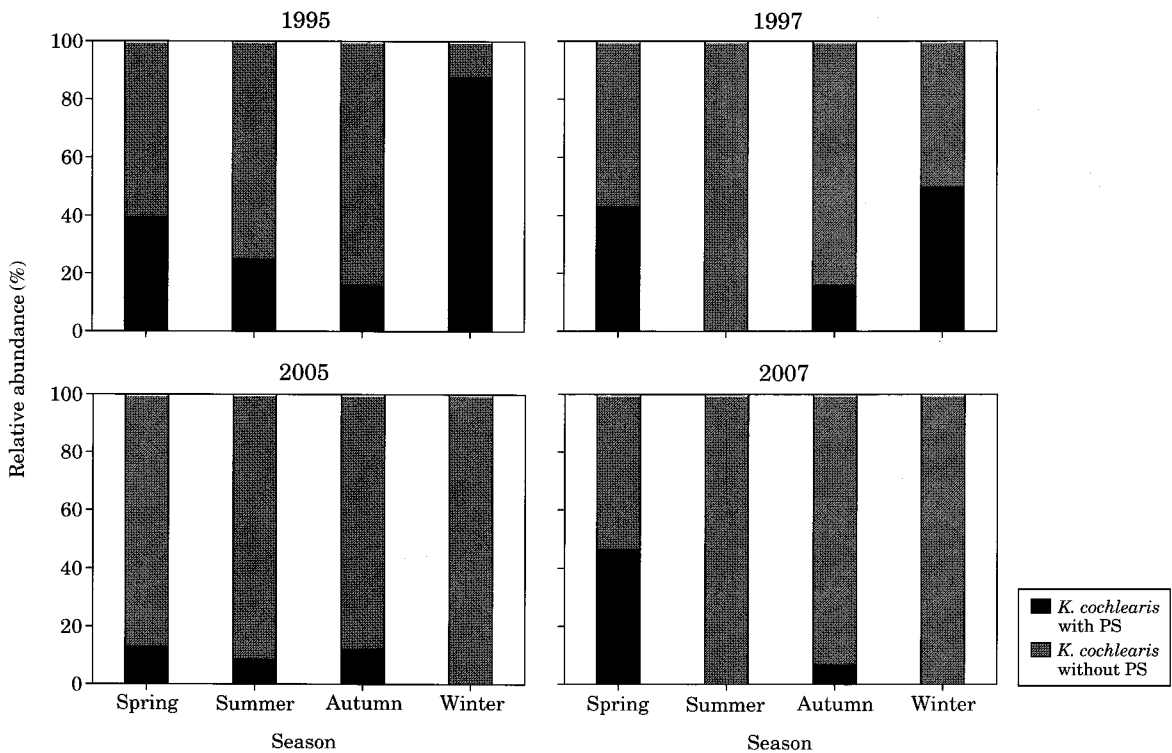


Fig. 5. Relative abundance of *K. cochlearis* with or without posterior spine.

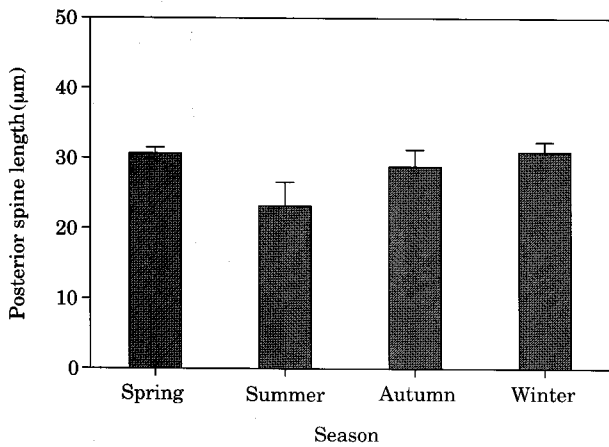


Fig. 6. Mean posterior spine length of *K. cochlearis*.

