

## 중국 열대 및 아열대 훼손지 생태계 복원<sup>1</sup>

金永煥<sup>2</sup> · 吳求均<sup>3</sup> · 趙福強<sup>2</sup>

# Ecological Restoration on Degraded Ecosystem in the Tropical and Subtropical Region of China<sup>1</sup>

Yong-Huan Jin<sup>2</sup>, Koo-Kyoon Oh<sup>3</sup>, Fuqiang ZHAO<sup>2</sup>

### 요 약

무분별하고 과도한 자연의 개발로 비롯된 대규모적인 생태계의 훼손은 매우 중요한 해결과제이다. 열대 및 아열대지역은 지구상에서 수많은 생물종이 탄생하고 자라난 요람지로서 이지역의 훼손된 생태계 연구는 많은 학자의 관심을 보이고 있다. 중국의 열대 및 아열대지역의 훼손된 생태계 복원에 관한 연구결과를 유역생태계, 습지생태계, 폐탄광지 생태계, 산지생태계 분야로 나누어 리뷰하였다. 그리고 최근 몇 년간 중국의 열대 및 아열대지역의 훼손된 생태계 복원에 관한 대표적인 성공 사례를 소개하였다.

주요어 : 유역, 폐탄광지, 습지, 산지식생, 복원 사례

### ABSTRACT

Due to the rapid increase of human population and economic development, the natural ecosystem has been severely degraded. To restore the degraded ecosystem is extremely urgent and an important task in China. High biodiversity status in the natural ecosystem in tropical and subtropical regions in China has given high attention to the conservationists. The recent trends to the ecological restoration on degraded ecosystem in the tropical and subtropical regions of China were discussed for four different ecological recovery types: watershed ecosystems, wetlands, mining wastelands and mountain forests. The successful restoration case studies in tropical and subtropical regions of China were also discussed.

**KEY WORDS : WATERSHED, MINING WASTELAND, WETLAND, MOUNTAIN FOREST, CASE OF RESTORATION**

1 접수 2004년 9월 25일 Received on Sep. 25, 2004

2 中國科學院 沈陽應用生態研究所 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P.R. China

3 호남대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Honam Univ., Kwangju (506-714), Korea

최근 수십년간 급속한 산업화, 도시화의 발전에 따라 자연자원에 대한 개발 및 이용도 지속적으로 증가되고 있으며, 지구상에서 자연에 대한 과도한 개발 및 파괴에 의해 대면적의 생태계 훼손이 가속화되고 있다. 이는 토지사막화, 토사유출, 생물다양성 감소, CO<sub>2</sub>농도 증가 등 많은 환경문제를 초래하였고 나아가서는 인류의 생존과 건강도 위협하고 있다. UNEP 자료에 따르면 인간의 교란 등으로 인하여 지구상에서 훼손된 식생과 토지면적은 50×10<sup>8</sup>ha에 달하고 이로 인해 지구면적의 43%를 차지하는 육지 식물생태계의 기능이 약화되고 있다. 열대 및 아열대지역은 기후조건이 좋기 때문에 지구상에서 산림자원이 가장 풍부한 지역으로서 절대다수의 생물종을 보존하고 있으며 이는 인류의 중요한 자산이기도 하다. 중국의 경우, 열대림 면적은 국토의 0.5%밖에 차지하지 않지만 이 지역에는 현재 중국에 분포하는 생물 종 수의 25%정도가 되는 다양한 생물이 서식하고 있다(Daliy, 1995). 그러나 지난 수십년 동안, 열대림에 대한 대규모 개발 작업 등 인위적 교란으로 인해 열대림의 토질은 악화되었고 특히 교란이후의 낙후한 산림경영방식은 산림의 정상적인 천이과정에 악영향을 미치기 때문에 산림 생태계 훼손 상황은 더욱 심각하다.

1985년 3월에 개최된 “훼손된 생태계 복원” 국제학술회의에서 생태복원의 개념이 최초로 소개된 이후(許木啓와 黃玉瑤, 1998), 이를 계기로 훼손된 지역의 복구 및 이와 관련된 생태계 복원 연구가 국제적으로 많이 시작되었다(Miyawaki, 1993; Cairns, 1995a; Hobbs와 Norton, 1996; Higgs, 1997). 훼손된 생태계는 이상적인 상태로 복원되어야 한다는 점을 강조하는데 Cairns(1995b)는 훼손된 생태계의 기능과 구조가 교란을 받기 이전의 상태로 복원되는 과정을 생태계 복원이라고 하였다. 현재 중국에서 열대 및 아열대지역의 훼손된 생태계 복원사업은 매우 중요하며 최근에는 이와 관련된 연구도 활발히 추진되고 있다.

## 1. 중국의 열대 및 아열대지역 생태계 훼손현황

중국은 건국이후 40여년간 인구가 꾸준히 증가하면서 식량 수요가 급속히 증가하였다. 중국의 농촌 주민들은 식량 수요에 따른 부족분을 농경지면적 증가 방법으로 해결하고자 하였는데 이는 산림, 초지, 사면 경사지에 대한 사람들의 무분별한 개간을 초래하게 되었고 특히 경사면의 개간 및 경작은 토사유출을 초래하였다(劉國華 등, 2000). 통계자료에 의하면, 중국 열대 및 아열대지역인 광둥, 광서, 호남, 강서, 절강 등 5개 성에서만 훼손된 산림면적은 약 6억ha에 달한다

(彭少麟, 2003). 산림 훼손이 심한 지역에서는 산림의 생물종다양성이 감소하고 군집구조가 단순해졌으며 토질이 척박해지고 수자원이 부족한 현상을 나타냈다. 이는 이지역의 농작물 생산성 저하 등 농업생산발전에 악영향을 주었을 뿐 아니라 이로 인해 주민들의 생활거주환경의 질도 저하되었다. 또한 토사유출로 인해 저수지, 호수, 하도에는 토사가 많이 집적되었고 수해를 초래하기도 하였다. 현재 중국에서 양자강, 황하에 유입되는 토사량은 연간 20×10<sup>8</sup>t으로서 이중 2/3는 경사지에서 유출된 토사이다. 특히 양자강 상류와 황하 상류에서는 토사유출이 매우 심각하다. 토지관리 부실, 부적합한 토지의 이용방식 등 원인으로 인해 매년 대면적의 토지 생산성이 저하되고 상실되어 가는데 중국남부 華南지역에서 재생산 능력을 잃어버리는 토지면적은 약 500~600만ha로 추정하고 있다(于秀波, 2002).

