

〈Original article〉

논 생태계 서식 수서생물 채집 도구 개발: 유인제를 사용한 수중트랩

윤성수 · 김명현* · 최순균 · 어진우 · 권순익 · 송영주

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

The Development of a Sampling Instrument for Aquatic Organisms in Rice Paddy Fields: Submerged Funnel Traps with Attractants

Sung-Soo Yoon, Myung-Hyun Kim*, Soon-Kun Choi, Jinu Eo, Soon-Ik Kwon and Young-Ju Song

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract - The need for an efficient sampling technique to collect aquatic organisms has risen with the increase of interest in rice paddy fields, which have been recognized as important ecosystems supporting biodiversity. In the present study, a submerged funnel trap used with the assistance of attracting agents (fish meal and chemical light) was designed as an easy, objective and quantitative tool for collecting aquatic organisms in the rice paddy fields. The preference for collecting aquatic organisms as a means for attracting agents was analyzed using a generalized linear mixed model. Also, based on the data of previous research, we compared the community composition of the aquatic macroinvertebrates, which were collected using the quadrat method, and newly designed submerged funnel traps, by analyzing non-metric multidimensional scaling. The results showed that the catching efficiency of 18 of the total 65 taxa was affected by the attracting agents. 12 taxa including *Pomacea canaliculata*, *Hippeutis cantori*, *Austropeplea ollula*, *Erpobdella lineata*, Ostracoda spp. *Branchinella kugenumaensis*, *Hydaticus grammicus*, *Rhantus pulverosus*, Chironomidae spp., *Rana nigromaculata*, Cobitidae spp. etc., favored fish meal and 6 taxa including *Ischnura asiatica*, Coenagrionidae spp. *Sternolophus rufipes* etc., were attracted by chemical light. The submerged funnel trap used as a measurement tool for biodiversity was less applicable than the quadrat method; however, it was more effective for the selective collection of specific taxa. We expect that this newly designed trap can be a simple and quantitative method for collecting aquatic organisms, and could be used for long term and extensive surveys in rice paddy fields in the future.

Keywords : biodiversity, chemical light, fish meal, submerged funnel trap

서 론

논은 2016년 우리나라 농경지 면적(1,643,599 ha) 중 54.5% (895,729 ha)를 차지하며 우리나라 주식인 벼를 생산

하는 중요한 공간이다(Statistics Korea 2016). 또한 논은 벼 재배기간 동안 일시적으로 담수되는 반자연 습지생태계의 특징을 지니고 있다(Elphick 2000; Kadoya *et al.* 2009; Kim *et al.* 2011). 이 때문에 두루미, 꼬마잠자리, 수원청개구리 등 다양한 희귀종 및 멸종위기종(Han *et al.* 2007; Fujioka *et al.* 2010; Roh *et al.* 2014)과 200종 이상의 수서무척추동물이 논에 서식하는 것으로 알려졌다(Han *et al.* 2002). 따라서

* Corresponding author: Myung-Hyun Kim, Tel. 063-238-2503, Fax. 063-238-3823, E-mail. wildflower72@korea.kr

2008년 창원에서 개최된 제10차 람사르총회에서는 논 생태계 생물다양성 증진에 대한 가치를 인정하여 논을 인위적 습지의 한 유형으로 채택하였다(Kim *et al.* 2011).

논 생태계의 중요성에 따라 많은 연구자들은 논 생태계의 생물다양성과 건전성을 확인하기 위하여 그곳에 서식하고 있는 수서생물에 대한 많은 조사를 실시해 왔다(Han *et al.* 2002; Kim *et al.* 2007; Han *et al.* 2013). 논 생태계(본답, 수로, 둑방 등)에서 수서생물을 채집하는 방법으로 다양한 형태의 뜰채(포충망)를 이용하여 일정 시간 동안 잡는 방법과 사각형 뜰(방형구)을 이용하여 뜰 안의 생물을 잡는 방법 등이 주로 사용되어 왔다(Son *et al.* 2012; Choe *et al.* 2013; Han *et al.* 2013; Choe *et al.* 2016). 하지만, 이러한 방법들은 다음과 같은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 첫째로, 방형구법은 많은 시간과 노력이 요구된다(Kang and Chung 2010). 둘째, 기존의 방형구와 뜰채 사용한 채집 방법들은 숙련 정도에 따라 결과가 상이하고(Kang and Chung 2010), 뜰채의 경우 표준화된 정량적인 채집이 어려워 정성적인 조사 도구로 쓰인다(Huni and Kershaw 1971; Mackey *et al.* 1984; Cheal *et al.* 1993). 셋째, 수중에서 활동성이 높은 물방개류, 물뽕뽕이류 등과 같은 수서딱정벌레류(Helgen *et al.* 1993)나 미꾸리와 같은 어류는 채집하기 어렵다.

본 연구에서는 위에서 언급한 단점을 보완할 수 있는 방법으로 두 가지 유인제를 동반한 단순한 트랩을 고안하여 실제 현장에 있는 논에 적용하여 두 가지 유인제에 따른 수서생물의 반응을 검토하였다. 또한 고안된 트랩의 채집 효과를 알아보기 위하여 Han *et al.* (2013)에서 사용된 방형구와 본 연구에서 사용된 트랩으로 채집한 수서무척추동물 군집을 비교하였다. 본 연구의 분석 결과를 바탕으로 향후 논 생태계 생물다양성 조사연구를 위해 고안된 트랩의 활용 방안과 논 수서생물의 효율적인 채집을 위한 개선 방안에 대해 논의하였다.

