

생물다양성 보전을 위한 기후적응지역 설정 연구*
- 삶의 서식지를 중심으로 -

이동근¹⁾·백경혜²⁾·박 찬³⁾·김호걸²⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부, ²⁾ 서울대학교 대학원, ³⁾ 서울대학교 환경대학원

Spatial Planning of Climate Adaptation Zone to
Promote Climate Change Adaptation for Endangered Species*

Lee, Dongkun¹⁾·Baek, Gyounghe²⁾·Park, Chan³⁾ and Kim Hogul²⁾

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

²⁾ Graduate School, Seoul National University,

³⁾ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.

ABSTRACT

This study attempts to facilitate climate change adaptation in conservation area by spatial planning of climate adaptation zone for endangered species. Spatial area is South Korea and select leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) as a target species of this study. In order to specify the climate adaptation zone, firstly, Maximum entropy method (Maxent) was used to identify suitable habitat, and then core habitat was selected for leopard cat. Secondly, land use resistance index was evaluated and least cost distance was analyzed for target species. In this step we choose dispersal capacity of leopard cat to reflect species ecological characteristic. Finally, climate adaptation zone is described and adaptation measures are suggested.

The presented approach could be generalized for application into conservation planning and restoration process. Furthermore, spatial planning of climate adaptation zone could increase heterogeneity

* 본 연구는 환경부 2011 차세대에코이노베이션기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

First author : Lee, Dongkun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dkleee7@snu.ac.kr

Corresponding author : Baek, Gyounghe, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : baekhehe@snu.ac.kr

Received : 7 December, 2011. **Revised** : 20 December, 2011. **Accepted** : 23 December, 2011.

of habitat and improve adaptive capacity of species and habitat itself.

Key Words : *Climate change adaptation, conservation planning, connectivity, ecoprofile, Maxent.*

I. 서 론

생물다양성의 감소에 따라 생물다양성 보전은 전세계적인 이슈로 다루어지고 있다(Butchart et al., 2005). 지금까지의 생물다양성 이슈에서는 서식지 파괴로 인한 파편화 현상들이 많이 다뤄져 왔으나, 기후변화 영향 심화에 따라 파편화와 함께 기후변화가 생물다양성을 감소시키는 주요 요인으로 주목 받고 있다(Opdam et al., 2006). 생물다양성 측면에서 기후변화와 파편화로 인한 영향을 다각적으로 파악하기 위해서는 지역에 서식하고 있는 다양한 생물종의 특성과 지형적인 경향 분석이 이루어져야 한다(Parmesan and Yohe, 2003). 생태계를 구성하고 있는 다양한 생물종의 생태적인 특징 파악을 통한 종합적인 보전 계획이 수립되었을 때 장기적인 생물다양성 보전을 증진할 수 있다(Cabeza and Moilanen, 2001).

현재 기후변화 시나리오에 따른 종 분포를 예측하는 연구가 수행되고 있으나(e.g. Sykes and Prentice, 1996; Davis and Shaw, 2001; Parmesan and Yohe, 2003), 파편화 등 공간적인 단절로 인한 복합적인 영향을 파악하는 데에는 초점을 맞추고 있지 못하다(Sykes and Prentice, 1996; Opdam et al., 2004). 생물다양성 감소에 대한 연구에는 서식지 파편화와 기후변화 요인이 복합적으로 다뤄져야 하며 공간에서의 해결 방안이 제시되어야 한다.

본 연구에서는 기후변화로 인하여 기존의 파편화된 서식지가 교란 또는 파괴되었을 때 대체 서식지로 이용될 수 있는 기후적응지역 선정 방안을 제시하였다. ‘기후적응지역’이란 기후변화 적응 도구(정책 등)를 집중적으로 적용할 수 있는 환경적 조건을 갖춘 지역으로 기존 서식지의 확대가 가능한 지역, 기존 서식지의 질 향상이 가

능한 지역, 생물다양성을 집중적으로 보전해야 하는 지역, 이와 더불어 적응 도구를 도입하였을 때 최대의 효과를 얻을 수 있는 지역을 의미한다(Claire C. Vos et al., 2010). 기후적응지역 설정에서 생물종이 이동할 수 있는 능력 및 종의 서식 특성을 반영하였으며, 보전 지역 선정에 있어서 서식지 및 생물종의 생태적 특성 파악의 중요성을 피력하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

연구지역으로 대한민국 전역을 대상으로 하였으며, 지리적 범위는 경위도 124°54′~136°6′, 33°9′~38°45′에 해당된다.

