

미꾸리 (*Misgurnus anguillicaudatus*)와 새코미꾸리 (*Koreocobitis rotundicaudata*) 개체군의 생태지표 특성 및 이·화학적 수질구배 분석

신은주·최지웅·안광국*

충남대학교 생물학과

Ecological Characteristics and Chemical Gradients in Two Different Loach Populations-*Misgurnus anguillicaudatus* and *Koreocobitis rotundicaudata*

Eun Ju Shin, Ji-Woong Choi and Kwang-Guk An*

Department of Biological Science, College of Biological Sciences and Biotechnology,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract - The objectives of this research were to determine ecological characteristics and chemical gradients in two different loach populations-*Misgurnus anguillicaudatus* (M_a) and *Koreocobitis rotundicaudata* (K_r). Eight chemical parameters were compared to test the chemical preferences between the two species. The population of K_r occurred more in better water quality, compared to the M_a -population. The M_a -population co-occurred more with tolerant species (TS) and omnivores, whereas the K_r -population co-occurred more with sensitive species (SS) and insectivores. The differences in the tolerance and trophic composition matched well with the result of stream health assessment, based on the multi-metric model of Index of Biological Integrity (IBI). The IBI value in habitat with the M_a -population was "19.6" (range: 8~40) indicating a fair condition, and the IBI values of K_r -population was 29.4 (range: 12~40) indicating good condition. Similar results were found in physical habitat health analysis (QHED). Overall, data analysis showed that the M_a -population belong to the tolerant species and K_r -population belong to sensitive species in the tolerance classification.

Key words : *Misgurnus anguillicaudatus*, *Koreocobitis rotundicaudata*, tolerance guild

서 론

생물의 분포와 활동에는 여러 가지 온도, 습도 등의 환경 요인이 존재하며 환경요인에 대하여 생물이 견딜 수 있는 범위를 내성범위 (Tolerance range)라고 한다. 따

라서 생물 종마다 서식하는 범위가 달라지는데 (Kim *et al.* 2002) 최근에는 이러한 생물의 특성을 반영하는 수생태계 평가기법의 중요성이 강조되고 있다 (Cho *et al.* 2004). 이러한 평가 방법은 이·화학적 수질 특성 (Kang *et al.* 2000) 및 물리학적 서식지 교란 영향 (An *et al.* 2001) 을 잘 반영할 뿐만 아니라 생물군집 내의 에너지 흐름, 물질순환 관계 (Lee 2001) 및 기후변화 (An 2000; An 2001) 등 다양한 요인으로 인한 생물의 최종 변화를 반영한다.

* Corresponding author: Kwang-Guk An, Tel. 042-821-6408,
Fax. 042-822-9690, E-mail. kgan@cnu.ac.kr

생물학적 평가에 이용되는 생물 중 어류는 하천 생태계에서 최상위 층을 차지하는 생물군으로 화학적 수질특성에 민감하게 반응할 뿐만 아니라 (Barbour *et al.* 1999), 생물군집 간의 물질순환 및 에너지 흐름을 직접적으로 반영하는 생물군이다 (Karr 1981; Karr *et al.* 1986; Karr and Dionne 1991). 어류를 이용한 생태건강도지수 (Index of biotic integrity, IBI) 평가에 이용되는 어류의 내성도는 내성종, 중간종, 민감종으로 분류되며 (U.S. EPA 1993), 국내에서는 Choi (1989), Choi *et al.* (1990) 및 MOE (1997)의 기존자료에 의해 어종이 구분되었다. 그러나 이러한 분류는 연구자의 경험이나 문헌자료에 의한 것으로 어종별 내성특성을 객관적인 기준에 의해 분류하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 내성도 구분의 모호성을 해결하기 위하여 Seo *et al.* (2008)이 8개 어종을 수질항목과 연관하여 서식범위를 분석한 연구를 진행하였고, Kim *et al.* (2010)이 금강 수계의 어류들을 대상으로 생태지표특성과 수질특성 간의 관계에 대한 연구를 진행하였으나 내성도를 구분하기 위한 뚜렷한 기준을 제시하지 못하였다. 따라서 내성도 분류가 모호한 어종을 대상으로 이화학적 수질특성 및 생태지표 특성을 활용하여 내성특성에 관한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에 이용된 미꾸리 (*Misgurnus anguillicaudatus*)와 새코미꾸리 (*Koreocobitis rotundicaudata*)는 잉어목 (Cypriniformes) 미꾸리과 (Cobitidae)에 속하는 잡식성 어종이다 (Noh 2009). 미꾸리는 내성종 (Tolerant species)으로 우리나라 전역에서 발견되며 진흙이 깔린 늪, 농수로 등에 살고 하천의 중상류 가장자리의 수초 지역이나 물의 흐름이 느리고 바닥에 모래가 깔린 곳에서 주로 서식한다. 반면 새코미꾸리는 민감종 (Sensitive species)으로 물살이 빠르고 바닥에 자갈이 많이 깔린 하천의 중상류 지역에 살고 우리나라 임진강과 한강수계에만 제한적으로 분포한다 (Lee and Noh 2011).

본 연구에서는 상반된 내성도 특성으로 분류되어 있는 두 미꾸리과 어종의 생태특성 및 화학적 수질 구배를 분석하여, 다각적 측면에서 분석한 여러 결과를 토대로 기존의 내성도 분류에 대한 타당성을 검증하고 객관적인 내성도 구분을 위한 기초 자료를 마련코자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점

본 연구는 남한의 4대강 수계인 한강 (수로연장 (RL): 514 km, 유역면적 (BA): 26,219 km²), 낙동강 (RL: 525 km,

BA: 23,860 km²), 금강 (RL: 414 km, BA: 9,886 km²), 영산·섬진강 (RL: 348 km, BA: 8,267 km²) 수계를 대상으로 진행하였다. 1차부터 6차 하천까지의 2008년 640지점 (한강 320, 낙동강 100, 금강 100, 영산·섬진강 120지점), 2009년 720지점 (한강 320, 낙동강 130, 금강 130, 영산·섬진강 140지점)을 선정하여 2008년과 2009년 연 2회에 걸쳐 수체가 안정된 장마 전, 장마 후 기간에 1차 조사와 2차 조사를 진행하였다.

