

수생식물이 발달된 습지에서 동물플랑크톤 군집 분포: 수생식물의 밀도 및 종류가 부착성 윤충류와 지각류에게 미치는 영향

최종윤 · 나금환¹ · 김성기 · 정광석 · 주기재*

(부산대학교 생명과학과, ¹순천대학교 환경교육과)

Zooplankton Community Distribution in Aquatic Plants Zone: Influence of Epiphytic Rotifers and Cladocerans in Accordance with Aquatic Plants Cover and Types. Choi, Jong-Yun, Geung-Hwan La¹, Seong-Ki Kim, Kwang-Seuk Jeong and Gea-Jae Joo* (Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ¹Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon, Jeonnam 540-742, Korea)

We monitored 32 wetlands in order to investigate the influence of aquatic plants on zooplankton density and diversity in the littoral zone in Gyeongsangnam-do from May to June in 2011. A total of 65 zooplankton species were identified in the study sites. Among them, the diversity of epiphytic zooplankton were higher (40 species) than planktonic zooplankton. Littoral zones of all wetlands were covered by various aquatic plants, and influenced the epiphytic zooplankton assemblages. Based on the data from 1 × 1 (m) quadrat sampling, epiphytic and planktonic rotifer density showed no significant relationships with macrophyte cover. However, the epiphytic cladocerans density significantly increased under high aquatic plant cover ($r^2=0.39$, $p<0.05$, $n=32$). Types of aquatic plants strongly influenced epiphytic zooplankton density. Upo and Jangcheok are locations which have well developed *Phragmites communis* and *Ceratophyllum demersum* communities in the littoral zone, and a higher density of epiphytic zooplankton was recorded on the surface of *C. demersum*. Especially, rotifers such as *Lepadella*, *Monostyla* and *Testudinella* showed obvious differences (One-way ANOVA, $p<0.05$ for all three species). This result suggests that epiphytic zooplankton have a substrate preference for larger surface areas, likely for adherence, on *C. dimersum*. In conclusion, the complex structure of the littoral plant community is expected to provide diverse refuge and microhabitats to epiphytic zooplankton.

Key words : microhabitat, epiphytic zooplankton, aquatic plants types

* Corresponding author: Tel: +82-51-510-2258, Fax: +82-51-583-0172, E-mail: jyc311@naver.com

서 론

습지 생태계는 흐름과 같은 교란 요소가 적기 때문에 생물상 발달에 유리한 측면을 가지고 있어 다른 생태계보다 생물다양성이 높은 편이다(Denny, 1994). 우리나라는 하천을 중심으로 작은 크기의 습지가 많이 분포하고 있으며, 얕은 수심과 인근 농경지로부터 지속적인 영양염류의 유입 때문에 수생식물의 성장과 발달이 촉진되어 이를 서식처로 하는 다양한 생물이 분포하기에 적당한 환경을 가진다(Kuczynska-Kippen, 2007). 습지에서 발달된 수생식물의 복잡한 줄기 및 뿌리의 분포는 시각에 의존하는 포식자(어류 등)의 탐색을 어렵게 하기 때문에 피식자(동물플랑크톤 등)의 안정적인 밀도분포뿐만 아니라 종 다양성이 높게 유지된다(Horppila *et al.*, 2009).

수 생태계 내 에너지 전달의 가교 역할을 하는 동물플랑크톤 군집의 경우 서식형태에 따라 부유성과 부착성 군집으로 구분할 수 있다. Nicolle *et al.* (2010)의 연구에 의하면, 부유성 군집은 수체 내에서 지속적으로 유포되기 때문에 포식자에게 쉽게 탐색되어 피식될 가능성이 높은 반면, 부착성 군집의 경우 부착한 형태로 서식하기 때문에 상대적으로 포식에 대한 위협을 덜 받을 수 있다는 연구 결과를 제시한 바 있다. 부착성 동물플랑크톤은 주로 수생식물의 표면에 부착하여 서식하며(Crowder and Cooper, 1982), 수생식물이 발달할수록 이들의 종조성이 다양해지고 밀도가 높아지는 특징을 가진다(Sakuma *et al.*, 2004). 부유성 동물플랑크톤 군집은 포식을 피하기 위한 피난처로써 수생식물을 이용하지만, 부착성 동물플랑크톤 군집의 경우 수생식물을 피난처뿐만 아니라 서식공간으로 활용한다는 점에서 차이를 가진다. 따라서 부착성 군집은 부유성 군집과 달리 수생식물의 구조나 밀도 등이 매우 중요한 요소로 작용한다. 부착성 동물플랑크톤은 식물 표면에 붙은 부착조류나 유기물 등을 섭식하여 먹이망의 상위 단계로 에너지를 전달하며(Bunn, 1993), 이로 인해 수생식물이 우점하고 있는 환경에서는 수생식물이 적은 환경과 비교할 때 다양한 먹이원이 제공되어 상위포식자로 전달할 수 있다. 수생식물이 발달되지 않은 수체에서 식물플랑크톤 군집은 특정종이 우점하는 경향을 보이지만, 수생식물이 발달된 습지에서는 수생식물과 영양염류 경쟁 등으로 인해 상대적으로 부착 및 부유성 동물플랑크톤의 먹이원이 다양하게 서식할 수 있다(Jasser, 1995). 다양한 부착조류의 서식(주로 수생식물의 표면에)은 부착성 동물플랑크톤의 먹이자원을 풍부하게 하며, 이는 부착성 동물플랑크톤의 개체군 성장에도 영향을 미친다.