생태계의 훼손과정에서 가장 주요한 지표 중 하나는 산림면적의 감소이다. 중국은 산림자원이 매우 부족한 나라로서 인구당 평균 산림면적은 세계 평균수준의 11.7%밖에 안된다. 최근 10여년간 급속한 산업화와 도시화는 자원에 대한 개발 및 이용속도를 더욱 가속화시켰다. 중국의 산림벌채는 이미 오래 전에 벌채 한도를 넘어섰는데 경제발전속도가 비교적 빠른 중국의 남부지역에서 이러한 문제가 더욱 심각하다. 1950년대에 해남도의 산림면적은 전국 산림면적의 25.7%를 차지하였지만 현재는 7.25%밖에 안되며, 중국에서 열대식물의 왕국이라고 부르는 시쌍판나(西雙版納) 지역에서도 산림의 피복율은 55.5%이었지만 현재는 28%수준으로 감소하였으며(彭少麟, 2003) 양자강 상류의 경우, 수자원함양 역할을 하는 생태보안림의 훼손 비율이 50%를 초과할 정도로 심각하다(李文華, 1999).

## 2. 중국의 열대 및 아열대지역 생태계 복원 연구

### 1) 연구사

서구의 선진국에서는 오래 전부터 산업화가 추진되고 이로 인한 환경피해는 매우 심하다. 훼손된 생태환경은 사람들의 정상적인 생활에 영향을 주었을 뿐 아니라 인류사회에 지속적인 피해를 가져다주고 있다. 사회, 경제의 발전과 동시에 많은 사람들은 갈수록 훼손된 생태계의 복원이 매우 중요하고 시급하다는 것을 느끼고 있다. Farnworth와 Golley(1973)는 1970년대부터 열대우림지역의 훼손된 생태계 복원에 관한 연구를 시작하고 장기간 연구를 해왔고 특히 1991년 호주에서 개최된 “열대지역 훼손된 임지의 복원 국제학술

심포지엄"에서는 열대 및 아열대지역 생태계 복원에 관한 연구의 중요성을 강조하면서 지속적인 연구를 제안하였다.

중국의 열대 및 아열대지역에서 수행된 생태복원에 관한 연구는 건국이후 1950년대 후반부터 시작되었다. 1959년에 열대 沿海地域의 훼손된 생태계를 대상으로 식생복원 및 복구에 관한 연구를 시작하였는데 "문화혁명"기간(1966-1976)에는 연구가 중단되었다. 다행히 시험지가 보존되어 1980년대 후반부터 중단된 연구사업을 다시 진행하고 있다. 특히, 최근 10여년 사이에 중국의 열대 및 아열대지역에서 생태계 복원에 관한 연구는 중앙정부, 중국과학원 및 광둥성 지방정부로부터 연구 지원금을 받게 되었고 중점연구프로젝트로 선정되었다. 예를 들면 1994년 중국 국가자연과학 기금위원회에서는 "중국 아열대 훼손된 생태계 복원 연구" 중점프로젝트사업을 지원하였고 1997년 중국 과학원에서는 "중국의 열대 및 아열대 훼손된 생태계 복원 연구"의 중점프로젝트를 지원하였다. 이러한 연구사업의 실시과정에서는 실험생태학과 생태학적 공정을 결합하는 방법으로 훼손되었거나 또는 극도로 훼손된 육지생태계를 대상으로 종합적으로 복구하는 방법을 통해 상록활엽수림 복구사업을 추진해왔다. 그리고 이러한 복원 연구는 국토보전과 복구, 생태환경의 개선과 생산성 제고를 위한 시범역할을 하는 동시에 훼손된 열대림생태계와 상록활엽수림의 복구에 관한 생태적 특성과 기작을 구명하고 열대 계절우림과 상록 활엽수림의 복원 방법을 제시함으로써 복원생태학 발전에 기여하고 있다(彭少麟, 2000a; 彭少麟 등, 1999).

## 2) 열대 및 아열대지역 훼손된 생태계 복원

### (1) 훼손된 유역생태계 복원

1998년도 중국에서 발생한 대규모 홍수는 중국내 29개 성(시)에 영향을 미쳤고 水災 피해 인구는 2억 명을 초과하였으며 직접적인 경제손실은 1,666억원 인민폐에 달하였는데 이는 중국의 국민경제발전엔 큰 피해를 준 동시에 심각한 教訓을 주었다(曲格平, 1999). 특히 1980년대 이후 양자강, 황하, 珠江, 淮河 등 큰 강의 수재면적과 수재발생비율은 1960년대 나 1970년대에 비해 증가하는 추이를 나타내었다(夏漢平, 1999). 홍수의 발생은 여러 가지 요인이 있는데 이중 가장 주요한 원인은 자연에 대한 사람들의 파괴정도가 너무 심하기 때문이다. 따라서 1998년도 홍수 발생을 계기로 중국의 학자들은 열대 및 아열대지역 훼손된 유역 생태계를 대상으로 생태적 복원에 관한 연구를 시작하였다.

산림의 濫伐과 亂伐 등에 의해 양자강유역 산림의

면적과 축적은 1950년대에 비해 50%이상 감소하였고 양자강 상류에 위치한 사천성의 경우, 이미 50개 이상의 현(시)의 산림 피복율은 3-5%로 낮아졌다.

습지와 호수는 지구상에서 매우 중요한 물 저장 및 여과작용을 하는 곳으로서 중국에서는 건국이후 1/3의 습지와 호수가 주변 및 외부와 차단되었거나 농지로 개간되었는데 그 면적은 13,000km<sup>2</sup>에 달하고 사라진 호수와 습지의 수는 약 1,000여 개소나 된다(王學雷, 2001).

불합리한 경작과정은 토양의 대량 침식을 초래한다. 1950년대에 양자강 상류지역의 토사유출이 심한 지역은 29.95만km<sup>2</sup>로 상류지역에서 매년 5.3억 t의 토사가 중, 하류로 유출되었는데 1990년대에 와서 토사유출 지역은 551,800km<sup>2</sup>로 증가하였고 이는 양자강 유역 면적의 36.2%이고 연평균 침식도양은 24억 t 이 된다(李文華, 1998).

양자강유역(주로 사천성과 호북성지역의 유역)의 토지이용형태와 식생피복상황 및 생태환경과 기후에 대한 연구를 통해 李文華(1998)는 양자강 홍수의 주요 원인은 기후이외에도 주로 인간의 불합리한 토지이용방식과 토지이용결과 때문이라고 지적하였고 이를 토대로 양자강유역 훼손된 생태계의 생태적 복원 방향을 다음과 같이 제시하였다. 첫째, 이러한 지역에서는 양자강 상류지역의 친연림을 잘 보호하여야 하는데 주로 입산통제를 통한 산림자원 육성과 보안림 체계 구축을 실시하고 임목과 연관성이 없는 산업을 발전시켜야 한다. 둘째, 국민들의 산림보호 의식을 제고하고 지역주민들의 산지조립 사업을 유도하여야 하며 이를 통해 양자강 상류의 보안림과 生態公益林 건설을 추진하여야 한다. 셋째, 작은 유역을 단위로 계획적으로 退耕還林(산지의 경사면에 위치한 농경지에서 농작물재배를 정지하고 조림을 통해 숲으로 유도) 및 退耕還湖(호수를 개간하여 조성된 기존의 농경지에서 농작물재배를 정지하고 농경지를 호수로 전환시키는) 사업을 추진하여야 하고 생태환경보호와 경제발전을 결합시킬 수 있는 농림복합생태계 조성 및 종합개발모델과 방식을 도입하여야 한다. 넷째, 초원과 축산업을 발전 시킴으로써 생물생산성을 제고하는 동시에 토양을 보존하여야 하고 특히 해발고가 높고 건조한 계곡부와 조림하기에 적절하지 않은 지역에서는 목축업을 발전 시켜야 한다. 다섯째, 습지를 보호하고 합리적으로 이용하며 훼손된 생태계 복원과과정에서 새로운 기술이 많이 응용하여야 한다(虞孝感, 2003).

