

농업생태계 내 수서곤충류의 생태분석 및 환경평가

김종길* · 최영철 · 최지영 · 심하식 · 박해철 · 김원태 · 박병도 · 이종은¹ · 강기경² · 이덕배²

농촌진흥청 농업과학기술원 농업생물부, ¹안동대학교 생명자원과학부, ²농촌진흥청 농업과학기술원 농업환경부

Ecological Analysis and Environmental Evaluation of Aquatic Insects in Agricultural Ecosystem

Jong-Gill Kim*, Young-Cheol Choi, Ji-Young Choi, Ha-Sik Sim, Hae-Chul Park, Won-Tae Kim, Byung-Do Park, Jong-Eun Lee¹, Ki-Kyung Kang² and Duck-Bae Lee²

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon 441-853, Korea

¹Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea

²Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT : The main habitats of diving beetles in agricultural ecosystems were identified as ponds, irrigation channels, and reservoirs, where the water system is maintained throughout the year. Four species, *Cybister japonicus*, *Cybister brevis*, *Hyphydrus japonicus* and *Noterus angustulus*, were selected as biological indicators which can be used to evaluate the healthiness of the agricultural ecosystem. The species number of 4 indicator species, the species number of diving beetle species, and the diversity index were used as factors for environmental evaluation. The evaluation was classified into grades I~IV. The non-fertilizer and non-pesticide agricultural practicing area and the sustainable agricultural practicing area were evaluated as grades I~II, and the general agricultural area to be relatively fine with a grade II. However, the analysis indicated the agricultural areas near a residential area and an industrial complex to be poor with a grade of IV, suggesting that immediate improvement in the agricultural environment is needed.

KEY WORDS : Aquatic insects, Diving beetle, Agricultural ecology, Environmental evaluation, Bio-diversity

초 록 : 농업생태계 내 수서곤충류의 주 서식지는 연중 수계가 유지되는 연못, 농수로, 저수지 등으로 확인되었다. 조사지역별 곤충 출현 종수는 무비무농약지역이 친환경농업지역 및 관행농업지역에 비해 많았고 오염원 유입지역인 주거 및 공단지역의 경우 현저히 낮은 경향을 보였으며, 동일 지역 내에서는 연못이 수로에 비해 높게 나타났다. 농업생태계 건전도를 평가할 수 있는 지표종으로 물방개(*Cybister japonicus*), 검정물방개(*Cybister brevis*), 자색물방개(*Hyphydrus japonicus*), 알물방개(*Noterus angustulus*) 등 4종을 선발하였다. 환경평가 요인으로는 지표곤충으로 선발한 4종의 출현종 수, 대상지역 내에서 물방개류 전체 출현종 수 및 다양도 지수 등 3개 요인으로 설정하였으며, 평가 등급은 최상의 환경 보전 지역을 I등급, 우량 환경지역을 II등급, 최소한의 환경지역으로 개선이 요구되는 지역을 III등급, 불량환경 지역으로 시급한 개선이 요구되는 지역을 IV등급으로 구분하였다.

검색어 : 수서곤충, 물방개류, 농업생태계, 환경평가, 생물다양성

*Corresponding author. E-mail: kjk1027@rda.go.kr

경제발전을 위한 산업화와 도시화는 인간의 삶의 질은 높여 왔으나 환경오염과 자연의 파괴라는 결과를 초래하였으며, 또한 우리 주변에 자연환경을 이루고 있는 동식물의 다양성을 저하시키고 인류의 생존까지도 위협하고 있다. 이러한 현상은 우리 농업생태계 또한 예외는 아니다. 화학비료나 농약이 사용되면서 토양의 유기물 함량을 감소시키고 토양의 물리적 구조를 악화시켜 지속가능한 농업을 위협하고 농경지 토양과 수질을 오염시키고 있다 (Ministry of Environment, 1997, 1998). 일반적으로 곤충의 생존과 증식은 생물학적 환경, 즉 먹이원의 양과 질에 크게 영향을 받는다(Kim, 1990). 농업생태계 중 수서생태계에서 먹이사슬의 상위에 있는 종의 서식 밀도는 그 하위에 있는 생물상, 즉 그 지역의 생물학적 환경의 양과 질을 대변할 수 있을 것이다.

