

LANDSAT 위성영상을 이용한 벼 생육 및 수량 모니터링

김민호* · 이충근** · 박호기** · 이재은** · 구본철** · 신진철**†

*(주)삼성화재해상보험, **작물과학원

A Study on Rice Growth and Yield Monitoring Using Medium Resolution Landsat Imagery

Min-Ho Kim*, Chung-Kuen Lee**, Ho-Ki Park**, Jae-Eun Lee**, Bon-Cheol Koo**, and Jin-Chul Shin**†

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**Samsung Fire & Marine Insurance, Seoul 100-782, Korea

ABSTRACT Earth observation satellite imagery having medium-resolution can provide the useful information very rapidly and cheaply. The objective of this study was to assess the feasibility for monitoring rice growth and yield using medium resolution satellite imagery at Seosan AB reclaimed area, Chung-nam province.

Using the LANDSAT imagery at booting stage (29th July 2004), NDVI_R had the most significant linear relationships with rice yield of Seosan AB reclaimed area with the correlation coefficient (r) as 0.68. Therefore, this relationship was established as rice yield equation as function of NDVI_R, where excluding the 10 small area having low number of pixel, the determination coefficient (R^2) of the linear regression between NDVI_{red} and milled rice yield was improved to 0.66. In addition, raster masking method, which was easier and faster even if a little unaccurate than preexisting method, was established for extracting information paddy field zone. Adaptability of rice yield equation function of NDVI_R on year and region was investigated using rice yield and NDVI_R values, which were extracted with raster masking method, from 7 counties or cities, Kyeong-ki province in 2005. Relationship between observed and calculated rice yield showed 1:1 line indicating that the adaptability was admitted.

Keywords : rice, satellite, LANDSAT, growth, yield, monitoring

최근 벼 재배면적 및 생산량은 매우 유동적인데, 광범위한 지역을 조사하기 위해서는 많은 시간이 필요할 뿐만 아니라

인적 및 물적 비용이 크기 때문에 최근에는 원격탐사 기술을 활용하는 사례가 늘고 있다. 인공위성을 활용하는 사례는 사회 전반적인 분야로 확대되고 있는 추세이며, 농업분야에서는 기후변화, 정밀농업, 국토관리, 재해면적 추정뿐만 아니라 의사지원 및 정책결정 등에 활용이 가능하다(김등, 2004).

다중분광 광학렌즈를 장착한 광학위성은 태양광이 지표면에 부딪쳐 반사되는 파장별 에너지를 측정하는 것으로 지구관측위성의 대부분을 차지하고 있다. 광학위성은 해상도가 높고 파장대별로 다양한 분석이 가능하다는 장점이 있으나(Jensen, 2000), 위성체와 지표면 사이에 존재하는 대기층의 변화에 절대적으로 의존할 수밖에 없는 단점을 가지고 있다.

위성영상에서 유용한 정보를 얻기 위해서는 우선 관심대상을 벡터자료로 분류해야 하는데, 이미 분류가 완료된 벡터자료를 활용하는 방법도 있지만 벡터자료의 정확도 및 유용성 등으로 인하여 직접 벡터자료를 생성하는 방법이 사용되고 있다(홍, 1999; 이, 1997). 분류방법은 감독분류와 무감독분류가 널리 쓰이며, 단일시기보다는 다중시기를 활용할수록(McNairn *et al.*, 2002), 해상도가 높아질수록 분류정확도는 높아진다. 일반적으로 감독분류방법의 정확도가 높다고 알려져 있다. 그러나 분류의 최종목적이 분광군집(spectral class)을 관심있는 정보군집(information class)과 일치시키는 것이기 때문에(황, 2004), 영상 자체만으로 분류하였다 하더라도 이를 벡터화하는 작업이 필요하다. 일반적으로 벡터화된 논구역에서 정보를 추출하는 것은 쉽지만 광범위한 지역의 논구역 벡터에서 정보를 추출하는 것은 매우 어렵기 때문에 아직까지 국내에서 광범위한 지역을 대상으로 논구

†Corresponding author: (Phone) +82-32-290-6713

(E-mail) shinjces@rda.go.kr <Received August 4, 2008>

역 정보를 추출한 사례는 없는 실정이다.

