

산림패치의 특성이 조류 종 다양성에 미치는 영향분석*
- 충청지역을 중심으로 -

이동근¹⁾ · 박 찬²⁾ · 오규식³⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ²⁾ 서울대학교 대학원 · ³⁾ 한양대학교 도시공학과

Forest Patch Characteristics and Their Contribution
to Forest-Bird Diversity
- Focus on Chungcheong Province Area -

Lee, Dong-Kun¹⁾ · Park, Chan²⁾ and Oh, Kyusik²⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

²⁾ Graduate School of Seoul National University,

³⁾ Department of Urban Planning, Hanyang University.

ABSTRACT

Urban development typically results in many species being confined to small, isolated and degraded habitat fragments. Fragment size and isolation underpin many studies of modified landscape to prevent biodiversity loss. However, habitat characteristics such as vegetation structure and edge effects are less frequently incorporated in planning. The relative influence of biogeographic (e.g. size, isolation) and vegetation parameters on assemblages is poorly understood, but critical for conservation management.

In this study, the relative importance of biogeographic and vegetation parameters in explaining the diversity of forest-interior dwelling birds in forest fragments in Chungcheong Province Area. Fragment size and vegetation characteristics were consistently important predictors of bird diversity. Forest-interior bird richness was influenced by fragment size (0.437), wood age (0.332), wood diameter (0.068), and patch shape (-0.079). To preserve bird diversity of Chungcheong Province Area, it is important to consider differing responses of bird diversity to landscape change, move beyond a focus

* 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2008-000-20348-0).

Corresponding author : Park, Chan, Graduate School, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : momo7@snu.ac.kr

Received : 20 September, 2010. **Revised** : 6 October, 2010. **Accepted** : 19 October, 2010.

primarily on spatial attributes (size, isolation) to recognize that landscape change also has profound effects on habitat composition and quality. The result is very useful for long-term aspect of biodiversity conservation plan in regional scale.

Key Words : *Landscape Change, Fragment, Isolation, Vegetation Characteristic, Conservation Plan.*

I. 서 론

인간의 삶의 질 향상을 위한 도로 및 주택건설 등의 개발사업은 산림을 파편화시키고, 야생동물의 서식지를 훼손시킨다. 이러한 인간에 의한 경관변화는 조류 종 다양성에 영향을 미친다 (Forman, 1995). 특히 산림의 파편화는 종의 이동에 제약을 주고 큰 서식지를 요구하는 종의 서식을 어렵게 하기 때문에 종의 고립 및 종 멸종을 야기할 수 있다 (Forman, 2000; 김명수, 2001; Ferrari et al., 2007).

유럽에서는 개발에 의한 서식지 훼손 및 종 다양성을 저하시키는 문제를 해결하고자 EECONET 선언을 통해 보전가치가 높은 지역을 보호하고 있다 (Marulli and Mallarach., 2005). 한국도 1994년 10월에 생물다양성 협약에 가입하고 멸종위기 동·식물 보호 및 관리를 위해 다양한 노력을 하고 있다. 특히 환경영향평가제도 도입을 통해 개발이 환경에 미치는 영향의 정도나 범위를 사전에 예측·평가하고 그 대처 방안을 마련하고 있다. 이를 위해 서식지의 크기나 연결성 개념을 이용한 방법이 활용되고 있고 (이동근 등, 2005; Holland et al., 2009), 생물종의 멸종 문제를 해결하고 종 다양성을 유지하기 위하여 메타개체군 이론을 적용한 보전계획을 수립하고 있다 (Ferrari et al., 2007).

서식지의 크기나 연결성과 같은 계획요소는 종 다양성 보전에 있어 중요한 요소이기는 하지만 파편화된 산림 내에서는 종의 서식을 위한 잠자리와 먹이 등을 제공하는 산림식생의 특성도 매우 중요한 요소 중 하나이다 (Luther et al., 2008). 결과적으로 인간에 의해서 파편화된 경관에서 조

