

가뭄에 의한 주암호의 수위 및 어류 군집 변동

오건희¹ · 유태식² · 지창우² · 박영석³ · 곽인실^{1,2*}

¹전남대학교 해양융합과학과, ²전남대학교 수산과학연구소, ³경희대학교 생물학과

Changes in Water Level and Fish Communities in Juam Reservoir According to Drought Conditions

Gun Hee Oh¹, Tae-Sik Yu², Chang Woo Ji², Young-Seuk Park³ and Ihn-Sil Kwak^{1,2*}

¹Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

²Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

³Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

Droughts can alter the dynamics of aquatic ecosystems, including fish communities. This study compared the variations in fish communities in Juam reservoir before and after drought events. Fish sampling was conducted five times from April 2021 to April 2023 using three different sampling methods (kick net, cast net, and gill net). The water level in the reservoir reached its peak (103.73 EL.m, 62.2% capacity) in September 2021, before the drought, and dropped to its lowest point (88.84 EL.m, 17.6% capacity) in April 2023. The dissolved oxygen content in the reservoir decreased from 27 to 6.3 mg/L between the period with the lowest water level (April 2023) and the period with the highest water level (September 2021). In September 2021, 466 fish were collected, but after one year of drought, the number of individuals decreased to 105. Further, the number of fish collected and water levels were positively correlated. Dominant species exhibited a population decline of over 60% with decreasing water levels. These findings highlight the importance of fishery resource management during drought periods.

Keywords: Drought, Juam reservoir, Fish community, Water level, Correlation analysis

서론

최근 지구온난화와 기후 변화는 가뭄의 빈도를 증가시키며, 생태계에 다양한 영향을 미치고 있다(Qiu et al., 2023). 가뭄은 강수의 장시간 부족으로 물 공급이 부족한 시기를 의미하며, 강수량이 평균 이하인 지역에서 주로 발생한다(Ha et al., 1999; Colley, 2004). 지속적인 가뭄은 댐과 저수지의 수위를 낮추고, 수온증가와 산소포화도 감소 등을 유발하여 생물 군집 변화에 영향을 준다. 또한, 강수량 감소는 호수로 유입되는 하천의 수량을 감소시키며(Boulton, 2003), 유기물 축적으로 녹조 발생을 야기하여 수생태계에 악영향을 미칠 수 있다(Davies, 1978; Briand et al., 2003; Bond et al., 2008). 특히, 어류는 안정된 피난처를 선호하기 때문에 가뭄으로 인한 서식지 파괴는 밀집의 정도를 증가시키고, 중간 상호관계에 직접적인 영향을

준다(Tramer, 1977; Boulton and Lake, 1992; Boulton et al., 1992; Velasco and Millan, 1998; Ahn et al., 2013). 국외에서는 가뭄의 빈도 증가로 어류와 수생태계에 미치는 영향에 대해 다양한 연구가 수행되었다. 프랑스에서는 호소의 수변부 환경이 수위저하에 직접적인 영향을 받으며, 이로 인해 어류의 서식지가 파괴되어 있음을 보고하였다(Logez et al., 2016). 미국에서는 가뭄으로 인한 서식지 파괴가 어류에 미치는 영향을 분석하였다(Glassic and Gaeta, 2019). 해당 연구에서는 가뭄에 의해 호수의 수위가 6 m 이상 감소하여 어류 서식지가 파괴되었으며, 어류 개체수와 단위 노력당 어획량(catch per unit effort, CPUE)이 75% 이상 감소하였음을 보였다. 국내에서는 만경강의 수위 변동으로 인한 유황(flow regime) 변화가 감돌고기(*Pseudopungtungia nigra*)의 서식환경에 미치는 영향을 평가하였다(Hong et al., 2019). 가뭄과 홍수로 인한 수위변동은 감

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 7148 Fax: +82. 61. 653. 6620

E-mail address: iskwak@chonnam.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0899>

Korean J Fish Aquat Sci 56(6), 899, December 2023

Received 30 August 2023; Revised 17 October 2023; Accepted 26 October 2023

저자 직위: 오건희(대학원생), 유태식(연구교수), 지창우(연구교수), 박영석(교수), 곽인실(교수)

돌고기의 물리적 서식환경을 저하시켜 개체수의 감소로 이어지는 것을 확인하였다. 국외에서는 가뭄 발생시 정부의 사후대처를 지적하였고, 다양한 모니터링을 통하여 가뭄을 예측하고 미리 대처하여 수자원 관리를 하는 등 다양한 노력을 하고 있다 (Estrela and Vargas, 2012). 국내에서는 강수량 예측과 하천 복원에 대해서 제시하였을 뿐, 다년간 축적된 데이터가 부족하여 가뭄으로 인한 수위 변동이 호소 내 어류 군집과 수생태계에 미치는 영향과 대책 방안이 부족한 실정이다.

생물 다양성을 보전하고 유지하기 위해서 생물상의 정밀한 조사와 지속적인 모니터링에 의한 자료 축적이 필요하다(Song et al., 2013). 특히, 어류 군집 정보는 담수 생태계의 변화에 대한 이해 및 해석에 널리 활용되며, 환경 평가를 비롯한 생물 다양성 보존과 생태계 관리를 위해 매우 중요하다(Kennard et al., 2006; Fischer and Quist, 2014; Magurran et al., 2018). 최근 전남지역에서는 장기간 강수 부족으로 인하여 가뭄이 심화되었으며, 식수원으로 이용되는 주암호 저수율은 10%대로 감소하였다(Cho and Jeong, 2023). 2022년은 평년 대비 강수량이 61%에 그쳤으며, 강수량 부족과 가뭄은 현재까지 이어지고 있다. 이에 따라 주암호의 어류 군집에 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 가뭄으로 인한 수위변동이 호소에서 서식하는 어류 군집 변동에 어떠한 영향을 주는지 파악하고자, 가뭄

