

광학센서를 이용한 쌀 단백질 함량 추정

김이현*, 홍석영, 이지민, 임상규, 곽한강
농업과학기술원 농업환경부 토양관리과

Estimation of the grain protein contents in rice canopy from the active optical sensors

Yi-Hyun Kim*, Suk-Young Hong, Jee-Min Lee, Sang-Kyu Rim, and Han-Kang Kwak

*연락처 : Phone: +82312900281 E-mail: yhkim75@rda.go.kr

요약

본 연구에서는 광학센서를 이용한 벼 군락의 질소수준별·생육단계별 식생지수와 쌀 단백질함량과의 관계를 구명하여 쌀 단백질함량을 추정하는 것을 목적으로 하였다. 질소의 경우 0, 7, 10, 13Kg/10a 등 4수준으로 범위를 두고 처리하여 인공광원을 사용하는 2종의 능동형 광학(G)NDVI 센서를 이용하여 벼 군락의 반사특성을 측정하였고, 동시에 식물체의 생육량, 엽면적지수, 엽 질소함량 등을 분석하였다. 생육단계에 따른 식생지수 변화를 분석해 본 결과 (G)NDVI값은 이앙기 이후 급속히 증가하다가 수잉기 전후로 수확기에 이르기까지 감소하는 경향을 보였다. 질소 수준에 따른 식생지수 변화의 경우 무처리구를 제외하고는 처리수준별 G(NDVI)값이 큰 변이가 나타나지는 않았지만, 처리 수준에 따라 일정하게 식생지수 차이를 보였다. (G)NDVI값 과 엽질소 함량과의 시기별 상관분석 결과 유효분얼기, 유수형성기 보다는 출수기, 결실기에 엽 질소 함량과의 상관성이 더 높게 나타났고, GNDVI값이 NDVI값보다 상관성이 더 높게 나타났다. 출수 후 쌀 단백질 함량과 엽 질소 함량과의 관계를 조사해보았는데 높은 정의 상관관계($r=0.96^{**}$)를 보였다. 출수기에서 수확기까지 자료를 이용한 각 시기별 G(NDVI)값과 쌀 단백질 함량과의 상관분석 결과 수확기에 가까울수록 상관계수가 높게 나타났다. GNDVI값을 이용한 수확기 쌀 단백질 함량 추정식($R^2=0.92$)을 작성하였고, 쌀 단백질 함량 추정값과 실측값을 비교해보았더니 1:1선에 근접하게 분포하였다($R^2=0.90$).

서론

우리나라 쌀 산업은 시장개방 폭이 확대되면서 외국쌀과 경쟁이 불가피하게 되었고, 소비자는 이전에 생산된 미질보다 더욱 품질이 우수하고 안정성이 높은 품질을 요구하고, 농업인들은 높은 수량성을 갖춘 최고 품질 품종을 요구하고 있는 실정이다. 식미에 영향을 미치는 요인들로는 품종, 시비, 수확시기, 기상조건, 토양조건 등이 있는데 질소의 경우 시용량이 많으면 쌀의 단백질 함량을 높여 완전미율과 투명도가 떨어

어지며 밥의 점성이나 조직감을 나쁘게 하고, 쌀 전분 세포막 물질을 만들어 밥의 부드러움을 해쳐 미질을 저하시킨다. 직접 접촉 없이 작물의 생육 정보를 분석·평가하는데 원격탐사기술이 이용되고 있고, 최근에는 원격탐사기술을 이용하여 엽 질소 및 쌀 단백질 함량을 추정하는 연구들이 진행되어지고 있다(Scharf *et al.*, 2002; Asaka *et al.*, 2002; 홍석영 *et al.*, 2005).

본 연구에서는 인공광원을 사용하는 2종의 능동형 광학 센서(GNDVI, NDVI)를 이용하여 질소수준별·생육단계별 식생지수와 엽질소 및 쌀 단백질 함량과의 관계를 구명

하여 쌀 단백질 함량을 추정 하였다.

