

지상센서와 위성영상을 이용한 벼 군락의 엽 질소함량 추정

Estimating Leaf Nitrogen Content of Rice Canopies Using Ground Sensors and Satellite Imagery

홍석영^{1*}, 김이현¹, 최철웅², 이지민¹, 이재중³, 임상규¹, 곽한강¹
Suk-Young Hong^{1*}, Yi-Hyun Kim¹, Chul-Uong Choi², Jee-Min Lee¹,
Jae-Jung Lee³, Sang-Kyu Rim¹, Han-Kang Kwak¹

¹농업과학기술원 농업환경부 토양관리과, ²부경대학교, ³당진군 농업기술센터
¹NIAST, RDA, Suwon, ²Pukyong Nat'l Univ., Busan, ³Dangjin-gun Agr. Tech. Center
*연락처: +82-31-290-0280, syhong@rda.go.kr

요약

지상측정 및 위성영상탐재 광학센서를 이용하여 벼 주요 생육시기에 대한 군락의 엽 질소 함량을 추정하였다. 6월부터 10월에 걸쳐 주요 생육시기 5~6회에 걸쳐 OrbView 및 QuickBird와 같이 4m 이하의 고해상도 다중영상을 취득하였다. 위성영상 취득일에 가능한한 맞추어 인공광원을 사용하는 2종의 능동형 광학 (G)NDVI 센서를 이용한 벼 군락의 반사특성을 측정하였으며 동시에 식물체 샘플링을 통한 생육량, 엽면적지수, 엽 질소 함량 등을 분석하였다. 시기별 영상의 분광반사특성 및 (G)NDVI와 벼 생육량 및 엽 질소 함량과의 관계를 알아보기 위해 상관분석 및 회귀분석을 수행하였다. 지상센서 및 위성영상 유래 (G)NDVI의 값을 서로 비교해 보면 전체적으로 지상센서를 이용하여 측정한 (G)NDVI값이 위성영상 유래 (G)NDVI값보다 크게 나타났다. 하지만 두 센서 모두 엽면적지수 변화에 따른 (G)NDVI의 변화를 살펴보면 엽면적지수가 2 정도가 될 때까지는 함께 증가하다가 2보다 커지면서는 변화가 없이 머무르는 경향은 같게 나타났다. 엽면적지수의 변화는 군락의 엽 질소함량 변화와 선형적인 관계($R^2=0.80$)로 나타났다. 분얼기부터 성숙초기까지의 자료를 이용하여 지상센서 및 위성영상 유래 (G)NDVI를 이용한 벼 군락의 엽 질소 함량과의 관계를 살펴보니 지수함수적 관계($R^2=0.90$)로 나타났다. 위성영상 유래 (G)NDVI를 이용한 벼 군락의 엽 질소 함량 추정식을 이용하여 신평면 최고쌀 생산단지에 대한 엽 질소 함량 지도를 작성하였다.

서론

국내 쌀은 외국쌀에 비해 품질 경쟁력은 있으나 가격 경쟁력은 취약하므로 쌀 협상 이후 시장 개방폭 확대에 따른 우리나라 쌀산업의 충격은 불가피하다고 예상하고 있다. 국내 쌀 시장은 품질에 따른

차별화가 가속되고 수입쌀과 가격·품질 경쟁에서 앞서도록 고품질쌀 생산·유통 대책을 적극적으로 추진할 것으로 전망된다(농림부, 2005). 고품질 쌀 생산에 기여하는 요인으로는 완전미 비율, 질소비료 사용, 품종혼입, 건조 및 저장, 품질관리제도 등을 들 수 있고 이들 요인에 따라서

동일한 지역에서 비를 재배하여도 품질의 차이가 나타날 수 있다. 이 중 질소비료 시비량과 분시방법과 같이 비 생육 중 토양관리에 따라 조정될 수 있는 요인은 엽 질소 함량과 쌀 단백질 함량이다.