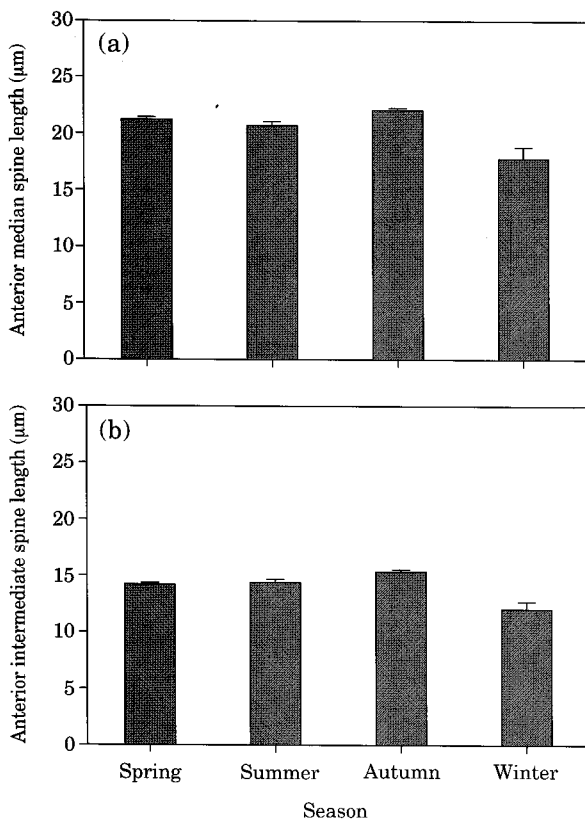


Fig. 7. Seasonal changes of anterior median spine length and anterior intermediate spine length.

*K. cochlearis*의 중앙 후두돌기 (anterior median spine) 길이는 계절에 따라 유의적 차이가 있었다 ( $F=7.880$ ,  $p=0.000$ ). 봄과 여름에 각각  $21.2\ \mu\text{m}$ ,  $20.7\ \mu\text{m}$ 로 유사하였고, 가을에  $22.0\ \mu\text{m}$ 로 가장 길었으며 겨울에  $17.8\ \mu\text{m}$ 로 가장 짧았다 (Fig. 7a). 중간 후두돌기 (anterior intermedi-

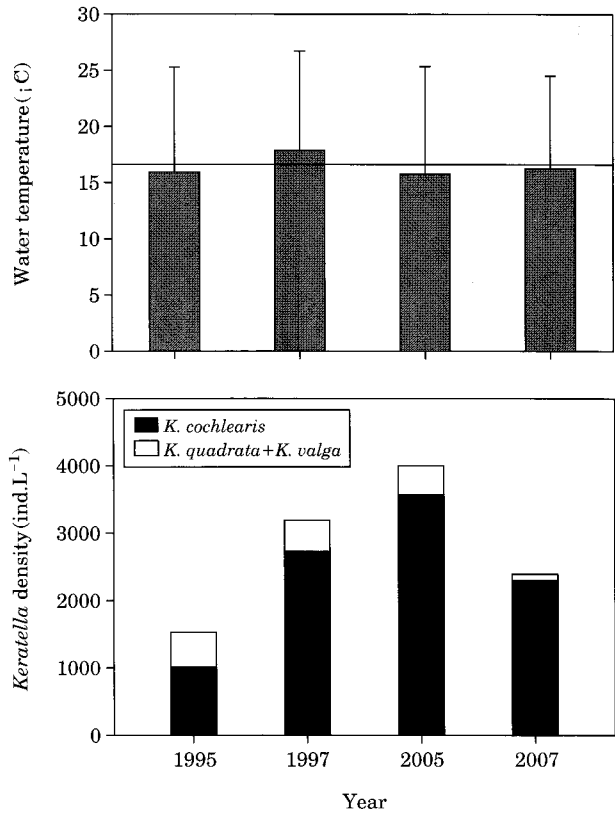


Fig. 8. Mean water temperature and total *Keratella* density of four years. Horizontal line indicates mean water temperature from 1997 to 2007.

ate spine)도 계절에 따른 변화가 관찰되었다 ( $F=11.624$ ,  $p=0.000$ ). 봄과 여름에는 각각  $14.2\ \mu\text{m}$ 와  $14.4\ \mu\text{m}$ 로 차이가 없었으나, 가을에  $15.4\ \mu\text{m}$ 로 가장 길게 발현된 후 겨울에  $12.0\ \mu\text{m}$ 로 짧아졌다 (Fig. 7b).