우리나라 생태계를 대표하는 깃대종인 삯(Prionailurus begalensis)을 대상으로 선택하였다. 삯은 우리나라 내륙 전역에 서식하고 있는 유일한 고양이과 야생동물(최태영 외., 2009)로 멸종위기종 II급에 해당된다. 삯은 넓은 행동반경과 이동거리로 인해 서식지의 외부 환경을 많이 이용하는 특성을 보유하고 있다. 삯은 우리나라 전 지역에 걸쳐 서식이 가능하나 산림지역을 핵심 서식지로 이용하고 산림경계 주변 초지 등에서 먹이활동을 하는 종이다. 기후변화로 인하여 기존 서식지가 교란되거나 파괴되었을 때 새로운 서식지로의 이동성이 높은 중형동물인 삯을 대상으로 선택하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 “기후적응지역”을 선정하여 현재의 서식지와 미래 적합 서식지간의 연결성을 향상시키고자 하였다. 대상종이 이동할 수 있는 범위는 생물이 보유하고 있는 고유의 특징인 생태특

성('Ecoprofile'; Opdam et al., 2008)으로 정의될 수 있으며 서식에 필요한 조건, 서식 범위, 번식에 필요한 최소 개체군의 크기 등이 해당된다.

생물종 및 서식지의 기후변화 적응을 위한 '기후적응지역' 설정을 위하여 1) 대상 생물종이 서식하기 적합한 지역을 파악하고, 2) 생물종이 이동할 수 있는 능력을 고려하여 최소비용경로를 추출하였으며, 3) 잠재적으로 이용될 수 있는 서식지의 이용 가능성을 파악하여, 4) 잠재적 서식지를 '기후적응지역'으로 선정하였다.

삼의 서식적지를 파악하기 위하여 Maxent (Maximum entropy method)를 사용하였으며, 최소비용경로 추출을 위하여 ArcGIS 9.3을 이용하였다. Maxent는 종의 출현정보를 기반으로 종의 지리적인 분포를 예측하는 모델이며 입력변수가 부족한 상황에서도 목표종의 서식지를 분석할 수 있다(Philips et al., 2006). Maxent 모형은 회귀분석을 기반으로 하며 야생동물의 출현정보를 바탕으로 최대 엔트로피 접근법(Maximum entropy approach)을 통해 야생동물의 분포를 예측한다(이동근 외., 2010). 모형의 종속변수로는 출현정보, 독립변수로는 환경변수가 입력된다. 모델의 결과물로는 Habitat Suitability Index(HSI)가 도출되며 0(비출현)과 1(출현)의 서식지 적합성이 분석된다(Philips and Dudik, 2008). 삼의 출현정보는 제2차 「전국자연환경조사」(1997-2003)를 참고하였으며 삼의 출현지점을 이용하여 Maxent 모형을 구동하였다. HSI(서식적합지수)가 0.5 이상인 지역을 실질서식 가능지로 추출하였다(Tobias et al., 2010).

최소비용경로를 추출하기 위하여 토지피복지도를 이용하여 산림지역과 토지피복별 이동 저항인자를 추출하였다. 집중호우, 산불, 산사태와 같은 극한기후현상의 발생으로 서식지가 교란되거나 파괴되었을 때 대체 서식지로 이동하는 과정에서 경관의 구성요소에 따라 이동에 영향을 미치는 저항인자가 달라진다. 이동에 있어서 저항이 되는 요인들은 종의 특성에 따라서도 다르게

표 1. 경관 내 저항요소별 저항계수.

