

송현천에 서식하는 멸종위기어류 버들가지 *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae)의 섭식생태

권혁영 · 서형수¹ · 고명훈^{2,*}

에코박스, ¹국립생태원, ²고수생태연구소

Feeding Ecology of the Endangered Endemic Species, *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae) in the Songhyeoncheon (Stream), Korea by Hyeok-Yeong Kwon, Hyung-Soo Seo¹ and Myeong-Hun Ko^{2,*} (Eco-boxes, Andong 36740, Republic of Korea; ¹National Institute of Ecology, Seoecheon 33657, Republic of Korea; ²Kosoo Ecology Institute, Seoul 07952, Republic of Korea)

ABSTRACT To reveal the feeding ecology of *Rhynchocypris semotilus*, the survey was conducted in Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do in April 2022. As a result of analyzing the contents of the stomach using the index of relative importance (IRI), the important prey organisms were mainly Trichoptera (46.6%), Ephemeroptera (27.6%), Diptera (12.6%), Odonata (9.7%), Plecoptera (2.8%), Coleoptera (0.6%), and Hemiptera (0.1%) of Class Insecta, Phylum Arthropoda in that order. As a result of analyzing the trend by calculating the index of relative importance (IRI) for each age, it was found that those born in the same year mainly feed on relatively small Ephemeroptera and Diptera, but the proportion of these gradually decreases as they grow. And the proportion of relatively large Trichoptera and Odonata gradually increased, turning them into the most important food source for those over 3 years old. Additionally, prey size was the smallest at 2.8 ± 2.5 (0.6 to 9.0) mm for individuals born in the same year, but gradually increased to 5.1 ± 6.1 (1.1 to 17.0) mm for individuals born more than 3 years. As a result of examining prey selectivity, Plecoptera (+0.78), Trichoptera (+0.66), Coleoptera (+0.66), and Hemiptera (+0.03) showed positive selectivity, while Amphipoda (-1.00), Ephemeroptera (-0.24), Odonata (-0.13) and Diptera (-0.05) showed negative selectivity.

Key words: *Rhynchocypris semotilus*, endangered species, index of relative importance (IRI), sizes of prey organisms, prey selectivity

서 론

멸종위기종 버들가지 *Rhynchocypris semotilus*는 잉어목 (Cypriniformes) 잉어과 (Cyprinidae)에 속하는 냉수성 소형어 류로, 우리나라 DMZ 일대인 강원도 고성군의 현내면 (송현천) 과 수동면 (고진동, 오소동), 북한의 고성군과 원산시, 함흥시 일 대에 서식하는 한반도 고유종이다 (Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Kim *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2021). 버들가지는 서식지가 좁고 개체수가 많지 않아 1996년 처음으로 특정야생동·식물에 지정

되었고, 이후 1998년에 해제되었다가 2012년 다시 멸종위기 야 생동물 II급으로 지정되어 현재까지 유지되고 있다 (ME, 1996, 1998, 2005, 2012, 2017, 2022). 버들가지에 대한 연구는 DMZ 일원 생태조사의 일환의 출현보고 (BCP, 1974; Jeon, 1987; Son and Jeon, 1991; Jeon and Hwang, 1992; Jeon *et al.*, 1995; KFS, 2000; NIER, 2001, 2012; NFRI and ME, 2004; NIE, 2014, 2015, 2019a)가 있고, 멸종위협등급 평가로 2011년은 위기 (CR)으로 (NIBR, 2011), 2019년은 위기 (EN)로 (NIBR, 2019), 2021년은 취약 (VU)으로 평가되었다 (Choi *et al.*, 2021). 이 중 2021년 연 구는 실제 서식지 및 생태학적 특징을 조사하여 출현범위와 점 유면적, 지소수가 적고 성숙개체수가 1,000개체 이하인 것을 근 거로 취약 (VU)으로 평가하였다 (Choi *et al.*, 2021). 또한 최근

저자 직위: 권혁영 (대표), 서형수 (전임연구원), 고명훈 (소장)
*Corresponding author: Myeong-Hun Ko Tel: 82-70-7370-6612,
E-mail: hun7146@gmail.com

송현천에서 서식지 특징, 성장 및 연령, 산란기 특징 등의 생태학적 연구가 진행되면서 버들가지의 생활사가 밝혀졌다(Ko *et al.*, 2023). 하지만 아직까지 버들가지의 섭식생태에 대한 보고는 수서곤충, 작은 갑각류, 실지렁이 등을 섭식한다는 일부 문헌의 간략한 설명(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019)만이 있을 뿐 자세한 연구는 진행되지 못하였다.

연구가 진행된 송현천은 고진동과 더불어 버들가지의 최대 서식지로(BCP, 1974; Son and Jeon, 1991; KFS, 2000; Choi *et al.*, 2021), 우리나라 동부지역의 최북단인 강원도 고성군 현내면에 위치한 독립하천이며, 하천 전체가 민통선통제선 이북지역에 속한다(Kwater, 2007; NIE, 2015).

본 연구에서는 멸종위기종 버들가지의 보존을 위한 연구의 일환으로, 아직까지 연구되지 않은 버들가지의 섭식생태를 집단서식지인 송현천에서 연구하여 생물학적 특징을 밝히고 근연종들과 비교·논의하고자 하였다.

