

2021년 외래생물 정밀조사

Investigating Ecological Risk of Alien Species

박정수, 이효혜미, 김수환, 김동연, 이희조, 조소연, 이수인,
우성현, 조아람, 손승훈, 김영하, 김필재, 김남희, 박지은,
백혜준, 장환진, 최동희, 홍유인, 박용수, 문정찬, 박다솜

NIE-법정과제-2021-08

2021년 외래생물 정밀조사

2021 Investigating Ecological Risk of Alien Species

조사안전연구본부 생태안전연구실 외래생물연구팀

박정수, 이효혜미, 김수환, 김동언, 이희조, 조소연, 이수인, 우성현,
조아람, 손승훈, 김영하, 김필재, 김남희, 박지은, 백혜준, 장환진,
최동희, 홍유인, 박용수, 문정찬, 박다솜

2021

국립생태원

National Institute of Ecology

<연구진>

박정수	생태안전연구소	전임연구원(연구책임)
이효혜미	생태안전연구소	선임연구원(포유류조사 총괄)
김수환	생태안전연구소	선임연구원(어류조사 총괄)
김동언	생태안전연구소	선임연구원(곤충조사 총괄)
이희조	생태안전연구소	선임연구원(곤충조사 지원)
조소연	생태안전연구소	전임연구원(식물조사 지원)
이수인	생태안전연구소	전임연구원(식물조사 지원)
우성현	생태안전연구소	전임연구원(식물조사 지원)
조아람	생태안전연구소	전임연구원(식물조사 지원)
손승훈	생태안전연구소	전문위원(포유류조사 지원)
김영하	생태안전연구소	연구원(식물조사 지원)
김필재	생태안전연구소	연구원(어류조사 지원)
김남희	생태안전연구소	연구원(곤충조사 지원)
박지은	생태안전연구소	연구원(자료정리)
백혜준	생태안전연구소	연구원(양서·파충류조사 지원)
장환진	생태안전연구소	연구원(양서·파충류조사 지원)
최동희	생태안전연구소	연구원(식물조사 지원)
홍유인	생태안전연구소	전임연구원(자료정리)
박용수	생태안전연구소	책임연구원(포유류 조사지원)
문정찬	생태안전연구소	선임연구원(포유류 조사지원)
박다솜	생태안전연구소	전임연구원(포유류 조사지원)

<외부연구진>

조형진	(주)에코앤지오	전문조사원: 식물조사 지원
최창호	(주)에코앤지오	일반조사원: 식물조사 지원
박철우	(주)알파생태연구원	전문조사원: 어류조사 지원
김용건	(주)알파생태연구원	일반조사원: 어류조사 지원

요약문

1. 제 목

2021년 외래생물 정밀조사

2. 목 적

본 연구는 잠재적 위해성이 높은 외래생물의 자연 생태계 정착·확산 가능성 및 사회·경제적 영향을 파악하여 외래생물에 의한 피해를 선제적으로 차단하는 데 목적이 있다.

3. 연구내용 및 방법

가. 조사기간: 2021년 1 ~ 12월

나. 대 상 종: 나도솔새, 벳지, 돼지풀아재비, 외래꽃사슴, 늑대거북

다. 조사내용: 전국분포, 생육환경, 정착·확산 가능성, 생리·생태학적 특성, 생태계 및 사회경제적 영향, 경제적 가치

라. 조사방법: 종자발아, 매토종자 확인, 토양분석, 페놀화합물 분석, 피해 사례 조사, 포획조사, 무인 카메라 설치, 서식환경조사, 유전자 분석, eDNA분석 등

4. 연구결과

가. 나도솔새

나도솔새(*Andropogon virginicus* L.)는 북미 원산의 벼과 다년생 초본이다. 국내에서 1999년에 울산에서 최초로 발견된 이후 남부지역에 대규모 군락이 집중분포하며 분포 면적이 확대되고 있다. 전 세계 나도솔새 분포지의 기후자료를 이용해 국내 서식지 적합도 분석 결과, 강원도 내륙 산간 지역을 제외하고 적합도가 높게 분석되었다. 일사량을 제외한 온도와 강수량 관련 항목이 국내와 유사하여 기후 조건이 나도솔새의 정착 및 생육에 제한 요인이 되지 않을 것으로 판단된다. 그러나 높은 일사량을 요구하는 종이어서 산림으로의 침입은 어려울 것으로 판단된다. 온실 자연광 조건에서 발아율은 평균 58%였고 그중 5%가 당해 결실했다. 나도솔새 매토종자 밀도는 1,800개/m²로 높은 수준이었다. 나도솔새는 개체당 약 1,800개의 많은 종자를 맺는 식물이며 바람에 의해 분산되며 척박한 무기질토양에 쉽게 정착할 수 있어 분포가 확대될 수 있다. 김제지역은 산업단지 조성으로 인한 토양 교란 이후 대규모로 나도솔새가 침입(군락면적: 43ha)하여 나도솔새 순군락을 이루고 있어 종다양성 지수가 가장 낮았다. 바람에 날리는 다량의 종자를 생산하고 기후 유사성이 높으며 환경에 대한 내성 범위가 높아 추가 확산이 예상된다. 지금까지는 개활지나 나지와 같

은 교란지에 분포하고 종 다양성이 높은 식생으로의 침입은 확인되지 않았다. 천이 초기 종이어서 토양이 비옥해지고 다른 식물이 증가하면 자연적으로 영향이 감소할 것으로 예상되나 지속적인 확인이 필요하다. 나도솔새는 겨울 동안에 지상부가 유지되어 11월~3월 사이에 개체 식별이 용이하다. 나도솔새 제거를 위해서는 땅 파기가 용이한 11월 또는 3월에 뿌리뽑기를 통한 제거가 효과적일 것으로 보인다. 또한 종자가 결실하기 전 8~9월에 지속적인 지상부 제거가 필요할 것이다.

나. 벧지

벧지(*Vicia villosa* Roth)는 유럽과 서아시아가 원산의 콩과 일년생 덩굴성 초본이다. 전국 136개 지점에서 분포가 확인되고 있으며, 이는 농가 재배지에서 유출된 개체가 확산된 것으로 보인다. 서식지 유형을 분류한 결과 83%가 하천 제방 또는 도로변에서 관찰되었다. 기후변수를 이용한 국내 서식지 적합도 분석 결과에서는 전 세계 분포지 기후와 국내 기후 간의 유사도가 매우 높아 남한 전역이 벧지가 서식하기에 적합한 것으로 예측되었다. 온도에 따른 발아율 실험 결과, 저온(6°C)과 상온(22°C)의 최종 발아율의 차이가 없어 벧지의 저온 내성을 확인할 수 있었다. 자연생태계에 파종한 벧지 종자는 약 60%가 발아하여 벧지의 자연 확산이 우려된다. 벧지 재배지 주변지역 유출 여부를 조사한 결과, 농수로에 유출된 벧지가 관찰되어 유수를 통한 장거리 이동이 가능할 것으로 예상되었다. 방형구 조사 결과 중요치가 가장 높은 벧지(23%)와 2순위 개망초(8%)의 차이는 약 3배로 벧지 단일 종에 의한 우점을 확인할 수 있었다. 벧지는 지속적인 품종개량을 통해 화학비료를 대체할 녹비작물로 관심을 모으고 있다. 정부의 친환경 농업 확대 정책으로 벧지의 활용도는 더욱 높아질 것으로 예상된다. 벧지의 추가 확산을 막기 위해서는 종자가 맺히기 전 5월 초에 지상부 절단을 통한 제거 작업이 필요할 것이다. 벧지는 종자를 통해 번식하기 때문에 재배지 유출을 막기 위해서는 종자가 결실하기 전에 토양을 갈아엎어 추가 유출을 막을 필요가 있다. 또한 농수로를 통한 장거리 확산이 우려되므로 농수로의 벧지를 우선적으로 제거할 필요가 있다. 무엇보다 벧지는 단일 종에 의한 우점으로 토착 식물의 다양성을 저해할 수 있으므로 생물다양성 보호구역에 확산된 개체는 보다 적극적인 관리가 필요할 것이다.

다. 돼지풀아재비

돼지풀아재비(*Parthenium hysterophorus* L.)는 중앙아메리카, 멕시코 원산의 국화과 돼지풀아재비속의 일이년생 식물이다. 알레르기성비염, 피부 알레르기, 가려움증을 유발하고 농작물 생산량을 현저히 낮추어 2018년에 IUCN '세계 100대 위해 외래생물'로 지정했으며, 45개국 이상에서 농경지의 대표적인 위해종으로 보고했다. 국내에서는 현재 경남 고성과 창원에서 확인되었다. 답압, 예초 등 지속적인 교란이 있음에도 사라지지 않고 개체군이 유지되고 있었다. 돼지풀아재비는 내륙 산간지역보다는 기온이 온화한 남해안과 해양성 기후가 서식지 적합성이 높았다. 발아실험 결

과 종자의 최적발아온도는 20.5~23.7℃로 판단되고, 온도가 낮은 조건(6.1±0.5℃)에서는 발아가 되지 않았다. 돼지풀아재비 매토종자 밀도는 평균 14,837개/m²로 매우 높았다. 고성 돼지풀아재비의 타감물질을 분석한 결과 Caffeic acid와 Chlorogenic acid 성분이 검출되었으며, 이는 타 식물의 기공개도를 감소시킬 수 있다. 현재까지 국내에 분포하는 돼지풀아재비속에 속하는 종은 돼지풀아재비 1종만이 보고되어 있어 중간 교잡의 기능성은 미미할 것으로 보이며, 돼지풀아재비 단일 군락 우점에 의한 생물다양성 감소와 농작물 생산량 저하 등의 피해는 국내에서 확인되지 않았다. 그러나 돼지풀아재비는 다량의 종자를 생산하고, 건조, 답압, 고온 등에 대한 내성이 강하기 때문에 도로변, 하천 제방, 농경지 등 교란지에 빠르게 확산될 수 있다. 따라서 자생지 내 개체군 특성 및 개체군 동태에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 개체가 어느 정도 성장하고 종자가 맺기 전, 7월경에 뿌리째 뽑기를 통한 선제적 제거 사업을 하면 국내에서 완전 제거도 가능할 것으로 보인다. 또한 토양 내 종자 밀도가 높은 고성 거산리 지역은 4~5년의 장기적인 제거 계획이 필요할 것이다.

라. 외래꽃사슴

외래꽃사슴은 국내 가축, 약용, 전시를 목적으로 의도적으로 도입되었다. 꽃사슴 사육농가는 2000년대 초반에 활발하게 운영이 되었으나 지속적으로 쇠퇴하여 사육 개체에 대한 관리 소홀로 자연생태계로 유출되었다. 또한, 종교 활동으로 인한 방사로 인해 외래꽃사슴이 확산이 증가 되었다. 국내 자연생태계 내 외래꽃사슴의 서식 현황을 파악하기 위해 강원도, 충청도, 경상도, 전라도, 도서지역(제주도, 백령도) 등에서 민원 제보와 문헌 조사를 바탕으로 무인센서카메라를 설치하여 현장조사를 실시하였다. 또한, 외래꽃사슴을 사육하는 사슴농장을 방문하여 유전자 샘플을 확보하였다. 확보된 유전자 샘플을 대상으로 CytB 프라이머를 제작하였으며, 이를 이용한 DNA 계통분석을 통해 외래꽃사슴 5종(*C. n. taiouanus*, *C. n. yesoensis*, *C. n. keramae*, *C. n. yakushimae*, *C. n. sichuanicus*)이 서식하는 것을 확인하였다. 또한 외래꽃사슴의 전국 서식 현황, 사육농장 및 주변 유기 탈출 개체, 외래꽃사슴의 정착과 확산, 생태계 및 사회 경제에 대한 영향을 파악하였다.

마. 늑대거북

늑대거북은 독특한 생김새로 인해 애완동물로 인기가 있는 생물이다. 하지만 빠른 성장과 성체가 되면 관리비용 및 노력의 증가, 넓은 사육 환경의 요구 등으로 자연 생태계에 유기될 가능성이 높은 종으로 최근 2년간 14지점에서 확인되었다. 늑대거북의 원산지 기후조건과 환경이 국내와 매우 유사하여 국내 야생에서의 적응도가 매우 높을 것으로 사료된다. 현장조사 결과 9종 96개체의 외래거북이 확인되었고, 붉은귀거북, 리버쿠터 등이 확인되었지만, 늑대거북은 확인되지 않았다. 번식 확인을 위해 6개 지점 182개의 외래거북의 알을 대상으로 DNA barcode 연구결과 늑대거북의 알 1개가 확인되었다. 일광욕을 하지 않은 특성상 육안조사만으로는 서식여

부를 확인하기에는 어려움이 있다. 이에 보다 정밀하게 서식여부를 확인하기 위해 eDNA를 연구에서 16개 지점에서 수행하였으며, 시료 분석결과 모든 시료에서 음성 반응으로 확인되어 늑대거북이 검출되지 않았다. 이는 개체의 서식 밀도가 매우 낮거나, 시료 내 DNA의 주형 수가 너무 적어 검출하기에 어려움이 있을 수 있다. 늑대거북은 수명이 길고, 최상의 포식자이며, 무는 힘이 강하기 때문에 생태계 교란뿐만 아니라 인시시고의 위험도 있어 적극적인 관리가 필요하다.

5. 연구결과의 활용에 대한 건의

가. 종별 연구결과 활용

- (1) 나도솔새의 전국 서식 조사, 기후적합성, 개체군 특성 및 생태계에 미치는 영향을 파악하여 관리방안 수립
- (2) 벵지의 정착·확산 가능성, 생태계 위해성을 파악하고, 추가 확산 방지를 위한 관리방안 수립
- (3) 돼지풀아재비의 개체군 특성 및 서식 환경 파악을 통해 생태계 위해성을 분석하고, 향후 자연생태계 확산 가능성 예측 및 관리방안 수립
- (4) 외래꽃사슴류의 생태적 특성, 서식현황 및 피해 사례를 조사하여 생태계 및 경제적 영향을 파악 등 외래사슴에 대한 관리 방안 수립
- (5) 늑대거북의 생태적 특성, 서식현황 및 피해 사례를 조사하여 생태계 및 경제적 영향을 파악 등 늑대거북에 대한 관리 방안 수립

목 차

요약문	i
목차	v
표목차	vii
그림목차	ix
Abstract	xiii
I. 서론	1
II. 외래식물	4
1. 나도솔새(<i>Andropogon virginicus</i> L.)	4
가. 서론	4
나. 연구내용 및 방법	5
다. 연구결과 및 고찰	7
2. 벧지(<i>Vicia villosa</i> Roth)	27
가. 서론	27
나. 연구내용 및 방법	27
다. 연구결과 및 고찰	30
3. 돼지풀아재비(<i>Parthenium hysterophorus</i> L.)	50
가. 서론	50
나. 연구내용 및 방법	51
다. 연구결과 및 고찰	54

III. 외래동물	76
1. 외래꽃사슴류(<i>Cervus nippon</i> spp.)	76
가. 서론	76
나. 연구내용 및 방법	77
다. 연구결과 및 고찰	79
2. 늑대거북(<i>Chelydra serpentina</i> Linnaeus)	93
가. 서론	93
나. 연구내용 및 방법	94
다. 연구결과 및 고찰	99
IV. 결론 및 제언	114
1. 나도솔새	114
2. 벤틀지	114
3. 돼지풀아재비	115
4. 외래꽃사슴류	116
5. 늑대거북	117
참고문헌	118

표 목 차

표 1. 외래생물 정밀조사 및 생태계위해성 평가 대상종	2
표 2. 2021년 외래생물 정밀조사 대상종 선정사유	3
표 3. 나도솔새 조사지역 토양 이화학적 특성	14
표 4. 나도솔새 군락의 메토종자 중요치(%)	17
표 5. 나도솔새 잎으로부터 검출된 타감물질	19
표 6. 나도솔새 군락 출현 식물 종별 중요치(전국 30개 지점)	20
표 7. 토양 이화학 특성 항목별 전처리 및 분석 방법	29
표 8. 벚지 조사지역 토양 이화학적 특성	36
표 9. 김제지역 벚지 군락 출현 식물 중요치(%)	43
표 10. 논산지역 벚지 군락 출현 식물 중요치(%)	44
표 11. 서천 지역 벚지 군락 출현 식물 중요치(%)	45
표 12. 페놀화합물 분석방법	53
표 13. 2020년 돼지풀아재비 조사지역(거산리, 당동항) 토양 이화학적 특성	61
표 14. 돼지풀아재비 군락의 메토종자 중요치(%)	65
표 15. 2021년 돼지풀아재비 군락 출현 식물 중요치(%)	69
표 16. 돼지풀아재비 식물체로부터 분리된 타감물질	74
표 17. DNA 분석을 위한 국내 사육 외래꽃사슴 샘플 현황	78
표 18. 외래꽃사슴의 종 동정을 위한 Cytochrome B 유전자 증폭용 프라이머	79
표 19. 외래꽃사슴 아종 목록 및 원산지	80
표 20. 외래꽃사슴 아종별 서식현황	81
표 21. 지역별 외래꽃사슴 농장 보유 현황	85
표 22. 외래꽃사슴류 및 애조사슴 보유 병원군	87

표 23. 국내 사슴농장에서 사육 중인 외래꽃사슴의 샘플 채취	88
표 24. 늑대거북 전국분포조사 및 중점조사지역	94
표 25. 늑대거북 중 특이마커 정보	97
표 26. 문헌조사를 통해 확인된 늑대거북의 출현지점	102
표 27. 늑대거북 출현지의 현장조사 중 발견된 거북류	103
표 28. 거북류 알을 이용한 DNA barcode 결과	105
표 29. 늑대거북 환경시료 확보 지역 및 eDNA 검출 결과	108
표 30. 인터넷, 신문기사, 문헌조사를 통해 확인된 늑대거북의 확인	109

그림 목 차

그림 1. 외래생물 정밀조사 및 생태계 위해성평가 체계도	3
그림 2. 토양중자은행 발아 실험을 위한 화분(좌), 실험 진행 사진(우)	6
그림 3. 전북 전주 나도솔새 군락 및 나도솔새 종자 사진	8
그림 4. 전국 나도솔새 출현지점별 분포 면적	9
그림 5. 나도솔새 국외 분포도	9
그림 6. 전국 30개 나도솔새 분포지점 서식처 유형 분류	10
그림 7. 나도솔새 자생지 기후에 따른 서식 가능성과 국내 평균 기후 비교	11
그림 8. 나도솔새 서식지 적합도 분석(Randomforest, ROC: 0.942) 결과	12
그림 9. 나도솔새 대군락 6개 지점 분포도 및 군락면적	13
그림 10. 나도솔새 조사지역(김제, 나주, 영광, 전주, 하동)의 종 조성 및 토양 이화학적 특성의 NMDS분석	15
그림 11. 나도솔새 집중조사 지역의 종다양성 지수 및 김제시 산업단지 나도솔새 대군락 드론 사진	15
그림 12. 온실(자연광, 상토)에서 나도솔새 종자 50개에 대한 발아율	16
그림 13. 나도솔새 군락(전주) 매토종자 발아 개체수	17
그림 14. 나도솔새 종자 파종 후 발아 밀도 및 높이 변화	19
그림 15. 나도솔새가 분포하는 30개 지점에서 출현 식물별 중요치	20
그림 16. 군산 벚지 군락(왼쪽) 및 벚지 개화 사진(오른쪽)	30
그림 17. 전국 136개 벚지 분포 지점	31
그림 18. 국외 벚지 분포 지점	32
그림 19. 벚지 분포지점 서식처 유형 분류	32
그림 20. 벚지 출현 가능성과 국내 평균 기후 비교	34
그림 21. 벚지 서식지 적합도 분석(Randomforest, ROC: 0.880) 결과	35
그림 22. 논산지역 벚지 열매에서 관찰된 종자 및 <i>Bruchus brachialis</i> 성충의 수컷과 암컷	35

그림 23. 조사 지역별 벚지 종자 결실률 및 발아 개체수	36
그림 24. 벚지 조사지역(김제, 논산, 서천)의 종조성과 토양 이화학적 특성의 NMDS분석	37
그림 25. 벚지 종자 발아 실험	38
그림 26. 온도에 따른 발아율 및 온실(자연광, 상토)에서 발아율	38
그림 27. 벚지 발아율 및 생존율 변화	39
그림 28. 벚지 식재지(오렌지색 구역: 군산시 나포면)에서 유출된 벚지 지점 및 식재지에서 유출된 벚지 사진	39
그림 29. 벚지 대규모 군락 벚지 분포도	42
그림 30. 벚지 군락(전국 21개 지점)의 출현 식물종 중요치 비교	47
그림 31. 김제, 서천 및 논산 계절별 벚지 군락 군집 분석	48
그림 32. 토양종자은행 발아 실험을 위한 화분(좌), 실험 진행 사진(우)	52
그림 33. 경남 고성 돼지풀아재비 군락 및 개화사진	55
그림 34. 문헌 자료에 근거한 전국 분포 지점, 경남 고성 돼지풀아재비 분포 지점	56
그림 35. 국외 돼지풀아재비 분포 지점 및 위해생물로 관리하고 있는 국가	56
그림 36. 돼지풀아재비 동반 출현 종 수변식물 유형 분류	57
그림 37. 돼지풀아재비 출현 가능성(붉은색 선그래프)과 국내 평균기후(파란색 직선) 비교	59
그림 38. 돼지풀아재비 서식지 적합도 분석 결과	59
그림 39. 경남 고성군 돼지풀아재비 분포지점	60
그림 40. 거산리와 삼락리의 돼지풀아재비 군락 사진	60
그림 41. 돼지풀아재비 분포지 토양 이화학적 특성 주성분 분석	61
그림 42. 돼지풀아재비 지상부 길이 및 개체 밀도	62
그림 43. 돼지풀아재비의 종자 및 꽃 사진	63
그림 44. 돼지풀아재비 종자발아 실험 사진	64
그림 45. 실험실(인공광, 종이배지)온도에 따른 발아율, 온실(자연광, 상토)에서 발아율	64

그림 46. 돼지풀아재비 매토종자에서 종별 발아 개체수	65
그림 47. 돼지풀아재비 종자 파종 후 발아 밀도 및 높이 변화	68
그림 48. 2020년 돼지풀아재비 군락(D: 당동향, G: 거산리) 월별(7월, 9월) 군락 종조성 군집 분석	72
그림 49. 2021년 돼지풀아재비 군락 출현 식물 중요치	73
그림 50. 2021년 국내 자연생태계 내 외래꽃사슴의 서식현황	81
그림 51. 외래꽃사슴의 전세계적 분포현황(GBIF)	81
그림 52. 종분포모델을 적용한 외래꽃사슴의 분포 예측 결과	83
그림 53. 외래꽃사슴의 먹이 섭식에 따른 수목 피해 현황	86
그림 54. 외래꽃사슴에 기생하는 진드기	87
그림 55. 국내 사슴농장에서 사육하는 외래꽃사슴의 CytB 유전자를 이용한 계통수 분석	89
그림 56. 외래꽃사슴 뽕질에 의한 수목피해 현황	90
그림 57. 홋카이도 동부와 서부지역의 에도사슴에 의한 피해 금액	91
그림 58. 1993년~2013년까지 홋카이도에서 사냥된 에조사슴의 수	92
그림 59. 늑대거북 중점조사지역 및 전국조사지역	95
그림 60. 늑대거북 조사사진 및 발견서식지 환경사진	96
그림 61. 늑대거북 검출을 위한 eDNA 샘플 채수	98
그림 62. 2019~2021년까지 국내에서 확인된 늑대거북 출현지점	100
그림 63. 늑대거북 분포지도	101
그림 64. 경기도 수원시 일왕저수지 늑대거북 알 및 발견지점 사진	105
그림 65. 늑대거북 염기서열 NCBI Blast 결과	106
그림 66. 늑대거북 출현자료	110

Abstract

The spread of alien species into the native ecosystems has reduced biodiversity and altered ecosystem functions as well as having harmful effects on the social economy. Recent research showed that the cost of invasive alien species reached an annual mean cost of 31 trillion won in several countries and a maximum of 17 trillion won in South Korea over the past few decades (1970~2017). Recently, as the demand for unusual pets (e.g. tropical fish, turtles, mammals, etc.) has increased, the number of cases of purchasing alien species on the internet has increased significantly. As a result, various alien species are flowing into South Korea in addition to traditionally imported species. In fact, the number of alien species introduced in South Korea has increased rapidly by about 2.4 times over the past 10 years.

The best strategy to manage invasive alien species is to block their introduction into the country, and in the case of introduced species, complete eradication should be carried out at an early stage after the rapid risk assessments of alien species on the domestic ecosystem. High-risk species are designated as invasive alien species, but it is difficult to completely eradicate several species (e.g. *Sicyos angulatus*, *Micropterus salmoides*, and *Lycorma delicatula*) that have already spread across the country. Due to the rise in temperature and precipitation caused by climate change, the habitats of invasive alien species on the Korean Peninsula are increasing, and the reactions of species are altering in terms of eco-physiological aspects. This project aims to identify the invasion of alien species into the natural ecosystem and their social-economic effects, and these results can be used in the risk assessment database. Based on expert opinions, the results of the field survey, and civil complaints, we had selected three plants species (*Andropogon virginicus*, *Vicia villosa*, *Parthenium hysterophorus*) and two animal species (*Cervus nippon* spp., *Chelydra serpentina*) to reveal their harmful effect on the ecosystem.

Broomsedge, *Andropogon virginicus*

Andropogon virginicus L. is an herbaceous perennial plant (Poaceae) which is native to North America. Since this plant has been first found in Ulsan in 1999, its distribution areas have been expanded rapidly in the southern area. The suitable habitats in South Korea which are derived from climate data from the global distribution of this species show that the suitability was high except for inland mountain area in Gangwon. The climate variables related to temperature and precipitation, excluding solar radiation, are similar to those in Korea, so it is

judged that climate conditions will not be a limiting factor in the settlement and growth of this plant. In greenhouse natural light conditions, the germination rate was averaged 58%, of which 5% were produced seeds, the density of soil seed bank of *A. virginicus* was high at 1,800/m². This plant can produce 1,800 seeds per individual which can be spread by the wind and can easily settle on barren soil. These results revealed that its distribution areas can be expanded. In the Gimje area, after the soil disturbance caused by the construction of the industrial complex, *A. virginicus* invaded on a large scale (area: 43ha) and had the lowest plant species diversity. Until now, it has been mainly distributed in disturbed areas such as roadsides and bare areas, and invasion into vegetation colonies with high species diversity has not been founded, but further spread is expected due to its high resistance to the environment and production of large amounts of seeds blown by the wind. As this plant is early successional species, it is expected that the ecological effect will be decreased as the soil becomes fertile and other plants increase, but continuous expansion monitoring is required.

Fodder vetch, *Vicia villosa*

Vicia villosa is an herbaceous annual plant (Fabaceae) which is native to Europe and west Asia. This plant was found in 136 points in South Korea based on National alien species survey. The results of habitat suitability revealed that the similarity between the global distribution climate and the domestic climate was high, and it was confirmed that entire South Korea had high climate suitability. The germination experiment showed that seed germination was delayed by 5~6 days in a low temperature environment, but the final germination rate did not differ between low temperature and room temperature, which confirmed low-temperature tolerance. The germination rate in the natural ecosystem was about 60%, which suggest that this plant can germinate and spread into other habitats. In particular, *V. villosa* was observed around agricultural waterways, which is raise concerns about long-distance movement through running water. Field survey results revealed that the difference between the importance value of *V. villosa*(23%) and *Erigeron annuus*(8%) was three times. This plant is representative green manure species that can replace chemical fertilizer and its varieties are continuously improved. In addition, the utilization of *V. villosa* may increase under the government's policy to encourage eco-friendly agriculture. In order to prevent further outflow of *V. villosa* into natural ecosystem, it is necessary to grind rice paddies before bearing fruit. As long-distance spread is expected through agricultural waterways, it is necessary to block the inflow of *V. villosa* around agricultural waterways.

Parthenium weed, *Parthenium hysterophorus*

Parthenium hysterophorus is an annual plant of the Asteraceae family, native to Central America and Mexico. It was designated as IUCN '100 of the World's Worst Invasive Alien Species' in 2018 due to allergic rhinitis, skin allergy, itching, and significantly lowering crop yields. This plant was reported as a harmful invasive species in more than 45 countries. In South Korea, it has been observed in Goseong and Changwon, Gyeongnam. Its population was maintained for several years despite continuous disturbances such as soil compaction and mowing. This species has a higher habitat suitability in the southern marine climates, where the temperature is milder than the inland mountainous regions. The germination test showed that the optimum germination temperature was 20.5~23.7°C, and germination did not occur at low temperature conditions (6.1±0.5°C). The number of buried seeds of *P. hysterophorus* was an average of 14,837 seeds/m². Allelopathic compounds such as caffeic acid and chlorogenic acid were detected in the leaves and stems of *P. hysterophorus*, which may decrease the opening of stomatal aperture of other plants. We could not find the decrease in plant diversity and crop degradation due to the dominance of this species. However, this species produces many seeds and has high resistance to drought, soil compaction, and high temperature, which can lead to quickly dispersed in disturbed areas such as roadsides, river banks, and agricultural land. Therefore, this plant must be removed before seeds production, and population dynamics should be monitored in its habitats.

Sika deer, *Cervus nippon* spp.

Exotic deer(*Cervus* spp.) were intentionally introduced for domestic livestock, medicinal usage. Deer farms were actively run in the early 2000s but continued to decline from this time. Exotic deer were introduced into the natural ecosystem due to negligent of its farming. In addition, its spreading was increased because of the releasing this species for religious activities. To figure out the status of exotic deer in natural ecosystem, camera traps survey was conducted in Gangwon-do, Chungcheong-do, Gyeongsang-do, Jeolla-do, and island regions(Jeju-do, Baengnyeong-do) based on the literature survey data. We collected genetic samples to make CytB primers in exotic deer farms. DNA Phylogenetic analysis was confirmed the presence of 5 exotic deer species (*C. n. taiouanus*, *C. n. yesoensis*, *C. n. keramae*, *C. n. yakushimae*, *C. n. sichuanicus*) in Korea. In addition, their distribution in the ecosystem, the status of their

abandonment and escape from farms, and the impact on the ecosystem and social economy were identified.

Snapping Turtle, *Chelydra serpentina* (Linnaeus, 1758)

The Common Snapping Turtle(*Chelydra serpentina*) is a popular pet because of its unique appearance. However, this species is likely to be abandoned in the natural ecosystem due to its rapid growth and management costs when it becomes an adult. Since the climatic conditions and environment of origin of *C. serpentina* are similar to those of Korean Peninsula, it is considered that the possibility to adapt in the domestic ecosystems is very high. The field survey showed that 96 alien turtles of 9 species including red-eared slider(*Trachemys scripta elegans*) and river cooters(*Pseudemys concinna*) were identified. However, *C. serpentina* have not been identified. To confirm domestic reproduction of *C. serpentina*, a total 182 eggs collected from 16 survey area were analyzed using DNA barcode, and one egg of *C. serpentina* was identified. Due to the ecological characteristics of *C. serpentina*, it is very difficult to confirm whether or not *C. serpentina* inhabit in the field. In order to more precisely check the habitat, eDNA method was performed at 16 points in the study, and all samples were confirmed to be negative. It may be difficult to detect its presence using eDNA method because the population density of the individual is very low, or the number of DNA templates in the sample is too small. As the *C. serpentina* is a long-lived predator, it can disturb the ecosystem function. In addition, the strong biting force can injure people.

I. 서 론

국가 간 교역량 증가로 다양한 외래생물의 국내 유입이 증가하고 있다. 이로 인해 국내 토착 생물의 다양성 감소와 직접적인 사회·경제적 손실이 발생하고 있다(방상원 등, 2004). 생물다양성에 대한 국제적인 관심과 침입외래생물 제거 노력에도 불구하고 전 세계적으로 확인된 외래생물의 종수는 지속적으로 증가하였다(IPBES, 2019). 국내에 도입된 외래생물의 경우도 최근 10년간 약 2.4배로 급격하게 증가하였으며, 최근에는 이색 애완동물(열대어, 거북, 곤충류 등)에 대한 수요가 많아지고 있어, 전통적으로 수입되는 종 이외에 다양한 외래생물이 온라인 구매를 통해 국내로 유입되고 있다(환경부, 2019).

국내에서는 이미 침입외래생물에 의한 피해가 다양하게 보고되고 있다. 가시박은 하천을 따라 급속히 확산하여 식물 다양성 감소와 함께 초식 동물의 먹이 자원이 감소하고 있다. 수생태계에서는 블루길과 큰입배스 개체군 증가로 토착어종이 빠르게 감소하고 있다(한국과학기술기획평가원, 2016). 꽃매미, 갈색날개매미충, 미국선녀벌레, 미국흰불나방 등 외래곤충은 농업 생산량에 막대한 피해를 입히고 있으며, 붉은불개미와 등검은말벌은 도심지에 출몰하여 피해를 일으키고 있다(한국과학기술기획평가원, 2016). 최근 심화되는 기후변화로 침입 외래생물의 한반도 내 서식 및 월동 가능 지역이 증가하고 있으며, 외래생물의 생리·생태적 반응에도 영향을 주고 있다(환경부, 2019). 또한 빈번한 산불, 홍수 등의 자연재해와 인간 활동에 의한 도착종 서식지 파괴는 외래생물의 침입 가능성을 높이고 있다(환경부, 2019). 이처럼 급속한 외래생물 유입과 환경변화로 외래생물의 확산 가능성이 높아지고 있어 외래생물의 도입 단계에서부터 객관적인 위해성평가 및 위해 외래생물 선별이 필요하다. 또한 위해성이 우려되는 종에 대해서는 신속한 정밀조사를 통해 생태 자료를 구축하여 체계적인 관리를 해야 한다(Paini et. al., 2016; 김아름 등, 2020).

‘외래생물 정밀조사’ 사업은 국내 도입된 위해 외래생물의 생태계 침입성 및 사회·경제적인 영향을 파악하여 외래생물로 인한 피해에 선제적으로 대응하는 데 목적을 두고 있다. 외래생물 정밀조사를 통해 2006년부터 2021년까지 총 93종을 연구하였으며, 이 중 85종(동물 43종, 식물 42종)은 생태계위해성 평가를 통해 위해성을 평가했다(표 1). 본 사업은 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 제21조2(위해성 평가) 및 「제4차 국가생물다양성전략(‘19~’23)」 전략2(생물다양성보전을 위한 추진 과제)로써 외래생물의 체계적 관리 방안 수행)에 의거 생태계위해성 평가 근거 자료 마련을 위한 정밀조사를 실시하였다(그림 1). 2021년에는 35종에 대한 학회 전문가 의견 수렴, 민원 발생 등을 근거로 식물 3종(나도솔새, 뱀지, 돼지풀아재비)과 동물 2종(외래꽃사슴류, 늑대거북)에 대한 정밀조사를 수행하였다(표 2). 연구 내용은 생태계위해성평가 표에 근거하여 대상종의 정착·확산 가능성, 생태계 및 사회·경제에 대한 영향, 경제적 가치 연구에 집중하였다.

표 1. 외래생물 정밀조사 및 생태계위해성 평가 대상종

연도	외래생물 정밀조사			위해성 평가		
	종수	동물	식물	종수	동물	식물
계	93	51	42	90	45	45
'06	11	뉴트리아, 붉은가재, 까치, 흑염소, 사슴	서양금혼초, 양미역취, 미국미역취, 쇠채아재비, 나도독마리, 캐나다영경취	※ '06~'10까지는 외래생물 정밀조사를 시행하고 생태계 위해성을 평가하여 생태계교란종 지정 건의 ※ 2011년 3월(외래생물의 생태계위해성 평가 방법 등에 관한 규정이 제정) 이후는 이 규정에 따라 생태계위해성 평가		
'07	6	왕우렁이, 떡봉어, 산천어	애기수염, 가시비름, 미국썩부쟁이			
'08	5	사향쥐, 무지개송어	비짜루국화, 미국가막사리, 큰김의털	7	뉴트리아, 떡봉어, 왕우렁이	서양금혼초, 양미역취, 애기수염*, 미국썩부쟁이*
'09	5	중국붕어, 집쥐, 꽃매미	가시상추, 나래가막사리	7	꽃매미*, 집쥐	가시상추, 큰김의털, 비짜루국화, 미국가막사리, 나래가막사리
'10	5	돼지풀잎벌레, 고양이	가족나무, 족제비싸리, 창질경이			
'11	6	미국선녀벌레, 미국흰불나방, 염소	가족나무, 미국실새삼, 만수국아재비	11	사향쥐, 꽃매미, 고양이, 돼지풀잎벌레	가시상추, 큰김의털, 미국가막사리, 가족나무, 나래가막사리, 창질경이, 비짜루국화
'12	6	방패광대노린재, 외래거북 3종	울산도깨비바늘, 큰비짜루국화	6	염소, 미국선녀벌레, 미국흰불나방	족제비싸리, 미국실새삼, 만수국아재비
'13	5	등검은말벌, 버즘나무방패벌레, 왕달팽이	미국좀부처꽃, 대청가시풀	6	등검은말벌, 방패광대노린재	가시비름, 미국미역취, 울산도깨비바늘, 큰비짜루국화
'14	6	늑대거북, 악어거북, 갈색날개매미충, 해바라기방패벌레, 대만꽃사슴	달맞이꽃	8	늑대거북, 악어거북, 갈색날개매미충, 버즘나무방패벌레, 대만꽃사슴	큰도꼬마리, 백령풀, 뚝딴지
'15	6	집토끼, 알팔파바구미, 나일틸라피아	갯줄풀, 영국갯끈풀, 앵무새깃	8	굴토끼, 무지개송어, 알팔파바구미, 해바라기방패벌레	갯줄풀*, 영국갯끈풀*, 물냉이, 앵무새깃
'16	6	사향쥐, 쿠터류, 뽕족날개선녀벌레	왕도깨비가지, 서양갯냉이, 미국자리공	8	사향쥐, 나일틸라피아, 쿠터류, 미국선녀벌레, 왕달팽이	왕도깨비가지, 미국자리공, 환삼덩굴
'17	6	왕우렁이, 리버쿠터, 무창어, 소나무허리노린재	들목새아재비, 점개구리밥	6	왕우렁이, 리버쿠터, 무창어, 소나무허리노린재	서양갯냉이, 점개구리밥
'18	5	라쿤, 중국줄무늬거북, 미국가재	큰금계국, 마늘냉이	6	미국가재, 중국줄무늬목거북, 등검은말벌	큰금계국, 마늘냉이, 들목새아재비
'19	5	라쿤, 구피, 붉은배쿠터류	핑크물리, 도꼬마리속	7	악어거북, 플로리다붉은배거북, 긴다리비틀개미, 라쿤, 구피	도꼬마리속, 핑크물리
'20	5	외래사슴류, 아르헨티나개미, 브라운송어	벤티지, 돼지풀아재비	5	외래사슴류, 아르헨티나개미, 브라운송어	벤티지, 돼지풀아재비
'21	5	외래꽃사슴류, 늑대거북	나도술새, 벤티지, 돼지풀아재비	5	외래꽃사슴류, 늑대거북	나도술새, 벤티지, 돼지풀아재비

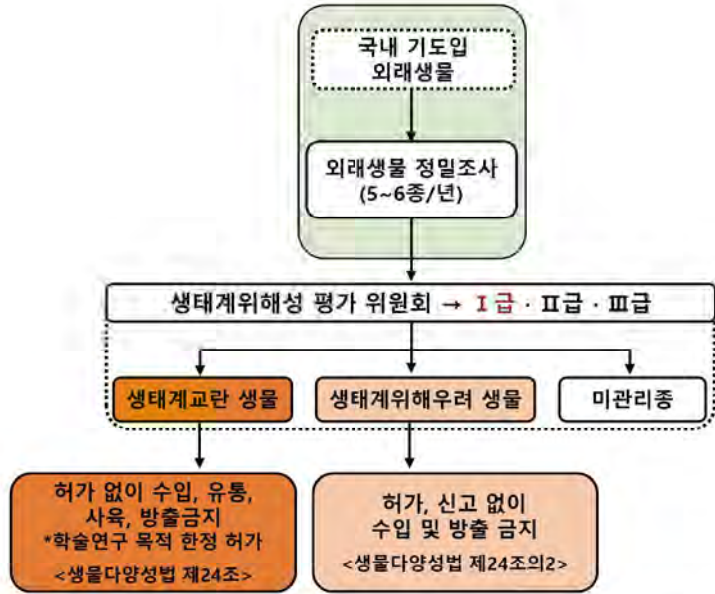


그림 1. 외래생물 정밀조사 및 생태계 위해성평가 체계도.

표 2. 2021년 외래생물 정밀조사 대상종 선정사유

구분	종 명	선정 사유
식물	나도솔새 (1년차) (<i>Andropogon virginicus</i>) 원산지: 북아메리카	- 일본, 호주 등에서 종합적인 대책이 필요한 종으로 지정 - 남부지역을 중심으로 분포 면적이 확산 - 도로변, 공터 주변지역으로 빠르게 확산(→생물다양성 감소 야기) - 지상부(고사체)가 겨울부터 봄까지 남아있어 들불을 야기
	벧지 (2년차) (<i>Vicia villosa</i>) 원산지: 유럽, 서아시아	- 금강, 낙동강 유역 하천변으로 빠르게 확산 - 덩굴성 초본으로 기존의 식생을 피복하여 토착 식물다양성 감소 야기 - 벧지 확산 및 위해성에 대한 민원 지속적으로 발생 - 경제적 활용성 및 대체 가능 식물 파악 필요
	돼지풀아재비 (2년차) (<i>Parthenium hysterophorus</i>) 원산지: 멕시코, 브라질 등	- IUCN 세계 100대 악성 침입외래종 (2018년 기준) - 남부지역(고성, 통영)에서 분포 확인 - 약 45개 국가에서 악성 잡초로 등록(작물 생산량 감소 피해 발생) - 건조에 강하며, 종자 생산량이 많고 원거리 분산 가능 - 국내 추가 분포지역 및 생활사 파악 필요
동물	외래꽃사슴류 (2년차) (<i>Cervus nippon</i> spp.) 원산지: 대만, 일본 등	- 도서지역을 중심으로 외래사슴류의 분포가 지속적으로 확대 추세 - 국립공원 등 보호지역에 과도한 초본류 섭식으로 황폐화 야기 - 급격한 개체수 증가로 로드킬 및 인명사고 증가 우려 - 고유종과의 경쟁 및 교잡에 의한 피해 발생
	늑대거북 (1년차) (<i>Chelydra serpentina</i>) 원산지: 북아메리카	- 높은 공격성으로 인간에게 직접적인 피해 가능 - 비교적 저렴한 애완 거북으로 생태계 유출 가능성 높음 - 다양한 토착생물을 먹이원으로 하여 생태계 먹이사슬 교란 - 자연 생태계에 늑대거북 성체를 포식할 생물 부재

Ⅲ. 외래식물

1. 나도솔새(*Andropogon virginicus* L.)

가. 서론

나도솔새는 북아메리카 원산의 벼과 C4 다년생초본이며, 라운키에르 성장형에 따른 구분은 '반지중식물'이다(Uchytıl, 1992). 미국 동북부에서 남북부까지 자생지에서 매우 우점하고 비의도적인 유입에 의해 미국 서부, 아시아, 오세아니아 및 유럽으로 분포범위가 확산되고 있다(Alba et al., 2019). 이 종은 토양이 척박하고 건조한 교란지에 공격적으로 침입하는 종이다. 특히, 하와이에서 다른 식물 종을 위협하는 종으로 여겨 '위해 잡초목록(noxious weed list)'으로 지정했다. 국외에서 보고되는 생태계 위해성은 산불 체제를 변화시키고, 타감작용을 통해 생물다양성을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Gould, 1978; Hughes et al., 1991; Uchytıl, 1992).

형태학적으로 줄기는 직립하며 말단에서 분지하여 촘촘하게 자라고 높이는 50-120cm까지 자란다(Yang et al., 2008). 줄기 색은 밝은 녹색에서 갈색을 띠고(Weber, 2003), 잎집에는 긴 섬모가 있으며 잎혀는 노란색에서 갈색이고 막질이며 길이는 0.6~0.9mm이다(Alba et al., 2019). 잎몸은 길이 10~40cm, 너비 2.5~4.5mm이며, 가장자리에 털이 있다(Yang et al., 2008). 종자를 많이 맺는 식물이며 하나의 대(culm)에 50개 이상의 총상화서(raceme)가 있으며, 각 화서에 8~12개 소수(spikelets)가 달린다(Voight, 1959). 종자 개수는 개체당 약 1,800개이며, 종자 무게는 1.00~3.39mg으로 생육지 환경에 따른 차이가 있다(EPPO, 2018a). 개체 수명은 평균적으로 3~5년이며, 생육기가 끝나면 지상부가 고사하고 고사체가 서서 남아있다(Golley, 1965).

주로 개방지에 자라고 특히 길가, 경작지, 과도하게 방목한 초원 등 교란지에 흔하게 출현한다(Gould, 1978; Ohlenbuseh et al., 1983; Grelen, 1984; Stubbendieck et al., 1986). 질소와 인 함량이 낮은 척박한 토양에서 순군락을 유지할 수 있고(Peters & Lowance, 1974; Uchytıl, 1992), 수지상균근과의 공생관계를 통해 알루미늄 저항성이 높아 산성토양에서도 생육이 가능하다(Cumming & Ning, 2003). 뾰뾰하고 넓게 확산하며 매우 경쟁적이어서 나도솔새 군락은 식물 다양성이 낮다(Uchytıl, 1992). 특히 생물량 대비 고사체의 비율이 높고 상대습도와 고사체 자체의 습도가 높은 상태에서도 탈 수 있어 들불을 촉진할 수 있다(Hughes et al., 1991). Hughes et al. (1991)은 불에 탄 이후 96시간 이내에 움싹(sprout)으로 재생하는 것으로 보아 불에 적응한 종이라고 언급했다.