동물플랑크톤과 수생식물간의 상호작용에 관한 연구는

전 세계적으로 매우 활발하게 진행되고 있으나(Porter, 1977; Kato *et al.*, 2009), 대부분 크기가 큰 부유성 종에 관한 연구가 주를 이루고, 부착성향을 가진 종에 관한 연구는 미미하다. 특히 국내에서 습지의 동물플랑크톤에 관한 연구는 단순한 계절성(Kim *et al.*, 2010)과 분포 특성(Jeong *et al.*, 2010)만이 연구되었을 뿐, 수생식물과의 관련성을 고려한 연구는 부족한 실정이다. 부착성 동물플랑크톤은 수생식물과 밀접하게 연관되며, 수생식물이 적은 습지와 비교할 때 이들의 밀도 및 종조성은 달라질 수 있기 때문에 수생식물과 동물플랑크톤 간에 상호작용에 대한 연구는 매우 중요할 수 있다. 또한 기존의 동물플랑크톤에 관한 연구는 군집 조사를 기반으로 수행되었으나, 본 연구에서는 동물플랑크톤의 서식형태를 부착성과 부유성으로 구분하여 수생식물과의 관계를 살펴보았기 때문에 이들 간의 관계에 대한 정보를 더욱 면밀하게 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 수생식물이 발달된 습지를 대상으로 부착성 동물플랑크톤 군집과 수생식물과의 관계를 파악하고, 수생식물의 종류에 따라 부착성 동물플랑크톤의 밀도 차이를 분석하여, 수생식물이 부착성 동물플랑크톤 군집 구조에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 우리나라의 경우, 강우량이 집중되는 여름 시기에 동물플랑크톤 군집은 강우에 의한 영향을 많이 받으며(Choi *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2012), 강우의 정도에 따라 가을까지 영향을 미친다. 본 연구에서 조사된 봄 시기는 동물플랑크톤에 대한 강우의 영향이 적고, 상당히 안정된 환경이 조성되기 때문에 본 연구의 목적인 수생식물과 동물플랑크톤과의 관계를 파악하기에 적당한 시기인 것으로 사료된다.

재료 및 방법

경상남도는 한반도의 동남쪽에 위치하고 있으며, 대부분의 지역은 배수가 좋지 않아, 다른 지역보다 많은 습지가 분포하고 있다. 습지의 대부분은 하천 주변에 위치하며, 특히 낙동강과 남강 합류점을 중심으로 많은 습지가 분포하고 있다(Son and Jeon, 2003). 그러나 거창, 함양, 밀양 등의 지역은 평지보다는 산이 많이 분포하여 다른 지역보다 습지가 적은 편이다.

본 연구는 경상남도에 위치한 습지 중에서 수생식물이 전체적으로 발달된 습지를 대상으로 선정하였으며, 하동군 2개소, 진주시 4개소, 산청군 3개소, 의령군 20개소, 창녕군 3개소 등 총 32개 습지에서 조사가 수행되었다(Table 1). 우리나라는 몬순 기후의 영향으로 강우량이 여름 기간에

Table 1. Wetland location and environmental parameters measured in the wetlands.

Wetland number	Wetland name	Latitude (N)	Longitude (E)	Area (m ²)	WT (°C)	DO (mg L ⁻¹)	Cond. (μS cm ⁻¹)
1	Jeom	35° 21'04.6"	128° 29'19.1"	41,767	20.2	8.4	68
2	Doheung	35° 22'27.7"	128° 27'54.7"	25,572	22.0	7.5	91
3	Bokgu	35° 21'01.6"	128° 26'51.6"	40,787	21.6	7.1	329
4	Jangja	35° 21'48.0"	128° 24'13.5"	2,007	20.1	10.4	142
5	Dohwa	35° 18'14.2"	128° 24'26.9"	2,105	27.9	3.5	354
6	Sinjeon	35° 24'40.5"	128° 28'01.7"	84,215	28.6	11.2	185
7	Gopo	34° 57'32.9"	127° 47'16.1"	88,641	27.3	4.8	202
8	Sangchon	35° 12'54.9"	127° 57'51.7"	20,891	23.2	7.6	268
9	Jungchon	35° 12'40.5"	127° 57'58.6"	5,603	26.0	2.8	306
10	Naechon	35° 10'41.8"	127° 58'26.4"	594,717	26.2	6.9	147
11	Gangjuri	35° 18'38.4"	128° 19'17.0"	1,795	26.5	10.2	546
12	Hyodong	35° 11'17.8"	127° 56'05.1"	2,565	29.8	3.6	372
13	Jilral	35° 19'17.3"	128° 20'53.4"	155,251	25.4	5.7	216
14	Pyeonggi	35° 20'58.7"	128° 23'52.7"	48,971	26.3	5.3	209
15	Pildong	35° 16'28.1"	128° 22'07.6"	13,893	24.4	7.1	342
16	Songgye	35° 21'26.9"	128° 05'17.2"	25,446	23.5	6.1	210
17	Gyoam	35° 19'27.1"	128° 17'43.6"	12,033	20.7	7.1	79
18	Bongsan	35° 17'35.8"	128° 21'47.6"	3,344	18.7	4.7	111
19	Tteun	35° 18'18.2"	128° 18'09.1"	7,392	23.7	6.9	144
20	Yujeon	35° 18'06.2"	128° 20'23.5"	66,889	25.6	7.8	314
21	Sadae	35° 20'50.9"	128° 04'46.7"	5,719	21.3	4.7	318
22	Yunnaeri	35° 18'46.3"	128° 22'52.0"	51,958	25.1	7.7	120
23	Wondong	35° 09'29.4"	127° 57'44.4"	82,060	24.2	2.0	387
24	Jipilji	35° 16'30.6"	128° 21'39.2"	4,232	25.0	8.6	234
25	Gwangpo	34° 58'10.2"	127° 48'58.9"	58,436	24.6	11.3	196
26	Daepyeong	35° 20'21.9"	128° 20'12.0"	122,787	22.5	7.8	314
27	Daljeon	35° 17'00.2"	128° 29'44.5"	16,347	15.4	8.6	179
28	Bongdu	35° 21'18.1"	128° 02'52.9"	4,918	23.2	7.4	149
29	Wolpo	35° 20'51.0"	128° 25'34.5"	136,947	18.6	9.3	80
30	Maegok	35° 19'45.3"	128° 19'08.9"	3,889	20.9	8.5	35
31	Upo	35° 33'06.2"	128° 24'54.1"	2,695,060	20.9	8.4	157
32	Jangcheok	35° 25'57.0"	128° 29'28.2"	518,747	22.8	8.4	106