엽록소는 광합성에 필요한 빛을 흡수하는 색소로 그 함량이 식물체내 질소의 이용성에 따라 결정되므로 생육기간 동안 엽록소 함량은 질소 함량과 상관관계가 높고 비 군락의 엽록소와 엽 질소 함량은 분광반사특성을 이용하여 추정할 수 있다 (Hong et al., 1997, Scharf et al., 2002, Kim et al., 2005). 한편, 이삭의 쌀 단백질 함량은 질소 함량으로부터 선형식을 이용하여 산정할 수 있으므로, 원격탐사를 이용하여 넓은 지역에 대해 비 군락의 엽 질소 및 쌀 단백질 함량을 추정하려는 연구가 일본에서 수행되어 왔다. 여름동안 비가 많이 내리지 않는 북해도 지역에서 수확기 SPOT 영상의 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 3년 동안 쌀 단백질 함량과의 상관관계수(r)가 각각 0.86**, 0.90**, 0.89**로 나타났다(Asaka and Shiga, 2003). Ryu et al.(2004)은 항공기 탑재 하이퍼스펙트럴 센서 영상을 이용하여 비 군락의 엽 질소함량을 추정하는 회귀식 ($R^2=0.850^{***}$)을 작성하는 등 원격탐사 기술이 유용하게 사용되고 있다.

본 연구는 당진군 신평면 최고쌀 생산단지과 우강면 일원의 일반농가를 연구지역으로 하여 지상측정용 능동형 광학센서와 및 위성영상 탑재 광학센서를 이용하여 비 주요 생육시기에 대한 군락의 엽질소 함량을 추정하는 것을 목적으로 하였다.

연구 방법

충남 당진군 신평면 최고쌀 생산단지(일품벼)와 우강면 일원의 일반농가(동진벼)를 포함하는 해안평탄지를 대상으로 하

였다. 미사 식양질 토양으로 유효토심이 깊으며 low humic-gley soils인 전북동(Fluvaquentic Endoaquepts)이 넓게 분포하고 있다. 하해혼성층적층에 기인한 토양 분포로 광활, 만경, 춘포, 전북, 부용, 서탄으로 이어지는 토양의 연속성을 보인다.

비 군락의 엽 질소 함량 추정을 위하여 사용된 위성영상은 OrbView (칼라 4m)와 QuickBird (칼라 2.4m/흑백 0.6m) 영상으로 취득일은 표 1과 같다.

표 1. 위성영상 취득일과 공간해상도

자료취득일	위성영상	지상측정 및 생육조사	
		신평면	우강면
2005.06.17		(G)NDVI,G ¹	(G)NDVI,G
2005.06.24	OV ²	(G)NDVI,G	(G)NDVI,G
2005.07.19		NDVI,G	NDVI,G
2005.07.31	OV		
2005.08.18			(G)NDVI,G
2005.08.24		(G)NDVI,G	
2005.08.31	OV		
2005.09.05		(G)NDVI,G	(G)NDVI,G
2005.09.11	QB ³		
2005.09.23			GNDVI,G
2005.10.06	OV	NDVI,G	NDVI,G
2005.10.10		NDVI,G	
2005.10.12	QB		

¹G: 비 생육분석, ²OV: OrbView, ³QB: QuickBird

비 군락의 분광반사특성을 측정하기 위해 사용한 지상측정용 능동형(active) 광학센서는 미국 NTech사의 2종의 GreenSeeker를 사용하였다. 센서내에 탑재된 인공광원으로부터 파장별로 빛을 조사하고 조사된 빛에 대한 적색광(0.68 μ m)과 근적외광(0.80 μ m), 녹색광(0.55 μ m)과 근적외광(0.80 μ m)의 반사율을 조합하여 식생지수값이 각각 얻어지는 방식을 취하고 있다. 식생지수 측

정과 함께 신평면과 우강면 각각 15개 및 45개 필지 각 포장에서 벼를 3주씩 채취하여 초장, 생체중, 건물중을 측정하였다. 이때, 70°C에서 건조한 식물체를 분쇄하여 micro-kjeldahl법으로 엽 질소 함량을 분석하였다. 태양으로부터 들어오는 빛을 다양한 각도의 투과특성을 측정하여 엽면적 지수(LAI; leaf area index)를 계산하는 LI-2000 (LI-COR, Inc. USA)를 이용하여 간접 측정하였다.

