

강우에 따른 중랑천 어류군집의 시공간적 분포 특성

이승현 · 정현기* · 신현선¹ · 김진영 · 박상숙 · 신유나 · 문정숙 · 이수웅 · 이재관²

국립환경과학원 물환경공학연구과 유역생태연구팀, ¹농촌진흥청 연구정책국 기후변화팀,
²국립환경과학원 물환경연구부

Spatial and Temporal Distribution of Fish Communities with Rainfall in Jungrang Stream. Lee, Seung-Hyun (0000-0002-2794-6037), Hyun-Gi Jeong* (0000-0002-5162-7175), Hyun-Seon Shin¹ (0000-0002-3765-6797), Jin-young Kim (0000-0002-7146-4510), Sangsuk Pak (0000-0003-4540-081X), Yuna Shin (0000-0002-2867-3464), Jeong-Suk Moon (0000-0003-1448-5945), Su-Woong Lee (0000-0001-6827-0769) and Jae-Kwan Lee² (0000-0002-1399-8688) (Watershed Ecology Research Team, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea; ¹Climate Change Team, R&D Coordination Division, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea; ²Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea)

Abstract In this study, we surveyed the fish community at the four sites (St. 1, 3, 5, 7) in Jungrang Stream from 2008 to 2016. We found 37 species grouped into nine families. There were three exotic species; *Cyprinus carpio*, *Carassius cuvieri* and *Micropterus salmoides* after rainfall. Dominant species was *Zacco platypus* (57.3%) and subdominant species was *Carassius auratus* (10.4%) in a community. The water quality, surveyed at the six sites (St. 1, 2, 3, 4, 5, 6), based on eight factors (Water temperature, pH, DO, BOD, SS, EC, TN and TP), largely varied depending on each site and period. Minimum values in four factors (BOD, EC, TN and TP) were observed in rainy season, indicating an ionic and nutrient dilution of stream water by precipitation. In contrast, a maximum value in SS was occurred in rainy season at St. 2 and St. 5. The precipitation, Maximum value observed in July (497.5 ± 297.2 mm), minimum value in January (12.9 ± 8.6 mm). In July and August, the precipitation was divided into before and after the rainfall season in Jungrang stream. Using cluster analysis three fish sites (St. 1, 3, 5) were identified as significantly influence 11 fish species; *Hemiculter eigenmanni*, *Squalidus japonicus coreanus*, *Hemibarbus labeo*, *Gnathopogon strigatus*, *Pungtungia herzi*, *Rhynchocypris oxycephalus*, *Pseudogobio esocinus*, *Pseudorasbora parva*, *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus* and *Zacco platypus* by rainfall.

Key words: rainfall, urban-stream, suspended solid, PCA, CA

서 론

우리나라는 70년대 이후 하천을 중심으로 도시가 발달되

어 왔고, 도시화와 산업화에 따라 보, 댐을 대상으로 하천 준설, 하천 정비 등 하천개발과 이용에 중점을 두고 지속적인 개발이 이루어져 왔다. 하지만 무분별한 환경 개발은 수질오염을 야기하고 수환경을 활용하는 다양한 어류들의 서식처를 훼손·파괴함으로써 점차 수생태계의 고유기능을 상실해왔다(Bae *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2014). 최근에는 수

Manuscript received 29 October 2018, revised 10 December 2018,
revision accepted 12 December 2018
* Corresponding author: Tel: +82-32-560-7454, Fax: +82-32-568-2051,
E-mail: daphnia79@gmail.com

생태계 중요성과 친수환경의 이용을 위한 삶이 질적으로 향상됨에 따라 담수생태계 내 안정된 서식처를 제공하고자 자연형 하천 개념을 통한 회복하려는 노력이 강조되어왔다 (Kang *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2012).

하천생태계의 생물학적 구조와 기능을 조절하는 중요한 생물군 중 담수 어류(An *et al.*, 2001; Gal *et al.*, 2012)는 수질오염 및 서식처 교란의 정도를 평가하는 지표생물로 널리 이용되고 있다(Jones *et al.*, 2005). 국내에서는 생태계 교란에 따른 어류 개체군의 특성 파악을 통한 교란된 서식처의 회복방안 마련을 위해 지속적으로 수행되어 왔다(Choi *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2011; Byeon, 2013; NIER., 2015, 2016, 2017; An and Lee, 2018). 그 중, 한강 수계의 지류인 중랑천은 경기도 양주(발원지)에서 한강 본류로 유입되는 지천으로, 90년대까지 우선 중점 관리사항으로 경제성을 기반으로 재해방지 및 복구위주의 하천정비가 수행됨에 따라 중랑천의 수환경은 인위적 교란에 따른 건강성 악화로 이어져 왔다(Lee *et al.*, 2012; Lee and Choi, 2015; Byeon,

2018). 특히 여름철 집중강우에 의한 수환경 영향은 외부 기원으로부터 발생되는 비점오염원과 수체 바닥내 퇴적물의 부상으로 인한 부유물질의 증가를 야기하고, 특히 저수심의 중랑천 수환경 특성은 여름철 집중 강우 시 매년 지속적으로 수질오염이 가중됨에 따라 향후 수생태계의 건강성 회복을 위해 효과적이고 체계적인 관리가 필요한 실정이다(Lee and Byun, 2001; Bae *et al.*, 2002; Beisner *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2006).

본 연구는 한강 수계의 중랑천을 대상으로 이화학적 환경요인과 어류군집의 분포 특성을 강우기 전후로 비교 분석하였으며, 이를 통해 강우가 중랑천의 수질특성과 어류군집 분포 변화에 미치는 영향을 파악하고자 수행하였다.