국내에서는 1999년에 울산에서 최초로 발견했고(오세문 등, 2003), 현재 경상도, 전라도, 충청도, 속초 및 양양에 분포하고 있다. 특히 남부지역의 도로변과 공사장

등 메마르고 건조한 나대지에 대규모 군락이 집중 분포하며, 분포 면적이 점차 확대되고 있는 추세이다. 이에 정밀조사를 통해 생태계위해성 및 사회·경제적 영향을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 나도솔새의 생태적 위해성을 파악하기 위해 자연 생태계 분포 실태 파악, 기후 적합성 예측, 서식환경 특성 분석, 종자발아 실험, 토양중자은행, 타감작용 여부 등을 조사했다.

나. 연구내용 및 방법

(1) 기후적합성 예측

전국 30개 지점(김제시, 하동군, 진주시, 전주시, 울진군 및 울주군 등)을 조사하여 나도솔새 서식처 유형을 분류하였다. 전 세계 분포지 기후와 국내 기후를 비교하기 위해 식물 생장의 주요 기후 요인 5개 항목(연평균기온, 연간온도범위, 연강수량, 가장 건조한 분기의 강수량, 일사량)에 대해 WorldClim(www.worldclim.org)에서 자료를 수집하여 국내외 분포지의 기후를 비교하였다. R(version 3.6.3)과 QGIS(version 3.10) 프로그램을 활용한 머신러닝 기법(Randomforest)을 적용하여 서식지 적합도 분석을 수행하였다.

(2) 식생조사 및 토양분석

식생조사는 전국 30개 조사지점에 총 263개의 방형구(1m×1m)를 설치하여 Braun-Blanquet법에 따라 방형구 조사를 실시하였다. 방형구 내의 출현종의 상대빈도와 상대피도를 이용하여 각 종의 중요치(범위: 0~100)를 산출하였다. 식물종 다양성은 Shannon-Wiener 다양성지수를 이용하였다.

자생지의 토양환경을 파악하기 위해 중점 조사지역(김제, 나주, 영광, 전주 및 하동)내 5곳에서 8~10월에 토양을 채취하였고, 채취한 토양 시료는 폴리에틸렌 백에 넣어 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 식물체의 생육에 영향을 주는 토성(모래, 미사, 점토), 전질소(TN), 유효인산(AP), 치환성양이온(Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+), 양이온치환용량(CEC), 토양수분 및 유기물함량을 분석하였다. 토성, 양이온치환용량과 치환성양이온은 농업과학기술원(2000)의 토양 및 식물체분석법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석을 진행하였다.

나도솔새 중점조사지역(김제, 나주, 영광, 전주 및 하동)에서 중요치가 높은 12개 식물종의 피도값과 토양 이화학적 특성을 이용하여 지역별 토양환경특성과 출현종과의 상관성을 비모수다차원척도법(NMDS)으로 분석했다(R, version 3.6.3).

(3) 발아실험

온실 자연광에서 나도솔새 종자 발아율을 확인하기 위해 3개 화분에 각각 종자 50개씩 파종하여 4월부터 5월까지 주기적으로 발아율(%)을 측정하였다. 발아는 자

엽 또는 기근이 나온 것을 발아로 간주하여 육안으로 확인하였다. 야외에서 토양 교환 이후 정착을 확인하기 위해 전북 전주시 3개 지점에 토양을 갈아엎어 주변 식생을 제거하고, 나도솔새 종자 300립을 각각 4월 초에 파종 후, 밀도와 높이를 주기적으로 측정하였다.

(4) 토양 종자은행

나도솔새 자생지의 토양 내 종자의 구성 및 규모를 확인하기 위해 2021년 4월 1일 토양 시료를 전주 덕진구 만경강 둔지에서 채집하였다. 토양 시료는 soil core kit (지름: 5cm, 높이: 5cm)를 이용하여 방형구 (1m × 1m) 내에 4개 지점에서 표토를 채집하여 하나의 샘플로 준비하였다. 한 조사 지역의 반복수는 3개로 방형구 간 간격은 5m 이상으로 하였다. 이후 채집토양은 비닐백에 밀봉하여 저온실에 보관하였다. 토양종자은행 채집 지역은 재방문하여 현장 발아, 계절 별 식생 조사, 토양의 이화학적 특성, 서식지 환경 등을 조사하였다.

토양 종자 발아 실험은 국립생태원 온실에서 실시하였으며, 실험에 사용된 발아용 상자는 통수를 위해 바닥에 구멍이 있는 50cm × 35cm 상자를 사용하였다. 채집 토양을 무종자 혼합상토 위에 1cm 미만으로 도포하여, 1~2주 간격으로 발아된 종을 동정하고 밀도를 확인하였다. 유식물이 자라면 동정이 가능한 개체는 실험구에서 뽑아내고, 동정이 불확실한 개체는 꽃이나 열매를 맺을 때까지 키워 확인하였다. 토양종자은행 발아 실험은 4월 2일부터 토양 내 종자가 발아하지 않는 6월 말까지 진행하였다.

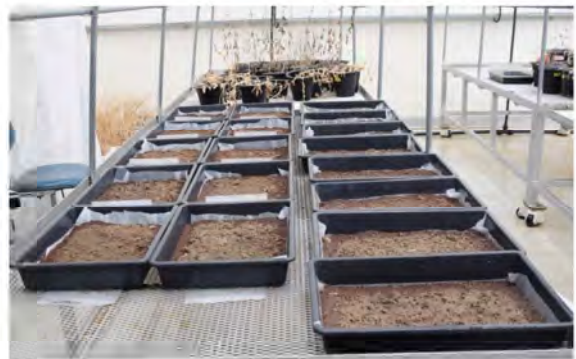
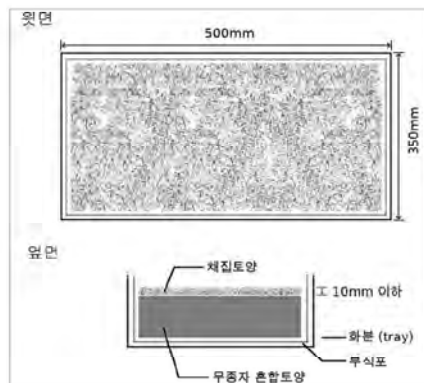


그림 2. 토양종자은행 발아 실험을 위한 화분(좌), 실험 진행 사진(우).

(5) 페놀화합물 분석

나도솔새 식물체 내 타감물질의 함량을 확인하기 위해 HPLC-UVD(Thermo Dionex Ultimate, 3000)를 이용하여 280~340nm에서 분석을 하였고, 표준물질은 기

존의 문헌(Rice, 1972)을 참고하여 총 10가지 물질(p-Hydroxybenzoic acid, Chlorogenic acid, Vanillic acid, Caffeic acid, p-coumaric acid, t-Ferulic acid, Ellagic acid, Sinapic acid, Quercetin, Keampferol)을 분석하였다. 이를 위해 자생지(경남 진주)의 나도솔새가 우점하는 군락(피도 50% 이상)에서 나도솔새 지상부를 10월에 채집하여 60℃ 건조오븐과 동결건조기에서 각각 건조시켜 건조분말을 만든 후 80% 메탄올 30mL을 첨가한 뒤 추출액을 만들었고, 각각의 표준품 10mg을 취해 10mL Volumetric Flask에 넣고 80% 메탄올로 채웠다.

다. 연구결과 및 고찰

(1) 기본정보

(가) 분류

- 국명: 나도솔새
- 학명: *Andropogon virginicus* L.
- 영명: Broomsedge, Broomsedge bluestem, Yellow sedge bluestem, Yellow bluestem, Whisky grass, Sedge grass, Beardgrass, Sage grass, Deceptive bluestem, Old-field broomstraw, Broomstraw, Smooth bluestem etc.
- 이명: *Holcus virginicus* (L.) Steudel, *Sorghum virginicum* (L.) Kuntze
- 계통수

계(Kingdom) - Plantae

문(Phylum) - Magnoliophyta

강(Class) - Liliopsida

목(Order) - Cyperales

과(Family) - Poaceae

속(Genus) - *Andropogon*

종(Species) - *Andropogon virginicus*



그림 3. 전북 전주 나도솔새 군락(왼쪽) 및 나도솔새 종자 사진(오른쪽).

(나) 원산지

- 북아메리카(캐나다, 멕시코, 미국), 남아메리카, 중앙아메리카 및 카리브해 지역에 자생한다(Alba et al., 2019).

(다) 침입지

- EPPO지역(프랑스, 러시아, 조지아), 아시아(일본, 남한), 북아메리카(캘리포니아, 하와이), 오세아니아(오스트레일리아, 뉴질랜드) 등으로 침입했다(Alba et al., 2019).

(라) 침입경로

- 비의도적인 유입으로 미국 서부, 아시아, 오세아니아 및 유럽으로 분포 범위가 확산되었다.
- 2006년에 프랑스 군사기지에서 발견되었고, NATO군수품을 통해 도입된 것으로 추정된다(Granereau & Verloove, 2010). 주로 EPPO지역은 군장비에 종자가 묻어서 침입했다.
- 러시아에서는 카프카스산맥의 해안선을 따라 나도솔새가 정착하였다(Mironova, 2013).
- 오스트레일리아에서 나도솔새 종자가 건초와 가축의 이동을 통해 확산되었다(EPPO, 2018a).
- 1940년에 유입된 이래로 일본 전역에서 흔하게 발견되고 있다(Osada, 1993).

(마) 국내 분포

- 국내에서는 1999년 울산 도로변에서 최초로 발견했고(오세문 등, 2003), 현재 경상도, 전라도, 충청도, 속초 및 양양에 분포하고 있다. 남부지역에 대규모 군락이 집중분포하며 김제시에서 국내 최대 군락(43ha)이 확인되었다. 중부 지역에서는 소규모로 분포하고 있으며, 양양, 속초 지점은 5m² 이하의 소규모 군락을 형성하고 있다(그림 4).

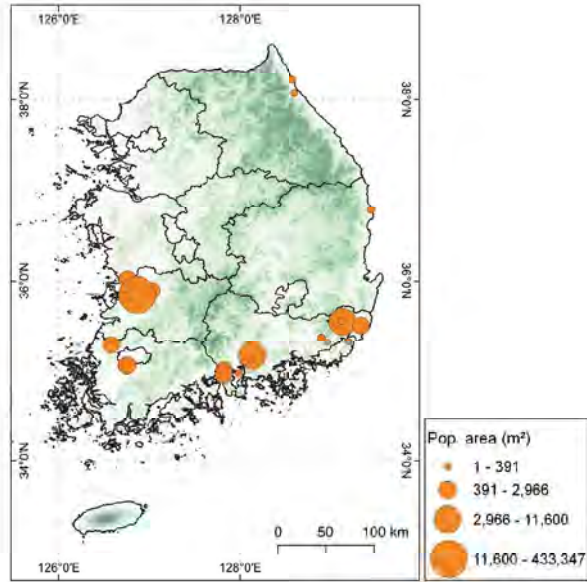


그림 4. 전국 나도솔새 출현지점별 분포 면적.

(바) 국외 분포

○ 북아메리카, 중앙아메리카, 서인도제도, 오세아니아, 폴리네시아, 일본, 러시아, 조지아 등에 분포하고 있다(그림 5).

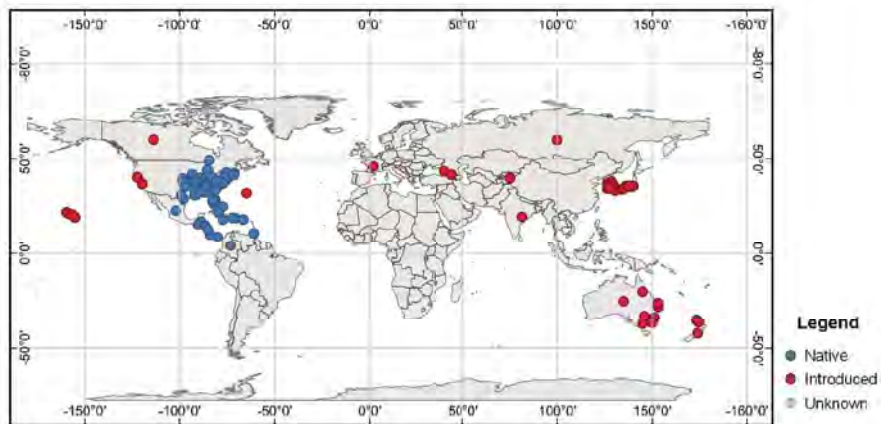


그림 5. 나도솔새 국외 분포도.

<자료 출처: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/45573>>

(사) 서식 환경

○ 개방지에서 자라고 특히 길가, 경작지, 과도하게 방목한 초원 등에서 흔하게 출현한다(Gould, 1978; Ohlenbuseh et al., 1983; Grelen, 1984; Stubbenieck et al., 1986). 비려진 탄광이나 산성토양에서 발견될 정도로 극도로 영양분이

부족한 조건을 견딜 수 있다(Chapman & Jones, 1975; Gibson & Risser, 1982; Campbell, 1983; Nellessen & Ungar, 1993). 비옥한 토양에서도 발견되지만, 경쟁이 증가하면 풍부도는 감소한다(Alba et al., 2019). 나도솔새가 분포하는 국내 30개 지점에서 서식지 유형을 분석한 결과, 44%가 주거·시설지, 23%가 길가 및 가장자리인 것으로 파악되었다(그림 6).

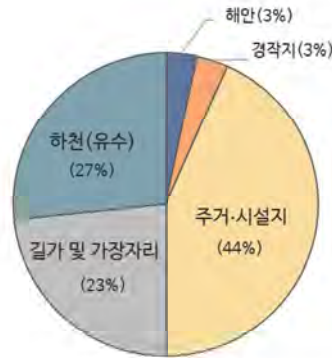


그림 6. 전국 30개 나도솔새 분포지점 서식지 유형 분류.

(아) 용도

- 일반적으로 경제적인 가치가 낮은 종으로 여겨진다(Alba et al., 2019). 버려진 탄광과 채석장에 흔히 침입하기 때문에 교란지 복원에 이용될 수 있다(Rosiere et al., 1989; Nellessen, 1990). 그러나 들불을 촉진하기 때문에 이용에 신중해야 한다(Hughes et al., 1991). 최근에 나도솔새가 향산화, 항티로시나아제, 항당뇨, 항종양성분을 포함하고 있어 기능성 약품에 활용할 수 있다는 보고가 있다(Anh et al., 2021).

(자) 규제 현황

- 하와이에서 1924년에 처음 보고되어, '위해잡초목록'으로 지정했고, 미국에서 '잡초목록'에 포함시켰으나 강제 규정은 없다(Alba et al., 2019). EPPO '외래식물 관찰목록'에 포함되어 있고(EPPO, 2014a), 오스트레일리아 뉴사우스웨일스주와 퀸즐랜드주에서 '환경적 잡초'로 지정했고(Queensland Government, 2016), 프랑스령 폴리네시아는 '방역 병해충 목록'에 포함시켰다.

(2) 정착 가능성

식물 생장에 중요한 기후 요인(bio1: 연평균 기온, bio7: 연간온도범위, bio12: 연강수량, bio17: 가장 건조한 분기의 강수량, 일사량)에 대한 나도솔새 자생지(북미)의 기후에 따른 서식 가능성과 국내 기후 평균값을 비교한 결과, 일사량을 제외한 온도

와 강수량 관련 항목이 국내와 유사하여, 국내 기후조건이 나도솔새의 정착 및 생육에 제한요인이 되지 않을 것으로 판단된다(그림 7). 다만, 국내 일사량은 나도솔새 자생지보다 현저히 낮았으며, 연평균 기온의 경우 중부 내륙 지방의 경우 낮은 기온으로 인한 성육이 저해될 가능성이 있을 것으로 보인다. 나도솔새 분포지 특성을 고려할 때, 내음성이 약해 산림에 침입할 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

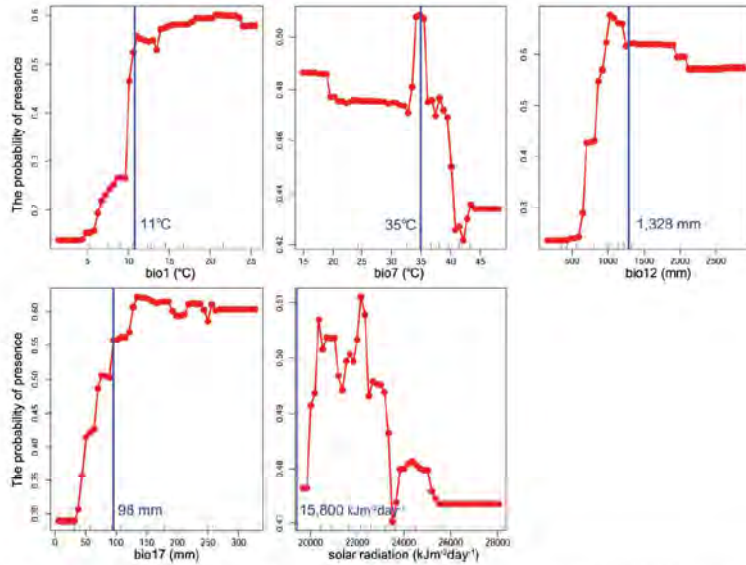


그림 7. 나도솔새 자생지 기후(붉은선)에 따른 서식 가능성과 국내 평균 기후(파란색) 비교 <자료 출처: www.worldclim.org>.

기후요인 5개 항목에 대한 서식지 적합도 분석 결과, 강원도 내륙 산간지역을 제외하고 서식지 적합도가 높았다. 본 모델 결과에 있어서 5개 환경요인 중 연평균기온이 가장 중요한 설명변수였다(그림 8). 특히 우리나라에서는 기온이 높은 남부지방이 나도솔새가 생육하기에 적합한 기후인 것으로 판단된다.

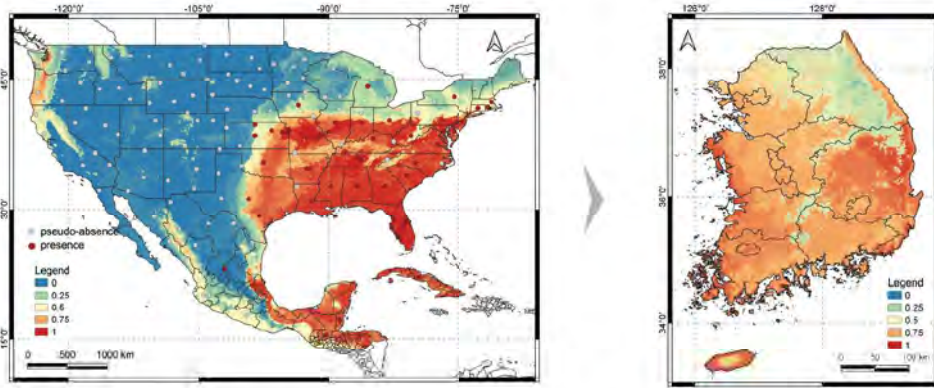


그림 8. 나도솔새 서식지 적합도 분석(Randomforest, ROC: 0.942) 결과. 나도솔새 자생지(북미) 서식 적합도 분석 결과(왼쪽) 및 국내 기후 환경에 적용(오른쪽).

국내 나도솔새 분포지역을 조사한 결과, 연평균기온이 높은 남부지역과 전라도 서해안 일대에 대군락을 이루고 있었다. 특히, 토양 교란이 발생한 지역(김제, 진주)과 만경강, 영산강 둔치에서 대군락을 확인할 수 있었다(그림 9). 김제시는 공업단지 형성으로 인한 토양 교란이 빈번한 지역으로 나도솔새 군락면적이 433,347m²에 달할 정도로 매우 우점했다. 진주에서도 빈 공터에 나도솔새가 정착하여 뺨뺨한 군락을 형성하였다. 나도솔새가 분포하는 곳으로 유추했을 때, 공통적으로 토양 교란이 발생하여 빈 공터로 남아있는 곳에 침입하는 것으로 판단된다.



(a) 김제시 백산면 (면적: 433,347m²)

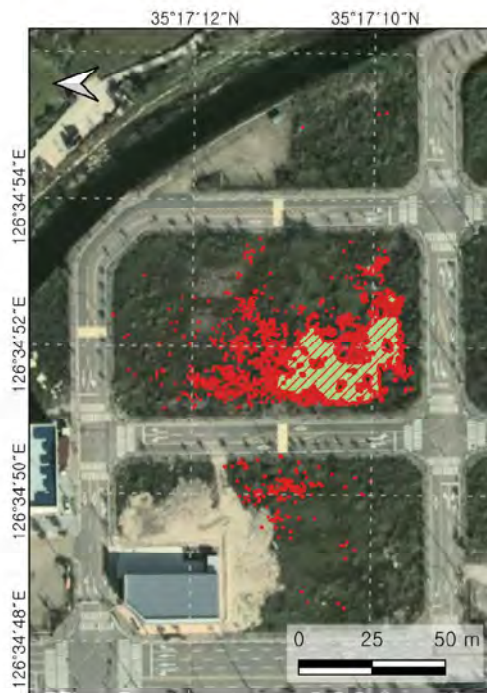
(b) 진주시 가호동 (면적: 11,600m²)



(c) 전주시 도덕동 (면적: 1,954m²)



(d) 나주시 노안면 (면적: 1,576m²)



(e) 영광군 송죽리 (면적: 866m²)



(f) 하동군 갈사리 (면적: 391m²)

그림 9. 나도술새 대군락 6개 지점 분포도 및 군락면적.

나도솔새는 질소와 인 함량이 낮은 토양에서도 순군락을 유지할 수 있다(Peters & Lowance, 1974; Uchytil, 1992). 건조한 토양부터 습한 논 조건까지 생육하여 토양수분에 대한 내성 범위가 넓다(Enomoto et al., 2007). 알루미늄은 산성 토양에서 함량이 높으며, 식물의 성장을 억제하는데, 나도솔새는 수지상균근(Arbuscular mycorrhiza)과의 공생관계를 통해 알루미늄 저항성이 높은 것으로 알려져 있다(Cumming & Ning, 2003). 내음성은 약한 편이며, 천이 초기에서 중기에 우점한다(Uchyil, 1992). 나주지역은 토양 유기물 함량, 수분 및 유효인 값이 높고, 김제 지역은 공업지대가 주변에 많아 토양이 척박하고 나지인 곳이 많다(표 3).

표 3. 나도솔새 조사지역 토양 이화학적 특성.

Properties	Site							
	김제	나주1	나주2	영광	전주	하동1	하동2	하동3
water content(%)	18.9±0.7 ⁸	30.7±0.6	32.9±0.6	8.7±1.0	20.6±0.8	10.5±0.4	18.3±1.8	19.8±0.7
organic matter(%)	4.4±0.2	8.3±0.1	5.5±0.1	2.3±0.3	3.9±0.2	2.1±0.1	4.4±0.4	4.1±0.3
sand(%)	66.9±2.0	51.6±2.2	60.3±4.7	73.5±3.2	38.9±0.9	78.6±1.8	77.6±0.6	76.1±0.6
silt(%)	18.3±2.3	39.2±2.0	26.8±5.1	15.7±3.8	38.3±1.5	15.8±2.0	9.2±1.3	13.9±0.7
clay(%)	14.8±1.6	9.2±0.4	12.8±0.9	10.8±1.2	22.8±1.7	5.6±0.7	13.2±1.1	10.0±0.6
TN(mg/kg) ¹	502±23	2024±191	886±14	1024±41	819±24	320±30	573±37	559±24
AP(mg/kg) ²	1.2±0.5	43.5±3.0	51.9±3.2	5.7±0.7	5.0±0.8	7.3±0.4	1.3±0.5	1.7±0.8
Na(cmol/kg) ³	0.09±0.01	0.11±0.00	0.09±0.00	0.05±0.00	0.08±0.02	0.04±0.00	0.18±0.05	0.17±0.03
K(cmol/kg) ⁴	0.22±0.03	0.18±0.01	0.16±0.00	0.13±0.02	0.23±0.04	0.15±0.01	0.24±0.03	0.18±0.02
Ca(cmol/kg) ⁵	1.71±0.15	5.82±0.36	5.26±0.30	3.33±0.34	2.68±0.16	3.15±0.36	7.78±1.47	3.38±0.38
Mg(cmol/kg) ⁶	1.06±0.01	1.44±0.09	1.29±0.07	0.80±0.07	1.19±0.12	0.68±0.14	1.94±0.72	1.14±0.16
CEC(cmol/kg) ⁷	3.1±0.1	10.6±0.6	9.4±0.5	5.6±0.4	7.2±0.6	4.5±0.3	10.1±2.0	5.8±0.6

¹ TN: 전질소, ² AP: 유효인산, ³ Na: 나트륨, ⁴ K: 칼륨, ⁵ Ca: 칼슘, ⁶ Mg: 마그네슘, ⁷ CEC: 양이온치환용량, ⁸ 모든 값은 평균±표준오차

나도솔새는 8개 중점조사지점의 토양 이화학적 특성과 중요치 값이 높은 12개 식물종의 피도값을 이용하여 비모수다차원척도법(NMDS)을 이용해 지역별 환경특성과 출현종과의 상관성을 분석한 결과, 영산강 둔치에 위치한 나주지역의 토양은 수분함량, 유기물질이 풍부한 것으로 나타났으며, 물억새, 미국가막사리 등 습윤한 토양에서 서식하는 종이 출현했다(그림 10). 영광지역은 모래 함량이 높고, 수분함량이

낮은 지역으로 나도솔새의 길이와 피도가 다른 지점에 비해 낮았다. 김제지역은 산업단지 조성으로 인한 토양 교란 이후 대규모로 나도솔새가 침입(군락면적: 43ha)하여, 나도솔새 순군락을 이루고 있어 종다양성 지수가 가장 낮았다(그림 11). 김제 산업단지 진입 도로 주변에도 나도솔새 개체가 확인되었다. 이를 통해 대규모 토양 교란이 발생할 경우, 나도솔새가 빠르게 침입할 수 있을 것으로 예상된다.

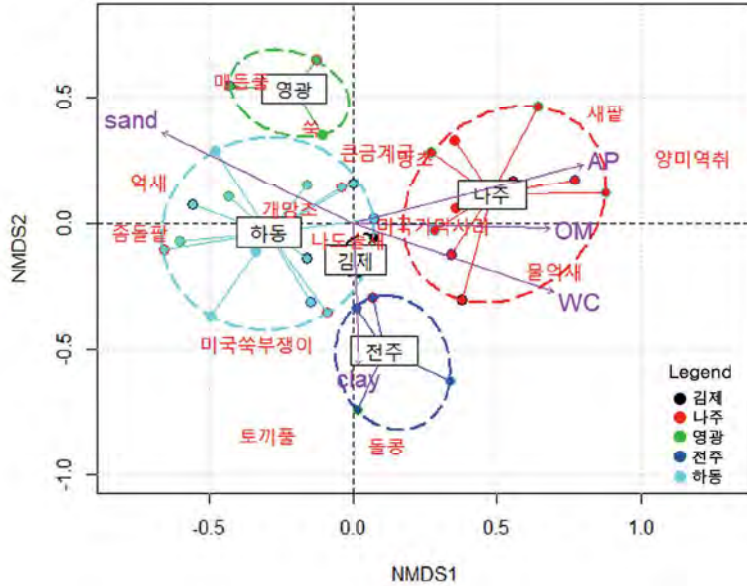


그림 10. 나도솔새 조사지역(김제, 나주, 영광, 전주, 하동) 종 조성 및 토양 이화학적 특성 NMDS분석(sand: 모래, clay: 점토, AP: 유효인산, OM: 유기물질, WC: 토양수분).

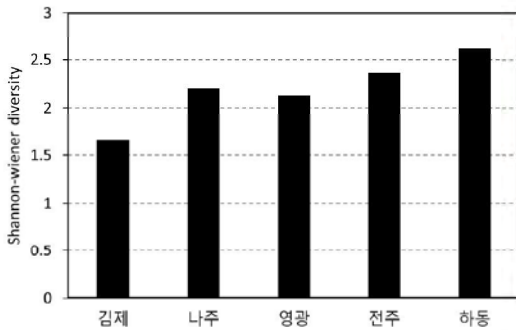


그림 11. 나도솔새 집중조사 지역의 종다양성 지수(왼쪽) 및 김제시 산업단지 나도솔새 대군락 드론 사진(오른쪽).

(3) 확산 가능성

주로 종자로 번식하고 2~3년생부터 개화하기 시작한다(Keever, 1950; Golley, 1965; Uchytıl, 1992). 종자휴면이 있으며 20~40℃에서 발아하고, 자연조건에서는 4월에 발아하여 당해 10월에 개화하고 열매를 맺는다(Enomoto et al., 2007). 하나의 대(culm)에 50개 이상의 화서가 있으며, 각 화서에 8~12개 소수(spikelets)가 달린다(총 소수는 400~600개 이상, Voight, 1959). 종자를 많이 맺는 식물로 개체당 약 1,800개의 종자를 생산한다. 종자 무게는 1.00~3.39mg으로 생육지 환경에 따른 차이가 있다. 산불 직후에는 4일 만에 움싹으로 재생함을 확인했다(Hughes et al., 1991). 춘화처리 이후 발아율이 상대적으로 증가하며, 모래 토양에 파종 후 38일 뒤에 발아율은 84%였다(Golley, 1965). 유식물 생존율이 높았고, 캐롤리나 북부에서 첫해 유식물의 평균 키는 13cm였으며, 1~2년생은 100cm였고, 기부 지름은 7.5cm였다(Keever, 1950). 국내 자생지(전북 전주시)에서 2월 4일에 채집한 종자를 이용하여 발아율을 확인한 결과, 파종 후 20일 뒤 발아율은 58.0±4.6%였다(그림 12). 파종한 종자 가운데 6개월 후 약 5%가 결실했다.

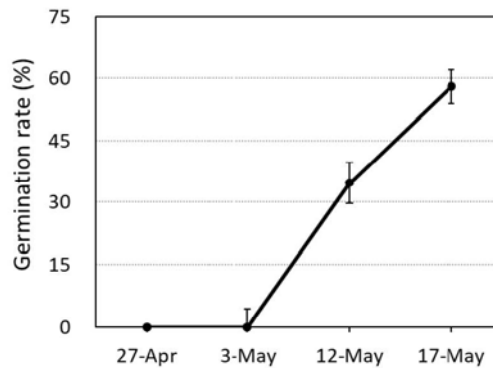


그림 12. 온실(자연광, 상토)에서 나도솔새 종자 50개에 대한 발아율(mean±SE, n=3).

나도솔새 분포지(전북 전주시)에서 표토를 채취하여 온실에서 매토종자를 발아시킨 결과, 돌피 종자가 평균 2,920개/m²로 가장 많았고, 나도솔새가 1,800개/m²였으며 총 30개 종이 출현했다(그림 13). 일본에서는 나도솔새의 매토종자 밀도가 14개/m², 미국에서는 286개/m²로 본 연구보다 낮았다(Naka & Yoda, 1984; Houle & Phillips, 1988).

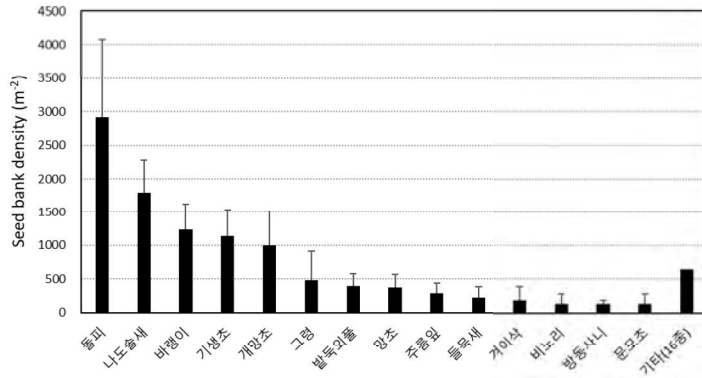


그림 13. 나도솔새 군락(전주) 매토종자 발아 개체수(mean±SE, n=6).

표 4. 나도솔새 군락(n=6)의 매토종자 중요치(%)

과명	학명(국명)	상대밀도(%)	상대빈도(%)	중요치(%)
벼과	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. (돌피)	26.3	5.1	15.7
벼과	<i>Andropogon virginicus</i> L. (나도솔새)	16.2	7.7	12.0
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler (바랭이)	11.2	7.7	9.4
국화과	<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt. (기생초)	10.3	7.7	9.0
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)	9.0	7.7	8.4
벼과	<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P. Beauv. (그렁)	4.3	2.6	3.4
현삼과	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbás (발독외풀)	3.5	5.1	4.3
국화과	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist (망초)	3.4	7.7	5.5
현삼과	<i>Mazus pumilus</i> (Burm. f.) Steenis (주름잎)	2.6	6.4	4.5
벼과	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmel. (들묵새)	2.0	2.6	2.3
벼과	<i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i> Ohwi (거이삭)	1.7	1.3	1.5
벼과	<i>Eragrostis multicaulis</i> Steud. (비노리)	1.2	1.3	1.3
사초과	<i>Cyperus amuricus</i> Maxim. (방동사니)	1.2	5.1	3.2
현삼과	<i>Veronica peregrina</i> L. (문모초)	1.2	1.3	1.3

과명	학명(국명)	상대밀도(%)	상대빈도(%)	중요치(%)
벼과	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx. (미국개기장)	1.1	2.6	1.8
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)	0.8	2.6	1.7
명아주과	<i>Chenopodium ficifolium</i> Sm. (좀명아주)	0.6	3.8	2.2
사초과	<i>Cyperus iria</i> L. (참방동사니)	0.6	3.8	2.2
현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir. (큰개불알풀)	0.5	1.3	0.9
국화과	<i>Artemisia indica</i> Willd. (쑥)	0.3	1.3	0.8
현삼과	<i>Lindernia micrantha</i> D. Don (논독외풀)	0.3	2.6	1.4
속새과	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기)	0.3	1.3	0.8
십자화과	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. (냉이)	0.3	2.6	1.4
마늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L. (달맞이꽃)	0.2	1.3	0.7
현삼과	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Pennell (미국외풀)	0.2	1.3	0.7
골풀과	<i>Juncus tenuis</i> Willd. (길골풀)	0.2	1.3	0.7
마디풀과	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre (여뀌)	0.2	1.3	0.7
벼과	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (왕바랭이)	0.2	1.3	0.7
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv. (강아지풀)	0.2	1.3	0.7
국화과	<i>Pseudognaphalium affine</i> (D. Don) Anderb. (떡쑥)	0.2	1.3	0.7
총합계		100.0	100.0	100.0

전북 전주시 3개 지점에서 토양을 갈아엎어 주변 식생을 제거하고, 나도솔새 종자 300립을 4월 초에 파종 후, 밀도와 높이를 측정한 결과, 5개월 뒤 밀도는 0.7개/m²로 정착 비율이 낮았고 정착한 개체는 61cm까지 자랐다(그림 14). 돌콩, 미국가막사리, 환삼덩굴 등 다른 식물의 피도가 높아서 정착하지 못한 것으로 판단된다. 야외 파종한 종자의 경우 결실한 개체는 없었다.

전북 나도솔새 종자는 바람에 의해 분산되며, 무기질토양에 쉽게 정착할 수 있다. 현재 대부분의 국내 서식지는 도로가 인접한 공사장에 위치하고 있어 종자가 차량

등의 운송수단으로 인하여 확산할 가능성이 높다. 일본 오카마야현에서 나도솔새의 매토종자가 포함된 토양을 건축, 나무 이식 등에 사용하면서 분포가 확대된 사례가 있다(Enomoto et al., 2007).

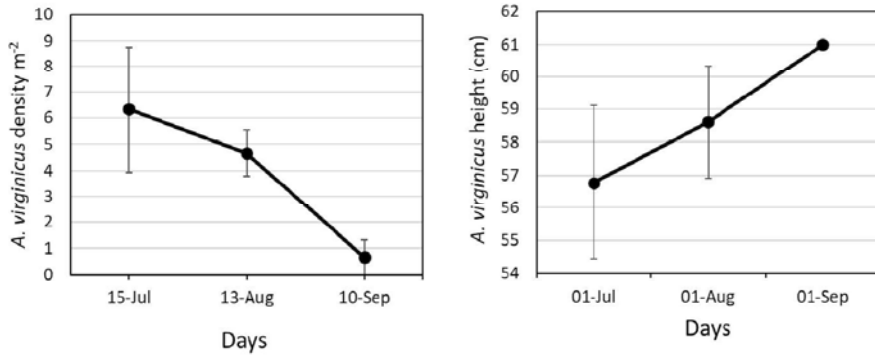


그림 14. 나도솔새 종자 파종 후 발아 밀도 및 높이 변화(mean±SE, n=3).

(4) 생태계 및 사회 경제에 대한 영향

Rice (1972)는 나도솔새가 타감물질을 생산하여 다른 식물뿐만 아니라 질소고정 박테리아도 억제한다고 보고했다. 국내 서식지(경남 진주)에서 채집한 나도솔새 잎의 타감물질을 분석한 결과, Chlorogenic acid와 p-coumaric acid가 각각 검출되었다(표 5). 기존 문헌(Rice, 1972)에서는 Ellagic acid도 포함하고 있을 것이라 보았으나 이번 분석에서는 검출되지 않았다. Chlorogenic acid는 담배와 해바라기의 기공 개도(stomatal aperture)를 감소시키고, p-coumaric acid는 미국나팔꽃의 생산량 감소를 야기했다(Einhelling & Kuan, 1971; Blum et al., 1993).

표 5. 나도솔새 잎으로부터 검출된 타감물질

Allelopathic compound	함량(mg/kg)		
	미국(Rice, 1972)	국내(경남 진주)	
		건조오븐(잎)	동결건조(잎)
p-Hydroxybenzoic acid		-	-
Chlorogenic acid	○	80.3±2.3	81.0±1.8
Vanillic acid		-	-
Caffeic acid		-	-
p-coumaric acid	○	19.6±0.6	18.5±0.4
t-Ferulic acid		-	-
Ellagic acid	○	-	-
Sinapic acid		-	-
Quercetin		-	-
Keampferol		-	-

나도솔새는 넓은 범위에서 뻗뻗하게 개체군을 형성하며, 뿌리가 촘촘하게 매트를 만들어 다른 종의 유입을 막게 된다(Uchytıl, 1992). 국내에서 나도솔새가 분포하는 30개 지점에서 식생조사 결과, 군락 종다양성 지수는 2.5였으며, 총 111종이 동반 출현했고, 나도솔새의 중요치는 10.4%로 가장 높았다(그림 15).

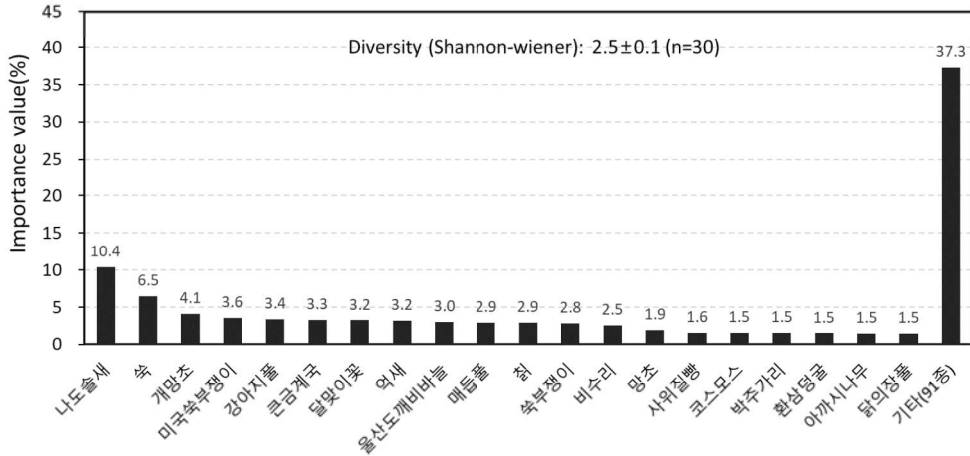


그림 15. 나도솔새가 분포하는 30개 지점에서 출현 식물별 중요치.

나도솔새 이외에 쑥, 개망초, 미국쑥부쟁이, 강아지풀, 큰금계국, 달맞이꽃, 억새, 울산도깨비바늘, 매듭풀, 찔, 쑥부쟁이, 비수리, 망초 등으로 건조한 개방지에서 주로 출현하는 종들의 중요치가 높았다. 30개 지점에서 나도솔새와 공동으로 출현한 111종 중, 74개 종(67%)이 건조한 개방지(Meadow and shrubland)에 출현하는 종이 었다(정연숙 등, 2020).