재료 및 방법

버들가지의 섭식생태를 밝히기 위해 버들가지가 많이 서식하고 있는 강원도 고성군 현내면 송현리 송현천을 대상으로 연구를 수행하였다(Fig. 1). 본 종은 환경부지정 멸종위기 야생생물 II급에 지정된 어류이기 때문에 원주지방환경청의 포획허

가(제2022-07호) 및 군부대의 출입허가를 받은 후 당년생 치어는 망목 1×1 mm 족대를, 1년생 이상의 개체는 망목 4×4 mm 족대를 사용하여 채집하였다. 섭식분석용 개체는 포획허용 개체수를 고려하여 비교적 다양한 먹이를 섭식하는 봄(2022년 4월)으로 한정하였으며, 채집된 개체 중 4월의 전장빈도분포도(Ko *et al.*, 2023)에 따라 연령별(당년생(0+): 30~45 mm, 1년생(1+): 46~63 mm, 2년생(2+): 68~91 mm, 3년생 이상(≥3+): 92~115 mm)로 구분 후 무작위로 5개체를 선정하여 10% 포르말린수용액에 고정하였고, 그 외 개체는 바로 방류하였다. 또한 같은 장소에서 환경먹이생물인 저서성대형무척추동물은 제5차 전국자연환경조사 조사방법(NIE, 2019b)에 따라 뜰채(Scoop net, 망목 1×1 mm)를 이용하여 정성채집을 하였으며 95% 에틸알콜에 고정하였다.

10% 포르말린수용액에 고정된 개체는 실험실에서 복부를 절개하여 소화관내용물을 적출한 후 해부현미경(Olympus SZX9, Japan)과 광학현미경(Olympus BX50, Japan)상에서 먹이생물을 분류·동정하여 계수하고 eXcope(Dixi Science, Korea)를 사용하여 부피를 측정하였다. 환경먹이생물 및 소화관내용물의 먹이생물의 동정과 학명은 Jo (1993)와 Yoon (1995), Won *et al.* (2005), Kwon *et al.* (2013), Kim *et al.* (2013), NIBR (2022) 등을 따랐다. 분석된 먹이생물은 Pinkas *et al.* (1971)의 방법을 응용하여 개체수(%N)와 부피(%V), 출현빈도(%F)를 이용한 상대중요성지수(index of relative importance, IRI) = (%N + %V) × %F 로 계산한 후 백분율로 환산하여(%IRI) 비교하였다. 연령에 따른 먹이변화는 상대중요성지수로 계산하여 비교하였으며, 먹이 크기를 측정하여 연령별 차이 및 유의성을 검증하였다. 유의성은 SPSS 21.0을 사용하여 일원배치분산분석(One-way ANOVA, α=0.05)을 수행하여 검증하였다. 먹이 선택성 조사는 Ivlev (1961)의 방법을 따라 위 내용물의 분류군별 비율(the relative abundance of prey category i in the stomach, ri)과 환경먹이생물 비율(the relative abundance of prey category i in the environment, pi)을 이용하여 먹이 선택성 지수(index of selectivity, E) = (ri - pi)/(ri + pi)를 계산하였다.

결 과

1. 위 내용물

4월에 채집된 버들가지 연령별 먹이생물의 개체수와 부피, 출현빈도, 상대중요성지수(IRI)는 Table 1과 같이 나타났다. 먹이생물의 개체수(N)는 곤충강(Insecta)의 날도래목(Trichoptera, 35.2%), 하루살이목(Ephemeroptera, 30.7%), 파리목(Diptera, 19.3%), 잠자리목(Odonata, 4.5%), 강도래목(Plecoptera, 5.7%), 딱정벌레목(Coleoptera, 3.4%), 노린재목(Hemiptera, 1.1%) 순으

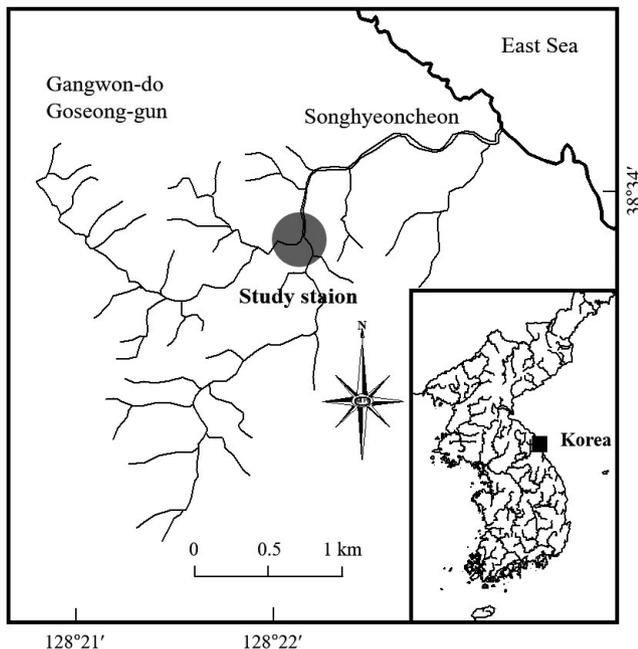


Fig. 1. Study station of *Rhynchocypris semotilus* in the Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do, Korea, 2022.

Table 1. The number, volume, occurrence ratio and index of relative importance (IRI) of the stomach content compositions of *Rhynchocypris semotilu* (n = 20) in the Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do, Korea, April, 2022

