

식생지수에 의한 경관파편화의 해석기법

정 종 철¹

The Analysis Method of Landscape Fragmentation using Normalized Difference Vegetation Index

Jong-Chul Jeong¹

요 약

생물서식지의 다양한 공간구조는 생물의 종 다양성과 밀접한 관계를 가지고 있다. 인구의 증가, 농업의 발달, 그리고 도시의 발전은 최근에 다양한 경관의 변화를 가져왔다. 이러한 경관의 변화는 생태적 구성인자의 서식지 감소와 파편화(fragmentation)를 초래하였다. 본 연구에서는 Landsat TM을 이용하여 식생지수를 산출하고 이를 식생 패치의 경계길이 대 면적 (perimeter : area, P/A ratio), Shape Index(SI), 프랙탈 디멘존(D)에 의해 추출한 파편화지수를 분석하였다. NDVI에 의한 경관파편화의 분석은 0.5~1의 구간 값을 이용하는 것이 가장 파편화를 용이하게 구분할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 서울 경기지역의 식생 파편화는 프랙탈 디멘존에 의해 구분할 때 가장 효과적으로 식생 패치의 파편화를 구분해 낼 수 있음을 알 수 있었다. 향후 동일지역에 대한 식생 패치의 시계열적인 분석과 다양한 토지이용에 대한 식생 파편화의 분석을 비교 연구하여 식생 보전과 생물다양성의 전략을 제시할 수 있을 것이다.

주요어: 식생지수, 경관, 파편화

ABSTRACT

The various spatial structure of biological habitat has tighten relationship with biodiversity. Due to increasing of population, development of agriculture and urban structure, various change of landscape has became these days. These change of landscape has raised the decrease of habitat and landscape fragmentation. This paper summarizes research to analysis vegetation index according to P/A ratio, Shape Index, and Fractal dimension using Landsat Thematic Mapper(TM). The analysis of landscape fragmentation using NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 0.5~1 has the most profitable for detection of vegetation fragmentation. The analysis of vegetation index of Seoul and Kyunggi province has also showed that Fractal dimension has the most fragmentation index. In near future, time series analysis is needed for fragmentation of vegetation on the same area, and for various landuse of fragmentation analysis. These researches were carried out for preservation strategy of vegetation and biodiversity.

KEYWORDS: NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), Landscape, Fragmentation

1999년 9월 15일 접수 Received on September 15, 1999

¹ 남서울대학교 지리정보공학과 Dept. of Geoinformatic Engineering, NamSeoul University

서 론

인간의 역사 속에서 인구의 증가, 농업의 발달, 그리고 도시의 발전은 다양한 경관의 변화를 가져왔다. 이러한 경관의 변화는 생태적 구성인자의 서식지 감소와 파편화(fragmentation)를 초래하였다.

토지이용 형태를 포함한 인위적이고 자연적인 토지 유형인 경관요소는 시각적으로 동질한 전체 경관의 일부분으로 생물종에게는 다양한 생태계, 즉 서식처를 제공해 주고 있다. 하지만, 오랫동안 환경경사에 의하여 자연스럽게 배치된 경관의 공간적인 요소들은 최근 무분별한 토지 이용에 의해 경관모자이크가 파편화되고 서식처가 소실되고 있다(홍선기, 1999).

경관은 그 구조를 구성하는 경관요소(숲, 초지, 경작지 등)에 따라 생물종의 분포가 이질적이며, 구조적으로 다른 특징을 갖는다. McKelvey 등(1993)은 경관의 구조적, 기능적 측면에 대한 연구로 지역적인 공간규모에서 광범위한 공간 범위에 이르는 경관해석의 연구를 제시하였다.

원격탐사 자료에 의한 경관요소의 분석은 이미 오래 전부터 다루어진 연구분야이며, 최근 다채널-고해상도의 영상이 보급되고 있는 원격탐사기술의 발전에 의해 소규모의 공간 범위에서도 경관요소의 분석이 가능해졌다. Green 등(1987)은 TM의 반사치에 의한 정보를 이용하여 생물서식지의 구분화를 제시하였고, Myers(1998)는 SPOT 영상자료를 이용하여 TM 보다 높은 공간해상력을 이용한 자연 식생의 파괴 면적을 산출하였다.

