

관행 논과 친환경 논 의 어류상 및 미꾸리와 왜몰개 개체군 특성

방정환, 김민경, 최순군, 어진우, 엽소진, 김명현^{1,*}

국립농업과학원 기후변화평가과, ¹국립농업과학원 기획조정과

Fish fauna and characteristics of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* populations in environmentally friendly and conventional paddy fields

Jeong Hwan Bang, Min-Kyeong Kim, Soon-Kun Choi, Jinu Eo, So-Jin Yeob and Myung-Hyun Kim^{1,*}

Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

¹Planning & Coordination Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

*Corresponding author

Myung-Hyun Kim

Tel. 063-238-2037

E-mail. wildflower72@korea.kr

Received: 21 February 2022

Revised: 18 April 2022

Revision accepted: 27 April 2022

Abstract: Paddy fields are important habitats for maintaining the biodiversity of agricultural ecosystems. Recently, as the need for safe food and biodiversity conservation has increased, the rice cultivation methods have undergone changes. This study was conducted to investigate the fish fauna in Environmentally Friendly Paddy fields (EFP) and Conventional Paddy fields (CP), and compare the characteristics of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* populations in EFP and CP. A total of 2,703 fish were collected and classified into six families and 13 species. Our results showed that there was a difference in the proportion of fish populations in the two paddy fields, and the number of individuals in EFP was higher than in CP. The weight values of *M. anguillicaudatus* were higher in EFP than in CP, and the total length, body length, and weight values of *A. chinensis* were higher in EFP than in CP. Conditional factor (K) values also showed similar trends in EFP and CP. Our results indicate that the farming practices in paddy fields have a significant effect on the characteristics of *M. anguillicaudatus* and *A. chinensis* populations, and the results of this study can be used as basic data for securing biodiversity in future agricultural ecosystems.

Keywords: *Aphyocypris chinensis*, farming practices, fish fauna, *Misgurnus anguillicaudatus*, paddy field

서 론

농업생태계에서 논은 작물을 재배하는 농경지 중 하나로 사람들에게 식량을 제공하며 야생 동식물들의 먹이원과 번식지를 제공하는 중요한 습지 생태계이다(Luo *et al.*

2014). 그리고 벼는 세계 인구의 약 50% 이상이 주식으로 소비하는 중요한 작물 중 하나이다(Huang *et al.* 2015). 그러나 벼 재배기간 동안 화학비료와 살충제 그리고 제초제 사용은 그동안 벼의 생산량을 증가시키는 데 기여를 했지만, 무분별한 사용으로 인해 인간의 건강뿐만 아니라 농업

생태계 내 생물다양성을 위협하고 있다(Lockwood 1999; Ratnadass *et al.* 2012). 또한 최근 수년간 토지이용 변화와 화학물질의 사용 등 인간활동으로 인해 농업생태계의 생물다양성이 감소하고 있다(Lockwood 1999; Tilman *et al.* 2001; Benton *et al.* 2003; Ratnadass *et al.* 2012).

그러나 최근에는 논 생태계의 생물다양성을 보호하고 지속 가능한 농업에 대한 필요성이 증가하여 식량 안보와 생물다양성 측면을 모두 고려해야 한다는 인식이 증가하고 있다(Chappell and LaValle 2011). 따라서 특정 제초제나 살충제 그리고 화학비료의 사용을 제한하여 농업생태계의 생물다양성을 강화하고 안전한 먹거리를 확보하기 위한 벼 재배 방식이 변화하고 있다(Winqvist *et al.* 2011; Frison 2016; Li *et al.* 2019). 이와 같이 논 생태계의 생태학적 중요성이 높아짐에 따라 생물다양성뿐만 아니라 생태계 서비스에 대한 연구가 증가하고 있다(Luo *et al.* 2014; Li *et al.* 2019; Rasheed *et al.* 2021).

논 생태계는 벼를 재배하기 위해 일정 기간 동안 논에 물을 공급해야 하는 인공 습지로 담수 기간 동안에 다양한 수생 생물들에게 먹이와 서식지를 제공한다(Kato *et al.* 2010; Nishio *et al.* 2017). 특히, 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)와 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)는 논 생태계의 대표적인 어류이다. 미꾸리는 우리나라 전역에 분포하고 있으며 채집이 용이하고 다양한 먹이원을 섭식하는 잡식성 어류로(Shin *et al.* 2018), 백로류의 주요 먹이원으로 보고되었다(Katayama *et al.* 2015). 또한, 다른 어종에 비해 생활사 대부분을 논에서 서식하기 때문에 논 생태계의 환경 변화에 민감한 종으로 알려져 있어(Saito *et al.* 1988), 논 생태계의

건전성을 평가하는 데 유용한 종으로 여겨진다(Kim *et al.* 2017). 왜물개는 하천의 하류, 농수로와 저수지에 분포한다고 보고되어 있다(Kim 1997). 왜물개에 대한 선행 연구에서는 왜물개의 생식 주기(Lee *et al.* 2000), 산란의 환경조건(Lee *et al.* 2001), 농약에 대한 독성 실험(Lee and Yeom 2006) 등 실험실 연구가 대부분으로 논 생태계에서 수행한 생태학적 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 관행농업지역 논과 친환경농업지역 논을 대상으로 어류상을 조사하고 논에서 우점하는 미꾸리와 왜물개 개체군에 대하여 개체군 크기 분포, 전장과 체중의 상관관계, 그리고 비만도 지수를 분석하여 개체군의 특성을 파악하고자 하였다. 이를 통해 농업생태계 생물다양성 보전을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 및 조사 시기