재료 및 방법

조사지점은 중랑천 수계내 총 7개 지점으로 2008년부터 2016년까지 지속적으로 조사된 지점을 선정하였다. 어류조사 지점은 총 4개(St. 1, 3, 5, 7)이며, 수질조사 지점은 총 6개(St. 1, 2, 3, 4, 5, 6)에서 조사되었다(Fig. 1). 어류의 채집은 연 2회씩(1차조사: 5~6월, 2차조사: 9~10월) 수행되었으며, 어류조사 정확성 확보를 위해 CPUE (Catch per unit of effort) 방법을 기준으로 상하류를 포함한 200m 조사구간에서 투망(10회, 망목 7×7 mm)과 족대(30분, 망목 4×4 mm)를 이용하였다. 채집된 어류는 현장에서 즉시 동정 및 계수한 후 방류하였다. 어류의 동정은 국내에서 현재까지 발표된 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)을 이용하였다. 수환경 특성은 환경부에서 측정된 수질측정망 자료(물환경정보시스템, www.nier.go.kr)를 이용

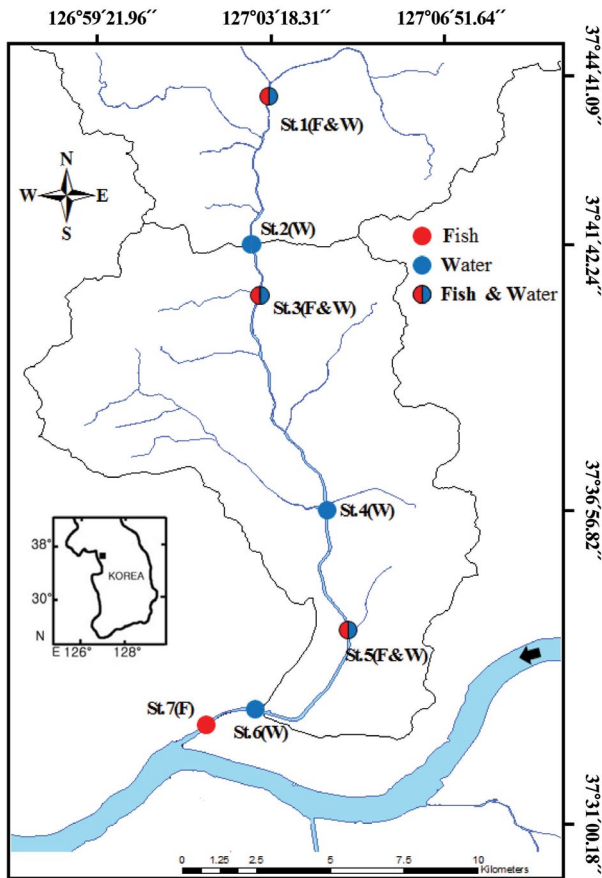


Fig. 1. Location of study sites at Jungrang stream in Korea from 2008 to 2016.

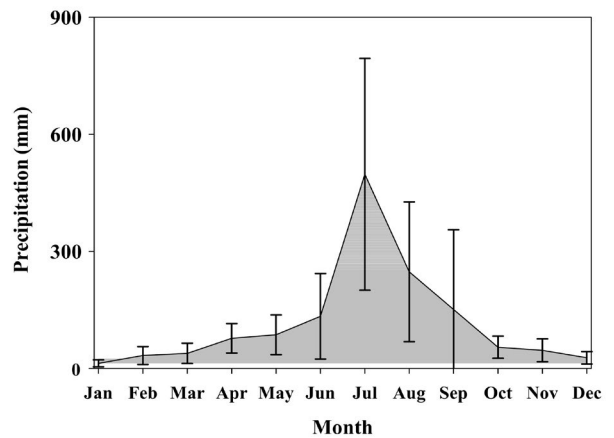


Fig. 2. Change of precipitation in Jungrang stream from 2008 to 2016.

