



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

제주도에 서식하는 *Rattus* 속의 형태학적
특성과 서식지 예측 및 관리방안

濟州大學校 大學院

科學教育學部

李 俊 沅

2023年 2月

제주도에 서식하는 *Rattus* 속의 형태학적 특성과 서식지 예측 및 관리방안






指導教授 吳 弘 植

李 俊 沅

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

2022年 12月

李俊沅의 理學博士學位 論文을 認准함

| | | |
|-------|------|---|
| 審査委員長 | 이 칸수 |  |
| 委 員 | 정 철은 |  |
| 委 員 | 한상현 |  |
| 委 員 | 심 만영 |  |
| 委 員 | 오 흥식 |  |

濟州大學校 大學院

2022年 12月

Morphological Characteristics, Habitat Prediction and
Management of the Genus *Rattus* in Jeju Island

Jun-Won Lee

(Supervised by Professor Hong-Shik Oh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of
Philosophy in Biology

2022. 12.

This thesis has been examined and approved.

Hansoo Lee

Thesis director, Hansoo Lee, Dr. of Philosophy

Chul Un Chung

Sang-Hyun Han

Man Young Jung

Hongshik Oh

(Name and signature)

DEC. 19 2022

Date

Faculty of Science Education
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY



목 차

| | |
|---|-----------|
| 목 차 | i |
| List of Tables | iv |
| List of Figures | v |
| ABSTRACT | vi |
| I. 서론 | 1 |
| 1. 연구배경 | 1 |
| 2. 연구지 개황 | 2 |
| 1) 일반현황 | 2 |
| 2) 제주도의 포유류 연구사 및 외래 설치류 연구 | 4 |
| 3. 외래생물 | 7 |
| 4. 연구 대상종 | 9 |
| 1) <i>Rattus tanezumi</i> | 10 |
| 2) <i>Rattus norvegicus</i> | 11 |
| 5. 서식지 예측 | 12 |
| 1) 종분포모형(species distributions model, SDM) | 12 |
| 2) Maxent | 13 |
| 6. 연구목적 | 14 |
| II. 재료 및 방법 | 15 |
| 1. 우리나라의 <i>R. rattus</i> 와 <i>R. tanezumi</i> 의 분류 | 15 |
| 2. 형태학적 특성 | 15 |
| 1) 시료 채집 | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2) 외부형질 및 두개골 측정 | 17 |
| 3) 통계 분석 | 20 |
| 2. 서식지 예측 | 20 |
| 1) 연구대상지 | 20 |
| 2) 환경변수 | 21 |
| 3) Maxent를 이용한 서식지 예측도 모델링 | 24 |
| | |
| III 결과 및 고찰 | 25 |
| 1. 우리나라의 <i>R. rattus</i> 와 <i>R. tanezumi</i> 의 분류 | 25 |
| 2. <i>R. tanezumi</i> 와 <i>R. norvegicus</i> 의 형태학적 특성 | 27 |
| 1) <i>R. tanezumi</i> 와 <i>R. norvegicus</i> 의 외부형태 형질 비교 | 27 |
| 2) <i>R. tanezumi</i> 와 <i>R. norvegicus</i> 의 두개골 형질 비교 | 30 |
| 3) <i>R. tanezumi</i> 암컷과 수컷 간 외부형태 형질 차이 | 34 |
| 4) <i>R. tanezumi</i> 암컷과 수컷 간 두개골 형질 차이 | 37 |
| 3. 서식지 현황 및 서식지 예측 모델링 | 42 |
| 1) <i>Rattus</i> 속의 서식지 예측 모델링 | 42 |
| 4. 제주지역에 서식하는 <i>Rattus</i> 속의 관리 | 55 |
| 1) 도입단계로 추정되는 <i>R. tanezumi</i> | 56 |
| 2) 확산 단계인 <i>R. norvegicus</i> | 57 |
| 3) 항만 및 포구에서의 외래종 이입 | 58 |
| | |
| IV. 종합고찰 | 60 |
| | |
| V. 적요 | 63 |
| | |
| VI. 참고문헌 | 65 |

List of Tables

| | |
|---|----|
| Table 1. The list of terrestrial mammals in Jeju-do | 6 |
| Table 2. Assessment elements of environmental variable for Maxent | 23 |
| Table 3. Comparison of the external body measurements between <i>Rattus tanezumi</i> and <i>R. norvegicus</i> collected in Jeju-do | 29 |
| Table 4. Comparison of the cranial and mandibular measurements between <i>Rattus tanezumi</i> and <i>R. norvegicus</i> collected in Jeju-do | 32 |
| Table 5. Comparison of the external body measurements between both sexes of <i>Rattus tanezumi</i> collected in Jeju-do | 35 |
| Table 6. Comparison of the cranial and mandibular measurements between both sexes of <i>Rattus tanezumi</i> collected in Jeju-do | 39 |
| Table 7. Contribution of environmental variable | 49 |

List of Figures

| | |
|---|----|
| Fig. 1. Map of collection or observation sites for genus <i>Rattus</i> in Jeju-do | 16 |
| Fig. 2. The external body measurement parts of <i>Rattus tanezumi</i> and <i>R. norvegicus</i> | 18 |
| Fig. 3. Dorsal, ventral and lateral views of the cranium and mandible showing the 23 skull measurement parts of <i>Rattus tanezumi</i> and <i>R. norvegicus</i> | 19 |
| Fig. 4. Sexual size dimorphism index (SSDI) of external measurements in <i>Rattus tanezumi</i> | 36 |
| Fig. 5. Sexual size dimorphism index (SSDI) of skull measurements in <i>Rattus tanezumi</i> | 41 |
| Fig. 6. Environmental variables used in Maxent analysis | 44 |
| Fig. 7. ROC curve of genus <i>Rattus</i> | 46 |
| Fig. 8. Correlation between environmental variables and Maxent analysis | 50 |
| Fig. 9. Habitat prediction for genus <i>Rattus</i> based on the collection and observation records in Jeju-do | 54 |

ABSTRACT

This study compared and analyzed the sexual size dimorphism of *Rattus tanezumi* and the external morphology and skull differences between *R. tanezumi* and *R. norvegicus*. Additionally, this study predicted their habitats through Maxent analysis to identify the morphological classification of *R. norvegicus* and *R. tanezumi*, an alien species introduced to Jeju Island, and the characteristics of their habitat. This study used the data and specimens stored in the Zoological Laboratory of Jeju National University from April 2005 to December 2018. In addition, the collection and observation were carried out in Jeju-do by live-trapping and camera-scouting from Jan. 2019 to Jun. 2022. *R. norvegicus* was captured in a wide range of areas, including cattle sheds, ports, downtowns, orchards, landfills, and villages, at an altitude of approximately 0–360 m. *R. tanezumi* was captured or observed in pigsties and roads nearby. It is estimated that *R. tanezumi* has commonly been referred to as *R. rattus* in Korea since its first report. However, the reports described that *R. rattus* should be considered as *R. tanezumi* in genetic and literature reviews, it would be appropriate for *R. rattus* to be identified as *R. tanezumi* in this study. By comparing and analyzing the external morphology and skull differences of *R. tanezumi* in male and females, the males were larger than the females in HBL, TL, EL, and HFL, except BW; the sexual size dimorphism index was the same, and no statistical significance was observed ($p>0.05$). In the case of the skull characteristics, the sexual size dimorphism of the male skull was larger than that of the female skull because out of a total of 23 characteristics, 22 characteristics, except Lm^{1-3} , showed negative values. Among them, there were significant differences in seven characteristics ($p<0.05$). Therefore, sexual size dimorphism is caused by gender selection, exercise ability, improved sense of balance, and diet and environmental pressure restrictions. Comparing the external morphology and skull characteristics of *R. tanezumi* and *R. norvegicus*, the external morphology and skull characteristics of *R. tanezumi* were numerically greater than those of *R. norvegicus*; however, statistical significance was observed only in TL and EL ($p<0.05$). Among the 23 skull characteristics, seven characteristics, namely Lfi, Bfi, Lm^{1-3} , Bm, Bcra, Hcra, and Li, were large in *R. tanezumi*, and the remaining 16 characteristics were large in *R. norvegicus*; statistical significance was observed for seven characteristics, namely Lm^{1-3} , Lm^1 , BM^1 , D1, Bcra, Bi, and Ti ($p<0.05$). As statistical significance was observed in seven traits, this study could be significant in

the classification of *R. norvegicus* and *R. tanezumi*. This study will be of greater value if these data are continuously accumulated and many analyses are performed in the future, as these data can show the differences between the external morphology and skull characteristics of the *Rattus* genus. For the Maxent analysis, the required environmental variables (18 variables) were obtained according to the *R. tanezumi* habitat characteristics: elevation, slope, aspect, hill shade, forest type map, age class, distance from coniferous, distance from hardwood forests, distance from mixed forest, distance from unstocked land/non-forest, distance from the stream, distance from the residential area, distance from artificial grassland, distance from inland-wetland, distance from traffic area, distance from the commercial area, and distance from clean house. In this study, the genus *Rattus* was primarily captured or observed in urban areas. The study set and analyzed environmental variables were closely related to the human environment, such as distance from the residential area, commercial area, and clean house. The AUC value, which represents the reliability of the Maxent analysis, was calculated as 0.924, which indicated that the data are reliable. All 18 environmental variables contributed to the habitat prediction. The environmental variables were analyzed in the following order with highest to lowest contribution: distance from traffic area, land cover map, forest type map, distance from clean house, distance from unstocked land/non-forest, age class, hill shade, distance from coniferous, distance from inland-wetland, slope, distance from artificial grassland, distance from the stream, distance from mixed forest, aspect, elevation, distance from hardwood forests, distance from the commercial area, and distance from the residential area. This order was followed because animals belonging to the genus *Rattus* move to other areas as they prefer moist areas and primarily feed grains, cultivated crops, and food waste. The areas are predicted to be suitable for the habitation of the *Rattus* genus based on the land use status and habitat prediction map; the genus would likely inhabit roads, residential areas, commercial areas, agricultural lands, golf courses, rangelands, cemeteries, parks, and ports. As these areas are very close to the human living environment, it can be concluded that the genus *Rattus* habitat is closely related to humans. In Korea, the rat eradication campaign was successfully conducted from 1950 to 1970; however, many rodents were found again in residential and commercial areas. Based on the environmental characteristics of Jeju Island, by dividing this region into several zones, estimating the population of each zone, analyzing the spread trend, and accumulating these data, complete control should be taken before the genus *Rattus* population is saturated. Among other animals in this genus, the species that currently live in Korea have spread worldwide owing to the development of human shipbuilding

technology. Therefore, to prevent the additional introduction of alien species, management at the port is required, and additional introduction into the island should be prevented through biosecurity and monitoring of alien species. In addition, to prevent the introduction of the genus *Rattus*, the monitoring system for introducing alien species should be strengthened along with the monitoring system for diseases at the ports and harbors. In addition, the mice captured in the house should be monitored by experts. Alien species that have spread to the natural environment can be a biohazard. When the animals of the genus *Rattus* are introduced into the natural ecosystem, they can affect the native rodents living in the natural environment of Jeju Island as a medium for zoonoses and threaten the native population by invading their habitat. Therefore, the population of the genus *Rattus* that has spread to the natural environment must be needed management plan; when they are identified before they spread, continuous monitoring and capturing must be carried out via experts with abundant knowledge in this field. The results of this study can be used as a model for the morphological characteristics and habitat prediction of small mammals among alien species that have been or will be introduced to Jeju Island in the future.

I. 서론

1. 연구배경

설치목(Rodentia)은 전 세계적으로 33과 280속 2,277종이 알려져 있을 정도로 포유류(mammal)에서 가장 많은 종이 속해있는 분류군이다(Wilson and Reeder, 2005; Witmer, 2022). 설치류는 세계적으로 가장 널리 퍼져있는 포유류로 남극대륙을 제외하고 모든 대륙에 분포하며, 열대지역, 극지대, 해안, 고산, 열대우림 사막지역까지 매우 다양하게 분포하고 있다(Nowak, 1999; Yoon *et al.*, 2004).

국내에 서식하는 설치류는 비단털쥐과(Cricetidae)의 대륙밭쥐 *Craseomys regulus*, 북방대륙밭쥐 *C. rufocanus*, 비단털등줄쥐 *Cricetulus barabensis*, 쇠갈밭쥐 *Lasiopodomys mandarinus*, 갈밭쥐 *Microtus fortis*, 숲들쥐 *Myodes rutilus*, 사향쥐 *Ondatra zibethicus*, 비단털쥐 *Tscherskia triton*, 뉴트리아과(Myocastoridae) 뉴트리아 *Myocastor coypus*, 청설모과(Sciuridae) 다람쥐 *Tamias sibiricus*, 하늘다람쥐 *Pteromys volans*, 청설모 *Sciurus vulgaris*, 뛰는쥐과(Sminthidae) 긴꼬리꼬마쥐 *Sicista caudata*, 그리고 쥐과(Muridae)의 등줄쥐 *Apodemus agrarius*, 제주등줄쥐 *A. chejuensis*, 흰넓적다리붉은쥐 *A. peninsulae*, 멧밭쥐 *Micromys minutus*, 생쥐 *Mus musculus*, 집쥐 *Rattus norvegicus*, 애급쥐 *R. tanezumi*, 곰쥐 *R. rattus* 등 5과 16속 20종이 서식하고 있으며, 제주도에는 현재 비단털쥐, 제주등줄쥐, 멧밭쥐, 생쥐, 집쥐, 애급쥐, 다람쥐, 청설모 등 5과 7속 8종이 서식하는 것으로 보고되었다(Oh and Mori, 1998a, 1998b; Oh *et al.*, 1998; Oh *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2013; National Institute of Biological Resources, 2019).

Rattus 속의 동물들은 설치목 중 대형에 속한다. 형태적인 특징은 긴 체모와 가시털을 지니고 있고, 두개골은 튼튼하고 측두능이 잘 발달하여 두골정수리 후부까지 도달해있다(Yoon *et al.*, 2004). 현재 세계적으로 *Rattus* 속은 66종이 분포하는 것으로 보고되었다(Wilson and Reeder, 2005). 세계적으로 북반구를 제외한 모든

대륙에 분포하며, 서식지는 섬, 숲, 아고산대부터 고산대, 도심, 농장 등 넓은 서식지 범위를 가지고 있다(Aplin *et al.*, 2003; Yoon *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013). 그 중에서 *R. exulans*, *R. nitidus*, *R. turkestanicus*, *R. norticus*, *R. rattus*, *R. norvegicus* 5종은 인간이 분포하는 지역과 매우 밀접한 연관성이 있다고 보고되었다(Aplin *et al.*, 2003; Yoon *et al.*, 2004; Wilson and Reeder, 2005; Kim *et al.*, 2013; Feng and Himsforth, 2014; Jo *et al.*, 2019). 또한 이 종들은 인간의 활동영역과 유사한 지역 분포를 가지고 있어 전염병 전파의 매개체 역할을 할 수 있으므로 항상 주의를 기울여야 하는 대상으로 여겨지고 있으며(Meerburg *et al.*, 2009; Arai *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013), 분류학적으로 *Rattus* 속 동물 중 *R. rattus* 근연종의 경우에는 형태적으로 구분하는 게 쉽지 않고, 종간 교잡, 동종이명(synonym)의 과다함 등으로 분류에 어려움이 있다(Alpin *et al.*, 2003, 2011; Musser and Carleton, 2005; Kim *et al.*, 2013).

2. 연구지 개황

1) 일반현황

제주도는 우리나라에서 가장 큰 섬으로 동경 126° 10' -127° 20' , 북위 33° 10' -33° 40' 에 위치하며, 63개의 부속도서를 포함한 면적은 약 1,848.5 km²이다 (Sim and Park, 1998; Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, 2006a). 기후는 사면이 바다로 둘러싸여 연중 온난 습윤한 해양성으로 한반도 본토와 비교하였을 때 일교차가 작고, 지표 및 지중 온도가 높으며, 강한 바람이 자주 불어 아한대기후 특성을 지닌 아고산대로 분류되고 있다(Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, 2006a). 열대를 제외한 북반구의 대부분을 포함하는 전북식물구계의 동아시아식물구계구에 속하며, 지리적, 지사적 위치로는 동시베리아식물구계구, 인도말레이시아구계구의 경계이기도 하다(Kang, 1992; Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, 2006a). 해변식물부

터 아고산식물까지 모두 확인할 수 있는 수직적 식생분포가 특징이다(Cha, 1969; Lee *et al.*, 2009). 중앙에 위치하는 한라산(해발 1,950 m)을 중심으로 해발고도 200 m 이하인 해안지대부터 200-600 m인 중산간 지역은 대부분 경작지와 마을로 이루어져 있고, 목야지, 상록활엽수림지대 등으로 구성되어 있으며, 600-1,400 m의 산간 지역은 낙엽수림, 1,400 m 이상의 산간지역에는 침엽수림 및 고산성 식물이 분포하고 있다. 제주도는 한라산의 고도에 따른 기후의 차이로 식생이 수직적으로 형성되어 있어 다양한 생물의 서식공간이 되고 있다(Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, 2006a).

제주도는 전면이 바다로 둘러싸여 있는 섬 지역이며, 지리적으로 한반도와 격리되어있고, 섬에 고립되어 적응한 결과 나타난 제주도 특산종이 많이 분포하고 있다(Oh, 2006; Oh *et al.*, 2007; Jo *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2015). 오랜 기간 고립된 섬에는 고유종이나 희귀종의 서식 확률이 높기 때문에 외래종 이입은 생물 다양성 보전 측면에서 매우 불리하며, 종래에 이르러서는 종의 멸종을 초래할 수 있다(Russell *et al.*, 2017). 현재까지 알려진 제주도에 이입된 외래종 중 포유류는 대륙사슴 *Cervus nippon*, 붉은사슴 *C. elaphus*, 멧돼지 *Sus scrofa*, 뉴트리아 *Myocastor coypus*, 집쥐 *Rattus norvegicus*, *R. tanezumi* 등이 있다(Han *et al.*, 2011; Kim and Oh, 2017; Banjade, 2021). 이 중 대륙사슴, 붉은사슴, 멧돼지, 뉴트리아는 비교적 크기가 큰 종으로 국가에서 지정한 사냥꾼 등에 의해 통제가 가능한 종들이다(Ministry of Environment, 2000). 하지만, *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*는 소형포유류로 눈에 잘 띄지 않고, 번식이 매우 활발하게 이루어지는 종으로 관리가 매우 어려운 종이다. 또, 설치류는 작물훼손, 전염병 매개체 등 인간에게도 매우 좋지 않은 영향을 끼치므로 확산 전에 대처방안을 마련하는 것이 매우 중요하다(Feng and Himsworth, 2014).

2) 제주도의 포유류 연구사 및 외래 설치류 연구

제주도 포유류의 첫 학술적 보고는 Thomas (1906)에 의한 족제비 *Mustela sibirica*와 등줄쥐 *Apodemus agrarius*의 채집기록에 관한 것이며, 이후 Thomas (1907)는 제주족제비 *M. s. quelpartis*를 명명하여 발표하였다. Mori (1928a, 1928b)는 제주도와 대마도의 동물 분포상 고찰을 통하여 제주족제비, 삿 *Felis bengalensis*, 큰수염박쥐 *Myotis mystacinus*, 오소리 *Meles leucurus* 등 7종을 기록하였으며, 이후 Johnson and Jones (1955)는 비단털쥐 *Cricetulus triton*와 제주멧밭쥐 *Micromys minutus hertigi* 등을 채집하여 보고하였다. 그 후 Won and Woo (1958)와 Won (1967)은 전반적인 제주도의 포유류상에 대한 보고를 하였고, Son (1980, 1981)은 제주도에 서식하는 박쥐류 조사를 통한 목록을, Oh and Park (1994), Oh (2006)와 Oh *et al.* (2007)은 한라산과 한라산 천연보호구역의 동물상을 조사하여 포유류상을 보고하였으며, Jo *et al.* (2012)는 제주도의 최근 포유류목록을 재정비하여 5목 10과 28종을 보고한 바 있다. Park *et al.* (2015)에 의해 제주도에 서식하는 박쥐류 분포에 관한 연구가 진행된 바 있다(Table 1). 제주도의 포유류 연구는 주로 지리적, 생태적으로 고립된 섬에 적응하여 나타난 형태적인 분화에 따른 종(species) 또는 아종(subspecies) 수준의 분화에 대한 연구가 이루어졌다(Oh, 2006; Oh *et al.*, 2007; Jo *et al.*, 2012; Kim, 2015).

형태적인 분화는 지역적 격리와 환경에 대한 적응과 밀접한 관계가 있으며, 섬 집단은 육상동물에 있어 형태학적 연구의 주요 대상이다(Maldonado *et al.*, 2004; Meiri *et al.*, 2004; White and Searle, 2007; Kim, 2015). 형태적으로 제주도의 노루 *Capreolus pygargus*가 한반도 본토의 노루보다 작은 것을 분석하였고(Park *et al.*, 2011), 후에 유전적 분석을 통해 아종 수준의 분류 가능성을 주장하였다(Park *et al.*, 2014). Abramov (2005)와 Lee and Oh (2021)에서는 제주도와 한반도 본토의 족제비의 형태학적 차이를 보고한 바 있다.

제주도에서 외래 포유류 연구는 동물상 연구와 같이 시작되었으나(Won and Woo, 1958; Won, 1967), 본격적인 연구가 시작된 것은 국내에서 외래생물에 대한 관심과 생태계 위해에 대한 정보가 알려지고 연구의 필요성이 제기되어 처음으로 제주도에 분포하는 외래생물 현황과 관리방안에 대한 연구(Jeju Regional

Environmental Technology Development Center, 2006)가 이루어졌으며, 이를 토대로 대륙사슴, 뉴트리아 등의 분포와 관리방안에 대한 연구가 진행된 바 있다(Oh *et al.*, 2017; Yun, 2017; Banjade, 2021; Park, 2021). 이후 외래 설치류에 대한 연구는 Kim *et al.* (2013)이 제주도에서 채집된 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 서식지 유형과 형태적 특성을 연구하였으며, 제주지역 무인도서에서의 *R. norvegicus*에 대한 관리는 2016년에 사수도 학술조사를 시작으로 포획과 구제 방안이 제안되어 2021년에는 사수도에 서식하는 집쥐이 퇴치사업과 관리방안이 마련된 바 있다(Jeju-si, 2016; Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center, 2021).

Table 1. The list of terrestrial mammals in Jeju-do

| Order | Family | Species | |
|--------------|----------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Soricomorpha | Soricidae | <i>Crocidura dsinezumi quelpartis</i> | |
| | | <i>Crocidura shantungensis</i> | |
| | | <i>Sorex caecutiens hallamontanus</i> | |
| Chiroptera | Rhinolophidae | <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> | |
| | Vespertilionidae | <i>Myotis macrodactylus</i> | |
| | | <i>Myotis formosus</i> | |
| | | <i>Myotis bombinus</i> | |
| | | <i>Myotis mystacinus</i> | |
| | | <i>Myotis petax</i> | |
| | | <i>Myotis ikonnikovi</i> | |
| | | <i>Pipistrellus abramus</i> | |
| | | <i>Hypsugo savi</i> | |
| | | <i>Miniopterus fuscus</i> | |
| | | <i>Miniopterus schreibersii</i> | |
| | | <i>Murina leucogaster</i> | |
| | | <i>Tadarida insignis</i> | |
| Carnivora | Mustelidae | <i>Mustela sibirica quelpartis</i> | |
| | | <i>Meles leucurus</i> | |
| | Felidae | <i>Felis catus</i> | |
| | | <i>Prionailurus bengalensis</i> | |
| | Canidae | <i>Nyctereutes procyonoides</i> | |
| | <i>Procyon lotor</i> | | |
| Artiodactyla | Cervidae | <i>Capreolus pygargus</i> | |
| | | <i>Cervus nippon</i> | |
| | | <i>Cervus elaphus canadensis</i> | |
| | Suidae | <i>Sus scrofa</i> | |
| Lagomorpha | Leporidae | <i>Oryctolagus cuniculus</i> | |
| Rodentia | Sciuridae | <i>Tamias sibiricus</i> | |
| | | <i>Sciurus vulgaris</i> | |
| | Muridae | <i>Rattus norvegicus</i> | |
| | | <i>Rattus rattus</i> | |
| | | <i>Rattus tanezumi</i> | |
| | | <i>Apodemus chejuensis</i> | |
| | | <i>Mus musculus</i> | |
| | | <i>Micromys minutus hertigi</i> | |
| | | Cricetidae | <i>Tscherskia triton</i> |
| | | Myocastoridae | <i>Myocastor coypus</i> |

Reference, Thomas (1907); Mori (1928, 1933); Won (1967, 1968); Namkung (1981); Son (1981); Shim (1986); Yoon and Son (1989); Oh *et al.* (1998); Oh (2006); Oh *et al.* (2007); Park *et al.* (2015).

3. 외래생물

외래종의 이동은 산업화에 따른 경제발전으로 교통, 조선 등 이동이 용이한 매체의 발달로 인해 전 세계 국가 간 활발한 거래와 국가 간의 이동 등 인간의 활동 범위가 확장되었으며, 기후변화로 인한 인위적 또는 자연적인 생물이동량 증가로 인한 결과로 보고되고 있다(Wilson, 1995; Williamson, 1996; Korea Food and Drug Administration, 2004; Banks *et al.*, 2015).

외래생물이란 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 제2조(정의) 7에 의해 외국으로부터 인위적 또는 자연적으로 이입되어 그 본래의 원산지 또는 서식지를 벗어나 존재하게 된 생물을 말한다. 생물학적 침입은 한 지역에 이전에는 서식하지 않던 특정종의 외부 이입, 정착, 확산을 말한다(Mack *et al.*, 2003; Spear *et al.*, 2013). 현재 우리나라에서는 외래생물의 구분에 다양한 견해가 있으나, 일반적으로 귀화생물과 침입 외래생물로 나누기도 한다. 귀화생물은 도입지역 내 생태계에 적응하여 세대를 온전하게 완성하고 자생하며, 침입외래생물은 원래의 서식지에서 타 지역으로 이동하여 생물다양성, 생태계서비스 및 인간에게 부정적인 영향을 주는 생물종을 말한다(Ministry of Environment and National Institute of Ecology, 2022). 외래종은 각 주체 또는 시간이 지남에 따라 변하고 있으며, 침입성 외래생물은 서식지 변화, 환경의 오염 등을 발생시켜 생물다양성 손실 등 심각한 생태계 위협 요소로 작용하고 있다(Huxel *et al.*, 1999; Pimentel *et al.*, 2005; Yoon, 2011; Lee *et al.*, 2016; Kim, 2018).