최초의 지구관측위성인 LANDSAT 발사(1967) 이후로 광학위성에서 얻어지는 식생지수를 활용하여 작물의 재배면적, 생육, 수량 및 재해 등에 대한 정보를 모니터링하려는 연구가 지금까지 활발히 진행되고 있다(Oguro *et al.*, 2001). 작물의 생육이나 수량 등은 주로 NDVIred에 대한 일차관계식으로 표현되는데, Soria와 Fernandez(2002)는 옥수수에서 개화기의 NDVIred와 수량은 일차관계식($R^2 = 0.92$)이 성립하였다고 보고하였으며, 벼에서도 많은 연구자들이 NDVIred 등의 식생지수와 수량간에는 1차 직선관계가 있다고 보고하였다. 국내에 원격탐사가 소개된 지 25년 이상이 지났으나 지표면의 균락반사를 활용하여 벼의 생육, 수량 및 단백질함량을 추정하는 국내 연구는 많이 있는 반면 광학위성을 활용하여 벼의 재배면적이나 생육량을 모니터링한 사례가 종종 있어왔으나 식생지수와 실제 벼의 수량을 직접 비교분석한 예는 거의 없다.

따라서 본 연구는 국내 대규모 벼 재배지역을 대상으로 중해상도 광학(LANDSAT) 위성영상을 활용하여 벼의 재배면적, 생육 및 수량과의 관계를 비교 검토하였다.

재료 및 방법

위성영상 수집

서산간척지내 수량을 추정하기 위하여 2004년 7월 29일 LANDSAT 영상(Path 116, Row 35, Level 1)을 확보하여 분석하였다. 또한 경기도내 7곳(김포, 파주, 포천, 화성, 평택, 이천, 안성)을 대상으로 인공위성 자료를 이용한 벼의 재배면적과 수량을 추정 가능성을 검토하기 위하여 1994년 7월 26일 LANDSAT 영상(Path 116, Row 34, Level 1)을 확보하였으며, 이를 국립농산물품질관리원(NAPQMS)의 수량자료와 비교 검토하였다.

위성영상가공 및 정보추출

위성영상 가공을 위해서 본 연구에서는 미국 MicroImage社의 TNT-mips(v. 6.5)와 ERDAS社의 Arcview(v. 3.2)를 사용하였다. LANDSAT 영상은 Level 1단계로, 기하보정 및 방사보정과 재배열, 히스토그램조정 등을 처리하였으나 대기보정은 하지 못하였다. 기하보정은 GCP(ground control points)의 Affine변환식을 사용하여 오차범위가 15 m 이내(0.5 pixel)가 되도록 하였고, 최근린법(nearest neighborhood)을 사용하여 30 m로 재배열하였다.

본 연구에 쓰인 벡터는 현대서산영농법인에서 제공해 준

IKONOS기반의 벡터자료를 Arcview로 수정변환하여 사용하였으며, 수치지도화된 벡터자료를 Trimble社의 GPS Path-Finder Pro로 검증한 결과 측정오차가 0.2 m 이내였다. 일부 벡터는 국토지리원에서 구매하였고, 확보하지 못한 벡터 자료는 직접 제작하여 사용하였다.

광학위성인 LANDSAT은 7개의 TM band를 갖고 있는데, 이들 파장대를 조합하여 정규화차식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI)와 비식생지수(ratio vegetation index, RVI), 개량식생지수(enhanced vegetation index, EVI)와 Oguro 등(2001)이 제안한 NDVI_SWIR, EVI_SWIR 등 여러 식생지수 등을 구하였다. 아래의 B, G, R, NIR 등은 각각 Landsat TM 1(청색광), 2(녹색광), 3(적색광), 4(근적외역)이며, SWIR(short wave infrared band)은 TM 5이다.

$$NDVI_B = \frac{NIR - B}{NIR + B} \quad NDVI_G = \frac{NIR - G}{NIR + G} \quad NDVI_R = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

$$RVI_B = \frac{NIR}{B} \quad RVI_G = \frac{NIR}{G} \quad RVI_R = \frac{NIR}{R}$$

$$NDVI_SWIR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

$$EVI = \frac{2.5 \times (NIR - R)}{NIR + 6.0 \times R - 7.5 \times B + 1}$$

$$EVI_SWIR = (NDVI_B + 1) \times NDVI_SWIR$$

논구역 마스크 기법을 이용한 정보 추출방법 개발

실제 논구역에서 생육정보를 추출하기 위해서는 관심지역을 분류하고 벡터화하여 정보를 추출하는 것이 가장 보편적인 방안이나 대규모 지역에 대해서는 적용하기가 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 raster 기반의 논구역 마스크로써 논구역 정보를 추출할 수 있는 방안을 마련하였다(그림 1).