이와 같은 생물의 특정 기능을 이용하여 생물지표(biological indicator), 즉 어떤 환경에서 생활하는 생물의 상황으로부터 그 환경의 오염도를 판정, 또는 그 기준이 되는 생물이나 생물군을 이용하는 생물학적 환경평가가 시도되고 있다. 특히 생물지표는 이화학적 계기로는 측정하기 어려운 오염물질의 상승작용 검출 등에 효과를 발휘하고 있고, 시간적으로 변동이 크고, 종종 데이터의 변형을 받기 쉬운 화학분석에 비해 신뢰할 수 있다. 특히 생물을 이용하여 환경을 평가한다는 것은 물리화학적 평가가 한시적이고 단편적인 평가법이라 할 수 있는 반면 생물학적인 환경평가법은 어떤 지역의 누적된 환경을 종합적으로 평가할 수 있는 장점이 있다고 할 수 있다. 그러나 지금까지 여러 생물지표가 개발되어 있지만 본격적으로 이용 단계에 들어간 예는 많지 않다. 지금까지 곤충을 이용한 환경평가 연구는 주로 수서생태계 위주로 이루어져 왔다. 국내의 경우 수서곤충을 환경지표종으로 이용하여 수서곤충 종별 발생에 따라 수질등급을 간접적으로 평가하는 환경평가법이 수립되어 있다(Yoon, 1992 a, b, c; 1995). 최근 들어 농경지에서 농약과 비료의 사용에 따른 서식 생물의 종과 밀도 변화에 대한 연구도 진행되어 왔으나 농업생태계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다(Petrillo, 2001; Choi *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005).

따라서 본 연구에서는 농업생태계 내 수서곤충을 대상으로 하여 농업환경을 평가할 수 있는 기술 개발을 위하여 물방개류 등을 이용하였다. 즉 먹이사슬에서 상위에 있는 물방개류의 생태 분석과 서식밀도, 군집분석 등을 통하여 생물다양성 측면에서 농업생태계의 건전성을 직간접적으로 평가할 수 있는 환경지표종으로의 이용기술을 개발코자 하였다.

재료 및 방법

농업생태계 내 물방개류 서식 분포 및 생태특성 조사

농업생태계 내에서 물방개류의 분포 및 생태특성을 조사하였다. 논 주변의 담수 생태계를 중심으로 연못, 수로, 저수지 등을 대상으로 실시하였으며, 서식지 형태별 물방개류(대형종)의 서식 선호도 조사도 함께 실시하였다. 또한 서식지 내에서 물방개류의 발육 단계별 발생소장 및 논의 경작시기와 관련한 생태 특성을 조사하였다.

서식지 환경요인별 물방개류 및 공생 곤충상 조사 · 분석

환경요인별 물방개류 및 공생 곤충상에 대한 조사 분석을 실시하였다. 대상지역은 논 생태계 중심으로 무비무방제(홍천) 및 친환경농업지역(양평), 관행농업지역(수원), 생활하수 및 공단폐수 유입지역(안산) 등을 대상으로 하였다. 특히 무비무농약 및 친환경농업지역은 서식지 형태별(수로형, 연못형)로 구분하여 조사 하였다. 채집은 수서 곤충 채집 네트를 이용하여 조사지별 월 2회 3반복으로 4월부터 11월까지 2년간 조사하였으며 채집된 곤충은 즉시 건조하여 표본침으로 정리한 후 한국곤충명집(1994)을 근거로 분류학적으로 정리하여 목에 따른 과, 종 수준까지 동정하였다. 분류·동정 후 조사지역별 발생종에 대한 우점도, 다양도, 풍부도, 균등도 지수 등 군집분석을 실시하였다.