재료 및 방법

본 연구는 주변 환경 및 연평균기온 등을 고려하여 충청북도 제천시, 경상북도 문경시, 경상북도 봉화군, 전라남도 완도군, 전라남도 해남군, 전라북도 부안군의 6지역에서 2014년 6월~8월 사이 수행하였다. 수서생물의 유인제인 어분(10호, 곰표떡밥, Korea)과 캐미라이트(일반형 ϕ 4 mm, AGAMI, Korea)에 따른 채집효과를 검증하기 위하여, 시험지역당 10필지를 선정하여 각 필지에 어분이 들어 있는 트랩과 캐미라이트가 들어 있는 트랩을 쌍으로 3곳에 설치하였다.

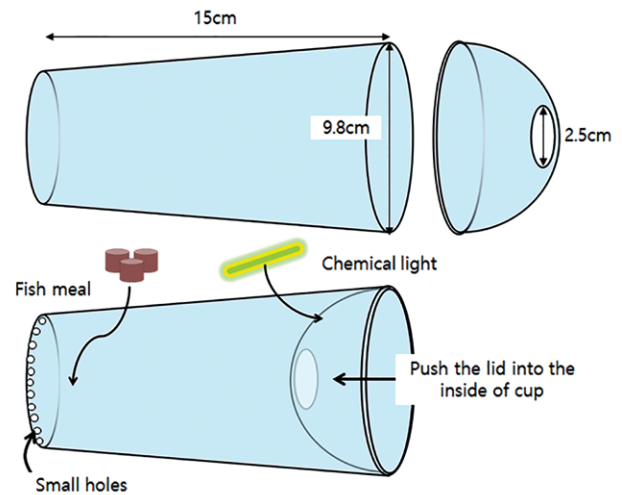


Fig. 1. The submerged funnel trap used to sample aquatic organisms in paddy fields.

논 내에 서식하고 있는 수서생물을 채집하기 위한 수중 트랩은 일반 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 돛형의 덮개가 있는 투명플라스틱 컵을 이용하였다. 이때, 돛형의 덮개는 컵 안쪽으로 밀어서 깔대기(funnel) 형태로 하였다. 수서생물을 유인하기 위한 유인제는 어분 3g과 빛을 내는 캐미라이트(chemical light) 2개를 이용하였다(Fig. 1). 트랩의 용량은 약 710 mL로 아랫부분에 작은 구멍(ϕ 1 mm)을 뚫어서 트랩 설치 시 트랩 내의 공기 및 트랩 수거 시 컵 내의 물을 제거할 수 있도록 하였다. 트랩의 설치 시 트랩이 물속에 완전히 잠기도록 옆으로 누워서 설치하고, 설치 후 12시간 뒤에 트랩 내에 채집된 생물을 수거하였다. 채집한 샘플은 아이스박스에 보관 후 실험실로 옮겨, 수서생물을 골라낸 후 70% 에탄올에 고정하여 영구보존하였다. 고정된 샘플은 해부현미경(Leica DE/MZ 7.5)을 이용하여 수서생물도감(Yoon 1995; Han *et al.* 2008; Han *et al.* 2011)을 참고로 하여 동정하였다.

논에 서식하는 수서생물의 채집 효율성 향상을 위해 각 수서생물 분류군이 선호하는 유인제를 확인하고자 통계프로그램 R (ver. 3.4.1) lme4 패키지의 일반화선형혼합모형(Generalized linear mixed model; GLMM) 함수인 *glmer*를 사용하였다(Bates *et al.* 2017). GLMM은 본 연구의 데이터와 같이 정규분포를 따르지 않거나 실험적으로 통제되지 않은 변수의 효과(임의효과; Random effect)를 내포한 다수의 생태학적 데이터를 분석하는 데 유연하게 사용될 수 있다(Bolker *et al.* 2009). 트랩별로 채집된 지역별 수서생물 분류군의 개체수를 응답변수(Response variable)로, 유인제의 차이를 나타내는 채집방법을 고정효과(Fixed-effect)로 선정하였다. 조사 장소와 시기로 인한 자료의 비독립성(Non-

Table 1. Results of generalized linear mixed models for aquatic organisms with the difference of an individual number between sampling methods. For analyses of the aquatic organisms, the response variable was density (abundance/trap) of aquatic organisms in each sampling method (fish meal or chemical light). The explanatory variable is the sampling method, and the random variables are the sampling period and region.

