Korean J. Limnol. 41 (3) : 301~310 (2008)

영산강 수계의 어류 종 조성 및 분포특성 분석

최 지 웅 · 안 광 국*

(충남대학교 생명과학부)

Characteristics of Fish Compositions and Longitudinal Distribution in Yeongsan River Watershed. ***Choi, Ji-Woong and Kwang-Guk An**** ***(School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)***

This study was to analyze characteristics of fish compositions and longitudinal distribution, based on trophic and tolerance guild at 22 sampling sites of Yeongsan River watershed during 2003～2006, and also to compare before and after the estuary dam construction. The collected fishes, based on catch per unit effort (CPUE), were 44 species in the watershed and dominant fishes were *Zacco platypus, Acheilognathus macropeterus, Zacco temminckii* and *Carassius auratus*. According to comparative analysis of fish in the non polluted sites (NPS) vs. polluted sites (PS), the number of species and individuals was lower by 70% in the PS than the NPS, indicating ecological degradations by chemical pollutions or/and habitat modifications. The relative abundance of sensitive and insectivore species decreased as the stream order increases, while tolerant and omnivore species increased with the stream order. In this survey, largemouth bass (*Micropterus salmoides*), which is a top-carnivore and exotic species, may influence trophic guild system throughout active predations on endemic species, resulting in modifications of ecological functions. The construction of estuary dam on Yeongsan River in 1981 resulted in wider lacustrine zone and desalinated through limitation of seawater input. These physical changes have caused increases of lentic dwelling species and limited fish migrations (i.e., eel). Overall, fish fauna and composition analyses showed that the number of species and individuals in this water body may be reduced due to inputs of pollutants from the watershed, habitat modifications, and increases of exotic species (largemouth bass). For these reasons, effective lake management strategies are required for the ecosystem conservation.

Key words : Yeongsan River, fish fauna, species composition, ecological health

서 론

영산강은 전남 담양군 용면 용추봉에서 발원하여 광주광역시, 나주시 등을 지나 서 · 남해로 흘러드는 강으로 상수원 및 농공업용수의 공급에 중요한 역할을 담당하고 있다. 용수의 효율적인 이용을 위해 영산강 상류에는 담양댐, 광주댐, 장성댐, 나주댐 등 4개의 다목적댐이 축조되어 있고, 하류에는 상수원 및 농공업용수의 취수원에 염수유입을 막기 위하여 1981년 영산강 하구둑이 완공되었다. 이러한 인공댐과 하구둑 건설은 시간이 지나면서 수리수문학적 특성변화 및 수질악화를 가속화시키고 있는 것으로 보고되고 있으며(조 등, 1999), 어류를 비롯한 수생생물들의 서식지를 교란하여 영산강 수계의 생태건

* Corresponding Author: Tel: 042) 821-6408, Fax: 042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

강성을 악화시키는 요인이 되는 것으로 파악되고 있어 영산강 수계의 종합적 수환경 평가가 절실히 요구되는 실정이다(안 등, 2007).

영산강 수계는 타 수계와는 달리 광주광역시를 비롯한 중소도시에서 배출되는 생활하수와 공단폐수에 의하여 수질악화가 가속화되고 있으며, 영산강 하구둑이 완공된 후, 특히 하류부에는 인(P)과 질소(N)에 의한 부영양화 현상이 가속화되고 있고, 이에 의한 심층부의 산소고갈현상(박 등, 2001; 윤 등, 2003) 및 상시적 식물성 플랑크톤의 수화현상(Algal bloom)에 의해 수질악화가 지역사회의 큰 환경문제로 대두되고 있다(한국환경정책평가연구원, 2005). 이러한 수질 및 수리수문학적 변화는 수체의 하상구조를 변화시키고, 상시적인 저산소현상에 의해 어류의 종조성 및 군집구조에 큰 영향을 미칠 것으로 사료되는 바이다. 영산강 수계에 서식하는 여러 분류군 중 어류에 관한 연구는 1970~1990년대까지 꾸준히 진행되어 왔다. 특히, 종 조성 및 분포특성에 대한 연구가 주를 이루었고, 하구둑 건설에 따른 생태계 변화에 대한 연구가 일부 수행되었다(최, 1973; 위 등, 1977. 최 등, 1984; 송과 이, 1987, 1988; 송과 양, 1995; 송과 김, 1995). 그러나 기존의 연구는 영산강 본류나 지류에서 부분적으로 수행되어 왔을 뿐 영산강 수계 전역에 걸쳐 조사를 진행한 연구는 거의 없는 실정이기 때문에 이에 대한 규명이 절실하다.

본 연구에서는 영산강 본류와 지류의 생태지표종 및 길드분석을 실시하였고, 하구둑 축조 전 · 후의 어류군집 구조 특성을 분석하였으며, 오염원 지역과 비오염원 지역 간의 종조성 변화 양상을 비교 · 분석하였다.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사지점

본 연구에서는 2003년 10월부터 2006년 10월까지 영산강 본류 12개 지점과 지류 10개 지점을 선정하여 조사를 실시하였다. 영산강 본류 지점은 Y1~Y12로서 대부분 하폭이 넓고 수심이 깊은 대형하천의 특성을 보였으며, 일부 지점은 공단폐수, 생활하수와 같은 점오염원에 의한 영향이 예상되었다. 영산강으로 유입되는 주요 지류인 황룡강의 경우, 상류지점(H1, H2)은 오염원에 의한 영향이 거의 없고, 물리적 서식지가 잘 보존되어 있으나 하류부(H3, H4)는 공단폐수의 영향과 물리적 서식지의 파괴에 의하여 영향을 받는 것으로 예상되었다. 광주천(K1~K2)과 지석천(J1~J3)의 경우, 생활하수의 유입과 물리적 서식지의 교란에 의하여 영향을 받는 것으로 예상되었다. 만봉천(M1)의 지점은 점오염원이나 물리적 서식지의 파괴에 같은 생태계 교란요인이 거의 없는 것으로 예상되었다(Fig. 1). 영산강 본류 및 지류의 하천차수는 현재 환경부에서 모니터링 기법으로 이용되는 1 : 120,000의 축척지도를 이용하였고, Strahler (1957)의 방법에 의거하여 결정하였다.

