

계방천에 서식하는 열목어의 개체군 특성 및 물리적 서식환경과의 상관관계

고민섭, 최준길, 이황구*

상지대학교 생명과학과

The relationship between the population characteristics and physical habitat of Manchurian trout (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) in the Geybangcheon stream

Min Seop Ko, Jun Kil Choi and Hwang Goo Lee*

Department of Biological Science, College of Science & Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Republic of Korea

***Corresponding author**

Hwang Goo Lee

Tel. 033-730-0434

E-mail. morningdew@sangji.ac.kr

Received: 4 February 2021

Revised: 19 March 2021

Revision accepted: 23 March 2021

Abstract: The purpose of this study was to provide baseline ecological data for the conservation of the Manchurian trout habitat through the investigation of the growth status of *Brachymystax lenok tsinlingensis*, and Pearson's correlation analysis (PCA) between the *B. lenok tsinlingensis* population and the use of the land around Geybangcheon stream. Sampling was conducted twice in July, September, and October 2018. During the July and September surveys, 882 individuals belonging to 13 species from six families were collected. The dominant species was *Rhynchocypris kumgangensis* and the subdominant species was *Zacco koreanus*. The total number of *B. lenok tsinlingensis* collected was 99. The results of the length-weight relationship in the *B. lenok tsinlingensis* population were analyzed with a regression coefficient b value of 3.1272 and a condition factor (k) value of 0.0006. Therefore, the growth condition of *B. lenok tsinlingensis* was regarded as fairly good. The QHEI (Qualitative habitat evaluation index) value in the *B. lenok tsinlingensis* habitat was $119.5 (\pm 0.5)$ – $153.5 (\pm 0.5)$, indicating optimal-suboptimal conditions. As a result of the HIS (Habitat suitability index) analysis, it was confirmed that the optimal habitat for *B. lenok tsinlingensis* was 0.45–0.55 m and > 1 m in water depth, 0.55 – 0.65 m s^{-1} in water velocity, and boulder in the substrate. The ratio of the land use in this study site was analyzed as 66.26–96.31% for forest and grassland areas, 0.00–23.79% for agricultural areas, 0.00–4.19% for urbanized areas, and 3.69–8.87% for others. Correlation analysis of the number of *B. lenok tsinlingensis* and various factors revealed statistically significant correlations between QHEI and forest and grassland areas, agricultural areas, and urbanized areas.

Keywords: *Brachymystax lenok tsinlingensis*, QHEI, HSI, land use, Geybang stream

서론

열목어 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*)는 주로 강원도,

충청북도, 경상북도 울진 이북의 동해로 흐르는 하천에 서식하는 것으로 알려져 있으며, 국내 열목어 개체군은 최남단 개체군으로서 학술적으로 매우 중요한 의미를 지니고

있다(Li 1984; Kim 1997; Kim and Park 2007; Yoon and Jang 2009; Yoon *et al.* 2013, Jang *et al.* 2017). 또한, 본 종은 냉수성 어종으로 2m 이상의 깊은 소(pool)가 있는 해발 900~2,300m의 산간계류에서 서식하며, 여름에는 상류, 겨울에는 하류의 깊은 소에서 월동한다(Choi *et al.* 2002; Zhao and Zhang 2008). 수온이 10°C 이하로 유지되는 2월과 3월에 모래와 자갈의 하부층을 따라 얇은 물에서 산란하고, 약 1개월이 지나 4~5월에 부화한다(Li 1966; Song 1987; Yue and Chen 1998; Choi *et al.* 2002; Yang *et al.* 2006). 부화한 열목어는 그해 월동 전까지 60~70mm가 되고, 다음해 월동 전까지는 200mm 내외, 3~4년이 지나면 300mm를 넘게 되며, 450mm가 가장 큰 개체로 알려져 있다(Choi *et al.* 2002; Yang *et al.* 2006). 최근 열목어는 성어의 남획, 서식처의 고립화, 서식 환경의 급변화 등이 선행된 결과 희소종으로 전락된 상태이며, 환경오염과 하천 정비, 고령지 농업으로 인한 탁수 발생 등의 영향으로 개체수와 서식지가 급격히 감소하였다(Choi 1988; Byeon 2011). 이러한 토지이용 및 환경의 변화는 실제로 어류의 서식처에 직접적인 영향을 주어 어류 군집에 큰 변동을 가져왔으며, 이로 인한 어류의 개체수 및 서식지 감소로 인해 멸종위기에 처한 종이 발생하고 있다(Park and Lee 2008; Lee *et al.* 2009; Ko *et al.* 2011). 이에 따라 Choi(1988)는 열목어 보호를 위해 모래 및 자갈 채취, 대규모 축사, 광산 개발, 벌채, 도로 개설 등의 환경 변화를 막아야 하며, 열목어 서식지가 고립된 원인을 규명하여 열목어 서식지가 연결될 수 있도록 장기적인 관리가 필요함을 제시하였다.

본 연구대상지는 홍천군 명개리 열목어 서식지 일원의 계방천으로 1994년 강원도기념물 제67호로 지정되어 열목어 개체군과 서식지를 함께 보호하고 있다. 그러나 홍천군 명개리 열목어 서식지는 문화재 지정구역 규제에 의한 지역민 재산권 침해 등으로 보호구역 재설정에 대한 주민 민원이 증가하고 있는 실정이다. 이러한 보호구역의 검토는 어류의 분포 현황과 성장, 개체군 크기 등의 연구뿐만 아니라 보호구역 주변의 토지이용도 함께 연계하여 검토할 필요가 있다. 하천 인근의 토지이용은 하천에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 요소로서 하천 생물의 서식지 변화를 유발하여 토착종의 적응력을 감소시키는 것으로 알려져 있으며(Suarez and Case 2002; Rand and Louda 2006), 하천의 구조 및 형태를 변형시켜 오염물질 유입 증가, 유지 유량의 감소 등의 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Wang *et al.* 1997; Karr and Chu

2000; Wang 2001). 홍천군 열목어 서식지의 경우 교통의 발달에 따른 휴양시설과 고령지 농업으로 인한 경작지가 서식처 주변으로 넓게 분포하고 있으며, 이러한 고령지 농업은 강우시 토사유출, 탁수 등의 비점오염원이 별도의 처리시설 없이 하천으로 직접 유입되기 때문에 하천의 수질 및 어류의 개체수와 서식지를 감소시켜 수생태계에 미치는 악영향이 매우 큰 것으로 알려져 있다(Byeon 2011). 또한, 도로 및 휴양시설의 발달은 하천의 직강화, 인공제방, 둔치개발과 같은 물리적 변화를 초래하며, 어류의 서식처를 단순하게 만들어 종 다양성을 감소시키는 요인으로 작용하고 있다(Joo *et al.* 1997; Kim *et al.* 2009). 이러한 인위적인 간섭에 의한 서식처 교란은 어류상의 변화를 유발하는 가장 큰 요인으로, 실제 하천 주변의 개발 및 토지이용이 하천 건강성과 어류 종 군집에 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Rutherford *et al.* 1987; Kim *et al.* 2012b).

