

백로와 왜가리 집단번식이 소나무군집에 미치는 영향

문 형 태 · 조 삼 래

공주대학교 자연과학대학 생물학과

Effects of Group Breeding of Herons on Pine Community

Mun, Hyeong-Tae and Sam-Rae Cho

Department of Biology, Kongju National University

ABSTRACT

Effects of group breeding of herons on pine community were studied at Pomaeri, in Yangyang, Kangwon Province, Korea. This site has been protected as a Natural Monument (No. 229) since 1970. Herons have used this habitat as a breeding site from January to October every year. In 1995, more than 500 herons were observed in this habitat. Many big pine trees are dying or already dead due to group inhabitation of herons, and no pine saplings were found at forest floor in this habitat. Nutrient contents of soil in this habitat were much higher than those in control plot. This must be due to the addition of feces from herons and of thin twigs and other organic materials from the canopy and bird nests. Species composition of herb layer in this habitat was quite different from that in control plot. Breeding site was dominated by *Humulus japonicus*, *Persicaria perfoliata*, *Persicaria thunbergii*, and *Commelina communis*, which are indicator species of soil eutrophication.

Key words: Breeding site, Eutrophication, Group inhabitation, Heron, Nutrient content, Species composition

서 론

하천이나 호소의 부영양화는 잘 알려져 있는 현상으로 부영양화에 따른 구성종의 변화가 뚜렷하고 수계생태계 전반에 걸쳐 해로운 효과를 나타내기 때문에 이에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다 (Jakucs 1991). 그러나 최근에는 물의 부영양화 뿐만이 아니고 육상생태계의 토양의 부영양화가 중요한 문제로 대두되고 있다.

대부분의 1차 천이 과정에서는 천이가 진행됨에 따라 토양의 영양염류 함량이 증가하고 있다 (Crocker and Major 1955, Crocker and Dickson 1956). 따라서 삼림토양의 부영양화는 자연적인 현상으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 자연적인 현상 이외에도 삼림의 쇠퇴에 따른 유기물의 첨가와 분해, 특정한 수종의 조림, 완전 벌목, 그리고 대기오염물질 특히 질소산화물의 침적에 의해 토양이 부영양화 될 수 있다. 부영양화가 진행된 지역에서는 하층식생의 변화가 수반되며,

지역에 따라서는 원래의 초본식물이 사라지고 부영양화된 토양에서 유리한 일부 종에 의해 그 지역이 우점되기 때문에 종다양성의 감소를 초래하기도 한다.

우리 나라에는 봄부터 여름에 걸쳐 백로와 왜가리가 집단으로 번식하는 장소가 몇 군데 있다 (원 1975). 백로와 왜가리가 삼림의 수관층에 둥지를 만들고 서식하면 나무들은 점차 활력이 떨어지고 결국 고사하게 된다. 또한 이들의 배설물이나 다른 여러 가지 요인으로 토양 성질의 변화가 예상된다. 이러한 지역에서는 우점수종의 보충이 전혀 일어나지 않기 때문에 삼림이 황폐화되고, 조류는 다시 인접 지역으로 서식지를 옮겨 점차적으로 삼림의 훼손면적이 늘어나게 된다.

본 연구는 강원도 양양군 포매리의 백로와 왜가리 집단서식지인 소나무(*Pinus densiflora*) 군집과 그와 인접한 주변에 위치하면서 이들 조류가 서식하지 않는 소나무군락의 구조와 토양의 화학적 특성을 조사 비교하여 조류의 집단서식으로 인한 토양의 부영양화 정도 및 그로 인한 식물군락의 변화를 파악하고, 조류의 집단서식으로 훼손된 삼림생태계를 복원하기 위한 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

조사지 개황

본 연구의 조사지소는 행정구역상 강원도 양양군 포매리에 있는 소나무림이다. 이 지역의 백로 및 왜가리 집단번식지는 1970년에 천연기념물 제229호로 지정되어 보호되고 있다. 백로와 왜가리는 2월 초순경부터(왜가리) 3월 초순경에(백로) 걸쳐 우리나라에 도래하여 번식을 마친 후 9월말부터 10월에 남쪽으로 이동하는 철새들이다. 본 조사지소에서 1995년 4회에 걸쳐 조사한 자료에 의하면 대규모의 중대백로와 왜가리 외에도 쇠백로, 황로 등이 일부 관찰되었다 (Table 1). 대조구로는 조류가 서식하지 않는 인접한 소나무림을 선정하였다.