WT; water temperature, DO; dissolved oxygen, Cond.; conductivity

집중되며 (Jeong *et al.*, 2011), 이로 인한 유량의 증가와 생물상의 밀도 감소 등을 야기하게 된다. 이러한 효과는 강우량의 정도에 따라 차이는 있지만 보통 가을까지 이어지게 되며, 동물플랑크톤 군집의 경우 수체의 교란에 매우 민감하기 때문에 다른 생물 분류군보다 더 많은 영향을 받는 편이다 (Kim *et al.*, 2012). 또한 겨울의 경우 수온이 낮아 동물플랑크톤을 포함한 생물상의 밀도가 낮기 때문에 본 연구에서는 습지 환경이 비교적 안정적으로 조성되는 봄 시기 (5~6월)를 중심으로 조사를 수행하였다.

습지의 면적은 토지피복도와 국토지리정보원에서 발행한 1:25,000 수치지도와 중첩하여 습지식생이 현저히 구분되는 구간까지 세부적인 경계를 설정하여 최종 면적을 산출하였다. 각 습지의 이화학적 요인 측정 및 미소갑각

류의 채집은 2011년 5~6월까지 수생식물이 잘 발달된 구간에서 수행하였다. 수온, 용존산소 그리고 전기기전도도 (YSI DO Meter; Model 58) 항목은 기계를 이용하여 현장에서 즉시 측정하였다. 동물플랑크톤 채집은 각 습지에서 원수 8L를 채수한 후 망목 68μm네트에 여과 후 농축시켜 포르말린으로 고정하였다 (4~5%). 고정된 시료는 현미경을 이용하여 군집별로 종 및 속 수준까지 동정한 후 계수하여 원수 1L당 개체수로 환산하였다 (Koste, 1978; Smirnov and Timms, 1983; Mizuno and Takahashi, 1999). 또한 수생식물의 종류에 따른 동물플랑크톤 밀도 특성을 규명하기 위해 각 습지에서 1×1 (m) 방형구를 이용하여 수생식물의 피도를 백분율로 측정하였다 (Braun-Blanquet, 1932).

수생식물의 종류에 따른 동물플랑크톤 군집 특성을 분

석하기 위해, 조사된 32곳의 습지 중 수생식물이 가장 발달된 우포늪과 장척호에서 추가적인 실험을 진행하였다. 우포늪과 장척호에서 가장 발달된 식물은 갈대 (*Phragmites australis*)와 붕어마름 (*Ceratophyllum demersum*)으로 이들은 각 습지에서 군락을 구성하는 것이 확인되었다. 부착성 동물플랑크톤의 채집은 갈대와 붕어마름의 침수된 부분을 잘라서, 32 µm 망목 크기에 여과한 원수 2 L (동물플랑크톤을 제외)에서 50~60번 흔들어 수생식물에 부착된 동물플랑크톤을 떼어낸 후 (Sakuma *et al.*, 2002), 68 µm 네트에 여과 농축시켜 포르말린 (최종 농도 4%)으로 고정하였다. 고정된 시료는 현미경을 이용하여 군집별 (윤충류 및 지각류)로 종 및 속 수준으로 동정하였다. 부착성 동물플랑크톤을 채집한 갈대와 붕어마름은 60°C에서 48시간 동안 건조시킨 후 건중량을 측정하였고, 계수된 부착성 동물플랑크톤의 종별 밀도를 수생식물의 건중량 당 개체수로 환산하였다.

부착 및 부유성 동물플랑크톤과 수생식물 간의 관계를 평가하기 위해 SPSS (ver. 14)를 이용하여 이들의 상관성을 분석하였으며, 갈대와 붕어마름간에 부착성 동물플랑크톤 밀도 차이를 규명하기 위해 One-way ANOVA를 이용하였다.