새롭게 사용된 raster 기반의 논구역 마스크 방법은 광범위한 관심지역의 논구역 영상값(R, G, B, Nir)을 feature mapping으로 논구역을 분류하고, 이후 Render to Raster, Color Convert, Binary Conversion 등의 영상처리단계를 거쳐 논구역마스크를 제작하는 방법이다. 이 방법을 통해 그림 1-D)와 같이 NDVI_R 값을 나타내는 영상에서 논구역 마스크를 통해 논구역만의 NDVI_R 평균값을 구할 수가 있다.

수량조사

LANDSAT 영상으로 쌀수량을 모니터링할 수 있는지 검토하기 위하여 현대서산영농법인에서 직접 관리하는 서산간척지 B지구를 조사하였다. 2004년도 재배력을 살펴보면, 담수직파는 4월 26일부터 5월 8일까지 실시되었고 이양은

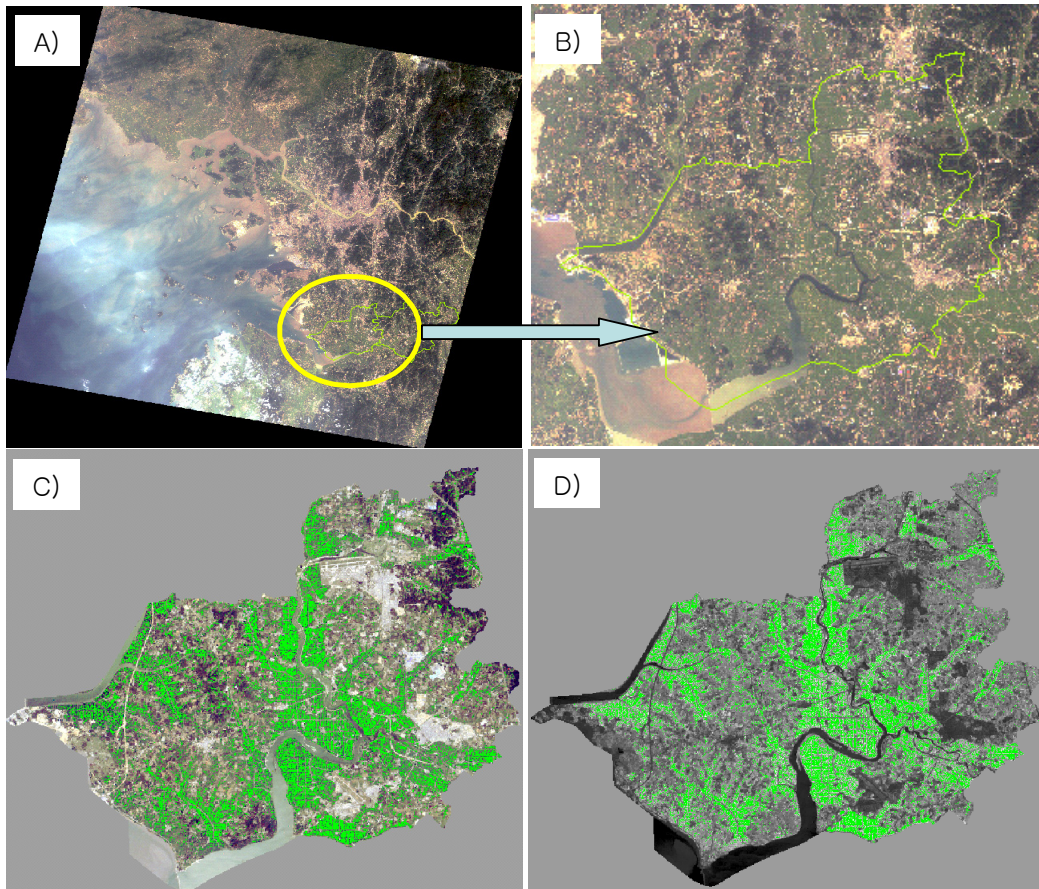


Fig. 1. Information extraction method of paddy field zone using raster masking. A) Clipping of target area, B) Identification of image value (R, G, B, Nir) C) feature mapping through render to mask, color convert, and binary conversion and D) extraction NDVI_R value by masking raster masking.