조사 방법

1995년 8월 19~21일, 9월 23~24일에 각 소나무군락에서 관목층은 각각 8개의 5 m × 5 m 방형구, 초본층에서는 각각 12개의 1 m × 1 m 방형구를 추출하여 구조를 조사하였다. 관목은 출현종의 빈도, 피도 및 밀도를, 그리고 초본식물은 빈도와 피도를 산출하여 중요치를 구했다. 토양은 0~15 cm 깊이에서 채취하였다. 서식처와 대조구에서 진 지역이 고르게 포함되도록 각각 5 점씩 채취하였다. 한 점의 토양을 채취할 때에는 반경 2 m 이내에서 5지점의 토양을 모아 하나로 합하였다. 토양은 실험실로 가져온 다음 음건시켜 2 mm 체로 친 후 분석에 사용하였다.

Table 1. Observed number of individuals in each species of heron at Pomaeri, Yangyang, Kwangwon Province in 1995

Species	Observation date			
	March 13	May 28	June 22	July 17
<i>Ardea cinerea</i> (왜가리)	198	205	337	242
<i>Egretta alba modesta</i> (중대백로)		307	163	250
<i>Egretta garzetta</i> (쇠백로)			5	16
<i>Bubulcus ibis</i> (황로)				2
Total number	198	512	505	510

토양의 산도는 pH meter로, 유기물함량은 600℃의 전기로에서 4시간 동안 태운 후 작열소실량으로 측정하였다. 토양의 질질소는 micro Kjeldahl법으로 측정하였고, 토양의 유효인은 NH_4F 로 추출한 후 발색시켜 비색 정량하였다 (Allen *et al.* 1974). 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 원자흡광광도계로 정량하였다 (Wilde *et al.* 1979). Total-Sulfur는 Bardsley and Lancaster(1960)에 따라 분석하였다. 서식처와 대조구 토양의 분석자료는 모두 t-검정을 실시하였으며, 유의수준 5%를 기준으로 판정하였다.

결과 및 고찰

서식처 소나무군락의 구조

교목층은 모두 소나무이었고, 그 밀도는 1,600 그루/ha, 평균 흉고직경은 34.6 cm, 서식처 면적은 약 1,500 m^2 이었다. 관목상태나 실생 단계의 소나무는 전혀 관찰되지 않았고 백로 서식으로 완전 고사된 소나무, 고사 직전에 있는 개체들, 가지가 일부 고사한 개체들이 혼합되어 있었으며, 전반적으로 생육상태가 불량하였다.

관목층도 매우 빈약하여 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia*), 밤나무(*Castana crenata*), 가중나무(*Ailanthus altissima*), 떡갈나무(*Quercus dentata*)가 1~2그루씩 분포하고 있었다. 이들 관목들의 잎들은 대부분 조류의 배설물로 덮여있었다. 교목층의 밀도가 낮고 관목층도 빈약하기 때문에 초본층의 생육상태는 매우 양호하였다.

초본층에는 대부분 토양이 부영양화 된 지역에서 흔히 볼 수 있는 고마리(*Persicaria thunbergii*), 소리쟁이(*Rumex crispus*), 명아주(*Chenopodium album* var. *centrorubrum*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 머느리배꼽(*Persicaria perfoliata*), 쇠무릎(*Achyranthes japonica*), 닭의장풀(*Commelina communis*), 여뀌(*Persicaria hydropiper*), 미국자리공(*Phytolacca americana*), 쭉(*Artemisia princeps* var. *orientalis*) 등이 주로 분포하고 있었다 (Table 2). 토양이 비옥하고 햇빛의 투과가 양호하기 때문에 이들 초본의 생장이 매우 양호하였다. 1995년 9월에 조사한 이 지역의 초본층 현존량은 277 g/m^2 이었다.