何錦峰 등(2002)은 양자강 상류의 고산협곡 지대에 속하는 민강(岷江) 상류의 건조하고 무더운 계곡(Arid hot valley)지역 생태환경문제를 상세히 분석하

고 이에 근거하여 취약한 자연생태환경과 인간의 불합리한 산림경영활동에 의한 종합 영향을 받아 이 지역의 생태계가 훼손되었다고 하였다. 따라서 이 지역의 생태계 복원 과정은 반드시 경제건설과 밀접히 연관시켜 생태경제공동발전의 길을 모색하여야 한다고 지적하고 민강 상류 지역을 건조한 계곡 식량과수 생태농업구역, 中山과 아고산 임간약재-식용균 생태임업구역, 고산 관목 초원 생태방목구역 등을 제안했다(何錦峰 등, 2000). 각 구역의 지리적 특성에 따라 이에 알맞는 농작물을 재배하여야 하며 생태계 복원 과정에서는 물리적 공법, 생물학 방법과 관리조치를 유기적으로 결합하는 것이 필요하다(何錦峰 등, 2000).

## (2) 훼손된 습지생태계 복원

습지의 기능에 대한 대다수 사람들의 인식수준이 점점 제고되면서 국제사회와 많은 나라들에서는 다양한 수단과 여러 가지 방법을 통해 파괴되었거나 훼손된 습지를 복구하고자 노력하고 있다. 습지는 특수한 토지자원 및 생태자원으로서 수분의 순환과정을 조절하고 물을 저장하며 기후조절, 오수정화, 생물종보호 및 관광 등 다양한 생태공익기능을 하는 동시에 많은 화학물질, 생물과 유전물질의 중요한 원천이며 저장, 운반 장소이기도 하다. 습지는 자연 및 인위적으로 배출하는 오폐수를 수용하는 특수한 기능이 있기 때문에 "지구의 허파(lungs)"라고도 부르고 있다.

중국에서 습지면적은  $0.63 \times 10^8 \text{ha}$ 로서 지구상 습지면적의 10%정도를 차지하고 이중 천연습지의 면적은  $0.25 \times 10^8 \text{ha}$ 에 달한다. 최근 수년간 사람들의 무분별한 농지개간과 도시개발로 인해 대면적의 천연습지가 감소하고 습지의 기능이 저하되었다. 연해지역에서 습지면적의 50%가 이미 사라졌고 전국적으로 저수지나 호수의 차단 및 호수주변지역에 대한 개간 등으로 인해 저수량은 350억  $\text{m}^3$ 가 감소하였다(王瑞山 등, 2000).

전지(滇池)는 중국 남부 운남성내에 위치한 수심이 낮은 대형 천연 호수로서 이 지역에서 주요 담수어류의 양식업 단지인 동시에 지역 미기후 조절역할과 농업, 목축업, 어업생산 보장, 야외 생태휴게 환경조성 등 여러 면에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 이러한 자연호수생태계의 기능에 대한 사람들의 인식이 부족하고 보호사업이 부진하면서 전지 습지는 심하게 파괴되었고 습지면적은 대폭 감소하였다. 통계자료에 의하면 전지 주변에 호수를 막고 물의 통로를 차단하여 조성한 농경지 면적은 2,280ha에 달하고 이로 인해 줄어든 수면 면적은 218,000ha나 된다(沈滿洪, 2003). 습지면적의 감소로 인해 주변지역의 기온이

상승하고 강우량은 적어졌으며 수원함양기능도 약해져 가뭄과 홍수 피해 발생회수는 점차 잦아졌다. 이러한 문제점 및 피해의 원인을 구명하고 해결책을 마련하고자 중국 운남성에서는 습지보호사업을 적극적으로 추진하였는데 특히 전지의 상류지역에서 보안림 건설사업과 황폐산지 녹화사업을 추진하는 동시에 대형 수생식물 복원 시범프로젝트 등 생태계 복원 사업을 통해 훼손된 전지 습지를 보호하는데 단계적으로 성과를 거두었다(田軍, 2000). 전지연안은 전지 습지생태계의 중요한 구성부분으로서 차지하는 면적은 1,840ha이며 이중 건물이 차지하는 비율은 4.17%, 높이 차지하는 비율은 10.54%, 농경지는 71.56%, 수로나 도랑은 12.62%, 수생 경제작물은 1.1%밖에 안 된다.

따라서 田軍(2000)은 반드시 우선적으로 농경지의 일부를 호수나 늪으로 전환시킴으로써 훼손된 자연습지를 복원시키는 동시에 습지 연안지역에 대한 농업구조조정을 주장한다. 또한 현지실정에 맞추어 습지생태농업 모델을 도입하고 지역 농민들이 원하는 경제적 인공 습지를 조성하며 지세가 낮은 지역은 연못(lotus root)이나 갈대늪(양어장 겸용)으로 개조하는 동시에 어장에 대해서는 산화 원리를 이용하여 합리적인 개조를 강조한 바 있다. 그리고 이 지역에서 절수형 농업의 한 방안으로 습지의 오수정화기능을 이용하여 인공습지 오수처리 시스템을 구축하고 정화, 처리된 물을 농업용으로 재활용함으로써 오수에 의한 환경오염을 해결하고 부족한 담수자원도 절약하는 방안이 강조되고 있다.

전형적인 아열대 계절풍지역에 위치한 한강평원(漢江平原) 호수지역은 남동, 남서계절풍의 영향을 많이 받고 연간 강우량은 1,100-1,400mm로서 수자원이 매우 풍부한 지역에 속한다. 그러나 연중 강우량은 주로 여름철 6개월 기간에 집중되고 장마철에는 폭우의 가능성이 매우 높으며, 지표수 유출과정의 불안정 등 생태적으로 취약하다(劉海燕과 曹艷英, 1998). 따라서 지역의 자연환경의 변화과정에서 인간의 활동은 더욱 중요한 영향인자로 작용한다.