그러나 국내에서 하천 주변의 토지이용과 어류에 관한 연구는 동해로 유입되는 회야강 수계와 토지이용의 연구(Kim *et al.* 2012b), 강릉남대천에서 토지이용과 이입종에 대한 연구(Kim and Lee 2018) 등으로 하천 주변의 토지이용과 어류에 대한 연구는 매우 부족한 실정이며, 열목어에 대한 면밀한 연구 또한 낙동강 상류에 서식하는 열목어의 이동양상에 대한 연구(Yoon and Jang 2009), 봉화군 열목어 개체군의 특성 연구(Byeon 2011), 오대산국립공원에 서식하는 열목어의 미소서식처 비교에 대한 연구(Lee *et al.* 2013), 열목어 서식지의 어류군집을 이용한 생태적 건강성 평가(Ko *et al.* 2019) 등으로 부족한 실정이다. Ko *et al.* (2019)의 연구에 의하면 홍천군 명개리 열목어 서식지는 철소폭포의 높은 단차로 인해 어류의 소상이 제한되어 내린천보다는 계방천에서 어류 군집 및 열목어 분포양상이 양호한 것으로 보고된 바 있다.

따라서 본 연구는 홍천군 명개리 열목어 서식지인 계방천에 서식하는 열목어 개체군의 서식특성과 하천 주변의 토지이용을 파악하였으며, 열목어 개체군과 물리적 서식환경(토지이용)과의 상관성 분석을 통해 향후 열목어 서식지 주변 서식처 관리 및 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기

계방천의 조사시기는 어류의 활동이 왕성한 2018년 7월

부터 10월까지 총 3회의 조사를 실시하였다. 1·2차 조사는 계방천의 어류상 및 열목어 분포 현황 파악을 위한 조사를 실시하였으며, 3차 조사는 1·2차 조사 시 가장 많은 열목어 개체수가 채집된 St. 3을 중심으로 상·하류 1.0 km 구간에 대한 전수조사를 실시하여 열목어 개체수 및 서식처 적합도 지수(HSI, Habitat suitability index) 분석을 위한 기초자료를 확보하였다. 각 조사시기는 다음과 같다.

- 1차조사: 2018년 07월 26일
- 2차조사: 2018년 09월 16일
- 3차조사: 2018년 10월 11일

2. 조사지점

조사지점은 계방천에서 4개 지점, 계방천의 지류에서 2개 지점을 선정하여 총 6개 지점을 선정하였으며, 각 조사지점 및 GPS(WGS)는 다음과 같다(Fig. 1).

- Site. 1: 강원도 홍천군 내면 명개리 청도교
(N 37°50'22.61", E 128°31'24.96")
- Site. 2: 강원도 홍천군 내면 명개리 내청도교
(N 37°51'0.66", E 128°30'44.65")
- Site. 3: 강원도 홍천군 내면 통마람길
(N 37°51'40.14", E 128°31'20.87")
- Site. 4: 강원도 홍천군 내면 명개리 명개1교
(N 37°50'44.15", E 128°29'20.26")
- Site. 5: 강원도 홍천군 내면 광원리
(N 37° 50'15.22", E 128°28'38.24")
- Site. 6: 강원도 홍천군 내면 광원리
(N 37°50'35.38", E 128°28'22.11")

3. 연구내용 및 방법

1) 채집 및 분류

어류의 채집은 정량조사를 위해 투망(7 mm×7 mm, 12 회), 족대(4 mm×4 mm, 40분)를 이용하였으며, 채집된 어류는 현장에서 동정 후 방류하였다. 어류의 동정은 국내에 발표된 검색표(Kim 1997; Kim and Park 2002; Kim *et al.* 2005)를 인용하였으며, Nelson (2006)의 분류체계를 따라 정리하였다.

2) 열목어 개체군 분석

계방천에서 채집된 열목어를 대상으로 전장-체중 상

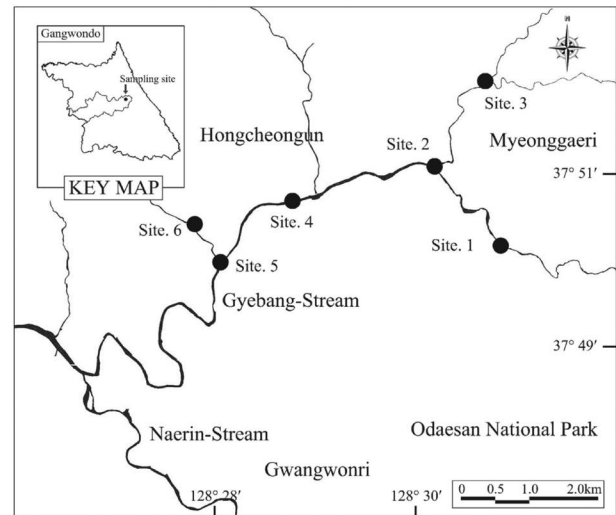


Fig. 1. Map showing the study sites in the Gyebsangcheon stream, South Korea.

관관계를 이용한 개체군의 성장도와 비만도 지수를 분석하였다. 어류의 성장도 및 비만도 지수는 어류의 건강 상태 및 생식능력의 정도를 파악할 수 있으며, 서식처 등급, 수질, 먹이 이용능력 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로 사용된다(Anderson and Gutreuter 1983; Busacker *et al.* 1990; Ney 1993). 전장과 체중의 관계식(Length-weight relationship)은 Anderson and Gutreuter (1983), 비만도 지수(Condition factor, K)는 Anderson and Neumann (1996)를 따랐다. 전장빈도 분포의 분석은 조사시기별 채집된 열목어의 개체를 이용하였으며, 개체의 전장을 Caliper (1/20 mm)로 측정 한 후, Peterson method (Bagenal 1978)에 의한 전장빈도분포(frequency distribution of total length)를 이용하여 크기별 연령을 추정하였다.

Length-weight relationship (Anderson and Gutreuter 1983):

$$W = aTL^b$$

(W: weight, TL: Total Length, a and b: parameter)

Condition factor (K value, Anderson and Neumann 1996):

$$K = W/L^3 \times 10^5$$

(W = weight, TL = Total length)

3) 물리적 서식처 평가지수(QHEI, Qualitative habitat evaluation index)

1차·2차 조사 시 계방천의 다양한 물리적 서식지 환경과 어류 군집과의 관련성을 파악하기 위하여 Plafkin *et al.*

(1989)이 제시한 생물 서식지 평가 기법의 10개 항목(M1, Substrate/instream cover; M2, Embeddedness; M3, Flow velocity/depth combination; M4, Bottom scouring & sediment deposition; M5, Channel flow status; M6, Channel alteration; M7, Frequency of riffles or bends; M8, Bank stability; M9, Bank vegetative protection; M10, Riparian vegetative zone width)을 선택하여 활용하였다. 각 변수는 최적(Optimal: 149~200), 양호(Suboptimal: 91~148), 보통(Marginal: 33~90), 악화(Poor: <32)의 4가지 상태로 구분하여 서식지 건강도를 평가하였다.

