

‘21년 멸종위기종 증식기술 개발 연구
Study on the development of endangered species captive
propagation technique

멸종위기종복원센터
Research Center for Endangered Species

윤주덕, 김근식, 유정우, 유나경 등 21명
Ju Duk Yoon, Kuensik Kim, Jeongwoo Yoo, Nakyung Yoo, et al.

2021. 12.
December 2021

국립생태원
National Institute of Ecology

참여연구진(내부)

· 연구책임자	어류양서파충류팀 Restoration Research Team (Fish·amphibian·reptile)	윤 주 덕 Ju-Duk Yoon
· 내부 연구원	복원연구실 어류양서파충류팀 Restoration Research Team (Fish·amphibian·reptile)	김 근 식 Kuen-Sik Kim 유 정 우 Jeong-Woo Yoo 유 나 경 Na-Kyung Yoo 임 정 은 Jeong Eun Lim (Anye) 김 영 건 Yung Kun Kim 김 영 채 Young-Chae Kim 김 아 름 Areum Kim 김 영 민 Young Min Kim 이 제 민 Jemin Lee
	복원연구실 포유류팀 Restoration Research Team (Mammal)	박 희 복 Hee-Bok Park 윤 준 희 Jun Hee Yun
	복원연구실 멸종위기종원헬스팀 One-Health Team for Endangered Species	강 승 구 Seung Gu Kang 김 영 중 Young-Joong Kim 김 황 Hwang Kim 김 만 년 Mannyun Kim
	복원연구실 조류팀 Restoration Research Team (Bird)	황 정 은 Hwang Jung Eun 박 형 빈 Hyeong Bin Park
	복원연구실 곤충·무척추동물팀 Restoration Research Team (Insects·Invertebrates)	안 지 애 Jiae An
	복원연구실 식물팀 Restoration Research Team (Plants)	

참여연구진(외부)

· 외부 연구진

양서파충류 연구 외부 조사원

고 영 민

고 원 범

요 약 문

생물종 멸종으로 인한 생태계 불균형 문제 해결 및 생물다양성, 생태계 건강성 회복을 위해 멸종위기종별 맞춤형 증식 기술 개발이 필요하여 멸종위기종 증식 기술 개발을 위한 연구를 수행하였다. 멸종위기종 복원을 위한 연구로 증식 기술 연구, 원종 확보, 자연성 증진 훈련으로 구분하여 연구를 진행하였다. 1)증식 기술 연구로는 여울마자를 대상으로 난질 향상을 통한 난 생성 후 성체 사육을 하였고, 참달팽이의 동면이 증식에 영향을 미친다는 것을 검증하였으며, 소똥구리 먹이원 개선을 통해 증식 효율을 증대시켰다. 2)또한 멸종위기종의 서식지로 알려진 곳을 대상으로 현지조사를 통해 비바리뱀 1개체, 수원청개구리 8개체, 양비둘기 2개체 등 6종의 원종 도입을 완료하였으며, 무산쇠족제비의 경우 원종 확보를 위한 포획트랩을 개발하여 특허출원을 하였다. 3)증식된 여울마자를 대상으로 방류 전 자연성 증진을 위해 포식자회피, 지느러미 변형 교정 등 훈련을 진행하여 훈련받은 개체의 회피행동, 유영능력을 향상시키는 결과를 도출하였다. 향후 2차년도 연구로는 멸종위기종의 추가 개체 도입, 멸종위기종 개체 증식 및 기술 연구, 사육 조건 파악, 자연성 증진 훈련을 수행하여 멸종위기종 증식 기술 연구의 고도화를 위해 수행할 예정이다.

목 차

요약문	i
목 차	ii
표목차	iii
그림목차	iv
ABSTRACT	v
I. 서론	1
II. 멸종위기종 증식기술 개발 연구	4
1. 여울마자 난질 개선 및 증식 연구	4
2. 참달팽이 증식기술 연구	10
3. 소뿔구리 최적 사육조건 연구	20
4. 가축을 통하 양제 노출 수준 분석 및 위해성 연구	23
5. 양비둘기 맞춤형 사육·증식 연구	31
III. 멸종위기종 원종확보 기술 개발 연구	34
1. 비바리뱀, 수원청개구리 원종 도입	34
2. 멸종위기식물 현장조사 및 도입	39
3. 지역별 양비둘기 원종 도입	44
4. 무산쇠족제비 포획 장비 개발	46
IV. 멸종위기종 환경 적응력 파악 연구	50
1. 여울마자 자연성 증진 훈련	50
V. 2차년도 연구 계획	61
VI. 참고문헌	62

표 목 차

표. II-1-(1). 먹이 종류별 수온 및 광주기 변화를 통한 여울마자 성숙 유도	6
표. II-1-(2). 급격한 수온 변화를 통한 여울마자 성숙 유도	7
표. II-1-(3). 적정 마취 농도 테스트	8
표. II-1-(4). 먹이원에 따른 인공 성숙 유도 결과	8
표. II-1-(5). 먹이원에 따른 난질 평가	9
표. II-1-(6). 급격한 수온변화를 통한 인공성숙 유도 결과	9
표. II-2-(1). 대양섬의 고유 달팽이 속의 종 다양성 및 위협 현황	10
표. II-2-(2). 참달팽이 동면 유도 실험 조건	11
표. II-2-(3). 참달팽이 칼슘 공급 비교 실험 조건	12
표. II-2-(4). 동면 유무에 따른 모개체의 총 산란수, 평균 산란수 및 부화율	14
표. II-3-(1). 소똥구리 먹이원 내 영양성분 보완을 위한 성분 및 조성	21
표. II-3-(2). 소똥구리 먹이원 내 영양보조제 유무에 따른 생존분석	22
표. II-4-(1). 소똥구리 먹이원 내 이버멕틴 노출수준 분석 방법	24
표. II-4-(2). 렌지소똥퐁뎡이 동면을 위한 온도순화 처리 및 연구 일정	25
표. II-4-(3). 1990년대부터 상용화된 주요 구충제	26
표. II-4-(4). 이버멕틴 농도에 따른 애기뿔소똥구리 발육 특성	27
표. II-4-(5). 소똥구리 근연종 렌지소똥퐁뎡이 사육을 위한 재료	29
표. II-5-(1). 2021년 양비둘기 번식기록표	33
표. III-1-(1). 지역 별 청개구리류 확보 개체수	38

그 립 목 차

그림. II-1-(1). 와퍼(좌), 생먹이(실지렁이, 중), 미세조류와퍼(우)	5
그림. II-1-(2). 실험 수조(좌, 사각수조; 우, 트랙수조)	5
그림. II-2-(1). 동면 실험 중인 참달팽이(좌)와 성장상 내 온습도계 사진(우)	12
그림. II-2-(2). 먹이 섭취 중인 참달팽이 부화개체(좌), 각경 크기에 따라 사용된 사육용기(우)	13
그림. II-2-(3). 실체현미경(좌)과 버니어캘리퍼스(우)로 각경 측정 중인 참달팽이 부화개체	13
그림. II-2-(4). 참달팽이가 산란한 알(좌)과 부화를 위해 알을 분리한 사진(우)	15
그림. II-2-(5). 칼슘 공급 방법에 따른 부화개체의 성장 크기와 표준오차, 반복측정분산분석 결과	16
그림. II-2-(6). 참달팽이의 발생시기별 배아발달 상태 및 각경 크기(mm)	18
그림. II-3-(1). 소똥구리 먹이원 내 영양성분 첨가	21
그림. II-3-(2). 소똥구리 먹이원 내 영양보조제 유무에 따른 생존분석	22
그림. II-4-(1). 좌: 이버멕틴 경구투여, 우: 약제 투여 후 분변과 함께 배출된 기생충	24
그림. II-4-(2). 렌지소똥풍뎡이 수컷(좌)과 암컷(우)	25
그림. II-4-(3). 이버멕틴의 사용(가축대상)과 소똥구리류 군집간의 관계 연구	27
그림. II-4-(4). 시기에 따른 가축 분변 내 포함된 이버멕틴의 농도 정량한계	28
그림. II-4-(5). 렌지소똥풍뎡이 사육을 위한 맞춤형 케이스	29
그림. II-4-(6). 렌지소똥풍뎡이 경단 내 알(좌)과 유충(우)	29
그림. II-5-(1). 양비둘기 맞춤형 사육환경 조성을 통한 번식률 향상 유도	32
그림. II-5-(2). 먹이량 및 종류 변화 파악을 통한 급이 방법 표준화	32
그림. III-1-(1). 비바리뱀 원종 확보를 위한 현장조사	35

그림. III-1-(2). 포획한 수원청개구리	36
그림. III-1-(3). 상피세포 채취중인 수원청개구리	36
그림. III-1-(4). 도입된 비바리뱀 1개체	37
그림. III-1-(5). 국외 비바리뱀 출현지점으로 예측한 비바리뱀 잠재서식지	37
그림. III-2-(1). 가는동자꽃 자생지, 개체 및 종자	41
그림. III-2-(2). 서울개발나물 자생지, 개체 및 종자	42
그림. III-2-(3). 만년콩 자생지, 개체 및 종자	43
그림. III-3-(1). 지역별 양비둘기 생태조사 및 원종도입	45
그림. III-3-(2). 양비둘기 원충성 질병 조기진단 및 감염경로 파악(예시)	45
그림. III-4-(1). 무산쇠족제비 포획 트랩	47
그림. III-4-(2). 무산쇠족제비 포획 트랩 특허	49
그림. IV-1-(1). 포식자회피 훈련용 수조(좌, 모형도; 우, 트랙수조)	52
그림. IV-1-(2). 포식자회피 실험용 수조(좌, 모형도; 우, 사각주소)	52
그림. IV-1-(3). 자연먹이 섭식 훈련 일정	53
그림. IV-1-(4). 지느러미 변형 교정훈련 수조(좌, 훈련수조; 우, 모형도) ...	54
그림. IV-1-(5). 포식자 회피훈련과정좌, 포식자 및 알람신호 도입 전 우도입 후)	55
그림. IV-1-(6). 포식자 회피 훈련 검증실험 (좌, 회피 훈련 전; 우, 훈련 48시간 후)	56
그림. IV-1-(7). 포식자 인식 훈련 전후 여울마자 위치분포 비율(%) (좌, 알람신호 노출 전과 후; 우, 포식자 노출전과 후)	56
그림. IV-1-(8). 여울마자의 먹이활동(좌, 섭식중인 여울마자; 우, 섭식흔적)	57
그림. IV-1-(9). 일자별 자연먹이(부착조류) 잔존량(%)	58
그림. IV-1-(10). 인공증식 여울마자의 지느러미 변형 교정	58
그림. IV-1-(11). 여울마자 지느러미 변형율(%), 좌: 교정 전, 우: 교정 후	59

Abstract

Development of the endangered species captive propagation techniques are important for solving the ecosystem imbalance and restoring biodiversity and ecosystem health. In this study, we conducted development of captive propagation techniques which were classified into three categories, 1) reproduction research, 2) securing wild individuals and 3) post-stocking survival for endangered species restoration. 1) By reproduction researches, we solve the egg quality problems of *Microphysogobio rapidus* during captive breeding, and also identified the hibernation effect on *Koreanohadra koreana* reproduction. Additionally, the reproduction efficiency was increased through the improvement of food source for *Gymnopleurus mopsus*. 2) The wild individuals from 6 species including one *Sibynophis chinensis*, eight *Dryophytes suweonensis*, and two *Columba rupestris*, were introduced to the restoration center for the purpose of species restoration. For *Mustela nivalis Linnaeus*, a species-specific trap was developed to capture the wild individuals. 3) Trainings of post-stocking survival such as predator avoidance and correction of fin deformation was conducted on the hatchery reared *M. rapidus*, and we identified the improvement of avoidance behavior and swimming ability of the trained individuals. The 2nd year researches are addition introduction of each species and sophistication of techniques to promote effectiveness of endangered species restoration.

I. 서론

1. 배경 및 목적

환경부 “야생생물 보호 및 관리에 관한 법률” 제 132조2항에 따라 ‘현재 개체군으로 지속적인 생존이 어렵다 판단되는 종에 대한 증식·복원하는 등 필요한 조치’에 따라 멸종위기종에 복원을 위한 연구 수행이 필요하다. “야생생물 보호 및 관리에 관한 법률”에 따라 멸종위기종을 현재 관리중이나 지정종수가 지속적으로 증가하고 있다.

※ 멸종위기종 지정수: 92종(‘89) → 198종(‘98) → 246종(‘12) → 267종(‘17)
체계적으로 멸종위기종 복원을 위한 계획을 수립해야한다. 환경부에서 2018년 ‘멸종위기 야생생물보전 종합계획’과 2019년 ‘과제별 세부 이행계획을 수립하여 멸종위기종 복원에 대한 제도적인 체계를 마련하였다. 이에 따라 국립생태원 멸종위기종복원센터에서는 2019년 ‘멸종위기종 복원 중장기 실행전략’을 수립하여 분류군별 멸종위기종 증식·복원을 수행하고 있다.

센터 내에서 멸종위기종 복원 수행을 위해 멸종 위협 정도에 따라 복원대상종 64종을 선정하였고, 그 중 시급성, 복원 가능성, 원종확보 및 국민 체감도를 고려하여 25종을 대상으로 우선복원대상종으로 선정하였고, 종별 증식·복원 연구 단계를 고려하여 기초생태, 증식기술, 유전연구, 모니터링 등 단계를 고려하여 맞춤형 증식·복원 연구를 추진하고 있다.

생물종 멸종으로 인한 생태계 불균형 문제 해결 및 생물다양성, 생태계 건강성 회복을 위해 멸종위기종별 맞춤형 증식 기술 개발이 필요하다. 따라서 본 연구는 1)절멸위기에 처한 멸종위기 야생생물의 유전적 다양성을 고려한 맞춤형 증식 기술을 개발하며, 2)한반도 멸종위기 야생생물의 체계적인 증식·복원을 위한 정책적, 과학적 기반을 제시하며, 3)멸종위기종 복원을 통한 국내 생물다양성 및 생태계 건강성을 회복을 위함이다.

2. 주요 연구 내용

가. 멸종위기종 증식기술 개발

- (1) 여울마자 난질 개선 및 증식 기술 연구
 - 먹이원 조절을 통한 여울마자 난질 개선 방안 연구
 - 사육조건 조절을 통한 여울마자 인공 성숙 연구
- (2) 참달팽이 증식기술 개발
 - 동면 유무에 따른 산란·부화율 비교 연구
 - 칼슘 공급 방법 차이에 따른 성장·생존률 비교 연구
 - 배아발달 상태에 따른 인공부화 연구
- (3) 소똥구리 최적 사육 조건 연구
 - 소똥구리 먹이원 내 영양보조 첨가제(카제인, 이스트, 콩가루) 추가에 따른 증식 및 생존에 미치는 영향연구 수행
- (4) 가축을 통한 양제 노출 수준 분석 및 위해성 연구
 - 국내 가축에 사용되는 구충제 및 살충제 사용 현황을 조사함
 - 가축용 약제가 분식성 곤충에 미치는 위해성 연구자료 분석 수행
 - 분변을 통해 노출되는 약제의 농도 및 지속성 분석 수행
 - ‘22년도 후속연구를 위한 소똥구리 근연종 사육체계 확립
- (5) 양비둘기 맞춤형 사육·증식 기술 개발
 - 양비둘기 맞춤형 사육환경 조성을 통한 번식률 향상 유도
 - 먹이량 및 종류 변화 파악을 통한 급이 방법 표준화 마련

나. 멸종위기종 원종확보 기술개발

- (1) 비바리뱀, 수원청개구리 원종 도입
 - 국내외 문헌, 과거 출현 자료를 이용하여 비바리뱀, 수원청개구리의 활동시기를 고려하여 현진조사를 통한 원종 확보 수행
 - 비바리뱀의 경우 제주도에 국한하여 서식이 확인되어 제주도에 현지 전문가를 외부조사원으로 활용하여 합동 조사를 통한 원종 확보 수행
 - 수원청개구리의 경우 수원청개구리의 청음을 통한 원종 확보 수행
 - 확보된 개체를 이용하여 비바리뱀, 수원청개구리의 증식 기술 연구 수행
- (2) 가는동자꽃, 서울개발나물, 털복주머니란, 만년콩 현장조사 및 도입
 - 멸종위기야생생물 분포조사 자료를 바탕으로 대상종 자생지 확인

- 국내·외 문헌, 현장조사를 통해 대상종의 개화시기와 종자 결실시기를 파악
- 개체수, 생육상태 등을 포함한 자생지 특성 조사 수행
- 대상종별 결실시기, 개체수, 생육상태 등을 고려하여 종자를 채취 및 도입
- (3) 지역별 양비둘기 원종 확보
 - 월 1회 서식지별 개체군 동태 파악 후 도입 개체 선정
 - 서식지별 개체 포획 및 멸종위기종복원센터 이송
- (4) 무산쇠족제비 포획 장비 개발
 - 무산쇠족제비 선택적 포획을 위한 트랩 특징 파악
 - 포획 트랩 특허 출원 추진

다. 멸종위기종 환경적응력 파악

- (1) 여울마자 자연성 증진 방법 연구
 - 포식자 회피 훈련
 - 먹이섭식 적응 훈련
 - 지느러미 변형 교정 훈련

II. 멸종위기종 증식기술 개발 연구

1. 여울마자 난질 개선 및 증식 연구

가. 서론

(1) 먹이원 조절을 통한 여울마자 난질 개선 방안 연구

여울마자의 완전 양식 기술 확보를 위해 먹이 종류별 여울마자의 인공 성숙 및 난질을 평가하기 위한 최적 먹이원을 확인하고자 하였다. 이를 위해 어류 산란에서 중요한 환경 요인으로 광주기와 수온이 알려져 있으며(Takashima and Yamada, 1984), 산란 유도를 위해 산란준비기 및 산란시기인 2월-5월까지의 여울마자 핵심서식지인 남강(경남 산청군) 지역의 광주기와 수온 자료를 활용하여, 먹이 종류별(그림. II-1-(1)) 수온과 광주기 조절 일정을 표 II-(1)과 같이 설계하였다.