전후로 나누어 주암호의 변동된 수위와 어류 군집 사이의 관계를 분석하였다. 수행한 어류 군집 자료를 바탕으로 호소 수위 변동이 어류 군집에 미치는 특성을 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사 지점

본 연구는 전라남도에 위치한 주암호에서 조사를 수행하였다. 주암호는 총 유역면적 1,010 km²이며, 총 수용량은 약 48,400톤인 대형호에 속한다(Ji et al., 2022). 어류 채집은 생물측정망 조사 및 평가지침(NIER, 2017)에 따라 2021년 4월부터 2023년 4월까지 총 5회(연 4월, 9월)에 걸쳐 유입부(JAI), 중앙부(JAM), 유출부(JAO) 3개 정점에서 실시하였다(Fig. 1). 주암호의 수위 자료는 한국수자원공사에서 제공하는 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)의 자료를 이용하였다.

조사항목 및 채집도구

각 정점에 대한 기초적인 환경 데이터를 수집하기 위해 다항목 수질측정기(Professional Plus; YSI, Yellow Springs, OH, USA)를 사용하여 표층 수온(water temperature, WT), 용존 산소(dissolved oxygen, DO), pH, 전기전도도(electrical conduc-

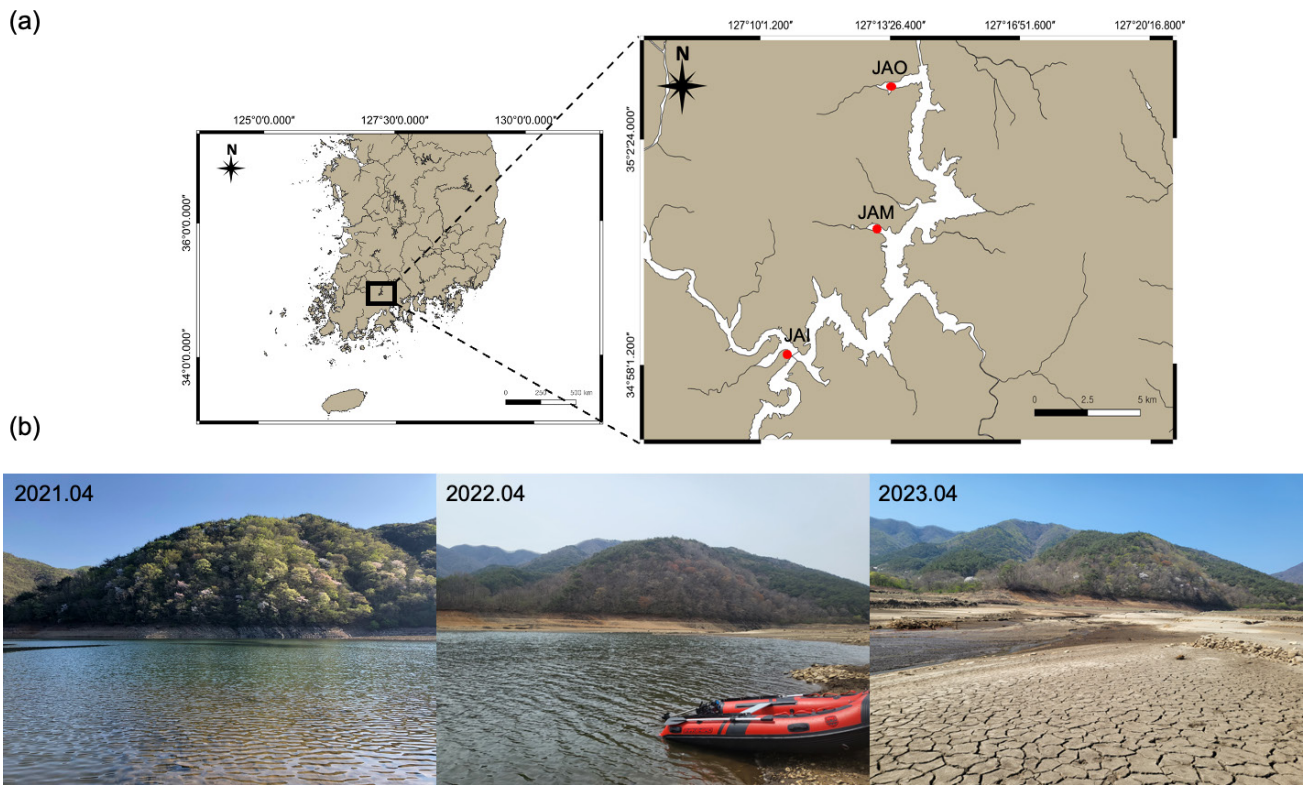


Fig. 1. Map showing the sampling sites in Juam reservoir. a, Study sites in Juam reservoir; b, The picture of Juam reservoir from April 2021 to April 2023; JAI, Inflow of Juam reservoir; JAM, Middle flow of Juam reservoir; JAO, Outflow of Juam reservoir.

tivity, EC)를 측정하였다. 어류 채집은 각 정점의 수변부에서 투망(망목, 7×7 mm)과 족대(망목, 4×4 mm)를 이용하였고, 수심 약 3–5 m에서 표층 자망을 설치하여 어류를 채집하였다. 표층 자망은 4절(삼중망, 망목 45×45 mm, 높이 1.5 m, 길이 50 m)과 12절(삼중망, 망목 12×12 mm, 높이 0.9 m, 길이 50 m)을 이어서 사용하였으며, 모든 정점에서 동일한 규격을 사용하였다. 정량적인 조사를 위해 정점 당 투망 20회, 족대 30분 간 조사를 진행하였고, 자망은 생물측정망 조사 및 평가지침(NIER, 2017)에 따라 18시간(오후 설치 및 오전 회수) 동안 설치 후 어류를 채집하였다.

