

매죽나무 열매 추출물을 이용한 왕우렁이 방제효과*

이진희** · 최덕수*** · 조정용**** · 김영철*****

Molluscicidal Effect Using *Styrax japonicus* Fruit Extracts Against Golden Apple Snails

Lee, Jin-Hee · Choi, Duck-Soo · Cho, Jeong-Yong · Kim, Young-Cheol

Golden apple snails (*Pomacea canaliculata*) were first introduced as food for high protein source and were later widely used as a means of weeding in rice paddies by taking of their vigorous feeding habits. Since 2000, the wintering of golden snails has been found and damage to rice plants occurred by them. To prevent damage, a means to control golden apple snails has become necessary. In this study, we investigated the possibility of eco-friendly control of golden apple snail by using *Styrax japonicus* fruit that grow naturally in-country. When the ethanol extract of the fruit was treated for controlling golden apple snail, the effect of over 90% was confirmed at 250 and 125 ppm after 1 day. Using UPLC MS analysis, two major compounds, dihydrorotenone known as a natural pesticide was detected. The molluscicidal activity was confirmed at 50 ppm of dihydrorotenone standard material. Our results showed that the possibility of developing an eco-friendly agent of golden apple snail using *S. japonicus* fruit was confirmed.

Key words : *eco-friendly agent, golden apple snail, plant extract, Styrax japonicus fruits*

* 본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(RS-2021-RD009648) 왕우렁이 농업적 활용을 위한 생태계 안전관리기술 개발에 의하여 이루어진 것임.

** Corresponding author, 전남농업기술원 친환경농업연구소 농업연구사, 061-330-2507
(jinhee61@korea.kr)

*** 전남농업기술원 곤충잡업연구소

**** 전남대학교 식품공학과

***** 전남대학교 응용생물학과

I. 서 론

왕우렁이(*Pomacea canaliculata*)는 복족류 사과우렁이과의 연체동물로 원산지가 습한 열대 지역과 아열대 지역으로 많은 중남미 종들이 동남아시아로 도입되었다(Joshi and Sebastian, 2003). 왕우렁이는 번식력이 높아 한 달에 1,000개~1,400개의 알을 산란하며 우화율은 95.8%이며 부화 후 약 60일이면 번식이 가능한 성체가 된다(Teo, 2004; Lee et al., 2018). 주로 물이 흐르는 곳보다는 정체되어 있는 논, 습지, 저수지와 흐름이 완만한 농수로, 소규모 하천에서 서식하며 물속에서는 아가미 호흡을 하고 수중에 산소가 부족하면 숨관을 수면으로 내밀어 폐호흡을 한다(Sebastian, 2001). 왕우렁이는 잡식성으로 수초, 논잡초뿐만 아니라 농작물인 벼, 배추, 토마토, 무 등 연한 식물을 선호하며 수중의 어류와 동물사체를 먹고(Lee et al., 2002) 하루 최대 체중의 22%를 섭식 가능할 정도로 식욕이 왕성하다(Halwart, 1994; Qiu and Kwong, 2009).

우리나라에는 1983년 빠른 성장, 쉬운 사육방법 및 높은 단백질 함량의 이점을 가지고 식용의 목적으로 수입되었고 왕성한 섭식능력을 활용하여 1992년부터 민간단체를 중심으로 왕우렁이를 친환경농업에서 잡초 방제 수단으로 사용하였다(Lee et al., 2002; Lee et al., 2018; Shin et al., 2020). 왕우렁이를 이용한 제초효과는 100%로 제초제 처리인 95.5%보다 높았으며(Choi et al., 2023), 1997년 ‘환경농업육성법’ 제정으로 친환경농법이 장려됨과 맞물려 왕우렁이를 이용한 벼 재배면적은 2000년 179 ha에서 2018년 117,473 ha로 크게 증가하여 널리 사용되었다. 특히 전남지방에서는 2008년 친환경재배면적 48,686 ha 중 왕우렁이를 이용한 농가 비율이 89%로 많은 비율을 차지했다(Bang and Cho, 2008; Lee et al., 2017).