최근 국내에서도 급격한 도시발달과 대규모의 개발사업으로 지역적인 규모에서 많은 경관 파편화 현상이 나타나고 있으며, Park 등(1996)은 식생지수의 연별변화에 의해 그린벨트의 효과를 분석하였다.

비록 원격탐사기법에 의한 경관파편화의 해석이 광범위한 공간범위에서 효율적인 분석

방법이나, 식생의 파편화를 정량적으로 분석하는데는 많은 제한요인이 있다. 즉, 생물 서식지인 식생분포를 정량적으로 평가하는 방법과 공간요소에서 파편화를 어떻게 정의할 것인가 등의 문제를 위성자료에 의해 해석할 수 있는가 하는 점이다.

본 연구에서는 식생 활력도와 녹색식물의 생체량을 평가할 수 있는 식생지수를 이용하여 경관의 파편화와 경관변화를 평가하기 위한 해석기법을 고찰하고, 서울 경기지역의 경관 파편화를 해석하였다.

연구방법 및 범위

원격탐사에서 토지이용변화를 관측하는 분류기법의 적용은 식생의 공간적인 분포를 파악하는데 적합하다. 반면에 식생지수에 의한 생물 서식지의 구분은 경관의 파편화를 보다 합리적으로 구분할 수 있다고 판단하였다. 또한, 농경지와 산림의 공간적 분포를 영상에서 동시에 고려할 수 있는 9월의 영상을 분석에 이용하였다.

Landsat TM(Path/Low: 116/034, 1996년 9월 1일, 태양고도 63)을 이용하여 식생지수를 산출하고, 이를 바탕으로 생물서식지의 파편화를 해석하였다.

산출된 식생지수를 공간적인 분포로 제시하였고, 이들을 통해 경관의 파편화를 비교하였다.

경관의 단절을 선형적으로 관찰하기 위해 지도좌표의 38°N, 375'N 위도를 기준점으로 하여 횡축선에 의해 식생지수를 추출하였다.

NDVI(normalized difference vegetation index)를 구하여 식생이 잘 보존되어 있고, 파편화가 적으리라 판단되는 위도 38°N의 휴전선 지역과 상대적으로 도시개발이 심하고, 토지이용의 양상이 다양한 375'N에서 식생지수의 변화 경향을 동일 위도에서 경도의 변화에 따라 서해 해안선으로부터 나타나는 식생지수의 변화를 분석하였다.

또한, 경관 파편화를 정량적으로 분석해내기 위해 식생지수를 산출하고 이를 -1부터 1까지 구간 값에 의해 구분하였다. 구분된 각 구간 값에 의해 경관 파편화를 지수화할 수 있는 경관지수 요소를 IDL5.2를 이용하여 식생지수의 구분값으로 추출하였다.

경관 파편화 지수 산출방법

식생지수는 식물의 활력도와 녹피율에 따른 가시광선과 근적외선 파장대 광선의 반사량 차이를 이용한다. 왕성하게 성장하는 녹색 식물은 근적외선 입사량의 40~50%를 반사하고, 식물체내의 엽록소는 가시광선의 80~90%를 흡수한다.

식생지수는 다양한 관계식을 통해 제시되어왔으며, 본 연구에서는 Rouse 등(1973)에 의해 제시된 근적외선(밴드 4)과 적색밴드(밴드 3)의 밴드비율과 차이에 의한 NDVI를 산출하였다. 각 픽셀에서 추출된 NDVI는 최소값 -1에서 최대값 1의 범위를 갖는다.

NDVI는 0의 값을 중심으로 식물의 활력을 구분하여 0.5 이상의 값을 갖는 공간범위를 추출해냄으로써 식생의 파편화를 해석하고자 하였다.