채집된 어류는 현장에서 종 수준까지 동정을 진행 후 방생하였고, 생태교란종으로 분류된 블루길(*Lepomis macrochirus*)과 배스(*Micropterus salmoides*)는 실험실로 가져와 폐기하였다. 어류의 동정은 Kim et al. (2005)을 따랐으며, 분류체계 및 학명은 Nelson et al. (2016)과 Froese and Pauly (2022), NIBR (2021)을 따랐다.

데이터 분석

채집된 어류의 자료를 바탕으로 각 조사 시기에 따라 군집지수인 다양도지수(H')와 풍부도지수(RI), 균등도지수(J), 우점도지수(DI)를 산출하였다. 다양도지수(diversity index H')는 Shannon (1948)에서 유도된 information entropy를 이용하여 Shannon-Weaner function을 구하였고, 풍부도지수(species richness index, RI)는 Margalef (1958)의 지수를 적용하였다. 균등도지수(evenness index, J)는 Pielou (1975)의 지수를 사용하였고, 우점도지수(dominance index, DI)는 McNaughton (1968)을 이용하여 산정하였다.

군집지수와 환경 데이터의 사이에 상관성을 파악하기 위해 R (ver. 4.1.2; <https://www.r-project.org>) 프로그램의 “ggcorrplot” 패키지를 이용하여 상관관계를 분석하였다. 군집지수에

는 출현한 종수와, 채집된 개체수를 추가하였고, 환경데이터에는 주암호의 수위를 추가하였다. 데이터 분석 시 주요종 선별은 총 5회 조사 중 3회 이상, 20개체 이상이 채집된 종을 선별하였다.

결과 및 고찰

수위에 따른 수질 환경 변화

주암호 수위는 조사기간인 2021년 4월부터 2023년 4월 자료를 비교하였다(Fig. 2). 4월 저수율은 2021년에 47.8%, 2022년에 32.2%, 마지막 조사인 2023년에 17.6%로 2년 사이에 약 30%가 감소하였고, 수위는 100.23 EL.m에서 88.84 EL.m으로 약 11.39 EL.m가 감소하였다. 9월 저수율은 장마의 영향으로 연중 최고 저수율을 보였으나, 2021년 9월 대비 2022년 9월에 약 22.3%가 감소하였다.

수질 환경 데이터를 비교한 결과, 수위가 최저인 4월 중 2023년의 수온이 가장 높았다(Table 1). 4월 평균 기온이 2021년(13.2±2.6°C)과 2022년(14.1±3.1°C)에 비해 2023년(12.5±2.9°C)이 상대적으로 낮았음에도 불구하고(<https://data.kma.go.kr>), 2023년 4월에 수온이 높았던 것은 용수량이 적어지면서 수온이 쉽게 상승한 것으로 보인다(Yoo et al., 2022). 또한 2023년 4월 높은 수온과 함께 낮은 용존 산소를 기록하였는데, 이는 산소포화도와 수온은 역상관관계를 보여 수온이 낮을 시에 높아지고, 수온이 높을 시에는 낮아지는 특성이 있기 때문이다(Yun et al., 2020). pH와 전기 전도도는 수위 변동에 영향을 받지 않았다.

주암호 어류 군집

조사 기간 중 총 4목 10과 25종, 1,439개체의 어류가 채집되었다(Table 2). 출현한 종수는 조사시기에 따라 12종에서 16종

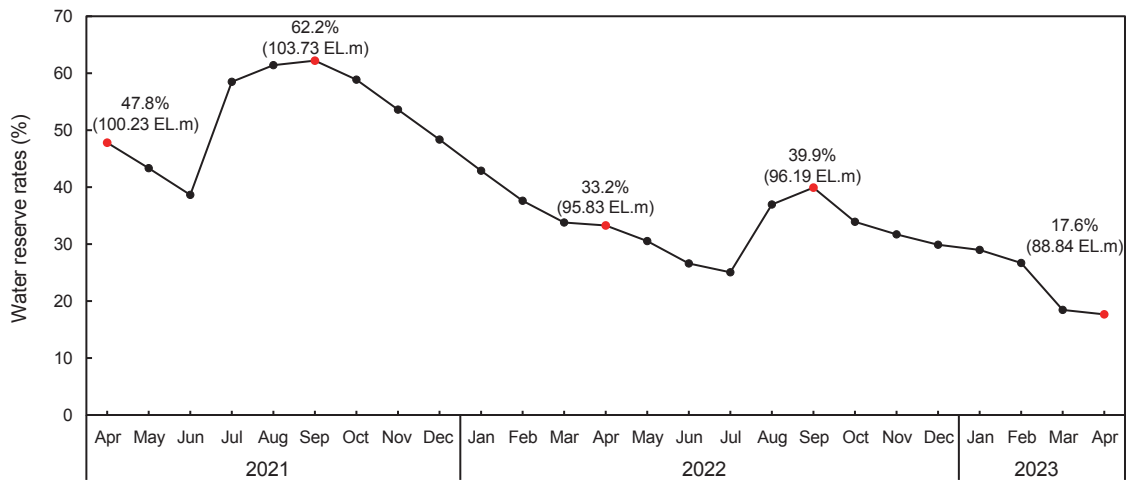


Fig. 2. Fluctuation of water level in Juam reservoir from April 2021 to April 2023. Red points indicate the sampling date.