Prey organisms	Number (Age)				Total	Number (%)	Volume (%)	Occurrence (%)	IRI	IRI (%)
	0+ (n=5)	1+ (n=5)	2+ (n=5)	≥3+ (n=5)						
Class Insecta 곤충강										
Order Trichoptera 날도래목	4	3	9	15	31	35.2	30.2	70.0	4576.6	46.6
Family Hydropsychidae 줄날도래과										
<i>Cheumatopsyche brevilineata</i> 꼬마줄날도래			1		1	1.1	6.6	5.0		
Family Goeridae 가시날도래과										
Unidentification spp.			4	12	16	18.2	2.4	25.0		
Family Polycentropodidae 깃날도래과										
<i>Plectrocnemia</i> KUa 깃날도래 KUa			1	2	3	3.4	0.2	10.0		
Family Lepidostomatidae 네모집날도래과										
<i>Lepidostoma</i> sp. 네모집날도래류		1			1	1.1	0.2	5.0		
Family Stenopsychidae 각날도래과										
Unidentification spp.				1	1	1.1	8.2	5.0		
Family unidentification spp.	4	2	3		9	10.2	12.7	40.0		
Order Ephemeroptera 하루살이목	8	13	2	4	27	30.7	23.5	50.0	2710.9	27.6
Family Ephemeridae 하루살이과										
<i>Ephemera strigata</i> 무늬하루살이	1				1	1.1	2.8	5.0		
Unidentification spp.		2	1		3	3.4	9.0	15.0		
Family Ephemerellidae 알락하루살이과										
<i>Cincticostella levanidovae</i> 민하루살이	4	1			5	5.7	1.2	10.0		
Unidentification spp.	2	10	1	2	15	17.0	10.3	30.0		
Family Baetidae 꼬마하루살이과										
Unidentification spp.	1				1	1.1	0.1	5.0		
Family Heptageniidae 납작하루살이과										
Unidentification spp.				2	2	2.3	0.2	5.0		
Order Diptera 파리목	6	4	4	3	17	19.3	3.1	55.0	1234.3	12.6
Family Tipulidae 각다귀과										
<i>Antocha</i> KUa 명주각다귀 KUa	1	2	2		5	5.7	1.4	20.0		
Family Chironomidae 깔따구과										
Unidentification spp.	3	1	1	3	8	9.1	0.4	35.0		
Family unidentification spp.	2	1	1		4	4.5	1.2	20.0		
Order Odonata 잠자리목		2	1	1	4	4.5	33.5	25.0	952.3	9.7
Family Gomphidae 측범잠자리과										
<i>Davidius lunatus</i> 쇠측범잠자리		1		1	2	2.3	33.3	10.0		
Family unidentification spp.		1	1		2	2.3	0.3	10.0		
Order Plecoptera 강도래목	1	2	1	1	5	5.7	8.2	20.0	278.5	2.8
Family Perlodidae 그물강도래과										
Unidentification spp.		2	1	1	4	4.5	8.2	15.0		
Family Nemouridae 민강도래과										
Unidentification spp.	1				1	1.1	0.1	5.0		
Order Coleoptera 딱정벌레목		1		2	3	3.4	0.6	15.0	60.3	0.6
Family Curculionidae 바구미과										
Unidentification spp.				1	1	1.1	0.1	5.0		
Family Coccinellidae 무당벌레과										
<i>Nephus (Nephus) phosphorus</i> 쌍점애기무당벌레		1		1	2	2.3	0.5	10.0		
Order Hemiptera 노린재목				1	1	1.1	0.8	5.0	9.6	0.1
Family unidentification spp.				1	1	1.1	0.8	5.0		
Total	19	25	17	27	88				9822.5	

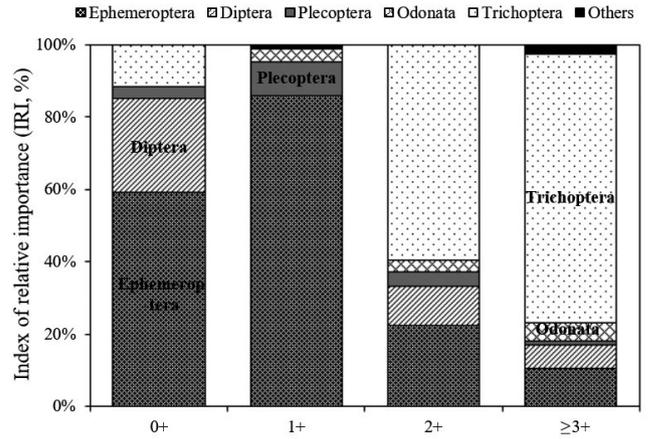
로 높게 나타나 날도래목이 가장 많았다. 날도래목에서는 가시날도래과(Goeridae)의 미동정(Unidentification spp.) 16개체, 깃날도래과(Polycentropodidae)의 깃날도래 KUa *Plectrocnemia* KUa 3개체, 줄날도래과(Hydropsychidae)의 꼬마줄날도래 *Cheumatopsyche brevilineata* 1개체, 네모집날도래과(Lepidostomatidae)의 네모집날도래류 *Lepidostoma* sp. 1개체, 각날도래과(Stenopsychidae) 미동정 1개체, 미동정과 9개체 등이 출현하였다. 하루살이목에서는 알락하루살이과(Ephemerellidae)의 민하루살이 *Cincticostella levanidovae* 5개체, 미동정 15개체, 하루살이과(Ephemeridae)의 무늬하루살이 *Ephemerella strigata* 1개체, 미동정 3개체, 납작하루살이과(Heptageniidae)의 미동정 2개체, 꼬마하루살이과(Baetidae)의 미동정 1개체 등이 출현하였다. 파리목은 깔따구과(Chironomidae) 미동정 8개체, 각다귀과(Tipulidae)의 명주각다귀 KUa *Antocha* KUa 5개체, 미동정과 4개체 등이 확인되었고, 잠자리목에서는 측범잠자리과(Gomphidae)의 쇠측범잠자리 *Davidius lunatus* 2개체, 미동정과 2개체, 강도래목에서는 그물강도래과(Perlodidae) 미동정 4개체, 민강도래과(Nemouridae) 미동정 1개체, 딱정벌레목에서는 무당벌레과(Coccinellidae)의 쌍점애기무당벌레 *Nephus (Nephus) phosphorus* 2개체, 바구미과(Curculionidae) 미동정 1개체가 확인되었으며, 노린재목에서는 미동정과에서 1개체가 출현하였다. 먹이수는 당년생(0+) 19개체, 만 1년생(1+) 25개체, 만 2년생(2+) 17개체, 만 3년생 이상(≥3+) 27개체로 만 3년생 이상이 가장 많았다.