역사적으로 볼 때 한강평원 호수지역에서는 南宋朝부터 대규모의 개간을 시작하였고 明朝 때 1차 대규모 개발이 있었으며 淸나라 말기에는 개발이 극도에 달했다. 1930년대에 호수지역 면적은 8,330km<sup>2</sup>이었으나 1950년대에는 5,960km<sup>2</sup>, 1980년대에는 2,983km<sup>2</sup>로 급속히 감소하였고 호수의 저수량도 1949년 이후 75억  $\text{m}^3$ 나 감소하였다. 1960년대에 이 지역의 수생생물 군락은 35과 92종이었으나 1980년대에는 20과 68종으로 감소하였다. 한강평원의 호수주변의 개간 등

인간의 활동으로 인해 이 지역의 하천호수생태계도 파괴되었고 생태계 기능이 크게 떨어지면서 호수의 물 저장 및 방출시스템은 균형을 잃게 되었는데 이는 재배업, 양식업, 수자원저장, 운송업사이에 많은 모순과 문제점을 초래하였다(黃瓌 등, 2001). 따라서 한강평원의 생태환경 특성에 따라 우선 中游지역의 수자원함양 능력을 제고하고 한강평원 습지의 자연생태과정과 생태기능을 유지하여야만 습지자원을 지속적으로 보존할 수 있다. 현재 중국 湖北省 지방정부에서는 보호 및 합리적인 습지개발원칙에 근거하여 생물군집구조 및 균형적인 습지생태계 유지를 위해 생물다양성 정도가 높고 회귀 동·식물자원이 풍부한 홍호(洪湖)를 대상으로 호복성에서 규모가 가장 큰 홍호습지자연보호구를 설립하였다. 특히 이 지역에서 1950년대부터 시작된 수리사업이 하천과 호수와의 자연적인 연계성을 차단하는 부정적인 역할을 하였기 때문에 습지 생태계 복원 과정에서는 우선 하천과 호수사이의 자연적인 연계 통로의 회복을 통해 하천호수 복합생태계의 구조와 기능 및 생물다양성 복원을 추진해 왔다. 또한 호수에 유입되는 농업입 폐수의 기준을 엄격히 설정하고 유입량을 통제하며 무분별한 어획을 제한함으로써 습지의 생태환경과 생태균형을 파괴하는 행위 차단에 노력하고 있다(王學雷, 2001).

### (3) 폐탄광지 생태계 복원

석탄채굴산업은 인류에게 경제적 부를 가져다주는 동시에 채굴과정에서 발생하는 환경오염, 채굴 후 발생하는 폐광물 부스러기(tailings), 폐기한 토지(discard land), 폐기한 광산쓰레기(waste residue) 등으로 인해 많은 환경문제를 유발하고 있다(舒儉民 등, 1998).

중국의 탄광지역에서 훼손된 토지면적은 288만ha 이고 연간 4.67만ha의 속도로 훼손면적이 증가하고 있으며 최근에는 폐탄광지 생태계 복원에 관한 연구도 매우 활발히 진행되고 있다. 폐탄광지의 복구과정에서 우선적으로 그 기반(matrix)에 대한 복구를 하여야 하는데 이는 화학적 기반과 생물학적 기반이 포함된다. 폐탄광지의 폐기물은 쉽게 분산되고 침식하는 특성이 있기 때문에 화학 시약을 이용하여 폐기물내 화학물질과 결합하여 복잡한 유기물을 형성하는 방법을 통해 토양을 개량할 수 있다(夏漢平과 蔡錫安, 2002). 또한 이러한 토양개량 과정에서는 생물학적 개량방법 즉 극단환경에 내성이 있는 질소고정식물, 녹비식물, 질소고정미생물, 균근균을 이용하여 폐탄광지내 폐기된 토양의 이·화학적 성질을 개선시킬 수 있다(Piha et al., 1995; Harris et al., 1996; 張志權 등, 2002). 중국 열대 및 아열대지역에서 폐탄광지 토양개

량에 효과가 비교적 좋은 식물은 水蓼(*Polygonum hydropiper*), 野葵(*Malva verticillata*), 白草(*Pennisetum flacidum*), 白茅(*Imperata cylindrica*)(王宏賓 등, 1998), 木(*Alnus cremastogyne*), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*), 相思(*Acacia richii*), 붉은토끼풀(*Trifolium pratense*) 등을 들 수 있다(劉國華와 舒洪嵐, 2003).

江西성 德興 銅鑛을 대상으로 張海星 등(1999)은 초본식물과 목본수종을 동시에 식재하고 교목수종과 관목수종을 이용하여 다양한 식물군락을 배치하는 방식으로 폐광물 부스러기의 분포 지형에 따라 초본-임목 유도형 식생회복시험, 목·초본혼식형 식생회복시험, 건성벼(dry rice) - 두충나무 - 약재형 식생회복시험, 땅콩 - 두충재배형 식생회복시험을 진행해오고 있다. 이와 동시에 부스러기광물과 객토사이에 비닐막을 펴고 토지를 정리하면서 이랑을 조성하는 토지복구방법과 건성벼(dry rice)재배, 땅콩재배, 두충나무 재배, 복토를 하지 않고 직접 다양한 잡초 초종을 식재하는 방법의 시험도 배치하였다. 연구결과에 의하면 象草(*Pennisetum purpureum*)와 水蠟燭(*Dysophylla yatabeana*) 초종의 유묘 출토비율, 여름철 내성 및 활착율 등 지표는 모두 100%에 도달했고 百喜草(*Paspalum notatum*), 鸚鵡葉 畫眉草(*Eragrostis curvula*), 狗牙根(*Cynodon dactylon*) 등 몇 가지 초종도 상기 몇 가지 지표가 모두 95%이상으로 매우 높게 나타났다(張海星 등, 1999). 張海星 등(1999)은 시험 및 연구를 통해 폐탄광지의 토지 복구를 위한 비교적 양호한 복구방안을 제시하였는데 특히 폐탄광지에 두충이나 땅콩을 재배할 경우, 훼손된 토지를 복구할 수 있는 동시에 경제적 수입도 제고할 수 있는 양호한 생태적 복원방법이라고 제안하고 있다.

### (4) 산지식생의 복원

식물은 생태계 먹이사슬의 기초단계이므로 식생의 복원이 우선 이루어지는 것이 중요하다. 산지 식생은 수분함양, 미기후 조절, 방풍과 砂丘고정, 탄소고정과 산소배출 등 생태 기능이 있기 때문에 식생의 복원 과정에서 반드시 식생의 훼손유형, 생태환경의 변화, 토지의 지력, 동물과 미생물군락의 특성, 양료순환, 식생구조 등 여러가지를 종합적으로 고려하여야 한다. 余作岳과 彭少麟(1996a)은 열대지역에서 극도로 훼손된 산림을 대상으로 연구를 통해 인공적으로 선구식물군락조성, 재래수종으로 구성된 다층 활엽수림 유도 및 농림복합생태계 조성 등 3단계 복원 과정을 통해 열대림의 식생복원 유도를 제안하고 있다. 이러한 산림의 회복과정에서 식물의 종류가 증가하면서 동물과 미생

물의 다양성이 증가하기 때문에 식물다양성은 생태계의 안정성 유지에 필요하다.