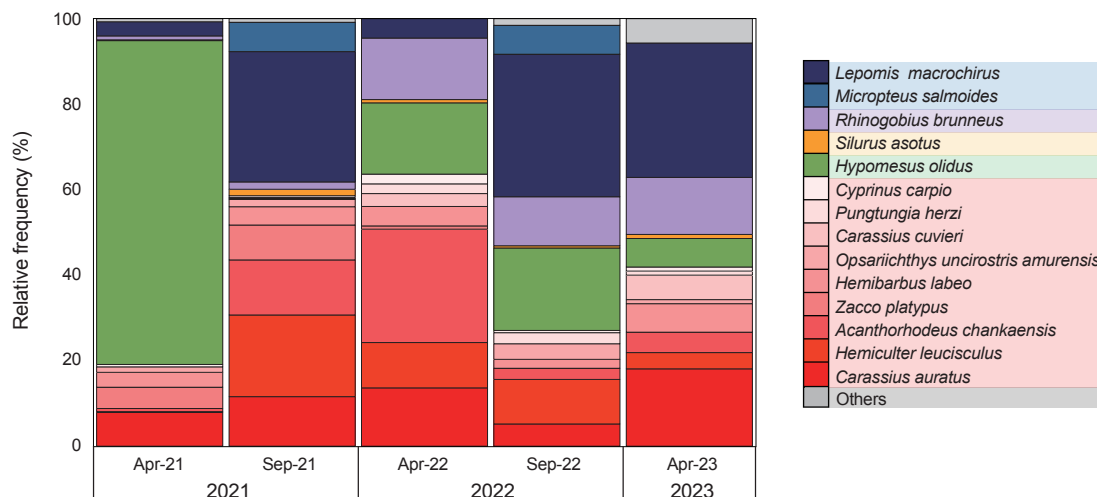


Fig. 3. Relative frequency of fish sampled in Juam reservoir. The red, green, yellow, purple, and blue series indicate Cyprinidae, Osmeridae, Siluridae, Gobiidae, and Centrarchidae, respectively.

Table 1. Environmental characteristics of Juam reservoir

Year	Month	Position	WT (°C)	DO (mg/L)	pH	Conductivity (µS/cm)	Water level (EL.m)
2021	Apr.	Inflow	14.8	18.4	8.8	144	100.23
		Middle	15.8	12.6	7.6	101	
		Outflow	14.1	12.6	6.5	87	
	Sep.	Inflow	27.6	6.3	8.5	97	103.73
		Middle	26.7	6.9	7.9	95	
		Outflow	26.8	6.6	8.8	93	
2022	Apr.	Inflow	13.1	24.0	5.9	135	95.83
		Middle	13.9	13.6	8.0	122	
		Outflow	13.8	23.3	7.3	100	
	Sep.	Inflow	25.3	7.4	7.6	125	96.19
		Middle	26.4	7.8	7.9	111	
		Outflow	23.6	5.3	6.9	114	
2023	Apr.	Inflow	17.3	7.8	7.8	134	88.84
		Middle	16.0	7.6	7.6	97	
		Outflow	17.9	6.3	7.0	88	

WT, Water temperature (°C); DO, Dissolved oxygen; pH, Hydrogen exponent.

이 출현하였고, 개체수는 최소 105개체에서 최대 544개체가 채집되었다. 가장 우점하였던 어류는 빙어(*Hypomesus olidus*)로 총 478개체가 채집되었다. 전체 채집된 빙어의 개체수 중 2021년 4월에 412개체(86.1%)가 채집되었으나, 2021년 9월에는 한 개체도 잡히지 않았으며, 이후 22개체, 37개체, 7개체가 채집되었다. 빙어는 6-10°C의 차가운 수온에서 서식하다가 번식기인 봄이 되면 수변부로 이동하며, 모래, 자갈이 깔린 곳이나 나뭇가지 등 수중 장애물이 많이 있는 곳에 산란을 하는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2016). 이러한 생태적 특성으로 인해 2021년 4

월 어류 채집 시 수변부에서 족대로 많은 개체수가 채집된 것으로 판단된다(Table 2, Appendix 1).

출현한 종 수를 바탕으로 상대분포 분석(Fig. 3)을 진행한 결과, 빙어가 대량으로 채집된 2021년 4월에는 전체 채집 비율에서 약 75%를 차지하였다. 이후 2021년 9월부터 2023년 4월까지의 붕어(*Carassius auratus*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*)를 비롯한 잉어과(Cyprinidae)에 해당하는 종들이 주로 채집되었다. 또한, 2021년과 2022년 9월에는 4월에 비해 블루길의 개체수가 늘어나 우점하는 종으로 나타났다. 블루길의 산란기는

4-6월로 한 번에 약 20,000개의 알을 산란하는 특성을 가지고 있기 때문에(Yu et al., 2022), 급격하게 늘어난 개체들이 9월에 채집된 것으로 판단된다.

주암호 수위와 우점 어류 개체수 변동은 유사하게 나타났으며, 저수율과 우점 어류 5종[붕어, 누치(*Hemibarbus labeo*), 피라미(*Zacco platypus*), 빙어, 블루길]의 개체수 증감율을 비교하였다(Fig. 4). 가장 많이 채집되었던 조사 시기에 대비하여 2023년 4월에 붕어는 64.8%, 누치는 65.0%, 피라미는 100%, 빙어는 98.3%, 블루길은 76.8%의 감소율을 보였다

수위에 따른 군집지수 변화와 상관관계 분석

조사 기간 중 채집된 어류 개체수를 바탕으로 군집지수를 산출하여, 수위 변화와 함께 비교하였다(Fig. 5a). 2021년 4월에 다양도와 균등도는 각각 $H=1.02$ 와 $J=0.37$ 로 나타나 다른 조사 시기에 비해 낮은 값을 보였으며, 우점도 지수는 $DI=0.83$ 로 높

은 값을 보였다. 이는 이 시기에 채집된 어류 544개체 중 붕어가 412개체(75.7%)가 채집되어 다양도, 균등도, 우점도 지수에 영향을 준 것으로 판단된다. 2021년 4월을 제외한 다른 조사 시기에서는 수위 변동이 군집지수에 미치는 영향은 크지 않았다. 또한, 풍부도는 수위가 가장 낮았던 2023년 4월에 가장 높았는데($RI=3.22$), 이는 다른 조사시기와 비교하였을 때 채집된 종수에 차이는 없지만 개체수가 급격히 줄어든 영향으로 판단된다.