결 과

조사된 습지에서 출현한 동물플랑크톤 군집은 기존 문

헌을 참고하여 서식 특성에 따라 부착성과 부유성 종으로 구분되었으며 (Sakuma *et al.*, 2002; Einarsson and Örnólfsdóttir, 2004; Troch *et al.*, 2008), 부착성 종은 총 27종 (윤충류, 18종, 지각류 9종), 부유성 종은 총 31종 (윤충류 19종, 지각류 9종, 요각류 3종)으로 부유성 동물플랑크톤이 더 많은 종수를 나타냈다 (Table 2). 부착 및 부유성 동물플랑크톤은 각 습지의 특성에 따라 다양한 밀도가 관찰되었으며, 이는 각 습지의 수생식물 피도와 밀접한 관련을 가졌다 (Fig. 1). 부착성 동물플랑크톤은 신전늪, 유전늪, 월포늪을 제외한 대부분의 지점에서 높은 밀도를 나타냈으며, 이 중 매곡늪이 총 901 ind. L⁻¹로 가장 높은 밀도를 보였고, 가장 낮은 밀도는 강주리늪으로 나타났다 (8 ind. L⁻¹). 그러나 부유성 동물플랑크톤은 신전늪, 유전늪, 월포늪을 제외한 대부분의 습지에서 낮은 밀도를 보였다. 수생식물의 피도는 습지에 따라서 다양한 값을 나타냈으며, 가장 높은 피도를 보인 습지는 매곡늪이며 (98%), 가장 낮은 피도는 효동지 (3%)에서 나타났다.

동물플랑크톤과 수생식물간의 관계를 파악하기 위해 상관분석을 실행한 결과, 동물플랑크톤 군집은 서식 특성에 따라서 상이한 차이를 보였다. 부착 및 부유성 윤충류와 요각류는 수생식물의 피도와 상관성이 나타나지 않는 것으로 보아 수생식물과 관련성은 낮았지만, 지각류는 수생식물의 피도와 상관성을 보였으며, 특히 부유성 지각류보다 부착성 지각류가 더 뚜렷한 상관성을 나타냈다 ($r^2=0.39$, $p<0.05$, $n=32$) (Fig. 2).

Table 2. Classification of epiphytic and planktonic zooplankton species determined in the sampling sites.

Habit character	Taxa	Species
Epiphytic	Rotifers	<i>Brachionus quadridentatus</i> , <i>Cephalodella</i> sp., <i>Colurella obtusa</i> , <i>Lecane ludwigii</i> , <i>Lecane luna</i> , <i>Lecane nana</i> , <i>Lepadella oblonga</i> , <i>Monostyla bulla</i> , <i>Monostyla closterocerca</i> , <i>Monostyla goniata</i> , <i>Monostyla crenata</i> , <i>Mytilina ventralis</i> , <i>Monommata grandis</i> , <i>Testudinella patina</i> , <i>Trichocerca capucina</i> , <i>Trichotria pocillum</i> , <i>Trichotria tetractis</i>
	Cladocerans	<i>Alona guttata</i> , <i>Alona rectangula</i> , <i>Chydorus sphaericus</i> , <i>Disparalona rostrata</i> , <i>Macrothrix laticornis</i> , <i>Pleuroxus hamulatus</i> , <i>Pleuroxus denticulata</i> , <i>Pleuroxus laevis</i> , <i>Sida crystallina</i>
	Copepods	-
Planktonic	Rotifers	<i>Anuraeopsis fissa</i> , <i>Ascomorpha agilis</i> , <i>Brachionus angularis</i> , <i>Brachionus rubens</i> , <i>Brachionus urceolaris</i> , <i>Dipleuchlanis propatula</i> , <i>Euchlanis dilatata</i> , <i>Filinia cornuta</i> , <i>Hexarthra mira</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Keratella valga</i> , <i>Platytias quadricornis</i> , <i>Platytias patulus</i> , <i>Philodina roseola</i> , <i>Ploesoma truncatum</i> , <i>Polyarthra</i> sp., <i>Pompholyx complanata</i> , <i>Squatinella mutica</i> , <i>Scardium logicaudum</i>
	Cladocerans	<i>Bosmina longirostris</i> , <i>Ceriodaphnia reticulata</i> , <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , <i>Daphnia similis</i> , <i>Moina macrocopa</i> , <i>Simocephalus exspinosus</i> , <i>Simocephalus vetulus</i> , <i>Scapholeberis kingi</i> , <i>Scapholeberis mucronata</i>
	Copepods	<i>Cyclops vicinus</i> , <i>Microcyclops</i> sp., <i>Thermocyclops</i> sp.

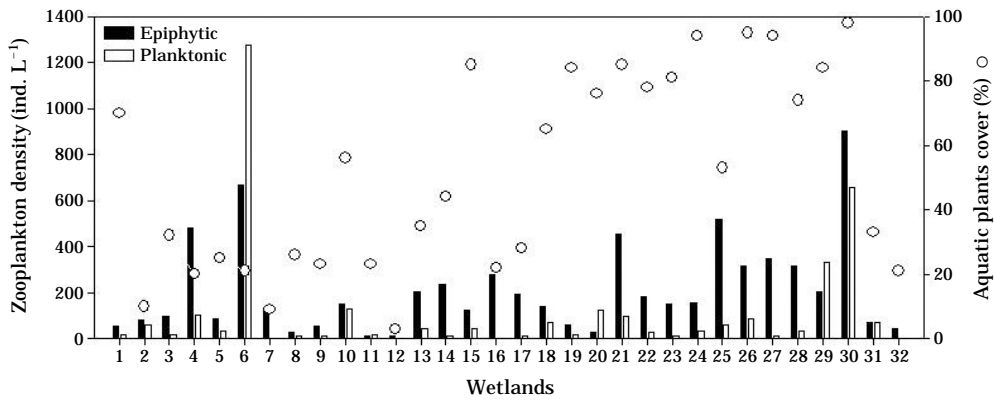


Fig. 1. Epiphytic and planktonic zooplankton densities and aquatic plants cover (%) in 32 wetlands.

