

Research Article



CrossMark

Open Access

## 생물자원의 논 잡초 생물학적 방제 효과와 그에 따른 수서동물과 곤충 종수 및 벼 수량 변화

최효정<sup>1,2\*</sup>, 서상영<sup>1</sup>, 최선우<sup>1</sup>, 이창규<sup>1</sup>, 엄미정<sup>1</sup>, 김주희<sup>1</sup>, 안민실<sup>3</sup>, 최우정<sup>2</sup>

<sup>1</sup>전라북도농업기술원 연구개발국 농업환경과, <sup>2</sup>전남대학교 농업생명과학대학 지역·바이오시스템공학과,  
<sup>3</sup>전라북도농업기술원 연구개발국 작물식품과

### Effects of Biocontrol Agents on Weed Control, Abundance of Aquatic Animals and Insects, and Yield in Paddy Rice Fields

Hyo Jung Choi<sup>1,2\*</sup>, Sang Young Seo<sup>1</sup>, Seon U Choi<sup>1</sup>, Chang Kyu Lee<sup>1</sup>, Mi Jeong Uhm<sup>1</sup>, Ju Hee Kim<sup>1</sup>, Min Sil An<sup>3</sup> and Woo Jung Choi<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Division of Climate Change Response, R&D Brea, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Ilksan 54591, Korea, <sup>2</sup>Department of Rural and Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea, <sup>3</sup>Division of Agriculture Food Development, R&D Brea, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Ilksan 54591, Korea)

Received: 10 March 2023/ Revised: 24 March 2023/ Accepted: 26 March 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

#### ORCID

Hyo Jung Choi  
<https://orcid.org/0000-0002-0584-8006>

Sang Young Seo  
<https://orcid.org/0000-0003-2729-0397>

Seon U Choi  
<https://orcid.org/0009-0007-6957-7683>

Chang Kyu Lee  
<https://orcid.org/0009-0002-4410-6045>

Mi Jeong Uhm  
<https://orcid.org/0009-0004-8208-841X>

Min Sil An  
<https://orcid.org/0000-0002-3742-0522>

Woo Jung Choi  
<https://orcid.org/0000-0002-2009-8207>

#### Abstract

Golden apple snails (*Pomacea canaliculata*) (GAS) are widely used for weed control in rice cultivation. However, concerns on the ecological risk of invasive GAS species are increasing. This study aimed to evaluate the overall impacts of GAS on weed control, abundance of aquatic animals and insects, and rice yield, in comparison with that from other biocontrol agents such as loach (*Misgurnus mizolepis*) and catfish (*Silurus asotus*), which are alternatives for biological weed control in rice paddy cultivation.

Field experiments included five treatments; control, herbicide, GAS, loach, and catfish. During the rice growth, weed appearance and biological abundance were monitored, and at harvest, the rice yield was determined. Weed control efficiency was the highest for GAS treatment (100%), followed by that for herbicide (95.8%), loach (57.5%), and catfish treatments (31.7%). Insect abundance was considerably decreased in GAS treatment due to heavy weed removal, which affects the habitat of aquatic animals and insects. The amount of rice yield (unit: kg 10 a<sup>-1</sup>) was in the order of GAS (798.9) > loach (708.1) = herbicide (700.7) > catfish (629.4) > control (496.0). Therefore, considering the weed control efficiency, biological abundance, and rice yield, loach could be a potential

\* Corresponding author: Hyo Jung Choi  
Phone: +82-63-290-6084; Fax: +82-63-290-6198;  
E-mail: soilchoi80@korea.kr

alternative for biological weed control in organic rice farming. However, the activity of the biocontrol agents are susceptible to environmental conditions; therefore, further studies under different conditions are essential to confirm these findings.

**Key words:** Biological weed control, Herbicide treatment, Organic farming, Rice paddy

## 서론

유기농업은 유기 합성 농약 · 화학비료 · 생장조절제 · 제초제 · 가축사료첨가제 등 합성 화학물질을 사용하지 않고, 유기물과 자연광석, 미생물 등 자연적인 자재만을 사용하여 농산물을 생산하는 농업이다. 수도작에서 논 잡초는 벼(*Oryza sativa* L.)의 생육과 수량을 제한하는 다양한 생물·화학적 스트레스 중 하나이기 때문에 유기농업에서도 비화학적 잡초 방제가 필요하다[1]. 우리나라에서는 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)를 이용한 잡초 방제가 널리 이용되고 있다[2,3]. 왕우렁이를 이용한 잡초 방제 벼 재배 면적은 해마다 증가하여, 2019년 기준 전체 논 벼 재배 면적(729,585 ha) 중 약 16%(118,311 ha)가 왕우렁이 농법을 사용하고 있으며, 왕우렁이 활용 농가(친환경 농가 및 일반 농가 포함)수도 2016년 6만 1천여 가구에서 2019년 기준 8만 2천여 가구로 지속적으로 증가하고 있다.