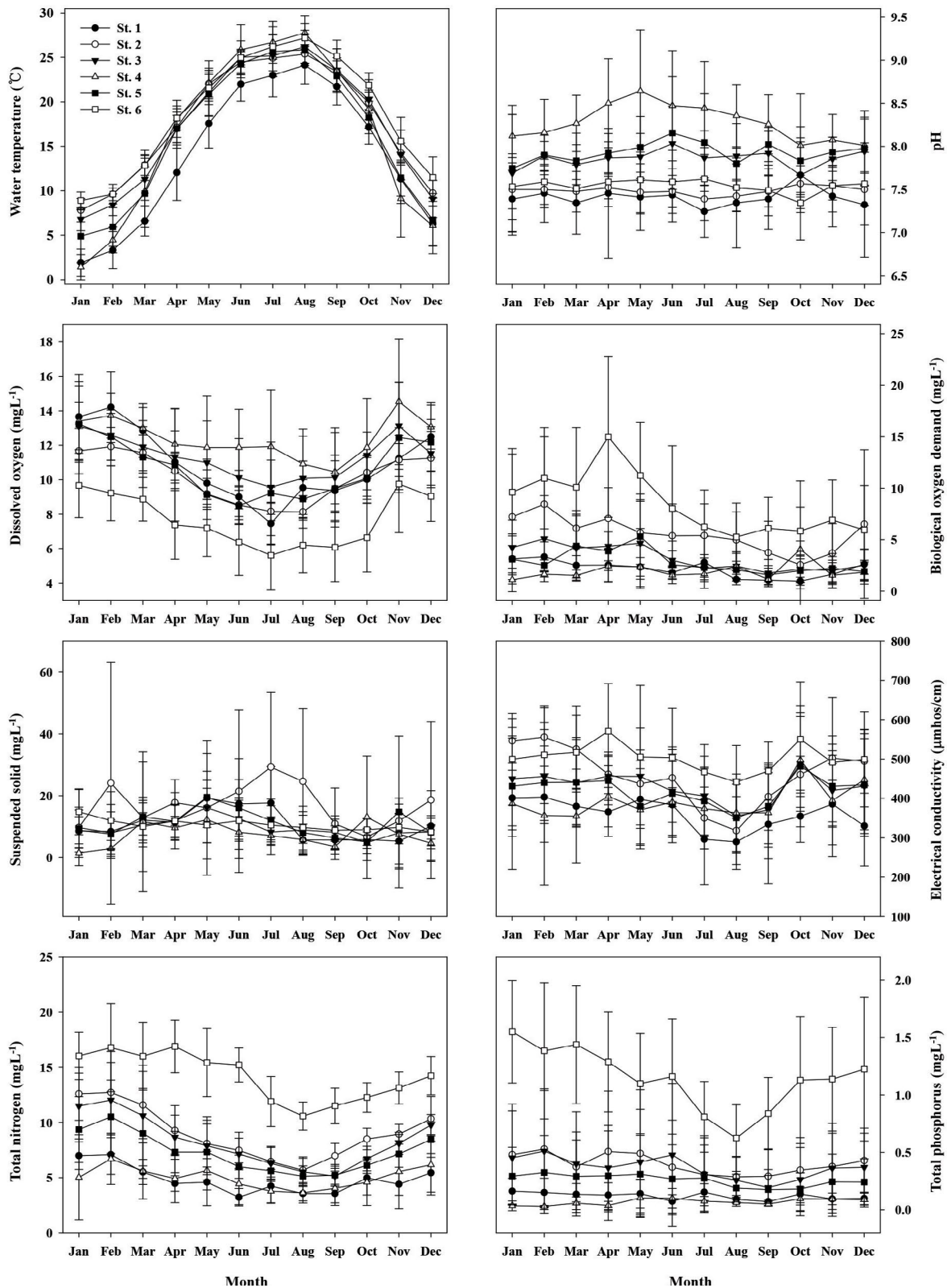


Fig. 3. Change of eight environmental factors with Month in Jungrang stream from 2008 to 2016 (WT: Water temperature, pH, DO: Dissolved oxygen, BOD: Biochemical oxygen demand, SS: Suspended solid, EC: Electrical conductivity, TN: Total nitrogen, TP: Total phosphorus).

하였다. 수질항목은 수온(Water temperature, WT), 수소이온 농도(pH), 용존산소(Dissolved oxygen, DO), 생물학적 산소 요구량(Biological oxygen demand, BOD), 부유물질(Suspended solid, SS), 전기전도도(Electrical conductivity, EC), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorus, TP) 등 총 7개 항목을 선정하였다. 강우량 자료는 2008년 1월부터 2016년 12월까지 월간 누적으로 이용하였다. 물리적 요인은 하폭(Stream width, SW)과 수폭(Water width, WW), 하상재질은 큰돌(Boulder, >256mm), 작은돌(Cobble, 64~256 mm), 조약돌(Pebble, 16~64 mm), 자갈(Gravel, 2~16 mm), 모래(Sand, 0.01~2 mm) 등 총 7개 항목으로 하상재질은 Cummins (1962)의 방법에 따라 현장에서 육안으로 구분하였다.

통계분석은 각 조사지점간 유사관계를 파악하기 위해 Bray and Curtis (1957)의 거리 측정 방법을 이용한 CA(Cluster analysis)를 사용하였으며, Group linkage method는 Ward (1963)와 Ward and Hook (1963)의 방법을 이용하였다. 어류군집과 환경요인 등 다변량자료의 분석은 PCA(Principal Component Analysis)로 Kaiser (1958, 1961)에 의거하여 분석하였으며, 통계프로그램은 PC-ORD 6.0 (McCune and Mefford, 2011)을 이용하였다. 통계분석에 이용된 어류상 자료는 전체 연구기간 동안 채집된 총 개체수중 출현 비율이 1.0% 미만의 어류를 제외한 11종(*Zacco platypus*, *Carassius auratus*, *Pseudorasbora parva*, *Cyprinus carpio*, *Pseudogobio esocinus*, *Rhynchocypris oxycephalus*, *Hemibarbus labeo*, *Squalidus japonicus coreanus*, *Pungtungia herzi*, *Gnathopogon strigatus*, *Hemiculter eigenmanni*)을 이용하였으며, PCA 분석은 11종의 개체수(X)를 자료의 정규 분포를 고려하여 $\text{Log}_e(X + 1)$ 로 변환하였다.

결과 및 고찰

1. 수환경 특성

조사기간 동안 중랑천의 월별 평균 수환경 특성은 다음과 같다. 강우량은 $10.3 \pm 9.4 \text{ mm} \sim 491.07 \pm 306.1 \text{ mm}$ 의 범위로 4월부터 9월, 12월은 100mm 이상의 높은 수치를 보인 반면, 1월부터 3월, 10월, 11월은 60mm 이하의 낮은 수치를 보였다(Fig. 2). 수질 항목을 살펴보면, 지점별로 청계천이 유입되는 St. 6에서 유기오염지표인 BOD, EC, TN, TP가 가장 높게 나타났으며, DO는 가장 낮게 나타났다. 유기오염지표의 경우 시기별로 대부분 지점에서 강우량이 많은 7월 후 8월에 낮은 수치를 보였는데, 이러한 현상은 7월 높

은 강우량에 따른 유량증가로 희석효과를 보이는 것으로 판단된다. 한편, SS의 경우 비교적 강우량이 높은 6월부터 8월까지 St. 2에서 가장 높은 수치를 보였다(Fig. 3). 중랑천과 같은 서울 시내의 하천을 비롯한 많은 도시 하천들은 강우시 일시적으로 오염이 가중되는데, 이는 수심이 얕은 구간의 경우 유량과 유속이 증가하면서 하상퇴적물의 표면에 흡착된 오염물질들의 용탈을 유도하거나 부유물질 자체의 농도를 증가시키며(Lee and Byun, 2001; Kim *et al.*, 2006), 강우량이 낮은 시기에는 강우 유출수에 따른 하천 바닥의 슬러지가 일시적으로 교란되어 하류로 영향을 미쳐, 간헐적인 산소고갈이 발생된다(Klyashtorin, 1976; Winn and Knott, 1992; Lee *et al.*, 2006a, b). 이러한 현상은 중랑천 하류로 청계천 합류부 등 유기오염지표의 증가와 St. 2에서 나타난 강우에 따른 SS의 증가 현상에 대한 결과로 판단되며 지속적으로 시기별 적절한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2. 강우에 따른 어류군집 특성

연구기간 동안 전체 조사지점에서 출현한 어류는 총 9과 37종 8,421개체가 확인되었다(Appendix 1). 과(Family)별 출현 종수는 잉어과(Cyprinidae)에서 23종(62.2%)으로 가장 많은 종이 출현하였고, 송사리과(Adrianichthyoidae), 동자개과(Bagridae), 메기과(Siluridae), 검정우렁과(Centrachidae), 동사리과(Odontobutidae)에서 각각 1종(2.7%)으로