시기별 지상센서 및 영상 유래 식생지수와 벼 생육량 및 엽 질소 함량과의 관계를 알아보기 위해 상관분석 및 회귀분석을 수행하였다. 이때, 지상측정 및 생육조사 일이 위성영상 취득일과 일치하지 않는 경우는 조사일과 가장 가까운 날 취득된 영상자료와 비교하였다.

한편, 추정식을 이용한 넓은 지역에 대한 벼 군락의 엽 질소 함량 지도 작성을 위하여, 영상판독을 통한 피복분류를 실시하여 데이터를 구축하는 온스크린디지타이징 방법으로 연구지역 전체를 농지 경계로 벡터라이징하고 현지조사하여, 연구지역에 대한 농경지 및 토지이용현황 분류를 통해 수치농경지 지도를 작성하였다.

결과 및 고찰

1. 지상측정 및 위성탐재 광학센서 식생지수와 LAI와의 관계

벼논의 모내기 후 결가지가 나오는 분얼기(6월 17일)부터 출수·개화기가 끝난 결실기 초기(9월 5일 또는 11일)까지 측정된 LAI와 지상측정 및 위성탐재 광학센서 식생지수와의 관계를 살펴보았다(Fig.1). Fig. 1의 신평면 최고쌀 생산단지(a)와 우강면 일반농가(b) 모두 LAI가 2가 될 때까지는 증가함에 따라 식생지수가 증가하지만 2보다 커지면서는 더 이상 증가하지 않았고, 이는 Oliso et al.(2003)의 보고와 일치하는 경향이였다. 지상측정 센서에서 측정된 식생지수 값이 위성영상 자료로부터 계산한 식생지수 값보다 범위와 값이 더 크게 나타났으나 시계열 패턴은 유사하게 나타났다. 이는 위성에 탑재된 센서가 대기의 입자나 수증기의 영향을 더 많이 받았기 때문일 것으로 생각된다.

2. LAI와 엽 질소 함량과의 관계

LAI는 대개 벼의 생육과 수량을 추정하는데 중요한 인자로, 분얼기에서 결실기

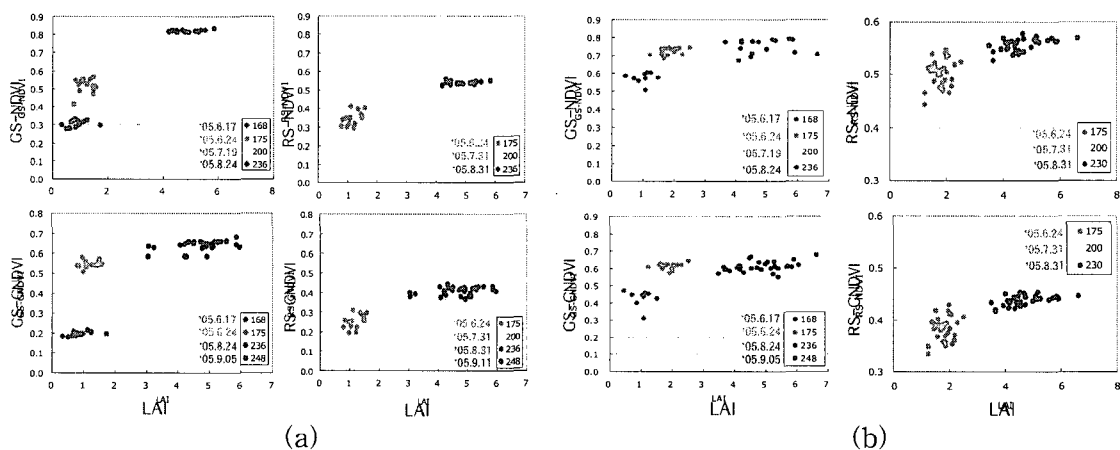


Fig. 1. Relationships between leaf area index and ground-sensed & remotely-sensed (G)NDVIs at Shinpyong(a) and Woogang(b) study sites

초기에 측정했던 벼 군락의 엽 질소 함량과 비교하였다(Fig. 2). LAI와 군락의 엽 질소 함량은 직선적인 관계($R^2=0.80$)로 나타났고 LAI가 1씩 증가할 때마다 엽 질소 함량이 약 5 g/m^2 씩 증가하는 것으로 나타났다. 대개 단위 생체중 또는 건물중에 포함된 질소의 함량은 생육이 증가할수록 감소하는 경향이였으나 단위면적당 엽면적이 커지는 속도가 더 빠르므로 면적단위로 계산된 엽 질소 함량도 증가하였으므로 LAI와 직선적인 관계를 보이는 것으로 생각된다.