한편, 수도작에서 둥벍(*puddle*)이 있을 경우 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*) · 메기(*Silurus asotus*) · 붕어(*Carassius carassius*) · 송사리(*Oryzias latipes*) 등의 어류가 논에 서식할 수 있다[4]. 논은 먹이원이 풍부하고 포식자가 적으며 수온이 높아서 어류의 서식환경으로 적합하다. 특히, 미꾸라지는 논에 머무는 시간이 다른 어류에 비해 길기 때문에 개체군 유지가 안정적이고[5], 장호흡을 하여 논에서 서식하기 알맞은 생리적 특성을 가지고 있다[6]. 또한, 메기는 아가미 호흡을 하여 물이 혼탁해질 경우에 생리적 장애 및 스트레스에 의해 논에서 생육과 번식이 감소할 수 있다[7].

다양한 생물자원 중 왕우렁이가 논에서 서식하기에 가장 적합한 생물이지만, 이양하여 뿌리가 단단해진 벼와 다르게, 이양 직후 어린 모와 직파재배 조건에서는 왕우렁이에 의한 피해가 지속해서 나타나는 문제가 있다[8,9]. 또한, 왕우렁이는 외래종으로 생태교란 등의 문제가 발생할 우려가 있는데[10], 2004년 환경부가 왕우렁이 위해성 문제를 제기하였고, 2007년 생태계위해성 2급 지정, 2017년 생태계위해성 1급 지정, 2019년 생태계 교란종으로 지정 · 고시되었다. 하지만, 국내 친환경 벼 재배농가 84%가 왕우렁이를 제초 목적으로 활용하고 있고, 친환경단체 중심으로 생태계 교란종 지정을 반대하여 2020년에는 생태계 교란종 지정에서 조건부로 유보되었다.

또한, 최근 지구온난화에 의해 왕우렁이의 월동이 가능해지면서, 논 벼 재배지 이외의 환경(농수로, 저수지, 소하천)으로 왕우렁이가 유출되어 생태계 교란 등 환경에 부정적인 영향이

더욱 우려되고 있다[11]. 따라서, 최근 국가적으로도 친환경 농업 확대 정책이 추진되고 있는 상황에서, 생물학적 잡초 방제 효과가 큰 왕우렁이의 생태계 위해성 우려를 최소화하면서 친환경 농업에 활용할 수 있는 제초 방법 개발이 필요하다. 특히, 농업의 경제성이나 생산성 및 수량성도 포괄하여 유기농업 농가에서 실제 활용할 수 있는 친환경 벼 재배를 위해 다양한 생물자원을 활용한 제초 방법 개발이 요구된다. 본 연구는 왕우렁이를 이용한 생물학적 제초의 친환경적인 측면을 재검증하고, 자연유출 및 월동시 문제가 되는 왕우렁이를 대체할 수 있는 생물자원(미꾸라지, 메기)을 탐색하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 시험 포장 및 실험 설계

본 시험은 2022년 5월부터 2022년 10월까지 전라북도 농업기술원 시험포장 친환경 논 벼 재배지에서 실시하였다. 시험포장(35°55'30.3"N 127°00'14.6"E)의 토양은 Gleysols(회색토, WRB)로 분류되었고, 토양 pH는 5.3으로 약산성 토양이며, 유기물함량, 유효인산, 교환성칼륨의 함량은 적정 기준보다 높았지만(Table 1), 타 지역 논토양과 유사하였다[12,13]. 실험기간 동안 일 강수량, 일 평균온도 등의 기상자료는 농진청 농사로 농업 기술 포털 시스템의 농업 기상정보 서비스를 참고하였으며, 관측 장소는 전라북도 익산시 함열읍으로 설정된 데이터를 사용하였다(Fig. 1).

시험포장(42×17.6m, 739 m<sup>2</sup>)은 세로로 5등분하여, 생물자원 3종(왕우렁이, 미꾸라지, 메기)과 무처리, 제초제(관행) 처리구 등 5처리구를 3반복 처리하였다. 미꾸라지, 메기, 무처리의 처리구당 면적은 각각 105 m<sup>2</sup>이었으며, 왕우렁이와 제초제 처리구 면적은 각각 211 m<sup>2</sup>이었다. 각 처리구별로 구획을 나누고 가벽을 설치하여 생물들이 왕래하지 못하도록 차단시켰다. 왕우렁이의 유출을 막기 위해 구리테이프를 가벽에 붙였으며, 조류의 피해를 막기 위해 둥벍이 있는 미꾸라지와 메기 처리구에는 조류가림 망사를 설치하였다. 또한 미꾸라지와 메기 처리구의 관개수가 유입되는 초입에 둥벍을 두어 중간 낙수기에 생물이 자유롭게 이동하여 서식할 수 있도록 하였다.

### 벼 재배 실험

벼 품종은 신동진벼로 보급종을 전북농업기술원 종자 사업소에서 분양받아 사용하였다. 양분 공급을 위해 씨레질 15일 전 200 kg 10 a<sup>-1</sup> 수준으로 유박비료를 기비사용하였고, 벼는 10일간 육묘하여, 재식거리 80주 3.3 m<sup>2</sup> (30 × 14 cm) 수준으로 2022년 6월 10일에 기계 이앙하였다. 왕우렁이는 부화한 지 30일 정도 자란 치배 5-15 g (처리량: 1 kg 211 m<sup>2</sup>), 미꾸라지는 3개월 자란 치어(5-10 cm) (21 kg 105 m<sup>2</sup>), 메기는 3개월 자란 치어(5-10 cm) (10 kg 105 m<sup>2</sup>)를 양식장으로부터 구입하여 사용하였다. 이앙 5일 후 각 처리구별로 생물자원을 투입하였다. 제초제 처리구에는 초기제초제(이앙 4일 후)와 중기제초제(이앙 15일 후)를 처리하였다. 2022년 7월 20일부터 30일까지 10일간 중간물떼기를 하였다. 중간물떼기 동안