연구 대상지는 대호지구 대단위 농업 종합개발사업에 의해 조성된 대규모 농경지 중에서 간척지 논(37°02'N, 126°30'E)을 대상으로 연구를 수행하였다(Fig. 1). 간척지 논의 벼 재배 지역(3,904 ha) 중에서, 약 574.7 ha 규모의 지역이 친환경농업지역 논(Environmentally Friendly Paddy fields, EFP)이다(Kim *et al.* 2017). 친환경농업지역 논(EFP)은 화학 살충제를 사용하지 않거나 소량만 사용하여 농작물을 재배하는 환경친화적인 논이다. 반면에 관행농업지역 논(Conventional Paddy fields, CP)은 Clothianidin, 또

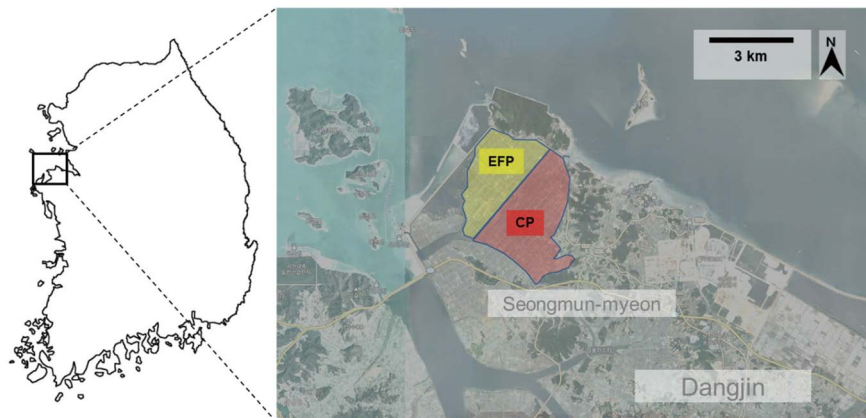


Fig. 1. A map showing the study site in South Korea. CP: conventional paddy fields, EFP: environmentally friendly paddy fields.

는 Tiadinil과 같은 화합물이 포함된 살충제를 사용하거나 Fentazamide 또는 Pyrazosulfuronethyl과 같은 화학 성분이 포함된 제초제를 사용하여 농작물을 재배하는 논이다. 조사 시기는 봄철 논에 물을 대는 시기와 벼 수확을 위해 물을 빼는 시기를 고려하여 매달 한 번씩 현장 조사를 하였고, 구체적인 조사 시기는 2015년 5월 8일, 2015년 6월 8일, 2015년 7월 2일, 2015년 8월 7일, 2015년 9월 3일이다.

2. 채집 및 동정

현장조사를 위해, 관행농업지역 논(CP)과 친환경농업지역 논(EFP)을 각각 10필지를 무작위로 선정하였고, 각 필지에서는 어류 채집을 위해 3개의 통발(길이 28 cm, 직경 13 cm, 망목 4 mm)을 최소 5 m 간격으로 설치한 후 24시간 뒤에 수거하였다. 미꾸리를 유인하기 위한 유인물질로 밀가루와 어분을 배합한 과일형 떡밥(Fish meal, Gyompyo, Korea) 6 g을 이용하였다. 수심은 별도로 측정하지 않았고, 통발의 입구가 물에 잠길 수 있는 수심에 설치하였고, 수심이 낮은 경우에는 적당량의 땅을 파서 입구가 물에 잠기도록 하였다. 현장에서 채집한 어류들은 10% 포르말린(Formalin) 용액으로 고정을 한 뒤, 아이스박스에 담아서 실험실로 이동하여 분류 및 동정을 하였다. 어류 동정을 위해 선행 연구들의 검색표(Kim 1997; Kim and Park 2002)를 활용하였다.

3. 개체군 특성 분석

채집된 어류 중 관행농업지역 논(CP)과 친환경농업지역 논(EFP)에서 5월부터 9월까지 매달 출현하여 생활사 대부분이 논에서 서식하는 것으로 보이는 어류 중, 개체수 비율이 높은 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)와 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)를 대상으로 개체군 분석을 하였다(Table 2). 미꾸리와 왜물개 개체군 특성을 분석하기 위해, 채집된 모든 개체에 대하여 전장(total length), 체장(body length), 체중(weight)을 측정하였고, 개체군의 구조를 파악하기 위해 개체 크기에 따른 빈도를 전장 빈도 분포(the total length frequency distribution)로 나타냈다.

본 연구에서는 미꾸리와 왜물개의 연령대를 구분하기 위해 선행 연구 결과를 바탕으로 Age 0, Age 1, Age 2로 구분하였다. 미꾸리의 경우, Kubota *et al.* (1965)의 크기 분류를 기준으로 Age 0 (Age < 1+, 51 mm 이하), Age 1

(1+ < Age < 2+, 52~88 mm), Age 2 (2+ < Age, 89 mm 이상)으로 구분하였다. 왜물개의 경우, Kim *et al.* (2005)이 보고한 내용을 바탕으로 Age 0 (Age < 1+, 39 mm 이하), Age 1 (1+ < Age < 2+, 40~50 mm), Age 2 (2+ < Age, 51 mm 이상)으로 구분하였다.