경관요소	저항계수	경관요소	저항계수
침엽수림	1	하우스재배지	10
활엽수림	1	기타재배지	10
혼효림	1	골프장	20
자연초지	2	나지	50
기타초지	3	주거/상업	100
습지	3	공업지역	100
밭	8	도로	400
과수원	8	하천	1,000
논	10	-	

나타난다. 이동근 외(2004)에서 도출된 경관요소별 마찰계수를 적용하였으며, 캐나다 스라소니(*Lynx canadensis*)를 대상으로 경관투과성을 계산한 연구결과를 참고하여(Palomarea et al., 2000; Theobald 2004) 저항계수를 산출하였다. 최소비용경로 추출 과정에서 기존 문헌 검토를 통하여 삼의 최대 이동 거리를 15km로 설정하였다.

잠재적으로 이용될 수 있는 서식지를 파악하기 위하여 삼이 필요로 하는 서식면적을 파악하였다. 태국의 연구에서는 총 20개체의 삼을 모니터링한 결과 평균 행동권의 크기가 13.2km²로 파악되었으며(Grassman et al., 2005), 일본 쓰시마 섬에 서식하는 삼의 행동권은 0.3~15km²로 파악되었다(Oh, 2005). 기존의 연구에서 조사된 삼의 서식특성을 반영하여 서식에 필요한 크기를 10km²로 설정하여 잠재적서식지를 선정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 분석결과

'기후적응지역'의 정의에 부합하는 지역을 선정하기 위해 삼이 서식하기 적합한 지역을 Maxent를 통하여 파악하였다. 기후적응지역은 기존의 적합한 서식지 외에 이용될 수 있는 지역으로 기

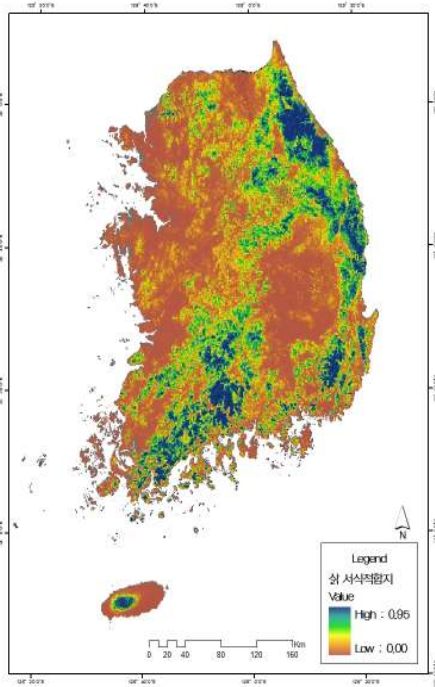


그림 1. 삵의 서식지 적합도.

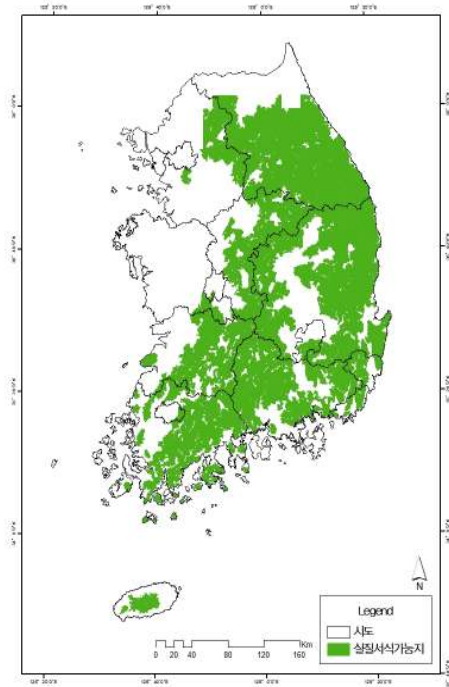


그림 2. 실질서식가능지(산림)를 반영한 삵의 적합서식지.

존 서식지와 연결성을 파악하기 위해 삵의 현재 서식지를 우선적으로 분석하였다.

삵의 서식적합지수는 전국 평균 $0.52(\pm 0.12)$ 로 분석되었으며 강원도, 전라북도, 경상남도 일부 지역에서 높은 서식지 적합성을 보였다. 대부분 산림지역에서 높은 서식 적합도가 나타났다.