(2) 사육조건 조절을 통한 여울마자 인공 성숙 연구

어류 인공 성숙 유도를 위한 사육조건 조절 연구가 수행되어 왔으며, 특히 광주기 조절 및 급격한 수온 변화와 같은 자극을 통해 성숙을 유도하는 방법이 알려져 있다(Bromage et al., 2001; 한 등, 2016). 이에 여울마자를 대상으로 성숙 유도를 위한 수온 및 광주기 변화와 더불어 급격한 수온 변화에 따른 인공 성숙 여부를 확인하고자 하였다. 이를 위해 표 II-(2)와 같이 성숙 준비기는 동일한 조건에서 성숙 구간에서의 급격한 수온 변화에 따른 인공 성숙 여부를 파악하였다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 먹이원 조절을 통한 여울마자 난질개선 방안 연구

실험은 멸종위기종복원센터 내 사각수조($1.0 \times 0.45 \times 0.4$ m, 180L)와 트랙수조($1.5 \times 4.0 \times 0.8$ m, 5ton)에서 진행하였다. 1주-4주차는 사각수조에서 반복할 때까지 먹이를 3회/일 공급하였으며, 5주-18주차는 트랙수조로 옮겨 매일 어체중의 3-5% 가량의 먹이를 공급하고 수온 및 광주기는 냉각기와 히터온도조절기 그리고 LED조명을 이용하여 조절하였다. 18주 이후에는 MS-222로 마취 후 성숙호르몬(Ovaprim)을 주사하였고, 12시간 뒤 복부압박법으로 성숙 유무 확인 후 건식법으로 수정하여 난질평가를 위한 수정률 및 부화율을 조사하였다.



그림. II-1-(1). 와퍼(좌), 생먹이(실지렁이, 중), 미세조류와퍼(우)



그림. II-1-(2). 실험 수조(좌, 사각수조; 우, 트랙수조)

표. II-1-(1). 먹이 종류별 수온 및 광주기 변화를 통한 여울마자 성숙 유도

주	수온(도)	광주기	먹이원			비 고
			A	B	C	
1	28	14:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
2	28	14:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
3	26	13:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
4	24	12:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
5	21	12:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
6	18	11:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
7	15	10:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
8	12	10:30	와퍼	와퍼	미세조류와퍼	
9	9	10:00	와퍼	와퍼	미세조류와퍼	
10	8	10:00	-	-	-	
11	10	10:00	와퍼	와퍼	미세조류와퍼	
12	12	10:00	와퍼	와퍼	미세조류와퍼	
13	14	10:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
14	14	10:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
15	14	10:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
16	15	10:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
17	16	10:30	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
18	17	11:00	와퍼	생먹이+와퍼	미세조류와퍼	
19	18	11:00	공급 중지	공급 중지	공급 중지	

(2) 사육조건 조절을 통한 여울마자 인공 성숙 연구

실험은 트랙수조(1.5×4.0×0.8 m, 5ton)에서 진행하였으며, 먹이는 어체중의 3-5% 가량을 공급하였고, 냉각기와 티타늄 온도조절기로 수온을 LED조명과 암막으로 광주기를 조절하였다. 1주-16주차는 동일한 수온, 광주기를 유지하였으며, 17주차부터 실험군 I는 수온을 4℃ 가량 급격하게 증가시켰고, 실험군 II는 1℃/주 상승시켰다. 22주차에 MS-222로 마취한 뒤 성숙호르몬(Ovaprim)을 주사하여 12시간 경과 후 복부압박법으로 여울마자의 성숙 유무를 확인하였다.

표. II-1-(2). 급격한 수온 변화를 통한 여울마자 성숙 유도

주	수온(도)		광주기	먹이원	비고
	I	II			
1		28	14:00	생먹이+와퍼	
2		28	14:00	생먹이+와퍼	
3		26	13:00	생먹이+와퍼	
4		24	12:30	생먹이+와퍼	
5		21	12:00	생먹이+와퍼	
6		18	11:30	생먹이+와퍼	
7		15	10:30	와퍼	
8		9	10:00	와퍼	
9		8	10:00	-	
10		10	10:00	와퍼	
11		12	10:00	와퍼	
12		14	10:00	생먹이+와퍼	
13		14	10:30	생먹이+와퍼	
14		14	10:30	생먹이+와퍼	
15		15	10:30	생먹이+와퍼	
16		15	10:30	생먹이+와퍼	
17	19	15	10:30	생먹이+와퍼	
18	-	16	11:00	공급 중지	
19	-	17	11:00		
20	-	18	11:00		
21	-	19	11:00		
22	-	20	11:00		

다. 연구 결과

(1) 먹이원 조절을 통한 여울마자 난질 개선 방안 연구

(가) 인공 성숙 유도 결과 확인 전 적정 마취 농도 확인

인공 성숙 유도 결과 확인을 위해 적정한 마취(MS-222)를 위한 농도를 테스트한 결과 75ppm으로 확인되었다.

표. II-1-(3). 적정 마취 농도 테스트

농도	상태	비고
50 ppm (0.050g/L)	마취 안됨(4분)	
75 ppm (0.075g/L)	1분 후 마취	
100 ppm (0.100g/L)	25초 후 마취	

(나) 인공 성숙 유도 결과

각 실험군 개체들을 100ppm의 MS-222을 이용하여 마취 후 복부압박법을 통해 성숙난과 미성숙난 그리고 정자가 방출된 여울마자의 개체수 및 비율을 비교해 본 결과 미세조류와퍼를 공급한 실험군은 모든 개체에서 성숙(100%)이 확인되었다(100%). 그 다음으로는 와퍼(77.8%), 생먹이+와퍼(52.9%) 순으로 성숙된 여울마자 개체의 비율이 높았다.

표. II-1-(4). 먹이원에 따른 인공 성숙 유도 결과

먹이원	성숙개체수/총개체수	비율(%)	비고
와퍼	35/45	77.8	
생먹이+와퍼	9/17	52.9	
미세조류와퍼	40/40	100.0	

(다) 난질 평가

복부압박법을 통해 건식법으로 수정해 본 결과 수정률은 와퍼를 공급한 실험군에서 약 1,300개의 성숙난(암컷 1개체)이 방출되었으며, 그 중 수정된 난은 22개(1.69%), 부화된 개체는 5개(0.38%)로 확인되었다. 생먹이+와퍼를 공급한 실험군에서는 수정된 난이 없었다. 미세조류와퍼를 공급한 실험군의 경우 약 31,550개의 성숙난(암컷 17개체)이 방출되었으며, 그 중 수정된 난은 23,146개(73.4%), 부화된 개체는 521개(1.65%)로 확인되었다.

표. II-1-(5). 먹이원에 따른 난질 평가

먹이원	수정률	부화율	비고
와퍼	1.69%	0.38%	
생먹이+와퍼	0%	0%	
미세조류와퍼	73.4%	1.65%	

(2) 사육조건 조절을 통한 여울마자 인공 성숙 연구

수온 변화를 통한 인공 성숙 유도 결과 15℃에서 19℃로 수온을 급격하게 상승시킨 실험군II에서 총 10개체 중 4개체가 성숙한(71.4%) 반면 매주 1℃씩 순차적으로 수온을 상승시킨 실험군 I에서는 7개체 중 5개체(40.0%)에서 성숙이 확인되었다.

표. II-1-(6). 급격한 수온변화를 통한 인공성숙 유도 결과

수온	성숙개체수/총개체수	비율(%)	비고
실험군 I (순차적 온도 상승)	4/10	40.0%	
실험군 II (15℃→19℃)	5/7	71.4%	

라. 결론(고찰 및 제언)

먹이원 및 사육 조건 조절을 통한 여울마자의 인공 성숙 유도 결과 미세조류를 첨가한 와퍼를 공급한 실험군에서 가장 높은 성숙도와 수정 및 부화율을 보여 주었으며, 저온 자극 후 수온을 급격히 상승시킨 실험군이 순차적으로 상승시킨 실험군 보다 높은 성숙 비율을 보여 주었다. 위와 같은 결과를 바탕으로 추후 재현 실험을 통해 결과의 재검증 절차와 수정 및 부화율을 높일 방안과 부화 후 최적 사육조건 등의 파악을 위한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

2. 참달팽이 증식기술 연구

가. 서론

참달팽이(*Koreanohadra koreana* (Pfeiffer))는 한반도 고유 속 및 종으로, Pfeiffer (1850)는 한반도에서 *Helix koreana*로 본 종을 기재하였지만 기준표본 정보는 누락하였다. 참달팽이의 상세한 국내 분포는 한 세기가 지나서야 홍도에서 보고되었고 (Lee, 1956; Habe and Lee, 1958), 이후 우리나라 패류학자에 의해 홍도의 참달팽이 서식이 재차 확인되었다(이와 권, 1993). '19년 국립생태원 멸종위기종복원센터의 신안군 일대 참달팽이 서식 실태 조사와 Choi and Park (2020)에 의해 각각 하태도와 장도의 서식지가 확인되었다. 참달팽이는 현재 환경부 멸종위기 야생생물Ⅱ급으로 지정되어 보호받고 있으며 국가적색목록에 위기 등급(EN, Endangered)으로 등재되어 있다.

달팽이 사육은 식용 목적의 달팽이 농장이 대표적이며, 프랑스에서는 한 해 4만 톤의 달팽이를 에스카르고 등 요리의 식재료로 사용한다(출처: <http://www.molluscs.at/gastropoda>, '21.11.30.) 이 외에도 달팽이 사육은 멸종위기 달팽이의 보전을 위한 인공증식의 일환으로 세계 여러 장소에서 진행되고 있다. 육상 달팽이는 특히 버뮤다 제도, 오가사와라 제도와 같은 대양섬(oceanic islands)에서 적응방산 사례가 많이 알려져 있지만(Chiba, 1999; Chiba and Cowie, 2016; Outerbridge and Sarkis, 2018), 대양섬의 고유한 토착 달팽이는 이미 많은 종이 절멸했거나 절멸 위기에 놓인 상황이다(표 II-2-(1)). 멸종위기 달팽이의 복원은 버뮤다 제도 고유 달팽이 속인 *Poecilozonites*의 사례가 알려져 있다. 해당 속의 대다수 종은 이미 절멸했으나 최근에 일부 종의 자연개체군이 재발견되며 인공증식과 더불어 다방면의 복원 프로젝트가 활발하게 진행 중이다(Outerbridge and Sarkis, 2018; Copeland and Hesselberg, 2021).

표. II-2-(1). 대양섬의 고유 달팽이 속의 종 다양성 및 위협 현황

대양섬	버뮤다 (Outerbridge & Sarkis, 2018)	오가사와라 (Chiba, 1999; Mori et al. 2021)
지역(국가)	대서양(영국)	태평양(일본)
고유 속	<i>Poecilozonites</i>	<i>Mandarina</i>
전체 종수	최소 12	17
절멸 추정 종수	10	5
복원 시도 종수	2	2

달팽이는 움직임이 느려 이동성이 낮은 데다 특수한 분산 기작도 알려진 것이 없다. 참달팽이와 같은 분포가 극히 협소한 종은 위협요인에 직면했을 때 더 쉽고 빠르게 절멸할 위험에 노출되어 있다. 국립생태원 멸종위기종복원센터는 홍도 참달팽이 개체군 크기 변화와 위협요인 등의 정확한 파악을 위해 '19년부터 장기 모니터링을 시작했으며, 지역 개체군(홍도, 하태도)의 유전적 고유성 분석과 기초 생태학적 연구(먹이원, 서식지 환경요인)도 진행 중이다. 이러한 연구의 결과는 향후 참달팽이 자연개체군의 서식지 보전과 더불어 본 연구의 인공증식개체 방사를 위한 서식지 내 최적 방사지 또는 대체 서식지의 선정 등과 같은 보전계획 수립에 기초자료로 활용될 것이다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 동면 유무에 따른 산란수·부화율 비교 연구

본 연구의 목적은 실험실 내에서 인공증식 중인 참달팽이의 생산성 증대를 위해 동면 유무에 따른 산란수 및 부화율을 비교 분석하는데 있다. 동면실험은 홍도와 하태도에서 도입한 19개체를 대상으로 하였다. 이 중 5개체에 대해서 12월 중순부터 이듬해 4월 초까지 총 18주간 성장상(JSPC-200C)을 사용하여 동면을 유도하였다(그림 II-2-(1)). 동면실험 조건은 표 II-2-(2)과 같으며, 동면유도 → 동면 → 온도순화 → 온도적응 순의 단계로 실시하였다. 비동면 14개체는 온도 변화 없이 22℃에서 계속 사육하였다.

표. II-2-(2). 참달팽이 동면 유도 실험 조건

연구 단계	실험 조건	기간
동면 유도(단계적 온도 하향)	T: 17℃±1, H: 60%, L:D 14:10h	2주
	T: 12℃±1, H: 45%, L:D 12:12h	2주
동면	T: 7℃±1, H: 30%, L:D 0:24h	8주
온도 순화(단계적 온도 상향)	T: 12℃±1, H: 45%, L:D 12:12h	2주
	T: 17℃±1, H: 60%, L:D 14:10h	2주
온도 적응 확인(동태 확인)	T: 22℃±1, H: 75~90%, L:D 16:8h	2주

※ T (temperature, 기온), H (humidity, 습도), L:D (light:dark, 광주기)



그림. II-2-(1). 동면 실험 중인 참달팽이(좌)와 생장상 내 온·습도계 사진(우)

(2) 칼슘 공급 방법 차이에 따른 성장·생존률 비교 연구

부화개체(F₁)를 활용하여 칼슘 공급 방법에 따른 성장 차이를 비교 분석하였다. 실험에 사용한 모든 개체의 공통 먹이는 기본적으로 달팽이 사료와 채소류(상추, 호박 등)이며 주 3회 제공하였다. 또한 용기 내 적정 습도를 위해 매 먹이 공급 시 물을 2~3회 분무하였다. 대조군은 공통 먹이 이외에 어떠한 칼슘원도 공급하지 않았고, 실험군1, 2는 각각 칼슘스틱과 난각가루(달걀껍질 가루)를 공통 먹이와 함께 칼슘원으로 제공하였다(표 II-2-(3), 그림 II-2-(2)).

모든 개체는 개별 사육하였으며, 사육용기 선택은 각경(패각의 직경)을 기준으로 달리하였다(그림 II-2-(2)). 각경 7mm 이하는 40×12mm 크기의 페트리 디쉬, 각경 7~11mm는 60×15mm 크기의 페트리 디쉬, 각경 11mm 이상은 100×40mm의 원형 곤충 사육통(insect breeding dish)을 사용하였다. 각 사육용기의 습도 조절을 목적으로 수분증발 속도와 먹이 공급 횟수를 고려하여 페트리 디쉬 가장자리를 파라필름으로 밀폐한 후 일정 간격으로 7개의 구멍을 내주었고 원형 곤충사육통은 뚜껑 중앙 노출면의 약 3/4에 해당하는 면적에 파라필름을 부착하여 밀폐하였다.

표. II-2-(3). 참달팽이 칼슘 공급 비교 실험 조건

실험	①	②	③
실험 그룹	대조군	실험군1	실험군2
	칼슘 미공급	칼슘스틱	난각가루
개체수	9	9	9

※ 먹이 공통 : 달팽이 사료 + 채소류

성장률을 분석하기 위해 현미경카메라(Nikon Y-TV55)와 TCapture (Tucsen Photonics Co., Ltd., Fujian, China) 소프트웨어 및 버니어캘리퍼스를 사용하여 24주간 매주 1회 각경을 측정하여 분석에 이용하였다(그림 II-2-(3)). 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)을 통해 실험 그룹별 성장률을 통계적으로 분석하였다.



그림. II-2-(2). 먹이 섭취 중인 참달팽이 부화개체(좌), 각경 크기에 따라 사용된 사육용기(우)



그림. II-2-(3). 실체현미경(좌)과 버니어캘리퍼스(우)로 각경 측정 중인 참달팽이 부화개체

(3) 배아발달 상태에 따른 인공부화 연구

산란된 알의 폐사율 감소와 부화율 증대를 목적으로 10일 간격으로 각각의 배아 발달 상태를 관찰·비교하여 최적 인공 파각 시점을 결정하였다. 배아의 발달 상태는 실체현미경(Nikon SMZ 745T)을 사용하여 관찰하였고, 현미경카메라(Nikon Y-TV55)와 TCapture (Tucsen Photonics Co., Ltd., Fujian, China) 소프트웨어를 이용해 사진 촬영 및 각경 길이를 측정하였다.

다. 연구 결과 및 고찰

(1) 동면 유무에 따른 산란수·부화율 비교 연구

열대지방에 서식하는 육상 달팽이는 더위와 수분손실을 막기 위해 하면(여름잠)을 하고 온대지방의 종류들은 겨울 추위를 극복하기 위해 동면(겨울잠)을 한다(권과 이, 2021). 또한, 동면은 달팽이 외투강(mantle cavity)에 기생하는 흡혈성 응애류 등의 감염 강도를 완화시키는 역할도 한다(Haeussler et al., 2012). 참달팽이 자연개체군은 동면을 취한 후 이듬해 늦봄이나 초여름에 깨어나 산란하는 것으로 알려져 있지만(국립생물자원관, 2012), 동면 조건(온도, 습도, 광주기 등)에 대한 연구는 진행된 바 없다.