먹이생물의 부피(V)는 잠자리목(33.5%), 날도래목(30.2%), 하루살이목(23.5%), 강도래목(8.2%), 파리목(3.1%), 노린재목(0.8%), 딱정벌레목(0.6%) 등의 순으로 나타나 잠자리목이 가장 높았고, 빈도(F)는 날도래목(70.0%), 파리목(55.0%), 하루살이목(50.0%), 잠자리목(25.0%), 강도래목(20.0%), 딱정벌레목(15.0%), 노린재목(5.0%) 순으로 나타나 날도래목이 가장 높았다.

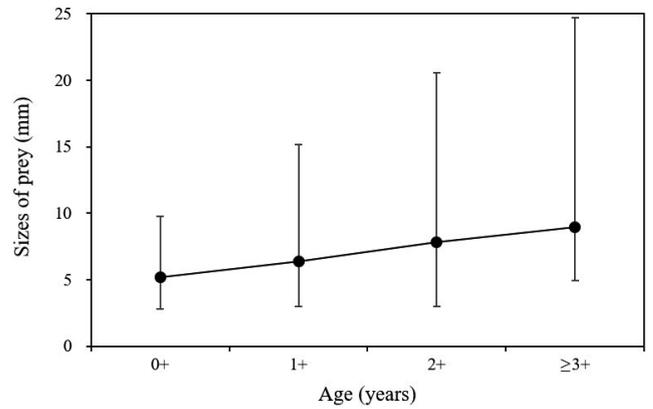
먹이의 수, 부피, 빈도를 반영하여 계산하는 상대중요성지수(IRI)는 날도래목(46.6%), 하루살이목(27.6%), 파리목(12.6%), 잠자리목(9.7%), 강도래목(2.8%), 딱정벌레목(0.6%), 노린재목(0.1%) 순으로 중요한 먹이생물로 나타났다.

2. 성장에 따른 먹이 조성 및 크기 변화

성장에 따른 먹이 조성 및 크기 변화는 Fig. 2와 같았다. 연령별로 상대중요성지수로 계산한 결과, 당년생(0+)은 하루살이목(59.0%)과 파리목(26.1%), 날도래목(11.5%) 등을 주로 섭식하였고, 만 1년생(1+)은 하루살이목(85.9%)과 강도래목(9.3%), 잠자리목(3.6%) 등을 섭식하였으며, 만 2년생(2+)은 날도래목(59.4%), 하루살이목(22.3%), 파리목(10.9%), 강도래목(4.1%), 잠자리목(3.3%) 등을, 만 3년생 이상(≥3+)은 날도래



A. Ontogenetic change in composition of stomach contents by IRI



B. Ontogenetic change in sizes of prey organisms

Fig. 2. Ontogenetic (age) changes in composition of stomach contents by index of relative importance (IRI) (A) and sizes of prey organisms (B) of *Rhynchocypris semotilus* in the Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do, Korea, 2022. Circles and bars represent the mean and range of the prey size.

목(74.3%), 하루살이목(10.4%), 파리목(6.8%), 잠자리목(5.0%) 등을 주로 섭식하였다. 따라서 당년생은 비교적 크기가 작은 하루살이목과 파리목을 주로 섭식하지만 성장함에 따라 이들의 비율은 점차 감소하고 비교적 크기가 큰 날도래목과 잠자리목의 비율이 점차 증가하였고 만 3년생 이상에서는 날도래목이 가장 중요한 먹이원이었다(Fig. 2A).

먹이 크기는 당년생의 개체가 2.8±2.5 (0.6~9.0) mm로 가장 작았으나 만 1년생 4.0±2.6 (1.0~11.0) mm, 만 2년생 4.6±4.5 (1.0~15.0) mm, 만 3년생 이상 5.1±6.1 (1.1~17.0) mm로 나타나 평균 크기 및 범위가 급격히 커지는 것으로 나타났다(Fig. 2B). 연령별 먹이 크기 유의성을 분석한 결과, 당년생 대 만 3년생 이상(One-way-ANOVA, p<0.05), 만 1년생 대 만 3년생 이상(p<0.05)에서만 유의성을 보였으나 당년생 대 만 1년생, 당년생 대 만 2년생, 만 1년생 대 만 2년생, 만 2년생 대 만 3년생 이상은 유의성이 없었다(p>0.05).

Table 2. Environmental prey organisms of *Rhynchocypris semotilus* in the Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do, Korea, April 2022