Table 2. Species composition of herb layer of pine forest, breeding site of herons, at Pomaeri, Yangyang

Species	Relative frequency(%)	Relative cover(%)	Importance value
Herb layer : cover 90%			
<i>Humulus japonicus</i> (환삼덩굴)	14	17	31
<i>Persicaria perfoliata</i> (머느리배꼽)	13	17	30
<i>Commelina communis</i> (닭의장풀)	11	17	28
<i>Persicaria thunbergii</i> (고마리)	13	13	26
<i>Rumex crispus</i> (소리쟁이)	13	8	21
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> (명아주)	11	8	19
<i>Achyranthes japonica</i> (쇠무릎)	8	8	16
<i>Persicaria hydropiper</i> (여뀌)	8	8	16
<i>Phytolacca americana</i> (미국자리공)	6	2	8
<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> (쭉)	3	2	5

대조구 소나무군락의 구조

대조구 소나무군락의 교목층도 모두 소나무로 구성되어 있었고 피도는 약 60% 이었다. 대조구 소나무군락 개체들의 평균 흉고직경은 26.7 cm로 서식처에 비해 작았으나, 임목밀도는 2,800 그루/ha로 서식처에 비해 높았다. 관목층에는 진달래 (*Rhododendron mucronulatum*), 산철쭉 (*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*), 때죽나무 (*Styrax japonica*), 산벚나무 (*Prunus sargentii*), 개웃나무 (*Rhus trichocarpa*), 관목상 떡갈나무 (*Quercus dentata*), 관목상 갈참나무 (*Quercus aliena*) 등이 분포하였으며, 이들의 평균 피도는 약 60%이었다 (Table 3).

초본층에는 그늘사초가 우점하였으며, 억새, 꽃머느리밥풀, 둥굴레, 대사초 등이 출현하였으나 피도는 높지 않았다. 대조구에서 조사된 초본식물의 현존량은 22.5 g/m²으로 조류의 집단번식지에 비해 그 값이 현저히 낮았다.

토양의 특성

서식처와 대조구 소나무군락의 토양 성질을 Table 4에 종합하였다. Table 4에서 보는 바와 같이 토양 유기물 함량을 비롯하여 전질소, 유효인, 칼륨, 칼슘, 그리고 황 함량에서 서식처와 대조구 소나무군락 토양 사이에 큰 차이를 보였다. 이러한 원인은 서식하고 있는 백로와 왜가리의 배설물이 임상에 이입될 뿐만 아니라, 조류의 집단서식으로 인하여 교목의 나뭇잎이나 가지의 고사에 의한 유기물 첨가, 그리고 어린 새를 먹이기 위해 날라온 먹이(주로 인근 하천이나 논에서 포획한 어류)가 임상에 떨어져 분해되기 때문인 것으로 추정된다. 특히 유효인의 경우 서식처는 대조구에 비해 30배 이상 높은 것으로 나타났다. 이것은 백로와 왜가리의 배설물에 다량의 인이 포함되어 있기 때문인 것으로 추정된다. 또한 조사기간 중에도 원서식처의 임상에 미꾸라지, 붕어, 피라미 등 많은 물고기가 떨어져 있는 것을 관찰할 수 있었다.

Table 3. Species composition of shrub and herb layers of a control pine forest, at Pomaeri, Yangyang

Species	Relative frequency (%)	Relative cover (%)	Relative density (%)	Importance value
Shrub layer: cover 60%				
<i>Rhododendron mucronulatum</i> (진달래)	37	40	33	140
<i>Quercus dentata</i> (떡갈나무)	11	16	17	44
<i>Rhododendron yedoense</i>				
var. <i>poukhanense</i> (산철쭉)	15	16	8	39
<i>Prunus sargentii</i> (산벚나무)	15	8	13	36
<i>Rhus trichocarpa</i> (개웃나무)	15	8	13	36
<i>Quercus aliena</i> (갈참나무)	4	8	8	20
<i>Quercus acutissima</i> (상수리나무)	4	4	8	16
Herb layer: cover 30%				
<i>Carex lanceolata</i> (그늘사초)	30	35	—	65
<i>Miscanthus sinensis</i> (억새)	18	24	—	42
<i>Melampyrum roseum</i> (꽃머느리밥풀)	18	18	—	36
<i>Polygonatum odoratum</i>				
var. <i>pluriflorum</i> (둥굴레)	15	14	—	29
<i>Carex siderosticta</i> (대사초)	10	6	—	16
<i>Potentilla freyniana</i> (세잎양지꽃)	8	4	—	12

Table 4. Comparison of soil properties between the breeding site and the control site (mean±SD)