지구상에서 외래종의 대규모 이동은 1500년대 중세시기의 아메리카 대륙 발견과 식민지화 과정에서 유럽과 아메리카 대륙 간의 생물이동이 있었으며, 1800년대 산업혁명으로 인한 국가 간 교역의 급진적 증가와 1820년대부터 1930년대 사이 유럽인의 대규모 이주로 외래종 또한 대규모 이동이 이루어졌다. 이후, 1970년대부터 현재까지는 운송수단의 발달로 인한 대규모 이동이 이루어졌으며, 기후 변화에 의한 이동 등 총 네 차례의 대규모 이동이 일어난 것으로 알려져 있다(Mack *et al.*, 2000; Levins and D'Antonio, 2003; Hulme, 2009). 외래종의 이입은

네 가지 형태로 구분되는데 의도적 이입(intentionally introduction), 폐쇄 도입(unintentionally introduction), 비의도적 도입(accidental introduction), 도입 후 확산 벡터(vectors of spread after introduction)로 구분되고 있다(Wittenberg and Cock, 2001).

외래생물을 의도적으로 들여오는 경우는 식용, 산업용, 농업용 등 경제적 목적, 애완용 또는 관상용 등 생물의 사육에서 기인되는 경우가 대부분이며, 경제적 목적으로 도입되는 경우 도입 시 자연 생태계 위해성 검토 미흡, 유출에 대비한 사전 제어 방안 마련 미비가 원인이 되고, 애완용 또는 관상용으로 사육하는 경우 사육의 어려움, 흥미 감소가 직접적 원인이 되어 자연에 유출되고 있다(Ministry of Environment and National Institute of Ecology, 2022). 외래생물이 비의도적으로 우연히 들어와 생태계에 유출되는 경우는 산업용 물자와 운송수단에 의해 들어오거나 인접 국가에서 바람과 해수의 흐름을 타서 이입되기도 한다(Park, 2021). 분류군별 국내 외래생물 이입 현황은 2018년 기준 포유류가 202종, 조류 135종, 양서·파충류 355종, 어류 886종, 무척추동물 248종, 식물 334종으로 총 2,160종이 이입되었으며, 2009년 894종 대비 1,266종이 증가되었는데, 이는 국가 간 교역 증가 및 국외여행 활성화 등으로 외래생물이 다양한 경로로 국내에 이입되어 나타난 결과로 보고되고 있다(Ministry of Environment, 2019).

현재 외래종의 관리는 침입 전에 이입을 막는 방법이 가장 효과 있는 방제법으로 알려져 있으나, 무역, 항공기술의 발달로 인한 국가 간의 교류로 인하여 이입되는 비의도적 이입은 의도하지 않은 이입이므로 이를 미리 막는 것은 사실상 매우 어려운 실정이다(Wittenberg and Cock, 2001). 따라서, 이러한 외래종의 경우 이입되어 확산하기 전 정착 초기 단계에서의 관리가 이루어져야 하므로 외래종의 이입이 관찰되었을 때, 종분포모형을 통한 외래종의 서식지 예측으로 예상 서식지를 파악하여 확산하기 전 정착 초기 단계에 관리하는 것이 매우 중요하다.

4. 연구 대상종

Rattus 속 종들의 원산은 중앙아시아, 중국-동아시아 등지로 알려져 있으며, 18세기 초부터 수차례에 걸친 이동을 통해 유럽 등으로 전파되었고, 현재는 극지방을 제외한 각 지역에 널리 분포한다(Innes, 1990; Yoon *et al.*, 2004; Musser and Carleton, 2005; Robins *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2013). *Rattus* 속에는 전 세계에 약 66종이 포함되어 설치목 중 가장 큰 분류군에 속하며, 우리나라에는 *R. norvegicus*, *R. tanezumi*, *R. rattus*가 서식하는 것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 2004; Wilson and Reeder, 2005; Kim *et al.*, 2013; Jo *et al.*, 2019). 산업화 후 조선을 이용한 무역이 활발해지면서 배를 통해 전 세계적으로 이동되어 정착, 서식하게 된 *Rattus* 속 동물들은 대부분 농업에 있어 해가 되는 동물이며, 특히 남아시아와 동남아시아에서 심각한 농작물 파괴를 야기하고 있다(Moors *et al.*, 1992; Aplin *et al.*, 2003). 제주도에서 서식이 확인된 *Rattus* 속 종은 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*이다(Kim *et al.*, 2013). 현재 *R. rattus*와 *R. norvegicus*는 선행연구로 원산지가 밝혀져 있으나(Kowalski and Hasegawa, 1976; Zheng, 1993; Musser and Carleton, 2005), *R. tanezumi*는 현재까지 원산지에 대한 정보가 부족한 실정이며, 선행연구에서는 인도 반도 북쪽과 동쪽으로 유추하고 있다(Musser and Carleton, 2005). 우리나라에서 *R. norvegicus*와 *R. rattus*는 현재 외래종으로 생태계위해우려외래생물등급이며, 국내 생태계 정착에 대한 지속적인 감시 및 예찰 필요종으로 명시되어있다(Ministry of Environment, 2011). 우리나라에서 Won (1967)에 의해 *R. rattus*가 처음 기록된 바 있고, 이후 Koh (1992)에 의해 *R. rattus*를 *R. r. tanezumi*로 제기제한 바 있으며, Kim *et al.* (2013)은 분자유전학적인 접근을 통해 *R. rattus*로 알려진 종이 *R. tanezumi*로 수정하는 것이 타당하다고 주장하였으나 최근에도 *R. tanezumi*에 대한 학술적인 정보 부족 등으로 처음 명명된 *R. rattus*로 불리고 있다(Ministry of Environment, 2011).

1) *Rattus tanezumi*

*R. tanezumi*는 다른 *Rattus* 속 동물 중 아직도 분포와 생태에 대해 논의되고 있는 종으로 원산지는 인도반도의 북쪽과 동쪽으로 여겨지고 있다(Musser and Carleton, 2005). International union for conservation of nature (IUCN) Red List of Threatened Species D/B (<http://www.iucnredlist.org>)에서는 아시아 지역에 야생집단과 도입집단이 있으며, 히말라야산맥을 따라 아프가니스탄, 중국 중남부, 한반도, 동남아시아에 분포하는 것으로 보고되고 있다. 또, 중국에서는 본토 중앙을 비롯한 북쪽 황하 지역인 Hebei, Shanxi와 Qinghai 지역에 분포하는 것으로 보고한 바 있으며, 중국에서는 형태학적 특징으로 *R. norvegicus*와 구별이 가능하였으나, 그 외의 지역으로 확산된 개체군은 동속의 중간 형태학적 유사성 때문에 유전적 방법이 식별에 사용되기 전까지는 *R. tanezumi*의 확산은 인식하기 어렵다고 보고되었다(Huang *et al.*, 1995; Hou and Jiang, 2008; Yang, 2011; Ma *et al.*, 2012; Guo *et al.*, 2019). 이외 남아프리카공화국에서는 분자유전학적으로 13개 지역에서 *R. tanezumi*의 서식을 보고하였고, 미국에서는 캘리포니아 샌프란시스코에서 보고된 바 있다(Bastos *et al.*, 2011; Conroy *et al.*, 2013). Guo *et al.* (2019)는 현재 분포하는 종은 야생종과 도입종의 구별이 어렵고, 동남아시아의 거의 모든 섬 국가와 남아프리카 국가에서도 발견되고 있으며, 서식지는 마을 농촌지역, 초지, 관목림, 경작지, 목장 초지 등 다양한 곳에서 서식하고 있다고 보고하였다(Marshall, 1977; Musser and Carleton, 2005; Robins *et al.*, 2007, 2010; Truong *et al.*, 2009; Bastos *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013, Ringani *et al.*, 2022).

국내에서 *R. tanezumi*는 1991년까지는 *R. rattus*로 분류되었으나, Koh (1992)는 *R. r. tanezumi*로 정정하였고, 이후 *R. rattus*와 *R. tanezumi*가 혼용되고 있으나, 유전자와 형태학적인 차이를 근거로 *R. rattus*를 *R. tanezumi*로 분류해야 한다고 주장한 바 있다(Kim *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Jo *et al.*, 2019). *R. tanezumi*는 형태적으로는 꼬리가 머리-몸 길이보다 길거나 같으며, 머리-몸 길이 114-224 mm, 꼬리길이 110-231 mm, 귀길이 16-25 mm, 발길이 30-43 mm인 종이다(Stuart *et al.*, 2008). 털의 색깔은 등쪽이 암갈색에서 회갈색 또는 적갈색, 배쪽은 옅은 노란색이나 주황색을 띠는 개체도 있으나 주로 회색빛이다(Heaney, 1998; Aplin *et al.*, 2003).

2) *Rattus norvegicus*

*R. norvegicus*의 조상으로 여겨지는 중기 플라이스토세(middle Pleistocene)의 *R. aff. norvegicus* 화석이 일본 혼도 지역에서 확인되었으며, 플라이스토세와 홀로세(Holocene)의 *R. norvegicus* 기록이 중국 Sichuan-Guizhou 지역 동굴퇴적물에서 발견되어 원산은 일본 혼도 지역, 북중국 일대, 남동시베리아 일대로 여겨지고 있다(Kowalski and Hasegawa, 1976; Zheng, 1993; Musser and Carleton, 2005). *R. norvegicus*의 초기 이동은 북중국 일대에서 실크로드를 통해 중앙아시아 및 서아시아 전역으로 확장되었으며, 1500년대에 유럽에, 1750년대에 북미에 도입된 것으로 추정되고 있다(Armitage, 1993; Puckett *et al.*, 2016). Puckett *et al.* (2016)은 *R. norvegicus*의 확장을 크게 동남아시아로의 남부 확장, 동쪽으로의 확장, 서쪽으로의 확장 3가지로 구분하였으며, 동남아시아로의 남부 확장은 동남아시아의 유전자에서 중국 본토의 개체군의 유전자가 검출되어 중국 본토에서 동남아시아로 이동한 것으로 추정되고 있으며, 남부 확장의 경우 러시아 동부 개체군과 동쪽 개체군의 유전자가 같아 동쪽으로의 이동은 러시아 동부 개체군의 이동으로 추론되고 있다. 서쪽으로 확장의 경우는 서아시아, 중동과 유럽은 샘플링의 제약으로 추론이 제한적이나, 동남아시아 개체군, 동부 러시아 개체군의 유전자가 확인된 바 있음을 보고하였다. 생태적으로는 잡식성이며, 사람의 거주 지역 가운데 하수구, 지하상가, 식품 창고, 농경지 등 수분섭취가 가능한 습윤한 장소를 선호하며, 땅속에 굴을 파서 식지로 삼는다. 임신 기간은 21-24일, 한배에 1-18마리까지 출산하며, 태어난 후 8-12주부터 번식활동이 가능하다(Davids, 1953; Margulis, 1977; Yoon *et al.*, 2004; Feng and Himsworth, 2014).

Won (1967)은 우리나라에서 학술적으로 보고된 첫 기록은 1939년이라 하였고, 이후 분포, 기생충, Virus학 등 여러 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. *R. norvegicus*는 형태적으로 머리와 몸통 186-280 mm, 꼬리 149-220 mm, 뒷발 34-46 mm, 귀길이 18-22 mm, 두골 전장 36.7-48.7 mm. 체중은 150 g 이상이다(Won, 1967, 1968; Yoon *et al.*, 2004). 털의 색깔은 등이 갈색 또는 회갈색이며, 배는 회색을 띤다.

5. 서식지 예측

1) 종분포모형(species distributions model, SDM)

생물다양성 보전관리 정책은 생태계적 차원, 종적 차원, 유전자원의 보전 정책으로 추진되고 있으며, 종다양성 및 유전자 다양성을 효과적으로 보전하기 위해 보전지역 설정 및 복원을 위한 대상지 선정에 생물종의 서식지 적합성 평가를 반영하고 있다(Lee and Song, 2008; Song and Kim, 2012).

종분포모형(species distributions model)은 해당 생물 종의 위치와 그 위치의 환경 및 공간특성 간 관계를 추정하여 현재와 미래의 잠재적 종분포 및 서식지 변화를 예측하는 방법이다. 실제 혹은 잠재적 생물종 분포를 예측하고, 대상 종의 적합한 환경적 조건의 특성을 설명하여 서식이 적합한 환경이 공간상으로 어느 지역에 분포하는지를 규명하는 과정으로, 생물종의 분포가 아닌 종에게 적합한 서식지의 분포를 나타내는 모형이다(Kwon *et al.*, 2011; Kwon, 2014). 과거 종과 환경 간 관계를 경험적 자료를 통해 분석하는 비통계적 기법, 전문가 판단에 의한 분포 예측, 종 분포에 대하여 공간적으로 명백한 자료를 통해 분석하는 통계적 및 경험적 모형 구축 등 3가지 방향으로 진행되었다(Kwon, 2011). 하지만 비통계적 기법과 전문가 판단에 의한 분포 예측은 증명 방식과 신뢰도에 있어 큰 오류가 발생할 수 있어, 최근에는 통계적 및 경험적 모형 구축을 통한 종분포모형 방법론이 많이 활용되고 있다(Guisan and Thuiller, 2005; Degraer *et al.*, 2008; Song and Kim, 2012). 종분포모형은 Generalized Linear Model (GLM), Generalized Additive Model (GAM), Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), Classification and Regression-Tree (CRT), Mixture Discriminant Analysis (MDA), Generalized Boosting Models (GBM), Random Forest (RF) Hierarchical Modeling (HM), Maximum Entropy (Maxent), Artificial Neural Network, Decision tree, Genetic algorithm 등의 방법론이 있다(Nelder and Wedderburn, 1972; Hopfield, 1982; Breiman *et al.*, 1984; Hastie and Tibshirani, 1986; Stockwell and Peters, 1999; Friedman *et al.*, 2000; Breiman, 2001; Wikle, 2003; Phillips *et al.*, 2006; Kwon,

2011; Li and Wang, 2014). 그중에서 Maxent는 출현/비출현 자료를 모두 필요로 하지 않고, 대상 종의 출현자료와 환경변수만으로 서식지 예측을 할 수 있어 최근 Maxent를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Song and Kim, 2012; Sung *et al.*, 2018).

2) Maxent

Maxent는 대상 종의 출현 장소의 좌표와 환경변수 자료를 입력하였을 때 대상 종의 출현좌표와 환경변수의 상관관계를 학습하여 잠재적 서식지(출현할 수 있는 장소) 확률을 추정하는 기계학습모형 중 하나이다(Phillips *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2022). Maxent의 매커니즘은 회귀분석을 기반으로 하는 모형으로 공간에 대한 일련의 특징(실제 값)뿐만 아니라 특정 공간에 대한 분포 예측지역이 주어지며, 최대 엔트로피의 추정은 각 특징의 기댓값이 경험적 평균(empirical average)과 일치하는 정도에 따른다(Phillips *et al.*, 2004).

종분포모형은 야생생물의 서식지를 파악하여 멸종위기야생생물이나 외래종 및 생태계교란종의 합리적인 관리를 도모할 수 있으며, 이 중 최대 엔트로피 모형으로 개발된 Maxent는 출현자료와 비출현 자료의 위치자료와 환경요소 간의 관련성을 통계적인 방법을 통해 생물종의 서식환경을 예측하는 방법이다(Franklin, 2009). Maxent 모형은 receiver operating characteristics (ROC) 곡선의 하부면적 값인 area under cover (AUC) 값을 이용하여 정확도 및 신뢰성을 측정하는데, 이는 0.7이상에서 신뢰성 및 정확도를 갖게 된다(Thuiller, 2003; Sung *et al.*, 2018)

6. 연구목적

제주도는 전면이 바다로 둘러싸여 지리적으로 한반도와 격리되어있고, 섬에 고립되어 적응한 결과로 출현하는 특산종들이 분포하는 지역이다. 지금까지 제주도에 있어서 포유류에 대한 연구는 포유류상, 포유류의 외부형태적인 분류, 분포, 분자 유전학적 측면의 내륙집단과의 차이 등이 있지만, 육상 포유류와 이입된 포유류에 관한 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서, 이 연구에서는 첫째, 우리나라에서 연구된 *R. rattus*와 *R. tanezumi*의 분류학적 고찰을 하고자 하며, 둘째, 제주도에 이입된 *Rattus* 속 동물인 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 형태학적 차이와 *R. tanezumi*의 성적 크기 이형성을 분석하여 종적 특징을 규명하는 데 필요한 자료를 제공하고자 한다. 셋째로는 제주도에서 관찰되거나 채집된 *Rattus* 속 동물의 좌표자료와 *Rattus* 속의 서식지 특성을 분석한 환경변수자료를 이용하여 종분포모형을 모델링할 수 있는 Maxent 분석을 통해 서식지를 예측하여 관리방안을 수립하는 데 필요한 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 우리나라의 *R. rattus*와 *R. tanezumi*의 분류

우리나라의 *Rattus* 속 동물의 분류와 명명은 Won (1967, 1968), Yoon *et al.* (2004)은 *R. rattus*, *R. norvegicus*만 기재하였고, 이후 Kim *et al.* (2013), Lee *et al.* (2014)은 *R. rattus*를 *R. tanezumi*로 취급해야 한다고 제안하였다. 이 연구에서 이용된 제주도 *Rattus* 속 동물의 시료들이 Kim *et al.* (2013)에 의해 형태학적, 유전학적으로 분석하여 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*로 확인되면서 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*로 보고한 바 있다.

2. 형태학적 특성

1) 시료 채집

연구 대상종인 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 채집은 2005년 4월부터 2018년 12월까지 채집되어 제주대학교 동물학실험실에 보관되어 있던 표본과 2019년 1월부터 2022년 6월까지 이 연구에서 이동 특성과 습윤한 지역을 서식지로 삼는 특성을 고려하여 항구, 제주 시내, 서귀포 시내, 과수원, 쓰레기 매립장 등 제주지역 전체를 대상으로 하여 채집하였다(Fig 1). 채집 도구 및 방법은 Sherman Live Trap (size 7.6 × 8.9 × 22.9 cm, USA)과 철망 트랩(size 11 × 19.5 × 9 cm, China) 등을 이용하는 Trapping 방법을 이용하였다. 트랩 간의 설치 간격은 5 m 이상을 유지하여 1회 포획 시도에 약 20-30개의 트랩을 설치하였다. 유인 먹이는 잡식성인 식성을 고려하여 냄새가 비교적 많이 나는 어묵, 소시지, 쥐포 등 동물성 먹이를 약 0.5-1 g 정도로 나누어 사용하였다(Kim *et al.*, 2013).

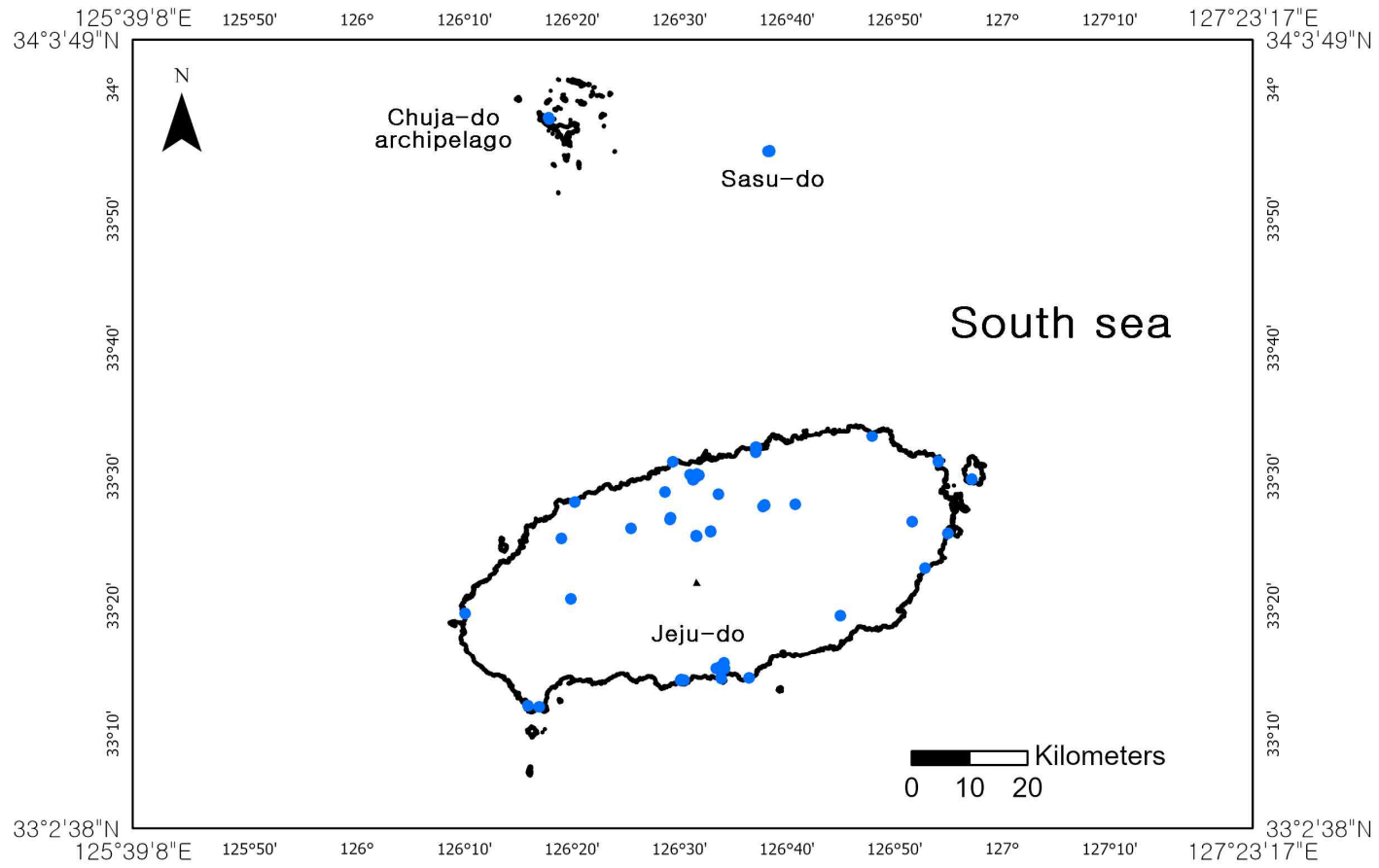


Fig. 1. Map of collection or observation sites for genus *Rattus* in Jeju-do. Blue circle: *Rattus* collection or observation sites.

2) 외부형질 및 두개골 측정

외부형질은 포유류 연구에서 주로 사용되는 5가지 측정 부분인 몸무게(body weight, BW), 머리부터 몸통까지의 길이(head-body length, HBL), 꼬리길이(tail length, TL), 귀 길이(ear length, EL), 뒷발 길이(hind-foot Length, HFL)를 측정하였다(Abramov, 2005; Kim *et al.*, 2013; Lee and Oh, 2021) (Fig. 2). 두개골 형질 23가지는 Okulova *et al.*, (2019)의 두개골 전체 길이(condylobasal length, Cbl), 광대뼈 길이 (zygomatic width, Zyg), 앞 위턱 높이 (height of the upper jaw in front of M1, Hmax), 아래턱 길이(length of the lower jaw, Lmd), 안와간 폭(interorbital width, Iob), 비골 길이(the length of the nasal bones, Lna), 비골의 폭(the width of the nasal bones, Bna), 청각기관의 길이(the length of the auditory bulla, Lbull), 앞이빨 뒤쪽 구멍 길이(the length of the incisor foramen, Lfi), 앞이빨 뒤쪽 구멍 폭(the width of the incisor foramen, Bfi), 상부 치열 길이(the length of the upper dentition, Lm^{1-3}), 하부 치열 길이(the length of the lower dentition, Lm_{1-3}), 제1상부 어금니 치경 길이(the alveolar length of the first upper molar, Lm^1), 제1상부 어금니의 폭(the width of the first upper molar, Bm), 상부 앞이빨과 어금니 사이의 길이(upper diastema length, D1), 하부 앞이빨과 어금니 사이의 길이(lower diastema length, D2), 제1상부 어금니의 최소 거리(minimum distance between the first upper molars, M^{1-1}), 귀쪽 두개골의 폭(the width of the skull in the area of the auditory bulla, Bcra), 귀쪽 두개골의 높이(the height of the skull in the area of the auditory bulla, Hcra), 치조골로부터 앞니의 길이(the length of the incisor from the alveoli, Li), 앞이빨 끝의 측면 방향에서의 앞니 폭(the width of the incisor in the lateral direction at the end of the tooth, Bi) 등 21가지 형질을 참고하였으며, 2가지 추가 형질 아래턱의 높이(vertical height of mandible, Vhm), 앞니의 두께(total incisor width, Ti)를 측정하였다(Fig. 3). 외부형질 및 두개골 측정은 전자버니어캘리퍼스 CD-15CPX (Mitutoyo Co., Japan)와 50 cm 자(ruler)로, 무게는 전기식 지시저울 MW2-3000N (Cas, Korea)을 이용하여 측정하였다.

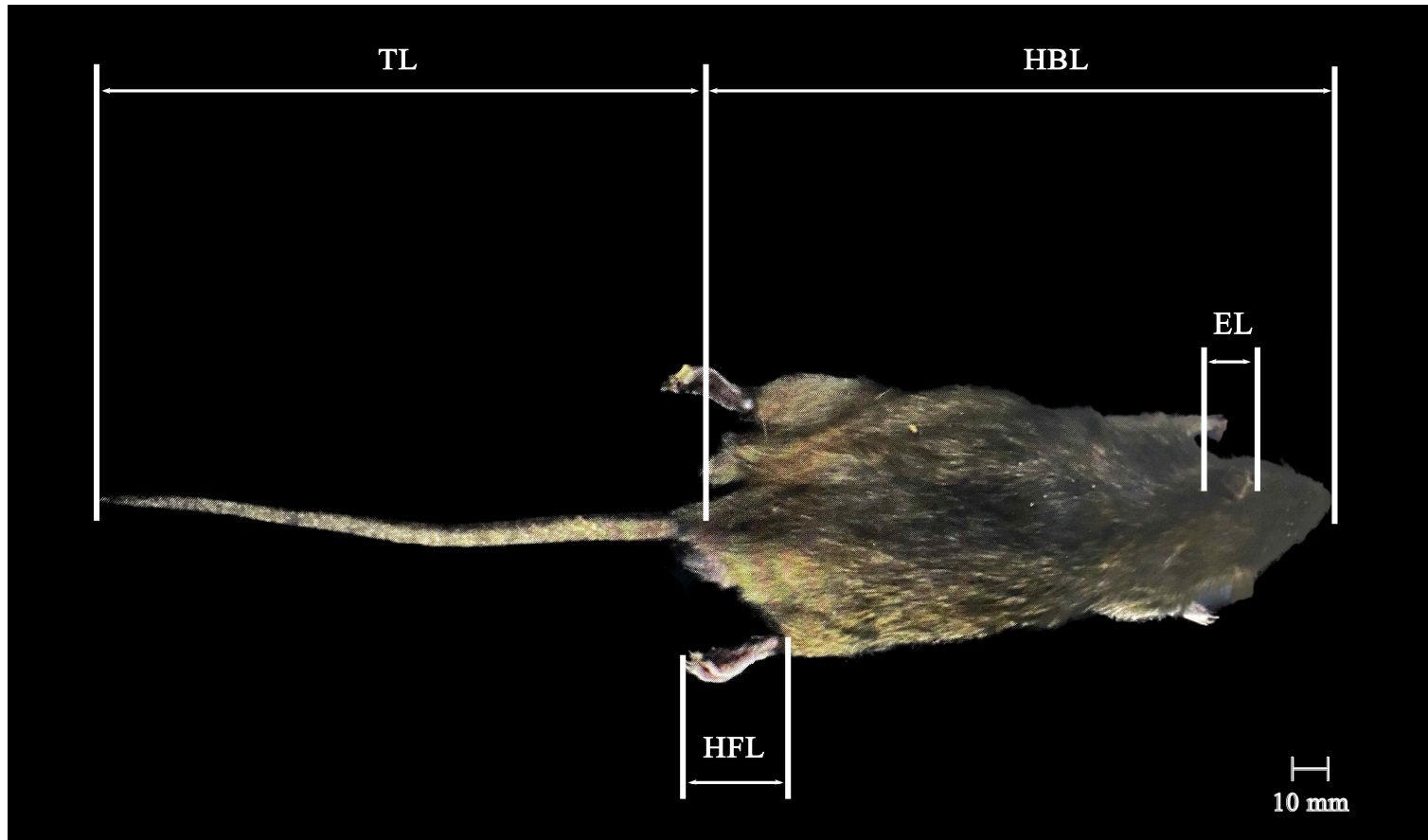


Fig. 2. The external body measurement parts of *Rattus tanezumi* and *R. norvegicus*. Abbreviation of each character: head-body length (HBL), tail length (TL), ear length (EL), hind-foot length (HFL).