4) 서식처 적합도 지수(HSI, Habitat suitability index)

서식처 적합도 지수는 IFASG (Instream Flow and Aquatic System Group 1986)와 WDFW (Washington Department of Fish and Wildlife 2004)가 있으며, 이 중 IFASG 방법은 WDFW보다 다소 간편한 방법으로서 대상종의 물리적 인자 조건에 대한 범위를 설정 및 개체수 분포를 정리하고 각 인자별 대상 어종의 전체 개체수 상위 50%, 75%, 90% 그리고 95%의 범위에 대하여 각각 값을 1.0, 0.5, 0.1 그리고 0.05를 부여하는 방법이다(Kang 2012). 서식처 적합도 지수는 조사 대상 어종이 선호하는 서식처 조건 및 특성을 파악할 수 있으며, 특정 조사지점이나 구간에서 출현한 어종의 개체수를 기준으로 작성된다(Kang 2012; Hur et al. 2014; Kim et al. 2019).

본 연구에서는 열목어를 대상 어종으로 선정하여 열목어가 출현한 지점의 유속, 수심, 하상을 측정하고 기록하여 열목어의 선호 서식처 조건 및 특성을 파악하였다. 수심 및 유속은 막대자를 이용하였으며, 유속은 Craig (1987)의 방법을 따랐다. 하상구조물의 계측 및 분류는 Cummins (1962)의 방법을 적용하였으며, Boulder, Cobble, Pebble, Gravel, Sand의 5단계로 구분하였다.

$$\text{Velocity (m s}^{-1}\text{)} = \sqrt{2g(D_2 - D_1)}$$

g: 중력

D₁: 하천의 흐름과 막대 자가 수직일 때 최고 수위

D₂: 하천의 흐름과 막대 자가 평행할 때 최고 수위

5) 토지이용분석

조사지점별 토지이용 비율을 분석하기 위해 환경부 환경 공간 정보서비스(Environmental Geographic Information System, EGIS)의 2013년 중분류 토지피복지도(창

촌 378024, 비로 378033)를 이용하였다. 토지피복도의 각 조사지점을 중심으로 0.25 km²의 면적을 설정하여 도심지역(주거지, 공업지, 상업지, 문화체육휴양지, 교통지, 공공시설지), 농업지역(논, 밭, 시설재배지, 과수원, 기타재배지), 산림지역(활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지), 기타지역(내륙습지, 자연나지, 인공나지, 내륙수)으로 구분하였으며, 지점별 각 항목의 상대적인 백분율을 산정하였다.

6) 통계분석

각 지점별 열목어 채집 개체수와 다양한 요인들 간의 상관성을 파악하기 위해 SPSS (v. 18.0)를 이용하여 상관관계 분석(Pearson Correlation)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 어류상

계방천에서 출현한 어류는 총 6과 13종 882개체가 확인되었다(Table 1). 법정보호종으로는 멸종위기야생생물 II 급인 열목어(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)와 가는돌고기(*Pseudopungtungia tenuicorpa*)가 출현하였으며, 천연기념물 제259호인 어름치(*Hemibarbus mylodon*) 1종이 확인되었다. 과별 중구성비 분석 결과 잉어과(Cyprinidae)에서 8종(61.55%)으로 가장 다양하게 출현하였으며, 미꾸리과(Cobitidae), 메기과(Siluridae), 통가리과(Amblycipitidae), 연어과(Salmonidae), 꺾지과(Centropomidae)에서 각각 1종(7.69%)의 순으로 출현하였다. 과별 개체수 구성비 분석 결과 잉어과에서 758개체(85.95%), 꺾지과 57개체(6.46%), 연어과 34개체(3.85%), 메기과 14개체(1.59%), 통가리과 12개체(1.36%), 미꾸리과 7개체(0.79%)의 순으로 확인되었다. 출현종별 상대풍부도 분석 결과 금강모치(*Rhynchocypris kumgangensis*)가 416개체(47.17%)로 가장 우세하게 출현하였고, 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 282개체(31.97%), 꺾지(*Coreoperca herzi*) 57개체(6.46%), 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*) 40개체(4.54%), 열목어 34개체(3.85%) 등의 순으로 출현하였다. 계방천에서 채집된 한국고유종은 가는돌고기, 쉬리, 어름치, 배가사리(*Microphysogobio longidorsalis*), 금강모치, 참갈겨니, 새코미꾸리(*Koreocobitis rotundicaudata*), 미유기(*Silurus microdorsalis*),

Table 1. List of individual numbers of fish collected at each station in the Gyebangcheon stream, South Korea

Species	Sampling sites						Total
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	
Order Cypriniformes	잉어목						
Family Cyprinidae	잉어과						
<i>Pungtungia herzi</i>		1					1
▲★ <i>Pseudopungtungia tenuicarpa</i>				1	2		3
★ <i>Coreoleuciscus splendidus</i>		2		18	12	8	40
<i>Ladislavia taczanowskii</i>	12					1	13
◆★ <i>Hemibarbus mylodon</i>					1		1
★ <i>Microphysogobio longidorsalis</i>					2		2
★ <i>Rhynchocypris kumgangensis</i>	51	33	48	98	30	156	416
★ <i>Zacco koreanus</i>	36	48		87	94	17	282
Family Cobitidae	미꾸리과						
★ <i>Koreocobitis rotundicaudata</i>		1		1	5		7
Order Siluriformes	메기목						
Family Siluridae	메기과						
★ <i>Silurus microdorsalis</i>	1			4	8	1	14
Family Amblycipitidae	통가리과						
★ <i>Liobagrus andersoni</i>		4		5	3		12
Order Salmoniformes	연어목						
Family Salmonidae	연어과						
▲ <i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>	8		12	4	3	7	34
Order Perciformes	농어목						
Family Centropomidae	꺼지과						
★ <i>Coreoperca herzi</i>	8	10		23	16		57
Total number of family	4	4	2	6	6	3	6
Total number of species	6	7	2	9	11	6	13
Total number of individual	116	99	60	241	176	190	882