파편화 지수는 NDVI의 구간 값으로 구분된 패치의 경계선 길이 : 내부면적 비율(perimeter : interior area ratio, P/A ratio)을 구하였다. 또한, Patton(1975)이 제안한 shape index(SI)를 다음 식(1)과 같이 구하였다. 원의 SI는 1의 값을 갖는다. 이는 식생지수에 의한 식생 패치의 정보를 제공해 준다. 최근 프랙탈 기하학에 의한 지수가 파편화의 정량적인 해석을 위해 연구되었는데 Milne(1991)은 식 (2)와 같은 프랙탈 디멘션(Fractal dimension)을 제안하였다.

$$SI = P / [2(\pi A)^{0.5}] \quad (1)$$

$$D = \log A / \log [P / 4] \quad (2)$$

여기서, P: patch perimeter

A: area

경관 패치와 생물다양성

토지 모자이크를 구성하는 공간요소인 패치(patch)는 주변과 구별되며, 넓고 상대적으로 균일한 지역이다. 경관생태학에 있어서 패치는 다양한 모양의 특성을 가지고 있어서 모양이 길쭉하거나 둥글고, 크기도 다양하다. 이러한 특성들은 생물생산성, 생물다양성, 토양, 수분 등의 폭넓은 생태학적 의미를 부여한다(홍선기, 1999).

패치의 중요성은 MacArthur와 Wilson(1967)의 섬 생물지리학에 의해 이론적 바탕을 지니는데, 큰 섬은 작은 섬에 비해 더 많은 종을 갖는다. 또한, 대륙에 가까운 섬은 멀리 떨어져 있는 섬보다 더 많은 종을 갖게 된다는 것이다.

때문에 식생의 공간적인 파편화는 생물서식처를 단절시키는 역할을 하게 되어 생물의 종 분포와 서식지의 공간적 규모에 제한을 주게 된다. 먹이 충분한 먹이와 생식을 위한 공간을 확보하는데는 일정한 면적의 서식지 공간이 요구되는 것과 같이 서식지의 단절은 광범위한 서식지 공간을 요구하는 생물에게 더욱 위협적일 수 있다.

생물종의 다양성이라는 측면에서도 동.식물 모두 이러한 공간 규모의 영향을 받게되는데 인접한 식생공간의 단절 규모가 클수록 연결의 통로를 상실하여 섬 생물지리학에서 제시하는 바와 같이 육상에서도 작은 식생의 섬들이 생성되는 것이다.

결과 및 고찰

본 연구에서 식생지수의 산출은 비교적 위성자료에서 계산이 용이하고 산출된 결과의 비교가 용이한 NDVI를 비교하였다.

그림 1은 NDVI 지수에 의한 위도 38°N과 37°5'N의 식생지수 변화 경향을 나타낸 것이다. 휴전선의 서부전선에 해당하는 지역인 38°N은 서해 연안을 제외하고는 비교적 고른

식생지수를 나타내고 있으며, 부분적인 변이가 나타난다. 반면에 37°5'N은 NDVI가 낮은 값을 나타내며 변화가 적다.

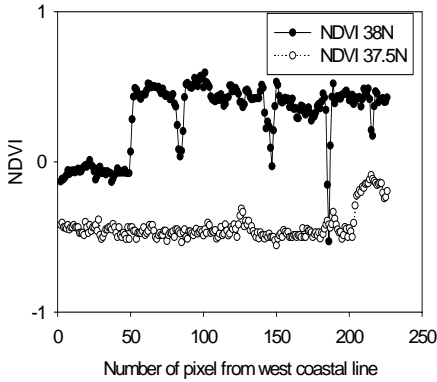


FIGURE 1. Comparison NDVI between 38°N and 37°5'N latitude from west coastal line

이러한 특징은 NDVI 지수에 의해 선형적인 식생의 연속성과 단절로 관찰될 수 있으며, 위도에 따른 식생의 공간적 분포의 비교가 용이하다. 하지만, 경관 패치는 모양과 크기가 중요한 요소로 생물서식지의 파편화를 해석하는데는 경관 패치의 단절을 정량적으로 해석할 수 있는 지수의 산출이 요구된다.