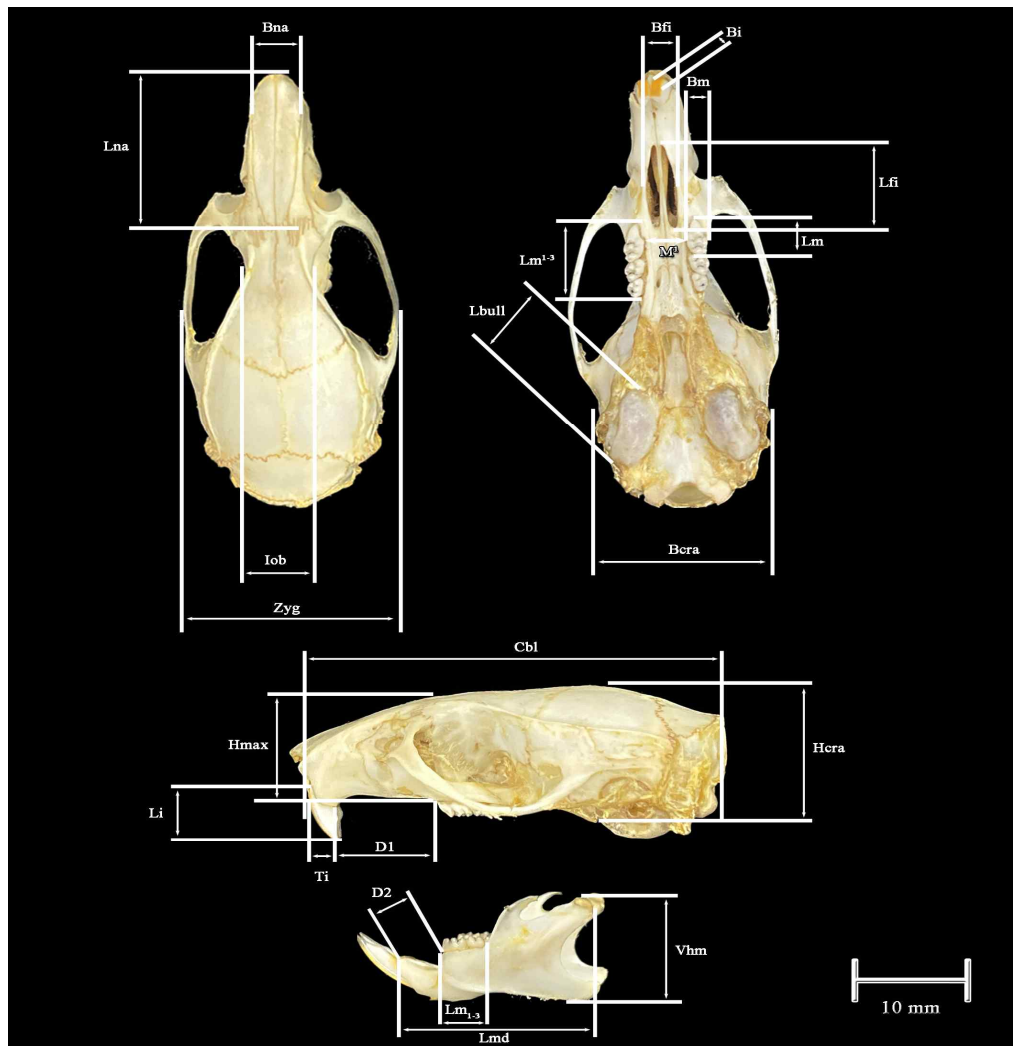


Fig. 3. Dorsal, ventral and lateral views of the cranium and mandible showing the 23 skull measurement parts of *Rattus tanezumi* and *R. norvegicus*. Abbreviations of each character: condylobasal length (Cbl), zygomatic width (Zyg), height of the upper jaw in front of M1 (Hmax), length of the lower jaw (Lmd), interorbital width (Iob), the length of the nasal bones (Lna), the width of the nasal bones (Bna), the length of the auditory bulla (Lbull), the length of the incisor foramen (Lfi), the width of the incisor foramen (Bfi), the length of the upper dentition (Lm^{1-3}), the length of the lower dentition (Lm_{1-3}), the alveolar length of the first upper molar (Lm^1), the width of the first upper molar (Bm), upper diastema length (D1), lower diastema length (D2), minimum distance between the first upper molars (M^{1-1}), the width of the skull in the area of the auditory bulla (Bcra), the height of the skull in the area of the auditory bulla (Hcra), the length of the incisor from the alveoli (Li), the width of the incisor in the lateral direction at the end of the tooth (Bi), vertical height of mandible (Vhm), total incisor width (Ti).

3) 통계 분석

성별 크기 차이는 Levenson (1990)의 방법에 따라 정량화할 수 있으며, 각 형질에 대한 성적 크기 이형 지수(sexual size dimorphsim index, SSDI)를 산출하였다 (Zidarova, 2015; Kim, 2016). 산출된 값이 양일 경우 암컷이 수컷보다 큰 경우이며, 음일 경우 수컷이 더 큰 경우이다.

$$SSDI = \left(\frac{\overline{x_f}}{\overline{x_m}} - 1 \right) \times 100$$

* $\overline{x_f}$ = 암컷의 형질 평균, $\overline{x_m}$ = 수컷의 형질 평균

*R. tanezumi*의 성별에 따른 크기 차이에 대한 통계는 표본 수가 30 미만(n=13)으로 비모수통계인 Mann-Whitney U test로 분석하였다. *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 외부형태 및 두개골 형질 비교는 독립표본 t 검정(independent t-test)을 통해 유의성을 판단하였다. 통계 분석에는 IBM SPSS statistics 25 (IBM, USA)를 이용하였으며, 집단 사이의 유의적 차이는 95% 신뢰수준에서 판독하였다.

2. 서식지 예측

1) 연구대상지

2005년 4월부터 2022년 6월까지 *Rattus* 속 동물이 채집되거나 관찰된 지점 120 지점을 중심으로 제주도 전 지역(위도: 34.000139 ~ 32.999583, 경도: 125.999861 ~ 127.000417)을 서식지 예측 분석대상지로 선정하였다.

2) 환경변수

환경변수는 자연적 요인과 인위적 요인 2가지 항목으로 구분하여 환경변수에 대한 주제도를 제작하였다. 자연적 요인은 지형, 식생, 하천 등 3가지 환경변수를 선정하였으며, 인위적 요인은 토지이용에 관련된 자료를 이용하여 18가지 환경변수를 선정하여 모델알고리즘을 적용하는데 적합한 GIS (geographic information system) 공간주제도로 제작되었다. 자연적 요인 중 지형요인은 EarthData (<https://search.earthdata.nasa.gov>)의 Aster Global Digital Elevation Model V003을 사용하여 고도(elevation, DEM), 사면향(aspect, ASP), 경사도(slope, SLO), 음영기복도(hill shade, HILL)를 제작하였으며, 식생 요인은 산림청(<https://map.forest.go.kr>)에서 제공하는 5차 임상도를 사용하여 임상도(forest type, IM), 영급(age class, YG), 침엽수림으로부터의 거리(distance from coniferous forest, CD), 활엽수림으로부터의 거리(distance from hardwood forest, HD), 혼효림으로부터의 거리(distance from mixed forest, HHD), 미립목지/비산지로부터의 거리(distance from unstocked land/non-forest area, MRBS)를 제작하였고, 하천 요인은 국토교통부 국가공간정보포털(<http://data.nsd.go.kr>)의 수치지형도에서 하천 중심선을 추출하여 하천으로부터의 거리(distance from stream, HM)에 대한 환경주제도를 제작하였다. 인위적 요인은 환경부(<https://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 중분류 수준의 토지피복도를 이용하여 토지피복도(land cover map, TP), 주거지로부터의 거리(distance from residential area, RD), 인공초지로부터의 거리(distance from artificial-grassland, IC), 내륙습지로부터의 거리(distance from inland-wetland, NS), 상업지역으로부터의 거리(distance from commercial area, SD), 교통지역으로부터의 거리(distance from traffic area, TD)에 대한 환경주제도를 제작하였으며, 클린하우스 위치 좌표는 제주시의 경우 제주시 홈페이지(<https://www.jejusi.go.kr>)에서 제공받았으나, 서귀포시 위치 좌표의 경우 서귀포시 홈페이지(<https://www.seogwipo.go.kr>)에 제공되어있지 않아, 공공데이터포털(<https://www.data.go.kr>)을 통해 제공 받아 클린하우스로부터의 거리(distance from clean-house, CLE)를 제작하였다(Table 2). 환경변수 자료 구축 프로그램은 ArcGIS ver. 10.8 (ESRI, USA)을 활용하였다.

주거지로부터의 거리, 상업지역으로부터의 거리, 인공초지로부터의 거리, 교통지

역으로부터의 거리, 클린하우스로부터의 거리 환경변수는 인간 생활과 매우 밀접한 연관이 있는 환경변수이다. 이 연구에서 *Rattus* 속이 집중적으로 채집되었거나 관찰된 지역은 대상 종의 특성인 인간의 생활과 밀접한 연관이 있는 도심지에서 대다수 확인되어 Maxent를 활용한 서식지 예측의 환경변수로 추가하여 분석하였다.

Table 2. Assessment elements of environmental variable for Maxent

| Factors | Division | Environmental variable | Data | References | Abbreviation | |
|-------------------------------|------------|---|--|--|--------------------------|----|
| Natural | Topography | Elevation | Digital topographical map | EarthData | DEM | |
| | | Slope | Digital topographical map | EarthData | SLO | |
| | | Aspect | Digital topographical map | EarthData | ASP | |
| | | Hill shade | Digital topographical map | EarthData | HILL | |
| | Vegetation | Forest type | 5 th Forest type map | Korea forest service. | IM | |
| | | Age class | 5 th Forest type map | Korea forest service. | YG | |
| | | Distance from coniferous forest | 5 th Forest type map | Korea forest service. | CD | |
| | | Distance from hardwood forest | 5 th Forest type map | Korea forest service. | HD | |
| | | Distance from mixed forest | 5 th Forest type map | Korea forest service. | HHD | |
| | | Distance from unstocked land/non-forest | 5 th Forest type map | Korea forest service. | MRBS | |
| | Stream | Distance from stream | Digital topographical map | Ministry of land, infrastructure and transport. | HM | |
| | Artificial | Land use | Distance from residential area | Land cover map | Ministry of environment. | RD |
| | | | Distance from artificial grassland | Land cover map | Ministry of environment. | IC |
| Distance from Inland-wetland | | | Land cover map | Ministry of environment. | NS | |
| Distance from traffic area | | | Land cover map | Ministry of environment. | TD | |
| Distance from commercial area | | | Land cover map | Ministry of environment. | SD | |
| Land cover map | | | Land cover map | Ministry of environment. | TP | |
| Distance from clean-house | | Point of environmental waste site | https://www.jejusi.go.kr and https://www.data.go.kr | CLE | | |

3) Maxent를 이용한 서식지 예측도 모델링

본 연구의 서식지 예측 및 분석은 Maxent program ver. 3.4.4 (American museum of natural history, USA)을 이용하였다. 종속변수는 *R. tanezumi*의 출현좌표, 독립변수는 환경변수로 설정하여 서식지 예측도, receiver operating characteristics (ROC) 곡선, 종 서식지에 대한 환경변수의 기여도를 도출하였다.

Maxent 모형의 예측 적합도는 ROC 곡선의 하부면적 값인 area under curve (AUC)로 평가한다. AUC는 임의의 임계확률로 출현확률(결과값)을 출현 또는 부재로 구분하였을 경우, 실제 대상 종의 출현 지점에 대해 대상종이 출현할 것으로 예측한 비율(true positive rate)이 출현하지 않을 것으로 예측한 비율(false positive rate)에 비해 많이 나타난 정도를 계산한 값으로, 0.5에서 1사이의 값을 갖는다. 여기서, AUC의 값이 1에 가까울수록 모형의 예측 정확도가 높다는 뜻이다(Phillips *et al.*, 2006; Sung *et al.*, 2018). 모형 적합도는 과도하게 높게 평가되는 과적합 문제가 일어날 수 있어, 모형의 종분포도 예측 신뢰도 검증을 위해 교차 검증(cross-validation)을 5회 실시하여 AUC 값을 산정하였다.

III 결과 및 고찰

1. 우리나라의 *R. rattus*와 *R. tanezumi*의 분류

야생에서 채집된 *R. rattus*와 *R. tanezumi*에 관련하여 형태학적, 유전학적으로 분류가 이루어진 것은 Koh (1987), Koh and Lee (1991), Koh (1992), Kim *et al.* (2013), Lee *et al.* (2014) 등이었다. Koh (1987)은 소형포유류 15종에 관하여 형태적 형질을 분석하였으며, Koh and Lee (1991)는 집쥐속 2종(*R. rattus*, *R. norvegicus*)에 관한 형태적 형질과 제2차 성적 이형 현상을 통계적으로 분석한 바 있다. Kim *et al.* (2013)은 제주도에서 채집된 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 서식지 유형과 형태적 특성을 보고하였으며, Lee *et al.* (2014)는 *R. rattus*가 *R. tanezumi*임을 문헌 검토를 통해 주장하였다. 또한 Won (1967), Won (1968), Yoon *et al.* (2004)은 *R. rattus*로 기재하였고, Jo *et al.* (2019)은 *R. tanezumi*로 보고하였다.

국내에서 *R. rattus*는 Nagahana (1937)가 처음 서식을 기록하였으며, Mori (1937)는 울릉도에서 채집된 개체를 보고하였다. Won (1967)은 국내 항만도시에서 *R. rattus*의 채집을 보고하였으며, 제주도는 부두에서 시내 입구(약 1 km 이내)의 도로 주택가에서 채집기록이 있으나, *R. tanezumi*의 채집기록은 없었다고 보고하였다. 그 후, Won (1968)에서는 해방 전에 제주도에서 채집된 기록이, 해방 후에 속초 등지에서의 채집기록은 있었으나, 1965년 이후 국내에서 채집된 기록은 없었다. 이후 다시 *R. rattus*가 학술적으로 보고된 야생 개체 기록은 Koh (1987)의 청주에서 채집된 *R. norvegicus*와 *R. rattus*의 계통분류학적인 연구를 진행한 바 있으며, Koh and Lee (1991)는 청주, 조치원, 진천, 춘천, 인천, 오창에서 채집된 *R. rattus*와 *R. norvegicus*의 외부형태적인 형질에 대한 연구가 있었으나 Koh (1992)는 *R. rattus*를 *R. r. tanezumi*로 아종 수준임을 제안하였고, Yoon *et al.* (2004)는 종 수준

에서 *R. rattus*로 정리하였다. 이후 Kim *et al.* (2013)은 제주도에서 채집된 *Rattus* 속에 속하는 종 일부에서 형태와 *cytochrome b* (CYTB) 서열의 상동성 두 가지를 모두 고려하였을 때, *R. rattus*는 확인되지 않았고, *R. tanezumi*와 최대 유사도를 나타내어 *R. rattus*가 아닌 *R. tanezumi*로 명명하는 것이 타당하다 하였다. 또한 Lee *et al.* (2014)는 *Rattus* 속의 역사적 검토를 통해 *R. rattus*가 *R. tanezumi*와 동일한 종으로 간주하였다. 이후 Jo *et al.* (2019)에서는 *R. tanezumi*가 우리나라에서 관찰되었을 초기, *R. r. rattus*와 *R. r. tanezumi*의 명명을 두고 논쟁이 있었고, 이후 Koh (1992)는 우리나라에 서식하는 *R. rattus*를 *R. r. tanezumi*로 확인하였고, Kim *et al.* (2013)은 제주도에서 채집된 *R. rattus*를 mtDNA 분석을 통해 *R. tanezumi*임을 확인하여, 한국에서 대부분의 *R. rattus*의 분류는 *R. tanezumi*로 정정되어야 함을 제시하였다.

따라서, Won (1967)에서 보고된 *R. rattus*가 Won (1968), Koh (1987), Koh and Lee (1991) 등의 문헌을 통해 기재한 것으로 판단되며, Koh (1992)에서 *R. rattus*의 아종 수준인 *R. r. tanezumi*로 정정하였으나, 현재까지 보고된 문헌이 *R. rattus*가 우세한 경향이 있어 현재까지 *Rattus* 속의 종 중 외래종은 *R. rattus*와 *R. norvegicus*만 명시되어 있는 등 관용적으로 쓰여 온 것으로 추정된다. 그러나 Kim *et al.* (2013)의 분자유전학적인 검토, Lee *et al.* (2014)의 문헌 검토를 통한 *R. rattus*의 *R. tanezumi*로 명명 개정의 필요성에 대한 내용은 충분히 고려해 볼 만한 주장이라 생각한다. 비록 이 연구에서 *R. rattus*가 수집되지 않아, *R. tanezumi*와 직접적인 비교가 이루어지지 않았지만, 향후 *R. tanezumi*와 *R. rattus* 시료에 대한 분자유전학적, 골형태학적 특성에 대한 비교 등 다양한 심층 연구를 통해 학명의 정정이 검토되어야 할 것이다.

2. *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 형태학적 특성

1) *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 외부형태 형질 비교

제주도에서 채집된 *R. tanezumi* 13개체와 *R. norvegicus* 35개체의 외부형태 형질을 비교하여 정리한 결과는 Table 3에 제시하였다. 전체 집단에서 BW의 범위는 9.9-185.9 g, HBL 74.5-207.6 mm, TL 62-203 mm, EL 12-26.27 mm, HFL 15.5-38 mm로 나타났다. 외부형태 형질의 통계 분석 결과에서 유의적인 차이가 나타난 형질은 TL과 EL이었고($p < 0.05$), 유의적 차이가 나타나지 않은 형질은 BW, HBL, HFL이었다($p > 0.05$). BW의 경우 *R. tanezumi* (34.2-183, 94.59 ± 47.41 g)가 *R. norvegicus* (9.9-185.9, 82.81 ± 45.1 g)에 비해 무거운 경향이 나타났으나, 유의적 차이는 없었다($p = 0.097$). HBL은 *R. tanezumi* (112.76-182, 151.45 ± 26.63 mm)가 *R. norvegicus* (74.5-207.6, 149.07 ± 33.26 mm)로 나타났으며($p = 0.448$), HFL은 *R. tanezumi* (27.2-34.52, 31.8 ± 2.35 mm), *R. norvegicus* (15.5-38, 30.24 ± 4.34 mm)로 *R. tanezumi*가 *R. norvegicus*보다 전반적으로 큰 경향이 나타났으나 유의적 차이는 없었다($p = 0.265$). 반면, TL에서 *R. tanezumi* (118.74-203, 166.26 ± 27.43 mm)와 *R. norvegicus* (62-187, 131.25 ± 30.55 mm)를 비교했을 때, *R. tanezumi*가 약 35.01 mm 길었으며($p = 0.002$), EL에서 *R. tanezumi* (18.25-25.45, 21.54 ± 2.41 mm)와 *R. norvegicus* (12-26.27, 17.53 ± 2.5 mm)를 비교하였을 때, *R. tanezumi*가 약 4.01 mm 정도 더 길었다($p = 0.001$).

*R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 외부형태 형질을 비교하였을 때 수치상으로 모든 형질에서 *R. tanezumi*가 *R. norvegicus*보다 더 큰 경향을 나타냈다. 하지만, 통계적 분석을 통해 유의성을 확인한 결과 TL과 EL에서만 통계적 유의성이 나타났으며 ($p < 0.05$), 나머지 3가지 형질에서는 통계적으로 유의하지는 않았다($p > 0.05$). 외부 형태 형질 중 BW는 형질 특성상 사후경직, 사후 부패, 임신, 채집 시기 등의 변화가 다양한 형질이므로 변수가 다양하게 나타날 수 있어(Kim *et al.*, 2013), 유의성 입증에 어려울 수 있다. TL과 EL의 차이를 보았을 때, *R. tanezumi*의 경우 꼬리의 길이가 몸통의 길이보다 약 14.8 mm 길었으며, *R. norvegicus*의 경우 꼬리의

길이와 몸통의 길이보다 약 17.82 mm 짧았다. 이는 선행 연구결과와 유사한 결과이며(Marshall, 1977; Seong *et al.*, 1999; Yoon *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013), 꼬리 길이에 대한 차이는 통계적 유의성이 나타난($p < 0.05$) 형질로 *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 분류에 도움이 되는 정보로 판단된다. EL은 *R. tanezumi*와 *R. norvegicus* 비교시 *R. tanezumi*가 4.01 mm 더 컸으며, 통계적으로 유의하게 나타나($p < 0.05$), 선행연구와 유사한 결과를 나타냈다(Kim *et al.*, 2013). 설치류의 성장률과 성숙도는 다양한 자원 풍부도에 따라 다를 수 있다(Glass *et al.*, 1988; Feng and Himsworth, 2014). 이 연구에서 *R. tanezumi*가 관찰되거나 채집된 지역은 돈사로 돼지 먹이용 사료가 항상 비축되어있는 지역이었고 범위도 한정적인 경향을 보였으며, *R. norvegicus*가 확인된 지역은 도심지역에서 주로 관찰되거나 채집되어, *R. norvegicus*의 경우 각각 다른 집단의 경쟁을 통한 먹이 확보에 제한이 있었을 것으로 추측된다(Gardner-Santana *et al.*, 2009; Feng and Himsworth, 2014). 따라서 먹이 경쟁에서 *R. tanezumi*가 *R. norvegicus* 보다 비교적 쉽게 먹이를 취할 수 있어 외부형태적으로 더 큰 경향성을 보이는 것으로 추측할 수 있다.

Table 3. Comparison of the external body measurements between *Rattus tanezumi* and *R. norvegicus* collected in Jeju-do

| Character ^a | Overall (n=48) | | <i>R. tanezumi</i> (n=13) | | <i>R. norvegicus</i> (n=35) | | p-value | Significance ^b |
|------------------------|----------------|--------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|---------|---------------------------|
| | Range | Mean±SE | Range | Mean±SE | Range | Mean±SE | | |
| BW (g) | 9.9-185.9 | 86±46.04 | 34.2-183 | 94.59±47.41 | 9.9-185.9 | 82.81±45.1 | 0.097 | n.s. |
| HBL (mm) | 74.5-207.6 | 149.71±31.62 | 112.76-182 | 151.45±26.63 | 74.5-207.6 | 149.07±33.26 | 0.448 | n.s. |
| TL (mm) | 62-203 | 141.14±33.63 | 118.74-203 | 166.26±27.43 | 62-187 | 131.25±30.55 | 0.002 | * |
| EL (mm) | 12-26.27 | 18.62±3.05 | 18.25-25.45 | 21.54±2.41 | 12-26.27 | 17.53±2.5 | 0.001 | * |
| HFL (mm) | 15.5-38 | 18.62±3.05 | 27.2-34.52 | 31.8±2.35 | 15.5-38 | 30.24±4.34 | 0.265 | n.s. |

^a, abbreviations of each character: body weight (BW), head body length (HBL), tail length (TL), ear length (EL), hind foot length (HFL).

^b, * indicates means different at 5% significance thresholds and n.s. indicates means not significantly different.

2) *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 두개골 형질 비교

R. tanezumi 13개체와 *R. norvegicus* 27개체의 두개골 23가지 형질을 비교하여 정리한 결과는 Table 4에 제시하였다. *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 두개골 형질을 비교한 결과, 전체 23가지 형질 중 통계적 유의성이 나타나지 않은 형질은 Cbl, Zyg, Hmax, Lmd, Iob, Lna, Bna, Lbull, Lfi, Bfi, Lm^{1-3} , D2, M^{1-1} , Hcra, Li, Vhm이었으며($p>0.05$), 통계적 유의성이 확인된 형질은 Lm_{1-3} , Lm^1 , BM^1 , D1, Bcra, Bi, Ti 7가지 형질이었다($p<0.05$). 전체 집단에서 Lm_{1-3} 의 범위는 5.8-6.8 mm였으며, Lm^1 2.6-3.8 mm, BM^1 1.6-2 mm, D1 7.3-13.1 mm, Bcra 12.3-17.3 mm, Bi 0.7-1.7 mm, Ti 1.4-2.9 mm로 나타났다. 통계적 유의성이 나타난 7가지 형질 중 BM^1 은 *R. tanezumi* 1.93 ± 0.07 mm, *R. norvegicus* 1.81 ± 0.11 mm로 ($p=0.008$), Bcra는 *R. tanezumi* 15.46 ± 0.99 mm, *R. norvegicus* 14.89 ± 1.35 mm로 나타나 ($p=0.036$), *R. tanezumi*가 *R. norvegicus*보다 더 큰 경향을 보였다. 반면, Lm_{1-3} 는 *R. tanezumi* 6.13 ± 0.16 mm, *R. norvegicus* 6.29 ± 0.29 mm ($p=0.029$), Lm^1 은 *R. tanezumi* 3.01 ± 0.17 mm, *R. norvegicus* 3.19 ± 0.29 mm ($p=0.033$), D1은 *R. tanezumi* 9.28 ± 1.29 mm, *R. norvegicus* 10.64 ± 1.55 mm ($p=0.022$), Bi는 *R. tanezumi* 0.93 ± 0.13 mm, *R. norvegicus* 1.1 ± 0.18 mm ($p=0.002$), Ti는 *R. tanezumi* 1.90 ± 0.32 mm, *R. norvegicus* 2.23 ± 0.31 mm로 나타나 ($p=0.008$), *R. tanezumi*가 *R. norvegicus* 보다 더 작은 경향으로 나타났다.