따뜻한 지역이 원산지인 왕우렁이가 처음 도입될 때는 논지에서 겨울에 월동을 하지 못하고 폐사할 것으로 여겨졌다. 그러나 도입된 지 16년 후인 2000년 처음으로 해남에서 월동이 확인되었고 2017년에는 전남지역뿐만 아니라 김해, 부산 경남지역 제주 등 10개 시·군 13개 지역에서도 월동이 확인되었다. 전남과 제주에서 벼와 미나리에서 월동왕우렁이에 의한 섭식 피해가 발생하여 농가 생산성을 떨어뜨렸다(Lee et al., 2019). 왕우렁이 피해현상은 이앙초기 어린모가 불균일한 썩레질로 물에 잠기게 되어 가해되고 재배양식별로 담수직 파논에서 20%, 기계이앙논에서 4.7%의 피해가 발생하며 이러한 이유로 왕우렁이 피해가 많은 지역은 최소 20~30일된 벼를 이앙하기를 권장하기도 한다(Kim et al., 2007; Lee et al., 2010).

해충화된 왕우렁이를 방제하기 위한 농약은 국내에 이프로벤포스 입제 1종이 등록되어 있으며, 동남아시아에서는 왕우렁이 방제를 위해 주로 니틀로사마이드와 메타알데히드 사용되나 수중생물에 악영향을 주고 지하수, 호수 등의 오염물질로 인간을 위협하고 있어(Schneiker et al., 2016) 이런 대안으로 식물을 활용한 방제제에 대한 연구가 진행되었고 최근 필리핀에서도 왕우렁이 방제를 위해 식물을 적극 활용하고 있다. 식물을 활용한 방제

연구로는 동백나무 분말 30 g/m²에서 80%이상의 왕우렁이 방제효과를 확인한 사례(Wang et al., 2011)와 퀴노아껍질을 알칼리로 처리하여 치사효과가 높은 monodesmosides로 전환시켜 약 33 ppm에서 100% 왕우렁이 치사가 가능하다는 연구가 있었다(San Martín et al., 2008). 국내에서는 왕우렁이가 논 잡초 중 흰여뀌에 대한 섭식 기피현상을 보고 흰여뀌 열수추출물 10,000 ppm을 이용하여 왕우렁이 100% 치사가 가능하다고 하였고(Park et al., 2023), 왕우렁이 방제를 목적으로 하는 유기농업자재는 동백나무종자 추출물이 원료인 자재가 2종 등록되어 있다.

때죽나무 열매는 국내에 자생하며 어류를 기절시키는 천연마취제 역할을 하는 식물로 열매를 빻아서 사용하였으며 활성물질은 과피에 egosaponin으로 다량 함유되어 있다고 하였다(Cheon et al., 2015). 또한 때죽나무 열매의 아세톤 추출물과 비수용성 분획물에서 집모기 유충에 대한 살충효과가 보고된바 물에 주로 서식하는 왕우렁이를 방제하는 수단으로 사용이 가능할 것으로 여겨진다(Pauletti et al., 2006).

이에 본 연구에서는 왕우렁이 방제를 위한 친환경방제제 개발을 위해 때죽나무 열매추출물에 대한 방제효과를 검정하고 왕우렁이 방제에 관여하는 물질을 규명하여 유기농업자재 개발의 가능성을 확인하고 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용한 왕우렁이는 나주 세지면 오봉리에 위치한 세지우렁이영농조합법인(34°55'31.0"N, 126°43'45.9"E)에서 구입하였다. 구입 후 야외에서 사육하였으며 사육환경은 100×100×50 cm 크기의 사각 사육장에 논토양을 넣어 15 cm 높이로 바닥을 채우고 높이 90 cm에 수도를 설치하여 물을 지속적으로 공급하고 사육장 바닥에서 높이 20cm 위치에 구멍을 내어 외부로 물이 빠져 물 순환이 이루어지도록 하였고 먹이는 왕우렁이 전용사료(참우렁이, 제일사료)를 주어 사육하였다.

식물추출물 재료는 구례 산동면 산기슭(35°18'03.3"N 127°26'13.7"E)에서 8월 상순에 채집하였고 열매에 붙은 부산물을 제거하고 건조기(SH-IDF2250, 삼흥에너지) 60℃에서 4일 동안 건조한 후 분말화하여 냉장보관 하였다.