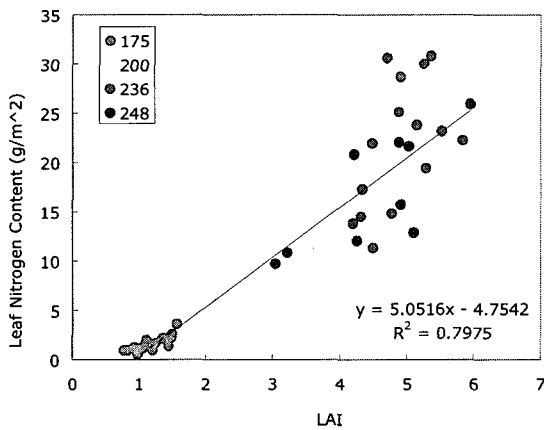
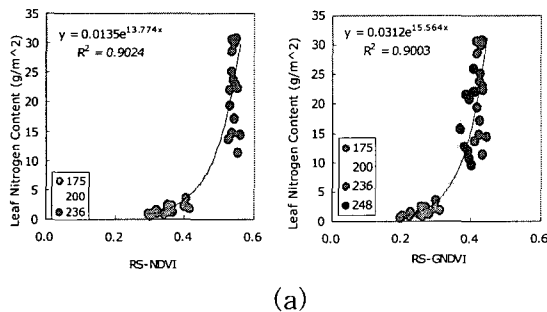


Fig.2. Leaf nitrogen content of rice canopies as a function of leaf area index

3. 위성탐재 광학센서 식생지수를 이용한 엽 질소 함량 추정



벼 군락의 엽 질소 함량은 쌀 단백질 함량과 상관성이 높고, 유수형성기와 개화·출수기의 생육과 엽 질소 함량이 수확기의 쌀 단백질 함량과 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Ryu et al., 2004).

넓은 지역을 대상으로 위성영상을 이용하여 엽 질소 함량을 추정하기 위하여, 위성탐재 광학센서 식생지수와 신평면 최고쌀 생산단지과 우강면 일반농가에서 조사한 벼 군락의 엽 질소 함량과의 관계를 조사하였다(Fig. 3). 신평면 일품벼와 우강면 동진벼에 대해서 위성영상에서 계산한 식생지수 값과 군락의 엽 질소 함량과의 관계를 조사한 결과 지수함수적인 관계를 갖는 것으로 나타났다. 엽 질소 함량은 en 품종에서 모두 $15\sim 20 \text{ g/m}^2$ 이상이면 LAI와 유사하게 (G)NDVI값이 더 이상 증가하지 않고 포화(saturation)되는 경향이 있었다.

한편, 영상판독을 통한 피복분류를 실시하여 데이터를 구축하는 온스크린디지털 타이징 방법으로 연구지역 전체를 농지 경계로 벡터라이징하고 현지조사하여, 연구지역에 대한 농경지 및 토지이용현황 분류를 통해 작성한 수치농경지 지도를 이용하여, 약 100ha 지역에 동일 품종, 일 품벼를 심었던 신평면 최고쌀 생산단지에 대해 지수함수식으로 얻어진 추정식을 이

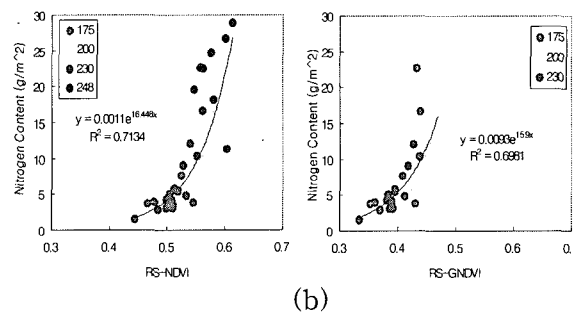


Fig. 3. Leaf nitrogen content of rice canopies as functions of ground-sensed & remotely-sensed (G)NDVIs at Shinpyong(a) and Woogang(b) sites

용하여 벼 군락의 엽 질소 함량 지도를 작성하였다(Fig. 4). 최고쌀 프로그램에 참여하고 있지 않거나 쌀을 경작하지 않은 곳이 0~5 또는 25~30 g/m²의 범주에 포함되는 오류가 발견되는 것을 제외하고는 필지간 또는 필지내의 공간변이를 잘 나타내고 있다.