Maxent를 통하여 파악된 삵의 적합 서식지와 토지피복도에서 추출한 산림 지역을 중첩하여 그림 2와 같이 실질적으로 서식하기 적합한 지역을 추출하였다. 삵은 우리나라 전역에서 서식이 가능하나 산림을 핵심 서식지로 이용하는 특성을 가지며 장기적인 생물다양성 보전 측면을 고려하고자 산림지역을 중심으로 실질적으로 서식 가능한 지역을 파악하였다.

그림 2에서 도출된 삵의 실질 서식 가능지와 경관 내 저항요소를 입력하여 최소비용경로를 추출하였다. 최소비용경로와 삵의 핵심서식지인 산림과 중첩하여 삵의 잠재적 서식지를 파악하였다.

잠재적 서식지란 삵의 이동반경을 고려하였을 때 적합한 서식지로 원활하게 이동이 가능한 지역을 의미한다. 잠재서식지는 삵의 서식에 필요한 면적을 충족하는 10km^2 이상인 지역을 추출하였다. 그림 3는 삵의 행동반경을 고려한 잠재서식지와 Maxent를 통해 도출된 적합한 서식지를 중첩한 도면이다. 잠재적 서식지는 연결성 및 생물종의 이동성을 고려하였을 때 ‘기후적응지역’으로 계획될 수 있는 지역이다.

2. 기후 적응 지역

생물종이 서식할 수 있는 지역을 파악하고 지역 내에서 생물이 이동할 수 있는 범위(능력)를 적용하여, 기존 서식지에 교란이 발생하였을 때 대체 서식지로 이용될 수 있는 ‘기후적응지역’을 선정하였다. 기후적응지역이란 전술한 바와 같이 기후변화 적응 도구가 적용되었을 때 최대의 적응 효과를 얻을 수 있는 지역이다. 이는 기존의 보전 지역과 연계성이 높으며, 보전지역의 확장

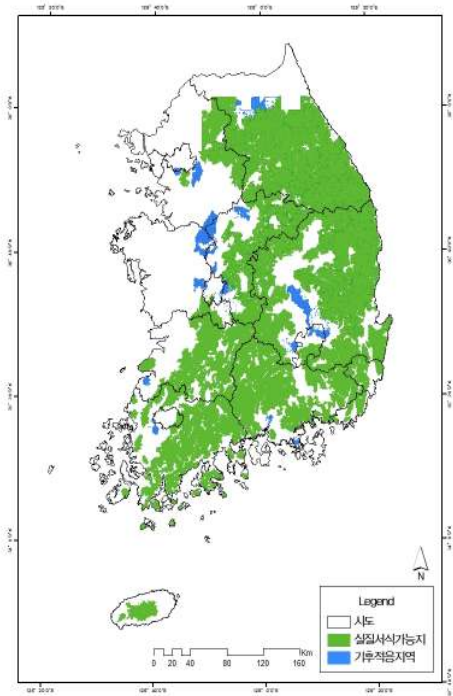


그림 3. 삶의 행동반경을 고려한 잠재서식지.

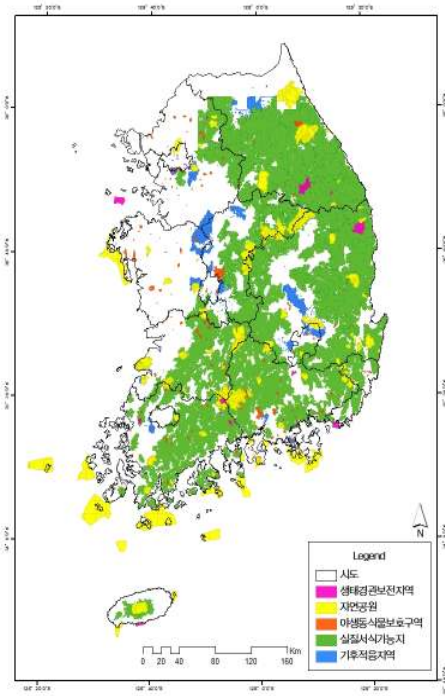


그림 4. 기후적응지역과 보호지역(환경부).

성이 높은 지역, 서식지의 다양성 확대를 통한 질 향상이 가능한 지역이다.