1) 우점도 지수(Dominance index)

각 지점별로 개체수 현존량을 기준으로 하여 2종씩 선정하였으며, 지수의 산출은 McNaughton's dominance index에 의하였다(McNaughton, 1967).

$$DI = (n1 + n2)/N$$

N : 총 개체수

n1 : 제 1 우점종의 개체수

n2 : 제 2 우점종의 개체수이다.

2) 다양도 지수(Diversity index)

Margalef (1958)의 정보이론에 의해서 유도된 Shannon index (Pielou, 1969; Shannon and Wiever, 1949)를 이용하여 산출하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln(p_i)$$

H' : 다양도

S : 전체 종수

Pi : i번째에 속하는 개체수의 비율을 말하며 (ni/N)으로 계산(N : 군집내의 전 개체수, ni : 각 종의 개체수)

3) 풍부도 지수(Richness index)

중풍부도지수는 총 개체수와 총 종수만을 가지고 군집의 상태를 표현하는 지수로서 Margalef (1958)의 지수를 사용하여 산출하였다.

$$RI = (S - 1) / \ln(N)$$

RI : 풍부도

S : 전체종수

N : 총 개체수

4) 균등도 지수(Evenness index)

균등도는 각 지수의 최대치에 대한 실제 치의 비로써 표현된다. 각 다양도 지수는 군집 내 모든 종의 개체수가 동일할 때 최대가 되므로 결국 균등도 지수는 군집 내 종구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 Pielou (1975)의 식을 사용하여 산출하였다.

$$E = H' / \ln(S)$$

E : 균등도

H' : 다양도

S : 전체 종수

농업생태계 평가용 지표종 선별 및 평가기준 설정

환경요인별 물방개류 및 공서 곤충상의 환경요인별 서식 종, 서식밀도 등을 조사 분석하여 농업생태계 건전도를 평가할 수 있는 종을 선별하였으며, 선별된 종의 출현종수, 다양도 지수 등을 기준으로 하여 평가 기준을 설정하였다.

결과 및 고찰

농업생태계 내 물방개류 서식 분포 및 생태특성

농업생태계 내 물방개류의 주 서식지는 연중 수계가 유지되는 연못, 농수로, 저수지 등이 주 서식지로 확인되었다. 이들 서식지의 특징은 연중 수계가 유지되는 것을 기본으로 하고 먹이원이 충분히 확보될 수 있는 조건을 갖춘 지역에서 다양하게 출현하였다(그림 1).

그 중 대형종 물방개류 서식지 조사를 위하여 연못형 57, 수로형 34, 저수지 24, 하천계류 7개소 총 123개에서 종별 서식 선호도를 조사하였다. 대상종은 물방개(*C. japonicus*), 애물방개(*C. tripunctatus*) 및 검정물방개(*C. brevis*)를 대상으로 하였다. 그 결과, 물방개는 연못 7개소, 농수로 1, 저수지 5개소로 13개소에서 확인되었으며, 애물방개는 연못 2, 저수지 3개소 등 5개소에서만 확인 되었다. 반면 검정물방개는 연못 23, 수로 및 저수지에서 각각 7개소 총 37개의 서식지를 확인하여 물방개와 애물방개에 비해서 상대적으로 많은 서식지를 확인하였다(표 1).

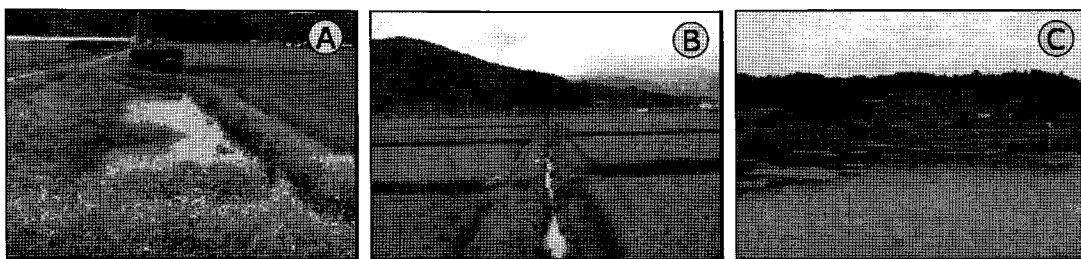


Fig. 1. Types of habitat of the diving beetle. A; Pond, B; Irrigation channel, C; reservoir.