5월 15일부터 6월 초순까지 넓게 분포하고 있다. 재배품종은 남평벼와 일품벼, 일미벼, 동진1호, 동진찰벼 등으로 주로 중만생종이었다. 쌀수량 조사는 서산간척지의 단위필지(60 m × 300 m)를 대상으로 하지 않고 여러 개의 단위필지가 합쳐진 33개의 구역을 대상으로 실시하였는데, 초대형콤바인을 사용하여 구역별 수확량 자료를 구하였다. 33개의 구역의 전체 면적은 6,336,000 m²로써 최소면적 6,500 m²에서 358,000 m²에 이르기까지 매우 다양하였다.

결과 및 고찰

식생지수와 수량과의 관계

2004년도 7월 29일 영상을 서산간척지 벡터자료(33구역)를 이용하여 각각의 밴드별 파장대를 조합한 NDVI, RVI, EVI, NDVI_SWIR 및 EVI_SWIR 등 여러 식생지수를 구하였으며, 이들 상호간 및 이들과 수량과의 단순상관관계를

살펴보았다. NDVI 상호간 및 RVI 상호간, 그리고 NDVI와 RVI 상호간에는 $r > 0.95$ 이상의 고도로 유의한 상관관계를 나타내었다. EVI는 EVI_SWIR을 제외한 모든 식생지수와 부(-)의 상관관계를 보였으며, EVI_SWIR과 낮은 상관도를 제외하면 NDVI나 RVI와 고도로 유의한 부의 상관관계를 나타내었다. Oguro 등(2001)이 제안한 NDVI_SWIR은 EVI와는 부의 상관을 나머지 모든 식생지수와는 정의 상관을 나타내었는데, 청색역을 이용한 NDVI_B와 RVI_B와는 유의성이 없었고 나머지 식생지수와도 낮은 상관도를 나타내었다. EVI_SWIR은 모든 식생지수와 정의 상관을 나타내었는데, 특히 NDVI_SWIR과 매우 밀접한 관련이 있었다. 여기서 구해진 EVI값의 범위는 음수값의 범위(-1.17~0.49)였는데 이는 Oguro 등(2001)이 구한 값이 양의 값이었던 것과는 다소 상이한 결과였다.

식생지수와 수량과의 관계를 살펴보면, EVI를 제외한 모든 식생지수와 수량간에는 정의 상관관계를 보였는데 NDVI_

Table 1. Simple correlation among vegetation indices and milled rice yield.

	NDVI _B	NDVI _G	NDVI _R	RVI _B	RVI _G	RVI _R	EVI	NDVI_SWIR	EVI_SWIR
NDVI _G	0.981**	1							
NDVI _R	0.966**	0.984**	1						
RVI _B	0.998**	0.979**	0.961**	1					
RVI _G	0.978**	0.997**	0.978**	0.980**	1				
RVI _R	0.966**	0.984**	0.995**	0.967**	0.985**	1			
EVI	-0.989**	-0.959**	-0.930**	-0.995**	-0.963**	-0.940**	1		
NDVI_SWIR	0.247 ^{ns}	0.362*	0.404*	0.261 ^{ns}	0.377*	0.421*	-0.218 ^{ns}	1	
EVI_SWIR	0.384*	0.494**	0.534**	0.397*	0.508**	0.550**	0.352*	0.989**	1
Yield	0.622**	0.658**	0.678**	0.617**	0.649**	0.666**	-0.593**	0.249 ^{ns}	0.335 ^{ns}

SWIR이나 EVI_SWIR과는 유의성이 없었다. NDVI가 RVI보다 수량과의 상관도가 다소 높았으며, 적색역을 이용한 식생지수가 가장 상관도가 높았고 녹색역, 청색역 순이었다. 수량과 가장 밀접한 식생지수는 NDVI_R($r = 0.68$)이었다 (표 1).