砂仁(*Amomum villosum*)은 중약재로서 내음성이 강한 경제식물로서 1970년대에 시쌍판나(西雙版納) 열대림지역에 처음 도입된 이후, 재배면적이 급속도로 증가하였는데 1998년도에는 이미 5,800ha를 초과하였다. 이러한 도입식물의 급속한 증가는 이 지역의 생태계 구성성분과 구조 및 생물다양성, 생태계의 기능에도 점차 영향을 미치기 시작하였다. 高雷과 劉宏茂(2003)는 시쌍판나 열대우림 지역에서 砂仁을 제거한 지역을 대상으로 열대우림의 생태적 복원에 관한 연구를 통해 인위적으로 砂仁을 제거한 후 임내의 초본식물 수량은 많이 증가하고 식물의 종류 및 종다양성지수 등 지표도 대폭 증가한다고 하였다. 식생의 변화과정에서는 군집의 구성성분이 열대우림의 천이방향에 따라 변화하였고 뚜렷한 우점종이 나타나지 않고 특히 초본식물과 고비류의 증가량이 매우 높게 나타났다. 임내에서 초본식물은 건기와 우기에 성장량의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았지만 생체량은 2년 사이에  $636.1 \times 43.4 \text{ g/m}^2$ 로서 원시림보다 높게 나타났을 뿐 아니라 토양의 수분과 유기질함량이 높아지고 수원함량능력도 크게 제고되었다(高雷과 劉宏茂, 2003). 따라서 외래종이 침입하여 지역의 생태계를 위협하는 열대우림지역에서는 외래 작물 재배로 일정면적으로 운작하는 방법으로 재래종에 대한 외래종의 위협도 막고 현지 주민들의 경제적 수입도 보장하는 방안이 필요하다(鄧釗平 등, 2000).

### 3) 생태계 복원의 대표적인 사례

#### (1) 유모혈암 광산쓰레기장 식생 복원

중국의 열대 및 아열대지역 훼손된 생태계 복원 실천과정에서 가장 대표적인 성공 사례는 廣東省 茂名の 유모혈암(oil shale) 광산쓰레기(waste residue)장의

생태적 복원과정을 들 수 있다. 이 지역은 1950년대부터 혈암유(shale oil) 생산단지로서 건설되면서부터 20여년간의 혈암유 가공과정에서 배출된 광산쓰레기는 2.4억t이나 되었고 茂名市 근교에서 81,000ha의 토지를 차지하고 있었다. 광산쓰레기에는 특히 중금속, 황산화합물의 함량이 높고 Mg, Ca의 함량은 낮아 강산성(2.54~2.93)을 나타내면서 도시 주변 농장과 어장의 오염원으로 되었고 지역 토양, 대기, 수질 오염의 주범으로 되었다. 茂名석유화학회사에서는 1985년부터 중국과학원 등 관련 연구기관의 협조, 기술을 받으면서 이 중 67,000ha 지역에 대한 복원을 시작하였다. 우선 오염된 쓰레기장 토지를 개량하고 *Acacia*류, *Eucalyptus*류, *Pinus*류, *Ficus*류 등 수종을 식재하였는데 10년이 지난 후 기존의 오염원지역은 숲이 우거진 공원으로 변신하여 현지 사람들은 이를 茂名市の 녹색허파라고 말하고 있다. 조사결과에 의하면, 이 광산쓰레기장의 산림피복율은 98.8%로서 하루에 흡수하는 CO<sub>2</sub>량은 104t이고 배출하는 O<sub>2</sub>의 양은 102t이나 되었으며 토양에서 유출되는 수분의 pH도 기존의 3에서 현재의 4~5로 되었다(鄧釗平 등, 2000). 이와 동시에 쓰레기장의 생물다양성도 증가하였는데 토양미생물의 경우 세균, 진균, 방선균의 수량은 인공회복기간의 증가에 따라 대폭 증가하는 추이를 나타내었다(Table 1).

劉世忠 등(2002)은 연구를 통해 생태적 복원을 위한 과학적인 계획과 설계가 가장 중요하며, 특히 토질이 척박하고 건조한 광산쓰레기(waste residue)장에서는 현지 기후특성을 고려하고 재래종을 충분히 활용하면서 내건성 등 환경내성이 크며 토질을 개량할 수 있는 콩과류 식물을 우선적으로 도입하여야 한다고 강조하였다. 폐광지 토양에 대한 성공적인 복원을 토대로 현재 茂名석유화학회사에서는 오염이 더욱 심한 다른 쓰레기장(면적 14,000ha)을 대상으로 생물다양성 회복 및 경관 회복에 초점을 맞추어 복원 사업을 추진하

Table 1. Number of soil microorganisms and their respective proportion in Maoming oil shale mined land under different restoration periods and vegetation types(彭少麟, 2003)

Vegetation types	Restoraion periodr	Soil layer (cm)	Amount of bacteria 10 <sup>5</sup> /g/dry soil	Amount of fungi 10 <sup>3</sup> /g/dry soil	Amount of actinomyces 10 <sup>5</sup> /g/dry soil
<i>Acacia</i> sp.	16years	0~20	19.0000	19.00	9.830
		20~40	0.8800	1.33	1.030
<i>Eucalyptus</i> sp.	16years	0~20	8.8300	36.30	46.700
		20~40	0.8370	3.33	0.800
Natural forest	16years	0~20	29.7000	12.00	20.000
		20~40	3.4500	3.33	3.770
Natural succession area	Control	0~20	0.6330	15.70	1.570
		20~40	0.0367	1.67	0.124

고 있다.

(2) 토사유출 지역의 식생복원

토사유출이 생태환경에 미치는 피해는 매우 심하고 이는 이미 국제기구 및 많은 나라들로부터 중요한 문제로 제기되면서 토사유출 방지에 관한 연구도 주목을 받고 있다. 중국 广자치구 토양(紅壤)이 침식된 지역에서는 식생회복을 주요한 조치로 하는 생태적 복원 시험에 관한 연구를 실시하였는데 5년 사이에 이 지역의 토양 침식과정을 통제하게 되었고 환경을 개선하게 되었다.