Taxa (Class or Family)	Species	Intercept		Explanatory variable (Method)		
		Estimated	S.E.	χ^2	df	p-value
Ampullariidae	<i>Pomacea canaliculata</i>	-6.353	1.378	43.385	1	<0.0001
Planorbidae	<i>Hippeutis cantori</i>	-2.506	0.681	5.263	1	0.022
Lymnaeidae	<i>Austropeplea ollula</i>	-7.817	1.924	51.688	1	<0.0001
Erpobdellidae	<i>Erpobdella lineata</i>	-2.515	0.761	7.361	1	0.007
Crustacea	Ostracoda spp.	-6.961	1.213	12.103	1	<0.0001
Thmnocephalidae	<i>Branchinella kugenumaensis</i>	-9.985	3.169	25.647	1	<0.0001
Odonata	<i>Ischnura asiatica</i>	-10.237	2.376	13.447	1	<0.0001
	Coenagrionidae spp.	-8.161	2.009	6.859	1	0.009
Libellulidae	<i>Sympetrum ifuscatum</i>	-5.561	1.723	4.717	1	0.030
Corixidae	<i>Sigara substriata</i>	-5.090	1.422	21.361	1	<0.0001
	<i>Sigara nigroventralis</i>	-10.312	2.653	5.062	1	0.024
Hydrophilidae	<i>Hydrochara rufipes</i>	-11.244	2.373	24.957	1	<0.0001
Dytiscidae	<i>Hydaticus grammicus</i>	-2.195	0.661	38.814	1	<0.0001
	<i>Rhantus pulverosus</i>	-3.136	1.105	4.312	1	0.038
Chironomidae	Chironomidae spp.	-1.583	0.685	64.787	1	<0.0001
Ranidae	<i>Rana nigromaculata</i>	-6.539	1.368	55.375	1	<0.0001
Hylidae	<i>Hyla japonica</i>	-6.673	1.398	75.437	1	<0.0001
Cobitidae	Cobitidae spp.	-3.677	1.408	104.680	1	<0.0001

independence)을 보정하기 위해 조사 장소와 시기를 임의효과로 지정하였다. 각 모형의 유의성은 카이검정 통계량을 사용하여 확인되었다.

기존 논 수서생물을 조사하기 위한 방법으로 주로 쓰였던 방형구법과 본 연구의 수중트랩의 채집 효과를 비교하기 위해 Han *et al.* (2013)이 수집한 데이터를 사용하였다. Han *et al.* (2013)의 수서생물 군집 데이터에는 수서무척추동물 군집만 동정이 되어있으며, 본 연구의 채집 단위와 상이하다. 따라서 수서생물 군집 데이터는 지역별로 채집 방법에 따라 포획된 수서무척추동물의 총 개체수 대비 과(Family) 수준의 비율(%)로 변환되었다. 패충류의 경우 크기와 이동성이 작아 수중트랩을 수거하는 과정에서 많은 수가 손실될 가능성이 있어 실제 분류군 구성율에서 차이를 보일 수 있기 때문에 분석 대상에서 제외하였다. 수서 무척추동물의 군집 조성을 비교하기 위해서 비율척도를 강조할 수 있는 Euclidean 거리척도를 사용한 비계량형다차원척도법(non-Metric multidimensional scaling; nMDS)을 사용하였다(Anderson *et al.* 2011). 또한 nMDS로 배열된 군집 조성과 수서무척추동물 사이의 유의한 상관관계를 벡터로 시각화하였다. nMDS 결과와 벡터의 상관관계는 R(ver. 3.4.1)의 *vegan* 패키지의 *metaMDS*와 *envfit* 함수를 사용하여 수행되었다(Oksanen *et al.* 2017).

결과 및 고찰

조사기간 동안 확인된 저서생물은 총 65분류군이었으며, 이 중 사용한 유인제에 따라 채집된 개체수에서 유의한 차이를 보인 수서생물은 총 18분류군으로 확인되었다(Table 1).

1. 어분의 유인효과

18분류군 가운데 어분을 더 선호한 종은 총 12분류군으로 확인되었다. 왕우렁이(*Pomacea canaliculata*), 수정또아리물달팽이(*Hippeutis cantori*), 애기물달팽이(*Austropeplea ollula*), 돌거머리(*Erpobdella lineata*), 패충류(Ostracoda spp.), 풍년새우(*Branchinella kugenumaensis*), 꼬마줄물방개(*Hydaticus grammicus*), 애기물방개(*R. pulverosus*), 갈따구류(Chironomidae spp.), 참개구리(*Rhantus nigromaculata*) 올챙이, 미꾸리류(Cobitidae spp.)로 주로 복족류, 거머리류, 갑각류, 물방개류, 갈따구류, 올챙이류, 미꾸리류가 어분을 캐미라이트보다 더 선호하는 것으로 확인되었다(Fig. 2a).

어분을 선호한 무리는 주로 후각에 의존하여 먹이를 찾는 분류군으로 판단된다. 과거 많은 연구자들도 복족류(Croll 1983), 올챙이류(Hansen *et al.* 1998; Niimura and Nei 2005), 미꾸리류(Watanabe and Hidaka 1983), 거머리류(Lai *et al.*