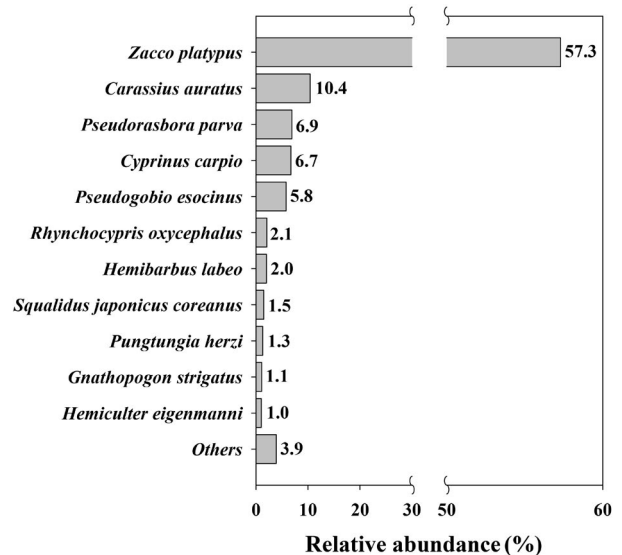


Fig. 4. Relative abundance of the fish species collected in Jungtang stream from 2008 to 2016.

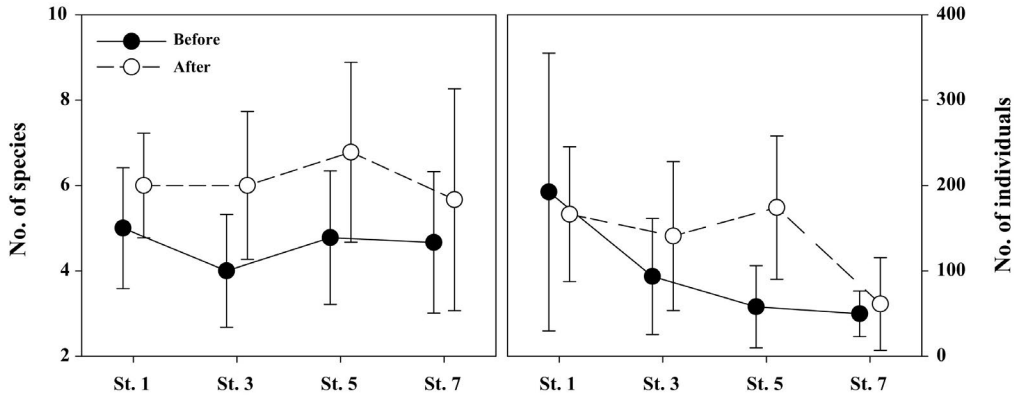


Fig. 5. Spatial variance of species and individuals collected in Jungrang stream from 2008 to 2016.

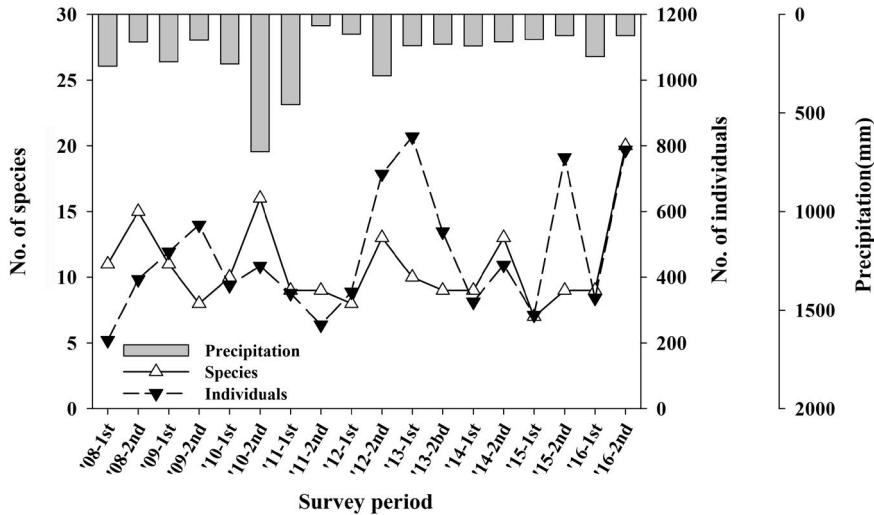


Fig. 6. Annual variance with species and individuals in Jungrang stream from 2008 to 2016.

가장 낮은 종수를 보였다. 환경부 지정 법정보호종은 출현하지 않았으며, 생태계교란종인 배스(*Micropterus salmoides*)와 외래종(이입, 도입, 방류)인 이스라엘잉어(*Cyprinus carpio*), 떡붕어(*Carassius cuvieri*) 등 총 3종이 출현하였다. 어종별 상대풍부도에 따르면 피라미(*Zacco platypus*)가 57.3%로 우점하였고 붕어(*Carassius auratus*)가 10.4%, 참붕어(*Pseudorasbora parva*)가 6.9%, 잉어(*Cyprinus carpio*)가 6.7%, 모래무지(*Pseudogobio esocinus*)가 5.8% 등의 순으로 나타났다. 1.0% 미만으로 출현한 어류는 꼬리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*) 민물검정망둑(*Tridentiger brevispinis*), 대륙송사리(*Oryzias sinensis*), 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 얼룩동사리(*Odontobutis interrupta*) 등 총 26종이 3.9%로 나타났

다(Fig. 4). 중랑천에서 우점을 차지하는 피라미는 국내 수 환경을 평가하는 지표종으로 (Choi *et al.*, 2005, Choi *et al.*, 2017, Lee *et al.*, 2017), 우리나라의 대부분 하천에 가장 일반적으로 분포하고 있다(Kim, 1997; Yoon, 2000). 아우점종인 붕어는 과거 중랑천에서 1990년대 초 처음 출현하였고, 1998년부터 2000년까지 한강 본류에서 많은 개체수가 서식하였으며, 산란기에는 중랑천으로 소상한다(Bae *et al.*, 2002).

