

우포늪 범람에 의한 먼지벌레류(딱정벌레목, 딱정벌레과)의 다양성과 종조성 변화

도윤호¹ · 장민호^{1,2} · 김동균¹ · 주기재^{1,*}

(¹부산대학교 자연과학대학 생물학과, ²부산대학교 환경기술, 산업개발 연구센터)

Change of Carabid Beetle (Coleoptera, Carabidae) Diversity and Species Composition after Flooding Events in Woopo Wetlands. Do, Yuno¹, Min-Ho Jang^{1,2}, Dong-Kyun Kim¹ and Gea-Jae Joo^{1,*} (¹Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea; ²Institute for Environmental Technology and Industry, Pusan National University, Busan 609-735, Korea)

Change of carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity and population structures in Woopo Wetlands (Changneung-Gun, Gyeongsangnam-Do, S. Korea) were investigated after flooding events. During the investigation period, 11 species belonging to five genera were identified. *Dolichus halensis halensis* (Schaller), *Chlaenius* (*Ch.*) *pallipes* Gebler, *Ch. (Ilaenus) naeviger* Morawitz, and *Pheropsophus* (*Stenaptinus*) *jessoensis* Morawitz were the predominant species in Woopo Wetlands. Floods occurred twice, August and September in 2004. After the flooding events, species diversity decreased and species assemblage structures changed dramatically. Changes of the diversity and species assemblage structures were more evident in August than in September, because water level was much higher and inundation period was longer than September. A non-linear patterning algorithm of the Self-Organizing Map (SOM) was applied to discover the relationship between flooding events and carabid beetles community dynamics. Although abundance of the majority species decreased after the flooding events, that of the predominant species increased. Further detailed studies on species distribution and emigration patterns will likely bring a new insight in understanding of the adaptation mechanism of carabid beetles in wetlands.

Key words : carabid beetles, diversity change, flood, wetland, self-organizing map

습지는 생물의 생장기를 포함한 연중 또는 상당기간 동안 물이 지표면에 덮여 있거나 지표 인근에 물이 위치하고 있는 토지를 말하는데, 습지의 특성을 유지하기 위해서 습지의 수환경은 매우 중요한 요소이다. 그러나 대부분의 육상 동식물들에게는 토양의 과도한 수분함량과 서식지 침수, 범람 등은 개체의 성장저해, 분포지역 제한, 다양성 감소 등 수문학적인 교란(hyperlogical disturbance)으로 작용한다(Robinson *et al.*, 2002). 특히 범람은

습지의 특성을 유지시키는 원동력이면서 습지에 서식하고 있는 여러 생물에게 다양성과 군집구조 등을 짧은 기간내에 변화시키는 요소이다(Middleton, 2002). 그러나 범람과 같이 예측성이 낮은 환경변화를 분석하기 위해서는 장기적이고 해상도가 높은 자료가 요구되고, 자료가 복잡성과 비선형적 특성을 가지고 있어 전통적인 통계법으로는 분석하기 어려움이 있다. 더욱이 국내에서는 습지에서 범람과 같은 환경변화와 생물들의 상관관계를 규명

* Corresponding author: Tel: 051) 510-2258, Fax: 051) 583-0172, E-mail: gjjoo@pusan.ac.kr

하기 위한 노력이 부족하여 습지의 효율적인 관리방안을 설정하기에는 한계가 있다. 또한 자료를 분석하기 위해서는 종합적, 적응적, 자기조직적인 방법이 요구되고, 자료가 확률과정, 비선형성 등을 내재하고 있으므로 적응성, 자체조직성 등을 가지고 있는 생태정보학적인 분석이 필요하다(Chon *et al.*, 1996, 2003).

