

## GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발

서창완\* · 박종화\*\*

### Wild Boar (*Sus scrofa coreanus* Heude) Habitat Modeling Using GIS and Logistic Regression

Chang-Wan, Seo\* · Chong-Hwa · Park\*\*

#### 요    약

보호동물상에 대한 서식지분포 정보는 개발압력이 심한 우리나라에서는 서식지 관리에 있어 매우 중요하다. 본 연구는 GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용하여 멧돼지의 서식지 적합성모형을 개발하여 서식지 분포도를 작성하고 본 연구의 결과를 토대로 현재 우리나라의 멸종위기종과 야생동물 보호종들의 서식지 관리를 위한 기초를 마련하고자 한다. 서식지 모형을 구현하기 위한 연구 내용 및 방법은 다음과 같다. 첫째, 멧돼지의 서식지 특성을 파악하기 위하여 GIS 자료를 구축하였다. 멧돼지의 위치파악을 위해 원격무선측정기법과 GPS를 이용하였다. 둘째, 멧돼지의 서식지 이용과 유용성에 영향을 미치는 환경인자를 파악하기 위해  $\chi^2$ 검정(Chi-square test)을 실시하였다. 마지막으로, 최적 서식지의 분포를 예측하기 위한 서식지 적합성모형 개발을 위해 로지스틱 회귀분석을 이용하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 멧돼지의 서식지 이용특성 분석의 결과, 성별 그리고 활동유형별에서는 뚜렷한 차이를 볼 수 없으나, 계절별 그리고 서식지 유형별에서는 서식지 이용특성의 차이가 뚜렷한 것을 볼 수 있었다. 둘째, 서식지 유용성 분석의 결과 멧돼지의 서식환경에 영향을 미치는 자연적인 환경요인으로 표고, 향, 임상 그리고 영급이 유의성이 있는 인자로 나타났다. 반면에, 경사, 능선/계곡, 물 그리고 일사량의 경우 통계적 유의성이 적어 전반적으로 서식지를 결정하는 환경인자라고 볼 수 없었다. 마지막으로, 개발된 서식지 적합성모형의 결과 예측확률 0.5를 기준으로 전체서식지는 75.30%, 커버서식지는 84.26%의 높은 분류정확도를 나타내었다. 모형검증의 결과 대상지 내부의 경우 전체서식지는 73.07%, 커버서식지는 80.00%의 분류정확도를 나타내었고, 대상지 외부에서는 전체서식지가 75.00%로 나타나 본 모형이 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다.

주요어 : 서식지 모형, GIS, 로지스틱 회귀분석, 원격무선측정기법, GPS

Abstract: Accurate information on habitat distribution of protected fauna is essential for the habitat management of Korea, a country with very high development pressure. The objectives of this study were to develop a habitat suitability model of wild boar based on GIS and logistic regression, and to

create habitat distribution map, and to prepare the basis for habitat management of our country's endangered and protected species. The modeling process of this restudyarch had following three steps. First, GIS database of environmental factors related to use and availability of wild boar habitat were built. Wild boar locations were collected by Radio-Telemetry and GPS. Second, environmental factors affecting the habitat use and availability of wild boars were identified through chi-square test. Third, habitat suitability model based on logistic regression were developed, and the validity of the model was tested. Finally, habitat assessment map was created by utilizing a rule-based approach. The results of the study were as follows. First, distinct difference in wild boar habitat use by season and habitat types were found, however, no difference by sex and activity types were found. Second, it was found, through habitat availability analysis, that elevation, aspect, forest type, and forest age were significant natural environmental factors affecting wild boar habitat selection, but the effects of slope, ridge/valley, water, and solar radiation could not be identified. Finally, the habitat suitability model had a high classification accuracy of 75.30% for total habitat and 84.26% for cover habitat at cutoff value of 0.5. The model validation showed that inside validation site had the classification accuracy of 73.07% for total habitat and 80.00% for cover habitat, and outside validation site had the classification accuracy of 75.00% for total habitat.

**Key words :** Habitat Modeling, GIS, Logistic Regression, Radio-Telemetry, GPS

## 1. 서 론

현재 인간의 간섭에 의해 희귀 및 보호종 뿐만 아니라 그들의 서식지도 많은 영향을 받고 있다. 따라서 멸종위기에 처한 야생동물의 보호 및 생물다양성의 보전을 위해서는 보호대상종의 밀도예측 및 서식지 요구도에 입각한 서식지의 효율적인 관리가 필수적이다. 이러한 서식지 환경을 이해하고 남아 있는 서식지를 보호하며 희귀 및 보호종들을 효율적으로 관리해야하는 중요성이 매우 높아가고 있다. 서식지기반의 모형개발기법은 남아 있는 잠재 서식지를 찾아내고 서식지의 공간적인 적합성을 예측할 수 있도록 한다. 이를 위해서는 종-서식지간의 관계에 대한 기준 지식과 결합하여 서식지의 적합성을

계량화시킬 수 있어야 한다.

현재 미국이나 캐나다의 경우, 야생동물 서식지 보호를 위해 원격무선측정기법(Radio-Telemetry), 지리정보체계(Geographic Information System, GIS), GPS(Global Positioning System) 등의 다양한 최신 기술 응용과 이를 통해 획득한 정보들을 해석하는 GAP이나 서식지 분석 및 평가작업에 관한 연구들이 활발히 진행 중에 있다(Johnson and Cassidy 1997; Scott *et al.* 1997).

우리나라에서도 생태계관리를 위해 자연생태지도 제작사업을 진행중이나 제작과정이나 방법에 대한 체계적이고 합리적인 접근방법이 없어 그에 대한 연구가 시급히 요구되고 있다(환경부 1998). 우리나라의 야생동물 관련 연구들은 개별종의 종 목록 작성이 주를 이루고 있으며, 멸종위기 및 보호종에 대한 효율적인 관리

\* SK 씨엔씨 주식회사 GIS사업부

\*\* 서울대학교 환경대학원 교수

를 위한 야생동물의 활동유형, 행동권 및 서식지 이용 등의 연구는 아직 미비한 실정이다.

본 연구는 자료의 취득이 용이하고 집중적인 조사관찰이 가능한 우리나라의 대표적인 우산종(Umbrella species)이라 할 수 있는 멧돼지(*Sus scrofa coreanus* Heude)에 대한 서식지 적합성모형 개발을 통해 기존 서식지 모형의 장단점을 보완하여 향후 멸종위기종이나 보호종의 서식지를 정확하게 평가하여 야생동물 및 서식지의 보존 전략수립에 유용한 기초를 제공하고자 한다.