★: Korean endemic species, ◆: Natural monument, ▲: Endangered species

통가리 (*Liobagrus andersoni*), 꺼지 등 총 10종으로 76.92%의 높은 고유종 빈도를 나타내었다. 한국고유종은 해당 지역의 생물상을 특징짓는 기준이 되는 경우가 많으며 (Jeon 1980), 일반적으로 한국고유종은 수환경 상태가 악화되면 급격히 감소가 발생하는 것으로 알려져 있다 (Choi et al. 2000). 따라서 계방천은 하천 내 직·간접적인 서식처 교란이 적고, 여울과 소가 광범위하게 분포하고 있어 고유종 빈도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

2. 열목어 개체군 특성

1) 열목어 전장-체중 상관관계 분석

열목어 추가조사를 포함한 3회 조사 동안 총 99개체의

열목어가 채집되었으며, 계방천 열목어의 생육상태와 생식능력 정도를 파악할 수 있는 전장-체중 상관관계 및 비만도 지수 (k) 분석 (Seo 2005; Choi et al. 2011; Kim et al. 2012)을 실시하였다 (Fig. 2). 일반적으로 개체군의 성장도를 보여주는 회귀계수 b 값은 3.0보다 크면 전장에 비하여 무게가 비대하다는 것을 의미하며, 3.0보다 낮으면 전장에 비하여 무게가 적은 것을 뜻한다 (Han et al. 2007). 또한, 비만도 지수 (k) 값은 양의 기울기일 경우 상대적으로 개체군 생육상태가 양호함을 의미하며, 음의 기울기일 경우 생육상태가 불량한 것을 의미한다 (Carl and Peter 1990; Seo 2007). 계방천에서 채집된 열목어의 회귀계수 b 값은 3.1272, 비만도 지수 (k)는 0.0006으로 분석되었다. Byeon (2011)이 실시한 연구결과에 의하면 봉화군 백천계곡에

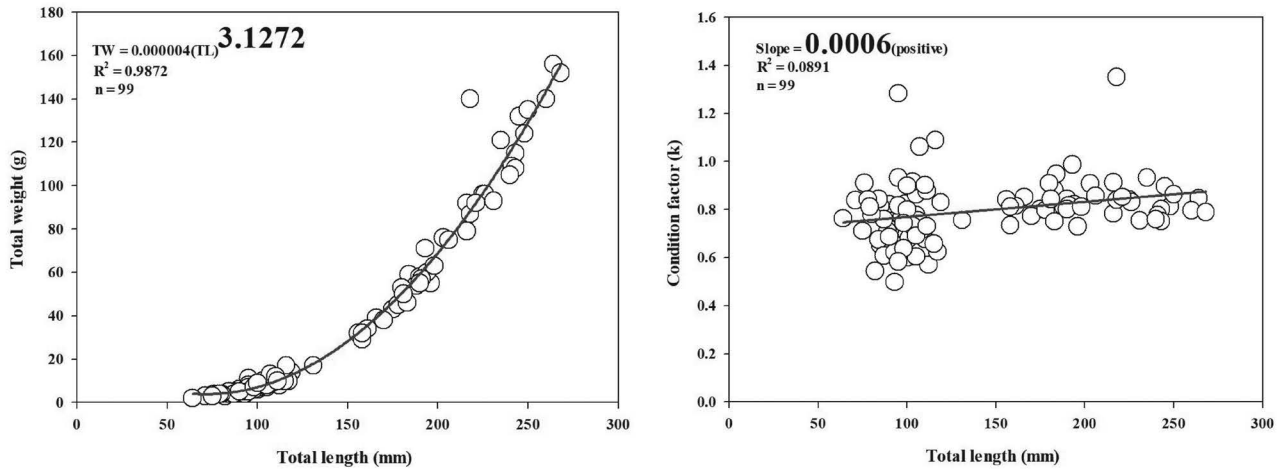


Fig. 2. Relationship between the total length and body weight of *Brachymystax lenok tsinlingensis* in the Gyebangcheon stream, South Korea.

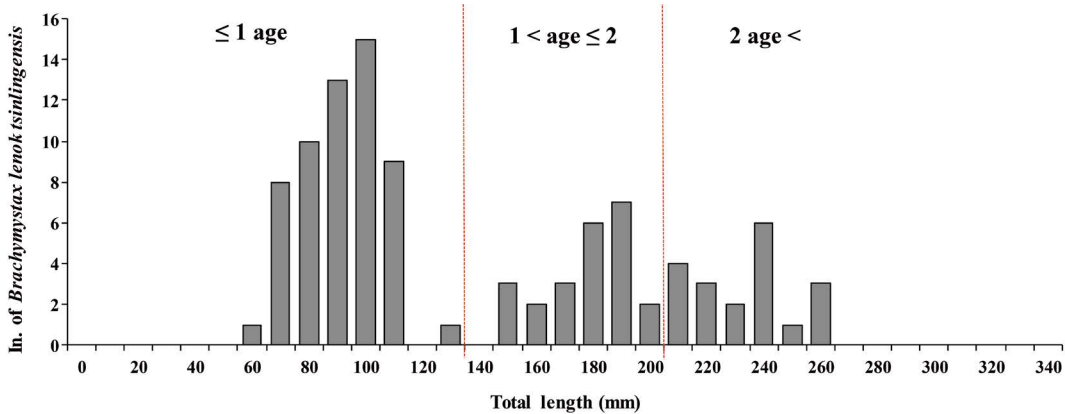


Fig. 3. Frequency distribution of the total length of *Brachymystax lenok tsinlingensis* in the Gyebangcheon stream, South Korea.

서식하는 열목어 개체군의 회귀계수 b 값은 3.0188, 비만도 지수(k)는 0.00002로 분석되어 봉화군에 서식하는 열목어의 개체군보다 생육상태 및 섭식 능력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 한편, 비만도 지수(k)의 경우 양의 기울기를 나타내고 있으나 기울기 값이 낮게 유지되고 있었는데, 이는 열목어의 경우 체중 대비 개체 크기(전장)가 큰 것으로 알려져 있는 종 특이적 특성(Byeon 2011)의 결과로 판단된다.

2) 전장빈도분포

계방천에서 채집된 열목어는 60~260 mm의 범위로 조사되었다. 전장별 연령 추정 결과 크게 3개의 집단으로 분

류되었으며, 당년생 60~130 mm, 1년생 140~200 mm, 2년생 이상의 개체는 200 mm 이상의 범위로 추정되었다 (Fig. 3). 연생별 개체수 분포의 경우 당년생에서 가장 많은 개체가 채집되었으며, 개체의 크기 및 연령이 증가할수록 개체수는 상대적으로 감소하였다. 과거 계방천에서 보고된 Yun and An (2012)의 연구에서 계방천 열목어의 연령 분포는 당년생 26~125 mm, 1년생 92~185 mm, 2년생 184~251 mm, 3년생 270~310 mm로 보고되었으며, Choi et al. (2002)에 의하면 한강 개체군은 2년생이 200 mm 내외로 보고된 바 있다. 따라서 계방천에 서식하는 열목어 개체군의 성장 속도는 위의 연구와 대부분 일치하는 것으로 확인되었다.