군집지수와 수질 환경 데이터의 상관관계 분석 결과(Fig. 5b), 수위 변동과 음의 상관관계를 보이는 지수는 다양도, 풍부도, 균등도 지수였다. 특히 수위 변동이 어류 개체수에 가장 큰 영향을 미치는 결과를 보였다($r=0.8$). 가뭄으로 인한 수위 저하는 호소 내 어류 서식처와 산란장을 파괴를 야기한다(Ahn et al., 2013). 가뭄으로 인한 수위 저하가 배스와 *Perca flavescens*에 미치는 연구(Gaeta et al., 2011) 결과에서도, *P. flavescens*의 산란장과 서식지가 파괴되어 개체수가 감소하였으며, 이러한 영향으로

Table 2. The number of individuals for fish collected in Juam reservoir during the studying period

Family	Species	Apr-21	Sep-21	Apr-22	Sep-22	Apr-23
Cobitidae	<i>Cobitis lutheri</i>				1	2
	<i>Cobitis tetralineata</i>	1				
Cyprinidae	<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>	4	60	35	5	5
	<i>Carassius auratus</i>	43	54	18	10	19
	<i>Carassius cuvieri</i>		1	4		6
	<i>Cyprinus carpio</i>	3	2	3	1	1
	<i>Hemibarbus labeo</i>	19	20	6	4	7
	<i>Hemibarbus longirostris</i>				1	
	<i>Hemiculter eigenmanni</i>	1	89	14	20	4
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	7	8		7	1
	<i>Pseudogobio esocinus</i>	1				
	<i>Pseudorasbora parva</i>		1			2
	<i>Pungtungia herzi</i>		1	3	5	1
	<i>Zacco platypus</i>	27	38	1		
	<i>Zacco temminckii</i>		2			
Osmeridae	<i>Hypomesus olidus</i>	412		22	37	7
Centrarchidae	<i>Lepomis macrochirus</i>	18	142	6	64	33
	<i>Micropterus salmoides</i>		32		13	
Centropomidae	<i>Siniperca scherzeri</i>		1			1
Channidae	<i>Channa argus</i>				1	
Gobiidae	<i>Rhinogobius brunneus</i>	5	8	19	22	14
	<i>Rhinogobius giurinus</i>	1				
Odontobutidae	<i>Odontobutis interrupta</i>	1				
Bagridae	<i>Tachysurus fulvidraco</i>					1
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>	1	7	1	1	1
No. of species		15	16	12	15	16
No. of individuals		544	466	132	192	105

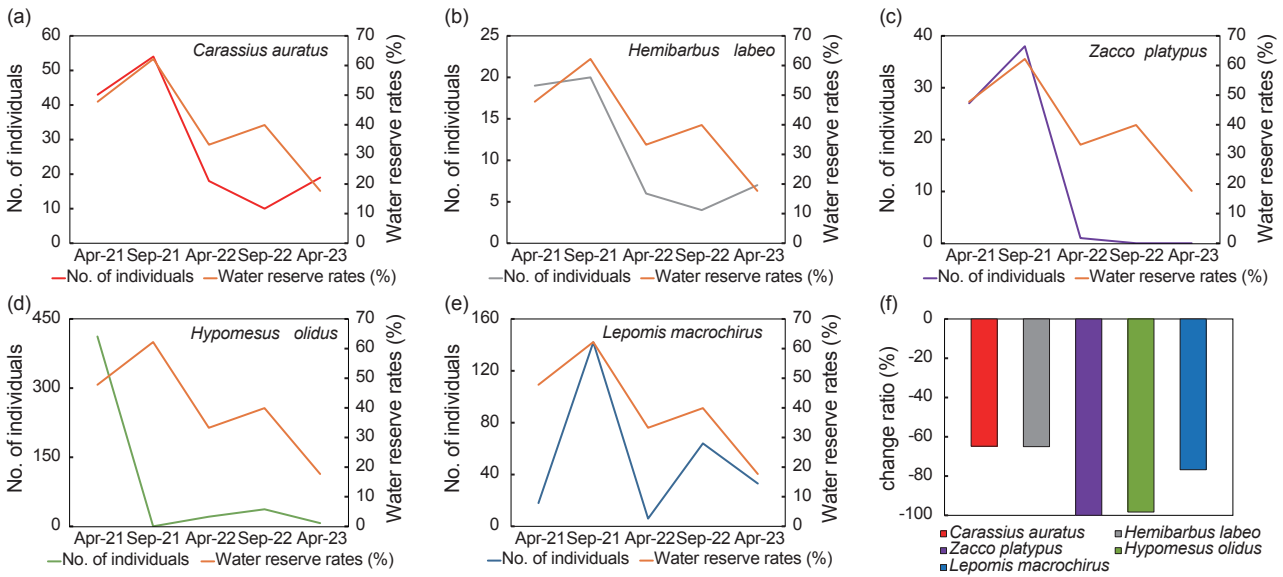


Fig. 4. Variation of the number of individuals according to water reserve rates (a-e) and decrease rate (f) of dominant species. The decrease rates represent the number of individuals collected in April 2023 compared to those collected the most during the study period.