2. 어류조사

어류의 채집은 하천의 생태 건강도를 평가하기 위해 개발된 Ohio EPA (1989)에 의한 Wading method를 기반으로 하였으며, 정량화된 채집을 위해 Catch per unit effort 방법 (CPUE; U.S. EPA 1993)을 사용하였다. 각 지점에서 200m 내외로 50분간 실시하였고, 조사지점 내 모든 서식지 유형 (여울, 소, 흐름)을 포함하였으며 채집 도구로는 투망 (망목, 7×7 mm)과 족대 (망목, 4×4 mm)를 이용하였다. 채집된 어류는 현장에서 동정 및 개체수 산정을 한 후 방류하였고, 일부 동정이 용이하지 않은 경우 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 동정하였다 (Nelson 1994; Kim and Park 2002). 비정상 개체의 외형은 변형 (Deformities; D), 피부진무름 (Erosions; E), 외상 (Lesions; L) 및 종양 (Tumor; T) 여부를 검사하였다 (Sanders *et al.* 1999).

3. 이·화학적 수질 자료 분석

이·화학적 수질 자료는 조사지점과 인접한 환경부 수질측정망 자료 (환경부, <http://water.nier.go.kr>)로 그 중 조사기간에 해당하는 2008년 6, 9, 10월, 2009년 4, 5, 8, 9월 자료를 사용하였다. 자료 분석을 위해 사용된 수질 변수는 생물학적 산소요구량 (Biological oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량 (Chemical oxygen demand, COD), 전기전도도 (Conductivity, Cond), 총부유물질 (Total suspended solids, TSS), 총인 (Total phosphorus, TP), 총질소 (Total nitrogen, TN), 인산염인 (Phosphate-phosphorus, PO₄-P), 엽록소-*a* (Chlorophyll-*a*, CHL-*a*)의 8개 항목이다. 본 연구에서 이용된 이·화학적 수질등급 기준은 환경정책기본법 시행령 별표의 7등급 기준 체계에 의거하였다.

4. 어류 생태지표 특성

어류의 내성도와 영양단계의 분류는 Karr (1981)와 US EPA (1993)의 방법에 의거하여 국내 출현 어종에 대하여 문헌조사 및 어류전문가들의 자문 (MEK/NIER 2008)

과 현장조사를 통해 얻어진 시료 분석 결과를 근거로 하였다. 내성도는 수질 오염도에 따라 쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species), 수질오염에도 불구하고 종수 및 분포범위가 증가하는 내성종(Tolerant species), 두 범주사이의 중간종(Intermediate species)으로 분류하였다. 섭식특성은 하천 생태계 내 군집의 영양동태(trophic dynamics)와 에너지 흐름관계를 평가하는 항목으로(Yeom *et al.* 2000) 충식종(Insectivore), 육식종(Carnivore), 잡식종(Omnivore), 초식종(Herbivore)으로 분류하였다.

5. 어류의 생태 특성 분류

어류를 이용한 하천의 건강성 평가는 생태건강도지수인 IBI (Index of Biological Integrity) 모델에 기반을 두고 있다. 본 조사에서는 IBI값을 산정하기 위하여 Karr(1981)가 제시한 12개의 항목(metrics)을 우리나라 하천의 특성에 맞게 수정, 보완한 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가(MEK/NIER 2009)방법을 이용하였다. 이는 총 8개의 메트릭(B)으로 구성되어 있으며 각각은 B₁ 국내종의 총 종수(Total number of native species), B₂ 여울성 저서종수(Number of riffle-benthic species), B₃ 민감한 어종수(Number of sensitive species), B₄ 내성종의 상대빈도(Proportion of individuals as tolerance species), B₅ 잡식종의 상대빈도(Proportion of individuals as Omnivores), B₆ 국내종의 충식종 상대빈도(Proportion of individuals as native insectivores), B₇ 채집된 국내종의 총 개체수(Total number of individuals as native species) 및 B₈ 비정상종의 상대빈도(Proportion of abnormal individuals)로 평가하였다. 평가 방법은 환경부에서 제시한 기준에 따라 각 메트릭 별로 “5”, “3”, “1”의 점수를 부여하고, 8개 메트릭 항목의 총합으로 모델값을 구하여 최적상태(A; Excellent, 40~36), 양호상태(B; Good, 35~26), 보통상태(C; Fair, 25~16), 불량상태(D; Poor, 15 이하)로 최종 평가등급을 산출하였다.

6. 물리적 서식지 평가

물리적 서식지 건강도 평가를 위한 평가 메트릭(Q)은 Q₁ 하천 서식지 구성(Epifaunal substrate/available cover), Q₂ 하상매몰도(Embedded dedness), Q₃ 하천유량(Channel flow status), Q₄ 소규모 댐의 건설유무(Dam construction impact), Q₅ 하천 변경도(Channel alteration), Q₆ 침전물 축적도(Sediment deposition)으로 구성되었다. 이 중 Q₂ 메트릭은 하천차수가 4 이상인 경우 Q_{2.2} 소의 하상구조특성을 적용하였다. 각 메트릭은 최적 I(20, 18, 16), 양호 II(15, 13, 11), 보통 III(10, 8, 6), 불량 IV(5, 3, 1)으로 점수

를 부여하고, 이들의 총합으로 모델 값을 구하여 최종 평가등급을 산출하였다.