Items	Breeding site	Control site
Organic matter (%)	27.2±8.61**	10.2±1.13
pH	4.0±0.17**	4.6±0.05
Total nitrogen (mg/g)	14.8±5.75***	2.8±0.35
Phosphate ($\mu\text{g/g}$)	19.3±4.63***	0.6±0.18
Potassium ($\mu\text{g/g}$)	10.8±0.03***	1.27±0.33
Calcium ($\mu\text{g/g}$)	26.6±9.78***	3.5±1.01
Magnesium ($\mu\text{g/g}$)	2.7±1.33 ^{NS}	1.6±0.36
Total sulfur (mg/g)	92.0±3.85***	18.8±2.04

^{NS}: Not significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

이 지역이 모두 소나무림이기 때문에 토양의 산도는 낮을 것으로 예상하였지만 서식처의 토양 산도가 대조구에 비해 더 낮았고, 이러한 차이는 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. 토양의 유기물 함량도 서식처가 대조구에 비해 현저히 높게 나타났다. 이것은 백로와 왜가리가 등지를 만드는 교목의 잎, 가지 등이 고사하여 임상에 유입되고, 초본층의 생산량이 많아 토양에 첨가되는 유기물량이 많기 때문인 것으로 판단된다. 토양의 전질소와 유효인 함량은 서식처와 대조구 토양 사이에 0.1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

토양의 칼륨과 칼슘함량도 서식처와 대조구 사이에 큰 차이가 있었다. 백로와 왜가리 서식지 토양의 칼슘 함량이 높은 이유 중의 하나는 이들 조류의 알이 부화된 후 알껍질이 임상에 떨어져 분해되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 마그네슘은 서식처와 대조구 사이에 유의한 차이가 없었다.

한편 토양의 황 함량에서도 큰 차이가 있었다. 서식처 토양에서 황 함량이 높은 것은 산란기 때의 알이 여러 가지 원인으로 떨어져 깨지거나 부화 잔재물들이 많이 떨어지기 때문인 것으로 판단되지만 이에 대해서는 더 조사가 필요한 것으로 생각된다.

삼림토양은 자연적인 천이과정을 거치면서 점진적으로 부영양화 상태에 이르게 된다. Crocker와 Major(1955), Crocker와 Dickson(1956)은 빙하가 후퇴한 지역에서 진행되는 1차 천이 과정에서 토양의 영양염류 함량, 특히 질소의 증가를 보고한 바 있다. Jakucs(1991)은 삼림 토양의 부영양화가 여러 가지 요인에 의해 유발될 수 있음을 지적하였고, 부영양화 결과 호질소성 식물이 출현하는 것을 언급한 바 있다.

완전벌목은 임상에 투과되는 광량을 증가시키고, 벌목과정에서 생기는 잔가지나 잎, 기타 식물의 기관이 토양에 이입되어 분해되기 때문에 영양염류가 풍부해진다. 또한 완전벌목이 실시된 곳에는 초식동물들이 이용할 수 있는 새 순이 많아 이들 초식동물의 수와 체류시간이 증가하여 배설물의 양이 증가하게 되고 (Jakucs 1991), 그 결과 토양의 양분이 증가하게 된다. 이 밖에 아까시나무를 조림한 지역에서 토양의 질산태질소의 함량이 증가하고 하층 초본식생의 구성이 달라진다는 것이 밝혀졌다 (Nagy and Nagy 1981).

최근에는 대기오염물인 질소산화물이나 암모니아가 토양에 이입되어 질소에 의한 부영양화가 일어나고 있다 (Press *et al.* 1986, Fowler *et al.* 1989, Wellburn 1990, Bell 1994). 질소뿐만 아니라 대기중으로 부터 이입되는 황산화물 때문에 토양의 황 함량이 증가하고 있다 (Fowler *et al.* 1989, Pyo 1994). 이러한 부영양화로 인한 생태계의 반응에 관해서는 구체적인 자료가 미비한 실정이다.

조류의 집단번식으로 인한 삼림토양의 부영양화는 그 규모가 크지는 않지만 부영양화의 진행 속도가 빠르고 그에 대한 생태계의 반응도 빠르기 때문에 육상생태계의 부영양화에 따른 변화과정을 예측할 수 있다. 조류의 집단번식으로 인한 삼림생태계의 반응은 수관층수의 쇠퇴, 임상에 이입되는 광량의 증가, 배설물이나 기타 유기물의 이입으로 인한 토양의 질소, 인, 칼륨, 칼슘의 증가와 토양의 산성화, 그리고 임상 초본층 식생의 종구성 변화로 요약할 수 있다. 또한 실생에 의한 교목의 보충이 이루어지지 않기 때문에 짧은 시간 동안에 식물군락의 천이가 예상된다.