두개골 형질에서 단순 평균비교 시 23개의 형질 중 7가지 형질에서 *R. tanezumi*가 더 컸으며, 나머지 16가지 형질에서는 *R. norvegicus*가 더 크게 나타났다. 통계적 유의성이 나타난 형질은 7가지 형질이었다($p<0.05$). 이러한 결과는 *R. tanezumi*의 경우 주로 관찰되는 지역이 작물을 재배하는 농가 및 농가 주변 작물을 보관하는 창고에서 확인되며, 곡식, 견과류, 과일 등을 주로 섭취하고, *R. norvegicus*의 경우 잡식성으로 서로 선호하는 음식이 다른 식습관의 차이에 의해 나타난 결과로 판단된다(Singleton *et al.*, 2008; Feng and Himsworth, 2014).

현재 *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 두개골을 비교한 연구는 매우 부족한 실정이다. *Rattus* 속의 동물들은 외부형태적으로 비슷한 외형을 가지고 있으며, 유사한 서식지 환경요인의 영향을 받기 때문에 두 종이 함께 서식하는 지역에서는 쉽게 구분이 어려운 경향이 있다(Ringani *et al.*, 2022). 두 종의 외부형태 비교는

선행연구로 진행된 사례가 있으나(Kim *et al.*, 2013), 두개골의 비교는 이루어진 바 없어 이 연구는 *Rattus* 속 동물의 외부형태와 두개골 형질의 차이를 보여주는 자료로 가치가 있다고 할 수 있다. 앞으로 지속적인 자료축적 후 보다 많은 표본을 확보하여 분석이 이루어지면 보다 명확한 결과가 도출될 것으로 판단된다.

Table 4. Comparison of the cranial and mandibular measurements between *Rattus tanezumi* and *R. norvegicus* collected in Jeju-do

| Character ^a | Overall (n=40) | | <i>R. tanezumi</i> (n=13) | | <i>R. norvegicus</i> (n=27) | | p-value | Significance ^b |
|------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---------|---------------------------|
| | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | | |
| Cbl | 27.1-42.3 | 35.50±4.2 | 27.6-39.6 | 34.03±3.99 | 27.1-42.3 | 36.21±4.11 | 0.243 | n.s. |
| Zyg | 14.2-22.1 | 17.94±2.22 | 14.4-20.3 | 17.37±1.78 | 14.2-22.1 | 18.22±2.35 | 0.433 | n.s. |
| Hmax | 6.1-11.8 | 8.97±1.27 | 6.1-11.8 | 8.57±1.29 | 7.4-11.8 | 9.17±1.22 | 0.521 | n.s. |
| Lmd | 15.8-24.8 | 20.48±2.38 | 15.8-24.8 | 19.85±1.97 | 15.8-24.8 | 20.79±2.50 | 0.515 | n.s. |
| Iob | 4.6-6.8 | 5.68±0.44 | 4.6-6.8 | 5.65±0.35 | 4.6-6.8 | 5.69±0.48 | 0.564 | n.s. |
| Lna | 8.1-17.4 | 13.05±2.14 | 8.1-17.4 | 12.41±1.79 | 8.1-17.4 | 13.36±2.23 | 0.188 | n.s. |

^a, abbreviations of each character: condylobasal length (Cbl), zygomatic width (Zyg), height of the upper jaw in front of M¹ (Hmax), length of the lower jaw (Lmd), interorbital width (Iob), the length of the nasal bones (Lna), the width of the nasal bones (Bna), the length of the auditory bulla (Lbull), the length of the incisor foramen (Lfi), the width of the incisor foramen (Bfi), the length of the upper dentition (Lm¹⁻³), the length of the lower dentition (Lm₁₋₃), the alveolar length of the first upper molar (Lm¹), the width of the first upper molar (Bm¹), upper diastema length (D1), lower diastema length (D2), minimum distance between the first upper molars (M¹⁻¹), the width of the skull in the area of the auditory bulla (Bcra), the height of the skull in the area of the auditory bulla (Hcra), the length of the incisor from the alveoli (Li), the width of the incisor in the lateral direction at the end of the tooth (Bi). vertical height of mandible (Vhm), total incisor width (Ti).

^b, * and ** indicates means different at 5% and 1% significance thresholds and n.s. indicates means not significantly different.

Table 4. Continued

| Character ^a | Overall (n=40) | | <i>R. tanezumi</i> (n=13) | | <i>R. norvegicus</i> (n=27) | | <i>p</i> -value | Significance ¹ |
|------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | | |
| Bna | 2.9-5 | 3.97±0.42 | 2.9-5 | 3.88±0.44 | 3.4-5 | 4.01±0.41 | 0.721 | n.s. |
| Lbull | 5.6-8.1 | 6.67±0.55 | 5.6-8.1 | 6.49±0.45 | 5.6-8.1 | 6.76±0.57 | 0.246 | n.s. |
| Lfi | 4.4-7.8 | 6.60±0.88 | 4.4-7.8 | 6.73±0.83 | 4.4-7.8 | 6.54±0.89 | 0.578 | n.s. |
| Bfi | 1.9-2.9 | 2.42±0.27 | 1.9-2.9 | 2.52±0.18 | 1.9-2.9 | 2.37±0.29 | 0.196 | n.s. |
| Lm ¹⁻³ | 3.4-7.1 | 6.43±0.59 | 3.4-7.1 | 6.45±0.31 | 3.4-7.1 | 6.42±0.68 | 0.683 | n.s. |
| Lm ₁₋₃ | 5.8-6.8 | 6.24±0.27 | 5.8-6.8 | 6.13±0.16 | 5.8-6.8 | 6.29±0.29 | 0.029 | * |
| Lm ¹ | 2.6-3.8 | 3.13±0.27 | 2.6-3.8 | 3.01±0.17 | 2.6-3.8 | 3.19±0.29 | 0.033 | * |
| Bm ¹ | 1.6-2 | 1.85±0.11 | 1.6-2 | 1.93±0.07 | 1.6-2 | 1.81±0.11 | 0.008 | ** |
| D1 | 7.3-13.1 | 10.2±1.60 | 7.3-13.1 | 9.28±1.29 | 7.4-13.1 | 10.64±1.55 | 0.022 | * |
| D2 | 2.3-7.3 | 5.83±0.94 | 2.3-7.3 | 5.45±1.07 | 4.3-7.3 | 6.01±0.8 | 0.178 | n.s. |
| M ¹⁻¹ | 2.8-4.8 | 3.74±0.54 | 2.8-4.8 | 3.51±0.40 | 2.9-4.8 | 3.86±0.55 | 0.163 | n.s. |
| Bcra | 12.3-17.3 | 15.08±1.27 | 12.3-17.3 | 15.46±0.99 | 12.3-17.3 | 14.89±1.35 | 0.036 | * |
| Hcra | 8.3-13 | 11.26±0.97 | 8.3-13 | 11.55±0.76 | 8.3-13 | 11.13±1.03 | 0.132 | n.s. |
| Li | 2.1-6.6 | 4.99±0.96 | 2.1-6.6 | 5.16±0.64 | 2.1-6.6 | 4.91±1.09 | 1.000 | n.s. |
| Bi | 0.7-1.7 | 1.04±0.19 | 0.7-1.7 | 0.93±0.13 | 0.8-1.7 | 1.1±0.18 | 0.002 | ** |
| Vhm | 7.1-13.1 | 10.39±1.63 | 7.1-13.1 | 9.93±1.41 | 7.1-13.1 | 10.61±1.69 | 0.531 | n.s. |
| Ti | 1.4-2.9 | 2.12±0.35 | 1.4-2.9 | 1.90±0.32 | 1.6-2.9 | 2.23±0.31 | 0.008 | ** |

3) *R. tanezumi* 암컷과 수컷 간 외부형태 형질 차이

*R. tanezumi*의 암컷과 수컷 외부형태 형질의 비교 결과는 Table 5에 제시하였다. 표본 전체 집단에서 외부형태 5가지 형질(HW, HBL, TL, EL, HFL)의 범위는 BW 34.2-183 g, HBL 112.76-182 mm, TL 188.74-203 mm, EL 18.25-25.45 mm, HFL 27.2-34.52 mm로 나타났다. 평균적으로는 BW 수컷 92.5 ± 41.84 g, 암컷 97.1 ± 53.08 g, HBL 수컷 156.2 ± 25.34 mm, 암컷 146.27 ± 0.04 mm, TL 수컷 169.6 ± 23.48 mm, 암컷 162.4 ± 30.96 mm, EL 수컷 21.9 ± 2.35 mm, 암컷 21.1 ± 2.4 mm, HFL 수컷 31.9 ± 2.37 mm, 암컷 31.7 ± 2.31 mm로 나타났다. BW는 암컷이 수컷보다 약 4.6 g 정도 더 무거웠고, HBL은 약 10.2 mm, TL 약 7.2 mm, EL 0.8 mm, HFL에서 약 0.2 mm 정도가 수컷이 더 크게 나타났다. SSDI는 Fig. 4에 제시하였으며, BW 4.96, HBL -6.52, TL -4.28, EL -3.94, HFL -0.7로 산출되었다. 각 형질의 평균 및 SSDI 모두 BW를 제외한 HBL, TL, EL, HFL 값은 수컷이 암컷보다 더 큰 경향을 나타내었다. 하지만, 암컷과 수컷 사이의 외부형태 형질을 통계적으로 분석하였을 때는 통계적 유의성은 없었다($p > 0.05$).

*R. tanezumi*의 암컷과 수컷의 외부형태 5가지 형질에 대한 SSDI 분석 시 BW를 제외한 4가지 형질(HBL, TL, EL, HFL)은 모두 수컷에서 더 큰 경향을 나타냈다. BW의 경우 Mean \pm SD가 94.59 ± 47.41 mm로 암컷과 수컷 사이의 평균 표준편차를 계산하였을 때 표준편차가 큰 것을 확인할 수 있는데, 이는 사후 부패 정도, 사후 경직, 살아있는 상태의 무게가 각각 달라 상황에 따른 무게로, 표준편차의 차이가 큰 것으로 판단된다. 두개골 형질의 비교 분석 또한 SSDI는 Lm^{1-3} 을 제외하고 모두 음의 값이 나타나 수컷에서 더 큰 경향을 나타냈다. 하지만, 외부형태 5가지 형질에 대하여 통계적 기법인 Mann-Whitney U test를 실행하였을 때, 모두 통계적 유의성은 나타나지 않았다($p > 0.05$). BW를 제외한 4가지 형질에서는 모두 SSDI가 음의 값을 나타내어, 암컷보다 수컷이 더 큰 선행연구 결과와 일치하는 것이 확인되었다(Kim *et al.*, 2013).

Table 5. Comparison of the external body measurements between both sexes of *Rattus tanezumi* collected in Jeju-do

| Character ^a | Overall (n=13) | | Male (n=7) | | Female (n=6) | | p-value | SSDI |
|------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------|-------|
| | Range | Mean±SE | Range | Mean±SE | Range | Mean±SE | | |
| BW (g) | 34.2-183 | 94.6±47.41 | 34.2-153.4 | 92.5±41.84 | 36.72-183 | 97.1±53.08 | 0.945 | 4.955 |
| HBL (mm) | 112.76-182 | 151.5±26.63 | 114.1-180 | 156.2±25.34 | 112.76-182 | 146±27.04 | 0.445 | -6.52 |
| TL (mm) | 118.74-203 | 166.3±27.43 | 122.78-194 | 169.6±23.48 | 118.74-203 | 162.4±30.96 | 0.863 | -4.28 |
| EL (mm) | 18.25-25.45 | 21.5±2.41 | 18.32-25.14 | 21.9±2.35 | 18.25-25.45 | 21.1±2.4 | 0.534 | -3.94 |
| HFL (mm) | 27.2-34.52 | 31.8±2.35 | 27.2-33.83 | 31.9±2.37 | 27.96-34.52 | 31.7±2.31 | 0.534 | -0.7 |

^a, abbreviations of each character: body weight (BW), head body length (HBL), tail length (TL), ear length (EL), hind foot length (HBL).

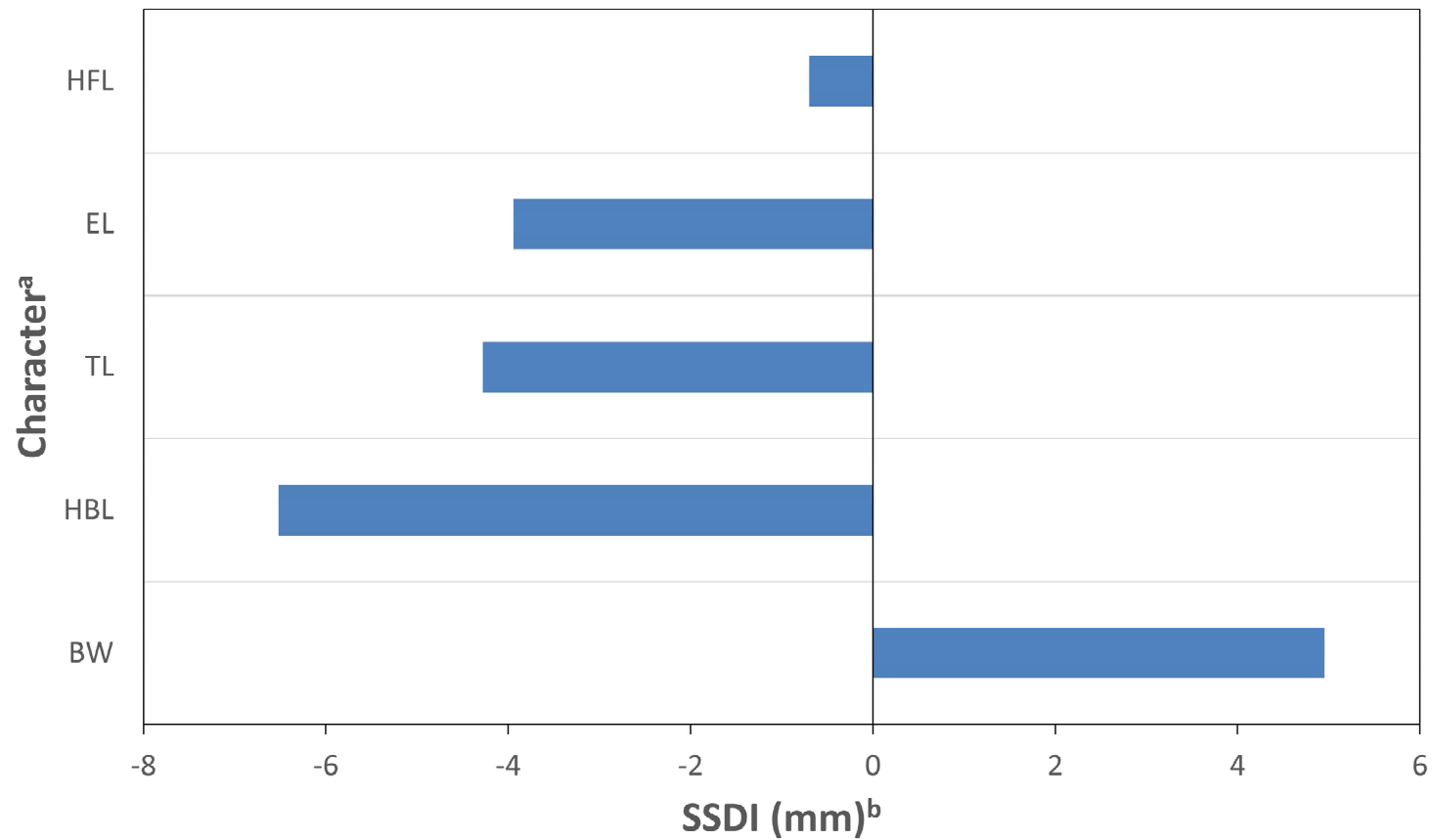


Fig. 4. Sexual size dimorphism index (SSDI) of external measurements in *Rattus tanezumi*. The SSDIs were calculated as a negative value in 4 of the 5 characters, showed a male biased tendency.

^a, abbreviations of each character: body weight (BW), head body length (HBL), tail length (TL), ear length (EL), hind foot length (HFL).

^b, abbreviation of SSDI: Sexual size dimorphism index. SSDI value: negative, male larger than female; positive, female larger than male.

4) *R. tanezumi* 암컷과 수컷 간 두개골 형질 차이

R. tanezumi 암컷과 수컷 사이의 두개골 형질에 대한 결과는 Table 6에 제시하였다. 암컷과 수컷의 평균값에 근거한 편향성은 SSDI로 산출하였다. 분석된 23가지 형질 중 1가지 형질(Lm₁₋₃)을 제외한 22가지 형질(Cbl, Zyg, Hmax, Lmd, Iob, Lna, Bna, Lbull, Lfi, Bfi, Lm¹⁻³, Lm, Bm, D1, D2, M¹⁻¹, Bcra, Hcra, Li, Bi, Vhm, Ti)은 모두 음의 값으로 분석되어 수컷이 암컷보다 큰 경향을 보였다. 분석된 결과를 평균 (SSDI)로 살펴보면, 암컷이 수컷보다 더 큰 Lm₁₋₃은 약 0.005 mm (0.08) 정도 근소한 차이가 나타났으며, 수컷이 더 큰 22가지 형질은 Cbl 약 1.21 mm (-3.48), Zyg 약 0.5 mm (-2.84), Hmax가 약 0.22 mm (-2.55), Lmd 약 0.5 mm (-2.5), Iob 약 0.3 mm (-5.23), Lna 약 0.01 mm (-0.12), Bna 약 0.34 mm (-8.48), Lbull 약 0.14 mm (-2.14), Lfi 약 0.15 mm (-2.21), Bfi 약 0.03 mm (-1.13), Lm¹⁻³ 약 0.05 mm (-0.85), Lm 약 0.11 mm (-3.5), Bm 약 0.03 mm (-1.33), D1 약 0.33 mm (-3.48), D2 약 0.5 mm (8.84), M¹⁻¹ 약 0.14 mm (3.87), Bcra 약 0.05 mm (0.34), Hcra 약 0.33 mm (-2.85), Li 약 0.05 mm (-0.96), Bi 약 0.06 mm (-5.97), Vhm 약 0.24 mm (-2.42), Ti 약 0.12 mm (6.33)정도 더 큰 경향을 보였다(Fig. 5). 하지만, 암컷과 수컷 사이의 두개골 형질을 통계적으로 분석하였을 때 통계적 유의성은 확인되지 않았다($p>0.05$). 두개골 형질의 차이 또한 SSDI는 23가지 형질 중 Lm₁₋₃을 제외한 22가지 형질에서 음의값을 나타내 수컷에서 더 큰 경향이 나타났으나, 통계적 유의성은 확인되지 않았다($p>0.05$).

현재 *R. tanezumi*의 연구는 분자계통의 연구가 주를 이루고 있으며, 몇몇 생태적 연구가 이루어진 바 있다. 하지만, *R. tanezumi*를 비롯하여 *Rattus* 속의 형태적인 연구는 세계적으로 연구가 매우 부족한 실정이다(Hiimae and Houston, 1971; Canals *et al.*, 2000; Bergmann *et al.*, 2006; Mori *et al.*, 2017; Alamoundi *et al.*, 2021). 따라서, 같은 *Rattus* 속의 *R. norvegicus*를 참고하면, 암컷과 수컷의 외부형태 형질의 차이가 나타나는 것을 Bergmann (2006)에서 신생아부터 성체까지(0 to 84 days)의 표본으로 몸 전체 길이(head body length), 두개골 길이(skull length), 대퇴골 길이(femoral length), 꼬리 길이(tail length), 정강이뼈 길이(tibia length)를 측정하여 전반적인 뼈의 크기 차이에 있어 암컷과 수컷 사이에서 통계적 유의성

($p < 0.05$)이 나타나 성적 이형성을 확인한 바 있으며, Reichling and German (2000)은 *R. norvegicus* 18개체의 상완골 길이(humerus length), 요골 길이(radius length), 척골 길이(ulna length), 대퇴골 길이, 정강이뼈 길이를 분석하여 상완골과 정강이뼈의 성적 이형성과 통계적 유의성($p < 0.05$)을 보고하였다.

포유류에서 성 선택(sexual selection)은 큰 몸집을 선택하여 세력권 방어와 번식에서의 우위를 선점하는 데 유리하게 한다(Lindenfors *et al.*, 2007; Kim, 2016). 또, 운동능력, 균형감각의 향상을 위해 꼬리의 무게, 크기 등이 더 클 수 있다고 알려져 있으며(Bergmann *et al.*, 2006), 식이 및 환경적 압력과 제약으로 인해 성적 이형성이 나타난다고 연구된 바 있다(Wescott and Moore-Jansen, 2001; Ukoha *et al.*, 2011; Jansky *et al.*, 2016; Alamoundi *et al.*, 2021).

따라서, 제주도에서 채집된 *R. tanezumi* 또한 성 선택에 있어 수컷이 암컷보다 유리한 위치를 선점하기 위하여 수컷이 암컷보다 몸집이 더 큰 경향을 나타내는 것으로 판단되며, 개체군 내에서 사회적 지위를 얻어 암컷에 대한 접근 횟수를 더 많이 갖기 위해 나타난 경향으로 판단된다(Lindenfors *et al.*, 2007; Feng and Himsworth, 2014; Kim, 2016). 이 연구에서 분석된 두개골 형질 비교에 있어 SSDI에서 통계적 유의성은 확인되지 않았지만, 외부형질에서 BW, 두개골 형질에서 L_{m1-3} 를 제외하고 모든 부분에서 수컷이 더 큰 경향을 나타내어 확실한 수컷 편향적인 결과가 나타나 경향적으로 의미 있는 결과라 할 수 있겠다.

Table 6. Comparison of the cranial and mandibular measurements between both sexes of *Rattus tanezumi* collected in Jeju-do

| Character ^a | Overall (n=13) | | Male (n=7) | | Female (n=6) | | p-value | SSDI |
|------------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------|-------|
| | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | | |
| Cbl | 27.6-39.6 | 34.03±3.99 | 27.6-39.6 | 34.59±4.14 | 28.4-38.2 | 33.38±3.71 | 0.628 | -3.48 |
| Zyg | 14.4-20.3 | 17.37±1.78 | 14.4-20.3 | 17.6±1.96 | 15.4-19.7 | 17.1±1.49 | 0.836 | -2.84 |
| Hmax | 1-10.4 | 8.57±1.29 | 6.1-10.4 | 8.67±1.46 | 7.1-10 | 8.45±1.04 | 0.731 | -2.55 |
| Lmd | 16.7-22.4 | 19.85±1.97 | 17.1-22.4 | 20.09±1.89 | 16.7-22.2 | 19.58±2.01 | 0.628 | -2.5 |
| Iob | 5.1-6.3 | 5.65±0.35 | 5.3-6.3 | 5.79±0.33 | 5.1-5.9 | 5.48±0.31 | 0.234 | -5.2 |
| Lna | 10.1-15.1 | 12.41±1.79 | 10.2-15.1 | 12.41±1.85 | 10.1-14.8 | 12.4±1.73 | 0.836 | -0.12 |

^a, abbreviations of each character: condylobasal length (Cbl), zygomatic width (Zyg), height of the upper jaw in front of M¹ (Hmax), length of the lower jaw (Lmd), interorbital width (Iob), the length of the nasal bones (Lna), the width of the nasal bones (Bna), the length of the auditory bulla (Lbull), the length of the incisor foramen (Lfi), the width of the incisor foramen (Bfi), the length of the upper dentition (Lm¹⁻³), the length of the lower dentition (Lm_{1,3}), the alveolar length of the first upper molar (Lm¹), the width of the first upper molar (Bm¹), upper diastema length (D1), lower diastema length (D2), minimum distance between the first upper molars (M¹⁻¹), the width of the skull in the area of the auditory bulla (Bcra), the height of the skull in the area of the auditory bulla (Hcra), the length of the incisor from the alveoli (Li), the width of the incisor in the lateral direction at the end of the tooth (Bi), vertical height of mandible (Vhm), total incisor width (Ti).