Table 1. Distribution and preference of diving beetles for different types of habitats

| Habitat type | No. of investigation | No. of habitat | | |
|--------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| | | <i>C. japonicus</i> | <i>C. tripunctatus</i> | <i>C. brevis</i> |
| Pond | 57 | 7 | 2 | 23 |
| Irrigation channel | 34 | 1 | - | 7 |
| Reservoir | 24 | 5 | 3 | 7 |
| Stream | 7 | - | - | - |
| Total | 123 | 13 | 5 | 37 |

이는 최근 농작물 재배 방법의 다양화에 의한 환경요인 변화, 천연수로 및 연못 등이 없어진 농경지 형태변화 등으로 물방개류, 특히 대형종의 서식분포가 낮아졌다고 볼 수 있다. 즉 대형종의 경우 소형종에 비해 환경 적응성이 떨어진다는 것을 간접적으로 시사하며, 생태계 보전 측면에서 이들 대형종의 서식지 보전 방안이 시급히 요구된다고 할 수 있다. 한편 친환경농업 지역과 연못, 천연수로가 있는 친환경적 서식지 형태를 갖춘 지역이 물방개류 서식종 수가 많았으며(표 1), 특히 친환경농업지역의 경우 청정 먹거리 생산과 더불어 생물다양성 유지에도 크게 기여한다고 할 수 있다.

물방개류는 월동태가 성충으로 동절기 동안에는 물속 또는 물가 습한 곳에서 월동을 하였다. 논 생태계에서 보면 연못 또는 농수로 주변에서 월동하여 이듬해 경작을 위해 논에 물대기 시기를 전후해서 왕성하게 활동을 개시한다. 이 시기가 고미 산란이 이뤄지며, 5~7월에는 유충이 많이 관찰되었다(그림 2).

논 주변에서 서식하는 물방개류는 벼의 재배환경과 밀접하게 관련된다는 것을 알 수 있었다. 즉 논에 벼를 이앙하기 위하여 물대기를 할 시기에 수로와 연못 등에서 논으로 분산하는 시기가 되며, 가을에 물빼기를 할 즈음에 다시 논 주변의 농수로나 연못 등으로 모이게 된다. 이는 농업생태계 내에서 물방개류가 서식하기 위한 조건으로 기본적으로 연중 수계가 유지되는 주변 생태계 존재해야 한다는 것을 시사하며, 벼의 재배 방법, 즉 농약, 화학비료 등의 과다사용은 물방개류가 서식하기 위한 환경으로 불리하다는 것을 의미할 수 있다.

서식지 환경요인별 물방개류 및 공생 곤충상 조사 · 분석

대상지역별 물방개류 서식종을 조사한 결과 총 12종이

출현하였다. 무비무농약지역 연못에서 9종, 수로에서 물방개 등 9종이 확인되었으며, 친환경농업지역 연못에서는 검정물방개 등 8종, 수로에서는 물방개 등 7종이 서식하는 것을 확인하였다. 관행농업지역에서는 검정물방개 등 7종, 오염원 유입지역인 주거지역 주변 농업지역 1종, 공단 주변에서 3종이 확인되었다. 즉 무비무농약지역이 친환경농업지역보다 물방개류 출현 종수가 다소 높게 나타났으며, 동일지역 내에서 연못과 수로 간에는 큰 차이는 없었다. 반면 주거지역 및 공단지역 주변의 농경지에서는 다른 농업지역에 비해 현저히 떨어지는 경향을 보였다(표 2).