어류의 전장(total length)과 체중(weight)을 이용한 개체군 평가는 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$W = aTL^b,$$

여기서 W는 체중(g), TL은 전장(mm), 그리고 a, b는 매개 변수이다(Anderson and Gutreuter 1983).

$$K = W/TL^3 \times 10^5,$$

여기서 K는 비만도 지수(Condition factor), W는 체중(g), TL은 전장(mm)이다(Anderson and Neumann 1996).

모든 데이터는 통계 분석 전에 R 프로그램을 이용하여 정규성 검정을 하였고 정규분포가 아니거나 표본 크기가 작기 때문에 비모수 통계를 사용하였다(Bang and Lee 2019). 관행농업지역 논(CP)과 친환경농업지역 논(EFP)에 서식하는 미꾸리와 왜물개 개체군의 특성을 비교하기 위한 통계 분석은 Wilcoxon rank sum test를 사용하였고, 어류의 평균 개체수, 전장(total length), 체장(body length), 체중(weight), 그리고 비만도 지수(K)는 평균과 표준오차로 나타냈다.

결과 및 고찰

1. 어류상 현황

관행 논과 친환경 논에서 실시한 어류 조사 결과 총 6과 13종이 출현하였다(Table 1). 과별 종수 구성비는 잉어과에서 5종(38.5%)으로 왜물개, 붕어, 피라미, 버들매치, 참붕어가 출현하였고, 망둑어과는 3종(23.1%)으로 민물검정망둑, 갈문망둑, 민물두줄망둑이 출현하였다. 나머지 어류는 검정우렁개, 버들붕어과, 송사리과에서는 각각 1종(7.7%)이 출현하였다.

영농 방법에 따른 어류 개체수에서 관행 논(CP)이 총 815개체 그리고 친환경 논(EFP)이 총 1,888개체가 출현하여 친환경 논에 어류 개체수가 관행 논보다 약 2.3배 높은 것으로 나타났다(Table 1). 관행 논에서는 미꾸리와 왜물

Table 1. Distribution of individual fish species collected from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP). The number in parentheses is the proportion of fish (%)

Scientific name	CP	EFP
	No. of Individuals (%)	No. of Individuals (%)
Family Cyprinidae 잉어과		
<i>Carassius auratus</i> 붕어	23 (2.8)	311 (16.5)
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어	1 (0.1)	5 (0.3)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개	201 (24.7)	225 (11.9)
<i>Abbottina rivularis</i> 버들매치	2 (0.2)	1 (0.1)
<i>Zacco platypus</i> 피라미	6 (0.7)	6 (0.3)
Family Cobitidae 미꾸리과		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸리	483 (59.3)	1,298 (68.8)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지	4 (0.5)	7 (0.4)
Family Adrianichthyidae 송사리과		
<i>Oryzias latipes</i> 송사리	53 (6.5)	11 (0.6)
Family Centrarchidae 검정우럭과		
<i>Lepomis macrochirus</i> 블루길	4 (0.5)	1 (0.1)
Family Gobiidae 망둑어과		
<i>Rhinogobius giurinus</i> 갈문망둑	3 (0.4)	3 (0.2)
<i>Tridentiger brevispinis</i> 민물검정망둑	5 (0.6)	-
<i>Tridentiger bifasciatus</i> 민물두줄망둑	2 (0.2)	-
Family Osphronemidae 버들붕어과		
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어	28 (3.4)	20 (1.1)
Number of individuals	815 (100)	1,888 (100)
Number of species	13	11
Number of family	6	6

개가 약 84%의 높은 개체수 비율을 차지하고 있으며, 다음으로는 송사리(6.5%), 버들붕어(3.4%), 붕어(2.8%) 순으로 조사되었다. 친환경 논에서도 관행 논과 비슷하게 미꾸리와 왜물개의 개체수 비율이 높아 친환경 논 전체 개체수의 약 81%를 차지하였으며, 다음으로는 붕어(16.5%), 버들붕어(1.1%), 송사리(0.6%) 순으로 조사되었다. 영농 방법에 따른 어류군집 구조를 분석한 결과, 관행 논과 친환경 논(이하)의 다양도 지수(H'), 균등도 지수(E), 풍부도 지수(RI)는 1.23, 0.48, 1.79이며, 친환경 논과 관행 논(이하)의 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수는 각각 0.96, 0.40, 1.33이다(Table 2). 관행 논과 친환경 논(이하)의 어류상 변화는 벼 재배 방식의 차이로 인한 것으로 추정된다. 선행 연구에서는 관행 논과 친환경 논(이하)의 물 환경 특성 변화를 보여준다. 관행 논(이하)의 담수 수질 pH와 EC는 유기농 논에 비하여 높게 나타났으며, 또한 관행 논(이하)의 COD, T-P, 그리고 PO₄-P가 유기농 논에 비하여 높게 나타났다(Lee et al.