## 고 찰

### 1. *Keratella* 개체군의 연간변화

지난 15년간 국외의 경우 매년  $0.12^\circ\text{C}$ 의 수온 상승이 관찰된 바 있고 (Meis *et al.*, 2009), 수온 상승과 연관 지어 전반적으로 동물플랑크톤의 생체량과 상호작용의 복잡성이 증가할 것으로 예측하고 있다 (Magnuson *et al.*, 1998). 본 연구 결과의 경우 연평균 수온변동과 *Keratella* 개체군 밀도 변화에 대한 상호연관성을 분석해 볼 때 조사지점의 연평균 수온은 각각 1995년  $15.9^\circ\text{C}$ , 1997년  $17.9^\circ\text{C}$ , 2005년  $15.8^\circ\text{C}$  그리고 2007년에  $16.3^\circ\text{C}$ 로 연평균 수온 차이를 나타내었고 전체 *Keratella* 군집의 밀

도 또한 1,013~3,563 개체 L<sup>-1</sup>의 불규칙적인 변화를 보였으나 약 10년 전후의 평균 수온변화와 *Keratella* 군집 밀도간의 뚜렷한 경향성은 파악되지 않았다(Fig. 8).

윤충류에 있어서 일부 종이 교란과 같은 환경요인에 적응성이 높다고 알려져 있으며(Sluss et al., 2008), 동일 속의 윤충류 중 특정 종의 우점 현상을 이해하기 위한 다양한 실험적 접근이 지속되어 왔다. *K. cochlearis*의 경우 다른 윤충류에 비하여 낮은 먹이농도에서도 상대적으로 높은 성장률을 보이는 것으로 알려져 있으며(Walz, 1993), 본 연구 결과 또한 동일 속 중에서 *K. cochlearis*가 높은 상대풍부도를 나타내었다.

## 2. *K. cochlearis*의 형태변화

본 연구 결과 *K. cochlearis*는 계절에 따라 피갑 폭은 거의 일정했던 반면, 피갑 길이는 변화를 나타내어 봄, 가을 그리고 겨울에 상대적으로 길었고 여름에 가장 짧았다. 후돌기를 가진 개체의 비율은 여름에 낮게 나타났으며, 후돌기의 길이도 여름에 가장 짧고 겨울에 가장 길었다. 이러한 온도와 반비례하는 후돌기의 길이 변화는 일부 연구와 유사한 경향성을 보이거나 아직 뚜렷한 원인규명은 이루어지지 않고 있다(Lindström and Pejler, 1975; Lindström, 1983).

*Keratella*와 같은 소형 윤충류의 후돌기 발현 및 길이 증가는 포식압에 대하여 생존율을 증가시키는 효율적인 방어수단임이 여러 실험적 결과를 통해 증명되어 왔다(Sarma, 1993; Stemberger and Gilbert, 2006). 일반적으로 호소 및 강 환경에서는 높은 수온을 나타내는 계절에 동물플랑크톤의 밀도가 증가하며 이에 따라 소형 윤충류를 섭식하는 *Asplanchna*와 포식성 요각류의 밀도 증가하는 것으로 파악되고 있다(Kim et al., 2004). 따라서 *Keratella*의 경우 다양한 포식압이 주어지는 여름에 긴 후돌기를 가지는 것이 생존에 보다 효율적이다. 윤충류는 상대적으로 크고 효율적인 여과섭식을 하는 지각류의 물리적 간섭(Gilbert and Stemberger, 1985)과 먹이 경쟁에 의해 쉽게 배제되기 때문에(Gilbert, 1985), 봄부터 여름까지 대량 발생하기도 하는 지각류에 의해 가용한 먹이원이 고갈되었을 경우 *Keratella*와 같은 소형 윤충류는 빈약한 먹이환경에 놓일 수 있다. 실제로, 시료가 채집된 낙동강에서는 매년 여름에 반복되는 남조류의 우점으로 *Keratella*가 섭식 가능한 식물플랑크톤이 감소한다(Ha et al., 1998). 윤충류인 *Brachionus*의 경우 낮은 먹이농도 하에서 상대적으로 작은 알을 생산하는 것으로 알려져 있으며(Walz and Rothbacher, 1991), 일반적으로