연구 방법

시험은 농업과학기술원 답작 포장에서 수행하였고, 시험전 토양검정에 의한 시비 추천을 위해 토양 이 화학성 분석을 하였다 (Table 1). 표 1에 의거 시비량 산출식을 작성하여 시비처리를 하였는데 질소는 검정 시비량 수준 내에서 0, 7, 10, 13Kg/10a 등 4수준으로 처리하였고, 인산, 칼륨은 검정시비량에 따라 처리하였다. 토양 이 화학성은 토양화학분석법(NIAST, 1998)에 준하여 분석하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 측정하였으며, 유기물 함량은 Tyurin법, C.E.C(Cation Exchange Capacity)는 pH 7.0 1N CH₃COONH₄로 추출한 후 kjeldahl 증류장치를 사용하여 분석하였다.

Table 1. Soil chemical properties of the experimental plot for fertilizer recommendation.

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Av.SiO ₂ (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
6.0	18	31	135	16.5

공시품종으로 추청벼를 사용하였고, 시험구당 면적은 48m²(4m x 12m), 재식밀도는 30x15cm, 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하였다. 식물체 생육분석은 생육이 고른 3주를 각 시험구에서 선택하여 생체중, 초장, 경수를 측정하고 다음 70℃에 건조하여 건물중을 측정하고 분쇄하여 엽 질소 함량분석시료로 사용하였다. 엽 질소, 쌀 단백질함량 분석은 micro-kjeldahl법을 사용하였고, 엽면적 지수는 LAI 2000 (LI-COR, Inc, USA)을 이용해 측정하였다. 벼 군락의 반사특성 측정은 인공광원을 사용하는 2종의 능동형 광학 GNDVI, NDVI센서(NTech, Inc, USA)를 이용하였는데 센서별 측정 파장영역은 다음과 같다.

$$NDVI = (NIR_{800nm} - RED_{680nm}) / (NIR_{800nm} + RED_{680nm})$$

$$GNDVI = (NIR_{800nm} - GR_{550nm}) / (NIR_{800nm} + GR_{550nm})$$

결과 및 고찰

1) 질소수준별 생육단계에 따른 식생지수 변화

벼 이앙 이후 GNDVI, NDVI값 모두 증가하다가 수잉기 전후(8월 초순)를 정점으로 감소하는 추세를 보였다(Fig. 1). 8월 초순의 경우 NDVI값이 GNDVI값 보다 높았지만, 9월 중순이후 NDVI값의 감소 폭이 크게 나타나 수확기에는 GNDVI값이 NDVI값보다 높았다. 질소 수준에 따른 식생지수 변화의 경우 무처리를 제외하고는 처리수준별 G(NDVI)값이 큰 변이는 나타나지 않았지만 처리수준에 따라 일정하게 식생지수 차이를 보였다.

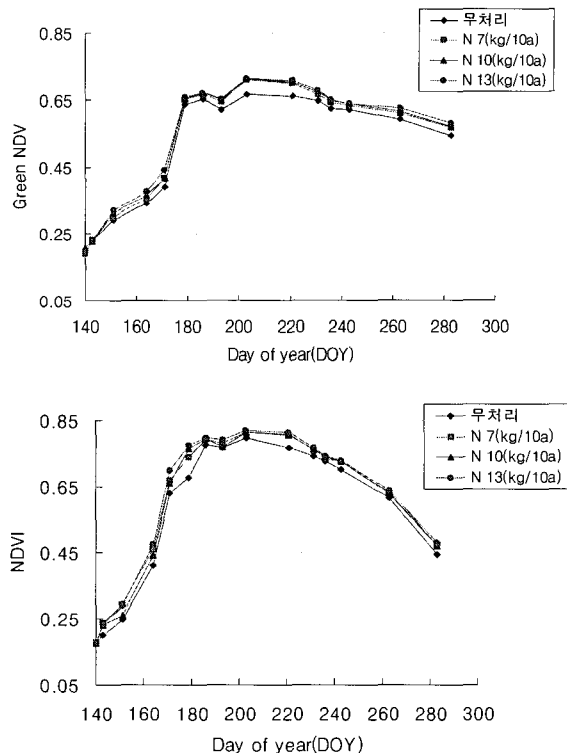


Fig. 1. Temporal changes of G(NDVI) values during the growth season with 0Kg/10a~13Kg/10a of nitrogen fertilizer.