류 종 다양성 보전계획수립을 효과적으로 하기 위해서는 식생 특성 및 산림의 구조적 특성이 조류 종 다양성에 미치는 영향을 종합적으로 이해하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 산림패치의 구조적 특성과 식생 특성이 조류 종 다양성에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 결과는 다양한 원인으로 시작되는 개발사업의 검토단계에서 개발사업이 조류종 다양성에 미치는 영향을 최소화하기 위한 개발방향 설정 및 지역구분에 관한 가치판단의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 특히 개발사업의 규모, 위치, 형태에 따른 종 다양성에 미치는 영향을 예측하고 이를 저감하기 위한 방안 마련에 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 지역특성이 반영된 연구 결과를 도출하기 위하여 충청남도, 충청북도, 대전지역을 포괄하는 충청지역을 연구대상지로 선정하였다. 충청지역은 세종시 개발이 이루어지고 있고, 향후 많은 개발이 예상되는 지역으로 종 다양성 보전차원에서 선보전계획 수립이 필요할 것으로 판단되었다. 충청도 우측에는 백두대간이 인접해 있고, 주로 큰 면적의 패치가 집중되어 있다. 충청남도 지역은 상대적으로 작은 산림패치가 분산되어 나타나고 있다.

본 연구에서는 국가적 차원에서 조사된 제2차 자연환경조사 자료¹⁾를 기초로 하여 조류 종 다

1) 제2차 자연환경조사 자료는 1997년부터 2002년까지 시행된 전국단위 조사로서 제1차 자연생태계 전국조사의 문제점을 파악하고 보완함으로써 보다 체

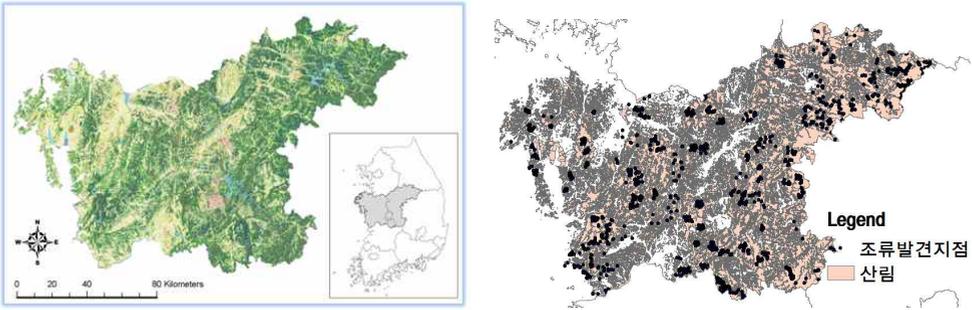


그림 1. 연구 대상지.

양성과 산림패치의 구조적 특성 및 식생특성과의 영향 관계를 회귀분석을 사용하여 분석하고 지역 차원에서의 적용방안을 고찰하였다(그림 2). 조류는 외부의 특징이 분명하여 관찰이 쉽고, 종다양성이 풍부하기 때문에 개체군 추세와 서식지의 적정도를 측정하는데 지표종의 개념으로 많이 활용되고 있으며(Vemer et al., 1986), 이를 이용한 서식지 평가가 수행되고 있다(김영숙 등, 2002). 따라서 본 연구에서는 조류 종을 대상으로 분석하였으며, 개발에 따른 영향관계를 파악하기 위하여 경관변화에 민감한 산림 내부종을 대상으로 하였다. 산림내부 종에 대한 분류는 이동근 등(2009)에서 도출된 조류군집 결과를 활용하였다.

본 연구에서는 선행연구에서 검토된 조류종 다양성에 미치는 영향인자 중에서 지역차원의 공간계획과 직·간접적으로 관련되는 산림패치의 규모, 형태, 식생의 영급다양성, 경급을 변수로 선정하였다. 조류 종 다양성은 조류 조사가 이루어진 산림패치에서의 발견 종과 종수를 이용하여 조류 종의 풍부도와 균등도를 동시에 고려할 수 있는 Simpson 지수로 도출하였다. 산림패치의 구조적 특성을 나타내는 변수 중 산림패치의 크기는 Schonewald-Cox(1983)의 종-면적곡선의 특성을 반영할 수 있도록 충청지역 내 단일패치의 크

기를 로그로 변환하였다. 산림패치의 형태는 경관 복잡성을 나타내는 지수인 평균형태지수가 많이 사용되는데, 이는 산림면적의 크기에 따라 형태지수가 복잡해지는 특성이 있기 때문에, 이를 해결하기위해 고안된 면적 가중된 형태지수를 이용하였다(Forman, 1995; 이동근 등, 2005). 식생 특성의 경우 동일한 산림에서도 식생의 천이과정에 따라 종 다양성에 차이가 나타나는 특성을 반영하기 위하여 패치의 평균경급과 영급의 다양성을 변수로 선정하였다(홍선기 등, 2005). 연구의 기초자료인 산림패치의 경우에는 1999년에 환경부에서 제공한 대분류 토지피복지도를 사용하여 추출하였으며, 영급과 경급은 산림청에서 제공하는 제4차 임상도를 이용하여 산출하였다.