Table 1. Physical and chemical properties of soil used in the experiment

Parameter	Before cultivation	Appropriate range (Agricultural land-paddy standard)
pH (1:5)	5.3 ± 0.1	5.5-6.5
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.7 ± 0.1	<2.0
Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	38 ± 1.8	20-30
Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	181 ± 48.7	80-120
Exchangeable Cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	K	0.2-0.3
	Ca	5.0-6.0
	Mg	1.5-2.0
Total N (%)	0.2 ± 0.0	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N kg <sup>-1</sup> )	7.5 ± 2.4	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N kg <sup>-1</sup> )	6.7 ± 1.4	-
Soil texture	Silty Clay Loam	
Sand (%)	4.9 ± 0.5	
Silt (%)	59.1 ± 1.0	
Clay (%)	35.9 ± 0.9	
Bulk Density (Mg m <sup>-3</sup> )	1.3 ± 0.0	

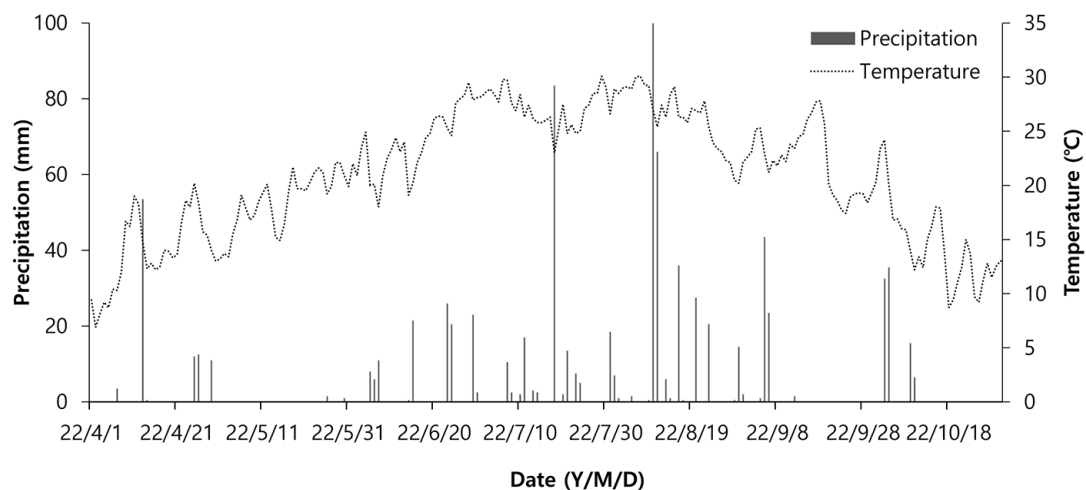


Fig. 1. Changes in mean daily air temperature and precipitation during rice cultivation.

생물 처리구에서는 덩병 쪽으로 생물을 유인하고 거름망을 설치하여 논물을 배출하였고, 중간물떼기 후 2022년 8월 1일에 다시 관개를 시작하였다.

#### 잡초 발생 및 수서동물·곤충 조사

1 m<sup>2</sup> 구획을 만들어 생육 기간 동안 매월 1회 잡초 밀도를 조사하였고, 또 다른 정해진 구역에서 벼 10주에 대해서 초장 및 분얼수를 조사하였다. 처리구 내 수서동물과 곤충 종류 및 개체수는 표토를 한달 간격으로 샘플링하여 총 5회 조사하였다. 제초제 사용에 의한 논 생태계 영향 평가를 위해 처리구별 지상부 곤충의 종류 및 개체수는 포충기를 사용하여 2주 간격으로 총 7회 조사하였다. 채집된 수서동물과 곤충은 실험실

에서 분리하여 70% 에탄올에 고정하여 실체현미경(ZEISS SteREO Discovery.V8, Germany)으로 동정하였고, 논 생태계 수서무척추동물 도감, 한국곤충대도감 등의 도감과 관련 문헌들을 참고하여 기재하였다.

#### 벼 수량 조사

벼는 2022년 10월 20일에 수확하였고, 탈곡 및 도정을 거쳐 백미수량을 조사하였다. 시험구 당 100주를 채취하여 정조증과 수분함량을 측정하여 수분함량 14%로 보정하였다. 수량 구성요소는 주당수수, 수당립수, 등숙률, 천립중 및 10 a당 수량으로 조사하였다. 초장, 분얼수 및 주당수수는 처리구당 10주를 무작위 선택하여 3반복으로 조사하였고, 등숙률은 등숙립과

불완전립을 선별하여 계수하였다. 현미천립증은 제현 후 완전립 1,000개의 현미를 선별하여 3반복으로 측정하여 평균값으로 계산하였고, 농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준에 따랐다.