Table 6. Continued

| Character ^a | Overall (n=13) | | Male (n=7) | | Female (n=6) | | <i>p</i> -value | SSDI |
|------------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-------|
| | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | Range (mm) | Mean±SE (mm) | | |
| Bna | 2.9-4.4 | 3.88±0.44 | 3.7-4.3 | 4.04±0.24 | 2.9-4.4 | 3.7±0.53 | 0.366 | -8.5 |
| Lbull | 5.7-7.3 | 6.49±0.45 | 5.8-7.3 | 6.56±0.44 | 5.7-6.9 | 6.42±0.45 | 0.731 | -2.1 |
| Lfi | 5.4-7.8 | 6.73±0.83 | 5.4-7.8 | 6.8±0.77 | 5.4-7.7 | 6.65±0.89 | 0.945 | -2.2 |
| Bfi | 2.2-2.8 | 2.52±0.18 | 2.20-2.70 | 2.53±0.15 | 2.2-2.8 | 2.5±0.22 | 0.945 | -1.1 |
| Lm ¹⁻³ | 6-7.1 | 6.45±0.31 | 6-7.1 | 6.47±0.35 | 6-6.8 | 6.42±0.26 | 0.945 | -0.85 |
| Lm ₁₋₃ | 5.8-6.4 | 6.13±0.16 | 5.9-6.3 | 6.13±0.15 | 5.8-6.4 | 6.13±0.18 | 1 | 0.08 |
| Lm ¹ | 2.7-3.4 | 3.01±0.17 | 2.9-3.4 | 3.06±0.18 | 2.7-3.1 | 2.95±0.15 | 0.534 | -3.5 |
| Bm ¹ | 1.8-2 | 1.93±0.07 | 1.8-2 | 1.94±0.07 | 1.8-2 | 1.92±0.07 | 0.534 | -1.3 |
| D1 | 7.3-11.2 | 9.28±1.29 | 7.3-11.2 | 9.43±1.31 | 7.6-10.8 | 9.1±1.24 | 0.836 | -3.48 |
| D2 | 2.3-6.3 | 5.45±1.07 | 4.7-6.3 | 5.69±0.58 | 2.3-6.3 | 5.18±1.4 | 0.945 | -8.8 |
| M ¹⁻¹ | 2.8-4.1 | 3.51±0.4 | 3-4.1 | 3.57±0.36 | 2.8-4 | 3.43±0.43 | 0.731 | -3.87 |
| Bcra | 13.9-16.7 | 15.46±0.99 | 13.9-16.6 | 15.49±0.97 | 14-16 | 15.43±1.01 | 0.945 | -0.34 |
| Hcra | 10.5-12.8 | 11.55±0.76 | 10.5-12.8 | 11.7±0.81 | 10.5-12.2 | 11.37±0.65 | 0.366 | -2.85 |
| Li | 4.1-6.3 | 5.16±0.64 | 4.1-6.3 | 5.18±0.73 | 4.5-5.9 | 5.13±0.53 | 0.937 | -1 |
| Bi | 0.7-1.1 | 0.93±0.13 | 0.8-1.1 | 0.96±0.12 | 0.7-1.1 | 0.9±0.14 | 0.534 | -6 |
| Vhm | 7.7-11.7 | 9.93±1.41 | 8.3-11.7 | 10.04±1.29 | 7.7-11.7 | 9.8±1.52 | 0.731 | -2.42 |
| Ti | 1.4-2.4 | 1.9±0.32 | 1.4-2.4 | 1.96±0.31 | 1.4-2.2 | 1.83±0.32 | 0.628 | -6.3 |

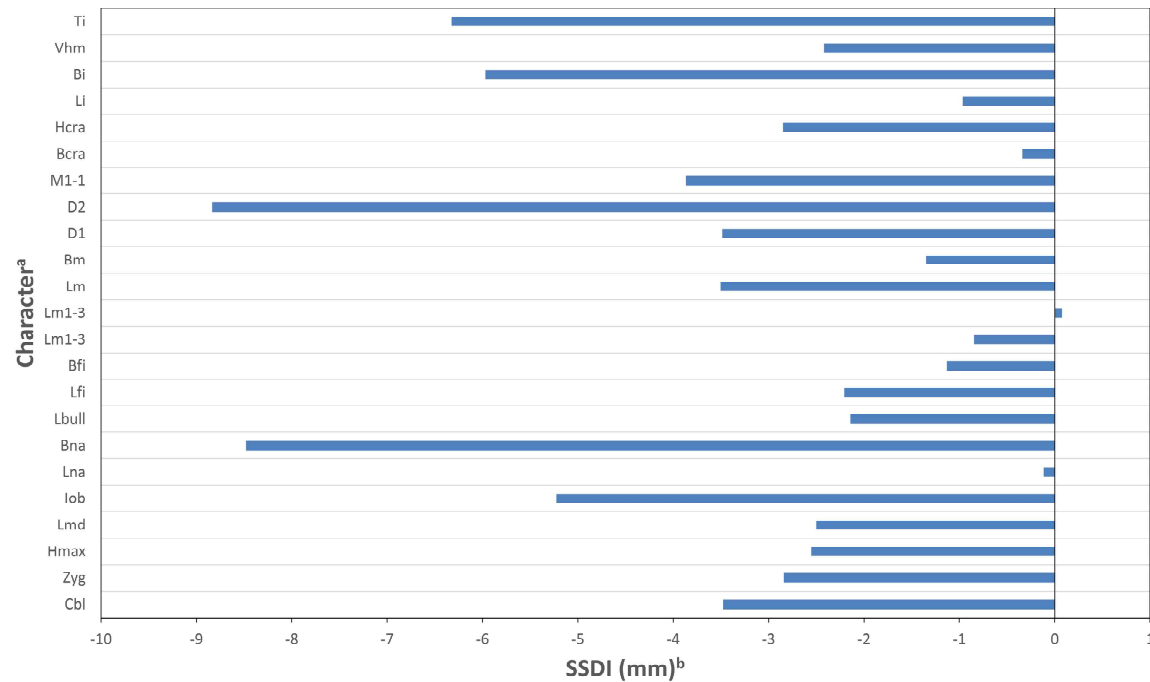


Fig. 5. Sexual size dimorphism index (SSDI) of skull measurements in *Rattus tanezumi*. SSDIs were calculated as a negative value in 22 of the 23 characters, showed a male biased tendency.

^a, abbreviations of each character: condylobasal length (Cbl), zygomatic width (Zyg), height of the upper jaw in front of M¹ (Hmax), length of the lower jaw (Lmd), interorbital width (Iob), the length of the nasal bones (Lna), the width of the nasal bones (Bna), the length of the auditory bulla (Lbull), the length of the incisor foramen (Lfi), the width of the incisor foramen (Bfi), the length of the upper dentition (Lm¹⁻³), the length of the lower dentition (Lm₁₋₃), the alveolar length of the first upper molar (Lm¹), the width of the first upper molar (Bm¹), upper diastema length (D1), lower diastema length (D2), minimum distance between the first upper molars (M¹⁻¹), the width of the skull in the area of the auditory bulla (Bcra), the height of the skull in the area of the auditory bulla (Hcra), the length of the incisor from the alveoli (Li), the width of the incisor in the lateral direction at the end of the tooth (Bi), vertical height of mandible (Vhm), total incisor width (Ti).

^b, abbreviation of SSDI: Sexual size dimorphism index. SSDI value: negative, male larger than female; positive, female larger than male.

3. 서식지 현황 및 서식지 예측 모델링

1) *Rattus* 속의 서식지 예측 모델링

가. 환경변수

환경변수 공간데이터는 *Rattus* 속 동물의 채집지 및 관찰지 개황과 서식지 이용 특성을 참고하여 제작하였다. 이 연구에서 *Rattus* 속 동물이 관찰되거나 채집된 지역은 도심지, 한라산 중산간, 도심 외곽지 등에서 확인되었으며, 토지이용적으로는 주거지, 상업지, 경작지, 하천변, 해안사구, 항구 또는 포구 등이었다. 또, *Rattus* 속 동물들은 인간의 생활공간 어디에서나 공존하는 종이므로(Kim *et al.*, 2013), 지형적으로는 고도(Fig. 6a), 사면향(Fig. 6b), 경사도(Fig. 6c), 음영기복도(Fig. 6d)와 식생적으로 임상도(Fig. 6e), 영급(Fig. 6f), 침엽수로부터의 거리(Fig. 6g), 활엽수로부터의 거리(Fig. 6h), 혼효림으로부터의 거리(Fig. 6i), 미립목지/비산림지로부터의 거리(Fig. 6j)를 설정하였으며, 하천적으로는 하천으로부터의 거리(Fig. 6k), 인위적 요인은 주거지로부터의 거리(Fig. 6l), 인공초지로부터의 거리(Fig. 6m), 내륙습지로부터의 거리(Fig. 6n), 상업지역으로부터의 거리(Fig. 6o), 교통지역으로부터의 거리(Fig. 6p), 토지피복도(Fig. 6q), 클린하우스로부터의 거리(Fig. 6r)를 환경변수로 설정하여 자료를 구축하였다.

분석 결과는 고도 0-1,926 m (Fig. 6a), 사면향은 제주시는 주로 북향을 이루고 있었으며, 서귀포시는 남동향, 남서향이 주를 이루고 있었다(Fig. 6b). 경사는 0-64.78°였으며(Fig. 6c), 음영기복도는 0-180 m (Fig. 6d)로 나타났다. 임상도는 임상이 없는 곳, 소나무림, 활엽수림, 경작지, 침활혼효림, 미립목지, 소나무 인공림, 리기다소나무림, 침엽수림(곰솔), 제지, 목장, 침엽수 인공림, 활엽수 인공림, 잣나무림, 수체가(Fig. 6e), 영급은 0영급, 1영급, 2영급, 3영급, 4영급, 5영급, 6영급, 7영급이 분포하였고, 8영급, 9영급은 분포하고 있지 않았다(Fig. 6f). 침엽수로부터의 거리는 약 0-2.6 km (Fig. 6g), 활엽수로부터의 거리 약 0-3.1 km (Fig. 6h), 혼효림으로부터의 거리 약 0-3 km (Fig. 6i), 미립목지/비산림지로부터의 거리 약 0-2.4 km

(Fig. 6j), 하천으로부터의 거리 약 0-3 km (Fig. 6k), 주거지로부터의 거리 약 0-3.1 km (Fig. 6l), 인공초지로부터의 거리 약 0-3 km (Fig. 6m), 내륙습지로부터의 거리 약 0-5.3 km (Fig. 6n), 상업지역으로부터의 거리 약 0-683 m (Fig. 6o), 교통지역으로부터의 거리 약 0-582 m (Fig. 6p)로 나타났으며, 토지피복도는 주거지역, 공업지역, 상업지역, 문화·체육·휴양시설, 교통지역, 공공시설지역, 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 기타재배지, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지, 내륙습지, 연안습지, 자연나지, 기타나지, 내륙수, 해양수가 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 6q). 클린하우스와의 거리는 약 0-808 m (Fig. 6r)로 나타났다.

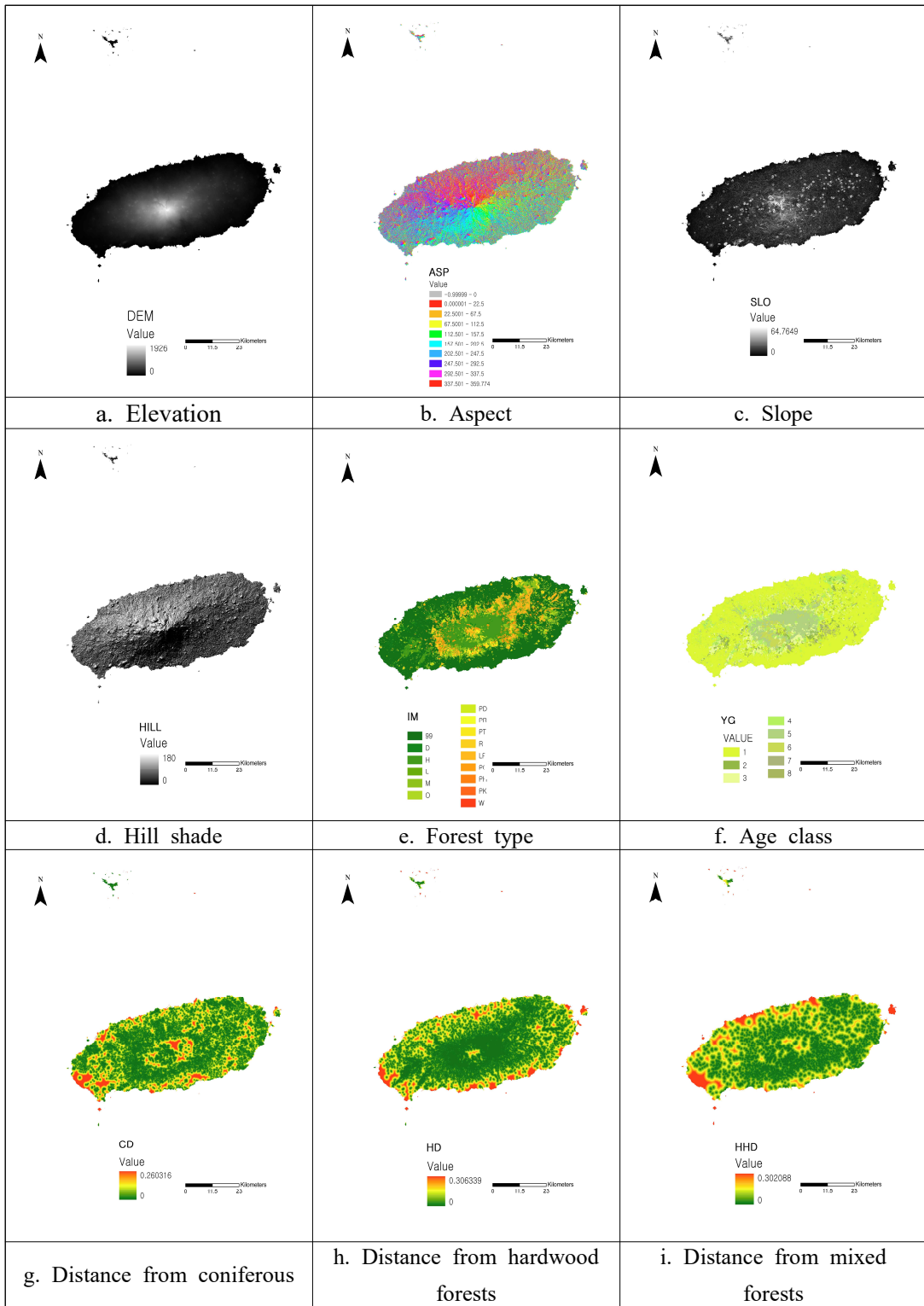


Fig. 6. Environmental variables used in Maxent analysis.

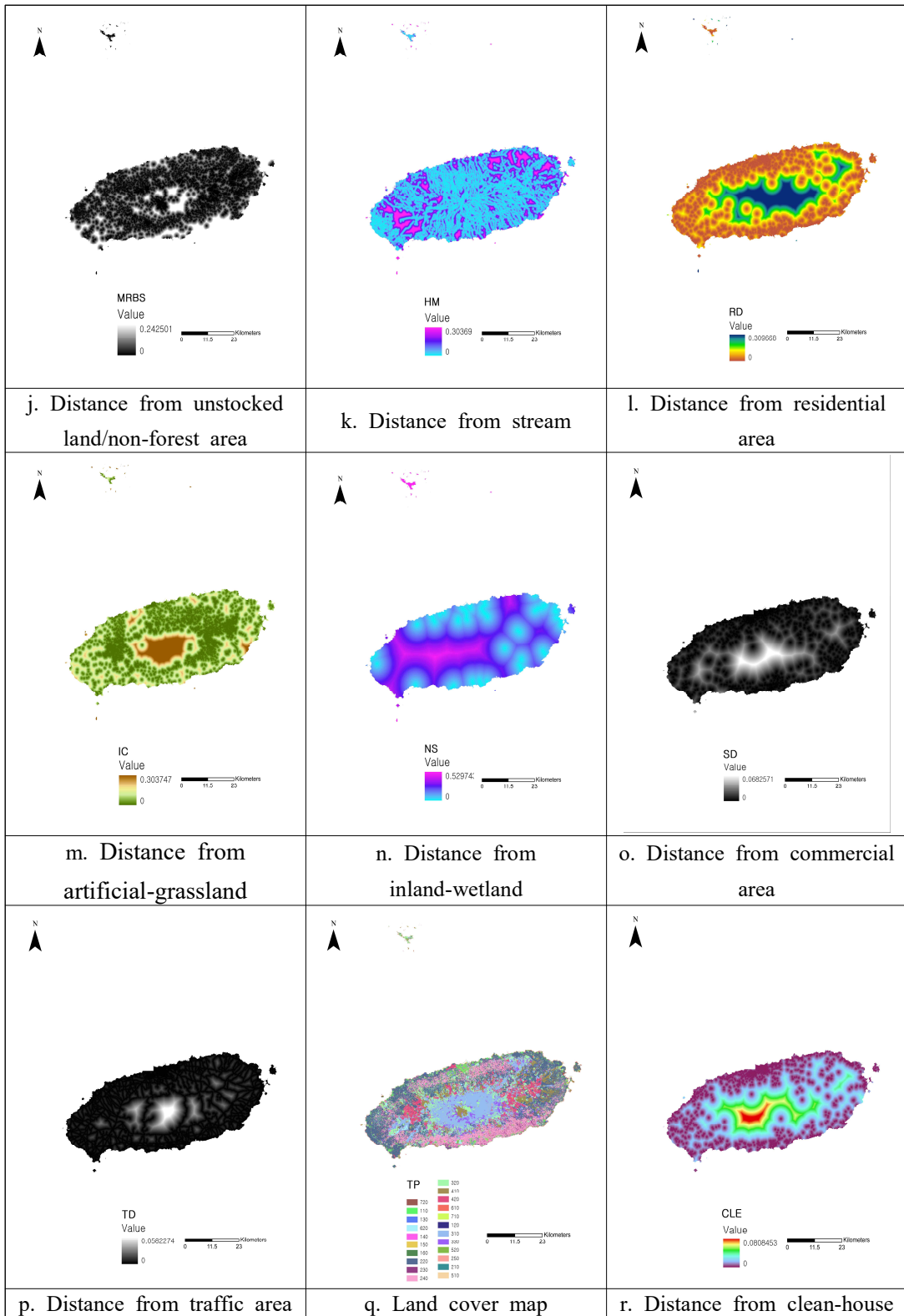


Fig. 6. Continued

나. Receiver operating characteristics (ROC) 곡선

Maxent 모델 결과의 신뢰도 분석은 receiver operating characteristics (ROC) 곡선 검증을 통해 이루어지며, ROC 곡선의 하부면적 값인 area under cover (AUC) 값으로 분석 결과의 정확성이 판단된다(Sung *et al.*, 2018). Thuiller (2003)에서는 AUC의 값이 0.7 이상일 때 서식지 예측에 대하여 의미가 있다고 판단하고 있다.

이 연구에서 도출된 ROC 곡선 검증에서 AUC 값은 0.924로 나타나 신뢰할 수 있다고 판단할 수 있다(Fig. 7).

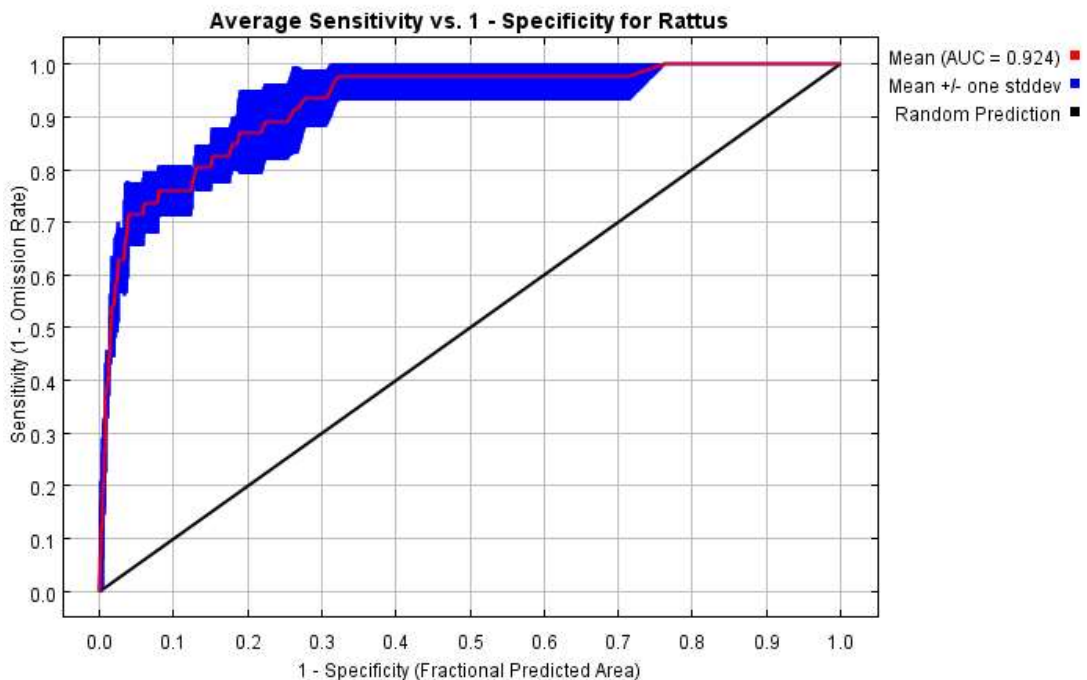


Fig. 7. ROC curve of genus *Rattus*. The AUC of the ROC curve was 0.924, which was higher than the reliability criterion of 0.7. Red line, receiver operating characteristics (ROC) curve; blue range, standard deviation; black line, random prediction. AUC, area under cover.

다. 환경변수 기여 및 응답곡선

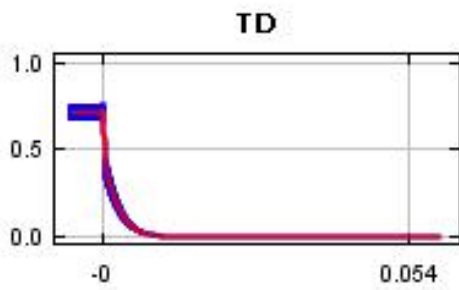
18개의 환경변수 중 서식지 예측에 영향을 미친 환경변수는 교통지역으로부터의 거리, 토지피복도, 임상도, 미립목지/비산림지로부터의 거리, 영급, 음영기복도, 인공초지로부터의 거리, 침엽수림으로부터의 거리, 내륙습지로부터의 거리, 활엽수로부터의 거리, 하천으로부터의 거리, 경사도, 고도, 상업지역으로부터의 거리, 혼효림으로부터의 거리, 사면향, 주거지로부터의 거리, 클린하우스로부터의 거리 등 18 가지 모두 영향을 미쳤으며, 기여순서 및 기여도는 교통지역으로부터의 거리 (23.1%), 토지피복도(14.4%), 임상도(13.4%), 클린하우스로부터의 거리(8.9%), 미립목지/비산림지로부터의 거리(6.7%), 영급(6.6%), 음영기복도(5%), 침엽수로부터의 거리 (4.3%), 내륙습지로부터의 거리(3.6%), 경사도(3.4%), 인공초지로부터의 거리(3.4%), 하천으로부터의 거리(3%), 혼효림으로부터의 거리(1.1%), 사면향(0.9%), 고도(0.8%), 활엽수로부터의 거리(0.8%), 상업지역으로부터의 거리(0.4%), 주거지로부터의 거리 (0.1%) 순으로 분석되었다(Table 7). 이는 *Rattus* 속 동물들은 대부분의 도시지역에 널리 분포하며, 농장, 경작지, 재배지 등에서 주로 발견되었다는 선행연구결과와 유사한 결과로 나타났다(Guisan and Thuiller, 2005; Htwe *et al.*, 2012; Feng and Himsworth, 2014). *Rattus* 속 동물들의 서식할 확률이 높은 곳을 환경변수를 통해 살펴보면 교통지역으로부터의 거리에서 가까울수록 서식확률이 높을 것으로 예측되었는데, 이는 *Rattus* 속 동물은 주로 인간이 이용하는 운송수단에 의해 다른 지역으로 이동되는 특징을 가져 나타난 결과로 판단된다(Moors *et al.*, 1992; Nagorsen, 2005; Feng and Himsworth, 2014; Ringani *et al.*, 2022). 또한, 기타재배지, 클린하우스로부터의 거리, 내륙습지로부터의 거리에서는 가까울수록 서식확률이 높게 나왔다. *Rattus* 속 동물은 습윤한 지역을 선호하며, 곡물, 재배작물, 음식물 쓰레기 등을 주로 섭식하는 종들이므로 나타난 결과로 판단된다(Glass *et al.*, 1988; Yoon *et al.*, 2004; Traweger and Slotta-Bachmyr, 2005; Feng and Himsworth, 2014).

환경변수에 따른 응답곡선은 각각의 변수에 따른 Maxent 모형과의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 이 연구에서 기여도가 높은 환경변수 순으로 살펴보면, 교통지역으로부터의 거리는 서식확률이 0 m에서 가장 높았으며, 약 150 m에서 확률이 0으로 일정해지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8a). 토지피복도는 20 (기타재배지)에

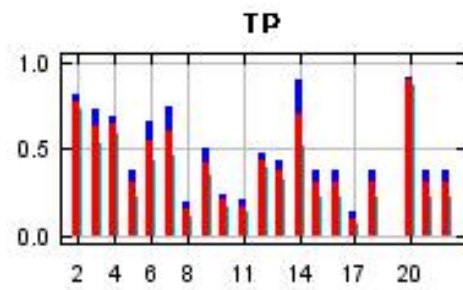
서 서식확률이 가장 높게 나타났고(Fig. 8b), 임상도에서는 4 (경작지)에서 가장 높게 나타났다(Fig. 8c). 클린하우스로부터의 거리는 0 m에서 가장 높으며, 멀어질수록 확률이 낮아지는 것으로 나타났으며(Fig. 8d), 미립목지/비산림지로부터의 거리는 약 30 m부터 서식확률이 증가하여 약 370 m에서 일정해지는 것으로 나타났다(Fig. 8e). 영급은 1 (0영급)에서(Fig. 8f), 음영기복도는 약 180 m에서(Fig. 8g) 서식확률이 가장 높았으며, 침엽수로부터의 거리는 0-50 m (Fig. 8h), 내륙습지로부터의 거리는 약 10 m에서 가장 서식확률이 높았다(Fig. 8i). 경사도 약 4-5° (Fig. 8j), 인공초지로부터의 거리는 0 m에서 서식확률이 가장 높은 것을 확인하였다(Fig. 8k). 하천으로부터의 거리 0 m (Fig. 8l), 혼효림으로부터의 거리 약 640 m (Fig. 8m), 사면향은 북향(0-22.5)에서(Fig. 8n), 고도 0 m (Fig. 8o), 활엽수로부터의 거리 약 320 m (Fig. 8p)에서 서식확률이 가장 높게 나타났다. 상업지역으로부터의 거리 0 m (Fig. 8q), 주거지로부터의 거리 약 0 m (Fig. 8r)에서 서식확률이 높은 것으로 분석되었다. 이 결과를 분석하면, 활엽수로부터의 거리, 침엽수로부터의 거리, 혼효림으로부터의 거리, 미립목지/비산림지로부터의 거리 등 임상과 관련된 환경변수에서는 대부분 멀어질수록 서식확률이 높았고, 상업지역으로부터의 거리, 주거지로부터의 거리, 인공초지로부터의 거리 등 인간의 생활권과 연관이 있는 환경변수에서는 가까울수록 서식확률이 높은 것으로 나타났는데, 이는 임상이 존재하는 삼림보다 인간의 활동 범위 내에 있는 지역을 선호하는 것으로 판단된다(Yahner, 2001; Aplin *et al.*, 2003).

Table 7. Contribution of environmental variable

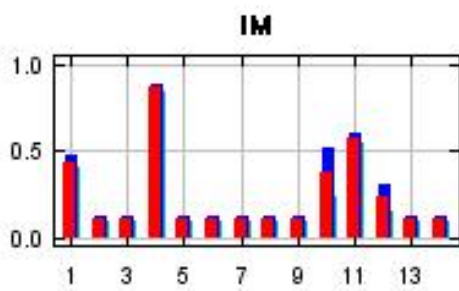
| Contribution order | Variable | Percent contribution |
|--------------------|---|----------------------|
| 1 | Distance from traffic area | 23.1 |
| 2 | Land cover map | 14.4 |
| 3 | Stock map | 13.4 |
| 4 | Distance from clean-house | 8.9 |
| 5 | Distance from unstoced land/non-forest area | 6.7 |
| 6 | Age class | 6.6 |
| 7 | Hill shade | 5 |
| 8 | Distance from coniferous forest | 4.3 |
| 9 | Distance from inland-wetland | 3.6 |
| 10 | Slope | 3.4 |
| 11 | Distance from artificial-grassland | 3.4 |
| 12 | Distance from stream | 3 |
| 13 | Distance from mixed forest | 1.1 |
| 14 | Aspect | 0.9 |
| 15 | Elevation | 0.8 |
| 16 | Distance from hardwood forest | 0.8 |
| 17 | Distance from commercial area | 0.4 |
| 18 | Distance from residential area | 0.1 |



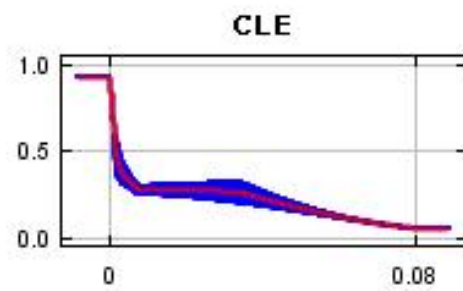
a. Distance from traffic area.



