

GNDVI를 이용한 벼 군락 엽 질소함량 추정

김이현*, 홍석영, 김명숙, 곽한강
농업과학기술원 농업환경부 토양관리과

Using GNDVI to estimate leaf nitrogen contents in rice canopy

Yi-Hyun Kim*, Suk-Young Hong, Myung-Sook Kim and Han-Kang Kwak

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

요 약

본 연구는 벼 군락의 분광반사율 지표를 측정할 수 있는 인공광원을 사용하는 능동형 광학 센서인 GNDVI를 활용하여 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 구명하여 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하고자 하였다. 농업과학기술원 답작 포장에서 공시품종인 추청벼를 이용하여 난괴법 3반복으로 시험구 배치를 하고 질소 4수준 3반복으로 실험을 수행하였다. 벼 생육시기별 GNDVI와 엽 질소함량과의 관계를 2년간 (2005, 2006)의 자료를 통하여 분석해 보았다. 2005년의 경우 벼 생육시기동안 9시기의 GNDVI값과 그 당시 시료를 샘플링하여 분석한 엽 질소함량과의 관계를 벼 출수전과 출수후로 구분하여 분석해 본 결과 GNDVI값은 출수전 ($r=0.78^{***}$, $n=60$) 보다 출수후 ($r=0.89^{***}$, $n=59$) 가 엽 질소함량과의 상관계수가 높았다. 2006년은 20시기동안 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 상관 분석한 결과 착근기 (6월 5일) 0.84^{***} , 유수분화기 (7월 11일) 0.95^{***} , 출수기 (8월 16일) 0.87^{***} , 수확기 (10월 13일) 0.90^{***} 으로 출수전의 경우 7월 11일이 상관계수가 가장 높았고, 이 결과는 2005년 동일시기 (7월 11일) 식생지수와 벼 엽 질소함량과의 상관계수가 가장 높았던 ($r=0.91^{***}$) 것과 일치하였다. 벼 생육시기 변화에 따른 식생지수와 엽 질소 함수량과의 관계를 살펴보았는데 벼 출수전의 경우 GNDVI는 7월 11일에 엽 질소 함수량과의 상관계수 ($r=0.93^{***}$)가 가장 높은 결과를 보였고 출수후의 경우에는 시기에 따라 상관계수가 고르게 높게 나타났다. 엽 질소함량과의 상관관계가 높았던 2005년, 2006년 7월 11일 식생지수 데이터를 함께 이용하여 엽 질소함량과의 관계를 추정식으로 작성하였다. GNDVI를 이용하여 2005년과 2006년 실측한 엽 질소함량 값과 추정 값을 비교해 본 결과 2005년과 2006년의 결정계수가 각각 0.88, 0.94로 2006년이 더 예측률이 높게 나타났다. GNDVI값을 이용하여 엽 질소함량 추정값과 실측값을 비교해 본 결과 결정계수가 0.86으로 추정값과 실측값이 근접하게 분포하였다.

서 론

질소는 작물생육의 필수요소이며, 작물의 생육과 수량을 결정하는 중요한 요소로써

주어진 시기의 질소 영양상태는 다음 발육단계의 생장량을 결정짓는데, 일반적으로 체내 질소 농도가 높을 경우 건물생산은 일반적으로 증가한다 (Agren, 1985). 따라서 질소 영양상태를 정확하게 진단과 약할 수 있다면 다음 발육단계의 생육량을 예측할 수 있는 이점이 있기 때문에 질소 시비의 효율성을 높일 수 있고, 작물 상태의 정확한 진단은 시비처방에 중요하다 (Mae, 1986).

최근에는 비 접촉 및 비 파괴적이고 신속하며, 원하는 시기에 측정할 수 있는 원격탐사 센서를 많이 활용하고 있는데 원격탐사 센서에서 얻어진 자료로부터 작물의 생 물리학적 특성을 나타내는 다양한 인자들을 밝혀내기 위해 군락의 파장별 반사율 평균치를 조합한 식생지수 (Vegetation Indices)를 많이 이용하고 있다. 식생지수는 단위가 없는 복사값으로 녹색 식물의 상대적 분포량과 활동성, 엽 면적 지수, 엽록소함량, 등과 관련된 지표로 사용된다. 지금은 20여종의 식생지수가 개발되어 사용되어지고 있는데 그 중에서 적색과 근적외선의 비를 이용한 정규화 식생지수인 NDVI가 널리 이용되어지고 있다 (Richardson et al; 1992). 군락반사측정 기술을 이용하여 군락반사율로서 작물의 생육, 생체중, 식물체 피복도, 엽 질소함량과의 관계를 알아보고, 예측하는 시도가 꾸준히 이루어져왔다 (Aparicio et al, 2000; Anna et al., 2001, 홍석영 et al., 2005).