알의 크기와 부화되어 나온 개체의 크기는 밀접한 상관관계를 가진다(Cooney and Gehrs, 1980). 따라서 여름 기간 동안 작은 피갑과 후돌기를 가지는 소형의 *K. cochlearis* 개체수가 큰 크기의 개체수 보다 상대적으로 높은 것과 연관성이 있을 것으로 사료된다. 겨울의 경우 상대적으로 큰 피갑을 가지는 *K. cochlearis* 개체수가 많으며, 이는 지각류의 경우 성공적으로 성체에 도달하게 하기 위해 여름보다 겨울 기간 동안 상대적으로 큰 알을 낳는 것으로 알려진(Green, 1956, 1966) 연구 결과와 유사한 형태적 변화 과정을 겪고 있는 것으로 추측된다. 추후 *Keratella*의 계절에 따른 형태변화의 원인을 보다 명확히 파악하기 위해서는 각 계절별로 가용한 먹이원의 양과 알의 크기, 포식자의 밀도 등을 종합적으로 평가할 수 있는 실험이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 적 요

낙동강 물금 지역에서 채집된 동물플랑크톤 중 윤충류인 *Keratella* 속을 대상으로 10년 전후(1995, 1997, 2005 그리고 2007)의 종조성 변화를 분석하고, 피갑형태에 다양한 변화를 보이는 *K. cochlearis*의 피갑 크기, 후돌기의 발현 여부 및 길이 그리고 후돌기 길이의 연도와 계절에 따른 변화를 측정하였다. *Keratella* 속의 밀도는 봄에 높고 겨울에 낮은 뚜렷한 계절성을 보였다. 군집 내에서 *K. cochlearis*가 우점종이었으며 상대풍부도는 1995년과 1997년보다 2005년과 2007년에서 높게 나타났다. 연도별 *K. cochlearis*의 피갑 폭은 유사하였으나, 피갑 길이의 경우 여름에 감소하고 겨울에 증가하는 특징을 보였다. 모든 연도에서 후돌기를 발현하는 개체의 비율이 낮았고 특히 여름과 가을에 출현빈도가 낮았다. 후돌기의 평균 길이는 여름에 짧고 겨울에 길었으며 후돌기 평균 길이는 겨울에 가장 짧은 것으로 나타났다.

## 사 사

이 논문은 2008년 순천대학교 학술연구비 공모과제로 연구되었음.

## 인 용 문 헌

Bogdan, K.G. and J.J. Gilbert. 1982. The effects of posterolateral spine length and body length on feeding rate in