본 연구가 실시된 우포늪은 경상남도 창원군에 위치해 있으며 총면적이 2,300,853 m²로 시간당 28 mm의 강우가 24시간 이상 지속되면 우포늪으로 유입되는 토평천과 평지천, 초곡천이 낙동강의 범람으로 인해 연차적으로 범람하여 침수된다(건설교통부, 2003). 지난 20여 년간 범람에 의한 평균 침수 면적은 7,437,559.5 m²으로 약 2.5 일에서 4일간 수위가 11 m 이상 지속된다. 이러한 우포늪의 범람은 우포늪을 서식지로 하는 여러 생물들에게 교란으로 작용하는데, 특히 지표거주성향이 강하여 범람과 침수에 민감하게 반응하는 딱정벌레류(carabid beetle)는 토양의 수분함량의 증가로 인해서 생존율이 낮아지고, 물에 쓸려 내려가서 죽는 직접적인 영향을 받는다. 또 먹이원으로 이용할 수 있는 다른 곤충의 다양성이 낮아지고 서식지로 활용할 수 있는 장소가 감소하면서 딱정벌레류의 수도(abundance)가 감소하는 간접적인 영향도 받는다(Baars and Dijk, 1984a, b; Adis and Junk, 2002).

따라서 본 연구에서는 범람에 의해 습지 주변부에 서식하고 있는 육상생물들의 영향을 파악하기 위해서 딱정벌레류를 대상으로 범람에 의한 다양성과 종조성의 변화를 살펴보기 위해 노력하였다. 이를 위해서 기본적으로 i) 우포늪 주변부에 서식하는 딱정벌레류의 다양성을 파악하여 종목록화하고, ii) 범람에 의해서 딱정벌레류의 다양성변화와 각 종의 출현양상을 생태학적 지수와 인공신경회로망 계산법 원리 중 자가조직화지도(Self-Organizing Map, SOM)를 이용하여 확인하였다. 이들 결과들은 추후 습지에서 범람과 건조 등 환경변화에 대한 육상곤충에 영향을 미치는 요인들을 확인하는데 필요한 기초자료로 활용될 것으로 생각된다.

딱정벌레류의 다양성 및 출현양상 조사는 2005년 5월부터 11월 사이에 우포(6개 지점), 사지포(5개 지점), 목포(6개 지점), 쪽지벌(4개 지점)의 21개 지점에서 실시하였다(Fig. 1). 조사지점은 우포늪과 인접한 산지, 논을 구분하기 위해서 우포늪에서 정수식물이 서식하는 지역(emergent plant zone)에서부터 하반림(wetlandside woodland zone)까지로 제한하였다(수체에서 1~6 m 이내). 딱정벌레류의 채집을 위해서 7 cm 지름의 플라스틱 컵에 glucose : nitrate : ethylalcohol의 비율을 6 : 2 : 2로 혼합한 유인액을 약 4 cm 정도 채워 유입채집을 실시하

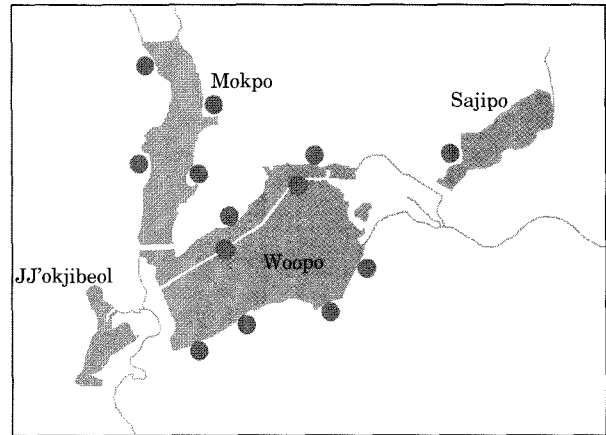


Fig. 1. Carabids sampling sites in Woopo Wetlands.

였다. 함정트랩은 지점당 5개씩 설치하여 4일 후에 수거하였다. 수위와 유량 변화는 건설교통부의 낙동강 적포지점 측정자료와 우포늪의 실측자료를 이용하였는데 조사기간 동안 8월 20일(수위 16.5 m, 5일 지속)과 9월 21일(12.8 m, 2일 지속)에 범람이 일어나 범람에 의한 딱정벌레류의 다양성과 종조성 변화를 파악하였다.