Scientific and Korean name	Number of individuals	Scientific and Korean name	Number of individuals
Phylum Nematomorpha 유선형동물문		<i>Shaogomphus postocularis epophthalmus</i> 어리측범잠자리	3
Class Gordioida 연가시강		<i>Sieboldius albardae</i> 어리장수잠자리	2
Order Gordea 연가시목		Family Macromiidae 잔산잠자리과	
Family Gordiidae 연가시과		<i>Macromia amphigena</i> 잔산잠자리	2
<i>Gordius aquaticus</i> 연가시	1	Order Plecoptera 강도래목	
Phylum Mollusca 연체동물문		Family Nemouridae 민강도래과	
Class Bivalvia 이매패강		<i>Nemoura</i> KUb 민강도래 KUb	1
Order Veneroida 백합목		Family Perlidae 강도래과	
Family Sphaeriidae 산골과		<i>Kamimuria coreana</i> 한국강도래	1
<i>Pisidium coreanum</i> 산골조개	2	Order Hemiptera 노린재목	
Class Gastropoda 복족강		Family Belostomatidae 물장군과	
Order Systellommatophora 수병안목		<i>Appasus japonicus</i> 물자라	1
Family Planorbidae 또아리물달팽이과		Family Nepidae 장구애비과	
<i>Hippeutis cantori</i> 수정또아리물달팽이	1	<i>Ranatra unicolor</i> 방개아재비	1
Order Unassigned		Family Notonectidae 송장해엄치계과	
Family Pleuroceridae 다슬기과		<i>Notonecta (Paranecta) triguttata</i> 송장해엄치계	1
<i>Semisulcospira libertina</i> 다슬기	1	Order Coleoptera 딱정벌레목	
Phylum Arthropoda 절지동물문		Family Hydrophilidae 물뽕뽕이과	
Class Malacostraca 연갑강		<i>Laccobius (Laccobius) bedeli</i> 점물뽕뽕이	1
Order Amphipoda 단각목		Order Diptera 파리목	
Family Gammaridae 옆새우과		Family Athericidae 개울등에과	
<i>Gammarus sobaegensis</i> 보통옆새우	33	<i>Suragina</i> KUb 긴개울등에 KUb	5
Class Insecta 곤충강		Family Chironomidae 갈따구과	
Order Ephemeroptera 하루살이목		Chironomidae sp. 갈따구류	38
Family Baetidae 꼬마하루살이과		Family Simuliidae 딱파리과	
<i>Baetiella tuberculata</i> 애호랑하루살이	4	<i>Simulium</i> sp. 딱파리류	16
<i>Baetis silvaticus</i> 감초하루살이	2	Family Tipulidae 각다귀과	
<i>Labiobaetis atrebatinus</i> 입술하루살이	3	<i>Antocha</i> KUa 명주각다귀 KUa	3
<i>Proclleon pennulatum</i> 갈고리하루살이	3	<i>Hexatoma</i> KUa 검정날개각다귀 KUa	
Family Ephemerellidae 알락하루살이과		Order Trichoptera 날도래목	
<i>Ephemerella atagosana</i> 알락하루살이	3	Family Goeridae 가시날도래과	
<i>Serratella setigera</i> 범꼬리하루살이	30	<i>Goera parvula</i> 그물가시날도래	1
<i>Teloganopsis punctisetae</i> 등줄하루살이	40	<i>Goera</i> sp. 가시날도래류	1
Family Ephemeridae 하루살이과		Family Hydropsychidae 줄날도래과	
<i>Ephemera orientalis</i> 동양하루살이	36	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i> 꼬마줄날도래	3
<i>Ephemera strigata</i> 무늬하루살이	2	<i>Hydropsyche orientalis</i> 동양줄날도래	1
Family Heptageniidae 납작하루살이과		Family Lepidostomatidae 네모집날도래과	
<i>Ecdyonurus kibunensis</i> 두점하루살이	3	<i>Lepidostoma</i> KUb 네모집날도래 KUb	1
<i>Epeorus pellucidus</i> 부채하루살이	5	Family Limnephilidae 우묵날도래과	
<i>Heptagenia kihada</i> 햇님하루살이	2	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i> 띠무늬우묵날도래	2
Family Leptophlebiidae 갈래하루살이과		<i>Nothopsyche</i> KUa 갈색우묵날도래 KUa	2
<i>Paraleptophlebia japonica</i> 두갈래하루살이	11	Family Odontoceridae 바수염날도래과	
Order Odonata 잠자리목		<i>Psilotreta locumtenens</i> 수염치레날도래	2
Family Aeshnidae 왕잠자리과		Family Rhyacophilidae 물날도래과	
<i>Boyeria maclachlani</i> 개미허리왕잠자리	4	<i>Rhyacophila brevicephala</i> 넓은머리물날도래	3
Family Calopterygidae 물잠자리과		<i>Rhyacophila clemens</i> 클레멘스물날도래	1
<i>Atrocalopteryx atrata</i> 검은물잠자리	3	<i>Rhyacophila lata</i> 올챙이물날도래	3
Family Cordulegastridae 장수잠자리과		Family Stenopsychidae 각날도래과	
<i>Anotogaster sieboldii</i> 장수잠자리	2	<i>Stenopsyche marmorata</i> 멧쟁이가날도래	1
Family Gomphidae 측범잠자리과		Total number of species	47
<i>Davidius lunatus</i> 쇠측범잠자리	1	Total number of individuals	288

3. 환경먹이생물

환경먹이생물인 저서성대형무척추동물을 조사한 결과 4문 6강 13목 40과 47종 288개체가 채집되었다. 분류군별 출현현황을 분석한 결과, 곤충류는 42종 251개체(87.2%), 비곤충류는 5종 37개체(12.8%)로 곤충류의 비중이 높았다. 곤충류의 환경먹이생물 비율(pi)은 하루살이목 50.0%, 파리목 21.5%, 날도래목 7.3%, 잠자리목 5.9%, 노린재목 1.0%, 강도래목 0.7%, 딱정벌레목 0.3% 등의 순으로 하루살이목이 가장 높았고, 비곤충류는 절지동물문(Arthropoda)의 연갑강(Malacostraca) 단각목(Amphipoda) 11.5%, 연체동물문(Mollusca) 1.4%, 유선형동물문(Nematomorpha) 0.3% 등의 순으로 나타나 연갑강 단각목의 비율이 가장 높았다(Table 2).

4. 먹이 선택성

위 내용물의 분류군별 비율(ri)은 날도래목 35.2%, 하루살이목 30.7%, 파리목 19.3%, 강도래목 5.7%, 잠자리목 4.5%, 딱정벌레목 3.4% 등의 순으로 나타났고, 환경먹이생물 비율(pi)은 하루살이목 50.0%, 파리목 21.5%, 단각목 11.5%, 날도래목 7.3%, 잠자리목 5.9% 등의 순으로 나타났다. 위 내용물 비율과 환경먹이생물 비율을 이용하여 먹이 선택성 지수(E)를 계산한 결과, 강도래목과(+0.78), 날도래목(+0.66), 딱정벌레목(+0.66), 노린재목(+0.03)은 양의 선택성을, 단각목(-1.00)과 하루살이목(-0.24), 잠자리목(-0.13), 파리목(-0.05)은 음의 선택성을 보였다(Table 3).

