

MODIS NDVI를 이용한 북한의 벼 수량 추정 연구

A Study on Estimating Rice Yield of North Korea using MODIS NDVI

홍석영^{1*}, 최은영¹, 김건엽¹, 강신규², 김이현¹, 장용선¹
S. Young Hong^{1*}, Eunyoung Choe¹, Gun-Yeob Kim¹, Sin-Kyu Kang²,
Yi-Hyun Kim¹, Yong-Seon Zhang¹

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부, ²강원대학교 환경과학과

*연락처: +82-31-290-0344, syhong@rda.go.kr

요 약

원격탐사 기술은 사람이 직접 방문하여 조사하기 힘든 극지라든가 농업환경에 대한 자료 요구도가 높으면서도 직접 수집이 어려운 비접근 지역에 대한 정보를 추출하는데 유용한 관측수단이다. 본 연구는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 제 공 산출물 중 16일 단위로 작성되는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, MOD13)를 이용하여 북한의 벼 수량을 추정하는 것을 목적으로 하였고, 그 가능성과 한계에 대하여 알아보았다. 2000년부터 2008년까지 촬영된 MODIS MOD13 자료를 미국 NASA로부터 제공받아 좌표체계를 우리나라에 맞게 투영하고 NDVI를 추출하여 자료분석에 사용하였다. 통계청에서 발표한 벼 수량 및 생산량 통계자료를 이용하였다. 농촌진흥청 국립농업과학원에서 작성한 북한의 토지피복분류도를 이용하여 서해안 평야지 대에 위치한 논을 위도별로 내군데 정하여 관심지역(area of interest)으로 설정하였다. 이 관심지역에 대한 시계열 값을 추출하여 연중·연간 변화를 분석하고 2000년부터 2007년까지 수잉기의 NDVI 값을 이용하여 수량에 대한 상관계수(r)는 0.77*로 5%에서 유의하여 NDVI 값에 따라 벼 수량에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 수잉기의 NDVI 값과 벼 수량에 대해 회귀분석한 결과($R^2=0.591^*$), NDVI에 따른 벼 수량의 변이를 59.1% 설명할 수 있었다. 이와 같이 회귀식을 이용하여 2008년 북한의 벼 수량은 약 2.80 ton/ha로 추정되었다.

서 론

원격탐사란 조사하고자 하는 대상, 지역 및 현상에 대해 비접촉·비파괴적인 도구를 이용하여 수집된 자료의 분석을 통하여 정보를 수집하는 과학기술이다. 위성영상과 같은 원격탐사 자료는 현지조사 및

항공사진에 비하여 넓은 지역을 한번에 관측할 수 있고 육안으로 감지하기 어려운 물체나 현상들을 감지할 수 있는 이점을 가지고 있다(Campbell, 1996). 토지이용, 지형, 토양지리 등 농업환경과 관련된 정보의 수집이 대개 넓은 공간에 걸쳐 실시

되는 것을 볼 때, 수 천 평방 킬로 이상의 넓은 지역을 대상으로 영상자료를 제공하는 원격탐사는 자료와 정보를 얻는 중요한 수단으로 이용될 수 있다. 특히 사람이 직접 방문하여 조사하기 힘든 극지라든가 북한과 같이 연결지역으로 농업환경 분석 요구도가 높으면서도 직접 자료수집이 힘든 비접근 지역에 대한 정보를 얻어야 하는 경우에 관측수단으로써 매우 유용하다.

북한의 농업 현황, 농업기술, 생산 기반에 관한 연구는, 우리나라에서는 정부기관과 연구소, 일부 대학에서 활발히 수행되고 있고 세계적으로는 UN, FAO와 같은 국제기구와 관련 기관, 대학 등에서 수행되고 있으나 주로 문헌조사와 청취조사, 방문을 통한 단편적인 정보로 전체적인 맥락을 파악하거나 문서자료 이상의 일관성 있는 이차원적인 정보를 얻기엔 미흡한 점이 많다. 넓은 지역에 대해 지표면에 대한 파장별 반사특성 데이터의 형태로 얻어지는 위성영상 자료를 이용한다면 지역 전체를 대상으로 하여 보다 과학적이고 객관적인 자료 생산이 가능할 것으로 생각된다.

위성자료를 이용한 작물정보 취득은 작물진단, 품질평가, 재배관리, 수량 및 생산량 추정을 위주로 이루어 지는데, 특히 재배되고 있는 대상작물과 면적을 파악하고 생산량을 추정하는 것은 식량수급과 경지이용 계획 수립에 매우 중요하다.