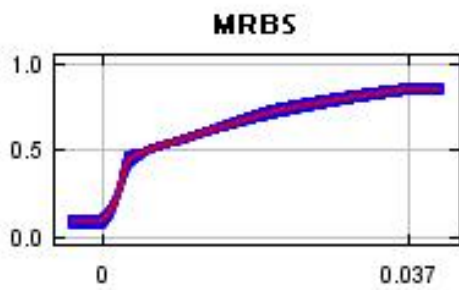
b. Land cover map.



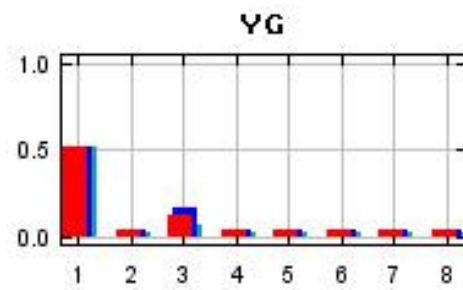
c. Stock map.



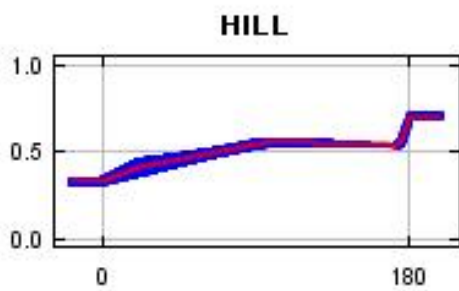
d. Distance from clean-house.



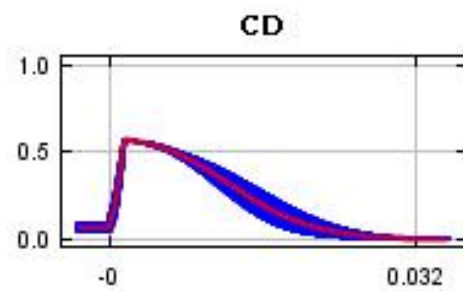
e. Distance from unstocked land/non-forest area.



f. Age class

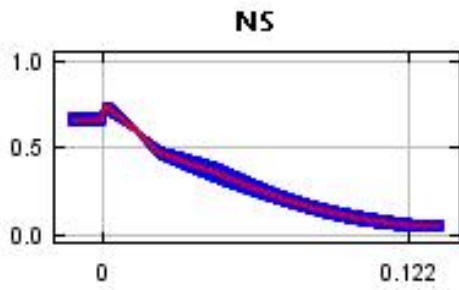


g. Hill shade

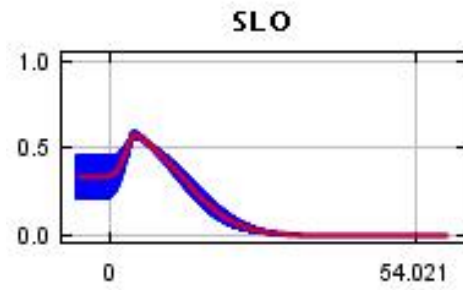


h. Distance from coniferous forest.

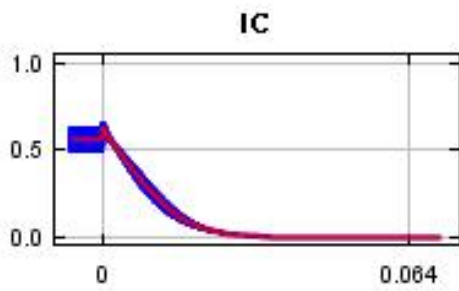
Fig. 8. Correlation between environmental variables and Maxent analysis.



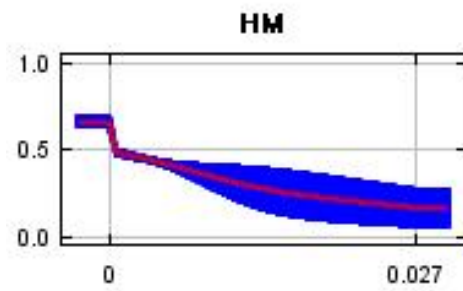
i. Distance from inland-wetland.



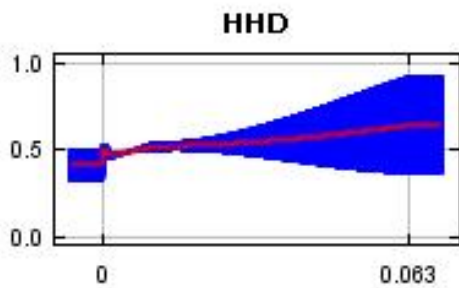
j. Slope.



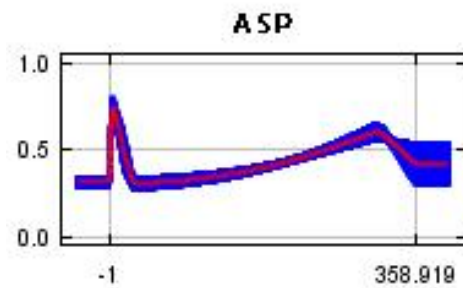
k. Distance from artificial-grassland.



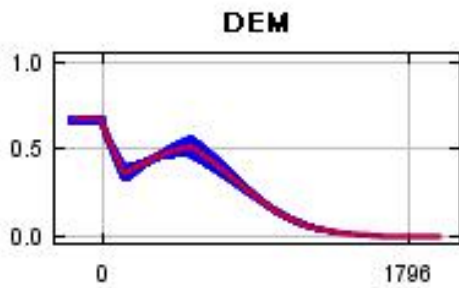
l. Distance from stream.



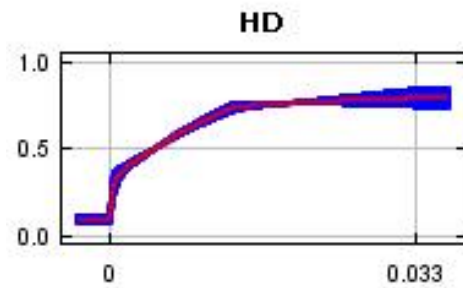
m. Distance from mixed forest.



n. Aspect.

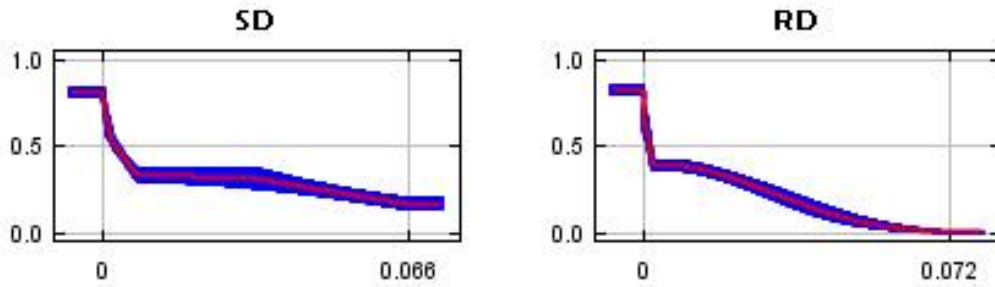


o. Elevation



p. Distance from hard wood forest.

Fig. 8. Continued.



q. Distance from commercial area.

r. Distance from residential area.

Fig. 8. Continued.

라. *Rattus* 속의 서식지 예측도

Rattus 속의 서식지 예측도는 Maxent program에 의해 도출되었으며, 제주도에서 확인된 *Rattus* 속 동물들의 관찰 좌표를 이용하여 제주도 내 서식지를 예측하였다. 1:25,000 축척의 임상도에는 추자도가 포함되지 않아 환경변수의 임상, 영급 공간 데이터가 제한되어 분석이 이루어지지 않았으나 제주도 본도의 서식지 예측에 있어 큰 영향을 미치지 않아 이를 감안하여 분석하였다(Fig. 6e, f). 서식지 예측도는 maximum (Fig. 9a), median (Fig. 9b), minimum (Fig. 9c), average (Fig. 9d)의 결과가 도출되었으며, *Rattus* 속의 서식지로 예측된 장소는 제주시 시내, 서귀포 시내에 주로 분포하였다.

이 연구는 *Rattus* 속 동물의 출현좌표를 이용하여 제주도 내 출현지역을 예측하고자 수행되었다. Maxent 분석 결과인 서식지 예측도에서 예측된 지역은 행정구역상 제주시 동 지역, 애월읍, 한림읍, 조천읍, 서귀포시 동 지역, 대정읍, 성산읍, 남원읍, 표선면에서 서식확률이 높은 것으로 확인되었고, 토지이용적으로는 도로, 주거지, 상업지, 농경지, 골프장, 방목장, 묘지, 공원, 항구 등에서 서식확률이 높은 것으로 분석되었다. 서식지 예측에서 확률이 높게 나온 지역과 토지는 인간의 활동 범위와 매우 밀접한 공간이다. 이는 선행연구에서 *Rattus* 속의 종들은 인간이 자신들의 개체수를 유지하도록 요구하는 것처럼 보여, 해가 되는 동물로 제안한

바 있으며(Aplin *et al.*, 2003), 주거지역, 농업지역, 상업지역 등 인간과의 관계가 매우 밀접한 것을 보여주는 결과로 해석할 수 있다(Meerburg *et al.*, 2009; Arai *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013).

이 연구에서 채집되거나 관찰된 *Rattus* 속 동물의 서식지를 분석하였을 때, 내륙 지역과 항만 및 포구 등 두 가지 유형으로 나뉜 것을 확인할 수 있었으며, 이에 관한 관리방안을 제시하고자 한다.

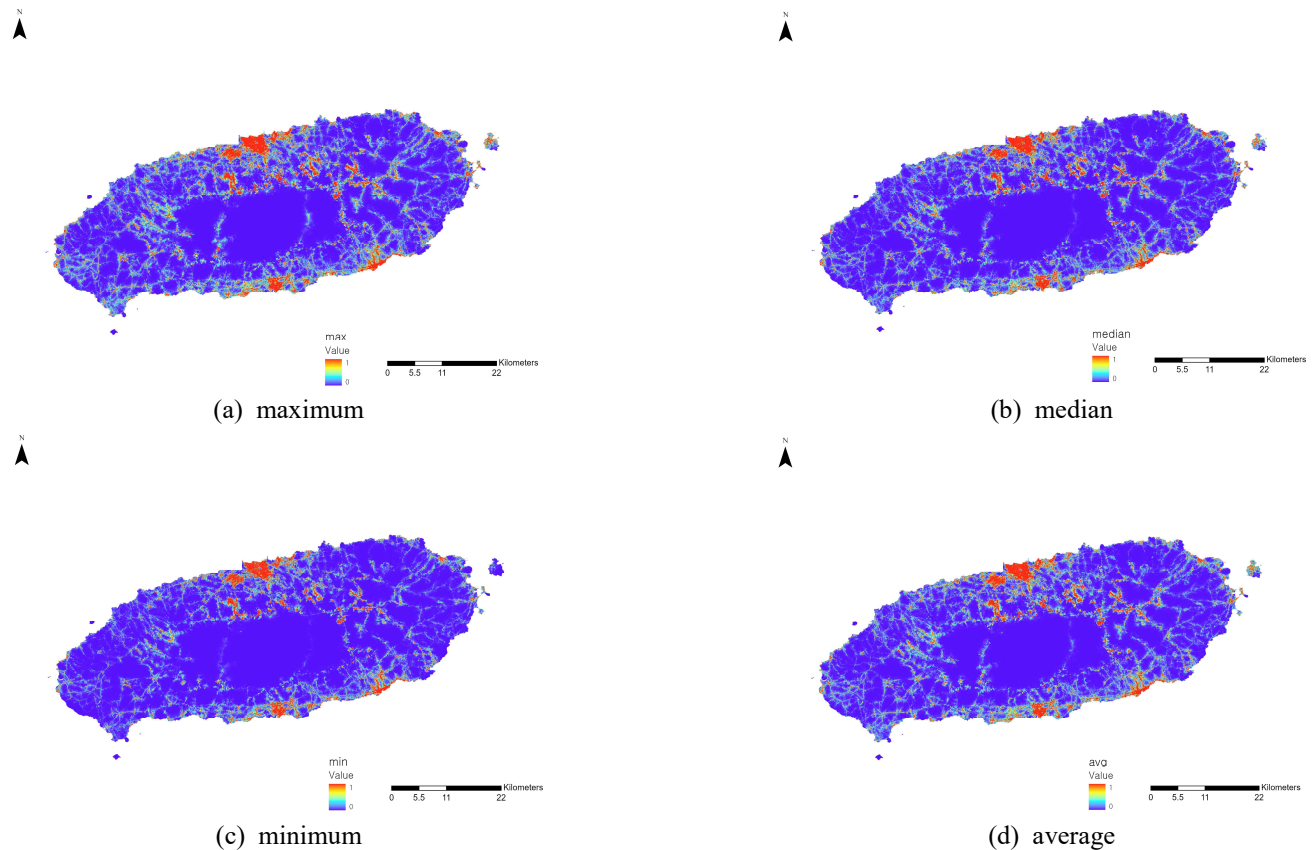


Fig. 9. Habitat prediction for genus *Rattus* based on the collection and observation records in Jeju-do. Areas with a high probability of being a habitat primarily included urban, villages, ports, and ranches. The blue areas are areas with a low habitat probability, and the red areas have a high habitat probability.

4. 제주지역에 서식하는 *Rattus* 속의 관리

침입종은 전 세계적으로 섬 생물다양성에 대한 주요 위협요인이며, 섬 생태에서의 생물다양성에 있어 멸종위기생물과 연관된 가장 큰 위협이다(Whittaker, 1998; Glen *et al.*, 2013; Hong, 2014; Pichlmueleer *et al.*, 2020). 또한, 섬의 침입종은 농업 경제, 건강 및 문화 전반에 걸쳐 대륙보다 강한 영향을 미친다(Russell *et al.*, 2017). 섬은 독특한 생물다양성을 보유하고 있는 생태계로 섬과 주변 연안에는 그 지역의 고유종 및 희귀생물이 많이 서식하고 있다(Hong, 2014). 고유종은 개체군 내 유전적 다양성이 낮은 특성을 가지고 있어 교배가 가능한 생물종의 이입은 교잡을 형성하게 되며, 외래의 병원체와 기생충 침입 등으로 인해 생물이 절멸하는 상황도 발생할 수 있다(Jeju Regional Environmental Technology Development Center, 2006). 따라서, 도서지역의 외래종 이입과 침입 및 확산에 대하여 섬 생태계에 미치는 영향은 점차 증가할 것으로 예상되므로, 도서지역에서의 외래종의 이입, 침입, 확산, 이입에 따른 영향 등 외래종에 관한 모든 지표의 지속적인 수집으로 관리가 이루어져야 한다(Russell *et al.*, 2017).

2002년 유네스코(United nations education scientific cultural organization, UNESCO)의 생물권보전지역(Biosphere reserve)으로 지정된 제주도는 다양한 생물종이 서식하는 도서지역으로 외래생물의 이입은 여러 환경변화를 일으킬 수 있고, 이러한 변화는 외부 위협에 취약한 고유종의 멸종위기를 초래할 가능성이 높다(Vitousek, 1988; Bellard *et al.*, 2016; Park, 2021). 따라서, 외래종의 영향이 큰 도서 지역 등에서는 즉각적인 관리계획을 수립하여 시행하는 등의 적극적인 대응 방안 마련이 필요하다(Lee *et al.*, 2016).

이 연구에서 채집되거나 관찰된 종은 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi* 2종이다. *R. norvegicus*의 경우 Kuroda (1934)에 의해 제주도에 처음 기록되었으며, Oh and Park (1994)은 제주도의 포유류 동물목록에 기재하였다(Jejudo and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, 2006b). 그 후, Ministry of Environment (2011)이 생태계위해우려외래생물등급을 제안하였고, 현재 생태계위해우려외래생물 등급으로 지정하여 관리되고 있다(National Institute of Ecology, 2020). *R. tanezumi*

의 경우 동물상 연구가 활발히 이루어진 1990년대 제주도에서 확인되지 않다가, Kim *et al.* (2013)에 처음 보고된 종으로, 한정적인 장소에서만 서식이 파악되어 이 연구에서는 도입종으로 추측하였다. 하지만, 도입종의 여부에 대해서는 추후 연구가 더 이루어져야 할 것이다. 새로운 지역에서 외래종의 확장은 이주 후 정착 (establishment), 확장(expansion), 포화(saturation) 단계를 거쳐 정착하게 된다 (Shigesada and Kawasaki, 1994; Kim and Oh, 2017). 외래생물은 이입을 막는 것이 가장 효과적이나, 이입되어 번식이 이루어진 후에는 근절이 거의 불가능하여 이입된 초기 단계에서 조절하는 것이 외래종의 관리에 가장 효과적이다(Rejmannek and Pitcairn, 2002; Russell *et al.*, 2017). 따라서, 제주지역에 이입되어 서식하는 외래 설치류 및 외래종의 효과적인 관리를 위한 방안을 제시하고자 한다.

1) 도입단계로 추정되는 *R. tanezumi*

외래종은 이주 후에 기후, 토착종과의 경쟁 등 새로운 환경에 정착하지 못하는 경우가 대부분이다(Lockwood *et al.*, 2008). 하지만, 이를 이겨내고 정착단계의 초기에 들어설 경우 확산되기 전 박멸 또는 통제가 가능할 수도 있는 단계로 판단되며 (Poland *et al.*, 2021), 확산 전 통제를 위해 박멸이 진행되어야 한다. 설치류의 박멸은 덫 설치, 헬리콥터를 이용한 공중살포가 효과적인 방법으로 알려져 있다(Towns and Broome, 2003; Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center, 2021). 박멸 사례는 주로 주변 다른 동물의 번식, 행동 등 생활사를 고려한 혈액응고제를 먹이와 함께 설치하는 방법이 알려져 있다(Taylor and Thomas, 1989; Taylor *et al.*, 2000; Tompkins, 2000; Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center, 2021). 하지만, 현재 제주도에서 확인된 *R. tanezumi*의 외래종에 대한 판별은 앞으로 더 많은 표본을 수집하고 유전자 분석 결과를 바탕으로 이입 경로 등의 추적이 필요하다. 따라서, 이입 단계로 추정되는 *R. tanezumi*의 경우에는 처음 발견된 지역에서의 집중적이고 지속적인 모니터링을 통해 개체수를 파악하고 지역 실정을 고려한 적절한 관리방안이 마련되어야 할 것이다.

2) 확산 단계인 *R. norvegicus*

섬에서의 외래생물의 수는 섬 면적 및 섬에 거주하는 인구의 규모와 직접적인 상관관계가 있다(Kueffer *et al.*, 2010; Blackburn *et al.*, 2016; Russell, 2017). 인구밀도가 높은 도시지역은 외래생물의 교통중심지(즉, 애완, 관상용 등의 외래생물의 거래, 운송수단의 다양함 등)로, 외래생물의 출입이 활발하게 이루어지는 지역이다(Carrete and Tella, 2008; Hulme, 2015; Russell *et al.*, 2017). 외래종이 도입되어 박멸 또는 봉쇄가 가능한 한도를 넘어 확산되면 장기적인 관리가 필요하게 되며, 다른 지역으로의 확산을 방지하는 것이 중요하다(Poland *et al.*, 2021). 효과적인 외래종의 관리는 생태계, 경관 및 산림 관리의 목표에 따라 달라지는데, 세계적으로 무역이 활발해짐에 따라 잠재적 외래종의 수가 계속 증가할 가능성이 있으므로(Chornesky *et al.*, 2005), 현재 관리하려고 하는 침입종에 대하여 교란에 대응할 수 있는 생태계 용량이 매우 중요하다(Beisner *et al.*, 2003). 침입종의 관리는 확산을 최소화하고 침입자에 의해 입는 악영향을 해결하기 위해 사용되는 모든 활동을 의미하며, 이러한 의미의 활동은 침입종의 예방, 조사, 식별, 모니터링, 자료수집, 근절, 통제와 영향을 받은 토지 복구, 그리고 일반인과 전문가를 상대로 한 기술 홍보 및 교육 활동 제공 등 3가지로 나뉜다(Poland *et al.*, 2021).

우리나라는 1950년대부터 1970년대까지 쥐잡기운동이 펼쳐진 바 있으며, 1970년대에는 각종 질병, 식량문제 등으로 인하여 정부주관 하에 대대적인 쥐잡기운동이 이루어진 바 있다(Kim, 2018). 이와 같은 쥐잡기운동은 성공적으로 진행되어 쥐의 개체수가 안정된 바 있으나, 1990년대에 들어 쥐잡기운동은 더 이상 진행되지 않아(National Archives of Korea, <https://www.archives.go.kr>), 현재 주거지 및 상업지역에서 쥐가 다시 발견되고 있다. 그러나 현재 인터넷 매체 등 언론이 발달하면서, 설치류가 비위생적이며, 인수공통감염병의 매개체가 된다는 인식을 지니고 있어 앞서 진행한 전국적인 쥐잡기운동을 실행하기에는 큰 어려움이 따를 것으로 판단된다. 하지만, 제주도는 공간이 한정적인 섬이라는 환경의 특성을 이용하여, 구역을 나눠 전문가를 활용한 모니터링과 자료수집을 통해 *R. norvegicus*의 개체수 추정, 확산 추이 등을 분석하고, 이러한 자료를 축적하여 개체군이 포화단계로 진행되기 전에 통제가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3) 항만 및 포구에서의 외래종 이입

이 연구에서 *Rattus* 속이 확인된 지역은 도심지뿐만 아니라 배가 드나드는 포구에서 확인된 지역은 제주항, 구업포구, 신촌포구, 서귀포항, 용수포구에서 확인되었다. 하지만, 구업포구, 신촌포구, 용수포구는 주로 그 지역에서 어업형태로 운영하는 배가 출입하는 곳으로 이러한 마을단위의 항구에서 이입되는 외래생물은 드물 것으로 판단된다. 하지만, 제주항과 서귀포항은 외부와의 교류가 활발한 항구로 외부로부터 이입되는 외래종의 출입구로 알맞은 장소로 판단된다.

Rattus 속 동물 중 현재 우리나라에 서식하는 종들은 모두 인간의 선박기술 등이 발전하면서 전 세계적으로 퍼진 종이다(Nagorsen, 2005; Bonnefoy *et al.*, 2008; Feng and Himsforth, 2014). 따라서, 외래종의 추가 이입을 막기 위해서는 항구에서의 관리가 필요하며, 항구에서의 관리는 외래종의 Biosecurity 및 감시를 통해 섬으로의 추가 이입을 막는 것이 우선시되어야 한다(Hauser and McCarthy, 2009; Route *et al.*, 2011). Biosecurity의 계획은 일반적으로 검역, 감시, 대응조치로 분류되며, 검역은 출발지점에서, 운송 중에, 섬에 도착 후에 이루어지고, 감시는 운송 중과 섬에 도착 후 외래종의 유무를 탐색하는 방식으로 운용된다(Russell *et al.*, 2017). 이러한 Biosecurity는 일반적으로 외부와의 접촉이 이루어지는 곳은 진입지점이 정해져 있어 적용하기 비교적 쉬우며, 정책 및 정부적 차원의 적절한 고려가 이루어진다면 성공적인 Biosecurity가 될 수 있다(Cook *et al.*, 2010; Heikkilä, 2011; Richardson, 2011). 따라서, *Rattus* 속의 추가 이입을 막기 위하여 출입구가 될 수 있는 항만 및 포구에서 질병에 관한 감시체계와 함께 외래종의 이입에 대한 감시체계를 보다 강화하여야 할 것이며, 그에 따른 전문가의 집회의 포획 및 관찰에 관한 상시 모니터링이 필요하다 하겠다.

자연환경으로 확산된 외래종은 생물학적 오염(biological pollution)을 일으킬 수 있다(Howarth, 1983). *Rattus* 속 동물은 자연생태계에 이입될 경우 인수공통전염병의 매개체로서(Kim, 1996) 제주도 자연에 서식하는 설치류에 영향을 줄 수 있다. 침입에 대한 방어기작이 약한 고립된 섬의 동물과 식물들은 침입종과의 경쟁에서 불리한 위치에 있다(Howarth and Ramsay, 1991). 제주도의 사례를 보면, 제주도에 속한 무인도서인 사수도는 습새 *Calonectris leucomelas*의 국내 최대 번식지이나,

2006년에 *R. norvegicus*의 이입으로 인해 알과 새끼를 포식하여 번식성공률이 매우 낮아진 것이 보고되었다(Nam *et al.*, 2014; Jeju-si, 2016; Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center, 2021). 또한, 설치류는 경쟁에서 크기가 중요한 역할을 하는데(Nowak and Walker, 1991; Nagorsen, 2005; Feng and Himsworth, 2014), 이 연구에서 자연생태에서 관찰된 *Rattus* 속 동물과 서식지가 겹치는 제주도 자연에 서식하는 설치류들의 몸집 크기를 비교하면 비단털쥐를 제외한 제주등줄쥐, 멧밭쥐는 몸무게, 머리-몸통 길이, 꼬리 길이, 귀 길이, 뒷발 길이에서 모두 큰 경향을 나타내므로(Won, 1967; Yoon *et al.*, 2004; Han *et al.*, 2015), 서식영역을 침범하여 영향을 끼칠 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 자연환경으로 확장된 *Rattus* 속의 개체군은 확장되기 전, *Rattus* 속 동물이 확인된 자연환경 지역을 중심으로 철저한 관리가 필요하다. 자연환경 지역으로 확산된 종의 관리는 확산을 최소화해야하므로, 자료수집, 통제, 일반인 및 전문가를 상대로한 기술 홍보 및 교육을 통해 관리되어야 하며, 이와 관련된 지식이 풍부한 전문가를 통하여 상시 모니터링 및 포획을 진행하여야 할 것이다.

IV. 종합고찰

제주도에 이입된 외래종 *Rattus* 속 2종 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 형태학적 분류와 *Rattus* 속의 서식지 특성을 밝히기 위하여 *R. tanezumi*의 성적 크기이형, *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 외부형태 및 두개골 차이, Maxent 분석으로 서식지 예측에 대한 연구를 수행하였다.