표 6. 나도솔새 군락 출현 식물 종별 중요치(전국 30개 지점)

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
벼과	<i>Andropogon virginicus</i> L. (나도솔새)	14.0	6.8	10.4
국화과	<i>Artemisia indica</i> Willd. (쑥)	6.8	6.1	6.5
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)	3.4	4.7	4.1
국화과	<i>Aster pilosus</i> Willd. (미국쑥부쟁이)	3.5	3.6	3.6
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv. (강아지풀)	3.4	3.4	3.4
국화과	<i>Coreopsis lanceolata</i> L. (큰금계국)	3.5	3.2	3.3

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
바늘꽃과	<i>Cenolthera biennis</i> L. (달맞이꽃)	2.6	3.8	3.2
벼과	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson (억새)	3.7	2.7	3.2
국화과	<i>Bidens pilosa</i> L. (울산도깨비바늘)	3.4	2.7	3.0
콩과	<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl. (매듭풀)	2.5	3.4	2.9
콩과	<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi (취)	3.5	2.3	2.9
국화과	<i>Aster yomena</i> (Kitam.) Honda (숙부쟁이)	3.1	2.5	2.8
국화과	<i>Lespedeza cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don. (비수리)	2.6	2.5	2.5
국화과	<i>Coryza canadensis</i> (L.) Cronquist (망초)	1.3	2.5	1.9
미나리아재비과	<i>Clematis apiifolia</i> DC. (사위질빵)	1.7	1.4	1.6
국화과	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav. (코스모스)	1.5	1.6	1.5
박주가리과	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino (박주가리)	1.2	1.8	1.5
삼과	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. (환삼덩굴)	1.6	1.4	1.5
콩과	<i>Robinia pseudacacia</i> L. (아까시나무)	1.6	1.4	1.5
닭의장풀과	<i>Commelina communis</i> L. (닭의장풀)	1.1	1.8	1.5
벼과	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Hack. (물억새)	1.6	1.1	1.4
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)	1.0	1.6	1.3
콩과	<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i> (Ohwi) Ohwi & H. Ohashi (새팥)	1.2	1.1	1.2
벼과	<i>Zoysia japonica</i> Steud. (잔디)	1.3	0.9	1.1
콩과	<i>Trifolium repens</i> L. (토끼풀)	1.0	1.1	1.1
벼과	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. (큰김의털)	1.1	0.9	1.0
국화과	<i>Lactuca indica</i> L. (왕고들빼기)	0.7	1.4	1.0
콩과	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc. (돌콩)	0.9	0.9	0.9

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
콩과	<i>Indigofera bungeana</i> Walp. (큰낭아초)	0.7	1.1	0.9
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	0.6	1.1	0.9
국화과	<i>Solidago altissima</i> L. (양미역취)	1.0	0.7	0.9
콩과	<i>Amphicarpaea bracteata</i> subsp. <i>edgeworthii</i> (Benth.) H. Ohashi (새콩)	1.0	0.7	0.8
장미과	<i>Rosa multiflora</i> Thunb. (찔레나무)	0.7	0.9	0.8
자리공과	<i>Phytolacca americana</i> L. (미국자리공)	0.8	0.7	0.7
벼과	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. (수크령)	0.8	0.7	0.7
벼과	<i>Phragmites japonica</i> Steud. (달뿌리풀)	0.7	0.7	0.7
콩과	<i>Amorpha fruticosa</i> L. (족제비싸리)	0.7	0.7	0.7
벼과	<i>Sporobolus fertilis</i> (Steud.) Clayton (쥐꼬리새풀)	0.7	0.7	0.7
콩과	<i>Vigna minima</i> (Roxb.) Ohwi & H. Ohashi (좁돌팍)	0.7	0.7	0.7
장미과	<i>Rubus parvifolius</i> L. (멍석딸기)	0.4	0.7	0.6
국화과	<i>Aster meyerendorffii</i> (Regel & Maack) Voss (개쑥부쟁이)	0.6	0.5	0.5
벼과	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud. (갈대)	0.6	0.5	0.5
콩과	<i>Vicia ampeana</i> Fisch. ex Ser. (갈퀴나물)	0.4	0.7	0.5
국화과	<i>Artemisia capillaris</i> Thunb. (사철쑥)	0.6	0.5	0.5
콩과	<i>Trifolium pratense</i> L. (붉은토끼풀)	0.6	0.5	0.5
버드나무과	<i>Salix pierotii</i> Miq. (버드나무)	0.5	0.5	0.5
소나무과	<i>Pinus thunbergii</i> Parl. (곰솔)	0.5	0.5	0.5
국화과	<i>Coreopsis tinctoria</i> Nutt. (기생초)	0.3	0.7	0.5
꼭두서니과	<i>Paederia foetida</i> L. (계요등)	0.5	0.5	0.5
쥐꼬리망초과	<i>Justicia procumbens</i> L. (쥐꼬리망초)	0.2	0.7	0.4

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
마디풀과	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre (여뀌)	0.2	0.7	0.4
앵초과	<i>Lysimachia clethroides</i> Duby (큰까치수염)	0.4	0.5	0.4
마디풀과	<i>Persicaria longiseta</i> (Bruijn) Kitag. (개여뀌)	0.2	0.7	0.4
소나무과	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. (소나무)	0.2	0.7	0.4
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler (바랭이)	0.4	0.5	0.4
콩과	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H. Ohashi (차풀)	0.4	0.5	0.4
국화과	<i>Tagetes minuta</i> L. (만수국아재비)	0.3	0.5	0.4
벼과	<i>Phalaris arundinacea</i> L. (갈풀)	0.3	0.5	0.4
벼과	<i>Avena fatua</i> L. (메귀리)	0.5	0.2	0.4
벼과	<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino (조개풀)	0.2	0.5	0.3
참나무과	<i>Quercus dentata</i> Thunb. (떡갈나무)	0.4	0.2	0.3
층층나무과	<i>Comus officinalis</i> Siebold & Zucc. (산수유)	0.4	0.2	0.3
콩과	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. (동부)	0.2	0.5	0.3
진달래과	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim. (철쭉)	0.4	0.2	0.3
괭이밥과	<i>Oxalis corniculata</i> L. (괭이밥)	0.1	0.5	0.3
대극과	<i>Acalypha australis</i> L. (깨풀)	0.1	0.5	0.3
물푸레나무과	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. (광나무)	0.3	0.2	0.3
감나무과	<i>Diospyros kaki</i> Thunb. (감나무)	0.3	0.2	0.3
메꽃과	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth (나팔꽃)	0.3	0.2	0.3
콩과	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Mq. (참싸리)	0.3	0.2	0.3
벼과	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (왕바랭이)	0.3	0.2	0.3
사초과	<i>Kyllinga brevifolia</i> var. <i>leidepis</i> (Franch. & Sav.) H. Hara (표대거리)	0.3	0.2	0.2

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
벼과	<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb. (개기장)	0.2	0.2	0.2
골풀과	<i>Juncus tenuis</i> Willd. (길골풀)	0.2	0.2	0.2
콩과	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum. (남아초)	0.2	0.2	0.2
국화과	<i>Ambrosia trifida</i> L. (단풍잎돼지풀)	0.2	0.2	0.2
포도과	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sebold & Zucc.) Planch. (담쟁이덩굴)	0.2	0.2	0.2
장미과	<i>Rosa luciae</i> Franch. & Roehrb. ex Crép. (제주찔레)	0.2	0.2	0.2
벽오동과	<i>Corchoropsis tomentosa</i> (Thunb.) Makino (수까치개)	0.2	0.2	0.2
쐨기풀과	<i>Boehmeria spicata</i> (Thunb.) Thunb. (좁개잎나무)	0.2	0.2	0.2
백합과	<i>Smilax china</i> L. (청미래덩굴)	0.2	0.2	0.2
국화과	<i>Bidens bipinnata</i> L. (도깨비바늘)	0.2	0.2	0.2
벼과	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult. (금강아지풀)	0.2	0.2	0.2
느릅나무과	<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq. (참느릅나무)	0.2	0.2	0.2
꿀풀과	<i>Salvia plebeia</i> R. Br. (배암차즈기)	0.2	0.2	0.2
방기과	<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC. (댕댕이덩굴)	0.1	0.2	0.2
국화과	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L. (돼지풀)	0.1	0.2	0.2
벼과	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Mchx. (미국개기장)	0.1	0.2	0.2
콩과	<i>Lotus corniculatus</i> L. (서양벌노랑이)	0.1	0.2	0.2
속새과	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기)	0.1	0.2	0.2
국화과	<i>Xanthium orientale</i> L. (큰도꼬마리)	0.1	0.2	0.2
국화과	<i>Aster subulatus</i> var. <i>sandwicensis</i> (A. Gray) AG. Jones (큰바위국화)	0.1	0.2	0.2
콩과	<i>Aeschynomene indica</i> L. (자귀풀)	0.1	0.2	0.2
장미과	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke (뱀딸기)	0.1	0.2	0.1

과명	학명(국명)	상대피도 (%)	상대빈도 (%)	중요치(%)
국화과	<i>Bidens tripartita</i> L. (가막사리)	0.1	0.2	0.1
국화과	<i>Oreopanax sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano (고들빼기)	0.1	0.2	0.1
십자화과	<i>Lepidium apetalum</i> Willd. (다닥냉이)	0.1	0.2	0.1
국화과	<i>Xanthium strumarium</i> L. (도꼬마리)	0.1	0.2	0.1
메꽃과	<i>Ipomoea rubriflora</i> O'Donnell (둥근잎유홍초)	0.1	0.2	0.1
꿀풀과	<i>Mosla punctulata</i> (J. F. Gmel.) Nakai (들깨풀)	0.1	0.2	0.1
협죽도과	<i>Trachelospermum asiaticum</i> (Siebold & Zucc.) Nakai (마삭줄)	0.1	0.2	0.1
국화과	<i>Taraxacum platycarpum</i> Dahlst. (민들레)	0.1	0.2	0.1
장미과	(장미과 sp.)	0.1	0.2	0.1
꼭두서니과	<i>Diodia teres</i> Walter (백령풀)	0.1	0.2	0.1
벼과	(벼과 sp.)	0.1	0.2	0.1
국화과	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb.) Tzvelev (씀바귀)	0.1	0.2	0.1
대극과	<i>Phyllanthus urinaria</i> L. (여우구슬)	0.1	0.2	0.1
대극과	<i>Phyllanthus ussuriensis</i> Rupr. & Maxim. (여우주머니)	0.1	0.2	0.1
꿀풀과	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt. (익모초)	0.1	0.2	0.1
인동과	<i>Lonicera japonica</i> Thunb. (인동)	0.1	0.2	0.1
장미과	<i>Rubus oldhamii</i> Mq. (줄딸기)	0.1	0.2	0.1
총합계		100.0	100.0	100.0

국외 연구에 의하면 하와이에서 들불을 촉진하며 들불 체제를 변화시키고, 자생종의 풍부도를 감소시키며 들불에 적응한 외래종이 우점하는 초지로 변형시킨다고 보고하고 있다. (D' Antonio et al., 2000). Hughes et al. (1991)은 생물량 대비 고사체의 비율이 높고(80~90%), 상대습도(85~90%)와 연료습도(20~25%)가 높은 상태에서도 탈 수 있어 불을 촉진하는 종이라고 언급했다.

pH와 토양비옥도가 낮은 곳에서 번성하기 때문에 질소, 인 및 칼륨 공급을 통한 비옥도 증진을 통해 나도솔새 억제를 도울 수 있다고 한다(Peters & Lowance,

1974). 2~4월에 반복적인 제거가 식물의 풍부도 감소에 도움이 되나, 비용과 시간이 많이 소요된다(Alba et al., 2019).

(5) 경제 가치

일반적으로 경제적인 가치는 낮은 종으로 여겨진다(Alba et al., 2019). 북미에서 사료로서 가치가 낮은 종으로 여겨지기 때문에 목초지를 침범하여 사료 가치가 높은 식물을 피압할 경우 문제가 될수 있다(Griffin et al., 1988; Butler et al., 2002). 최근에 향산화, 항티로시나아제, 항당뇨, 항종양성분을 포함하고 있어 기능성 약품으로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다(Anh et al., 2021).

2. 벧지(*Vicia villosa* Roth)

가. 서론

벧지(*Vicia villosa* Roth)는 유럽, 서아시아 원산의 콩과 일년생 덩굴식물이다. 덩굴손을 가지고 있어 주변 식생 지지대로 활용하여 성장하며, 5~6월에 개화한다(Power & Zachariassen, 1993). 꽃벌에 의해 수분이 일어나며, 화관은 약 2cm로 보라색, 자주색 또는 흰색을 띠고 있다. 7~22개의 총상 꽃차례를 가지고, 꼬투리당 2~8개의 종자가 맺힌다(Gunn, 1979; Owsley, 2011). 배수가 양호한 토양을 선호하며 뿌리에 생물학적 질소고정을 하는 *Rhizobium*과 공생 관계를 맺고 있다(Tikhonovich et al., 1995; Owsley, 2011; Undersander et al., 2015).

벧지는 덩굴성으로 유사종과 비교했을 때, 생물량이 많고 피복 능력이 좋아 국외에서도 목초와 피복용으로 재배되고 있다(Power & Zachariassen, 1993). 국내에서 녹비 작물로 활용되고 있는 자운영과 비교했을 때, 내한성이 강하고 생물량이 높아 농진청에서는 보급에 노력하고 있다. 우리나라에는 1920년에 녹비작물로 도입되었다는 기록이 있지만, 화학비료가 공급되면서 재배가 중단되었다(Lee, 1983; Power & Zachariassen, 1993). 최근에는 친환경농업 확산과 화학비료 대체를 위해 '청풍보라'('09년), '온토비'('10년), '토익'('12년), '이파'('13년), '사월이'('15년) 등의 품종개발이 이루어지고 있으며, 전라로 일대에서 재배면적이 증가하고 있다(신정남 등, 2007; 구자환 등, 2014; 구자환 등, 2015).

국내 생태계에서 벧지는 하천변과 길가에서 주로 확인되고 있으며, 기존의 토착식물을 피복하여 발아 및 생장을 낮추어 식물 종다양성을 저해 한다고 보고되고 있다(Hill et al., 2006; Cal-IPC, 2015). 중국과 일본에서는 관리가 필요한 식물로 분류하고 있으나 국내에서는 농업분야에서 산업성으로 인해 재배면적이 증가하고 있다(Xu et al., 2012; 環境省, 2015; 김창기 & 길지현, 2017). 최근 재배지를 벗어난 개체가 하천변을 따라 빠르게 확산하고 있는 것이 확인되고 있어 정밀조사를 통해 생태계 위해성 및 사회·경제적 영향을 면밀히 검토할 필요가 있다.

벧지에 대한 정밀조사는 2020년에 1년 차 연구가 수행되었으며, 2021년 연구에서는 벧지의 생태계로의 확산 능력, 자생지 토양중자은행 파악, 자연생태계 발아율 및 생존율을 조사를 추가로 진행하였다. 또한 농진청 자문 통해 벧지의 활용도 및 대체 가능 작물에 대한 의견을 수렴하였다.

나. 연구내용 및 방법

(1) 기후적합성 예측

외래생물 전국서식실태조사(국립생태원, 2015~2020년) 결과와 국제농업생명공학

연구소(CABI, <https://www.cabi.org/>)의 자료를 바탕으로 벤틀의 국내외 분포 및 서식처 유형을 분류하였다. 전 세계 분포지 기후와 국내 기후를 비교하기 위해 식물생장의 주요 기후 요인 5개 항목(연평균기온, 연평균 기온, 최한월 최저기온, 연기온 범위, 연강수량, 건조한 분기 강수량)에 대해 WorldClim(www.worldclim.org)에서 자료를 수집하여 국내외 분포지의 기후를 비교하였다. R(version 3.6.3)과 QGIS(version 3.10) 프로그램을 통한 머신러닝 기법(Randomforest)을 적용하여 서식지 적합도 분석을 수행하였다.

(2) 식생조사

식생조사는 중점조사지역(서천, 김제, 논산)을 선정하여 10개의 방형구(1m×1m)를 설치하여 4월, 5월, 6월, 8월에 Braun-Blanquet법에 따라 방형구 조사를 총 4회 실시하였고, 방형구 내의 출현종의 상대빈도와 상대피도를 이용하여 각 종의 중요치(범위: 0~100)와 식물종 다양성 지수(Shannon-Wiener diversity)를 산출하였다.

(3) 발아실험

온도에 따른 발아율을 확인하기 위해 국내의 자생지(서천, 김제, 논산)에서 수확한 종자를 이용하였고, 발아실험에 이용한 종자는 차아염소산나트륨에 8시간 침전하여 가라앉은 종자 900립을 선별하였다. 실험실에서 고온($28.1 \pm 2.3^\circ\text{C}$), 상온(22.1 ± 1.6), 저온($6.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$) 등 3단계로 온도 구배를 주었고, 각 처리구마다 페트리디쉬(가로 12cm × 세로 12cm × 높이 1.5cm)내 종이배지에 30립씩 파종하였으며 4반복 실험을 진행하였다. 온도는 온도로거(HOBO Pro v2 U23-001, Onset Computer)를 이용하여 측정하였고, 발아실험 기간 동안 수분은 증류수를 이용하여 2~3일 간격으로 50ul씩 공급하였다.

온실에서는 플라스틱 모판(가로 36cm × 세로 51cm × 높이 8cm)에 상토(원예용상토, 서울바이오)를 채우고 종자 100립을 파종하여 3반복 하였다. 평균 토양배지 수분함량은 50%(최대 83%, 최소 32%)를 유지하였다. 발아 실험은 2020년 9월 23일부터 10월 13일까지 실시하였고, 주기적으로 발아율(%)을 측정하였으며 발아는 자엽 또는 기근이 나온 것을 발아로 간주하여 육안으로 확인하였다.

(4) 토양 분석

자생지의 토양환경을 파악하기 위해 중점조사지역(서천, 김제, 논산)내 각 지역마다 3곳을 선정하여 6월에 토양을 채집하였고, 채취한 토양 시료는 폴리에틸렌 백에 넣어 밀봉한 후 정리하여 실험실로 운반하였다. 식물체의 생육에 영향을 주는 토성, 전질소(TN), 유효인산(AP), 치환성양이온(Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+), 양이온치환용량(CEC) 등을 분석하였고, 토성, 양이온치환용량과 치환성양이온은 농업과학기술원(2000)의 토양 및 식물체분석법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석을 진행하였다(표 7).

표 7. 토양 미화학 특성 항목별 전처리 및 분석 방법

구분	분석 항목	시험방법			
		구분	전처리절차	분석절차	분석기기
전질소 (Total Nitrogen)		Kjeldahl법	풍건토양 5g에 황산염혼합분말($K_2SO_4:CuSO_4, 9:1$) 5g과 H_2SO_4 25mL를 가하여 가열 분해한 후 증류 플라스크에 넣어 증류	H_2SO_4 표준용액으로 적정	-
유효인산 (available phosphorus)		Lancaster법	풍건토양 5g에 침출액($CH_3COOH +$ Lactic acid + $NH_4F + (NH_4)_2SO_4 + NaOH$) 20mL을 넣고 10분간 진탕한 후 여과	표준용액과 시료액, 조작액을 넣어 잘 혼합한 다음 1-amino-2-naphtol-4-sulfonic acid를 넣어 30°C에서 30분간 항온한 후 720nm에서 비색을 분광광도계를 이용하여 측정	분광광도계 모델명: UV-1800 제조회사: Simadzu 제조국: 일본
치환성 양이온	칼륨	토양 및 식물체분석법 (농촌진흥청)	풍건토양 5g을 100mL의 플라스크에 넣고 1N NH_4OAc (pH 7.0)를 가한 다음 30분간 진탕하여 양이온을 침출	유도결합플라즈마 분광분석기를 이용하여 측정	유도결합플라즈마 분광분석기(Agilent 5100 ICP-OES, Agilent, 미국)
	칼슘				
	마그네슘				
	나트륨				
양이온치환용량 (cation exchange capacity)		토양 및 식물체분석법 (농촌진흥청)	풍건토양 5g을 100mL의 플라스크에 넣고 1N NH_4OAc (pH 7.0)를 가한 다음 30분간 진탕하여 양이온을 침출	토양교질에 흡착되는 H^+ 이온이 NH_4^+ 와 치환되어 용액 중 pH를 하강시켜 나오는 차로 H^+ 당량을 계산하여 나온 값에 타 양이온($Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, Na^+$)을 더하여 나온 값	유도결합플라즈마 분광분석기 (Agilent 5100 ICP-OES, Agilent, 미국)
토성		토양 및 식물체분석법 (농촌진흥청)	토양시료가 담긴 250mL 비커에 분산제 5% Sodiumhexamataphosphate 100 mL을 넣고 토양과 분산제 혼합	점토 : 비중계 이용하여 측정시간 0분과 측정시간 600분일 때 비중계 값을 측정 모래 : 비중계 측정이 끝난 후 현탁액을 270mm 체를 이용하여 물로써 깨끗이 세척한 후 비커에 옮겨 24시간 건조 후에 무게를 측정 미사 : $100 - (\text{모래} + \text{비중}) \%$	-

다. 연구결과 및 고찰

(1) 기본정보

(가) 분류

- 국명: 벧지
- 학명: *Vicia villosa* Roth
- 영명: Fodder vetch, Russian vetch, Sand vetch, Winter vetch, etc.
- 이명: *Vicia dasycarpa*
- 계통수
 - 계(Kingdom) - Plantae
 - 문(Phylum) - Spermatophyta
 - 아문(Subphylum) - Angiospermae
 - 강(Class) - Dicotyledonae
 - 목(Order) - Fabales
 - 과(Family) - Fabaceae
 - 속(Genus) - *Vicia*
 - 종(Species) - *Vicia villosa*



그림 16. 군산 벧지 군락(왼쪽) 및 벧지 개화 사진(오른쪽).

(나) 원산지

- 북아프리카, 남부 및 중부유럽, 서부 및 중앙아시아

(다) 침입지

- 아프리카, 아시아, 유럽, 북미 및 남미, 오세아니아

(라) 침입경로

- 미국은 1700년대 사료작물로 도입된 이래 일반적으로 재배되고 있고(Heuze et al., 2014), 영국은 1815년에 처음으로 재배되었으며, 이후 1857년에 자연 생태계에서 발견되었다(Biological Records Centre, 2015).

(마) 국내 분포

- 일년생 식물로 국내에서는 3월 초에 발아하여 7월 이전에 생활사를 마치고, 목초로 사용하기 위해 1909년에 재배한 기록이 있으며, 1976년에 재배지를 벗어나 자연 생태계에서 번식이 확인되었다(김현삼, 1974). 최근 외래생물 전국서식실태조사('15~'18) 조사 결과 전국 136개 지점에서 벳지의 분포가 확인되었다(그림 17).

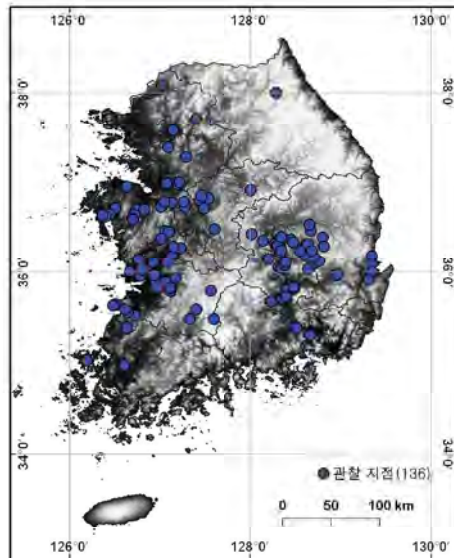


그림 17. 전국 136개 벳지 분포 지점.

<자료 출처: 외래생물 전국서식실태조사 2015~2020, 국립생태원>

(바) 국외 분포

- 원산지(중부 유럽, 서아시아, 북아프리카) 뿐만 아니라, 전 세계 대부분의 대륙에서 관찰되고 있다(그림 18).

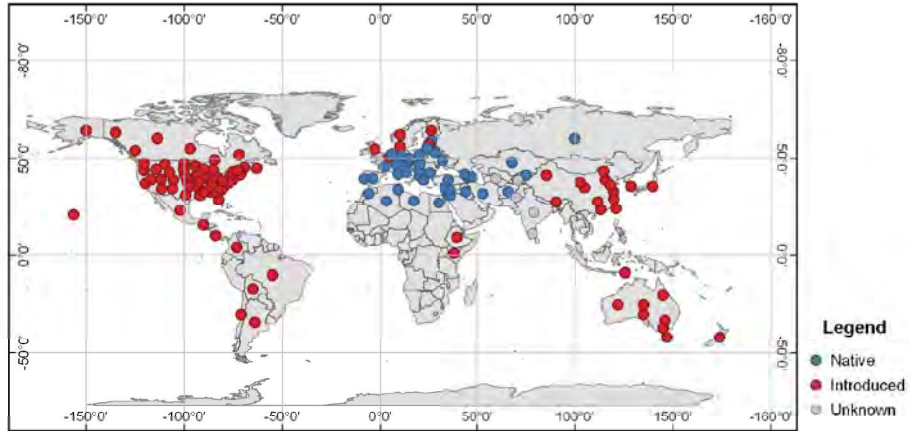


그림 18. 국외 벤티 분포 지점.
 <자료 출처: <https://www.cabi.org/>>

(사) 서식 환경

- 서식지 유형분석 결과 하천(둔치) 65%, 길가(도로변) 18%, 경작지 8%로 파악되었으며, 낙동강, 영산강, 만경강의 하천변 따라 확산이 확인되고 있다 (그림 19).

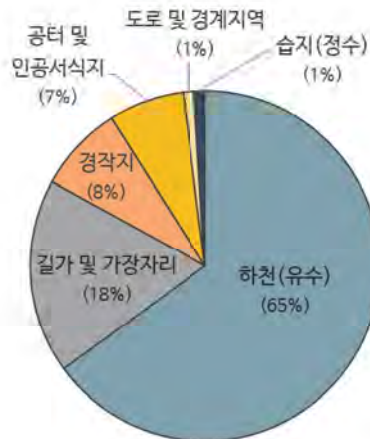


그림 19. 벤티 분포지점 서식처 유형 분류.

(아) 용도

- 벼 수확이 끝난 논에 파종하여 생물학적 질소고정 능력이 높아 유기농업에 권장되는 피복 작물 중 하나이다(Vanzolini, 2011).

(자) 규제 현황

- 중국 침입외래식물 목록에 등록되었고(Xu et al., 2012), 일본 환경성에서는 산업상 중요하지만 적절한 관리가 필요한 종으로 분류하고 있다(環境省, 2015; 김창기 & 길지현, 2017). 미국 플로리다주에서는 침입외래생물로 등록 및 관리하고 있고(Invasive plant atlas of the united states, 2018), 알래스카주에서는 위해성 평가 결과 위해성 보통(modestly invasive: 53/100)으로 평가하였으며 미네소타주에서 위해성 평가 결과 위해잡초로 분류하지 않았다.

(2) 정착 가능성

벚지는 저온에 대한 내성이 강해 추운 겨울에도 살아남을 수 있으며 이른 봄에 발아한다(Undersander et al., 1990). 다양한 토양 환경에서 서식할 수 있으며 배수가 양호한 모래 토양과 pH는 6.0~7.0 범위를 선호한다(Owsley, 2011). 콩과 식물로 Rhizobium과 공생관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Tikhonovich et al., 1995; Owsley, 2011; Undersander et al., 2015).

식물 성장과 연관성이 높은 5개 항목(연평균 기온, 최한월 최저기온, 연기온 범위, 연강수량, 건조한 분기 강수량)에 대한 국외 벚지 분포지 기후와 국내 기후를 비교한 결과 기후 유사성이 높은 것으로 확인되었다(그림 20). 국외에서 벚지가 서식하고 있는 지역의 연평균 기온, 최한월 최저기온, 연기온 범위 평균값이 국내 평균 기후와 유사성이 매우 높아 국내 기후 환경이 벚지가 성장하기에 적합할 것으로 보인다. 강수량 관련 항목의 경우에도 국내 연강수량, 건조한 분기 강수량이 국외 벚지 서식지와 차이가 미미해 벚지 확산을 제한하지 못할 것으로 보인다. 여름철 집중호우로 인해 벚지 군락이 훼손될 수 있지만, 벚지는 6월에 종자를 결실하여 생활사를 마감하기 때문에 여름철 집중 강우가 벚지의 성장에 제한 요인은 아니다. 또한 하천 범람으로 인한 토양 유실은 종자 확산에 기여할 것으로 예상된다.

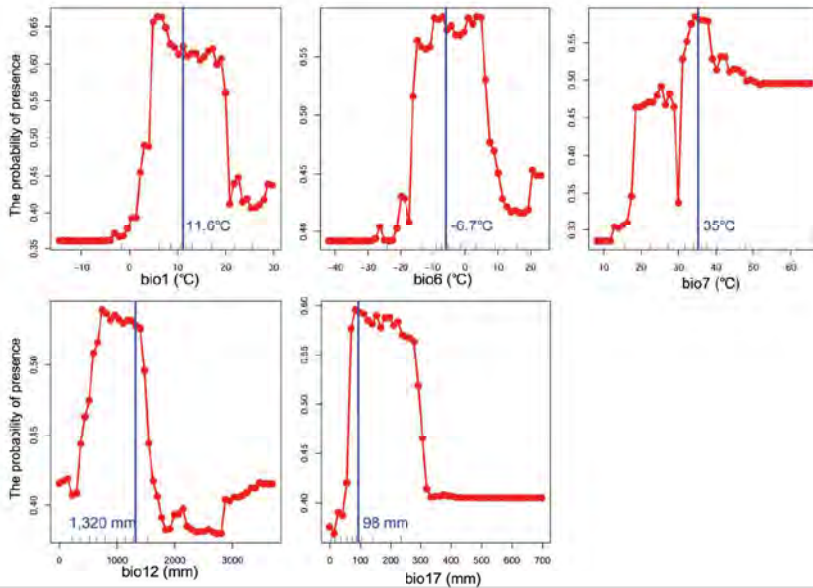


그림 20. 뱀지 출현 가능성(붉은색 선그래프)과 국내 평균 기후(파란색 직선) 비교(bio1: 연평균 기온, bio6: 최한월 최저기온, bio7: 연기온 범위, bio12: 연 강수량, bio17: 건조한 분기 강수량) <자료 출처: www.worldclim.org>

기후 환경요인 5개 항목을 활용하여 Randomforest 기법으로 서식지 적합도 분석을 진행하였다. ROC(Receiver Operating Characteristic) 값은 0.880로 모델의 결과는 유의미했다. 분석된 결과의 Cut-off값을 0.5로 가정할 경우, 남한 전역이 적합 서식지로 분류되었다. 제주도의 경우 높은 강수량으로 인해 서식지 적합도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 경기도 북부지역은 낮은 연평균 기온과 높은 연교차 때문인 것으로 보인다. 충청도, 전라북도, 경상북도 일대는 서식지 적합도가 100으로 기후조건이 뱀지의 확산에 제한 요인이 되지 않을 것으로 예상된다. 서식유형을 고려했을 경우, 강원도, 경상북도 북부 지역 등 산림 비율이 높은 지역에서는 뱀지가 확산될 가능성이 낮을 것으로 보이며, 전라도의 농경지 지역과 하천 주변 지역에서는 뱀지의 지속적인 확산이 일어날 수 있을 것으로 예상된다(그림 21).

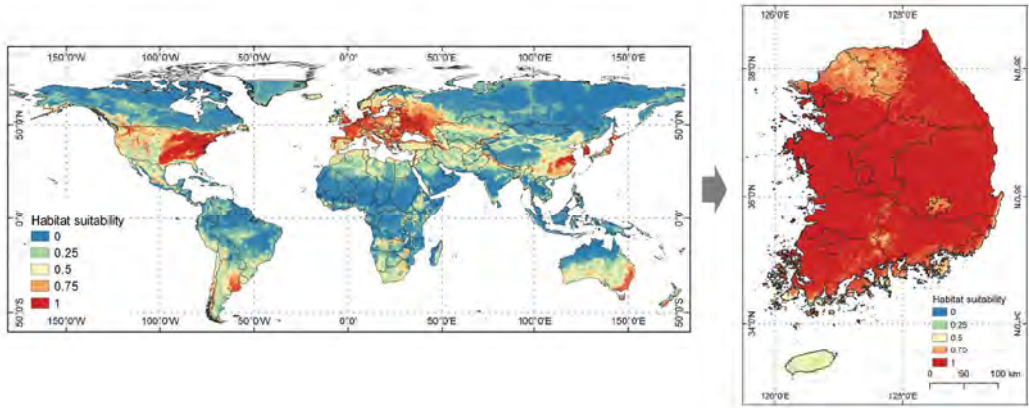


그림 21. 벚지 서식지 적합도 분석(Randomforest, ROC: 0.880) 결과.

(3) 확산 가능성

국내에서 벚지는 5~6월에 개화한다. 일부 자가수분이 일어날 수 있으나, 주로 꿀벌과 기타 곤충에 의해 교차 수분이 진행된다(Gunn, 1979). 자연 생태계에서는 종자에 의해 번식하고, 영양체에 의한 번식은 일어나지 않는다.



그림 22. 논산지역 벚지 열매에서 관찰된 종자(왼쪽), *Bruchus brachialis* 성충의 수컷(가운데)과 암컷(오른쪽).

논산지역 벚지 꼬투리에서 *Bruchus brachialis* 다수 개체를 확인되었다. *B. brachialis*는 유럽 원산의 잎벌레과의 외래곤충으로 벚지 종자를 섭식하는 것으로 알려져 있다(Dickason, 1960) (그림 20). 돼지풀을 섭식하는 외래곤충 돼지풀잎벌레의 경우와 유사하게 *B. brachialis*의 확산은 벚지의 급속한 확산을 제어할 수 있을 것으로 예상된다. 논산지역 2년차 분포 면적 조사 결과, 벚지 면적의 감소를 확인할 수 있었다. 향후 연구를 통해 *B. brachialis*에 의한 종자 섭식 선호도 및 생물 방제 연구가 필요

할 것이다.

벚지의 종자 생산량은 평균 $1,995 \pm 700/m^2$ 로 토양환경에 따른 차이를 확인할 수 있었다. 구체적으로 중점조사지역 서천은 다른 지역에 비해 토양의 총질소, 유효인산, 양이온치환용량이 낮게 측정된 지역으로(표 8), 단위면적 당 종자 개수 ($1,456 \pm 171/m^2$)도 토양이 비옥한 김제 지역보다 1,000개 가량 낮았다(그림 23). 단위면적 당 벚지 종자 발아 개체수도 서천이 김제에 비해 30%가량 낮았다. 이는 벚지 성장에 양호한 토양 조건이 벚지 군락의 유지와 확산에 영향을 미칠 것으로 보인다.

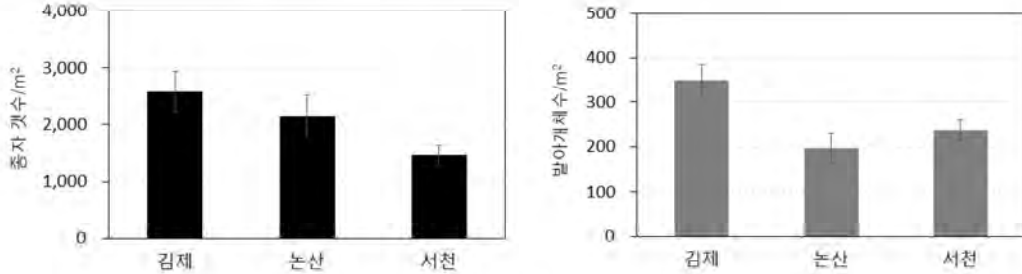


그림 23. 조사 지역별 벚지 종자 결실률(왼쪽) 및 발아 개체수(오른쪽).

김제, 논산, 서천 벚지 서식지 토양이화학 특성을 분석 하였다. 토성에 있어 유의미한 차이는 없었으나, 서천에 비해 김제, 논산 지역에서 총질소(TN), 유효인산(AP), 칼륨(K) 등의 함량이 높게 측정되었다(표 8). 서천지역은 금강 제방에 위치하고 있으나, 김제, 논산 서식지는 농수로 제방에 위치하고 있어 유기질 비료가 유입된 결과인 것으로 보인다.

표 8. 벚지 조사지역 토양 이화학적 특성

site	sand (%)	silt (%)	clay (%)	TN (mg/kg)	AP (mg/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)
김제1	65.5	32.5	2	2,877	117.2	0.07	0.853	9.03	14.2
김제2	64	31	5	3,225	154.7	0.053	0.955	6.95	10.3
김제3	66.2	29.8	2	2,792	344.1	0.61	0.731	6.15	10.4
논산1	77.8	18.2	4	3,041	183.0	0.31	1.300	4.68	8.7
논산2	73.35	25.7	1	2,219	193.1	0.56	1.185	3.82	8.4
논산3	70.6	27.9	1.5	2,217	192.1	0.61	1.821	7.28	13.3
서천1	69.05	28.95	2	1,046	14.3	0.052	0.222	4.42	9.9
서천2	53	44.5	2.5	1,698	44.5	0.045	0.584	4.13	8.4
서천3	69.55	26.45	4	931	16.2	0.043	0.264	4.049	7.6

벚지 3개 중점 조사지역의 식물 피도와 토양특성을 비모수다차원척도법(NMDS)으로 분석하였다. 칼륨과 총질소가 식생 피도와 연관성이 높은 유의미한 토양환경 요인인 것으로 나타났다. 서천은 금강의 제방 인근에 위치하고 있어 건조지에서 발견되는 쭉, 들목새 등이 높은 피도로 관찰되었으며, 벚지의 피도는 상대적으로 낮았다. 반면 김제지역은 벚지의 피도가 가장 높았다(그림 24).

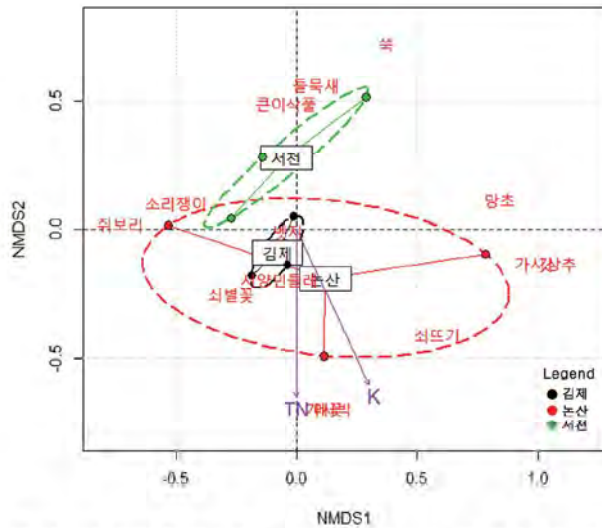


그림 24. 벚지 조사지역(김제, 논산, 서천)의 종조성과 토양 이화학적 특성의 NMDS분석(stress: 0.06) (TN: 총질소, K: 칼륨).

국내 자생지(서천, 김제, 논산)에서 수확한 종자를 이용하여 온도에 따른 발아율을 측정하였다. 저온($6.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$), 상온(22.1 ± 1.6), 고온($28.1 \pm 2.3^\circ\text{C}$)에서 종자의 발아율을 약 20일 간 측정하였다. 실험 결과 32.2%(저온), 35.5%(상온), 29.6%(고온)로 확인되었다. 온실의 자연광, 상토에서 발아율은 73.5%로 실험실에서 발아실험 결과와 큰 차이를 보였다(그림 25). 벚지 종자 발아실험 결과에서 특이한 점은 저온 환경에서 발아가 5일 가량 지연되었으나, 최종 발아율은 상온과 차이가 없었다는 것이다. 이를 통해 벚지의 저온 내성을 확인할 수 있었으며, 3월 초 저온의 야외 환경에서도 다수의 종자가 발아 할 수 있을 것으로 보인다. 본 실험에서는 별도의 종자 휴면타파 절차를 거치지 않았음에도 불구하고 종자의 발아율이 높았다. 자연환경에서 결실한 벚지 종자의 상당량이 이듬해에 발아하여 토양내 휴면상태의 종자는 적을 것으로 예상되었다.

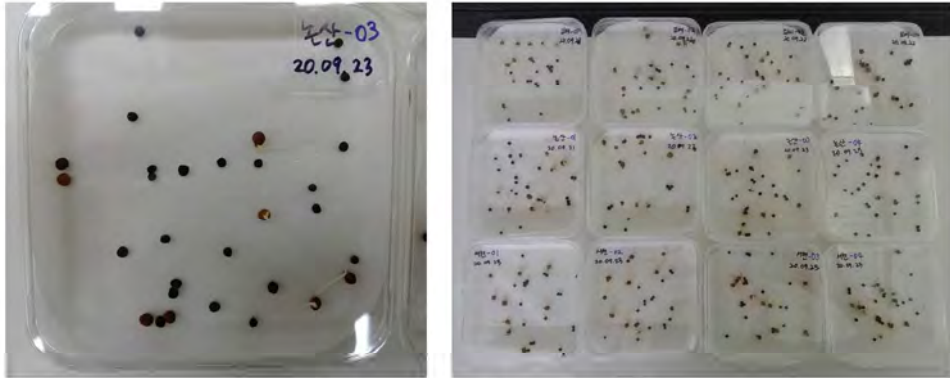


그림 25. 뱃지 종자 발아 실험.

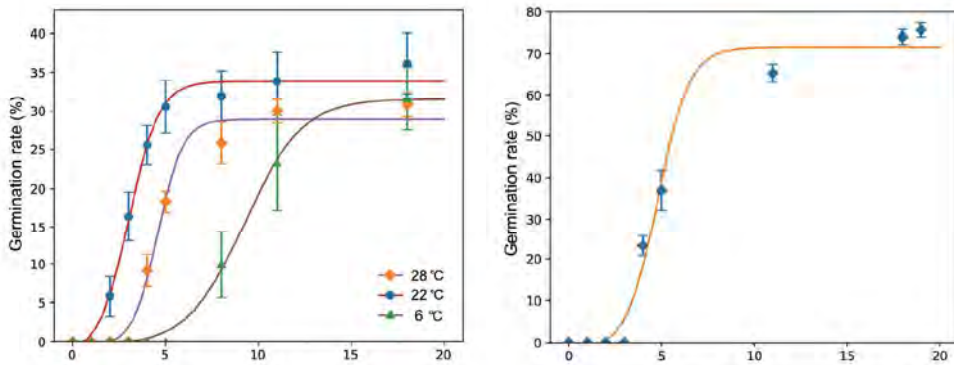


그림 26. 온도에 따른 발아율(왼쪽) 및 온실(자연광, 상토)에서 발아율(오른쪽).

뱃지가 자생하고 있는 만경강 일대에 토양을 갈아엎어 주변 식생을 제거한 처리구와 대조구에 뱃지 종자 100립을 각각 파종(n=5)하여 발아율과 생존율을 관찰하였다(그림 27). 전주 도덕동 토양에서 최대 62.5±9.1립의 종자가 발아했으며 5월 중순까지 약 60여 개의 개체를 유지하다가 이후 급격하게 감소하였다. 전주 고랑동의 경우에는 5월 중순 나지지역에 최대 약 90개의 개체가 발아했다. 물억새 군락의 방형구에서는 광량 부족으로 발아율은 상대적으로 낮았으나, 6월까지 토양 수분이 안정적으로 유지되어 개체수의 감소가 적었다. 전체적으로 뱃지 종자 발아율에 있어 나지와 초지의 유의미한 개체수 차이는 없었다. 이를 통해 뱃지는 기존의 식생군락에 침입 가능성이 높을 것으로 보인다.

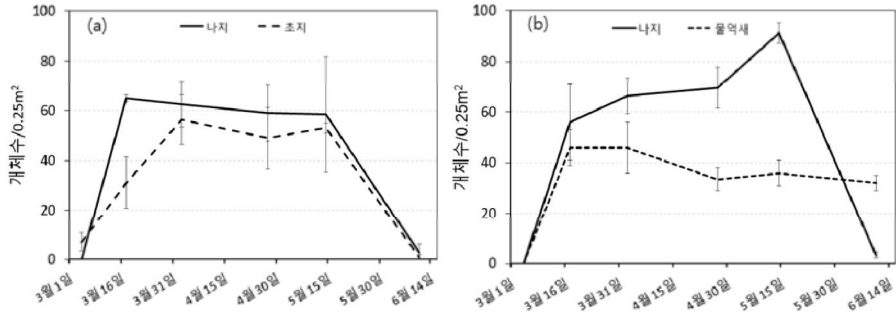


그림 27. 뱃지 발아율 및 생존율 변화.
 (a) 전주 도덕동(나지, 초지), (b) 전주 고랑동(나지, 물억새군락)

뱃지가 대규모로 식재된 군산시 나포면 일대에서 뱃지 종자 유출을 관찰한 결과, 총 82개 식재지 이외 지점에서 뱃지를 확인하였다(그림 28). 77개 지점은 뱃지 식재지와 20m 이내의 인근 도로변이었으며, 폭 20m 하천을 넘어서 관찰된 뱃지는 5지점이었다. 종자의 무게와 크기로 인해 바람에 의한 장거리 확산은 어려운 것으로 판단되었다. 그러나 농수로에서 뱃지가 빈번히 관찰되어 유수에 의한 장거리 확산 위험성은 존재한다.

뱃지 종자는 크고 쉽게 분산되지 않는데(Lapina & Carlson, 2013; Undersander et al., 2015), 자연적인 종자 분산보다는 운송 수단을 통한 분산이 일어날 가능성이 높다(Aarssen et al., 1986; Jannink et al., 1997). 아르헨티나의 경우 마초 재배지에서 뱃지의 종자가 탈출하여 자연 생태계에 정착하였고(Aarssen et al., 1986), 국내에서는 녹비작물로 활용되고 있으며, 운송 과정에 종자가 분산될 가능성이 있다(구자환 등, 2015).

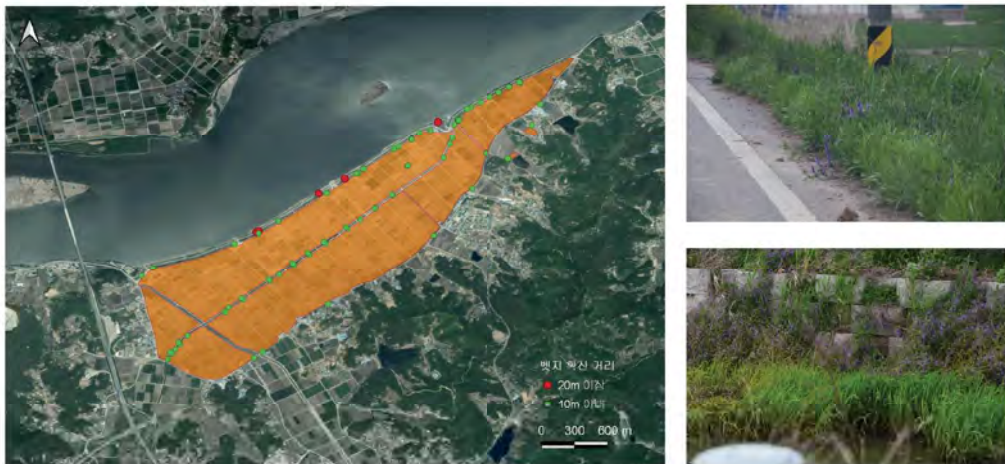
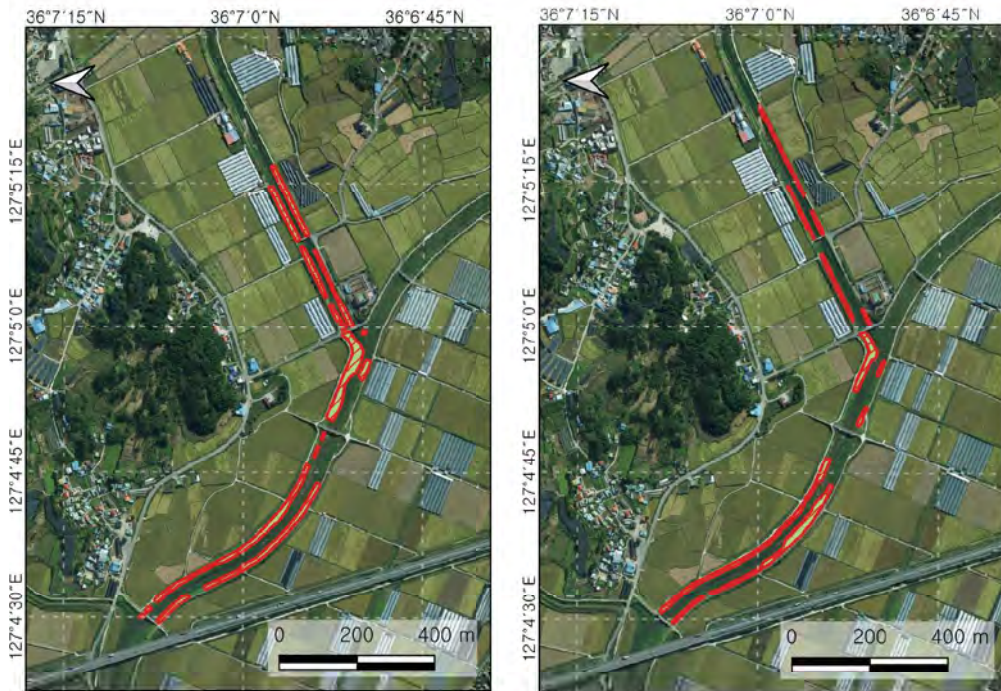


그림 28. 뱃지 식재지(오렌지색 구역: 군산시 나포면)에서 유출된 뱃지 지점(붉은색: 폭 20m 하천 건너편 분포, 초록색: 도로변 분포) 및 식재지에서 유출된 뱃지 사진(오른쪽).

논산시과 예산군의 벼지군락에서 '20년과 '21년의 벼지 군락 면적 변화를 관찰하였다. 논산시의 벼지 군락 면적은 다소 감소했으며 예산군은 1년 사이 8배가 증가했다(그림 29). 논산시의 벼지 군락 면적 감소는 조사 시점의 불일치와 벼지 종자를 섭취하는 잎벌레과의 외래곤충 *B. brachialis*의 영향인 것으로 보인다. 반면 예산군 삼교천 일대의 벼지 군락은 크게 증가하였는데 이는 자연 생태계에서의 벼지의 자연적인 확산 사례가 될 수 있을 것이다.

천안, 홍성, 익산, 전주 군락도 하천변에 위치하고 있으며, 홍성과 전주는 1ha 이상의 대군락을 이루고 있었다. 벼지가 나타나는 주변지역의 식생은 수변에 분포하는 갈대, 물억새가 주를 이루고 있었다. 본 조사에서 확인된 벼지 대군락은 지속적인 모니터링을 통해 추가 확산 여부를 확인할 필요가 있다.