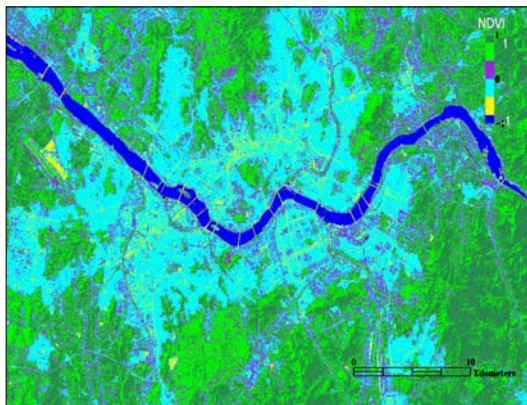


FIGURE 2. The map of NDVI in Seoul and Kyunggi province area

그림 2는 식생지수에 의해 경관요소의 파편화를 분석하기 위해 산출한 서울과 경기지역의 NDVI이다. -1부터 1까지의 NDVI 값에 의한 식생 활력도를 0.4의 구간값에 의해 구분하여 제시된 그림 2는 한강과 도시지역 그리고 산림에 의한 식생지역을 잘 구분하여 나타내고 있다.

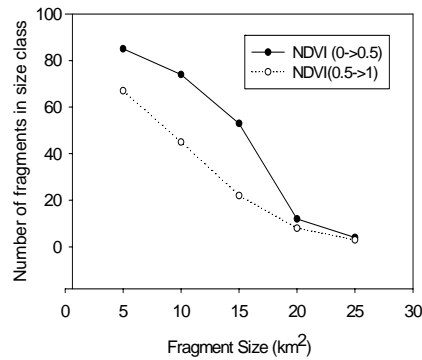


FIGURE 3. Relationship between fragment size and number of fragment in size class with NDVI

서울과 경기지역의 그림 2로부터 NDVI를 0~0.5 구간과 0.5~1 구간으로 구분하여 식생 패치의 크기에 따른 패치의 수를 그림 3에 제시하였다. 10km²과 15km²의 패치 크기에서 두 구간의 NDVI에 의한 패치 수가 차이를 나타내고 있는데 도시지역과 나대지에 의한 식생 지수가 두 개의 파편화된 공간으로 나타나며 식생지수의 구간값을 선정하는 과정에서 패치의 크기 변화에 따른 차이가 나타나므로 식생의 파편화를 해석하기 위한 식생지수의 구간값을 선정하는 것이 요구된다.

그림 4와 그림 5는 NDVI를 0~0.5와 0.5~1의 구간에 의해 구분하여 식생 패치의 면적과 식생 패치의 경계길기와 면적의 비율을 비교하여 제시한 것이다. 그림에서 가운데 직선은 선형회귀 직선이며, 95% 신뢰구간과 예상치 구간을 제시하였다. 두 구간의 NDVI에 의

해 얻어진 패치의 면적과 P/A 비율은 패치의 크기가 작을수록 P/A비가 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

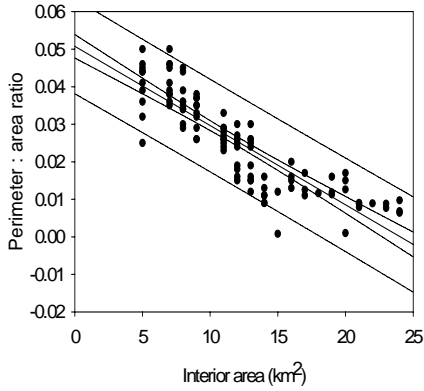


FIGURE 4. Relationship between perimeter: area ratio and interior area with regression line and 95% confidence zone using NDVI (0.5~1)

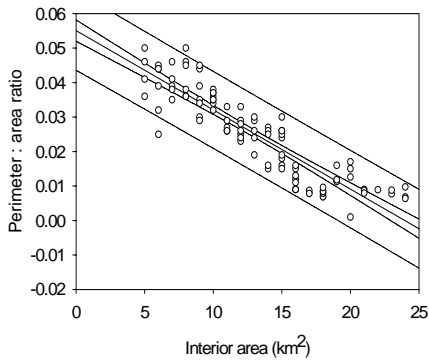


FIGURE 5. Relationship between perimeter: area ratio and interior area with regression line and 95% confidence zone using NDVI (0~0.5)

또한, NDVI가 0.5~1 사이 구간의 식생지수에 의한 P/A비와 패치 면적의 관계에서 NDVI가 높은 영역의 P/A 비율 보다는 0~0.5

의 낮은 NDVI 영역의 P/A 비율이 동일한 식생 패치에 대해 다른 P/A값을 나타내고 있다. 이를 바탕으로 0.5~1 구간의 NDVI를 이용하여 식생 패치의 관계를 파악하는 것이 바람직하다는 결과를 얻었다.