광서자치구의 남동부에 위치하고 경치가 아름답기로 유명한 漓江의 河道는 토사침식으로 인해 많이 침체되었으며 갈수기에는 수질이 악화되었다. 李先琨 등 (1997)은 이 훼손지역에서 해발고도 70m미만되는 곳에 0.86ha의 시험구를 설치하고 연구를 시작하였다. 시험구의 기존식생은 주로 성장 상태가 극히 불량한 馬尾松(*Pinus massoniana*), 桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*), 崗松(*Baeckea frutescens*) 등으로 구성되었고 분포밀도가 작고 피복율은 10%정도로 매우 낮았다. 시험, 연구과정에서는 교목과 관목수종 및 초본식물을 혼식하고 과수, 농작물, 초본을 함께 경작하는 복합영농모형을 통해 토사유출방지방안립을 합리적으로 배치함으로써 산림의 기능이 충분히 발휘할 수 있도록 하였다. 우선 경사면에서 단꿈기 梯地작업을 통해 토사유출 발생을 통제 한 후 수관 층위별로 각각 山黃皮(*Randia canthioides*), 油梨(*Persea americana*), 橄欖(*Canarium album*), 澳洲堅果(*Macadamia ternifolia*) 등

4가지 경제성 과수를 식재하였다. 임관아래에는 木豆(*piqeon pea*), 銀合歡(*Leucaena glauca*), 胡枝子(*Lespedeza formosa*) 등 콩과식물을 식재하고 재배하는 동시에 덩굴성 식물을 삽목하여 제방이 무너지지 않도록 하였다. 식재 후에는 매년 정기적으로 식생의 성장상황 및 토양의 양분함량 변화과정에 대한 조사를 통해 식생회복에 의한 토양의 개량효과를 파악하였다.

시험을 통해 山黃皮(*Randia canthioides*), 油梨(*Persea americana*) 등 수종은 적응능력이 강하고 橄欖(*Canarium album*), 澳洲堅果(*Macadamia ternifolia*)도 비교적 정상적으로 성장한다는 것을 알 수 있었으며 4년 이후 시험구역의 식생피복율은 60~80%에 달했다. 또한 기존의 이차림 단일 식생은 교목, 관목, 초본식물에 의해 복합 수직층 구조를 이루는 식생으로 전환되었고 지표수의 유출량은 70%정도 감소하였으며 토사 유출량은 90%이상 감소하였고 토양내 전질소, 인산, 칼륨 함량은 대조구에 비해 각각 2.9%~900% 증가하였다(Table 2). 생태적 복원과정을 통해 이 지역의 생태환경이 개선되었을 뿐 아니라 경제성 과수 재배를 통해 8년 후부터는 연간 6,000~8,000원인민폐/ha 소득이 있을 것으로 기대되는 동시에 관목과 초본식물에 의한 수익도 연간 3,500원인민폐/ha가 될 것으로 추정하고 있다(李先琨 등, 1996; 李先琨 등, 1997).

(3) 농림생태계 복원

지난 수십년간 중국의 열대 및 아열대지역에서는 자연생태계에 대한 파괴로 인해 생태계의 훼손 면적이

Table 2. Changes of soil nutrients and increase rate(%)\* in site on Guangxi after ecological restoration (李先琨 등, 1996)

Site	Veg. type	pH	Organic matter		Total N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		N		P		K		CEC	
			g/kg	(%)*	g/kg	(%)	g/kg	(%)	g/kg	(%)	mg/kg	(%)	mg/kg	(%)	mg/kg	(%)	cmol/kg	(%)
Guangxi Bot. Ins.	CK	5.00	20.833		1.056		0.598		11.882		10.05		8		10		7.6361	
	A	6.00	23.514	12.54	1.145	7.41	0.855	43.8	12.366	4.07	11.13	10.05	12	500	15	50	9.6702	26.64
	B	6.00	21.925	4.94	1.095	2.72	0.621	3.85	13.098	10.23	13.01	29.45	3	50	15	50	8.1753	7.06
	C	5.85	23.744	13.65	1.177	10.41	0.640	7.02	13.095	10.21	14.19	41.19	6	200	20	100	9.0461	18.46
	D	5.90	28.060	34.30	1.560	46.34	0.752	25.75	14.132	13.93	11.82	17.61	6	200	25	150	10.7858	40.71
Changwu, Guangxi	CK	5.60	4.3		0.502		0.213		5.174		8.87		trace		trace		52.55	
	C	6.00	5.6	30	0.548	9	0.372	75	8.997	74	23.38	220	trace		5 > 400		61.02	16
	D	6.00	7.0	63	0.636	27	0.430	102	11.540	123	17.14	100	1.0	100	10 > 900		68.22	30
	A	5.90	5.6	30	0.602	20	0.377	77	7.946	54	16.55	87	1.0	100	5 > 400		61.91	18
	E	6.10	6.8	58	0.745	48	0.228	7	8.076	36	9.46	12	trace		5 > 400		57.61	10

A: *Lespedeza formosa*, B: *Crotalaria pallida*, C: *Tephrosia candida*, D: *Cajanus cajan*, E: *Osmanthus fragrans*  
\* increase rate is relative to CK

Table 3. Changes of soil nutrients in Xiaoliang research station under different restoration periods (彭少麟, 2000b)

Components	Degraded area	5 years old	8 years old	15 years old	25 years old	100 years old natural forest
Organic matter(%)	0.64	1.34	2.07	2.40	2.68	4.18
Total N(%)	0.031	0.076	0.109	0.141	0.135	0.215
Total P(%)	0.006	0.012	0.020	0.033	0.022	0.054
Available P(mg/100g)	trace	0.11	0.10	0.13	0.16	0.78

증가되었고 이는 지역의 농업발전과 지역 경제발전에도 악영향을 미치고 있었다. 고정시험구를 대상으로 장기간 수행된 실험 연구를 통해 중국의 아열대지역에서 농림복합생태계 복원은 지역 주민들의 경제적 수익성을 제고할 수 있을 뿐 아니라 생태적 기능과 사회적 기능을 충분히 실현할 수 있다는 것이 입증되었다(彭少麟, 1995; 1996a). 광둥성 小良 장기연구 실험센터에서는 1950년대부터 433ha의 황폐산지에서 훼손된 생태계 복원에 관한 연구를 시작하였고 鶴山장기연구실험센터에서는 143ha의 경사면 황폐산지에서 1980년대부터 지속적으로 열대 및 아열대 생태계 복원연구를 추진해 왔다(彭少麟, 1996b; 1996c). 훼손된 열대림에서는 인위적인 교란이 없는 상태에서 열대 및 아열대 상록활엽수림의 식생회복과정은 초본경사면이나 관목위주의 식생으로부터 점차 침엽수림단계, 침엽수 위주의 침활혼효림단계, 양수 활엽수 위주의 침활혼효림단계, 음수 수목 위주의 상록활엽수 혼효림단계 등 천이과정을 거쳐 최종에는 반음지성식물 위주의 상록활엽수림(지역성 극상)을 목표로 식생복원 사업을 추진하는 것이 중요하다(余作岳과 彭少麟, 1996b).