우리나라의 경우 일본 미놀타에서 개발한 엽록소 측정 장치인 SPAD-502를 이용하여 엽록소 함량이나 질소 함량을 예측하는 시험 연구가 많이 이루어지고 있는데, 엽의 두께나 측정 부위에 따라 엽록소 함량이나 엽 질소함량이 차이를 보여 SPAD값을 이용하여 엽 질소함량을 예측하기는 한계가 있는 것으로 생각 된다

(Piekielek et al., 1995). 따라서 센서와 엽 질소함량과의 관계에서 변이차이를 줄이기 위해서 벼 군락에 대하여 광 흡수가 높은 가시광선 영역과 광 반사 및 투과가 높은 근적외선 영역의 특성을 이용하여 엽 질소함량과의 관계를 비교 및 분석하는 것이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 벼 군락의 분광반사율 지표를 측정할 수 있는 인공광원을 사용하는 2종의 능동형 광학 센서 GNDVI, NDVI를 이용하여 질소처리 수준에 따른 벼 식생지수 변화를 알아보고, 시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 구명하여 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하고자 하였다.

연구 방법

벼 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 관계를 구명하기 위해 농업과학기술원 답작 포장에 실험을 수행하였으며 공시토양은 화동통, 식양질이며, 공시품종으로 추청벼를 사용하였다. 질소수준별 시험구 면적은 48 m², 재식밀도는 30 x 15 cm 이었고, 난괴법 3반복으로 시험구 배치를 하였고, 시비처리는 질소의 경우 요소비료로 0, 7, 10, 13 kg/10a 등 4수준 3반복 처리 하였고, 인산은 용과린, 칼륨은 염화칼륨으로 사용하여 토양검정 시비량에 따라 처리하였다. 식물체 분석은 시험구당 생육이 고른 벼 3주를 선택하여 생체중, 초장, 경수를 측정한 다음 70℃에서 건조하여 건물중을 측정한 후 분쇄하여 분석시료로 사용 하였다. 벼 잎을 HClO₄+H₂SO₄로 분해하여 Micro-Kjeldahl 법으로 증류하여 엽 질소 분석을 하였다 (NIAST, 2000). 엽 면적지수는 LI-2000 (LI-COR, Inc, USA)을 이용해 측정하였다. 벼 군락의 분광반사 특성을 측정하기 위

하여 능동형 광학센서인 Greenseeker (NTech Inc., USA) GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) 와 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)을 이용하였다. 광학센서는 센서 내에 탑재된 인공광 으로부터 파장별로 빛을 조사하고 조사된 빛에 대한 적색광/근적외광 또는 녹색광/근적외광 의 반사율을 조합하여 식생지수 값을 각각 얻었고, 센서와 작물과의 최적거리는 약 80 cm, 파장 검출 유효넓이는 약 60 cm이며, 센서별 파장 영역은 다음과 같다.

$$NDVI = \frac{NIR_{800nm} - RED_{680nm}}{NIR_{800nm} + RED_{680nm}}$$

$$GNDVI = \frac{NIR_{800nm} - GR_{550nm}}{NIR_{800nm} + GR_{550nm}}$$

결과 및 고찰

1. 생육단계·질소수준에 따른 식생지수 변화

2005년, 2006년 2년 동안 벼 생육시기에 따른 광학센서의 반사율 지표인 식생지수 변화를 알아본 결과 벼 이앙 이후 GNDVI, NDVI값 모두 증가하다가 수잉기 전후 (8월 초순)를 정점으로 감소하는 추세를 보였다 (Fig. 1). 식생지수가 감소하기 시작하는 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.