본 연구에서는 직접 조사가 힘든 북한 지역을 대상으로 '00년부터 '07년까지의 수량 통계자료와 MODIS NDVI와의 회귀식을 작성하고 '08년도 수량을 추정하는 것을 목적으로 하였다.

연구 방법

1. MODIS 자료 취득 및 영상 처리

연구에 사용된 MODIS(Moderate Resolution

Imaging Spectroradiometer)는 미국 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)에서 발사한 지구관측 위성인 Terra 위성(EOS AM-1)과 Aqua 위성(EOS PM-1)에 탑재된 센서이다. MODIS는 36개의 파장역으로 구성되어 있고, 파장역에 따른 영상의 해상도가 다르다. 밴드 1과 2는 250 m, 밴드 3에서 7은 500 m, 밴드 8에서 36까지는 1,000 m의 해상도를 갖는 분광해상력이 좋은 12-bit 영상이다. 식생의 엽록소, 토양과 식생의 구분, 엽록소(chlorophyll) 함량, 퇴사(sediment), 지표면 온도(surface temperature), 대기입자(aerosol), 구름 등에 대한 각종 정보를 얻는데 활용되고 있다.

MODIS는 영상보정, 대기, 육지, 극지, 해양 등의 관측에 중요한 약 40개의 자료(MOD1~MOD40)를 생산하는데, 다중 데이터의 유형을 지원할 수 있고 간편하고 구현이 쉬운 HDF_EOS(Hierarchical Data Format) 형태의 자료로 제공된다. NASA에서는 MODIS 자료를 무료로 제공하는데 level 1, 2, 3으로 나뉜다. 대부분의 level 1과 모든 level 2 자료는 위성으로부터 약 5분 단위로 연속적으로 얻어지는 자료를 granule로 저장한다. 본 연구에서는 이들 자료들 중 육지(land) 연구를 위한 MOD13(Vegetation indices)의 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 자료를 이용하였다. MODIS 자료 다운로드 사이트는 <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1>이다. 북한을 포함하는 granule은 h27v04와 h27v05로 자료가 서비스되는 2000년부터 2008년 10월 말까지의 자료를 다운로드 받았다. 다운로드 받은 자료는 IDL 코드를 이용하여 Sinusoidal 좌표체계를 횡메르카토르법으로 변환한 후, NDVI 레이어를 추출하여 자료분석에 사용하였다.

2. 벼논의 NDVI 특성 분석

원격탐사를 이용한 식생에 대한 연구는 근적외광과 가시광 영역의 복사 또는 반사율에 기초한 식생지수(VI; vegetation indices)가 흔히 이용된다. 식생지수는 식생의 녹색도의 상대적인 양과 활력의 지표로서 단위가 없는 방사학적인(radiometric) 측정값이다. 식생지수는 바이오매스, 엽면적지수, 수량 등 작물의 생물리학적 매개변수(biophysical parameter)에 민감하게 반응한다. 한편 군락 하부의 변이와 같은 내부적인 효과와 태양고도, 관측각, 대기와 같은 외부 효과를 표준화 하여야 한다. 근적외광과 가시광 파장의 분광특성을 이용하는 식생지수는 경험적인 실증에 기초하여 식생의 생산성과 활력을 추정하는데 널리 이용되고 있다. 근적외광과 가시광의 비율에 기초한 가장 먼저 사용되기 시작한 식생지수는 RVI(ratio vegetation index; Jordan, 1969)이고, 이를 정규화하여 선형화하여 가장 많이 쓰이는 식생지수는 NDVI(Rouse et al., 1973)이다. NDVI는 -1에서 1사이의 값을 가지며 식생은 대개 0.2 이상에서 1에 가까운 값을 갖게 된다 (식 1).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (-1 \leq NDVI \leq 1) \quad (\text{식 1})$$

MOD13의 NDVI 자료는 구름의 영향을 제거하기 위해 매일 취득한 영상을 16일씩 maximum value composite 한 16일 단위의 영상(level 4)을 제공하고 있다.

벼논에 대한 NDVI 데이터값 추출을 위해서는 Landsat TM을 이용하여 분류한 북한 토지피복도(홍 등, 2008)의 벼논 전체에 해당하는 NDVI값과 서해안 평야지대에 분포하는 평야지 4지점(각 4 km²)을 선택하여 평균한 NDVI값 데이터셋을 작

성하였다.