Table 2. Fish community indices in conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP)

Ecological index	CP	EFP
Diversity Index (H')	1.23	0.96
Evenness Index (E)	0.48	0.40
Richness Index (RI)	1.79	1.33

2016). 일반적으로 친환경 논은 관행 논에 비해 화학 살충제를 사용하지 않거나 소량만 사용한다. 따라서 이러한 재배 방식의 차이가 어류상 변화를 가져올 수 있을 것이다. 또한, 논 생태계에서 어류상 변화 메커니즘을 이해하기 위해서는 어류 독성 실험이나 조작 실험, 영농 시기 등을 고려한 추가 실험을 통해서 그 원인을 규명할 수 있을 것으로 보인다.

2. 개체의 크기별 빈도 분포

개체 크기별 빈도 분포에서 관행 논(CP)보다 친환경 논(EFP)에서 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)의 개체수가 전체적으로 높게 나타났다(Fig. 2a). 또한, 관행 논과 친환경 논에서 출현한 미꾸리를 생육 단계별 개체수로 비교한 결과(Table 3), 두 지역 간에는 Age 1, Age 2 연령대에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 친환경 논에서 모든 연령대의 미꾸리 개체수가 높게 나타난 것은 친환경 논이 관행 논보다 미꾸리 개체군이 생육하기에 적합한 서식지라는 것을 보여준다. 선행 연구에서도 친환경 논 의 미꾸리 개체수가 관행 논보다 약 2배 이상 높다는 것을 보여주었고, 특히 친환경 논은 많은 성어들이 산란하기에 적합한 서식환경으로 여겨지고 있으며 치어 및 미성어의 생존율도 높은 것으로 나타났다(Shin *et al.* 2018). 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)의 경우, 두 지역에서 채집한 개체수를 생육 단계별 개체수로 비교한 결과(Table 3), 관행 논(CP)과 친환경 논(EFP)의 왜물개 개체수에서 유의한 차이는 없었다. Age 0 연령에서 두 지역 간 개체수는 비슷한 반면에, Age 1 연령에서는 친환경 논 의 개체수가 관행 논보다 약 3.7배 많았다. 개체 크기별 빈도 분포에서도 비슷한 경향이 나타났다(Fig. 2b). 관행 논에서 서식하는 어류 들은 친환경 논 지역보다 농약에 노출될 확률이 높으며 어류 개체 발달에 악영향을 줄 수 있다(Choudhury 2018). 선행 연구에서도 관행농업지역보다 친환경농업지역의 어류 개체수가 더 많이 출현하였고, 이러한 경향은 농약 등의 영향으로 서식환경이 적합하지 않기 때문에 어류의 출현율이 낮게 나타난 것으로 추정하였다(Shin *et al.* 2011). 일반적으로 관행 논은 살충제와 제초제, 진균제의 사용빈도가 높아 작물 이외의 생물들에게는 악영향을 줄 수 있다(Lee and Ko 2021). 선행 연구에서는 진균제(fungicide)가 어류의 생리, 개체 발달뿐만 아니라 행동에 치명적인 영향을

줄 수 있다고 보고하였다(Choudhury 2018). 또한 살충제(insecticide)는 논 수서생물인 딱정벌레목, 환형동물, 선충 및 해면동물의 풍부도에 스트레스 요인으로 보고되어(Ito *et al.* 2020), 관행 논 습지에서는 어류 개체군뿐만 아니라 어류의 먹이 자원을 제한할 수 있다.

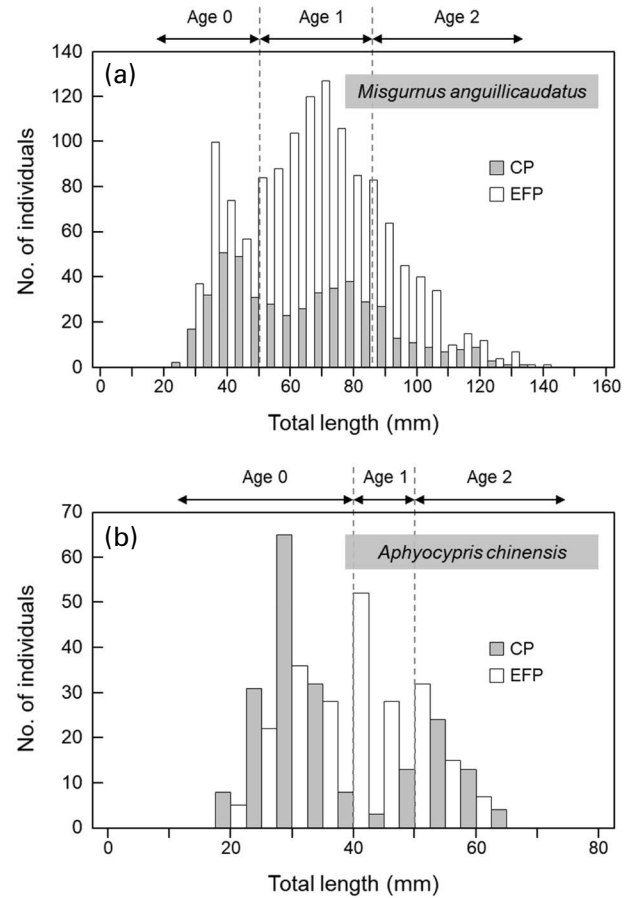


Fig. 2. Size-frequency distribution of individuals for *Misgurnus anguillicaudatus* (a) and *Aphyocypris chinensis* (b) collected from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP).