우포늪에서 기록된 딱정벌레류의 월별 다양성변화를 확인하기 위해서 월별 종수, 개체수, 종다양도(H', Shannon-Weiner Diversity Index), 균등도(J', Shannon-Weiner Evenness Index), 우점도(D', Simpson Index)를 산출하였다. 또한 비지도학습 인공신경망 방법 중 SOM(Kohonen, 1998)을 이용하여 각 종의 출현양상의 변화를 유형화하였다. SOM 분석은 Matlab 5.3을 위한 SOM Toolbox를 이용하였다.

우포늪의 수변에서 조사기간 동안 기록된 딱정벌레류는 7속 11종 858개체가 채집되었다(Table 1). 일반적으로 산지에서 출현하는 딱정벌레류의 다양성(Ings and Hartley, 1999; 도와 문, 2002)에 비해 낮게 나타났다. 이는 목본식물의 침입이 적은 습지는 넓은 그늘이 없어서 지표거주성향이 강한 딱정벌레류에게는 체온 상승과 대기노출에 의한 탈수라는 문제와 동절기에 과도한 수분에 의한 동사 등이 제한 요인으로 작용할 수 있기 때문이다(문, 2002). 따라서 습지를 활용하는 딱정벌레류는 산지에 비해 많은 제한요인을 극복한 종류들이어야 하므로 습지에서 딱정벌레류의 다양성은 산지에 비해 낮은 것으로 보인다.

상위우점종들은 상대수도(Relative Abundance, R.A.)가 23.9로 나타난 *Dolichus halensis halensis* (Schaller) 등빨간면지벌레와 *Chlaenius (Chinelaus) pallipes* Gebler 풀색면지벌레 (R.A. = 17.9), *Pheropsophus (Stenaptinus)*

jessoensis Morawitz 폭탄먼지벌레 (R.A.=16.1), *Ch. (Ilaen-
nchus) naeviger* Morawitz 쌍무늬먼지벌레 (R.A.=14.5)였
다. 그 외에 7종은 상대수도가 각각 6.0 이하로 낮은 수
도를 나타내었다.

전체적인 종다양도의 변화는 계절적인 변화로 인해서
딱정벌레류가 출현하기 시작하는 5월 ($H'=0.7$)과 온도가
낮아 활동성이 줄어드는 10월 ($H'=0.68$), 11월 ($H'=0.38$)

Table 1. Species inventory of carabids in Woopo. Wet-
lands (abbr., abbreviation; R.A., Relative Abund-
ance).

Scientific name	Abbv.	Abundance	R.A.
Family Carabidae			
<i>Nebria (Orientaonebria) chinensis chinensis</i> Bates	Nch	31	3.6
<i>Lesticus (Triplogenius) magnus</i> (Motschulsky)	Lma	31	3.6
<i>Agonum fallax</i> Morawitz	Afa	49	5.7
<i>Platynus (Sericoda) quadriimpressus</i> (de Geer)	Pqu	35	4.1
<i>Dolichus halensis halensis</i> (Schaller)	Dha	205	23.9
<i>Anisodactylus (Anisodactylus) punctatipennis</i> Morawitz	Apu	42	4.9
<i>Anisodactylus (Anisodactylus) signatus</i> (Panzer)	Asi	27	3.1
<i>Amara (Amara) ussuriensis</i> Lutshnik	Aus	22	2.6
<i>Chlaenius (Ilaenichus) naeviger</i> Morawitz	Cna	124	14.5
<i>Chlaenius (Chinelaus) pallipes</i> Gebler	Cpa	154	17.9
<i>Pheropsophus (Stenaptinus) jessoensis</i> Morawitz	Pje	138	16.1

에 낮은 다양성을 보인다. 반면 6월부터 9월까지는 범람
에 의한 2회의 종다양도 감소를 제외하고는 다른 시기에
비해 높은 다양도를 나타낸다. 우포늪에서 딱정벌레류의
종다양도 변화는 균등도의 변화 ($y=-0.0109x+0.8924$)
보다 종수의 증감 ($y=-0.5333x+11$)에 더 크게 영향을
받는데 (Fig. 2), 이는 서식지 환경이 범람에 의해 불안정
한 상태로 변화하는 것을 의미한다.