- the rotifer, *Brachionus calyciflorus*. *Hydrobiologia* **89**: 263-268.
- Cooney, J.D. and C.W. Gehrs. 1980. The relationship between egg size and naupliar size in the calanoid copepod *Diaptomus claviceps* Schacht. *Limnology and Oceanography* **25**: 549-552.
- Dupuis, A.P. and B.J. Hann. 2008. Climate change, diapause termination and zooplankton population dynamics: An experimental and modelling approach. *Freshwater Biology* **54**: 221-235.
- Eloranta, P. 1982. Notes on the morphological variation of the rotifer species *Keratella cochlearis* (Gosse) s.l. in one eutrophic pond. *Journal of plankton Research* **4**: 299-312.
- Gilbert, J.J. 1985. Competition between rotifers and *Daphnia*. *Ecology* **66**: 1943-1950.
- Gilbert, J.J. and R.S. Stemberger. 1984. *Asplanchna*-induced polymorphism in the rotifer *Keratella slacki*. *Limnology and Oceanography* **29**: 1309-1316.
- Gilbert, J.J. and R.S. Stemberger. 1985. Control of *Keratella* populations by interference from *Daphnia*. *Limnology and Oceanography* **30**: 180-188.
- Green, J. 1956. Growth, size and reproduction in *Daphnia* (Crustacea: Cladocera). *Proceedings of the Zoological Society of London* **126**: 173-204.
- Green, J. 1966. Seasonal variation in egg production by Cladocera. *Journal of Animal Ecology* **35**: 77-104.
- Ha, K., H.W. Kim and G.J. Joo. 1998. The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea. *Hydrobiologia* **369/370**: 217-227.
- Haney, J.F. 1987. Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *NZJ Marine and Freshwater Research* **21**: 467-475.
- Hofmann, W. 1983. On temporal variation in the rotifer *Keratella cochlearis* (Gosse): The question of 'Lauterborn cycles'. *Hydrobiologia* **101**: 247-254.
- Kim, H.W., K.H. Chang, K.S. Jeong and G.J. Joo. 2003. The spring metazooplankton dynamics in the river-reservoir hybrid system (Nakdong River, Korea): Its role in controlling the phytoplankton biomass. *Korean Journal of Limnology* **36**: 420-426.
- Kim, H.W., K.H. Chang, W.K. Shin, G.H. La, K.S. Jeong and G.J. Joo. 2004. Population dynamics of predator (*Asplanchna* spp.) and its impact on herbivorous rotifers community in three tributaries of the Nakdong River (S. Korea). *Korean Journal of Limnology* **37**: 385-393.
- Lauterborn, R. 1900. Der formenkreis von *Anuraea cochlearis*. Ein Beitrag zur variabilität bei rotatorien I. Morphologische gliederung des formenkreises. *Verhandlungen Natur-historisch-Medizinischen Vereins von Heidelberg* **6**: 412-448.
- Lindström, K. 1983. Changes in growth and size of *Keratella cochlearis* (Gosse) in relation to some environmental factors in cultures. *Hydrobiologia* **104**: 325-328.
- Lindström, K. and B. Pejler. 1975. Experimental studies on the seasonal variation of the rotifer *Keratella cochlearis* (Gosse). *Hydrobiologia* **2/3**: 191-197.
- Lisette, N., D.S. Domis, W.M. Mooij and J. Huisman. 2005. Climate-induced shifts in an experimental phytoplankton community: A mechanistic approach. *Hydrobiologia* **584**: 403-413.
- Magnuson, J.J., K.E. Webster, R.A. Assel, C.J. Bowser, P.J. Dillon, J.G. Eaton, H.E. Evans, E.J. Fee, R.I. Hall, L.R. Mortsch, D.W. Shindler and F.H. Quinn. 1998. Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield Region. *Hydrological Processes* **11**: 825-871.
- May, L., and M. O'Hare. 2005. Changes in rotifer species composition and abundance along a trophic gradient in Loch Lomond, Scotland, UK. *Hydrobiologia* **546**: 397-404.
- Meis, S., S.J. Thackeray and I.D. Jones. 2009. Effects of recent climate change on phytoplankton phenology in a temperate lake. *Freshwater Biology* (in press).
- Sarma, S.S.S. 1993. Feeding responses of *Asplanchna brightwellii* (Rotifera): Laboratory and field studies. *Hydrobiologia* **255/256**: 275-282.
- Sluss, T.D., G.A. Cobbs and J.H. Thorp. 2008. Impact of turbulence on riverine zooplankton: A mesocosm experiment. *Freshwater Biology* **53**: 1999-2010.
- Stemberger, R.S. and J.J. Gilbert. 2006. Spine development in the rotifer *Keratella cochlearis*: Induction by cyclopoid copepods and *Asplanchna*. *Freshwater Biology* **14**: 639-647.
- Walz, N. 1993. Life history strategies of rotifers. p. 193-214. In: *Plankton Regulation Dynamics* (Walz, N., ed.). Springer-Verlag, Berlin.
- Walz, N. and F. Rothbacher. 1991. Effect of food concentration on body size, egg size, and population dynamics of *Brachionus angularis* (Rotatoria). *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* **24**: 2750-2753.

(Manuscript received 1 May 2009,  
Revision accepted 11 June 2009)