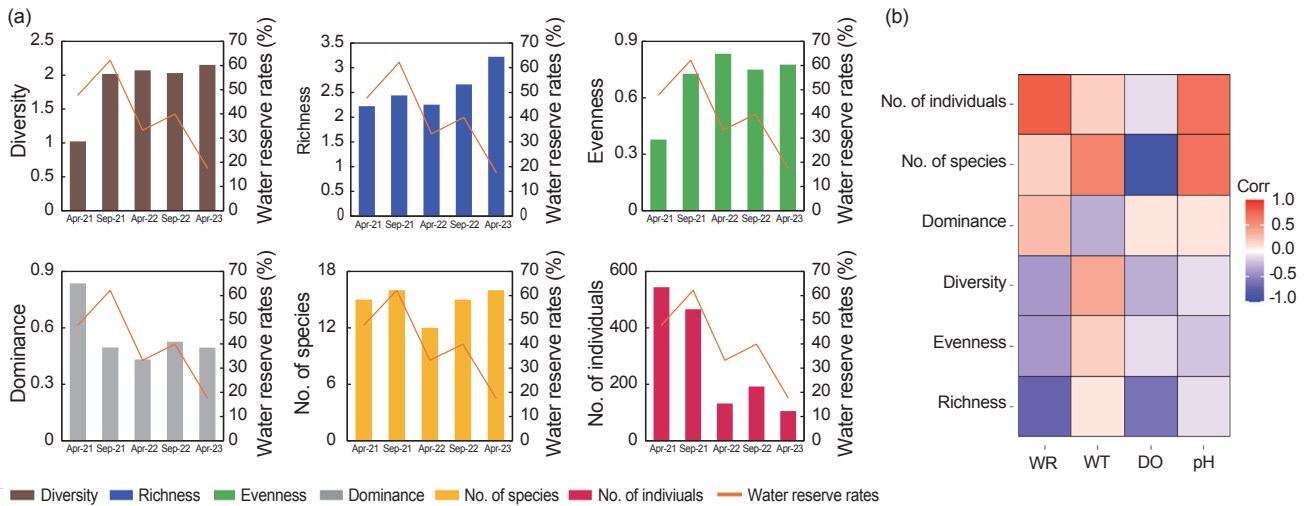


Fig. 5. Variation of community indices according to water reserve rates in Juam reservoir (a) and correlation among community indices and environmental factors (b). WR, Water reserve rates; WT, Water temperature (°C); DO, Dissolved oxygen; pH, Hydrogen exponent.

어류를 먹이원으로 하는 배스의 개체수에도 영향이 있었다. 본 연구에서도 가뭄으로 인한 수위저하는 서식지를 파괴하여(Fig. 1b), 어류가 한정된 공간으로 서식지를 이동하였으며, 섭식과 경쟁 등 다양한 상호작용으로 인해 어류 개체수 감소에 영향을 주었을 것이다. 수온은 우점도 지수를 제외한 균집지수와 양의 상관관계를 나타냈다. 용존 산소는 수온과 반대로 우점도 지수를 제외한 항목과 음의 상관관계를 갖는데, 이는 수온과 산소포화도는 반비례 관계를 가지기 때문이다(Yun et al., 2020). 수온 상승에 따른 호내 산소포화도 감소는 비교적 산소포화도가 풍

부한 호내 상층으로 다양한 어류가 균집하였고, 그로 인해 다양도 지수와, 풍부도 지수, 균등도 지수, 채집된 개체수가 상승하게 되었고, 우점도 지수가 감소하였을 것으로 예상된다.

수위 변동과 주요 12종 상관관계 분석

주암호 조사기간 중 환경 데이터와 주요 어류 9종[가시납지리(*Acanthorhodeus chankaensis*), 붕어, 누치, 치리, 꼬리(*Opsariichthys uncirostris amurensis*), 빙어, 불루길, 배스, 밀어(*Rhinogobius brunneus*)]의 상관관계를 분석하였다(Fig. 6). 수위

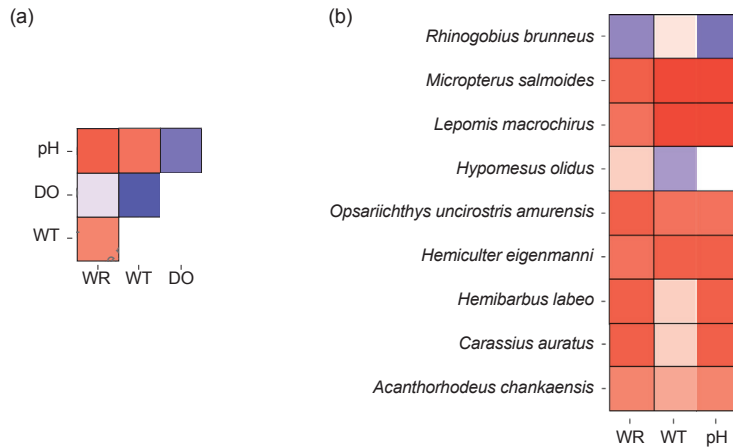


Fig. 6. Correlation among WR and environmental factors (a). WR and the number of individuals for nine species (b). WR, Water reserve rates; WT, Water temperature (°C); DO, Dissolved oxygen; pH, Hydrogen exponent.

변동과 환경 데이터와 상관분석에서, 수온과 pH는 수위 변동에 비례하게 증감하여 양의 상관관계로 나타났고, DO는 수위 변동에 반비례하게 증감하여 음의 상관관계로 나타났다(Fig. 6a). 일반적으로 호내에서 수량이 적을수록 온도 변화에 민감하게 반응하여 정수생태계의 수온 변화는 수위 변동에 영향을 받는 것으로 알려져있다(Lind et al., 2022). 또한, 수온과 산소포화도의 반비례 관계는 가뭄으로 인한 수위 저하가 산소 과포화 상태를 만들 수 있으며, 이는 유기물 함량이 적어 어류 먹이원에도 영향이 있을 것이다(Greenwood, 1961). 주요 9종에서는 밀어를 제외한 8종이 수위와 수온의 변동에 따라 개체수도 비례하게 변동하여 양의 상관관계로 나타났다(Fig. 6b). 수온의 증가는 변온동물인 어류의 서식지를 제한하며 낮아진 산소포화도로 인하여 비교적 산소포화도가 풍부한 표층으로 어류가 이동할 수 있다(Bae and Jung, 2015). 본 연구의 채집도구 특성상 표층으로부터 수심 3m 이내에 서식하는 어류가 조사되어 수온 변화와 주요종의 개체수도 비례한 것으로 보여진다.