Table 3. The number of individuals of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* collected by age from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP). Data are expressed as mean \pm SE of 10 replication sites

Species	Treatment	Age 0	Age 1	Age 2
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	CP	18.5 \pm 6.8	22.7 \pm 6.1 ^a	7.1 \pm 0.8 ^a
	EFP	37.2 \pm 9.1	73.1 \pm 11.1 ^b	19.5 \pm 3.5 ^b
<i>Aphyocypris chinensis</i>	CP	14.4 \pm 10.1	1.6 \pm 0.6	4.1 \pm 1.6
	EFP	14.3 \pm 4.0	6.0 \pm 2.0	2.2 \pm 0.7

Different lower-case letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

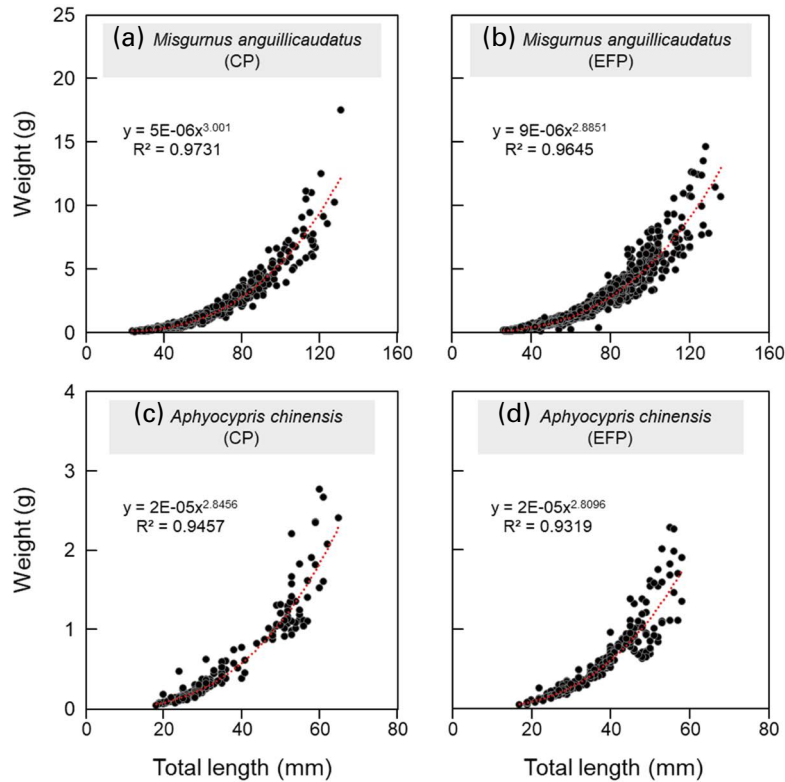


Fig. 3. Length-weight relationship for *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* collected from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP).

Table 4. Total length (mm), Body length (mm), Weight (g) of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphyocypris chinensis* collected from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP). Data are expressed as mean \pm SE of each group

Species	Treatment	Total length (mm)	Body length (mm)	Weight (g)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	CP	63.5 \pm 1.1	55.6 \pm 0.9	2.0 \pm 0.1 ^a
	EFP	65.4 \pm 0.6	56.4 \pm 0.5	2.1 \pm 0.1 ^b
<i>Aphyocypris chinensis</i>	CP	35.2 \pm 0.9 ^a	28.6 \pm 0.7 ^a	0.5 \pm 0.04 ^a
	EFP	37.7 \pm 0.6 ^b	30.4 \pm 0.5 ^b	0.6 \pm 0.03 ^b

Different lower-case letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

3. 전장-체중 분석

관행 논(CP)과 친환경 논(EFP)에서 서식하는 미꾸리 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 개체군의 전장(Total length), 체장(Body length), 체중(Weight) 값을 비교한 결과(Table 4), 두 지역 간에는 체중에서 유의한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 개체 크기별 빈도에서 볼 수 있듯이(Fig. 2a), 두 지역 간의 개체 수의 차이는 있지만 개체 크기별 분포 패턴이 유사하여 전장과 체장 평균에는 차이

가 없는 것으로 보인다. 왜물개(*Aphyocypris chinensis*)의 경우, 두 지역에서 서식하는 개체군을 비교한 결과, 관행 논(CP)보다 친환경 논(EFP) 개체군의 전장(Total length), 체장(Body length), 체중(Weight) 값이 높게 나타났다 ($p < 0.05$; Table 4). 이러한 결과는 관행 논에서 서식하는 왜물개 개체군의 연령이 어린 개체수(Age 0)는 비슷한 반면에, 친환경 논에서는 연령이 높은 개체군(Age 1)의 비율이 상대적으로 높게 나타났기 때문일 것이다(Fig. 2b).