본 연구에서 동면 개체군은 4월 30일에 총 1회 25개 산란하였으며, 추가적인 산란은 없었다. 비동면 개체군은 4월 23일 첫 산란을 시작으로 6월 28일까지 약 두 달간 총 4회 산란하였고 최소 2개에서 최대 34개를 산란하였다. 산란 횟수의 차이는 실험군간 참달팽이 개체수의 차이에 기인한 것으로 판단되나, 1회 산란한 알수의 차이에 대해서는 원인을 확인 할 수 없었다. 다만, 동면 개체군의 평균 산란수는 5.0개였고, 비동면 개체군에서는 4.3개로 큰 차이를 보이지 않았다(표 II-2-(4)). 반면, 동면 개체군 부화개체(F_1)의 부화율이 44.0%로 비동면 개체의 28.3%보다 높게 나타났다. 동면 유무에 따른 부화개체의 부화율을 비교 실험한 결과 안정적인 인공증식을 위해서는 적절한 시기에 동면이 필요한 것으로 사료된다.

표. II-2-(4). 동면 유무에 따른 모개체의 총 산란수, 평균 산란수 및 부화율

구분	산란일	총 산란수	평균 산란수	부화율
동면(5개체)	4/30	25	5.0	44.0% (11/25)
비동면 (14개체)	4/23	13	4.3	28.3% (17/60)
	5/21	34		
	6/11	11		
	6/28	2		
	합계	60		



그림. 11-2-(4). 참달팽이가 산란한 알(좌)과 부화를 위해 알을 분리한 사진(우)

‘멸종위기 야생생물의 인공증식에 관한 규정(환경부예규 제621호)’에 따르면 1회 포획·채취를 허가한 지역은 종(種) 보전을 위해 허가일로부터 3년 동안 당해 지역 및 주변 일정지역에서 동일종 포획·채취 허가를 금지하고 있으며, 참달팽이가 속한 무척추동물의 1회 최대 포획 개체수는 10쌍으로 제한되어 있다. 이에 따라 동면실험에 이용할 수 있는 참달팽이의 개체수는 '18년에 홍도에서 포획한 5개체(영산강유역환경청, 허가번호 제2018-43호)와 '20년에 하태도에서 포획한 14개체(영산강유역환경청, 허가번호 제2020-7호)를 포함한 총 19개체였다. 또한, 참달팽이의 동면과 관련한 실험 조건은 알려진 정보가 없어 동면 성공여부가 불확실하였으므로 동면에 실패하였을 경우에 대비해 동면 유도 개체수는 5개로 제한하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 결과는 향후 자연 또는 인공증식 개체수가 충분히 확보되기 이전까지 잠정적으로 활용될 수 있으며, 반드시 많은 표본수를 확보하여 추가적인 검증이 필요하다.

(2) 칼슘 공급 방법 차이에 따른 성장·생존률 비교 연구

버뮤다 제도의 고유종인 *Poecilozonites bermudensis*, *Poecilozonites circumfirmatus*는 인공 사육조건에서 고구마, 당근, 청경채, 상추 등 신선한 채소를 선호하였으며 (Pearce-Kelly and Walker, 2006), Outerbridge and Sarkis (2018)는 이 두 종이 사육실의 부스러진 석회석으로부터 칼슘을 섭취하였을 것으로 추정하였다. 또한, Port's Island 70개 지점에서 2018년 5월 2일부터 6월 14일까지 *Poecilozonites bermudensis*의 생패 558개를 대상으로 환경요인과의 상관관계를 연구한 결과 식물 종수, 고도, 해안으로부터 거리와는 유의한 상관성을 확인할 수 없었지만 석회석이 풍부한 지점 일대에서 더 많은 개체들이 서식하는 것을 확인하였다 (Outerbridge and Sarkis, 2018). 이는 육상 달팽이류의 사육 및 인공증식에 칼슘의 공급이 매우 주요한 요인임을 방증하는 결과로 해석할 수 있다. 또한 몸집보다 커

다란 패각은 달팽이의 주요한 형태적 특징으로 주성분은 석회질이며, 토양 내 칼슘 함량의 부족은 산란활동을 저해한다(권과 이, 2021). 따라서 칼슘은 개체군을 유지하는데 제한요인이 될 수 있으므로 육상 달팽이의 성공적인 인공증식을 위해서 반드시 급여해야 할 영양성분으로 사료된다.

난각가루를 급여한 참달팽이의 24주차 각경 평균 크기는 4 → 18mm로 가장 크게 성장하였으며, 칼슘스틱은 4 → 15mm, 미급여는 4 → 13mm 순으로 나타났다(그림 II-2-(5)). 평균 성장률은 난각가루(352%) > 칼슘스틱(322%) > 미급여(242%) 순이었다. 생존률은 칼슘스틱(100%, 9/9) > 난각가루(88.8%, 8/9) > 미급여(66.6%, 6/9) 순이었다. 반복측정분산분석(Repeated measures ANOVA) 결과 칼슘섭취 기간이 가장 주요한 요인으로 나타났으며($F: 885.219, p < 0.001$), 칼슘섭취 방법 또한 통계적으로 유의미한 상관성($F 23.06, p < 0.001$)을 보였다. 미급여 실험군에 비해 칼슘 공급군의 개체별 성장이 안정적이었으며, 특히 참달팽이를 효율적으로 인공증식하기 위해서는 가루형태의 칼슘을 급여하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

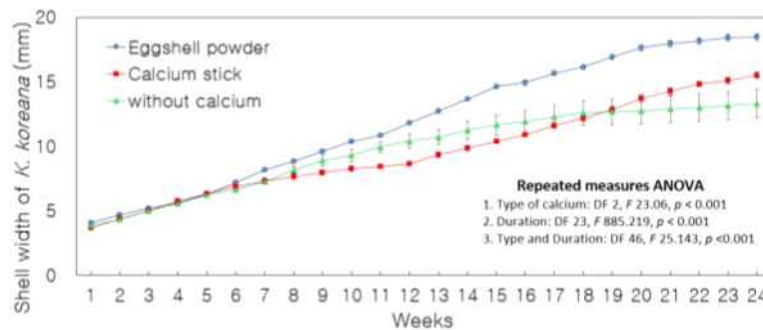


그림. II-2-(5). 칼슘 공급 방법에 따른 부화개체의 성장 크기와 표준오차, 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA) 결과

실험 8-18주 기간(약 10주)에 칼슘스틱을 공급한 실험군 1의 성장률이 칼슘을 공급하지 않은 대조군보다 낮았다. 이는 실험군 1(칼슘스틱)의 성장률이 약 4주간(8-12주) 정체되었던데 기인하였으나 정확한 원인은 확인할 수 없었다. 다만, 멸종 위기종의 연구 특성상 표본수를 풍부하게 확보하기 어렵기 때문에 제한된 실험조건에서의 문제점들이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 인공증식 실험에 이용된 개체들은 모두 전남 신안군 일대에서 도입된 모개체로부터 인공증식한 부화개체(F_1)들이었기 때문에 실험에 충분한 개체수를 확보하는데 어려움이 있었다. 따라서 칼슘공급 실험의 대조군과 실험군 1, 2에 활용할 수 있는 개체수는 각 9개체씩 총 27개체로 적었다. 또한, 산란기간의 차이에 따라 부화시점 또한 약 4주의 차이를 보였다. 이에 따라 실험군 1(칼슘스틱), 실험군 2(난각가루)의 실험이 먼저 시작되

었고, 대조군의 실험은 약 4주 이후 시작되어 시기적으로 차이가 있었다. 이처럼 표본수의 부족 및 실험 시기의 차이가 결과에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 이를 개선하기 위한 방안으로는 지속적인 반복실험을 통해 표본수를 보완하여 오차 범위를 최소화하는 것이다.

(3) 배아발달 상태에 따른 인공부화 연구

달팽이 알의 부화는 토양의 온도나 습도에 따라 차이가 나는 것으로 알려져 있다(권과 이, 2021). 아열대성 기후의 버뮤다 제도에서 서식하는 *Poecilozonites circumfirmatus*는 인공사육 조건에서 산란 후 부화까지 33-44일이 소요되었고 갓 부화한 유생의 각경은 약 2 mm 정도였다(Outerbridge and Sarkis, 2018). 홍도가 속해있는 흑산도 일대는 온대성 해안성기후대에 속하며, 여름에는 고온다습한 남서풍에 의해 안개가 자주 발생하고, 평균습도는 80%이상이다(출처: https://www.weather.go.kr/weather/climate/average_regional03.jsp, '21.12.10). 현재 우리나라 최남단인 제주도는 기후분류상 아열대기후대에서 온대기후대로의 전이지대에 위치하고 있으며, 이러한 전이지대가 기후변화에 의해 점차 북상하게 되면 홍도 일대의 기후가 바뀌어 참달팽이 생존에 영향을 미칠 것으로 예상되므로 개체군의 절멸을 방지하기 위해 인공증식 기술개발이 필요하다.

인공사육 조건에서의 참달팽이 자연 부화기간은 최단 27일에서 최장 193일로 편차가 매우 컸다. 이에 따라 최단 자연 부화기간(27일)을 기준으로 산란 후 30일부터 매 10일 간격(30일, 40일, 50일, 60일)으로 총 4회 배아발달 상태를 관찰하였다(그림 II-2-(6)). 평균적으로 산란 30일경 각경의 길이는 약 0.9 mm로 매우 작았으나 눈, 더듬이, 패각 등의 형태가 실체현미경으로 구분될 정도로 외부 기관이 어느 정도 발달하였다. 산란 40일경 각경의 길이는 약 1.2 mm였으며, 산란 50일경 각경의 길이는 약 1.8 mm로 크기는 점차 성장하였으나 육안으로 관찰되는 발달 상태는 30일경과 큰 차이를 보이지 않았다. 산란 60일경의 각경 길이는 약 3.1 mm로 발달이 완전히 끝나 패각이 단단해져 부화가 가능한 상황이었으나, 휴면막을 찢어 채로 부화할 기미를 보이지 않았다. 이는 부화 직전의 외부 환경의 습도 등에 영향을 받는 것으로 해석할 수 있으며, 향후 부화시점에서의 적절한 기온과 습도 조건에 대한 추가적인 연구가 필요한 것을 시사한다.



(a) 30일(0.9 mm)



(b) 40일(1.2 mm)



(c) 50일(1.8 mm)



(d) 60일(3.1 mm)

그림. II-2-(6). 참달팽이의 발생시기별 배아발달 상태 및 각경 크기(mm)

동면 실험 이후 산란한 28개의 알 중 자연부화 기대 시점인 60일을 경과한 19개의 알을 인공 파각하였다. 이 중 유생단계에서 5개체가 폐사함에 따라 인공부화 개체의 생존률은 78.9%였다. 발달이 정상적으로 완료되어도 부화하지 못하면 폐사할 수 밖에 없으므로, 강제 파각을 통한 인공부화는 참달팽이의 인공증식에 있어 매우 중요한 단계로 판단된다.

라. 결론

동면 개체군의 평균 산란수는 5개였고 비동면 개체군에서는 4.3개로 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 동면 개체군 부화개체(F_1)의 부화율이 44.0%로 비동면 개체의 28.3% 보다 높았기 때문에 안정적인 인공증식을 위해서는 적절한 시기에 동면이 필요한 것으로 판단된다. 난각가루를 급여한 참달팽이의 24주차 각경 평균 성장률은 난각가루(352%) > 칼슘스틱(322%) > 미급여(242%) 순이었다. 또한, 반복측정분산분석(Repeated Measure ANOVA) 결과 칼슘섭취 기간(F : 885.219, $p < 0.001$)이 가장 주요한 요인으로 나타났으며, 칼슘섭취 방법(F : 23.06, $p < 0.001$) 또한 통계적으로 유의미한 상관성을 보였다. 미급여 실험군에 비해 칼슘 공급군의 개체별 성장이 안정적이었으며, 특히 참달팽이를 효율적으로 인공증식하기 위해서는 가루형태의 칼슘을 급여하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 10일 간격(8~10월)으로 배아발달 상태를 관찰한 결과 30일 전후에 외부 기관의 형태가 육안으로 구분되며, 산란 60일 전후에 발달이 완료되는 것을 확인하였다. 참달팽이 껍데기를 강제 파각하여 인공부화한 개체의 생존률은 78.9%였으나, 부화지연에 따른 폐사를 최소화하므로 개체군 인공증식에 효과적일 것으로 판단된다. 그 시기는 배아발달이 완료되는 60일 전후가 적합하다.

3. 소똥구리 최적 사육조건 연구

가. 서론

본 연구는 서식지의 복원연구의 일환으로 멸종위기Ⅱ급 소똥구리의 안정적 사육체계 마련을 위해 소똥구리의 먹이원 개선 연구를 수행하였다. 실제 자연 생태계에서 소똥구리는 주로 분변을 섭취하지만 단백질 등 영양성분 보조를 위해 때때로 육식을 하는 것으로 알려져 있다. 또한 자연 생태계에서의 가축은 다양한 종류의 식물을 섭취하므로, 소화되어 배설된 분변은 영양적인 측면에서 한정된 건초만 섭취한 가축의 분변보다 우수할 것으로 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한정된 건초만 섭취한 가축의 분변에는 분식성 소똥구리의 성장 및 번식률을 낮출 수 있을 것으로 가정하였고 이러한 영양소 결핍을 보완할 수 있는 성분을 먹이원에 첨가하여 증식 효율성 비교연구를 수행하였다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 소똥구리 최적 사육 조건 연구

(가) 소똥구리 먹이원 개선 및 증식 환경 연구

- 1) 한정된 건초만 섭취한 가축의 분변에는 분식성 소똥구리의 성장 및 번식률을 낮출 수 있을 것이라는 가정 하에 본 연구를 수행하였다. 이러한 영양소 결핍을 최소화하기 위해 분식성 곤충류에 적용된 바 있는 카제인(Casein), 이스트(Brewer's yeast), 콩가루를 말 분변에 일정 비율 첨가하여 '21년 4월부터 9월까지 사육 및 모니터링을 진행하였다. 연구는 첨가제를 넣은 그룹과 넣지 않은 그룹으로 나누어 25cm×25cm(직경×높이)의 사육장에 1쌍씩 넣은 후 생존·산란의 차이가 있는지 조사하였다.
- 2) 먹이원 내 첨가물은 Charpentier. (1968)의 보고에 따라 다음과 같이 조성하여 먹이를 제조하였다(표 II-3-(1), 그림 II-3-(1)).

표. II-3-(1). 소똥구리 먹이원 내 영양성분 보완을 위한 성분 및 조성

재료	조성 (g)
말 분변	2,000
카제인	25
효모	17.5
날콩가루	17.5



그림. II-3-(1). 소똥구리 먹이원 내 영양성분 첨가

다. 연구 결과

(1) 소똥구리 최적 사육 조건 연구

두 그룹 간 생존의 차이가 있는지 생존분석(Kaplan-Meier survival curves, Log-rank test)을 통해 비교한 결과 통계적 유의성은 나타나지 않았지만 영양보조제를 처리한 그룹에서 약 90%이상이 생존한 반면 대조구에서의 생존율은 약 72%로 영양보조제를 처리한 그룹에서 더 높은 비율의 개체가 생존했음을 알 수 있었다(그림 II-3-(2)). 추가로 먹이원 내 첨가제 유무에 따른 번식 효율성을 비교한 결과 영양보조제 처리구와 대조구 간의 유의한 차이는 보이지 않았지만 영양제를 첨가한 그룹의 산란율이 더욱 높은 것을 알 수 있었다(표 II-3-(2)).

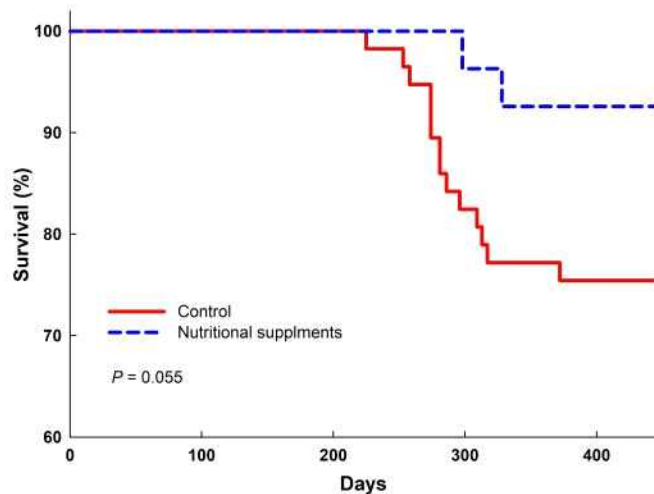


그림. 11-3-(2). 소똥구리 먹이원 내 영양보조제 유무에 따른 생존분석(n=159(무처리), 27(영양제 처리구))

표. 11-3-(2). 소똥구리 먹이원에 따른 번식효율성 분석결과

산란수 평균 (대조구)	산란수 평균 (영양제 첨가)	t-value	df	P
0.69±0.19	1.00±0.32	-0.865	40	0.39

라. 결론(고찰 및 제언)

연구결과 소똥구리에게 영양보조제를 첨가한 먹이를 사육에 활용하게 되면 생존과 번식에 긍정적 영향을 미침을 알 수 있었다. 이는 먹이원으로 사용하는 말의 분변은 한정된 종류의 먹이(건초)로만 구성되어있기 때문에 영양적 측면에서 부족한 부분이 있을 것으로 판단된다. 다만 통계적 유의성은 나타나지 않았으므로 추가실험을 통해 실험 표본수를 증가하게 되면 유의성이 나타날 것으로 사료된다. 해당 결과는 향후 소똥구리의 인공사육을 위한 핵심 기술로 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

4. 소똥구리 위협요인(약제) 규명을 위한 연구

가. 서론

멸종위기 야생생물 II급 소똥구리는 과거 우리나라 전역에 분포하였으나 1970년대 이후 발견기록이 없어 현재 지역절멸로 추정하고 있다. 소똥구리가 사라진 이유에 대해서는 아직까지 정확히 밝혀지지 않았으나 주요 원인중 하나로 1970년대부터 사용량이 급격하게 증가한 사람과 가축을 대상 구충제가 지목되고 있다. 사람과 가축의 배설물을 통해 생태계로 노출되는 구충제는 여러 생물종에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 이러한 위해성은 수많은 연구결과를 통해 증명되었다. 특히 배설물을 먹이로 하는 분식성 곤충에 중독증상을 일으켜 개체군 및 군집에 부정적 영향을 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 가축용 구충제(이버멕틴)가 소똥구리에 미치는 영향을 알아보기 위한 선행연구로서 다음의 3가지 조사를 수행하였다. 1) 국내 가축에 사용되는 화학 약품의 사용 현황을 조사함으로써 소똥구리가 활동하는 시기 약제가 노출될 수 있는지 알아보았고, 2) 가축용 약제가 분식성 곤충에 미치는 위해성 연구의 국내외 사례조사를 통해 구충제가 소똥구리에 미칠 수 있는 생태 위해성을 조사하였다. 마지막으로 3) 가축에 구충제를 투여한 후 분변에 잔류 할 수 있는 구충제의 농도와 지속성을 조사하여 소똥구리 위협요인 연구를 위한 기반 구축연구를 수행하였다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 가축을 통한 약제 노출 수준 분석 및 위해성 연구

(가) 국내 가축에 사용되는 화학 약품 사용 현황 조사

- 가축의 종류에 따라 적용되는 구충제와 약제의 적용 시기를 조사하여 소똥구리에 노출될 수 있는 시기를 알아보았다.