Dihydrorotenone (DR) 표준물질은 10 mg (Biorbyt, orb1101525) 용량을 구입하였고 구입 후 -20℃ 냉동에 보관하였다. 시험처리를 위해 냉동에 보관 중인 DR에 Dimethyl sulfoxide (DMSO; Junsei)를 500 uL를 넣고 용해하여 실험에 사용하였다.

2. 때죽나무 열매 추출

건조된 때죽나무 열매를 분쇄기(MSM-4000, 모닝센스)를 이용하여 20,000 rpm에서 분쇄하여 분말화하였다. 건조분말 중량에 1:10 비율로 10배의 70% 에탄올을 넣고 열탕기(WS1, 우성금속) 60°C에서 2시간 30분 동안 가열하여 추출하였다. 가열 후 원심분리기(Combi 514R, 한일과학산업) 10,000 rpm에서 5분 동안 처리하여 상등액을 실험에 사용하였다. 추출물은 냉장보관하였고 이후 대사물질 분석에 사용하였다.

3. 때죽나무 열매 추출물 왕우렁이 방제율

식물추출물에 대한 왕우렁이 방제효과는 아크릴 사각통(200×150×70 mm)에서 수행하였고 물질 처리는 무처리, 250 ppm, 125 ppm, 83 ppm, 63 ppm 농도가 되도록 에탄올추출물을 1.5 L 증류수에 넣고 크기가 2~2.5 cm의 성패를 시간별, 농도별 개별처리구에 10마리씩 넣어 밖으로 유출되지 못하게 0.5 cm 격자망을 씌웠다. 처리 후 6시간, 12시간, 18시간, 24시간처리별로 각각 방제효과를 조사하였다. 죽은 개체에 대한 판단은 깨끗한 증류수에 처리한 개체를 넣고 24시간 동안의 움직임 유무로 판단하였다. 시험은 개별적으로 3반복으로 수행하였다.

Dihydrorotenone 표준물질에 대한 왕우렁이 방제효과는 플라스틱 원형통(115×80 mm)에 증류수 100 mL을 넣고 음성처리구에는 DMSO 250 uL를 증류수에 넣고 물질처리구에는 DR을 100 mL 증류수에 50 ppm의 농도가 되도록 표준물질을 넣었다. 이후 2~2.5 cm의 개체를 6개씩 넣고 0.5 cm 격자망을 씌웠다. 방제 효과 조사는 3일 후 처리한 왕우렁이를 깨끗한 증류수에 넣고 24시간 동안 움직임 유무로 생존유무를 판단하였다. 각 실험은 2반복으로 수행하였고 방제율은 아래 식에 의해 산출하였다(Massaguni and Md Latip, 2012).

$$\text{방제율(\%)} = (\text{처리구 평균 치사율} - \text{대조구 평균 사충률}) / \text{처리구 평균 치사율} \times 100$$

4. 살충효과 관련 대사물질 분석

냉장보관중인 에탄올 추출물을 대상으로 ACQUITY UPLC HSS T3 column (2.1×100 mm, 1.8 μm, Waters, Milford)을 장착한 UPLC-QTOF-MS시스템(UPLC, Waters ACQUITY UPLC system, Waters, Milford, QTOF-MS, Xevo G2-XS-Q-TOF mass spectrometer, Waters, Milford)을 이용하여 물질 분석을 실시하였다. 이동상 용매는 0.1% formic acid가 함유된 H₂O (A)와 0.1% formic acid가 함유된 acetonitrile (B)을 사용하였으며, 초기 0-2 min, 5% B → 2-4 min, 35% B → 4-4.5 min, 50% B → 4.5-17 min, 100% B로 하는 용매구배방법으로 용출하였다. 시험기구의 조건은 polarity, ES+; capillary voltage, 2.5 kV; desolvation N₂; gas flow, 600 L/h;

desolvation temperature, 250°C; ion source temperature, 100°C; cone voltage, 40 V; collision energy, 30 eV로 하였다. 물질의 확인은 Massbank와 PubChem database를 기반으로 하였다.