고찰

본 연구는 4월 송현천에서 조사를 수행하였으며, 상대중요

Table 3. Prey selectivity of *Rhynchocypris semotilu* in the Songhyeoncheon, Songhyeon-ri, Hyeonnae-myeon, Goseong-gun, Gangwon-do, Korea, April, 2022

Taxa (Order)	ri* (%)	pi** (%)	E***
Trichoptera	35.2	7.3	0.66
Ephemeroptera	30.7	50.0	-0.24
Diptera	19.3	21.5	-0.05
Plecoptera	5.7	0.7	0.78
Odonata	4.5	5.9	-0.13
Coleoptera	3.4	0.3	0.66
Hemiptera	1.1	1.0	0.03
Amphipoda	-	11.5	-1.00
Others	0.1	1.7	-
Total	100.0	100.0	

*ri: relative abundance of prey category i in the stomach, **pi: relative abundance of prey category i in the environment, ***E: index of selectivity

성지수비(%IRI)는 곤충강의 날도래목(46.6%)과 하루살이목(27.6%), 파리목(12.6%), 잠자리목(9.7%) 등의 순으로 나타나, 타 분류군에 비해 수서곤충이 중요한 분류군으로 조사되었다. 선행연구에서 버들가지는 수서곤충, 작은 갑각류, 실지렁이 등을 주로 섭식하는 것으로 간략하게 보고되어(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019), 본 연구 결과와 유사하게 수서곤충류가 주요 먹이원으로 확인되었다. 버들가지와 동일한 버들치속(*Rhynchocypris*)에 속하는 금강모치 *R. kumgangensis*는 파리목, 하루살이목, 날도래목, 육상곤충 등을 섭식하는 것으로 보고된 바 있으며(Choi *et al.*, 2006), 버들치 *R. oxycephalus*와 버들개 *R. steindachneri*는 공통적으로 수서곤충과 갑각류, 소형 수서동물, 부착조류 등을 섭식하는 것으로 간략하게 보고되었다(Choi *et al.*, 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Chae *et al.*, 2019). 또한 같은 잉어과 황어아과의 연준모치속(*Phoxinus*) 연준모치 *Phoxinus phoxinus*는 곤충강의 하루살이목과 날도래목, 파리목 등을 주로 섭식하는 것으로 보고되었다(Baek *et al.*, 2002)(Table 4). 따라서 버들가지는 곤충류만을 주로 섭식하는 금강모치 및 연준모치와 비교적 유사하였으나 버들치와 버들개는 수서곤충 외에도 갑각류, 소형 수서동물, 부착조류 등을 섭식하는 잡식성으로 보고되어 차이를 보였다.

금강모치와 연준모치는 계절에 따라 주요 섭식 분류군에서 차이를 보인다고 보고되었는데, 금강모치는 봄과 여름에는 주로 육상곤충 및 하루살이목을 섭식하나 가을에는 주로 파리목을 섭식하고, 연준모치는 봄에 날도래목을 주로 섭식하나 여름과 가을에는 대부분 파리목을 섭식한다고 보고되었다(Baek *et al.*, 2002). 계절별 먹이 차이는 환경적 변화와 관련이 있는데(Wotton, 1990), 특히 계절에 따라 주 먹이생물인 수서곤충의 유충이 성충으로 우화하고 여름의 장마로 인해 먹이생물이 유실되면서 종 구성에 변화가 있는 것으로 추정되고 있다(Jeon and Ko, 2021; Kwon *et al.*, 2023). 이러한 선행연구 결과를 참고해 볼 때 서식 및 섭식형태가 유사한 버들가지 역시 계절별 주요 섭식 분류군에서 차이를 보일 가능성이 높을 것으로 생각되며, 섭식 분류군의 차이는 수서곤충의 생활사와 계절별 군집구조의 변화에 의한 영향을 받을 것으로 판단된다.

한편 어류 종별 먹이 선택성에 대한 선행연구 결과, 금강모치는 주로 하루살이목(봄, 여름)과 파리목(가을)이 양의 선택성을 보이고, 연준모치는 날도래목(봄)과 파리목(봄~가을)이 양의 선택성을 보이는 것으로 보고되었다(Baek *et al.*, 2002). 본 연구의 특성상 버들가지의 먹이 선택성은 봄철에만 분석하였으며, 날도래목은 양의 선택성을, 하루살이목과 파리목은 음의 선택성을 보여 연준모치와 비교적 유사한 것으로 나타났다.

대부분의 어류는 성장함에 따라 먹이생물이 크게 변하는 특징을 보이는데, 수서곤충류를 주로 섭식하는 근연종 금강모치의 경우 크기가 작은 개체들은 파리목을 주로 섭식하지만 성장함에 따라 파리목의 비율은 감소하고 하루살이목과 육상곤충이 비

Table 4. Comparison of the prey organisms of *Rhynchocypris* and *Phoxinus* in Korea

Characteristics	<i>R. semotilus</i>	<i>R. oxycephalus</i>	<i>R. steindachneri</i>	<i>R. kumgangensis</i>	<i>P. phoxinus</i>
Analysis method (month or season)	IRI (April)	—	—	IRI (Jan.~Dec., every month)	Number (spring, summer, autumn)
Main prey organisms	Trichoptera (46.6%), Ephemeroptera (27.6%), Diptera (12.6%), Odonata (9.7%), Plecoptera (2.8%)	aquatic insects, crustaceans, lugworms, small aquatic animals, plant fragments, attached algae	aquatic insects, crustaceans, small aquatic animals, attached algae	Diptera (43.5%), Ephemeroptera (32.2%), Trichoptera (5.9%), terrestrial insects (18.4%)	Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera
Reference	Present study	Choi <i>et al.</i> , 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Chae <i>et al.</i> , 2019	Choi <i>et al.</i> , 1990; Kim, 1997; Kim and Park, 2007; Chae <i>et al.</i> , 2019	Choi <i>et al.</i> , 2006	Baek <i>et al.</i> , 2002