3. 자료분석

FAO(Food and Agriculture Organization, www.fao.org)와 통계청(www.nso.go.kr)에서 제공하는 연도별 수량 및 생산량 통계자료('00~'07)를 이용하여 연차별 NDVI 값과의 추정식을 작성하였다. 연차별 NDVI 값은 연중 가장 최대값을 보이는 시기 또는 수잉기의 NDVI값을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 위성영상 처리

MODIS 위성영상 처리는 영상분석 소프트웨어인 ENVI에 제공되는 IDL (Interactive Data Language)을 이용하여 강(2008)이 기술한 방법을 이용하였다. 북한을 포함하는 granule(h27v04, h27v05)에 대해 약 9년('00~'08) 자료를 다운로드 한 영상을 대상으로 하였다. 모든 육상 산출물의 좌표 체계는 sinusoidal projection이며, 이는 지구 전체를 36(horizontal) × 18(vertical)의 tile로 투영하는데, 그 결과 각각의 tile은 10도 × 10도 즉, 1,200화소 × 1,200화소로 구성된다. 이 투영방식에서는 지구의 반경을 7,371,007.181 m로 설정하여 각 화소의 크기가 약 926.62 m로 맞추어진다. 육상 자료는 화소의 좌표가 이미 정해져 있으므로 IDL을 이용하여 sinusoidal 형태의 지도를 횡메르카토르법(Transverse Mercator) 좌표계로 변환하고 NDVI 레이어를 추출하였다.

2. 벼논의 연차별 NDVI

'00~'08년 16-day NDVI 레이어로부터 추출한 북한지역 서해안 평야지대의 주요 벼논(16 km²)의 평균 NDVI 값의 연차별 변화는 그림 1과 같다. 연차별 16-day

NDVI 최대값과 최대값이 출현하는 시기가 다르고, 해마다 벼 유수형성기~출수기 사이에 NDVI값이 최대로 나타나는 것을 알 수 있었다. 2007년의 최대 NDVI 값이 가장 낮게 나타났고, 2001, 2004 및 2005년의 최대 NDVI 값이 높게 나타났다. 이 양 후 벼 생육기간 동안 NDVI값은 약 0.3~0.9 사이의 값을 나타내었다. 벼 생육기간 중 NDVI 값이 함몰하는 현상은 구름의 영향으로 낮아지므로 시계열 자료로 활용할 경우 자료를 채우는 방법(gap filling)을 적용하여야 할 것으로 생각된다.

농촌진흥청 국립농업과학원은 생육단계별 NDVI값과 수확기 바이오매스 및 수량과의 상관분석 결과 유수형성기에서 출수기 사이의 NDVI 값이 수확기 바이오매스 및 수량과의 상관이 가장 높게 나타났다고 보고하고 있다(홍 등, 1996; 김 등, 2007-unpublished). 위 결과에 의거하여 NDVI 값과 수확기 바이오매스 및 수량과의 상관이 가장 높게 나타난 생육단계이면서 최대 NDVI 값 출현빈도가 높았던 수잉기(중만생종 기준)의 연차별 NDVI값을 이용하여 수량 및 생산량과의 관계를 분석하였다.

3. 벼논의 NDVI와 수량 및 생산량과의 관계 분석

벼논의 연차별 수잉기의 NDVI값과 FAO와 통계청에서 제공하는 연도별 수량 및 생산량 통계자료('00~'07)를 이용하여 벼 생산량과 수량에 대해 각각 회귀식을 작성하였다. 수잉기의 NDVI값과 FAO 생산량 및 통계자료와는 뚜렷한 관계를 찾을 수 없었다. 수잉기의 NDVI값과 통계청에서 발표한 북한의 생산량 및 수량은 각각 선형적인 관계로 나타났다. NDVI와 생산량은 통계적으로 유의하지 않았고, 수량과는 R^2 값이 0.591 로 통계적으로 유의한 수준

의 결과를 나타내었다(그림 2).

수량 추정식에 2008년 수잉기 NDVI값을 대입한 결과 2008년 수량은 2.80 ton/ha로 추정되었다. 이에 벼 재배면적('07년 통계)을 곱하여 생산량을 산정한 결과 약 164.5만톤으로, 2007년 대비 약 7.5% 증수한 것으로 나타났다.

