

어류 모델 메트릭과 물리적 서식지 변수를 이용한 팔당호 유입하천 하류부의 하천건강성 평가

최명재 · 박혜경* · 이장호 · 윤석환

(국립환경과학원 한강물환경연구소)

Stream Health Assessments on Tributaries of Lake Paldang Using Index of Biological Integrity for Fish Community and Physical Habitat Parameters. Choi, Myung-Jae, Hae-Kyung Park*, Jang-Ho Lee and Seok-Hwan Yun (Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gyeonggi-do 476-823, Korea)

The fish communities and physical habitat conditions of fifteen tributaries of Lake Paldang in spring and autumn, 2008 were surveyed to evaluate the ecological health of the streams. The total 2,745 individuals were collected belonging to 11 families 31 genera 40 species. Two new species (*Cottus koreanus*, *Gnathopogon strigaus*) that have never been reported as yet in Lake Paldang watershed were found for the first time. The most dominant species in the tributaries was *Acheilognathus yamatsutae* (19.9%) which is Korean endemic species. Ecological health evaluation of fifteen tributaries using index of biological integrity (IBI) model for fish community and qualitative habitat evaluation index (QHEI) was performed. According th the IBI analysis, four streams (Siwoo-Stream, Jojong-Stream, Moonho-Stream and Mugab-Stream) were evaluated as "good" condition (B grade), Woosan-Stream were "poor" condition (D grade) and others were "fair" condition (C grade). Qualitative habitat evaluation index values of the four streams were the grade "II" indicating "good" condition and those of eleven streams were the grade "III", indicating "fair" condition. On the whole, dataset of IBI and QHEI showed that ecological health of Jojong-Stream has been well maintained compared to other tributaries of Lake Paldang.

Key words : fish, index of biological integrity, qualitative habitat evaluation index, lake Paldang, tributaries

서 론

팔당호는 1973년에 북한강과 남한강 그리고 경안천 등 3개의 대형 하천이 만나는 곳에 댐이 건설되면서 조성된 인공호수로 수도권과 인근 지역에 상수원수를 제공하고 전력을 생산하는 기능을 수행한다. 팔당호는 수심이 깊고 수위변화가 큰 다른 국내 대형호수들과는 다르게 수심이 얕고 연간 수위 변화가 적으며, 수변 경사가 완만

하여 다양한 수생식물이 넓게 분포하고 있어 수변 및 수중 생물들(어류)이 서식하기 좋은 여건을 갖추고 있다. 팔당호의 다양한 수생태계의 구조와 기능에 대한 조사는 팔당댐 조성 전부터 시작되어 다양한 연구가 진행되고 있고, 이중 먹이망의 최상위 생물인 어류상에 대한 조사도 다수 이루어져 왔다(전, 1990; 공, 1992; 오 등, 1994; 손 등, 1996; 변 등, 2008). 그러나 과거의 연구들은 생물 군집의 구조 파악에 치중한 분류학적 연구가 대부분으로 팔당호 수계에서 생물을 이용한 건강도나 서식지 건강도

* Corresponding author: Tel: 031) 770-7270, Fax: 031) 773-2268, E-mail: parkhk@me.go.kr

등 생태 건강성 평가에 대한 연구는 미흡한 편이다.

생태계는 무생물적 환경요소(수질, 수문, 물리적 서식지)들과 생물적 구성요소들로 구성된 공간이며, 생태계 내에서 이들 요소들의 상호작용 결과는 생태계의 총체성으로 나타난다. 종합적인 요소들이 공존하는 생태계를 수질이나 수문 또는 단순히 생물상만 가지고 평가를 한다는 것은 한계가 있다. 생물을 이용한 수질과 생태계의 평가는 이미 다른 선진국에서는 법과 제도적인 지원 하에 일반적으로 시행되고 있으며 이를 토대로 생태계의 기능과 건강성 회복을 추구하고 있다(최 등, 2007). 외국에 비해 시기적으로 늦은 감은 있으나 우리나라도 생태의 중요성을 정책적으로 인식하고 적합한 평가를 위해 생물학적 평가방법과 체계를 수립하고 있으며(환경부, 2006), 대전천(안과 김, 2005), 유등천(안 등, 2005), 갑천(배와 안, 2006)과 같은 도심 하천 및 평창강(안 등, 2001), 초강(안과 최, 2006) 등 산간 계류형 하천에 적용하여 평가가 이루어지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 물환경종합평가방법 개발 조사연구에서 제안된 조사·평가 방법에 준하여 팔당호 수계로 유입되는 하천의 하류부를 대상으로 어류를 이용한 생물학적 건강성 및 물리적 서식지 평가를 실시하였다.

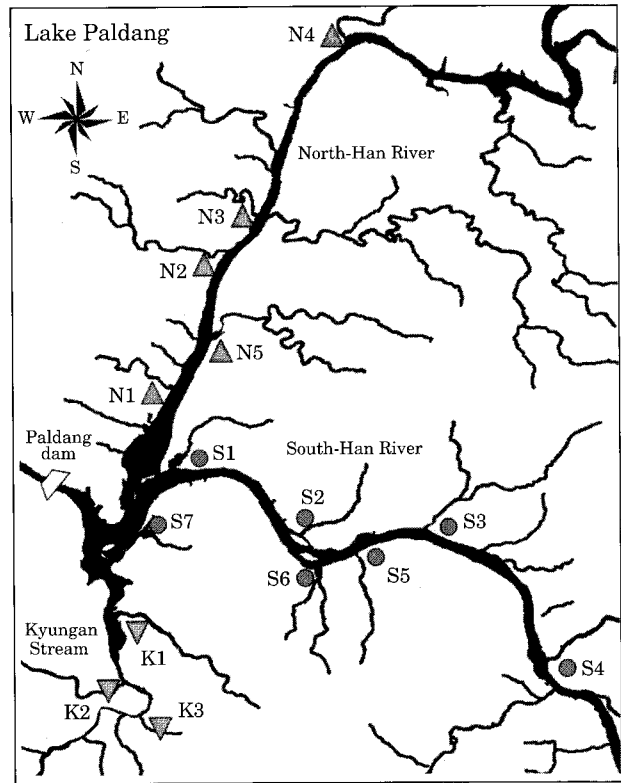


Fig. 1. Map showing the sampling sites.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사지점

본 연구는 팔당호 내 남한강, 북한강 그리고 경안천 수역으로 유입되는 15개 하천을 대상으로 여름 장마에 의한 집중강우와 태풍 등의 영향을 배제하기 위하여 장마철 전, 후로 봄철(08년 5월 8일~6월 16일)과 가을철(08년 9월 1일~9월 9일) 총 2회 조사를 실시하였다. 하천 차수(Stream order)는 1:120,000 축적의 지도(영진문화사, 2008)를 이용하여 Strahler(1957) 방법에 따라 결정하였으며 조사지점은 다음과 같다(Fig. 1).