집중강우 시기인 7월과 8월을 중심으로 강우기 전(Before rainfall) 1차조사시기(5~6월)와 강우기 후(After rainfall) 2차조사시기(9~10월)의 평균 출현 종수 및 개체수는 강우기 전 St. 1에서 5.0±1.4종 192.3±153.5개체로 가장 높게 나타난 반면, 강우기 후 St. 5에서 6.8±2.0종 174.1±79.2개체

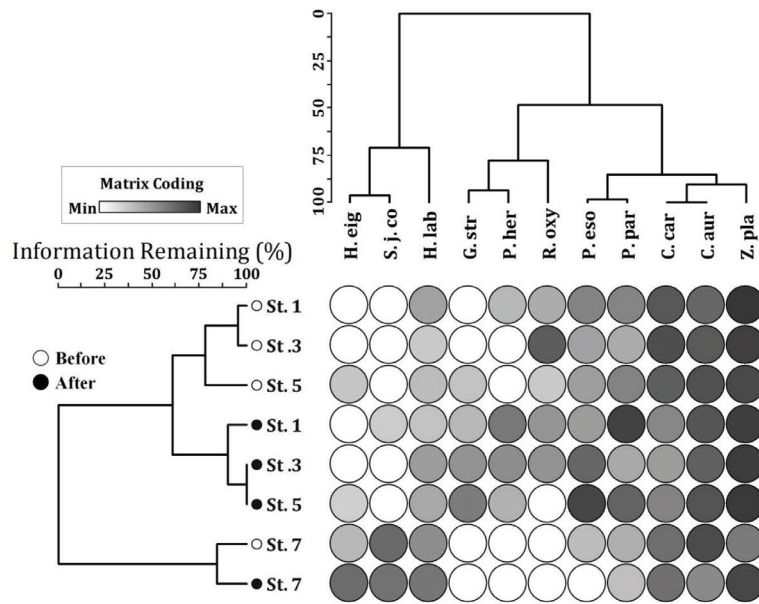


Fig. 7. Cluster analysis diagram between species and sampling sites in Jungrang stream (H.eig: *H. eigenmanni*, S.J.co: *S. japonicus coreanus*, H.lab: *H. labeo*, G.str: *G. strigatus*, P.her: *P. herzi*, R.oxy: *R. oxycephalus*, P.eso: *P. esocinus*, P.par: *P. parva*, C.car: *C. carpio*, C.aur: *C. auratus*, Z.pla: *Z. platypus*).

Table 1. Mean value of physical characteristics in each sites in Jungrang stream from 2008 to 2016.

Factors	Before rainfall				After rainfall			
	St. 1	St. 3	St. 5	St. 7	St. 1	St. 3	St. 5	St. 7
SW (m)	85.1 (±8.5)	116.7 (±41.2)	205.7 (±21.0)	238.6 (±59.3)	98.7 (±28.6)	125.0 (±42.7)	195.8 (±34.1)	236.7 (±56.2)
WW (m)	31.9 (±15.8)	45.9 (±24.2)	61.7 (±12.0)	100.8 (±19.3)	42.5 (±21.1)	58.9 (±30.3)	69.0 (±14.5)	100.0 (±19.9)
Boulder (%)	0.6 (±1.6)	0.0 (±0.0)	1.1 (±3.1)	1.7 (±2.4)	0.6 (±1.6)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	2.2 (±2.5)
Pebble (%)	4.4 (±2.8)	10.0 (±7.1)	5.0 (±4.7)	10.6 (±7.6)	8.3 (±6.2)	11.1 (±7.4)	7.2 (±4.2)	8.3 (±4.1)
Cobble (%)	17.8 (±8.9)	18.9 (±10.2)	13.3 (±10.8)	16.1 (±7.4)	17.8 (±8.9)	18.3 (±8.2)	12.8 (±5.3)	15.0 (±4.7)
Gravel (%)	22.2 (±7.9)	21.1 (±5.7)	15.6 (±9.3)	18.9 (±11.7)	23.3 (±8.2)	23.3 (±6.7)	18.9 (±7.4)	24.4 (±5.5)
Sand (%)	55.0 (±9.1)	50.0 (±19.3)	65.0 (±21.9)	52.8 (±17.7)	50.0 (±11.8)	47.2 (±18.1)	61.1 (±15.1)	50.0 (±12.2)

SW: Stream width, WW: Water width, Boulder (>256 mm), Cobble (64~256 mm), Pebble (16~64 mm), Gravel (2~16 mm), Sand (0.01~2 mm)

로 가장 높은 종수 및 개체수로 차이를 보였다(Fig. 5). 조사시기별로 전체지점에서 출현한 종수는 7~20종, 개체수는 208~827개체의 범위로 나타났으며, 강우기 후 대부분 종수 및 개체수가 증가 하였지만, '09년(종수), '11년(개체수), '13년(종수·개체수)의 경우 감소 하였다(Fig. 6). 한편 강우기 후 이스라엘잉어, 배스와 같은 외래종이 출현하였는데, '09년, '10년, '13년 모두 강우기 후에만 출현함에 따라, 중랑천 내 산란 및 서식처의 유무와 타 하천으로부터의 이입에 대한 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

강우기 전·후에 따른 CA분석 결과 지점간 유사도는 총 3개의 그룹으로 분석되었다. St. 7이 다른 3개 지점과 가장 낮은 유사도(0.0%)를 보였으며, 치리(H.eig), 물개(S.j.co),

누치(H.lab)의 출현양상이 차이의 원인으로 분석되었다. St. 1, 3, 5는 60.7%의 유사도로 강우기 전·후에 따라 줄물개(G.str), 돌고기(P.her), 버들치(R.oxy)의 출현양상 차이로 서로 구분되었다. 모래무지(P.eso), 참붕어(P.par), 잉어(C.car) 붕어(C.aur) 피라미(Z.pla)는 상류에서 하류까지 조사지점 전체에서 출현양상이 비교적 유사한 것으로 분석되었다(Fig. 7). PCA 분석, 고유값이 가장 높은 제 1요인(Axis 1, 20.7%, $p < 0.01$)과 제 2요인(Axis 2, 15.0%, $p = 0.02$)으로 살펴보면, 어류군집은 물개(S.j.co)가 제 1요인($r = 0.346$)과 제 2요인($r = 0.433$)에서 가장 높은 양의 상관관계로 분석되었으며, 음의 상관관계로는 제 1요인에서 돌고기(P.her, $r = -0.437$), 제 2요인에서 버들치(R.oxy, $r = -0.455$)가 가장 높게 나타났다. 환경요인은 제 1요인에서 TP($r = 0.633$)가 양의 상관관