백로와 왜가리들이 교목의 가지에 등우리를 만들기 때문에 이들에 의한 물리적인 영향과 새들의 배설물이 잎 표면에 떨어져 가지가 점점 고사하고 결국 식물 전체가 고사한다. 하층을 구성하는 관목들도 생육기간 동안 잎에 배설물이 덮여 있어 광합성에 영향을 받을 것으로 생각된다. 특히 교목이 고사함에 따라 관목에도 등지를 만들기 때문에 관목도 피해를 받고 있다.

이에 비해 초본층은 대조구에 비해 종 구성도 판이하게 다르고 식물의 생장도 매우 양호한 것을 알 수 있다. 일반적으로 부영양화가 진행됨에 따라 종 구성이 단순해지는 것으로 보고되고 있으나 (Nagy and Nagy 1981, Jakucs 1991, Bell 1994), 본 조사지역에서는 오히려 종 수가 증가하는 것을 알 수 있다 (Table 2). 그러나 본 조사지역 이외의 다른 백로와 왜가리 번식지에서는 초본식물의 구성종이 매우 단순하게 변하는 지역도 관찰할 수 있었다 (문, 미발표자료).

적 요

강원도 양양 포매리의 백로와 왜가리 집단번식이 삼림생태계에 미치는 영향을 조사하였다. 이 지역은 1970년 부터 천연기념물 229호로 지정되어 보호되고 있는 곳으로 1995년 조사에 의하면 500개체 이상의 백로와 왜가리가 서식하는 것으로 관찰되었다. 조류의 집단번식으로 큰 소나무들이 죽어가고 있거나 일부는 이미 고사하였다. 실생에 의한 소나무의 보충은 일어나지 않았다. 서식처 소나무군락의 토양 영양염류 함량은 대조구 소나무군락에 비해 현저히 높았다. 이것은 주로 조류의 배설물, 수관층과 등지에서 떨어진 잎과 가지의 분해에 기인하는 것으로 판단되었다. 교목과 관목이 고사함에 따라 임상에 투과되는 광량이 증가하여 초본층의 식물종이 대조구와 현저한 차이가 있었다. 부영양화 된 서식지에는 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 머느리배꼽(*Persicaria perfoliata*), 고마리(*Persicaria thunbergii*), 닭의장풀(*Commelina communis*) 등이 우점하는 것으로 조사되었다.

인용문헌

- 원병오. 1975. 한국의 천연기념물. 조류편. 문화공보부 문화재 관리국. 249p.
- Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Sci. Pub., Oxford. 565p.
- Bell, N. 1994. The ecological effects of increased aerial deposition of nitrogen, Ecological Issues No. 5. British Ecological Society. 36p.
- Bradsley, C.E. and J.D. Lancaster. 1960. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Sci. Soc. Proc. 24:265-268.
- Crocker, R.L. and B.A. Dickson. 1956. Soil development on the recessional moraines of the Herbert and Mendenhall Glaciers, south-eastern Alaska. J. Ecol. 44:169-185.

- Crocker, R.L. and J. Major. 1955. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *J. Ecol.* 43:427-448.
- Fowler, D., J.N. Cape and M.H. Unsworth. 1989. Deposition of atmospheric pollutants on forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 324:247-265.
- Jakucs, P. 1991. Eutrophication in forest ecosystems. *In* G. Esser and D. Overdieck (eds.), *Modern ecology: basic and applied aspects*. Elsevier, New York, pp.571-578.
- Nagy, M. and J. Nagy. 1981. Diversity of herb layer of black locust forest. *Acta Biol. Debrecina* 18:15-20.
- Press, M.C., S.J. Woodin and J.A. Lee. 1986. The potential importance of an increased atmospheric nitrogen supply to the growth of ombrotrophic *Sphagnum* species. *New Phytol.* 103:45-55.
- Pyo, J.H. 1994. Changes of physico-chemical properties of forest soil by acidic deposition in the vicinity of industrial complex. MS Thesis of Kongju Natl. Univ. 23p.
- Wellburn, A.R. 1990. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phytotoxic and not alternative fertilizers? *New Phytol.* 115:395-429.
- Wilde, S.A., R.B. Corey, J.G. Iyer and G.K. Voigt. 1979. *Soil and plant analysis for tree culture*. Oxford and IBH Publishing, New Delhi, 224p.

(1995년 11월 22일 접수)