전체 68개체 중 66개체가 족대를 이용하여 채집된 밀어(Appendix 1)는 수변부에 서식하는 저서어류로 주로 수심이 얇은 곳에서 족대와 투망을 이용하여 채집되기에 수위의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다(Yu et al., 2022). 본 연구에서도 밀어는 모두 수심이 얇은 수변부에서 채집되어 개체수 변동이 크지 않았으며, 음의 상관관계가 나타난 것으로 판단된다. 또한, 빙어의 경우 다른 어류에 비해 수위, 수온, DO와의 상관관계 지수가 낮게 나타났다. 본 연구에서 가뭄 전에 채집한 빙어는 산란을 위해 하천으로 소상하는 개체를 족대를 이용하여 채집하였으나, 가뭄으로 인해 하천 서식지가 파괴되어 채집된 개체수가 감소하였을 것으로 보인다.

본 연구는 최근 주암호에 발생한 가뭄으로 인한 수위 저하가 어류 군집에 미치는 영향을 분석하였다. 가뭄으로 인해 수위가 감소하였음에도 불구하고 채집되는 종수와 군집지수에는 차이

가 없었다. 하지만 감소한 수위의 영향을 받아 수변부에 있는 다양한 형태의 어류 서식지가 파괴되었고(Logez et al., 2016), 이러한 영향이 개체수 감소에 영향을 준 것으로 보인다. 본 연구에서 2년 간 주암호를 대상으로 가뭄이 어류에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였지만, 여전히 가뭄이 어류 및 수생태계에 미치는 영향에 관한 연구는 부족하다. 특히 장기적인 수생태계 모니터링은 어류 군집에 대한 이해뿐만 아니라 복합적인 요인의 영향에 대한 정보를 얻을 수 있다. 따라서 지속적인 모니터링을 통해 가뭄이 어류에 미치는 영향을 검토하고, 어류 자원 관리를 위한 대책이 필요하다. 이를 통해 기후변화 등으로 인한 환경변화에 대하여 실질적인 정보와 지침을 제공하여 가뭄으로부터 영향을 받는 어류 군집을 보호하고 유지할 수 있는 전략을 개발할 수 있을 것이다.

사 사

결과물은 한국연구재단의 지원(NRF-2018R1A6A1A03024314)과 환경부의 재원으로 환경산업기술원 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원(2020003050003, 2021003050001)을 받아 연구되었습니다.

References

Ahn CH, Joo JC, Lee S, Oh JH, Ahn H and Song HM. 2013. An experimental approach to secure freshwater fish shelter according to the water level fluctuations in a shallow pond. *J Korean Soc Environ Eng* 35, 666-674. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2013.35.9.666>.
 Bae EH and Jung JH. 2015. Prediction of shift in fish distributions in the Geum River watershed under climate change. *Ecol Resil Infrastruct* 2, 198-205. <https://doi.org/10.17820/eri.2015.2.3.198>.

- Bond NR, Lake PS and Arthington AH. 2008. The impacts of drought on freshwater ecosystem: An Australian perspective. *Hydrobiologia* 600, 3-16. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9326-z>.
- Boulton AJ, Peterson CG, Grimm NB and Fisher SG. 1992. Stability of an aquatic macroinvertebrate community in a multiyear hydrologic disturbance regime. *Ecology* 73, 2192-2207. <https://doi.org/10.2307/1941467>.
- Boulton AJ and Lake PS. 1992. The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia II. Comparisons of faunal composition between habitats, rivers and years. *Freshw Biol* 27, 99-121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1992.tb00527.x>.
- Boulton AJ. 2003. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshw Biol* 48, 1173-1185. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01084.x>.
- Briand J, Jacquet S, Bernard C and Humbert J. 2003. Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Vet Res* 34, 361-377. <https://doi.org/10.1051/vetres:2003019>.
- Cho JW and Jeong EH. 2023. Yoon Orders Use of Controversial Weirs to Fight Drought. *Korea JoongAng Daily*, Seoul, Korea.
- Colley J. 2004. Drought Preparedness Council Biennium Report 2003-2004. Governor's Division of Emergency Management, Austin, TX, U.S.A.
- Davies AW. 1978. Pollution problems arising from the 1975-76 drought. *Proc R Soc* 363, 97-107. <https://doi.org/10.1098/rspa.1978.0157>.
- Estrela T and Vargas E. 2012. Drought management plans in the European Union. The case of Spain. *Water Resour Manag* 26, 1537-1553. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9971-2>.
- Fischer JR and Quist MC. 2014. Characterizing lentic freshwater fish assemblages using multiple sampling methods. *Environ Monit Assess* 186, 4461-4474. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3711-z>.
- Froese R and Pauly D. 2022. FishBase. World Wide Web Electronic Publication. Retrieved from <https://fishbase.org> on Aug 7, 2023.
- Gaeta JW, Guarascio MJ, Sass GG and Carpenter SR. 2011. Lakeshore residential development and growth of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): A cross-lakes comparison. *Ecol Freshw Fish* 20, 92-101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00464.x>.
- Glassic HC and Gaeta JW. 2019. Littoral habitat loss caused by multiyear drought and the response of an endemic fish species in a deep desert lake. *Freshw Biol* 64, 421-432. <https://doi.org/10.1111/fwb.13231>.
- Greenwood DJ. 1961. The effect of oxygen concentration on the decomposition of organic materials in soil. *Plant Soil* 14, 360-376. <https://doi.org/10.1007/BF01666294>.
- Ha K, Cho EA, Kim HW and Joo GJ. 1999. Microcystis bloom formation in the lower Nakdong River, South Korea: Importance of hydrodynamics and nutrient loading. *Mar Freshw Res* 50, 89-94. <https://doi.org/10.1071/MF97039>.
- Hong I, Kim JS, Kim KH and Jeon HS. 2019. Assessment of climate change impact on flow regime and physical habitat for fish. *J Korean Soc Civ Eng* 39, 33-44. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2019.39.1.0033>.
- Ji CW, Yu TS, Lee SH, Park YS and Kwak IS. 2022. Community analysis of benthic macroinvertebrates according to water level of lake in littoral and profundal zone. *Korean J Ecol Environ* 55, 201-211. <https://doi.org/10.11614/KSL.2022.55.3.201>.
- Kennard MJ, Pusey BJ, Harch BD, Dore E and Arthington AH. 2006. Estimating local stream fish assemblage attributes: Sampling effort and efficiency at two spatial scales. *Mar Freshw Res* 57, 635-653. <https://doi.org/10.1071/MF06062>.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak, Seoul, Korea, 1-165.
- Lee YS, Choi HS, Kim WH and Cheong CJ. 2016. Survey of water quality to understand the cause of mass mortality of pond-smelt in Woonam reservoir. *J Korean Soc Environ* 17, 511-517.
- Lind L, Eckstein RL and Relyea RA. 2022. Direct and indirect effects of climate change on distribution and community composition of macrophytes in lentic systems. *Biol Rev* 97, 1677-1690. <https://doi.org/10.1111/brv.12858>.
- Logez M, Roy R, Tissot L and Argillier C. 2016. Effects of water-level fluctuations on the environmental characteristics and fish-environment relationships in the littoral zone of a reservoir. *Fundam Appl Limnol* 189, 37-49. <https://doi.org/10.1127/fal/2016/0963>.
- Magurran AE, Deacon AE, Moyes F, Shimadzu H, Dornelas M, Phillip DA and Ramnarine IW. 2018. Divergent biodiversity change within ecosystems. *Proc Natl Acad Sci* 115, 1843-1847. <https://doi.org/10.1073/pnas.1712594115>.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1968. Structure and function in California grasslands. *Ecology* 49, 962-972. <https://doi.org/10.2307/1936547>.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2017. Biomonitoring Survey and Assessment Manual. Retrieved from <http://water.nier.go.kr> accessed on Jul 30, 2023.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2021. National List of Species of Korea. Retrieved from <https://kbr.go.kr> on Aug 8, 2023.
- Nelson JS, Grande TC and Wilson MVH. 2016. Fishes of the World 5th Edition. John Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A., 1-707.
- Pielou E. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A., 1-165.