5. 통계분석

본 연구의 통계분석은 XLSTAT (version 2023.2.0, Addinsoft, Paris, France) 프로그램을 이용하였다. 농도에 따른 식물추출물 평균 간의 유의성 검정은 분산분석(ANOVA)을 실시하였고 사후 검정으로 Tukey's HSD 검정을 실시하였고 p값이 5% 미만이면 유의차가 있는 것으로 간주하였다. 왕우렁이 방제를 위한 매죽나무 열매 에탄올 추출물의 LC₅₀과 LC₉₀은 Probit 계산법(Finney, 1971)을 기반으로 하는 XLSTAT에 있는 Dose effect analysis 프로그램으로 산출하였다.

표준물질 처리에 대한 평균분석은 독립표본 t-검정으로 비교하였고 p값이 5% 미만이면 유의차가 있는 것으로 간주하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 매죽나무 열매 에탄올 추출물에 대한 왕우렁이 치사효과

매죽나무 열매 에탄올 추출물에 대한 농도별 방제율은 6시간까지는 농도에 따른 효과 차이가 없었으나 18시간 이후에는 250 ppm에서 100%, 125 ppm에서 86.7%의 치사율을 보였다(Fig. 1). 24시간 이후에는 63 ppm을 제외하고 모든 농도에서 60% 이상의 치사효과를 보였다. Probit 분석에 따라 왕우렁이를 24시간 동안 50%와 90%을 방제할 농도를 산출하였고 LC₅₀은 80.85 ppm, LC₉₀은 105.19 ppm으로 확인되었다(Table 1).

Kaplan-Meier 생존곡선 통하여 식물추출물 농도에 따른 치사시간을 비교하였고 결과를 Fig. 2와 같다. 250 ppm은 모든 처리와 비교하였을 때 유의미하게 차이가 있었고(P<0.001) 빠르게 방제효과가 나타남을 확인하였다.

Table 1. Lethal concentration of *S. japonicus* fruits extracts against golden apple snails

	Amount (ppm)	LCL (95% CL*)	UPC (95% CL)	Regression line and coefficient
LC ₅₀	80.85	74.26	88.11	Y=0.0038x+0.152 R ² =0.6954
LC ₉₀	105.19	96.04	123.42	

* CL: Confidence interval

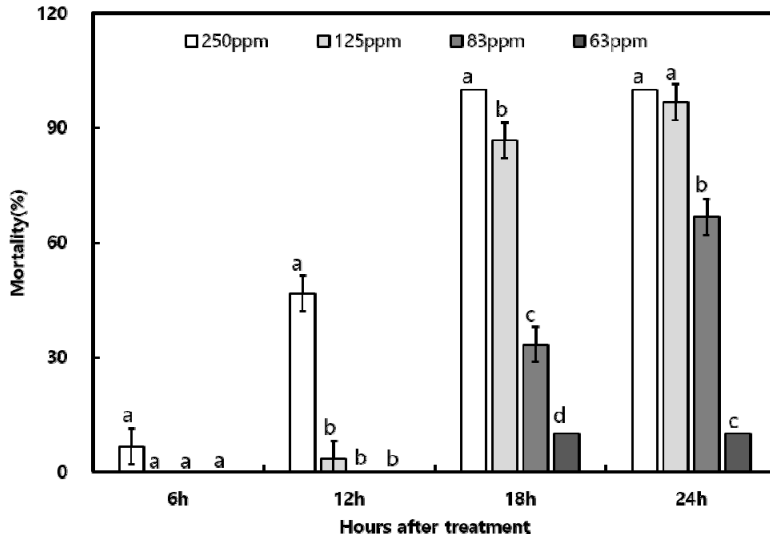


Fig. 1. Molluscicidal effect on golden apple snails treated with *S. japonicus* fruit ethanol extracts. The data are the means and standard errors for three independent experiments. The lowercase letters are significantly different at $\alpha=0.05$, Tukey's HSD multiple range test.