## 2. 연구사

멧돼지는 잡식성이이며, 열매와 종자를 좋아하고 도토리(Coblentz and Baber 1987)나 지상의 식생이 부족할 때 뿐만 아니라 먹는다. 주로 산지에서 활동하고 한밤중에는 대체로 휴식을 취하며(Kruz and Marchinton 1972), 일몰과 일출 때 활동의 피크를 이룬다(Mauget 1981; 김원명 1994; Russo et al. 1997; Caley 1997). 보금자리는 마른 풀, 어린 나무가지, 억새 및 갈대를 이용하여 짓는다. 겨울에는 집단생활을 하며, 그 외 시기에는 단독생활을 한다. 주로 산촌부근의 덤불, 산림, 활엽수에 서식한다(Abaigar et al. 1994). 그리고 추위를 싫어하고 언제나 바람이 없고 햇볕이 잘드는 남향밭이를 좋아 한다. 멧돼지의 활동에 있어 경사는 제약조건이 아닌 것으로 보고 있다(Albaigar et al. 1994). 잡자리는 일정하지 않으며 잡초가 무성한 곳에 땅을 파고 낙엽을 모아 잡을 자며, 장소는 사방이 확트여 어느 방향에서 적이 오더라도 미리 알 수 있는 곳을 선택한다(원병희 1967). 물은 서식조건으로는 중요한 인자이나 서식지 선택에서는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(유병호 외. 1996).

각 무리의 행동권(Home range)은 중복되고(김원명 1994) 채식장, 물터, 진흙터, 휴식장소, 잡자리 등을 공유한다(아카데미서적 1988). 행동권은 평균적으로 수컷은  $35.0 \pm 22.2 \text{km}^2$ , 암컷은

$11.1 \pm 5.2 \text{km}^2$ 로 나타나고, 초기의 행동권에서 크게 벗어나지 않는다(Saunders et al. 1996; Caley 1997). 일일 평균 행동권은 25.1~33.2ha(Russo et al. 1997)인데, 성별차이는 없으나 떡이에 따라 행동권의 크기는 다르게 나타나며(Massei et al. 1997), 서식지의 선택도 달라진다(Spitz et al. 1995; 김원명 1994).

실제적인 서식지 이용자료를 적절히 사용하기 위해서는 귀납적이고 경험적인 모형인 다변량 통계분석이 사용된다. 주로 많이 사용되고 있는 방법으로는 판별분석(DFA, Discriminant Function Analysis)과 로지스틱 회귀모형을 들 수 있다.

판별분석은 출현과 비출현지역을 비교함으로써 소규모 서식지의 특성을 알아내는 데 사용되는 일반적인 통계방법이나, 두 가지 가정을 전제로 하여야 한다. 첫째, 독립변수의 공분산 매트릭스가 출현/비출현지역에서 동일해야 한다. 둘째, 독립변수들이 다변량 정규분포를 가져야 한다(North et al. 1996). 이질적인 공분산 구조는 분류식을 왜곡시키며(Williams 1981), 이러한 왜곡은 출현지역과 비출현이나 임의지역의 표본비율이 다를 때 더 심하다(Morrison 1984). 판별분석의 통계적인 전제는 소규모 서식지분석에는 적용하기 힘들며, 특히 범주형자료를 포함하고 있는 분석에서는 더욱 더 적용하기 힘들다(Press and Wilson 1978; None 1986).

서식지 모형개발을 위해서는, 판별분석보다 자료에 대한 통계적인 전제조건들이 덜 제약적이면서 최우추정기법을 이용한 로지스틱 회귀모형이 제안되었다(Capen et al. 1986; Manly et al. 1993). 로지스틱 회귀모형은 설명변수로 연속형과 범주형자료를 다 포함시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 서식지 모형개발에 멧돼지의 출현/비출현지역 자료를 이용하였으며, 자료의 특성상 판별분석이나 로지스틱 회귀모형이 적합한 모형개발 기법이나 설명변수를 범주형으로 사용하므로 독립변수의 통계적인 전제조건을 요구하는 판별분석보다 로지

스티 회귀모형이 보다 적합할 것으로 생각된다(Press and Wilson 1998).

멧돼지에 관한 최근 연구로는, 원격무선측정기법을 이용한 서식지선택에 관한 연구(Spitz and Janeau 1995; Dexter 1998), 행동권과 행태 분석(Russo *et al.* 1997; Massei *et al.* 1997; Caley 1997), 동물사회학적 측면(Janeau *et al.* 1995)에 관한 연구가 이루어졌다. 그러나 멧돼지에 대한 서식지 적합성 모형개발에 대한 연구는 미비하다.

우리나라는 보호대상 야생동물의 분포 및 서식밀도에 관한 기초자료가 적고 이 분야의 GIS 적용연구와 주요 야생동물의 밀도 및 서식지 분포 예측능력은 아직 초보적인 단계에 있다. 일부 평, 사슴 등에 대한 적지분석모형이 제시된 바 있다(김원명 1990). 포유류에 대한 자료수집 방법과 서식지 이용에 관한 연구는 멧돼지를 대상으로 한 연구가 있으며(김원명 1994), 이 연구 결과를 이용하여 서식지 적합성모형을 개발하였다(이명우 1997; 김원주외 1999). 이 모형들은 서식지 이용학률의 관찰값을 토대로 하여 적지 분석기법을 이용하였으나 통계적인 검증이나 적용의 타당성이 확인되지 않았다.

### 3. 재료 및 방법

#### 3.1. 대상지 개요

본 연구 대상지는 강원도 양양군 현남면 상월천리와 현북면 어성천리 일대의 멧돼지 증식장(면적 : 약 483ha, 경도 :  $128^{\circ} 41' 43''$ , 위도 :  $37^{\circ} 55' 59''$ )(김원명 1994)과 강원도 인제군 기린면 진동리 설악산 부근의 점봉산지역(면적 : 약 2109ha, 경도 :  $128^{\circ} 27' 39''$ , 위도 :  $38^{\circ} 1' 59''$ )을 선정하였다(이도원외 1997).