### 토양 분석

토양 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법과 토양화학 분석법에 준하여 수행하였다. 채취한 토양은 풍건한 후 2 mm 체로 자갈을 분리한 후 토성, pH, 전기전도도(EC), 유기물함량, 토양 유효인산, 교환성양이온, 총질소(T-N), 무기태질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )의 분석에 이용하였다. 토성은 비중계법으로 분석하고, 미국 농무부 분류기준에 따라 판정하였다[14]. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 침출한 후 pH 미터(Orion3 star, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하였다. 토양 EC는 pH 측정 후 현탁액을 여과한 후 전기전도도 측정기(PW 9509/20, Philips, GT Britain)로 측정하였다. 토양 유기물은 Tyurin법, 토양의 유효인산 함량은 Lancaster법, 교환성 양이온은 1 M  $\text{NH}_4\text{OAc}$ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP-OES, Integra Dual, GBC, Australia)로 측정하였으며, T-N은 원소분석기(Vario max cube, Elementar, Germany)로 분석하였다.  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 은 0.025 M  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 로 침출하여 이온선택성 전극(A 214, Thermo, USA)으로 측정하였으며,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 은 2 M KCl로 침출한 용액에 MgO를 넣고 증류하여 암모니아를 2% 붕산 용액에 포집하여 0.01 N 황산 용액으로 적정하여 분석하였다.

### 통계분석

제조제 및 생물자원 종류별 논벼 생육과 생산량에 대한 각 처리구 사이의 유의적인 차이를 비교하기 위하여 R 프로그램(R i368 4.0.0, The R Foundation, Vienna, Austria)을 이용하여 처리 효과에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 처리에 따른 차이에 대한 유의성은 5%의 유의수준에서 최소

유의차(least significant difference, LSD) 검정법으로 신뢰구간 95% 수준에서 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 잡초 발생

무처리구와 비교하여 관행 제조제 및 생물자원 처리구에서 작물의 제조효과가 개선되었는데, 특히, 왕우렁이 처리구에서 제조효과가 가장 높았다(Fig. 2). 무처리구의 잡초밀도가 제일 높은 8월 1일을 기준으로 잡초제거 효율은 제조제 처리구는 95.8%이었으며, 왕우렁이 100%, 미꾸라지 57.5%, 메기 처리구는 31.7%였다. 이양 후 한 달 간격으로 잡초 밀도를 조사한 결과, 무처리구는 7월 1일  $152.7 \text{ ea m}^{-2}$ 에서 중간물떼기(7월 20일-30일)를 거치면서 지속적으로 감소하다가 9월 30일경에는  $108.7 \text{ ea m}^{-2}$ 까지 감소하였다(Fig. 2).

제조제 처리구에서는 시간이 지날수록 잡초 밀도가  $5.7 \text{ ea m}^{-2}$ 에서  $1 \text{ ea m}^{-2}$ 로 감소하였으며, 8월 1일 방제가가 95.8%로 초기 제조효율이 높았다. 왕우렁이 처리구에서는 이양 후부터 수확기까지 잡초밀도가  $0 \text{ ea m}^{-2}$ 로 제조효율이 일관되게 우수하였다. 이와 같은 왕우렁이의 높은 제조 효과는 잡초가 발생 초기에 물에 완전 잠겼을 때 왕우렁이에 의한 잡초 섭취량이 많으며, 그에 따른 제조 효과가 벼 생육 후반기까지 지속되었기 때문으로 판단된다[15]. 미꾸라지 처리구는 7월 1일에서 8월 1일까지는  $44.7\text{-}57.3 \text{ ea m}^{-2}$ 로 증가하였으나, 중간물떼기 이후 지속 감소하여 9월 30일에 최종  $8.7 \text{ ea m}^{-2}$ 이었으며, 9월 30일 기준으로 잡초 방제효율은 57.5%로 제조제(95.8%) 처리구와 통계적으로 유의한 차이는 없었지만( $P>0.05$ ) 다소 낮았다. 메기처리구는 초기(7월 1일 기준,  $54.3 \text{ ea m}^{-2}$ )에는 잡초밀도가 미꾸라지( $44.7 \text{ ea m}^{-2}$ ) 처리구와 비슷한 수준이었으나, 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하여 최종적으로 제조 효율이 31.7%로 방제가가 미꾸라지 처리구보다 1.8배, 왕

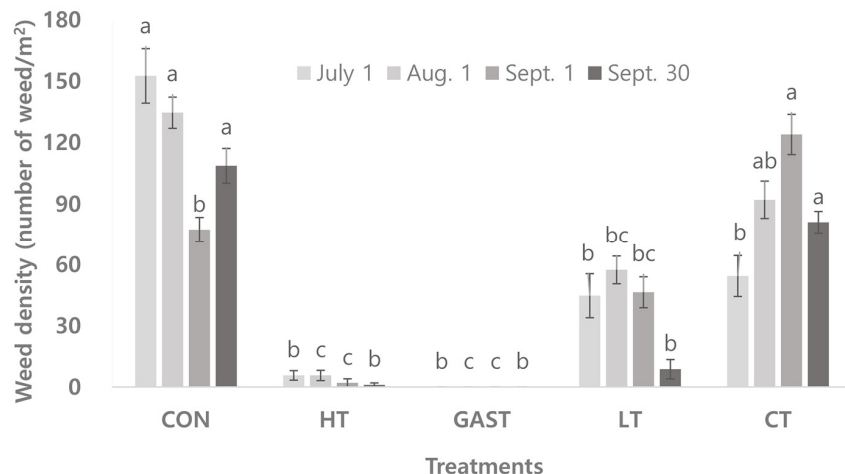


Fig. 2. Weed density and herbicidal effect as affected by the different weeding treatments. Values are the means with standard errors in parentheses ( $n=3$ ), and those followed by a different letter are significantly different between treatments at  $\alpha=0.05$ . CON, no treatment; HT, herbicide treatment; GAST, golden apple snail treatment; LT, loach treatment; CT, catfish treatment.