(나) 가축용 약제가 분식성 곤충에 미치는 위해성 연구자료 분석

- 국내외 연구 사례를 조사하여 구충제가 소똥구리에 미칠 수 있는 생태 위해성을 알아보았다.

(다) 분변을 통해 노출되는 약제의 농도 및 지속성 조사

- 주요 가축용 구충제인 이버멕틴을 말에게 경구 투여한 후(그림 II-4-(1)), 시간 경과에 따라 분변을 채집하여 분변 내 약제 농도를 분석하였으며 세부 연구방법은 표 II-4-(1)과 같다.

표. II-4-(1). 소똥구리 먹이원 내 이버멕틴 노출수준 분석 방법

연구 기간	2021년 3월 ~ 6월	
연구 장소	멸종위기종복원센터 내 마사 및 곤충증식실	
대상 가축	말 1개체(1일 분변생산량 약 30kg)	
대상 약제	이버멕틴 구충제(Ivermectin Paste 1.87%, duvet)	
분변 수거	분변 수거일	Day(약제 투여일) - 1, +1, +2, +5, +8, +16, +28, +42
	분변 수거 시간	24시간(09시 ~ 익일 09시) 동안 생산된 분변을 모두 수거
	분석용 샘플	수거된 분변의 약제를 균일화하여 분석용 샘플(500g) 채취
약제 분석	약제 분석기관	순천대학교 친환경농업센터
	분석 방법	액체 크로마토그래피(LC-MS)



그림. II-4-(1). 좌: 이버멕틴 경구투여, 우: 약제 투여 후 분변과 함께 배출된 기생충

(라) 구충제의 생태위해성연구를 위한 근연종 사육 체계 구축

- 약제의 소똥구리에 대한 위해성 연구기반 확보를 위해 근연종인 렌지소똥풍뎅이의 사육기술 개발연구를 수행하였다(그림 II-4-(2)). 공시충 확보를 위해 지난 '20년 10월초 제주지역 방목지부근에서 채집하였으며, 채집 후 멸종위기종복원센터 곤충증식실로 가져와 사육을 진행하였다. 렌지소똥풍뎅이는 성충으로 동면하는 것으로 알려져 있으므로 센터

도입후 순차적으로 저온 순화 처리를 하여 동면을 진행하였다(표 II-4-(2)). 동면이 종료된 렌지소똥풍뎡이는 온도순화 후 실내 실험실 사육조건(25℃, 16:8(L:D))에서 사육하며 증식 연구를 진행하였다.



그림. II-4-(2). 렌지소똥풍뎡이 수컷(좌)과 암컷(우)

표. II-4-(2). 렌지소똥풍뎡이 동면을 위한 온도순화 처리 및 연구 일정

내용	온도	광주기(L:D)	기간
순차적 저온·단일 처리	25℃	14:10	'20.10.22. ~ '20.10.29.(1주)
	20℃	12:12	'20.10.29. ~ '20.11.05.(1주)
	15℃	10:14	'20.11.05. ~ '20.11.12.(1주)
동면	8℃	0:24	'20.11.12. ~ '21.05.11.(26주)
순차적 고온·장일 처리	15℃	10:14	'21.05.11. ~ '21.05.18.(1주)
	20℃	12:12	'21.05.18. ~ '21.05.25.(1주)
	25℃	14:10	'21.05.25. ~ '21.06.01.(1주)
사육 및 실험	25℃	16:8	'21.06.01. ~ 계속.

다. 연구 결과

(1) 가축을 통한 약제 노출 수준 분석 및 위해성 연구

(가) 국내 가축에 사용되는 화학 약품 사용 현황 조사

국내 가축에 사용되는 구충제 종류 조사결과 국내사용 중인 구충제는 이버멕틴 계열의 내·외부 구충제와 펜벤다졸, 레바미솔과 같은 내부 전용 구충제가 사용되고 있으며, 기생충의 내성 생성을 방지하기 위해 다양한 종류의 약제가 사용되고 있는 것으로 조사되었다(표 II-4-(3)).

표. II-4-(3). 1990년대부터 상용화된 주요 구충제

상품명	회사	최초출시	활성 성분	표적종	주요표적 기생충
Cyductin ProHeart	Fort Dodge	1990	목시덱틴	소, 양, 말	선충류, 파리, 이, 응애, 심장사상충
Dectomax	Prizer	1993	도라멕틴	소, 양	선충류, 파리, 응애, 이
Acatak	Novartis	1994	플루아주론	소	진드기
Ivonec Eprinex	Merial	1997	에프리노멕틴	소	선충류, 파리, 응애, 이
Clik	Novartis	1998	디사이클라닐	양	똥파리
Capstar	Novartis	1999	스피노사드	소, 양	벼룩, 이
Comfortis	Elanco	2007	더관텔	양	회충

구충제 사용 현황 조사결과 방(2003, 농과원)에 의하면 일반적으로 가축대상 구충은 봄부터 겨울까지 사계절 사용하는 것을 보였으며(표 II-4-(4)), 특히 봄철 방목 직전(4~5월) 목초지 오염 방지를 위해 구충제를 투여하게 되므로 이는 소똥구리류의 활동시기와 겹치게 될 가능성이 커지게 되는 것을 유추할 수 있었다. 따라서 구충제로 인한 소똥구리에 미칠 수 있는 위해 가능성을 최소화하기 위해서는 구충제 투여시기 조절이 필요할 것으로 판단된다.

표. II-4-(4). 이버멕틴 농도에 따른 애기뿔소똥구리 발육 특성(국립농업과학기술원. 2003)

처 리	농도(ug/kg)	산란수	성충생존율(%)	우화율(%)
Ivermectin	0.6	9.5	100	40
	3	2.4	62.5	0
	6	0	37.5	0
	60	0	0	0
대 조		14.3	100	87.1

(나) 가축용 약제가 분식성 곤충에 미치는 위해성 연구자료 분석

가축대상 구충제의 사용이 분식성 곤충류에 미치는 영향을 분석한 결과 가축분변을 통해 노출되는 구충제는 소똥구리를 포함한 분식성 곤충류에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 대표적인 연구에 따르면 스페인의 알리칸테 대학교 연구진은 단기간의 가축대상 구충제 사용은 장기적으로 소똥구리류에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 보였으며(그림 II-4-(3)), 가축의 분변을 통해 노출된 이버멕틴 성분은 소똥구리류의 밀도를 급격하게 감소시켰으며, 군집구조 전반에도 부정적인 영향을 미쳤음을 확인하였다. 또한 이버멕틴의 사용은 소똥구리류의 고유적인 생태 기능(분변분해)을 저하시켜 분변이 야외에 오랫동안 남아있게 되어 환경오염과 토양 비옥도를 떨어트렸기 때문에, 이러한 부작용을 최소화하기 위해서는 해당 약제의 사용법에 대한 새로운 기준을 세워야 함을 제시하였다.

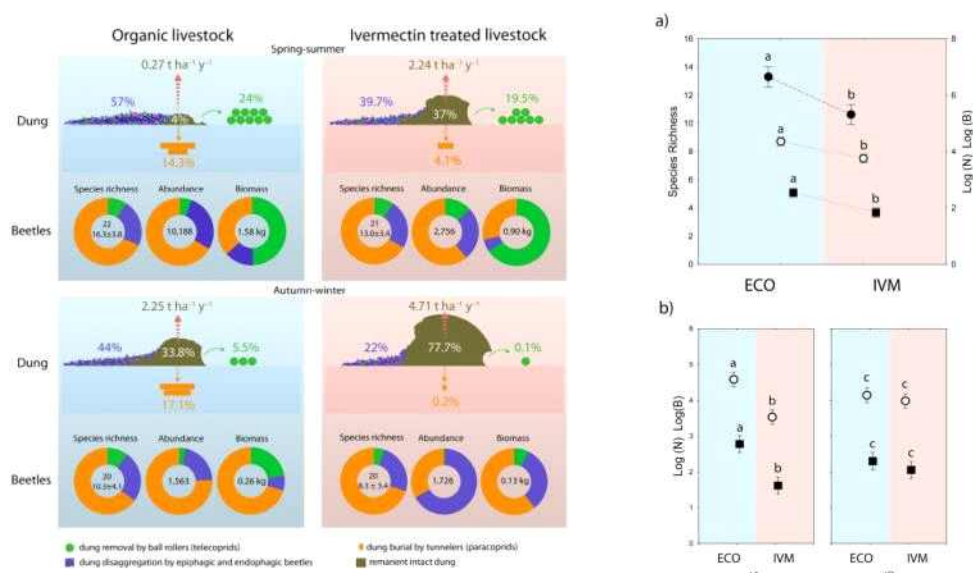


그림. II-4-(3). 이버멕틴의 사용(가축대상)과 소똥구리류 군집간의 관계 연구

(다) 분변을 통해 노출되는 약제의 농도 및 지속성 조사

분변을 통해 노출되는 약제의 농도 및 지속성 조사결과 가축 분변 내 포함된 이버멕틴의 농도는 투약 후 1일차에 가장 높은 농도를 보였고(2.29 ± 0.05), 2일차에는 1일차 농도의 약 20배 정도 낮아졌다(0.10 ± 0.00). 또한 16일 차부터는 분변 내에 이버멕틴이 검출되지 않는 것을 알 수 있었다(그림 II-4-(4)). 본 결과는 향후 소똥구리 및 근연종에 대한 이버멕틴의 생태독성 연구의 기초자료로 활용될 예정이다.

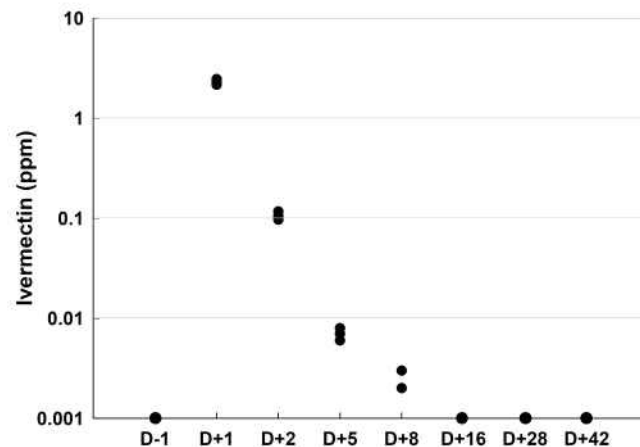


그림. II-4-(4). 시기에 따른 가축 분변 내 포함된 이버멕틴의 농도($n=5$, 정량한계(LOQ)=0.002 mg/kg)

(라) 구충제의 생태위해성연구를 위한 근연종 사육 체계 구축

소똥구리 근연종(렌지소똥풍뎡이)을 '20년 10월 도입하여 '21년 5월까지 동면 후 사육을 진행하였으며, 증식결과 렌지소똥풍뎡이의 일부는 동면을 시키지 않고 25℃, 16:8(L:D)조건으로 사육한 결과 추가적으로 산란을 한 개체는 없었으며, 동면을 한 개체군에서는 정상적인 번식활동을 하는 것을 알 수 있었다. 또한 렌지소똥풍뎡이의 행동생태 관찰결과 분변 속에서 먹이섭취를 하며, 분변 아래 터널을 만들어 길쭉한 모양의 경단을 만든 후 산란하였으며, 토양이 단단하게 다져져있어야 굴을 파고 산란함을 알 수 있었다. 사육 토양이 다져져 있지 않으면 렌지소똥풍뎡이의 암컷은 산란을 하지 않았다. 렌지소똥풍뎡이의 사육 기자재는 아래 표 II-4-(5)와 같으며, 맞춤형 사육 케이지 및 산란한 알과 유충은 아래 그림 II-4-(5), II-4-(6)과 같다.

표. II-4-(5). 소똥구리 근연종 렌지소똥퐁덩이 사육을 위한 재료

종류	내용
케이지 / 캡	25cm(H) × 9cm(ø) / 0.5mm메시망
매트	모래 : 버미큘라이트 = 1 : 1
먹이	-60℃에서 해동한 말 분변 50g



그림. II-4-(5). 렌지소똥퐁덩이 사육을 위한 맞춤형 케이스



그림. II-4-(6).렌지소똥퐁덩이 경단 내 알(좌)과 유충(우)

라. 결론(고찰 및 제언)

본 연구를 통해 사람 및 가축대상 구충제 및 화학약제의 사용 현황을 파악할 수 있었고, 이를 통해 약제의 사용 시기는 소똥구리의 활동시기와 상당부분 일치하는 것을 알 수 있었다. 향후 소똥구리를 야외 서식지에 방사하였을 때, 구충제 등의 약제를 섭취한 가축의 분변을 소똥구리가 섭취하게 되면 부정적인 영향을 받을 수 있음을 추정 할 수 있었다. 또한 국내외 연구결과 들에서도 가축분변을 통해 노출된 구충제는 소똥구리류 및 주변 생태계에 부정적인 영향을 미치게 됨을 알 수 있었기 때문에 소똥구리가 안정적으로 서식지에 정착하기 위해서는 가축용 약제에 대한 위해성 연구가 수행되어야 한다. 추가로 본 연구결과를 통해 확인할 수 있었던 가축 분변을 통해 노출되는 구충제의 농도 수준과 지속성은 향후 소똥구리 서식지에 방목되는 가축에게 약제사용 시 소똥구리에 대한 영향을 최소화 할 수 있는 방향을 제시하는데 중요한 자료로 쓰이게 될 것으로 판단된다. 구충제 등 약제의 소똥구리에 대한 실질적 영향성을 알기 위해서 가장 효율적인 방법은 소위 “약제를 소똥구리에 직접 먹여 죽는지 사는지 확인”하는 것이다. 하지만 현 상황으로서는 소똥구리 개체수가 충분하지 않기 때문에 소똥구리를 죽이는 실험을 진행하기에는 무리가 있다. 일반적으로 어떠한 위협요인에 대한 생태위해성을 판단할 때 초기 단계에서 활용되는 것이 대리생물종을 활용한 위해성 평가이다. 따라서 본 연구에서는 소똥구리와 유사한 생태를 가진 근연종을 활용한 약제에 대한 위해성 연구를 수행하기 위해 근연종인 렌지소똥풍뎅이의 사육기술을 개발하였고, 그 결과 사육 시스템을 상당부분 구축하였다. 내년(‘22년도) 연구에서는 약제를 렌지소똥풍뎅이에 노출시켜서 위해성을 알아볼 수 있을 것이고 도출된 연구결과는 약제의 소똥구리에 대한 위해성을 판단하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 양비둘기 맞춤형 사육·증식 연구

가. 서론

양비둘기는 비둘기과의 조류로 전 세계적으로는 흔한 텃새이나, 국내에서는 개체수가 급감하여 2017년 멸종위기 야생생물 II급에 지정되었다. 과거 전국적으로 분포하였다고 하나 최근에는 구례, 고흥, 의령, 연천 등 일부 지역에서만 서식이 확인될 정도로 개체군이 급감한 상태이다. 이는 주로 집비둘기와의 경쟁 및 잡종형성 등이 가장 큰 원인으로 판단된다. 일부 지역의 경우 외부포식자 및 천적의 침입으로 알, 유조 등의 포식이 발생하여 양비둘기가 서식지 내 번식을 포기하는 경우도 발생하고 있다. 국내에서는 2014년부터 양비둘기의 지역별 서식실태를 파악하기 위한 정밀조사를 실시하고 있으며, 국립생물자원관에서는 양비둘기의 번식생태 특성과 관련한 연구를 수행하여 번식지와 번식기간, 주기 등을 연구하였다. 또한 급격하게 감소하고 있는 양비둘기 야생 개체군의 보전 및 원종 확보를 위해 국립생태원, 서울동물원, 국립생물자원관 등에서 양비둘기를 관리하고 있다. 멸종위기종복원센터에서는 2018년 10월 국립생태원을 통하여 8개체의 양비둘기를 최초 도입하였으며, 현재 14개체의 양비둘기를 사육·증식하고 있다.