양양 대상지의 경우 모형개발을 위해 전체대상지를 분석대상지(43%)와 검증대상지(57%)로 나누었다. 모형개발을 위해 기 조사된 원격무선측정기법자료를 사용하기 때문에 자료의 분석

을 위해 원격무선측정기법자료를 포함하는 범위를 분석대상지로 설정하고, 개발된 모형의 검증을 위해 나머지 지역을 검증대상지로 설정하였다. 1988년 강릉영림서에서 총 길이 11,898m에 이르는 철책을 설치하여, 1989년 멧돼지 45개체(암컷:36, 수컷:9)를 방사하고 동절기에 벽 이를 공급하는 상설증식장으로 지정·관리되고 있다(김원명 1994; 박광우 1998). 1989년 이후 추가적인 멧돼지의 방사는 없었으며, 자체내에서 자연적인 번식이 이루어졌다. 그리고 다섯 개의 큰 계곡을 중심으로 각 무리들은 독자적인 영역(Territory)과 행동권을 가지고 있다(김원명 1994). 지형적으로 연구 대상지의 북쪽에 위치한 만월산(628.1m)이 주변을 감싸고 있으며 민가로부터 격리되어 비교적 인간의 간섭이 적은 지역으로 약 17km<sup>2</sup>의 순환임도가 조성되어 있다. 표고는 약 200~600m로 경사  $15^{\circ}$  이하의 완경사가 17%,  $15\sim30^{\circ}$ 의 경사지가 75%,  $30^{\circ}$  이상의 급경사가 8%정도를 차지하고 있으며, 주능선 부분이 평坦하다. 임상은 끝참나무, 상수리나무 등 참나무류로 이루어진 활엽수림이 138ha(28%), 혼효림이 205ha(41%)로 침활효림이 주를 이루고 있으며, 능선부를 따라 소나무가 군집을 이루고 있다.

설악산국립공원과 인접한 점봉산의 북사면 고지대에는 주목 자생지가 넓게 분포하고, 남사면에는 신갈나무 극상림이 넓게 분포하고 있어서 점봉산의 극상림 2,049.59ha는 1987년 11월 30일에 천연보호림으로 지정되어 보호되고 있다.

#### 3.2. 자료 수집 및 분류

본 연구에서는 멧돼지가 중대형 포유동물에 속하므로 서식지 분석을 대규모 서식지분석(Macrohabitat analysis)의 관점에서 접근하였다. 기존의 연구들이 추적조사 또는 혼적조사를 통해 주로 행동권이나 개별적인 서식지 특성을 다루고 있어 각각의 단점을 보완한 서식지 관리를 위한 체계적인 접근이 필요하다. 자료의 수집으

로 행동권과 위치파악을 위한 추적조사는 원격 무선측정기법(Radio-Telemetry)을 이용하였고 그 지점에 대한 서식지의 특성과 추가적인 서식지 조사를 위해 GPS를 이용한 흔적조사를 실시하였다.

멧돼지 서식지의 환경인자들은 인위적 환경 분석과 자연환경의 지형분석을 위해 1/25,000 지형도, 그리고 식생파악을 위해 1/25,000 임상도를 사용하였다. 따라서 바위의 존재여부와 같은 자세한 지형적인 변화와 하층식생은 포함시키지 않았다. 지형도를 통해 등고선을 추출하고 DEM(Digital Elevation Model)을 생성한 다음, 지형분석을 실시하여 표고, 경사, 향, 일사량, 계곡

/능선, 수계자료를 생성하였다. 그리고 임상도를 통해 임상과 영급자료를 생성하였다(Table 1). 로지스틱 회귀모형은 연속형이나 순서형 변수의 경우 반응변수와 설명변수간에 선형적인 관계가 존재하여야 한다. 멧돼지의 경우 기존 연구 및 대상지 자료분석의 결과 반응변수(멧돼지의 출현)와 설명변수(환경변수)간에 선형적인 관계가 존재하지 않아 모든 환경변수를 범주형으로 처리하였다.

서식지 분석을 위한 자료의 구축은 그 분석단위를 셀(cell)로 하였다. GIS 분석에 사용될 위치 자료는 원격무선측정기법의 경우 오차가 900m<sup>2</sup>(김원명 1994), GPS의 경우 오차가 20~34.8m

&lt;Table 1&gt; Environmental factors related to wild boar habitat at the Yangyang

|             | Factors Variable Name        |      | Category      | Area(m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------------|------|---------------|-----------------------|
| Topo-graphy | Elevation                    | ELE1 | low           | 402,300               |
|             |                              | ELE2 | medium        | 1,787,400             |
|             |                              |      | high          | 683,100               |
|             | Slope                        | SLO1 | below 15°     | 376,200               |
|             |                              | SLO2 | 15-30°        | 2,136,600             |
|             |                              |      | above 30°     | 360,000               |
|             | Aspect                       | ASP1 | east          | 393,300               |
|             |                              | ASP2 | west          | 559,800               |
|             |                              | ASP3 | south         | 679,500               |
|             |                              |      | north         | 1,238,200             |
|             | Solar radiation              | SR1  | low           | 252,900               |
|             |                              | SR2  | medium        | 1,071,900             |
|             |                              |      | high          | 1,548,000             |
|             | Geomorphology (valley/ridge) | CUV1 | valley        | 1,458,000             |
|             |                              |      | ridge         | 1,414,800             |
|             | Distance to water            | DTW1 | below 30m     | 1,216,800             |
|             |                              | DTW2 | 30-90m        | 1,187,100             |
|             |                              |      | above 90m     | 468,900               |
| Forest      | Forest type                  | FT1  | coniferous    | 953,100               |
|             |                              | FT2  | hardwood      | 889,200               |
|             |                              |      | mixed         | 1,030,500             |
|             | Forest age                   | FY1  | below 10years | 798,300               |
|             |                              | FY2  | 10-20years    | 1,825,200             |
|             |                              | FY3  | 20-30years    | 230,400               |
|             |                              |      | above 30years | 18,900                |
| Total       |                              |      |               | 2,872,800             |

(Ardo and Pilesjo 1992)로 나타나고, 환경인자 자료의 구축에 사용된 지형도와 임상도의 축척이 1/25,000 임을 감안하여 셀의 크기를 30×30m로 설정하였다.

멧돼지의 서식지 이용특성 분석을 위해 조사 위치 자료의 내용을 분류하여야 한다. 자료분류는 멧돼지의 서식지 이용특성을 파악하기 위하여 성별(수컷/암컷), 계절별(여름/가을), 활동유형별(일출, 일몰/낮, 밤), 그리고 서식지 유형(커버/비커버)별로 나누었다. 성별, 계절별, 활동 유형별 자료는 추적조사를 통해서만 얻어지므로 원격무선측정기법자료를 이용하였고, 서식지 유형별 자료는 원격무선측정기법자료와 GPS 자료를 통합하였다.