(a) '20년 5월 28일 논산시 연무읍
(면적: 25,563m²)

(b) '21년 6월 17일 논산시 연무읍
(면적: 17,962m²)



(c) '20년 5월 15일 예산군 삼교읍
(면적: 47,807m²)



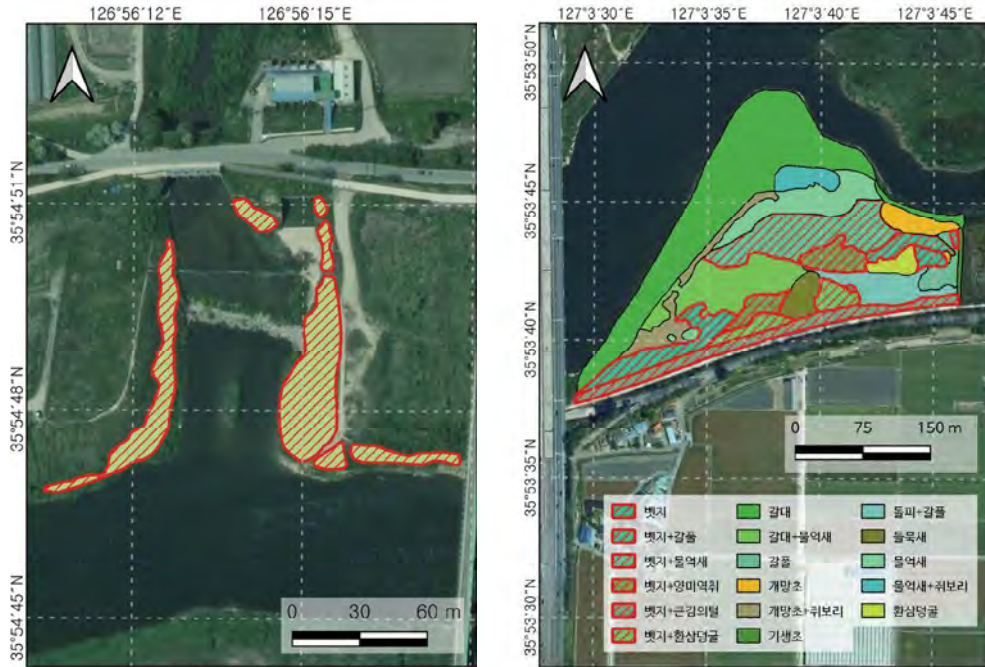
(d) '21년 5월 5일 예산군 삼교읍
(면적: 386,503m²)



(e) '21년 천안시 신방동
(면적: 9,958m²)



(f) '21년 홍성 광천읍
(면적: 14,677m²)



(g) '21년 익산시 목천동
(면적: 3,069m²)

(h) '21년 전주시 화전동
(면적: 17,485m²)

그림 29. 뱀지 대규모 군락 뱀지 분포도.

(4) 생태계 및 사회 경제에 대한 영향

국의 자료에 의하면 뱀지는 조밀한 개체군을 형성하여 서식지 내 토착 식물의 종 다양성을 낮추고 서식지 구조를 변화시킨다고 보고하고 있다(Cal-IPC, 2015). 국내 생태계에서의 뱀지의 영향을 파악하기 위해 전국 21개 지점에서 최소 5개 방형구 설치 후 피도 조사를 진행하여 식물 종다양성 영향을 조사하였다.

김제 지역 뱀지 군락의 방형구 조사 결과 4월에는 뱀지(35.0), 갈퀴덩굴(13.5), 소리쟁이(11.3), 쇠별꽃(8.3), 큰개불알풀(8.3) 순이었으며, 5월에는 뱀지(21.4), 쇠별꽃(13.0), 개밀(13.0), 갈퀴덩굴(8.5), 소리쟁이(7.8), 6월에는 뱀지(53.3), 쇠별꽃(9.9), 소리쟁이(9.9), 서양민들레(9.9), 환삼덩굴(9.9), 8월 가시박(21.0), 소리쟁이(10.1) 순으로 중요치가 높았다. 뱀지의 중요치는 6월 개화-결실기에 가장 높아졌다가 8월에 대부분 고사하여 낮아졌다. 뱀지 개체군이 감소한 8월 이후에는 가시박과 나팔꽃의 중요치가 높아졌다(표 9). 뱀지의 피도가 가장 높았던 6월에 출현 종수가 가장 적었으며, 뱀지의 피도가 비교적 낮은 5월과 8월에는 출현 종수가 증가했다.

표 9. 김제 지역 벚지 군락 출현 식물 중요치(%)

과명	학명 (국명)	4월	5월	6월	8월	평균
콩과	<i>Vicia villosa</i> Roth (벚지)	35.0	21.4	53.3	7.9	29.4
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	11.3	7.8	9.9	1.1	9.8
석죽과	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (쇠별꽃)	8.3	13.0	9.9	4.7	9.0
삼과	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. (환삼덩굴)	4.2	3.3	9.9	7.3	6.1
국화과	<i>Taraxacum officinale</i> Weber (서양민들레)	6.1	5.4	9.9	1.2	5.7
박과	<i>Sicyos angulatus</i> L. (가시박)		1.1		21.0	5.5
꼭두선이과	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek (갈퀴덩굴)	13.5	8.5			5.5
벼과	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi (개밀)		13.0	7.3		5.1
벼과	(벼과 sp.)	1.3				2.6
메꽃과	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth (나팔꽃)				9.9	2.5
현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir. (큰개불알풀)	8.3				2.1
국화과	<i>Artemisia princeps</i> Pamp. (쑥)	3.1	2.4		1.2	1.7
메꽃과	<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino (메꽃)		3.3		3.1	1.6
마디풀과	<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross (고마리)		4.3		1.2	1.4
대극과	<i>Acalypha australis</i> L. (깨풀)				5.3	1.3
국화과	<i>Sonchus brachyotus</i> A. P. DC. (사데풀)		2.2		1.4	0.9
산형과	<i>Caucalis scabra</i> (Thunb.) DC. (개사상자)		3.3			0.8
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel. (바랭이)				2.9	0.7
벼과	<i>Echinochloa crusgalli</i> var. <i>oryzicola</i> (Vasinger) Ohwi (물피)				2.9	0.7
메꽃과	<i>Ipomoea lacunosa</i> L. (애기나팔꽃)				2.7	0.7
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)				2.7	0.7
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)		2.6			0.7
양귀비과	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (Hara) Ohwi (애기똥풀)		1.3		1.2	0.6
국화과	<i>Xanthium canadense</i> Mill. (큰도꼬마리)				2.5	0.6
산형과	<i>Oenanthe javanica</i> (Bl.) DC. (미나리)				2.3	0.6
쥐손이풀과	<i>Geranium carolinianum</i> L. (미국쥐손이)		1.9			0.5
쇠비름과	<i>Portulaca oleracea</i> L. (쇠비름)				1.7	0.4
벼과	<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fernald (개피)		1.3			0.3
콩과	<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetilis</i> (Thuill.) K.Koch. (살갈퀴)		1.3			0.3
벼과	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. (큰김의털)		1.3			0.3
벼과	<i>Lolium perenne</i> L. (호밀풀)		1.3			0.3
국화과	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill. (큰방가지똥)				1.2	0.3
비름과	<i>Achyranthes fauriei</i> H.Lev. & Vaniot (털쇠무릎)				1.2	0.3
비름과	<i>Amaranthus blitum</i> L. subsp. <i>oleraceus</i> (L.) Costea (개비름)				1.2	0.3
콩과	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc. (돌콩)				1.2	0.3
국화과	<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch. (중대가리풀)				1.0	0.2
마디풀과	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre (흰여뀌)				1.0	0.2

논산 지역 벼지 군락의 방형구 조사 결과 4월에는 벼지(23.9), 소리쟁이(12.7), 갈퀴덩굴(12.4), 환삼덩굴(9.4), 유럽전호(9.0), 5월 벼지(25.6), 유럽전호(9.3), 쥐보리(8.3), 가시박(7.1), 갈퀴덩굴(6.8), 6월 벼지(33.3), 쇠뜨기(14.7), 쥐보리(6.7), 가시박(6.1), 메꽃(6.1), 8월 가시박(16.0), 애기나팔꽃(8.5), 쇠뜨기(7.5), 갓(6.5), 나팔꽃(6.5) 순으로 중요치가 높았다. 벼지의 중요치는 6월 개화·결실기에 가장 높아졌다가 8월에 대부분 고사하여 낮아졌다. 갈퀴덩굴과 은 4월 이후, 유럽전호와 쥐보리는 5월 이후 중요치가 감소하였다. 벼지 개체 대부분이 시들은 8월에 가시박의 중요치가 높아졌으며, 쇠뜨기의 중요치는 6월까지 증가하다가 8월에 다소 감소하였다(표 10).

표 10. 논산 지역 벼지 군락 출현 식물 중요치(%)

과명	학명(국명)	4월	5월	6월	8월	평균
콩과	<i>Vicia villosa</i> Roth (벼지)	23.9	25.6	33.3	2.7	21.4
박과	<i>Sicyos angulatus</i> L. (가시박)		7.1	6.1	16.0	7.3
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	12.7	4.0	6.1	4.2	6.8
속새과	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기)		3.0	14.7	7.5	6.3
꼭두선이과	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek (갈퀴덩굴)	12.4	6.8			4.8
산형과	<i>Anthriscus caucalis</i> M. Bieb. (유럽전호)	9.0	9.3			4.6
십자화과	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. (갓)	2.4	2.3	6.1	6.5	4.3
벼과	<i>Lolium multiflorum</i> Lam. (쥐보리)		8.3	6.7		3.8
메꽃과	<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino (메꽃)		6.1	6.1	1.4	3.4
벼과	<i>Phragmites communis</i> Trin. (갈대)	2.2	6.0		3.9	3.0
메꽃과	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth (나팔꽃)			4.3	6.5	2.7
삼과	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. (환삼덩굴)	9.4			1.0	2.6
산형과	<i>Oenanthe javanica</i> (Bl.) DC. (미나리)	4.8	3.8			2.1
메꽃과	<i>Ipomoea lacunosa</i> L. (애기나팔꽃)				8.5	2.1
국화과	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist (망초)			6.1	1.4	1.9
석죽과	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (쇠별꽃)	3.6	3.8			1.9
벼과	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi (개밀)		3.0	4.3		1.8
벼과	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv. (돌피)				6.1	1.5
국화과	<i>Lactuca scariola</i> L. (가시상추)			6.1		1.5
쇠비름과	<i>Portulaca oleracea</i> L. (쇠비름)				5.3	1.3
현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir. (큰개불알풀)	5.1				1.3
벼과	(벼과 sp.)	4.3				1.1
벼과	<i>Phalaris arundinacea</i> L. (갈풀)		4.0			1.0
벼과	<i>Agropyron ciliare</i> (Trin.) Fr. (속털개밀)		3.0		0.8	1.0
사초과	<i>Cyperus iria</i> L. (참방동사니)				3.7	0.9
비름과	<i>Amaranthus blitum</i> L. subsp. <i>oleraceus</i> (L.) Costea (개비름)				3.5	0.9
국화과	<i>Xanthium canadense</i> Mill. (큰도꼬마리)	1.5			2.0	0.9
현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L. (선개불알풀)	3.0				0.7
바늘꽃과	<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb. (여뀌바늘)				2.5	0.6
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)				2.5	0.6

과명	학명(국명)	4월	5월	6월	8월	평균
벼과	<i>Lolium perenne</i> L. (호밀풀)		2.3			0.6
마디풀과	<i>Panicum thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross (고마리)				2.2	0.5
꿀풀과	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt. (억모초)				1.8	0.4
양귀비과	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (Hara) Ohwi (애기똥풀)				1.6	0.4
대극과	<i>Acalypha australis</i> L. (깨풀)				1.6	0.4
콩과	<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetilis</i> (Thuill.) K.Koch. (살갈퀴)		1.5			0.4
꿀풀과	<i>Lamium amplexicaule</i> L. (광대나물)	1.5				0.4
석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. (유럽점나도나물)	1.5				0.4
꿀풀과	<i>Lamium purpureum</i> L. (자주광대나물)	1.5				0.4
십자화과	<i>Capsella bursapastoris</i> (L.) Medicus (냉이)	1.2				0.3
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. (강아지풀)				1.0	0.2
국화과	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. (한련초)				1.0	0.2
사초과	<i>Cyperus microiria</i> Steud. (금방동사니)				1.0	0.2
십자화과	<i>Rorippa palustris</i> (Leyss.) Besser (속속이풀)				0.8	0.2
콩과	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H.Ohashi (차풀)				0.8	0.2
대극과	<i>Euphorbia supina</i> Raf. (애기땅빈대)				0.8	0.2
국화과	<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch. (중대가리풀)				0.8	0.2
마디풀과	<i>Panicum sp.</i> (여뀌속 sp.)				0.8	0.2

서천 지역 벼지 군락의 방형구 조사 결과 4월에는 벼지(22.9), 소리쟁이(11.1), 참새귀리(11.1), 갈퀴덩굴(9.7), 망초(9.0) 5월 벼지(18.4), 소리쟁이(12.9), 참새귀리(11.9), 쭉(7.6), 망초(3.7), 6월 벼지(34.7), 큰이삭풀(17.0), 소리쟁이(10.7), 개망초(10.7), 들복새(8.8), 8월 소리쟁이(15.3), 망초(11.5), 강아지풀(10.6), 여우팔(8.0), 벼지(7.5) 순으로 중요치가 높았다. 벼지의 중요치는 6월 개화-결실기에 가장 높아졌다가 8월에 대부분 고사하여 낮아졌다. 갈퀴덩굴은 4월 이후, 참새귀리는 5월 이후 중요치가 감소하였다. 벼지 개체군 대부분이 시들은 8월에는 소리쟁이, 망초, 강아지풀의 중요치가 비교적 높아졌다(표 11).

모든 조사지점에서 6월에 벼지의 피도가 가장 높았으며, 6월의 벼지의 중요치 값은 30-50를 차지했다. 벼지의 중요치가 높은 6월에는 군락 내 기타 식물종의 감소하는 것을 확인하였으며, 벼지의 중요치가 상대적으로 낮은 5월과 8월에는 출현 종수가 증가했다. 이는 벼지의 피복에 의한 광 차단으로 다른 종의 발아 및 생존이 어려운 것으로 보인다.

표 11. 서천 지역 벼지 군락 출현 식물 중요치(%)

과명	학명(국명)	4월	5월	6월	8월	평균
콩과	<i>Vicia villosa</i> Roth (벼지)	22.9	18.4	34.7	7.5	2.9
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	11.1	12.9	1.7	15.3	12.5

과명	학명(국명)	4월	5월	6월	8월	평균
국화과	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist (망초)	9.0	3.7	4.4	11.5	7.2
벼과	<i>Bromus japonicus</i> Thunb. ex Murray (참새귀리)	11.1	11.9			5.8
국화과	<i>Artemisia princeps</i> Pamp. (쑥)	1.4	7.6	7.6	6.0	5.6
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. (강아지풀)	8.4	1.2		1.6	5.1
벼과	<i>Bromus unioloides</i> H.B. & K. (큰이삭풀)		2.0	17.0		4.7
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)	1.4	3.2	1.7	2.3	4.4
벼과	<i>Festuca myuros</i> L. (들목새)		3.2	8.8		3.0
꼭두선이과	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek (갈퀴덩굴)	9.7	2.0			2.9
석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. (유럽접나도나물)	7.0	1.2			2.1
콩과	<i>Dunbaria villosa</i> (Thunb.) Makino (여우팔)				8.0	2.0
국화과	<i>Xanthium canadense</i> Mill. (큰도꼬마리)	4.2			3.6	1.9
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel. (바랭이)				7.4	1.8
벼과	<i>Phragmites communis</i> Trin. (갈대)	1.4	2.0		3.9	1.8
콩과	<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi (참)			6.3		1.6
박과	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Max. (하늘타리)		1.8		3.2	1.3
장미과	<i>Rubus parvifolius</i> L. (멍석딸기)		3.6		1.4	1.3
바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L. (달맞이꽃)	4.2				1.0
벼과	<i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv. (금강아지풀)				4.1	1.0
현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L. (선개불알풀)	1.4	2.5			1.0
메꽃과	<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino (메꽃)		1.2		2.6	0.9
콩과	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray (새완두)		3.7			0.9
벼과	<i>Agropyron ciliare</i> (Trin.) Fr. (속털개밀)		3.6			0.9
박주加里과	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino (박주加里)				3.4	0.9
석죽과	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (쇠별꽃)	2.8				0.7
닭의장풀과	<i>Commelina communis</i> L. (닭의장풀)				2.3	0.6
국화과	<i>Symphotrichum pilosum</i> (Willd.) G.L.Nesom (미국쑥부쟁이)		1.1		1.2	0.6
쥐손이풀과	<i>Geranium carolinianum</i> L. (미국쥐손이)		2.2			0.5
국화과	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. (한련초)				1.9	0.5
삼과	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. (환삼덩굴)				1.8	0.5
벼과	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi (개밀)		1.8			0.5
방기과	<i>Cocculus triobus</i> (Thunb.) DC. (댕댕이덩굴)		1.8			0.5
장미과	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge (산딸기)		1.8			0.5
벼과	<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle (역새)		1.8			0.5
꿀풀과	<i>Lamium amplexicaule</i> L. (광대나물)	1.4				0.4
사초과	(사초과 sp.)	1.4				0.4
메꽃과	<i>Calystegia hederacea</i> Wall. (애기메꽃)		1.2			0.3
벼과	<i>Lolium multiflorum</i> Lam. (쥐보리)		1.2			0.3
현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir. (큰개불알풀)	1.2				0.3
비름과	<i>Achyranthes fauriei</i> H.Lev. & Vaniot (털쇠무릎)		1.1			0.3
지치과	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl. (꽃마리)				1.0	0.2
십자화과	<i>Lepidium virginicum</i> L. (콩다닥냉이)				1.0	0.2

전국 21개 지점 벚지군락에 무작위로 임시 방형구를 설치하여 출현 식물 종의 피도값을 측정하였다. 전 지역의 평균 종다양성 지수는 2.75였으며, 총 103 분류군이 벚지 군락에서 확인되었다. 출현식물의 중요치를 비교한 결과 벚지는 0.23으로 가장 높았으며, 다음으로 개망초(0.08), 쭉, 소리쟁이, 쇠뜨기 순으로 나타났다(그림 30). 벚지와 개망초 종간의 중요치 차이가 약 3배로 벚지 단일종에 의한 우점을 확인할 수 있었으며, 전국에서 벚지가 우점하고 있는 군락은 기타 식물종의 유입 및 생장이 억제되는 것으로 보인다. 실제로 벚지 군락 내부로 투과되는 광을 측정한 결과 평균 87%의 광이 차단되는 것을 확인하였다. 이를 통해 벚지의 피복으로 인한 빛의 차단이 다른 식물 종의 광합성을 억제하는 것으로 예상된다.

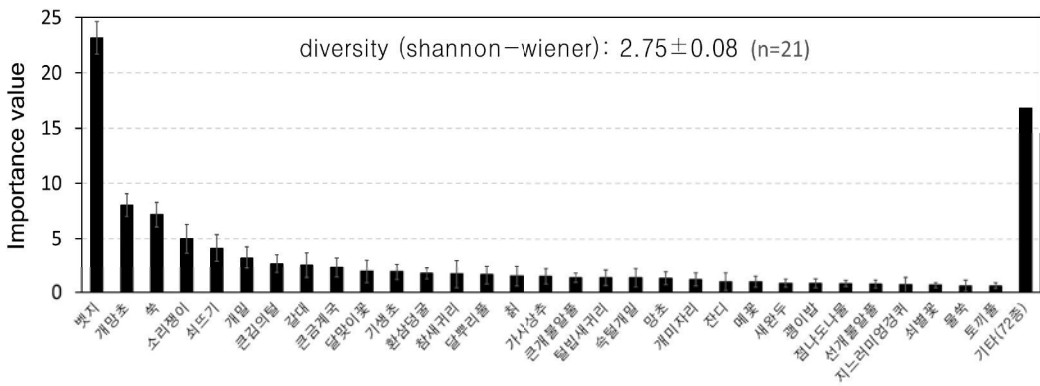


그림 30. 벚지 군락(전국 21개 지점)의 출현 식물종 중요치 비교.

김제, 논산, 서천의 월별 출현 식물의 종 피도값을 이용해 군집 분석을 진행하였다. 지역별 출현 식물의 차이는 미미했으나, 8월과 봄철(4월, 5월, 6월)의 식물 종 구성의 차이가 큰 것을 확인하였다. 벚지의 중요치는 6월 개화·결실기에 가장 높아졌다가 8월 이후 모두 감소했다. 조사 지역이 하천변에 위치하고 있어 모든 지역에서 소리쟁이의 피도는 지속적으로 높게 나타났다(그림 31). 벚지 개체군이 감소한 8월 이후에는 큰도꼬마리, 가시박, 환삼덩굴 등의 중요치가 높아졌다. 벚지 피복이 낮아진 이후 조사지에 토착 식물의 정착율은 낮았으며, 대부분이 생태계교란 식물 또는 외래종이 침입하는 것을 관찰하였다.

지의 품종개량 및 보급을 활성화 하고 있다. 현재 국내에서는 목초용으로 조생종 '콜드그린'과 중만생종 '청파'가 육성, 풋거름용으로 '청풍보라'와 '온토비'를 육성하였다(신정남 등, 2007; Matic & Karagic, 2010; SAREP, 2014; 구자환 등, 2014; 구자환 등, 2015). 농촌진흥청 자문 의견으로 벳지는 국내에서 100년 넘게 친환경 녹비작물로 활용해왔으며, 양분공급량, 활용지역 및 시기 등을 고려할 때, 다른 녹비작물로 벳지를 대체하기는 어렵다는 의견을 제시하였다. 정부의 친환경 농업 확대 정책으로 벳지의 활용도는 더욱 높아질 것으로 예상된다.

3. 돼지풀아재비(*Parthenium hysterophorus* L.)

가. 서론

돼지풀아재비(*Parthenium hysterophorus* L.)는 중앙아메리카 원산의 국화과 일이년 생 식물이다. 생육 환경이 양호한 국외에서는 다년생으로 자라는 개체가 관찰되기도 한다. 인도, 호주 등에서는 농작물, 야생동물, 인간 건강 막대한 악영향을 미치고 있다(Weyl et al., 2019). 이로 인해 세계자연보전연맹(IUCN)에서 2018년 '세계 100대 위해 외래생물'로 등록하였고(GISD, 2018), 45개국 이상에서 농작물 생산량을 저해하는 대표적인 위해종으로 보고하고 있다(Bajwa et al., 2016). 호주에서는 수백만 달러에 이르는 농작물 생산량 감소가 있었으며(Kaur et al., 2014), 인도, 호주, 에티오피아에서는 인간에게 알레르기성 비염, 피부 알레르기, 가려움증, 발열 및 천식 피해를 일으키고 있다(Towers & Subba Rao, 1992; Gnanavel, 2013). 또한 작물에 질병을 일으키는 바이러스 숙주이며 콩과 식물에서 질소고정 박테리아를 억제하는 것으로 알려져 있다(EPPO, 2018b). 앞선 연구에 따르면 돼지풀아재비는 단일 개체에서 2,400~30,000개의 종자를 생산할 정도로 종자 생산량이 많고, 다양한 환경에 대한 내성이 강하다. 또한 식물체 내 수용성 페놀 등의 타감물질을 생산하여 토착 식물의 발아 및 성장을 억제하는 것으로 보고되고 있다(Lalita & Ashok Kumar, 2018).

국외의 돼지풀아재비의 최적 생육환경은 평균 강수량 500mm 이상, 평균 온도 30°C 이상 지역으로 알려져 있다(Lalita & Ashok Kumar, 2018). 건조, 온도, 광주기, 염분 스트레스에 대한 내성이 강해 다양한 토양 환경에서도 생육이 가능하다(Pandey & Dubey, 1989; Bajwa et al., 2018). 국내에서 돼지풀아재비는 1995년 경상남도 통영에서 최초로 확인되었으며(박수현, 1996), 이후, 서울, 무주, 창원, 고성 등에서 관찰되었으나 본 조사에서는 경남 고성과 창원을 제외하고 생육 개체를 확인할 수 없었다. 운송 수단을 통해 주변 지역으로 확산되는 있는 국외 사례를 고려할 때, 국내에서도 종자가 차량 등의 운송수단을 통해 분포가 확대될 가능성이 높을 것으로 판단된다(Auld et al., 1982; Razaq et al., 1994; Taye, 2002).

돼지풀아재비가 국내 생태계 및 사회·경제에 미칠 수 있는 잠재적 위해성이 높으나, 국내 자연 생태계 확산과 위해성에 대한 연구가 전무하여 2020년 정밀조사를 수행하였다. 그러나 당해 연구만으로는 생활사를 알 수 없고, 국내 분포, 확산 가능성, 생태계 위해성 등에 대한 추가자료 확보가 필요하여 2021년 추가 연구를 진행하였다. 본 연구에서 돼지풀아재비의 생태적 위해성을 파악하기 위해 자연생태계 확산 실태 파악, 중간 경쟁, 서식환경 특성, 발아 실험, 토양종자은행, 식물체 내 타감물질 분석을 진행하였다. 본 연구를 통해 돼지풀아재비의 생태계 위해성 파악 및 관리방안 마련을 위한 근거자료를 제공하고자 한다.

나. 연구내용 및 방법

(1) 기후적합성 예측

문헌자료와 국제농업생명공학연구소(CABI, <https://www.cabi.org/>)의 자료를 바탕으로 돼지풀아재비의 국외 분포를 확인하였다. 전 세계 분포지 기후와 국내 기후 비교를 위해 식물 생장에 영향을 미치는 기후 요인 3개 항목(연평균기온, 연강수량, 건조한 분기 강수량)에 대한 자료를 WorldClim(www.worldclim.org)에서 수집하였다. R(version 3.6.3), QGIS(version 3.10) 프로그램에서 Randomforest 기법을 적용하여 서식지 적합도 분석을 진행하였다.

(2) 식생조사

식생조사는 경남 고성에 중점 조사지역(거산리, 봉곡삼거리, 삼락리)을 선정하여 10개의 방형구(1m × 1m)를 설치하여 7~10월에 Braun-Blanquet법에 따라 영구 방형구 조사를 실시하였다. 방형구 내의 출현종의 상대빈도와 상대피도를 이용하여 각종의 중요치(범위: 0~100)와 식물종 다양성 지수(Shannon-Wiener diversity)를 산출하였다. 계절별 당동향과 거산리에서 종조성 변화는 Cluster분석을 진행하였다(R, version 3.6.3). 돼지풀아재비의 현존량을 파악하기 위해 최대 생물량에 도달하는 9월 말에 고성 4개 지역에 각 3개 방형구(0.25m × 0.25m)를 설치하여 개체를 수확하였다. 수확한 식물체는 실험실로 운반하여 지상부와 지하부로 나눈 뒤 60℃ 건조 오븐에서 48시간 건조 후 단위면적 당 현존량으로 환산하였다.

(3) 발아실험

온도에 따른 발아율과 온실 최적 조건에서의 발아율을 확인하기 위해 국내의 자생지(경남 고성)에서 수확한 종자를 이용하였다. 곰팡이 발생을 억제하기 위해 차아염소산나트륨에 8시간 침전하여 가다앉은 종자 750립을 선별하였다. 온도구배는 고온(28.1±2.3℃), 상온(22.1±1.6℃), 저온(6.1±0.5℃) 3개로 나누었고, 각 구배마다 페트리디쉬(가로 12cm × 세로 12cm × 높이 1.5cm)내 종이 배지에 50립씩 파종하였으며 4반복 발아실험을 진행했다. 온도 측정은 온도로거(HOBO Pro v2, Onset Computer)를 이용하여 측정하였고, 발아실험 기간 동안 수분은 증류수를 이용하여 2~3일 간격으로 50ul씩 공급하였다.

국립생태원 온실에서 플라스틱 모판(가로 36cm × 세로 51cm × 높이 8cm)에 상토(원예용상토, 서울바이오)를 채우고 종자 100립을 파종하여 3반복 발아실험을 진행했다. 평균 토양배지 수분함량은 50%(최대 83%, 최소 32%)를 유지하였다. 발아 실험은 10월 7일부터 11월 2일까지 실시하였고, 주기적으로 발아율(%)을 측정하였으며 발아는 자엽 또는 기근이 나온 것을 발아로 간주하여 육안으로 확인하였다.

야외 발아 실험의 경우, 경남 고성 6개 지점에 돼지풀아재비 종자 200립을 각각 파종 후, 밀도와 높이를 주기적으로 측정하였다.

(4) 토양 종자은행

돼지풀아재비 자생지의 토양 내 종자의 구성 및 규모를 확인하기 위해 2021년 4월 2일 토양 시료를 경남 고성군 돼지풀아재비 군락에서 채집하였다. 토양 시료는 soil core kit (지름: 5cm, 높이: 5cm)를 이용하여 방형구 (1m × 1m) 내에 4개 지점에서 표토를 채집하여 하나의 샘플로 준비하였다. 한 조사 지역의 반복수는 3개로 방형구 간 간격은 5m 이상으로 하였다. 이후 채집토양은 비닐백에 밀봉하여 저온실에 보관하였다. 토양종자은행 채집 지역은 재방문하여 현장 발아, 계절 별 식생조사, 토양의 이화학적 특성, 서식지 환경 등을 조사하였다.

매토종자 발아 실험은 국립생태원 온실에서 실시하였으며, 실험에 사용된 발아용 상자는 통수를 위해 바닥에 구멍이 있는 50cm × 35cm 상자를 사용하였다. 채집토양을 무종자 혼합상토 위에 1cm 미만으로 도포하여, 1~2주 간격으로 발아된 종을 동정하고 밀도를 확인하였다. 유식물이 자라면 동정이 가능한 개체는 실험구에서 뽑아내고, 동정이 모호한 개체는 꽃이나 열매를 맺을 때까지 키워 확인하였다. 토양종자은행 발아 실험은 4월 2일부터 토양 내 종자가 발아하지 않는 6월 20일 까지 진행하였다.

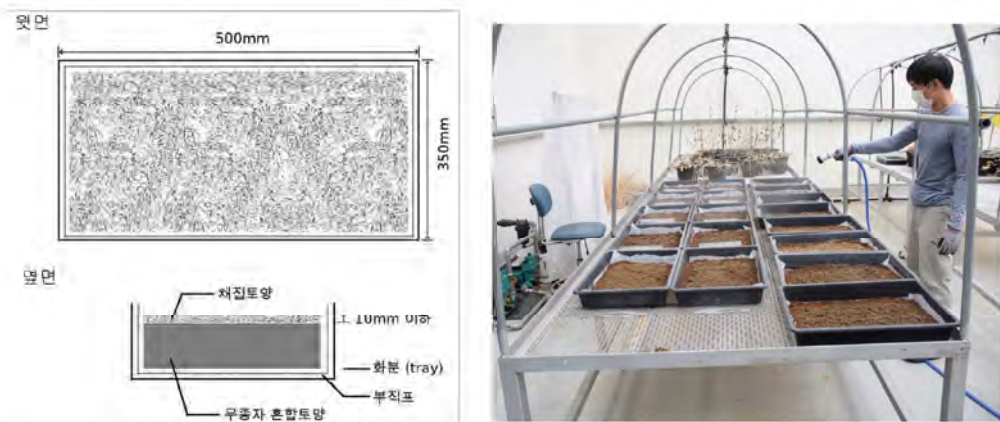


그림 32. 토양종자은행 발아 실험을 위한 화분(좌), 실험 진행 사진(우).

(5) 페놀화합물 분석

돼지풀아재비 식물체 내 타감물질의 함량을 확인하기 위해 HPLC-UVD(Thermo Dionex Ultimate, 3000)를 이용하여 280~340nm에서 분석했다. 2020년에는 기존의 문헌을 참고하여 5개 표준물질(Caffeic acid, p-Coumaric acid, Anisic acid, Ferulic

acid, Vanillic acid)을 분석하였다. 이를 위해 자생지(경남 고성)의 돼지풀아재비가 우점하는 군락에서 식물체를 9월에 채집하여 상온에서 2주간 건조시킨 뒤 잎과 줄기로 나누어 건조분말을 만들었다. 기존문헌에 비해 함량이 낮게 검출되어 2021년에 6개 표준물질(Chlorogenic acid, p-Hydroxybenzoic acid, Ellagic acid, Sinapic acid, Quercetin, Keampferol)을 추가하여 총 11개 표준물질을 분석했고, 경남 고성에서 채집한 돼지풀아재비 잎을 건조기에 60℃에 48시간 동안 말린 후 분쇄하여 건조분말을 만들었다. 건조 분말을 80% 메탄올 30mL을 첨가한 뒤 추출액을 만들었고, 각각의 표준품 10mg을 취해 10mL Volumetric Flask에 넣고 80% 메탄올로 채웠다 (표 12).

표 12. 페놀화합물 분석방법

구분	분석절차																					
시료추출 및 전처리	㉠ 건조분말 1g을 50mL 팔콘튜브에 넣음 ㉡ 80% 메탄올 30mL을 첨가한 뒤 초음파 추출 1시간 ㉢ Shaker에 올려놓고 상온에서 1시간 추출 ㉣ 추출액을 0.2um syringe filter로 필터																					
표준품 준비	㉠ Caffeic acid, p-Coumaric acid, Anisic acid, Ferulic acid, Vanillic acid 등 각각의 표준품 10mg을 취해 10mL Volumetric Flask에 넣고 80% 메탄올을 채움 ㉡ 제조된 용액을 희석하여 각각의 최종농도 100, 50, 25, 10, 1 ug/L mixture 용액을 만들어 검량선 작성용 용액으로 사용																					
HPLC	㉠ 페놀화합물 분석은 HPLC(ThermoDionex Ultimate, 3000)를 이용 ㉡ 고정상(column)은 C18(RP-18, 4.6 mm i.d.×250mm)을 사용하였고 오븐온도는 45도 ㉢ 이동상(mobile phase)은 0.3% Trifluoroacetic acid (A)와 Methanol (B)를 사용 ㉣ 유속(flow rate)은 0.8mL로 하였고 Gradient 조건은 아래와 같음 <table border="1" data-bbox="406 1185 1185 1407"> <thead> <tr> <th>Time (min)</th> <th>A (%)</th> <th>B (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>50</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>5</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>5</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>46</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> ㉤ 샘플 및 표준품 주입량은 10uL로 하였음 ㉥ 검출은 울트라바이올렛 파장에서 280nm 및 340nm에서 분석하였음	Time (min)	A (%)	B (%)	0	95	5	35	50	50	40	5	95	45	5	95	46	95	5	50	95	5
Time (min)	A (%)	B (%)																				
0	95	5																				
35	50	50																				
40	5	95																				
45	5	95																				
46	95	5																				
50	95	5																				

(6) 토양분석

자생지의 토양환경을 파악하기 위해 중점조사지역(경남 고성)내 각 조사지에서 3곳을 선정하여 9월에 토양을 채집하였고, 채취한 토양 시료는 폴리에틸렌 백에 넣어 밀봉한 후 정리하여 실험실로 운반하였다. 식물체의 생육에 영향을 주는 토성, 전질소(TN), 유효인산(AP), 치환성양이온(Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺), 양이온치환용량(CEC) 등

을 분석하였고, 토성, 양이온치환용량과 치환성양이온은 농업과학기술원(2000)의 토양 및 식물체분석법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 당동향과 거산리의 토양 이화학적 특성 차이는 주성분 분석(PCA)으로 비교했다(R, version 3.6.3).

다. 연구결과 및 고찰

(1) 기본정보

(가) 분류

- 국명: 돼지풀아재비
- 학명: *Parthenium hysterophorus* Linnaeus
- 영명: *Parthenium* weed, Santa-Maria, Santa Maria feverfew, Carrot grass, Congress grass, Congress weed, Dog flea weed, False ragweed, Featherfew, Feverfew, Mugwort; Ragweed parthenium etc.,
- 이명: *Argyrochaeta bipinnatifida* Cav., *Argyrochaeta parviflora* Cav., *Parthenium glomeratum* Rollins, *Parthenium lobatum* Buckl.
- 계통수

계(Kingdom) - Plantae

문(Phylum) - Spermatophyta

아문(Subphylum) - Angiospermae

강(Class) - Dicotyledonae

목(Order) - Asterales

과(Family) - Asteraceae

속(Genus) - *Parthenium*

종(Species) - *Parthenium hysterophorus*



그림 33. 경남 고성 돼지풀아재비 군락(왼쪽) 및 개화사진(오른쪽).

(나) 원산지

- 중앙아메리카, 멕시코 북동부(Patel, 2011)

(다) 침입지

- 아시아, 아프리카, 북미, 중미, 남미, 카리브해, 유럽 및 오세아니아

(라) 침입경로

- 미국에서 수입된 곡물과 함께 인도에 도입되어 현재 인도의 모든 주에 있는 것으로 보고되어 있다(Vartak, 1968; Gnanavel, 2013). 도로를 따라 인도에서 파키스탄, 네팔 및 방글라데시 등 주변 국가로 퍼지게 되었다(Razaq et al., 1994). 호주는 1940년대 남동부에서 처음 발견되었으며, 2차 세계대전 중 항공기와 기계부품 등의 운송 등으로 도입되었다(Auld et al., 1982). 에티오피아는 케냐와 소말리아에는 운송수단으로 인해 퍼졌고, 에티오피아에서 케냐, 모잠비크 및 남아프리카로 확산되었다(Taye, 2002).

(마) 국내 분포

- 1995년 경상남도 통영에서 최초로 발견되었으며(박수현, 1996), 이후 서울, 무주, 창원에서 분포 기록이 있으나, '21년 현장조사에서 경남 고성 5지역(당동항, 거산리, 봉곡삼거리, 신용리 및 삼락리) 및 창원 1지역(덕동동)을 제외하고 관찰되지 않았다(그림 34).

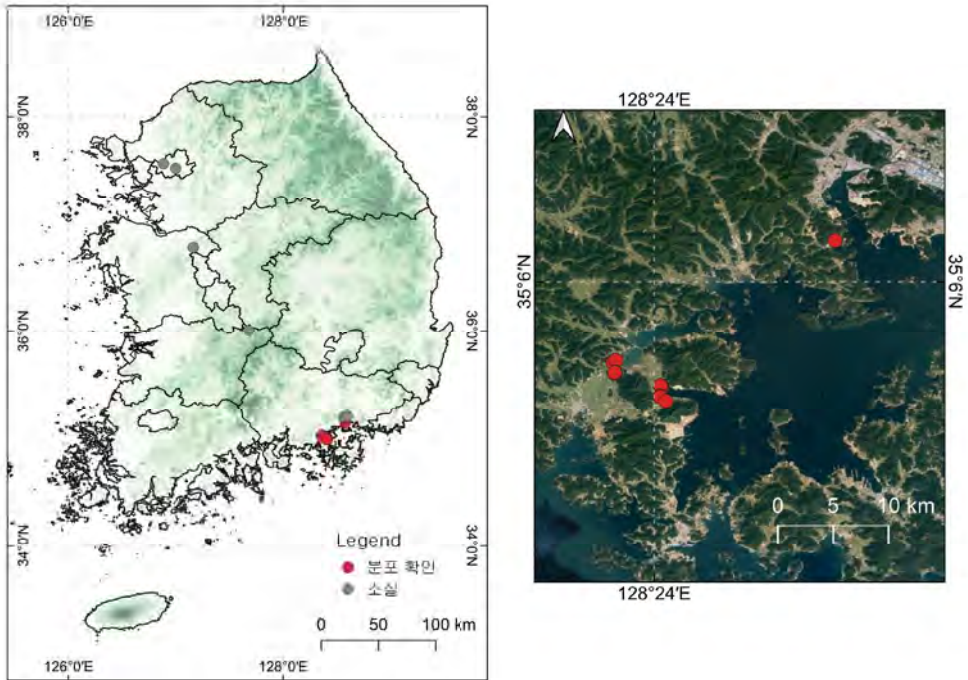


그림 34. 문헌 자료에 근거한 전국 분포 지점(왼쪽), 경남 고성 돼지풀아재비 분포 지점(오른쪽).

(바) 국외 분포

- 중앙아메리카 원산으로 아프리카 동부 지역, 인도, 파키스탄, 중국, 호주 등지에 침입하여 위해 잡초, 생태계 위해종으로 등록되어 관리되고 있다(그림 35).

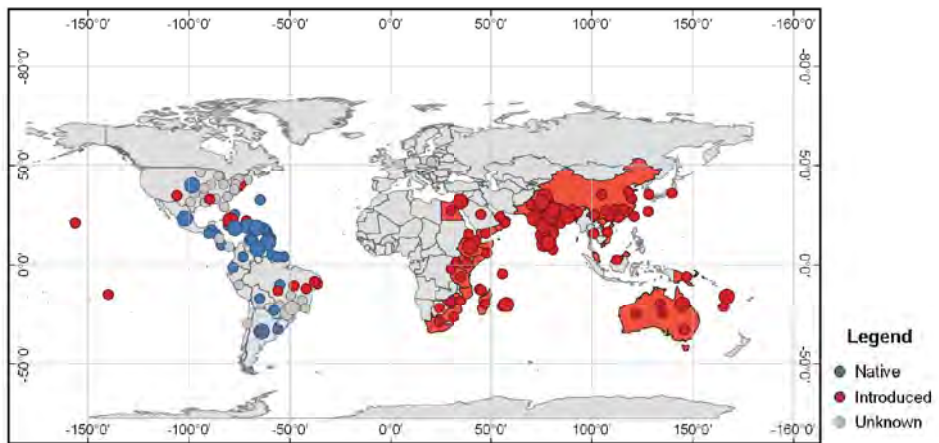


그림 35. 국외 돼지풀아재비 분포 지점 및 위해생물로 관리하고 있는 국가(붉은색) <자료 출처: <https://www.cabi.org/>>.

(사) 서식환경

○ 일년생 식물이나, 생육이 양호한 환경에서는 줄기가 목질화되어 다년생으로 자라기도 한다. 해발 최대 4,286m 높이까지 반 건조 지역과 습한 지역에서 주로 관찰된다(Rubaba et al., 2017). 그리고 알칼리성 토양(pH: 7.0 이상)보다는 중성 토양(pH: 6.5-7.0)을 선호하며 연간 여름 강우량이 500mm 이상인 지역이 적합한 서식지이다(Chamberlain & Gittens, 2004). 특히 길가와 철로 선로, 건물주변 및 창고 등 교란된 서식지에서 번식한다(EPPO, 2018b).

우리나라의 경남 고성에서는 최대 85cm (평균 39cm)까지 자라지만, 국외에서는 최대 2m까지 성장하기도 한다. 답압이 심한 길가 또는 주차장에서도 종자를 결실 하였다. 본 연구에서 돼지풀아재비와 함께 동반 출현 식물 74종을 수변식물 유형분류를 실시한 결과, 96%가 절대육상식물(UPL) 또는 임의육상식물(FACU)로 분류되었으며, 국내에서는 길가의 건조지에서 주로 관찰되었다(그림 36).

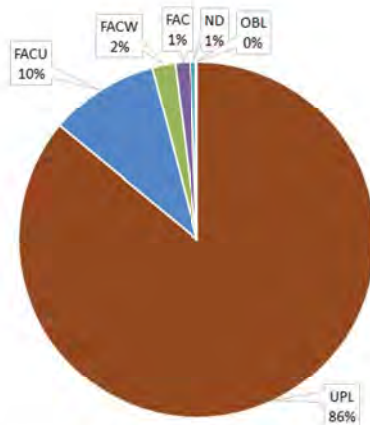


그림 36. 돼지풀아재비 동반 출현 중 수변식물 유형 분류.

(아) 용도

○ 민간요법 수준의 피부염증, 류마티스성 통증, 설사, 요로감염, 이질, 말라리아 및 신경통에 대한 치료제로 사용한다(Kishor et al., 2010; Patel, 2011). 경제적 활용성은 낮다.

(자) 규제현황

○ IUCN은 2018년에 '세계 100대 위해 외래생물'로 보고하였다(GISD, 2018). 45개국 이상에서 농경지의 대표적인 위해종으로 보고했다(Bajwa et al., 2016). 호주에서는 1975년에 유해식물로 지정되었으며, 국가 중요 잡초 (Weed of National Significance)로 모든 주에서 Weeds Australia Database에 등록되어 있고(Auld, et al., 1982; EPPO, 2014b), 인도의 카르나타카주에서는 1975년에 유해한 잡초로 지정하였다(Kumar & Varshney, 2010). 케냐에서는 2010년에 유해 잡초 억제 법(CAP 325)에 따라 유해 잡초로 지정되어 토지의 소유자가 식물을 제거해야 하고(Rubaba et al., 2017), 유럽에서는 2014년에 EUIAS 규정에 따라 검역 병해충으로 규제되어 판매 및 이동을 제한하고 국가 차원의 박멸프로그램을 수행하도록 요구하고 있다(EPPO, 2018b). 남아프리카에서는 2002년에 법률에 의거 규제(Conservation of Agricultural Resources Act (CARA), 식물을 즉시 제거하고 거래금지하고 있고, 미국령 푸에르토리코에서 유해 잡초로 등재되어 있다(EPPO, 2014b).

(2) 정착 가능성

돼지풀아재비 분포와 연관성이 높은 3개 항목(연평균기온, 연강수량, 건조한 분기 강수량)을 선택하여, 국외 돼지풀아재비 분포지 기후와 국내 기후를 비교하였다. 국외에서 돼지풀아재비 분포 가능성이 가장 높은 연평균 기온은 약 19℃로 국내의 연평균 기온 11.6℃와 차이를 보였다. 연평균 강수량의 경우도 국외에서 분포 가능성이 가장 높은 600mm와 국내의 1320mm와 차이를 보였다. 돼지풀아재비의 분포가 남부지방에 집중되어 있는 것을 고려해 볼 때, 국내 중부지방은 연평균기온이 낮아 정착하기 어려울 것으로 예측된다(그림 37).

기후 환경요인을 바탕으로 서식지 적합도 분석 결과, 기온이 온화한 전라도 남해안과 고도가 낮은 경상도 지역이 서식지 적합도가 높게 나타났다. 강원도 산간지역은 서식지 적합도가 가장 낮았다(그림 38). 국외 돼지풀아재비 번식지는 인도, 스리랑카 등 아열대 지역으로 정착·확산에 있어서 낮은 기온이 중요한 제한 요인일 것이다. 그러나 기후변화로 인한 한반도 기온, 돼지풀아재비의 환경 내성을 고려해 볼 때, 남해안 지역을 중심으로 서식지가 확대될 가능성도 있다.