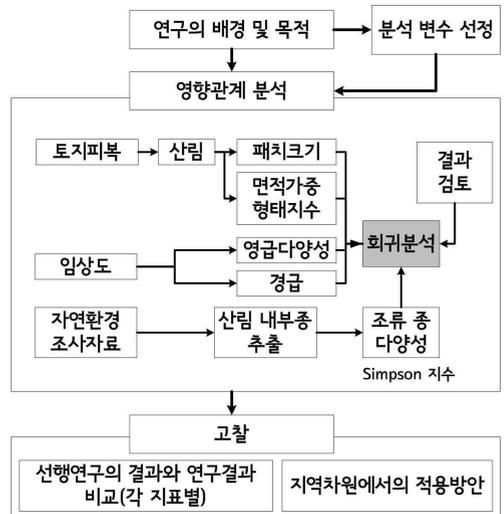


그림 2. 연구의 흐름.

게적으로 수행되었다(서종철, 2005). 또한 최종결과는 생태자연도에 활용되어 전국의 자연환경을 체계적으로 관리할 수 있는 기틀을 마련하였다(국립환경과학원, 2005).

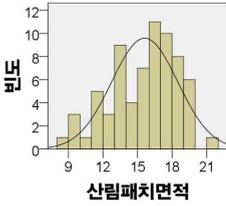
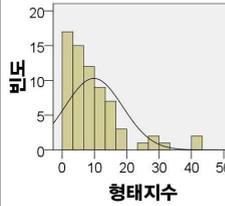
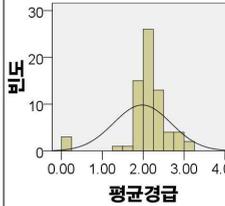
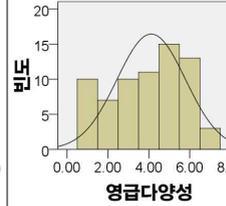
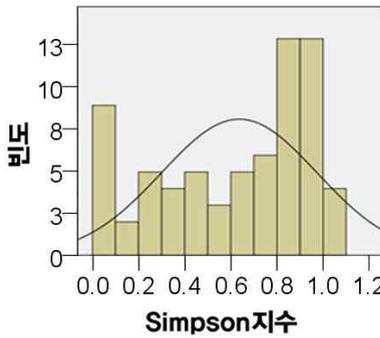
III. 결과 및 고찰

충청지역에 존재하는 산림패치 평균크기는 15.6(755ha)으로 나타났다. 이는 Schonewald-Cox (1983)의 종-면적곡선 연구에 비취보면 소형초식 동물이 1,000개체 정도 유지 가능한 크기로 (Forman, 1995), 충청지역의 산림에는 비교적 다양한 생물이 서식 가능하다. 면적가중 형태지수는 원형(圓形)에 가까울수록 0으로 수렴하는데, 많은 충청지역 산림의 평균형태지수는 9.8로 일부 산림패치를 제외하고는 내부 종 서식이 가능한 핵심지역보다는 가장자리가 많은 형태를 하고 있다. 산림내부 조류종의 등지와 관련성이 있는 경급은 평균 2.1로 나타났으며, 다양한 서식 종이 서식할 수 있는 서식환경의 다양성을 나타내는 지표인 영급다양성은 평균 3.9로 나타났다. 충청

지역은 비교적 다양한 서식구조를 가지고 있으며, 등지관련성으로 서식조건을 살펴보면 서식환경이 양호한 것으로 판단되었다. 종 다양성 및 균 등도를 모두 평가할 수 있는 지수인 Simpson 지수로 산림내부 종 다양성을 평가한 결과 충청지역 산림의 내부 종 평균 다양성은 0.6으로 나타났다. 전체적으로 조류종 다양성이 높게 나타났지만, 일부 산림패치의 경우 전국자연환경 종 조사 자료에서 한 종만이 다수 발견되었다고 기록된 경우가 다수 존재하였다(표 1).