GIS자료의 분석과 분포도 작성은 위해 Arc/Info Ver. 7.1.2와 ArcView 3.0.1을 사용하였으며,  $\chi^2$ 검정과 로지스틱 회귀분석을 위한 통계분석에는 SAS Ver. 6.1.2를 사용하였다.

### 3.3. 서식지 모형 개발

최적의 모형개발을 위해 서식지 결정에 유효한 변수를 선정하는 방법으로  $\chi^2$ 검정을 통해 서식지 유용성에서 통계적 유의성이 있는 환경 요인들을 변수로서 선택하였다. 이 최적모형을 이용하여 서식지 특성으로부터 멧돼지의 출현 지역으로 분류될 확률을 예측할 수 있다.

대부분의 단일종의 서식지연구는 대상지 내에서 출현/비출현 자료 또는 이용/임의 자료와 같은 두 가지의 표본자료를 이용한다. 이러한 연구에서 동물의 출현지역과 비출현지역의 차이를 알아보기 위해서 식생과 대상지의 지형특성 등이 이용된다 (Whitmore 1981; Mills et al. 1993).

이러한 방법의 연구는 다음의 두 가지 점을 고려해야 한다. 첫째, 출현지역은 서식지로 적합한 곳이어야 한다. 둘째, 비출현지역은 서식지로 부적합한 곳이어야 한다. 따라서 표본설계시 다

음의 두 가지를 고려해야 하였다. 첫째, 비출현지역이 대상지에 넓게 분포하기 때문에 출현지역보다 환경요인의 변량이 크므로 비출현지역이 출현지역보다 많아야 한다(Kvamme 1985). 둘째, 독립변수들의 공간자기상관을 적게 만들어야 한다(Haining 1980).

전체서식지 분석을 위해 출현지역의 경우 추적조사를 통한 92개의 원격무선측정기법자료와 흔적조사를 통한 32개의 GPS 자료를 통합, 총 124개의 자료를 사용하였다. 커버서식지 분석을 위해 출현지역의 경우 추적조사를 통한 50개의 원격무선측정기법자료와 흔적조사를 통한 19개의 GPS 자료를 통합, 총 69개의 자료를 사용하였다.

비출현지역의 경우에는 충화추출법을 사용하여 원격무선측정기법자료의 평균 오차각각형 면적 900m<sup>2</sup>(김원명 1994)와 GPS 자료의 오차범위(Ardo J. and P. Pilesjo 1992)가 20~34.8m임을 감안하여 출현지역을 중심으로 30m의 지역을 제외한 나머지 지역에서 전체서식지 143개, 커버서식지 79개의 비출현지역을 추출하였다.

본 연구에서 로지스틱 회귀모형은 반응변수가 이항변수이므로 설명변수가 반응변수에 미치는 영향은 반드시 0 또는 1의 값을 갖도록 정의되어야 한다. 분석의 대상이 되는 n개 자료는 다음과 같이 이항변수  $y_v$ 와  $j$ 개의 설명변수  $z_{vj}$ 가 함께 관찰된 값들로 구성된다.

$$(y_v, z_{v1}, z_{v2}, \dots, z_{vj}), v=1, 2, \dots, n.$$

로지스틱 회귀모형은 반응변수가 이항변수이므로 다음을 만족한다.

$$Y_v = \begin{cases} 1, & \text{확률이 } p_v \\ 0, & \text{확률이 } 1 - p_v \end{cases},$$

여기서

(1)

$$p_v = \frac{\exp\left[\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j z_{vj}\right]}{\left\{1 + \exp\left[\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j z_{vj}\right]\right\}}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

이를 다시 표현하면 모형 1은

(2)

$$\log\left(\frac{p_v}{1-p_v}\right) = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j z_{vj}$$

로 정의되며  $Y_v$ 들은 서로 독립이라 가정한다 (Stokes 1997; 홍종선과 최현집 1999).

최적 모형을 개발하기 위하여 해당 모형의 선택방법(Model selection)으로 아카이케정보량기준(Akaike's information criterion, AIC)을 사용하였다(Bozdogan 1987; burnham and Anderson 1992; Mannen and Pelton 1997; 홍종선과 최현집 1999). 이 방법은 통계모형에 포함되어 있는 정보량을 가장 크게 해주는 모형을 선택한다. 본 연구에서는 먼저 단계적 선택(stepwise selection)방법의 하나인 후진선택방법(backward selection)을 통해 모형에 적합한 변수들을 선택해 나가며, 그 과정에서 AIC를 계산하여 가장 적은 값을 가지는 모형을 선택한다.

선택된 모형의 적합도검정(Goodness-of Fit)은 서수적 연관성측도(measure of the ordinal association)를 통해 검정한다. 그 방법으로는 Somers Dxy와 Goodman and Kruskal's Gamma를 이용한다. 이것은 실제와 예측모형 결과와의 비교를 통해 얻어지는 것으로 -1~1의 값을 가지며, 1에 가까울수록 모형의 예측력이 좋다. 모형의 분류정확도는 잭나이프 접근방법(jackknife approach)을 이용한 분류값(cutoff value) 0.5를 기준으로 측정하였다. 따라서 예측확률이 0.5이상일 때 서식지로서 분류한다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 서식지 이용특성 분석

멧돼지의 서식지 이용특성 분석의 결과 성별, 활동유형별에서는 뚜렷한 차이를 볼 수가 없었다. 계절별에서는 향, 일사량, 계곡/능선에서 차이를 보였는데, 여름에는 계곡, 가을에는 능선을 선호하는 것을 볼 수 있었다(Table 2). 서식지유형별에서는 커버와 비커버서식지의 차이는 물, 계곡/능선을 제외한 모든 인자에서 차이가 나타나 서식지 이용특성의 차이가 뚜렷한 것을 볼 수 있었다. 서식지선택에 미치는 환경영향 분석의 결과 커버, 먹이, 물, 공간서식지를 모두 포함하는 전체서식지에서 멧돼지의 서식환경에 영향을 미치는 자연적인 환경요인으로 표고, 향, 임상, 영급이 유의성이 있는 인자로 나타났으며, 서식지유형 중 커버서식지에는 표고, 향, 임상, 영급이 유의성이 있는 인자로 나타났다. 경사, 일사량, 능선/계곡, 물의 경우 통계적 유의성이 적어 전반적으로 서식지를 결정하는 환경인자라고 볼 수 없었다(Table 3).