남한강 수계의 유입하천

- S1: 하정천 (N37° 32'30.7", E127° 20'04.7")
- S2: 북포천 (N37° 30'32.3", E127° 23'48.7")
- S3: 사탄천 (N37° 30'37.5", E127° 27'08.2")
- S4: 흑천 (N37° 27'58.4", E127° 31'38.6")
- S5: 성덕천 (N37° 29'39.7", E127° 25'00.8")
- S6: 항금천 (N37° 29'01.5", E127° 23'51.4")
- S7: 정암천 (N37° 30'16.1", E127° 19'08.4")

북한강 수계의 유입하천

- N1: 시우천 (N37° 34'13.1", E127° 19'28.9")
- N2: 목현천 (N37° 37'56.2", E127° 21'07.8")
- N3: 월산천 (N37° 38'51.4", E127° 22'01.5")
- N4: 조종천 (N37° 44'36.6", E127° 25'48.1")
- N5: 문호천 (N37° 35'59.0", E127° 21'10.4")

경안천 수계의 유입하천

- K1: 우산천 (N37° 28'22.0", E127° 18'25.7")
- K2: 번천천 (N37° 26'58.1", E127° 15'40.6")
- K3: 무갑천 (N37° 25'37.4", E127° 18'37.7")

2. 조사방법

조사지점의 일반 수질상태를 파악하기 위하여 수온, pH, 용존산소(DO), 전기전도도, 탁도 등의 현장 측정항목을 현장측정기(YSI-6600, YSI Inc.)를 이용하여 현장에서 바로 측정하였으며, 각 조사지점의 유속, 수심, 하폭, 유량 등 수리 수문, 하상의 상태 및 주변환경을 조사하였다.

어류 현장조사 방법은 환경부(2006, 2007)의 물환경종합평가 개발 조사연구 및 수생태계 건강성 조사계획 수립 및 지침의 어류조사 방법(Wading method)에 기초하

여 어류 채집의 정량화(Catch Per Unit of Effort, CPUE)를 위하여 각 유입하천이 팔당호의 각 수역과 만나는 하류 말단 부분에서 하천에 놓여 있는 교량을 정점으로 상·하류 100 m 구간으로 한정하였으며 조사시간은 1시간 정도로 하였고 가능한 여울(Riffle), 소(Pool), 흐르는 곳(Run)을 포함하여 조사를 실시하였다. 채집도구로는 족대(망목 0.5×0.5 cm)와 투망(망목 1×1 cm)을 이용하였다.

각 지점에서 채집된 어류는 현장에서 분류 및 동정하였으며 생태 트로픽 길드 및 특성, 그리고 외형손상 유무를 파악 후 바로 놓아 주었다. 각 현장에서 동정이 불확실한 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 옮겨왔다. 채집된 어류의 동정은 김과 박(2002), 이와 노(2006)에 의거해 동정하였다.

3. 하천 건강성 평가 분석 (IBI)

조사된 어류군집자료를 바탕으로 한 다변수 건강성 평가모델의 지수산정은 US EPA(1993)에 의해 재정립된 12개 메트릭 모델을 국내 하천의 지역 및 생태 특성에 맞게 수정·보완한 환경부(2007)의 8개 평가 메트릭 모델(IBI)을 이용하였다. 생태건강도 평가 모델값은 총 토착종수(Total number of native species), 여울성 저서종종수(Number of riffle-benthic species), 민감종수(Number of sensitive species), 내성종의 개체수 비율(Proportion of individuals as tolerant species), 잡식종의 개체수 비율(Proportion of individuals as omnivore species), 충식종의 개체수 비율(Proportion of individuals as insectivore species), 채집된 총 개체수(Total number of individual), 비정상종의 개체수 비율(Proportion of individuals with anomalies)의 8개의 메트릭에 대해 각각 “5”, “3”, “1” 부여하였으며 하천 차수에 따라 차등을 두었다(US EPA, 1993; Sander *et al.*, 1999). 각 메트릭의 최종값을 산정하여 최적상태(Excellent, 36~40), 양호상태(Good, 26~35), 보통상태(Fair, 16~25), 악화상태(Poor, ≤15)의 4등급으로 구분하여 평가하였다.

4. 물리학적 서식지 평가

물리적 서식지 평가를 위한 메트릭 모델은 US EPA(1993)를 기초로 하여 안과 김(2005)에 의해 국내 하천 특성에 맞게 보완된 11개의 다변수 메트릭 모델을 이용하였고, 하상구조/서식처 피복도(M₁: Substrate/Instream cover), 하상매몰도(M₂: Embeddedness), 흐름 유형(M₃: Flow velocity/depth combination), 하상유실 및 토사축적도(M₄: Bottom scouring & sediment deposition), 흐름 상

태(M₅: Channel flow status), 수로 변경도(M₆: Channel alteration), 여울 빈도 및 하천굴곡도(M₇: Frequency of riffles or bends), 제방 안정도(M₈: Bank stability), 제방 식생 보호도(M₉: Bank vegetative protection), 천변 식생대의 폭(M₁₀: Riparian vegetative zone width), 소규모댐의 존재유무(M₁₁: Dam construction impact)의 11개 메트릭으로 구성되어 있으며 각 메트릭 변수값의 등급구분은 US EPA(1993)의 기준에 따라 적용하였으며 하천 차수에 따라 차등을 주었다.