*R. tanezumi*와 *R. norvegicus* 시료 및 자료는 2005년 4월부터 2018년 12월까지 제주대학교 동물학실험실에 보관된 자료 및 표본을 이용하였고, 2019년 1월부터 2022년 6월까지 이 연구에서 시행된 제주도 내 *Rattus* 속이 서식할 것으로 예상되는 장소에 트랩을 설치하여 포획하거나 관찰된 개체를 대상으로 하였다. *R. norvegicus*는 축사, 항구, 시내, 과수원, 쓰레기 매립장, 마을 등 전 지역에서 채집되었고, 고도는 약 0-360 m 범위에서 확인되었다. *R. tanezumi*는 돈사 및 돈사 근처 도로에서 채집 및 관찰되었다.

우리나라에서 *R. tanezumi*는 처음 *R. rattus*로 기록된 후 관용적으로 *R. rattus*로 쓰여온 것으로 추정된다. 하지만, Kim *et al.* (2013)과 Lee *et al.* (2014)에서 유전적 검토, 문헌 검토를 통해 *R. rattus*의 *R. tanezumi* 정정을 주장한 바와 같이 이 연구에서도 *R. rattus*를 *R. tanezumi*로 정정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

*R. tanezumi*의 암컷과 수컷의 외부형태 및 두개골 형질을 비교하고 분석한 결과, BW를 제외한 HBL, TL, EL, HFL에서 암컷보다 수컷이 더 크게 나타났으며, 성적 크기차이 지수를 계산한 결과도 동일하게 나타났지만, 통계적 유의성은 나타나지 않았다($p>0.05$). 두개골 형질에서도 총 23가지 형질 중 $Lm_{1,3}$ 을 제외한 22가지 형질에서 모두 음의 값을 나타내 수컷에서 더 큰 경향이 나타나는 성적 크기이형을 확인하였다. 그 중 7가지 형질에서는 유의적인 차이가 나타났다($p<0.05$). 성적 크기이형이 나타나는 것은 성선택, 운동능력, 균형감각 향상, 식이 및 환경적 압력의 제약 등으로 인하여 나타난 결과로 판단된다.

*R. tanezumi*와 *R. norvegicus* 두 종간 외부형태와 두개골 형질을 비교하였을 때, 외부형태 형질에서는 수치상으로 모두 *R. tanezumi*가 *R. norvegicus*보다 더 큰 결과

를 나타냈지만, 통계적 유의성은 TL과 EL에서만 나타났($p < 0.05$). 두개골 형질에서는 23가지 형질 중 Lfi, Bfi, Lm^{1-3} , Bm, Bcra, Hcra, Li 등 7가지 형질은 *R. tanezumi*가 크게 나타났으나, 나머지 16가지 형질에서는 *R. norvegicus*가 더 크게 나타났으며, 통계적 유의성은 $Lm_{1,3}$, Lm^1 , BM^1 , D1, Bcra, Bi, Ti 등 7가지 형질에서 나타났($p < 0.05$). 이 연구는 7가지 형질에서의 통계적 유의성이 나타나 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 분류에 있어 의미를 가질 수 있으며, 향후 지속적인 자료축적 후 분석이 이루어지면 *Rattus* 속 동물의 외부형태와 두개골 형질의 차이를 보여주는 자료로서 더 큰 가치를 지닐 것으로 판단된다.

Maxent 분석에는 환경변수가 필요하다. 따라서, *R. tanezumi*의 서식 특성에 따른 환경변수를 설정하였으며, 설정한 환경변수는 고도, 경사도, 사면향, 음영기복도, 임상도, 영급, 침엽수로부터의 거리, 활엽수로부터의 거리, 혼효림으로부터의 거리, 미립목지/비산림으로부터의 거리, 하천으로부터의 거리, 주거지로부터의 거리, 인공초지로부터의 거리, 내륙습지로부터의 거리, 교통지역으로부터의 거리, 상업지역으로부터의 거리, 클린하우스로부터의 거리로 총 18가지를 설정하였다. 이 연구에서 *Rattus* 속은 주로 도심지에서 채집되거나 관찰되었으며, 주거지로부터의 거리, 상업지역으로부터의 거리, 클린하우스로부터의 거리 등 인간생활과 매우 밀접한 연관이 있는 환경변수를 설정하여 제작 및 분석하였다.

Maxent 분석의 신뢰도인 AUC 값은 0.924로 분석되어 신뢰할 수 있는 자료로 판단되며, 서식지 예측에 기여한 환경변수는 18가지 모두 기여하였다. 기여도 순서는 교통지역으로부터의 거리, 토지피복도, 임상도, 클린하우스로부터의 거리, 미립목지/비산림으로부터의 거리, 영급, 음영기복도, 침엽수로부터의 거리, 내륙습지로부터의 거리, 경사도, 인공초지로부터의 거리, 하천으로부터의 거리, 혼효림으로부터의 거리, 사면향, 고도, 활엽수로부터의 거리, 상업지역으로부터의 거리, 주거지로부터의 거리로 분석되었다. *Rattus* 속 동물들은 인간이 운용하는 운송수단에 의해 다른 지역으로 이동되며, 습윤한 지역 선호, 곡물, 재배작물, 음식물 쓰레기 등을 주로 섭식하는 종이므로 기여도의 순서가 위와 같이 도출된 것으로 판단된다.

서식지 예측도에서 서식지로서 적합하게 예측된 지역의 토지이용을 살펴보면, 도로, 주거지, 상업지, 농경지, 골프장, 방목장, 묘지, 공원, 항구 등에서 서식확률이 높을 것으로 예측되었다. 이 지역은 인간의 활동 범위와 매우 밀접한 공간이므로

Rattus 속의 서식은 인간과의 관계가 매우 밀접한 것을 보여주는 결과로 해석할 수 있겠다.

우리나라에서는 1950년대부터 1970년대까지 쥐잡기운동이 성공적으로 펼쳐진 바 있으나, 현재는 주거지 및 상업지역에 다시 설치류가 확인되고 있는 실정이다. 제주도는 구역이 한정적인 섬이라는 환경의 특성을 이용하여 구역을 나눠 전문가를 통한 개체수 추정, 확산 추이 등을 분석하고 축적하여 개체군이 포화단계로 진행되기 전 통제가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Rattus 속 동물 중 현재 우리나라에 서식하는 종들은 모두 인간의 선박기술 등이 발전하면서 전 세계적으로 퍼진 종이다. 따라서, 외래종의 추가 이입을 막기 위해서는 항구에서 관리가 필요하며, 항구에서의 관리는 외래종의 Biosecurity 및 감시를 통해 섬으로의 추가 이입을 막는 것이 우선시 되어야 할 것이다. 따라서, *Rattus* 속의 추가 이입을 막기 위하여 출입구가 될 수 있는 항만 및 포구에서 질병에 관한 감시체계와 함께 외래종의 이입에 대한 감시체계를 보다 강화하여야 할 것이며, 그에 따른 전문가의 집취 포획 및 관찰에 관한 상시 모니터링이 필요하다 하겠다. 자연환경으로 확장된 외래종은 생물학적 오염을 일으킬 수 있으며, *Rattus* 속 동물은 자연생태계에 이입될 경우 인수공통전염병의 매개체로 제주도 자연환경에 서식하는 설치류에 영향을 줄 수 있고, 서식영역 침범으로 제주도 개체군에 위협을 가할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 자연환경으로 확장된 *Rattus* 속 개체군은 확장 전, *Rattus* 속 동물이 확인된 자연환경 지역을 중심으로 관리가 필요하다. 자연환경 지역으로 확산된 종의 관리는 확산을 최소화해야하므로, 자료수집, 통제, 일반인 및 전문가를 상대로한 기술 홍보 및 교육을 통해 관리되어야 하며, 이와 관련된 지식이 풍부한 전문가를 통하여 상시 모니터링 및 포획을 진행하여야 할 것이다.

제주도 내에 서식하는 *Rattus* 속의 형태학적 특성과 서식지 특성을 보다 명확하게 하기 위해서는 한반도 집단 등의 시료와의 비교가 더 필요하지만, 본 연구의 결과들은 제주도에 서식하는 외래 소형포유류의 관리자료로 이용될 수 있을 것이며, 이미 제주도에 이입되었거나 앞으로 이입될 외래 소형포유류의 형태학적 특성과 서식지 예측의 모델로써 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

V. 적요

이 연구는 제주도에서 채집된 *Rattus* 속 2종 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 형태학적 분류와 서식지 특성을 밝히기 위하여 *R. tanezumi*의 외부형태 및 두개골 형질에 대한 성적 크기이형, *R. tanezumi*와 *R. norvegicus*의 외부형태 및 두개골 형질의 차이, Maxent 분석을 통한 서식지 예측 연구를 수행하였다. *R. tanezumi*와 *R. norvegicus* 시료 및 자료는 제주도 내 *Rattus* 속이 서식할 것으로 예상되는 측사, 항구, 시내, 과수원, 쓰레기 매립장, 마을, 돈사 등에 트랩을 설치하여 포획하거나 관찰된 개체를 대상으로 하였다. 우리나라에서 *R. tanezumi*는 처음 *R. rattus*로 기록된 후 관용적으로 *R. rattus*로 쓰여온 것으로 추정된다. 하지만, 선행연구에서 형태학적, 유전적 검토, 문헌 검토를 통해 *R. rattus*의 *R. tanezumi* 정정을 주장한 바와 같이 이 연구에서도 *R. rattus*를 *R. tanezumi*로 정정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. *R. tanezumi*의 암컷과 수컷의 외부형태 및 두개골 형질은 BW를 제외한 HBL, TL, EL, HFL 4가지 형질에서 SSDI가 더 크게 나타났으나, 통계적 유의성은 나타나지 않았다($p>0.05$). 두개골 형질에서도 총 23가지 형질 중 Lm_{1-3} 을 제외한 22가지 형질이 수컷에서 더 큰 경향을 나타냈으며, 그 중 7가지 형질에서는 유의적인 차이가 나타났다($p<0.05$). 성적 크기이형이 나타나는 것은 성선택, 운동능력, 균형감각 향상, 식이 및 환경적 압력의 제약 등으로 인하여 나타난 결과로 판단된다. *R. tanezumi*와 *R. norvegicus* 두 종간 외부형태와 두개골 형질을 비교하였을 때, 외부형태 형질에서는 *R. tanezumi*가 *R. norvegicus*보다 더 큰 결과를 나타냈으며, 통계적 유의성은 TL과 EL에서 나타났다($p<0.05$). 두개골 형질에서는 23가지 형질 중 7가지 형질은 *R. tanezumi*가 크게 나타났으나, 나머지 16가지 형질에서는 *R. norvegicus*가 더 크게 나타났으며, 통계적 유의성은 7가지 형질에서 나타났다($p<0.05$). 이러한 결과는 *R. tanezumi*는 곡식, 견과류, 과일 등 딱딱한 음식을 선호하는 반면, *R. norvegicus*의 경우 잡식성으로 서로 선호하는 음식이 다른 식습관의 차이에 의해 나타난 결과로 판단된다. 이 연구는 7가지 형질에서의 통계적 유의성이 나타나 *R. norvegicus*와 *R. tanezumi*의 분류에 있어 의미를 가질 수 있을 것으로 판단된다. Maxent 분석의 신뢰도인 AUC 값은 0.924로 분석되어 신뢰할 수 있는 자료로 판단

되며, 서식지 예측에 기여한 환경변수는 18가지 모두 기여하였다. 기여도 순서 중 높게 나온 4가지 환경변수는 교통지역으로부터의 거리, 토지피복도, 임상도, 클린 하우스로부터의 거리 등으로 나타났는데, 이는 *Rattus* 속 동물들은 운송수단에 의해 다른 지역으로 이동되고, 지하창고, 하수구 등 습윤한 지역과 작물 등을 저장하는 곡물창고 등을 선호하고, 음식은 과일, 곡물, 음식물 쓰레기 등을 주로 섭식하여 나타난 결과로 판단된다. 서식지 예측도에서 서식지로서 적합하게 예측된 지역의 토지이용을 살펴보면, 도로, 주거지, 상업지, 농경지, 골프장, 방목장, 묘지, 공원, 항구 등에서 서식확률이 높을 것으로 예측되었다. 서식지 적합도와 환경변수 기여도를 살펴보았을 때 인간의 활동 범위와 매우 밀접한 공간과 환경변수가 나타나 *Rattus* 속의 서식은 인간과의 관계가 매우 밀접한 것을 보여주는 결과로 해석할 수 있겠다. *Rattus* 속 동물 중 현재 우리나라에 서식하는 종들은 모두 인간의 선박 기술 등이 발전하면서 전 세계적으로 퍼진 종이다. 따라서, 외래종의 추가 이입을 막기 위해서는 항구에서 관리가 필요하며, 항구에서의 관리는 외래종의 Biosecurity 및 감시를 통해 섬으로의 추가 이입을 막는 것이 우선시 되어야 할 것이다. 따라서, *Rattus* 속의 추가 이입을 막기 위하여 출입구가 될 수 있는 항만 및 포구에서 질병에 관한 감시체계와 함께 외래종의 이입에 대한 감시체계를 보다 강화하여야 할 것이다. 제주도는 구역이 한정적인 섬이라는 환경의 특성을 이용하여 구역을 나눠 전문가를 통한 개체수 추정, 확산 추이 등을 분석하고 축적하여 개체군이 포화단계로 진행되기 전 통제가 이루어져야 하므로 전문가의 집취 포획 및 관찰에 관한 상시 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 자연생태계에 이입될 경우 인수공통 전염병의 매개체로 자연환경에 서식하는 토종 설치류에 영향을 미칠 수 있고, 서식영역 침범으로 제주도 개체군에 위협을 가할 수 있을 것으로 사료되므로 자연환경으로 확장된 *Rattus* 속 개체군은 확장 전 *Rattus* 속 동물이 확인된 자연환경을 중심으로 전문가를 통한 상시 모니터링 및 포획 등의 관리가 필요할 것이다. 본 연구의 결과들은 제주도 내에 서식하는 *Rattus* 속 관리방안의 기초자료로 이용될 수 있을 것이며, 제주도에 이입되었거나 앞으로 이입될 외래 소형포유류의 형태학적 특성과 서식지 예측의 모델로써 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

VI. 참고문헌

- Abramov, A. V. 2005. On a taxonomic position of the weasel (Carnivora, Mustela) from the Cheju Island (South Korea). *Russian Journal of Theriology*, 4(2): 109-113.
- Adhikari, P. S. H. Han, Y. K. Kim, T. W. Kim, T. B. Thapa, N. Subedi, A. Kunwar, M. Banjade and H. S. Oh. 2018. New record of the Oriental house rat, *Rattus tanezumi*, in Nepal inferred from mitochondrial Cytochrome B gene sequences. *Mitochondrial DNA Part B: Resources*, 3(1): 386-390.
- Alamoundi, M. O., E. H. Abdel-Rahman and S. S. M. Hassan. 2021. Ontogenetic and sexual patterns in the cranial system of the brown rat (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) from Hai'l region, Kingdom of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28: 2466-2475.
- Aplin, K. P., T. Chesser and J. Ten Have. 2003. Evolutionary biology of the genus *Rattus*: profile of an archetypal rodent pest. In: ACIAR Technical Report 96: Rats, mice and people: rodent biology and management. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. pp. 497-498.
- Aplin, K., P. Brown, J. Jacob, C. Krebs and G. Singleton. 2003. Field methods for rodent studies in Asia and the Indo-Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. 60 pp.
- Arai, S., S. H. Gu, L. J. Back, K. Tabara, S. N. Bennett, H. S. Oh, N. Takada, H. J. Kang, K. Tanaka-Taya, S. Morikawa, N. Okabe, R. Yanagihara and J. W. Song. 2012. Divergent ancestral lineages of newfound hantaviruses harbored by phylogenetically related Crocidurine shrew species in Korea. *Virology*, 424(2): 99-105.
- Armitage P. L. 1993. Commensal rats in the New World, 1492-1992. *Biologist-Institute of Biology*, 40: 174.

- Banjade, M. 2021. Ecology and genetic identification of alien Cervid in Jeju Island, South Korea. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Jeju National University, Jeju. Korea. 124 pp.
- Banks, N. C., D. R. Paini, K. L. Bayliss and M. Hodda. 2015. The role of global trade and transport network topology in the human-mediated dispersal of alien species. *Ecology letters*, 18(2): 188-199.
- Bastos, A. D., D. Nair, P. J. Taylor, H. Brettschneider, F. Kirsten, E. Mostert, E. von Maltitz, J. M. Lamb, P. van Hooft, S. R. Belmain, G. Contrafatto, S. Downs and C. T. Chimimba. 2011. Genetic monitoring detects an overlooked cryptic species and reveals the diversity and distribution of three invasive *Rattus* congeners in South Africa. *BMC Genetics*, 12: 26.
- Beisner B. E., D. T. Haydon and K. Cuddington. 2003. Alternative stable states in ecology. *Frontiers in Ecology and the Environmet*, 1(7): 376-382.
- Bergmann, P. J., A. D. Melin and A. P. Russell. 2006. Differential segmental growth of the vertebral column of the rat (*Rattus norvegicus*). *Zoology*, 109: 54-65.
- Bonnefoy. X., H. Kampen and K. Sweeney. 2008. Public health significance of urban pests. World Health Organization, Copenhagen, Denmark. pp. 387-476.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45: 5-32.
- Breiman, L., J. H. Friedman, R. A. Olshen and C. J. Stone. 1984. Classification and regression trees. Chapman and Hall, New York, USA. 368 pp.
- Canals, M., R. Olivares, F. Labra and F. F. Novoa. 2000. Ontogenetic changes in the fractal geometry of the bronchial tree in *Rattus norvegicus*. *Biological Research*, 33(1): 31-35.
- Carrete, M. and J. Tella. 2008. Wild-bird trade and exotic invasions: a new link of conservation concern?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6: 207-211.
- Cha, J. W. 1969. The vertical distribution of the vegetation on Mt. Hanla. *Korean Journal of Botany*, 12(4): 19-29. (in Korean)
- Chornesky, E. A., A. M. Bartuska, G. H. Aplet, K. O. Britton, J. Cummings-Carlson,

- F. W. Davis, J. Eskow, D. R. Gordon, K. W. Gottschalk, R. A. Haack, A. J. Hansen, R. N. Mack, F. J. Rahel, M. A. Shannon, L. A. Wainger and T. B. Wigley. 2005. Science priorities for reducing the threat of invasive species to sustainable forestry. *BioScience*, 55(4): 335-348.
- Conroy, C. J., K. C. Rowe, K. M. C. Rowe, P. L. Kamath, K. P. Aplin, L. Hui, D. K. James, C. Moritz and J. L. Patton. 2013. Cryptic genetic diversity in *Rattus* of the San Francisco Bay region, California. *Biological Invasions*, 15: 741-758.
- Cook, D. C., S. Liu, B. Murphy and W. M. Lonsdale. 2010. Adaptive approaches to biosecurity governance. *Risk Analysis*, 30: 1303-1314.
- Davis D. E. 1953. The characteristics of rat populations. *The Quarterly Review of Biology*, 28: 373-401.
- Degraer, S., E. Verfaillie, W. Willems, E. Adriaens, M. Vincx, and V. Van Lancker, 2008. Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: an example from the Belgian part of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 28: 369-379.
- Ding, F., W. L. Jiang, X. G. Guo, R. Fan, C. F. Zhao, Z. W. Zhang, K. Y. Mao and R. Xiang. 2021. Infestation and related ecology of chigger mites on the Asian house rat (*Rattus tanezumi*) in Yunnan province, southwest China. *The Korean Journal of Parasitology*, 59(4): 377.
- Earthdata. [https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg \[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=-start_date&q=Aster&tl=1672554468.57313!!](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg [0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&q=Aster&tl=1672554468.57313!!), log in: 24. Oct. 2022.
- Feng, A. Y. T. and C. G. Himsworth. 2014. The secret life of the city rat: a review of the ecology of urban Norway and black rats (*Rattus norvegicus* and *Rattus rattus*). *Urban Ecosyst*, 17: 149-162.
- Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction, Cambridge: Cambridge University Press, UK. 319 pp.
- Friedman, J., T. Hastie and R. Tibshirani. 2000. Additive logistic regression: a

- statistical view of boosting. *The Annals of Statistics*, 28: 337-407.
- Glass, G. E., G. W. Korch and J. E. Childs. 1988. Seasonal and habitat differences in growth rates of wild *Rattus norvegicus*. *Journal of Mammalogy*, 69: 587-592.
- Guisan, A. and W. Thuiller, 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models, *Ecology Letters*, 8: 993-1009.
- Guo, S., G. Li, J. Liu, J. Wang, L. Lu and Q. Liu. 2019. Dispersal route of the Asian house rat (*Rattus tanezumi*) on mainland China: insights from microsatellite and mitochondrial DNA. *BMC genetics*, 20(1): 1-13.
- Han, S. H., H. T. Kim, K. Y. Mun and C. W. Chung. 2015. Story wild animal illustrations. Kyohak, Korea. 287 pp. (in Korean)
- Han, S. H., J. G. Oh, I. C. Cho, M. S. Ko, T. W. Kim, M. H. Chang, B. S. Kim, S. G. Park and H. S. Oh. 2011. A molecular genetic analysis of the introduced wild boar species (*Sus scrofa coreanus*) on Mount Halla, Jeju Island, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 25(5): 658-665. (in Korean with English Abstract)
- Haraguchi, K. 1931. Geology of Cheju Island. *Bulletin of the Geological Survey of Korea*, 10: 1-34.
- Hastie, T. and R. Tibshirani. 1986. Generalized additive models. *Statistical Science*, 1: 297-318.
- Hauser, C. E. and M. A. McCarthy. 2009. Streamlining 'search and destroy': cost-effective surveillance for invasive species management. *Ecology Letters*, 12: 683-692.
- Heaney, L. R. 1998. A synopsis of the mammalian fauna of the Philippine Islands. *Fieldiana Zoology new series*, 88: 1-61.
- Heikkilä, J. 2011. Economics of biosecurity across levels of decisionmaking: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31: 119-138.
- Hiiemae, K. and W. Houston. 1971. The structure and function of the jaw muscles in the rat (*Rattus norvegicus* L.) I. Their anatomy and internal architecture.

- Zoological Journal of the Linnean Society, 50(1): 75-99.
- Hong, S. K. 2014. A convention on biological diversity, island biodiversity and strategy of Korea. *Journal of Korean island*, 26(1): 188-202. (in Korean with English Abstract)
- Hopfield, J. J. 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 79(8): 2554-2558.
- Hou, Y. and X. Jiang. 2008. The investigation of *Rattus tanezumi* in Shijiazhuang during 2004-2007. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 19: 125.
- Howarth, F. G. 1983. Classical biological control: panacea or Pandora's box?. *Proceedings. Hawaiian Entomological Society*, 24: 239-244.
- Howarth, F. G. and G. W. Ramsay. 1991. The conservation of island insects and their habitats. In: Collins NM and Thomas JA (Eds). *The conservation of insects and their habitats*. Academic Press, London, UK. 449 pp.
- Htwe, N. M., G. R. Singleton, L. A. Hinds, C. R. Propper and V. Sluydts. 2012. Breeding ecology of rice field rats, *Rattus argentiventer* and *R. tanezumi* in lowland irrigated rice systems in the Philippines. *Agriculture, ecosystems & environment*, 161: 39-45.
- Huang, W. J., Y. X. Chen and T. X. Wen. 1995. *Glires of China*. Shanghai: Publishing House of Fudan University, China. 309 pp. (in Chinese)
- Hulme, P. E. 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology*, 46(1): 10-18.
- Hulme, P. E. 2015. Invasion pathways at a crossroad: policy and research challenges for managing alien species introductions. *Journal of Applied Ecology*, 52: 1418-1424.
- Huxel, G. R. 1999. Rapid displacement of native species by invasive species: effects of hybridization. *Biological Conservation*, 89(2): 143-152.
- Innes, J. G. 1990. Ship rat. *In*: King, C. M. (Ed.), *The Handbook of New Zealand Mammals*. Oxford University Press, New York, USA. pp. 206-225.

- IUCN Red List of Threatened Species D/B, <http://www.iucnredlist.org>
- IUCN. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3.
- Jansky, K., B. W. Schubert and S. C. Wallace, 2016. Geometric morphometrics of dentaries in *Myotis*: Species identification and its implications for conservation and the fossil record. *Northeastern Naturalist*, 23(1): 184-194.
- Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute. 2006a. General Book of Hallasan II. geomorphic and geologic of Hallasan. Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, Korea. 289 pp. (in Korean)
- Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute. 2006b. General Book of Hallasan X. Animal of Hallasan. Jeju-do and Hallasan Ecological and Cultural Research Institute, Korea. 311 pp. (in Korean)
- Jeju Regional Environmental Technology Development Center. 2006. A Study on the Distribution and Management of Invasive Alien Species in Jeju, Korea. 412 pp. (in Korean)
- Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center. 2021. The eradication of *Rattus norvegicus* of Sasudo Island (Natural Monument No. 333), a breeding site for seabirds (*Columba janthina*, *Calonectris leucomelas*). Jeju Self-Governing Province and The World Natural Heritage Center, Korea. 69 pp. (in Korean)
- Jeju-si. 2016. A study on the breeding area of Seabirds (*Columba janthina*, *Calonectris leucomelas*) in sasudo Island, Jeju. Jeju-si, Korea. 211 pp. (in Korea)
- Jeju-si, https://www.jejusi.go.kr/information/partdata.do?mode=detail¬ice_id=6492a1e69268445bb8d0d82d3c1fb7e4, log in: 24. Nov. 2022.
- Jin, J. H. and S. K. Chough. 1998. Partitioning of transgressive deposits in the SE Yellow Sea: A sequenve stratigraphic interpretation. *Marine Geology*, 149: 79-92.
- Jo, Y. S., T. W. Kim, B. J. Choi and H. S. Oh. 2012. Current status of terrestrial mammals on Jeju Island. *Journal of Species Research*, 1: 249-256.