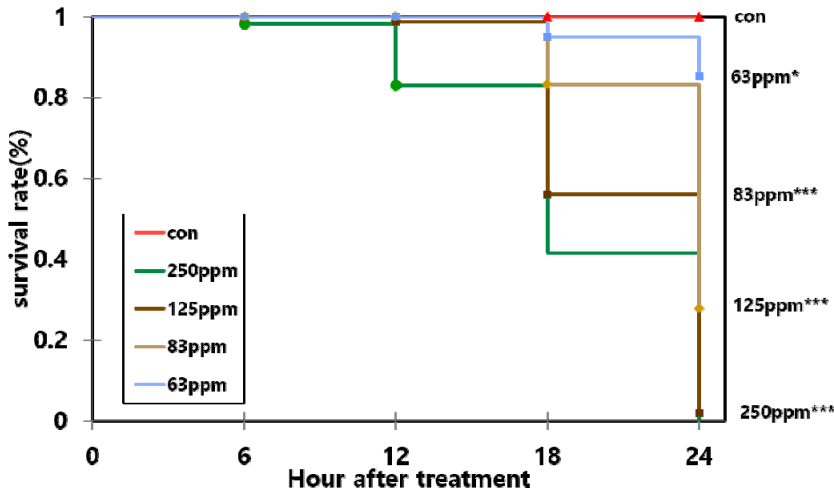


Fig. 2. Kaplan-Meier survival plots of golden apple snails (GAS) treated ethanol extracts of *S. japonicus* fruits extracts. GAS mortalities were monitored at defined hours after treatment. Each point is the average for three independent experiments. P values indicate significant differences between two concentrations in multiple comparisons as determined by the Log-Rank test.

2. 때죽나무 열매 추출물에서 방제효과에 관여하는 유효성분 분석

때죽나무 열매 에탄올 추출물에서 방제효과에 관여하는 물질을 탐색하고자 UPLC-ESI-TOF-MS를 이용하여 대사체 분석을 실시한 결과는 Table 2와 같다. 때죽나무 열매 추출물에서 주요하게 관찰된 피크는 12종이었고(Fig. 2) 이 중 방제 관련된 물질로 사료되는 것은 사포닌류인 Bruceoside A와 플라보노이드류인 Dihydrorotenone이 확인이 되었다. 때죽나무 열매에서 알려진 대사물질은 사포닌류인 Jegosaponin A-D, 리그난인 Egonol, pinoesinol 등으로 *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Staphylococcus aureus* 등 항진균활성과 항세균활성, 항산화 활성을 가진 물질들 함유하고 있다고 보고 하였다(Pauletti et al., 2006).

왕우렁이 방제효과를 가진 식물은 사포닌류를 함유하는 소프넛, 퀴노아, 차 등이 있고 합성 농약인 니클로사마이드를 대체할 방제제로서 가능성을 제시하려 하였고(Toan et al., 2021) 명아주에서 추출된 퀴노아사포닌은 9와 11 ppm에서 처리 48시간 후에 왕우렁이 방제효과가 90% 이상이라고 하였다(San Martín et al., 2008).이에 사포닌류로 탐색된 Bruceoside A 물질이 때죽나무 열매에서 방제효과에 관여하는 물질로 사료된다.

Dihydrorotenone은 천연살충제로 알려진 물질로 누에나방의 유충에 살충력을 가지며 LD₅₀은 3 mg/kg으로 알려져 있다. NADH₂ dehydrogenase를 차단하여 미토콘드리아 기능을 저해하고 ATP 생성이 감소되어 결국 곤충을 죽게 한다고 하여(Soloway, 1976) Dihydrorotenone 또한 왕우렁이 방제효과에 영향을 미치는 물질로 사료된다.