2) 식생지수를 이용한 엽 질소함량 추정

생육시기별 G(NDVI)값과 단위면적당 엽 질소함량과의 관계를 알아보았으며 그 결과는 Table 2. 와 같다. 벼 출수전과 출수후로 구분하여 G(NDVI)값과 엽 질소함량과의 관계를 분석해본 결과 GNDVI값은 출수전($r=0.78^{***}$, $n=60$) 보다 출수후($r=0.89^{***}$, $n=59$)가 상관관계가 높았고, NDVI값은 출수전($r=0.73^{***}$, $n=60$)과 출수후($r=0.74^{***}$, $n=59$)의 상관계수가 비슷하였다. G(NDVI)값은 유효분얼기, 유수형성기 때보다 출수기, 결실기 때가 엽 질소함량과의 상관계수가 높게 나타났고, 179일(6월28일)을 제외하고는 GNDVI값이 NDVI값보다 엽 질소함량과의 상관이 높게 나타났고, 수확기의 경우 두 센서간의 상관계수 차이가 크게 나타났다. Fig. 2는 출수후 엽 질소함량 실측값과 추정값의 1:1선상의 분포를 보여주고 있다. 엽 질소함량 실측값과 추정값의 관계에서 기울기는 1.39, 결정계수는 0.85였다.

Table 2. The correlation coefficients G(NDVI) and leaf nitrogen content rice. (n=12)

DOY(Day Of Year)	GNDVI	NDVI
179	0.70*	0.86***
193	0.91***	0.71*
203	0.89***	0.82**
221	0.88***	0.85**
231	0.92***	0.91***
236	0.92***	0.88***
243	0.95***	0.85**
263	0.96***	0.93***
283	0.93***	0.81**

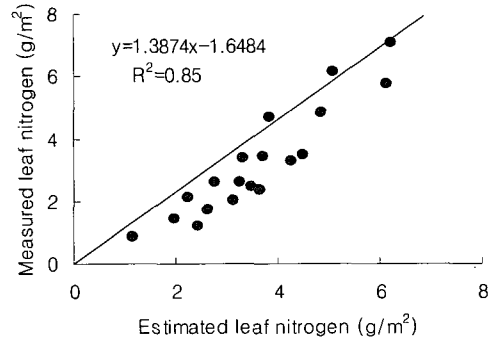


Fig. 2. Relationship between measured and estimated leaf nitrogen with GNDVI after heading stage.

3) 엽 질소함량과 쌀 단백질함량과의 관계

벼 출수 후 엽 질소 함량과 그 시기에 쌀 단백질함량과의 관계를 분석하였다(Fig. 3). 벼 군락의 엽 질소함량과 쌀 단백질함량은 높은 정의 상관관계($R^2=0.92$)가 나타났다.

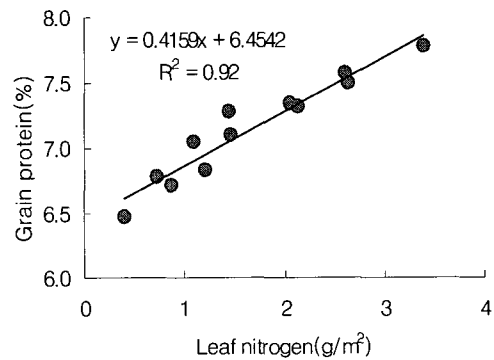


Fig. 3. Relationship between leaf nitrogen and rice protein after heading stage.

4) 식생지수를 이용한 쌀 단백질함량 추정

출수기에서 수확기까지 자료를 이용하여 각 시기별 G(NDVI)값과 쌀 단백질함량과의 관계를 분석하였다(Table 3). 벼 수확기에 가까워 올수록 G(NDVI)값과 쌀 단백질 함량과의 상관관계가 높게 나타났고 GNDVI값이 NDVI값보다 상관계수가 높았다. 벼 수확기(10월 11일)의 경우 GNDVI와 벼 군락 엽 질소함량의 상관계수가 0.94, NDVI와 벼 군락 엽 질소함량의 상

관계수는 0.85였다.