관행 논과 친환경 논에서 우점하는 미꾸리와 왜물개

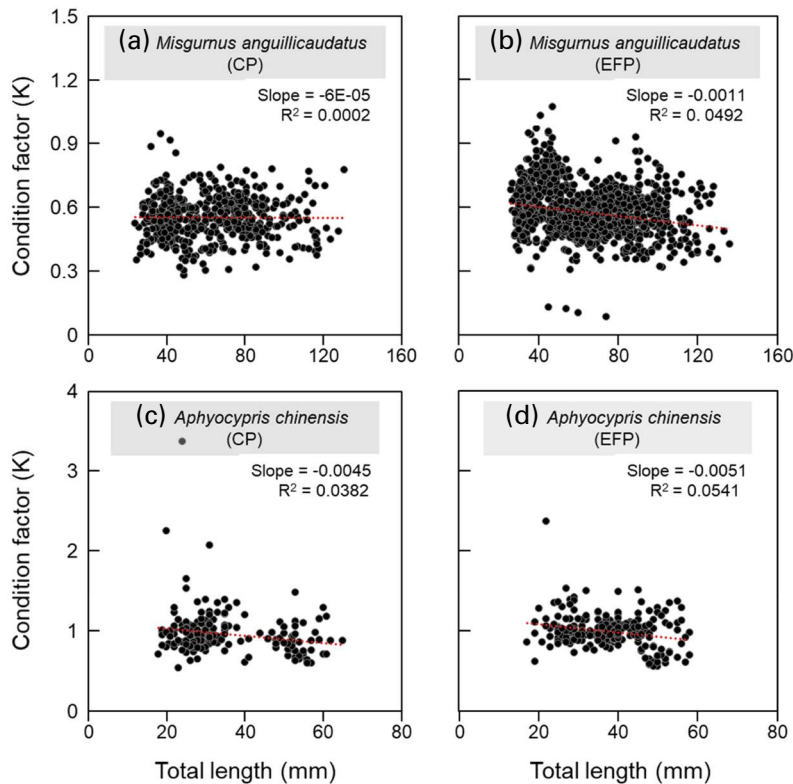


Fig. 4. The length-condition factor (K) relationship for *Misgurnus anguillicaudatus* and *Aphycypris chinensis* collected from conventional paddy fields (CP) and environmentally friendly paddy fields (EFP).

의 생육상태 및 생식 능력을 추정하기 위해, 미꾸리 1,781 개체와 왜물개 426 개체를 대상으로 전장-체중 (Length-weight)의 상관관계와 비만도 지수(K)를 분석하였다(Figs. 3, 4). 전장-체중의 상관관계에서 회귀계수 b 값은 개체군 성장도를 나타내며, 일반적으로 3.0보다 높으면 생육상태가 양호하다는 것을 의미한다(Han et al. 2007; Wang et al. 2021). 본 연구 결과에서, 관행 논(CP)에 서식하는 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*) 개체군의 회귀계수 b 값은 3.001이며, 친환경 논(EFP)에 서식하는 미꾸리 개체군의 회귀계수 b 값은 2.8851로 나타났다. 왜물개(*Aphycypris chinensis*)의 경우, 관행 논(CP)에 서식하는 개체군의 회귀계수 b 값은 2.8456이며, 친환경 논(EFP)에 서식하는 개체군의 회귀계수 b 값은 2.8096으로 나타났다. 선행 연구 결과에서도 관행 논(CP)의 회귀계수 b 값이 친환경 논(EFP)보다 높게 나타났으며, 이러한 결과는 높은 밀도에 의한 산란 스트레스나 먹이 경쟁 등에 의한 영향으로 추정하였다(Kim et al. 2017). 또한, 왜물개보다는 미꾸리가 논 습지 환경에서 생육상태가 양호하다는 것을 보여준다. 왜물개의 서식지는

서해안과 남해안의 흐르는 중하류의 소하천에서 무리 지어 서식한다는 보고가 있기 때문에(Lee et al. 2000), 논 생태계보다는 물의 흐름이 있는 하천 생태계에서 생육 상태가 양호할 것으로 추정된다. 반면에 미꾸리의 서식지는 늪이나 논에 정체된 수역에서 많이 서식한다는 보고가 있다(KISTI 2022). 특히 논에 물이 들어와 침수 상태가 되면, 논 토양은 빠르게 무산소 상태가 될 수 있고 산소가 부족한 수 환경을 형성할 수 있다(Bosse and Frenzel 1997). 그러나 논 습지는 수서곤충과 조류, 유기물 등과 같은 미꾸리의 먹이 자원이 풍부한 서식지이다(NARIS 2022). 또한, 미꾸리는 아가미 호흡과 장호흡을 통해 산소가 낮은 환경에서도 서식할 수 있는 생태적 특징으로 논 습지에서 우점종이 된 것으로 보인다(NARIS 2022).

관행 논(CP)과 친환경 논(EFP)에 서식하는 미꾸리 개체군(*Misgurnus anguillicaudatus*)의 비만도 지수(K)를 분석한 결과, 친환경 논(EFP)의 K 값(0.58 ± 0.003)이 관행 논(CP)의 K 값(0.55 ± 0.005)보다 통계적으로 높게 나타났다($p < 0.01$; Fig. 4a, b). 왜물개(*Aphycypris chinensis*)의 경우도 미꾸리