7. 통계분석

미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*) 개체군을 M_a-개체군으로, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*) 개체군을 K_r-개체군으로 명명하였으며, 4대강 수계의 조사지점 중 M_a-개체군이 발견된 151지점(샘플 수=237), K_r-개체군이 발견된 87지점(샘플 수=197)을 선정하였다. 본 논문에서 이용된 모든 통계 분석은 SPSS(PASW statistic 18, ver. 18.0. for window, 2009)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 각 개체군의 분포에 따른 이·화학적 수질특성 분석

각 개체군의 분포에 따른 이·화학적 수질특성을 분석하기 위하여 각 수질변수의 최솟값, 최댓값 및 평균값을 산정한 결과(Table 1). M_a-개체군의 경우, 평균(최소~최대)값이 생물학적 산소요구량 2.65 mg L⁻¹(0.3~16.3), 화학적 산소요구량 5.56 mg L⁻¹(0.7~27.3), 총인 0.16 mg L⁻¹(0.003~1.917)로 나타났고, K_r-개체군은 생물학적 산소요구량 0.99 mg L⁻¹(0.2~6.0), 화학적 산소요구량 2.74 mg L⁻¹(0.8~8.8), 총인 0.04 mg L⁻¹(0.001~0.493)의 분포를 나타냈다. 독립표본 t 검정(Independent two sample t-test)을 이용하여 두 개체군 간에 통계적인 차이를 분석한 결과에 따르면, 모든 수질 변수에서 유의확률(p-value) 값이 0.001 이하로 나타나 두 개체군 간 각 수질변수의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 판단되었다.

수질변수에 따른 각 개체군의 분포범위는 넓게 나타났으나 일정 농도에 치우쳐져 있어 주 분포대를 산정하기 위하여 사분위수(Quartile)를 분석하였고 그 결과는 Table 1 및 Figs. 1, 2와 같다. 사분위수(Quartile)의 결과를 토대로 1/4 분위수~3/4 분위수 범위를 주 분포대로 분석하였고, 위의 결과를 우리나라 환경부의 하천생활환경기준에 의거하여 평가하였다.

M_a-개체군의 경우, 주 분포대가 생물학적 산소요구량은 1~3.4 mg L⁻¹로 Ia(매우 좋음)-III(보통)등급에 해당하였고, 화학적 산소요구량과 총인은 각각 3.28~6.75 mg L⁻¹, 0.036~0.168 mg L⁻¹로 Ib(좋음)-III(보통)등급에 해당하였다. 또한, M_a-개체군은 전체 236개 샘플 중 12.3%가 이론적으로 생물이 살기 힘든 조건인 VI등급(매우 나

Table 1. Means, range (maximum-minimum) and quartile (1/4 quartile, median and 3/4 quartile) on water quality in streams and rivers where M_a -population and K_r -population was sampled

Parameters*	M_a -Population							K_r -Population						
	n	Mean \pm SD	Min	1/4 Quartile	Median	3/4 Quartile	Max	n	Mean \pm SD	Min	1/4 Quartile	Median	3/4 Quartile	Max
BOD (mg L ⁻¹)	236	2.65 \pm 2.53	0.3	1	1.7	3.4	16.3	197	0.99 \pm 0.87	0.2	0.5	0.7	1.2	6
COD (mg L ⁻¹)	236	5.56 \pm 3.53	0.7	3.28	4.6	6.75	27.3	197	2.74 \pm 1.29	0.8	1.8	2.5	3.2	8.8
Cond (μ s cm ⁻¹)	236	317.11 \pm 204.12	23	198.75	259	366	1480	197	182.80 \pm 9	41	118	165	222	732
TSS (mg L ⁻¹)	235	10.92 \pm 13.40	0.3	3.5	7.1	13.2	112.3	196	5.18 \pm 6.14	0.2	1.6	3.4	6.275	42.8
TN (mg L ⁻¹)	236	3.17 \pm 2.71	0.421	1.42	2.40	4.10	16.89	197	2.40 \pm 0.86	0.81	1.88	2.32	2.86	5.86
TP (mg L ⁻¹)	236	0.16 \pm 0.25	0.003	0.036	0.087	0.168	1.92	197	0.04 \pm 0.05	0.001	0.014	0.021	0.042	0.49
PO ₄ -P (mg L ⁻¹)	236	0.08 \pm 0.17	0	0.005	0.027	0.077	1.252	197	0.01 \pm 0.02	0	0	0.002	0.012	0.17
CHL- <i>a</i> (μ g L ⁻¹)	236	15.48 \pm 27.40	0	2.7	6	15.875	216.3	197	6.51 \pm 12.88	0	1.4	3.4	6.3	145.6

*BOD=Biological Oxygen Demand, COD=Chemical Oxygen Demand, Cond=Conductivity, TSS=Total Suspended Solids, TN=Total Nitrogen, TP=Total Phosphorus, CHL-*a*=Chlorophyll-*a*

뽕, 생물학적 산소요구량 10 mg L⁻¹ 초과, 화학적 산소요구량 11 mg L⁻¹ 초과, 총인 0.5 mg L⁻¹ 초과)으로 나타나 화학적 수질 악화에 대한 적응이 뛰어난 것으로 판단되었다. 또한 Ia(매우 좋음) 등급의 하천은 불과 1.7%로 매우 청정한 지역에서는 오히려 잘 서식하지 않는 것으로 나타났으며, 전체 샘플 중 Ib(좋음) 등급의 하천은 20.3%, II(약간 좋음) 등급의 하천은 22.9%, III(보통) 등급의 하천은 22.5%로 Ib(좋음) 등급-III(보통) 등급의 수질 조건을 가진 하천에 주로 분포하는 것으로 사료되었다.