양비둘기는 평균 18일의 포란 및 28일의 육추 기간을 가지며, 1회의 번식 중 한 배산란수는 대개 2이다. 번식 중인 양비둘기는 극히 예민하므로 외부포식자의 침입 차단 및 관리자의 출입 최소화 등 다양한 조치가 필요하다. 또한, 유조를 육추하기 위해 많은 양의 에너지를 필요로 하기 때문에 들깨 등 지방 비율이 높은 먹이를 추가로 급이해야 한다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 양비둘기 맞춤형 사육환경 조성을 통한 번식률 향상 유도

멸종위기종복원센터 내 사육·증식 중인 양비둘기의 번식률 향상을 위해, 개체의 스트레스를 저감하고 외부 자극을 최소화할 수 있도록 조류연구동 A9-A11 실외사육시설에 지붕 및 벽면 가림막을 설치하였다. 번식을 위한 인공둥지 3개소 및 단독휴식처를 추가 설치하였으며, 구례 양비둘기 번식쌍별 분리사육(3쌍)을 통한 번식률 극대화를 유도하였다. 또한 양비둘기 실외사육시설 바닥재 환경개선공사(콘크리트 및 철망 보강)를 통해 설치류 등 외부포식자의 침입을 차단하고자 하였다.



그림. II-5-(1). 양비둘기 맞춤형 사육환경 조성을 통한 번식률 향상 유도

(2) 먹이량 및 종류 변화 파악을 통한 급이 방법 표준화 마련

양비둘기에게 안정적인 증식환경을 제공하기 위해, 단순 선호 먹이가 아닌 야생 개체에게 접근성이 높은 먹이로 다변화하였다. 사육 상태의 양비둘기에게 부족할 수 있는 미량원소를 보충하기 위해 소금, 참숯가루 등을 혼합한 광물사료를 함께 급이하였다. 또한, 종류별 먹이 급이대 설치를 통해 양비둘기 생활사 단계별, 계절별 선호 먹이를 파악하여 양비둘기 급이 방법을 표준화하고자 하였다.



그림. II-5-(2). 먹이량 및 종류 변화 파악을 통한 급이 방법 표준화

다. 연구 결과

양비둘기 맞춤형 사육환경 조성 및 번식쌍별 분리사육, 급이 방법 표준화를 통해 2021년 양비둘기 번식 총 15회(의령 7회, 구례 8회) 및 이소 10개체(의령 7개체, 구례 3개체)를 확인하였다.

표. II-5-(1). 2021년 양비둘기 번식기록표

Region	Aviary	Nest No.	Male	Female	Lay	Hatch	Fledge
구례	실외#3	1	O/G	Y/A	4/14	X	X
의령	A5	1	Bu/O	W/G	4/17	5/4	5/28
의령	A5	3	Y/G	Bk/O	4/21	X	X
의령	A5	6	W/O	Bu/G	4/21	5/10	6/9
의령	A5	2	Y/A	O/A	4/26	5/13	6/9
의령	A5	5	G/O	G/A	4/28	5/14	6/12
구례	실외#3	1	O/G	Y/A	5/11	6/3	6/23
구례	실외#1	3	Y/O	R(99)	6/3	X	X
구례	실외#3	3	O/G	Y/A	6/14	7/2	7/31
구례	실외#1	3	Y/O	R(99)	7/12	X	X
의령	A5	1	Y/G	W/G	7/19	8/5	X
의령	A5	5	G/O	O/A	7/29	8/15	9/13
구례	실외#3	1	O/G	Y/A	8/9	X	X
구례	실외#2	1	Y/O	Bu/G	9/27	10/14	12/8
구례	실외#1	3	O/G	Y/A	11/1	X	X

라. 결론(고찰 및 제언)

멸종위기종원헬스팀에서는 급이하는 먹이를 다변화·표준화하여 부화한 양비둘기 유조의 이소율을 높이하고자 하였다. 또한 양비둘기의 번식에 영향을 끼칠 수 있는 외부방해요인을 최소화하여 구례 양비둘기 개체의 멸종위기종복원센터 최초 인공 증식에 성공하였다.

그러나, 의령 양비둘기 번식쌍에 비해 구례 양비둘기 번식쌍의 번식률과 부화율은 현저히 떨어졌으며, 지속적으로 무정란이 산란되어 번식이 가장 활발한 시기에 불필요한 포란 행동이 반복적으로 발생하였다.

이를 해결하기 위해 구례 양비둘기 번식쌍의 산란 직후 검란을 실시하여 무정란으로 판별될 경우, 즉각적으로 수거하여 불필요한 포란 행동이 이루어지지 않도록 하고, 구례 양비둘기 사육시설에 다른 형태 및 위치에 인공둥지를 추가로 설치하는 등 번식률을 높이기 위한 조치가 추가로 필요할 것으로 판단되었다.

양비둘기가 선호하는 형태의 인공둥지를 파악하고, 번식개체를 교환하는 한편 2년생 유조를 활용한 신규 번식쌍을 발굴함으로써 양비둘기의 증식 효율을 제고해야 할 필요성이 있다.

Ⅲ. 멸종위기종 원종확보 기술 개발 연구

1. 비바리뱀, 수원청개구리 원종 도입

가. 서론

우리나라에 서식하는 청개구리류에는 청개구리(*Dryophytes japonica*), 수원청개구리(*Dryophytes suweonensis*), 노랑배청개구리(*Dryophytes*)가 있다. 청개구리는 우리나라를 포함한 동북아시아에 널리 서식하고 있으며 IUCN 적색목록에 least concern(LC) 등급으로 지정되어있다(Kuzmin et al., 2017). 반면 청개구리와 자매종인 수원청개구리는 우리나라 고유종으로 서식지 파편화, 근연종과의 경쟁, 교잡종 발생 등과 같은 원인들로 인해 멸종위기에 처해있다(Borzee, 2018). 따라서 환경부에서는 수원청개구리를 멸종위기 야생생물 I 급으로 지정했으며 IUCN 적색목록집에 Endangered(EN) 등급으로 지정되어 있다(MOE, 2012).

멸종위기 원인 중 하나인 잡종화는 외교배 억압(outbreeding depression) 또는 유전적 동화(genetic assimilation)를 통해 멸종위기 야생생물에 위협을 미칠 수 있다. 이는 종간 유전자 흐름이 직간접적인 방법을 통해 생물다양성을 감소시키거나 극단적인 경우에는 종을 멸종시킬 수 있기 때문에 연구자들 사이에서 잡종화에 대한 부정적인 견해가 다수이다(Rieseberg and Carney, 1998; Levin, 2002). 수원청개구리와 청개구리는 서식지를 공유하는 동서종으로 교잡종이 발생하고 있으며, 이 두 종의 잡종화가 수원청개구리의 멸종 원인으로서 영향을 미치고 있다는 결과가 있다(Borzee et al., 2020; Roh et al., 2014).

양서류의 생물다양성을 보전하기 위해서는 인공번식 후 방류하는 방법을 포함한 간섭주의의 보전 정책이 권장된다(Gascon et al., 2007). 멸종위기에 처한 양서류에서 유전적으로 대표하는 집단을 포획한 후에 개체를 방류함으로써 개체군을 유지하고 종이 멸종하는데 도움을 주는 인공번식 후 방류 프로그램이 전 세계적으로 수립되어있다. 다수 프로그램들이 높은 성공률을 보이며 재도입에 성공했다는 결과가 보고되었다(Silla and Byrne, 2019). 따라서 수원청개구리를 복원하기 위해 인공번식 후 재도입 프로그램을 적용시킬 예정이며, 잡종화가 수원청개구리의 멸종 원인 중 하나이기 때문에 수원청개구리의 원종을 확보하여 인공번식을 수행할 예정이다.

나. 연구 내용 및 방법

(1) 비바리뱀 원종 확보

제주도 내 국한하여 서식하는 비바리뱀을 확보하기 위해 외부조사원을 운용하여 현장조사를 수행하였다. 비바리뱀은 4~5월경 짝짓기를 하고, 6~8월경 알을 낳아 번식하는 것으로 알려져 이를 참고하여 자연상태의 비바리뱀 원종 확보를하고자 4~10월까지 현지조사를 통해 원종확보 및 도입을 하였다. 자연상태의 비바리뱀 도입을 통해 외부형태특징, 연령, 짝짓기 및 산란, 부화기간 등 조사하여 증식매뉴얼 작성에 활용하기 위한 토대를 마련하고자 하였다. 비바리뱀의 주요 서식지 환경과 미소서식지 유형 및 특성을 파악하기 위해 제주도 내 비바리뱀 자연서식지의 기온, 강수량, 습도, 일조량 등 주요 환경요인에 대한 자료를 수집하였다. 문헌자료 및 기존에 기록된 비바리뱀의 출현지점의 GPS 자료를 이용하여 GIS 분석을 통한 주요 서식지 환경 특성, 입지조건 등 분석을 수행하였다.



그림. III-1-(1). 비바리뱀 원종 확보를 위한 현장조사

(2) 수원청개구리 원종 확보

수원청개구리 원종 도입을 위하여 4월부터 6월까지 청개구리류의 활동시간대인 일몰 후에 수원청개구리가 분포하고 있다고 알려져 있는 전라북도(익산시, 완주군), 충청남도(아산시), 충청북도(충주시), 경기도(평택시, 화성시) 지역에서 수원청개구리로 추정되는 개체들을 포획하였다(그림. III-1-(2)).



그림. III-1-(2). 포획한 수원청개구리

포획 방법은 수원청개구리가 주로 서식하고 있으며 청개구리와 공동 서식지로 사용하고 있는 논 습지의 논둑을 걸어다니며 울음소리를 내는 개체를 포획하였고 청개구리와 수원청개구리를 Borzee et al., (2013)에 따라 형태적으로 구분한 뒤 수원청개구리로 추정되는 개체들을 도입하였다.

수원청개구리와 청개구리의 교잡종이 존재하기 때문에 확실한 원종을 도입하기 위해서 원종 확인을 위해 유전자 분석을 수행하였다 (Borzee et al., 2020). 유전자 추출은 비침습적 방법으로 멸균면봉을 개구리 입에 30초에서 1분간 물린 뒤, 구강 상피세포를 채취하였다(그림. III-1-(3)).



그림. III-1-(3). 상피세포 채취중인 수원청개구리

다. 연구 결과

(1) 비바리뱀 원종 확보

제주도 내 기존 출현지점 및 목견장소를 중심으로 외부조사원과 비바리뱀 포획을 위한 현지조사를 수행하였고, 총 4회 조사를 수행하였고 조사 결과 1개체를 포획하여 멸종위기종복원센터 내 도입하였다(그림. III-1-(4)).



그림. III-1-(4). 도입된 비바리뱀 1개체

비바리뱀의 서식환경 특성을 파악하기 위해 국외(대만, 홍콩) 서식하는 비바리뱀을 대상으로 잠재서식지 및 서식환경 특성을 도출하였다. 도출결과 비바리뱀의 경우 환경사의 초지, 산림 남사면의 임연부가 잠재서식지 예측이 높게 나타났지만, 산림과 도로 및 민가의 경계부 주변으로 예측 가능성이 높게 나타났다(그림. III-1-(5)).

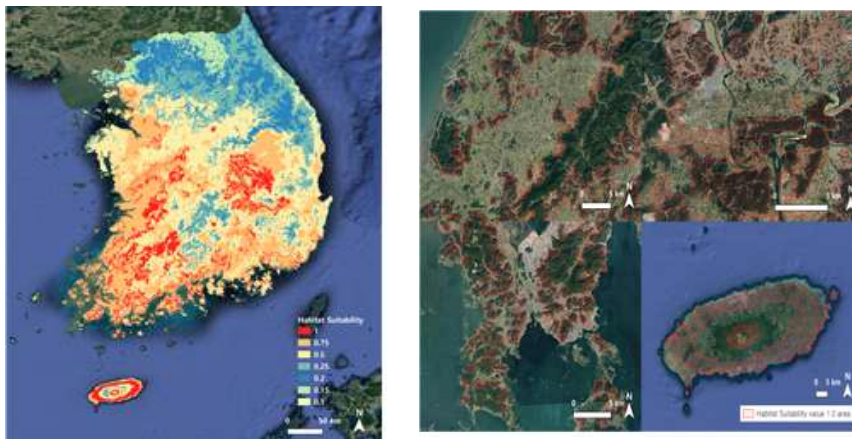


그림. III-1-(5). 국외 비바리뱀 출현지점으로 예측한 비바리뱀 잠재서식지

(2) 수원청개구리 원종 확보

전라북도(익산시, 완주군), 충청남도(아산시), 충청북도(충주시), 경기도(평택시, 화성시) 지역에서 청개구리류를 채집한 결과, 총 54개체를 포획하였다.

포획한 청개구리류 54개체의 유전자를 분석한 결과, 청개구리 원종 11개체, 교잡종 35개체, 수원청개구리 원종 8개체를 확보하였다(표. III-1-(1)).

표. III-1-(1). 지역 별 청개구리류 확보 개체수

	수원청개구리	교잡종	청개구리
경기도 평택시	2	12	0
충청북도 충주시	0	8	2
충청남도 아산시	2	9	1
전라북도 익산시	0	5	3
전라북도 완주군	4	1	5
합계	8	35	11

라. 결론(고찰 및 제언)

총 4차에 걸쳐 비바리뱀 포획을 위한 현지조사를 수행한 결과 1개체를 포획하여 도입하였다. 또한, 국외 비바리뱀 출현지점을 이용하여 산임의 남사면의 임연부 및 민가와 산림 경계부에 서식할 수 있는 예측 가능성이 높게 나타났다. 비바리뱀의 경우 1개체를 도입하였지만, 증식 연구를 수행하기에 개체수가 부족하여 2차년도 추가 개체를 확보하여 적정사육환경에 대한 연구가 필요하며, 비바리뱀의 서식 환경 분석은 거시적인 잠재서식환경은 도출을 하였지만, 국내 현지조사자료를 추가하여 미소서식처에 관한 특징을 파악하여 적정사육환경 조건에 대한 연구를 수행할 필요가 있다.

청개구리류를 포획한 결과, 청개구리류 두 종 원종의 합은 19개체였으며 교잡종은 35개체로 교잡종 개체수가 더욱 많이 확인되었다. 그 중 수원청개구리 원종은 8개체를 확보하였는데, 현재 확보한 개체수로는 인공번식 성공률이 낮을 수 있어 추후 원종을 추가 도입할 예정이다. 또한, 포획한 교잡종의 개체수가 원종 개체수보다 훨씬 많아 가능한 많은 개체수를 포획해야 원종을 확보할 가능성이 많아질 것이다.

추가적으로 수원청개구리의 원종만을 확보하기 위해서는 유전자 검사를 통해 교잡종과 구분할 수 있는 정확한 종 동정이 필요하다. 원종을 도입하기 위해서는 많

은 개체수 포획 및 유전자 검사로 인해 비교적 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 신속하고 효율적인 원종 도입을 위한 기술 개발 또한 필요할 것이다.

2. 멸종위기식물 현장조사 및 도입

가. 서론

IUCN에 따르면 2020년을 기준으로 17,507개 식물종이 CR(Critically Endangered, 위기), EN(Endangered, 위기), VU(Vulnerable, 취약) 상태로 평가되며 멸종위기 범주(threatened categories)에 속해 있다(IUCN, 2020). 낮은 번식률 등의 자연적 위협요인 뿐만 아니라 무분별한 개발 등의 인위적 위협요인은 멸종위기식물종의 개체수 감소를 가속화하고 있으며, 멸종위기식물종 관련 연구는 멸종위기식물종의 유전자, 조직배양, 군집구조, 분포, 환경적 요인과의 관계 분석 등 생태학적 측면에서의 연구와 생태계 서비스, 복원 및 보전 등 인문학적 측면에서의 연구 등 다양한 분야에서 이루어지고 있다.

멸종위기식물종의 보전은 필수적이며 특히 증식개발의 측면에서 식물체 및 유전자원의 이용 증진 및 자원화가 필요하며, 국내 멸종위기종은 『야생생물 보호 및 관리에 관한 법률』에 따라 관리되며 현재 총 267종 중에서 멸종위기식물은 I급 11종, II급 77종으로 총 88종이 등록되어있음. 국내에서는 환경부 산하 국립멸종위기종복원센터, 국립공원공단 등 여러 기관에서 멸종위기종 복원과 관련한 연구 및 사업을 진행 중이다.

현재까지 국내 멸종위기식물의 증식 기술개발 및 복원 연구의 경우 주로 난초과 식물에 관한 연구가 대부분을 이루고 있음. 그 중에서도 풍란, 석곡, 나도풍란 등 멸종위기 I급이 대부분이며 주로 기내발아, 기내 신초 증식, 캘러스를 이용한 재분화(Bae and Yoon, 2013; Bae et al., 2014) 등 조직배양을 이용한 연구들이 활발히 진행되었다.

그러나 대량증식 기술 개발보다는 각 종의 기초적인 기내 증식 데이터만 보유하고 있으며, 구체적인 증식기술 개발 체계는 잘 갖추어지지 않고 있음. 또한, 나도풍란 비자립 복원, 석곡 완도군 보길도 복원(Kim et al., 2016) 등 몇몇 복원 사례를 제외하고는 증식 후 복원까지의 연구가 제대로 진행되지 못함. 따라서 대량 증식 기술 개발 뿐 아니라 증식 후 순화 및 재배, 복원까지의 전반적인 연구가 필요한 실정이다.

또한, 난초과 멸종위기식물을 제외한 대부분의 멸종위기식물들의 경우 기초 생태학적 연구가 일부 종에서만 진행되었을 뿐, 종자 및 생체 등 연구 시료 도입의 어려움으로 인해 종자 발아 등 기초 증식 관련 연구가 미비한 실정임. 따라서 멸종위기식물의 원종 확보 및 증식기술개발을 위한 기초 증식 연구가 시급하다.