- Qiu J, Shen Z, Xie H. 2023. Drought impacts on hydrology and water quality under climate change. *Sci Total Environ* 858, 159854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159854>.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27, 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
- Song HJ, Hwang KS, Park JH, Lee HY, Kim JS, Kim HW, Lim DO, Lee SH and Lim BJ. 2013. Water quality variation and biotic community characteristics in Juam Lake (2011). *Korean J Environ Biol* 31, 37-44. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2013.31.1.037>.
- Tramer E. 1977. Catastrophic mortality of stream fishes trapped in shrinking pools. *Am Midl Nat* 97, 469-478. <https://doi.org/10.2307/2425110>.
- Velasco J and Millan A. 1998. Insect dispersal in a drying desert stream: Effects of temperature and water loss. *Southwest Nat* 43, 80-87.
- Yoo JY, Lee DJ, Yoo DG and Kim TW. 2022. Re-evaluation of Soyang Dam inflow based on modifying a simple water balance method considering evaporation. *J Korea Water Resour Assoc* 55, 461-469. <https://doi.org/10.3741/JK-WRA.2022.55.6.461>.
- Yu TS, Ji CW, Kim YJ, Oh GH, Park YS and Kwak IS. 2022. Species composition of fish in Yedang reservoir and characteristics by sampling gears. *Korean J Ecol Environ* 55, 285-293. <https://doi.org/10.11614/KSL.2022.55.4.285>.
- Yun JJ, Kang SW, Park JH, Seo DC, Kim HW and Cho HS. 2020. Assessment of seasonal variation in water quality in Daedong Lake. *Korean J Environ Agric* 39, 197-203. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.3.23>.

Appendix 1. List of fish species caught by each sampling gear in Juam reservoir

Family	Species	Cast net	Kick net	Gill net
Cobitidae	<i>Cobitis lutheri</i>	2	1	
	<i>Cobitis tetralineata</i>		1	
Cyprinidae	<i>Acanthorhodeus chankaensis</i>	1		108
	<i>Carassius auratus</i>	13		131
	<i>Carassius cuvieri</i>	1		10
	<i>Cyprinus carpio</i>	5		5
	<i>Hemibarbus labeo</i>	21		35
	<i>Hemibarbus longirostris</i>			1
	<i>Hemiculter eigenmanni</i>	19		109
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	11		12
	<i>Pseudogobio esocinus</i>		1	
	<i>Pseudorasbora parva</i>	3		
	<i>Pungtungia herzi</i>	6		4
	<i>Zacco platypus</i>	56	8	2
<i>Zacco temminckii</i>	2			
Osmeridae	<i>Hypomesus olidus</i>	23	453	2
Centrarchidae	<i>Lepomis macrochirus</i>	18	39	206
	<i>Micropterus salmoides</i>	33		12
Centropomidae	<i>Siniperca scherzeri</i>			2
Channidae	<i>Channa argus</i>			1
Gobiidae	<i>Rhinogobius brunneus</i>	2	66	
	<i>Rhinogobius giurinus</i>		1	
Odontobutidae	<i>Odontobutis interrupta</i>		1	
Bagridae	<i>Tachysurus fulvidraco</i>	1		
Siluridae	<i>Silurus asotus</i>			11
No. of species		17	9	16
No. of individuals		217	571	651