K_r -개체군의 경우, 주 분포대가 생물학적 산소요구량 0.5~1.2 mg L⁻¹, 화학적 산소요구량 1.8~3.2 mg L⁻¹로 Ia(매우 좋음)-Ib(좋음) 등급에 해당하였고 총인은 0.014~0.042 mg L⁻¹로 Ia(매우 좋음)-II(약간 좋음) 등급으로 분석되었다. K_r -개체군의 경우 VI(매우 나쁨) 등급의 하천에서 분포가 확인되지 않았고, V(나쁨) 등급의 하천은 전체 샘플 중 하나에서만 발견되었으며 상대풍부도 또한 1.54%로 매우 낮게 나타났다.

이 · 화학적 수질에 따른 두 개체군의 내성범위를 살펴보면, M_a -개체군은 생물이 살기 힘든 조건에서도 다수 출현하였고 K_r -개체군은 수질 특성에 따른 서식범위가 좁은 것으로 나타나 M_a -개체군은 서식지의 수질악화와 인위적인 교란에도 잘 적응하며 K_r -개체군은 그러한 변화에 즉각적으로 반응하는 것으로 판단된다. 따라서 기존의 내성도 분류(MEK/NIER 2008)와 일치하는 것으로 사료되었다.

2. 두 개체군과의 공서 어종에 대한 생태지표 분석

M_a -개체군, K_r -개체군이 출현한 지점의 공서 어종 특성을 분석한 결과에 따르면 (Fig. 3), 섭식특성의 경우, M_a -개체군과 공서하는 어종 중 잡식종의 상대빈도는 64.2%, 충식종의 상대빈도는 28.9%로 잡식성 어종이 우점하는 것으로 나타났다. 이와 달리 K_r -개체군과 공서하는 어종 중 충식종의 상대빈도는 56.6%, 잡식종의 상대빈도는 35.0%로 나타나 잡식종에 비하여 충식종이 우점하는 것으로 나타났다. 잡식종의 우점 현상은 수 환경 내 에너지 흐름에 있어서 구조적인 왜곡성(skewness)을 보여주는 좋은 예로 (Yeom *et al.* 2000), 잡식종이 우점하여 분포하는 M_a -개체군은 생태계 교란 현상이 K_r -개체군에 비해 심각한 것으로 사료되었다. 반면, 충식종의 주 먹이원인 수서곤충은 수질뿐만 아니라 주변 식생과 하상구조에 의한 영향을 많이 받으므로 (Kim and Bae 2001), 충식종의 비율이 상대적으로 높은 K_r -개체군은 수서곤충이 서식하기 좋은 환경인 식생과 하상구조가 다양하며 수질이 청정한 지역에 주로 서식하는 것으로 사료되었다.

내성도 특성 분석을 위해 공서어종 중 민감종과 내성종의 상대빈도를 살펴본 결과에 따르면, M_a -개체군의 경우 평균 13.2%가 민감종에 해당하였으며, K_r -개체군의 경우 평균 46.7%가 민감종에 해당하였다. 내성종의 경우 M_a -개체군에서는 그 개체수가 평균 64.1%의 비율로 높게 나타났고, K_r -개체군의 경우 내성종의 상대빈도가 평