본 연구의 조사지점 중 하수처리장이나 공단폐수의 영향을 직접적으로 받는 지점(Polluted sites, PS)과 오염원에 의한 인위적인 영향이 적은 지점(Non polluted sites, NPS)을 선정하여 오염원의 유무에 따른 어종 조성 및 생태지표 특성의 변화양상을 하천차수별로 분석하였다. 오염원의 영향이 거의 존재하지 않는 지점(NPS)으로는 H1, M1, J1, J3을 선정하였고, 오염원의 영향을 받는 지점(PS)으로는 Y2, Y3, Y4, H3, H4, K1, K2, J2를 선정하였다.

또한, 하천차수에 따른 어종 및 생태지표특성 분석을 위하여 대조군지점(Reference sites, RS)을 선정하였고

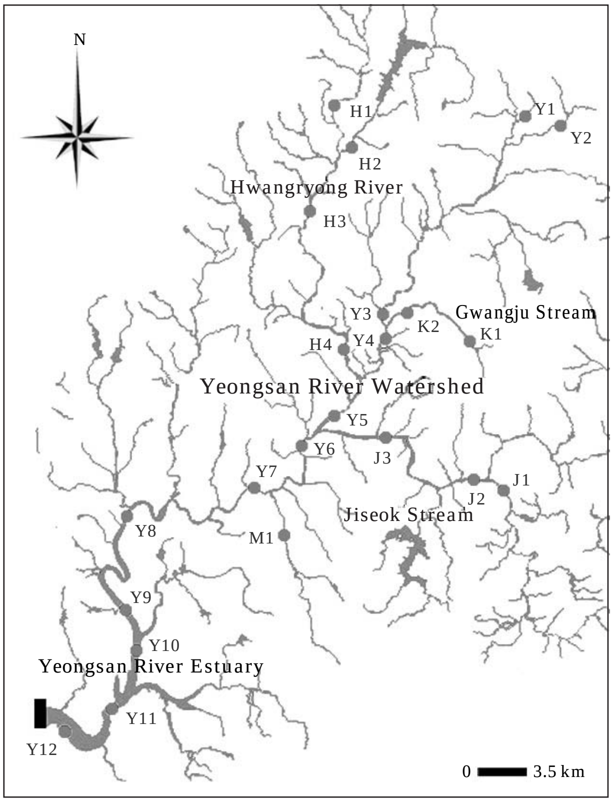

Fig. 1. The map of Yeongsan River watershed showing sampling sites.

조사지점(Sampling site, SS)과 비교·평가하였다(안 등, 2001). 대조군 지점(RS)은 오염원의 영향을 받아 수생태계가 교란된 하천이 복원목표로 추구하는 하천으로 산림 근처의 식생이 잘 발달되고 수계의 크기가 조사지점과 유사하며, 물리적 서식지의 파괴, 생활하수 및 공단폐수의 유입과 같은 인위적인 교란이 거의 없는 지점을 선정하였다(U.S. EPA, 1993).

2. 조사방법

1) 어류 현장 조사방법

어류채집은 Ohio EPA (1989)의 방법을 우리나라의 특성에 맞게 수정·적용한 안 등(2001)의 방법에 의거하였고, 정량화된 Catch per unit effort (CPUE)를 위하여 채집거리는 200 m로 제한하였고, 조사구간 내 다양한 서식지 유형을 모두 포함하였다. 채집 소요시간은 최대 종풍부도곡선(Maximum Species Richness Line)을 산정하여 50분으로 한정하였고, 채집도구는 투망(망목: 5×5 mm 이하), 족대(망목: 4×4 mm) 및 어류 채집용 전기충격기(12 V, 24 A)를 이용하였다.

2) 어종 분류 및 군집분석

채집된 어류는 현장에서 동정, 분류 및 개체수 산정을 한 후 바로 놓아주는 것을 원칙으로 하였다. 동정이 모호한 종의 경우 10% 포르말린 용액에 고정한 후 실험실로 운반하여 김과 강(1993), 김(1997), 김과 박(2002)에 의거하여 동정하였고 과(family)의 분류 체계는 Nelson (1994)에 따라 분류하였다. 비정상어종의 외형적 감별은 U.S. EPA (1993)에 의거하여 기형(Deformity), 지느러미 짓무름(Erosion), 조직손상(Lesion) 및 종양(Tumors) 등으로 구분하여 분석하였다. 또한, 어류 군집분석을 위하여 군집 우점도 지수(Simpson, 1949), 종 풍부도 지수(Margalef, 1958), 종 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949) 및 종 균등도 지수(Pielou, 1975)를 산정하였으며, PRIMER 5를 활용하여 지점별 유사도 분석(Similarity analysis)을 실시하였다.

3) 생태지표종 분석법

생태지표종 구분방식은 U.S. EPA (1993) 및 Barbour *et al.* (1999)의 방식에 의거하여 분석하였고, 본 분석을 위하여 국내외 문헌 조사 및 현지 어류조사에서 얻은 시료 분석을 동시에 실시하였다. 생태지표특성은 크게 민감종(Sensitive species, S), 중간종(Intermediate species, I) 및 내성종(Tolerant species, T)으로 분류하였고 각 생태지표에 대한 세부특성은 다음과 같다. 민감종은 주로 오염도에 따라 쉽게 사라지는 어종으로 환경의 질적 변화에 민감하게 반응하는 어종들이다. 내성종은 수질오염에도 불구하고, 종수 및 분포범위가 증가하는 어종이고, 중간종은 민감종과 내성종의 두 범주 사이에 포함되지 않는 종으로 구분하였다.

4) 섭식특성 분석법

수체 내 에너지 흐름을 반영하는 영양단계는 잡식종(Omnivore species, O), 충식종 (Insectivore species, I), 육식종(Carnivore species, C), 초식종(Herbivore species, H)으로 대별하여 분석하였다. Ohio EPA (1989)에 따르면 잡식종은 동·식물질의 상당비율을 지속적으로 먹는 종, 충식종은 주로 수서 무척추 곤충을 먹는 종, 육식종은 주로 어류 및 다른 무척추동물을 먹는 종으로 정의하고 있으며 식성의 분류는 다양한 먹이원이 동시에 존재할 때 1차적으로 이용하는 자원(primary source of food)에 근거하여 분류하였다. 분류 시 1차적으로 기존의 도감 및 문헌을 이용하였고, 채집한 종들의 일부에 대해서는 1종당 10개체의 해부를 실시하여, 전체 위 내용물에 대한 상대적 우점 정도를 파악하여 분류하였다.