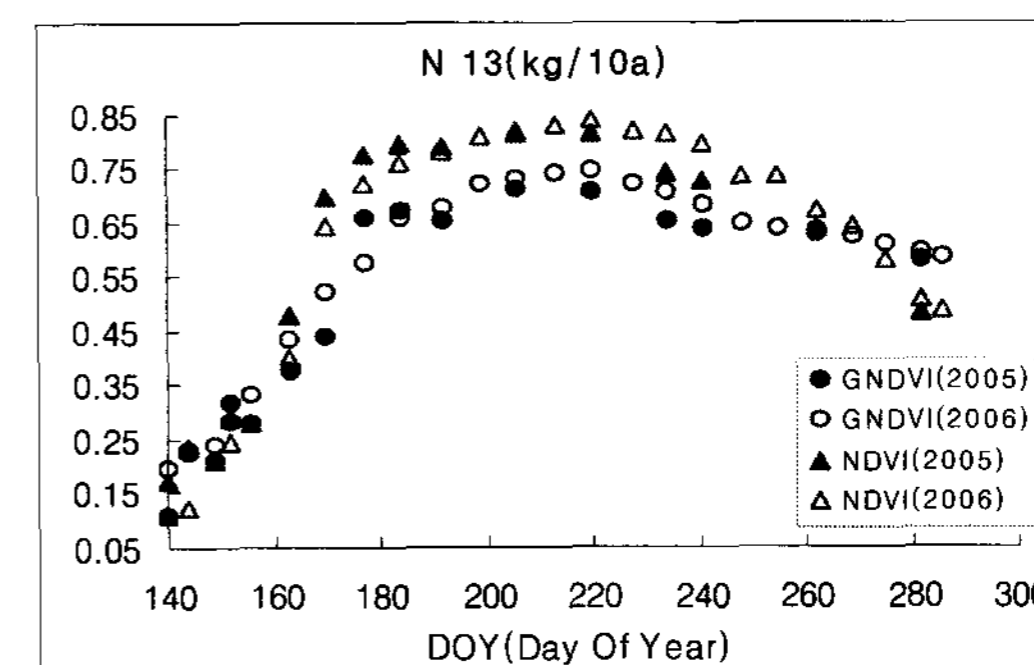
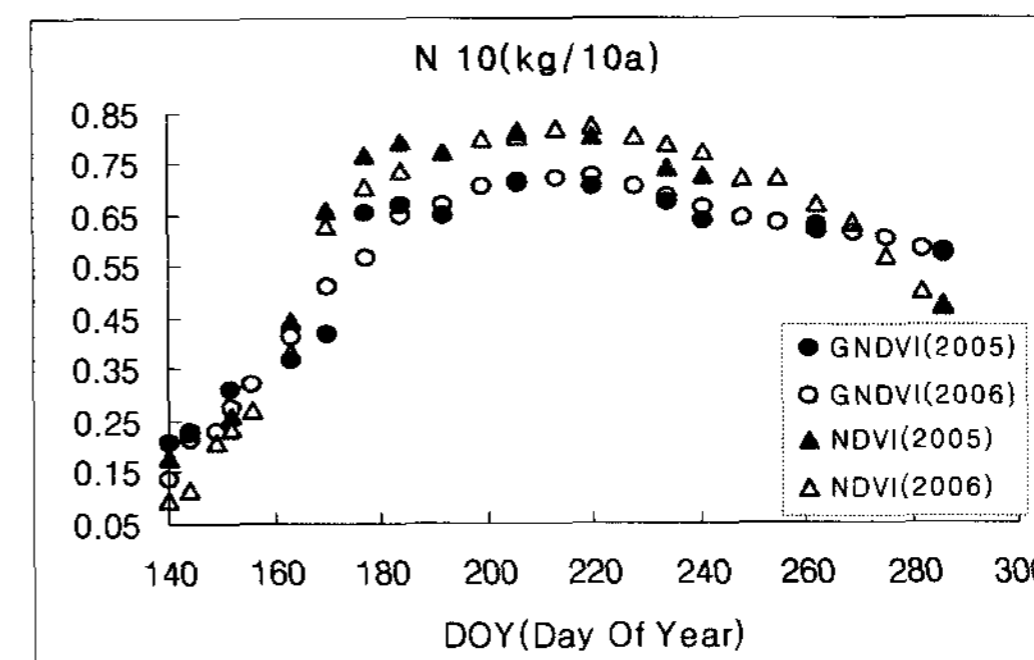