본 연구과제에서는 멸종위기식물종의 증식개발연구를 통해 대량증식방법을 표준화하여 보전 사업의 효율성을 제고하고 특허를 출원함으로써 지식재산권을 확보하고자하며, 특히 식물의 경우 조직배양 등을 활용한 증식개발에 있어서 동물과 달리 일부 조직만 있어도 이를 배양하여 온전한 식물체로 분화하는 것이 가능하므로 윤리적으로 문제가 없어 이를 이용해 다양한 기술을 개발할 수 있을 것이다.

나. 연구 내용 및 방법

멸종위기야생생물 분포조사 자료를 바탕으로 대상종의 자생지를 파악하고, 참고 문헌을 통해 대상종의 개화시기, 종자 결실시기를 파악하였다. 현지조사 수행을 위해 개체수, 생육상태 등의 대상종 및 자생지 특성 조사 후 대상종별 결실시기, 개체수, 생육상태 등을 고려하여 종자를 채취하였다. 채취한 대상종의 개체 또는 종자는 멸종위기종복원센터 내 온실로 도입하여 관리하였다.

멸종위기식물의 채취 및 도입을 위해 대상종별로 채취 허가를 신청하고 관리기관과 협력하여 도입을 진행하였다.(틸복주머니란: 원종지방환경청, 가는동자꽃, 서울개발나물: 대구지방환경청, 만년콩: 영산강지방환경청)

현장조사 결과 공유 등을 통해 종자 수량 및 채취방법 등을 결정하였고, 자생지 내에서 종자 도입이 불가능한 서울개발나물과 만년콩의 경우 각각 국립생물자원관, 한라수목원 등 종자 보유 기관에 이관 요청하여 도입하였다.

다. 연구 결과

가는동자꽃 도입을 위해 자생지로 알려진 부산광역시 금정구 금성동 금정산 일대를 대상으로 현장조사를 수행하였다. 자생지의 군락은 기장대풀군락이 최우점하며, 억새군락, 진퍼리새군락 등이 우점하고, 가는동자꽃은 분반상(patch)으로 습지 내부에 분포하는 것으로 확인되었다. 현장조사 결과 자생지내 가는동자꽃의 개체수는 약 300개체로 추정되며, 원종은 종자형태로 채취하였으며 약 100립을 채취한 후 멸종위기종복원센터 온실에 보관하였다.



자생지 위치(부산시 금정산 일대)



가는동자꽃 자생지(부산시 금정산 일대)



가는동자꽃



가는동자꽃 종자

그림. III-2-(1). 가는동자꽃 자생지, 개체 및 종자

서울개발나물 도입을 위해 자생지로 알려진 경상남도 양산시에 위치한 원동습지를 대상으로 현지조사를 수행하였다. 조사결과 자생지는 물억새, 갈대군락이 최우점하며 키버들군락, 버드나무 군락 등이 조사되었고, 멸종위기종Ⅱ급 선제비꽃의 자생을 확인하였다. 자생지에서 확인된 서울개발나물의 개체수는 약 10개체로 확인되었고, 개체수가 적어 지방환경청과 논의한 결과 자생지 내에서 원종(종자)을 도입하지 않고 서울개발나물 종자를 보유하고 있는 국립생물자원관에서 약 50립을 이관하였다.



자생지 위치(양산시 원동습지)



서울개발나물 자생지
(양산시 원동습지)



서울개발나물



서울개발나물 종자(이관)

그림. III-2-(2). 서울개발나물 자생지, 개체 및 종자

털복주머니란 도입을 위해 강원도 태백시 함백산 일대로 현지조사를 수행하였고, 자생지는 교목과 아교목층이 없는 2층 구조로 이루어져 있으며 관목의 우점도도 크지 않았다. 관목에는 주로 병꽃나무가 분포하였고, 초본층에는 비비추, 대사초, 터리풀, 노루오줌 등이 우점하였고, 멸종위기Ⅱ급 복주머니란의 자생을 확인하였다. 자생지 내에서 털복주머니란 6개체의 개화와 3개체의 결실을 확인하였다. 털복주머니란 원종은 종자형태로 채취하였으며 2립을 채취하여 멸종위기중복원센터 내 보관하였다.

만년콩 도입을 위해 자생지로 알려진 서귀포시 돈내코 계곡 일대를 주변으로 현지조사를 수행하였다. 조사결과 자생지내 식생 상관은 구실잣밤나무로 이루어져 있으며 사스레피나무, 황칠나무, 동백나무, 호자나무 등이 수반종을 이루고 있었다. 만년콩은 개체군을 이루고 있지 않고 1개체씩 단일분포하는 특성이 보였다.

자생지 내에서 5개체를 확인하였으나 개화기, 결실기 모니터링 결과 모든 개체에서 결실이 이루어지지 않아 한라수목원에서 종자 10립을 이관하였다.



자생지 및 전경사진



만년콩



만년콩(이관)

그림. III-2-(3). 만년콩 자생지, 개체 및 종자

라. 결론(고찰 및 제언)

멸종위기식물, 가는동자꽃과 털복주머니란의 종자를 채취하여 성공적으로 종자를 확보하였고, 개체수가 적거나 종자 결실이 이루어지지 않은 서울개발나물, 만년콩 등도 협업을 통해 성공적으로 종자를 도입하였다. 추후 확보한 종자에 대해 종별로 적합한 대량증식법을 개발·적용하여 복원을 위한 안정적 개체 확보가 필요하다.

멸종위기식물종의 최적 생육 조건 확립을 위한 실험 결과를 보전 정책 수립의 기초자료로써 활용하며, 이를 바탕으로 대량증식방법을 표준화하여 향후 국가적 멸종위기식물 보전 사업의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 기대할 수 있으며, 멸종위기식물의 증식기술개발을 통해 식물체와 유전자원의 이용 증진 및 자원화가 가능하며, 대량생산체계 구축을 바탕으로 한 상품화 및 각종 치료제로서의 상업화를 통해 사회적 이익 창출이 가능하다.

3. 지역별 양비둘기 원종 도입

가. 서론

양비둘기는 비둘기과의 조류로 전 세계적으로는 흔한 텃새이나, 국내에서는 개체수가 급감하여 2017년 멸종위기 야생생물 II급에 지정되었다. 과거 전국적으로 분포하였다고 하나 최근에는 구례, 고흥, 의령, 연천 등 일부 지역에서만 서식이 확인될 정도로 개체군이 급감한 상태이다. 이는 주로 집비둘기와의 경쟁 및 잡종형성 등이 가장 큰 원인으로 판단된다. 일부 지역의 경우 외부포식자 및 천적의 침입으로 알, 유조 등의 포식이 발생하여 양비둘기가 서식지 내 번식을 포기하는 경우도 발생하고 있다. 국내에서는 2014년부터 양비둘기의 지역별 서식실태를 파악하기 위한 정밀조사를 실시하고 있으며, 국립생물자원관에서는 양비둘기의 번식생태 특성과 관련한 연구를 수행하여 번식지와 번식기간, 주기 등을 연구하였다. 또한 급격하게 감소하고 있는 양비둘기 야생 개체군의 보전 및 원종 확보를 위해 국립생태원, 서울동물원, 국립생물자원관 등에서 양비둘기를 관리하고 있다. 멸종위기종복원센터에서는 2018년 10월 국립생태원을 통하여 8개체의 양비둘기를 최초 도입하였으며, 현재 14개체의 양비둘기를 사육·증식하고 있다.

현재 국내 양비둘기 개체는 전남 구례 일대에 약 60여 개체, 경기 연천 일대에 약 80여 개체, 전남 고흥 거금도 일대에 5개체 내외가 확인되고 있다. 이 외에 경남 의령에 집단 서식지가 존재했으나 집비둘기의 개체군 침입으로 잡종화가 상당부분 진행된 상태이다. 국립생태원 멸종위기종복원센터에서는 구례, 의령 지역의 양비둘기 개체를 관리하고 있으며, 서울동물원에서는 고흥 지역의 양비둘기 개체를 관리하고 있다.

나. 연구 내용 및 방법

월 1회 서식지별(구례, 고흥, 의령, 연천) 개체군 동태를 파악한 후 도입 개체를 선정하였다. 서식지별 포획된 개체는 추적기 부착 후 방사 혹은 멸종위기종복원센터로 이송되었다. 가능한 야간 시간에 생포하여 포획 개체의 스트레스를 최소화하였다. 성조의 경우 미스트넷(mist-net), 유조의 경우 둥지 내 직접 포획을 통해 생포 시간을 최소화하였으며, 포획 직후 개체 계측, 채혈, 가락지 부착 등을 실시하였다. 도입 개체의 경우 이송 시간을 최소화하고, 3-4일 간 멸종위기종복원센터 동물병원 입원실 ICU에 계류하여 검역 및 개체 조기 안정화를 유도하였다.



그림. III-3-(1). 지역별 양비둘기 생태조사 및 원종도입

다. 연구 결과

양비둘기의 서식지별 개체군 동태 파악 및 위협 요인 제거를 위한 생태조사를 총 9회(구례 5회, 고흥 3회, 연천 1회) 실시하였다. 구례 양비둘기 개체군에 침입하여 양비둘기의 번식에 위협 요인이 될 수 있는 집비둘기 3개체를 포획하였으며, 번식쌍으로 활용 가능한 구례 양비둘기 2개체를 포획하여 각각 멸종위기종복원센터로 이송하였다.

라. 결론(고찰 및 제언)

고흥, 의령, 구례 양비둘기 개체군 내 집비둘기가 지속적으로 침입하여 양비둘기의 번식에 위협 요인이 되고 있으므로, 각 지역 내 개체군 동태를 지속적으로 파악하여 집비둘기를 포획해야 할 필요성이 있다. 또한, 멸종위기종복원센터 내 지역별 양비둘기 원종 확보(구례, 의령)를 위해 주요 양비둘기 서식지 내 포획 가능 개체 선별 및 지속적인 포획이 필요하다.

도입되는 개체의 건강성 증진을 위해 양비둘기 원충성 질병의 조기진단, 치료 효과 검증 및 감염 경로를 확인하고 선제적인 질병 조기진단을 통한 폐사율 감소를 유도할 필요성이 있다.

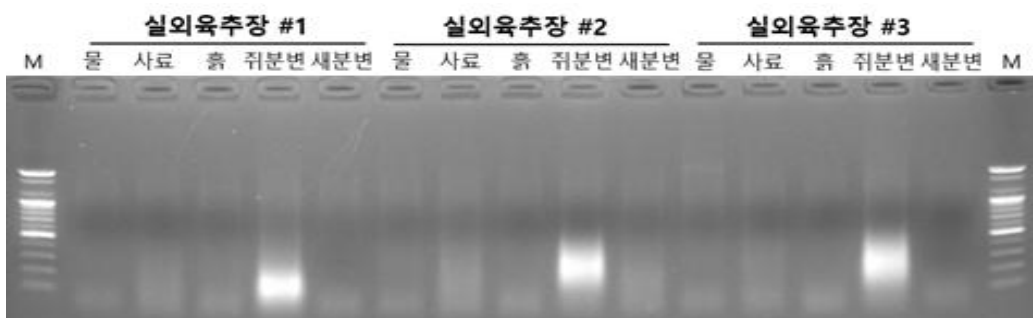


그림. III-3-(2). 양비둘기 원충성 질병 조기진단 및 감염경로 파악(예시)

4. 무산쇠족제비 포획 장비 개발

가. 서론

식육목 족제비과에 속하는 무산쇠족제비는 소형포유류이며 그 중에서도 크기가 작아 설치류와 크기가 비슷하다. 국제자연보전연맹(IUCN) 적색목록(Red List)에 관심필요종(Least Concern, LC), 환경부 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어있으며 환경부 「멸종위기 야생생물 보전 종합계획(2018~2027)」의 우선복원대상종 25종에 포함되었다. 동 계획의 과제별 세부 이행계획(2-1-2, 멸종위기종 복원 기술개발 및 복원 추진)에 따라 무산쇠족제비 원종을 확보하기 위해 2020년부터 셔먼 트랩(30.48W×7.62D×9.52H (cm), 22.86W×7.62D×7.62H (cm)), 망으로된 트랩(Multiple Catch Trap) 등을 이용하여 포획을 시도하였다. 영양군 멸종위기종복원센터 주변, 영주시, 금산군과 평창군 등 기 무산쇠족제비 발견지역 중심으로 포획을 위한 노력을 기울였음에도 불구하고 포획에 실패하였으며 무인센서카메라에도 1회만 촬영되었다. 이를 통해 트랩의 크기와 형태가 무산쇠족제비 포획에 더 적합한 장비에 대한 필요성이 확인되어 포획동물에 대한 윤리적인 부분을 반영하여 무산쇠족제비 포획 장비를 개발하고자 한다.

나. 연구 내용 및 방법(11pt)

(1) 무산쇠족제비 선택적 포획을 위한 트랩 특징 파악

소형포유류 중에서도 크기가 작은 무산쇠족제비를 선택적으로 포획하고 포획과정에서 효율성을 높일 수 있는 트랩 개발을 위한 세부사항을 확인한다.

(2) 특허 출원 추진

개발한 무산쇠족제비 포획 트랩과 기 발명품과의 유사점과 차이점 비교를 통해 트랩의 세부사항에 대한 진보성 등을 확인하여 특허 출원 가능성을 검토한다.

다. 연구 결과

(1) 무산쇠족제비 포획 장비 특징

일반적으로 소형포유류의 포획은 셔먼 트랩을 수십 개 이상 설치하고, 주기적으로 사람이 포획여부를 직접 확인해야 한다. 상용화된 트랩은 한 마리가 포획되면 입구가 닫혀 이어서 포획이 불가능하며, 해당 종이 목표종이 아닌 경우 직접 동물을 풀어주고 트랩을 다시 설치해야한다. 또한 실시간으로 동물 포획 여부를 알 수

없어 포획된 동물이 스트레스를 받을 수 있으며, 트랩에서 바로 마취가 불가능하다. 특정 동물의 경우 입구의 크기 때문에 트랩에 포획되지 않고 유인먹이만 빼가는 경우도 확인되었다.

본 연구에서는 위 단점을 보완할 수 있는 무산쇠족제비 포획 장비를 20개 항목으로 특징지었다. 주된 특징은 다음과 같다.

- 1) 전동식 가변 입구부와 감시 단말기 장착을 통해 무선통신으로 수신된 카메라 영상을 분석하여 목표종 포획 여부를 사용자에게 알려준다.
- 2) 원격으로 입구를 개방해 목표종이 아닌 동물을 풀어준다.
- 3) 포획 개체의 확인, 검사, 이동 등을 위해 트랩에서 동물을 꺼내지 않고 바로 마취를 하여 동물의 스트레스를 줄여준다.
- 4) 가변 입구부를 통해 큰 동물의 출입을 통제하여 무산쇠족제비를 선택적으로 포획한다.
- 5) 접이식으로 구성하여 운반할 때 부피를 줄인다.

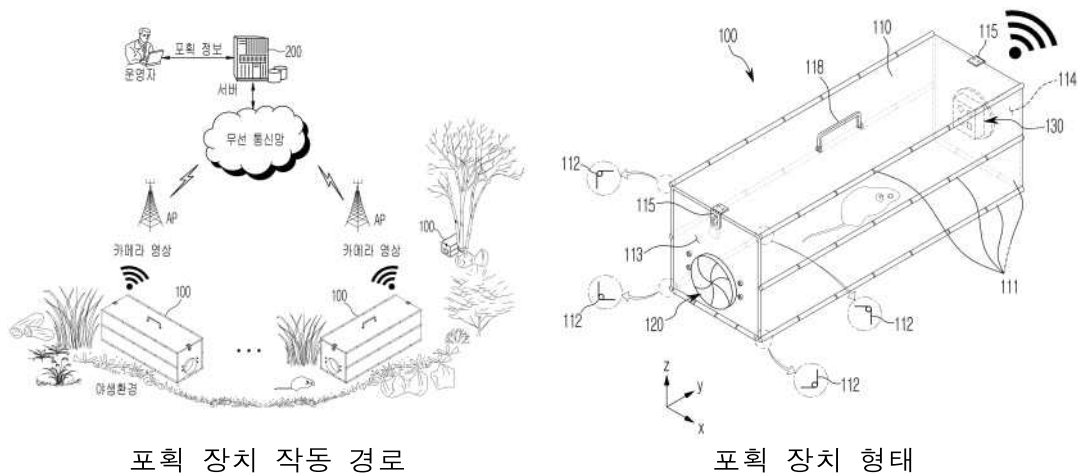


그림. III-4-(1). 무산쇠족제비 포획 트랩

(2) 무산쇠족제비 포획 장비 특허 가능성 검토 및 추진

(가) 관련 선행기술

무산쇠족제비 포획 장비와 관련된 선행기술은 동물 포획 우리, 동물 포획 장치, 유해동물 포획용 원격조작 시스템, 출입구의 개폐 제어 시스템, IoT 딥러닝 카메라

라와 인식기술을 사용한 IoT 융복합을 통한 지능형 유해동물과 조류 방제장치를 이용한 방제 방법, 동물의 안면 및 비문 이미지에 기초하여 동물의 개체 정보를 제공하는 컴퓨터 프로그램 및 단말기, 먹이 유인부가 구비된 유해 동물 트랩 7가지가 있었다. 다음은 선행기술 일부에 대한 유사점과 차이점을 서술하였다.

1) 기술 1

유사점: 접이식 박스형 구조에 가변 입구부를 가진 동물 포획 장치로 무선 통신을 통해 전송하며 촬영 영상에 의해 제어된다.

차이점: 목표종 해당 여부에 따라 입구부를 개방할 수 없으며, 가변 입구부 조절방법이 다르다.

2) 기술 2

유사점: 플래시를 작동하여 동물을 퇴출시키고, 영상을 분석하여 목표종과 일치하면 운영자에게 알람한다.