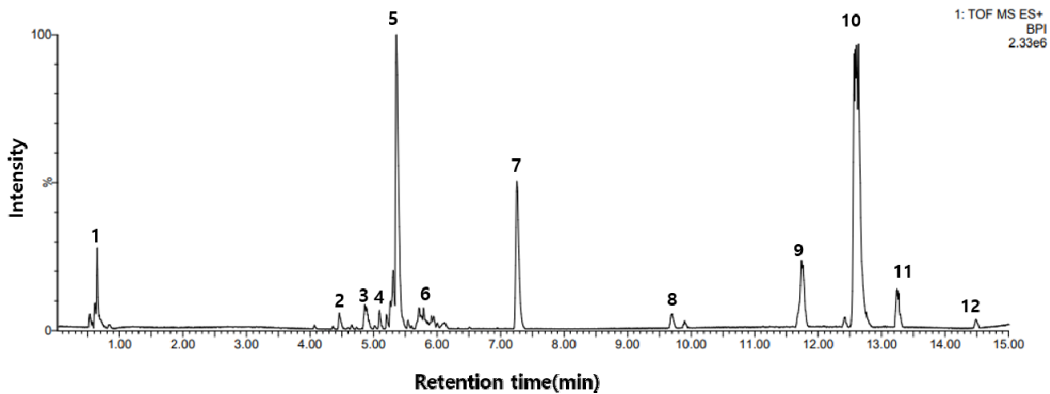


Fig. 3. UPLC-QTOF-MS (positive) TIC chromatogram of *S. japonicus* fruit extracts.

Table 2. LC-MS chemical profile of *S. japonicus* fruits

No.	tR	Fragment ions (<i>m/z</i>)		Molecular weight	Molecular formula	Predicted compounds	RRF* (%)
		Positive	Negative				
1	0.65	365.1([M+Na] ⁺)	341.1([M-H] ⁻), 387.1([M-H+FA] ⁻)	342	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	Sucrose	11
2	4.47	545.2([M+Na] ⁺)	567.2([M-H+FA] ⁻)	522	C ₂₆ H ₃₃ O ₁₁	Bruceoside A	2
3	4.86	359.1([M+H] ⁺)	357.1([M-H] ⁻), 519.2	358	C ₂₀ H ₂₂ O ₆	Pinoresinol	5
4	5.09	557.2([M+Na] ⁺)	579.2([M-H+FA] ⁻), 647.2	534	C ₂₇ H ₃₄ O ₁₁	Arctiin	
5	5.36	673.2([M+H] ⁺), 327.	695.2([M-H+FA] ⁻), 649.2([M-H] ⁻)	650	C ₃₁ H ₃₈ O ₁₅	Egonol gentriobioside	59
6	5.95	479.1([M+H] ⁺), 357.1	477.1([M-H] ⁻), 455.1	478	C ₃₀ H ₂₂ O ₆	Ararobinsols	6
7	7.44	893.4([M+Na] ⁺), 619.4	869.4([M-H] ⁻)	870	C ₆₄ H ₅₄ O ₃	1-naphthalen-2-yl-3-(2-phenylcyclopropyl) propan-2-one	26
8	9.70	369.1([M+H] ⁺), 391.1([M+Na] ⁺)	-	368	C ₂₁ H ₂₀ O ₆	<i>O</i> -Methyl- <i>C</i> -prenyl kaempferol	8
9	11.74	397.2([M+H] ⁺), 419.1([M+Na] ⁺)	-	396	C ₂₃ H ₂₄ O ₆	Dihydrorotenone	2
10	12.60	411.2([M+H] ⁺), 433.2([M+Na] ⁺)	-	411	C ₁₇ H ₃₀ O ₁₁	Nonioside A	100
11	13.24	381.2([M+H] ⁺), 403.2([M+Na] ⁺)	-	380	C ₂₃ H ₂₄ O ₅	Vismiaphenone E	7
12	14.49	593.3([M+Na] ⁺), 533.3	591.3([M-H] ⁻)	592	C ₃₄ H ₄₀ O ₉	Moreollic acid	1

* RRF: Relative response factor (%)

3. Dihydrorotenone에 대한 왕우렁이 치사효과 검증

매죽나무 열매에서 유효성분으로 확인된 물질 중 하나인 dihydrorotenone(DR)에 대한 우렁이 방제효과를 확인하였다. 처리구는 DR을 50 ppm으로 하였고 음성대조구는 DMSO를 처리하여 실험을 수행하였다. 음성처리구에서 죽은 개체는 없었고 처리구에서 평균 66.7%의 방제효과가 나타났으며 음성대조구와 유의미한 차이가 있었다($P < 0.05$). 로테논을 함유하는 데리스 뿌리 추출물을 활용한 왕우렁이 방제효과 실험에서 5,000 ppm의 n-hexane 분획물을 처리했을 때 93.3%의 방제효과를 확인하였다는 보고가 있었다(Manoppo, 2017). DR

은 rotenone의 파생물질이기도 하는데 rotenone과 같이 살충효과가 있으나 독성은 더 낮다고 하였고(Zhang et al., 2013) 본 실험에서 표준물질 처리에 의해 왕우렁이 치사효과가 확인이 되었다. 이에 DR이 왕우렁이 방제에 영향을 미치는 물질로 사료된다.