이는 비교적 환경이 우수한 지역에서는 곤충의 서식공간이 충분히 확보된다는 것을 의미하며, 오염원이 유입되는 지역은 생물 서식공간으로 환경이 불량하다는 것을 직간접적으 시사한다. 이를 토대로 물방개류의 서식지 유지 정도로 농업생태계를 평가할 수 있는 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.

한편 물방개류 및 공생 곤충상을 조사한 결과, 무비무농약지역의 연못이 5과 31종, 수로 5과 18종 친환경농업지역의 연못이 5과 21종, 수로가 4과 10종, 관행농업지역이 5과 25종, 주거지역 주변 농업지역이 4과 8종, 공단지역의 농업지역이 2과 4종으로 지역간에 확연한 차이를 보였다(그림 3). 즉 대상지역간 곤충 종 출현 수는 무비무농약지역이 친환경농업지역 및 관행농업지역에 비해 많았고 오염원 유입지역인 주거 및 공단지역의 경우 현저히 낮은 경향을 보였으며, 동일 지역 내에서는 연못이 수로에 비해 출현종수가 높게 나타났다.

이상의 결과에서 볼 때 생물다양성 유지 측면에 천연수계 유지는 필수이며 연중 수계가 유지되는 수로 및 연못을 보전, 복원하는 것이 매우 중요하다는 것을 시사한다. 또한 환경적으로 우수한 지역에서 곤충 종 출현 정도가 높게 나타나므로 농업생태계 건전도를 직간접적으로 평가할 수 있는 생물학적 환경 평가법을 적용할 수 있을 것으로

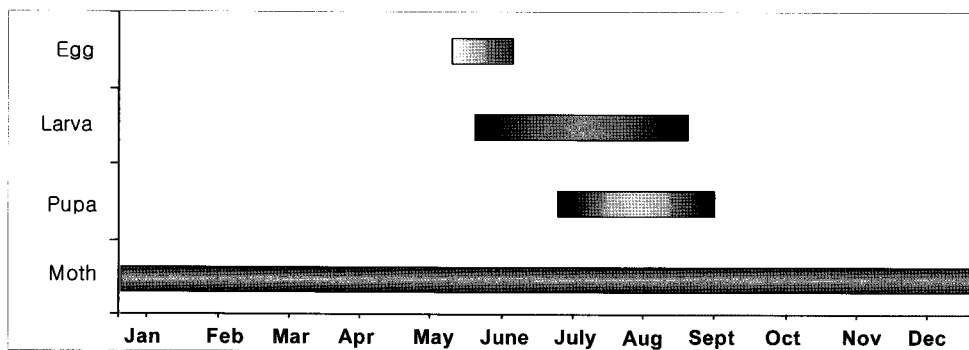


Fig. 2. Mode of monthly occurrence of the diving beetle with different developmental stages.

Table 2. Emerged species according to the different locations

| Science name | Korean name | Location* | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G |
| <i>Noterus japonicus</i> | 자색물방개 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - |
| <i>Laccophilus difficilis</i> | 깨알물방개 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| <i>Hyphydrus japonicus</i> | 알물방개 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - |
| <i>Guignotus japonicus</i> | 꼬마물방개 | - | - | - | - | ○ | - | - |
| <i>Guignotus japonicus</i> sp. | 꼬마물방개 | - | ○ | - | - | ○ | - | - |
| <i>Potamonectes hostilis</i> | 흑외줄물방개 | ○ | ○ | ○ | - | - | - | ○ |
| <i>Rhantus pulverosus</i> | 애기물방개 | ○ | ○ | - | ○ | ○ | - | ○ |
| <i>Hydaticus suturalis</i> | 안락물방개 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| <i>Hydaticus grammicus</i> | 꼬마줄물방개 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - |
| <i>Cybister japonicus</i> | 물방개 | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - |
| <i>Cybister brevis</i> | 검정물방개 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - |
| No. of species | | 9 | 9 | 7 | 6 | 7 | 1 | 3 |

* A: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (pond); B: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (irrigation channel); C: sustainable agricultural area (pond); D: sustainable agricultural area (irrigation channel); E: general agricultural area; F: residential area; G: industrial area.