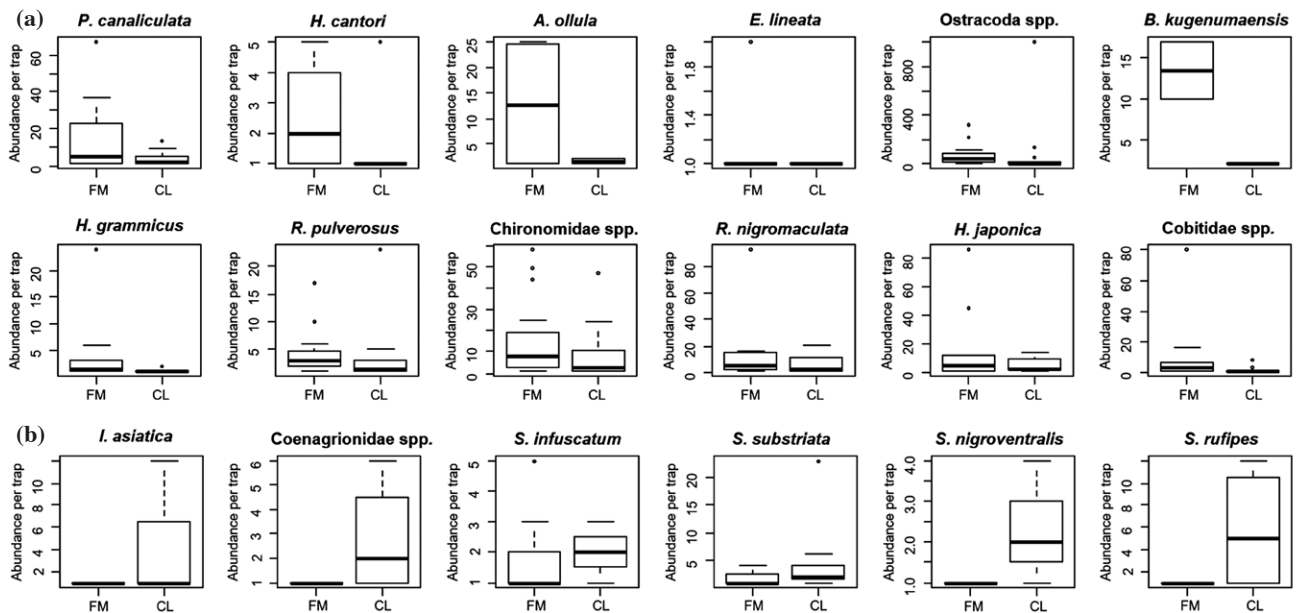


Fig. 2. A comparison of the abundance of sampled aquatic organisms in different types of submerged funnel traps. (a) is more taxa collected by submerged funnel traps with the fish meal. (b) is more taxa collected by submerged funnel traps with the chemical light. FM = fish meal, CL = chemical light.

2011), 갑각류 (Hallberg *et al.* 1997; Stabell *et al.* 2003), 물방개류 (Jensen and Zacharuk 1991)가 화학적인 자극을 감지하거나 후각을 사용하여 먹이의 위치를 탐지하는 것으로 보고하였다. 또한 거머리류는 먹이생물의 움직임에 따른 미세한 진동을 느끼는 것으로 알려져 있어 (Mann 2013), 어분에 유인된 다른 저서생물(특히 복족류, 올챙이류, 미꾸리류 등)에 유인된 것으로 판단된다. 특히 미꾸리류는 유기물과 동물성 먹이를 주로 먹는 수서척추동물로 화학적 자극에 의존하여 먹이를 찾기 때문에 어분을 더 선호하는 것으로 생각된다. 또한 이는 논에서 미꾸리류를 채집할 때 주로 어분을 사용하는 사실과 일치한다 (Han *et al.* 2013).

2. 카메라이트의 유인효과

카메라이트는 6분류군이 선호하는 것으로 확인되었다. 아시아실잠자리 (*Ischmura asiatica*), 실잠자리류 (Coenagrionidae spp.), 깃동잠자리 (*Sympetrum infuscatum*), 방물벌레 (*Sigara substriata*), 검정배물벌레 (*Sigara nigroventralis*), 애물뎡뎡이 (*Sternolophus rufipes*)로 주로 잠자리류, 물벌레류, 물뎡뎡이류가 카메라이트를 어분보다 더 선호하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2b).

카메라이트를 선호한 무리는 주광성을 나타내는 분류군이며, 이들은 일차적으로 빛에 유인되고, 빛에 유인된 다른 생물들을 이차적으로 시각이나 파장 등에 의해 먹이를 찾

는 것으로 판단된다. 과거 많은 연구에서도 실잠자리류 (de la Rosa and Ramirez 1995), 잠자리류 (Radwell and Camp 2009), 물벌레류 (Fernando 1961), 물뎡뎡이류 (Fernando 1961; Boda *et al.* 2014; Choi *et al.* 2016)가 주광성을 나타내는 것으로 보고되어 있다. 다른 한편으로 물벌레류와 물뎡뎡이류는 초식성이므로 주로 동물성 원료로 만들어진 어분에 유인된 개체는 상대적으로 적은 것으로 판단된다.

3. 채집방법에 따른 수서무척추동물 군집 조성

방형구법은 각기 다른 6개 지역(cheon, 부안, 해남, 봉화, 문경, 완도)에서 채집한 결과임에도 수서무척추동물 군집 조성이 균일하였다 (Fig. 3a). 반면 수중트랩으로 채집한 수서무척추동물 군집은 다소 이질적인 형태를 띠었다. 채집 방법별 수서무척추동물의 군집 조성과 상관관계가 유의한 분류군은 총 37과 중 갈따구과 (Chironomidae), 물뎡뎡이과 (Hydrophilidae), 물방개과 (Dytiscidae), 물가파리과 (Ephydriidae), 포아리물달팽이과 (Planorbidae), 원돌이물달팽이과 (Physidae) 등 9개 과로 밝혀졌다 (Fig. 3a).