차이점: 동물 퇴출 시 가변 입구부를 최대한 개방하지 않으며, 목표종과 불일치할 때 동물을 퇴출시키지 않는다.

3) 기술 3

유사점: 감시 단말기가 하나의 패키징 단말기로 제작된다.

차이점: 고무 재질의 마개형 장착부로 후면 홀에 장착되지 않는다.

라. 결론(고찰 및 제언)

무선전송카메라를 활용해 실시간으로 트랩 내 포획 여부를 확인하는 것은 진보성은 없으나 트랩에 필요한 구성이다. 원격으로 트랩 입구를 개방하는 것은 진보적인 것으로 생각되나 만약 보완이 필요할 경우 원격으로 개방하는 방법에 대한 추가적인 방법에 대한 기술이 필요할 것이다. 또한 상용화된 트랩에서는 불가능한 트랩 내에서의 마취방법에 대한 진보성이 인정될 것으로 판단한다. 이와 같은 진보성을 근거로 무산쇠족제비 포획 장비 출원을 완료하였으며 우선심사가 결정되었다.

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2021.07.30
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(2561)
출원번호 10-2021-0100396 (접수번호 1-1-2021-0882310-10)
(DAS접근코드6936)
출원인명칭 국립생태원(1-2015-024724-1)
대리인성명 유미특허법인(9-2001-100003-6)
발명자성명 김아름 임정은 이재민
발명의명칭 소형 포유류 트랩 운용 시스템 및 그 방법

특 허 청 장

출원번호통지서

그림. III-4-(2). 무산쇠족제비 포획 트랩 특허

특 허 청
우선심사결정서

우선심사신청인 성명 국립생태원 (우선심사신청번호: 120150247241)
주 소 충청남도 서천군 마서면 금강로 1210 ()
대 리 인 명 칭 유미특허법인
주 소 서울특별시 강남구 테헤란로 115, 서원빌딩 12층
(역삼동)(유미특허법인)
지정변리사 김창현 외 1명

출 원 인 성명 국립생태원 (특허고색번호: 120150247241)
주 소 충청남도 서천군 마서면 금강로 1210 ()
대 리 인 명 칭 유미특허법인
주 소 서울특별시 강남구 테헤란로 115, 서원빌딩 12층
(역삼동)(유미특허법인)
지정변리사 김창현 외 1명

출 원 번 호 10-2021-0100396
출 원 일 자 2021.07.30
우 선 심 사 신청 일 자 2021.07.30
우 선 심 사 신청 접수 번호 1-1-2021-0883555-56
발 명 의 명 칭 소형 포유류 트랩 운용 시스템 및 그 방법

상기 출원은 특허법 제61조, 동법 시행령 제9조 및 우선심사의 신청에 관한 고시 제4조에 규정된 우선심사대상에 해당하는 것으로 인정되어 우선심사를 하기로 결정합니다. 끝.

우선심사결정서

IV. 멸종위기종 환경 적응력 파악 연구

1. 여울마자 자연성 증진 훈련

가. 서론

어류의 증식 및 방류는 멸종위기에 처한 어류의 개체군 회복에 가장 많이 사용되는 방법 중 하나이다. 그러나 다양한 외부 위험요인으로부터 차단된 상태로 인위적으로 공급되는 먹이를 섭취하며 자란 어류들은 야생개체와 비교하여 먹이활동 능력, 수상 및 육상 포식자에 대한 기피능력 등 생존에 필수적인 행동의 발달이 늦어 야생에 방류 되었을 시 생존율이 저조한 것으로 알려져 있다. 이러한 선행연구들을 바탕으로 어류를 야생에 방류하기 전에 아래와 같이 다양한 자연성 증진 훈련을 실시하는 것은 인공적으로 증식된 개체들이 야생에 더욱 빨리 적응하고, 방류 후 생존율을 더욱 높이는 전략이 될 것이라 사료된다.

나. 연구 내용 및 방법(11pt)

(1) 포식자 회피 훈련

(가) 연구내용

제한된 환경에서 인공적으로 증식된 어류에게 나타나는 가장 큰 문제점 중 하나는 포식자 인지능력의 부족이다. 이러한 인지능력의 부족은 인공적으로 증식된 담수, 해수 어류 양쪽에서 공통적으로 나타나며, 가장 큰 원인은 포식자가 없는 지나치게 안전한 사육환경으로 인하여 포식자에 노출된 경험이 부족하여 생기는 것으로 여겨지고 있다. 이러한 외부 포식자에 대한 인지능력의 저하는 지속적으로 포식자에게 노출을 시켜 줌으로서 개선이 가능하다고 알려져 있다(Brown et al., 2013). 위와 같은 연구들을 바탕으로 여울마자의 포식자 인지능력 및 회피행동 개선을 위하여 Hutchison et al., (2012)의 훈련방법을 일부 변형하여 여울마자에게 포식자와 알람신호를 이용한 포식자 회피 훈련을 진행하였다.

- 알람신호 : 어류의 상처 혹은 사체의 피부조직에서 분비되어 주변에 위험을 알리는 화학적 신호
- 포식자 : 여울마자의 서식지 혹은 방류 예정지에 서식하는 육식성 어류

(나) 연구방법

1) 훈련과정

- 가) 포식자 회피 훈련은 12개월경의 인공증식 여울마자 130여 개체를 대상으로 진행하였으며, 훈련 수조(4.50 × 1.50 m) 중앙에 직경 5cm 크기의 구멍이 5cm 간격으로 뚫린 아크릴 판을 이용하여 격벽(2.30 × 0.49 m)을 설치한 뒤, 각 구멍은 그물망을 이용해 포식자와 여울마자의 출입을 막았다(그림 3.).
- 나) 포식자 및 알람신호 노출을 위해 매일 오전 10:00시 격벽 내부에 포식자(미유기, 꺾지 등)와 먹이용 어류 사체를 다져서 만든 알람신호 1g을 구멍을 뚫은 2L 채수병병에 담아 격벽 4귀통이에 넣어주었다.
- 다) 오후 16:00시 (6시간 후) 격벽 내부의 포식자 및 알람신호를 제거하였다
- 라) 훈련 48시간 후 비훈련개체와 훈련개체 10마리씩을 무작위로 선별하여 실험 수조로 옮겨 검증실험을 진행하였다.
- 마) 수온은 온도조절기를 이용하여 21도로 유지하였고 에어 펌프를 이용하여 산소를 공급해 주었다.

2) 검증과정

- 가) 격벽이 설치된 실험수조(1.00 × 0.45 m, 그림 4.)에 개체들을 방류 한 이후 30분간 안정시켜주고 촬영을 시작하였다.
- 나) 촬영을 시작하고 15분 뒤 포식자를 넣을 공간에 알람신호 혹은 포식자(미유기)를 넣어주어 실험 수조에 있는 개체들에게 자극을 주었다.
- 다) 노출 15분 전과 15분 후를 비디오카메라(iphone SE2)로 수조의 수직상에서 30분간 촬영하였다.
- 라) 포식자 및 알람신호가 위치한 격벽으로부터 가까운 구역(20cm)을 위험구역으로 설정하고, 그 이외의 지역을 안전 구역으로 설정한 뒤 15초 간격으로 해당 구역에 위치한 개체수를 기록하여 자극원(알람신호 혹은 포식자)에 노출되기 15분 전과 후 15분동 위험 혹은 안전구역에 위치한 개체의 비율을 확인하였다.



그림. IV-1-(1). 포식자회피 훈련용 수조(좌, 모형도; 우, 트랙수조)



그림. IV-1-(2). 포식자회피 실험용 수조(좌, 모형도; 우, 사각수조)

(2) 자연먹이 섭식 훈련

(가) 연구내용

야생에서 다양한 먹이를 경험하며 자라는 야생개체와 달리 인공적으로 사육되며 사료 혹은 이미 죽어있는 먹이만 먹으며 자란 인공사육 개체는 야생으로 방류

되었을 시 새로운 먹이환경에 적응하는 기간이 길어 방류 초기의 사망률뿐만 아니라 성장률에도 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Olla et al. 1998). 이러한 먹이 적응력의 저하를 야생의 동종개체 혹은 유사종의 개체와의 합사를 통한 사회 학습(Social Learning)을 이용하여 개선하고자 하였다.

(나) 연구방법

자연먹이 섭식 훈련은 트랙수조(4.50 × 1.50 m)에서 1차 훈련과 2차 훈련으로 나누어서 실시를 하였으며, 훈련은 자유롭게 자연 먹이원(부착조류)을 섭식하는 적응구간 14일과, 동일한 면적(5 × 5 cm 4개)의 먹이를 수조 각 귀통이에 공급한 뒤 매일 오전 10시에 잔존 먹이량을 14일간 기록하는 기록구간으로 나누어 진행을 하였다(그림 5). 1차 적응 훈련은 인공증식 여울마자 10개체를 대상으로 진행을 하였고, 2차 훈련은 1차 훈련을 받지 않은 여울마자 10개체와 야생에서 포획한 돌마자 10개체를 적응구간 동안만 합사를 하고, 기록구간에서는 돌마자를 수조에서 제외한 여울마자 10개체의 잔존 먹이량을 14일간 기록하였다. 그리고 인공증식 여울마자와 야생 돌마자 간의 먹이 섭식량 비교를 위하여 돌마자 10개체 또한 위와 같은 방법으로 먹이섭식량을 기록하였다,

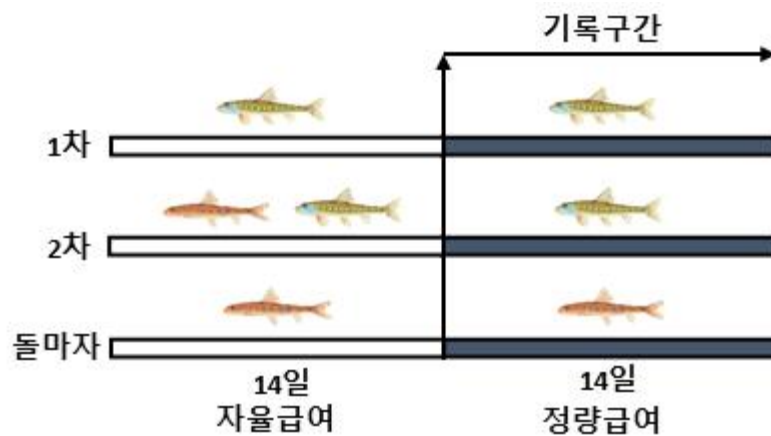


그림. IV-1-(3). 자연먹이 섭식 훈련 일정

(3) 지느러미 변형 교정 훈련

(가) 연구내용

야생에서 자란 개체는 발달 초기과정부터 서식지 내부의 여러 장애물들을 경험하며 복잡하고 다양한 행동패턴을 배우며 신체적 발달 또한 이루어진다. 하지만 인공적으로 조성된 수조에서 자란 사육개체들은 일정하게 유지되는 인위적 환경에 적응하여 야생개체보다 유연능력에 중요한 지느러미의 발달이 더디거나 변형이 일어난 개체의 비율이 높다. 이렇듯 밀집사육으로 인한 인공증식 여울마자의 지느러미에 발생한 변형을 교정하고자 본 훈련을 진행하였다.

(나) 연구방법

훈련은 트랙수조(4.50 × 1.50 m)에서 11개월경의 인공증식 여울마자 30개체를 대상으로 진행하였으며, 수조 양 끝 지점에서 모터를 이용하여 지속적으로 수류를 일으켜 주었고, 물이 흐르는 방향을 따라 돌(평균 20 × 30 × 20 cm)을 교차하여 배치를 하였다. 먹이는 하루 3회 만복 시 까지 공급하였으며, 에어펌프 및 온도조절기를 이용하여 산소공급과 수온을 유지하였다. 훈련을 시작하기 전 MS-222를 이용하여 전 개체를 마취 한 뒤 해부현미경을 이용하여 지느러미 변형율을 기록하였고, 훈련 60일 뒤 변형율을 기록하여 교정된 개체수를 확인하였다.

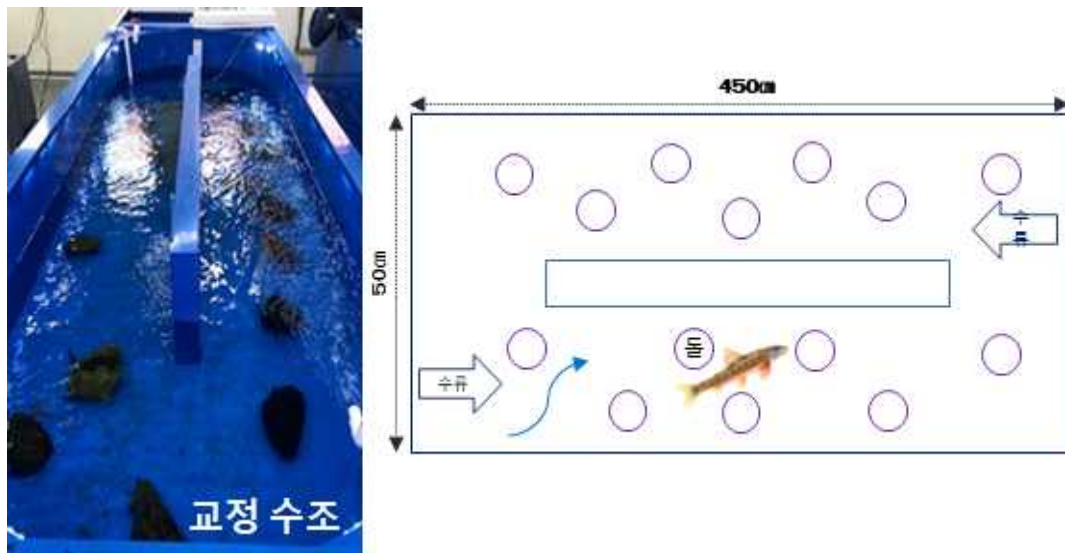


그림. IV-1-(4). 지느러미 변형 교정훈련 수조(좌, 훈련수조; 우, 모형도)

다. 연구 결과

(1) 포식자 회피 훈련

격리 수조에 포식자 및 알람신호를 도입하자 훈련개체들은 회피행동을 보이기 시작하였으며(그림 7.), 훈련 48시간 뒤 검증실험에서도 포식자 혹은 알람신호가 있는 격벽으로부터 멀어지려는 행동양상을 보였다(그림 8.). 포식자 회피훈련의 검증실험 결과 훈련을 받지 않은 개체는 알람신호에 노출 되었을 시 격벽인근(위험구역)으로의 접근율이 알람신호 도입 전과 비교하여 오히려 20.82% 증가하였고 훈련을 마친 개체는 위험구역 접근율이 27.18% 감소하여 훈련을 받지 않은 개체 대비 48.00% 낮은 위험구역 접근율을 보였다(그림 9. 좌). 포식자에 노출된 경우에는 훈련을 받지 않은 개체도 포식자 도입 전과 비교하여 위험구역 접근율이 8.18% 감소하였지만, 훈련을 마친 개체는 위험구역 접근율이 49.12% 감소하여 훈련을 받지 않은 개체 대비 40.94% 낮은 위험구역 접근율을 보였다(그림. IV-1-(5). 우)

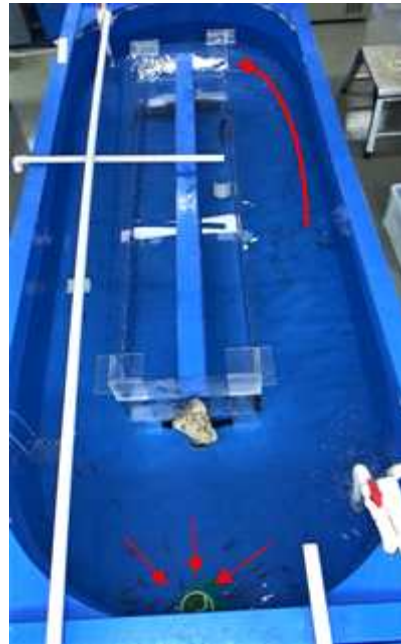


그림. IV-1-(5). 포식자 회피훈련과정(좌. 포식자 및 알람신호 도입 전; 우 도입 후)

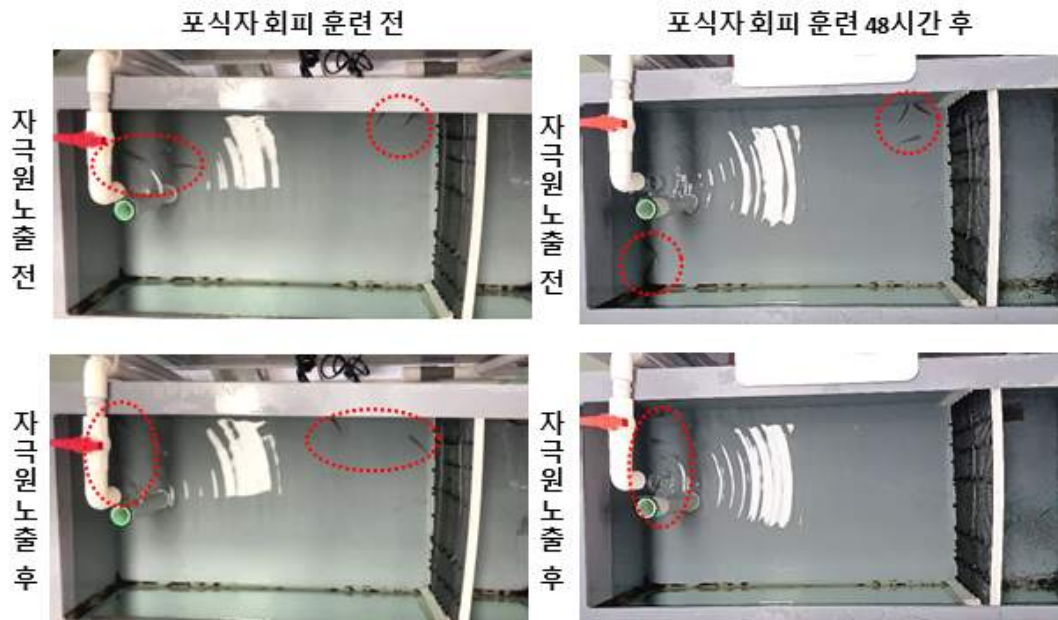


그림. IV-1-(6). 포식자 회피 훈련 검증실험 (좌, 회피 훈련 전; 우, 훈련 48시간 후)