결과 및 고찰

1. 어류의 종 조성 및 분포특성

본 조사기간 동안 영산강 본류와 지류에서 채집된 어류는 총 14과 44종으로서 잉어과(Cyprinidae) 26종, 미꾸리과(Cobitidae) 3종, 꺽지과(Centropomidae), 검정우럭과(Centrarchidae), 망둑어과(Gobiidae)는 각각 2종, 그 외 메기과(Siluridae)를 비롯한 9개 과가 각각 1종씩 채집되어 잉어과 어류가 50%를 상회하였다(Table 1).

최대 우점종은 피라미(*Zacco platypus*)로서 전체종의 23%의 상대풍부도를 보였고, 10%를 상회하는 어종은 큰납지리(*Acheilognathus macropeterus*), 갈겨니(*Zacco temminckii*), 붕어(*Carassius auratus*) 등의 순으로 나타났다. 피라미는 수질오염에 대한 내성이 강하고 여울과 소의 구분 없이 대부분의 서식지에 잘 적응하여 영산호의 일부 지점을 제외하고 수계 전역에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 붕어의 항존도(Constancy) 값은 77로서 일부 지점을 제외하고 영산강 수계 전역에 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 이외에도 항존도가 높은 어종은 피라미 73, 잉어(*Cyprinus carpio*) 64, 떡붕어(*Carassius cuvieri*) 50의 순으로 나타났다. 출현빈도가 높게 나타난 종 중 피라미를 제외한 종들은 유속이 완만하고 정체된

Table 1. Fish composition and guilds in Yeongsan River watershed.

Species	Tolerance guild	Trophic guild	Habitat guild	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	H1	H2	H3	H4	K1	K2	J1	J2	J3	M1	Total	FR	RA
Anguillidae																												
Anguilla japonica	IS	C	–																						1	1	1	0.0
Engraulidae																												
Coilia nasus	IS	C	–												1											1	1	0.0
Cyprinidae																												
Cyprinus carpio	TS	O	–			1	2	1	3	4	2	2			2	1	1	1			2		4	2		28	14	1.0
Carassius auratus	TS	O	–		4	1	7	5	6	25	12	21	119			1		35	8	3	9	3	12	4		275	17	9.8
Carassius cuvieri●	TS	O	–				1	1		13	1			2	2				6		1	1	2	1		31	11	1.1
Rhodeus ocellatus	IS	O	–									5														5	1	0.2
Rhodeus uyekii★	IS	O	–								5					9	10		3							27	4	1.0
Rhodeus notatus	IS	O	–														3									3	1	0.1
Acheilognathus lanceolatus	SS	O	–								2					6	159	2							14	183	5	6.5
Acheilognathus yamatsuate★	SS	O	–													1	6	4								11	3	0.4
Acheilognathus rhombeus	IS	O	–									2														2	1	0.1
Acanthothodeus macropeterus	IS	O	–									32	282	4	22		3							1		344	6	12.2
Pseudorasbora parva	TS	O	–						4		5		2		3			7								21	5	0.7
Pungtungia herzi	SS	I	RB						8	9						35	61	4	2	10		12				141	8	5.0
Sarcocheilichthys nigripinnis morii★	IS	I	–							3					2	4						2		2		13	5	0.5
Squalidus gracilis majimae★	IS	I	–					4	7		12						13							5		41	5	1.5
Hemibarbus labeo	TS	I	–					1																3		4	2	0.1
Hemibarbus longirostris	SS	I	–					2								18			6					3	17	46	5	1.6
Pseudogobio esocinus	IS	I	–						3	4						17	21	1	2			11	16		17	92	9	3.3
Abbotina rivularis	IS	O	–								1		17			3	5		4						3	33	6	1.2
Abbotina springeri★	IS	O	–													3	34									37	2	1.3
Microphysogobio yaluensis★	IS	O	RB			2			3							8	50	18				13	21		60	175	8	6.2
Rhynchocypris oxycephalus	SS	I	–	17					4							2	3									26	4	0.9
Aphyocypris chinensis	TS	O	–												1											1	1	0.0
Zacco temminckii	SS	I	–	23												62	79								122	286	4	10.2
Zacco platypus	TS	O	–		50	10	30	22	13			4				36	65	157	80	38	45	28	27	14	16	635	16	22.6
Opsariichthys uncirostris amurensis	IS	C	–					5	1	4				2					20		16			2		50	7	1.8
Hemiculter eigenmanni★	TS	O	–					3		16	6	17	9	5			2		19					5		82	9	2.9
Cobitidae																												
Misgurnus anguillicaudatus	TS	H	–	1												1									1	3	3	0.1
Misgurnus mizolepis	TS	H	–									11														11	1	0.4
Cobitis lutheri	IS	I	RB	11								3				2								1	9	26	5	0.9
Bagridae																												
Pseudobagrus fulvidraco	IS	C	–													11	2								3	16	3	0.6
Siluridae																												
Silurus asotus	TS	C	–																						1	1	1	0.0
Osmeridae																												
Hypomesus nipponensis	SS	H	–														28									28	1	1.0
Mugilidae																												
Mugil cephalus	TS	H	–											1	2											3	2	0.1
Adrianichthyidae																												
Oryzias latipes	TS	O	–									1													2	3	2	0.1
Centropomidae																												
Siniperca scherzeri	SS	C	–																			1	1	2	2	6	4	0.2
Coreoperca herzi★	SS	C	RB																			2				2	1	0.1
Centrarchidae																												
Lepomis macrochirus●	TS	I	–					2	3	12				2								3	5			27	6	1.0
Micropterus salmoides●	TS	C	–									6	2	5	11				5				5	1		35	7	1.2
Odontobutidae																												
Odontobutis platycephala★	SS	C	RB						2							8						1	1			12	4	0.4
Gobiidae																												
Rhinogobius brunneus	IS	I	RB	7					5							12	9				2				5	40	6	1.4
Tridentiger brevispinis	IS	I	RB												1											1	1	0.0
Channidae																												
Channa argus	TS	C	–																				1			1	1	0.0
Total number of species				5	2	4	4	10	13	9	9	11	6	7	10	20	19	9	11	3	5	12	11	14	15		44	
Total number of individual				59	54	14	40	46	62	90	46	104	431	21	47	240	554	229	155	51	73	79	95	46	273	2809		100

SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, O=Omnivore, I=Insectivore, C=Carnivore, H=Herbivore, RB=Riffle-benthic species, ★: Endemic species, ●: Exotic species, RA: Relative abundance (%), FR: Frequency

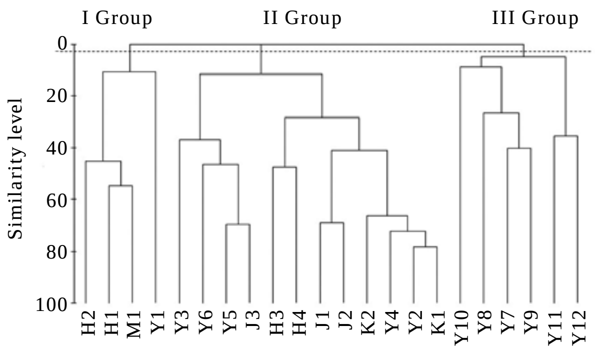

Fig. 2. Cluster analysis of collected fishes at the main stream and tributary sites in the Yeongsan River.

수역을 선호하는 종들로 영산강 하구둑 건설 이후 점점 증가하는 것으로 나타났다(위 등, 1977; 송과 이, 1988; 송과 김, 1995; 안 등, 2007). 이는 영산강 하구둑 건설에 의하여 정체구간이 증가하고, 유속 및 수심 등의 수리·수문학적 특성 변화가 주요인으로 작용한 것으로 사료되었다.

한국고유종(Korean endemic species)은 총 7과 19종이 보고되었으나, 본 연구에서는 3과 9종만이 채집되어 과거 문헌에서 보고한 어종 중 모래주사(*Microphysogobio koreensis*), 왕종개(*Iksookimia longicorpus*), 미유기(*Silurus microdorsalis*) 등 10종은 채집되지 않았으며, 이들 종의 일반적인 특성은 하상이 자갈로 구성되어 있고 여울이 잘 발달된 하천에 주로 서식하는 종들로 나타났다. 본 연구에서는 유속이 완만하고 정체된 수역에 서식하는 종들이 다수 채집되어 하구둑 건설에 의한 수생태계의 구조변화를 시사하였다. 즉, 하구둑 건설에 의하여 정체수역이 증가하고, 유속의 감소로 퇴적물이 다량 침적되어 하상구조의 변이가 일어남으로써 어종 구성에 변화를 가져왔다. 결과적으로, 여울이나 소와 같은 어류의 미소서식지가 파괴되어 어종 조성에 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 또한, 회유성 어종인 뱀장어(*Anguilla japonica*)는 문헌과 본 조사를 통하여 지속적으로 보고되고 있으나 채집개체수가 점점 감소하는 것으로 나타나 하구둑 건설에 의한 담수과 해수의 단절에 의한 것으로 사료되었다. 이러한 특성은 상·하류 간의 안정된 에너지흐름과 먹이사슬의 연결을 교란시키고 하구생태계의 종 조성도에 영향을 미칠 것으로 사료되었다.

2. 군집구조의 유사도분석 및 군집지수분석

본 수계의 지점별 유사도분석(Similarity analysis)에 따르면, 서식지 유형은 크게 3개의 그룹으로 대별되었다(Fig. 2). 첫 번째 그룹(I)은 상류하천에 속하는 지점들로 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 갈겨니 등과 같이 상류하천을 대표하는 종들이 주로 채집되었고, 두 번째 그룹(II)은 중류하천에 속하는 지점들로서 20%의 유사도 수준에서 다시 2개의 소그룹으로 구분되었다. I그룹은 II그룹에 비해 인위적인 교란 및 오염의 영향이 적은 지점들로 나타났고, II그룹은 하수처리장이나 공단폐수의 영향을 직접적으로 받는 지점들로 구분되었다. 특히, II그룹은 피라미나 붕어와 같이 내성이 강하고 잡식종(Omnivore)인 어종들의 상대풍부도가 높게 나타나 집단을 구분하는 요인으로 사료되었다. 세 번째 그룹(III)은 하류하천에 속하는 지점들(Y7∼Y12)로서 유속이 완만하고 정체된 수역으로 치리(*Hemiculter eigenmanni*)나 큰납지리와 같이 정체수역을 선호하는 종 및 배스와 같은 외래종이 집단을 구분하는 주요 인자로 나타났다. 상기 영산강 수계의 군집구조는 광주에서 나주까지의 중류부 구간, 나주에서 영산강 하구까지의 하류부 구간으로 대별되었다.

각 지점별 군집지수분석에 따르면, 다양도 지수(Diversity index)는 Y6에서 2.38로 매우 높게 나타나 개체수에 비하여 비교적 많은 종이 채집된 것을 반영하였고, Y2에서 0.26로 가장 낮게 나타났다. 특정 종이 우세한 정도를 나타내는 우점도 지수는 Y2에서 0.86로 가장 높게 나타났고, S6에서 0.11로 최소치를 보여 다양도 지수와 상반되는 양상을 보였다. 균등도 지수(Evenness index)는 군집 내 종 구성의 균일한 정도를 나타내는 것으로 Y11에서 0.93으로 가장 높게 나타났고, Y2에서 0.38로 가장 낮게 나타났다. 종풍부도 지수(Species richness index)는 H1에서 3.47로 최고치를 보였고, Y2에서 가장 낮게 나타났다(Table 2).

본 연구 대상 수계는 인위적인 교란에 의하여 일부구간이 상당히 오염되었음에도 불구하고 다양도, 균등도 지수가 높고 우점도 지수가 낮게 나타나 전체적으로 다양하고 안정된 군집구조를 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 Y2를 비롯하여 오염원의 영향을 받는 지점(PS)에서는 다양도, 균등도 지수가 낮고, 우점도 지수만이 높게 나타나는 매우 불안정한 군집구조를 보여 인위적인 교란에 의한 어종 조성의 변화를 반증하였다.