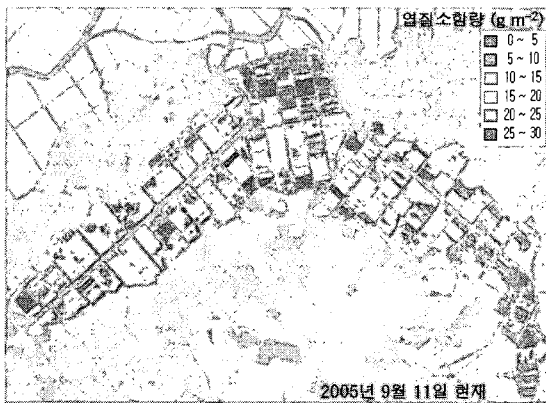


Fig.4. Leaf nitrogen content map of rice canopies estimated from the QuickBird image obtained on September 11, 2005

결론

당진군 신평면 최고쌀 생산단지(일품벼)와 우강면 일원의 일반농가(동진벼)를 연구지역으로 하여, 벼 주요 생육시기 동안 지상측정 및 위성탐재 광학센서를 이용하여 벼 군락의 생육과 엽 질소 함량과의 관계를 조사하였다.

분얼기에서 결실기 초기의 측정자료를 이용한 LAI와 지상측정 및 위성탐재 광학센서 식생지수와 관계를 살펴 본 바, LAI가 2보다 커지면 식생지수가 더 이상 증가하지 않았고, LAI와 엽 질소 함량은 선형적인 함수관계로 나타났다. 위성탐재 광학센서 식생지수와 엽 질소 함량은 지수함수적인 관계로 나타났고 이 추정식을 이용하여 신평면 최고쌀 생산단지의 엽 질소 함량 지도를 작성하였다. 넓은

지역을 대상으로 한 군락의 엽 질소 함량을 추정하기 위하여 위성 영상은 매우 유용한 것으로 나타났고, 엽 질소 함량을 이용하여 수확기의 수량과 쌀 단백질 함량을 예측하는 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

김이현, 홍석영, 이지민, 임상규, 곽한강, 2005. 광학센서를 이용한 쌀 단백질 함량 추정. 2006 대한원격탐사학회 춘계학술대회, 3.31, 대전 (submitted)

농림부, 2005. 고품질 쌀 생산·유통 대책, pp. 1~4.

Asaka, D. and H. Shiga, 2003. Estimating rice grain protein contents with SPOT/HRV data acquired at maturing stage, J. of The Remote Sensing Society of Japan, 23(5): 451-457.

Hong, S.Y., S.K. Rim, and J.T. Lee, 1997. An estimation of chlorophyll amount using a spectroradiometer in rice canopies. Korean J. of Remote Sensing, 13(3):223~230.

Oliso, A. I. Yoshio, S. Ortega-Farias, J. Dematry, J.-P. Wigneron, I. Braud, F. Jacob, P. Lecharpentier, C. Ottele, J.-C. Calvet, N. Brisson, 2003. Assimilation of remote sensing data into crop simulation models and SVAT models, Proc. 54th IEC Meeting of International Commission on Irrigation and Drainage(ICID) Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions, Sept. 17, 2003, Montpellier, France

Ryu, C.S., M. Suguri, and M. Umeda, 2004. Estimation of biophysical parameters using hyperspectral remote sensing. In *Proceedings of Automation Technology for Off-road Equipment 2004*, Ed. Q. Zhang, ASAE Press, Japan, pp. 113-122.

Scharf, P. C., J. P. Schmidt., N. P. Kitchen., K. A. Sudduth., S. Y. Hong., J. A. Lory, and J. G. Davis, 2002. Remote sensing for nitrogen management, Journal of Soil and Water Conservation, 57(6): 518-524.