결과 및 고찰

1. 수질 및 하천환경

팔당호로 유입되는 하천 하류부의 서식환경을 조사한 결과(Table 1), 봄 조사는 가뭄의 영향으로 유량이 적고 많은 부분이 건천화되어 흐름이 없는 하천이 많았으며 수심은 0.1~1 m 범위이었고, 0.5 m 이하인 하천이 많았다. 월산천(N3)은 건천화되어 조사가 불가능하였다. 하상은 대부분 자갈이나 모래로 구성되어 있었으며, 진흙 등이 쌓여 썩을 구성하고 있는 곳도 다수 있었다. 또한 모래 바닥이나 자갈 등에는 대부분 부착조류가 덮여 있었고, 미세한 부유물질로 덮여진 곳도 상당히 있었다. 조사하천의 수질은 수온이 13.0~23.4°C, pH는 6.9~9.7, 용존산소가 7.6~15.7 mg L⁻¹, 전기전도도가 98~365 μS cm⁻¹, 탁도가 0~12.6 NTU의 범위를 보였다. 흑천(S4)의 pH가 9.7로 가장 높았고, 하수처리장 방류수가 유입되는 목현천(N2)의 전기전도도가 365 μS cm⁻¹로 매우 높아 수질이 좋지 않은 것으로 나타났다. 강우기 이후 가을철 조사에서는 장마의 영향으로 유량이 풍부해져 수심은 0.3~1.3 m 범위였고 수심이 1 m 내외를 보인 곳이 많았다. 봄철에 비해 수량이 풍부해져서 유속도 빨라졌으며, pH나 전기전도도, DO 농도가 감소하였으나, 유량 증가에 따라 탁도가 증가하였다. 조사하천의 수질은 수온이 19.6~25.5°C, pH는 7.3~8.6, 용존산소가 8.1~10.4 mg L⁻¹, 전기전도도가 55~290 μS cm⁻¹, 탁도가 0.4~23.3 NTU의 범위를 보였다. 봄철 조사에서 건천화로 조사가 불가능했던 월산천(N3)은 가을철 조사에서는 수량이 증가하여 조사가 가능하였고, 목현천(N2)의 경우 봄철과 마찬가지로 전기전도도가 290 μS cm⁻¹으로 가장 높았다.

2. 종 출현특성 및 트로픽 길드 분석

팔당호로 유입되는 하천 하류부의 어류 군집을 조사한

Table 1. Environmental parameters in sampling sites.

Sampling site	Sampling period	Parameters					
		Depth (m)	Water temperature (°C)	pH	Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	DO (mg L^{-1})	Turbidity (NTU)
S1	Sp	0.5~0.7	21.4	6.9	172	13.6	7.6
	Au	0.3~1.0	19.7	7.5	104	10.4	2.0
S2	Sp	0.3~0.8	21.5	7.3	191	12.0	0.2
	Au	0.3~1.2	20.3	7.3	124	9.3	8.8
S3	Sp	0.3~0.8	19.2	7.5	179	11.7	6.4
	Au	10~1.2	20.6	7.5	102	9.6	8.8
S4	Sp	0.3~1.0	20.5	9.7	172	15.7	8.5
	Au	0.5~1.2	23.0	7.4	117	9.0	4.7
S5	Sp	<0.5	16.1	7.6	149	7.6	2.8
	Au	0.3~1.3	23.1	7.3	93	9.9	2.4
S6	Sp	<1	13.0	7.1	157	7.9	2.5
	Au	0.1~1.2	22.9	8.0	101	8.1	23.3
S7	Sp	0.1~0.2	22.3	7.8	98	9.9	0.0
	Au	0.2~0.9	20.7	7.3	55	8.5	2.0
N1	Sp	0.1~0.6	21.0	7.4	122	7.9	1.0
	Au	0.1~0.5	22.6	7.5	97	9.1	0.8
N2	Sp	0.5~1.0	18.5	8.4	365	11.8	2.2
	Au	0.5~0.9	25.5	8.0	290	9.3	4.8
N3	Sp	-	-	-	-	-	-
	Au	0.1~0.6	24.1	8.2	192	9.6	10.6
N4	Sp	0.3~0.6	19.0	8.6	187	10.4	1.2
	Au	0.3~0.8	25.5	8.6	110	10.4	0.4
N5	Sp	<0.3	20.8	7.8	143	10.7	0.0
	Au	0.1~0.7	20.7	7.7	98	10.2	1.0
K1	Sp	<0.2	23.4	8.0	245	12.8	1.6
	Au	0.2~1.0	21.0	7.3	140	9.8	2.8
K2	Sp	0.2~0.6	20.1	7.6	212	9.5	12.6
	Au	0.3~1.3	19.6	7.6	111	9.5	2.3
K3	Sp	0.1~0.2	17.8	8.2	135	9.4	0.0
	Au	0.3~0.6	20.4	7.5	84	9.4	1.8

Sp=Spring, Au=Autumn

결과, 총 11과 31속 40종에 속하는 2,745개체가 채집되었다(Table 2). 이 결과는 2006년 조사(한강물환경연구소, 2006)와 비슷한 결과를 나타냈다. 분류군별로는 잉어과 어종이 22종 1,954개체로 전체 채집 개체수의 71.2%를 차지하여 가장 많이 서식하는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 우리나라의 서해와 남해로 흐르는 하천의 담수 어류상과 같은 양상을 보이고 있다(전, 1980). 잉어과의 고유어종인 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*)가 가장 우점하였고 각 하천별로 풍부하게 서식하고 있었다. 하천별로는 남한강 수계 유입 하천인 사탄천(S3)이 4과 19종 284개체로 조사 하천 중 가장 많은 종이 채집되었다. 북한강 수계 유입하천인 조종천(N4)에서는 6과 14종 188개체가 채집되었고 조사된 총 종수 중 절반이 넘

는 9종이 고유종으로 조사되어 조사 하천 중 가장 고유종이 풍부한 것으로 나타났다.