울이 증가한다고 보고되었고(Choi *et al.*, 2006), 종개 *Orthrias toni*와 쌀미꾸리 *Lefua costata*는 크기가 작은 개체들이 파리목을 주로 섭식하지만 성장함에 따라 하루살이목과 날도래목의 비율이 급격히 증가하며(Jeon and Ko, 2021; Kwon *et al.*, 2023), 꾸구리 *Gobiobotia macrocephala*는 크기가 작은 개체들이 하루살이목과 파리목을 주로 섭식하나 성장함에 따라 날도래목의 비율이 급격히 증가하는 것으로 보고되었다(Ko *et al.*, 2011). 버들가지는 크기가 작은 당년생 치어가 하루살이목과 파리목을 주로 섭식하지만 성장함에 따라 이들의 비율은 감소하고 날도래목과 잠자리목의 비율이 증가하는 특징을 보여 비교적 꾸구리와 유사한 먹이전환을 보였다.

남한강 상류 및 삼척오십천에는 금강모치와 연준모치가 공서하는 경우가 많은데(Kim and Park, 2007; NIBR, 2019; Chae *et al.*, 2019), 동일하게 최상류의 계곡에 서식하더라도 수온에 따라 서식지에 차이를 보인다(Baek *et al.*, 2002). 또한 공서하더라도 금강모치는 입이 전면을 향하기 때문에 수류에 떠내려오거나 수표면에 떨어진 곤충 등을 섭식하는 반면 연준모치는 입이 아래로 향하기 때문에 바닥이나 돌 표면에 붙어있는 먹이를 주로 섭식하여 미소서식지에 차이를 보이는 것으로 보고되었다(Baek *et al.*, 2002). 버들가지도 근연종과 공서하고 있는데, 고진동에서는 금강모치, 오소동에서는 금강모치와 버들개, 본 연구지인 송현천에는 버들개와 공서하고 있다(Choi *et al.*, 2021). 송현천에서 버들개는 전 구간에 많이 서식하나 버들가지는 중상류에만 집중적으로 서식하고 있어(Ko *et al.*, 2023) 수온이 버들가지 서식의 제한요인으로 추정되며, 향후 버들개와 버들가지의 경쟁관계 등을 규명하기 위해 버들개에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각된다. 또한 버들가지는 입이 전면을 향해 주로 바닥에 있는 날도래목과 하루살이목, 파리목을 섭식하였으나 일부 육상곤충인 노린재목과 딱정벌레목, 파리목, 하루살이목 등 수표면에 떨어진 육상곤충도 함께 섭식하는 것으로 나타나, 금강모치와 비교적 유사한

습성을 갖는 것으로 판단된다. 이러한 섭식습성 측면에서 버들가지와 금강모치는 경쟁종으로 판단되기 때문에 이들이 혼서하는 고진동과 오소동에 대한 추가 생태연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

버들가지 *Rhynchocypris semotilus*의 섭식생태를 밝히기 위해 2022년 4월 강원도 고성군 현내면 송현리의 송현천에서 조사를 실시하였다. 위 내용물을 상대중요성지수(IRI)로 분석한 결과, 주로 절지동물문(Arthropoda) 곤충강(Insecta)의 날도래목(Trichoptera, 46.6%), 하루살이목(Ephemeroptera, 27.6%), 파리목(Diptera, 12.6%), 잠자리목(Odonata, 9.7%), 강도래목(Plecoptera, 2.8%), 딱정벌레목(Plecoptera, 0.6%), 노린재목(Hemiptera, 0.1%) 순으로 중요한 먹이생물로 나타났다. 연령별로 상대중요성지수(IRI)를 계산하여 경향을 분석한 결과, 당년생은 비교적 크기가 작은 하루살이목과 파리목을 주로 섭식하지만 성장함에 따라 이들의 비율은 점차 감소하고 비교적 크기가 큰 날도래목과 잠자리목의 비율이 점차 증가하여 만 3년생 이상에서는 가장 중요한 먹이원으로 전환되었다. 또한 먹이 크기도 당년생의 개체가 2.8 ± 2.5 (0.6~9.0) mm로 가장 작았으나 만 3년생 이상에서는 5.1 ± 6.1 (1.1~17.0) mm로 점차 증가하였다. 먹이 선택성을 조사한 결과 강도래목(+0.78), 날도래목(+0.66), 딱정벌레목(+0.66), 노린재목(+0.03)은 양의 선택성을, 단각목(Amphipoda, -1.00), 하루살이목(-0.24), 잠자리목(-0.13), 파리목(-0.05)은 음의 선택성을 보였다.

사 사

이 논문은 2022년 DMZ 일원 생태계 조사(NIE-수탁연구-2022-87)의 일환으로 연구되었습니다.