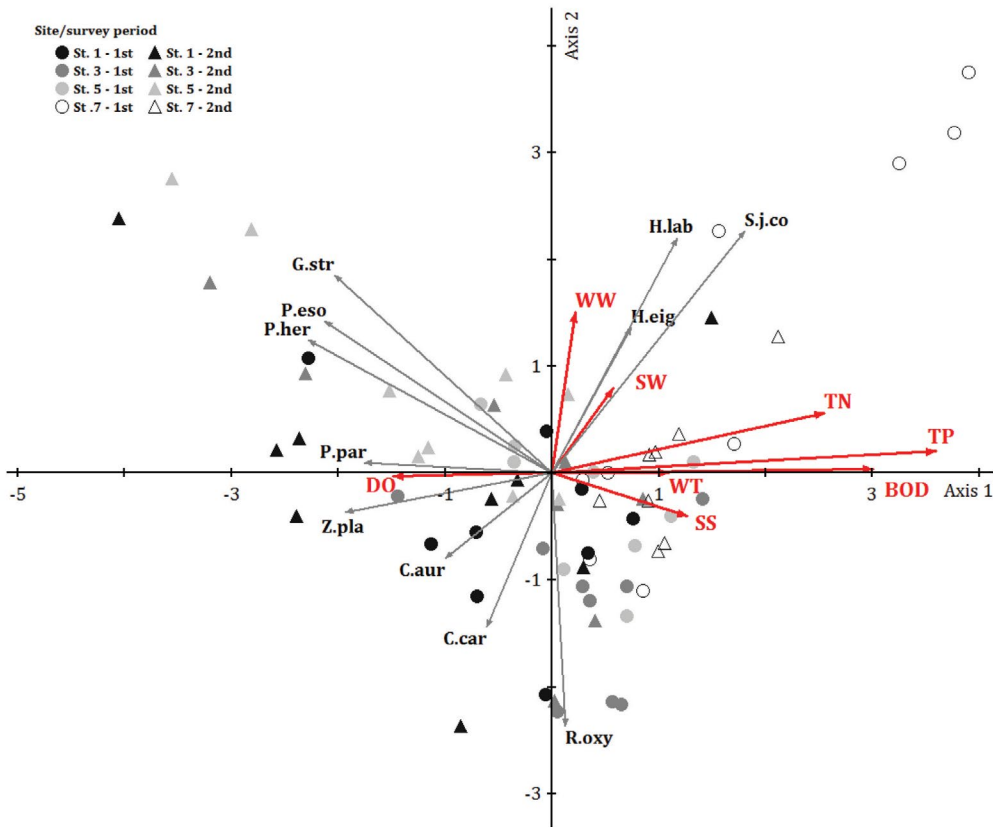


Fig. 8. Two axes of principal component analysis between 11 species and 15 environment factors in Jungrang stream (H.eig: *H. eigenmanni*, S.J.co: *S. japonicus coreanus*, H.lab: *H. labeo*, G.str: *G. strigatus*, P.her: *P. herzi*, R.oxy: *R. oxycephalus*, P.eso: *P. esocinus*, P.par: *P. parva*, C.car: *C. carpio*, C.aur: *C. auratus*, Z.pla: *Z. platypus*, SW: Stream width, WW: Water width).

계, DO ($r = -0.407$)가 음의 상관관계로 가장 높게 나타났으며, 제 2요인에서는 WW ($r = 0.408$)가 양의 상관관계, SS ($r = -0.212$)가 음의 상관관계로 가장 높게 나타났다(Table 1, Fig. 8). 결과적으로 제 1요인을 기준으로 양의 상관관계를 보이는 지점들은 물개, 누치, 치리의 출현양상과 오염지표(BOD, SS, TN, TP) 값의 증가, 하폭(WW)과 수폭(SW)이 비교적 큰 하류의 특징을 보여지고 있으며, 제 2요인을 기준으로 음의 상관관계를 보이는 지점들은 유기오염지표 중 SS 값의 증가와 WW, SW 등 서식환경 규모 감소에 따른 버들치(*R. oxy*), 잉어(*C. car*), 붕어(*C. aur*), 피라미(*Z. pla*)의 출현 양상으로 강우기 전·후의 차이를 보였다. 따라서 중랑천에 서식하는 어류군집의 안정성과 다양성을 확보하기 위해서는 하천 상·하류간에 발생하는 유기오염물질변화에 대한 대응방안이 필수적이고, 특히 집중 강우 전·후에 따라 도심구간내 발생하는 부유물질과 같은 수환경 교란물질의 체계적인 관리가 중랑천 생태계 유지 및 개선을 위해 매우 중요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 2008년부터 2016년까지 한강 지류 중랑천을 대상으로 수환경 변화에 따른 어류 군집 양상을 파악하고자 실시하였다. 조사결과, 중랑천에서 서식하는 어류는 총 9과 37종 8,421개체로 나타났으며 과별 출현 종수는 잉어과에서 23종(62.2%)으로 가장 많은 종이 출현하였고, 생태계교란종 및 외래종은 모두 강우기 후 출현하는 특성을 보였다. 수질변화에 따르면, BOD, EC, TN, TP의 변화는 강우량의 증가에 따라 감소하는 양상을 보이는 반면, SS 변화는 증가하는 양상을 보였다. 지점간 CA결과 한강 본류와 인접한 St. 7과 St. 1, 3, 5가 어류의 출현양상 차이를 보였으며, PCA 분석결과 상류에서 하류, 강우기 전과 후의 어류 출현양상과 유기오염지표의 변화 양상을 보였다.