우렁이 처리구보다는 3.2배 낮았다( $P<0.05$ ). 미꾸라지 처리구의 경우 왕우렁이 및 제초제 처리구보다는 제초효과가 다소 낮기는 하였지만, 메기 처리구보다는 유의하게 높았는데, 이는 아마도 중간물떼기 과정의 영향으로 판단된다. 즉, 미꾸라지는 중간물떼기 기간 동안 땅속 및 뚝방에 있다가 논물 재유입 이후 다시 활동성이 확보되었지만, 메기는 논물 방출시 땅 속에서 서식할 수 없어 상대적으로 소실된 양이 많았기 때문으로 판단된다. 또한, 미꾸라지의 활발한 움직임으로 발생하는 흙탕물에 의해 잡초 생육과 번식이 억제될 수도 있다[16-18].

### 수서동물 및 곤충 밀도

논벼 재배포장에서 농법에 따른 수서동물(Table 2)과 지상부 곤충(Table 3)의 밀도는 처리구별로 서로 다른 양상을 보였다. 관행처리구와 비교하여 유기농 논(생물처리구)에서 조사기간 동안 수서동물(실지렁이(*Tubifex tubifex*), 물뽕뱀이

(*Hydrophilidae*), 물방개속(*Cybister*) 등)의 평균밀도가 낮았다(Table 2). 특히, 왕우렁이 처리구의 수서동물 개체수가 7월 20일을 제외한 나머지 조사시점에서 다른 처리구보다 매우 낮았다. 한편, 같은 생물처리구임에도 불구하고, 메기 처리구에서는 수서동물의 평균 개체수가 무처리구보다 18.2% 증가하였고, 왕우렁이 처리구에 비교하여 2.1배 증가한 것으로 나타나 방사한 생물종에 따른 차이를 확인할 수 있었다. 이는 수서동물이 방사한 생물(왕우렁이 등 3종)의 먹이원이 되었으며, 특히 왕우렁이와 미꾸라지가 잡초뿐 아니라 다른 수서동물을 포식하였거나, 왕우렁이와 미꾸라지의 제초 작용에 의해 수서동물의 서식처가 훼손되었기 때문으로 판단된다[19]. 또한, 중간물떼기 전(7월 20일)과 후(8월 5일) 사이에 수서동물의 개체수가 크게 감소하였는데, 이는 중간물떼기에 의한 수서동물의 서식처 파괴에 의한 것으로 판단된다[20].

지상부 곤충(까마귀과(*Chironomidae*), 멸구과(*Delphac-*

Table 2. Aquatic animal occurrence density on the rice field as affected by the different weeding treatments

Treatments*	Aquatic animal (number/m <sup>2</sup> )					Ave.	Index (%) relative to the control
	July 8	July 20	Aug. 5	Aug. 25	Sept. 22		
CON	30.3±3.2a <sup>z</sup>	50.7±7.4a	20.3±2.1ab	20.3±3.6a	8.7±1.2c	26.1	100
HT	22.0±4.6a	41.3±3.8a	17.7±3.2bc	15.3±4.2ab	22.0±1.7b	23.7	90.8
GAST	14.7±1.2a	46.0±13.1a	6.3±1.5c	4.3±1.5b	3.3±1.5c	14.9	57.3
LT	25.0±3.6a	27.7±4.0a	21.7±3.5ab	12.3±1.2ab	14.3±3.2bc	20.2	77.5
CT	30.0±1.7a	34.7±7.0a	32.0±5.3a	18.7±1.5a	38.7±5.1a	30.8	118.2
Total	122.0	200.4	98.0	70.9	87.0		
Effect	Probability > F						
Treatment	0.596	0.875	<0.05	<0.1	<0.01		

<sup>z</sup>Values are the means with standard errors in parentheses (n=3), and those followed by a different letter are significantly different between treatments at  $\alpha=0.05$ .

\*CON, no treatment; HT, herbicide treatment; GAST, golden apple snail treatment; LT, loach treatment; CT, catfish treatment.