범람에 의한 딱정벌레류의 다양성 변화를 살펴보면, 8
월과 9월의 범람으로 인해서 일시적으로 다양도, 균등도
가 감소하며, 우점도는 증가하였다. 증감은 8월의 범람에
의해서 더 크게 영향을 받는 것으로 나타났지만 8월의
범람이후 감소한 종다양성은 약 15일이 지난 뒤 범람전
수준으로 회복되었다 (8월 범람전 $H'=0.867$; 9월 범람전
 $H'=0.858$). 종다양성 뿐만 아니라 종조성도 8월과 9월
범람전의 종조성과 크게 차이가 없어 (Mann-Whitney U'
 $=60.5, P=0.49$) 범람에 의해서 일시적으로 출현 종이 감
소하여 종조성에 변화를 주지만 짧은 기간내에 다시 회
복되는 것으로 나타났다.

SOM을 이용하여 우포늪에서 기록된 딱정벌레류의 월
별 출현 양상이 어떤 유형성을 나타내는지 분석하였
다. 매월 기록된 딱정벌레류의 출현양상을 비교하기 위하
여 4×3 출력노드를 가진 SOM을 이용하였으며, SOM 분
석 후 각 노드의 가중치 (weight)를 이용하여 군집을 구
분하였다 (Fig. 3a). 딱정벌레류의 계절적 출현양상은 크
게 범람전후로 구분이 되고 세부적으로는 I~IV의 4개의
집단으로 묶였다. SOM 왼쪽 상단에는 집단 I이 분포하는
데 딱정벌레가 출현하는 초기와 월동을 위해 활동이 적
어지는 5월과 11월이 포함되고, 집단 II는 왼쪽 하단에
위치하여 8월 범람 전인 7월과 8월초가 포함된다. 오른

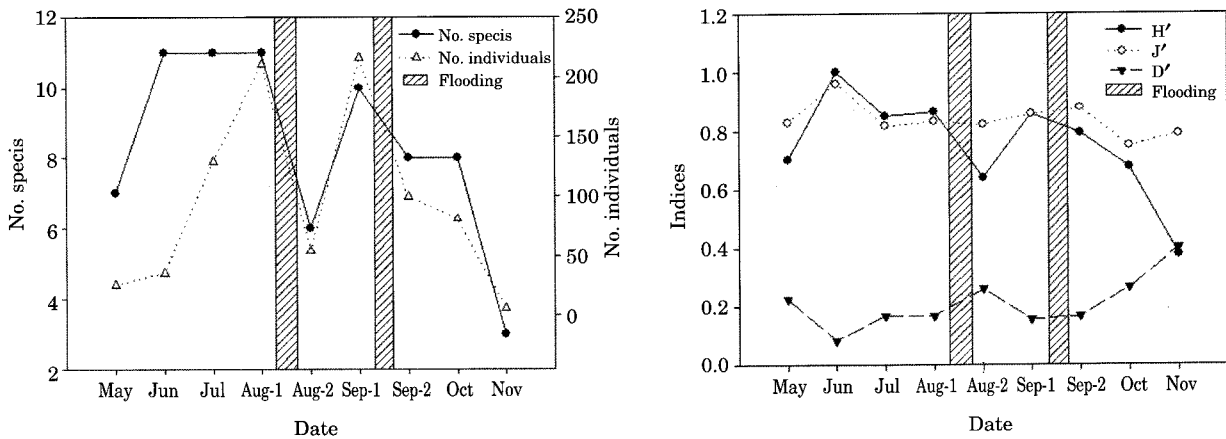


Fig. 2. Diversity change of carabid beetles in Woopo Wetlands (H' , Shannon-Weiner Diversity Index; J' , Shannon-Weiner Evenness Index; D' , Simpson Index).