REFERENCES

- Baek, H.M., H.B. Song, H.S. Sim, Y.G. Kim and O.K. Kwon. 2002. Habitat segregation and prey selectivity on cohabitation fishes, *Phoxinus phoxinus* and *Rhynchocypris kumgangensis*. Korean J. Ichthyol., 14: 121-131.
- BCP (Bureau of Cultural Property). 1974. The reports on the scientific survey of near the DMZ. The Report of the Korean Association for Conservation of Nature No. 7, 316pp.
- Chae, B.S., H.B. Song and J.Y. Park. 2019. A field guide to the freshwater fishes of Korea. LG Evergreen Foundation, Seoul, Korea, 355pp.
- Choi, J.S., K.Y. Lee, Y.S. Jang, J.H. Park and O.K. Kwon. 2006. Feeding habit of *Rhynchocypris kumgangensis* (Cyprinidae) from the Hongcheon River, Korea. Korean J. Environ. Biol., 24: 29-37.
- Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son. 1990. Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmun Publishing Co. Ltd., Seoul, 277pp.
- Choi, K.S., D.K. Kim and M.H. Ko. 2021. Distribution aspects and extinction threat evaluation of the endangered species, *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae). Korean J. Ichthyol., 33: 177-183. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.3.3>.
- Ivlev, V.S. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale Univ. Press, New Haven, Conn., pp. 12-46.
- Jeon, S.R. 1987. Freshwater fish fauna of near DMZ area of Kangwon-do, Korea. Kangwon-do, pp. 569-598.
- Jeon, S.R. and J.S. Hwang. 1992. Report on the natural ecology survey in the near Demilitarized Zone (Civilian Control Area). Ministry of Environment.
- Jeon, S.R., Y.M. Son and J.S. Hwang. 1995. '95 Precise survey report on the natural environment of the near Demilitarized Zone (Civilian Control Area) (I). Ministry of Environment, 605pp.
- Jeon, Y.L. and M.H. Ko. 2021. Habitat characteristics and feeding ecology of the siberian stone loach *Barbatula toni* (Pisces: Nacheilidae) in the Bukcheon (Stream). Korean J. Ichthyol., 33: 278-286. <https://doi.org/10.35399/ISK.33.4.8>.
- Jo, K.S. 1993. Illustration of the freshwater zooplankton of Korea. Academy Publishing Company, Seoul, Korea, 387pp.
- KFS (Korea Forest Service). 2000. Forest ecosystem survey comprehensive report in DMZ area and neighboring area. Korea Forestry Research Institute, Seoul, Korea, pp. 358-387.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, Vol. 37, freshwater fishes. Ministry of Education, Yeongi, Korea, 518pp.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, Korea, 467pp.
- Kim, K.C., M.S. Kim, R.T. Kim, K.N. Kim, T.S. Kim, C.Y. Rim, U.I. Park and K.H. Han. 2002. Red data book of DPRK (Animal). MAB National Comiitee Academy of Sciences, DPRK, Pyeongyang, 316pp.
- Kim, M.C., S.P. Cheon and J.G. Lee. 2013. Invertebrates in Korean freshwater ecosystems. Geobook, Seoul, Korea, 483pp.
- Ko, M.H., H.Y. Song and I.C. Bang. 2011. Habitat environment, age and feeding ecology of the endangered species, *Gobiobotia macrocephala* (Pisces: Cyprinidae) in the Seom River, Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 278-287.
- Ko, M.H., M.S. Han and H.S. Seo. 2023. Life history of the endangered endemic species, *Rhynchocypris semotilus* (Pisces: Cyprinidae) in the Songhyeoncheon (Stream), Korea. Korean J. Ichthyol., 35: 160-170. <https://doi.org/10.35399/ISK.35.3.2>.
- Kwater. 2007. A guidebook of rivers in South Korea. Kwater, Daejeon, Korea, 582pp.
- Kwon, H.Y., M.S. Han and M.H. Ko. 2023. Feeding ecology of the eight barbel loach, *Lefua costata* (Pisces: Nacheilidae) in the Jusucheon (Stream) Gangneung-si, Korea. Korean J. Ichthyol., 35: 160-170. <https://doi.org/10.35399/ISK.35.1.4>.
- Kwon, S.J., Y.C. Jeon and J.H. Park. 2013. Benthic macroinvertebrates. Nature & Ecology, Seoul, Korea, 791pp.
- ME (Ministry of Environment). 1996. Natural environment conservation act (No. 13254).
- ME (Ministry of Environment). 1998. Natural environment conservation act (Law No. 5392).
- ME (Ministry of Environment). 2005. Enforcement of wildlife laws (Law No. 7167).
- ME (Ministry of Environment). 2012. Conservation and management laws of wildlife (Law No. 10977).
- ME (Ministry of Environment). 2017. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977).
- ME (Ministry of Environment). 2022. Conservation and management laws of wildlife (amendment of enforcement regulations) (Law No. 10977).
- NFRI (National Forest Research Institute) and ME (Ministry of Environment). 2004. Environmental ecological survey, analysis and impact assessment of the Demilitarized Zone. National Forest Research Institute and Ministry of Environment, 605pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. Red data book of endangered fishes in Korea. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 202pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. Red data book of Republic of Korea, Volume 3. Freshwater fishes. Ministry of Environment, National Institute of Biological Resources, Incheon, 250pp.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2022. National list of species of Korea. Retrieved from <https://kbr.go.kr>. version (12/2022).
- NIE (National Institute of Ecology). 2014. Ecological survey of DMZ protected areas (Eastern GOP Area). Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seochon, 82pp.
- NIE (National Institute of Ecology). 2015. Ecological survey of DMZ protected areas (Eastern Coast Area). Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seochon, 441pp.
- NIE (National Institute of Ecology). 2019a. Ecological survey of Baekdudaegan protected areas (Daeganryeong~Samjaeryeong).

- Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seocheon, 455pp.
- NIE (National Institute of Ecology). 2019b. 5th National natural environment survey guidelines. Ministry of Environment, National Institute of Ecology, Seocheon.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2001. Natural ecosystem survey report of the near Demilitarized Zone (Goseong-gun). National Institute of Environmental Research, Incheon, 1410pp.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2012. Ecosystem survey of DMZ area. National Institute of Environmental Research, Incheon, 283pp.
- Pinkas, L., M.S. Oliphant and I.K.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California water. Fish. Bull., 152: 1-105.
- Son, Y.M. and S.R. Jeon. 1991. Freshwater fish fauna of near DMZ area of Koseong-gun, Kangwon-do, Korea. Seowon University, Collection of Basic Scientific Research Papers, Cheongju, Korea, 1991: 33-49.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jeon. 2005. Aquatic Insects of Korea. Korean Ecosystem Service, Seoul, Korea, 360pp.
- Wotton, R.J. 1990. Ecology of teleost fishes. Chapman Hall, New York, USA, 404pp.
- Yoon, I.B. 1995. Aquatic Insects of Korea. Jeonghang Publishing Company, Seoul, Korea, 262pp.