한국 고유어종은 조사 하천에서 조사된 총 40종 2,745개체 중 15종 969개체로 전체의 종수의 37.5%를 차지하여 높은 고유어종 점유율을 보였다. 외래어종은 배스(*Micropterus salmoides*) 1종 12개체가 총 5개 하천(S1, S2, S7, N1, N3)에서 채집되었으며 전체 종수의 2.5%를 차지하고 있었고 전체 개체수의 0.4%의 낮은 비율을 보여, 외래도입종에 의한 생태계 교란이 낮은 것으로 나타났다. 천연기념물은 발견되지 않았으며 경안천 수계로 유입되는 하천인 무갑천(K3)에서 지금까지 팔당호 수역에서 한 번도 보고되지 않았던 멸종위기야생동물 II급인 독중개(*Cottus koreanus*) 5개체가 채집되었다. 독중개

Table 2. Fish fauna and the various guilds of trophic level, tolerance in sampling sites.

Species	Tolerance		Trophic guild	Habitat guild	South Han-River							North Han-River							Kyungan Stream			Total
	guild	Trophic guild			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	N1	N2	N3	N4	N5	K1	K2	K3			
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	C				1												1				
<i>Carassius auratus</i>	TS	O		1	4	1										4		11				
* <i>Rhodeus uyekii</i>	IS	O			9	5						1						11				
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O			3	12				7	119	2			1			45				
* <i>Acheilognathus yamatsutae</i>	IS	O		8	67	2	204	34		173	56			3			143					
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	H			3												3					
* <i>Acanthorhodeus gracilis</i>	IS	O					24	11									35					
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O		1	4	1	1	1								1	8					
<i>Hemibarbus labeo</i>	TS	I		1	1	1	2				3				5		120					
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	I		2	7					1	8	3	1		25		47					
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	RB	11	13	53	148	8	1	7	44	42	2	27			357					
<i>Gnathopogon strigaus</i>	IS	I	RB	1	1											1	2					
* <i>Coreoleuciscus splendidus</i>	SS	I	RB		2	2					22				5		26					
* <i>Squalidus gracilis majimae</i>	SS	I									2						7					
* <i>Squalidus japonicus coreanus</i>	TS	O		2	3	3				2				1			9					
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I		5	1	1				3	6						19					
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O		20	4	8			2	9	1	14	11				6					
* <i>Microphysogobio yaluensis</i>	IS	O	RB														69					
* <i>Microphysogobio longidorsalis</i>	SS	O	RB														31					
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	SS	O		7			2	1		10	59	37	10	18	61	40	449					
<i>Zacco platypus</i>	TS	O		25	60	51	7	32	20	13							74					
<i>Zacco koreanus</i>	SS	I		4			1			1							74					
<i>Orthrias nudus</i>	SS	I					1	3							1	33	38					
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	H		1				5			6						12					
<i>Misgurnus mizolepis</i>	TS	H					1	2									3					
* <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>	SS	O	RB		1	16											39					
* <i>Iksookimia koreensis</i>	IS	I	RB	2	1	9	4	1	1	2	1	8	10	12	29	12	80					
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	C	RB												1		2					
* <i>Pseudobagrus koreanus</i>	SS	C	RB				2										4					
<i>Silurus asotus</i>	TS	C	RB								1						1					
* <i>Liobagrus andersoni</i>	SS	I	RB														2					
<i>Cottus koreanus</i>	SS	I	RB														2					
* <i>Koreoperca herzi</i>	SS	C	RB				21			1						5	5					
<i>Siniperca scherzeri</i>	SS	C	RB				5										38					
<i>Micropterus salmoides</i>	SS	C	RB														5					
* <i>Odontobutis platycephala</i>	SS	C	RB	1	7				1	1	1	2					12					
* <i>Odontobutis interrupta</i>	SS	C	RB	4	2	3			3	1	1	1		1	2	9	30					
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	C	RB							2					4		7					
<i>Chaenogobius urotaenia</i>	IS	I	RB	20		22	2	31	7	14	11	15	19	27	4	1	182					
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	C	RB							1	1	1		2			4					
	IS	O	RB	52	10	35		21	6	50	19	4		14	116		327					
No. of individual				145	128	284	232	330	95	79	246	242	119	188	176	222	157	102	2,745			
Family				5	5	4	5	4	5	4	4	4	5	6	6	5	6	6	11			
Species				13	16	19	16	13	13	5	15	12	8	14	15	13	12	10	40			

SS=Sensitive species, IS=Intermediate species, TS=Tolerant species, I=Insectivores, O=Omnivores, C=Carnivores, H=Herbivores, RB=Riffle-benthic species, *: Korea endemic species

는 하천 상류에 사는 냉수성 어종으로 민감종이며, 여름성 저서종으로 충식성 어종이다(김, 2002). 여름철 장마 시기에 하류로 떠내려 온 것으로 보이며 서식 유무는 좀 더 조사가 필요할 것으로 판단된다(Table 2). 비정상 개체는 전체에서 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*) 1 개체로 우산천(K1)에서 발견되었고 피부손상(LE, Lesions)을 보였다.

내성도(Tolerance guild) 분석에 의하면, 수질오염이나 서식지의 질적 저하에 민감하게 반응하는 민감종(Sensitive species, SS)의 종수 비율은 32.5%로 나타났고, 내성종(Tolerant species, TS)은 30.0%, 중간종(Intermediate species, IS)은 37.5%로 조사되었으며 팔당호 전체 결과로 볼 때 약간의 차이는 있지만 민감종과 내성종, 중간종이 균일하게 서식하는 것으로 나타났다. 하지만 조사 하천별로는 뚜렷한 차이를 보였으며 민감종이 20% 이하인 하천은 7개 하천(S1, S2, S3, S5, S7, N2, N3)으로 조사되었고 이중 정암천(S7)과 월산천(N3)은 민감종이 한 종도 채집되지 않았다. 내성종이 30% 이상인 하천은 S1, S2, S4, S5, S6, S7, N2, N3, K1으로 나타났고 중간종이 50% 이상인 하천은 S1, S3, S4, S5, S7, N1, N2, N3, N5로 9개의 하천이 조사되어 팔당호 유입하천 하류부의 대부분 어종은 민감종보다는 중간종과 내성종이 차지하고 있었다. 조종천(N4)과 무감천(K3)의 경우 민감종 비율(53.5%, 45.5%)이 가장 컸으며 내성종(7.1%, 0%)의 비율이 작았고, 이와 반대로 정암천(S7)과 월산천(N3)은 민감종 비율이 0%이고 내성종 비율이 각각 37.5%, 40.0%로 나타났다(Table 2).