Table 3. Changes in the density of insects in the aboveground part of the rice field as affected by the different weeding treatments

Treatments*	Insects in the aboveground part (number/30tree)							Ave.	Index (%) relative to the control
	July 6	July 19	Aug. 2	Aug. 17	Aug. 31	Sept. 2	Oct. 4		
CON	137.3±12.6a <sup>z</sup>	18.0±0.0b	32.7±4.5b	12.3±4.0a	29.7±7.8a	47.7±7.6a	60.0±7.0a	48.2	100
HT	110.3±11.2a	23.0±1.7ab	32.0±2.6b	14.3±3.8a	15.7±4.0a	19.3±2.5a	22.3±4.9b	33.8	70.2
GAST	77.3±11.9a	38.3±4.7a	64.3±10.1a	23.0±3.6a	29.3±3.2a	26.0±3.5a	41.7±5.7ab	42.8	88.8
LT	42.0±7.5a	20.0±2.6b	78.3±8.7a	33.3±5.0a	39.3±7.5a	45.0±7.9a	31.3±4.2b	41.3	85.7
CT	68.3±13.3a	19.3±3.8b	80.7±14.0a	27.7±7.4a	20.7±2.1a	41.0±3.6a	37.0±6.0ab	42.1	87.3
Total	435.2±	118.6	288.0	110.6	134.7	179.0	192.3		
Effect	Probability > F								
Treatment	0.701	0.106	<0.01	0.620	0.376	0.282	<0.05		

<sup>z</sup>Values are the means with standard errors in parentheses (n=3), and those followed by a different letter are significantly different between treatments at  $\alpha=0.05$ .

\*CON, no treatment; HT, herbicide treatment; GAST, golden apple snail treatment; LT, loach treatment; CT, catfish treatment.

Table 4. Rice growth parameters during the course of rice growth under different weed control management

Treatments*	Plant height (cm)					Tillering (No.)				
	July 1	Aug. 1	Sept. 1	Oct. 4	Index (%) relative to Oct. 4	July 1	Aug. 1	Sept. 1	Oct. 4	Index (%) relative to Oct. 4
CON	30.6±2.0ab <sup>z</sup>	75.7±3.4bc	105.3±3.3bc	103.4±4.1c	100	12.6±2.6ab	11.0±3.3b	9.6±2.7b	9.5±2.8c	100
HT	30.9±1.8a	81.7±3.2a	111.2±5.5a	107.9±4.2abc	105.3	15.4±3.3a	30.6±2.5a	15.8±2.5a	15.0±2.4ab	179.9
GAST	30.0±2.5bc	82.1±3.8a	108.5±3.4ab	110.4±3.5ab	105.1	11.8±4.5abc	17.4±3.6a	16.2±3.7a	15.8±4.1a	143.3
LT	29.7±3.2c	80.8±3.4ab	103.7±4.7bc	111.1±5.3a	103.3	10.9±2.3bc	16.9±3.4a	16.1±3.3a	15.3±3.8ab	138.7
CT	31.3±3.6a	75.2±4.4c	101.5±4.2c	105.5±4.0bc	99.5	8.4±2.2c	12.5±2.3b	11.6±2.6b	11.6±2.6bc	103.2
Effect	Probability > F					Probability > F				
Treatment	<0.05	<0.05	<0.05	<0.1		<0.05	<0.05	<0.01	<0.05	

<sup>z</sup>Values are the means with standard errors in parentheses (n=3), and those followed by a different letter are significantly different between treatments at  $\alpha=0.05$ .

\*CON, no treatment; HT, herbicide treatment; GAST, golden apple snail treatment; LT, loach treatment; CT, catfish treatment.

*idae*), 매미충과(*Cicadellidae*) 등) 밀도는 무처리구에 비해 모든 처리구에서 감소하였는데, 관행 제초제 처리구의 곤충 밀도는 무처리구 대비 70.2%였고, 유기 잡초 방제 논(생물처리구)에서는 80% 이상으로 상대적으로 높았다(Table 3). 이 결과는 생태계에서 생물을 활용한 유기 잡초 방제의 곤충 생태계에 대한 긍정적 효과를 보여준다[21-23].

시기별로는 중간물떼기(7월 20일) 이전에는 곤충 밀도가 감소하다 이후 증가하는 경향을 보였다. 중간물떼기 후 작물의 뿌리 생장이 개선되어 초장과 엽면적이 증가하여 벼 윗부분에 서식하는 곤충이 증가하였기 때문으로 판단된다[24,25].

### 작물생육 및 수량 특성

벼 생육과 수량은 잡초는 물론 병해충과 토양 양분 그리고 물관리에 의해 영향을 받는다[26,27]. 본 연구에서 무처리구와 비교하여 제초제 및 생물을 방사한 처리구에서 벼의 전반적인 생육 특성이 개선되었으며, 통계적으로 처리간 유의성( $P<0.05$ )이 인정되었다(Table 4). 특히 왕우렁이 처리구(대조구 대비 105.1%)의 초장은 제초제 처리구(105.3%)와 비슷하였고, 분얼수도 무처리 대비 제초제(179.9%) > 왕우렁이(143.3) > 미꾸라지(138.7) > 메기(103.2) 처리구 순서였다. 수량구성 요소도 처리간에 차이가 있었는데, 무처리 대조구의 주당수수는 11개였고, 메기 처리구에서는 11.3개로 무처리구와 비슷하였지