### 4.2. 서식지 적합성 분석

서식지 적합성모형을 개발하기 위해 서식지에 영향을 미치는 통계적 유의성이 있는 변수들을 선택해야 한다. Manen과 Pelton(1997)의 경우 일변량 로지스틱 회귀분석(univariate logistic regression)에서 p-value < 0.25인 변수들을 선정하였는데, 본 모형의 경우 서식지 이용특성 분

&lt;Table 2&gt; Difference of habitat use according to sex (male/female), season (summer/autumn), activity types (sunrise, sunset/daytime, night), habitat types (cover/non-cover)

| Category          | DF | $\chi^2$ |         |        |         |                |         |               |         |
|-------------------|----|----------|---------|--------|---------|----------------|---------|---------------|---------|
|                   |    | Sex      |         | Season |         | Activity types |         | Habitat types |         |
|                   |    | Value    | p-value | Value  | p-value | Value          | p-value | Value         | p-value |
| Elevation         | 2  | 15.30    | 0.01    | 15.38  | 0.01    | 6.23           | 0.04    | 30.18         | 0.01    |
| Slope             | 2  | 10.00    | 0.01    | 8.65   | 0.01    | 0.28           | 0.87    | 7.14          | 0.03    |
| Aspect            | 3  | 2.80     | 0.42    | 8.21   | 0.04    | 5.45           | 0.14    | 37.18         | 0.01    |
| Solar radiation   | 2  | 7.03     | 0.03    | 6.30   | 0.04    | 1.76           | 0.42    | 5.61          | 0.06    |
| Geomorphology     | 1  | 0.22     | 0.64    | 4.32   | 0.04    | 0.88           | 0.35    | 1.06          | 0.30    |
| Distance to water | 2  | 0.06     | 0.97    | 1.26   | 0.53    | 0.94           | 0.63    | 2.84          | 0.24    |
| Forest type       | 2  | 9.75     | 0.01    | 3.43   | 0.18    | 4.46           | 0.11    | 24.87         | 0.01    |
| Forest age        | 3  | 3.00     | 0.22    | 2.25   | 0.33    | 5.42           | 0.07    | 16.21         | 0.01    |

&lt;Table 3&gt; Effects of natural factors on habitat availability.

| Category          | DF | $\chi^2$      |         |        |         |               |         |       |         |
|-------------------|----|---------------|---------|--------|---------|---------------|---------|-------|---------|
|                   |    | Total habitat |         |        |         | Cover habitat |         |       |         |
|                   |    | Value         | p-value | Value  | p-value | Value         | p-value | Value | p-value |
| Elevation         | 2  | 74.62         | 0.01    | 158.19 |         | 0.01          |         |       |         |
| Slope             | 2  | 3.70          | 0.12    | 0.07   |         | 0.79          |         |       |         |
| Aspect            | 3  | 13.69         | 0.01    | 43.85  |         | 0.01          |         |       |         |
| Solar Radiation   | 2  | 0.41          | 0.82    | 0.15   |         | 0.70          |         |       |         |
| Geomorphology     | 1  | 0.09          | 0.76    | 0.21   |         | 0.65          |         |       |         |
| Distance to water | 2  | 0.88          | 0.65    | 2.88   |         | 0.24          |         |       |         |
| Forest type       | 2  | 65.20         | 0.01    | 50.37  |         | 0.01          |         |       |         |
| Forest age        | 3  | 23.59         | 0.01    | 30.70  |         | 0.01          |         |       |         |

석에서 p-value < 0.25인 변수들을 선정하였다.  
따라서 전체서식지에서는 표고, 경사, 향, 임상,  
영급이 선정되었으며, 커버서식지에서는 표고,  
향, 물, 임상, 영급이 선정되었다.

모형선택 과정을 통해 선택된 전체서식지에  
대한 맷돼지 서식지 적합성모형은 다음과 같다  
(Table 4).

(3)

$$Y = -2.8830 + 3.1764 \times ELE1 + 1.7969 \times$$

$$ELE2 + 2.6418 \times FY2 + 1.3774 \times FY3 - 0.9763 \times SLO2$$

그리고

$$P_v = \frac{e^y}{1 + e^y}$$

본 모형의 적합도 검정의 결과 SommerD=0.605,  
Goodman and Karuskal's Gamma=0.681이 나와 실제

&lt;Table 4&gt; Backward model selection for the Regression model of total habitat and calculation of Akaike's information criterion

| Step | Variable entered | Number removed | Wald Chi-Square | P>Chi-Square | -2 LOG L | AIC     |
|------|------------------|----------------|-----------------|--------------|----------|---------|
| 1    | FT1              | 11             | 0.0191          | 0.8902       | 277.743  | 303.109 |
| 2    | FY1              | 10             | 0.0709          | 0.7901       | 277.202  | 299.202 |
| 3    | ASP1             | 9              | 0.3201          | 0.5715       | 277.523  | 297.523 |
| 4    | ASP3             | 8              | 0.4837          | 0.4868       | 278.010  | 296.010 |
| 5    | SLO1             | 7              | 1.7346          | 0.1878       | 279.996  | 295.996 |
| 6    | ASP2             | 6              | 2.1010          | 0.1472       | 282.080  | 296.080 |
| 7    | FT2              | 5              | 1.9135          | 0.1666       | 283.960  | 295.960 |

값과 모형의 예측값사이에 연관성이 있는 것으로 나타났다.

0~1까지의 결과값에서 예측확률 0.5를 기준으로 하여 그 이상을 최적서식지로 분류할 경우 (Figure 1) 전체서식지 적합성모형은 75.3%의 분류정확도를 가지고 있다(Table 5). 이는 자료의 내용이 멧돼지의 휴식, 이동, 먹이 등을 포함하여 대상지역에 골고루 분포한다는 것을 감안한다면 신뢰성이 있는 결과라고 판단된다.

일반적으로 전체서식지와는 달리 커버서식지는 야생동물 서식에 있어 중요한 지역으로 야생동물보호의 경우 최우선적으로 관리해야하는 지역이다. 모형선택 과정을 통해 선택된 최종적인 모형은 다음과 같다(Table 6).