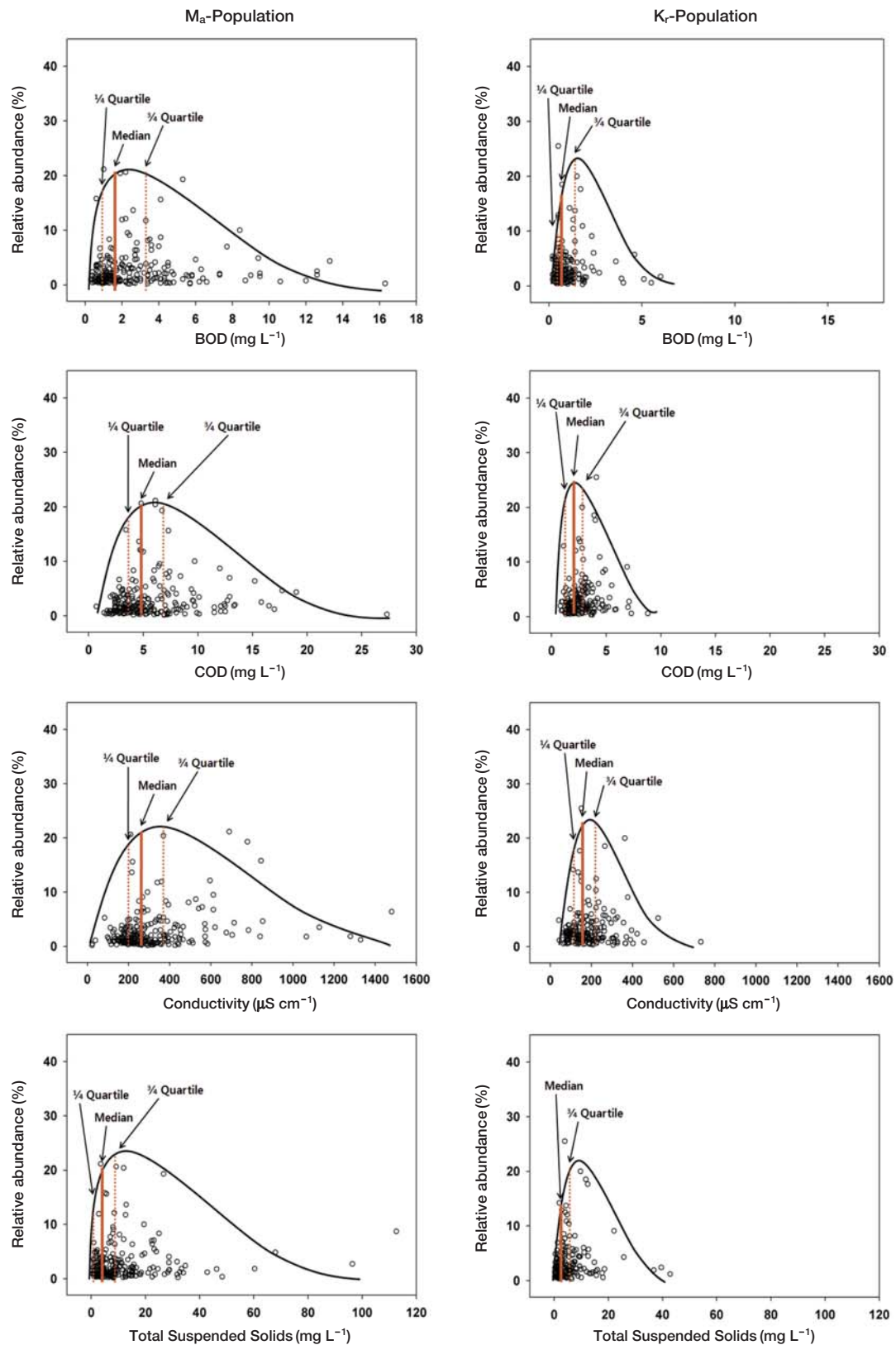


Fig. 1. Relative abundance (%) as a function of oxygen demand (organic matter), ionic content (Cond) and suspended solids in the M_a -population and K_r -population.

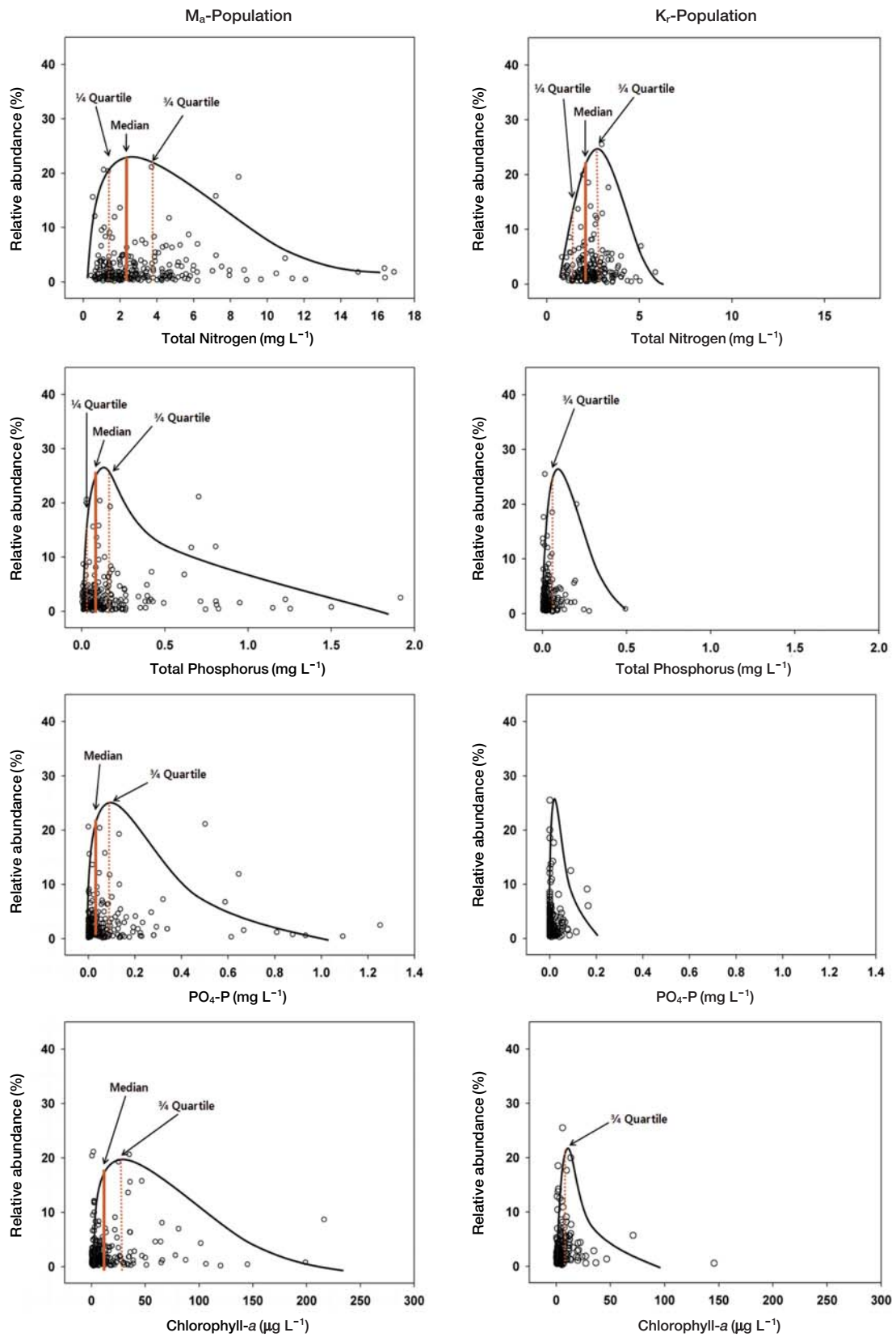


Fig. 2. Relative abundance (%) as a function of nutrients (N,P) and chlorophyll-a in the M_a -population and K_r -population.