Table 3. Correlation between G(NDVI) and grain protein after heading stage. (n=12)

DOY	GNDVI	NDVI
243	r=0.90***	r=0.77*
263	r=0.94***	r=0.84***
283	r=0.94***	r=0.84***

GNDVI값을 이용하여 수확기 쌀 단백질 함량과의 추정식을 구하고 수확기 쌀 단백질 함량 실측값과 추정값을 비교하였다 (Fig. 4). 수확기 쌀 단백질함량 추정값과 실측값을 비교해 본 결과 1:1선에 근접하게 분포하였다($R^2=0.90$).

Fig. 5는 NDVI값을 이용하여 수확기 쌀 단백질함량 실측값과 추정값을 비교해본 결과이다. GNDVI값보다 추정값과 실측값의 관계에서 결정계수가 낮았다($R^2=0.72$).

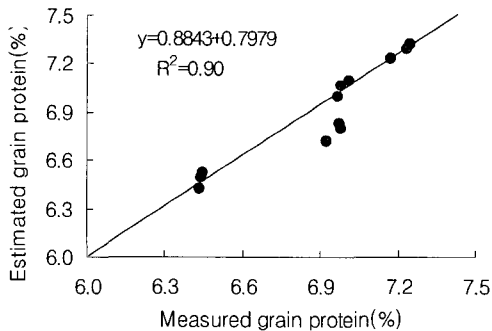


Fig. 4. Relationship between measured and estimated grain protein with GNDVI after heading stage.

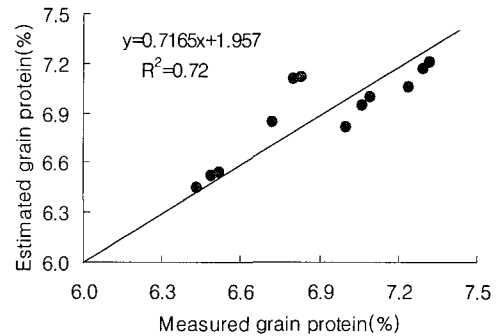


Fig. 5. Relationship between measured and estimated grain protein with NDVI after heading stage.

GNDVI는 벼 출수 후 엽 질소함량, 쌀 단백질함량과의 관계에서 높은 상관관계가 나타났고, GNDVI값을 이용하여 추정값과 실측값을 비교하였을때 1:1선에서 근접하게 분포한다는 결과를 얻었다. 따라서 GNDVI가 수확기 쌀 단백질함량 추정에 효과적으로 이용할 수 있는 한 방법으로 판단된다.

결론

벼 생육단계별·질소 수준별 G(NDVI) 값의 변화를 알아보고, G(NDVI) 값과 쌀 단백질함량과의 관계를 통해서 센서를 이용하여 쌀 단백질함량을 추정하였다. G(NDVI) 값은 벼 이앙이후 증가하다가 수잉기 전후로 감소하는 경향을 보였고, GNDVI값과 엽 질소함량과의 관계는 출수후가 출수전보다 상관계수가 높게 나타났다. 출수기 이후 엽 질소함량과 쌀 단백질함량과의 높은 정의 상관관계가 나타났고, 출수 후 G(NDVI) 값과 쌀 단백질함량과의 관계를 분석한 결과 수확기로 갈수록 상관관계가 높았다. 이런 결과를 바탕으로 수확기 G(NDVI) 값을 이용하여 쌀 단백질함량 추정식을 구하고, 단백질 함량 실측값과 추정값을 비교해본결과 GNDVI값이 NDVI값보다 쌀 단백질함량을 추정하기가 더 적합하였다. 하지만 쌀단백질 함량을 추정하기위해서는 능동형 광학 G(NDVI) 센서와 엽

질소함량관계 뿐만 아니라 다른 생육인자 (엽면적, 초장, 경수)와의 관계를 분석하고, 시료수를 늘려 추정식의 정확성을 높여야 할 것으로 생각되었다.

참고문헌

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

National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. NIAST, Suwon, Korea.

홍석영, 김이현, 최철웅, 이지민, 이재중, 임상규, 곽한강. 2005. 지상센서와 위성영상을 이용한 벼 군락의 엽 질소함량 추정. 2006 대한원격탐사학회 춘계학술대회, 3. 31, 대전, (submitted).

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.