3. 열목어 서식지 특성

1) 물리적 서식처 평가지수(QHEI) 분석

조사지점별 QHEI는 평균 130.0 (±2.0, St. 2)~159.0 (±1.0, St. 3)의 범위인 ‘양호~최적’ 등급으로 분석되었다 (Table 2). 대부분의 조사지점은 수변 초지와 수관이 높은 식생 등이 고루 분포하였으며, 여울(riffle)과 소(pool)가 반복되어 자연성이 높은 상태를 유지하고 있었다. 가장 높은 지수 값을 보인 St. 3은 수관이 가장 넓었으며, 낙차 구간을 중심으로 여울과 소가 지속적으로 반복되어 다양한 서식처가 분포하는 것으로 확인되었다. 또한, St. 3 주변으로 인위적인 활동이 발생하는 민가, 펜션, 교량, 다리 등의 인공구조물이 분포하지 않고, 자연적 환경이 대부분을 차지하고 있었다. 반면, 가장 낮은 지수 값을 보인 St. 2는 계방천 본류 구간으로 상대적으로 유량은 풍부하나 제외되는 도로와 교량, 경작지와 민가가 분포하고 있었으며, 산림 식생대의 비율이 낮아 캐노피(Canopy)가 형성되어 있지

않은 것으로 조사되었다. 또한, 제방은 급경사로 초본이 주로 구성되어 비점오염원 유입에 취약한 환경으로 확인되었다.

2) 열목어의 서식처 적합도 지수(HSI) 분석

채집된 99개체의 열목어를 이용하여 HSI를 분석한 결과 최적의 수심은 0.45~0.55 m와 1.0 m 이상, 최적의 유속은 0.55~0.65 m s⁻¹, 하상구조는 Boulder를 선호하는 것으로 확인되었다 (Fig. 4). 수심은 1.0 m 이상의 깊은 수심에서 19개체로 가장 많은 개체수가 확인되었다. 1.0 m 이상에서 채집된 19개체 중 1년생 이상인 개체가 15개체로 대부분을 차지하였고, 0.45~0.55 m는 17개체 중 14개체가 당년생 개체인 것으로 확인되었다. 유어는 유영능력이 완전하지 못하므로 수심이 깊고, 유속이 빠른 곳을 회피하는 특징을 가지며, 연령이 높아지면서 지느러미의 발달로 인해 높은 유영능력을 갖추어 서식 가능한 유속과 수심의 범위가 넓어지는 것으로 알려져 있다 (Baek and Song 2005; Kim et al. 2014). 최대 유속은 소와 여울이 고루 분포하여 0.8~1.4 m s⁻¹로 빠른 유속을 보였으나 열목어는 여울의 바로 아래에 물이 낙하하며 생성된 소에서 주로 채집되는 경향을 보였다. 열목어는 유속이 완만하며, 주로 소가 분포하는 지역에서 서식하는 것으로 보고된 바 있으며 (Choi et al. 2002; Byeon 2012), 계방천에 서식하는 열목어 역시 유속이 빠른 여울보다는 유속이 비교적 완만한 소를 선호하는 것으로 확인되었다. 열목어는 주로 모래와 자갈에 산란하기 때문에 산란철에는 모래와 자갈의 하상을 선호하나, 산란이 끝난 이후에는 은닉할 수 있는 큰 돌이나 바위를 선호하는 것으로 알려져 있으며 (Li 1966; Song 1987; Yue

Table 2. Qualitative habitat evaluation index (QHEI) in the Gyeongcheon stream, South Korea

Site	QHEI			Class
	1st	2nd	Mean	
St. 1	151	146	148.5 (±2.5)	S
St. 2	128	132	130.0 (±2.0)	S
St. 3	158	160	159.0 (±1.0)	O
St. 4	145	152	148.5 (±3.5)	S
St. 5	149	143	146.0 (±3.0)	S
St. 6	142	146	144.0 (±2.0)	S

*O (Optimal): 149-200, S (Suboptimal): 91-148

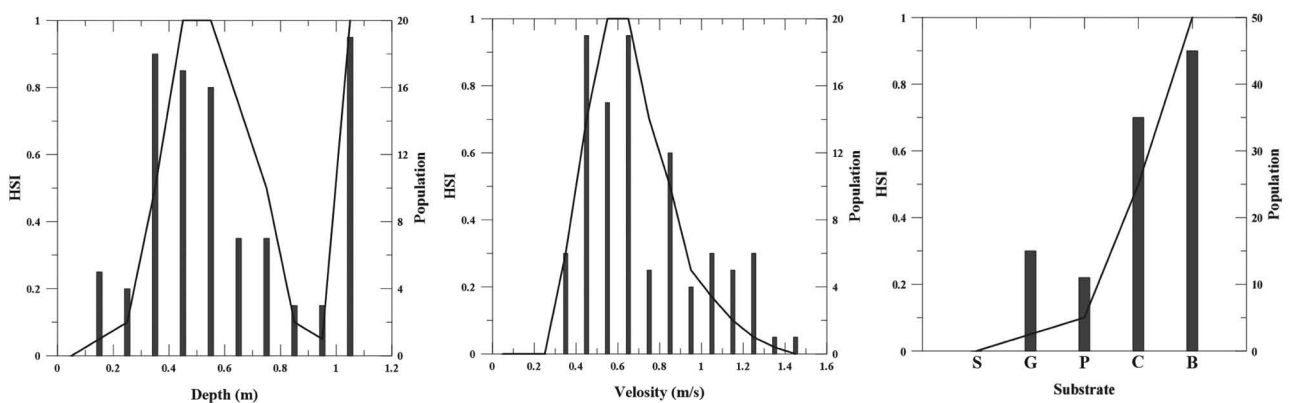


Fig. 4. Habitat suitability index of depth, velocity, and substrate for *Brachymystax lenok tsinlingensis* in the Gyeongcheon stream, South Korea.

and Chen 1998; Choi *et al.* 2002), 본 연구는 산란기 이후인 7월, 9월, 10월에 조사를 실시하였기 때문에 HSI 분석 결과 Boulder를 선호하는 것으로 확인되었다. 현재 열목어가 선호하는 수심, 유속, 하상구조 등의 물리적 환경에 대한 면밀한 연구 결과는 보고되지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 HSI를 이용하여 열목어가 선호하는 물리적인 환경에 대해 조사하였으나, 계절별 조사가 이루어지지 않았으며, 국내에 분포하는 열목어 서식지 중 계방천만을 대상으로 연구하였기 때문에 조사범위가 다소 국소적이다. 따라서 향후 계방천 뿐만 아니라 국내에 분포하는 열목어 서식지를 대상으로 국지적인 연구를 통해 본 연구의 결과를 좀 더 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 열목어 서식처 주변의 토지이용 특성