(4)

$$Y = -5.7622 + 5.2382 \times ELE1 + 3.7058 \times ELE2 \\ - 1.2005 \times FT1 + 1.8288 \times ASP3 + 2.8361 \\ \times FY1 + 1.0795 \times FY2$$

그리고

$$P_v = \frac{e^y}{1 + e^y}$$

공식 4에서 각 환경요인들의 특성을 보면 표고가 낮거나 중간정도인 경우, 향이 남향인 경우, 영급은 20년생 이하인 경우에 예측확률이 높게 나타났고 임상이 침엽수인 곳은 낮게 나타났다. 임상의 경우 침엽수에 비해 활엽수와 혼효림이 상대적으로 예측확률이 높다는 것을 의미한다(Figure 2).

본 모형의 적합도 검정의 결과 SommerD=0.789, Goodman and Karuska's Gamma=0.722가 나와 실제 값과 모형의 예측값사이에 연관성이 높은 것으로 나타났다. 모형의 결과 분류정확도가 84.26%로 높게 나와(Table 7) 멧돼지의 커버서식지가 일정한 공간적인 요구조건을 필요로 한다는 것을 확인할 수 있으며, 커버서식지를 선택하는 데 있어 자연환경요인이 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

&lt;Table 5&gt; Classification accuracy of the Logistic regression for the total habitat using cutoff value of 0.5

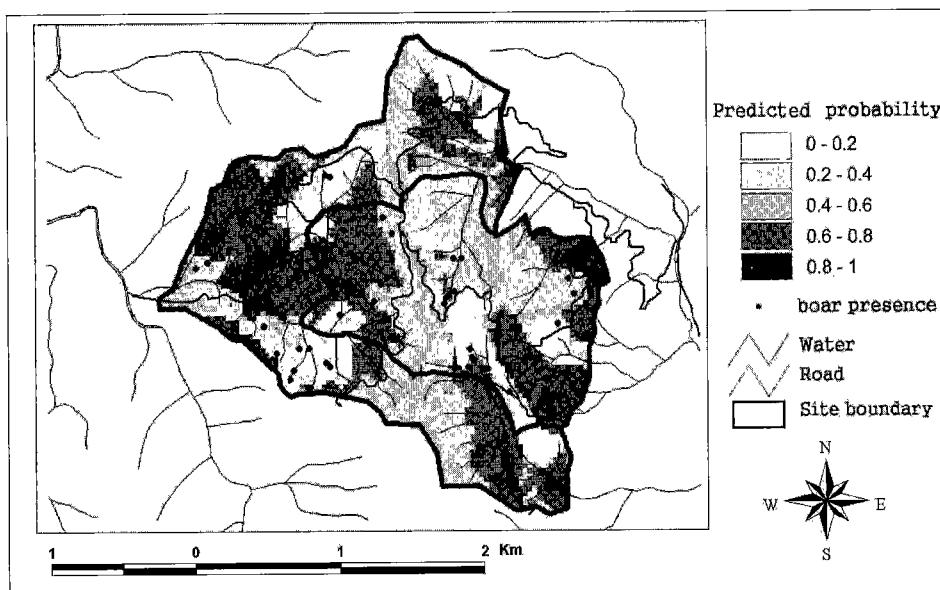
| True category | Predicted category |         | Accuracy(%) |
|---------------|--------------------|---------|-------------|
|               | Presence           | Absence |             |
| Presence      | 93                 | 31      | 75.00       |
| Absence       | 35                 | 108     | 75.52       |
|               |                    | Overall | 75.30       |

&lt;Table 6&gt; Backward model selection for the Regression model of cover habitat and calculation of Akaike's information criterion

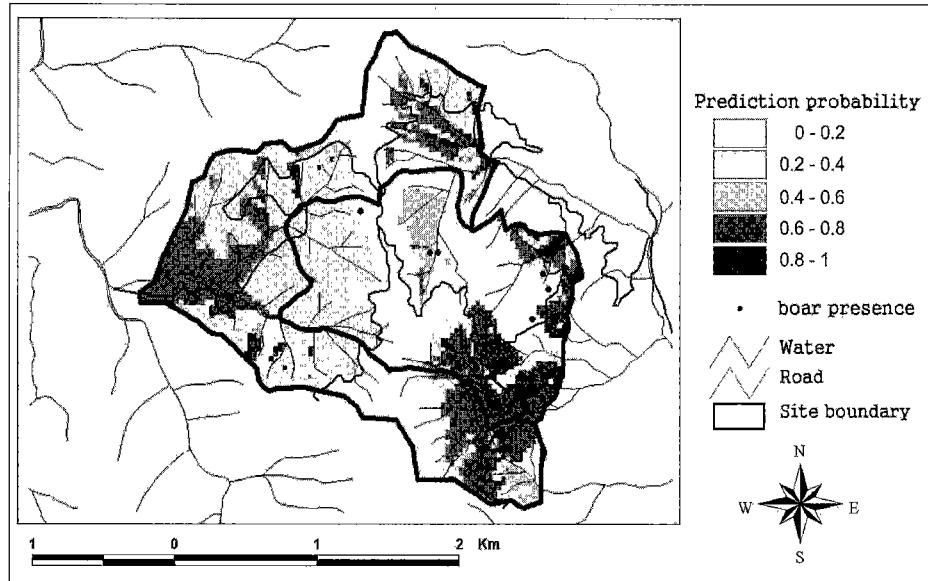
| Step | Variable entered | Number removed | Wald Chi-Square | Pr> Chi-Square | -2 LOG L | AIC     |
|------|------------------|----------------|-----------------|----------------|----------|---------|
| 1    | FY3              | 11             | 0.0057          | 0.9396         | 129.681  | 155.681 |
| 2    | DTW2             | 10             | 0.1292          | 0.7192         | 129.687  | 153.687 |
| 3    | ASP2             | 9              | 0.5138          | 0.4735         | 129.817  | 151.817 |
| 4    | ASP1             | 8              | 0.2760          | 0.5993         | 130.334  | 150.334 |
| 5    | DTW1             | 7              | 0.5184          | 0.4715         | 130.612  | 148.612 |
| 6    | FT2              | 6              | 0.6214          | 0.4305         | 131.134  | 147.134 |
| 7    | FY2              | 5              | 1.9793          | 0.1595         | 131.838  | 145.838 |
| 8    | FY1              | 4              | 3.3829          | 0.0659         | 133.924  | 145.924 |
|      |                  |                |                 |                | 137.409  | 147.409 |

&lt;Table 7&gt; Classification accuracy of the Logistic regression for the cover habitat using cutoff value of 0.5

| True category | Predicted category |         | Accuracy(%) |
|---------------|--------------------|---------|-------------|
|               | Presence           | Absence |             |
| Presence      | 63                 | 6       | 91.30       |
| Absence       | 18                 | 61      | 77.22       |
| Overall       |                    |         | 84.26       |



[Figure 1] Total habitat suitability map of the Yangyang site.