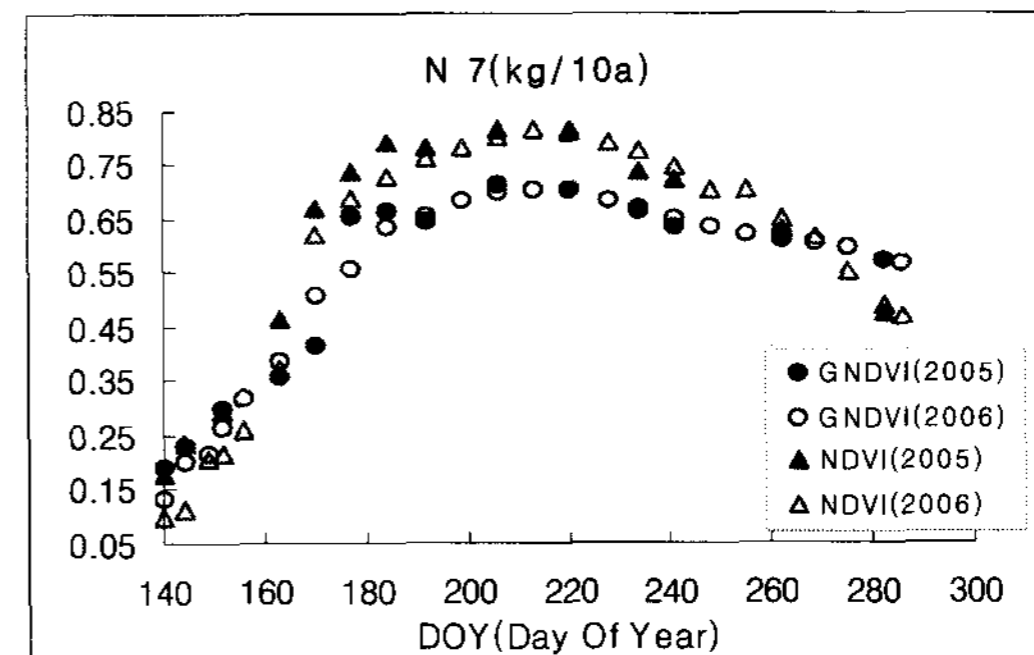
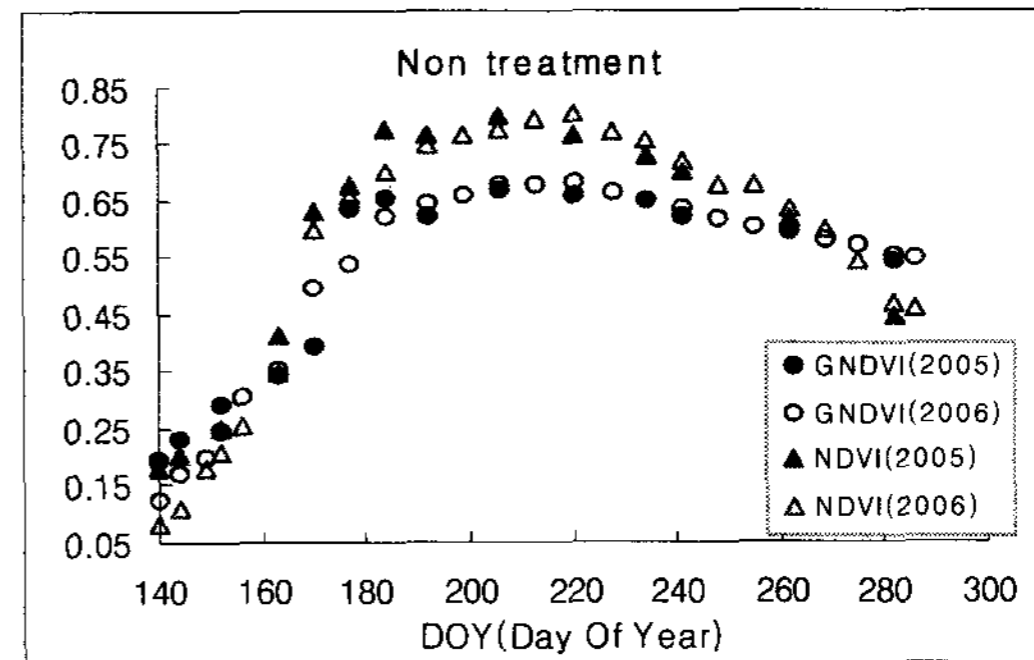