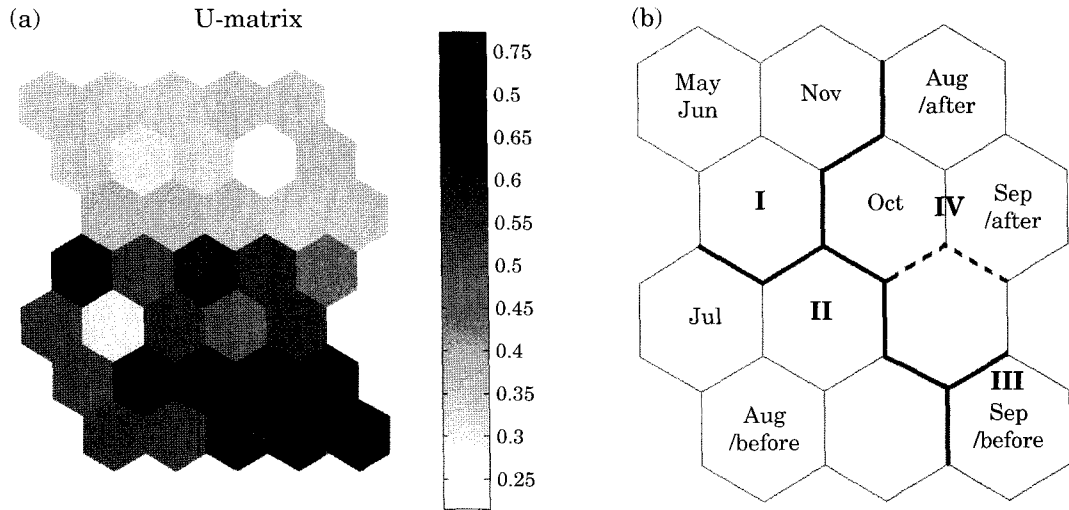


Fig. 3. The SOM plane expressed by season label (before, before flooding event; after, after flooding event).