[Figure 2] Cover habitat suitability map of the Yangyang site.

#### 4.3 모형 검증

분석대상지역에서 개발된 모형을 검증대상지역(대상지 내부)에 적용시켜 보았다. 전체 검증자료는 비커버서식지 11개, 커버서식지 15개로 전체 26개의 자료를 수집하였다. 모형 개발시 사용했던 분류기준 0.5를 적용했을 경우 분류정확도가 전체서식지는 73.07%, 커버서식지는 80.00%가 나왔다(Table 8) 모형개발 대상지와 비슷한 결과를 나타내고 예측확률의 분포도 비슷한 결과를 나타내어, 본 모형의 분류 정확도가 높은 것으로 판단된다.

점봉산 지역(연구 대상지 외부)은 본 모형 개발의 대상종인 멧돼지는 전지역에 걸쳐 있고, 대상지인 양양과 비슷한 지역에 위치하여 본 모형을 적용할 수 있는 좋은 대상지로 판단된다. 따라서 서식지적합성모형의 정확도를 검증하기 위해 주민을 대상으로 한 청문조사를 통하여 수집된 점봉산 일대의 멧돼지 출현지점을 바탕으

로 현지에서 흔적조사를 시행하고 GPS를 이용하여 1:25,000 지도상에 표시한 자료 중 대상지 내에 포함되는 20개를 바탕으로 실시하였다. 이 자료들은 서식지 유형별로 분류가 되지 않아 전체서식지에 대해서만 모형검증을 실시하였다.

모형 개발시 사용했던 분류기준 0.5를 적용했을 경우 분류정확도는 전체서식지의 경우 75.00%가 나왔다(Table 9). 개발 대상지와 비슷한 수준의 분류정확도가 나왔는데, 이는 세부적인 서식환경의 차이를 포함하지 않고 일반적인 환경요인만을 사용한 본 모형이 매우 타당한 것임을 나타낸다. 그리고, 모형 개발 대상지의 특성상 인위적인 환경요인의 영향을 고려하지 않을 수 없었는데, 인위적인 환경요인을 제외한 본 모형이 대상지 외부(점봉산지역)에서도 비슷한 결과를 나타내어 개발 대상지에서의 인위적인 환경요인은 서식지 선택에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

&lt;Table 8&gt; Classification accuracy at the Yangyang site

|               | No. of GPS locations | Cutoff value for classification | No. of classified locations | Pct. (%) |
|---------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|
| Total habitat | 26                   | 0.5                             | 19                          | 73.07    |
| Cover habitat | 15                   | 0.5                             | 12                          | 80.00    |

&lt;Table 9&gt; Classification accuracy at the Mt. Jumbong site

|               | No. of GPS locations | Cutoff value for classification | No. of classified locations | Pct. (%) |
|---------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|
| Total habitat | 20                   | 0.5                             | 15                          | 75.00    |

## 5. 결 론

본 연구는 맷돼지의 서식환경에 영향을 미치는 환경인자를 파악하여 그 결과를 토대로 현재 우리나라의 멸종위기종과 야생동물 보호종들의 서식지 관리를 위한 기초를 마련하고자 한다.

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 맷돼지의 서식지 이용특성 분석의 결과 성별, 활동유형별에서는 뚜렷한 차이를 볼 수가 없었다. 계절별에서는 향, 일사량, 계곡/능선에서 차이를 보였고, 서식지유형별에서는 커버와 비커버 서식지의 차이는 물, 계곡/능선을 제외한 모든 인자에서 차이가 나타나 서식지 이용특성의 차이가 뚜렷한 것을 볼 수 있었다. 서식지 유용성 분석의 결과 전체서식지에서 맷돼지의 서식환경에 영향을 미치는 자연적인 환경요인으로 표고, 향, 임상, 영급이 유의성이 있는 인자로 나타났으며, 서식지유형 중 커버서식지에는 표고, 향, 임상, 영급이 유의성이 있는 인자로 나타났다.

둘째, 개발된 서식지 적합성모형의 결과 예측률 0.5를 기준으로 전체서식지는 75.30%, 커버서식지는 84.26%의 높은 정확도를 나타내었

다. 모형검증의 결과 대상지 내부의 경우 전체서식지는 73.07%, 커버서식지는 80.00%의 분류정확도를 나타내었고, 대상지 외부(점봉산 지역)에서는 전체서식지가 75.00%로 나타나 본 모형이 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다.

본 연구의 한계로는 다음과 같다.

첫째, 본 대상지의 서식환경이 자연상태에 가까우나 개방되지 않고 울타리로 조성되어 완전한 자연상태에서의 검증이 필요하다.

둘째, 로지스틱 회귀모형의 한계로서 출현자료 중 원격무선측정기법자료는 현장조사를 통해 보완하였지만, 비출현 자료의 선정 문제점을 들 수 있다.

세째, 모형을 일반화시키기 위하여 환경변수들을 1/25,000의 정확도에 한정시켜, 일반적인 환경인자 이외의 그 지역 특성을 반영한 세부적인 환경인자의 고려가 미흡하였다.

마지막으로, 추적이나 혼적조사로는 파악하기 힘든 동물사회학적인 측면에서의 서식환경에 대한 고려가 필요하다.

여러 야생보호동물들에 대한 종합적인 서식지 관리를 위해서는 앞으로 보다 많은 연구들이 진행되어야 할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