개체군의 비만도 지수(K)와 유사한 경향을 보이며, 친환경 논은 K 값(0.99 ± 0.01)이 관행 논은 K 값(0.96 ± 0.02)보다 높은 것으로 나타났다($p < 0.001$; Fig. 4c, d). 친환경 논에서 미꾸리와 왜물개 개체군의 K 값이 높게 나타난 것은 관행 논보다 영양상태가 양호하다는 것을 나타내며(Kim *et al.* 2017), 먹이원이 풍부하고 서식환경이 좋아 건강 상태가 양호한 것으로 추정된다(Seo 2005; Han *et al.* 2007). 그러나 본 연구 결과에서는 비만도 지수(K)의 slope 값이 모두 negative 값을 나타내고 있다. 또한 친환경 논에서 negative 값이 더욱 높게 나타나서 생육환경이 불안정하다는 것을 보여준다. 본 연구 결과에서, 친환경 논은 관행 논보다 미꾸리 개체수가 약 2.7배 많이 나타났다. 이러한 결과는 친환경 논이 관행 논보다 어류 개체군이 생존하기에 적합한 서식지일 수 있다. 그러나 높은 밀도는 미꾸리 성장을 제한하는 요인으로 작용할 수 있다. 제한된 공간에서 밀도가 높아지면 경쟁으로 인해 먹이가 부족할 수 있기 때문이다(Forrester 1990; Lee *et al.* 2014). 선행 연구의 결과에서도 논 생태계에서 미꾸리의 밀도가 높아짐에 따라 미꾸리 개체의 전장과 체중이 감소하는 경향을 보여줬다(Lee *et al.* 2014).

결론적으로 본 연구는 영농 방법에 따른 논 습지에 서식하는 어류상의 변화와 미꾸리와 왜물개 개체군 특성 변화를 보여주었다. 관행 논보다는 친환경 논에서 어류 개체수가 높게 나타났으며, 높은 밀도는 제한된 공간에서 먹이 자원에 대한 경쟁을 유발하여 어류 개체군 성장을 제한할 수 있다. 본 연구 결과는 농업생태계 생물다양성 보전을 위한 자료로 활용될 수 있으며 지속 가능한 농업과 안전한 먹거리 확보를 위한 기초자료로 이용될 수 있다.

적 요

논은 농업생태계의 생물다양성을 유지시켜주는 중요한 서식지이다. 최근 안전한 먹거리와 생물다양성 보전을 위한 필요성이 증가하여 벼 재배 방식이 변화하고 있다. 본 연구는 관행농업지역 논과 친환경농업지역 논을 대상으로 어류상을 조사하고 영농 방법에 따른 미꾸리와 왜물개 개체군의 특성을 파악하였다. 어류상 조사 결과, 총 6과 13종, 2,703 개체가 출현하였고, 관행 논과 친환경 논 모두에서 미꾸리와 왜물개의 높은 개체수 비율을 보였다. 영농 방법

에 따른 개체군 특성 조사 결과, 어류의 개체수 비율의 차이를 보였고, 개체 크기별 빈도 분포에서 친환경 논은 개체수가 관행 논보다 높게 나타났다. 미꾸리 개체군의 전장, 체장, 체중을 비교한 결과, 두 지역 간에는 체중에서 유의한 차이가 나타났고, 왜물개의 경우, 관행 논보다 친환경 논 개체군의 전장, 체장, 체중 값이 높게 나타났다. 전장-체중의 상관관계에서 회귀계수 b 값은 왜물개보다 미꾸리가 높게 나타났고, 비만도 지수(K)를 분석한 결과, 미꾸리와 왜물개 모두 관행 논은 K 값보다 친환경 논은 K 값이 높게 나타났다. 따라서 영농 방법에 따라 논에 서식하는 미꾸리와 왜물개 개체군 특성에 상당한 영향을 주는 것으로 보이며, 본 연구 결과는 향후 농업생태계에서 생물다양성 확보를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 고유연구개발사업(과제번호: PJ01674001)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

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, 2nd edition (Murphy BR and DW Willis eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Bang JH and EJ Lee. 2019. Differences in crab burrowing and halophyte growth by habitat types in a Korean salt marsh. *Ecol. Indic.* 98:599-607.
- Benton TG, JA Vickery and JD Wilson. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18:182-188.
- Bosse U and P Frenzel. 1997. Activity and distribution of methane-oxidizing bacteria in flooded rice soil microcosms and in rice plants (*Oryza sativa*). *Appl. Environ. Microbiol.* 63:1199-1207.
- Chappell MJ and LA LaValle. 2011. Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. *Agric. Hum. Values* 28:3-26.
- Choudhury N. 2018. Ecotoxicology of aquatic system: a review on