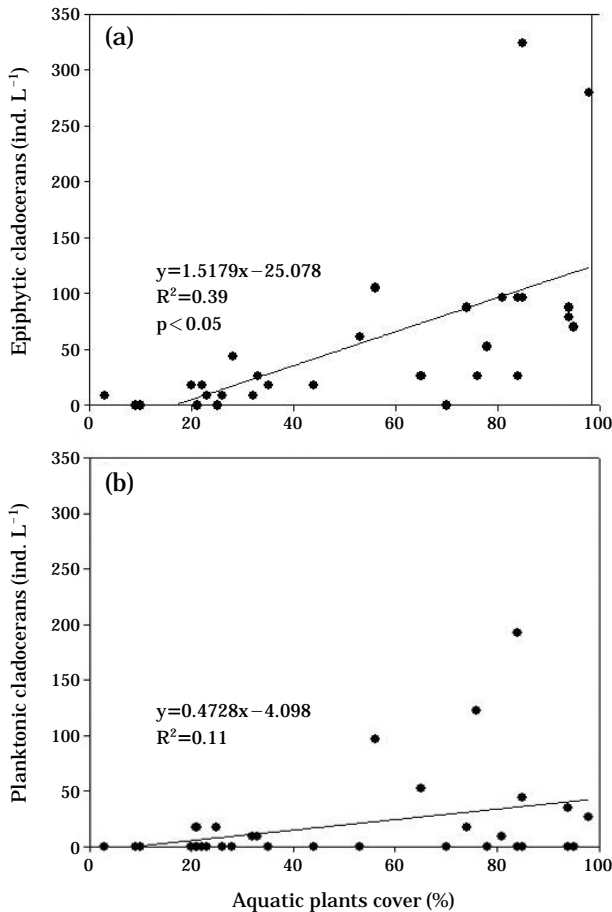


Fig. 2. Regression analysis of epiphytic or planktonic cladocerans densities and aquatic plants cover (%) in 30 wetlands.

수생식물의 종류에 따라 각 수생식물에 부착된 동물플랑크톤의 밀도 차이를 규명하기 위해 조사지역에서 우점하는 갈대와 붕어마름간의 부착성 동물플랑크톤 밀도를

Table 3. Densities (mean ± SE) of epiphytic zooplankton (rotifers and cladocerans) obtained in *P. communis* and *C. demersum* stands.

Animal species	<i>P. australis</i> (ind · gdw ⁻¹)	<i>C. demersum</i> (ind · gdw ⁻¹)	p (n=12)
Rotifers			
<i>Brachionus</i>	1.93 ± 0.6	6.32 ± 1.5	NS
<i>Colurella</i>	0.1 ± 0.03	0.24 ± 0.1	NS
<i>Lecane</i>	2.17 ± 0.44	8.44 ± 1.38	NS
<i>Lepadella</i>	0.38 ± 0.09	5.83 ± 1.59	p < 0.05
<i>Monomata</i>	3.09 ± 0.77	16.01 ± 2.46	NS
<i>Monostyla</i>	0.92 ± 0.34	2.19 ± 0.35	p < 0.05
<i>Mytilina</i>	2.46 ± 0.8	3.38 ± 1.38	NS
<i>Testudinella</i>	4.49 ± 0.63	53.12 ± 10.5	p < 0.05
<i>Trichocerca</i>	3.06 ± 0.42	11.57 ± 3.85	NS
Cladocera			
<i>Alona</i>	4.77 ± 0.91	3.29 ± 0.76	NS

NS, Not significant (p > 0.05).

Statistical significance for difference between the treatments was tested by ANOVA.

비교한 결과, 두 수생식물간의 뚜렷한 밀도 차이를 나타냈다 (Fig. 3). 우포늪의 부착성 동물플랑크톤은 갈대보다 붕어마름에 더 많은 밀도가 관찰되었으며 (One-way ANOVA, n=32, p < 0.01), 장척호의 부착성 동물플랑크톤 군집 또한 같은 결과를 보였다 (One-way ANOVA, n=32, p < 0.05). 우포늪과 장척호에서 출현한 부착성 동물플랑크톤은 *Brachionus*, *Colurella*, *Lecane*, *Lepadella*, *Monostyla*, *Mytilina*, *Testudinella*, *Trichocerca* 속 등의 윤충류와 지각류인 *Alona* 속 등 총 9속이 출현하는 것으로 확인되었다. 출현한 대부분의 부착성 동물플랑크톤은 갈대보다 붕어마름에서 더 많은 밀도를 나타냈고, 이 중 *Lepadella*, *Monostyla*, *Testudinella* 등의 윤충류 3속은 특히 매우 뚜렷한 밀도 차이를 보였다 (One-way ANOVA, n=12, p < 0.05) (Table 3).