Euclidean 거리척도를 사용한 nMDS 결과는 특정 분류군의 절대값이 샘플 사이에서 적게 차이나는 경우 균일한 조성을 보이며 크게 차이나는 경우 이질적인 조성을 보인다 (Anderson *et al.* 2011; Oksanen 2011). 갈따구는 방형구법에서 패충류를 제외한 수서무척추동물 군집에서 평균 90% 이

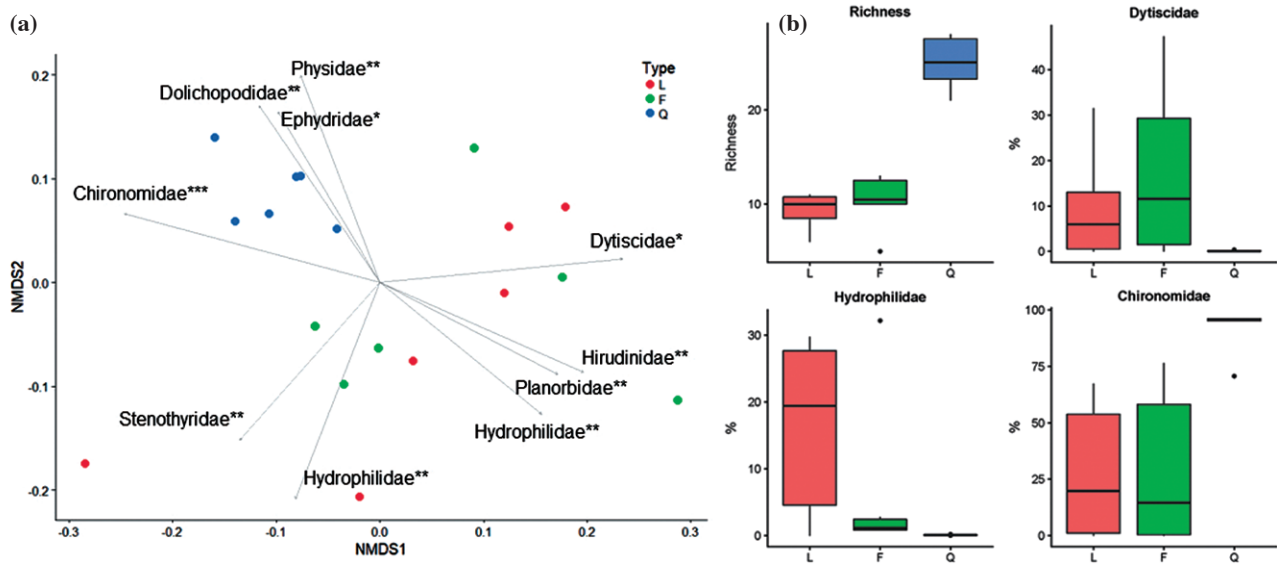


Fig. 3. A comparison of the composition of collected aquatic macroinvertebrates in different types of sampling methods. (a) the nMDS and fitted significant vectors of aquatic macroinvertebrate communities at family level (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). (b) boxplots of richness at family level and major families. L = chemical light, F = fish meal, Q = quadrat.

상의 비율을 차지했다(Fig. 3b). 따라서 방형구법과 수중트랩 사이에서 비율의 절대값이 큰 차이를 보이고 방형구법 사이에서 보다 작은 편차를 보이는 깔따구과 때문에 방형구법을 사용한 샘플의 군집 조성이 보다 조밀하게 표현되었다. 물가파리과와 장다리파리과(Dolichopodidae)는 수중트랩으로 채집되지 않았으며 원돌이물달팽이과는 방형구법으로는 모든 지역에서 채집되었으나 수중트랩은 한 지역에서만 포획되었다. 이는 대다수의 물가파리과의 유충이 물속에서 조류(Algae)나 식물의 사체를 먹는 식식성(Courtney *et al.* 2009)이며 장다리파리과의 유충은 땅 속의 식물들 사체가 쌓인 곳에서 주로 서식하기 때문에 어분이 들어간 트랩에 잡히지 않은 것으로 보인다(Dyte 1959). 또한 다수의 파리목 유충 들은 음성 주광성을 가지는 것(LaRow 1974; Swift and Foward 1980; Sawin *et al.* 1994)으로 밝혀졌기 때문에 캐미라이트를 사용한 트랩에도 잡히지 않은 것으로 사료된다. 원돌이물달팽이과는 식물성과 동물성 먹이를 모두 섭식한다. 그러나 Han *et al.*(2013)과 본 연구에서 포획된 원돌이물달팽이(*Physella acuta*)는 주로 식물체에 착생하여 섭식활동하기 때문에 습지 바닥의 유기물이나 조류를 선호하는 다른 복족류와의 경쟁을 피한다고 알려졌다(Semenchenko *et al.* 2008). 이러한 원돌이물달팽이의 습성 때문에 어분이 들어간 트랩에서 주로 포획된 복족류인 수정또아리물달팽이나 왕우렁이와 다른 양상을 보인 것으로 사료된다.