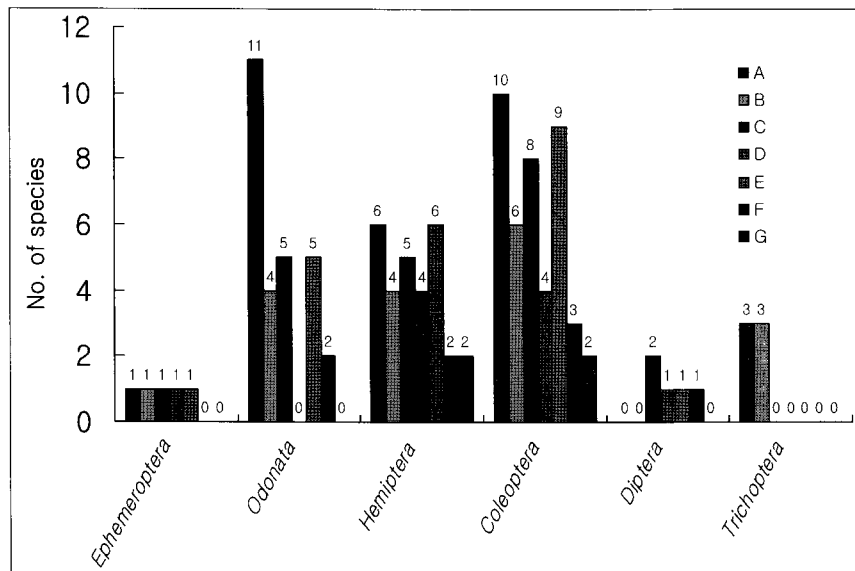


Fig. 3. Number of insect species according to the different locations (A: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (pond); B: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (irrigation channel); C: sustainable agricultural area (pond); D: sustainable agricultural area (irrigation channel); E: general agricultural area; F: residential area; G: industrial area).

판단된다.

대상지역별 곤충상 군집분석 결과, 종 다양성(Diversity index, H')의 경우 무비무농약지역의 연못이 2.08, 수로가 1.87, 친환경농업지역의 연못이 2.41, 수로가 1.65로 두 지역이 대등한 다양도 지수를 나타냈으며, 두 지역 모두 연못이 수로보다 종 다양성이 높았다. 오염원 유입지역의 경우 주거지역 주변이 1.74, 공단지역주변이 0.84로 공단

지역은 다른 지역에 비해 월등히 낮았다. 종 풍부도 (Evenness index, EI)서도 다양도 지수와 유사한 경향을 보였다(표 3). 이상의 군집분석 결과와 같이 종 다양도 지수나 풍부도 지수에서 조사 지역간 차이는 지역간 환경, 즉 곤충서식 공간으로서 좋고 나쁨의 차이로 볼 수 있으며, 이러한 결과를 바탕으로 농업생태계를 평가할 수 있을 것으로 본다.

Table 3. The indices according to the different locations

| Index | Location* | | | | | | |
|----------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Dominance index (DI) | 0.58 | 0.61 | 0.36 | 0.63 | 0.33 | 0.59 | 0.83 |
| Diversity index (H') | 2.08 | 1.87 | 2.41 | 1.65 | 2.70 | 1.74 | 0.84 |
| Evenness index (EI) | 0.61 | 0.65 | 0.79 | 0.72 | 0.87 | 0.84 | 0.60 |
| Richness index (RI) | 4.36 | 2.47 | 3.62 | 2.35 | 3.55 | 2.08 | 1.22 |
| No. of species | 31 | 18 | 21 | 10 | 22 | 8 | 4 |

* A: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (pond); B: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (irrigation channel); C: sustainable agricultural area (pond); D: sustainable agricultural area (irrigation channel); E: general agricultural area; F: residential area; G: industrial area).