파편화된 경관에서 연결성의 확보는 중요한 보전 전략으로 기후변화로 인한 서식지 변화에도 중요한 역할을 하고 있다. 기존의 서식지와 연결성과 생물종의 특성을 반영한 기후적응지역은 기존에 수립된 보전지역의 확대 및 확충에 있어서 적합한 지역으로 이용될 수 있다. 잠재적인 서식지로 기후적응지역을 이용하기 위해서는 복원적 측면에서 생물종이 이용할 수 있는 다양한 서식지를 조성하고 질을 향상시키는 방안이 동반되어야 한다.

그림 4는 기존의 보호지역을 나타내고 있으며 서식지의 특성 및 단일종만을 고려하고 있다. 점진적으로 생태계를 구성하는 생물종들의 특징을 반영한 보전계획 수립의 필요성이 증가하고 있다.

소규모로 흩어져 있는 기존 보전지역의 효과적인 기후변화 적응을 위해서는 지역 내 서식 종

의 구성과 생태적 특성을 반영한 기후적응지역이 수립되어, 보전지역만이 아닌 그 주위의 완충지대로서 서식지가 보완되어야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 기후적응지역을 공간적으로 설정하고 서식지와 대상 생물종의 기후변화 적응을 촉진하여, 효과를 최대화할 수 있는 방안을 고찰하였다. 이 과정에서 대상종인 삶의 출현정보를 이용하여 삶이 서식하기 적합한 지역을 추출하였으며, 삶의 생태적 특성인 이동거리를 고려한 기후적응지역을 선정하였다. 기후적응지역에 적용할 수 있는 적응 방안들을 제시하여 기존의 보전지역의 확장 및 생태적 복원 측면에도 적용될 수 있음을 제고하였다.

다만 기후적응지역은 대상생물종의 이동에 있어서 경관의 저항요소만을 고려하였으므로 도출된 지역의 대체서식지로서 이용여부를 파악하여

적합도를 향상시키는 방안이 적용되어야 한다. 이와 더불어 현장조사와 전문가 검토를 통하여 도출된 기후적응지역이 대상종이 서식하기 적합한 곳인지 검증이 이루어져야 할 것이다.

추후 연구에서는 보전지역의 기후변화 적응을 위해 현재 적합한 서식지와 미래에 적합한 서식지가 도출되어야 한다. 또한 기후변화에 취약한 생물종과 대상종이 서식하는 지역을 구성하고 있는 생물종을 파악하여 이들의 생태적 특성이 반영된 '기후적응지역'을 계획하여야만 한다. 하지만 연구 수행과정 중 기후변화 취약 생물종의 출현정보와 이동능력 등과 같은 생태적 특성 정보의 부재로 인한 한계가 있을 수 있다. 보전대상의 효과적인 기후변화 적응을 위해서는 출현정보 구축과 동시에 생물들의 생태적 특성에 대한 조사가 면밀히 이루어져야 할 것이다.