방형구법의 주요한 한계는 미꾸리류, 물뽕뽕이과, 물방개과와 같이 이동성이 큰 수서생물을 포획하기 어렵다는 것이

다(Helgen *et al.* 1993). 지역에 따라 편차를 보이지만 수서 딱정벌레류인 물뽕뽕이과와 물방개과는 방형구를 사용했을 때보다 수중트랩을 사용하여 채집했을 때 군집에서 차지하는 비율이 높았다(Fig. 3b). 하지만 지역당 10필지에서 수중트랩을 사용하여 채집한 수서무척추동물의 총 개체수의 평균은 4백여 마리인 것에 비해 방형구법은 필지당 평균 4천여 마리가 채집되었다. 따라서 방형구법은 수층부터 논 바닥까지 집약적으로 채집되었기 때문에 높은 풍부도를 가지는 것으로 보인다(Fig. 3b). 이는 방형구법이 수서무척추동물 군집의 개체군 밀도를 보다 종합적인 측면에서 측정한다는 이전 연구의 결과와 일치한다(O'Connor *et al.* 2004). 따라서 유인제를 활용한 수중캡트랩을 활용하면 다양한 수서딱정벌레 종을 포획할 수 있다는 것보다 유인제에 반응하는 특정 수서딱정벌레 종을 선택적으로 채집하는 데 효율적일 수 있음을 보여준다(Klečka and Boukal 2011).

4. 수중트랩의 활용

본 연구를 통하여 각 분류군의 생활습성에 따라 선호하는 유인제가 다르다는 것을 확인하였다. 또한 어분으로 유인한 경우, 깔따구와 같은 소형 수서생물에 울챙이나 미꾸리류가 유인되어 트랩으로 유입될 수 있기 때문에 이들의 개체수 측정에 오류가 발생할 수 있다(Elmberg *et al.* 1992). 여기에 다수의 물방개과(Dytiscidae), 호리가슴물뽕뽕이과(Hydrenidae) 그리고 점보물뽕뽕이과(Hydrochidae)를 빛으

로 유인하는 것은 방형구나 뜰채를 사용한 것보다 다양한 종을 잡는 방법으로 적합하지 않은 것으로 알려졌다(Klečka and Boukal 2011). 따라서 유인제를 활용한 수중트랩은 논 생태계전반의 생물다양성을 조사하는 정량적인 도구로 범용성은 낮을 것으로 판단된다(Verdonschot 2010). 하지만 다른 성격의 생태 조사 연구에는 충분히 활용될 수 있을 것으로 보인다.

예를 들어 기후변화로 인한 생태적 기능의 변화를 밝히기 위해서 많은 실증적인 데이터가 요구되지만(Lavergne *et al.* 2010) 기후변화에 따른 수서무척추동물 종들의 변동과 이것이 생태계서비스 차원에 영향을 주는 것에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이다(Prather *et al.* 2013). 이러한 연구는 광범위한 지역을 동일 시기에 장기간 연속적으로 조사한 생태자료를 요구한다. 따라서 현장에서 실질적으로 문제가 되는 것은 동일시기에 다수의 조사지에서 데이터를 추출하기 위한 조사 노력이기 때문에 설치와 수거가 10분 내외로 소요되는 수중트랩은 보다 긴 시간과 많은 노력을 요구하는 방형구법(Kang and Chung 2010)에 비해 매우 효율적이라고 판단한다. 추가로 본 연구에서 수행되지 않은 유인제 사이의 교호작용과 2차 유인효과를 확인하는 후속 연구를 바탕으로 관심 분류군을 채집할 수 있는 유인제를 보다 정교하게 설정하면 특정 분류군의 장기 생태 조사 연구와 생물지표 개발에 도움이 될 수 있을 것이다.

적 요

생물다양성 측면에서 논 생태계의 중요성이 대두되면서 수서생물을 효율적으로 채집하는 방법이 요구되고 있다. 본 연구는 논 생태계 내에서 수서생물을 객관적이고 정량적으로 쉽게 채집하기 위해 두 가지 유인제(어분, 캐미라이트)를 활용한 수중트랩을 고안하였다. 고안된 트랩으로 채집된 수서생물의 유인제 선호도는 일반화선형혼합모형을 통해 분석되었다. 또한 선행연구의 데이터를 활용하여 방형구와 수중트랩으로 채집된 수서 무척추동물의 군집 조성을 비계량형다차원척도법을 통해 비교 분석하였다. 그 결과, 수중트랩에 의해 채집된 65분류군의 수서생물 중 18분류군이 유인제에 의해 채집효율이 달라지는 것을 확인하였다. 18분류군 중 왕우렁이, 수정또아리물달팽이, 애기물달팽이, 돌거머리, 패충류, 풍년새우, 꼬마줄물방개, 애기물방개, 갈따구리, 참개구리, 미꾸리류 등 12분류군은 어분을 선호하였고, 아시아실잠자리, 실잠자리류, 갯동잠자리, 방물벌레, 검정배물벌레, 애물뽕뽕이 등 6종은 캐미라이트를 선호하였다. 또한 수중트랩은 방형구법에 비해 생물다양성의 측정도구로서의 활용도는 낮