섭식특성은 어류가 서식처를 선택하는 데 가장 큰 영향을 주는 요소이므로 서식처의 먹이질이 달라지면 어류 상도 따라 변화하기 때문에 이 요소들은 하천 환경을 유추할 수 있는 하나의 요소이다(환경부, 2006). 조사된 어류의 섭식특성을 종합해 보면 동식물을 구분하지 않고 섭식하는 어종으로 서식지의 물리·화학적 특성의 질적 하강에 따라 풍부도가 증가하는 잡식종(Omnivores, O)의 종수 비율은 37.5%를 나타냈고, 충식종(Insectivores, I)의 비율은 32.5%, 육식종(Carnivores, C)은 22.5%, 초식종(Herbivores, H)의 종수 비율은 7.5%로 나타나 잡식성 어종의 비율과 충식성 어종의 비율이 비슷하게 나타났다. 각각의 하천별 섭식 특성을 분석해 보면 15개 하천 중 잡식성 어종이 충식성 어종의 종수 비율보다 높게 나타난 하천은 8개 하천(S2, S3, S4, S5, S6, S7, K1, N2)이었으며 잡식성 어종의 종수 비율이 충식성 어종의 종수 비율보다 낮은 하천은 4개 하천(S1, N4, K2, K3)이었다. 나머지 3개 하천(N1, N3, N5)은 잡식종과 충식종의 종수

비율이 비슷하게 나타났다. 흑천(S4)과 복포천(S2), 정암천(S7)의 경우 잡식종 비율이 충식성 비율보다 2배 이상 높았으며 특히 목현천(N2)의 경우 잡식종 어종의 비율이 3배 이상 높았다(Table 2).

3. 건강성 평가

팔당호로 유입되는 남한강, 북한강, 경안천 수역의 15개 유입하천에서 조사한 어류 군집 결과를 다변수 건강성 평가 매트릭에 적용한 결과, 하천크기별로 모델값의 차등을 주는 하천 차수는 3차수~5차수 하천으로 조사되었다(Table 3). 하천의 조사지점이 호소와 하천이 만나는 합류지점으로 상류에 비하여 하천 폭이 넓고 수심이 깊어 높은 차수를 나타내었다. 15개 하천에서 조사된 토착종의 종수는 적지 않은 것으로 조사되었지만 하천별로 나누어 매트릭 모델을 적용한 결과, 봄 조사에서는 목현천(N2)과 가을 조사에서는 우산천(K1)에서 토착종의 개체수가 풍부하지 못한 것으로 조사되었으며, 특히, 정암천(S7)에서는 봄, 가을 모두 최하 모델값(1)으로 조사되었다. 여름성 저서종의 경우, 목현천(N2)과 변천천(K2)에서 가을에 최하 모델값(1)을 나타냈고, 대부분 하천에서는 풍부하게 분포하는 것으로 나타났으며 민감종 매트릭의 경우 조종천(N4)과 무감천(K3)에서 중간모델값(3)을 나타냈으며, 대부분의 하천에서는 민감종이 발견되었으나 개체수가 매우 적어 최하 모델값(1)을 나타내었고, 월산천(N3)과 정암천(S7)은 봄, 가을 조사에서 민감종이 발견되지 않았다. 내성종은 봄 조사에서는 조종천(N4)에서 발견되지 않았으며, 가을 조사에서는 무감천에서 발견되지 않아서 최고 모델값(5)을 나타냈으며, 영양단계구조를 나타내는 충식성과 잡식성 비율에서는 충식성 비율의 경우 대부분의 하천에서 모델값(3≤)을 나타내어 충식성 종이 대체적으로 풍부한 것으로 나타났으며, 시우천에 경우 봄철 조사에서 잡식성 비율이 최고 모델값(5)을 나타내었다. 풍부도 및 개체 건강성을 나타내는 지표인 총개체수의 경우 대부분의 하천에서 적은 개체수를 보여 최하 모델값(1)을 나타냈으며 봄, 가을에 차이는 없었다. 봄에 비해 가을에 모델값이 증가한 하천은 흑천(S4), 성덕천(S5), 시우천(N1), 목현천(N2), 월산천(N3)이었으며, 하정천(S1)과 사탄천(S3)은 봄에 비해 가을에 모델값이 증가하였다. 비정상개체수는 우산천(K1)에서만 봄 조사에서 피부손상이 있는 줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*) 1마리가 채집되어서 중간정도의 모델값(3)을 나타내었다. 각 매트릭의 모델값을 종합하여 팔당호 유입하천 하류부의 생물학적 건강도 지수(Index of Biological Integri-

Table 3. Biological water quality assessment, base on the 8 metric IBI model in sampling sites.