彭少麟(2000b)은 열대 및 아열대 훼손된 지역에서 다음의 4개 단계를 통해 농림생태계를 복구할 수 있다고 하였다. 1단계에서는 속성, 내건성 및 토질에 대한 요구도가 낮은 *Acacia*류, 유칼리투스(*Eucalyptus*)류, 馬尾松(*Pinus massoniana*) 등 수종을 선정하여 선구식물 군락을 조성하고, 2단계에서는 마미송, 유칼리투스 등 선구수종 군락내에 다층, 다수종으로 구성된 활엽수 혼효림을 유도하며, 3단계에서는 일정 정도 회복되어 산림이 조성된 임내에서 다각경영을 시작하고 아열대 작물과 과수를 심는다. 4단계에서는 종합연구를 통해 식생회복과 복원의 과정 및 기작을 제시한다. 연구결과에 의하면 鶴山 실험연구지에서 5년 후에는 재래종이 나타나기 시작하였고, 7년생 아열대 인공림의 현존 biomass량은 100~150t/ha에 도달하였는데 이는 산지 천연림 biomass량의 1/4~1/3정도로써 회복속도는 매

우 빠르게 나타나는 것을 알 수 있었다(彭少麟, 1992). 小良연구실험지에서 30년생 인공혼효림의 다양성지수는 천연림과 유사할 정도로써 다양성지수에 대한 조사결과 군집의 종다양성은 지역 극상형 식생으로 변화하는 속도가 가속화되는 것을 알 수 있었다(彭少麟과 方炜, 1995).

훼손된 산림회복 후 임내의 토사유출량은 현저하게 감소되었는데 小良연구실험지의 경우, 식생이 없는 대조구에서 토양의 침식량은 52.3t/year이었으나 유칼리투스림에서는 10.79t/year, 혼효림에서는 0.18t/year로 대폭 감소하여 인공활엽수 혼효림의 토사유출 방지 효과는 천연활엽수림과 거의 비슷할 정도이었다(余作岳과 彭少麟, 1997). 또한 회복단계별 임내 토양에 대한 조사결과, 식생이 피복되지 않은 훼손된 대조구에서 토양의 양분함량은 지속적으로 감소하였지만 인공으로 조성된 혼효림에서는 토양의 양분함량이 점차 증가하는 추이를 나타내었다(Table 3).

열대 및 아열대지역은 태양에너지가 풍부하고 강수량이 충족하여 훼손된 산림복원은 지속가능한 농업생산의 토대가 된다. 이는 鶴山실험연구지내 구릉산지에 조성된 임목-과수-목장-양어장 농림복합생태계에서 나타나는 생태적 효과, 사회적 기능 및 직접적인 경제적 효과를 통해 잘 알 수 있다. 산림이 회복된 지역의 주변 369만ha 범위에서는 토사유출 현상이 근절되었고 벼 생산량도 700kg/ha에서 9,000kg/ha로 증가하였고, 농민들의 수입도 대폭 증가하였다. 이 농림복합생태계 시범단지들 모델로 鶴山시에서는 대면적의 훼손지역에 생태적 복원 기술을 보급함에 따라 10년간 창출되는 사회, 경제적 가치는 30억원 인민폐에 달했다. 특히 19,300ha에 이르는 지역에 혼효림 조성사업은 병해충방지 및 지역 생태환경 개선에 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있으며 이는 광둥성 지방정부에서 훼손지 복구 성공 사례로 평가되고 있다(彭少麟, 2000b).

### 3. 맺는 말



중국에서는 1950년대부터 산림 복원에 관한 연구를 추진해 왔으며 1980년대부터는 정부 차원에서 토사유출, 토지사막화, 훼손된 초원 등의 식생복원을 위주로 생태계 복원 연구사업을 추진해오고 있다. 최근에는 기존의 연구내용에 이어 주로 지역의 생태계 훼손 과정과 기작, 훼손된 생태계의 평가지표 및 생태적 복원에 대한 연구를 추진하고 있다. 따라서 생태적 복원에 대한 연구인원 및 일반 주민들의 인식이 제고되고 연구내용도 전에 비해 풍부해지고 있다.

중국에서 열대 및 아열대지역의 생태적 복원에 대해서는 주로 훼손된 산림생태계의 복원 분야의 연구가 집중적으로 수행되었고 많은 시험에 성공하였으며 이러한 연구결과는 대면적에 보급되어 가시적인 생태적 효과와 경제적 효과를 창출하였다. 특히 수년간의 연구를 통해 集水區 복구모델, 3단계 식생복원모델, 時空間 대체 복원모델 등 매우 효과적인 생태계 복원방안을 제시하였다. 이에 중국 학자 彭少麟, 趙平 등이 제87차 미국생태학회에 제출한 중국의 열대 및 아열대지역 훼손된 생태계 복원에 관한 학술논문은 국제 학술계에서도 중시를 받아 이와 관련 특별강연도 하였다.

비록 중국의 열대 및 아열대지역 훼손된 생태계 복원에 관한 연구는 비교적 큰 성과가 있지만 이는 아직 일부 분야에서 국제적으로 인정을 받고 있는 상태이고 과학기술 선진국에 비해서는 아직도 전반적인 연구가 부족할 정도이다. 현재 중국에서 생태계 복원에 관한 연구는 주로 단일 학과의 定性화 연구를 기초로 하기 때문에 체계적이고 연속적이고 定量화된 연구가 더 진행되어야 하고 이는 생태계 복원과정의 기작과 본질을 구명하는데도 영향을 주고 있다(趙曉英과 孫成權, 1998). 또한 선진국이나 경제가 발달한 지역에 비해 중국에서는 생태계 복원에 관한 자금투입이 부족하며 신기술의 이용 정도가 상대적으로 낮기 때문에 복원생태학의 학문의 발전속도가 늦고 복원기술의 갱신속도도 늦다고 볼 수 있다.

지속가능한 발전은 국제사회의 관심사이고 생태환경의 훼손은 지속가능한 발전을 저해하는 최대의 요인이기 때문에 훼손된 생태환경의 복구, 생태계 복원 및 생태적 공법의 이용은 인류사회의 지속적인 발전 및 유지에 매우 중요하다. 기존의 성공된 연구사례가 있지만 향후 생태계 복원과정에 대한 연구과정에서는 학과간, 지역간의 공동연구를 추진하고 전통방법과 새로운 방법을 유기적으로 결합시켜야 한다(謝運球, 2003). 또한 국제간의 공동연구를 추진하면서 국외의 선진기술을 도입하여 중국의 실정에 알맞은 복원기술을 개발하여야 하는 동시에 훼손된 생태계의 복원과 지역사회의 지속가능한 발전과의 상호관계에 대한 연

구가 필요하다. 미래의 생태계 복원은 지역, 이론, 실천, 학과, 문화 등 여러 면에서 잘 조화를 이루고 생태적 복원을 통해 생태적, 경제적 및 사회적 기능을 창출하여야 할 것이다.