3. 어류 생태지표종 분석

생태지표종 특성 분석을 위한 내성도 길드(Tolerance guild)의 분석에 따르면, 수질 오염 및 생태교란에 의해

Table 2. Analyses of fish community and community index, based on the Margalef's species richness index (d), Pielou's evenness index (J′), species diversity index (H′), and dominance Index (λ) in the sampling sites.

Site	Indices					
	S	N	d	J′	H′	λ
Y1	5	59	0.981	0.846	1.361	0.284
Y2	2	54	0.251	0.381	0.264	0.863
Y3	4	14	1.137	0.646	0.895	0.541
Y4	4	40	0.813	0.550	0.763	0.596
Y5	10	46	2.351	0.759	1.748	0.269
Y6	13	62	2.908	0.930	2.384	0.108
Y7	9	90	1.778	0.897	1.970	0.164
Y8	9	46	2.090	0.859	1.888	0.182
Y9	11	104	2.153	0.815	1.954	0.182
Y10	6	431	0.824	0.497	0.891	0.506
Y11	7	21	1.971	0.933	1.816	0.179
Y12	10	47	2.338	0.718	1.654	0.287
H1	20	240	3.467	0.794	2.379	0.131
H2	19	554	2.849	0.764	2.249	0.146
H3	9	229	1.472	0.493	1.083	0.501
H4	11	155	1.983	0.693	1.661	0.306
K1	3	51	0.509	0.642	0.705	0.597
K2	5	73	0.932	0.650	1.046	0.444
J1	12	79	2.517	0.772	1.919	0.200
J2	11	95	2.196	0.801	1.921	0.182
J3	14	46	3.395	0.868	2.291	0.142
M1	15	273	2.496	0.656	1.776	0.264

S=Total number of native species, N=Total number of individual, d=Margalef's species richness index, J′=Pielou's evenness index, H′=Shannon-Weaver diversity index, λ=Simpson's dominance index

쉽게 사라지는 민감종(Sensitive species)의 상대풍부도는 27%인 반면, 내성종(Tolerant species)은 41%로 나타나 내성종 우점현상이 뚜렷하였다. 민감종은 상류 지점인 H1, H2에서 주로 채집되었고, 중 · 하류 지점에서는 거의 채집되지 않았으나 내성종은 민감종과는 달리 중 · 하류 지점에서 주로 채집되어 상 · 하류 간에 확연한 차이를 보였다.

섭식특성 길드(Trophic guild) 분석에 의하면, 잡식성 어종의 상대풍부도는 68%인 반면, 충식성 어종은 26%로 나타나 잡식종의 우세현상을 보여 본 수계의 수환경 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 각 섭식특성별 대표종 분석에 따르면, 잡식종은 피라미(34%), 충식종은 갈겨니(39%)로 나타났다. 잡식성 어종의 경우, 상류 지점 일부(Y1, H1, M1)를 제외한 거의 모든 지점에서 상대풍부도가 높게 나타나 육식종 및 충식종에 비하여 매우 높은 우점도를 보였다.

Karr (1981)와 U.S. EPA (1993)에 따르면, 내성종과 잡식종의 풍부도는 유기물 오염, 서식지 파괴 등 수환경의 이 · 화학적 질적 하강에 따라 어종의 풍부도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 제시하였다. 이러한 점을 감안하면, 본 연구 대상 수계의 경우, 화학적 수질악화 및 물리적 서식지 교란요인은 지표종의 상대풍부도에 직접적으로 영향을 미친 것으로 사료되었다. 또한, 피부손상 및 기형 등 외형적 비정상 상태를 보인 어종이 다수 채집되어 수환경의 질적저하를 시사하였다. 조사기간 중 비정상 상태를 보인 주요 어종은 붕어, 잉어, 피라미, 배스와 같은 내성종으로 피부짓무름, 종양 및 지느러미 변형을 보였다.

하천차수(Stream order)별 어종의 비교 · 분석에 따르면, 3차하천(3rd order stream)의 종수와 개체수는 오염원에 의한 인위적인 영향이 거의 없는 지점(NPS)에서 높게 나타났으나, 4차하천(4th order stream)에서는 오염원의 영향을 받은 지점(PS)에서 높게 나타났다. 즉, 4차하천의 경우, 붕어와 피라미와 같은 내성종의 우점으로 인하여 종수와 개체수에 영향을 미친 것으로 사료되었다. 전반적으로 3차하천에서는 민감종과 충식성 어종의 상대풍부도가 높게 나타났고, 4차하천에서는 내성종과 잡식성 어종의 상대풍부도가 높게 나타났다(Fig. 3).

4. 하천차수별 대조군 하천과의 비교 · 평가

하천차수별 생태지표특성 분석에 따르면, 대조군 지점(RS)은 하천차수가 높아질수록 총 종수 및 총 개체수가 증가하였고, 조사지점(SS)에서는 감소하는 경향을 보였다. 또한, 3차하천에서 대조군 지점과 조사지점 간의 차이가 가장 적게 나타났고, 2차와 5차하천에서 가장 크게 나타났다. 안 등(2001)에 의하면, 점오염원이나 비점오염원과 같이 인위적인 교란요인이 없을 경우, 어종 수와 개체수는 하천차수에 따라 상류로부터 하류로 갈수록 증가하는 것으로 보고하고 있다. 그러나 조사지점의 경우, 2차하천에서 가장 많은 종과 개체가 채집되었고 하천차수가 높아질수록 감소하는 경향을 보여 인위적인 교란요인이 존재함을 반증하였다(Fig. 4).