지만 특정 분류군의 선택적인 채집에는 효과적이었다. 본 연구에서 간단하고 정량적인 방법으로 수서생물을 채집할 수 있도록 고안된 트랩은 장기적이고 광범위한 논 수서생물 생태 조사에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호:PJ0099702)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Anderson MJ, TO Crist, JM Chase, M Vellend, BD Inouye, AL Freestone, NJ Sanders, HV Cornell, LS Comita, KF Davies and SP Harrison. 2011 Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecol. Lett.* 14:19–28.
- Bates D, M Maechler, B Bolker, S Walker, RH Christensen, H Singmann, B Dai, G Grothendieck, P Green and MB Bolker. 2017. Package ‘lme4’. R foundation for statistical computing. Vienna.
- Boda P, G Horváth, G Kriska, M Blahó and Z Csabai. 2014. Phototaxis and polarotaxis hand in hand: night dispersal flight of aquatic insects distracted synergistically by light intensity and reflection polarization. *Naturwissenschaften.* 101:385–395.
- Bolker BM, ME Brooks, CJ Clark, SW Geange, JR Poulsen, MHH Stevens and JSS White 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.* 24:127–135.
- Cheal F, JA Davis, JE Grouns, JS Bradley and FH Whittles. 1993. The influence of sampling method on the classification of wetland macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia* 257:47–56.
- Choe LJ, KJ Cho, MS Han, MK Kim, SK Choi, HS Bang, J Eo, YE Na and MH Kim. 2016. Benthic macroinvertebrate biodiversity improved with irrigation ponds linked to a rice paddy field. *Entomol. Res.* 46:70–79.
- Choe LJ, MS Han, M Kim, KJ Cho, KK Kang, YE Na and MH Kim. 2013. Characteristics communities structure of benthic macroinvertebrates in irrigation ponds, within paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:304–314.
- Courtney GW, T Pape, TH Skevington and BJ Sinclair. 2009. Biodiversity of Diptera. *Insect biodiversity: science and society.* Blackwell. pp. 185–222.

- Croll RP. 1983. Gastropod chemoreception. *Biol. Rev.* 58:293–319.
- De La Rosa C and A Ramírez. 1995. A note on phototactic behavior and on phoretic associations in larvae of *Mecistogaster ornata* Rambur from northern Costa Rica (Zygoptera: Pseudostigmatidae). *Odonatologica* 24:219–224.
- Dyde CE. 1959. Some interesting habitats of larval Dolichopodidae (Diptera). *Entomol. Mon. Mag.* 95:139–43.
- Elmberg J, P Nummi, H Pöysä and K Sjöberg. 1993. Do intruding predators and trap position affect the reliability of catches in activity traps? *Hydrobiologia* 239:187–193.
- Elphick CS. 2000. Functional equivalency between rice fields and seminatural wetland habitats. *Conserv. Biol.* 14:181–191.
- Fernando CH. 1961. Aquatic insects taken at light in Ceylon, with a discussion and bibliography of references to aquatic insects at light. *Ceylon J. Sci. (Bio. Sci.)* 4:45–54.
- Fujioka M, SD Lee, M Kurechi and H Yoshida. 2010. Bird use of rice fields in Korea and Japan. *Waterbirds* 33:8–29.
- Hallberg E, KUI Johansson and R Wallén. 1997. Olfactory sensilla in crustaceans: morphology, sexual dimorphism, and distribution patterns. *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 26:173–180.
- Han MS, HK Nam, KK Kang, M Kim, YE Na, HR Kim and MH Kim. 2013. Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 32:17–23.
- Han MS, JD Shin, YE Na, NJ Lee, MH Park and SG Kim. 2002. Changes of invertebrate density in rice paddies of different fertilizer managements in demonstration villages of sustainable agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 21:96–101.
- Han MS, YE Na, HS Bang, MH Kim, MK Kim, KA Roh and JT Lee. 2007. The fauna of aquatic invertebrates in paddy field. *Korean J. Environ. Agric.* 26:267–273.
- Han MS, YE Na, HS Bang, MH Kim, KK Kang, HK Hong, JT Lee and BG Ko. 2008. Aquatic invertebrates in paddy ecosystem of Korea. *National Academy of Agricultural Science*. Suwon, Korea. pp. 1–416.
- Han MS, YE Na, HS Bang, MH Kim, KK Kang, JT Lee and HK Hong. 2011. Fishes, amphibians and reptiles in paddy ecosystem of Korea. *National Academy of Agricultural Science*. Suwon, Korea. pp. 1–103.
- Hansen A, JO Reiss, CL Gentry and GD Burd. 1998. Ultrastructure of the olfactory organ in the clawed frog, *Xenopus laevis*, during larval development and metamorphosis. *J. Comp. Neurol.* 398:273–288.
- Helgen JH, K Thompson, JG Gernes, LC Ferrington and C Wright. 1993. Developing an index of biological integrity for 33 depressional wetlands in Minnesota. *Minnesota Pollution Control Agency*, Minnesota, USA.
- Huni A and WE Kershaw. 1971. Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Can. J. Zool.* 49:167–173.
- Irie-Kushiyama S, M Asano-Miyoshi, T Suda, K Abe and Y Emori. 2004. Identification of 24 genes and two pseudogenes coding for olfactory receptors in Japanese loach, classified into four subfamilies: a putative evolutionary process for fish olfactory receptor gene by comprehensive phylogenetic analysis. *Gene* 325:123–135.
- Jensen JC and RY Zacharuk. 1991. The fine structure of uniporous and nonporous pegs on the distal antennal segment of the diving beetle *Graphoderus occidentalis* Horn (Coleoptera: Dytiscidae). *Can. J. Zool.* 69:334–352.
- Kadoya T, S Suda and I Washitani. 2009. Dragonfly crisis in Japan: a likely consequence of recent agricultural habitat degradation. *Biol. Conserv.* 142:1899–1905.
- Kang HK and K Chung. 2010. A comparison of samplers for aquatic macroinvertebrate in rice paddies : aquatic net, quadrat and core. *Korean J. Appl. Entomol.* 49:313–324.
- Kim JG, YC Choi, JY Choi, HS Sim, HC Park, WT Kim, BD Park, JE Lee, KK Kang and DB Lee. 2007. Ecological analysis and environmental evaluation of aquatic insects in agricultural ecosystem. *Korean J. Appl. Entomol.* 46:335–341.
- Kim JO, SH Lee and KS Jang. 2011. Efforts to Improve Biodiversity in Paddy Field Ecosystem of South Korea. *Reintroduction* 1:25–30.
- Klečka J and DS Boukal. 2011. Lazy ecologist's guide to water beetle diversity: Which sampling methods are the best? *Ecol. Indic.* 11:500–508.
- Lai YT, JH Chen and LL Lee. 2011. The chemosensory ability of the predatory leech *Whitmania laevis* (Arhynchobdellida: Haemopidae) for prey searching. *Chemoecology* 21:67–72.
- LaRow EJ. 1971. Response of Chaoborus (Diptera: Chaoboridae) larvae to different wavelengths of light. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 64:461–464.
- Lavergne S, N Mouquet, W Thuiller and O Ronce. 2010. Biodiversity and climate change: integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 41:321–350.
- Mackey AP, DA Cooling and AD Berrie. 1984. An evaluation of sampling strategies for qualitative surveys of macro-invertebrates in rivers, using pond nets. *J. Appl. Ecol.* 1:515–534.
- Mann KH. 2013. Leeches (Hirudinea): their structure, physiology, ecology and embryology. Elsevier. pp. 79–80.
- Niimura Y and M Nei. 2005. Evolutionary dynamics of olfactory receptor genes in fishes and tetrapods. *PNAS* 102:6039–