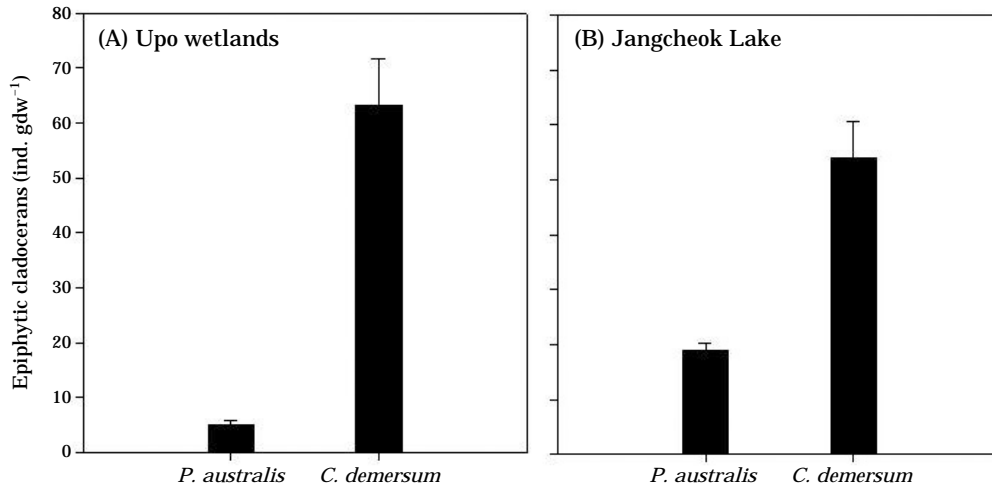


Fig. 3. Epiphytic cladocerans density according to the dry weight of *P. communis* and *C. demersum* stands by picking-up method in Upo Wetlands and Jangcheok Lake.

고찰

습지생태계는 물의 흐름이 정제되어 있어 상대적으로 안정된 환경이 조성되기 때문에 수생식물이 높은 밀도로 발달할 수 있으며 (Brix, 1997), 물 흐름에 민감하게 반응하는 플랑크톤의 성장 또한 촉진시킨다 (Robinson *et al.*, 1997; Angeler *et al.*, 2000). 습지에서 발달된 수생식물은 다양한 미소생물에게 서식처를 제공하며, 특히 동물플랑크톤의 서식처로서 수생식물은 효율성이 높은 것으로 알려져 있다 (Cattaneo *et al.*, 1998; Burks *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2007). 일반적으로 습지와 같은 환경에서 동물플랑크톤은 부유성 종보다 부착성 종의 밀도가 높으며 (Balayla *et al.*, 2003), 본 연구 또한 비슷한 결과를 나타냈다. 부유성 종은 지속적인 움직임을 보이기 때문에 어류와 같은 시각에 의존하는 포식자의 탐색이 상대적으로 쉬운 반면, 부착성 종은 움직임이 거의 없어 탐색이 어렵기 때문에 부유성 종보다 높은 밀도로 분포할 수 있는 하나의 이유가 될 수 있다 (Castilho-Noll *et al.*, 2010). 동물플랑크톤 군집은 어느 한 종의 수생식물이 우점하는 것보다 여러 종류의 수생식물이 함께 형성된 복잡한 구조를 선호하며, 이런 복잡한 구성은 특히 부착성 종을 위한 서식공간(기질표면)을 증가시키기 때문에 높은 밀도로 성장할 수 있다 (Ramesh *et al.*, 1999). 본 연구에서 신전늪, 유전늪, 월포늪의 동물플랑크톤이 부착성 종보다 부유성 종이 더 높은 밀도를 나타낸 것 또한 부유식물의 밀도는 높으나 침수식물의 분포가 적어 습지 전체의 복잡성이 감소하였기 때문이다.

수생식물의 종류에 따른 부착성 동물플랑크톤 분포에

대한 실험 결과, 우포늪과 장척호에서 출현한 부착성 동물플랑크톤은 갈대와 붕어마름에 따라 뚜렷한 밀도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 실험에서 사용된 갈대와 붕어마름은 형태와 특성이 서로 다르며, 갈대의 경우 줄기만 침수되어 있으며 표면이 매끈한 반면, 붕어마름은 뿌리를 제외한 모든 부분이 침수되어 있고, 갈대보다 비교적 복잡한 구조를 하고 있어 부착성 동물플랑크톤과 같은 크기가 작은 생물이 부착하기에 좋은 조건을 가지고 있다. 따라서 부착성 동물플랑크톤은 침수식물인 붕어마름에서 더 많은 밀도를 보이며, 갈대에서는 상대적으로 낮은 밀도로 분포하는 것으로 사료된다. 수생식물 종류에 따라 부착성 동물플랑크톤을 주요 속별로 살펴본 결과, 대부분의 부착성 동물플랑크톤은 갈대보다 붕어마름에서 더 높은 밀도를 보였으며, 특히 *Lepadella*, *Monostyla*, *Testudinella* 속 등은 뚜렷한 통계적 유의성을 나타냈다. *Lepadella*, *Monostyla*, *Testudinella*는 낮은 먹이자원과 매끄러운 표면을 가진 갈대보다는 붕어마름의 기질 표면적이 상대적으로 넓기 때문에, 더 많은 분포를 보이는 것으로 사료된다. 그러나 *Brachionus*, *Collurella*, *Lecane*, *Monommata*, *Mytilina*, *Trichocerca*, *Alona* 속 등은 상대적으로 기질에 부착하는 능력이 낮아 시료를 준비하는 과정에서 누락되었을 가능성이 있으므로 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 대부분의 습지에서 갈대와 같은 정수식물은 붕어마름 등의 침수식물보다 이른 시기에 우점하게 되는데, 이 때 부착성 지각류인 *Alona* 속의 경우 초기에는 갈대에서 주로 서식하다가 붕어마름이 수체 내에서 발달되게 되면, 붕어마름으로 이동하는 계절에 따른 이동을 보여주기도 한다 (Sakuma *et al.*, 2004). 부착성

지각류의 경우 부착성 윤충류보다 이동성이 뛰어나기 때문에 포식자와 먹이 자원에 따라 서식처 선택이 가능한 것으로 사료된다.