V. 적 요

왕우렁이는 처음 국내에 고단백질원의 식용으로 도입이 되었고 이후에는 왕성한 먹이섭성을 이용하여 논에서 제초수단으로 이용이 되었다. 2000년 이후 월동이 확인이 되었고 월동개체에 의해 벼 피해가 발생하였다. 이에 왕우렁이에 의한 벼 피해를 방지하기 위해 왕우렁이 방제 수단이 필요해졌다. 본 실험에서는 국내에 자생하는 때죽나무 열매 추출물을 활용한 왕우렁이 친환경 방제자재로서의 효과를 검증하였다. 때죽나무 열매 에탄올 추출물을 처리하였을 때 처리 1일 후 250과 125 ppm에서 90%이상의 치사효과가 나왔다. 때죽나무 열매에서 왕우렁이 방제효과에 관여하는 물질을 탐색한 결과 12종의 주요한 물질을 확인하였고 이 물질들 중 천연 살충물질로 알려진 Dihydrorotenone에 대한 왕우렁이 방제효과를 확인하였다. 50 ppm으로 왕우렁이에 표준물질을 처리하였을 때 평균 방제효과는 66.6%로 조사되었다. 따라서 때죽나무 열매 추출물을 활용하여 왕우렁이 친환경 방제제로의 가능성이 있는 것으로 사료된다.

[Submitted, September, 12, 2023; Revised, November, 15, 2023; Accepted, November, 16, 2023]

References

1. Bang, S. and M. K. Cho. 2008. Ecological Risk of Alien Apple Snails Used in Environmentally-friendly Agriculture and the Urgent Need for Its Risk Management in Korea. Korean j. Environ. Biol 26: 129-137.
2. Cheon, I., M. J. Song, H. Kim, K. H. Lee, and Y. J. Yoo. 2015. Traditional knowledge of plants used for river fishing in local communities of north jeolla province, Korea. Korean J Community Living Sci 26: 675-681.
3. Choi, H. J., S. Y. Seo, S. U. Choi, C. K. Lee, M. J. Uhm, J. H. Kim, M. S. An, and W. J. Choi. 2023. Effects of Biocontrol Agents on Weed Control, Abundance of Aquatic Animals and Insects, and Yield in Paddy Rice Fields.