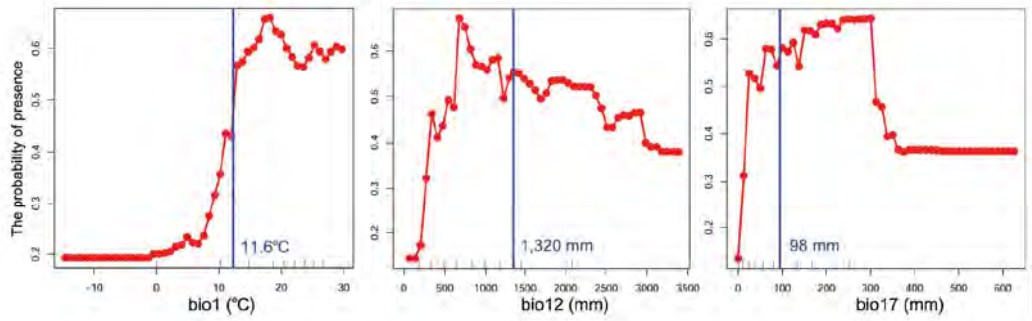


그림 37. 돼지풀아재비 출현 가능성(붉은색 선그래프)과 국내 평균기후(파란색 직선) 비교(bio1: 연평균기온, bio12: 연강수량, bio17: 건조한 분기 강수량)

<자료 출처: www.worldclim.org>

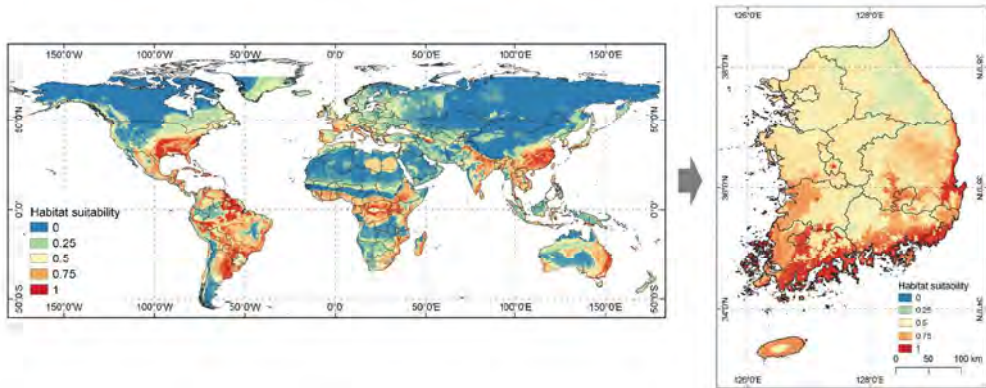


그림 38. 돼지풀아재비 서식지 적합도 분석 결과(Randomforest, ROC: 0.835).

(3) 확산 가능성

과거 논문 및 보고서에서 서울, 무주, 창원 등 7개 지역에서 돼지풀아재비 분포를 보고하고 있으나, '20년, '22년 현장 조사 결과 경남 고성과 창원에서만 서식을 확인 하였다(그림 39). 분포지점은 길가, 공터, 농경지 주변으로 답압이 심하고 예초 등 인간 활동에 의한 교란이 빈번히 일어나는 지점이었다. 거산리 지점은 논둑을 따라서 군락을 이루고 있으며, 반경 약 100m 지역에 개체단위로 분포하고 있었다. 농로 주변의 주기적인 예초에도 불구하고 개체군을 유지되고 있었다. 당동향과 봉곡삼거리의 공터 및 공사장 주변에 서식하고 있으며, 답압과 쓰레기 투척 등의 교란이 일어나고 있었다. 신용리와 삼락리 지역은 길가의 빈공터로 개체 단위로 분포하고 있었다.



그림 39. 경남 고성군 돼지풀아재비 분포지점.



그림 40. 거산리(왼쪽)와 삼락리(오른쪽)의 돼지풀아재비 군락 사진.

돼지풀아재비 군락을 이루고 있는 거산리와 당동항의 토양 이화학 특성을 분석한 결과, 거산리 토양이 당동항에 비해 상대적으로 유효인산(AP), 총질소(TN) 함량이 높게 측정되었다. 거산리 지역은 농경지 주변지역으로 토양 양분이 주기적으로 공급되는 것으로 보이며, 점토(clay) 함량이 높아 토양의 양분 보유력도 높았다. 당동항 서식지는 토양의 자갈함량 및 경도가 높으며, 쓰레기 야적 등으로 인해 식물이 자라기에 불리한 조건이었다(표 13).

표 13. 2020년 돼지풀아재비 조사지역(거산리, 당동항) 토양 이화학적 특성

조사지	sand (%)	silt (%)	clay (%)	TN (mg/kg)	AP (mg/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	CEC (cmol/kg)
거산리	74.1	23.6	2.3	3025	113	0.62	0.67	11.7	17.4
당동항	66.7	32.8	0.5	1526	69	0.19	0.48	9.5	13.8

거산리와 당동항의 12개 지점을 대상으로 실시한 토양환경 요인에 대한 주성분 분석을 실시하였다. 제 1 주성분(component 1)이 43.7%, 제 2 주성분(component 2)이 28.7% 분산 비율을 보여 자료에 대한 비교적 높은 설명력을 보였다(그림 41). 조사지점에 따른 차이를 주성분 2차원 그림에 나타냈을 때, 거산리 지점이 토양 양분과 관련된 항목에서 상대적으로 높은 양의 상관성을 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 당동항은 거산리에 비해 토양 양분이 부족했으며 토성 실트(silt)와 양의 상관성을 보였다.

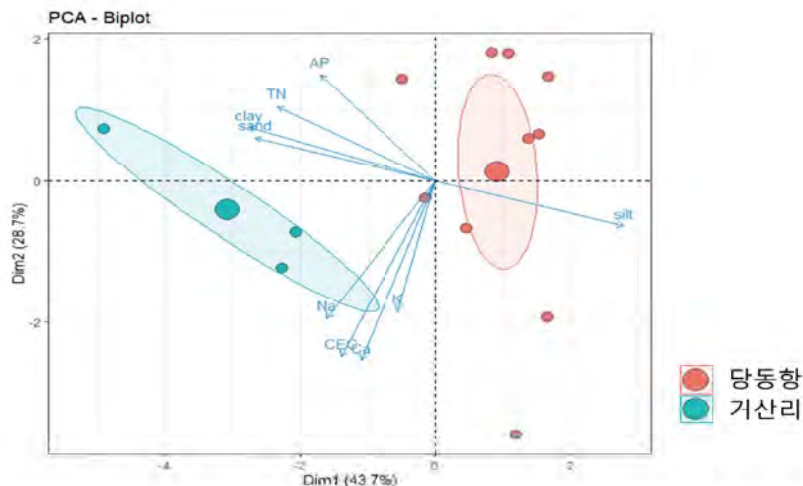


그림 41. 돼지풀아재비 분포지 토양 이화학적 특성 주성분 분석(AP: 유효인산, TN: 총질소, CEC: 양이온치환용량, sand: 모래, silt: 미사, clay: 점토, Na: 나트륨, K: 칼륨, Ca: 칼슘).

경남 고성 4개 조사지역에서 대표적인 돼지풀아재비 10개 개체를 채집하여 지상부 길이, 단위면적 내 개체 밀도를 측정하였다. 지상부 길이는 봉곡삼거리 지점이 가장 컸으며, 개체 밀도는 거산리 군락이 가장 높았다(그림 42). 거산리의 토양은 양분(총질소, 유효인, 기타 양이온 등)이 풍부하여 돼지풀아재비 생장에 유리한 조건이었다. 또한 지역주민 문의 결과 거산리 지역의 돼지풀아재비는 10여년 전에 출현하여 거산리는 다른 지역에 비해 토양 내 종자 밀도가 높아 발아 개체의 밀도 또한 높은 것으로 보인다. 지상부 길이는 거산리는 평균 36cm로 다른 지역에 비해 작았다. 이는 약 한 달 전에 진행된 예초에 의한 영향으로 보인다. 봉곡삼거리의 지상부 길이는 평균 53cm로 조사지역 가운데 가장 큰 것으로 나타났다. 봉곡삼거리는 상대적으로 인간에 의한 간섭이 적은 지역으로 예초작업 등의 흔적이 없었다. 당동향과 신용리는 도로변에 위치하고 있으며, 토양 환경이 식물이 성장하기에 불리한 것으로 보인다.

또한 군락에서 방형구(1m×1m)를 설치하여 생물량을 조사한 결과, 평균 158.4g/m² (평균 108개체, 지상부: 평균 136.8g/m², 지하부: 평균 21.6g/m²)으로 확인되었다. 지상부 길이 평균 83cm의 개체의 지하부의 길이는 평균 11cm로 측정되었다.

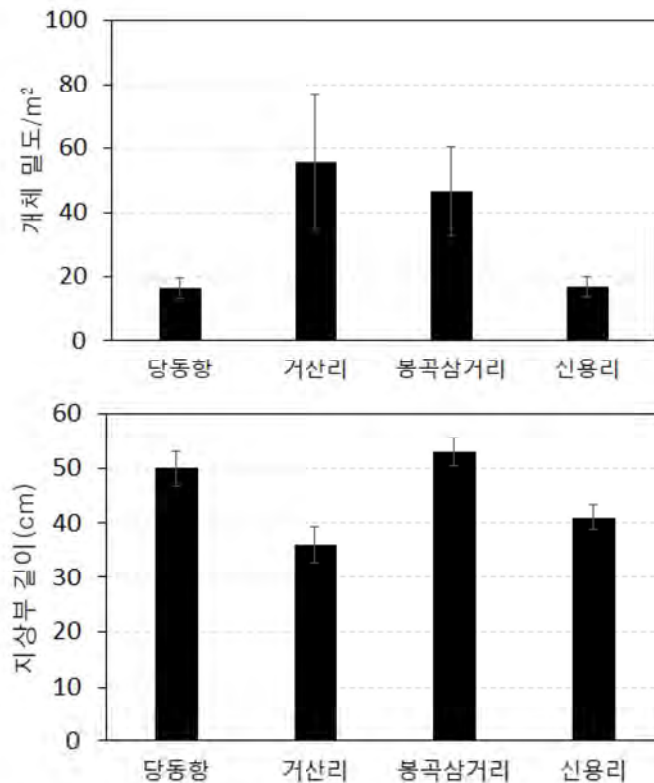


그림 42. 돼지풀아재비 지상부 길이(위) 및 개체 밀도(아래) (mean ± SE, n=10).

선행 연구에 의하면 돼지풀아재비는 온도, 광주기, 토양 pH에 생태 지위 폭이 넓고, 토양 건조에 내성이 강해 대부분의 토양에서 자랄 수 있다고 알려져 있다(Pandey & Dubey, 1989; Mahadevappa, 1997). 바람에 의해 수분이 이루어지고(Lewis et al., 1988; Navie et al., 1996), 종자는 흐르는 물, 운송 수단 등을 통한 장거리 이동, 가축과 야생동물에 의해 산포가 가능하다(Navie, et al., 1996; Bajwa et al., 2016).

돼지풀아재비는 발아 후 4~8주 후에 개화가 시작되며, 적합한 환경에서는 한 해에 2~3번의 개화도 가능하다(Fatimah & Ahmad, 2009). 하나의 두화(capitula)에 5개의 씨앗을 생산하며, 한 개체에 수백 개의 두화를 생산한다(Patel, 2011). 돼지풀아재비는 종자에 의해서만 번식하며, 해외에서는 단일 개체에 생존 가능한 종자를 2,400~30,000개를 생산한다고 알려져 있다(Haseler, 1976; Navie et al., 1996; Global Invasive Species Database, 2010; Patel, 2011), 경남 고성 돼지풀아재비 개체의 경우, 개체당 두화는 평균 503±44개로 개체당 약 2,500개의 종자를 생산하였다. 이는 해외 자료의 최대 30,000개에 비해 낮은 수치로 국내 자생지 환경이 돼지풀아재비 종자 생산에 불리한 조건인 것으로 보인다.

국외 연구자료에 의하면 돼지풀아재비 종자는 발아 조건이 적합한 환경에서는 2년 이내에 대부분 발아하고, 발아는 최소 10℃, 최대 25℃에서(최적 발아온도: 22~25℃) 가능하다고 알려져 있다(Gnanavel, 2013). 종자의 생존률은 85% 이상으로 높고, 8~10년 후에도 발아가 가능하다(Navie et al., 1998). 또한 포장용수량 40~60%의 낮은 토양수분 조건에서도 발아가 가능하고 알려져 있다(Tanveer et al., 2015).



그림 43. 돼지풀아재비의 종자(왼쪽) 및 꽃 사진(오른쪽).

2020년 국내 자생지(고성)에서 수확한 종자를 이용하여 온도에 따른 발아율을 종이 배지에서 측정하였다(그림 43), 인공광 조건(명조건 5000 Lux, 16시간; 암조건 8시간)에서 저온(6.1±0.5℃), 상온(22.1±1.6℃), 고온(28.1±2.3℃)에서 종자 발아율은 각각 0%, 28.9%, 23.1%로 확인되었다(그림 45). 선행 연구 결과와 동일하게 약 22℃에

서 발아율이 가장 높았으며, 28℃에서는 발아율이 감소하였다. 특히 저온에서는 모든 종자가 발아하지 않았다. 야외 환경에서도 대기 기온이 낮은 3월에는 종자 발아가 없었으며, 기온이 약 20℃ 상승하는 5월경에 발아하는 것으로 보인다. 본 실험을 통해 돼지풀아재비 발아는 온도에 민감한 것을 알 수 있으며, 기후변화로 한반도 기온 상승 시 돼지풀아재비 확산이 가속화될 가능성이 높다.

온실의 자연광, 상토에서 돼지풀아재비의 발아율은 61.8%로 실험실 조건보다 2배 가량 높았다. 온도·수분 조건이 맞으면 다량의 개체가 발아하여 우점할 가능성이 높다.



그림 44. 돼지풀아재비 종자발아 실험 사진.

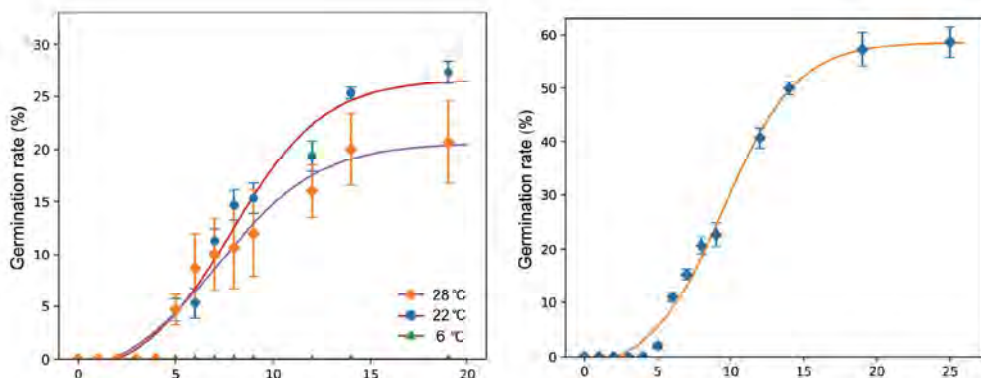


그림 45. 실험실(인공광, 종이배지)온도에 따른 발아율(왼쪽), 온실(자연광, 상토)에서 발아율(오른쪽).

돼지풀아재비 종자는 흐르는 물이나 운송수단 또는 서식지 토양 이동으로 확산할 가능성이 높다(Rubaba et al., 2017; Taye, 2002). 국내 서식지는 도로가 인접한 공사장 및 도로변에 위치하고 있어 종자가 운송수단을 통해 확산되거나, 공사장 토양 이동으로 확산될 가능성이 높을 것으로 보인다.

돼지풀아재비 분포지(경남 고성)에서 표토(5cm)를 채취하여 온실에서 매토종자 발아 실험을 진행하였다. 총 55개 종이 출현했으며, 돼지풀아재비 종자가 평균 14,837개/m²로 종자 밀도가 가장 높았다(그림 46). 돼지풀아재비는 다량의 종자를 생산하여 높은 수준의 매토종자가 남아있음을 확인했다. 돼지풀아재비 이외에 바랭이(3,268개), 왕바랭이(2,037개), 흰명아주(518개), 강아지풀(484개), 깨풀(390개), 울산도깨비바늘(382개), 발독외풀(382개) 순으로 높았다.

매토종자의 상대밀도와 상대빈도를 이용하여 중요치를 계산한 결과, 돼지풀아재비가 32.4%로 가장 높았고, 바랭이(9.5%), 왕바랭이(5.5%), 광대나물(3.6%), 강아지풀(3.4%), 큰개불알풀(3.0%), 참방동사니(2.8%), 울산도깨비바늘(2.7%) 순으로 높았다.

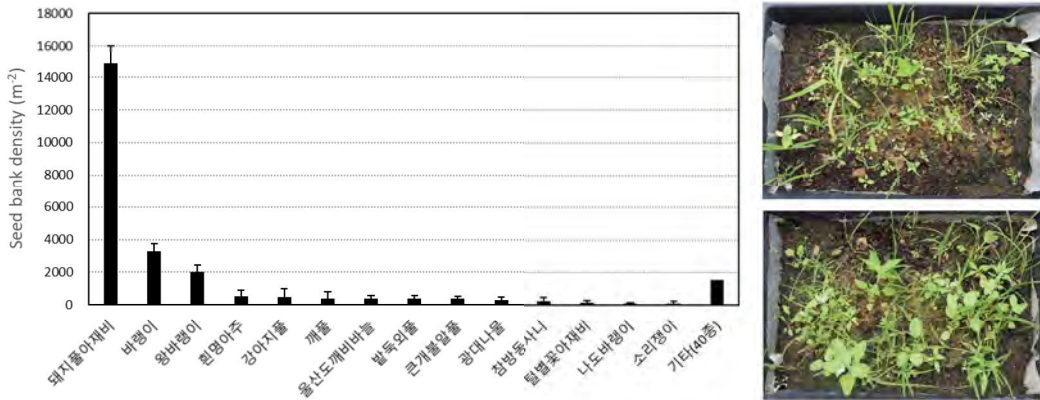


그림 46. 돼지풀아재비 매토종자(n=12)에서 종별 발아 개체수(mean±SE).

표 14. 돼지풀아재비 군락(n=12)의 매토종자 중요치(%)

과명	학명(국명)	상대밀도(%)	상대빈도(%)	중요치(%)
국화과	<i>Parthenium hysterophorus</i> L. (돼지풀아재비)	58.9	6.0	32.4
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler (바랭이)	13.0	6.0	9.5
벼과	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (왕바랭이)	8.1	3.0	5.5
꿀풀과	<i>Lamium amplexicaule</i> L. (광대나물)	1.2	6.0	3.6
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv. (강아지풀)	1.9	5.0	3.4

과명	학명(국명)	상대밀도(%)	상대빈도(%)	중요치(%)
현삼과	<i>Veronica persica</i> Pair. (큰개불알풀)	1.5	4.5	3.0
사초과	<i>Cyperus iria</i> L. (참방동사니)	1.0	4.5	2.8
국화과	<i>Bidens pilosa</i> L. (울산도깨비바늘)	1.5	4.0	2.7
현삼과	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbás (발독외풀)	1.5	4.0	2.7
대극과	<i>Acalypha australis</i> L. (깨풀)	1.5	3.5	2.5
명아주과	<i>Chenopodium album</i> L. (흰명아주)	2.1	2.5	2.3
현삼과	<i>Mazus pumilus</i> (Burm. f.) Steenis (주름잎)	0.3	3.5	1.9
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)	0.3	3.0	1.6
쇠비름과	<i>Portulaca oleracea</i> L. (쇠비름)	0.4	2.5	1.4
국화과	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist (망초)	0.3	2.5	1.4
벼과	<i>Chloris virgata</i> Sw. (나도바랭이)	0.4	2.0	1.2
벼과	<i>Eragrostis minor</i> Host (좁새그렁)	0.4	2.0	1.2
국화과	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav. (털별꽃아재비)	0.6	1.5	1.1
명아주과	<i>Chenopodium album</i> L. (명아주)	0.3	2.0	1.1
대극과	<i>Euphorbia maculata</i> L. (애기땅빈대)	0.2	2.0	1.1
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)	0.4	1.5	1.0
벼과	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. (돌피)	0.3	1.5	0.9
국화과	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. (한련초)	0.3	1.5	0.9
바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L. (달맞이꽃)	0.3	1.5	0.9
십자화과	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. (냉이)	0.3	1.5	0.9
벼과	<i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i> Ohwi (겨이삭)	0.2	1.5	0.9
국화과	<i>Tagetes minuta</i> L. (만수국아재비)	0.2	1.5	0.8
십자화과	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser (속속이풀)	0.1	1.5	0.8
괭이밥과	<i>Oxalis corniculata</i> L. (괭이밥)	0.1	1.5	0.8
미나리과	<i>Osmorhiza aristata</i> (Thunb.) Rydb. (긴사상자)	0.3	1.0	0.6
국화과	<i>Aster yomena</i> (Kitam.) Honda (쑥부쟁이)	0.2	1.0	0.6

과명	학명(국명)	상대밀도(%)	상대빈도(%)	중요치(%)
국화과	<i>Artemisia indica</i> Willd. (쑥)	0.1	1.0	0.6
현삼과	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. (큰물청개나물)	0.1	1.0	0.5
명아주과	<i>Chenopodium ficifolium</i> Sm. (졸명아주)	0.1	1.0	0.5
꼭두선이과	<i>Galium spurium</i> L. (갈퀴덩굴)	0.1	1.0	0.5
현삼과	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Pennell (미국외풀)	0.1	1.0	0.5
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)	0.1	1.0	0.5
벼과	<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb. (개기장)	0.3	0.5	0.4
십자화과	<i>Lepidium virginicum</i> L. (콩다닥냉이)	0.1	0.5	0.3
쥐꼬리망초과	<i>Justicia procumbens</i> L. (쥐꼬리망초)	0.1	0.5	0.3
석죽과	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (쇠별꽃)	0.1	0.5	0.3
사초과	<i>Cyperus amuricus</i> Maxim. (방동사니)	0.1	0.5	0.3
비름과	<i>Amaranthus mangostanus</i> L. (비름)	0.0	0.5	0.3
벼과	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult. (금강아지풀)	0.0	0.5	0.3
석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. (유럽접나도나물)	0.0	0.5	0.3
벼과	<i>Andropogon virginicus</i> L. (나도솔새)	0.0	0.5	0.3
국화과	<i>Aster pilosus</i> Willd. (미국쑥부쟁이)	0.0	0.5	0.3
국화과	<i>Senecio vulgaris</i> L. (개쑥갓)	0.0	0.5	0.3
돌나물과	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge (돌나물)	0.0	0.5	0.3
국화과	<i>Lactuca scariola</i> L. (가시상추)	0.0	0.5	0.3
십자화과	<i>Cardamine flexuosa</i> With. (황새냉이)	0.0	0.5	0.3
벼과	<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P. Beauv. (그령)	0.0	0.5	0.3
	미동정 sp.	0.0	0.5	0.3
콩과	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb. (얼치기완두)	0.0	0.5	0.3
대극과	<i>Euphorbia hypericifolia</i> L. (큰땅빈대)	0.0	0.5	0.3
총합계		100.0	100.0	100.0

경남 고성 거산리와 봉곡삼거리의 각각 3개 지점(총 6개 지점)에 돼지풀아재비 종자 200립을 파종 후, 현장에서 발아한 돼지풀아재비의 밀도와 높이를 측정하였다(그림 47). 발아한 개체는 최대 6개체가 발아했으며, 일부 방형구에서는 발아한 종자가 없었다. 발아한 개체 가운데 9월에는 약 40%만 생존하였다. 파종한 돼지풀아재비가 정착하지 못한 이유는 일부 방형구의 경우 칩에 의한 피압 때문인 것으로 판단된다.

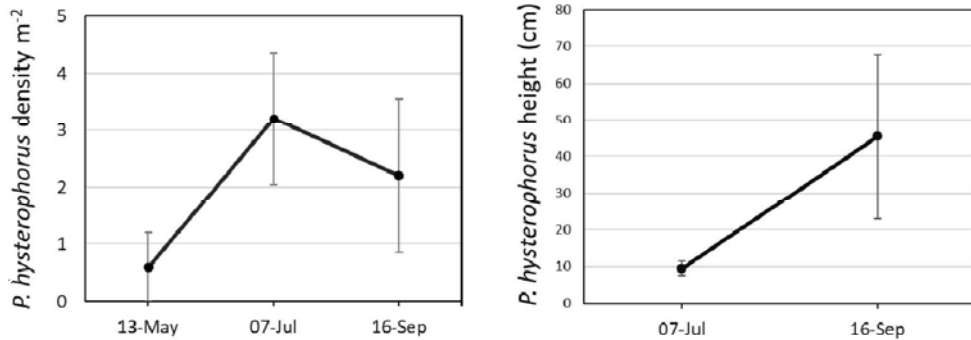


그림 47. 돼지풀아재비 종자 파종 후 발아 밀도 및 높이 변화(mean±SE).

(4) 생태계 및 사회 경제에 대한 영향

돼지풀아재비가 출현한 군락에서 5~10월에 군락 방형구 조사를 진행하였다(표 15). 거산리에서는 5월에 참새귀리(15.1), 미국쥐손이(11.9), 선개불알풀(11.2), 쭉(10.1), 얼치기완두(6.9), 달맞이꽃(6.3), 벼룩나물(6.2), 큰개불알풀(6.2), 7월에 돼지풀아재비(17.5), 강아지풀(15.9), 큰땅빈대(12.9), 애기땅빈대(8.9), 깨풀(8.9), 쭉(7.6), 울산도깨비바늘(7.5), 9월에 돼지풀아재비(19.6), 금방동사니(12.6), 깨풀(11.7), 마랭이(10.4), 애기땅빈대(8.6) 순으로 중요치가 높았다. 5월에는 돼지풀아재비 중요치가 5.0으로 낮았으나 7월과 9월에는 가장 높아졌다.

봉곡삼거리에서는 5월에 참새귀리(8.9), 미국쥐손이(6.8), 개망초(5.4), 개소시랑개비(5.2), 선개불알풀(5.2), 지칭개(5.0), 울산도깨비바늘(5.0), 칩(4.6), 7월에 울산도깨비바늘(13.7), 칩(13.0), 매듭풀(10.0), 소리쟁이(7.4), 환삼덩굴(7.0), 만수국아재비(7.0), 개소시랑개비(6.2), 참새귀리(5.9), 9월에 칩(21.9), 울산도깨비바늘(19.9), 매듭풀(11.7), 강아지풀(10.3), 환삼덩굴(5.5)순으로 중요치가 높았다. 돼지풀아재비의 중요치는 1~3차 조사시기 동안 각각 0.8, 5.1, 2.6으로 낮았는데, 이는 칩이 지상부를 덮으면서 잘 자라지 못한 것으로 판단된다.

삼락리에서는 10월에 돼지풀아재비 중요치가 10.4%로 가장 높았고, 왕마랭이(6.6), 큰개불알풀(6.4), 마랭이(5.9), 긴털비름(5.3), 강아지풀(4.5), 울산도깨비바늘(3.6), 참방동사니(3.6), 털별꽃아재비(3.4), 큰도꼬마리(3.2), 환삼덩굴(3.0), 꽃마리(3.0), 마디풀(3.0) 순으로 우점했다.

표 15. 2021년 돼지풀아재비 군락 출현 식물 중요치(%)

과명	학명(국명)	거산리			봉곡삼거리			삼락리	평균
		5월	7월	9월	5월	7월	9월	10월	
콩과	<i>Pueraria lobata</i> (Willd.) Ohwi (취)				4.6	13.0	21.3	1.5	10.1
벼과	<i>Bromus japonicus</i> Thunb. (참새귀리)	15.1			8.9	5.9			10.0
국화과	<i>Bidens pilosa</i> L. (울산도깨비바늘)		7.5		5.0	13.7	19.9	3.6	9.9
쥐손이풀과	<i>Geranium carolinianum</i> L. (미국쥐손이)	11.9			6.8				9.3
국화과	<i>Parthenium hysterophorus</i> L. (돼지풀아재비)	5.0	17.5	19.6	0.8	5.1	2.6	10.4	8.7
콩과	<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl. (매듭풀)				3.0	10.0	11.7		8.2
현삼과	<i>Veronica arvensis</i> L. (선개불알풀)	11.2			5.2				8.2
벼과	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler (바랭이)			10.4				5.9	8.1
사초과	<i>Cyperus microiria</i> Steud. (금방동사니)			12.6				2.6	7.6
벼과	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv. (강아지풀)		15.9	4.3	1.0		10.3	4.5	7.2
대극과	<i>Euphorbia maculata</i> L. (애기땅빈대)	1.9	8.9	8.6					6.5
대극과	<i>Acalypha australis</i> L. (깨풀)		8.9	11.7			1.9	2.6	6.3
석죽과	<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> (Thunb.) Ohwi (벼룩나물)	6.2							6.2
대극과	<i>Euphorbia hypericifolia</i> L. (큰땅빈대)	1.9	12.9	3.0					5.9
장미과	<i>Potentilla supina</i> L. (개소시랑개비)				5.2	6.2			5.7
마디풀과	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)				4.0	7.4			5.7
콩과	<i>Vicia tetrasperma</i> (L.) Schreb. (얼치기완두)	6.9			3.8				5.3
비름과	<i>Amaranthus hybridus</i> L. (긴털비름)							5.3	5.3
현삼과	<i>Veronica persica</i> Poir. (큰개불알풀)	6.2			2.8			6.4	5.1
국화과	<i>Hemistepta lyrata</i> Bunge (지칭개)				5.0				5.0
바늘꽃과	<i>Oenothera biennis</i> L. (달맞이꽃)	6.3	6.0	2.2					4.8
삼과	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc. (환삼덩굴)				3.2	7.0	5.5	3.0	4.7

과명	학명(국명)	거산리			봉곡삼거리			삼락리	평균
		5월	7월	9월	5월	7월	9월	10월	
벼과	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult. (금강아지풀)						4.4		4.4
국화과	<i>Artemisia indica</i> Willd. (쑥)	10.1	7.6	2.2	1.8	2.2	5.5	1.5	4.4
석죽과	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. (유럽점나도나물)	5.6			3.2				4.4
벼과	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. (황바랭이)			2.2				6.6	4.4
벼과	벼과 sp.			4.3					4.3
벼과	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb. (큰김의털)		3.8						3.8
십자화과	<i>Draba nemorosa</i> L. (꽃다지)	3.7							3.7
돌나물과	<i>Sedum bulbiferum</i> Makino (말뚝비름)	3.7							3.7
십자화과	<i>Lepidium virginicum</i> L. (콩다닥냉이)		2.2		4.4	4.4			3.7
국화과	<i>Tagetes minuta</i> L. (만수국아재비)				1.6	7.0	2.2		3.6
국화과	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)		2.2		5.4	4.1		2.6	3.6
사초과	<i>Cyperus iria</i> L. (참방동사니)							3.6	3.6
국화과	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav. (털별꽃아재비)							3.4	3.4
콩과	<i>Vicia sativa</i> L. (살갈퀴)	2.5		4.3	2.8				3.2
꼭두서니과	<i>Galium spurium</i> L. (갈퀴덩굴)				3.2				3.2
지치과	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Steven ex Palib. (꽃마리)							3.0	3.0
마디풀과	<i>Polygonum aviculare</i> L. (마디풀)							3.0	3.0
메꽃과	<i>Ipomoea nil</i> (L.) Roth (나팔꽃)			3.0					3.0
벼과	<i>Lolium multiflorum</i> Lam. (취보리)				3.0				3.0
벼과	<i>Sporobolus fertilis</i> (Steud.) Clayton (취꼬리새풀)						2.9		2.9
지치과	<i>Bothriospermum tenellum</i> (Hornem.) Fisch. & C. A. Mey. (꽃밭이)							2.8	2.8
국화과	<i>Xanthium orientale</i> L. (큰도꼬마리)			3.0			2.2	3.2	2.8
국화과	<i>Conyza canadensis</i> (L.)— Cronquist (망초)	—			2.0	3.7	2.6		2.7

과명	학명(국명)	거산리			봉곡삼거리			삼락리	평균
		5월	7월	9월	5월	7월	9월	10월	
국화과	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L. (한련초)			2.2				2.8	2.5
콩과	<i>Trifolium repens</i> L. (토끼풀)				1.4	4.1		1.5	2.3
콩과	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc. (돌콩)					1.8	2.6		2.2
쇠비름과	<i>Portulaca oleracea</i> L. (쇠비름)		2.2	2.2					2.2
콩과	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H. Ohashi (차풀)					1.5	2.6		2.0
석류풀과	<i>Mollugo stricta</i> L. (석류풀)			2.2				1.7	1.9
메꽃과	<i>Calystegia pubescens</i> Lindl. (메꽃)	1.9	2.2	2.2	1.0			1.7	1.8
국화과	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker (큰망초)							1.7	1.7
닭의장풀과	<i>Commelina communis</i> L. (닭의장풀)					1.5	1.9	1.3	1.5
질경이과	<i>Plantago asiatica</i> L. (질경이)							1.5	1.5
박과	<i>Trichosanthes kirilowii</i> Maxim. (하늘타리)							1.5	1.5
국화과	<i>Sonchus oleraceus</i> L. (방가지똥)		2.2		0.8				1.5
십자화과	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. (갓)				1.4				1.4
벼과	<i>Elymus ciliaris</i> (Trin.) Tzvelev (숙털개밀)				1.4				1.4
석죽과	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop. (쇠별꽃)				1.2	1.5			1.3
괭이밥과	<i>Oxalis corniculata</i> L. (괭이밥)							1.3	1.3
산형과	<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC. (미나리)							1.3	1.3
콩과	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray (새완두)				1.2			1.3	1.3
십자화과	<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern (개갓냉이)				1.0			1.5	1.3
가지과	<i>Solanum americanum</i> Mill. (미국까마중)							1.1	1.1
벼과	<i>Chloris virgata</i> Sw. (나도바랭이)				1.0				1.0
꿀풀과	<i>Salvia plebeia</i> R. Br. (배암차즈기)				1.0				1.0
국화과	<i>Youngia japonica</i> subsp. <i>elstonii</i> (Hochr.) Babc. & Stebbins (뽕리뱅이)				1.0				1.0

과명	학명(국명)	거산리			봉곡삼거리			삼락리	평균
		5월	7월	9월	5월	7월	9월	10월	
국화과	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)				1.0			0.9	1.0
십자화과	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. (냉이)							0.9	0.9
벼과	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. (돌피)							0.9	0.9
현삼과	<i>Mazus pumilus</i> (Burm. f.) Steenis (주름잎)							0.9	0.9
총합계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	3.8

2020년 돼지풀아재비 군락에서 월별 방형구 피도(1~9등급) 조사 결과를 이용하여 군집분석을 수행한 결과 7월부터 9월까지 돼지풀아재비의 피도는 5 이상으로 높게 나타났다(그림 48). 7월에는 모든 지역에서 강아지풀의 피도가 높았으나 9월 조사 결과와 구별되었으며, 9월에는 울산도깨비바늘, 바랭이의 피도가 높았다. 지역별로 거산리에서는 깨풀의 피도가 당동항에 비해 특징적으로 높게 나타났다. 종별로 분류했을 때 돼지풀아재비와 피도가 높은 가을 식생(강아지풀, 깨풀, 바랭이, 울산도깨비바늘), 기타 식생 3그룹으로 구별되었다.

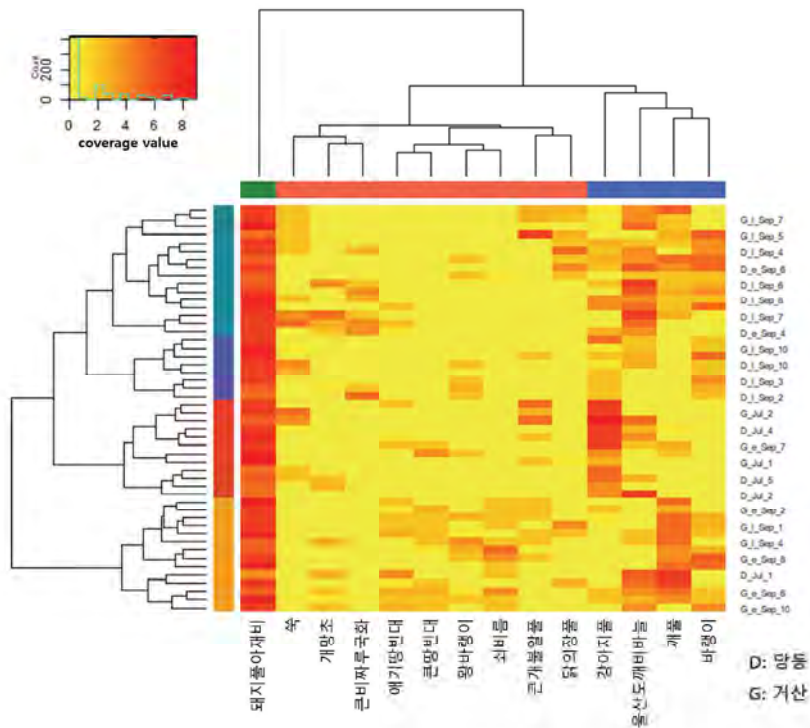


그림 48. 2020년 돼지풀아재비 군락(D: 당동항, G: 거산리) 월별(7월, 9월) 군락 종조성 군집 분석.

본 연구에서 경남 고성 돼지풀아재비 출현지역에서 2년 차 방형구 조사 결과, 종 다양성 지수는 2.90이었으며, 총 72종의 초본이 동반 출현하였다(그림 49). 돼지풀아재비의 평균 중요치는 8.7%로 우점하였다. 울산도깨비바늘(7.1), 칩(5.8), 강아지풀(5.1), 쭉(4.4) 순으로 가장 우점했다. 일부 방형구의 경우 칩이 우점하여 지상부를 덮는 경우, 돼지풀아재비의 우점도는 크게 감소했다. 국내 자연 생태계에서는 돼지풀아재비의 최대 성장량이 1m 이하로 다른 종을 피복할 수준은 아니었다. 돼지풀아재비와 지상부의 길이가 유사한 울산도깨비바늘과의 경쟁에서 크게 우점하지 못했으며, 국내에 분포하는 덩굴성 식물에 의해 성장이 저해될 수 있을 것으로 보인다.

국외에서는 돼지풀아재비가 우점하고 있는 지역에서는 다른 식생이 형성되지 못하고, 인도와 호주 내의 초원과 삼림 지대에 전체 서식지 변화를 일으키는 것으로 보고하고 있다(McFadyen, 1992; Kohli, 1992). 예를 들어, 에티오피아 Awash National Park에서는 도입된 후 초본식물 밀도가 평균 69% 감소하였다(Ayana et al., 2011).

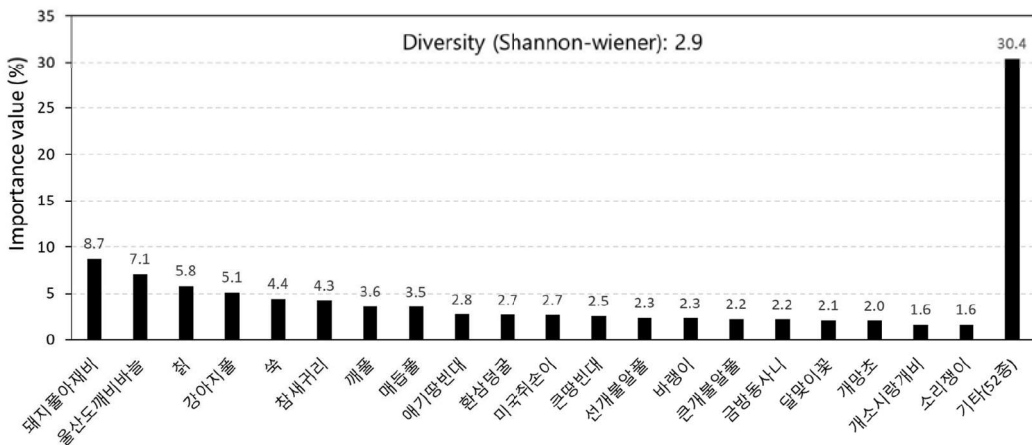


그림 49. 2021년 돼지풀아재비 군락 출현 식물 중요치.

돼지풀아재비는 모용과 꽃가루를 포함한 모든 기관에서 sesquiterpene lactones (SQL)라는 독소가 포함되어 있고(Patel, 2011), 잎과 꽃차례는 줄기와 뿌리보다 더 높은 수준의 타감 화학물질을 가지고 있는 것으로 보고 되었다(Bhowmik et al., 2017). 식물체 내 2차 화합물은 *Lipaphis erysimi*와 병아리완두콩 내 *Callosobruchus chinensis*의 산란을 억제하며, *Helicoverpa armigera* 유충의 사망률을 증가시키기도 한다(Dwivedi & Kumari, 2000; Sharma et al., 2003).

수용성 페놀(caffeic acid, ferulic acid, vanicillic acid, anisic acid, fumaric acid, sesquiterpene lactones, parthenin) 화합물질과 같은 타감물질은 먹이사슬에 영향을 주어 생태적 불균형을 일으키고, 우점하고 있는 고유 식물의 생육을 억제하여 생물

다양성을 감소시킨다(India Biodiversity Portal, 2018). 2020년 연구에서 고성에서 채집한 식물체의 잎과 줄기 내 타감물질을 분석한 결과, Caffeic acid 함량은 잎과 줄기에서 각각 32.4 ± 3.7 mg/kg, 3.29 ± 0.39 mg/kg이었고, 기존 문헌(Das & Das 1995)과 달리, Vanillic acid, p-Coumaric acid, Ferulic acid, anisic acid는 검출되지 않았다(표 16). 이는 서식환경 차이에 따른 결과로 예상된다. 2021년 추가분석에서 Chlorogenic acid가 1896.4 ± 36.2 mg/kg 검출되었고, Chlorogenic acid는 담배와 해바라기 등 타 식물의 기공개도(stomatal aperture)를 감소시키는 것으로 알려져 있다(Einhelling and Kuan, 1971). 반면, 2020년에 검출되었던 Caffeic acid가 검출되지 않았는데, 이는 매우 소량이라 식물체 및 시기별 차이에 따른 것으로 보인다.

표 16. 돼지풀아재비 식물체로부터 분리된 타감물질

Allelopathic compound	함량(mg/kg)			
	분석시기	인도 (Das & Das, 1995)	국내(경남 고성)	
			잎	줄기
Caffeic acid	2020년	102	32.4 ± 3.7	3.29 ± 0.39
p-Coumaric acid		56	-	-
Anisic acid		41	-	-
Ferulic acid		38	-	-
Vanillic acid		17	-	-
Chlorogenic acid	2021년		1896.4 ± 36.2	
p-Hydroxybenzoic acid			-	
Ellagic acid			-	
Sinapic acid			-	
Quercetin			-	
Keampferol			-	

국의 문헌 연구에 의하면 돼지풀아재비는 호주에서 해바라기의 딱질벌레 해충(*Pseudoheteronyx* sp.)과 미국의 식물 기생 선충류, 인도의 주요 다식성 나비목 해충(*Diacrisia obliqua*)의 중요한 2차 숙주이다(Navie et al., 1996). 또한 콩 불마름병균(*Xanthomonas campestris*), 꽃마름병원균(*Pseudomonas solanacearum*), 토마토황화잎말림바이러스, 감자바이러스X, 감자바이러스Y를 가지고 있다(Evans, 1997). 뿌리 침출수는 콩과 식물에서 질소고정 박테리아를 억제하고, 작물에 질병을 일으키는 바이러스의 숙주 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Gnanavel, 2013). 이로 인해 인도에서는 목화, 땅콩, 감자, 수수, 포도, 올리브, 캐슈, 코코넛, 구아바, 망고 및 파파야를 포함한 다양한 과수 작물의 생산량을 감소시키고 있다(Tripathi et al., 1991; Gnanavel, 2013). 브라질과 케냐(커피), 에티오피아(옥수수, 수수, 목화, 팽거 등), 파키스탄(밀,

쌀, 사탕수수 등), 아르헨티나(담배밭)에서도 작물 생산량 감소 피해가 발생하였다 (Njoroge, 1989; Kissmann & Groth, 1992; Taye, 2002; Shabbir, 2006; Anwar et al., 2012; CONABIO, 2018). 남아프리카에서는 작물수확량이 26~41%, 상업 농가의 수익이 US\$38,818~60,957 감소하였다(Wise et al., 2007). 국내에서는 고성의 공터 또는 길가 가장자리에 국지적으로 분포하고 있어 농경지에 피해는 보고되고 있지 않다. 그러나 분포 면적이 확산될 경우 발작물에 피해를 미칠 가능성은 있다.

돼지풀아재비는 인간에게도 직접적인 영향을 미치는데 섭취할 경우 설사, 심한 구진성의 홍반발진, 호흡 곤란, 질식을 유발할 수 있다. 인도, 호주에서는 꽃가루에 의한 알레르기성비염, 피부 알레르기, 가려움증, 발열 및 천식 등의 피해를 주고 있다 (Towers & Subba Rao, 1992). 실제로 현장에서 알레르기에 민감한 조사원들이 심한 알레르기 증상을 보였다.

현재까지 국내에 분포하는 돼지풀아재비속(*Parthenium* spp.)의 종은 돼지풀아재비 1종이 유일하여 종간 교잡의 가능성은 미미할 것으로 예상된다. 돼지풀아재비 단일 군락 우점에 의한 생물다양성 감소, 농작물 생산량 저하 등의 피해는 확인되지 않는다. 그러나 돼지풀아재비는 다량의 종자를 생산하고, 건조, 염분 등 다양한 환경에 대한 내성이 강하기 때문에 강둑, 범람원, 정원, 농경지 등 교란지에 빠르게 확산하여 생태계에 피해를 미칠 수 있다.