## 인용문헌

- 高雷, 劉宏茂(2003) 西双版納熱帶雨林下砂仁拔除后的生態恢復研究. 植物生態學報 27(3):366~372.
- 曲格平(1999) 環境保護知識讀本. 紅旗出版社. 34~45.
- 鄧釗平, 李麗華, 梁朝(2000) 茂名油頁岩廢渣場土地資源再利用試驗研究. 生態科學 19(4):57-61.
- 謝運球(2003) 恢復生態學. 中國岩溶 22(1):28-34
- 舒儉民, 王家驥, 劉小春(1998) 礦區廢棄地的生態恢復. 中國人口·資源與環境 8(3):72-75.
- 徐嵩嶺(1995) 恢復生態學的理論性質. 科技導報 3:18-21.
- 沈滿洪(2003) 滇池流域 境變遷及 境修復的社會機制. 中國人口·資源與環境 13(6):76-80.
- 余作岳, 彭少麟(1996a) 熱帶亞熱帶退化生態系統植被恢復生態學研究. 廣東科技出版社, 266쪽.
- 余作岳, 彭少麟(1996b) 熱帶亞熱帶恢復生態學. 廣東科技出版社, 325쪽.
- 余作岳, 彭少麟(1997) 熱帶亞熱帶恢復生態學研究. 廣東科技出版社, 118쪽.
- 王瑞山, 王毅勇, 楊青, 楊桂謙, 張光, 劉濟華(2000) 我國濕地資源現狀, 問題及對策. 資源科學 22(1):9-13.
- 王學雷(2001) 江漢平原濕地生態脆弱性評估與生態恢復. 華中師範大學學報(自然科學版) 35(2):237-240.
- 王宏賓, 文傳浩, 譚曉勇, 王映雪, 段昌群(1999) 雲南會澤鉛鋅 礦渣廢棄地植被重建初探. 雲南環境科學, 17(2):43-46.
- 于秀波(2002) 我國生態退化, 生態恢復及政策保障研究. 資源科學 24(1):72-76.
- 虞孝感 主編(2003) 長江流域生態環境建設與經濟可持續發展研究. 科學出版社, 284~292.
- 劉國華, 傅伯杰, 陳利頂, 郭旭東(2000) 中國生態退化的主要類型, 特征及分布. 生態學報 20(1): 13-19.
- 劉國華, 舒洪嵐(2003) 礦區廢棄地生態恢復研究進展. 江西林業科技 (2): 21-25.
- 劉世忠, 夏漢平, 孔國輝, 敖惠修, 鄧釗平, 柯宏華, 李麗華, 譚鵬(2002) 茂名北排油頁岩廢渣場土壤與植被特性研究. 生態科學 21(1): 25-28.
- 劉海燕, 曹艷英(1998) 江漢平原濕地開發及其對環境的影響. 地理學與國土研究 14(2): 16-20.
- 李文華(1998) 長江洪水與生態建設. 中國農業資源與區

- 6: 4-9.
- 李文華(1999) 長江洪水與生態建設. 自然資源學報 14(1): 1-8.
- 李先琨, 黃玉清, 蘇宗明, 馮玲, 叶惊春, 覃德深(1997) 廣西水土流失重點區域生態恢復試驗研究. 水土保持通報 17(6): 1-6.
- 李先琨, 黃玉清, 蘇宗明, 馮玲(1996) 廣西水土保持植物材料試驗研究初報. 廣西植物 16(1): 88-94.
- 張志權, 束文聖, 藍崇鈺(2002) 引入土壤種子庫對鉛鋅尾礦廢棄地植被恢復發利用(1). 植物生態學報 24(5): 601-607.
- 張海星, 姚麗文, 熊報國, 占幼鴻(1999) 德興銅礦尾礦庫廢棄土地生態恢復試驗研究. 環境與開發 14(1): 10-12.
- 田軍(2000) 滇池濕地生態恢復研究. 雲南環境科學 19(4): 27-29.
- 趙曉英, 孫成權(1998) 恢復生態學及其發展. 地球科學進展 13(5): 474-480.
- 彭少麟(1995) 中國南亞熱帶退化生態系統的恢復及其生態效應. 應用與環境生物學報 1(4): 403-414.
- 彭少麟(1996a) 恢復生態學及植被重建. 生態科學 15(2): 26-31.
- 彭少麟(1996b) 南亞熱帶森林群落動態學. 科學出版社, 364~386等.
- 彭少麟(1996c) 南亞熱帶退化生態系統的恢復和重建的生態學理論和應用. 熱帶亞熱帶植物學報 4(3): 36-44.
- 彭少麟(2000a) 恢復生態學研究進展及在中國熱帶亞熱帶的實踐. 四川師範學院學報(自然科學版) 21(3): 221-227.
- 彭少麟(2000b) 恢復生態學與廣東省復合農林業的發展. 農業現代化研究 21(3): 129-133.
- 彭少麟(2001) 退化生態系統恢復與恢復生態學. 中國基科學 3: 18-24.
- 彭少麟(2003) 熱帶亞熱帶恢復生態學研究與實踐. 科學出版社, 506等.
- 彭少麟, 方煒(1995) 熱帶人工林生態系統重建過程物多樣性的發展. 生態學報 15(增刊A輯): 18-30.
- 彭少麟(1992) 鶴山亞熱帶丘陵人工林群落分析. 植物生態地植物學學報 16(1): 1-10.
- 彭少麟, 趙平, 張經煒(1999) 恢復生態學與中國亞熱帶退化生態系統的恢復. 中國科學基金 5: 279-283.
- 何錦峰, 樊宏, 叶延琼(2002) 岷江上游生態重建的模式. 前沿論談 (5): 35-37.
- 夏漢平(1999) 論長江與珠江流域的水災, 水土流失及植被生態恢復工程. 熱帶地理 19(2): 124-130
- 夏漢平, 蔡錫安(2002) 采礦地的生態恢復技術. 應用生態學報 13(11): 1471-1477.
- 許木啓, 黃玉瑤(1998) 受損水域生態系統恢復與重建研究. 生態學報 18(5): 547-558.
- 黃璟, 雪海章, 黃智敏(2001) 論我國江漢平原濕地農業的可持續發展. 農業現代化研究 22(2): 84-87.
- Cairns, J.J.(1995a) Rehabilitating damaged ecosystem. Second edition. Florida: CRC Press, . 165-185; 373-411pp.
- Cairns, J.J.(1995b) Restoration ecology. Encyclopedia of Environmental Biology 3: 223-235.
- Daliy, G.C.(1995) Restoring value to the worlds degraded lands. Science 269: 350-354.
- Farnworth, E.G. and F.B. Golley(1973) Fragile Ecosystem. New York: Springer-Verlag, 258pp.
- Harris J.A., P. Birch and J. Palmer(1996) Land restoration and reclamation: principles and practice. Longman House, 230pp.
- Higgs, E.S.(1997) What is good ecological restoration? Conservation Biology 11(2): 339-348.
- Hobbs, R.J. and D.A. Norton(1996) Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology. 4(2): 93-110.
- Miyawaki A.(1993) Restoration of native forests from Japan to Malaysia. In: Leith H & Lohmann M(eds.) Restoration of Tropical Forest Ecosystems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 5-24pp.
- Piha M.I., H.W. Vallack and N. Michael(1995) A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash wastes in semi-arid regions. II. Lagooned pulverized fuel has in Zimbabwe. Journal of Applied Ecology 32: 382-390.