결론

북한 전역을 매일 한번에 촬영가능한 MODIS 영상의 NDVI 자료와 통계자료를 이용하여 생산량 및 수량을 추정하는 회귀식을 작성하였다. 2000년부터 2007년까지의 MODIS 영상에서 추출한 벼논 대표지점의 NDVI와 통계청에서 제공하는 수량 자료와 선형적인 관계로 나타났다. 이 관계식을 이용한 2008년 북한의 벼 수량과 생산량을 추정하였다. 실측에 따른 캘리브레이션이나 자료를 통한 검증이 어렵다는 점이 한계점으로 지적되고 있다. 그러나 북한에 대한 수량 및 생산량은 국가 통계 자료의 수집이 어렵고 조사기관에 따라 발표하는 통계자료의 변이가 크므로, 위성영상 등 주기적으로 객관적으로 자료 취득이 가능한 자료를 이용한 추정방법의 지속적인 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 강신규. 2008. MODIS 위성자료를 이용한 증발산 지도 제작. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 기술보고서. pp.5-20
- 김이현, 홍석영, 김명숙, 곽한강, 임상규. 2007. 광학센서를 이용한 단백질함량 추정법 개발. 농촌진흥청 농업과학기술원 시험연구보고(unpublished)
- 홍석영, 임상규, 이승호, 이정철, 김이현. 2008. 위성영상을 이용한 북한의 농업환경 분석. I. Landsat TM 영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류. 한국환경농학회

지, 27(2):120-132

홍석영, 임상규, 정원교, 이정택. 1996. 분광반사특성 해석 연구. 농촌진흥청 농업과학기술원 시험연구보고(unpublished)

통계청. www.nso.go.kr

FAO. www.fao.org

Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology. 50:663~666.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ETRA. In Third ETRS Symposium. NASA SP-353.

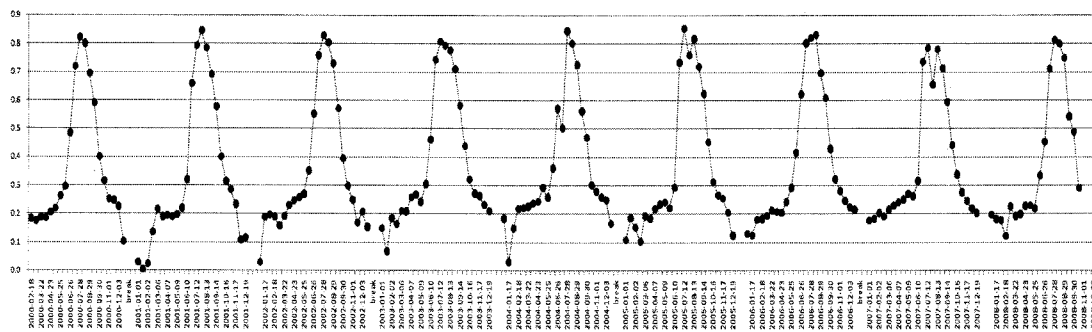


Figure 1. Yearly change of 16-day NDVI of MODIS in paddy fields from 2000 to 2008

Table 1. NDVI values at booting stage from 4 paddy fields in North Korea from 2000 to 2008

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0.8217	0.8440	0.8277	0.8068	0.8429	0.8524	0.8313	0.7847	0.8117

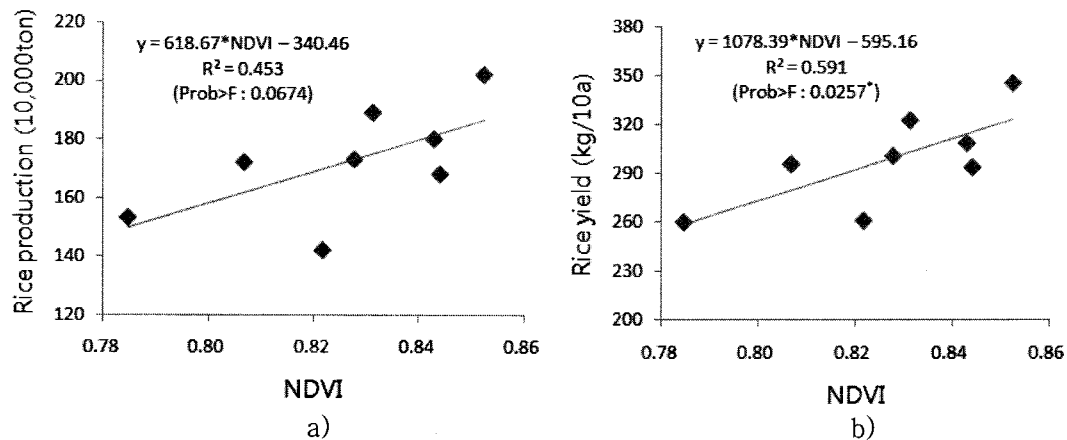


Figure 2. Relationship between NDVI at booting stage and rice production(a) and rice yield(b)