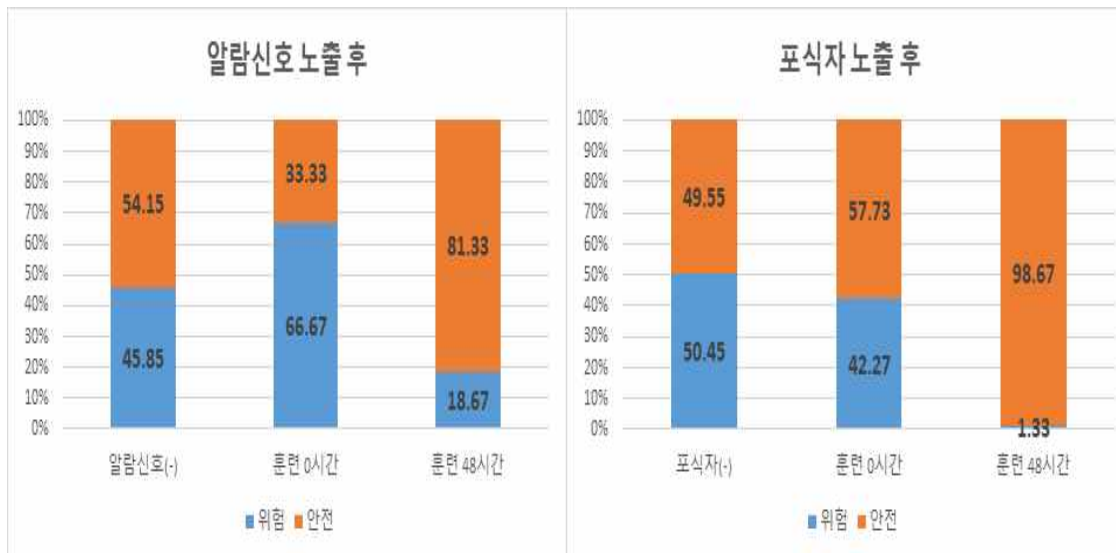


그림. IV-1-(7). 포식자 인식 훈련 전후 여울마자 위치분포 비율(%)
(좌, 알람신호 노출 전과 후; 우, 포식자 노출전과 후)

(2) 자연먹이 섭식 훈련

먹이 적응 훈련 결과 사회학습 훈련을 받지 않은 여울마자는 자연먹이(부착조류) 자율 급여 기간 동안 돌 위에 올라가는 행동은 보였으나 자연먹이를 섭식하는 행동은 보이지 않았으며, 기록구간 2일 이후부터 조금씩 섭식하기 시작하여 기록 14일 이후에는 최종적으로 5%의 먹이를 섭식하였다. 돌마자와 2주간 합사하여 자연먹이를 자율 급여했던 사회학습 훈련개체는 훈련을 받지 않은 개체보다 새로 도입된 먹이원에 빠르게 적응하는 양상을 보였으며 기록 14일 이후에는 총 65% 가량의 먹이를 섭식하여 비훈련개체 대비 약 13배 높은 자연먹이 섭식률을 나타내었다.



그림. IV-1-(8). 여울마자의 먹이활동(좌, 섭식중인 여울마자; 우, 섭식흔적)

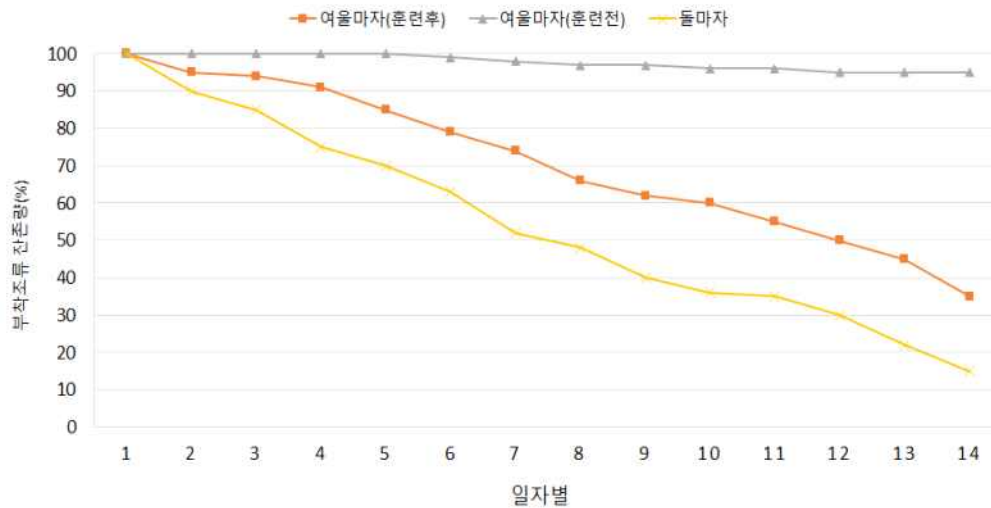


그림. IV-1-(9). 일자별 자연먹이(부착조류) 잔존량(%).

(3) 지느러미 변형 교정 훈련

지느러미 교정 훈련 전 지느러미에 변형이 일어난 개체는 30마리 중 26개체로 86.67%의 변형율을 보였으며, 교정 훈련 수조에서 60일간 사육한 뒤 지느러미에 변형이 일어난 개체는 3개체로 감소하여 10.00%의 변형율을 나타내었고, 최종적으로 변형이 일어난 26개체 중 23개체의 교정이 완료되어 88.46%의 교정 성공률을 나타내었다.

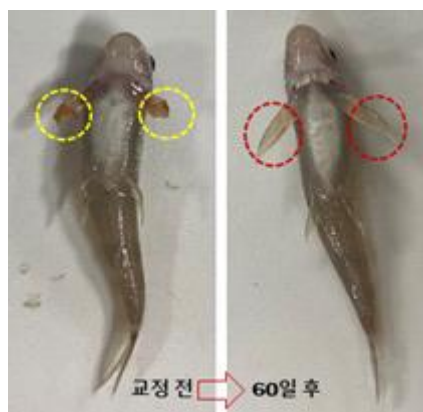


그림. IV-1-(10). 인공증식 여울마자의 지느러미 변형 교정

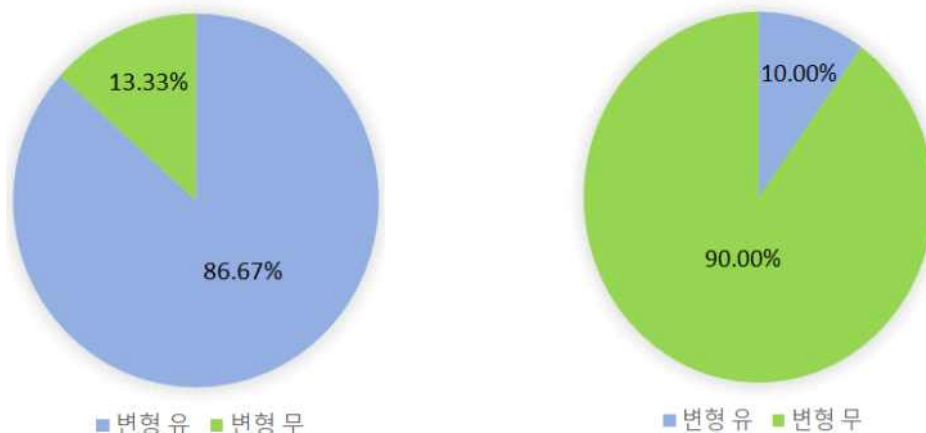


그림. IV-1-(11). 여울마자 지느러미 변형율(%). 좌: 교정 전, 우: 교정 후

라. 결론(고찰 및 제언)

(1) 포식자 회피 훈련

포식자 회피훈련을 실시한 결과 훈련을 받지 않은 개체는 포식자 및 알람신호에 대한 인지능력이 다소 떨어져 있는 것이 확인 되었으며, 훈련을 통한 지속적인 노출로 저하된 인지능력의 개선이 가능하였다. 위와 같은 결과를 바탕으로 훈련 대상종의 여러 포식자(육식성 조류, 외래종 등)에 대한 회피훈련 또한 필요하며, 야생개체가 포식자에게 노출 되었을 시 나타내는 다양한 생태 및 행동 특성[군집 형성(Shoaling), 활동성 변화(Freezing or Dashing), 은신처 선호도(Shelter Preference) 등]를 파악하여 종별 최적 훈련 및 검증 과정 확립이 필요하다. 또한 포식자 노출 장기화로 인한 자극내성(Latent inhibition) 발생 방지를 위하여 적합한 훈련 기간의 파악도 필요하다고 사료되며(Crane, Chivers, & Ferrari, 2019), 최종적으로 이러한 훈련을 마친 개체에게 추후 발신기와 같은 무선추적 장치를 이용하여 방류 하였을 시 환경에 얼마나 잘 적응하는지 확인이 필요하다고 생각된다.

(2) 자연먹이 섭식 훈련

자연먹이를 접한 경험이 없는 인공증식 여울마자가 자연먹이원에 적응하고 먹이 반응을 시작할 때까지 오랜 시간이 걸린다는 것이 확인되었으며, 야생 돌마자 개체와의 합사를 통한 사회학습 과정을 가짐으로서 먹이 적응 기간이 단축된다는 것도 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 야생 여울마자 혹은 먹이 섭식

훈련을 마친 여울마자를 새로이 증식된 여울마자 개체의 먹이 섭식 훈련에 사용할 수 있을 것이라 판단된다. 또한, 사회학습을 이용하여 인공증식 개체의 자연성 증진 훈련 효율을 높이는 방안 확립도 가능할 것이라 생각된다.

(3) 지느러미 변형 교정 훈련

장애물을 설치한 환경에서 60일간 사육을 진행한 결과, 발달과정 중 발생한 지느러미의 변형이 상당 부분 개선됨을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 인공증식 개체의 발달 초기부터 일어나는 여러 변형들을 최소화 할 관리방안 확립이 필요하다. 또한, 인공증식 어류의 행동 다양화를 위하여 다양한 종류의 장애물을 사육환경에 추가함으로써 발달과정에서 일어나는 변형뿐만 아니라 유연능력과 같은 신체 능력 개선 훈련(Ahlbeck Bergendahl et al. 2017)도 필요하다고 판단된다.

V. 2차년도 연구 계획

22년 연구 내용

연구기간: 2021-2025, 총연구비: 2,036백만원

핵심목표	주요내용	주요 연구내용		연구 추진 단계		
				1단계	2단계	3단계
멸종위기종 맞춤형 증식 기술개발	멸종위기종 인공증식 기술 개발 멸종위기종 증식 매뉴얼 작성 멸종위기종 대량 증식 기술개발	어류	여울마자 난질 개선 및 증식 기술 연구(2차)	먹이원 조절을 통한 난질 개선 모래주사, 큰줄납자루 기조생태조사	사육조건 조절을 통한 인공 성숙 연구 모래주사 최적 조건 파악 큰줄납자루 산란 인공숙주 적용	여울마자 인공증식 난 생성 모래주사 최적 조건 파악 큰줄납자루 산란 인공숙주 검증
			모래주사 및 큰줄납자루 인공 산란숙주 개발 및 증식 연구			
		식물	종자 무균 기내발아 연구	확보한 멸종위기종 원종 종자의 무균 기내 발아 조건 수립 무균 기내 발아(틸복주머니란), 캘러스 유도(만년콩) 조건 수립 식물체 부위, 연령 등에 따른 삼수 제조 식물생장상을 활용하여 최적 생육 조건 구명	실험 수행 및 조건에 따른 발아율 측정 실험 수행 및 발아, 캘러스 유도 조건 확립 발근율, 생장률, 생존율 등 측정 물리적·생리적·형태적·형태생리적 휴면 유무 파악 및 휴면 분류	최적 무균 기내 발아 조건 확립 계대배양을 통해 개체 대량 증식 최적 삼복 방법 구명 중별 휴면 타파 및 발아율 향상 기술 개발
			틸복주머니란, 만년콩 개체 증식			
			온실 내 삼복을 이용한 개체 증식			
			식물생장상을 이용한 종자 개체 증식			
		곤충 무척추동물	소똥구리 생명표 작성을 통한 개체군 성장률 분석	안정적 실내 증식환경 구축 및 유지 소똥구리 근연종 사육시스템 구축 -> 위협요인(약제) 연구기반 마련 인공증식 F1개체 동면 유도	소똥구리 생존, 번식 모니터링 위험요인(약제) 직접 노출이 대리생물종에 미치는 영향 연구 -> 약제의 실질적 위해성 확인 동면 유무별 F1 개체 산란 및 배양	데이터 종합분석을 통한 생명표 작성 및 개체군 성장률 산출 생태 먹이사슬을 통한 위협요인(약제) 노출이 대리생물종에 미치는 영향 연구 -> 소똥구리 위해 가능성 확인 동면 유무별 F1 개체 생산성 분석 F2 개체 갈습 종류별 성장률 분석
			소똥구리 위협요인(약제) 규명을 위한 연구			
			참달팽이 F2 개체 증식			
멸종위기종 원종 확보 기술 개발	원종 파악 기술 개발 원종 확보 기술 개발 원종 확보 매뉴얼 작성	양서파충류	비바리뱀, 수원청개구리 사육 조건 연구	문헌조사 및 과거출현자료 조사	현지조사표를 이용한 적정 환경 파악	적정 사육 조건 파악 및 적용
		조류	양비둘기 성장단계 및 계절별 급이 방법 표준화 마련	먹이종류별 급이대 설치 먹이 요구량 파악	생활사 단계별, 계절별 적절 먹이 파악	시기별, 단계별 적합한 먹이 공급
			비바리뱀, 수원청개구리, 양비둘기 원종 확보 소똥구리 몽골 개체군 확보	문헌조사 및 과거출현자료 조사 몽골 국립대학교 간 사전협의 및 요구 서류 검토	현지조사를 통한 원종 확보 현지조사 및 원종 확보	센터 내 원종 도입 센터 내 원종 도입 및 사육
멸종위기종 환경적응력 파악 연구	증식개체를 활용한 환경 내성 파악 최적 서식 환경 파악 환경 내성도 평가		여울마자 자연성 증진 훈련	포식자 인지 훈련	포식자 회피 훈련 유형능력 향상 훈련	자연성 증진 훈련 검증

VI. 참고문헌

- 국립생물자원관. 2012. 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집-연체동물. 107.
- 농업과학기술원. 2003. 분식성 곤충에 대한 가축용 구충제 Ivermectin의 안전사용 시기. 농사로. 농사백과
- 환경부. 2018. 멸종위기 야생생물 보전 종합계획 2018~2027.
- 한정호, 최지성, 홍석우, 조기택, 이정섭. 2016. 모래무지 인공종묘의 대량 생산 방법. 대한민국특허청. KR101606713B1
- Charpentier, R. (1968). Élevage aseptique d'un Coléoptère coprophage: *Aphodius constans* Duft. (Col., Scarabaeidae). *Ann. Epiphyt*, 19:533-38.
- Takashima, F. and Y. Yamada. 1984. Control of maturation in masu salmon by manipulation of photoperiod. *Aquaculture*, 43, 243-257.
- Broomage, N., M. Porter and C. Randall. 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, 197, 63-98.
- Michael Hutchison, Danielle Stewart, Keith Chilcott, Adam Butcher, Angela Henderson, Mark McLennan and Philip Smith. 2012. Strategies to improve post release survival of hatchery-reared threatened fish species. Murray-Darling Basin Authority, 1-62.
- Grant E. Brown, Maud C. O. Ferrari, Douglas P. Chivers. 2013. Adaptive Forgetting: Why Predator Recognition Training Might Not Enhance Poststocking Survival. *Fisheries*, 38, 16-25.
- Borzée, A., Park, S., Kim, A., Kim, H. T., & Jang, Y. (2013). Morphometrics of two sympatric species of tree frogs in Korea: a morphological key for the critically endangered *Hyla suweonensis* in relation to *H. japonica*. *Animal Cells and Systems*, 17(5), 348-356.
- Borzée, A., Fong, J. J., Nguyen, H. Q., & Jang, Y. (2020). Large-scale hybridisation as an extinction threat to the Suweon treefrog (Hylidae: *Dryophytes suweonensis*). *Animals*, 10(5), 764.
- Verdú, J.R. (2018). Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: An interdisciplinary field study. *Science of the Total Environment*, 618, 219-228.

‘21년 멸종위기종 증식기술 개발 연구

2021 Study on the development of endangered species captive propagation technique

발행일	2021년 2월 28일
발행인	조도순
발행처	국립생태원 충청남도 서천군 마서면 금강로 1210
참여연구자	윤주덕, 김근식, 유정우, 유나경, 임정은, 김영건, 김영채, 김아름, 김영민, 이제민, 박희복, 윤준희, 강승구, 김영중, 김황, 김만년, 황정은, 박형빈, 안지애, 고영민, 고원범
문의	054-680-7410
홈페이지	www.nie.re.kr
제작	(주)전우용사춘
ISBN	979-11-6698-128-9 (93400)

© 국립생태원

이 책은 저작권법에 의해 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 무단 복제를 할 수 없습니다.