(5) 경제 가치

국외에서는 민간 요법 수준에서 피부질환 치료제로 사용하고 있으며, 항바이러스 성과 항염증성 작용이 있어 상처, 발열, 빈혈, 심장질환 및 말라리아에 치료(Joshi et al., 2016)와 치통, 종기와 여드름 등을 치료하는데 사용하기도 한다(Joshi et al., 2016). 그러나 상업적 활용은 알려진 것이 없으며 경제적 가치는 낮다.

Ⅲ. 외래동물

1. 외래꽃사슴류(*Cervus nippon* spp.)

가. 서론

꽃사슴(*Cervus nippon*)은 섬나라인 일본과 대만, 대륙에서는 동아시아(한국, 중국), 러시아가 원산지이고 주변 인접지역으로 도입된 것으로 알려져 있다. 꽃사슴의 아종은 *C. n. aplodontus*(일본 혼슈 북부), *C. n. grassianus*(중국 산시성), *C. n. hotulorum*(한반도, 러시아), *C. n. keramae*(일본 류큐섬 게라마 제도), *C. n. kopschi*(중국 남부), *C. n. mandarinus*(중국 북부와 북동부), *C. n. mantchuricus*(중국 동북부, 한국, 극동러시아), *C. n. nippon*(일본 혼슈 남부, 시코쿠, 큐슈), *C. n. pseudaxus*(베트남 북부), *C. n. pulchellus*(대마도), *C. n. sichuanicus*(중국 서부), *C. n. soloensis*(필리핀 남부-고대에 도입되었으나 아종의 원산지가 불확실하며 멸종된 것으로 추정됨), *C. n. taiouanus*(대만), *C. n. yesoensis*(일본 북해도) 등 14개로 분류된다(Gallardo, 2014; Ba et al., 2015). 각 아종들은 대부분 1880년대부터 1930년대까지 다양한 지역으로 유입되었고 최근에도 지속적으로 유입되는 것으로 나타났다. 유입된 지역은 유럽(오스트리아, 체코, 덴마크, 프랑스, 독일, 헝가리, 아일랜드, 폴란드, 러시아, 스위스, 우크라이나, 영국), 북미(캐나다, 미국), 오세아니아(뉴질랜드) 등으로 지속적으로 분포가 확산되는 것으로 보고되었다(Mccullough et al., 2008; Ijima, 2015a). 꽃사슴은 주로 사냥과 가죽, 의학(녹용), 식품(육류, 지방, 곱창 등), 동물원(관상) 등의 목적으로 사육하기 위해서 의도적으로 유입된 것으로 나타났다. 외래꽃사슴의 국내 유입은 1950년대 녹용 채취를 위해 가죽으로 수입하면서 활발하게 이루어진 것으로 보고되었다(우병준 등, 2008). 꽃사슴 사육가구는 2000년대 초반에 12,000여 가구까지 증가하였으나 점차 감소하여 19년에는 2,000여 가구인 것으로 나타났다. 사육두수는 2000년대 초반 96,000여 개체에서 19년에는 12,000여 개체로 급감하여 국내 양록산업의 쇠퇴를 알 수 있었다. 이에 따른 외래꽃사슴의 관리 소홀로 국내 자연생태계로 유입되었을 것이라고 보고되었다. 또한, 종교 활동의 일환으로 방사되어 외래꽃사슴이 자연스럽게 정착 및 확산된 것으로 보고되었다(농림축산식품부, 2019).

국내 자연생태계 내 외래꽃사슴의 서식현황은 대전현충원과 속리산국립공원, 제주도 및 굴업도를 포함한 도서지역 등으로 알려져 있고 다른 지역에서도 출현이 확인되고 있다. 현재 서식이 파악된 지역에서는 외래꽃사슴의 높은 개체군 밀도에 따른 수목 피해와 먹이사원인 초본 피해, 교잡에 의한 피해 등이 보고되었다(국립생태원, 2020). 외래꽃사슴의 국내 서식과 피해 현황 및 향후 확산 가능성에 대하여 국립생태원에서는 2016년 *C. n. taiouanus*을 대상으로 생태계위해성평가를 실시하였으나 침입성에 대한 근거 부족으로 인하여 등급 판정이 보류되었다. 그러나 최근 외래꽃

사슴의 서식 밀도 증가와 피해, 지속적인 출현에 대한 민원 등이 발생하고 있어 외래꽃사슴에 대한 정밀조사를 진행하였다. 서식현황 조사와 사육농장 파악은 강원도와 충청도, 경상도, 전라도, 도서지역(제주도, 백령도) 등을 선정하여 실시하였고 확보한 유전자 샘플을 대상으로 분석한 결과 외래꽃사슴 5종(*C. n. taiouanus*와 *C. n. yesoensis*, *C. n. keramae*, *C. n. yakushimae*, *C. n. sichuanicus*)이 확인되었다.

본 연구는 지속적인 외래꽃사슴의 출현과 밀도 증가, 확산, 교란 등을 조사하기 위해서 외래꽃사슴의 전국 서식 현황에 대한 현장조사와 사육농장 파악 및 주변 유기·탈출 개체 파악, 유전자 분석을 통한 외래꽃사슴의 분류학적 종 동정, 문헌조사 등을 실시하였다. 이와 같은 외래꽃사슴의 객관적이고 과학적인 자료 수집은 생태계위해성평가를 진행하기 위한 자료를 제공하고 향후 외래꽃사슴의 관리방안 제시 및 지속적인 모니터링을 위해 필요하다.

본 연구에서는 1) 외래꽃사슴의 전국 서식 현황, 2) 사육농장 파악 및 주변 유기·탈출 개체 파악, 3) 유전자 분석을 통한 외래꽃사슴의 분류학적 종 동정을 실시하였다. 이를 바탕으로 외래꽃사슴의 정착과 확산, 생태계 및 사회 경제에 대한 영향, 경제 가치 등을 파악하여 생태계위해성을 평가하기 위한 자료를 구축하였다.

나. 연구내용 및 방법

(1) 전국 분포지역 현장 조사

국내 외래꽃사슴 조사 지역은 국내 타 기관 보고서와 보도자료 등의 문헌조사와 민원 제보를 바탕으로 강원도 철원과 충청남도 태안, 대전, 전라남도 순천, 부산, 제주도, 백령도 등으로 지정하였다. 외래꽃사슴 서식 현황은 배설물과 족적, 뽕에 의해서 생긴 흔적 등을 이용하여 파악하였다. 서식 흔적은 외래꽃사슴의 전국 분포 현황을 파악하기 위해서 GPS 좌표로 기록하였다. 전국 분포 현황 자료는 향후 외래꽃사슴의 개체군 크기와 행동권, 확산 등을 파악하기 위한 위치 자료로 활용할 예정이다. 또한, 서식이 파악된 지점은 외래꽃사슴의 행동권과 서식지 내 단절된 지점을 고려하여 확산 가능한 지점에 무인센서카메라를 설치하여 개체군을 모니터링하였다.

(2) 농장 주변 유기·탈출 개체 현장 조사

국내 사슴농가는 2,000년 12,137가구에서 2019년 1,588가구로 급속히 감소하였고 꽃사슴 사육두수는 2,000년 94,727마리에서 2019년 10,732마리로 줄어든 것으로 보고되었다. 꽃사슴 농장의 감소에 따른 꽃사슴의 유기 및 탈출 개체를 확인하고 국내 외래꽃사슴의 분포 현황과 비교하기 위해 국내 꽃사슴 농장은 지역별로 무작위 선정하였다. 선정된 꽃사슴 농장은 총 16곳이고 강원도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라남도 등에 위치하고 있다. 유기 및 탈출 개체 확인은 농장 방문과 주변 피해 확인, 흔적 조사 등을 통해 진행하였다.

(3) 유전자 분석을 통한 종 동정

(가) DNA 추출

사슴의 혈액시료는 DNeasy Blood & Tissue kit(Qiagen Co., USA)를 사용하였으며, 분변, 털, 뿔에서는 QIAamp micro DNA kit(Qiagen Co., USA)를 사용하여 genomic DNA를 추출하여 PCR을 위한 주형 DNA로 사용하였다(표 17).

표 17. DNA 분석을 위한 국내 사육 외래꽃사슴 샘플 현황

번호	지역	농장명	샘플명
1	강원도	한계사슴농장	한계1, 2
2	강원도	벤엘사슴	벤엘1, 2, 3
3	강원도	바우네사슴목장	바우네1, 2
4	경기도	양평사슴목장	양평 1, 2
5	전라북도	임실금릉목장	임실금릉1
6	경기도	보개사슴목장	보개1, 2
7	충청남도	강원사슴농장	강원1, 2, 3, 강원4(149), 강원5(153), 강원6(160)
8	충청남도	현대사슴농장	현대 418, 현대 447, 현대 520
9	충청북도	녹우사슴	녹우1
10	충청북도	위림사슴	위림1
11	경상북도	유한사슴농장	유한1
12	기타	미공개	매화2, 매화3, 현리154, 가화1, 영월1, 영월2, 청운

(나) 미토콘드리아 유전자 분석

mtDNA 서열을 결정하기 위해 NCBI에 보고된 대륙사슴(*Cervus nippon hortulorum*)의 mtDNA 염기서열을 기준으로 하여 CytochromeB(CytB) 유전자를 증폭하기 위한 프라이머를 제작하였다(표 18). PCR 반응은 최종 농도 50~100ng DNA, 1XPCR buffer, 0.2mM/dNTP, 0.3uM/primer, 0.5mg/ml BSA, 1 unit Fx neo DNA polymerase(TOYOBO, Japan)를 혼합하여 총 50ul 용량으로 반응하였다. PCR 조건은 98℃에서 2분간 denature 후, 98℃에서 10초, 52℃에서 30초, 72℃에서 1분 30초를 1 cycle로 하여 33회 반복한 후, 72℃에서 5분간 증폭하였다. PCR 산물은 1% agarose gel에서 전기영동 후, 염기서열을 분석하였다.

표 18. 외래꽃사슴의 종 동정을 위한 Cytochrome B 유전자 증폭용 프라이머

Gene	NCBI Accession No.	Primer name	Primer sequence
Cytochrome B	NC_013834	CYTB F1	CCATG ACTAA TGATA TGAAA AACCA
		CYTB R1	TGGTT TACAA GACCA GTGTA TT

다. 연구결과 및 고찰

(1) 전국 분포지역 현장 조사

(가) 분류

- 국명: 외래꽃사슴(국명미정)
- 학명: *Cervus nippon* spp.
- 영명: Sika deer
- 계통수:

역(Domain) - Eukaryota

계(Kingdom) - Animalia

문(Phylum) - Chordata

강(Class) - Mammalia

목(Order) - Artiodactyla

과(Family) - Cervidae

속(Genus) - *Cervus*

종(Species) - *Cervus nippon*

아종(Subspecies) - *C. n. taiouanus*

C. n. yesoensis

C. n. keramae

C. n. yakushimae

C. n. sichuanicus

표 19. 외래꽃사슴 아종 목록 및 원산지

학명	국명(가명)	원산지
<i>C. n. taiouanus</i>	타이와누스꽃사슴	대만
<i>C. n. yesoensis</i>	에조엔시스꽃사슴	일본
<i>C. n. keramae</i>	게라마꽃사슴	일본
<i>C. n. yakushimae</i>	야쿠시마꽃사슴	일본
<i>C. n. sichuanicus</i>	쓰촨니쿠스꽃사슴	중국

(나) 형태적 특성

- 몸길이: 100~160cm
- 몸무게: 수컷 90~130kg, 암컷 60~100kg
- 발자국: 가로 5~6cm, 세로 7~8cm
- 걸음 폭: 38~65cm
- 뿔 때 걸음 폭: 100~200cm
- 털 색: 여름(황갈색 몸에 하얀 반점), 겨울(진한 밤갈색에 흰 반점이 거의 사라짐), 계절에 상관없이 엉덩이는 흰색
- 뿔(수컷): 매년 1~2월에 뿔이 빠지고, 3월부터 8월까지 새로 자라난다.

(다) 원산지/국외 침입지

- 대만, 일본/유럽, 북미, 오세아니아 등

(라) 침입경로

- 외래꽃사슴은 유럽대륙의 경우 1860년 아일랜드, 1890년 프랑스, 1891년 체코로 침입했는데, 수렵 및 동물원 전시용으로 도입된 후 탈출 및 적응한 결과이다. 침입한 이후 인접 국가(유럽대륙) 전역으로 확산되었다. 국내에서는 1956~1975년에 일본 및 대만에서 녹용 등의 이용을 위해 수입한 이후 탈출한 개체가 적응하였다.

(마) 국내 분포

- 철원, 태안, 대전, 순천, 부산, 제주도, 백령도 외 기타 도서지역의 자연생태계에서 서식이 확인되고 있다.



그림 50. 2021년 국내 자연생태계 내 외래꽃사슴의 서식현황(국립생태원).

표 20. 외래꽃사슴 아종별 서식현황

학명	국명(가명)	원산지
<i>C. n. taiouanus</i>	속리산국립공원 사슴농장	문헌 아종 확인(국립생태원)
<i>C. n. yesoensis</i>	사슴농장	20년 위해성평가 대상종, 아종 확인(국립생태원)
<i>C. n. keramae</i>	사슴농장	아종 확인(국립생태원)
<i>C. n. yakushimae</i>	사슴농장	아종 확인(국립생태원)
<i>C. n. sichuanicus</i>	사슴농장	아종 확인(국립생태원)

(바) 국외 분포



그림 51. 외래꽃사슴의 전세계적 분포현황(GBIF).

(사) 서식환경

- 산림면적이 넓고 산림과 초지의 경계인 숲 가장자리, 초원 및 습지 등 다양한 서식지에서 적응이 가능하다. 해발고도 1,800m까지 다양한 고도에서 서식이 가능하고, 강설에서도 서식한다(연평균기온: 7~10℃, 연강수량: 820~1,470mm).

(아) 용도

- 일본에서는 식용으로 이용하며, 유럽대륙에서는 수렵용으로 이용한다. 동남아시아에서는 주로 녹용, 녹혈을 위해 사육하고 국내에서도 주로 녹용을 위해 사육하고 있으며, 드물게 사슴고기를 식용하기도 한다.

(자) 규제현황

- 국내에서는 포유동물은 가축전염병예방법 제31조에 따른 지정검역물에 해당하고, 수입 시, 검역을 실시해야 하며, 수출국에서 발행하는 침부자료(검역증명서와 수입허가 증명서)가 필요하다.
- 국외 규제 사례로, 유럽에서 침입생물 상위 10위권으로 지정하여, 수입 및 증식을 규제하고 사냥을 권장하여 개체수를 조절하고 있다. 또한 교잡으로 인한 유전적 다양성 교란을 억제하고, 식물군집 조성 교란 및 농산물 섭식으로 인한 경제적 피해를 방지하고 있다. 일본에서는 2000년에 유해조수 조절 계획(Conservation and Management Plan for Sika Deer)을 세워 농작물과 생태계 교란 피해를 방지하고 있다. 개선된 CMPS4를 2012년에 수립하여 지속적으로 개체수를 조절하고 있다.

(2) 정착 가능성

(가) 기후 적합성

국내 외래생물 전국 서식실태조사의 외래꽃사슴(*Cervus nippon* ssp.) 좌표와 GBIF에서 제공하는 외래꽃사슴의 좌표를 종합하여 Random forest 중 분포 모델(Osorio et al., 2020)을 적용해 외래꽃사슴의 분포를 예측하였다(그림 52). 동해안 전역과 충청도 지역의 출현 확률이 높게 나타났고, 해당 지역 내 외래꽃사슴(*C. n. taiouanus*와 *C. n. yesoensis*, *C. n. keramae*, *C. n. yakushimae*, *C. n. sichuanicus*)의 서식 확인되었다. 이에 따라 외래꽃사슴의 이동 및 서식지 확산에 대한 지속적인 모니터링 필요할 것으로 판단된다.

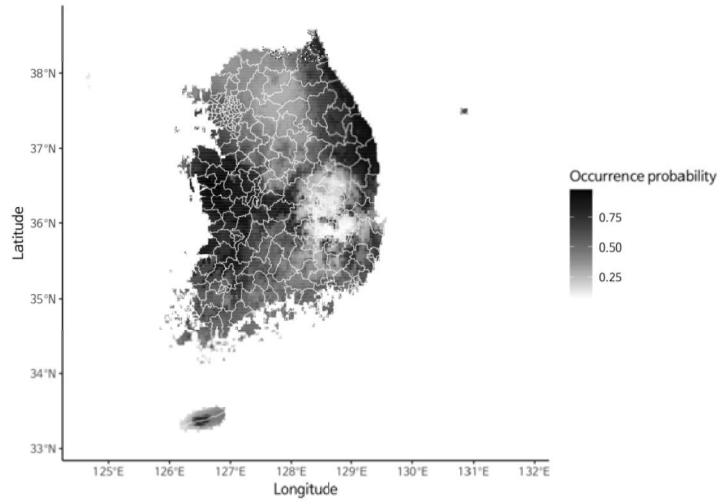


그림 52. 종분포모델을 적용한 외래꽃사슴의 분포 예측 결과.

(나) 서식지 비생물 환경에 대한 내성

다양한 서식지와 기후대에서 발견되고, 추위 내성이 강한 것으로 보고되었다 (Cabi, www.cabi.org).

(다) 생육 및 번식에 필요한 먹이 적합성

일본 홋카이도에서 서식하는 *C. n. yesoensis*는 계절 변화에 따른 조릿대속(*Sasa*)의 분포에 따라 섭식량과 체중의 변화가 동반한다는 결과가 보고되었다(McCullough et al., 2008). 국내에서도 서울숲과 순천만국가정원에서 사육 중인 개체의 계절별 사료 섭취량 변화를 확인하였으나 사육 개체에 대한 정확한 모니터링을 통해 자료를 수집해야 할 필요성이 있다.

(3) 확산 가능성

(가) 번식력

꽃사슴의 번식기는 주로 9월에서 10월까지 연 1회로 번식기 다음 해인 5~6월에 새끼를 1마리 출산하는 것으로 보고되었다. 사육 상태에서 임신기간은 약 231일(7개월)이고 약 6kg의 새끼를 1:1의 동일한 성비로 출산하고, 암수 모두 16~18개월 이후 성적으로 성숙한다(Suzuki et al., 1993; McCullough et al., 2008; Ijima et al., 2015b).

(나) 분산능력

분산 및 확산 패턴은 도입된 지역 내 최소한의 확산으로 인한 지역화와 지역화 후 개체수 증가로 인해 급격하게 주변으로 확산하고 서식지 연속성이 확보된 경우 먹이자원 및 교잡의 영향으로 꾸준히 확산한다(Horowitz, 1980; McCullough et al., 2008). 확산 시 젊은 수컷이 먼저 무리에서 떨어져 나가는 것으로 알려져 있다. 야생에서 계절에 따라 분산하는 모습을 보여준다. 주로 적설량과 먹이자원인 *Sasa senanensis*(조릿대류)의 분포, 서식지인 침엽수의 피도에 따라 확산한다. 홋카이도 아칸 지역 내 원격무선추적(radio tracking)을 통한 분산패턴을 보면 출산을 위해 여름 서식지와 겨울 서식지를 매년 규칙적으로 왕복 이동(암사슴)하고, 월동지에 머무는 정착 개체로 구분(암사슴)이 가능하다고 조사되었다(Ijima, 2015a). 계절별 행동권 변화는 여름 행동권이 평균 약 5,734km²로 나타났고, 겨울 행동권이 평균 약 35.1km² 이동하여 적설 및 먹이자원 변화에 따라 여름보다 축소되는 것을 알 수 있었다(McCullough et al., 2008; Kaji et al., 2010).

외래꽃사슴은 전국 1,588개의 농가에서 10,732개체를 사육(농림축산식품부, 2019)하고 있다. 사육농가 방문 및 주변 조사를 실시한 결과 유기 및 탈출로 인한 사례를 주변 마을 사람들에게 확인하였으나 유기 또는 탈출한 개체와 주변으로 확산된 개체의 관계는 확인 불가능하였다. 이를 위한 자연 생태계 내 외래꽃사슴의 개체수와 피해 모니터링 및 유전자 샘플 확보를 통해 동정이 이루어져야 향후 외래꽃사슴 관리방안을 만들 때 자연개체와 사육개체를 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

표 21. 지역별 외래꽃사슴 농장 보유 현황

지역	농장명	사육현황	비고
거제도	쉼터사슴농장	꽃사슴 사육 중단	용도 변경
	솔사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 엘크 사육	사육 대상 변경
*부산	진성사슴농장	꽃사슴 9 개체 사육	사육 중
경북	길안사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 말 1 개체 사육	사육 대상 변경
	금릉사슴농장	꽃사슴 사육 중단	용도 변경
화천	사명산사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 한우 사육	사육 대상 변경
속리산	영창큰사슴농장	꽃사슴 사육 중단	용도 변경
	누청사슴농장	꽃사슴 사육 중단	용도 변경
*태안	금강사슴농장	농장 폐쇄	용도 변경
	불로사슴농장	꽃사슴 1개체 사육, 엘크 30개체 사육	사육 중
	무학사슴농장	꽃사슴 10개체 사육, 엘크 22마리 사육	사육 중
	갈산사슴농장	꽃사슴 34개체 사육	사육 중
현충원	계룡산사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 엘크, 붉은사슴 10 개체 사육	사육 대상 변경
	진잠사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 엘크 5개체 사육	사육 대상 변경
금산	좋은사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 엘크 사육	사육 대상 변경
*순천	청산사슴농장	꽃사슴 사육 중단, 한우 사육	사육 대상 변경
	요셉사슴농장	꽃사슴 사육 중단	용도 변경

*유기 및 탈출을 확인하였으나 농장을 특정할 수 없고 야생에 서식하는 개체와 관계 확인 불가

(4) 생태계 및 사회 경제에 대한 영향

(가) 초식, 포식, 기생, 독성 및 타감작용의 영향

외래꽃사슴 서식지에서 먹이섭식에 대한 비슷한 수목 피해가 발견었다. 주로 외래꽃사슴의 머리 높이에 위치한 수목에 피해가 집중되었다. 또한, 태안에서는 향나무와 초화류 등을 가리지 않고 섭식하여 정원수 고사와 빨질에 의한 피해가 확인되었고, 대전국립현충원에서는 계룡산국립공원으로 이어지는 패치에 대규모 수목 피해가 확인되었다.



(a) 섭식에 의한 피해



(b) 꽃사슴의 머리 높이에 위치한 수목의 집중적 피해

그림 53. 외래꽃사슴의 먹이 섭식에 따른 수목 피해 현황.

(나) 경쟁의 영향

해외에서 꽃사슴과 흰꼬리사슴이 자연 생태계에서 경쟁하는 것이 관찰된 사례가 있었다(Harmel, 1980). 이에 따라 국내 서식하는 토착종인 노루(*Capreolus pygargus*)와 고라니(*Hydropotes inermis*) 등과 같은 서식지를 이용하는 외래꽃사슴은 먹이자원과 서식 영역에 대한 경쟁 발생할 것으로 판단된다.

(다) 병해충 전파의 영향

일본 홋카이도에서 꽃사슴에 기생하는 10종의 기생충과 외부에 기생하는 3종의 외부 기생충 관찰 기록되었다(Kitamura et al., 1997). 그 중 톡소플라스마의 원인인 *Toxoplasma gondii*를 꽃사슴의 47.5% 개체가 보유한 것으로 보고되었고(Hoshina, 2019) 꽃사슴이 매개하는 인수공통 감염 병원균은 인간에게 치명적인 라임병 원인균인 *Borrelia burgdorferi*와, 크립토스포리디오시스증 원인균인 *Cryptosporidium parvum*, 광견병바이러스인 *Rabies* sp. 등이 있는 것으로 조사되었다(Wardeh et al., 2015).

국내에서는 충남 태안에서 서식하는 *C. n. yesoensis* 개체군에서 기생 진드기가 발견되어 향후 진드기에 대한 다양한 샘플 수집과 분석을 진행할 필요가 있다(그림 54).

표 22. 외래꽃사슴류 및 에조사슴 보유 병원균

대분류	학명	인수 감염	감염 증상
Trematodes(흡충류)	<i>Dicrocoelium dendriticum</i>	O	-
Cestodes(조충류)	<i>Anoplocephalidae gen. sp.</i>	X	-
Nematodes(선충)	<i>Gongylonema sp.</i>	△	-
	<i>Gongylonema pulchrum</i>	-	-
	<i>Spiculopteragia houdemeri</i>	-	-
	<i>Rinadia andreevae</i>	-	-
	<i>Ostertagia ostertagi</i>	-	-
	<i>Mecistocirrus sp.</i>	△	-
	<i>Nematodirus heletianus</i>	X	-
	<i>Capillaria bovis</i>	O	모세성충증
	<i>Trichuris sp.</i>	O	소아에게 설사, 구토
Ectoparasites(외부기생충)	<i>Haemaphysalis japonica</i>	O	-
	<i>Solenopotes sp.</i>	O	-
	<i>Trichodectidae gen. sp.</i>	O	-
Conoidasida(코노이다시다)	<i>Cryptosporidium parvum</i>	O	크립토스포리디오시스증
	<i>Toxoplasma gondii</i>	O	톡소플라즈마
Bacteria(박테리아)	<i>Borrelia burgdorferi</i>	O	라임병
Virus(바이러스)	<i>Rabies sp.</i>	O	광견병 바이러스
Fungi(진균류)	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	O	백선성모창

(O: 감염, X: 비감염, △:드물게 감염, -: 자료 없음,

참고문헌: Kitamura et al., 1997; Wardeh et al., 2015; Hoshina, 2019)



(a) 충남 태안에서 발견된 진드기

(b) 전남 순천에서 발견된 진드기

그림 54. 외래꽃사슴에 기생하는 진드기.

(라) 교잡의 영향

국내에 서식하는 외래꽃사슴은 *C. n. taiouanus*와 *C. n. yesoensis*, *C. n. keramae*, *C. n. yakushimae*, *C. n. sichuanicus* 5종으로 확인되었다. 그러나 아종간 교잡이 빈번히 일어나 원종과 아종에 대한 구별에 어려움이 있다. 국내 토착종인 대륙사슴(*C. n. hortulorum*)과 같은 종으로 교잡이 가능하나 국가생물적색자료집에서 대륙사슴은

지역절멸(regionally extinct) 단계로 평가되어 있어 토착종과의 교잡 가능성은 낮다. 향후 대륙사슴의 종복원이 성공하여도 야생생태계에 서식하는 외래꽃사슴과의 교잡으로 원종에 대한 종복원 효과가 미비할 것으로 판단된다.

표 23. 국내 사슴농장에서 사육 중인 외래꽃사슴의 샘플 채취

번호	지역	샘플명	농장이름	아종 판별	그룹	NCBI Accession No.
1	강원도	바우네1	바우네목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
2	강원도	바우네2	바우네목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
3	강원도	벤엘1	벤엘사슴목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
4	강원도	벤엘2	벤엘사슴목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
5	강원도	벤엘3	벤엘사슴목장	<i>C. n. taiouanus</i>	B	DQ985076
6	강원도	한계1	한계목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
7	강원도	한계2	한계목장	<i>C. n. taiouanus</i>	B	DQ985076
8	경기도	보개1	보개사슴농장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
9	경기도	보개2	보개사슴농장	<i>C. n. keramae</i>	E	AB021091
10	경기도	양평1	양평목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
11	경기도	양평2	양평목장	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
12	경상북도	교원1	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
13	경상북도	교원2	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	M	DQ985076
14	경상북도	예천1	미공개	<i>C. n. yakushimae</i>	L	AB218689
15	경상북도	예천2	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
16	경상북도	유한1	유한목장	<i>C. n. taiouanus</i>	F	DQ985076
17	충청남도	강원1	강원목장	<i>C. n. taiouanus</i>	G	DQ985076
18	충청남도	강원2	강원목장	<i>C. n. yesoensis</i>	H	AB210267
19	충청남도	강원3	강원목장	<i>C. n. keramae</i>	E	AB021091
20	충청남도	강원4(149)	강원목장	<i>C. n. yesoensis</i>	I	AB210267
21	충청남도	강원5(153)	강원목장	<i>C. n. yesoensis</i>	D	AB210267
22	충청남도	강원6(160)	강원목장	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
23	충청남도	139	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
24	충청남도	150	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
25	충청남도	151	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
26	충청남도	171	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	K	AB210267
27	충청남도	16B	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
28	충청남도	16B-2	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
29	충청남도	16W	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267
30	충청남도	171-2	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
31	충청남도	현대 418	현대사슴농장	<i>C. n. sichuanicus</i>	J	NC018595
32	충청남도	현대 447	현대사슴농장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
33	충청남도	현대 520	현대사슴농장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
34	충청북도	녹우1	녹우사슴	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
35	충청북도	위림1	위림사슴	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
36	미공개	B3	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	C	AB210267

37	미공개	가화1	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
38	미공개	매 화2	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
39	미공개	매 화3	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
40	미공개	영월1	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	B	DQ985076
41	미공개	영월2	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	B	DQ985076
42	미공개	청운	미공개	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076
43	미공개	현리154	미공개	<i>C. n. yesoensis</i>	D	AB210267
44	미공개	임실금릉1	임실금릉목장	<i>C. n. taiouanus</i>	A	DQ985076

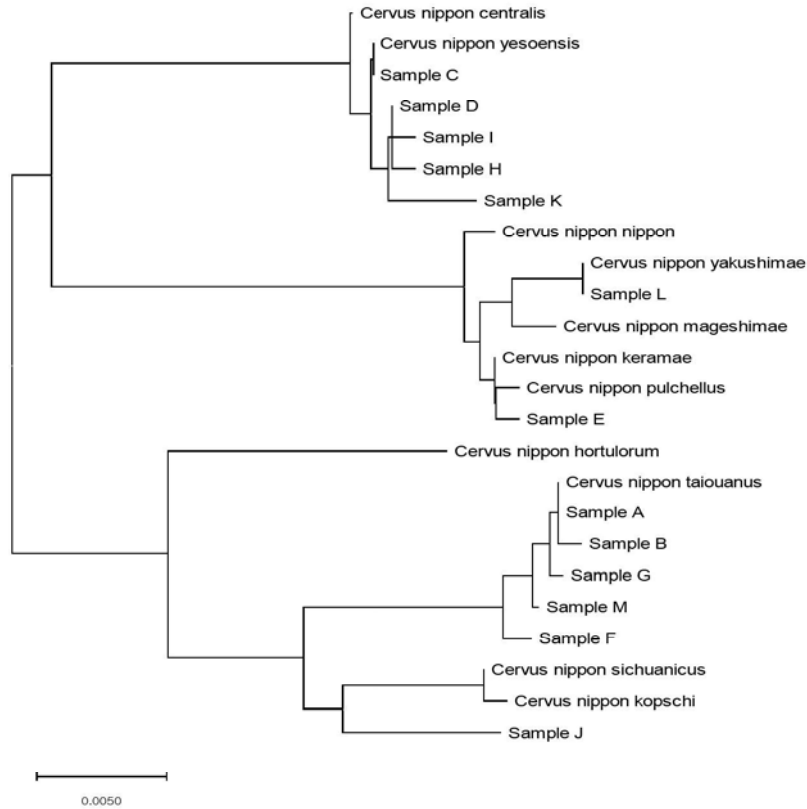


그림 55. 국내 사슴농장에서 사육하는 외래꽃사슴의 CytB 유전자를 이용한 계통수 분석.

(마) 주요 생물다양성 보호구역에 대한 영향

속리산국립공원과 굴업도, 안마도, 소록도 등 도서지역에서 외래꽃사슴에 의한 피해 사례 보고되었다(국립생태원, 2016, 2017, 2018). 먹이자원에 대한 섭식 피해와 뿌리를 통한 수목 피해, 주변 농작물에 대한 피해가 주요 피해로 조사되었다. 그 외 대전현충원, 제주도, 철원, 순천, 태안 등 전국적으로 피해가 발생하는 것을 정밀조사를 통해 조사하였다.



그림 56. 외래꽃사슴 뽕질에 의한 수목피해 현황.

(바) 생태계 생물요소에 대한 영향

일본 홋카이도에서 초본, 관목, 과실에 대한 높은 강도의 섭식으로 식물군집 변화 보고되었으나(Nobuhiro, 2005) 종자 산포 및 수분에 미치는 영향은 보고되지 않았다.

(사) 생태계 비생물요소에 대한 영향

하층 초본의 섭식 및 이동에 의한 과도한 교란의 영향으로, 일부 급경사지의 토양의 유실 및 사면 붕괴 및 붕괴 우려 가능성이 있다.

(아) 농림축수산업에 대한 영향

일본 홋카이도에서 절멸 위기에 직면한 *C. n. yesoensis*의 보호를 위해 서식지 확대 및 보전을 진행한 결과 개체수 증가에 따라 농업 및 산림이 피해를 입어 1990년대 후반 농업 및 산림의 피해가 50억엔까지 증가하였다(그림 57). 지속적인 개체수 조절을 통해 점차 피해 금액이 감소되었지만 따뜻한 기후로 인해 개체수가 늘어나면서 피해가 다시 확대되는 추세이다.

국내 피해 사례는 태안에서 외래꽃사슴인 *C. n. yesoensis*가 5월 모내기 직후 어린 모 섭식과 못자리 훼손에 의한 피해사례가 제기되었고, 부산에서 외래꽃사슴으로 추정되는 개체의 농경지 훼손 및 농작물 피해가 확인되었다.

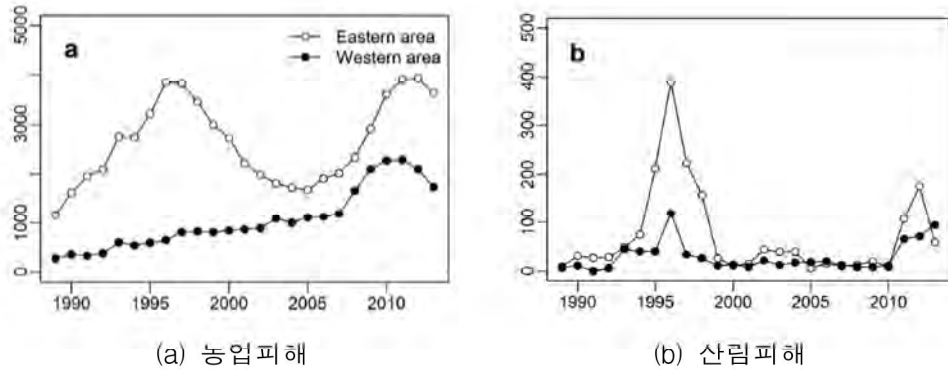


그림 57. 홋카이도 동부와 서부지역의 에도사슴에 의한 피해 금액.

(자) 사회기반시설, 경관 및 문화적 가치 등에 대한 영향

제주도에서 2010년에서 2019년 사이 매년 노루 500마리가 로드킬을 당하는 것으로 보고되어 비슷한 행동패턴을 가진 외래꽃사슴의 로드킬에 대한 조사가 필요하고 도로에서 출몰할 경우 대형사고로 피해가 확장될 수 있어 로드킬 저감을 위한 관리 방안과 안전사고에 대한 홍보 및 인식개선이 필요할 것으로 판단된다.

(차) 인체 건강에 대한 영향

꽃사슴이 보유한 인수공통 감염 가능한 병원균은 5종 이상으로 보고되었다. *Toxoplasma gondii*은 톡소플라스마의 원인이고 *Borrelia burgdorferi*은 인간에게 치명적인 라임병 원인균이며, *Cryptosporidium parvum*은 크립토스포리디오시스증 원인균이다. *Rabies sp.*은 광견병바이러스 등을 일으켜 꽃사슴에 의한 질병 조사 및 병원균 검사를 진행해야 할 필요가 있다.

(카) 방제 난이도 및 비용

일본에서는 2000년 유해조수 조절 계획인 CMPS를 발표하여 홋카이도에서 사냥을 통한 개체수 조절을 시도하였으나 *C. n. yesoensis*의 분산과 따뜻한 기후로 인하여 실패한 사례가 있다. 2012년 개선된 유해조수 조절 계획인 CMPS4를 도입하여 홋카이도 전역을 대상으로 2013~2017년 사이 개체수 관리를 수행하였다(그림 58). 투입된 예산은 약 20억엔(약210억원)이며, 60%의 성공으로 평가되고 있으나 *C. n. yesoensis* 문제를 해결하기 위한 노력은 지속적으로 이루어지지 않으면 개체군 조절에 실패할 것으로 판단된다.

영국의 외래꽃사슴 관리방안은 한 지역에서 대규모로 서식하는 개체군에 대한 근절 계획을 수립하였다. 그러나 꽃사슴의 멸절이 불가능하기 때문에 꽃사슴과 붉은사슴 등의 교잡이 생기지 않도록 가상의 경계선을 설정하여 경계선 부근에서 사냥

을 통해 개체수 조절하는 관리방안을 마련하였다.

외래꽃사슴은 전 세계적으로 유입되어 서식하면서 개체수 증가에 따른 다양한 피해가 발생하고 있지만, 국제적 멸종위기종으로 분류되어 보호를 받아야 하는 6 아종 (*C. n. taiouanus* of Taiwan, *C. n. keramae* of the Japan, *C. n. mandarinus*, *C. n. grassianus*, *C. n. kopschi* of China, *C. n. hortulorum* of Siberia and Korea)이 있다. 토착종을 보호하기 위한 관리방안을 수립할 때, 국제적 멸종위기종에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

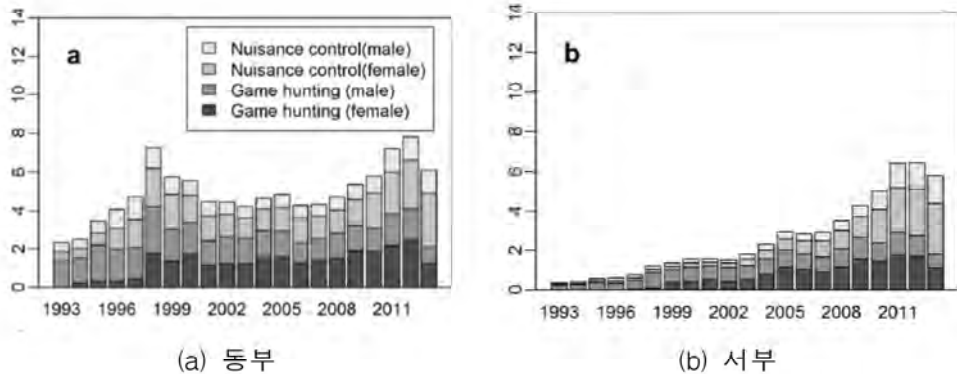


그림 58. 1993~2013년까지 홋카이도에서 사냥된 예조사슴의 수

(5) 경제 가치

사슴사육 농가 수와 꽃사슴류의 사육 개체 수는 지속적인 감소추세(2000년 이후)를 나타내고 있다. 주로 농가에서 사육하였으나 녹용 수입 증가 등으로 인해 녹용 시세가 하락하여 안정적인 소득 보장이 어려워짐에 따라 사육 포기 또는 사육대상 변경이 이루어지는 상황이다. 현재 절각된 3~4년생을 기준으로 꽃사슴류의 암컷은 마리당 60만원, 수컷은 마리당 60~76만원에 유통되고 있다(농림축산식품부, 2019). 사슴에서 생성되는 녹용은 매년 탈각 및 재생되는 주기성을 가지는데(우병준 등, 2008), 꽃사슴류의 녹용은 한약재로서 가장 높은 등급을 받으며, 37.5g의 생녹용은 16,500~30,500원의 시세로 거래되고(한국사슴협회, 2020) 있으나 예전의 가격에 비해 낮은 시장 가격과 해외에서 수입되는 저렴한 제품과의 경쟁으로 꽃사슴에 대한 다양한 활용이 필요할 것으로 판단된다. 그 중 예조사슴의 고기는 높은 철분 및 단백질 함량과 낮은 지방을 가지고 있으며, 쥐의 간 콜레스테롤 수치를 낮춘다는 연구결과를(Fukushima et al., 1999; Sekikawa, 2000) 활용하여 육류자원으로 상품 전환이 가능할 것으로 생각된다. 또한, 소나 돼지와는 다르게 곡류에 대해서 인간의 소비에 영향을 주지 않기 때문에 미래의 중요한 육류자원으로 활용하면 사육농가의 활성화 및 개체수 관리 등 다양한 분야에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

2. 늑대거북(*Chelydra serpentina*)

가. 서론

국가 간 무역의 증대로 농업, 임업, 수산업을 비롯한 상품의 교역이 늘어나면서, 외래생물의 인위적 또는 자연적 유입이 증가하고 있으며, 개인 삶이 중요한 가치로 반려동물에 대한 관심과 그 수요는 지속적으로 증가하는 추세이다. 과거 반려동물의 사육은 개, 고양이 등의 일부 종으로 한정되어 있었으나, 최근에는 희귀하고 특이한 동물에 대한 관심이 커지면서 다양한 종류의 파충류, 양서류 및 곤충류, 거미류 등의 무척추동물류까지 광범위하게 넓어지고 있다(환경부, 2016).

늑대거북은 국내에 도입되어 오프라인의 펫샵이나, 온라인 반려동물 판매 사이트 등에서 판매되는 거북 중 한 종이다. 국내에서는 다양한 종류의 외래거북류가 반려동물로 거래되고 있으며, 이도훈 등(2016)의 연구에서는 국내에 총 9과 73종의 외래거북이 도입되었으며, 이중 자연생태계에서 확인된 종은 3과 8종, 자연생태계에 유입 시 생태계 교란이 우려되는 종으로 4과 13종을 제시하고 있다(이도훈 등, 2016). 외래거북류는 국내의 토종 거북류인 남생이에 비하여 채색이 화려하고, 성장이 빨라 사육이 양호한 편이며, 특히 늑대거북의 어린 개체는 작은 크기에 독특한 생김새를 가지고 있으며, 관리가 수월하여 많은 사람들이 반려동물로 사육하고 있다. 하지만 늑대거북은 대형거북으로 성장이 빠르고 성체가 되면 25~47cm까지 자라며 일반적인 무게는 4.5~16kg 정도이지만, 34kg 이상까지 성장하기도 한다. 성체는 먹이량과 배설량이 많아지면서 먹이의 공급비용이 증가하며, 사육수조의 수질관리에 어려움이 생기게 된다. 또한 성체 늑대거북은 매우 강한 공격을 띄는 등 사육에 어려움이 발생하게 된다(국립생태원, 2014).

붉은귀거북, 리버쿠터, 중국줄무늬목거북, 플로리다붉은배거북 등 외래거북의 사례에서 볼 수 있듯 애완으로 사육되는 개체는 관리가 어려워질 경우 자연으로 유기될 가능성이 매우 높다. 최근 2년간 언론, 인터넷 블로그, 동물보고관리시스템(<https://www.animal.go.kr>) 등의 자료를 확인한 결과 늑대거북의 유기나 자연생태계에서 발견된 사례가 14건으로 늑대거북이 지속적으로 확인되고 있는 상황이며, Koo et al. (2020)의 연구논문에서도 늑대거북의 출현을 보고하고 있다. 늑대거북이 자연으로 유기될 경우 개체의 긴 수명과 원산지의 기후 조건이 우리나라와 유사한 점 등으로 국내의 자연생태계에 적응하여 살아갈 가능성이 매우 높다. 이러한 경우 늑대거북은 포식성 및 공격성이 매우 강한 종으로 포식자로서의 자연생태계에 미치는 영향뿐만 아니라, 도심의 생태공원 등에 유기할 경우 인사사고의 우려가 매우 크다. 늑대거북에 물릴 경우 심각한 부상을 야기할 수 있어 특별한 주의가 필요한 종이다.

이에 본 연구에서는 국내 자연생태계에서의 늑대거북의 서식여부를 확인하고자 eDNA 분석을 실시하여, 서식 여부를 판단하며, 신속하고 정확하게 검출해 낼 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한 늑대거북의 서식이 확인된 지점에 대해서는 서식

환경을 분석하고, 개체가 지속적으로 생존가능한지, 서식지의 생태계에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 파악하며, 본 종을 어떻게 포획하며, 관리해야 하는지에 대한 방안을 마련하고자 하며, 늑대거북의 생태계위해성평가를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

나. 연구내용 및 방법

(1) 조사지점

국내에서 발견되는 늑대거북은 반려동물로 수입 후, 인위적으로 자연생태계에 방사된 개체가 자연생태계에서 확인되고 있다. 본 연구에서는 외래생물 전국서식실태조사 등의 외래종 관련조사, 야생동물 구조협회 포획 개체 등의 조사와 인터넷(블로그, 뉴스기사)을 통해 확인된 정보를 통해 개체가 발견된 지역을 우선 선별하였으며, 늑대거북의 잠재적 출현 가능지점 및 개체 서식이 확인된 지점을 중심으로 출현 및 서식 여부를 파악하고자 현장 조사를 진행하였다.

외래거북류의 유입이 잦고 늑대거북이 선호하는 서식환경이 있는 지점을 대상으로 전국분포조사를 실시하였으며, 인터넷 자료 및 출현 보고된 지점을 중점조사지역으로 선정하였다(표 24, 그림 59). 또한, 수중에서 주로 생활하는 종의 특성상 직접조사가 어려운 상황을 감안하여 육안조사에 대한 보완 방법으로 eDNA (environmental DNA, 환경DNA)를 활용하여 간접적인 조사 방식으로 늑대거북의 서식 여부를 확인하고자 하였다. eDNA분석 시 검출민감도를 높일 수 있는 방안으로 Quantitative PCR (qPCR)을 사용하였으며 검출결과 도출 시 DNA copy 수를 추정할 수 있도록 하였다.