NDVI_R-수량관계식

중해상도 광학영상인 LANDSAT 위성영상으로 벼 수량을 모니터링 할 수 있는지를 검토하기 위하여 2004년도 수잉기(2004년 7월 29일) LANDSAT 위성영상(Path 116, Row 34)에서 얻어진 NDVI_R값과 서산간척지 AB지구 33개 대규모 논구역의 수량과의 관계를 비교 검토한 것이 그림 2이다.

식생지수(NDVI, RVI)값과 벼 백미수량과는 1차 직선관계가 성립하였는데, 그중 NDVI_R와 벼 백미수량과는 결정계수(R^2)가 0.461로써 수량변이의 46%를 설명할 수 있었으며, 필지중에서 면적이 다소 적은 지역을 제외하여 살펴본 결과 추정도가 다소 높아졌다($R^2 = 0.66$). 이것은 광학영상인 LANDSAT 영상에서 얻어진 식생지수로써 벼의 생육이나 수량을 모니터링 하는 데에는 많은 어려움이 있는데, 우선 LANDSAT 위성영상 1개의 pixel이 30 m × 30 m라서 조사지 면적이 작아 적은 화소수를 가질 경우 추출하고자 하는 대상(논구역)의 주변에 도로나 수로, 농로, 건물 등이 포함될 수 있으며, 재배열시 이들의 반사특성이 포함되어 대상물의 반사특성을 정확하게 나타내기 어렵기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 Ishiguro 등(1993)이 NDVI_R와 수량간의 1차 직선관계에서 밝힌 상관계수 $r = 0.92$ 보다는 낮았지만, 7월 29일 NDVI_R값은 0.3~0.6의 범위를 나타내어, 이는 Oguro 등(2001)이 보고한 벼의 생육시기 NDVI_R 범위인 0.4~0.6과 비슷한 수치를 나타내고 있다. 따라서 7월 29일

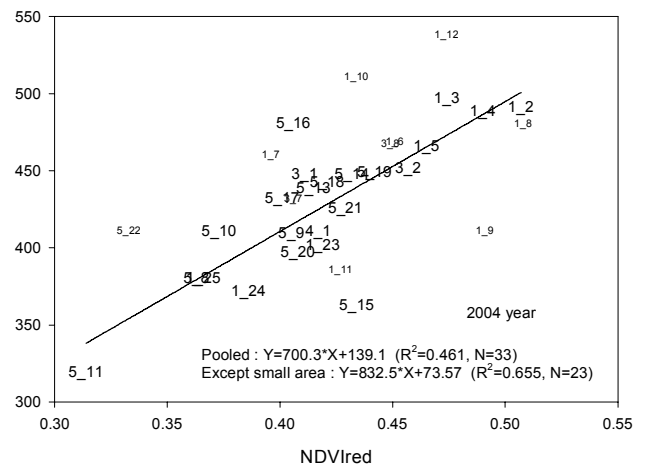


Fig. 2. Relationship between NDVI_R and milled rice yield. Small letters means data of small area in the figure.

이후의 영상자료, 즉 Ishiguro 등(1993)과 같이 벼 생육시기가 더욱 진전되었을 때의 영상자료를 이용할 경우 수량 추정도가 더 높아질 것으로 판단된다.

논구역 마스크 기법과 NDVI_R-수량관계식을 이용한 쌀수량 추정

인공위성 자료를 이용하여 논 재배면적과 수량 추정 가능성을 검토하기 위하여 수잉기(1994년 7월 26일) LANDSAT 영상(Path 116, Row 34)을 분석하였다.

우선 논구역 마스크 기법을 사용하여 경기도 7개 시군의 논구역에서 NDVI_R값을 추출하였다(그림 3). 이 방법은 쉽고 빠르게 논구역 마스크를 제작할 수 있으며, 이미 논구역으로 분류된 지역도 쉽게 논구역 마스크로 만들어 논구역의 정보를 추출할 수 있는 장점이 있다. 다만 Feature mapping으로 논구역을 분류한 추정정확도는 65~85%로 감독