조류 다양성에 영향을 미치는 산림특성의 상대적 중요성을 분석한 결과는 식 1과 같다. 산림내부에 서식하는 조류 종은 산림이 크고, 산림패치 내부에 다양한 영급이 존재하여 식생의 구조적 다양성이 높을수록 조류 종 다양성이 높게 나타났다. 또한 대경목이 많을수록 조류 종 다양성

표 1. 충청지역 산림패치의 구조, 식생특성 변수별 특성.

	구조적 특성		식생특성	
히스토그램				
평균 (표준편차)	15.6(2.8)	9.8(8.9)	2.1(0.5)	3.9(1.8)
조류 종 다양성(Simpson지수)				
히스토그램				
평균 (표준편차)	0.6(0.3)			

이 높아지는 것으로 파악되었다. 산림내부종의 경우에는 형태가 단순할수록 종 다양성이 높은 것으로 나타났다($R^2=0.515$). 분석결과를 표준화시켜 산림 특성이 조류 종 다양성에 미치는 상대적 중요도를 분석한 결과 산림크기, 영급다양성, 형태, 평균경급 순으로 조류 종 다양성에 영향을 미치는 것으로 나타났다(수식 1).

$$Y_{\text{조류종다양성}} = 0.437x_{\text{산림크기}} + 0.332x_{\text{영급다양성}} + 0.068x_{\text{평균경급}} - 0.079x_{\text{형태}} \dots \text{수식 1}$$

이미 많은 연구에서 종-면적과의 관계에서 면적이 커지면 종 다양성이 높아진다고 밝혀졌다 (Forman, 1995; 이동근 등, 2009). 경관생태학 개념에서 산림의 큰 패치는 여러 개의 서식지를 포함하는 것과 같다. 즉, 일반적으로 큰 패치일수록 작은 패치에 비하여 더 많은 서식지를 가지게 되어 다양한 비오톱을 포함하여 서식처 다양성이 높아지고 종 다양성도 높아진다(Forman, 1995; Marzluff and Ewing, 2001; 이동근 등, 2005). 또한 이우신과 임신재(1998)는 도시화에 의한 파편화로 인해 서식지 규모 축소되면 야생조류의 종수와 개체수, 종다양도 지수가 월등히 감소한다는 결과를 제시한 바 있다.

본 연구에 의하면 서식지 크기를 최대화 하는 것이 종 다양성 증진에 있어 최선의 방법이 아닌 것으로 나타났다. 이는 조류나 포유류의 경우 그들이 서식하는 식생의 구조적 형태와 식생 패치의 크기와 밀접한 관계가 있으며(홍선기, 1999), 특히 조류의 경우 산림 서식지의 수직적 엽층 구조가 군집의 생육에 영향을 미치기 때문이다 (MacArthur and MacArthur, 1961; 조기현, 1996; 임신재, 1997). 즉, 같은 면적의 산림이 있어도 산림식생의 자연성과, 산림의 천이과정에 따라 식생의 구조적 다양성에 차이가 나타나기 때문이다 (Nascimbene, et al., 2009). 또한 등지를 틀 수 있는 조건의 수목인 대경목이 상대적으로 많을수록 종 다양성이 높아지기 때문에 이에 대한 고려가

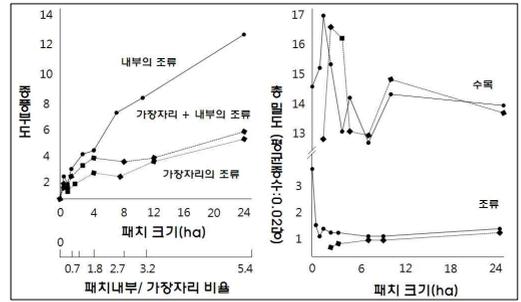


그림 3. 패치크기가 종풍부도에 미치는 영향(Forman, 1995).

필요하다(허위행 등, 2003). 개발로 인한 산림과 편화는 핵심지역을 감소시키고 가장자리 효과를 증가시켜 가장자리 종(일반 종)의 다양성은 높아 지지만 침입종의 영향, 교란으로 산림내부종의 다양성은 낮아지게 된다((Forman and Godron, 1986; 이도원, 2001; Ewers and Didham, 2006). 따라서 산림과편화에 대한 영향 및 교란의 영향을 최소화하기 위해서는 기존의 큰 패치를 원형(圓形)에 가까운 모양으로 유지하는 것이 중요하다. 패치의 모양은 바람, 물, 영양소의 흐름, 생물의 이동 등에서 중요한 의미를 갖고, 형태에 따라 내부와 가장자리의 비율이 변하기 때문이다(이도원, 2001).