표 24. 늑대거북 전국분포조사 및 중점조사지역

순서	조사유형	서식지 유형	조사지 명칭	소재지
1	전국분포조사	저수지	풍암지	광주광역시 서구 풍암동
2	전국분포조사	저수지	일왕저수지	경기도 수원시 장안구 송죽동
3	전국분포조사	저수지	상암방죽	충남 천안시 동구 안서동
4	전국분포조사	저수지	금호지	경남 진주시 금산면 용아리
5	전국분포조사	저수지	은파공원	전북 군산시 나유동
6	전국분포조사	저수지	화랑저수지	경기도 안산시 단원구 초원동
7	전국분포조사	저수지	부산평화공원	부산광역시 남구 대연3동
8	전국분포조사	저수지	어린이대공원	부산광역시 부산진구 초읍동

순서	조사유형	서식지 유형	조사지 명칭	소재지
9	전국분포조사	저수지	서서울호수공원	서울시 양천구 신월동
10	전국분포조사	하천	셋강생태공원	서울시 영등포구 여의도동
11	전국분포조사	저수지	남악저수지	전남 무안군 삼향읍
12	전국분포조사	저수지	옥암수변공원	전남 목포시 옥암동
13	전국분포조사	하천	서울 우이천	서울시 강북구 우이동
14	전국분포조사	하천	서울 중랑천	서울시 도봉구 방학동
15	전국분포조사	하천	서울 청계천	서울시 종로구 창신동
16	전국분포조사	하천	안양 학의천	경기도 안양시 동안구 관양동
17	전국분포조사	호수	일산호수공원	경기도 고양시 일산동구
18	전국분포조사	습지	용인 와우정사	경기도 용인시 처인구 해곡동
19	전국분포조사	하천	탄천	경기도 성남시 분당구
20	전국분포조사	하천	안양천	경기도 안양시 동안구
1	중점조사	하천	섬강(상류)	강원도 원주시 호저면 매향리
			섬강(하류)	강원도 원주시 호저면 매향리
2	중점조사	저수지	성당못	대구광역시 달서구 성당못
3	중점조사	인공하천	부천시민익강	경기도 부천시 상동
4	중점조사	수로	진영읍하수로	경남 김해시 진영읍 진영리
5	중점조사	생태공원	서울 보라매공원	서울시 동작구 신대방동

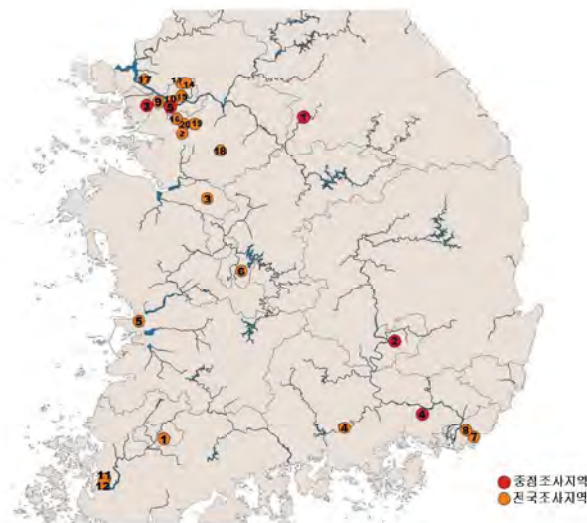


그림 59. 늑대거북 중점조사지역 및 전국조사지역.

(2) 관찰조사

조사지역 주변을 이동하면서 쌍안경(Swarovski, SLC 8×42 WBHD)과 필드스코프(Swarovski, ATM 65 HD)를 활용하여 대상종과 공서하는 거북류를 확인하였다(그림 60).



(a) 조사지 전경(대구 성당못)



(b) 조사지 전경(김해 진영읍)



(c) 늑대거북 제보지점 흔적(족적)



(d) 늑대거북 발견 제보지점

그림 60. 늑대거북 조사사진 및 발견서식지 환경사진.

(3) 거북류 알의 유전자 분석

전국 5개 지역 6개 지점에서 총 182개의 거북류 알을 채집하였으며, DNA barcode분석에 사용되었다. 채집된 알의 난각에서 DNA 추출용 시료를 확보하였으며, DNeasy Blood and Tissue Kit(Qiagen, USA)을 이용하였다. 추출한 gDNA는 사용 전까지 -20℃에 냉동 보관하였다. DNA barcode분석을 위한 PCR 반응조건 및 primer는 Reid et al. (2011)의 방법과 동일하게 수행되었다. 분석된 염기서열은 NCBI의 Blast search를 이용하여 종 동정을 실시하였다.

(4) eDNA와 목견조사를 이용한 늑대거북 서식 여부 검출

(가) 늑대거북 조직을 이용한 Genomic DNA 추출

늑대거북 종 특이마커 검증 및 qPCR 분석을 위한 정량곡선 제작을 위해 늑대거북 Genomic DNA (gDNA)를 확보하였다. gDNA 추출을 위해 늑대거북 사체로부터 확보한 꼬리근육을 사용하였으며, 추출은 DNeasy Blood and Tissue Kit(Qiagen, USA)을 이용하였다. 추출한 gDNA는 -20℃에 냉동 보관하였다.

(나) 늑대거북 종 특이마커 제작 및 검증

eDNA 분석을 위한 늑대거북 종 특이마커를 제작하기 위하여 GenBank에서 거북류 종 동정에 사용되는 미토콘드리아 유전부위인 Cytochrome b (CytB) 에 대하여 염기서열 정보를 확보하였다(표 25). 확보한 염기서열은 늑거북과(Emydidae) 733개와 늑대거북과(Chelydridae) 13개를 포함하여 총 746개이며, 이를 바탕으로 근연종과 비교하여 늑대거북이 갖는 특이적인 염기서열을 바탕으로 종 특이 프라이머와 프로브 서열을 선정하였다. 선정한 특이마커 부위는 BLAST의 blastn 분석을 통하여 현재 밝혀진 거북류 염기서열과의 반응여부 및 종 특이성을 판단하였다. 제작한 종 특이마커는 늑대거북 gDNA를 활용하여 qPCR 분석을 통해 정량곡선을 제작하여 마커의 효율성을 검증하였으며, 정량곡선으로부터 검출한계값(Limit of detection, LOD)과 정량한계값(Limit of quantitative, LOQ)을 추정하였다(Bustin et al., 2009; Yusop et al., 2012).

표 25. 늑대거북 종 특이마커 정보

대상종	프라이머	염기서열 정보	참고문헌
늑대거북	CS_F_SP	5-TATTCAACCAGATACTTCCCTGGC-3'	자체 제작
	CS_R_SP	5-GTAGTAAAGTCTCGGCCGATA-3'	
	CS_probe_SP	5-HEX-CATACACGCCAACGGCGCCTCA-BHQ1-3'	

(다) 환경시료로부터 eDNA 추출

조사지점 전체에 대한 eDNA 시료를 확보하고자 조사지점 내에서 늑대거북이 선호하는 서식환경을 중심으로 물을 약 20m 당 1L씩 총 8-10L를 채수하였으며, 잘 섞은 후 전체 물 시료 중 1L에 대하여 0.45µm cellulose nitrate membrane으로 여과하였다(그림 61). 여과지는 실리카겔과 동봉하여 밀봉된 후 실험실로 운반되어 DNA 추출과정 전까지 -20℃에서 냉동보관 되었다. 여과지로부터 DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen, USA)를 사용하여 DNA를 추출하여 qPCR 분석에 사용, 각각의 시료 분석에 대한 Cycle threshold value (Ct)를 확보하였다. eDNA 시료에서 늑대

거북 DNA를 검출하기 위하여 자체제작한 종 특이마커를 사용하였다(표 25). eDNA 시료에 대한 qPCR 분석은 3반복으로 진행되었으며, 정량곡선에서 확보한 수식으로 부터 LOD값과 LOQ값을 참고하여 조사지점에서 분석된 결과를 통해 늑대거북 서식여부를 추정하였다.



(a) 채수장면(일반조사지역, 서서울호수공원)

(b) 채수장면(중점조사지역, 섬강)

그림 61. 늑대거북 검출을 위한 eDNA 샘플 채수.

(라) Quantitative PCR 증폭 조건 및 결과분석

eDNA 분석을 위해 전국분포조사 지점 중 16곳과 중점조사를 위한 5곳에서 물 시료를 채수하였다(표 29). eDNA분석 시 종 특이마커의 유용성을 검증하기 위한 늑대거북 gDNA는 양성대조군으로, DEPC-treated water는 음성대조군으로 사용하였다.

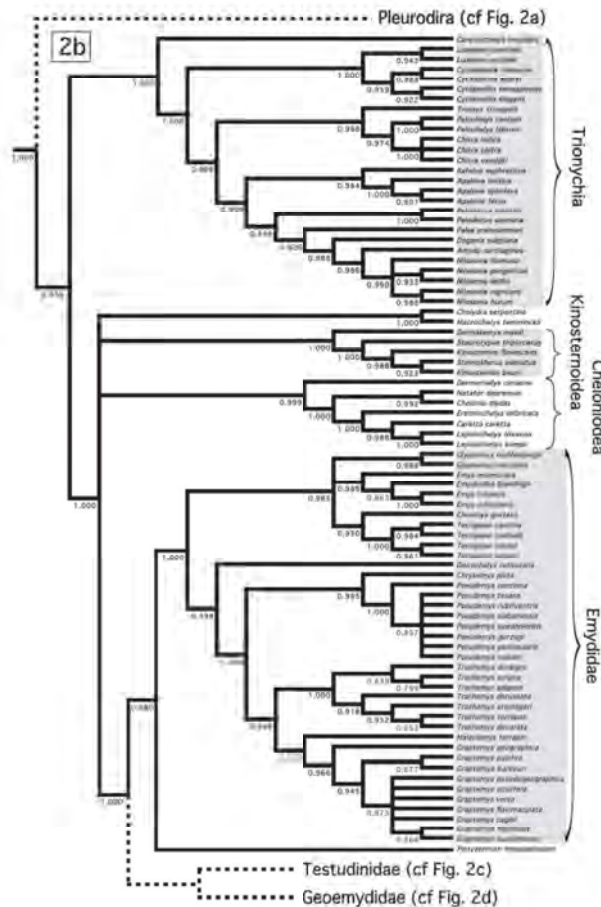
qPCR 반응조건은 총 $20\mu\text{l}$ 의 용량에 $5\mu\text{l}$ 의 DNA, $10\mu\text{l}$ 의 TaqMan probe buffer, $2\mu\text{l}$ 의 DEPC water, primer (Forward, Reverse) 와 probe에 대하여 각각 $1\mu\text{l}$ 를 사용하였다. PCR증폭은 Applied Biosystems StepOnePlus™ Real-Time PCR system (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)를 이용하여 다음과 같은 조건하에 수행하였다. 최초 95°C 에서 3분간 사전 변성 (pre-denaturation)시킨 후, 95°C 에서 10초, 60°C 에서 30초를 45회 실시하였다.

다. 연구결과 및 고찰

(1) 기본정보

(가) 분류

- 국명: 늑대거북
- 학명: *Chelydra serpentina* (Linnaeus, 1758)
- 영명: Snapping Turtle, Common Snapping Turtle, North American Snapping Turtle
- 분류: 거북목(Testudines) 늑대거북과(Chelydridae)
- 계통수: 거북목(Testudines)을 대상으로 mitochondrial DNA 5개 유전자 위 (12S, 16S, CO1, NAD4, CytB)와 nuclear DNA 4개(R35, c-mos, RAG1, RAG2) 유전자위를 이용한 계통수



(나) 원산지

- 캐나다, 미국 등 북미지역

(<https://nas.er.usgs.gov/queries/factsheet.aspx?speciesID=1225>)

(다) 침입지

- 일본의 자연생태계 확인(NIES)

(라) 침입경로

- 늑대거북은 온라인과 오프라인에 빈번하게 거래되는 거북종으로 특이한 외형과 습성으로 두터운 매니아층을 형성하고 있다. 늑대거북이 정식 수입 기록은 2015년 인것으로 확인되고 있으나, 정확한 국내 도입시기는 추정이 어려운 실정이다 (Koo et al., 2020). 애완동물로 사육되던 늑대거북은 긴 수명과 관리의 어려움으로 인해 야생에 유기되는 것으로 추정된다.

(마) 국내 분포

- 2019~2021년까지 국내 늑대거북의 출현이 확인된 지점은 총 14지점으로 서울특별시 노원구 한글비석로12길, 인천광역시 중구 운서동, 남동구 만월로, 경기도 부천시 원미구, 수원시 팔달구 인계동, 용인시 수지구 동천동, 전라북도 익산시 신용동, 강원도 원주시 호저면 무장리, 울산광역시 태화동, 충청남도 홍성군 홍북읍, 충청북도 청주시 명암저수지, 부산광역시 서구, 대구광역시 성당동, 충청남도 논산시 송당리이다.

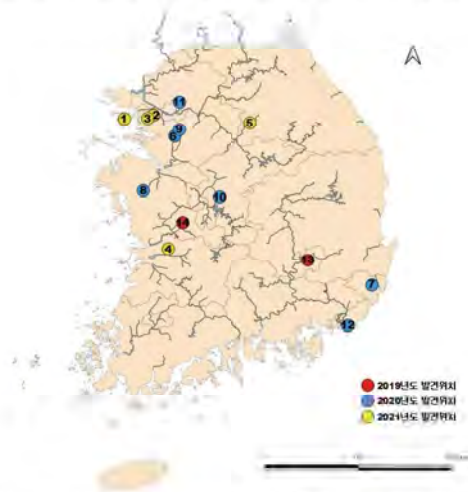


그림 62. 2019-2021년까지 국내에서 확인된 늑대거북 출현지점.

(바) 국외 분포

- 일본, 중국, 홍콩, 싱가포르, 독일, 네덜란드, 프랑스, 스페인, 멕시코, 온두라스, 코스타리카, 에콰도르(Koo et al., 2020)



그림 63. 늑대거북 분포지도 (<https://www.gbif.org/species/2441905>).

(사) 서식환경

- 늑대거북은 담수(강, 연못, 습지)에 서식하며 일부 기수에서도 발견된다. 늑대거북은 깊은 물을 헤엄칠 수 있지만, 수심 2m 미만의 수역 주변(해안 5m 이내)에 머무르는 것을 선호한다(Brown, 1992). 늑대거북은 은폐가 용이한 진흙투성이의 바닥과 풍부한 수생식물이 있는 수역을 선호한다. 늑대거북은 수생거북으로 일광욕은 거의 관찰되지 않는다. 그러나 때때로 그들은 육지 위로 먼 거리를 이동할 수 있으며, 도로를 건너다가 로드킬 당하기도 한다.

(아) 용도

- 늑대거북은 거북스튜와 수프에서 많이 이용되며, 거북 껍질의 경우 아메리카 원주민의 행사에 딸랑이로 주로 사용된다.

(자) 규제현황

- 일본(특정외래생물)

(2) 정착 가능성

(가) 문헌조사를 이용한 서식지 확인

Koo et al. (2020)의 보고에서는 2019년 3월 20일 충남 논산시의 농경지에서 트랙터를 이용하여 쟁기질하는 중에 쟁기에 걸린 늑대거북이 확인된 것으로 보고 하고 있다. 확인된 개체는 늑대거북 수컷으로 등갑의 길이는 32.3cm, 무게는 7.46kg으로 성체이다. 확인 시기 및 논에서 발견된 상황 등을 종합해 볼 때 2018년 자연생태계로 유기된 개체가 월동을 위해 습기와 진흙이 있는 논으로 이동하여 월동하던 개체가 발견된 것으로 추정된다. 이 논문에서도 늑대거북은 국내 자연생태계에서 충분히 살아갈 수 있으며, 국내 생태계에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높기에 이를 막을 수 있는 정책이 필요하다고 강조하고 있다.

2019~2021년까지 최근 2년간의 문헌자료 및 웹사이트를 통해 전국 14지점(표 26)에서 늑대거북의 출현을 확인하였다. 발견된 늑대거북은 등갑 15~40cm까지 다양하게 나타났으며, 4~12월까지 계절에 상관없이 폭넓은 시기에 확인되었다.

표 26. 문헌조사를 통해 확인된 늑대거북의 출현지점

No.	확인 지점	확인일시	출처	비고
1	인천광역시 중구 운서동	2021.06	웹	등갑 20~30cm
2	경기도 부천시 원미구	2021.05	블로그	등갑 20cm
3	인천광역시 남동구 만월로	2021.05	블로그	등갑 20~30cm
4	전라북도 익산시 신용동	2021.05	블로그	6kg/ 1992년 이전
5	강원도 원주시 호저면	2021.04	뉴스	등갑 30~40cm
6	경기도 수원시 팔달구 인계동	2020.09	웹	-
7	울산광역시 태화동	2020.08	블로그	등갑 40cm
8	충청남도 홍성군 홍북읍	2020.08	뉴스	10kg/ 2018
9	경기도 용인시 수지구 동천동	2020.08	뉴스	8kg/ 2015
10	충청북도 청주시 명암저수지	2020.08	뉴스	2kg/ 2018
11	서울특별시 노원구 중계동	2020.06	웹	등갑 15cm
12	부산광역시 서구	2020.05	웹	-
13	대구광역시 성당동	2019.12	뉴스	등갑 15cm
14	충청남도 논산시 송당리	2019.03	구 등., 2020	등갑 32.3cm, 7.46kg

문헌조사에서 출현했던 지역을 대상으로 현장 확인 조사를 병행하여 시행하였다. 조사 결과 9종의 96개체의 외래거북이 확인되었다(표 27). 이중 붉은귀거북속에는 붉은귀거북, 노란배거북이 확인되었으며, 쿠터속에는 리버쿠터, 플로리다레드벨리쿠터, 페닌슐라쿠터가 확인되었다. 비단거북속에는 페인티드터틀 1종, 자라속에는 자라와 중국자라의 2종이 확인되었으나, 늑대거북은 확인되지 않았다. 가장 많은 개체의 거북이 확인된 지역은 일산호수공원이며, 7종 26개체의 거북류 확인되었고, 다음으로는 청계천에서 8종 22개체의 거북이 확인되었다. 확인된 거북 중에서는 자라가 18개체로 가장 많았으며, 청계천에서 9개체가 확인되었다. 다음으로는 리버쿠터 17개체, 붉은귀거북 12개체, 노란배거북 10개체, 플로리다레드벨리쿠터 9개체, 페닌슐라쿠터 9개체가 확인되었다. 조사된 거북중 생태계교란 생물로 지정된 종은 붉은귀거북 속의 붉은귀거북, 노란배거북, 쿠터속에는 리버쿠터와 플로리다레드벨리쿠터로 총 4종의 생태계교란 생물이 확인되었다. 이번 조사를 통하여 확인된 거북중 생태계교란 생물로 지정되지 않은 페닌슐라쿠터의 자연생태계 서식이 다수 확인된 점은 추후 외래거북류의 관리방안(수입, 방출 등)에 대한 논의가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

표 27. 늑대거북 출현지의 현장조사 중 발견된 거북류

증명	보라매 공원	우이천	중랑천	청계천	학의천	용인	탄천	안양천	일산 호수 공원	합계
붉은귀거북 (<i>Trachemys scripta elegans</i>)	4			4			1		3	12
노란배거북 (<i>Trachemys scripta scripta</i>)	1		4	2		1			2	10
리버쿠터 (<i>Pseudemys concinna</i>)	5			1		1			10	17
플로리다레드벨리쿠터 (<i>P. nelsoni</i>)	3			2		3			1	9
페닌슐라쿠터 (<i>P. peninsularis</i>)	2		1	2		3			1	9
페인티드터틀 (<i>Chrysemys picta</i>)				1						1
자라 (<i>Pelodiscus maackii</i>)			4	9	4				1	18
중국자라 (<i>P. sinensis</i>)	2						1	2		5
미동정			4	1		2			8	15
합계	17	0	13	22	4	10	2	2	26	96

* 조사지별 조사시기 차이와 조사 시 기상 여건으로 거북류 관찰종의 차이가 발생할 수 있음.

(나) 늑대거북의 국내 서식 및 월동 가능성 파악

늑대거북은 북미에서도 원서식지가 캐나다 남동부, 남서쪽, 로키산맥 가장자리에 서 플로리다까지 북아메리카 대륙에 걸쳐 폭넓게 서식하고 있어, 우리나라의 자연 생태계에서는 월동 및 서식이 충분할 것으로 예상된다. 늑대거북의 대표적인 자생지인 메인주의 평균적인 기온 분포를 보면 기온이 $-9\sim 26^{\circ}\text{C}$ 이며, 드물게는 $-17\sim 30^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도 범위를 보인다. 이는 우리나라에서 가장 추운 지역인 강원도의 평균기온이 $-13\sim 21^{\circ}\text{C}$ 의 범위인 것으로 미루어 보아 국내 전 지역에서 서식 및 월동이 가능할 것으로 예상된다. 알려진 바로는 늑대거북은 추위에 매우 강한 것으로 알려져 있으며, 무선 원격 측정 연구에 따르면 늑대거북은 동면을 하지만 일부 개체는 겨울 동안 얼음 아래서 활동적인 상태를 유지한다고 한다. 동면 중인 개체도 동면 장소가 얼음으로 덮이어도 6개월 이상 호흡을 하지 않는 상태를 유지할 수 있으며, 진흙을 밀어 올리고 입과 목구멍을 통해 가스교환이 이루어지는 폐외호흡을 할 수 있다. 또한 충분한 산소가 확보되지 않는 상황에서는 몸의 에너지 대사를 혐기성 경로를 이용하여 산소를 소비하지 않고 당과 지방을 연소시킬 수도 있다.

주요 동면지는 수중의 얼음판 아래며, 개울, 호숫가 또는 무산소 상태의 진흙 속에서도 동면할 수 있다. 어린 개체들도 -1.5°C 이하에서도 잘 견디는 것이 관찰되었다. 물속에서의 동면을 선호하나 조건이 맞지 않으면 지상의 동면 장소를 이용한다 (Nakama, 2014).

(3) 확산 가능성

(가) 번식력

늑대거북은 4월에서 11월까지 짝짓기를 하고, 6월과 7월에 가장 많은 개체가 산란하며, 암컷은 필요에 따라 정자를 보관할 수 있다. 일반적으로 암컷이 오목하게 파낸 둥지에 20~40개의 알을 낳고, 둥지를 보호하기 위해 뒷발을 이용하여 흙이나 모래를 덮는다. 개체의 크기가 큰 암컷의 경우 최대 70개 이상의 알을 낳기도 한다. 알은 타구공과 비슷한 원형으로 직경은 약 3cm 정도로 산란 후 약 3개월이면 부화하는 것으로 알려져 있으나, 둥지의 온도에 따라 부화시기가 9주에서 18주 사이에 부화한다. 또한 늑대거북은 인공적으로 번식시키는 것이 용이한 것으로 알려져 있다 (이태원 & 박성준, 2011).

다른 문헌에서는 늑대거북은 암수 모두 갑각의 길이가 14.5cm 이상이면 성적으로 성숙하는 것으로 보고하며, 암컷이 성 성숙 연령을 12살로 보고, 최소 생식연령을 8~9살로 보기도 한다. 수컷은 최소 5살이 되면 성적으로 성숙하는 것으로 보고하고 있다(Nakama, 2014).

본 연구에서 총 5개 지역 6개 지점에서 거북류 알 182개를 대상으로 DNA barcode를 실시한 결과 경기도 수원시 일왕저수지에서(그림 64) 늑대거북 알 1개를

확인하였다(표 28). 채집 당시 알은 심하게 파손되어 있었으며, 난각에서 채취한 DNA분석 결과 NCBI에 등록되어 있는 늑대거북 염기서열 13개 (EF122793, DQ256378, KU985806, LC145070, KU985607, KU985719, MH273639, KJ870096, KU985648, KJ870097, KU985815, KU986272, KU985770)와 99~100% 일치하는 것으로 확인되었다(그림 65). 늑대거북의 산란은 2013년 인터넷 블로그에 올라온 1개 경우(육안목격, 서울특별시 보라매공원)를 제외하고 현재까지 보고된 바 없다. 금해 보라매공원에서 늑대거북 현장조사를 실시한 결과 개체 및 알자리는 확인되지 않았다. 하지만, 현재까지 정황을 미루어 보았을 때, 국내에서 늑대거북의 번식과 정착가능성은 있어, 향후 출현이 확인된 지점에서 지속적인 모니터링이 필요하다.

표 28. 거북류 알을 이용한 DNA barcode 결과

순서	분석지점	붉은귀거북류	쿠터류	늑대거북
1	서울특별시	0	2	0
2	경기도 수원시	1	6	1
3	경기도 안산시	43	55	0
4	경상북도 구미시	7	0	0
5	경상남도 진주시(금산)	8	0	0
6	경상남도 진주시(정촌)	25	34	0



그림 64. 경기도 수원시 일왕저수지 늑대거북 알 및 발견지점 사진.

Chelydra serpentina mitochondrial COI gene for cytochrome oxidase subunit I, partial cds, specimen_voucher: SDNCU:SDNCU-A2708

Sequence ID: [LC145070.1](#) Length: 658 Number of Matches: 1

Range: 1 to 658 [GenBank](#) [Graphics](#)

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1216 bits(658)	0.0	658/658(100%)	0/658(0%)	Plus/Plus
Query 34		CACCTTATAITTAATTTTGGGGCCTGAGCAGGAATAGTGGGCACAGCACTAAGTCTACT		93
Sbjct 1		CACCTTATAITTAATTTTGGGGCCTGAGCAGGAATAGTGGGCACAGCACTAAGTCTACT		60
Query 34		AATTCGAGCAGAACTAAGTCAACCCGGTACCCTACTAGGAGATGATCAGATTATAATGT		153
Sbjct 61		AATTCGAGCAGAACTAAGTCAACCCGGTACCCTACTAGGAGATGATCAGATTATAATGT		120
Query 154		TATTGTTACAGCCCATGCCCTTGTATAATTTTCTTATAGTAATACCTGTTATAATGG		213
Sbjct 121		TATTGTTACAGCCCATGCCCTTGTATAATTTTCTTATAGTAATACCTGTTATAATGG		180
Query 214		GGGCTTTGGAACTGACTTGTCCCTAATAAATGGAGCCCGAGATATAGCAITCCCACG		273
Sbjct 181		GGGCTTTGGAACTGACTTGTCCCTAATAAATGGAGCCCGAGATATAGCAITCCCACG		240
Query 274		CATAAATAATATAAGCTTTTGACTTCTACCCCATCCTTACTAITACTATTAGCCTCATC		333
Sbjct 241		CATAAATAATATAAGCTTTTGACTTCTACCCCATCCTTACTAITACTATTAGCCTCATC		300
Query 334		AGGAATTGAAGCAGGTGCCGGCACAGGTGAACTGTATACCCCCACTATCTGGAAACAT		393
Sbjct 301		AGGAATTGAAGCAGGTGCCGGCACAGGTGAACTGTATACCCCCACTATCTGGAAACAT		360
Query 394		AGCTCAGCCGGTGCCTCCGTAGATCTGACTATTTTCTCCCTTCATTTAGCCGGGGTTTC		453
Sbjct 361		AGCTCAGCCGGTGCCTCCGTAGATCTGACTATTTTCTCCCTTCATTTAGCCGGGGTTTC		420
Query 454		TTCAATTTTAGGGGCTATCAACTTCATTACAACAGCAATTAATATAAAGCCCGCAAT		513
Sbjct 421		TTCAATTTTAGGGGCTATCAACTTCATTACAACAGCAATTAATATAAAGCCCGCAAT		480
Query 514		ATCACAATATAAACCATTATTGTATGATCAGTACTTATTACAGCTGCTTACTATT		573
Sbjct 481		ATCACAATATAAACCATTATTGTATGATCAGTACTTATTACAGCTGCTTACTATT		540
Query 574		ACTTTCACCTGCCCGTACTAGCTGCAGGTAATTACTATGTTGTTAACAGACCGAAACCTAAA		633
Sbjct 541		ACTTTCACCTGCCCGTACTAGCTGCAGGTAATTACTATGTTGTTAACAGACCGAAACCTAAA		600
Query 634		TACAACCTTCTTTGACCCCTCAGGAGGAGAGACCCCAATCCTATATCAACACCTATTTC		691
Sbjct 601		TACAACCTTCTTTGACCCCTCAGGAGGAGAGACCCCAATCCTATATCAACACCTATTTC		658

그림 65. 늑대거북 염기서열 NCBI Blast 결과.

알은 6월에 산란하면 9월 중에 부화한 개체가 출현하기도 하나, 추운지역에서는 동지에서 월동하기도 한다. 알의 부화 온도에 따라 암, 수의 결정이 이루어지며, 부화 온도가 높거나, 낮을 때는 암컷이, 중간 온도에서는 수컷으로 결정된다. 동지의 온도는 일반적으로 17.2℃~23.3℃로 알려져 있다.

늑대거북의 알동지 평균 생존율은 23%이며, 동지의 생존률이 낮은 이유로는 주로 너구리나 여우 등의 포유류에 의한 동지의 공격이 있기 때문이다. 또한 부화한 어린 개체는 뱀, 개구리, 수생이나 비수생 조류에 의한 포식으로 인해 1년까지의 생존률은 대략 22%로 보고 하고 있다. 하지만 2년 차 이후 생존확률은 65%로 증가하며, 3~12세까지는 77%의 높은 생존률을 보인다. 암컷의 경우 성적으로 성숙한 이후의 평균 생존율은 88~97%로 매우 높다(Nakama, 2014).

(나) 분산능력

1) 늑대거북의 이동능력

늑대거북은 일반적으로 얇은 연못이나 개울, 습지 등에 서식하며, 일부는 강어귀나 기수환경에서도 서식하는 것으로 알려져 있다. 거북류는 산란하거나, 새로운 서

식지를 찾기 위해 광범위한 범위를 이동하는 것으로 알려져 있으며, 서식지 오염, 먹이부족, 서식지 교란 등의 이유로도 이동하는 것으로 보고하고 있다. 원산지에서는 이동 중인 늑대거북이 로드킬을 당하는 사례가 보고되어 있기도 하다. Steen et al. (2010)의 늑대거북 4개체에 라디오택을 부착하여 이동성을 조사한 연구에서 암컷 1개체(170번)은 2년 동안 방류지점에서 400m 떨어진 곳에서 포획되었으며, 수컷 1개체(141번)은 17일 동안 194m를 이동하였다. 다른 암컷 1개체(142번)은 최초 1일 동안 35m를 이동하였고, 2일 만에 160m를 이동한 것이 확인되었다. 이후 3개월간 같은 지점에 머물다, 20m, 10m, 19m, 14m 이동까지 확인되었다. 마지막 수컷 1개체(160번)은 방류 후 17일 동안 966m를 이동하였고, 다음 1일 동안 151m, 이동 이후 강을 따라 100km를 이동한 것을 보고하고 있어, 늑대거북은 높은 이동성을 보이고 있으며, 강, 하천에서 수계를 따라 이동 시에는 상당히 먼 거리를 짧은 시간에 이동할 수 있을 것으로 추정된다.

2) eDNA와 목견조사를 이용한 서식지 확인

늑대거북 gDNA와 종 특이마커에 대한 정량곡선을 제작한 결과 $y = -3.2789x + 46.247$ ($r^2=0.998$)에 대하여 검출된 DNA copy 수 추정에 활용할 수식을 확보하였다. 확보한 수식으로부터 PCR 효율 측정 결과 101%로 확인되었다. 이어 LOD 추정에 의하면 qPCR 분석에 따른 Ct값 44.6 이상은 검출할 수 없는 값으로, LOQ 추정 결과 1L당 늑대거북 DNA 295,648 copies 이하는 계량불가로 확인하였다.

출현 및 서식여부를 현장에서 확인하기 어려운 종의 생태 특성상 목견조사와 더불어 eDNA로 출현 및 서식 여부를 확인하고자 하였다. 외래거북류 유입이 잦은 잠재적 출현가능지점 등, 총 16개 지점에 대하여 늑대거북 DNA 검출 검사를 진행하였다. 늑대거북이 은신하고 있을 것으로 추정되는 지점을 중심으로 환경시료를 확보하였으나, qPCR 분석에서 모든 조사지점에 대한 환경시료 내 음성반응으로 확인되어 조사지점에 대해 늑대거북의 유입이 미확인된 것으로 판단된다. 이에 대하여 늑대거북 개체가 없어 환경시료에서 늑대거북 DNA 반응이 음성으로 나타났거나, 조사지점 유형이 저수지, 하천, 생태공원, 호수 등 다양한 환경 유형에 따른 적합한 시료 확보 방법을 추정하기 어려워 eDNA 확보 효율이 상대적으로 낮아 검출 가능한 농도의 eDNA를 확보하지 못한 것으로 qPCR 미검출 원인을 추정할 수 있다. 또한, 출현사례 보고지점 중 개체 미확보 지점 총 5개 지점에 대하여 eDNA분석법을 기반으로 서식여부 검증 및 추적조사를 하였으나, 늑대거북 DNA 반응은 음성으로 나타났다. 원주 섬강 지점의 경우 개체 유입과 유출이 자유로운 하천 형태의 조사지점으로 개체추적과 현장조사가 특히 어려운 지점이다. 이에 대해 eDNA 분석법을 활용하여 개체를 추적하고자 첫 발견지점을 중심으로 상류와 하류 2지점을 선정하여 분석을 수행하였고, 늑대거북이 선호하는 유속이 느린 구간을 중점으로 물 시료를 확보하였다. 확보한 환경시료에 대하여 qPCR분석 결과 상·하류지점 모두 늑대

거북 DNA가 미검출 된 것으로 나타나 개체 추적이 불가하였다. 대구 성당못 지점의 경우, 현장에서 늑대거북이 유입 후 지속적으로 서식하기 유리한 환경조건을 갖추었음을 확인하였다. 하지만, 2018년 첫 출현 보고 이후 본 조사수행까지 시간적 차이가 있어 개체 이동, 폐사 등 다양한 가능성에 대해 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다. 인공하천인 부천시민의강의 경우 지점의 길이와 너비, 수심 등을 고려하여 현장조사에 중점을 두고 조사하였으나, 개체를 확인하지 못하였다. 따라서, 늑대거북의 서식유무를 추정하기 위해 은신처로 선호하는 환경이 나타나는 지점을 중심으로 환경시료 확보 후 qPCR 분석을 수행하였지만 환경시료 내 늑대거북 DNA는 검출되지 않았다. 서울 보라매공원 역시 수면 아래에 머무르는 특성으로 육안 확인이 어려운 늑대거북에 대해 개체 추적을 위해 eDNA 분석법을 적용하였으나 검출 결과 음성으로 나타났다(표 29).

표 29. 늑대거북 환경시료 확보 지역 및 eDNA 검출 결과

조사유형	서식지 유형	조사지 명칭	채수 시기	eDNA 반응 결과(n/3)
전국분포조사	저수지	풍암지	21.04.06	0/3
전국분포조사	저수지	일왕저수지	21.03.19	0/3
전국분포조사	저수지	상암방죽	21.03.19	0/3
전국분포조사	저수지	금호지	21.02.23	0/3
전국분포조사	저수지	은파공원	21.02.23	0/3
전국분포조사	저수지	화랑저수지	21.03.19	0/3
전국분포조사	저수지	부산평화공원	21.02.23	0/3
전국분포조사	저수지	어린이대공원	21.02.23	0/3
전국분포조사	저수지	서서울호수공원	21.03.19	0/3
전국분포조사	하천	셋강생태공원	21.03.19	0/3
전국분포조사	저수지	육암수변공원	21.04.06	0/3
전국분포조사	하천	서울 우이천	21.08.19	0/3
전국분포조사	하천	서울 중랑천	21.08.19	0/3
전국분포조사	하천	서울 청계천	21.08.19	0/3
전국분포조사	하천	안양천	21.08.19	0/3
전국분포조사	호수	일산호수공원	21.09.09	0/3
중점 조사	하천	섬강(상류)	21.06.09	0/3
	저수지	섬강(하류)	21.06.09	0/3

조사유형	서식지 유형	조사지 명칭	채수 시기	eDNA 반응 결과(n/3)
중점조사	저수지	성당못	21.06.08	0/3
중점조사	인공하천	부천시민외강	21.06.17	0/3
중점조사	생태공원	서울 보라매공원	21.10.07	0/3

(다) 사육 재배 환경에서 탈출·유기될 가능성

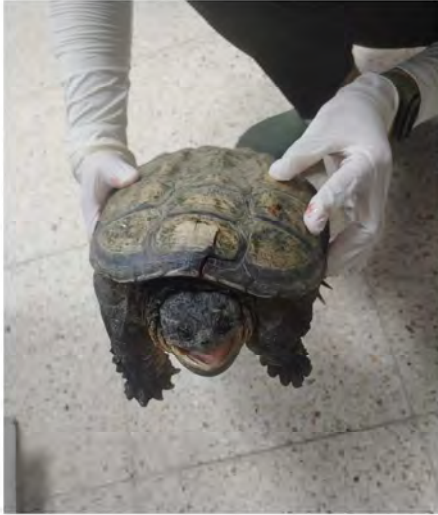
2020~2021년의 최근 2년간 늑대거북의 발견 사례는 총 14건이 확인되었다. 대부분의 확인 지역은 인천광역시, 경기도, 울산시 등 대도시 인근의 생태공원과 사람들의 접근이 잦은 유원지 등에서 발견된 사례가 대부분이다. 발견된 개체는 대부분 성체로 등갑이 20~30cm, 무게는 6~10kg 내외이다(표 30).

표 30. 인터넷, 신문기사, 문헌조사를 통해 확인된 늑대거북의 확인

No.	확인 지점	확인일시	출처	비고
1	인천광역시 중구 운서동	2021.06	웹	등갑 20~30cm
2	경기도 부천시 원미구	2021.05	블로그	등갑 20cm
3	인천광역시 남동구 만월로	2021.05	블로그	등갑 20~30cm
4	전라북도 익산시 신용동	2021.05	블로그	6kg/ 1992년 이전
5	강원도 원주시 호저면	2021.04	뉴스	등갑 30~40cm
6	경기도 수원시 팔달구 인계동	2020.09	웹	
7	울산광역시 태화동	2020.08	블로그	등갑 40cm
8	충청남도 홍성군 홍북읍	2020.08	뉴스	10kg/ 2018
9	경기도 용인시 수지구 동천동	2020.08	뉴스	8kg/ 2015
10	충청북도 청주시 명암저수지	2020.08	뉴스	2kg/ 2018
11	서울특별시 노원구 중계동	2020.06	웹	등갑 15cm
12	부산광역시 서구	2020.05	웹	
13	대구광역시 성당동	2019.12	뉴스	등갑 15cm
14	충청남도 논산시 송당리	2019.03	구 등., 2020	등갑 32.3cm, 7.46kg

(라) 운송수단과 화물에 혼입·부착되어 분포가 확대될 가능성

늑대거북은 파충류의 특성상 살아 있는 상태에서 화물에 부착 또는 혼입되어 분포가 확대될 가능성은 매우 낮을 것으로 판단된다.



(a) 청주 명암저수지 늑대거북 발견
(`20.08.01.) 자료출처:

https://www.notepet.co.kr/news/abandon/abandon_view/?idx=53997



(b) 인천광역시 남동구 만월로
(`21.05.24.) 자료출처:

<https://blog.naver.com/tjwlsxo321/222398418207>



(c) 원주 섬강서 '늑대거북' 비상
(`20.06.02.) 자료출처:

<http://www.kwnews.co.kr/nview.asp?aid=221052600092>



(d) 전북 익산시 신용동 황금마트
(`21.05.20.) 자료출처:

https://www.notepet.co.kr/news/abandon/abandon_view/?idx=115060

그림 66. 늑대거북 출현자료.

(4) 생태계 및 사회 경제에 대한 영향

(가) 늑대거북의 섭식 특성

늑대거북은 다양한 먹이를 섭식하는 것으로 알려져 있으며, 썩은 고기, 무척추동물, 어류, 조류, 소형포유류, 양서류 등의 섭식이 보고되었고, 많은 양의 수생식물을 섭식하기도 한다. 또한 포식성이 매우 강하여 다른 거북류까지 잡아먹거나, 죽이는 사례가 있는 것으로 알려져 있다.

Moldowan et. al. (2015)는 늑대거북류의 어린개체와 성체의 먹이생물과 섭식행동에 대한 연구에서 늑대거북의 어린 개체는 수생곤충, 양서류의 유생, 새우류 등을 먹으며, 심지어는 크기가 자신과 유사한 성체의 개구리도 골격이 배설물에서 발견되었다. 주로 확인된 먹이는 모기유충, 잠자리 유충이었다. 성체는 수생식물도 대량으로 섭식하며, 수련, 마름 종류, 수생식물의 종자도 섭식하여 식물 종자의 분산자 역할을 하기도 한다. 또한 황소개구리, 개구리류 성체, 도롱뇽, 도롱뇽의 알, 잠자리와 잠자리의 유충, 다른 거북류도 확인되었다.

또 다른 연구에서는 미국 서부에 침입한 늑대거북이 서부지역의 토종 연못 거북류와, 비단거북 등의 어린 개체를 잡아먹고, 토종 연어류에 피해를 입히는 것으로도 보고하고 있다(Nakama, 2014).

(나) 경쟁의 영향

늑대거북이 선호하는 서식 환경은 바닥에 진흙이 많은 곳이며, 식물이 우거진 습지와 물에 잠긴 나무 등 장애물이 있는 지역을 선호하며, 이러한 지점에서 은신하거나, 기질의 바닥을 파고들어 간다. 또한 일광욕을 거의 하지 않으며, 물속에서 등갑의 일부만을 내놓고 일광욕을 할 수 있어 다른 거북류와의 휴식지 경쟁은 상대적으로 적은 편이다. 어린 개체는 얕은 수심을 선호하며, 성체가 되면 깊은 수심대로 옮겨가 은신처와 주요 서식지를 구분하여 활용한다. 미국 본토에서는 운하, 연못, 저수지에서 주로 서식하며, 일본에서는 도시화 된 강에서 확인되며, 일부 논에서 확인되는 사례가 있으나, 논 환경은 늑대거북이 지속적으로 살아가기에는 적절하지 못한 환경으로 보고한다. 따라서 서식지, 일광욕 장소에서는 다른 거북류와의 경쟁은 제한적일 것으로 판단된다.

먹이에 있어서도 잡식성으로 수생식물, 가재류, 곤충류, 어류, 양서류, 다른 거북류, 뱀, 소형 포유류 등 다양한 먹이를 섭식하기에 다른 거북류와 먹이생물로 인한 경쟁도 제한적일 것으로 예상된다.

(다) 병해충 전파의 영향

북미에 서식하는 다른 거북류와 마찬가지로 늑대거북도 대장균, 살모넬라균, 장내구균 등을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 늑대거북의 분변을 통해 병원체가 분산될 수 있으며, 사육시 수조에서 박테리아의 농도를 높일 수 있다. 미국의 서부에서

는 늑대거북의 침입으로 배설물로 인한 병원성박테리아의 증식과 수자원의 오염 사례가 있으며, 서부 토종의 물새류와 거북류에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 또한 동부지역의 토착 거북류 질병을 서부지역으로 옮기기도 하며 *Placobdella* 속 거머리류가 거북의 피부나 등갑 등에 붙어 서부지역으로 확산된 것으로 알려져 있으며, 다양한 기생충의 숙주로 작용하기도 한다.

(5) 교잡의 영향

늑대거북은 국내에 유사 분류군이 서식하고 있지 않아 교잡에 의한 유전자 교란의 영향은 없을 것으로 판단된다.

(6) 생물다양성 보호구역에 대한 영향

국내에서 늑대거북은 도심의 하천과 생태공원 등에서 일부 개체가 발견되고 있는 상황으로 늑대거북으로 인한 생물다양성 보호구역 등에 대한 영향은 미미할 것으로 판단되나, 인위적으로 유기되는 특성상 생물다양성 보호구역처럼 생태적으로 안정적인 공간에 유기될 가능성도 충분히 고려되어야 한다. 늑대거북 성체의 경우 사망률이 매우 낮고, 수명이 20년 이상으로 길며, 야생에서는 서식을 확인하거나 제거하기 매우 어려운 특성이 있어 생물다양성 보호구역에 소수의 개체라도 유기된다면 장기간에 걸쳐 지속적인 영향을 미칠 가능성은 존재한다.

(7) 생태계 생물요소 및 비생물요소에 대한 영향

늑대거북이 현재까지 확인되는 건 일부 지역에서 극소수의 개체만이 간헐적으로 출현하고 있다. 이로 인한 먹이사슬, 천이, 수분, 산포 등의 생물학적 요소에 대한 영향과 영양염류 순환, 토양침식, 퇴적 활동 등 비생물적 요소에 대해 미치는 영향은 미미할 것으로 추정된다. 하지만 미국 서부의 사례에서 늑대거북 배설물과 병원성박테리아 등에 인한 수질 오염 사례를 보고한다.

(8) 농림축수산업에 대한 영향

현재 늑대거북은 국내에서 양식장에서 양식대상으로 활용되고 있지 않으며, 일부 브리더(사육자)에 의해 번식된 개체들만 소수 확인되고 있다. 단순히 외부생태계에서 소수 확인된 서식으로는 농업, 축산업에 영향을 줄 가능성은 없을 것으로 판단되며 수산업(양식업)에 미치는 영향도 미미할 것으로 생각된다.

(9) 사회기반시설, 경관 및 문화적 가치 등에 대한 영향

늑대거북은 매우 흔한 애완동물을 아니지만 일부 매니아 층에 있어 인기가 높은

애완동물로 현재 국내에서도 파충류샵, 애완동물 마켓 등에서 거래가 이루어지고 있다. 미국의 서부에서는 늑대거북의 침입으로 배설물로 인한 병원성박테리아의 증식과 수자원의 오염 사례가 있다.