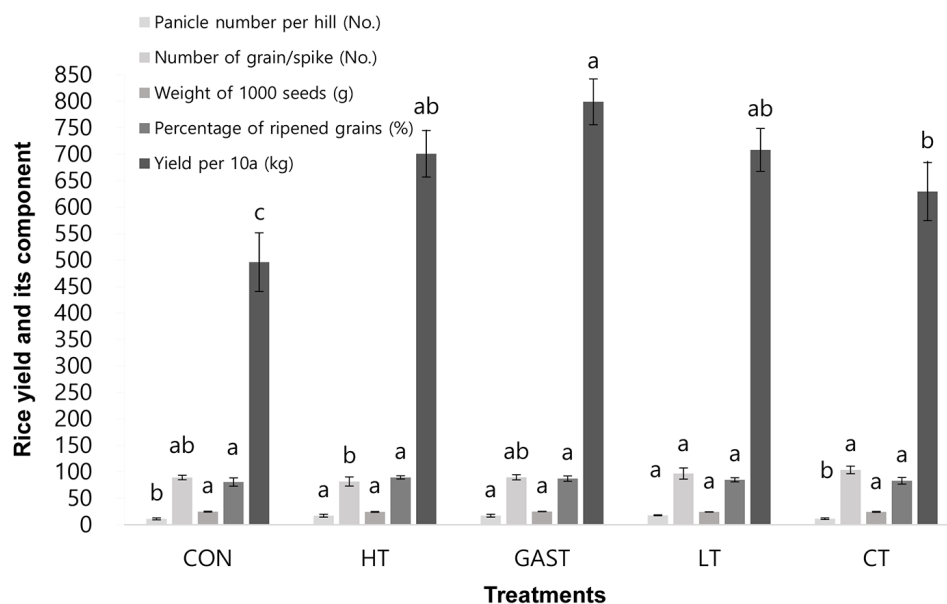


Fig. 3. Rice yield and its component under different weed control management. Values are the means with standard errors in parentheses (n=3), and those followed by a different letter are significantly different between treatments at  $\alpha=0.05$ . CON, no treatment; HT, herbicide treatment; GAST, golden apple snail treatment; LT, loach treatment; CT, catfish treatment.

만, 제초제, 왕우렁이, 미꾸라지 처리구에서는 17.0-17.8개로 증가하였다(Fig. 3). 백미수량(단위:  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ ) 또한 무처리(496.0) < 메기(629.4) < 제초제(700.7) < 미꾸라지(708.1) < 왕우렁이(798.9) 처리구 순으로 특히 왕우렁이 처리구에서 백미 생산량 지수가 높았으며, 미꾸라지 처리구의 수량 지수는 제초제 처리구와 차이가 없었다. 일반적으로 유기농 제초에 의해 수량이 감소하는 것으로 보고되고 있으나[28,29], 본 연구에서는 여러 가지 복합적인 요인(제초효과, 병충해 방제효과, 배설물의 비료대체 효과)에 의해 생물자원을 이용한 유기농 제초 처리에 의해 벼 생산성이 증가한 것으로 판단된다. 생물자원은 벼 생육 기간동안 활동성으로 인해 잡초 뿌리를 자극하여 초기에는 잡초의 발아억제제 역할을 하고, 후기에는 잡초의 포식자 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한 처리 생물의 배설물이 비료대체 효과를 가져올 수 있고, 생물이 이동하면서 벼 포기들을 자극하여 생육을 촉진시킬 수 있다. 본 연구 결과는 유기농 농가에서 일반적으로 사용하는 왕우렁이 제초방법을 대체할 수 있는 방안으로 미꾸라지 농법의 적용 가능성을 제시한다.

## 결론

본 연구에서는 제초효과가 우수하지만, 생태 위해성이 있는 왕우렁이 대체용 생물자원인 미꾸라지와 메기의 제초효과와 생태 영향 그리고 벼 수량을 무처리와 관행 제초처리구와 비교 평가하였다. 왕우렁이 처리구의 제초 효과가 가장 높았으며(100%), 제초제(95.8%) > 미꾸라지(57.5%) > 메기(31.7%) 처리구 순서였다. 수서동물과 곤충에 대한 영향은 처리구별로 매우 상이하였지만, 왕우렁이 처리구에서는 잡초 완전 제거에 의한 생물 서식처 파괴에 의해 생물종수가 상대적으로 낮았다. 벼 수량(단위:  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ )은 왕우렁이(798.9) > 미꾸라지(708.1) = 제초제(700.7) > 메기(629.4) > 무처리(496.0) 순서였다. 따라서, 제초효과, 생태계 영향, 그리고 벼 수량을 종합적으로 고려하면 미꾸라지를 이용한 잡초 방제가 새로운 대안이 될 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 이와 같은 효과는 기후 등의 외부 요인에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 미꾸라지 농법의 농업현장 보급을 위해서는 미꾸라지를 대상으로 한 추가적인 연구가 필요하다.

## Note

The authors declare no conflict of interest.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01560403)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