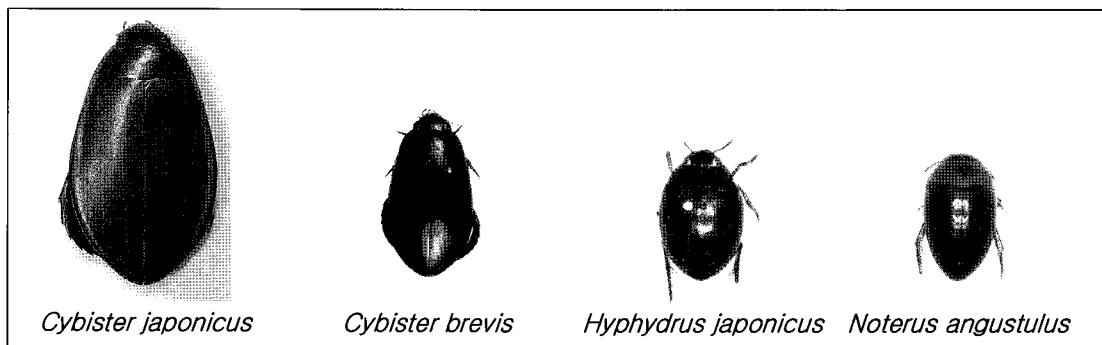


Fig. 4. Indicators species for the environmental evaluation.

농업생태계 평가용 지표종 선발 및 평가기준 설정

농업생태계 건진도를 평가할 수 있는 지표종 4종을 선발하였다. 대형종으로 물방개(*C. japonicus*)과 검정물방개(*C. brevis*)를 소형종 중에서 자색물방개(*N. japonicus*)와 알물방개(*N. angustulus*)를 선발하였다(그림 4). 대형종의 경우 서식환경이 어느 수준 이상의 양호한 조건이라 판단되는 서식지에서만 확인되는 종이며, 소형종의 경우 최소한의 환경만 유지된다면 서식이 가능한 종, 즉 극단적인 불량환경이 아닌 지역에서는 서식이 가능한 종을 선발하였고, 환경이 불량한 지역에서는 서식하지 않는 종으로

두 그룹의 서식 유무는 그 지역의 환경을 간접적으로 대변할 수 있다고 판단된다.

평가 요인으로는 지표곤충으로 선발한 4 종의 출현종수, 대상지역 내에서 물방개류 전체 출현종수 및 다양도 지수 등 3개 요인으로 설정하였으며, 평가 등급은 I~IV등급으로 하였다. 지표종 출현의 경우 4종 모두 출현 시 I등급, 3종 II등급, 2종 III등급, 1종 이하의 경우 IV등급으로 하였으며, 물방개류 전체 출현종수는 9종 이상을 I등급, 종 다양도 지수는 2.0이상을 I등급으로 하였다(표 4). 이상 3개요인 중 3개의 자격을 모두 갖출 경우 그 등급으로 평가하였으며, I등급의 경우 최상의 환경 보전 지역,

Table 4. Standard grade for the environmental estimate

| Grade* | Environmental indicators ¹ | No. of diving beetles ² | Diversity index (H') |
|--------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| I | 4 | 9 ≤ | 2.0 ≤ |
| II | 3 | 6~8 | 1.5~2.0 |
| III | 2 | 4~5 | 1.0~1.5 |
| IV | 1 ≥ | 3 ≥ | 1.0 ≥ |

¹ Environmental indicators: A: *C. japonicus*; B: *C. brevis*; C: *H. japonicus*; D: *N. angustulus*.

² Total number of diving beetles in each locations.

* I: superior; II: good; III: bad; IV: inferior.