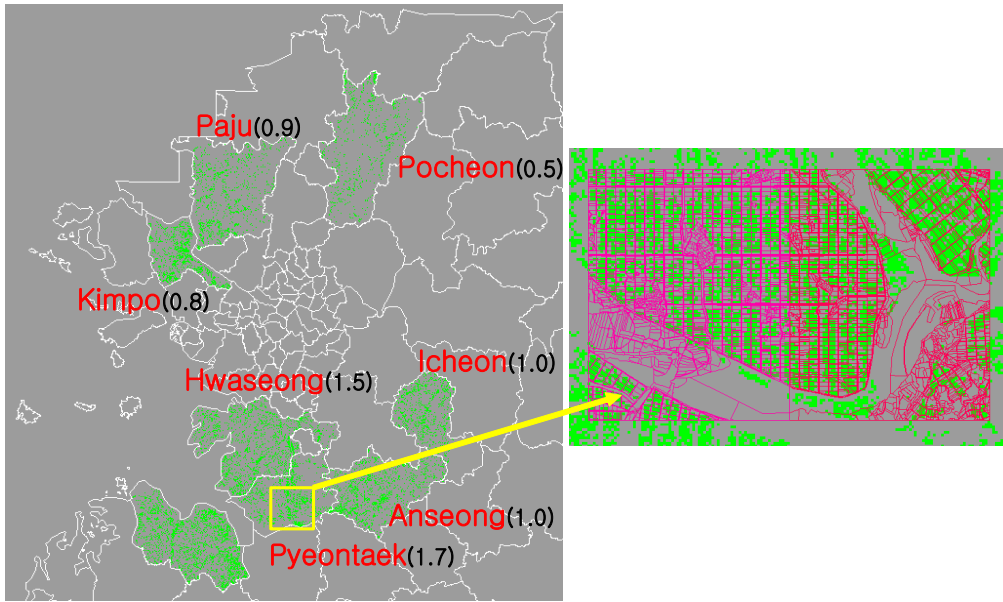


Fig. 3. Extracted NDVI_R in Kimpo, Pocheon, Hwaseong, Icheon, Anseong and Pyeontaek in Kyeong-gi province. The parenthesis means paddy rice area proportion in South Korea.

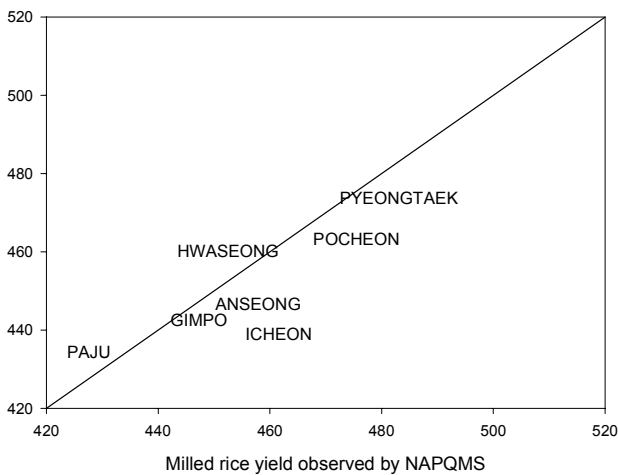


Fig. 4. Relationship between calculated by except small area equation (yield = 832.5×NDVI_R + 73.57, n = 23, R² = 0.655) in Fig. 2. and observed milled rice yield offered by NAPQMS in 1994.

및 무감독분류방법보다도 다소 낮았으며 변이가 심하였다. 따라서 이 방법이 유용하기 위해서는 우선 논구역 분류가 정확해야 할 것으로 판단한다.

2004년도 서산간척지에서 얻어진 NDVI_R-수량관계식(그림 2)을 논구역 마스크 기법을 통해 얻어진 식생지수에 적용하여 수량을 계산한 다음 국립농산물품질관리원(NAPQMS)의 수량자료와 비교한 것이 그림 4이다. 실제 쌀수량과 추정 쌀수량이 1:1 line에 근접하여 비교적 잘 일치 하였는데,

이는 논구역 마스크를 이용한 NDVI_R 추출과 다시 이 값을 기존의 NDVI_R-수량관계식에 적용한 수량예측이 가능하다는 것을 보여준 것이다.