조사지점 인근의 토지이용 비율을 분석한 결과(Fig. 5), 산림지역 66.26~96.31%, 농업지역 0.00~23.79%, 도시지역 0.00~4.19%, 기타지역 3.69~8.87%로 분석되었다. 본 연구에서 조사지역 대부분은 산림의 비율이 높게 나타나 자연성이 높은 것으로 확인되었으나, 고랭지 채소밭인 농업지역과 일부 도시지역이 분포하는 것으로 확인되었다. 캐나다의 토론토에 위치한 하천에서 실시된 Steedman (1988)의 연구에서는 하천 주변의 인위적인 지역은 물리·화학적 변형과 함께 하천 직강화 등의 단순화를 유발하여 수생태계에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다. 또한, Kim *et al.* (2012)에 의해 보고된 회야강 수계의 토지이용과 하천건강성의 상관성에 대한 연구에 의하면 하천 인근 인위적인 비율이 높은 지역에서 하천의 건강성은 낮은 것으로 확인되었으며, 자연성이 높은 지역은 하천의 건강성이 높게 나타났다. 또한, 자연성이 높은 지역은 물리·화학적 교란이 없으며, 불투성 지역이 존재하지 않기 때문에 하천 건강성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.* 2012). 강릉남대천을 대상으로 실시한 Kim and Lee (2018)의 연구에서는 물리적 환경 변화는 토착 개체군의 감소를 야기시키며, 도심하천의 경우 콘크리트 제방, 준설 등으로 인하여 생물의 미소서식처 상실로 인해 서식처 건강도가 낮은 것으로 나타났다. 계방천의 토지이용과 조사지점별 열목어 출현 개체수 및 QHEI를 비교한 결과 상대적으로 산림지역의 비율이 높은 St. 1, 3, 6에서 열목어의 출현 빈도와 QHEI가 높게 평가되었다. 반면 St. 2는 도시지역 및 농업지역의 비율이 높아 QHEI가

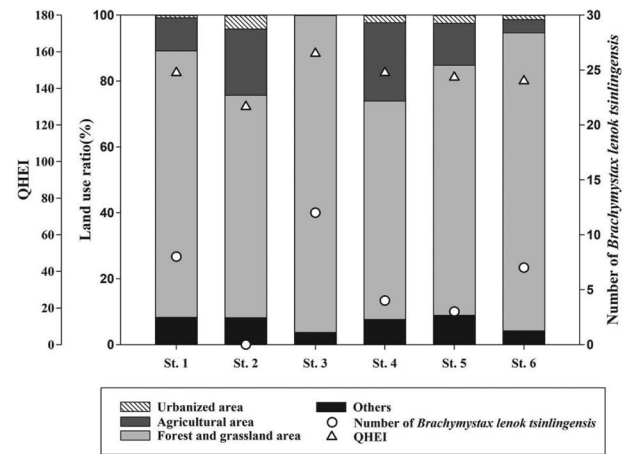


Fig. 5. The land use, number of *Brachymystax lenok tsinlingensis*, and qualitative habitat evaluation index (QHEI) of each sampling site in the Gyebangcheon stream, South Korea.

가장 낮게 평가되었으며, 열목어 또한 채집되지 않았다. 산림지역의 비율이 가장 높은 St. 3은 농업지역과 도시지역이 분포하지 않아 자연성이 매우 높은 지역이며, 유량이 풍부하고, 암반에 의한 자연적 단차로 인해 소가 발달되어 있는 지역이다. 열목어는 유량 증가 시점 이후가 되면 먹이 경쟁과 건조에 대비하기 위해 넓은 소로 이동하는 것으로 알려져 있으며 (Montgomery *et al.* 1983; Yoon and Jang 2009), St. 3에 형성된 소가 열목어의 서식처 및 유량 감소에 따른 피난처 등을 제공하는 것으로 확인되었다. St. 1과 St. 6에서도 소가 분포하고 있는 것으로 확인되었고, 넓은 산림과 수변 초지가 고루 분포하여 인위적인 간섭이 비교적 적게 발생하고 있었다. 열목어가 채집되지 않은 St. 2는 암반을 중심으로 소가 위치하고 있으나 도로와 교량, 경작지와 민가가 분포하고 있어 비교적 사람의 접근이 용이한 지점이며, 상대적으로 산림 식생대의 비율이 낮은 것으로 확인되었다. 또한, 도로와 경작지로 이용되는 제방은 경사가 급하며, 대부분 초본류로 피복되어 강우시 비점오염원 유입 가능성이 가장 높을 것으로 판단된다. 열목어의 출현 빈도가 낮게 확인된 St. 4와 St. 5에서도 소가 분포하나 산림 식생대의 비율이 낮으며, 제방은 도로와 경작지로 이용되고 있었다. 계방천 주변의 교량과 도로의 발달은 하천 내로 사람이 접근하기 용이하게 되었으며, 이에 따라 계방천 본류에서 물놀이 및 낚시를 위한 이용객 빈도가 가장 높은 것으로 확인되어 계방천의 토지이용은 열목어의 서식 및 활동에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 3. Correlation analysis for each factor in relation to the number of *Brachymystax lenok tsinlingensis*

Factors	QHEI	Sp	In	Land use			
				Forest and grassland area	Agricultural area	Urbanized area	Others
No. of <i>B. lenok tsinlingensis</i>	.585*	-.493	-.307	.689*	-.650*	-.775**	-.568

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, QHEI: Qualitative habitat evaluation index, Sp: No. of species, In: No. of individuals