Sampling site	Sampling period	Stream order	TNS	RBS	SS	TS	OS	IS	TNI	AI	IBI	Criteria
S1	Sp	3	11 (5)	6 (5)	2 (1)	27.3 (1)	36.4 (3)	54.5 (5)	100 (3)	0.0 (5)	28	Good
	Au		6 (3)	4 (5)	1 (1)	28.6 (1)	42.9 (3)	42.9 (3)	45 (1)	0.0 (5)	22	Fair
S2	Sp	3	7 (3)	4 (5)	2 (1)	28.6 (1)	42.6 (3)	28.6 (3)	45 (1)	0.0 (5)	22	Fair
	Au		12 (5)	3 (3)	1 (1)	46.2 (1)	63.2 (1)	23.1 (3)	83 (1)	0.0 (5)	20	Fair
S3	Sp	5	16 (5)	8 (5)	3 (1)	25.0 (1)	50.0 (1)	43.8 (3)	168 (3)	0.0 (5)	24	Fair
	Au		12 (3)	4 (3)	1 (1)	16.7 (3)	50.0 (1)	33.3 (3)	116 (1)	0.0 (5)	20	Fair
S4	Sp	4	8 (3)	7 (5)	4 (3)	12.5 (3)	25.0 (3)	50.0 (5)	91 (1)	0.0 (5)	28	Good
	Au		12 (5)	4 (3)	3 (1)	33.3 (1)	66.7 (1)	25.0 (3)	141 (3)	0.0 (5)	22	Fair
S5	Sp	4	8 (3)	4 (3)	1 (1)	25.0 (1)	37.5 (3)	50.0 (5)	54 (1)	0.0 (5)	22	Fair
	Au		9 (3)	4 (3)	0 (1)	33.0 (1)	66.7 (1)	33.3 (3)	276 (5)	0.0 (5)	22	Fair
S6	Sp	4	8 (3)	4 (3)	2 (1)	37.5 (1)	37.5 (3)	25.6 (3)	32 (1)	0.0 (5)	20	Fair
	Au		8 (3)	3 (3)	1 (1)	25.0 (1)	38.5 (3)	66.7 (5)	63 (1)	0.0 (5)	22	Fair
S7	Sp	4	2 (1)	2 (3)	0 (1)	33.3 (1)	66.7 (1)	33.3 (3)	51 (1)	0.0 (5)	16	Fair
	Au		4 (1)	3 (3)	0 (1)	40.4 (1)	40.0 (3)	20.0 (3)	28 (1)	0.0 (5)	18	Fair
N1	Sp	3	15 (5)	6 (5)	2 (1)	12.5 (3)	12.5 (5)	25.0 (3)	29 (1)	0.0 (5)	28	Good
	Au		11 (5)	6 (5)	1 (1)	9.1 (3)	45.5 (1)	36.4 (3)	217 (5)	0.0 (5)	28	Good
N2	Sp	4	5 (1)	3 (3)	0 (1)	40.0 (1)	60.0 (1)	20.0 (3)	16 (1)	0.0 (5)	16	Fair
	Au		9 (3)	2 (1)	1 (1)	44.4 (1)	44.4 (3)	22.2 (3)	226 (3)	0.0 (5)	20	Fair
N3	Sp	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Au		7 (3)	3 (3)	0 (1)	37.5 (1)	37.5 (3)	37.5 (3)	119 (3)	0.0 (5)	22	Fair
N4	Sp	5	13 (3)	8 (5)	7 (3)	7.7 (3)	23.1 (3)	53.8 (5)	144 (1)	0.0 (5)	28	Good
	Au		12 (3)	8 (5)	5 (3)	8.3 (3)	25.0 (3)	66.7 (5)	44 (1)	0.0 (5)	28	Good
N5	Sp	5	13 (3)	8 (5)	4 (1)	7.7 (3)	30.8 (3)	53.8 (5)	110 (1)	0.0 (5)	26	Good
	Au		10 (3)	5 (3)	2 (1)	0.0 (5)	30.0 (3)	50.0 (5)	66 (1)	0.0 (5)	26	Good
K1	Sp	5	13 (3)	5 (3)	4 (1)	50.0 (1)	66.7 (1)	33.3 (3)	136 (1)	0.7 (3)	16	Fair
	Au		6 (1)	3 (1)	1 (1)	38.5 (1)	46.2 (1)	38.5 (3)	86 (1)	0.0 (5)	14	Poor
K2	Sp	4	11 (3)	4 (3)	4 (3)	16.7 (3)	33.3 (3)	50.0 (5)	117 (1)	0.0 (5)	26	Good
	Au		6 (3)	3 (3)	1 (1)	25.0 (1)	25.0 (3)	50.0 (5)	40 (1)	0.0 (5)	22	Fair
K3	Sp	4	6 (3)	4 (3)	4 (3)	0.0 (5)	33.3 (3)	50.0 (5)	58 (1)	0.0 (5)	28	Good
	Au		10 (3)	4 (3)	4 (3)	10.0 (3)	30.0 (3)	60.0 (5)	44 (1)	0.0 (5)	26	Good

TNS=Total number of native species, RBS=Number of riffle benthic species, SS=Number of sensitive species, TS=Proportion of individuals as tolerant species, OS=Proportion of individuals as omnivores species, IS=Proportion of individuals as insectivore species, TNI=Total number of individual, AI=Proportion of individuals with anomalies, Sp=Spring, Au=Autumn, ()=Metric value

ty, IBI)를 산정한 결과 최대값은 28점, 최소값은 14점으로 나타났다(Table 3). 건강성 등급별 분포에 따르면, 봄 조사에서는 A등급 “청정”은 없었으며 B등급 “양호”는 7개 하천(S1, S4, N1, N4, N5, K2, K3)이었고, 나머지 7개 하천은 C등급 “보통”으로 조사되었다. 가을 조사에서는 B등급 “양호”는 4개 하천(N1, N4, N5, K3)이었고, 우산천(K1)이 유일하게 D등급 “악화”로 나타났고 나머지 하천은 C등급 “보통”으로 조사되었다. 조사 하천별로 봄과 가을 조사에 따라 IBI 값의 약간의 차이는 있었으나 건강성 등급에 영향을 줄 만큼의 변동 폭은 없었기 때문에 대부분의 하천에서 계절에 따른 건강성 등급의 변화는

나타나지 않았다(Table 3). 봄철에 비해서 가을철 등급이 낮아진 하천은 4개 하천으로 하정천(S1)과 흑천(S4), 우산천(K1), 번천천(K2)이었고 우산천(K1)의 경우에는 가을철에 D등급 “악화상태”로 나타나 관리가 필요한 것으로 판단된다. 북한강 수계인 시우천(N1)과 조종천(N4), 문호천(N5)과 경안천 수계인 무갑천(K3)은 봄, 가을 조사에서 모두 B등급 “양호상태”을 나타냈으며, 수계별로 분류한 결과 조사 시기별 IBI 값의 변화가 없고, “양호”등급의 하천이 많았던 북한강 수계가 가장 양호한 것으로 조사되었다.

Table 4. The lotic ecosystem health assessment, base on the 11 metric QHEI model in sampling sites.