하천차수가 높아질수록 민감종과 충식성 어종의 상대풍부도는 감소하는 경향을 보였고 내성종과 잡식성 어종의 상대풍부도는 증가하는 것으로 나타났으며, 대조군 지점과 조사지점 간의 변이폭은 점점 증가하는 것으로 나타났다. Barbour *et al.* (1999)의 연구에 따르면, 하천차수가 높아질수록 수생태계의 유기물오염 및 독성물질의 유입증가가 일반적이며, 이로 인하여 어종의 섭식특성을 단

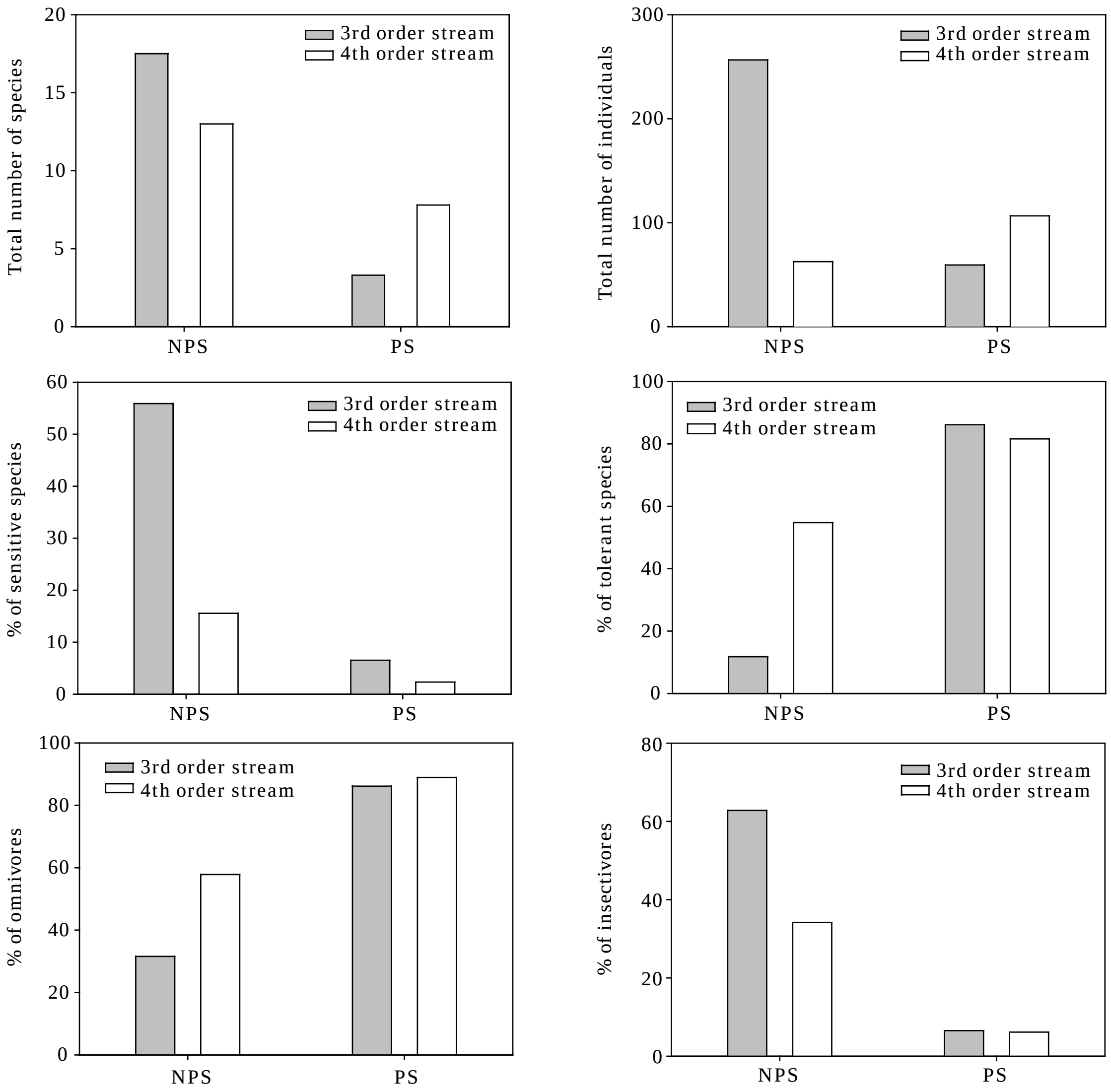

Fig. 3. Comparison of species compositions and tolerance-trophic guilds in the non polluted sites (NPS) and polluted sites (PS).

순화시키고, 잡식종의 상대풍부도가 높아져 수생태계의 건강성을 악화시킨다고 보고하고 있어, 본 연구 결과가 제시하는 바와 같이 조사지점(SS)은 대조군 지점(RS)과 뚜렷한 차이를 보였다.

5. 외래어종에 의한 수계교란 특성

영산강 수계에서 처음으로 출현한 외래어종은 떡붕어로 송과 이(1988)의 조사에서 보고되었고, 블루길(*Lepomis macrochirus*)은 송과 김(1995), 송과 양(1995)에 의하여 확인되었다. 그러나 본 연구에서는 블루길을 비롯한 떡붕어, 배스(*Micropterus salmoides*)와 같은 외래종이 다수 채집되어 외래종의 분포확산속도가 가속화되는 현상을 보였다. 특히, 육식어종으로서 수계 종조성에 가장 큰 영향을 끼치는 배스의 경우, 본 연구에서 처음 확인되었다. 배스의 분포범위나 개체 크기 등에 대한 분석에 따르면, 이미 영산강 수계에 정착한 것으로 사료되었다. 특히, 치어(체장: 5~10 cm)들이 다수 확인되어 자연상태에서 증식이 일어나는 것으로 확인되었고, 체장이 30 cm 이상인 성체의 출현빈도가 높게 나타나 고유종과 소형종의 개체수에 영향을 미칠 것으로 사료되었다. 더욱이 이들은 주로 정체된 수역을 선호하기 때문에 유속이 느리고 하구둑으로 인하여 정체구역이 확대된 영산강에서 더욱 증가할 것으로 사료되었다. 이러한 외래종이 국내 수계의