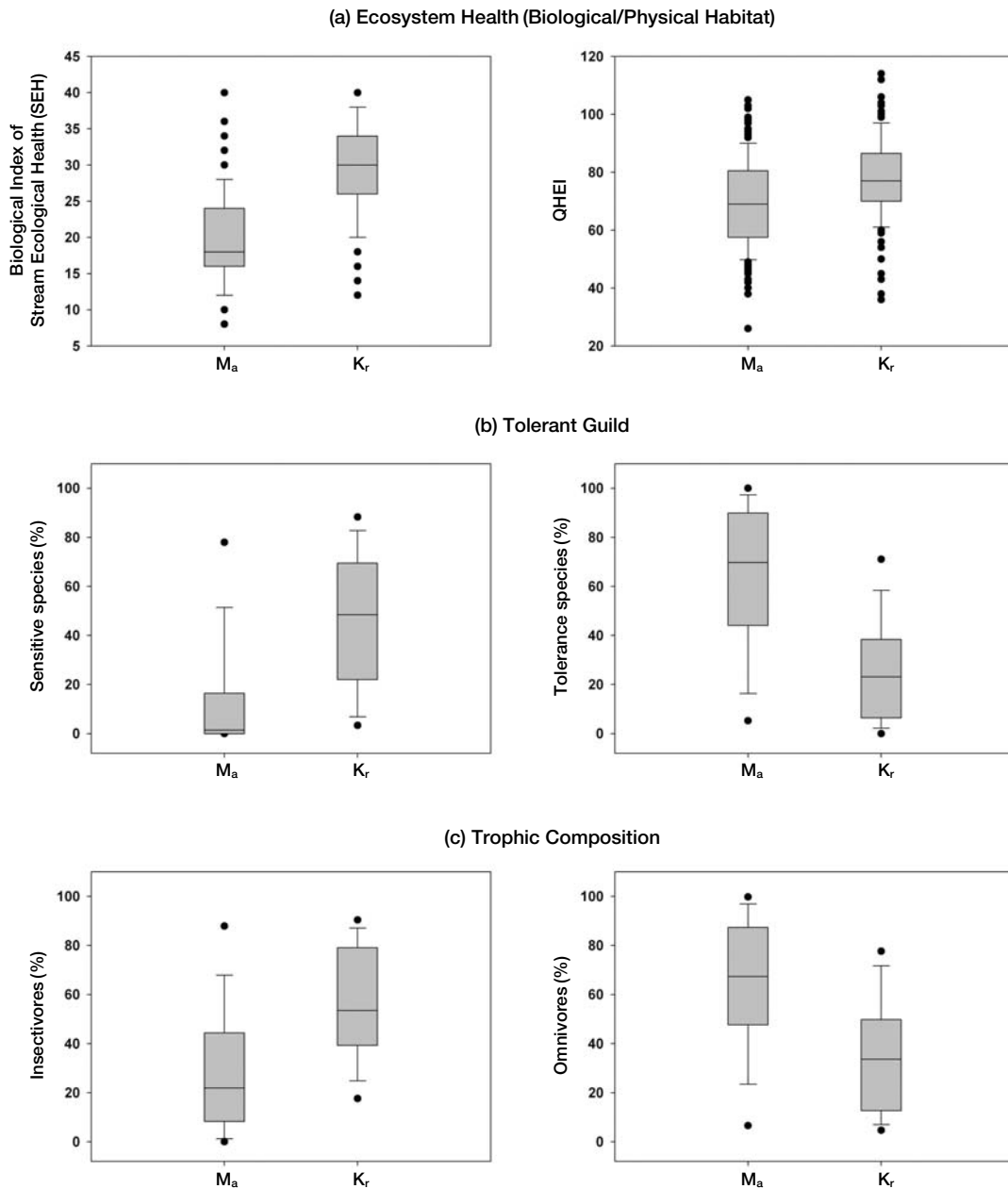


Fig. 3. Comparison between stream with M_a -population and K_r -population on Stream health, tolerant guild and trophic composition (Number of sample in $M_a=237$, Number of sample in $K_r=197$).

군 25.7%로 비교적 낮게 나타났다. 서식지의 물리적, 화학적 질적 저하가 진행될수록 민감종의 종 수 및 개체 수는 감소하지만 내성종의 종 수 및 개체 수는 증가하는 경향을 보인다 (Karr 1981; U.S. EPA 1991; Barbour *et al.* 1999). 따라서 K_r -개체군은 주로 물리적, 화학적 상태가 양호한 곳에 서식하며 M_a -개체군은 물리적, 화학적 질적 저하에 대한 내성이 비교적 강한 것으로 판단되었다.

3. 각 개체군 출현 지점에 대한 생태건강도 지수 평가

생태건강도지수 (Index of Biological Integrity, IBI)를 기반으로 생태 건강성을 분석한 결과, M_a -개체군에서의 IBI 평균은 19.6점으로 보통 (Fair) 등급을 나타냈으며 K_r -개체군에서의 IBI 평균은 29.4로 양호 (Good) 등급을 나타내었다 (Fig. 3). B_7 (채집된 국내종의 총 개체수)을 제외

한 모든 메트릭에서 M_a -개체군이 낮은 평균 점수를 나타내 M_a -개체군이 채집된 지점의 생물학적 건강상태가 악화되어 있는 것으로 판단되었다.

B_2 여울성 저서중수, B_3 민감성 어종 수, B_4 내성종의 상대빈도, B_5 잡식종의 상대빈도, B_6 국내종의 총식종 상대빈도 항목에서 M_a -개체군은 낮은 값, K_r -개체군은 높은 값을 보여 M_a -개체군이 채집된 지점의 수질 혹은 서식지 교란 등에 의한 영향이 비교적 큰 것으로 사료되었다. B_8 비정상종의 상대빈도 항목에서는 둘 다 높은 평균값을 나타냈지만 M_a -개체군의 경우 총 237지점 중 비정상 개체가 확인된 지점이 64지점 (27.1%)이었고, K_r -개체군은 총 197지점 중 단 7지점 (3.6%)에서만 비정상 개체가 확인되어 M_a -개체군이 수환경이 악화된 지점에 많이 분포하고 있는 것으로 판단되었다. B_4 내성종의 상대빈도 항목에서 K_r -개체군의 경우, 2.4로 가장 낮은 평균값을 보여 K_r -개체군이 분포하는 일부 지점도 생태적 교란이 존재함을 시사하였다.