(10) 경제 가치

(가) 애완동물로의 사육

미국 및 해외에서의 늑대거북 주요 도입 경로는 애완동물로의 거래가 대부분을 차지한다. 미국에서 늑대거북은 붉은귀거북 만큼 흔히 거래되는 건 아니지만, 일부 매니아나 애호가들 사이에서 인기가 높은 애완동물이다. 어린 개체나, 작은 개체는 30~40\$ 정도로 거래되고 있으며, 성체는 대략 400\$ 선에서 거래된다. 일부 알비노 개체 등 독특한 형질을 보이는 개체에 대해서는 2,000\$ 이상으로 5,000\$까지 판매되기도 한다. 미국에서 유통되는 대부분의 늑대거북은 플로리다의 농장에서 생산되는 개체로, 플로리다 주 법에 따라 유통을 위한 야생 개체의 포획은 금지하고 있다 (Nakama, 2014).

미국에서도 늑대거북의 판매시 사육 초보자에게는 추천하지 않으며, 일부 주에서는 초보자에게는 판매하지 않도록 하고 있다. 늑대거북의 사육은 대부분 실내에서 이루어지지만 넓은 온도 내성을 갖는 특성상 미국 전역에서 야외에서의 사육도 가능하다. 늑대거북의 사육과 거래는 미국과 아시아 지역에서 무분별하게 일어나고 있으며, 2010~2013년 동안 3,180만 마리의 거북이 농장에서 사육되어 국제 시장으로 수출된 기록이 있다. 또한 중국에서 거북이 양식이 급격하게 확산되고 있는 실정이다(Nakama, 2014).

(나) 방생, 유기에 의한 침입

미국의 동부지역은 늑대거북의 원서식지이나, 서부지역에서의 출현은 애완동물로 사육하던 개체가 탈출하거나, 소유자에 의한 방출로 서식하게 되는 것으로 보고하고 있다. 또한 일본의 경우는 애완동물로 사육하던 개체가 사육자에 의해 방류된 것으로 공식적으로 보고하고 있다. 방류된 개체에 의해 번식이 이루어지며 개체군이 확립되었다. 일본에서는 침입외래종으로 관리하고 있으며, 늑대거북으로 인해 토착종 거북의 서식에 영향을 미치며, 지속적인 확산이 이루어지고 있는 것으로 보고하고 있으며, 현재는 인공수로나 논 등 도심 인근 지역에서 주로 서식이 확인된다. 유럽의 경우도 애완동물로 사육되는 늑대거북이 생태계로 유출되는 사례가 빈번하게 나타나고 있으며, 이로 인해 생태계에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 미국에서 늑대거북에 대한 수입이 지속적으로 이루어지고 있어 가까운 미래에 유럽에 성공적으로 정착 침입할 것으로 예상하고 있다.

IV. 결론 및 제언

2021년 수행된 외래생물 정밀조사 대상 5종(나도솔새, 뱀지, 돼지풀아재비, 외래꽃사슴류, 늑대거북) 연구에 대한 결론 및 제언은 다음과 같다.

1. 나도솔새

나도솔새(*Andropogon virginicus* L.)는 북미 원산의 벼과 다년생 초본이다. 국내에서 1999년에 울산에서 최초로 발견된 이후 남부지역에 대규모 군락을 이루며 분포면적이 확대되고 있다. 특히 주거·시설지, 도로변의 교란지에 주로 출현하고 있다. 전 세계 나도솔새 분포지의 기후자료를 이용해 국내 서식지 적합도 분석 결과, 강원도 내륙 산간 지역을 제외하고 적합도가 높게 분석되었다. 일사량을 제외한 국외 분포지의 온도와 강수량 관련 항목이 국내 기후와 유사하여 기후 조건이 나도솔새의 정착 및 생육에 제한요인이 되지 않을 것으로 판단된다.

온실 자연광 조건에서 발아율은 평균 58%였고 그 중 5%가 당해 결실했다. 국내 자생지의 나도솔새 매토종자 밀도는 1,800개/m²로 돌피 다음으로 높았다. 나도솔새는 개체당 약 1,800개의 종자를 맺고 바람에 의해 분산되어 척박한 무기질토양에 쉽게 정착할 수 있다. 김제지역은 산업단지 조성으로 인한 토양 교란 이후 대규모로 나도솔새가 침입(군락면적: 43ha)하여 나도솔새 순군락을 이루고 있었다. 나도솔새 지상부에서 Chlorogenic acid와 p-coumaric acid가 각각 80.3±2.3, 19.6±0.6 mg/kg 검출되어 타 식물의 기공개도 등에 영향을 미칠 수 있음을 확인했다.

국내에서 나도솔새는 남부지역을 중심으로 분포 면적이 증가하고 있다. 내음성이 약해 산림으로의 침입 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 그러나 바람에 날리는 다량의 종자, 높은 기후 유사성, 다양한 토양환경에 대한 내성으로 교란이 일어난 나대지에 추가 확산이 예상된다. 천이 초기 종으로 기존 식생이 피복된 서식지에서는 출현 빈도가 낮았으며, 토양이 비옥해지고 다른 식물이 증가하면 자연적으로 영향이 감소할 것으로 예상되나 지속적인 확인이 필요하다.

나도솔새는 겨울 동안에 지상부가 유지되어 11월~3월 사이에 개체 식별이 용이하다. 나도솔새 제거를 위해서는 땅 파기가 용이한 11월 또는 3월에 뿌리뽑기를 통한 제거가 효과적일 것으로 보인다. 또한 종자가 결실하기 전 8~9월에 지속적인 지상부 제거가 필요할 것이다.

2. 뱀지

뱀지(*Vicia villosa* Roth)는 유럽과 서아시아 원산의 콩과 일이년생 덩굴성 초본이다. 외래생물 전국서식실태조사와 본 연구의 현장조사를 통해 136개 지점에서 뱀지의 분포를 확인하였으며, 83%가 하천 제방 또는 도로변에서 관찰되었다. 기후변수

를 이용한 서식지 적합도 분석 결과, 국외의 벼지 분포지 기후와 국내 기후 유사성이 매우 높았으며, 제주도 일부 지역을 제외한 남한 지역이 적합서식지로 예측되었다. 특히 고도가 낮은 전라도, 충청도, 경상도 지역이 서식지 적합성이 높았다.

종자 발아실험에서 최종 발아율은 저온과 상온과 차이가 없어 벼지의 저온 내성을 확인할 수 있었다. 온실 자연광 조건에서 발아율은 평균 73.5%로 높은 수준이었다. 만경강 둔치에 벼지 종자를 파종한 종자를 약 60%가 발아하였으며, 5월까지 유지 되었으며, 이를 통해 하천변을 따라 분포 면적이 더욱 확대될 것으로 예상할 수 있었다. 벼지 재배지에서 유출된 개체가 확인되었다. 인근 도로변에서 주로 관찰되었으며, 농수로 주변에서 관찰되어 유수를 통한 장거리 이동이 우려되었다. 벼지 군락 방형구 조사 결과 중요치가 가장 높은 벼지(23%)와 2순위 개망초(8%)의 차이는 약 3배로 벼지에 의한 우점을 확인할 수 있었다.

벼지는 지속적인 품종개량을 통해 화학비료를 대체할 녹비작물로 관심을 모으고 있다. 정부의 친환경 농업 확대 정책으로 벼지의 활용도는 더욱 높아질 것으로 예상된다. 벼지의 추가 확산을 막기 위해서는 종자가 맺히기 전 5월 초에 지상부 절단을 통한 제거 작업이 필요할 것이다. 벼지는 종자를 통해 번식하기 때문에 재배지 유출을 막기 위해서는 종자가 결실하기 전에 토양을 갈아엎어 추가 유출을 막을 필요가 있다. 또한 농수로를 통한 장거리 확산이 우려되므로 농수로의 벼지를 우선적으로 제거할 필요가 있다. 무엇보다 벼지는 단일 종에 의한 우점으로 토착 식물의 다양성을 저해할 수 있으므로 생물다양성 보호구역에 확산된 개체는 보다 적극적인 관리가 필요할 것이다.

3. 돼지풀아재비

돼지풀아재비(*Parthenium hysterophorus* L.)는 중앙아메리카, 멕시코 원산의 국화과 일년생 식물이다. 알레르기성 비염, 피부 알레르기, 가려움증을 유발하고 농작물 생산량을 현저히 낮추어 2018년에 IUCN '세계 100대 위해 외래생물'로 지정했으며, 45개국 이상에서 농경지의 대표적인 위해종으로 보고했다. 국내에서는 1995년 경상남도 통영에서 최초로 발견되었으며, 이후 서울, 무주, 창원 등에서 관찰되었으나, 현재는 경남 고성외의 총 5개 지점 및 창원 1개 지점을 제외하고 서식이 확인되지 않고 있다. 현재 자생지는 답압, 예초 등 인위적인 교란이 지속적되고 있음에도 개체군이 사라지지 않고 유지되고 있다.

돼지풀아재비는 내륙 산간지역보다는 기온이 온화한 남해안과 해양성 기후가 서식지 적합성이 높았다. 발아실험 결과 종자의 최적발아 온도는 20.5~23.7°C로 판단되고, 온도가 낮은 조건(6.1±0.5°C)에서는 발아가 되지 않았다. 돼지풀아재비 매토종자 밀도는 평균 14,837개/m²로 매우 밀도가 높았다. 돼지풀아재비는 sesquiterpene lactones (SQL)라는 수용성 페놀 화합물질을 포함하고 있어 식물의 발아와 성장을 억제시키고, 알레르기성 비염, 피부 알레르기, 가려움증 등 인간 건강에게도 직접적인 피해를 주기도 한다. 실제로 알레르기에 민감한 조사원들이 심한 알레르기 반응

을 보이기도 했다. 고성 돼지풀아재비의 타감물질을 분석한 결과, Caffeic acid와 Chlorogenic acid 성분이 검출되었으며, 이는 타 식물의 기공개도를 감소시킬 수 있다.

현재까지 국내에 분포하는 돼지풀아재비속에 속하는 종은 돼지풀아재비 1종만이 보고되어 있어 중간 교잡의 가능성은 미미할 것으로 보이며, 돼지풀아재비 단일 군락 우점에 의한 생물다양성 감소와 농작물 생산량 저하 등의 피해는 국내에서 보고되지 않았다. 그러나 돼지풀아재비는 다량의 종자를 생산하고, 건조, 답압, 고온 등에 대한 내성이 강하기 때문에 도로변, 하천 제방, 농경지 등 교란지에 빠르게 분산할 가능성은 있다. 따라서 자생지 내 개체군 특성 및 개체군 동태에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 개체가 어느 정도 성장하고 종자가 맺기 전, 7월경에 뿌리째 뽑기를 통한 선제적 제거 사업을 하면 국내에서 완전 제거도 가능할 것으로 보인다. 또한 토양 내 종자 밀도가 높은 고성 거산리 지역은 4~5년의 장기적인 제거 계획이 필요할 것이다.

4. 외래꽃사슴류

외래꽃사슴은 일본과 대만, 동아시아, 러시아가 원산지로서 국내에 1950년대 이후 가축으로 수입하면서 의도적으로 유입되었다. 꽃사슴 사육은 2000년대 초반에 12,000여 가구에서 96,000여 개체를 사육하였으나 2019년에는 2,000여 가구에서 12,000여 개체로 급격하게 감소하였다. 이에 따른 외래꽃사슴의 관리 소홀(유기, 탈출 등)과 종교 활동(방사)의 일환으로 자연스럽게 국내 자연생태계로 유입되었을 것이라고 보고되었다. 외래꽃사슴은 국내뿐만 아니라 해외에서도 다양한 목적으로 수입된 이후 자연생태계로 유입되어 생태계에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 유럽과 미국, 뉴질랜드, 일본 등에서 외래꽃사슴은 정착 및 확산하여 교잡을 통한 생물다양성 감소와 먹이자원(초목)의 대량 섭식에 의한 경관 피해, 과수원 피해 등 생태적, 경제적 피해를 주는 것으로 보고되었다. 이에 대한 대책으로 일본에서는 유해조수 조절 계획인 CMPS를 발표하여 개체수 조절을 시도하였으나 실패하여 CMPS4를 도입하여 방제를 하였고 투입된 방제 금액은 약 20억엔으로 나타났다. 그러나 지속적으로 개체수를 조절하지 않으면 다시 확산하여 피해를 주어 관리 계획을 신중하게 진행해 나가야 할 것으로 보인다. 영국에서는 꽃사슴과 붉은사슴 등의 교잡이 생기지 않도록 사냥을 통해 개체수 조절하는 관리방안을 마련하였다. 교잡을 막아 종 다양성을 확보하고 근절하기 위한 개체를 명확하게 파악하기 위한 방안으로 향후 생태계에 문제를 일으키는 특정 종에 대한 관리방안을 구축하기 위한 것으로 판단된다. 국내에서도 유해조수에 대한 관리방안이 있으나 외래꽃사슴은 국내 야생동물로 포함되지 않아 관리가 어렵다. 외래생물에 대한 관리를 위해 외래꽃사슴의 제도적 관리 등급이 필요하며 등급에 따른 생태적, 경제적 영향을 고려한 관리 방안 수립이 필요하다고 판단된다.

5. 늑대거북

늑대거북은 헤즐링의 경우 작은 크기에 독특한 생김새로 애완동물로 관심이 높아지고 있다. 하지만 성체로의 성장이 매우 빠르며, 성장한 이후 관리비용의 급격한 증가, 넓은 사육 공간의 요구, 물림사고 등의 보건상의 어려움 등으로 자연생태계에 무단 유기될 가능성이 높은 종이기도 하다. 이로 인해 최근 사육자들에 의한 자연생태계의 무단 유기로 인해 도심의 하천, 호수공원 등에서 빈번히 발견되고 있다. 2년간 확인된 유기 사례 지속적으로 증가하고 있다. 더욱이 유기된 개체들이 즉시 발견되지 않고 자연생태계에 적응할 가능성이 높다. 김해시 진영읍의 사례나, 원주시 섬강의 사례에서는 개체가 확인되었으나, 확인 이후 개체를 포획하거나, 제거하지 못한 상태이기 때문에 확인지 주변 서식지에서 서식할 가능성이 높다. 수명이 15~20년으로 매우 길며, 성체의 늑대거북을 포획할 수 있는 생물이 존재하지 않아 야생화된 개체가 살아갈 가능성이 있다.

일생의 대부분을 물속에서 보내며, 일광욕도 물속에서 등갑의 일부만 드러내는 생태 특성상 서식 여부는 확인하기가 매우 어렵다. 이를 보완하기 위해 eDNA 연구 방법을 적용하더라도 서식 개체의 밀도가 매우 낮아 환경시료 내 DNA 주형의 수가 적어 검출하기가 매우 어려운 실정이다. 또한, 조사지점 환경 특성이 달라 지점마다 적절한 시료 확보 방법을 정형화하기 어렵고, 서식 밀도가 낮고 이동성이 있는 개체를 추적하는 데에는 환경과 종 특성에 따른 시료 확보 방법을 새롭게 고안해내야 하므로 eDNA 연구 방법을 하천과 호수, 저수지 등 국내 자연환경에서 늑대거북 서식 여부 확인에 적용하기는 어려움이 있다. 또 다른 방법으로는 산란된 거북류 알을 활용한 DNA 분석법을 사용한다면 늑대거북처럼 현장에서 확인하기 어려운 종도 정착과 확산 가능성을 판단할 수 있을 것이다.

자연생태계에 무단으로 유기되어 아주 낮은 밀도로 서식하게 되는 늑대거북에 대한 조사는 서식 확인뿐만 아니라 개체군 관리도 매우 까다롭다. 이러한 사태를 막기 위해서는 사육자들에게 늑대거북의 방생은 자연생태계의 피해뿐만 아니라 인명사고가 발생할 수 있어 철저한 교육이 필요하다. 또한 자연생태계에서 늑대거북의 출현 확인 제보가 있을 시에는 환경부, 지자체 및 야생생물 관리협회 등 다수의 인력과 장비를 동원하여 제거하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 구자환, 김민태, 전원태, 성기영, 조현숙, 김충국, & 김태수. (2014). 녹비용 헤어리베치 품종 '칭풍보라'. 한국육종학회지, 46(3), 318-322.
- 구자환, 김민태, 한옥규, 권영업, 김충국, 전원태, & 양창휴. (2015). 증생 다수 풋거름용 헤어리베치 '온토비'. 한국육종학회지, 47(4), 414-420.
- 국립생태원. (2014). 외래생물 정밀조사. 서천: 국립생태원. pp. 120.
- 국립생태원. (2015). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2016). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2017). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2018). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2019). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2020). 외래생물 전국서식실태조사. 서천: 국립생태원.
- 국립생태원. (2020). 외래생물 정밀조사. 서천: 국립생태원.
- 김아름, 김영채, & 이도훈. (2020). 원격무선추적을 이용한 한국 정착 뉴트리아 (*Myocastor coypus*)의 행동권 및 활동성 연구. 환경영향평가, 29(3), 182-197.
- 김창기, & 길지현. (2017). 한반도의 외래생물. 서울: 자연과 생태.
- 김현삼. (1974). 조선식물지 3. 평양: 과학출판사.
- 농림축산식품부. (2019). 2018년 기타가축통계. 세종: 농림축산식품부.
- 농업과학기술원. (2000). 토양 및 식물체 분석법. 완주: 농업과학기술원.
- 박수현. (1996). 한국 미기록 귀화식물(VIII). 한국식물분류학회, 26(2), 155-162.
- 방상원, 김문희, & 노태호. (2004). 생태계위해외래종의 통합관리 방안 연구 (보고서 번호: TRKO201800044096). 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 신정남, 고기환, 김종탁, 이종경, 서성, 성병렬, & 오명곤. (2007). 헤어리베치 신품종 조생종 콜드그린과 중만생종 칭파의 생육특성 및 수량성. 한국초지조사료학회지, 27(4), 257-262.
- 오세문, 김창석, 문병철, 박대선, & 오병열. (2003). 1981년 이후 발견된 국내 발생 외래잡초 현황. 한국잡초학회지, 23: 160-171.
- 우병준, 이형우, & 채상현. (2008). 오리, 꿀벌, 산양, 사슴 산업의 현황과 발전 방안. 나주: 한국농촌경제연구원.
- 이도훈, 김영채, 장민호, 김수환, 김동언, & 길지현. (2016). 외래거북의 국내 현황 및 관리방안. 환경영향평가, 25(5), 319-332.
- 이태원, & 박성준. (2011). 낮은 시선 느린 발걸음 거북. 춘천: 씨밀레북스. pp. 478.

- 정연숙, 민병미, 이규송, 조강현, 주광영, 현진오, 나혜련, 오현경, 남기흠, 김진석, & 배연재. (2020) 한반도 관속식물의 습지 선호도와 생활형. 인천: 국립생물자원관.
- 한국과학기술기획평가원. (2016). 생물다양성 위협 외래생물 관리 기술개발사업 (보고서 번호: TRKO201700017444). 세종: 기획재정부.
- 한국사슴협회. (2020년). 2020년 09월분 사슴 및 녹용 시세표, http://www.koreadeer.or.kr/board/board.php?b_id=price&cmd=view&num=73.
- 환경부. (2016). 생태계를 위협하는 외래생물. 세종: 환경부. pp. 84.
- 환경부. (2019). 외래생물 중장기 관리 계획 및 세부 이행방안 마련을 위한 연구. 세종: 환경부.
- 環境省. (2015). 我が國の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外來種リスト. 日本: 環境省.
- https://animaldiversity.org/accounts/Chelydra_serpentina/
- <https://reptile-database.reptarium.cz/species?genus=Chelydra&species=serpentina>
- <https://www.cabi.org/isc/datasheet/89944#toDistributionMaps>
- <https://www.gbif.org/species/4262373>
- <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/30010e.html>
- https://www.notepet.co.kr/news/article/article_view/?idx=13163
- Aarssen, L. W., Hall, I. V., & Jensen, K. I. N. (1986). The biology of Canadian weed: *Vicia angustifolia* L., *V. cracca* L., *V. sativa* L., *V. tetrasperma* (L.) Schreb. and *V. villosa* Roth. *Can. J. Plant Sci*, 66, 711-737.
- Alba, C., Follak, S., Chapman, D., Frohlich, D., Pescott, O., van Valkenberg, J., Visser, V., & Tanner, R. (2019). *Andropogon virginicus* L. *EPPO Bulletin*, 49(1), 61-66.
- Anh, L. H., Quan, N. V., Lam, V. Q., Iuchi, Y., Takami, A., Teschke, R., & Xuan, T. D. (2021). Antioxidant, Anti-tyrosinase, Anti- α -amylase, and Cytotoxic Potentials of the Invasive Weed *Andropogon virginicus*. *Plants*, 10(1), 69.
- Anwar, W., Khan, S. N., Tahira, J. J., & Suliman, R. (2012). *Parthenium hysterophorus*: an emerging threat for *Curcuma longa* fields of Kasur District, Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 18(1), 91-97.
- Auld, B. A., Hosking, J., & McFadyen, R. E. (1982). Analysis of the spread of tiger pear and *parthenium* weed in Australia. *Australian Weeds*, 2(2), 56-60.
- Ayana, E., Ensermu, K., & Teshome, S. (2011). Impact of *Parthenium hysterophorus* L. (*Asteraceae*) on herbaceous plant biodiversity of Awash National Park (Anp), Ethiopia. *Management of Biological Invasions*, 2(1), 69-80.
- Ba, H., Yang, F., Xing, X., & Li, C. (2015). Classification and phylogeny of sika deer

- (*Cervus nippon*) subspecies based on the mitochondrial control region DNA sequence using an extended sample set. *Mitochondrial DNA*, 26(3), 373-379.
- Bajwa, A. A., Chauhan, B. S., & Adkins, S. W. (2018). Germination ecology of two Australian biotypes of Ragweed parthenium (*Parthenium hysterophorus*) relates to their invasiveness. *Weed Science*, 66, 62-70.
- Bajwa, A. A., Chauhan, B. S., Muhammad, F., Asad, S., & Adkins, S. W. (2016). What do we really know about alien plant invasion? A review of the invasion mechanism of one of the world's worst weeds. *Planta*, 244(1), 39-57.
- Gallardo, B. (2014). Europe's top 10 invasive species: relative importance of climatic, habitat and socio-economic factors. *Ethology Ecology & Evolution*, 26(2-3), 130-151.
- Grelen, H. E. (1984). Common herbaceous plants of southern forest range (No. 210). US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Bhowmik, P. C., Sarkar, D., & Yaduraju, N. T. (2017). The status of *Parthenium hysterophorus* L. and its potential management. *Ecoprint*, 14, 1-17.
- Biological Records Centre. (2015). Online atlas of the British and Irish flora. Wallingford, UK: Biological Records Centre. Retrieved from <http://www.brc.ac.uk/plantatlas/>.
- Blum, U., Gerig, T. M., Worsham, A. D., & King, L. D. (1993). Modification of allelopathic effects of p-coumaric acid on morning-glory seedling biomass by glucose, methionine, and nitrate. *Journal of Chemical Ecology*, 19(12), 2791-2811.
- Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J. A., Hellemans, J., Huggett, J., Kubista, M., Mueller, R., Nolan, T., Pfaffle M. L., Shipley G. L., Vandessompele, J. & Wittwer, C. T. (2009). The MIQE Guidelines: Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiments. *Clinical Chemistry*, 55, 601-844.
- Butler, T. J., Stritzke, J. F., Redmon, L. A., & Goad, C. L. (2002). Broomsedge (*Andropogon virginicus*) response to herbicides and burning. *Weed technology*, 16(1), 18-22.
- Cal-IPC(California Invasive Plant Council). (2015). California Invasive Plants Council. Berkeley, California. USA: California Invasive Plant Council.
- Campbell, C. S. (1983). Systematics of the *Andropogon virginicus* complex (Gramineae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 64(2), 171-254.
- Chamberlain, J., & Gittens, A. (2004). *Parthenium* weed management: challenges,

- opportunities and strategies. *Parthenium* Action Group. Brisbane (AU): The State of Queensland (Department of Natural Resources, Mines and Energy. pp. 82.
- Chapman, R. H., & Jones Jr, S. B. (1975). Ecotypic differentiation in *Andropogon virginicus* (Gramineae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 102(4), 166-171.
- CONABIO, (2018). *Parthenium hysterophorus* L. in Weeds of Mexico. Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/parthenium-hysterophorus/fichas/ficha.htm>.
- Cumming, J. R., & Ning, J. (2003). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance aluminium resistance of broomsedge (*Andropogon virginicus* L.). *Journal of Experimental Botany*, 54(386), 1447-1459.
- D'Antonio, C. M., Tunison, J. T., & Loh, R. K. (2000). Variation in the impact of exotic grasses on native plant composition in relation to fire across an elevation gradient in Hawaii. *Austral Ecology*, 25(5), 507-522.
- Das, B., & Das, R. (1995). Chemical investigation in *Parthenium hysterophorus* L. – an allelopathic plant. *Allelopathy J*, 2, 99-104.
- Dickason, E. A. (1960). Skip Nav Destination Article Navigation Mortality Factors for the Vetch Bruchid, *Bruchus brachialis*. *Journal of Economic Entomology*, 53(4), 555-558.
- Dwivedi, S. C., & Kumari, A. (2000). Evaluation of some plant extracts as repellent against *Callosobruchus chinensis* (Linn.). *International Journal of Tropical Agriculture*, 18, 181-183.
- Einhellig, F. A., & Kuan, L. Y. (1971). Effects of scopoletin and chlorogenic acid on stomatal aperture in tobacco and sunflower. *Bulletin of the Torrey botanical club*, 155-162.
- Enomoto, T., Ozawa, Y., Kataoka, H., Kariyama, S., & Yamashita, J. (2007). AN AGGRESSIVE INVADER PLANT *Andropogon virginicus* L. IN JAPAN AND HAWAII ISLANDS. In Proceedings of the 21st Asian Pacific Weed Science Society (APWSS) Conference, 2-6 October 2007, Colombo, Sri Lanka (pp. 568-570). Asian Pacific Weed Science Society.
- EPPO. (2014a). EPPO prioritization process for invasive alien plants: *Andropogon virginicus*. Paris: EPPO.
- EPPO. (2014b). *Parthenium hysterophorus* L. Asteraceae - *Parthenium* weed. *EPPO Bulletin*, 44(3), 474-478.
- EPPO. (2018a). Pest risk analysis for *Andropogon virginicus*. Paris: EPPO, pp. 68.
- EPPO. (2018b). PQR database. Paris, France: European and Mediterranean Plant

- Protection Organization. Retrieved from <http://www.eppo.int/DATABASES/pqr/pqr.htm>. Paris: EPPO.
- Evans, H. C. (1997). *Parthenium hysterophorus*: a review of its weed status and the possibilities for biological control. *Biocontrol News & Information*, 18, 89-98.
- Fatimah, H., & Ahmad, T. (2009). Phenology of *Parthenium hysterophorus* - a key factor for the success of its invasion. *Advances in Environmental Biology*, 3(2), 150-156.
- Flora of Pakistan. (2015). Flora of Pakistan/Pakistan Plant Database (PPD). Tropicos website. USA: St. Louis, Missouri and Cambridge, Massachusetts. Retrieved from <http://www.tropicos.org/Project/Pakistan>.
- Fukushima, M., Ohashi, T., Sekikawa, M., & Nakano, M. (1999). Comparative hypocholesterolemic effects of five animal oils in cholesterol-fed rats. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 63(1), 202-205.
- Gibson, D. J., & Risser, P. G. (1982). Evidence for the absence of ecotypic development in *Andropogon virginicus* (L.) on metalliferous mine wastes. *New Phytologist*, 92(4), 589-599.
- GISD. (2018). Global Invasive Species Database (GISD). Retrieved from <http://www.iucngisd.org/gisd/>.
- Global Invasive Species Database. (2010). *Parthenium hysterophorus*. Retrieved from <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?fr=1&si=153&sts>.
- Gnanavel, I. (2013). *Parthenium hysterophorus* L.: A Major Threat to Natural and Agro Eco-Systems in India. *Science International*, 1, 124-131.
- Golley, F. B. (1965). Structure and function of an old-field broomsedge community. *Ecological monographs*, 35(1), 113-137.
- Gould, F. W. (1978). Common Texas grasses. Texas A & M University Press. pp. 267.
- Granereau, G., & Verloove, F. (2010). Une poacée invasive nouvelle pour la France: *Andropogon virginicus* (Andropogoneae, Poaceae). *Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux*, 145, 417-421.
- Grelen, H. E. (1984). Common herbaceous plants of southern forest range (No. 210). US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Griffin, J. L., Watson, V. H., & Strachan, W. F. (1988). Selective broomsedge (*Andropogon virginicus* L.) control in permanent pastures. *Crop Protection*, 7(2), 80-83.
- Gunn, C. R. (1979). Genus *Vicia* with notes about tribe Vicieae (Fabaceae) in Mexico

- and central America. UK: Technical Bulletin, *United States Department of Agriculture*. 1601, 41.
- Harmel, E. (1980). The influence of exotic artiodactyls on white-tailed deer performance and survival. Texas: Report to the Texas Wildlife Department on Federal Aid Project.
- Haseler, W. H. (1976). *Parthenium hysterophorus* L. in Australia. *Pans*, 22, 515 - 517.
- Heuze, V., Tran, G., Edouard, N., Lebas, F., & Lessire, M. (2014). Hairy vetch (*Vicia villosa*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. INRA, CIRAD, AFZ, FAO. Retrieved from <https://www.feedipedia.org/node/238>.
- Hill, E. C., Ngouajio, M., & Nair, M. G. (2006). Differential response of weeds and vegetable crops to aqueous extracts of hairy vetch and cowpea. *Hort. Sci*, 43, 695-700.
- Horowitz, W. (1980). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13ed, Arlington: AOAC.
- Hoshina, T. (2019). Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in wild sika deer in Japan. *Parasitology International*, 71, 76-79.
- Houle, G., & Phillips, D. L. (1988). The soil seed bank of granite outcrop plant communities. *Oikos*, 87-93.
- Hughes, F., Vitousek, P. M., & Tunison, T. (1991). Alien grass invasion and fire in the seasonal submontane zone of Hawaii. *Ecology*, 72(2), 743-747.
- Ijima, H. (2015a). Wildlife management analysis using matrix population models with trans-boundary migration: The case of conservation and management plan for yezo deer (*Cervus nipponyezoensis*), Japan. Yokohama National University, Tokiwadai.
- Ijima, H., Fujimaki, A., Ohta, U., Yamamura, K., Yokomizo, H., Uno, H., & Matsuda, H. (2015b). Efficient management for the Hokkaido population of sika deer *Cervus nippon* in Japan: accounting for migration and management cost. *Population ecology*, 57(2), 397-408.
- India Biodiversity Portal. (2018). Online Portal of India Biodiversity. Retrieved from <http://indiabiodiversity.org/species/list>.
- Invasive plant atlas of the united states. (2018). Invasive plant atlas of the united states. Retrieved from <https://www.invasiveplantatlas.org/vines.cfm>.
- IPBES. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany: IPBES

- secretariat. pp. 56.
- Jannink, J. L., Merrick, L. C., Liebman, M., Dyck, E. A., & Corson, S. (1997). Management and winter hardiness of hairy vetch in Maine. Technical Bulletin, 167.
- Joshi, A., Bachheti, R. K., Sharma, A., & Mamgain, R. (2016). *Parthenium hysterophorus* L. (Asteraceae): a boon or course? (a review). *Oriental Journal of Chemistry*, 32(3), 1283-1294.
- Kaji, K., Saitoh, T., Uno, H., Matsuda, H., & Yamamura, K. (2010). Adaptive management of sika deer populations in Hokkaido, Japan: theory and practice. *Population Ecology*, 52(3), 373-387.
- Kanchan, S. D., & Jayachandra. (1981). Effect of *Parthenium hysterophorus* on nitrogen-fixing and nitrifying bacteria. *Canadian Journal of Botany*, 59, 199-202.
- Kaur, M., Aggarwal, N. K., Kumar, V., & Dhiman, R. (2014). Effects and management of *Parthenium hysterophorus*: A weed of global significance. *International scholarly research notices*, 1-12.
- Keever, C. (1950). Causes of succession on old fields of the Piedmont, North Carolina. *Ecological Monographs*, 20(3), 229-250.
- Kishor, P., Ghosh, A. K., Singh, S., & Maurya, B. R. (2010). Potential use of *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus* L.) in Agriculture. *Asian Journal of Agricultural Research*, 4, 220-225.
- Kissmann, K. G., & Groth, D. (1992). *Plantas Infestantes e Nocivas*. Sao Paulo, Brazil: BASF.
- Kitamura, E., Yokohata, Y., Suzuki, M., & Kamiya, M. (1997). Metazoan parasites of sika deer from east Hokkaido, Japan and ecological analyses of their abomasal nematodes. *Journal of wildlife diseases*, 33(2), 278-284.
- Kohli, R. K. (1992). Reason for high incidence of *parthenium* in Chandigarh. In: Envirofest 92. Organized by Envirovision, an environmental society under WWF, India. Chandigarh, India: Punjab Engineering College. pp. 10.
- Koo, K. S., Song, S., Choi, J. H., & Sung, H. C. (2020). Current distribution and status of non-native freshwater turtles in the wild, Republic Of Korea. *Sustainability*, 12(10), 4042.
- Kumar, S., & Varshney, J. G. (2010). *Parthenium* infestation and its estimated cost management in India. *Indian Journal of Weed Science*, 42(1&2), 73-77.
- Lalita, K., & Ashok Kumar, D. (2018). Review on a weed *Parthenium hysterophorus* (L.). *International Journal of Current Research and Review*, 10(17), 23-32.
- Lapina, I., & Carlson, M. L. (2013). *Vicia villosa* weed risk assessment form.

- Anchorage, Alaska: Alaska Natural Heritage Program, University of Alaska.
- Lee, H. J. (1983). The history of Korea agricultural technology. V. Production technology of forage and green manure crops. Paju: Jungminsa. pp. 433-459.
- Lewis, W. H., Dixit, A. B., & Wedner, J. H. (1988). Reproductive biology of *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae). *Journal of Palynology*, 23, 73-82.
- Mahadevappa, M. (1997). Ecology, distribution, menace and management of *Parthenium*. In Proceedings of the 1st International Conference on *Parthenium* Management (Karnataka, India, 6-8 October 1997) (pp. 1-12). University of Agricultural Sciences.
- Matic, R., & Karagic, D. (2010). Yield and forage yield components in winter vetch cultivars. Krusevac, Serbia: European Symposium of Forage Legume. pp. 112-117.
- McCullough, R., Takatsuki, S., & Kaji, K. (2008). Sika Deer: Biology and Management of Native and Introduced Populations. Berlin: Springer Science & Business Media.
- McFadyen, R. C. (1992). Biological control against *Parthenium* weed in Australia. *Crop Protection*, 11(5), 400-407.
- Mironova, M. (2013). EPPO Prioritization Process for Invasive Alien Plants: *Andropogon virginicus* L. Moscow(RUS): All-Russian Plant Quarantine Centre, Moscow(RUS).
- Moldowan, P. D., Keevil, M. G., Mills, P. B., Brooks, R. J., & Litzgus, J. D. (2015). Diet and feeding behaviour of snapping turtles (*Chelydra serpentina*) and midland painted turtles (*Chrysemys picta marginata*) in Algonquin Provincial Park, Ontario. *The Canadian Field-Naturalist*, 129(4), 403-408.
- Naka, K., & Yoda, K. (1984). Community dynamics of evergreen broadleaf forests in southwestern Japan. II. Species composition and density of seeds buried in the soil of a climax evergreen oak forest. *The botanical magazine=Shokubutsu-gaku-zasshi*, 97(1), 61-79.
- Nakama, R. (2014). The Common Snapping Turtle, *Chelydra serpentina*. Olden: Fish 423. 1-15p.
- Navie, S. C., McFadyen, R. E., Panetta, F. D., & Adkins, S. W. (1996). The biology of Australian weeds. 27. *Parthenium hysterophorus* L. *Plant Protection Quarterly*, 11(2), 76-88.
- Navie, S. C., Panetta, F. D., McFayden, R. E., & Adkins, S. W. (1998). Behaviour of buried and surface sown seeds of *Parthenium hysterophorus*. *Weed Research*,

- 38(5), 335 - 341.
- Nellessen, J. E. (1990). Minesite-adapted broomsedge bluestem outperforms oldfield-adapted ecotype on mine reclamation sites. *Restoration & Management Notes*, 8(2), 129.
- Nellessen, J. E., & Ungar, I. A. (1993). Physiological comparisons of old-field and coal-mine-spoil populations of *Andropogon virginicus* L.(Broomsedge). *American Midland Naturalist*, 90-105.
- Njoroge, J. M. (1989). Glyphosate (Round-up 36% ai) low rate on annual weeds in Kenya coffee. *Kenya Coffee*, 54(637), 713-716.
- Nobuhiro, A. (2005). Bark stripping damage to conifer plantations in relation to the abundance of sika deer in Hokkaido, Japan. *Forest Ecology and Management*, 208, 77-83.
- Ohlenbueh, P. D., Hodges, E. P., & Pope, S. (1983). Range grasses of Kansas. Manhattan, KS: Kansas State University, Cooperative Extension Service. pp. 23.
- Osada, T. (1993). Illustrated Grasses Of Japan. Tokyo: Heibonsha Ltd. pp. 718-719.
- Osorio Olvera, L., Lira Noriega, A., Soberon, J., Peterson, A. T., Falconi, M., Contreras Díaz, R. G., Martinez-Meyer, E., & Barve, N. (2020). ntbox: an R package with graphical user interface for modelling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(10), 1199-1206.
- Owsley, M. (2011). Plant fact sheet for hairy vetch (*Vicia villosa*). Baton Rouge, USA: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Paini, D. R., Sheppard, A. W., Cook, D. C., De Barro, P. J., Worner, S. P., & Thomas, M. B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(27), 7575-7579.
- Pandey, H. N., & Dubey, S. K. (1989). Growth and population dynamics of an exotic weed *Parthenium hysterophorus* Linn. Proceedings of the Indian Academy of Sciences, *Plant Sciences*, 99(1), 51-58.
- Patel, S. (2011). Harmful and beneficial aspects of *Parthenium hysterophorus*: an update. *3 Biotech*, 1, 1-9.
- Peters, E. J., & Lowance, S. A. (1974). Fertility and management treatments to control broomsedge in pastures. *Weed Science*, 22(3), 201-205.
- Power, J. F., & Zachariassen, J. A. (1993). Relative nitrogen utilization by legume cover crop species at three soil temperatures. *Agron. J.*, 85, 134-140.
- Queensland Government. (2016). *Andropogon virginicus*. Weeds of Australia, Biosecurity Queensland Edition.

- http://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/andropogon_virginicus.htm
- Razaq, Z. A., Vahidy, A. A., & Ali, S. I. (1994). Chromosome numbers in Compositae from Pakistan. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81(4), 800-808.
- Reid, B. N., Le, M., McCord, W. P., Iverson, J. B., Georges, A., Bergmann, T., & Naro Maciel, E. (2011). Comparing and combining distance based and character based approaches for barcoding turtles. *Molecular Ecology Resources*, 11(6), 956-967.
- Rice, E. L. (1972). Allelopathic effects of *Andropogon virginicus* and its persistence in old fields. *American Journal of Botany*, 59(7), 752-755.
- Rosiere, R. E., Engle, D. M., & Cadle, J. M. (1989). Revegetation of tripoli quarries in the Ozark Highlands of Oklahoma. *Landscape and urban planning*, 17(2), 175-188.
- Rubaba, O., Chimbari, M., & Mukaratirwa, S. (2017). Scope of research on *Parthenium hysterophorus* in Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 34(5), 323-332.
- SAREP. (2014). Cover Crop Database: Hairy Vetch (Online). Sustainable Agriculture Research and Education Program. UC Davis. Retrieved from https://ucanr.edu/sites/asi/db/covercrops.cfm?crop_id=21.
- Sekikawa, M. (2000). Color and Its stability in Venison from *Cervus nippon yesoensis*, *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 23(4), 309-314.
- Shabbir, A. (2006). Distribution of parthenium weed (*Parthenium hysterophorus* L.), an alien invasive weed species threatening the biodiversity of Islamabad. *Weed Biology and Management*, 6(2), 89-95.
- Sharma, S. S., Yadav, G. S., & Chhillar, B. S. (2003). Repellent activity of some plant extracts against *Callosobruchus chinensis* (L.) in chickpea grains. *Annals of Biology*, 19, 217-218.
- Sree, D. S., & Sreeramulu, A. (2002). Inhibitory effect of plant extracts on the management of bacterial leaf spot pathogen (*Xanthomonas axonopodis* pv. vesicatoria) infecting *Capsicum frutescens* L. *Journal of Natural Remedies*, 2(2), 191-194.
- Steen, D. A., Sterrett, S. C., Heupel, A. M., & Smith, L. L. (2010). Snapping turtle, *Chelydra serpentina*, overland movements near the southeastern extent of its range. *Georgia Journal of Science*, 68(2), 11.
- Stubbendieck, J., Hatch, S. L., & Hirsch, K. J. (1986). North American range plants.

- 3rd ed. Lincoln, NE: University of Nebraska Press. pp. 465.
- Suzuki, M., & Ohtaishi, N. (1993). Reproduction of female sika deer (*Cervus nippon yesoensis* Heude, 1884) in Ashoro District, Hokkaido. *Journal of Veterinary Medical Science*, 55, 833-836.
- Tanner, M. S., & Mattocks, A. R. (1987). Hypothesis: plant and fungal biocides of copper and Indian childhood liver disease. *Annals of Tropical Paediatrics*, 7, 264-269.
- Tanveer, A., Khaliq, A., Ali, H. H., Mahajan, G., & Chauhan, B. S. (2015). Interference and management of parthenium: the world's most important invasive weed. *Crop Prot*, 68, 49-59.
- Taye, T. (2002). Investigation of pathogens for biological control of parthenium (*Parthenium hysterophorus* L) in Ethiopia (PhD dissertation). Humboldt University of Berlin, Germany.
- Tikhonovich, I. A., Provorov, N. A., Romanov, V. I., & Newton, W. E. (1995). Nitrogen fixation: fundamentals and applications. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academics Publishers. pp. 822.
- Towers, G. H. N., & Subba Rao, P. V. (1992). Impact of the pan-tropical weed, *Parthenium hysterophorus* L. on human affairs. In Richardson, R. G., (eds), Proceedings of the 1st International Weed Control Congress, Melbourne, Australia. Melbourne, Australia: Weed Science Society of Victoria. pp. 134-138.
- Tripathi, B., Barla, A., & Singh, C. M. (1991). Carrot weed *Parthenium hysterophorus* (L.) - overview of the problems and strategy for its control in India. *Indian Journal of Weed Science*, 23, 61-71.
- Uchytel, R. J. (1992). *Andropogon virginicus*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer).
- Undersander, D. J., Ehlke, N. J., Kaminski, A. R., Doll, J. D., & Kelling, K. A. (1990). Hairy vetch. In: Alternative Field Crop Manual, University of Wisconsin, Cooperative Extension. Retrieved from <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/vetch.html>.
- Undersander, D. J., Ehlke, N. J., Kaminski, A. R., Doll, J. D., & Kelling, K. A. (2015). Alternative field crops manual: hairy vetch. Wisconsin, USA: University of Wisconsin, University of Minnesota.
- Vanzolini, J. I. (2011). La *Vicia villosa* como cultivo de cobertura: efectos de cortoplazo sobre el suelo y la productividad del maíz bajo riego en el Valle Bonaerensedel rio Colorado (Masters dissertation). Universidad Nacional del

Sur, Buenos Aires, Argentina.

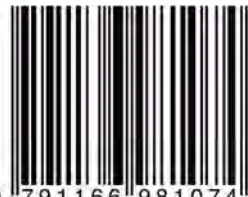
- Vartak, V. D. (1968). Weed that threatens crops and grasslands in Maharashtra. *Indian Forestry*, 18, 23-24.
- Voight, J. W. (1959). Ecology of a Southern Illinois Bluegrass-Broomsedge Pasture. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 12(4), 175-179.
- Wardeh, M., Risley, C., McIntyre, M. K., Setzkorn, C., & Baylis, M. (2015). Database of host-pathogen and related species interactions, and their global distribution. *Scientific data*, 2(1), 1-11.
- Weber, E. (2003). *Invasive Plant Species of the World: A Reference Guide to Environmental Weeds*. CABI Publishing, Wallingford (UK).
- Weyl, P., Vélez-Gavilán, J., Asad, S., & Parker, C. (2019). *Parthenium hysterophorus* (parthenium weed). *Invasive Species Compendium*, Wallingford, UK: CABI.
- Wiersema, J. H., & Leon, B. (2013). *World economic plants: a standard reference*, 2nd edition. London, UK: CRC Press. pp. 1336.
- Wise, R. M., Van Wilgen, B. W., Hill, M. P., Schulthess, F., Tweddle, D., Chabi-Olay, A., & Zimmermann, H. G. (2007). *The Economic Impact and Appropriate Management of Selected Invasive Alien Species on the African Continent*. (Report No. CSIR/NRE/RBSD/ER/2007/0044/C).
- Xu, H., Qiang, S., Genovesi, P., Ding, H., Wu, J., Meng, L., Han, Z., Miao, J., Hu, B., Guo, J., Sun, H., Huang, C., Lei, J., Le, Z., Zhang, X., He, S., Wu, Y., Zheng, Z., Chen, L., Jarosik, V., & Pyšek, P. (2012). An inventory of invasive alien species in China. *NeoBiota*, 15, 1-26.
- Yang, J. C., Park, S. H., Lee, J. H., & Lee, Y. M. (2008). Two new naturalized species from Korea, *Andropogon virginicus* L. and *Euphorbia postrata* Aiton. *Korean Journal of Plant Resources*, 21(6), 427-430.
- Yusop, M. H. M., Mustafa, S., Man, Y. B. C., Omar, A. R., & Mokhtar, N. F. K. (2012). Detection of raw pork targeting porcine-specific mitochondrial cytochrome B gene by molecular beacon probe real-time polymerase chain reaction. *Food Analytical Methods*, 5(3), 422-429.

국립생태원

NATIONAL INSTITUTE OF ECOLOGY

비매품/무료

93470



9 791166 981074

ISBN 979-11-6698-107-4