본 연구는 다른 시기를 제외한 5~6월을 중심으로 조사를 진행하였으나, 이 시기는 다른 계절보다 상대적으로 안정된 환경이 조성되므로, 다른 요인을 제외한 부착성 또는 부유성 동물플랑크톤과 수생식물 간에 관계에 대한 일반적인 상관성에 관한 정보를 제공하기에는 충분할 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 동물플랑크톤의 계절성은 고려되지 않았으므로, 계절성에 따른 밀도 변이는 적은 것으로 사료된다. 부착성 동물플랑크톤은 수생식물뿐만 아니라, 포식이나 피식 그리고 수체의 이화학적 요인 등의 다양한 생물학적, 비생물학적 요인과 상호작용이 가능한 분류군이므로, 강우량과 같은 교란 요소에도 직접적인 영향을 받을 수 있기 때문에 습지 생태계에서 부착성 동물플랑크톤 동태에 대한 전반적인 이해를 위해서는 다른 계절에도 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

본 연구의 결과는 크게 2가지로 설명될 수 있다. 1) 수생식물이 우점한 환경에서 부착성 동물플랑크톤은 부유성 종보다 높은 밀도로 발생되며, 다양한 먹이원이 제공되기 때문에 수생식물이 발달되지 않은 환경과 비교할 때 다양한 먹이망이 구성될 수 있다. 2) 부착성 윤충류는 수생식물의 피도와 직접적인 관련은 없지만 수생식물 종류에 따라 서식처 선택이 가능한 것으로 나타난 반면, 부착성 지각류는 수생식물 종류보다는 피도 등의 수생식물의 구성이 이들의 밀도를 결정하는 중요한 요인인 것으로 분석되었다.

적 요

본 연구는 얕은 수심의 습지에서 발달된 수생식물의 피도와 종류가 동물플랑크톤 밀도와 다양성에 미치는 영향을 파악하기 위해 경상남도에 위치한 32개의 습지에서 2011년 5~6월까지 조사를 수행하였다. 조사 결과, 총 65종의 동물플랑크톤이 출현하였으며, 대부분의 습지에서는 부유성 종보다 부착성 종이 더 많은 수를 보였다(40종). 조사된 모든 습지에서는 수생식물이 매우 우점하였으며, 이는 부착성 동물플랑크톤 분포와 밀접한 관련을 가지는 것으로 나타났다. 1×1(m) 방형구를 이용하여 측정된 수생식물의 피도와 동물플랑크톤간의 상관성을 분석한 결과, 부착성 및 부유성 윤충류는 상관성이 나타나지 않았으나, 부착성 지각류는 뚜렷한 상관성을 나타냈다($r^2=0.39$, $p<0.05$, $n=32$). 부착성 동물플랑크톤에 대한 수생식물의 영향을 파악하기 위해 조사된 습지 중 수

생식물이 가장 잘 발달된 우포늪과 장척호의 갈대(*Phragmites communis*)와 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*)에 부착된 동물플랑크톤의 채집을 수행하였다. 대부분의 부착성 동물플랑크톤은 갈대보다 붕어마름에서 더 높은 밀도를 보였으며, 이 중 *Lepadella*, *Monostyla*, *Testudinella*는 두 식물간에 매우 뚜렷한 밀도 차이를 나타냈다(One-way ANOVA, $p<0.05$). 붕어마름은 갈대보다 부착할 수 있는 공간이 상대적으로 넓으며, 복잡한 구조를 가지기 때문에 많은 동물플랑크톤이 부착할 수 있는 기질 표면 또한 풍부한 사료된다. 결론적으로 수생식물은 부착성 동물플랑크톤의 서식을 위한 매우 중요한 요소이며, 이들의 밀도와 종 다양성 증가에 크게 기여하는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구논문은 국가 장기생태연구사업(2005~2010, 낙동강)의 지원으로 작성되었다.

인 용 문 헌

- Angeler, D.G., M. Alvarez-Cobelas, C. Rojo and S. Sanchez-Carrillo. 2000. The significance of water inputs to plankton biomass and trophic relationships in a semi-arid freshwater wetland (central Spain). *Journal of Plankton Research* **22**: 2075-2093.
- Balayla, D.J. and B. Moss. 2003. Spatial patterns and population dynamics of plant-associated microcrustacea (Cladocera) in an English shallow lake (Little Mere, Cheshire). *Aquatic Ecology* **37**: 417-435.
- Braun-Blanquet, J. 1932. The study of plant communities (translated by G.D. Fuller and H.S. Conard, 1965). McGraw-Hill Book Company Inc., London. 377p.
- Brix, H. 1997. Do aquatic plants play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology* **35**: 11-17.
- Bunn, S.E. and P.I. Boon. 1993. What sources of organic carbon drive food webs in billabongs? *Oecologia* **96**: 85-94.
- Burks, R.L., D.M. Lodge, E. Jeppesen and T.L. Lauridsen. 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* **47**: 343-365.
- Castilho-Noll, M.S.M., C.F. Câmara, M.F. Chicone and É.H. Shibata. 2010. Planktonic and littoral cladocerans (Crustacea, Anomopoda and Ctenopoda) from reservoirs of