Sampling site	Habitat parameters											QHEI	Criteria
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁		
S1	10	15	10	10	13	13	11	8	14	10	15	129	Good
S2	13	10	10	11	11	5	3	4	12	10	10	99	Fair
S3	15	10	11	11	8	6	5	8	8	8	8	98	Fair
S4	13	16	10	16	13	11	11	8	10	10	10	128	Good
S5	8	5	3	8	11	5	5	10	10	8	13	86	Fair
S6	8	5	3	8	11	5	5	10	10	8	13	86	Fair
S7	11	10	5	6	5	5	6	4	8	6	11	77	Fair
N1	11	11	10	8	6	10	8	10	10	4	6	94	Fair
N2	10	6	8	6	8	8	8	8	11	7	11	91	Fair
N3	8	8	5	3	5	10	3	10	9	4	6	71	Fair
N4	13	13	16	11	13	8	11	13	11	13	11	133	Good
N5	15	13	15	11	11	10	13	13	12	14	13	140	Good
K1	13	13	10	8	8	6	8	10	11	10	11	108	Fair
K2	13	10	15	8	11	8	11	8	13	12	8	117	Fair
K3	11	13	10	8	8	6	8	9	13	10	8	104	Fair

4. 물리적 서식지 평가

팔당호로 유입되는 하천 15개의 하류부에 적용하여 물리적 서식지를 평가한 결과 팔당호 유입하천의 정성적 서식지 평가 지수(Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI)의 평균은 104점으로 III등급(보통) 정도의 수준 이었고 71~140점 범위의 QHEI 값을 나타내었다. 수계 별 결과는 남한강 유입하천 평균 100점, 북한강 유입하천 평균 105.8점, 경안천 유입하천 평균 109.7점으로 수계별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 각 하천별로는 II등급(양호)의 평가를 받은 하천은 4개 하천(S1, S4, N4, N5)으로 나타났으며, III등급(보통)의 평가를 받은 하천은 11개 하천(S2, S3, S5, S6, S7, N1, N2, N3, K1, K2, K3)인 것으로 나타났다. 11개의 메트릭 중 수로변경도(M₆)와 여울빈도 및 하천굴곡도(M₇)가 다른 메트릭 평균에 비해 가장 낮은 평균(7.3)을 나타냈는데, 이는 대부분의 하천에서 자연 제방을 하천정비의 일환으로 콘크리트나 큰 돌을 쌓는 형식의 제방을 쌓아 하천의 식생의 발달을 저해하거나 직강화 작업이 이루어진 결과로 인해 나타난 현상으로 보이며 향후 개선이 필요할 것으로 판단된다(Table 4).

5. 어류의 생물지수와 물리적 서식지 지수의 비교

서식지 평가는 모든 생물학적 평가에 지대한 영향을 미치며 생물 채집을 함에 있어서도 각 지점마다의 서식 환경 여건에 따라 자료의 질에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 서식지의 변형이나 질의 하락은 하천 내의

생물 군집 구조에 주요한 스트레스 요인으로 작용한다(Karr *et al.*, 1986). 서식지의 질의 변화에 따라 먹이질도 변하게 되며 하천에 서식하며 먹이를 섭취하는 어류는 서식지의 질에 따라 직접적인 영향을 받게 된다. 팔당호로 유입되는 하천의 하류부를 대상으로 어류를 이용한 다변수 건강성 평가와 물리적 서식지 건강성 평가를 실시한 결과, 팔당호에서 어류를 이용한 생물학적 건강도의 경우 가을철 우산천(K1)에서 악화 등급을 나타냈으며 그 외 하천에서 생물학적 건강도와 서식지 건강도 모두 악화나 불량 등급은 없었고 보통 이상의 등급을 나타내었다(Fig. 2). 어류를 이용한 생물평가에서 봄, 가을철 모두 “양호” 등급을 나타낸 하천은 북한강 수계의 시우천(N1)과 조종천(N4), 문호천(N5) 지점이었으며 경안천 수계의 무갑천(K3) 지점이었다. 무갑천(K3)은 주변 식당에서 나오는 하수 등에 의하여 서식환경은 좋지 않았으나 총식성 어종(독종개, 참종개, 대륙종개, 줄물개)과 여울성 저서종(독종개, 참종개, 대륙종개, 새코미꾸리, 밀어)이 출현하여 양호 등급으로 평가되었다. 서식지 평가에서는 팔당호 남한강 수계의 지점 하정천(S1)과 흑천(S4), 북한강 수계 조종천(N4)과 문호천(N5)이 양호 등급을 나타냈다. 조사 하천 중 어류를 이용한 건강성 평가와 서식지 평가 모두 양호한 등급을 나타낸 하천은 팔당호 북한강 수계의 조종천(N4)과 문호천(N5) 지점이었다. 조종천(N4)과 문호천(N5)은 5~6차수의 대형하천으로 갈수기에도 하천이 마르지 않고 하천변 식생대가 잘 발달되어 있으며 다른 하천에 비해 어도(魚道) 시설도 잘 되어 있어 양호 등급의 평가를 나타낸 것으로 판단된다. 서식지 건강도와

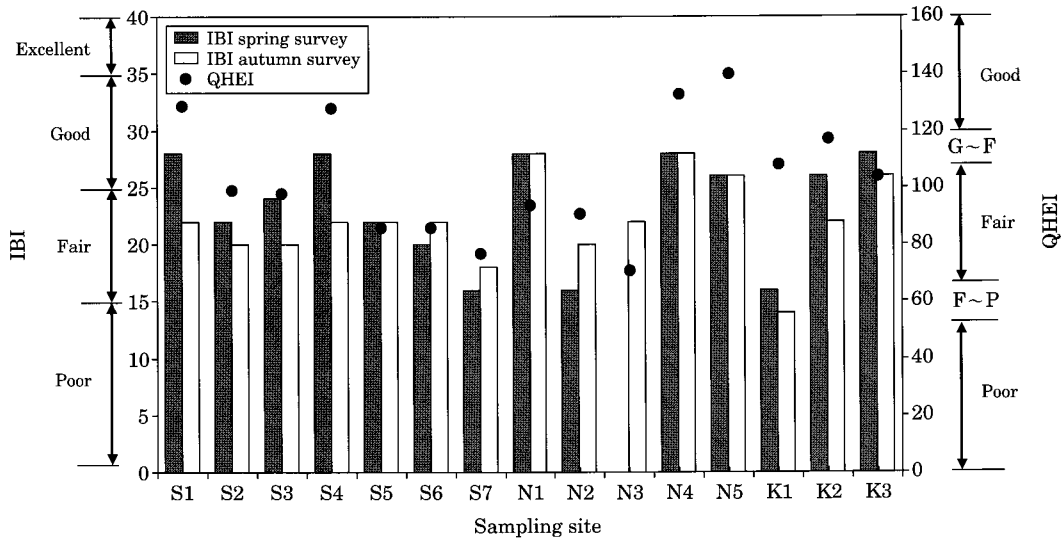


Fig. 2. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) and index of biological integrity (IBI) in tributaries of Lake Paldang (2008).