어느 시기의 위성영상으로써 수량을 예측하기 위해서는 벼의 생태형, 재배양식, 이앙시기, 생육량, 질소농도 등의 변이를 포괄적으로 설명할 수 있어야 하는데, 본 연구에서 사용한 7월 29일 영상값으로는 이러한 문제를 해결할 수 없었다. 앞으로 대기보정 문제가 해결되고 여러 시기의 시계열 영상을 이용하거나 고해상도 영상을 활용할 경우 이러한 여러 문제가 해결될 것으로 기대되며 따라서 비교적 정확한 모니터링이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

광범위한 지역의 재배면적과 생산량을 신속하고 경제적으로 모니터링 할 수 있는 광학(LANDSAT) 중해상도 위성 영상을 활용하여 벼 재배면적, 생육 및 수량을 모니터링 할 수 있는지를 검토하였다.

1. 식생지수와 수량과의 관계를 살펴보면, EVI를 제외한 모든 식생지수와 수량간에는 정의 상관관계를 보였으며, NDVI_SWIR이나 EVI_SWIR과는 유의성이 없었다. NDVI가 RVI보다 수량과의 상관도가 다소 높았으며, 수량과 가장 밀접한 식생지수는 NDVI_R(r = 0.68)이었다

2. LANDSAT 단일시기 영상(2004년 7월 29일)을 활용하

여 서산간척지 지역내 벼 수량을 모니터링한 결과 $NDVI_R$ 와 백미수량간에는 1차 직선관계($R^2 = 0.46$)가 성립하였으며, 필지중에서 면적이 다소 적거나 주변에 반사특성에 영향하는 요인이 있는 지역을 제외하여 살펴본 결과 추정도가 다소 높아졌다($R^2 = 0.66$).

3. 논구역 벡터를 사용하여 논구역 정보를 추출하는 기존의 방법 대신 raster 기반의 논구역 masking을 제작하여 논구역 정보를 추출하였는데 이 방법을 통해 쉽고 빠르게 논구역 정보를 추출할 수 있었다.

4. 연차별 지역적용가능성을 검토하기 위해 1994년 7월 26일 경기도내 7개 시군의 논구역 masking을 제작하여 $NDVI_{red}$ 를 추출하고 $NDVI_R$ -수량관계식을 이용하여 수량을 추정한 결과 1:1 line에 근접하여 비교적 잘 일치되었다.

사 사

본 논문은 2005년도 농촌진흥청 작물과학원 박사후 연수과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Ishiguro, E., Y. Hidaka, M. Sato, M. Miyazato, J. Y. Chen, and Y. Ogawa. 1993. Estimation of the area and the yield of a rice paddy by LANDSAT-5/TM. Proceedings of the International Conference for Agricultural Machinery & Process Engineering (October 19-22, 1993 Seoul, Korea). pp. 383-392.
- Jensen, J. R. 2000. Remote sensing of the environment. Prentice Hall.
- McNairn, H., J. Ellis, J. J. van der Sanden, T. Hirose, and R. J. Brown. 2002. Providing crop information using RADARSAT-1 and satellite optical imagery. International Journal of Remote Sensing. 23(5) : 851-870.
- Oguro, Y., C. Imamoto, Y. Suga, and S. Takeuchi. 2001. Monitoring of rice field by LANDSAT-7 ETM+ and LANDSAT-5 TM data. 22nd Asian Conference on Remote Sensing (be held 5-9 November 2001 in Singapore). Asian Association on Remote Sensing.
- Oguro, Y., Y. Suga, S. Takeuchi, M. Ogawa, T. Konishi, and K. Tsuchiya. 2001. Comparison of SAR and optical sensor data for monitoring of rice plant around Hiroshima. Advanced Space Research. 28(1) : 195-200.
- Soria, R. J. and O. Y. Fernandez. 2002. Maize crop yield prediction through satellite images and mathematical models. 17th WCSS symposium (be held in 14~21 August 2002, Thailand). Poster # 1393.
- 김민호. 2004. 벼 유수분화기 질소영양 및 생육 상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 이규동. 1997. LANDSAT TM 자료상의 임상분류 정확도 향상에 관한 연구: 최대 우도법과 인공 신경망 기법의 비교를 중심으로. 서울대학교 석사학위논문
- 홍석영. 1999. 원격탐사 자료를 이용한 벼 생육정보 분석 및 재배면적 추정. 경북대학교 박사학위논문.
- 황보주원. 2004. 위성영상 분류기법 선정을 위한 의사결정 지원시스템. 서울대학교 석사학위논문.