- the Northwest of São Paulo State, Brazil. *Biota Neotropica*.
- Castro, B.B., S.M. Marques and F. Goncalves. 2007. Habitat selection and diel distribution of the crustacean zooplankton from a shallow Mediterranean lake during the turbid and clear water phases. *Freshwater Biology* **52**: 421-433.
- Cattaneo, A., G. Galanti, S. Gentinetta and S. Romo. 1998. Epiphytic algae and macroinvertebrates on submerged and floating-leaved aquatic plants in an Italian lake. *Freshwater Biology* **39**: 725-740.
- Crowder, L.B. and W.E. Cooper. 1982. Habitat structural complexity and the interaction between bluegills and their prey. *Ecology* **63**: 1802-1813.
- Denny, P. 1994. Biodiversity and wetlands. *Wetlands Ecology and Management* **3**: 55-61.
- Einarsson, A. and E.B. Örnólfsson. 2004. Long-term changes in benthic Cladocera populations in Lake Myvatn, Iceland. *Aquatic Ecology* **38**: 253-262.
- Horppila, J., P. Eloranta, A. Liljendahl-Nurminen, J. Niemisto and Z. Pekcan-Hekim. 2009. Refuge availability and sequence of predators determine the seasonal succession of crustacean zooplankton in a clay-turbid lake. *Aquatic Ecology* **43**: 91-103.
- Jasser, I. 1995. The influence of aquatic plants on a phytoplankton community in experimental conditions. *Hydrobiologia* **306**: 21-32.
- Jeong, H.K., J.K. Seo, H.J. Lee, W.C. Lee and J.K. Lee. 2010. Habitats selection of zooplankton between pelagic and littoral zone in shallow reservoirs in summer. *Korean Journal of Environmental Biology* **28**: 188-195.
- Jeong, K.S., D.K. Kim, H.S. Shin, J.D. Yoon, H.W. Kim and G.J. Joo. 2012. Impact of summer rainfall on the seasonal water quality variation (Chlorophyll a) in the regulated Nakdong river. *Journal of Civil Engineering* **15**: 983-994.
- Kato, Y., Y. Takemon and M. Hori. 2009. Invertebrate assemblages in relation to habitat types on a floating mat in Mizorogaike Pond, Kyoto, Japan. *Limnology* **10**: 167-176.
- Kim, D.K., K.S. Jeong, K.H. Chang, G.H. La, G.A. Joo and H.W. Kim. 2012. Patterning zooplankton communities in accordance with annual climatic conditions in regulated river system (Nakdong river, South Korea). *International Review of Hydrobiology* **97**: 55-72.
- Kim, H.W., J.Y. Choi, G.H. La, K.S. Jeong and G.g. Joo. 2010. Relationship between rainfall and zooplankton community dynamics in a riverine wetland ecosystem (Upo). *Korea Journal of Limnology* **43**: 129-135.
- Koste, W. 1978. Rotatoria, die Radertiere Mitteleuropas: Uberordnung Monogononta: ein Bestimmungswerk (German Edition). 2 edition. Gebruder Borntraeger, Stuttgart.
- Kuczynska-Kippen, N. 2007. Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. *Hydrobiologia* **593**: 27-37.
- Lee, J.J. and J.H. Lee. 2009. Dynamics of the phytoplankton community in Upo Wetland. *Korean Journal of Limnology* **42**: 232-241.
- Mizuno, T. and E. Takahashi. 1999. An illustrated guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai University Press.
- Nicolle, A., L.A. Hansson and C. Bronmark. 2010. Habitat structure and juvenile fish ontogeny shape zooplankton spring dynamics. *Hydrobiologia* **652**: 119-125.
- Porter, K. 1977. The plant-animal interface in freshwater ecosystems. *American Scientist* **65**: 159-170.
- Ramesh, M.R., K.M. Shankar, C.V. Mohan and T.J. Varghese. 1999. Comparison of three plant substrates for enhancing carp growth through bacterial biofilm. *Aquacultural Engineering* **19**: 119-131.
- Robinson, G.G.C., S.E. Gurney and L.G. Goldsborough. 1997. Response of benthic and planktonic algal biomass to experimental water-level manipulation in a prairie lakeshore wetland. *Wetlands* **17**: 167-181.
- Sakuma, M., T. Hanazato, R. Nakazato and H. Haga. 2002. Methods for quantitative sampling of epiphytic microinvertebrates in lake vegetation. *Limnology* **3**: 115-119.
- Sakuma, M., T. Hanazato, A. Saji and R. Nakazato. 2004. Migration from plant to plant: an important factor controlling densities of the epiphytic Cladoceran *Alona* (Chydoridae, Anomopoda) on lake vegetation. *Limnology* **5**: 17-23.
- Smirnov, N.N. and B.V. Timms. 1983. A revision of the Australian Cladocera (Crustacea). Australian Museum, Sydney, Australia.
- Son, M.W. and W.G. Jeon. 2003. Physical geographical characteristics of natural Wetlands on the downstream reach of Nakdong river. *The Korean Association of Regional Geographers* **9**: 66-76.
- Troch, M.D., C. Cnudde, W. Vyverman and A. Vanreusel. 2008. Increased production of faecal pellets by the benthic harpacticoid *Paramphiascella fulvofasciata*: importance of the food source. *Marine Biology* **156**: 469-477.

(Manuscript received 20 September 2012,
Revised 15 November 2012,
Revision accepted 22 January 2013)