- fungicide induced toxicity in fishes. Pro. Aqua. Farm. Marine Biol. 1:180001.
- Forrester GE. 1990. Factors influencing the juvenile demography of a coral reef fish. Ecology 71:1666–1681.
- Frison EA. 2016. From Uniformity to Diversity: a Paradigm Shift from Industrial Agriculture to Diversified Agroecological Systems. International Panel of Experts on Sustainable Food systems. Louvain-la-Neuve, Belgium.
- Han SC, HY Lee, EW Seo, JH Shim and JE Lee. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong reservoir. J. Life Sci. 17:937–943.
- Huang LM, A Thompson, GL Zhang, LM Chen, GZ Han and ZT Gong. 2015. The use of chronosequences in studies of paddy soil evolution: a review. Geoderma 237:199–210.
- Ito HC, H Shiraishi, M Nakagawa and N Takamura. 2020. Combined impact of pesticides and other environmental stressors on animal diversity in irrigation ponds. PLoS One 15:e0229052.
- Katayama N, H Murayama and M Mashiko. 2015. The effect of organic farming on food intake and abundance of egrets and herons in rice fields. Jpn. J. Ornithol. 64:183–193.
- Kato N, M Yoshio, R Kobayashi and T Miyashita. 2010. Differential responses of two anuran species breeding in rice fields to landscape composition and spatial scale. Wetlands 30:1171–1179.
- Kim IS. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry Education. Seoul.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Press. Seoul.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak Press. Seoul.
- Kim MH, SK Choi, J Eo, SI Kwon and YJ Song. 2017. Influence of farming practices on length-weight relationship of the Loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) population in rice paddy fields. Korean J. Environ. Biol. 35:446–451.
- KISTI. 2022. Korea Institute of Science and Technology Information. Available from: <http://www.kisti.re.kr/> (accessed on 18 February 2022).
- Kubota Z, M Kuga, T Okamasa and T Maeda. 1965. Studies on culturing of Japanese loach, *Misgurnus anguillicaudatus* (CANTOR)-VII. Yield of the loach fry cultured in ponds, with estimation of the suitable stage to transferring, suitable ingredient of artificial food and the promotive effect of mud covering the bottom. Contr. Shimonoseki College Fish. 443:59–73.
- Lee HB and SK Ko. 2021. Effects of fungicide tebuconazole on the embryonic development of Korean domestic frogs (*Bufo gargarizans*, *Hyla japonica*, and *Pelophylax nigromaculatus*). Korean J. Environ. Biol. 39:311–318.
- Lee SK and DH Yeom. 2006. Acute toxicity of four pesticides on the Chinese bleak (*Aphyocypris chinensis*) indigenous to Korea. Korean J. Ecol. Environ. 39:419–423.
- Lee SK, SS Choi and DH Yeom. 2000. Reproductive cycle of the venus fish, *Aphyocypris chinensis*. Korean J. Ecol. Environ. 33:395–404.
- Lee SK, SS Choi and DH Yeom. 2001. Influence of water temperature on spawning of Chinese bleak, *Aphyocypris chinensis*. Korean J. Ecol. Environ. 34:337–341.
- Lee TG, BW Gu and SJ Park. 2016. Assessment on environmental characteristics of organic paddy and conventional paddy by comparing their soil properties and water quality. J. Korean Soc. Environ. Eng. 38:504–512.
- Lee YS, HG Han, SG Lim, KS Kim, EJ Kang and CJ Cheong. 2014. The effects of various rice and loach densities on water quality, loach growth, and rice production in paddy fields. J. Korean Soc. Environ. Technol. 15:263–269.
- Li M, R Li, J Zhang, S Liu, Z Hei and S Qiu. 2019. A combination of rice cultivar mixed-cropping and duck co-culture suppressed weeds and pests in paddy fields. Basic Appl. Ecol. 40:67–77.
- Lockwood JA. 1999. Agriculture and biodiversity: finding our place in this world. Agric. Hum. Values 16:365–379.
- Luo Y, H Fu and S Traore. 2014. Biodiversity conservation in rice paddies in China: toward ecological sustainability. Sustainability 6:6107–6124.
- NARIS. 2022. Korean Natural History Research Information System. Available from: <http://www.naris.go.kr/> (accessed on 18 February 2022).
- Nishio M, K Edo and Y Yamazaki. 2017. Paddy management for potential conservation of endangered Itasenpara bitterling via zooplankton abundance. Agric. Ecosyst. Environ. 247:166–171.
- Rasheed S, P Venkatesh, DR Singh, VR Renjini, GK Jha and DK Sharma. 2021. Ecosystem valuation and eco-compensation for conservation of traditional paddy ecosystems and varieties in Kerala, India. Ecosyst. Serv. 49:101272.
- Ratnadass A, P Fernandes, J Avelino and R Habib. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. Agron. Sustain. Dev. 32:273–303.
- Saito K, O Katano and A Koizumi. 1988. Movement and spawning of several freshwater fishes in temporary waters around paddy fields. Jpn. J. Ecol. 38:35–47.
- Seo JW. 2005. Fish fauna and ecological characteristics of dark chub (*Zacco temminckii*) population in the mid-upper region of Gam Stream. Korean J. Ecol. Environ. 38:196–206.
- Shin H, J Kim, J Ryu and K Jang. 2011. An ichthyofauna of agricultural technology in paddy fields, irrigation canal and drain.

- p. 216. In: Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference. The Korean Society of Agricultural Engineers. Seoul.
- Shin HS, YJ Song, SI Kwon, J Eo, SH Lee and MH Kim. 2018. Monthly change of the length-weight relationship of the loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) population in paddy fields by farming practices. Korean J. Environ. Biol. 36:1–10.
- Tilman D, J Fargione, B Wolff, C D'Antonio, A Dobson, R Howarth, D Schindler, WH Schlesinger, D Simberloff and D Swackhamer. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science 292:281–284.
- Wang JH, WS Choi, JK Choi and HG Lee. 2021. Current status of fish fauna and *Zacco platypus* population in the Cheonggyecheon stream. Korean J. Environ. Biol. 39:68–80.
- Winqvist C, J Bengtsson, T Aavik, F Berendse, LW Clement, S Eggers, C Fischer, A Flohre, F Geiger, J Liira, T Pärt, C Thies, T Tschardtke, WW Weisser and R Bommarco. 2011. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. J. Appl. Ecol. 48:570–579.