Table 5. Environmental healthiness according to the different locations

| Location* | Environmental indicators | No. of Diving beetles | Diversity index (H') | Grade |
|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| A | 4 | 9 | 2.08 | I |
| B | 4 | 9 | 1.87 | II |
| C | 4 | 7 | 2.41 | I |
| D | 3 | 6 | 1.65 | II |
| E | 3 | 7 | 2.70 | II |
| F | 0 | 1 | 1.74 | IV |
| G | 0 | 3 | 0.84 | IV |

* A: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (pond); B: non-fertilizer and non-pesticide agricultural area (irrigation channel); C: sustainable agricultural area (pond); D: sustainable agricultural area (irrigation channel); E: general agricultural area; F: residential area; G: industrial area).

II등급은 우량 환경지역, III등급의 경우 최소한의 환경지역으로 개선이 요구되는 지역, IV등급의 경우 불량환경 지역으로 개선이 시급히 요구되는 지역으로 구분하였다.

평가기준에 준하여 대상지역의 환경 건전도를 평가한 결과, 무비무농약 농업지역은 I~II등급, 친환경농업지역이 I~II등급 수준으로 환경이 아주 양호한 지역으로 평가되었으며, 관행농업 지역 또한 II등급으로 비교적 양호한 환경을 유지하는 지역으로 평가 되었다. 반면 오염원 유입 지역인 주거지역 주변과 공단지역 주변 농업지역의 경우 IV등급으로 시급한 농업환경의 개선이 요구되는 지역으로 평가되었다(표 5).

이상의 결과와 같이 농업생태계 환경의 건전도를 불방 개류를 이용함으로써 지속적이고 종합적인 생물학적 환경평가가 가능할 것으로 기대되며, 물리화학적 환경평가 방법과 상호 비교함으로써 상호 보완 및 보다 정밀한 환경평가가 가능할 것으로 기대된다. 또한 건전도가 높은 지역을 질 높은 생물서식공간으로 유지 보전함으로써 농업생태계 내 생물다양성 유지 또는 향상시킬 수 있다고 판단된다.

Literature Cited

- Anonymous. 1994. Check list of insects from Korea. The entomological Society of Korea & Korean Society of Applied Entomology. KonKuk University Press.
- Choi, Y.C., H.C. Park, J.G. Kim, H.S. Sim and O.S. Kwon. 2004. Selection of indicator insects for the evaluation of agricultural environment. *Korean J. Appl. Entomol.* 43(4): 267-273.
- Kim, C.H., 1990. General entomology. Bummunsa, The Entomological Society of Korea, pp. 299-319.
- Kim, J.G., Y.C. Choi, J.Y. Choi, S.E. Kim, K.Y. Kim, J.K. Kim and J.E. Lee. 2005. Environmental evaluation by using hymenoptera induced by bamboo pipe traps indicated by eumenid wasp (Hymenoptera: Eumenidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 44(4): 307-315.
- Margalef, D.R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of California glassland. *Nature.* 216: 168-144.
- Ministry of Environment. 1997. Development of creation technology for the wildlife habitat in Korea rural area. The first report. 316pp.
- Ministry of Environment. 1997. Development of creation thecnology for the wildlife habitat in Korea rural area. The second report. 353pp.
- Petrillo, H. 2001. The use of indicator in reserve design. http://www.nau.edu/envsci/sisk/courses/cnu440/SCBS/students/2001/HollyPetrillo/Indicator_Tntro.htm.
- Pielou, C.E. 1969. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. *Amer. Nat.*, 100: 463-465.
- Pielou, C.E. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, New York. 165pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Yoon I. B., D.S. Kong and J.K. Ryu. 1992a. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1) Saprobic valency and indicative value-. *Korean J. Environ. Biol.* 10(1): 24-39.
- Yoon I.B., D.S. Kong and J.K. Ryu. 1992b. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (2) Effects of environmental factors to community-. *Korean J. Environ. Biol.* 10(1): 40-55.
- Yoon I.B., D.S. Kong and J.K. Ryu. 1992c. Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) Macroscopic simple water quality evaluation-. *Korean J. Environ. Biol.* 10(2): 77-84.
- Yoon, I.B., 1995. An illustrated book of aquatic insects. Junghangsa, pp. 233-237.

(Received for publication June 6 2007;
accepted August 29 2007)