1. Tshewang S, Sindel BM, Ghimiray M, Chauhan BS (2016) Weed management challenges in rice (*Oryza sativa* L.) for food security in Bhutan: A review. *Crop Protection*, 90, 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.031>.
2. Kim HD (1998) Weed control effect by input of Golden Apple snails. In *Korean Society of Organic Agriculture Symposium for the 1st half of the Year*, 83-90.
3. Jeong SJ, Park HS, Oh JS, Choi BC, Choi SK (1999) Studies on the ecology and ingestion of *Ampullarius insularis* for weeding of paddy rice. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 7(2), 169-177.
4. Katano O, Hosoya K, Iguchi KI, Aonuma Y (2001) Comparison of fish fauna among three types of rice fields in the Chikuma River basin. *Japanese Journal of Ichthyology*, 48(1), 19-25. <https://doi.org/10.11369/jji1950.48.19>.
5. Harding JS, Norton DA, McIntosh AR (2007) Persistence of a significant population of rare Canterbury mudfish (*Neochanna burrowsius*) in a hydrologically isolated catchment. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 41, 309-316. <https://doi.org/10.1080/00288330709509918>.
6. Kim JO, Shin HS, Yoo JH, Lee SH, Jang KS, Kim BC (2011) Functional evaluation of small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during midsummer drainage period. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(1), 37-42. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.1.37>.
7. Peterson MS (1990) Hypoxia-induced physiological changes in two mangrove swamp fishes: sheepshead minnow, *Cyprinodon variegatus* Lacepede and sailfin molly, *Poecilia latipinna* (Lesueur). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 97(1), 17-21. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(90\)90715-5](https://doi.org/10.1016/0300-9629(90)90715-5).
8. Wada T (2004) Strategies for controlling the apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae) in Japanese direct-sown paddy fields. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 38(2), 75-80. <https://doi.org/10.6090/jarq.38.75>.
9. Horgan FG, Figueroa JY, Almazan MLP (2014) Seedling broadcasting as a potential method to reduce apple snail damage to rice. *Crop Protection*, 64, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.022>.
10. Turner MG (2010) Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10), 2833-2849. <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>.



11. Lee SB, Koh MH, Na YE, Kim JH (2002) Physiological and ecological characteristics of the apple snails. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 21(1), 50-56. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2002.21.1.050>.
12. Lee CR, Hong SG, Lee SB, Park CB, Kim MG, Kim JH, Park KL (2015) Physico-chemical properties of organically cultivated upland soils. *Journal of Organic Agriculture*, 23(4), 875-886. <https://doi.org/10.11625/KJOA.2015.23.4.875>.
13. Cha EJ, Hamm SY, Kim HJ, Lee JH, Ok SI (2010) Physical and chemical properties of soil in Jang-San wetland, Busan metropolitan city. *Journal of Environmental Science International*, 19(11), 1363-1374. <https://doi.org/10.5322/JES.2010.19.11.1363>.
14. Gee GW, Bauder JW, Klute A (1986) Methods of soil analysis, in: part 1, physical and mineralogical methods. pp. 383-412, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
15. Litsinger JA, Estano DB (1993) Management of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* (Lamarck) in rice. *Crop Protection*, 12(5), 363-370. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(93\)90079-X](https://doi.org/10.1016/0261-2194(93)90079-X).
16. Uchida S (1990) Distribution of Plecoptera in the Tamagawa river system, central Japan. in: Campbell, I.C. (eds) Mayflies and stoneflies: Life histories and biology. *Series Entomologica*, vol 44. pp. 181-188, Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2397-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2397-3_22).
17. Choi MG, Kim SS, Lee SY, Choi SY (1995) Influence of midsummer drainage on growth and lodging of rice in direct seeding on dry paddy. *Korean Journal of Crop Science*, 40(5), 574-579.
18. Kim JO, Shin HS, Yoo JH, Lee SH, Jang KS, Kim, BC (2011) Functional evaluation of small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during midsummer drainage period. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(1), 37-42. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2011.30.1.37>.
19. You YH, Kim HR (2010) Key factors causing the *Euryale ferox* endangered hydrophyte in Korea and management strategies for conservation. *Journal of Wetlands Research*, 12(3), 49-56.
20. Semeniuk CA, Semeniuk V (1995) A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. *Classification and Inventory of the World's Wetlands*, pp. 103-124. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0427-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0427-2_9).
21. Han MS, Nam HK, Kang KK, Kim M, Na YE, Kim HR, Kim MH (2013) Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(1), 17-23. <http://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.17>.
22. Klaus VH, Kleinebecker T, Prati D, Gossner MM, Alt F, Boch S, Gockel S, Hemp A, Lange M et al. (2013) Does organic grassland farming benefit plant and arthropod diversity at the expense of yield and soil fertility?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 177, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.019>.
23. Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review Entomology*, 52, 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>.
24. Paik NH, Kim SS, Park HG, Shin HT, Cho SY, Lee SR (1997) The effect of number of midsummer drainage in growth and lodging in direct seeding of rice on flooded paddy surface. *Korean Journal of Crop Science*, 42(6), 722-728.
25. Lee MH, Oh YJ, Park RK (1991) Lodging mechanisms and reducing damage of rice plant. *Korean Journal of Crop Science*, 36(5), 383-393.
26. Saha B, Panda P, Patra PS, Panda R, Kundu A, Roy AS, Mahato N (2017) Effect of different levels of nitrogen on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under terai-agro climatic situation. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 2408-2418. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.285>.
27. Lee KD, An HY, Ryu JH, Lee BM, Na SI (2022) Estimation of rice yield in paddy damaged by rice blast using UAV imagery. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 55(4), 361-368. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2022.55.4.361>.
28. Moon YH, Oh DH, Choi JS, Na JS, Han SS (1998) Properties and effects of utilizable materials for organic farming in rice. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 17(4), 319-323.
29. Stuart AM, Palenzuela AN, Bernal CC, Ramal AF, Horgan FG (2014) Effects of fertiliser applications on survival and recruitment of the apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck). *Crop Protection*, 64, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.020>.