사 사

본 연구는 2018년 국립환경과학원의 지류지천 어류폐사

원인 연구사업 III(NIER-2018-01-01-033)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- An, K.G. and S.J. Lee. 2018. Ecological Health Assessments, Conservation and Management in Korea Using Fish Multi-Metric Model. *Korean Journal of Ecology and Environment* **51**(1): 86-95.
- An, K.G., D.H. Yeom and S.K. Lee. 2001. Rapid Biomass assessments of Kap stream using the index of biological integrity. *Korean Journal Environment and Biology* **19**(4): 261-269.
- Bae, K.S., G.B. Kim, H.K. Kil, B.T. Yu and M.Y. Kim. 2002. Long-term Changes of the Fish Fauna and Community Structure in the Jungrang Creek. *Korean Journal of Limnological Society* **35**(2): 63-70.
- Bae, K.S., J.T. Park, G.C. Cho, H.K. Kil and J.Y. Shin. 1997. An Ecological Study on the Aquatic Animals in Jungrang Stream of Seoul. *Korean Journal of Environmental Health Society* **23**(2): 89-97.
- Beisner, B.E., P.R. Peres-Neto, E.S. Lindstrom, A. Barnett and M.L. Longhi. 2006. The role of environmental and spatial processes in structuring lake communities from bacteria to fish. *Ecology* **87**(12): 2985-2991.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* **27**(4): 325-349.
- Byeon, H.K. 2013. The Fish Fauna Changes and Characteristics Populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye Stream after the Rehabilitation, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **27**(6): 695-703.
- Byeon, H.K. 2018. Characteristic of Fish Community in the Stream Flowing into the Han River in Seoul, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **32**(3): 261-273.
- Choi, J.K. and H.G. Byeon. 2009. The Fish Fauna and Community of Gwangneung Arboretum. *Korean Journal of Limnological Society* **42**(2): 145-152.
- Choi, J.K., C.R. Jang and H.K. Byeon. 2011. The Characteristic of Fish Fauna by Habitat Type and Population of *Zacco platypus* in the Tan Stream. *Korean Journal of Environment Ecology* **25**(1): 71-80.
- Choi, J.K., H.K. Byeon, Y.S. Kwon and Y.S. Park. 2008. Spatial and Temporal Changes of Fish Community in the Cheonggye Stream after the Rehabilitation Project. *Korean Journal of Limnological Society* **41**(3): 374-381.
- Choi, J.K., J.S. Choi, H.S. Shin and S.C. Park. 2005. Study on the Dynamics of the Fish Community in the Lake Hoengseong Region. *Korean Journal of Limnological Society* **38**(2): 188-195.
- Choi, S.Y., J.H. Han, J.W. Choi and K.G. An. 2017. Trophic gradients of two minnow species with similar eco-type and their relations to water chemistry and multimetric biological integrity. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity* **10**(3): 371-378.
- Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *The American Midland Naturalist* **67**: 477-504.
- Durhan, B.W., G.R. Wilds and L.L. Pope. 2006. Temperature caused fish kill in a flowing great plains river. *The Southwestern Naturalist* **51**: 397-401.
- Gal J.K., M.S. Kim, Y.J. Lee, J. Seo and K.H. Shin. 2012. Foodweb of Aquatic Ecosystem within the Tamjin River through the Determination of Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios. *Korean Journal of Limnological Society* **45**(2): 242-251.
- Jeon, S.L. 1980. Distribution about Korean fresh water fish. Univ. of Chung-ang, pp. 30-72.
- Jones, J.P.G., F.B. Andriahajania and N.J. Hockley. 2005. A multidisciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. *Conservation Biology* **19**: 1863-1871.
- Kaiser, H.F. 1958. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. *Psychometrika* **23**: 187-200.
- Kaiser, H.F. 1961. A note on Guttman's lower bound for the number of common factors. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* **14**: 1-2.
- Kang, S.H., H.G. Kim and B.H. Koo. 2007. A Study on Changing of Flora Pre and Post of Restoration in Cheonggyecheon Stream. *The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology* **10**(3): 8-13.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education Republic of Korea, 629pp.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, p. 465.
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya. 2005. A new Species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **17**(1): 1-7.
- Kim, Y.T., Y.L. Kim, N.C. Woo and S.G. Hyun. 2006. Hydrochemical Characteristics and Changes by Rainfall in the Jungrang River. *Journal of Korean Society on Water Quality* **22**(4): 666-671.
- Lee, E.H., D.G. Seo, H.D. Hwang, J.H. Yun and J.H. Choi. 2006. Causes of fish kill in the urban stream I – Field surveys and laboratory experiments. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* **20**: 573-584.
- Lee, H.G. and J.K. Choi. 2015. The Characteristic of Fish Community Following the Restoration of Yangjae Stream. *Korean Journal of Ecology and Environment* **29**(6): 873-883.
- Lee, J.Y., K.Y. Lee, Saeromi Lee, J.S. Choi, S.J. Lee, S.M. Jung,

- M.S. Jung and B.C. Kim. 2013. Recovery of Fish Community and Water Quality in Streams Where Fish Kills have Occurred. *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**(2): 154-165.
- Lee, S.H., H.G. Jeong, H.S. Shin, Y.N. Shin, S.W. Lee and J.K. Lee. 2017. Comparison on Ecological Index Characteristics between *Zacco platypus* and *Zacco koreanus* by Stream orders in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **50**(4): 403-410.
- Lee, S.H., H.G. Lee, H.S. Shin and J.K. Choi. 2012. The Characteristics of Fish Fauna and Distribution by Habitat Type in the Yanghwa Stream of the Namhan River Basins. *Korean Journal Limnological Society* **26**(6): 884-891.
- Lee, S.W., E.Y. Yun and J.K. Kim. 2014. Comparison Trends of Animal and Plant Ecosystems Before and After Stream Restoration. *Journal of Korean Society of Environmental Technology* **15**(4): 255-262.
- Lee, T.G. and H.S. Byun. 2001. The Management for the water quality of Jung-rang river. *Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment* **9**(1): 45-52.
- McCune, B. and M.J. Mefford. 2011. PC-ORD for windows: multivariate analysis of ecological data 6th edn. MjM Software, Gleneden Beach.
- Moon, W.K., J.H. Han and K.G. An. 2010. Fish fauna and community analysis in Heuck Stream Watershed. *Korean Journal of Limnological Society* **43**(1): 69-81.
- NIER. 2014. Mortality of Fish in Fresh water. National Institute of Environmental Research. 96pp.
- NIER. 2015. Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment (VIII). The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research. 693pp.
- NIER. 2016. Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment (IX). The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research. 319pp.
- NIER. 2017. Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment (X). The Ministry of Environment/National Institute of Environmental Research. 335pp.
- Ward Jr., J.H. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* **58**(301): 236-244.
- Ward Jr., J.H. and M.E. Hook. 1963. Application of an Hierarchical Grouping Procedure to a Problem of Grouping Profiles. *Educational and Psychological Measurement* **23**(1): 69-81.
- Yoon, H.N. 2000. Studies on the inhabitation limiting factors of the genus *Zacco* in Korea. Master's thesis, Univ. of Sangmyung, Seoul, Korea, 80pp.