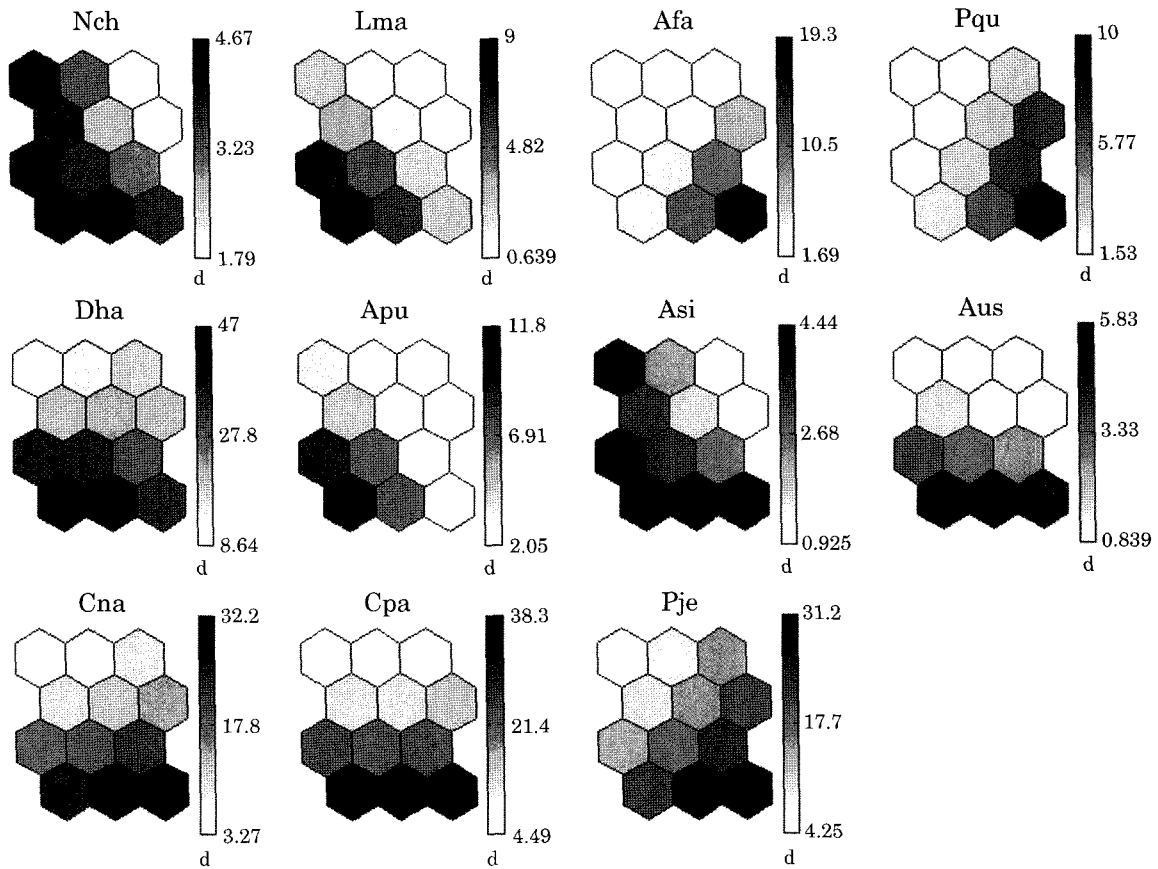


Fig. 4. The distribution of carabid beetles on the SOM matrix (cf. species abbreviation in Table 1).

쪽 하단에는 집단 III가 분포하고 9월 범람전인 9월 초가 속한다. 또한 집단 IV는 오른쪽 상단에 분포하며 8월

과 9월 범람 이후가 포함된다(Fig. 3b).

각 노드에서 나타나는 월별 출현하는 종들은 중국먼지

벌레(Nch)와 점박이먼지벌레(Apu), 먼지벌레(Asi)는 집단 I과 II에서 공통적으로 높은 밀도를 보이지만 집단 IV에서는 매우 낮은 밀도를 나타낸다(Group A; Fig. 4). Group A에 속한 종들은 대부분 초식성이거나 크기가 작은 종이었는데, 이들 종은 범람으로 직접 쓸려 내려가기 쉽고 습지의 침수로 인해서 먹이원 감소로 범람 이후에도 간접적인 영향을 받는 것으로 생각된다. 따라서 범람 이후에 다른 종들의 다양성이 증가하는 시기가 되더라도 상당히 낮은 수도만을 유지하는 것을 볼 수 있다.

반면 등빨간먼지벌레(Dha)와 쌍무늬먼지벌레(Cna), 풀색먼지벌레(Cpa), 폭탄먼지벌레(Pje)는 집단 II와 III에 높은 밀도를 보고 집단 IV에서도 평균 이상의 밀도를 유지한다(Group B; Fig. 4). 이렇게 범람 이후에 수도가 증가하는 양상을 보이는 종들은 봄과 가을에 유충기를 보내는 종(autumn breeder)으로 범람이 빈번이 일어나는 시기에는 성충으로 활동하므로 침수의 영향을 줄일 수 있다. 또 성충이 서식하는 장소도 모래로 구성된 습한 장소를 서식지로 선호하므로(Yano *et al.*, 1995) 범람에 적응한 종으로 생각된다.

일반적으로 딱정벌레류는 크게 두 가지 방법을 통해서 범람에 대한 피해를 최소화하는데 i) 먼저 범람의 영향이 적은 지역으로 이동하거나 ii) 범람을 견디기 위한 생리적인 내성을 지닌다(Adis and Junk, 2002). 전자의 방법을 이용하는 종들은 전기와 우기가 뚜렷해서 비교적 정기적인 범람이 일어나는 지역에 서식하는 종들에게서 관찰된다. 이러한 종들 중에 일부는 우기가 되기 전에 나무 위로 이동하기도 하고(Adis *et al.*, 1990), 비행능력이 있어 범람의 피해가 적은 다른 장소로 상당히 먼 거리를 이동한다(Bonn, 2000). 반면 후자의 경우에는 우포늪과 같이 계절적 집중강우에 의해서 일시적인 범람이 일어나는 호수와 습지, 수변에 서식하는 종들에게서 많이 관찰되는 방법이다. 이러한 종들은 군집을 빠르게 형성하여 범람의 피해가 상대적으로 큰 유충기의 기간을 줄이거나(Paarmann *et al.*, 1982), 알과 유충은 물의 침수에 의해서도 견딜 수 있는 내성을 지닌다(Summer and Utz, 1979). 우포늪에서 관찰되는 종들 중 Group B에 속해 있는 종들은 성충의 출현시기를 조절하여 범람의 피해를 줄이는 것으로 보이고, 습지의 환경변화에 적응하여 우포늪에서 각각의 생태적 지위를 유지하고 있는 것으로 생각된다. 현재까지 국내에서는 딱정벌레류 뿐만 아니라 여러 생물들의 종별 혹은 개체군 수준에서 출현양상과 출현서식지 특성 등에 대한 기초적인 자료가 부족하여 교란이나 환경변화에 대한 반응을 파악하기에는 어려움이 있다. 따라서 습지와 같이 서식지 감소 혹은 파괴가 예상