생물학적 건강도 (IBI)를 비교한 결과 (Fig. 2), 대체적으로 서식지 건강도와 생물학적 건강도가 비슷한 경향을 보였지만, 일부하천에서는 서식지 건강도는 높은 반면 생물학적 건강도가 낮은 결과를 보였고, 특히 시우천 (N1)과 무갑천 (K3)의 경우에는 낮은 서식지 건강도에 비해 생물학적 건강도는 양호한 결과를 나타냈다. 그 이유는 서식지의 건강도 외의 생물학적 건강도에 영향을 줄 수 있는 수질이나 기타 요인이 작용한 것으로 사료된다.

로 조사되었다. 수계별로는 북한강으로 유입하는 하천이 가장 양호한 것으로 조사되었다. 물리적 서식지를 평가한 결과, 수계별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 4개 하천 (S1, S4, N4, N5)이 II등급 (양호)으로 평가되었고 나머지 11개 하천은 III등급 (보통)이었다. 대부분의 하천이 인위적인 하천정비 등으로 인하여 수로변경도 (M₆)와 여울빈도 및 하천굴곡도 (M₇) 항목이 낮은 점수를 나타내었다. 조종천 (N4)과 문호천 (N5)은 생물지수 평가와 물리적 서식지 평가 모두 “양호상태”로 조사되었다.

적 요

2008년 봄, 가을 2회에 걸쳐 팔당호 수계로 유입되는 15개 하천 하류부의 어류의 길드 특성과 생물학적 건강도, 물리적 서식지 건강도를 조사하였다. 어류 분포 조사 결과, 총 11과 31속 40종에 속하는 2,745개체가 채집되었으며 고유어종인 줄납자루가 우점하였고, 무갑천 (K3)에서는 멸종위기야생동물 II급으로 지정된 독중개가 채집되었다. 외래종으로는 배스 1종으로 극소수 개체수만 채집되어 외래종에 인한 교란은 적은 것으로 사료된다. 어류 군집 결과를 다변수 건강성 평가 매트릭에 적용한 결과, 팔당호 유입하천 대부분에서 수질에 민감한 민감종과 충식성 어종이 빈약했고 내성종과 잡식종 비율이 높았다. 어류생물지수 평가 결과, 봄과 가을 조사에서 모두 B등급 “양호”를 나타낸 하천은 4개 하천 (N1, N4, N5, K3)이었고, 우산천 (K1)은 가을철 조사에서 D등급 “악화”

사 사

본 연구는 2008년도 한강수계 환경기초조사사업 「수계별 호소환경 및 생태조사」의 일환으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

공동수. 1992. 팔당호의 육수생태학적 연구. 고려대학교 박사 학위 논문. p. 421.
 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.
 변명섭, 박혜경, 이완옥, 공동수. 2008. 팔당호의 어류상과 군집 동태. 한국물환경학회지 24(2): 206-213.
 배대열, 안광국. 2006. 생물학적 다변수 모델 적용 및 수화학 분석에 의거한 갑천 생태계 평가. 한국육수학회지 30(2):

- 198-208.
- 손영복, 송호복, 변화근, 최재석. 1996. 팔당호의 어류군집 동태. 한국어류학회지 **9**(1): 141-152.
- 안광국, 김자현. 2005. 물리적 서식지평가기법 및 어류 다변수 평가모델에 의거한 대전천의 생태학적 건강도 진단. 한국육수학회지 **38**(3): 361-371.
- 안광국, 이재연, 장하나. 2005. 유동천에서의 생태학적 건강도 평가 및 수질양상. 한국육수학회지 **38**(3): 341-351.
- 안광국, 정승현, 최진석. 2001. 생물보전지수 및 서식지 평가 지수를 이용한 평창강의 수환경 조사. 한국육수학회지 **34**(3): 153-165.
- 안광국, 최지웅. 2006. 초강의 통합적 생태건강성 평가. 한국육수학회지 **39**(3): 320-330.
- 영진문화사. 2008. 정밀도로지도. 영진문화사.
- 오봉세, 류재근, 남명모, 김숙양. 1994. 팔당호 어업대상 어류의 종조성과 계절변동. 한국육수학회지 **32**(4): 308-318.
- 이완옥, 노세윤. 2006. 특징으로 보는 한반도 민물고기. 지성사.
- 전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여, 박사학위청구 논문. 중앙대학교.
- 전상린. 1990. 한강생태계 조사연구보고서. 서울특별시. p. 445-453.
- 최지웅, 이의행, 이재훈, 안광국. 2007. 어류를 이용한 낙동강 수계의 생물학적 수질평가. 한국육수학회지 **40**(2): 254-263.
- 한강물환경연구소. 2006. 한강수계 환경기초조사사업-남한강 수계의 생태계 구조 조사(최종보고서). 한강수계관리위원회. p. 201-209.
- 환경부. 2006. 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III) 최종보고서: 수생태 건강성 조사 및 평가체계 연구. p. 235-516.
- 환경부. 2007. 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준, 조사계획 수립 연구 최종보고서(III): 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침.
- Karr, J.R., K.D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yantand and I.J. Schlosser. 1986. Assessing biological integrity in running water: A method and its rationale, p. 28 Illinois National History Survey: Spe. Pub 5. IL, USA.
- Sanders, R.E., R.J. Milner, C.O. Yoder and E.T. Rankin. 1999. The use of external deformities, erosion, lesions, and tumors in fish assemblages for characterizing aquatic resources (Simon, T.P. ed.). CRC Press. p. 225-245.
- 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. Cincinnati, Ohio 45268.

(Manuscript received 3 April 2009,
Revision accepted 26 August 2009)