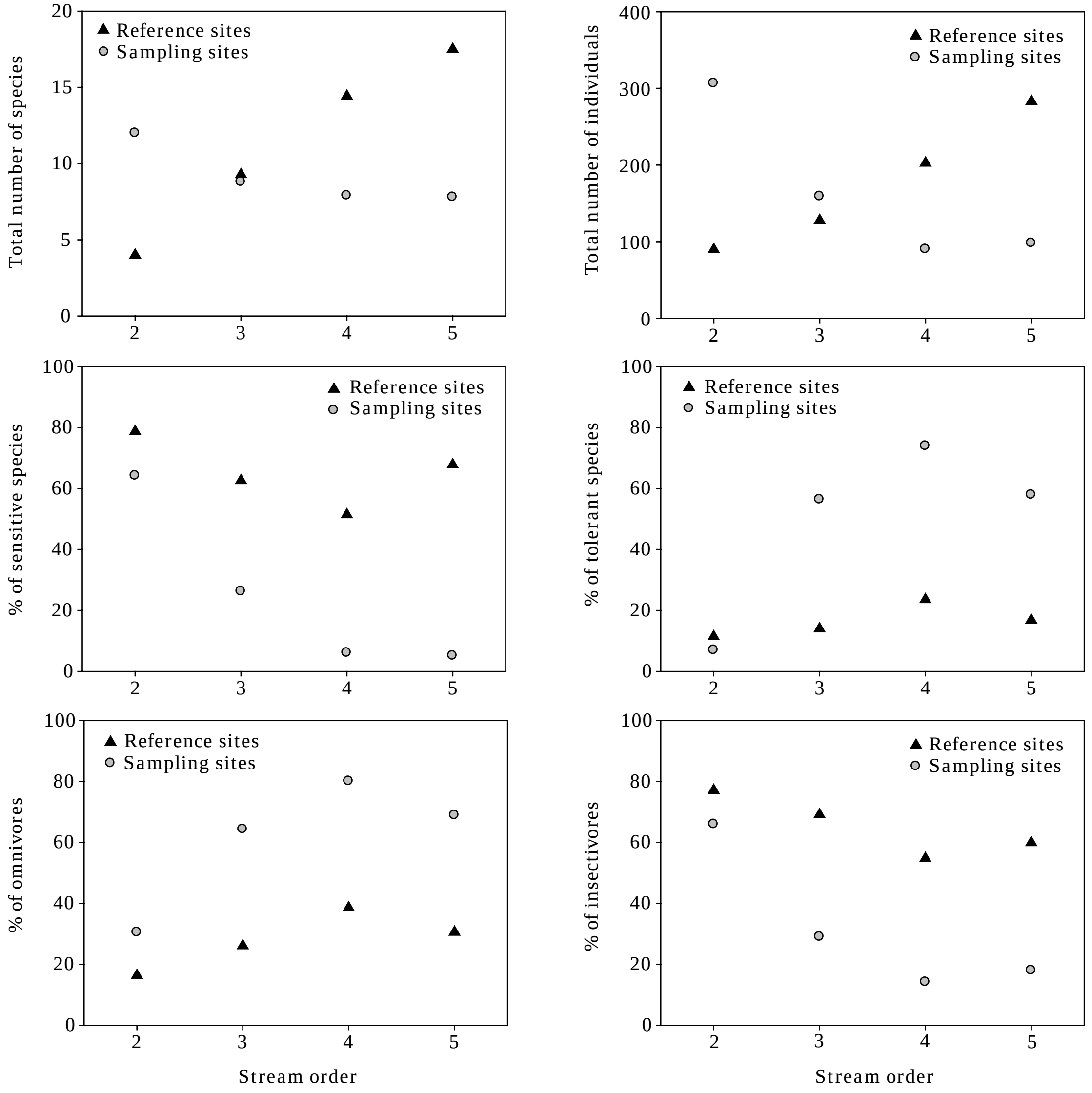

Fig. 4. Changes of fish composition and tolerance-trophic guilds with stream order in the reference sites (RS) and sampling sites (SS).

어류 종조성에 미치는 영향에 관한 연구는 장 등(2001), Jang *et al.* (2002, 2006)에 의하여 진행되고 있으나 과학적이고 체계적인 외래어종에 관한 연구가 조속히 진행되어야 할 것으로 사료되었다.

6. 하구둑 축조 전 · 후의 생태계 영향

영산강 수계에서 수행된 연구(최, 1973; 위 등, 1977; 김 등, 1986; 송과 이, 1987, 1988; 나, 1989; 송과 김, 1995; 송과 양, 1995) 및 본 조사에 따르면, 영산강 수계에서 보고된 어류는 총 23과 77종으로 나타났다.

영산강 하구둑이 건설되기 이전인 1970년대에 채집된 어종은 총 49종으로 최(1973)에 의하여 42종, 위 등(1977)에 의하여 33종이 보고되었다. 하구둑이 완공된 이후인 1980년대에 채집된 어종은 총 70종으로 김 등(1986)에 의하여 41종, 송과 이(1987)에 의하여 42종, 송과 이(1988)에 의하여 64종, 나(1989)에 의하여 58종이 보고되어 영산강 하구둑 건설 이전의 어류상과 차이를 보였다. 이러한 차이는 1981년 영산강 하구둑이 완공됨에 따라 해수 순환이 제한되고 해수의 영향을 직접 받던 수역이 담수화되면서 염도(Salinity)나 전기전도도(Conductivity)의 변화가 기수어종의 서식환경 변화에 영향을

미친 것으로 사료되었다. 또한, 하구둑 축조에 의한 회유성 어종의 출현빈도 감소와 여울성 저서어종의 감소는 하구둑 축조 전·후의 어류상에 차이를 가져온 것으로 사료되었다. 그러나 각 연구간 조사범위, 조사지점 수, 조사도구 등이 다르기 때문에 어류상을 비교함에 있어서 조사방법 차이에 의한 영향을 파악해야할 것으로 사료되었다. 즉, 조사자의 채집소요시간 등의 노력에 의해 어종의 분포특성이 크게 다를 수 있을 것으로 사료되며 종 분포특성의 단순 비교시에는 평가의 오류를 가져올 수 있는 것으로 사료되었다.