그림 6은 그림 4와 그림 5의 NDVI 구분에 의한 패치 크기와 P/A 비율에 의한 관계를 비교한 것으로 선형회귀관계와 95% 신뢰구간에서 살펴본 두 요소의 관계를 나타내고 있다.

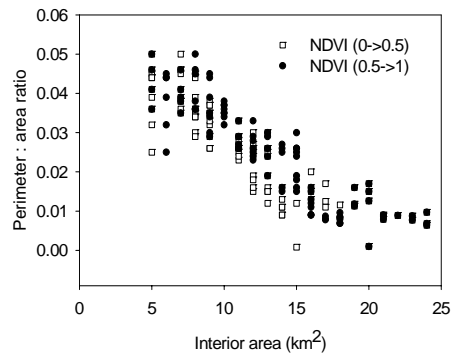


FIGURE 6. Relationship between perimeter: area ratio and interior area with NDVI (0~0.5 and 0.5~1)

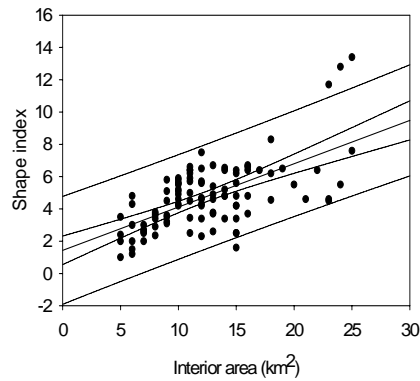


FIGURE 7. Relationship between Shape Index and interior area with NDVI (0.5~1)

NDVI에 의한 식생분포는 shape index (SI)에 의해 분석할 수 있는데 완전한 원의 형태일 때 SI는 1의 값을 가지므로 자연식생의 NDVI는 1보다 큰 값을 가지며, P/A 비율에 의한 패치의 해석보다 더 많은 정보를 지니게 된다.

동일한 크기의 식생 패치 크기를 가질 경우 SI는 P/A 비율보다 다양한 변이의 값을 가진다. 또한, P/A 비율과는 반대로 패치의 면적이 증가할수록 SI 지수는 증가하는 관계를 나타낸다.

최근에는 프랙탈 기하학에 의한 식생 파편화의 정량화가 제안되고 있는데 프랙탈 디멘존은 단순한 모양을 가질수록 1에 가까운 값을 나타낸다. 만약 매우 복잡한 구조의 패치 형태를 지닌다면 이때에 프랙탈 디멘존(D)은 최고 2의 값을 나타낸다.

본 연구에서는 가장 단순한 프랙탈 디멘존 계산 방법을 식 (2)와 같이 적용하였다.

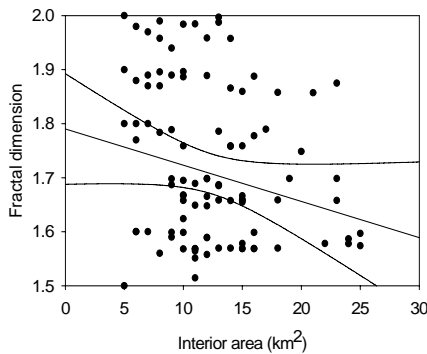


FIGURE 8. Relationship between Fractal dimension and interior area

그림 8은 식생지수 0.5~1의 구간 범위를 가지는 패치의 공간 요소를 바탕으로 도출한 프랙탈 디멘존의 계수와 패치의 면적을 비교하여 제시한 것이다.

식생 패치의 공간이 파편화 될수록 D의 값은 커질 것이며, 작은 면적의 패치 수가 증가하는 결과를 나타낼 것이다. 그림 8에 의한 결과

에서 동일한 패치 면적에 대한 다양한 D값을 관찰 할 수 있는데 공간적인 식생의 모양과 구조가 다양한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

프랙탈 디멘존에 의한 패치의 분석은 P/A 비율에 의한 분석과 SI 지수에 의한 분석에 비해 명확하게 식생의 파편화를 해석할 수 있는 지수로 판단된다.