인 용 문 헌

- 이동근·김호걸. 2010. Maxent 모형을 이용한 서식지 잠재력 평가 -하천으로부터의 거리, 하천의 차수, 토지이용을 중심으로. 한국환경복원학회 13(6) : 161-172.
- 이동근·박찬·송원경. 2008. 경관의 특성에 따른 동물의 이동경로에 관한 연구. 한국환경영향평가학회 17(2) : 133-141.
- 이동근·송원경. 2008. 습의 서식지 적합성 평가를 위한 분석단위 설정 및 보전지역 설정-충청도 지역을 중심으로-. 한국조경학회지 36(5) : 64-72.
- 최태영·박종화. 2009. 농촌지역의 습 행동권. 한국환경생태학회 학술대회 논문집 19(1) : 56-58.
- 최태영·최현명. 2007. 야생동물 흔적도감. 들베개.
- Butchart S. H. M., A. J. Stattersfield, J. Baillie, L. A. Bennun, S. N. Stuart, H. R. Akçakaya, C. Hilton-Taylor and G. M. Mace. 2005. Using red list indices to measure progress towards the 2010 target and beyond. Phil. Trans R. Soc. B360 : 255-268.
- Cabeza and Moilanen, 2001. Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. Trends in Ecology & Evolution, 16(5) : 242-248.
- Camille Parmesan, Nils Ryrholm, Constanti Stefanescu, Jane K. Hill, Chris D. Thomas, Henri Descimon, Brian Huntley, Lauri Kaila, Jaakko Kullberg, Toomas Tammaru, W. John Tennent, Jeremy A. Thomas and Martin Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. Nature 399 : 579-583.
- Chris D., Thomas, Alison Cameron, Rhys E. Green, Michel Bakkenes, Linda J. Beaumont, Yvonne C. Collingham, Barend F. N. Erasmus, Marinez Ferreira de Siqueira, Alan Grainger, Lee Hannah, Lesley Hughes, Brian Huntley, Albert S. van Jaarsveld, Guy F. Midgley, Lera Miles^{8,15}, Miguel A. Ortega-Huerta, A. Townsend Peterson, Oliver L. Phillips and Stephen E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. Nature 427 : 146-148.
- Claire C. Vos, Dirk C. J. van der Hoek and Marijke Vonk. 2010. Spatial planning of a climate adaptation zone for wetland ecosystems. Landscape Ecol. 25 : 1465-1477.
- Davis M. B., and R. G. Shaw. 2001. Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. Science 292 : 673-679.
- Grassman, L. I., Michael E. Tewes, Nova J. Silvy and Kitti Kreetiyutanont. 2005. Spatial organization and diet of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in north-central Thailand. Journal of Zoology(London) 266 : 45-54.

- Heller N. E., and Zalvaleta E. S. 2009. Biodiversity management in the face of climate change : a review of 22 years of recommendation. *Biol Conserv.* 142 : 14-32.
- IPCC. 2007. Climate change. In; Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof j. p., Van Der Linden P. J., Hanson C. E. (eds) Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kuemmerle, T., K. Perzanowski, O. Chaskovskyy, K. Ostapowicz, L. Halada, A.-T. Bashta, I. Kruhlov, P. Hostert, D. Waller and V. C. Radeloff. 2010. European Bison habitat in the Carpathian Mountains. *Biological Conservation* 143 : 908-916.
- Oh, D. H., Shusaku Moteki, Nozomi Nakanish and Masako Izawa. 2010. Effects of human activities on home range size and habitat use of the Tsushima leopard cat (*Prionailurus bengalensis euptilurus*) in a suburban area on the Tsushima Island, Japan. *J. Ecol. Field Biol.* 33 : 3-13.
- Opdam P., Eveliene Steingröver and Sabine van Rooij. 2006. Ecological networks : A spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landscape and Urban planning* 75 : 322-332.
- Opdam P., Pouwels R., Sabine van Rooij, Steingrover E., and Vos Claire C. 2008. Setting biodiversity targets in participatory regional planning : Introducing Ecoprofiles. *Ecology and Society* 13(1) : 20.
- Opdam P., and Wascher D.. 2004. Climate change meets habitat fragmentation : linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation* 117 : 285-297.
- Palomares, F., Delibes, M., Ferras, P., Fedriani, J. M., Calzada, J., and Revilla. E. 2000. Iberian lynx in a fragmented landscape : Predispersal, dispersal and postdispersal habitats. *Conservation biology*, 14(3) : 809-818.
- Parmesan and Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421 : 37-42.
- Philips J. Steven and Dudik Miroslav. 2007. Modeling of species distribution with Maxent : new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31 : 161-175.
- Steven J. Philips, Robert P. Anderson and Robert E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190 : 231-259.
- Sykes, M. T., and Prentice, I. C., 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics : a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change* 34 : 161-177.
- Theobald, D. M. 2004. Modeling functional landscape connectivity using effective distance and graph theory. *International Association of Landscape Ecologist*, Las Vegas. NV, April 1.
- Verboom, J., Foppen, R. P. B., Chardon, J. P., Opdam, P. F. M., and Luttikhuisen, P. 2001. Introducing the key patch approach for habitat networks with persistent populations: an example for marshland birds. *Biological Conservation* 100 : 89-101.