산림 내부종의 종 다양성은 산림패치의 크기가 가장 큰 영향을 미치지만(0.437) 그에 못지않게 산림구조의 다양성이 나타날 수 있는 영급이 다양성(0.332), 형태(-0.079), 경급(0.068)이 영향을 미치기 때문에 개발계획에 있어서 이와 같은 요소가 종합적으로 고려되어야 한다. 충청도지역의 개발에 있어서 산림내부종 다양성 유지를 위해서는 지역적 고려를 통해 절대적인 서식지의 크기가 유지될 수 있는 방안을 고려해야 하고, 뿐만 아니라 영급의 다양성이 유지되고, 등지가 유지될 수 있도록 경급이 높은 지역을 우선적으로 보전하는 방안을 고려해야 할 것이다. 또한 가장자리가 많아질수록 종 다양성이 낮아지기 때문에 산림 서식지를 최대한 원형으로 보전할 수 있도록 개발 지역 조정이 필요할 것으로 판단된다.

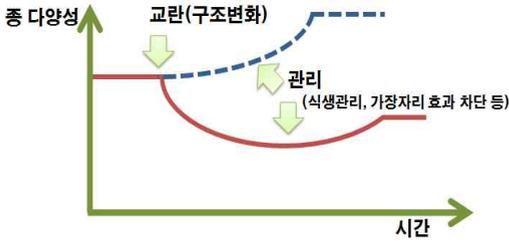


그림 4. 교란에 따른 종다양성 변화.

서식지가 파편화되어 경관구조변화가 발생하게 되면 패치크기 감소, 고립도 증가, 개체군 감소 등의 연쇄반응으로 인한 가장자리효과, 종간의 상호작용 변화, 유전자 퇴화, 외래종 도입 등의 환경변화로 개체군의 생존율, 생산력, 재생 유효성, 취약성 등이 변화하여 궁극적으로는 종 다양성이 감소하게 된다(Hobbs and Yates, 2003). 특히 그림 4과 같이 구조적 교란이 발생하게 되면 향후 관리를 통해 종 다양성을 회복한다고 할 지라도 지역의 종 다양성을 근본적으로 회복하기 어렵기 때문에 개발지역 선정에 신중을 기해야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 충청지역의 산림패치의 구조적 특성 및 식생특성이 산림내부종의 다양성에 미치는 영향관계를 분석하였다. 산림 내부종의 종 다양성은 산림패치의 크기가 가장 영향을 미치고 (0.437) 그에 못지않게 영급 다양성(0.332), 형태 (-0.079), 경급(0.068)이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 충청지역의 종 다양성을 최대한 유지하기 위해서는 지역적 고려를 통해 절대적인 서식지의 크기가 유지될 수 있는 방안을 고려해야 하고, 서식환경이 좋은 식생은 보전할 수 있도록 해야 한다. 또한 가장자리가 많아질수록 종 다양성이 낮아지기 때문에 산림 서식지를 최대한 원형으로 보전할 수 있도록 개발 지역 조정이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 종 다양성이 최대한 유지될 수 있는

개발대상지 적지를 찾는 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구결과를 통해서 개발사업이 조류 종 다양성에 미치는 영향 정도를 정량화 할 수 있을 것으로 보인다. 활용된 변수의 제한성 및 데이터의 한계로 모델 결과의 해석 등은 한계로 남을 수 있지만 본 연구결과를 서식특성에 대한 체계적인 연구와 집단 의사결정체계를 통해서 발전시켜 나간다면 의미가 있을 것으로 판단된다. 특히, 보전지역 제안에 있어서는 조류 종 뿐만 아니라 포유류 등을 포함하고 각 종의 행동반경, 주변토지이용과의 관계, 지형, 수계까지 종합적으로 검토한다면 적용가능성이 더욱 높아질 것이다.

하지만 제2차 자연환경조사 자료는(1997년~2002년)에 조사되고 작성된 것으로서 제1차 자연생태계 전국조사의 문제점은 일부 보완되었지만 조사시기의 차이에 따른 한계를 지니고 있다. 또한 조사자에 따라 데이터 구축 정도가 상이한 점이 있어 전국적으로 적용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 종의 종 조사 및 종의 서식과 환경변수와의 관계에 관한 연구 결과를 바탕으로 모델의 정확성을 더욱 높여나가야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

국립환경과학원. 2005. 생태·자연도 조사체계 개선방안.