Appendix 1. Total number of species and individuals collected in Jungrang stream from 2008 to 2016.

Family/Species	St. 1											St. 3						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cyprinidae																		
<i>Cyprinus carpio</i>	6	15	17	21	28	5	5	22	21	3	22	2	3	28	46	11	31	31
<i>Cyprinus carpio</i> (Israeli type)															1			
<i>Carassius auratus</i>	20	66	14	14	10	33	2	26	11	72	29	10	2	31	27	3	3	8
<i>Carassius cuvieri</i>			4															
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>																		
<i>Acheilognathus rhombeus</i>																		
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>																		
<i>Pseudorasbora parva</i>		30		7	170	37	19	92	41	4				10	26		12	24
<i>Pungtungia herzi</i>					6	4	22	12	13									
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>																		
<i>Gnathopogon strigatus</i>					13										6		7	19
<i>Squalidus gracilis mejimae</i>																		
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>			2															
<i>Hemibarbus labeo</i>			5	16		6						3		2	3	2		18
<i>Hemibarbus longirostris</i>					1													7
<i>Pseudogobio esocinus</i>				5	14	14	8	7	18			5		14	25	6	14	37
<i>Abbottina rivularis</i>																		
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	2	25	6	4					9	27	3	39				34		23
<i>Zacco koreanus</i>																		58
<i>Zacco platypus</i>	184	542	359	267	199	442	119	42	84	59	48	124	43	74	393	141	238	167
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>																		
<i>Erythroculter erythropterus</i>																		
<i>Hemiculter eigenmanni</i>																		
Cobitidae																		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	5											1		4				
<i>Misgurnus mizolepis</i>	1																	
Bagridae																		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>																		
Siluridae																		
<i>Silurus asotus</i>	1																	
Mugilidae																		
<i>Mugil cephalus</i>																		
<i>Chelon haematocheilus</i>																		
Adrianiichthyidae																		
<i>Oryzias sinensis</i>																23		
Centrarchidae																		
<i>Micropterus salmoides</i>																		
Odontobutidae																		
<i>Odontobutis interrupta</i>	7								1									
Gobiidae																		
<i>Acanthogobius lactipes</i>																		
<i>Rhinogobius giurinus</i>																		
<i>Rhinogobius brunneus</i>			1	3														
<i>Tridentiger bifasciatus</i>																		
<i>Tridentiger brevispinis</i>																		
Number of species	8	5	8	8	8	8	9	6	8	5	4	7	4	7	8	8	6	10
Number of individuals	226	678	408	337	441	548	191	201	198	165	102	180	53	163	527	221	305	392

Family/Species	St. 5										St. 7							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cyprinidae																		
<i>Cyprinus carpio</i>	6	16	3	7	28	12	17	36	8	7	13	4	1	26	5	7	46	9
<i>Cyprinus carpio</i> (Israeli type)																		
<i>Carassius auratus</i>	35	14	4	55	14	38	27	48	46	10			1	2	5	59	39	94
<i>Carassius cuvieri</i>																		8
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>									2									5
<i>Acheilognathus rhombus</i>									14									5
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>										9					10			5
<i>Pseudorasbora parva</i>	52	4	3	15	3	43	2		17									2
<i>Pungtungia herzi</i>																		
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>									1									
<i>Gnathopogon strigatus</i>					35				11									
<i>Squalidus gracilis mejimae</i>	2																	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>									4	26	5	45	20	9	2	3	1	56
<i>Hemibarbus labeo</i>	2	3		12	6	2			6		14	7	9	9	2			14
<i>Hemibarbus longirostris</i>																		
<i>Pseudogobio esocinus</i>			11	8	43	37	89	102	21						8			
<i>Abbottina rivularis</i>	1																	
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>									3									
<i>Zacco coreanus</i>																		
<i>Zacco platypus</i>	33	100	87	25	256	90	115	264	95	18	74	35	25	26	35			24
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>		6				5				4		14	32					
<i>Erythroculter erythropterus</i>										1			2		7			4
<i>Hemiculter eigenmanni</i>			1				4				1	1			11			68
Cobitidae																		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>																		
<i>Misgurnus mizolepis</i>		1																
Bagridae																		
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>			1															
Siluridae																		
<i>Silurus asotus</i>																		
Mugilidae																		
<i>Mugil cephalus</i>										1	2		1					
<i>Chelon haematocheilus</i>										1				2				
Adriamichthyidae																		
<i>Oryzias sinensis</i>				3														
Centrarchidae																		
<i>Micropterus salmoides</i>		1																
Odontobutidae																		
<i>Odontobutis interrupta</i>	1					1	3	1										
Gobiidae																		
<i>Acanthogobius lactipes</i>										1								
<i>Rhinogobius giurinus</i>																		
<i>Rhinogobius brunneus</i>						1		6				2		1		2		1
<i>Tridentiger bifasciatus</i>																		
<i>Tridentiger brevispinis</i>					14	2	1	3	1	1	1	1		2				8
Number of species	7	8	8	7	8	10	6	8	13	11	8	9	8	6	6	7	3	13
Number of individuals	131	145	111	125	399	231	253	457	236	79	111	110	91	66	59	97	86	298