통계분석 결과에 따르면 B_7 (국내종의 총개체수)을 제외한 모든 메트릭에서 유의확률 (p)값이 0.05 이하로 나타나 각 개체군 간 유의한 차이를 보였고 K_r -개체군이 더 낮은 값을 보인 B_7 (국내종의 총개체수)의 경우 유의확률 값이 0.764로 나타나 각 개체군의 분포 여부에 따른 차이를 보이지 않는 것으로 판단되었다. K_r -개체군은 전체 197개 샘플 중 1~3차 하천의 비율이 57.4%이고 M_a -개체군은 전체 237개 샘플 중 4차 하천이 56.5%로 나타나 이에 따른 결과로 사료되었다.

4. 각 개체군 출현 지점의 물리적 서식지 지수 평가

물리적 서식지 평가지수 (Qualitative Habitat Evaluation Index)의 결과에 따르면, M_a -개체군은 평균 69.1점, K_r -개체군은 평균 77.8점으로 둘 다 양호 등급으로 평가되었다 (Fig. 3). 두 개체군 모두 하상구조를 나타내는 메트릭 (Q_2 하상 매몰도, $Q_{2.2}$ 소의 하상구조 특성)에서 가장 낮은 값을 보여 불량-보통 정도의 상태를 나타냈다. 하상구조의 변경은 서식공간을 제한하여 개체수의 감소를 가져오므로 (Kim and An 2010) 두 개체군이 채집된 지점에서 물리적 서식지 악화로 인한 생태계 건강성 저하가 일어나고 있는 것으로 판단되었다. 나머지 항목의 경우 11~14점 사이의 값을 나타내 양호한 정도의 상태를 보였다. K_r -개체군은 Q_4 소규모댐의 건설 유무 항목에서 가장 높은 값을 보였고, Q_3 하천 유량, Q_6 침전물 축적도 항목에서도 높은 값을 보여 하천의 흐름에 대한 인위적인 변형이 적으며 비교적 유량이 풍부한 지점에 주로 분포하는

것으로 판단되었다. M_a -개체군의 경우에도 K_r -개체군보다 항목별 평가 값은 적지만 Q_6 침전물 축적도, Q_4 소규모 댐의 유무, Q_3 하천유량 항목에서 높은 값을 보였다.

각 개체군이 분포하는 지점에서 물리적 서식지 특성을 통계적으로 분석한 결과, 모든 메트릭에서 유의확률 값 (p)이 0.05 이하로 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 미꾸리의 경우 진흙이나 모래가 깔린 곳에 주로 분포하며 새코미꾸리의 경우 자갈이 깔린 지역에 주로 분포하는데 이러한 서식지 차이에 의한 결과로 사료되었다.

결론

본 연구에서는 기존의 내성도 분류의 타당성을 검토하고자 4대강 수계 내 미꾸리 (*M. anguillicaudatus*, M_a) 개체군, 새코미꾸리 (*K. rotundicaudata*, K_r) 개체군의 이·화학적 수질 구배 및 생태지표적 특성에 대해 분석하였다. 각 개체군의 분포에 따른 이·화학적 수질 특성을 분석한 결과, M_a -개체군의 주 분포대는 생물학적 산소요구량 1~3.4 mg L⁻¹, 화학적 산소요구량 3.28~6.75 mg L⁻¹, 총인 0.036~0.168 mg L⁻¹로 넓은 분포범위를 나타내었고, K_r -개체군의 주 분포대는 생물학적 산소요구량 0.5~1.2 mg L⁻¹, 화학적 산소요구량 1.8~3.2 mg L⁻¹, 총인 0.014~0.042 mg L⁻¹로 좁은 분포범위를 나타내었다. 이에 따라 K_r -개체군은 깨끗한 수환경을 선호하며 M_a -개체군의 경우 수질 악화에 대한 적응도가 뛰어난 것으로 판단되었다. 각 개체군 채집지점에서 발견된 공서어종에 대해 분석한 결과, M_a -개체군 분포지점은 잡식종, 내성종이 우점하였고, K_r -개체군 분포지점은 총식종, 민감종이 우점하였다. 따라서 M_a -개체군 분포지점의 물리적, 화학적 질적 저하가 예상되며 총식종이 많이 발견된 K_r -개체군 분포지점은 청정한 상태인 것으로 사료되었다. 각 개체군이 분포하는 지점에 대해 생태건강도지수 (IBI) 평가를 실시한 결과, M_a -개체군이 채집된 지점의 평균 IBI 값은 19.6점으로 보통 (Fair) 등급을 나타냈으며 K_r -개체군의 평균 IBI 값은 29.4로 양호 (Good) 등급을 나타내었다. 따라서 M_a -개체군이 채집된 지점의 경우, 생물학적 건강상태가 악화되어 있고 K_r -개체군이 채집된 지점의 경우, 일부 교란이 발생하였으나 대체로 생물학적 건강상태가 좋은 것으로 판단되었다. 정성적 서식지평가 지수 (QHED)에 의한 물리적 서식지평가의 경우, M_a -개체군은 평균 69.1점, K_r -개체군은 평균 77.8점으로 M_a -개체군 분포지점의 물리적 서식지가 비교적 악화되어 있는 것으로 나타났다. 따

라서 미꾸리가 비교적 이·화학적 수질 악화, 생태학적 교란, 물리적 서식지의 질적 저하에 대한 적응력이 뛰어나며 새코미꾸리는 그러한 변화에 예민하게 반응하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 기존 문헌과 연구자들의 경험에 의거하여 구분된 내성도가 타당한 것으로 분석되었으며 본 연구에서 이용된 분석방법들은 미꾸리과를 비롯하여 내성도 구분이 모호한 어종의 내성도를 분류함에 있어서 생태적 특성에 의한 분류 방법으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