김명수. 2001. 파편화된 서식처 복원을 위한 기초이론 고찰. 한국환경복원기술학회지 4(2) : 52-61.

김영숙·박헌우·권미경·김수일. 2002. 산림환경구조에 따른 조류군집 비교 연구. 한국조류학회지 9(2) : 105-114.

서종철. 2005. 환경부 제3차 전국자연환경조사 지형경관분야 개편(안). 한국지형학회지 12(4) : 69-78.

이도원. 2001. 경관생태학 : 환경계획과 설계, 관

- 리를 위한 공간생리. 서울대학교출판부.
- 이동근 · 김보미 · 송원경. 2009. 조류 · 포유류의 분포와 산림면적 토지피복과의 관련성. 농촌계획 15(2) : 19-26.
- 이동근 · 김은영 · 오규식. 2005. 패치크기, 연결성, 가장자리를 고려한 보전가치평가. 한국환경복원녹화학회지 8(5) : 56-67.
- 이우신 · 임신재. 1998. 도시화의 영향에 의한 조류 군집의 변화. 한국조류학회지 5(1) : 47-55.
- 임신재. 1997. 서식지 구조에 따른 번식기 조류군집과 소형 포유류 개체군의 변화에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 조기현. 1996. 광릉지역 낙엽수 자연림과 침엽수 조림지의 서식지 구조와 조류군집과의 관계. 서울대학교 농학석사학위논문.
- 허위행 · 임신재 · 이우신. 2003. 산림 지역의 조류 군집에 대한 도로의 영향. 한국환경생태학회지 17(1) : 1-8.
- 홍선기. 1999. 경관생태학적 관점에서의 생물다양성 보전. 한국생물다양성협의회보 9 : 3-14.
- 홍선기 · 강신규 · 강호정 · 노태호 · 이은주. 2005. 경관생태학 : 이론과 응용. 라이프사이언스 21-44. page.
- Ewers, R. M., and Didham, E. K. 2006. The Effect of Fragment Shape and Species Sensitivity to Habitat Edges on Animal Population Size. Conservation Biology Volume, 21(4) : 926-936.
- Ferrari, J. R., Lookingbill, T. R., and Neel, M. C. 2007. Two measures of landscape-graph connectivity : assessment across gradients in area and configuration. Landscape Ecol. 80 (10) : 9121-9127.
- Forman, R. T. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States, Conserv. Biol, 14(1) : 31-35.
- Forman, R. T.T. 1995. Land mosaics : The ecology of landscape and regions, Cambridge.
- Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, New York.1
- Hobbs, R. J., and Yates, C. J. 2003. Impacts of ecosystem fragmentation on plant population : generalising the idiosyncratic. Australian Journal of Botany 51 : 471-488. In Lindenmayer, D.B., J. Fischer. 2006. Habitat Fragmentation and Landscape Change : An Ecological and Conservation Synthesis. Washington : ISLAND PRESS.
- Holland, H. J., and Bennett, A. F. 2009. Differing responses to landscape change : implications for small mammal assemblages in forest fragments, Biodivers Conserv, 18 : 2997-3016.
- Luther, D., Hilty, J., Weiss, J., Cornwall, C., Wipf, M., and Ballard, G. 2008. Assessing the impact of local habitat variables and landscape context on riparian birds in agricultural, urbanised, and native landscapes. Biodivers Conserv, 17 : 1923-1935.
- MacArthur, R. H., and MacArthur, J. W. 1961. On bird species diversity, Ecology, 42 : 594-598.
- Marulli, J., Mallarach, J. M. 2005. A gis methodology for assessing ecological connectivity : application to the Barcelona metropolitan area. Landscapae and urban planning, 71 : 243-262.
- Marzluff, J. M., and Ewing, K. 2001. Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds : a general framework and specific recommendations for urbanizing landscapes. Restoration Ecology, 9 : 280-292.
- Nascimbene, J., Marini, L., and Motta, R. 2009. Influence of tree age, tree size and crown structure on lichen communities in mature Alpine spruce forests, Biodiversity conser-

- vation, 18 : 1509-1522.
- Vemer, J. M., Morrison, L. M., and Ralph, C. J. 1986. Wildlife 2000; Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates. University of Wisconsin press, Madison wisconsin.
- Schonewald-Cox, C. M. 1983. Guidelines to management : A beginning attempt. In Richard B. Primack. 1993. Essentials of conservation biology. Sunderland, Messachusetts : sinauer Associates, Inc.