식생지수에 의한 식생의 공간적 구조를 파악하는데는 식생지수의 구분값에 의한 패치의 구조적 변화가 나타나므로 이를 선행연구에서 보다 고찰하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 이를 0~0.5 와 0.5~1의 두 단계에 의한 구분으로 0.5~1의 식생지수에 의한 식생구조를 분석하였으나, 이를 검증하기 위한 현장조사가 이루어지지 않아 연구 결과를 검증하지 못하였다. 또한, 한 시점의 위성자료에 의한 식생지수 산출과 식생의 파편화를 관찰한 것으로 시계열적인 식생 파편화의 정량적인 해석이 앞에서 얻은 각각의 지수에 의해 평가될 수 있는지에 대한 보완된 연구가 요구된다.

도시화에 따른 산림의 개발과 토지이용의 변화는 식생지역을 파괴하고 파편화 함으로서 생물 서식지의 공간을 축소하고 이에 따른 생물종 다양성의 위협이 증가하고 있다. 본 연구는 이러한 생물서식지의 공간 구조를 원격탐사기법에 의해 평가하고 공간적인 구조의 파편화를 정량적으로 해석할 수 있는 식생 파편화 지수를 적용하였다. 각각의 결과를 비교하여 얻은 P/A 비율과 SI 지수, 프랙탈 디멘존의 결과를 바탕으로 동일시점에 지역적인 식생 파편화 분석 또는 동일지역에 대한 시계열적인 식생 파편화를 분석함으로써 위성자료에 의한 생물 서식지의 분석과 관리 방안을 제시할 수 있다고 판단하였다.

결 론

식생의 분포는 다양한 생물의 서식지를 의미하며, 식생의 파편화는 생물의 서식지 파괴

를 해석할 수 있는 판단의 기준이 될 수 있다. 또한, 도시계획 및 토지의 지속 가능한 개발전략을 구축하는데 있어서도 공간 규모의 식생 분포 연구는 매우 중요하다.

본 연구에서 제시할 수 있는 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 식생지수의 선형적인 분석으로 휴전선이 위치한 38°N 위도 측은 높은 식생지수의 분포를 보이며, 선형적 단절이 적은 규모로 나타나고 있어 경관패치의 파편화가 낮다. 반면에 신도시 건설과 배드타운의 형성이 활발한 37°5'N의 위도 측은 낮은 식생지수를 나타내고 있어서 위도에 따른 식생 파편화를 구분할 수 있다.

둘째, 식생의 파편화는 크기와 모양에 의한 패치구조와 밀접한 관련을 나타내고 있으며, 이를 평가하기 위해 적용된 P/A 비율, SI 지수, 프랙탈 디멘존(D)은 서울과 경기지역의 영상자료에서 프랙탈 디멘존에 의한 파편화 분석이 동일 크기의 패치를 분석하는데 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

셋째, 식생지수의 공간적인 분포는 다양한 지역의 토지이용에 따른 식생의 파편화를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 동일지역에 대한 시계열적인 식생 파편화 지수를 산출함으로써 식생 보전 전략을 구축하는데 활용 가능하다.

본 연구에서는 소형패치와 대형패치의 주변부(edge effect)에 의한 경관해석을 제시하지 못하였다. 향후 패치간의 거리와 인접성 등을 평가할 수 있는 연구가 요구된다. **KAGIS**

참고문헌

- 홍선기. 1999. 경관생태학적 관점에서의 생물다양성 보전. 한국생물다양성협회의회보 3-13쪽.
- Green, K.M., J.F. Lynch, J. Sircar and L. Greenberg. 1987. Landsat remote sensing to assess habitat for migratory birds in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Vida Silv. Neotrop.* 1:27-38.
- MacArthur, R.H. and E.O.Wilson. 1967. *The theory of Island bio-geography.* Princeton University Press, Princeton.
- McKelvey, K.B., R. Noon and R.H. Lamberson. 1993. Conservation planning for species occupying fragmented landscapes. pp.424-450.
- Myers, N. 1988. Tropical deforestation and remote sensing. *For. Ecol. Manage.* 23:215-225.
- Park, C.H., D.J. Suh and C.W. Suh. 1996. An evaluation of the green belt of Seoul metropolitan region by utilizing NDVI derived from TM data, *J. KSRS.* 12(3):245-256.
- Rouse, J.W., J.A.Schell. and D.W.Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS symposium, NASA. vol. 1:309-317. **KAGIS**