5. 열목어와 다양한 항목 간의 상관성 분석

지점별 출현한 열목어 개체수를 이용하여 QHEI, 종수, 개체수, 토지이용비율(산림지역, 농업지역, 도시지역, 기타지역) 간의 상관성 분석(Pearson correlation analysis)을 실시하였다(Table 3). 분석결과 QHEI는 양의 상관성($p < 0.05$), 토지이용의 산림지역과 양의 상관성($p < 0.05$), 농업지역과 음의 상관성($p < 0.05$), 도시지역과 음의 상관성($p < 0.01$)으로 분석되어 열목어는 서식지 및 주변 토지 이용과 상당히 유의한 것으로 분석되었다. 조사지역의 농업지역은 고랭지 농업이 발달하였으며, 최근 교통의 발달과 함께 하계에는 물놀이객이 많이 모여들고 있다(Nam et al. 1998). 이러한 고랭지 농업은 강우시 토사 유출, 탁수 발생 등으로 어류의 개체수와 서식지를 감소시키며, 별도의 처리시설 없이 하천으로 직접 유입되기 때문에 하천의 수질 및 수생태계에 미치는 악영향은 매우 큰 것으로 알려져 있다(Byeon 2011). 또한, 도로의 발달에 따른 휴양시설의 개발은 하천의 직강화, 인공제방, 둔치개발과 같은 물리적인 변화를 가져오며, 어류의 서식처를 단순하게 만들어 종 다양성을 감소시키는 원인이 된다(Joo et al. 1997; Kim et al. 2009). 따라서 열목어 서식지로 보호받고 있는 계방천은 고랭지 채소밭, 휴양지 등에서 발생하는 토사 유출, 탁수 등 비점오염원의 방지를 위한 제도적인 관리 방안의 마련이 필요할 것으로 생각되며, 계방천을 중심으로 다양한 소와 자연성이 높은 지류를 함께 보호해야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 홍천군 명개리 열목어 서식지인 계방천의 어류 군집과 열목어 개체군 특성 및 서식지 주변 토지이용에 따른 상관성을 파악하고자 수행하였다. 조사는 2018년

7월, 9월, 10월 총 3회 조사를 실시하였다. 조사결과 총 6과 13종 882개체의 어류가 채집되었으며, 우점종은 금강모치, 아우점종은 참갈겨니로 확인되었다. 채집된 어류 중 법정보호종은 멸종위기야생생물 II급인 열목어와 가는돌고기가 출현하였으며, 천연기념물 제259호인 으뜸치가 확인되었다. 한국고유종은 총 10종으로 76.92%의 매우 높은 고유종 빈도로 나타났다. 계방천에서 열목어 추가조사를 포함하여 3회 조사 동안 총 99개체의 열목어가 채집되었다. 열목어 개체군의 생육상태와 생식능력 정도를 파악할 수 있는 전장-체중 상관관계 분석 및 비만도 지수(k) 분석을 실시한 결과 열목어의 회귀계수 b값은 3.1272, 비만도 지수(k)는 0.0006으로 분석되어 조사지역의 열목어 개체군은 비교적 안정적인 생육상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었으나, 비교적 낮은 값을 유지하는 것으로 나타났다. 전장빈도분포 분석 결과 당년생 60~130 mm, 1년생 140~200 mm, 2년생 이상의 개체는 200 mm로 추정되었다. QHEI는 130.0 (±2.0)~159.0 (±1.0)의 범위인 ‘양호~최적’ 등급으로 분석되었다. HSI를 분석한 결과 최적의 수심은 0.45~0.55 m와 1.0 m 이상, 최적의 유속은 0.55~0.65 m s⁻¹, 하상은 Boulder를 선호하는 것으로 확인되었다. 조사지점별 인근 토지이용 비율을 분석한 결과 산림지역 66.26~96.31%, 농업지역 0.00~23.79%, 도시지역 0.00~4.19%, 기타지역 3.69~8.87%로 분석되어 대부분의 지점에서 산림의 비율이 높게 나타났으며, 다음으로 농업지역의 비율이 높게 나타났다. 지점별 출현한 열목어 개체수와 다양한 항목 간의 상관성 분석을 실시한 결과, QHEI와 산림지역과는 양의 상관성($p < 0.05$), 농업지역과 도시지역과는 음의 상관성($p < 0.05$, $p < 0.01$)으로 분석되어 서식지 주변의 토지이용 유형 및 변화 정도에 따라 열목어 개체군에 많은 영향을 미치며, 열목어 개체군 보호 및 관리를 위해서는 서식지 주변 토지이용에 따른 관리방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 홍천군(과제번호: 201800840001, 홍천 명개리 열목어 서식지 서식실태조사 용역)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Anderson R and S Gutreuter. 1983. Length, weight and associated structural indices. pp. 283–300. In: Fisheries Techniques (Nielsen L and D Johnson, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Anderson RO and RM Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. pp. 447–482. In: Fisheries Techniques (Murphy BR and DW Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Baek HM and HB Song. 2005. Habitat selection and environmental characters of *Acheilognathus signifer*. Korean J. Limnol. 38:352–360.
- Bagenal T. 1978. Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England. pp. 48–116.
- Busacker GP, IA Adelman and EM Goolish. 1990. Growth. In: Methods for Fish Biology (Schreck CB and PB Moyle, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Byeon HK. 2011. The characteristic of fish fauna and *Brachymystax lenok tsinlingensis* individuals in the Bonghwa-gun, Korea. Korea J. Environ. Ecol. 25:878–886.
- Carl BS and BB Peter. 1990. Methods for Fish Biology. American Fisheries Society, Bethesda, MD. p. 684.
- Choi JK and HK Byeon. 2009. The fish fauna and community of Gwangneung arboretum. Korean J. Limnol. 42:145–152.
- Choi JK, HK Byeon and HK Seok. 2000. Studies on the dynamics of fish community in Wonju stream. Korean J. Limnol. 33:274–281.
- Choi JK, HS Shin and JS Choi. 2005. Fish community analysis in the Wonju stream. Korean J. Environ. Ecol. 19:46–54.
- Choi KC. 1988. Effective conservation management of *B. lenok tsinlingensis* habitats. Nat. Res. Inst. Cult. Herit. 21:18–38.
- Choi KC, SR Jeon, IS Kim and YM Son. 2002. Colored Illustrations of the Freshwater Fishes of Korea. Hyangmunsa Press Co. Seoul. pp. 154–156.
- Craig DA. 1987. Some of what you should know about water or, KISS for hydrodynamics. Bull. N. Am. Benthol. Soc. 4:178–182.
- Cummins KW. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic water. Am. Midl. Nat. 67:477–504.
- Han SC, HY Lee, JH Shin and JE Lee. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. Korean J. Life Sci. 17:937–943.
- Hur JW, DH Kim and HS Kang. 2014. Estimation of optimal ecological flowrate of fish in Chogang Stream. Ecol. Resil. Infrastruct. 1:39–48.
- Jang JE, JH Kim, JH Kang, SY Baek, JH Wang, HG Lee, JK Choi, JS Choi and HJ Lee. 2017. Genetic diversity and genetic structure of the endangered Manchurian trout, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, at its southern range margin: conservation implications for future restoration. Conserv. Genet. 18:1023–1036.
- Jeon SR. 1980. Studies on the distribution of freshwater fishes from Korea. PhD. Thesis, Chungang University. Seoul. pp. 14–49.
- Joo GJ, HW Kim and K Lee. 1997. The development of stream ecology and current status in Korea. J. Ecol. Field Biol. 20:69–78.
- Kang HS. 2012. Comparison of physical habitat suitability index for fishes in the rivers of Han and Geum river watersheds. J. Korean Soc. Civ. Eng. 32:71–78.
- Karr JR and EW Chu. 2000. Sustaining living rivers. Hydrobiologia 422/423:1–14.
- Kim HS, H Yang and YK Hong. 2014. Population ecology of endangered fish *Gobiobotia naktongensis* inhabiting the Gamcheon Stream, Nakdonggang River (Pisces: Gobiioninae). Korean J. Ichthyol. 26:1–10.
- Kim IS. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean. Ministry of Education. Sejong, Korea.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak. Seoul.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak. Seoul. p. 615.
- Kim JE and HG Lee. 2018. The evaluation of potential invasive species in the Gangneungnamdae Stream in Korea using a Fish Invasiveness Screening Kit. Korean J. Environ. Biol. 36:73–81.
- Kim JH, JD Yoon, HB Jo, KH Chang and MH Jang. 2012. Stream health assessment on Hoeya River Basin and other streams based on fish community and land use in the surrounding watersheds. Korean J. Limnol. 45:392–402.
- Kim JJ, JG Choi and HS Choi. 2019. A study on the improvement of fish habitat through various river restoration techniques in the Wonju-cheon Stream, Korea. Korean J. Ecol. Resil. Infrastruct. 6:145–153.
- Kim JW, SW Ryu, JK Lee, JW Park, YK Lee, JH Shim, YH Kang, SK Kim, GJ Joo, GY Kim, YH Do, CW Lee and JD Yoon. 2009. Stream Ecology and the Nakdong River. Keimyung University Press. Daegu, Korea.