본 연구에서는 미꾸리과 어류인 두 개체군(M_a , K_r)의 생태지표 특성 및 화학적 수질구배를 분석하였고 이를 근거로 기존의 내성도 분류의 타당성을 검토하였다. 각 개체군의 화학적 특성에 따른 분포를 분석한 결과, 모든 수질변수에서 K_r -개체군이 좁은 분포 범위를 보였고 M_a -개체군이 넓은 분포 범위를 보여 K_r -개체군은 깨끗한 수환경을 선호하며 M_a -개체군은 악화된 수환경에 잘 적응하는 것으로 분석되었다. M_a -개체군은 공서어종 중 잡식종, 내성종이 우점하는 것으로 나타났지만, K_r -개체군은 충식종, 민감종이 우점하는 것으로 나타났다. 서식지에 대한 생태적, 물리적 평가를 실시한 결과, M_a -개체군이 낮은 값을 나타내 M_a -개체군 분포지점이 비교적 생물학적 교란이 심하며 물리적 서식지가 악화되어 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 M_a -개체군은 수생태계의 변화에 대한 적응력이 뛰어나며 K_r -개체군은 이러한 변화에 예민하게 반응하는 것으로 판단되어 기존 문헌의 내성도 분류가 타당하다는 것을 시사하였다. 본 연구에서 분석한 각 개체군의 분포특성은 어류를 이용하여 수생태계를 평가하는데 있어 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

An KG. 2000. The impact of monsoon on seasonal variability of basin morphology and hydrology. Korean J. Limnol. 33:

342-349.

An KG. 2001. Seasonal patterns of reservoir thermal structure and water column mixis and their modifications by interflow current. Korean J. Limnol. 34:9-19.

An KG, SH Jung and SS Choi. 2001. An evaluation on health conditions of Pyong-chang river using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI). Korean J. Limnol. 34:153-165.

Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and JB Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd Ed. EPA 841-B-99-002. U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C., USA.

Choi KC. 1989. Freshwater fish in Korea. Seomun publishing Co., Ltd, Seoul, Korea.

Choi KC, SR Jeon, IS Kim and YM Son. 1990. Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyang-Moon Publishing Co., Korea.

Cho KS, JH Park and JC Kang. 2004. Acute toxicity of *carasius auratus* and *Pungtungia hrezi* larva on mercury, lead, copper exposure. J. Korean Soc. Water Qual. 20:265-268.

Kang CM, SM Lee, JS Uml, JH Lee, HW Lee and CP Hong. 2000. The study on water quality and phytoplankton flora at 3 rivers in the Daejeon city. J. Korean Environ. Sci. Soc. 9: 275-284.

Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.

Karr JR, KD Fausch, PL Angermeier, PR Yant and IJ Schlosser. 1986. Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale. Illinois National History Survey, Special Publication 5, Champaign, IL 28pp.

Karr JR and M Dionne. 1991. Designing surveys to assess biological integrity in lakes and reservoirs, in biological criteria. Research and regulation-proceedings of a symposium. 62-72pp.

Kim BS and BH Bae. 2001. A study on the relationship between the river forest and the aquatic insects. J. Korean Inst. Forest Recreation 5:77-84.

Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing Co., Ltd, Seoul, Korea. 349-350pp.

Kim JH, HT Mun, BM Min and YS Jeong. 2002. Environmental science. Hyungseul Publishing Co., Ltd, Seoul, Korea. 58-60pp.

Kim JK, JH Han and KG An. 2010. Tolerance range analysis of fish on chemical water quality in aquatic ecosystems. Korean J. Limnol. 43:459-470.

Kim YP and KG An. 2010. Evaluations of ecological habitat, chemical water quality, and fish multi-metric model in Hyeongsan river watershed. Korean J. Limnol. 43:279-287.

- Lee CL. 2001. Ichthyofauna and fish community from the Gap stream water system, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 19: 292-301.
- Lee WO and SY Noh. 2011. Freshwater fishes based on characteristics in Korean peninsula. Jisung publishing Co., Seoul, Korea. 192-194, 198-200pp.
- MEK/NIER. 2008. Survey and evaluation of aquatic ecosystem health. Ministry of environment, Korea/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- MEK/NIER. 2009. Survey and evaluation of aquatic ecosystem health. Ministry of environment, Korea/National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- MOE. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 37: Freshwater fishes. MOE (Ministry of Education, Korea).
- Nelson JS. 1994. *Fishes of the world* (3rd ed). John Wiley and Sons, New York, USA.
- Noh SY. 2009. How to find fresh water fishes easily. Jin-Sun Publishing Co. Seoul. 188-189, 192-193pp.
- Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol. III, Columbus, Ohio Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section.
- Sanders RE, RJ Miltner, CO Yoder and ET Rankin. 1999. The use of external deformities, erosion, lesions and tumors (DELT anomalies) in fish assemblages for characterizing aquatic resources: A case study of seven Ohio streams. In *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities* (TP Simon ed). CRC Press LLC.
- Seo JW, IS Lim, HJ Kim and HG Lee. 2008. Status of fish Inhabitation and distribution of eight abundant species in relation with water quality in stream and rivers, Ulsan City. *Korean J. Limnol.* 41:283-293.
- U.S. EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. U.S. EPA, Office of Water, Washington, D.C., USA.
- U.S. EPA. 1993. Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters. EPA 600-R-92-111. Environmental Monitoring systems Laboratory-cincinnati office of Modeling, Monitoring systems, and quality assurance Office of Research Development, U.S. EPA, Cincinnati, Ohio 45268.
- Yeom DH, KG An, YP Hong and SK Lee. 2000. Assessment of an Index of Biological Integrity (IBI) using Fish Assemblages in Keum-Ho River, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 18:215-226.

Received: 31 October 2013

Revised: 21 November 2013

Revision accepted: 22 November 2013