- 김원명. 1990. 「야생동물의 생태를 기초로 한 수렵장 조성모형에 관한 연구」. 서울대학교 석사논문.
- 김원명. 1994. 「멧돼지(*Sus scrofa coreanus Heude*)의 서식지이용연구를 위한 Radio-Telemetry의 적용시험」. 고려대학교 대학원 박사학위논문, 66pp.
- 김원주, 박종화, 김원명. 1999. 「멧돼지 서식지 적합성 분석 모형 개발: 점봉산, 설악산 지역을 대상으로」. 한국GIS학회.
- 박광우. 1998. 「양양군 멧돼지수렵장의 식생구조와 녹지자연도」. 산림과학논문집, 57:184-197.
- 아카데미서적, 1988. 동물대백과사전 제4권 대형초식동물, 삼성출판사
- 원병희. 1967. 한국동식물도감7-동물편. 문교부.
- 유명호외 4인. 1996. 산림생태계의 균형유지: 수렵조수 서식환경의 모델화. 임업연구보고서. 임업연구원.
- 이도원외. 1997. 「생물다양성 보전을 위한 점봉산 자연보존지구의 생태적 구조와 기능 분석」, 한국과학재단 (94-0401-01-01-3).
- 이명우. 1997. 「지리정보체계를 이용한 생태환경분석 및 적지분석: 자연생태계 보전 지역 설정 및 평가모형을 중심으로」. 환경영향평가, 6(2):61-80.
- 홍종선, 최현집. 1999. 로그선형모형을 이용한 범주형자료분석. 자유아카데미, 407pp.
- 환경부. 1998. 자연환경보전기본방침(초안).
- Abaigar, T., G. Delbarrio, and Vericad Jr. (1994) Habitat preference of wild boar (*sus scrofa L*) in a mediterranean environment - indirect evaluation by signs. *Mammalia*, 58(2):201-210.
- Ardo J., and P. Pilesjo. 1992. On the accuracy of the global positioning system-A test using a hand-held receiver. *Int. J. Remote Sensing*, 13(16):3229-3233.
- Bozdogan, H. 1987. Model selection and Akaike's Information Criterion(AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, 52:345-70.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 1992. Data-based selection of an appropriate biological model: The key to modern data analysis. In *Wildlife 2001: Populations*, eds. D. R. McCullough and R. H. Barrett, 16-30. London: Elsevier Science Publishers.
- Caley, P. 1997. Movements, activity patterns and habitat use of feral pigs(*Sus scrofa*) in a tropical habitat. *Wildlife Research*, 24(1):77-87.
- Capen, D. E., J. W. Fenwick, D. B. Inkley, and A. C. Boynton. 1986. Multivariate models of songbird habitat in New England forest. pp. 171-176 in J. Verner, M. L. Morrison, C. J. Ralph. eds. *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. Univ. Wisconsin Press. Madison.
- Coblentz, B. E. and Baber, D. W. 1987. Biology and control of feral pigs on Isla Santiago, Galapagos, *J. of Applied Ecology*, 24:403-418.
- Dexter, N. 1998. The influence of pasture distribution and temperature on habitat selection by feral pigs in a semi-arid environment. *Wildlife Research*, 25(5):547-559.
- Haining, H. 1980. Spatial autocorrelation problems. *Geography and the Urban Environment* (D. T. Herbert and R. J. Johnston, editors), 3:1-43.
- Janeau, G., Cousse S., Cargnelutti B., Spitz F. 1995. Role of daily movements in the socio-spatial organization of wild boar

- populations (*sus scrofa* L). *Revue d Ecologie-La Terre et la Vie.*, 50(1):35-48.
- Johnson, Richard E. and Kelly M. Cassidy. 1997. Terrestrial Mammals of Washington State: Location Data and Predicted Distributions. Washington State Gap Analysis Project Final Report, Vol. 3.
- Kruz, J. C. and R. L. Marchinton. 1972. Radiotelemetry studies of feral hogs in South Carolina. *J. Wildlife Management*, 36:1240-1248.
- Kvamme, K. L. 1985. Determining empirical relationships between the nature environment and pre-historic site locations: a hunter-gatherer example. *For Concordance in Archaeological Analysis* (C. Carr. editor). Wesport Publishers. Kansas City. Kansas, pp. 208-238.
- Manen, Frank T. van, and Michael R. Pelton. 1997. A GIS Model to Predict Black Bear Habitat Use. *Journal of Forestry*, August:6-12.
- Manly, B. F. J., L. L. McDonald, and D. L. Thomas. 1993. Resource selection by Animals: Statistical Design for Field Studies. Chapman and Hall. New York. NY., 177pp.
- Massei, G., Genov P. V., Staines B. W., Gorman M. L. 1997. Factors influencing home range and activity of wild boar (*sus scrofa*) in a mediterranean coastal area. *Journak of Zoology*, 242(3):411-423.
- Mauget, R. 1981. Home range concept and activity patterns of the european wild boar(*Sus scrofa* L.) as determined by radio tracking. *Bio. Behav.*, 9:725-728.
- Mills, L. S., R. J. Fredrickson, and B. B. Moorhead. 1993. Characteristics of old-growth forests associated with northern spotted owls in Olympic National Park. *J. Wildlife Management*, 57:315-321.
- Morrison M. L. 1984. Influence of sample size on discriminant function analysis of habitat use by birds. *J. Field Ornithol.* 55:330-335.
- None, B. R. 1986. Summary: biometric approaches to modeling-the researcher's viewpoint. pp. 197-202. in J. Verner. M. L. Morrison. C. J. Ralph. eds. *Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates*. Univ. Wisconsin Press. Madison.
- North, Malcolm P., Joel H. Reynold. 1996. Microhabitat analysis using radiotelemetry locations and polytomous logistic regression. *J. Wildlife Management*, 60(3):639-653.
- Press, S. J. and S. Wilson. 1978. Choosing between logistic regression and discriminant analysis. *J. Am. Stat. Assoc.*, 276 pp.
- Russo, L. Massei, G. Genov P. V. 1997. Daily home range and activity of wild boar in a mediterranean area free from hunting. *Ethology Ecology & Evolution*, 9(3):287-294.
- Saunders, G., Kay B. 1996. Movements and home ranges of feral pigs (*sus scrofa*) in kosciusko national park, new south wales. *Wildlife Research*, 23(6):711-719.
- Scott, J. M., T. H. Tear, and F. W. Davis. 1997. GAP Analysis: A Landscape Approach to Biodiversity Planning.
- Spitz, F. Janeau G. 1995. Daily selection of habitat in wild boar (*sus scrofa*). *Journal of Zoology*, 237(3):423-434.
- Stokes, M. E., Charles S. Davis, Gary G. Koch. 1997. Categorical Data Analysis Using the SAS System. SAS Institute Inc., pp. 499.

- Whitmore, R. C., 1981. Structural characteristics of grasshopper sparrow habitat. *J. Wildlife Management*, 45:811-814.
- Williams, B. K. 1981. Structural analysis in wildlife research: theory and applications. pp. 59-71 in D. E. Capen, ed. *The use of multivariate statistics in studies of wildlife habitat*. U. S. For. Serv., Gen. Tech. Rep. RM-87. Rocky Mountain For. and Range Exp. Stn., Fort Collins. Colo.