4. Finney, D. J. 1971. A statistical treatment of the sigmoid response curve. Probit analysis. Cambridge University Press, London 633.
5. Halwart, M. 1994. The golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Asian rice farming systems: present impact and future threat. Int. J. Pest mgmt 40: 199-206.
6. Joshi, R. C. and L. S. Sebastian. 2003. Global advances in ecology and management of golden apple snails. P. R. research and Institute.
7. Kim, D. I., S. G. Kim, K. J. Choi, B. R. Kang, J. D. Park, J. J. Kim, D. R. Choi, and H. M. Park. 2007. Occurrence and Damage of Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*: Ampullariidae) in Jeonnam Province of South Korea. Korean. J. Appl. Entomol. 46: 109-115.
8. Lee, G. H., C. H. Paik, T. H. Noh, H. Y. Seo, and M. Y. Choi. 2010. Analysis of Damages and Rice Consumption by Golden Apple Snails (*Pomacea canaliculata*: Ampullariidae) at Growth Stages of Rice. Kor. J. Appl. Entomol. 49: 343-349.
9. Lee, S. B., M. H. Koh, Y. E. Na, and J. H. Kim. 2002. Physiological and ecological characteristics of the apple snails. Korean J Environ Agric 21: 50-56.
10. Lee, S. B., S. M. Lee, B. G. Ko, C. R. Lee, and J. H. Kim. 2018. The Physio-ecological Characteristics of Golden Apple Snails (*Pomacea canaliculata*) and the Cause of Their Massive Death used for Weed Control in Wet Rice Paddies. Korea J. Org. Agric. 26: 297-316.
11. Lee, S. B., S. M. Lee, C. B. Park, C. R. Lee, B. G. Ko, K. L. Park, S. G. Hong, and J. H. Kim. 2019. The Environmental adaptability of *Pomacea canaliculata* used for weed control in wet rice paddies and crop damage caused by overwintered golden apple snails. Korean J Environ Agric 38: 23-33.
12. Lee, S. B., K. L. Park, S. G. Hong, C. R. Lee, M. S. Ahn, S. M. Lee, and B. G. Ko. 2017. Organic rice cultivation technology using golden apple snails. N. I. O. A. S. Organic agriculture division.
13. Manoppo, J. S. S. 2017. Potential extracts of pangium edule reinw and derris elliptica wallich as botanical molluscicides for management of golden apple snail *Pomacea canaliculata* Lamarck. Agrotech Journal 2: 14-20.
14. Massaguni, R. and S. Md Latip. 2012. Neem crude extract as potential biopesticide for controlling golden apple snail, *Pomacea canaliculata*. Pesticides Advanced Chemical and Botanical Pesticides 10: 233-254.
15. Park, H. H., H. J. Lee, Y. G. Kim, P. P. Win, S. J. Hong, and Y. I. Kuk. 2023. Effects of Golden Apple Snail (GAS, *Pomacea canaliculata*) on Quality of Rice Field Water and Agricultural Waterway Water and GAS Weed Feeding Levels and Mortality. Weed and

- Turfgrass Science 12: 63-75.
16. Pauletti, P. M., H. L. Teles, D. H. Silva, Â. R. Araújo, and V. S. Bolzani. 2006. The styracaceae. Revista Brasileira de Farmacognosia 16: 576-590.
 17. Qiu, J. W. and K. L. Kwong. 2009. Effects of macrophytes on feeding and life-history traits of the invasive apple snail *Pomacea canaliculata*. Freshwater Biology 54: 1720-1730.
 18. San Martín, R., K. Ndjoko, and K. Hostettmann. 2008. Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. Crop Protection 27: 310-319.
 19. Schneiker, J., W. W. Weisser, J. Settele, V. S. Nguyen, J. V. Bustamante, L. Marquez, S. Villareal, G. Arida, H. V. Chien, and K. L. Heong. 2016. Is there hope for sustainable management of golden apple snails, a major invasive pest in irrigated rice? NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences 79: 11-21.
 20. Sebastian, L. S. 2001. Management options for the golden apple snail. Rice technology Bulletin 33.
 21. Shin, J. H., C. M. Ham, S. K. Kin, J. B. Kwon, and J. S. Kim. 2020. Weed Control by Young Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) in Environment-friendly No-tillage Machine Transplanting Rice Paddy Fields. Weed&Turfgrass Science 9: 235-243.
 22. Soloway, S. 1976. Naturally occurring insecticides. Environmental health perspectives 14: 109-117.
 23. Teo, S. S. 2004. Biology of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1822), with emphasis on responses to certain environmental conditions in Sabah, Malaysia. Molluscan Research 24: 139-148.
 24. Toan, D. H., D. Van Hoang, V. D. Hoang, and T. Dai Lam. 2021. Application of botanical pesticides in organic agriculture production: Potential and challenges. VJST 59: 679-701.
 25. Wang, Z., J. Tan, J. Liu, and W. Wang. 2011. Evaluation of controlling *Pomacea canaliculata* with calcium oxide, ammonium bicarbonate, Camellia oleifera powder and tea saponin. Acta Phytologica Sinica 38: 363-368.
 26. Zhang, J., J. Tang, B. Cao, Z. Zhang, J. Li, A. D. Schimmer, S. He, and X. Mao, 2013. The natural pesticide dihydrorotenone induces human plasma cell apoptosis by triggering endoplasmic reticulum stress and activating p38 signaling pathway. PLoS One 8: e69911.