- Jo, T. S., J. T. Baccus and J. L. Koprowski. 2018. Mammals of Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea. 573 pp.
- Johnson, D. H. and J. K. Jones. 1955. Three new rodents of the Genera *Micromys* and *Apodemus* from Korea. Proceedings of the Biological Society of Washington, 58: 167-174.
- Jones, H. P., B. R. Tershy, E. S. Zavaleta, D. A. Croll, B. S. Keitt, M. E. Finkelstein and G. R. Howald. 2008. Severity of the effects of invasive rats on seabirds: a global review. Conservation Biology, 22: 16-26.
- Jung, D. H., B. S. Kahng, C. U. Cho, S. B. Kim and J. J. Kim. 2016. Analysis of Hibernating Habitat of Asiatic Black Bear (*Ursus thibetanus ussuricus*) based on the Presence-Only Model using MaxEnt and Geographic Information System: A Comparative Study of Habitat for Non-Hibernating Period. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 19(3): 102-113. (in Korean with English Abstract)
- Kang, S. B. 1992. Natural environment of Cheju - focus of geographical -. Journal of Cheju Studies, 9: 65-83. (in Korean)
- Kim, D. E. 2018. Management system of invasive alien Species threatening biodiversity in Korea and Suggestions for the Improvement. Journal of Environmental Impact Assessment, 27(1): 33-55. (in Korean with English Abstract)
- Kim, G. R. and H. S. Oh. 2017. Biological characteristics and current status of nutria (*Myocastor coypus*) introduced in Jeju Island. Journal of Environmental Impact Assessment, 26(1): 1-10. (in Korean with English Abstract)
- Kim, H. S. 1996. Taxonomic characters of wild rats in Korea and epidemiological studies on their major. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Chonnam National University, Jeonnam. Korea. 102 pp. (in Korean with English Abstract)
- Kim, S. T. 2018. National disease of South Korea in 1950s~1980s. Public Health Affairs, 2(1): 131-137. (in Korean)
- Kim, T. W., S. G. Park, Y. K. Kim, J. H. Park, P. Adhikari, G. R. Kim, S. M.

- Park, J. W. Lee, S. H. Han and H. S. Oh. 2015. Characteristics of external and cranial morphological characters of Asian lesser White-toothed shrew (*Crocidura shantungensis*). Korean Journal of Environmental Biology, 33(4): 441-449. (in Korean with English Abstract)
- Kim, T. W., S. M. Joo, A. R. Oh, S. J. Park, S. H. Han and H. S. Oh. 2013. Morphological characteristics and habitat types of *Rattus norvegicus* and *R. tanezumi* collected in Jeju Island. Korean Journal of Environmet and Ecology, 27(5): 550-560. (in Korean with English Abstract)
- Kim, T. W. 2016. A Study on Biological Traits of small mammals (Soricidae) on Jeju Island – Focused on Asian lesser white-toothed shrew *Crocidura shantungensis* and Laxmann’s shrew *Sorex caecutiens*. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Jeju National University, Jeju. Korea. 91 pp. (in Korean with English Abstract)
- Koh, H. S. 1987. Systematic studies on Korean small mammals: I. Multivariate analysis with 15 species. Bulletin of the Natural Science, 1(1): 138-158.
- Koh, H. S. and W. J. Lee. 1991. A study on age variation and secondary sexual dimorphism of morphometric characters in Korean rodents: II. An analysis on two Species of genus *Rattus*. Bulletin of the Natural Science, 5(1): 75-87.
- Koh, H. S. 1992. Systematic studies on Korean Rodents: VI. Analyses of morphometric characters, chromosomal karyotypes and mitochondrial DNA in two species of genus *Rattus*. The Korean Journal of Systematic Zoology, 8(2): 231-242.
- Koh, H. S., Y. S. Roh, S. B. Kim and B. S. Yoo. Variation of mitochondrial DNA restriction fragments of common rats, *Rattus norvegicus caraco* Pallas (Mammalia, Rodentia), from Cheongju, Korea. The Korean Journal of Systematic Zoology, 11(4): 409-416.
- Kong, G. S., S. C. Park, H. C. Han, J. H. Chang and A. Mackensen. 2006. Late Quaternary paleoenvironmental changes in the southeastern Yellow Sea,

- Korea. Quaternary International, 144: 38-52.
- Korea Food and Drug Administration. 2004. CITES. Korea Food and Drug Administration, 70 pp. (in Korean)
- Korea forest service, <https://map.forest.go.kr>. log in: 25. Oct. 2022.
- Korea National Spatial Data Infrastructure Portal, <http://data.nsd.go.kr/dataset/20190716ds00002>, 25. Oct. 2022.
- Kowalski, K. and Y. Hasegawa. 1976. Quaternary rodents from Japan. Bulletin of the National Science Museum Series C (Geology), 2: 31-66.
- Kuroda, N. 1934. Korean mammals preserved in the collection of Marquis Yamashian. Journal of Mammalogy, 15: 229-239.
- Kwon, H. G., T. G. Kim, J. Y. Cha and B. W. Kim. 2011. A Study on the appropriate map for habitat environment using GIS. Korea national park, 117 pp. (in Korean with English Abstract)
- Kwon, H. S. 2011. Integrated evaluation model of biodiversity for conservation planning: focused on Mt. Jiri, Mt. Deokyu and Mt. Gaya regions. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Seoul National University, Seoul. Korea. 120 pp. (in Korean with English Abstract)
- Kwon, H. S. 2014. Applying ensemble model for identifying uncertainty in the species distribution models. Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 22(4): 47-52. (in Korean with English Abstract)
- Lee, D. G., Y. S. Kim and H. T. Shin. 2011. Environmental and ecological characteristics of *Ilex crenata* var. *microphylla* Max. subpopulations habitats in the East-West slopes in Mt. Halla National Park. Korean journal of environment and ecology, 25(4): 562-572. (in Korean with English Abstract)
- Lee, D. H., Y. C. Kim, M. H. Chang, S. H. Kim, D. E. Kim and J. H. Kil. 2016. Current status and management of alien turtles in Korea. Journal of Environmental Impact Assessment, 25(5): 319-332. (in Korean with English Abstract)
- Lee, D. K. and W. K. Song. 2008. A Study on the analytic unit of habitat

- suitability assessment and selection in conservation areas for leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) - Focus on Chungcheong Province Area -. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 36(5): 64-72. (in Korean with English Abstract)
- Lee, J. B., Y. K. Kim and Y. S. Bae. 2014. Historical review and notes on small mammals (Mammalia: Erinaceomorpha, Soricomorpha, Rodentia) in Korea. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 30(3): 159-175.
- Lee, J. W. and H. S. Oh. 2021. External and cranial characteristics of *Mustela sibirica quelpartis* on Jeju Island. The Korean Society of Systematic Zoology, 37(3): 205-211.
- Levenson, H. 1990. Sexual size dimorphism in chipmunks. Journal of Mammalogy, 71: 161-170.
- Levins, M. and C. M. D'Antonio. 2003. Forecasting biological invasions with increasing international trade. Conservation Biology, 17(1): 322-326.
- Lindenfors, P., J. L. Gittleman and K. E. Jones. 2007. Sexual size dimorphism in mammals. In: Fairbairn D. J., W. U. Blanckenhorn and T. Székely (Eds.): Sex, size and gender roles evolutionary studies of sexual size dimorphism. Oxford University Press, USA. pp. 16-26.
- Li, X. and Y. Wang. 2013. Applying various algorithms for species distribution modelling. Integrative Zoology, 8: 124-135.
- Liu, J. P., J. D. Milliman, S. Gao and P. Cheng. 2004. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, north Yellow Sea. Marine Geology, 209: 45-67.
- Lockwood, J. L., M. Marchetti and M. Hoopes. 2008. Invasion Ecology. Blackwell Publishers, UK. 304 pp.
- Ma, Y., Y. Wei, J. Luo, L. Lu and Q. Liu. 2012. Spatial niche analysis of the small mammals in Haidong region of Qinghai Province. China Chinese Journal of Zoology, 46: 126-130.
- Mack, R. N. 2003. Plant naturalizations and invasions in the eastern United States:

- 1634-1860. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 90: 77-90.
- Maldonado, J. E., F. Hertel and C. Vila. 2004. Discordant patterns of morphological variation in genetically divergent populations of Ornate shrews (*Sorex ornatus*). *Journal of Mammalogy*, 85: 886-896.
- Margulis, H. L. 1977. Rat fields, neighborhood sanitation, and rat complaints in Newark, New Jersey. *Geographical Review*, 67(2): 221-231.
- Marshall, J. T. Jr. 1977. Family Muridae: Rats and mice in mammals of Thailand (B. Lekagul and J. A. McNeely, eds.). *Association for the Conservation of Wildlife*, Sahakarnbhat Co., Bangkok, Thailand. pp. 396-487.
- Meerburg, B. G., G. R. Singleton and A. Kijlstra. 2009. Rodent-borne diseases and their risks for public health. *Critical Reviews in Microbiology*, 35: 221-270.
- Meiri, S., T. Dayan and D. Simberloff. 2004. Body size of insular carnivores: Little support for the Island Rule. *The American Naturalist*, 163: 469-479.
- Ministry of Environment and National Institute of Ecology. 2022. 102 Alert Alien Species in Korea. Ministry of Environment and National Institute of Ecology, Korea. 261 pp. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2000. The hunting system of our country. Ministry of Environment, Korea. pp. 8. (In Korean)
- Ministry of Environment. 2011. A Study on the establishment of the master plan for invasive alien species management. Ministry of Environment, Korea. 286 pp. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2019. 2nd study of alien species management plan. Ministry of Environment, Korea. 12 pp. (in Korean)
- Ministry of Environment, <https://egis.me.go.kr/map/map.do>. log in: 25. Oct. 2022. (in Korean)
- Moors, P. J., I. A. E. Atkinson and G. H. Sherley. 1992. Reducing the rat threat to island birds. *Bird Conservation International*, 2(2): 93-114.
- Mori, E., A. Iacucci, R. Castiglia and L. Santini 2017. Sexual-size dimorphism in two synanthropic rat species: Comparison and eco-evolutionary perspectives.

- Mammalian Biology, 83(1): 78-80.
- Mori, T. 1928a. A study on the isolation period of Qulpart Island-Tsushima based on the zoogeographical distribution. The Chosen Bull, Seoul. Jan.: 14-25. (in Japanese)
- Mori, T. 1928b. Introduction of terrestrial mammals on Jeju. Korean Education 10:55-60. (in Japanese)
- Mori, T. 1933. On two bats from Korea. Journal of Chosen Natural History Society, 16: 1-5.
- Mori, T. 1937. On some small mammals from the Island Utsuryo, Chosen. Journal of Chosen Natural History Society, 22: 40-44.
- Musser, C.G. and M.D. Carleton. 2005. Family Muridae. In: Wilson, D.E. and D.M. Reeder(ed.) Mammal species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference. Vol. 2, 3rd Edition. The Johns Hopkins University Press, Maryland, USA. pp. 894-1531.
- Nagahana, M. 1937. Rat survey in Chosen (Korea). I. The species and distribution of rats in Chosen. Journal of Chosen Medical Association, 27(10): 1221-1229. (in Japanese with English abstract)
- Nagorsen, D. W. 2005. Rodents & lagomorphs of British Columbia. Royal British Columbia Museum, Victoria, Canada. 410 pp.
- Nam, K. B., K. G. Lee, J. W. Hwang and J. C. Yoo. 2014. Variation in breeding burrows of Streaked Shearwaters breeding in Sasul Island, and Predation Rates by Norway Rats. Ocean and Polar Research, 36(1): 49-57.
- Namkung, J. 1981. The fauna of the lava caves and its environment in Jeju Island, Korea. The Speleological Society, 6(7): 17-27. (in Korean)
- Namkung, H. B., M. J. Kim, S. H. Baek, J. H. Lee, and H. J. Kim. 2020. Predicting potential current distribution of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) using MaxEnt model in South Korea. Journal of Asia-Pacific Entomology, 23(2): 291-297.
- National Archives of Korea, <https://www.archives.go.kr>. log in: 15 Aug. 2022 (in

Korean)

- National Institute of Biological Resources. 2019. National species list of Korea. National Institute of Biological Resources, online at <http://kbr.go.kr>, accessed on (date of access). (in Korean)
- National Institute of Ecology. 2020. List of alien species in Korea and information on ecological characteristics. National Institute of Ecology, online at <https://www.data.go.kr/data/15012927/fileData.do>. (in Korean)
- Nelder, J. and R. Wedderburn. 1972. Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society Series A, 135: 370-84.
- Nowak R. M. and E. P. Walker. 1991. Walker's mammals of the world. Johns Hopkins University Press, Maryland, USA. 815 pp.
- Nowak, R. M. 1999. Walker's mammals of the world. Johns Hopkins University Press. Maryland, USA. 1244 pp.
- Oh, D. S., T. W. Kim, M. H. Chang, S. H. Han, H. S. Oh and S. J. Kim. 2013. Migration route estimation of the Jeju striped field mouse *Apodemus agrarius chejuensis* (Rodentia, Muridae). Mitochondrial DNA, 24: 137-144.
- Oh, H. S. 2006. The mammals of Hallasan Natural Reserve. Report survey and study of Hallasan Natural Reserve. Research Institute for Mt. Halla, Jeju Special Self-Governing Province, Korea. pp. 139-153. (in Korean)
- Oh, H. S. 2007. Current status of mammals in Hallasan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology, 21(3): 235-242. (in Korea with English abstract)
- Oh, H. S. and H. S. Park. 1994. The animal of Hallasan. Jeju-do, Korea. pp. 103-111. (in Korean)
- Oh, H. S., M. H. Chang and B. S. Kim. 2007. Current status of mammals in Hallasan National Park. Korean Journal of Environment and Ecology, 21(3): 235-242. (in Korean with English abstract)
- Oh, H. S. and T. Mori. 1998a. Reproduction, growth and development of the striped field mouse, *Apodemus agrarius chejuensis*. Honyurui Kagaku (Mammalian

- Science), 38: 23-37. (in Japanese with English abstract).
- Oh, H. S. and T. Mori, 1998b. Taxonomic re-examination of the striped field mouse, *Apodemus agrarius coreae* and *A. a. chejuensis*: Evidence from crossbreeding experiments (Mammalia: Rodentia). Journal of Faculty and Agriculture, Kyushu University, 43: 143-151.
- Oh, H. S., Y. Yoshinaga and T. Mori. 1998. Reproduction in the wild population of the Korean striped field mouse, *Apodemus agrarius chejuensis*. Journal of Faculty and Agriculture, Kyushu University, 42: 383-395.
- Oh, H. S., Y. Yoshinaga, T. Kaneko, H. Iida and T. Mori, 2003. Taxonomic re-examination of the *Apodemus agrarius chejuensis*, comparing external and cranial morphological characters among four Asian *Apodemus* species. Journal of the Faculty of Agriculture, 47: 373-386.
- Okulova, N. M., A. S. Bogdanov, M. I. Baskevich, V. N. Orlov, N. V. Antonets, T. V. Popova and L. A. Lavrenchenko. 2019. Skull sizes and proportions in Western Palearctic Wood mice (*Sylvaemus*, Muridae, Rodentia) from Eastern Europe: 1. Interspecific Variability. Biology bulletin, 46(8): 973-987.
- Park, S. G., Y. K. Kim, T. W. Kim, J. H. Park, P. Adhikari, G. R. Kim, S. M. Park, J. W. Lee, S. H. Han and H. S. Oh. 2015. A Study on the distribution of bats (Chiroptera) in Jeju Island, Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 33(4): 394-402. (in Korean with English abstract)
- Park, S. M. 2021. Distribution Characteristics, Genetic Diversity and Management of the Introduced Alien Turtles in Jeju Island. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Jeju National University, Jeju. Korea. 139 pp. (in Korean with English abstract)
- Park, T. C., H. J. Jang, S. E. Eom, K. M. Son and J. J. Park. 2022. Analysis and estimation of species distribution of *Mythimna seperata* and *Cnaphalocrocis medinalis* with land-cover data under climate change scenario using MaxEnt. Korean Journal of Environmental Biology, 40(2): 214-223. (in Korean with English abstract)

- Park, Y. S., B. J. Kim, W. S. Lee, J. T. Kim, T. W. Kim and H. S. Oh. 2014. Molecular phylogenetic status of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*) based on mitochondrial cytochrome b from Jeju Island in Korea. Chinese Science Bulletin, 59: 4283-4288.
- Park, Y. S., W. S. Lee, J. T. Kim and H. S. Oh. 2011. Morphological examination of the Siberian roe deer *Capreolus pygargus* in South Korea. Journal of Animal and Veterinary Advances, 10: 2847-2878.
- Phillips, S. J. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 31: 161-175.
- Phillips, S. J., M. Dudik and R. E. Schapire. 2004. A Maximum entropy approach to species distribution modeling. Association for Computing Machinery, New York, USA, pp. 655-662.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.
- Poland, T. M., T. Patel-Weyand, D. M. Finch, C. F. Miniati, D. C. Hayes and V. M. Lopez. 2021. Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States. Springer, Switzerland. 455 pp.
- Public data portal, <https://www.data.go.kr/data/15056472/fileData.do>. log in: 24. Nov. 2022.
- Puckett, E. E., J. P. M. Combs, M. J. Blum, J. E. Bryant, A. C. F. Costa, E. E. Deinum, A. Esther, C. G. Himsforth, P. D. Keightley, A. Ko, Å. Lundkvist, L. M. McElhinney, S. Morand, J. Robins, J. Russell, T. M. Strand, O. Suarez, L. Yon and J. Munshi-South. 2016. Global population divergence and admixture of the brown rat (*Rattus norvegicus*). Proceedings of the Royal Society B, 283: 20161762. online at <https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.c.3500433>.
- Reichling, T. D. and R. Z. German. 2000. Bones, muscles and visceral organs of protein-malnourished rats (*Rattus norvegicus*) grow more slowly but for longer durations to reach normal final size. The Journal of nutrition, 130(9):

2326-2332.

- Rejmánek, M. and M. J. Pitcairn. 2002. When is eradication of exotic pest plants a realistic goal? In: *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species*, eds. C. R. Veitch & M. N. Clout. The IUCN Species Survival Commission, 27: 249-253.
- Richardson, D. M. 2011. Invasion science: the roads travelled and the roads ahead. In: *Fifty Years of Invasion Ecology: The Legacy of Charles Elton*, ed. D.M. Richardson, UK. pp. 397-407.
- Ringani, G. V., R. S. Julius, C. T. Chimimba, G. W. W. Park and T. A. Zengeya. 2022. Predicting the potential distribution of a previously undetected cryptic invasive synanthropic Asian house rat (*Rattus tanezumi*) in South Africa. *Journal of Urban Ecology*, 8(1): 1-9.
- Riofrío-lazo, M. and D. Páez-rosas. 2015. Feeding Habits of Introduced Black Rats, *Rattus rattus*, in Nesting Colonies of Galapagos Petrel on San Cristobal Island, Galapagos. *PLoS One*, 10(5): e0127901.
- Robins, J. H., M. Hungston, E. Matisoo-Smith and H. A. Ross. 2007. Identifying *Rattus* species using mitochondrial DNA. *Mol. Ecol. Notes*, 7: 717-729.
- Robins, J. H., P. A. McLenachan, M. J. Phillips, B. J. McComish, E. Matisoo-Smith and H. A. Ross. 2010. Evolutionary relationships and divergence times among the native rats of Australia. *BMC Evolutionary Biology*, 10: 375.
- Robins, J. H., P. A. McLenachan, M. J. Phillips, L. Craig, H. A. Ross and E. Matisoo-Smith. 2008. Dating of divergences within the *Rattus* genus phylogeny using whole mitochondrial genomes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 49(2): 460-466.
- Rout, T. M., J. L. Moore, H. P. Possingham and M. A. McCarthy. 2011 Allocating biosecurity resources between preventing, detecting, and eradicating island invasions. *Ecological Economics*, 7: 54-62.
- Russell, J. C., J. Y. Meyer, N. D. Holmes and S. Pagad. 2017. Invasive alien species on islands: impacts, distribution, interactions and management.

- Environmental Conservation, 44(4): 359-370.
- Shigesada, N. and K. Kawasaski. 1997. Biological Invasions: theory and practice. Oxford University Press, UK. 205 pp.
- Shim, J. H. 1986. A study on the heredity and morphological variation of the Korean Greater Horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum*). Master thesis, In-Ha University. 31 pp.
- Sim, J. H. and B. S. Park. 1998. Vertebrate fauna, speciation and geological history in the Cheju Island. Korean Journal of Environment and Ecology, 12(1): 42-57. (in Korean with English abstract)
- Singleton, G. R., L. A. Hinds, C. J. Krebs, and D. M. Spratt. 2003. Rats, mice and people: rodent biology and management. ACIAR, Canberra, Australia. 564 pp.
- Singleton, G. R., R. C. Joshi and L. S. Sebastian. 2008. Philippine rats ecology & management. Philippine Rice Research Institute, Philippine. 215 pp.
- Smith, R. 2013. Rat invaders: Island fighting back against killer rodents. News published by National geography, July 29. URL: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/130729-rats-islands-invasive-species-animals-environment>
- Son, S. W. 1980. A Collection List of Korean bats. Thesis Collection of Kyungnam University, 7: 175-181. (in Korean)
- Son, S. W. 1981. Chiroptera Fauna in Jejudo. Thesis Collection of Kyungnam University, 8: 161-168. (in Korean)
- Song, W. K. and E. Y. Kim. 2012. A Comparison of Machine Learning Species Distribution Methods for Habitat Analysis of the Korea Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*). Korean Journal of Remote Sensing, 28(1): 171-180. (in Korean with English abstract)
- Spear, D., L. C. Foxcroft, H. Bezuidenhout and M. McGeoch. 2013. Human population density explains alien species richness in protecte'd areas. Biological Conservation, 159: 137-147.

- Stockwell, D. and D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical In-formation Science*, 13: 143-158.
- Stuart, A. M., C. V. Prescott and G. R. Singleton. 2008. Biology and management of rodent communities in complex agroecosystems-lowlands. In: *Philippine rats: ecology and management*, [ed. by Joshi RC, Singleton GR, Sebastian LS]. Science City of Muñoz, Nueva Ecija, Philippines: Philippine Rice Research Institute, Philippine. pp. 37-56.
- Stuart, A. M., C. V. Prescott, and G. R. Singleton. 2012. Natal nest locations of the Asian house rat (*Rattus tanezumi*) in lowland rice-coconut cropping systems: a coconut penthouse or rice bunds with water frontage?. *Wildlife Research*, 39(6): 496-502.
- Sung, C. Y., H. T. Shin, S. H. Choi and H. S. Song. 2018. Predicting Potential Habitat for *Hanabusaya Asiatica* in the North and South Korean Border Region Using MaxEnt. *Korean Journal of Environment and Ecology*, 32(5): 469-477. (in Korean with English abstract)
- Thomas, O. 1906. List of small mammals from Korea and Quelpart. *Proceedings of the Zoological Society of London*, pp. 858-865.
- Thomas, O. 1907. Second list of Mammals from Korea. *Proceedings of the Zoological Society of London*, pp. 462-466.
- Thuiller, W. 2003. BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global change biology*, 9(10): 1353-1362.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. T. Sykes and M. B. Araújo. 2006. Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity and Distributions*, 12(1): 49-60.
- Towns, D. R. and K. G. Broome. 2003. From small Maria to massive Campbell: Forty years of rat eradications from New Zealand islands. *New Zealand Journal of Zoology*, 30(4): 377-398.

- Traweger, D. and L. Slotta-Bachmayr. 2005. Introducing GIS-modelling into the management of a brown rat (*Rattus norvegicus* Berk.) (Mamm. Rodentia Muridae) population in an urban habitat. *Journal of Pest Science*, 78:17-24.
- Truong, T. T., K. Yoshimatsu, K. Araki, B. H. Lee, I. Nakamura, R. Endo, K. Shimizu, S. P. Yasuda, T. Koma, M. Taruishi, M. Okumura, U. N. Truong and J. Arikawa. 2009. Molecular epidemiological and serological studies of hantavirus infection in northern Vietnam. *Journal of Veterinary Medical Science*, 71(10): 1357-1363.
- Ukoha, U., O. A. Egwu, I. J. Okafor, A. E. Anyabolu, G. U. Ndukwe and I. Okpala. 2011. Sexual dimorphism in the foramen magnum of Nigerian adult. *International Journal of Biological and Medical Research*, 2(4): 878-881.
- Wescott, D. J. and P. H. Moore-Jansen. 2001. Metric variation in the human occipital bone: forensic anthropological applications. *Journal of Forensic Sciences*, 46(5): 1159-1163.
- White, T. A. and J. B. Searle. 2007. Factors explaining increased body size in common shrews (*Sorex araneus*) on Scottish islands. *Journal of Biogeography*, 34: 356-363.
- Whittaker, R. J. 1998. *Island biogeography: Ecology, evolution and conservation*. Oxford University Press. UK. 285 pp.
- Wikle, C. K. 2003. Hierarchical Bayesian models for predicting the spread of ecological processes. *Ecology*, 84: 1382-1394.
- Williamson, M. 1996. *Biological invasions*. Chapman & Hall, UK. 245 pp.
- Wilson, D. E. and D. M. Reeder. 2005. *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* 3rd ed. (2 vol.). Johns Hopkins University Press, Maryland, USA. pp. 745-1599.
- Wilson, M. E. 1995. Travel and the emergence of infectious diseases. *Emerging Infectious Diseases*, 1(2): 39-46.
- Witmer, G. 2022. Rodents in agriculture: A broad perspective. *agronomy*, 12(6): 1458. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061458>.

- Wittenberg, R. and M. J. W. Cock. 2001. Invasive alien species: A toolkit of best prevention and management practices. CAB International, Wallingford, Oxon, UK. 238 pp.
- Won, H. G. 1968. Mammals in Chosun. Kwahakwon Press, Pyongyang, North Korea. 407 pp.
- Won, P. H. 1967. Illustrated encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 7 mammals. Minister of Education, Korea. 659 pp. (in Korean)
- Won, P. O. and H. C. Woo. 1958. Mammals of Jejudo. Journal of Applied Zoology, 1: 5-13.
- Wong, L. J. and A. T. Andrew. 2020. Food preference and the effect of predator cues on the foraging behaviour of house rat (*Rattus tanezumi*). Malaysian Applied Biology, 49(5): 33-40.
- Yang, X. 2011. The distribution characteristics and development tendency of *R. fulvipes* as an invasive species in Shanxi. Journal of Shanxi. Agricultural Science, 39: 462-464.
- Yoon, I. J. 2011. legal study on the regulation and remedy for the damage caused by alien species. Ph. D. Dissertation, Graduate School of Hanyang University, Seoul. Korea. 227 pp. (in Korean with English abstract)
- Yoon, M. H. and S. W. Son. 1989. Studies on taxonomy and phylogeny of bats inhabiting Korea I. Taxonomical review of one Rhinolophid and six Vespertilionid bats, and the Korean microchiropteran faunal succession. The Korean Journal of Zoology, 32: 374-392.
- Yoon, M. H., S. H. Han, H. S. Oh and J. G. Kim. 2004. The Mammals of Korea. Dongbang Media, Seoul, Korea. 101 pp. (in Korean)
- Zheng, S. 1993. Quaternary rodents of Sichuan-Guizhou area, China. Science Press, Beijing, China. 270 pp. (in Chinese with English abstract).
- Zidarova, S. 2015. Is there sexual dimorphism in shrew? A case study of six European species of the Family Soricidae. Acta Zoologica Bulgarica, 67: 19-34.