- Kim SJ, MS Shin, JK Kim, JY Lee, KJ Jeong, BY Ahn and BC Kim. 2012. Oxygen fluctuation monitored with high frequency in a eutrophic urban stream (the Anyang Stream) and the effect of weather condition. *Korean J. Limnol.* 45:34–41.
- Ko MH, SJ Moon and IC Bang. 2011. Study of the fish community structure and inhabiting status of the endanger species *Gobiobotia macrocephala* and *G. brevibarba* in the Seom River, Korea. *Korean J. Limnol.* 44:144–154.
- Ko MS, JK Choi and HG Lee. 2019. Ecological health assessments using fish communities in the habitat of Manchurian trout. *Korean J. Environ. Biol.* 37:652–663.
- Lee DJ, HK Byeon and JK Choi. 2009. Characteristics of fish community in Gap Stream by habitat type. *Korean J. Limnol.* 42:340–349.
- Lee SR, MC Kim, JH Jeong, JN Park and JJ Kim. 2013. Comparison of microhabitat of *Brachymystax lenok tsinlingensis* in Odaesna National Park. *Proc. Korean Soc. Environ. Con.* 23:18.
- Li S. 1984. Discussions on the geographical distribution of the salmonid fishes in China. *Chin. J. Zool.* 1:34–37.
- Li SC. 1966. On a new subspecies of fresh-water trout, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, from Taipaishan, Shensi, China. *Acta Zootaxon Sin.* 3:92–94.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3:36–71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216:168–169.
- Montgomery WL, SD McCormick, RJ Naiman, FGJ Whoriskey and GA Black. 1983. Spring migratory synchrony of salmonid, catostomid and cyprinid fishes in Riviere a la Truite, Quebec. *Can. J. Zool.* 61:2495–2502.
- Nam MM, HYYang, BS Chae and YJ Kang. 1998. The Fish fauna and community structure in the Naerin Stream. *Korean J. Ichthyol.* 10:61–66.
- Nelson JS. 2006. *Fishes of the World* (4th ed.). John Wiley and Sons. New York. p. 601.
- Ney JJ. 1993. Practical use of biological statistics. pp. 137–158. In: *Inland Fisheries Management of North America* (Kohler CC and WA Hubert, eds.). American Fisheries Society. Bethesda, MD.
- Park SA and MW Lee. 2008. Stream restoration guidelines by evaluation of fish habitat and introducing of the keystone species. *J. Korean Environ. Restor. Tech.* 11:24–36.
- Pielou EC. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons. New York. p. 165.
- Plafkin JL, MT Barbour, KD Porter, SK Gross and RM Hughes. 1989. *Rapid Assessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. EPA/444/4-89-001. Office of Water Regulations and Standards, U.S. EPA. Washington, DC.
- Rand TA and SA Louda. 2006. Spillover of agriculturally subsidized predators as a potential threat to native insect herbivores in fragmented landscapes. *Conserv. Biol.* 20:1720–1729.
- Rutherford DA, AA Echelle and OE Maughan. 1987. Changes in the fauna of the little river drainage, South-Eastern Oklahoma, 1945–1955 to 1981–1982 : a test of the hypothesis of environmental degradation. pp. 178–183. In: *Community and Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes*. University of Oklahoma Press. Norman, OK.
- Seo JW. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of Dark chup (*Zacco temminchii*) population in the Mid-Upper region of Gam Stream. *Korean J. Limnol.* 38:196–206.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana, IL. p. 233.
- Song SL. 1987. Salmonidae. pp. 14–15. In: *Fishes in Qinling Mountain Area*. Shaanxi Institute of Zoology. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Beijing.
- Suarez AV and TJ Case. 2002. Bottom-up effects on persistence of a specialist predator: Ant invasions and horned lizards. *Ecol. Appl.* 12:291–298.
- Wang L, J Lyons, P Kanehl and R Gatti. 1997. Influences of watershed land use on habitat quality and biotic integrity in Wisconsin streams. *Fisheries* 22:6–12.
- Wang X. 2001. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. *J. Environ. Manage.* 61:25–36.
- Yang JY, L Zhong and KF Wang. 2006. Biological studies and protection proposes of *Brachymystax lenok* in Heihe River Shaanxi Province. *J. Shaxi Normal Univ.* 34:67–69.
- Yoon HN, KD Kim, YL Jeon, JH Lee and YJ Park. 2013. Stomach contents of the manchurian trout (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) and river salmon (*Oncorhynchus masou masou*) in the Odae Mountain, Gangwondo. *Korean J. Ichthyol.* 25:90–105.
- Yoon JD and MH Jang. 2009. Migration patterns of *Brachymystax lenok tsinlingensis* using radio tags in the upper part of the Nakdong River. *Korean J. Limnol.* 42:58–66.
- Yue PQ and YY Chen. 1998. *China Red Data Book of Endangered Animals, Pisces*. Science Press. Beijing. pp. 107–109.
- Yun YJ and YI An. 2012. Length-weight relationship, condition factor (K) and von Bertalanfy's growth model of Manchurian trout (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) in the upper region of the Gyebang stream. MS thesis. Kangwon National University. Chuncheon, Korea. p. 16.
- Zhao Y and C Zhang. 2008. Threatened fishes of the world: *Brachymystax lenok tsinlingensis* Li, 1966 (Salmonidae). pp. 11–12. In: *Chinese Fishes*. Springer. Dordrecht, Netherlands.