- 6044.
- O'Connor Á, S Bradish, T Reed, J Moran, E Regan, M Visser, M Gormally and MS Skeffington. 2004. A comparison of the efficacy of pond-net and box sampling methods in turloughs-Irish ephemeral aquatic systems. *Hydrobiologia* 524:133–144.
- Oksanen J. 2011. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial. R package version 7:11–12.
- Oksanen J, R Kindt, P Legendre, B O'Hara, MH Stevens and MJ Oksanen. 2017. The vegan package ver. 2.4-4. Community ecology package.
- Prather CM, SL Pelini, A Laws, E Rivest, M Moltz, CP Bloch, ID Toro, CK Ho, J Kominoski, TA Scott Newbold, S Parsons and A Joern. 2013. Invertebrates, ecosystem services and climate change. *Biol. Rev.* 88:327–348.
- Radwell AJ and NB Camp. 2009. Comparing chemiluminescent and LED light for trapping water mites and aquatic insects. *Southeast. Nat.* 8:733–738.
- Roh G, A Borzée and Y Jang. 2014. Spatiotemporal distributions and habitat characteristics of the endangered treefrog, *Hyla suweonensis*, in relation to sympatric *H. Japonica*. *Ecol. Inform.* 24:78–84.
- Sawin EP, LR Harris, AR Campos and MB Sokolowski. 1994. Sensorimotor transformation from light reception to phototactic behavior in *Drosophila* larvae (Diptera: Drosophilidae). *J. Insect Behav.* 7:553.
- Semenchenko V, T Laenko and V Razlutskiy. 2008. A new record of the North American gastropod *Physella acuta* (Draparnaud 1805) from the Neman River Basin, Belarus. *Aquat. Invasions* 3:359–360.
- Son JK, NC Kim, MH Kim and B Kang. 2012. Community characteristics of benthic macroinvertebrates according to growth environment at rural palustrine wetland. *J. Korea Soc. Environ. Restor. Technol.* 15:129–144.
- Stabell OB, F Ogbobo and R Primicerio. 2003. Inducible defences in *Daphnia* depend on latent alarm signals from conspecific prey activated in predators. *Chem. Senses* 28:141–153.
- Statistics Korea. 2016. Agricultural Area Survey. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1287.
- Swift MC and RB Forward. 1980. Photoresponses of *Chaoborus* larvae. *J. Insect Physiol.* 26:365–371.
- Turner AM and JC Trexler. 1997. Sampling aquatic invertebrates from marshes: evaluating the options. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16:694–709.
- Verdonschot RC. 2010. Optimizing the use of activity traps for aquatic biodiversity studies. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 29:1228–1240.
- Watanabe K and T Hidaka. 1983. Feeding behaviour of the Japanese loach, *Misgurnus anguillicaudatus* (Cobitidae). *J. Ethol.* 1:86–90.
- Yoon IB. 1995. Aquatic insects of Korea. Junghaengsa, Seoul, Korea.

Received: 8 November 2017

Revised: 8 December 2017

Revision accepted: 11 December 2017