상기 연구에서 제시하는 바와 같이 하구둑 건설은 정체수역을 증가시키고, 해수에서 담수화됨에 따라 정체수역을 선호하는 어종인 붕어, 잉어, 치리 등의 출현빈도가 높게 나타나게 되었으며, 기수역에 서식하는 어종의 출현빈도가 상대적으로 감소하게 되었다. 또한 외래어종이면서 육식종인 배스의 급격한 번성으로 어종구성 및 영양단계구조에 변화를 가져왔고 궁극적으로 수생태계의 건강성을 악화시키는 요인으로 작용하게 되었다. 이러한 변화를 예측·관리하기 위하여 장기적이고 지속적인 어류 모니터링이 필수적으로 요구되며, 외래어종에 의한 교란 억제와 물리적 서식지의 복원이 함께 진행되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 2003~2006년까지 영산강 수계 22개 지점을 대상으로 어종들의 생태특성 및 지리적 분포양상을 분석하고 하구둑 축조 전·후 어류상의 변화를 비교·평가하였다. 본 연구에서 채집된 어류는 총 14과 44종으로 나타났고, 주요 우점종은 피라미, 큰납지리, 갈겨니, 붕어 등으로 나타났다. 생태지표특성 분석에 따르면, 내성종 및 잡식종의 상대풍부도는 각각 41%, 68%로 높게 나타나 화학적 수질악화 및 물리적 서식지 교란요인이 존재하는 것으로 사료되었다. 또한, 오염원의 영향을 받지 않은 지점(NPS)과 영향을 받은 지점(PS)의 비교·분석에 따르면, 종과 개체수가 최대 70%까지 차이를 보여 생태계 교란이 뚜렷하게 발생하였음을 시사하였다. 하천차수에 따른 어종 및 생태지표특성 분석에 따르면, 대조군지점(RS)은 하천차수가 높아질수록 총 종수 및 총 개체수가 증가하였고, 조사지점(SS)에서는 감소하는 경향을 보였다. 또한, 하천차수가 높아질수록 민감종과 충식성 어종의 상대풍부도는 감소하는 경향을 보였고 내성종과 잡식성 어종의 상대풍부도는 증가하는 것으로 나타났다. 외래어종이면서 육식종인 배스는 어종구성 및 영양단계구조에 변화를 가져와 궁극적으로 수생태계의 건강성을 악화시키는 요인으로 작용하게 되었다. 영산강 하구둑 건설은 정체수역을 증가시키고, 해수에서 담수화됨에 따라 정체수역을 선호하는 어종인 붕어, 잉어, 치리 등의 출현빈도가 높게 나타나게 되었으며, 기수역에 서식하는 어종과 회유성 어종의 출현빈도가 상대적으로 감소하게 되었다. 영산강 수계의 어류상은 외래어종의 도입, 물리적 서식환경의 교란과 오염원의 유입 등에 의하여 어종구성 및 영양단계구조가 변하였고, 궁극적으로 수생태 건강성에 영향을 미친 것으로 사료되었다. 이러한 변화를 예측·관리하기 위하여 장기적이고 지속적인 어류 모니터링이 필수적으로 요구되며, 외래어종에 의한 교란 억제와 물리적 서식지의 복원이 함께 진행되어야 할 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편(담수어류).

김익수, 강언종. 1993. 원색 한국 어류도감. 아카데미서적.

김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기, 교학사.

김익수, 최충길, 손영목. 1986. 영산호의 어류군집에 관하여. 자연보존연구보고서 **8**: 56-66.

나창수. 1989. 영산강 수계 댐호의 육수생물학적 비교연구(1) -어류상을 중심으로-. 한국생태학회지 **12**(1): 51-65.

박래환, 조양기, 조철, 선연종, 박경양. 2001. 2000년 여름 영산강 하구의 해수 특성과 순환. 한국해양학회지(바다) **6**(4): 218-224.

송태곤, 김재근. 1995. 영산강본류 중류 수계의 어류상에 대하여. 연안환경연구 **12**: 71-82.

송태곤, 양효식. 1995. 영산강본류 상류 수계의 어류상에 대하여. 연안환경연구 **12**: 59-69.

송태곤, 이완옥. 1987. 영산강 중·상류의 담수어상. 연안생물연구 **4**(1): 81-90.

송태곤, 이완옥. 1988. 영산강수계의 어류상과 영산호내의 어류상의 변화. 연안생물연구 **5**(1): 113-129.

안광국, 김강일, 김자현. 2007. 폐수처리 시설의 영향에 따른 영산강 수계의 생물학적 수질 평가. 한국육수학회지 **40**(1): 82-92.

안광국, 염동혁, 이성규. 2001. 생물보전지수(Index of Biological Integrity)의 신속한 생물평가 기법을 이용한 갑천수계의 평가. 환경생물 **19**(4): 261-269.

위인선, 라철호, 최충길, 김익수. 1977. 영산강 상류의 어류상에 대하여. 임해연구지 **2**, **3**(1): 21-32.

윤석태, 고영구, 오강호, 문병찬, 김해경. 2003. 영산강 하류권역 하천수의 수질평가. 환경영향평가 **12**(4): 259-270.

장민호, 조가익, 주기재. 2001. 낙동강 본류의 어류상. 한국육수학회지 **34**(3): 223-238.

조기안, 안병권, 홍순강, 정동옥. 1999. 영산강하류의 계절 변화에 따른 수질특성과 유기인산염의 분해율에 관한 연구 1 - 부영양화를 중심으로 - 한국환경과학회지 **8**(6): 691-698.

최기철. 1973. 휴전선 이남에서의 담수어의 지리적 분포에 관하여. 한국육수학회지 **6**(3): 29-36.

최기철, 전상린, 김익수. 1984. 한국산담수어분포도. 한국담수생물학연구소. pp.1-104.

한국환경정책평가연구원. 2005. 지속가능한 하구역 관리방안 II.

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

Jang, M-H, J.G. Kim, S.B. Park, K.S. Jeong, G.I. Cho and G.-J. Joo. 2002. The current status of the distribution of introduced fish in large river systems of South Korea. *International Review of Hydrobiology* **87**: 319-328.

Jang, M.-H., G.-J. Joo and M.C. Lucas. 2006. Diet of introduced largemouth bass in Korean rivers and potential interactions with native fishes. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 315-320.

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

Margalef, R. 1958. Temporal succession and spatial heterogenity in natural phytoplankton. In perspectives in marine biology. Univ. of California Press. p. 323-349.

Nelson, J.S. 1994. Fishes of the world (3th ed.). John Wiley & Sons, New York.

Ohio EPA. 1989. Biological criteria for the protection of aquatic life. Vol.III, Standardized biological field sampling and laboratory method for assessing fish and macroinvertebrate communities.

Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley. New York. 165p.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.

Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 688.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions* **38**: 913-920.

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.

(Manuscript received 1 August 2008,
Revision accepted 14 September 2008)