되는 생태계를 보전하고 관리방안을 제시하기 위해서는 빠른 시일 내에 서식하고 있는 생물들과 서식지의 환경변화에 대한 기초적이고, 정량적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 환경부 국가장기생태연구사업의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 건설교통부. 2003. 토평천 종합치수대책 수립 보고서, 건설교통부.
- 도윤호, 문태영. 2002. 울주군 무제치 제1늪의 지표보행성 갑충군의 다양성 구조, 한국습지학회지 4: 33-42.
- 문태영. 2002. 내륙습지 곤충상의 다양성과 생태에 대한 스케치, 2002한국생태학회 심포지움 강연록, 한국생태학회, p. 43-69.
- Adis, J. and W.J. Junk. 2002. Terrestrial invertebrates inhabiting lowland river floodplains of Central Amazonia and Central Europe: a review. *Freshwater. Biol.* 47: 711-731.
- Adis, J., W. Paarmann and H. Höfer. 1990. On phenology and life cycle of Scarites (Scaritini Carabidae, Coleoptera) from Central Amazonian floodplains, p. 269-275. *In: The Role of Ground Beetles in Ecological and Environmental Studies* (N.E. Stork, ed.). Intercept, Andover, Hampshire.
- Baars, M.A. and T.S. van Dijk. 1984a. Population dynamics of two carabid species in a Dutch heathland, I. subpopulation fluctuations in relation to weather and dispersal. *J. Anim. Ecol.* 53: 375-388.
- Baars, M.A. and T.S. van Dijk. 1984b. Population dynamics of two carabid species in a Dutch heathland, II, Egg production and survival in relation to density. *J. Anim. Ecol.* 53: 389-400.
- Bonn, A. 2000. Flight activity of carabid beetles on a river margin in relation to fluctuating water levels, p. 147-160. *In: Natural history and applied ecology of carabid beetles* (P. Brandmayr, G.L. Lövey, T. Zetto Brandmayr, A. Casale and A.V. Taglianti, eds.). Pensoft, Sofia.
- Chon, T.S., Y.S. Park, K.H. Moon and E.Y. Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecol. Model.* 90: 69-78.
- Chon, T.S., Y.S. Park, K.H. Moon and E.Y. Cha. 2003. Non-

- linear approach to grouping, dynamics and organizational informatics of benthic macroinvertebrate communities in streams by artificial neural networks, p. 127-178. *In: Ecological informatics: understanding ecology by biologically inspired computation* (F. Recknagel, ed.). Springer-Verlag, NY.
- Ings, T.C. and S.E. Hartley. 1999. The effect of habitat structure on carabid communities during the regeneration of a native Scottish forest. *For. Ecol. Manage.* **119**: 123-136.
- Kohonen, T. 1998. The self-organizing map. *Neurocomputing.* **21**: 1-6.
- Middleton, B.A. 2002. The flood pulse concept in wetland restoration, p. 1-10. *In: Flood pulsing in wetlands: restoring the natural hydrological balance* (B.A. Middleton, ed.). John Wiley and Sons.
- Paarmann, W., J. Adis and N. Stork. 2001. The structure of ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) at fig fruitfalls (Moraceae) in a terra firme rain forest near Manaus (Brazil). *J. Trop. Ecol.* **17**: 1-13.
- Robinson, C.T., K. Tockner and J.V. Ward. 2002. The fauna of dynamic riverine landscape, *Freshwater Biol.* **47**: 611-677.
- Summers, G. and G.W., Uetz. 1979. Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. *Amer. Midl. Natur.* **102**: 346-352.
- Yano, K., M. Ishitani and K. Yahiro. 1995. Ground beetles (Coleoptera) recorded from paddy fields of the world: a review. *Jpn. J. Syst. Ent.* **1**: 105-112.
- (Manuscript received 14 February 2007,
Revision accepted 3 June 2007)