Fig. 1. Changes in GNDVI and NDVI values of canopy during the growing season under different Nitrogen levels (2005, 2006).

2. 식생지수와 엽 질소함량과의 관계

벼 생육시기별 G(NDVI)값과 단위면적당 엽 질소함량과의 관계를 분석하였다. 2006년은 20시기동안 생육시기별 식생지수와 엽 질소함량과의 상관분석 결과 GNDVI값과의 상관성이 NDVI값과의 상관보다 더 높게 나타났다 (Fig. 1). GNDVI와 엽 질소함량과의 시기별 상관계수를 살펴보면 착근기 (6월 5일) 0.84^{***}, 유수분화기 (7월 11일) 0.95^{***}, 출수기 (8월 16일) 0.87^{***}, 수확기 (10월 13일) 0.90^{***} 으로 출수전의 경우 7월 11일이 상관계수가 가장 높았고, 이 결과는 2005년 시험에서도 7월 11일이 식생지수와 벼 엽 질소함량과의 상관계수가 가장 높았던 ($r=0.91^{***}$) 것과 일치하였다.

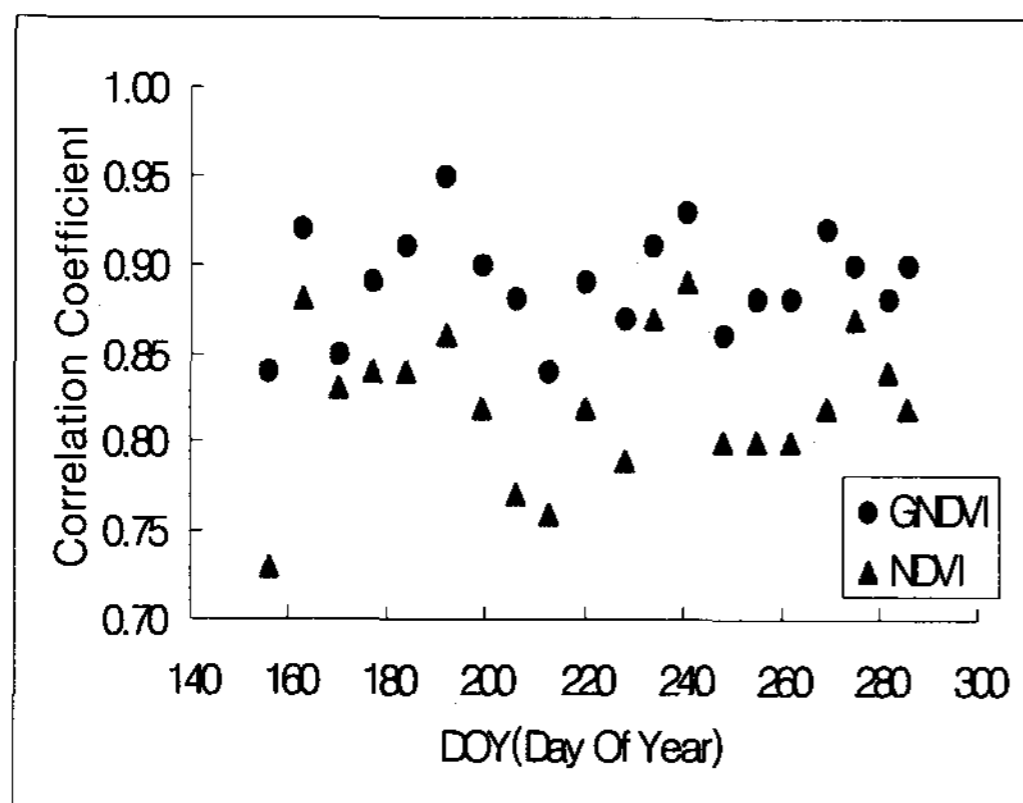


Fig. 2. Change of correlation coefficient between G(NDVI) and leaf nitrogen at different growth stage in 2006.

3. 식생지수를 이용한 엽 질소함량 추정

G(NDVI)와 엽 질소함량과의 상관관계가 높았던 7월 11일에 측정했던 2005년과 2006년의 식생지수 데이터를 함께 이용하여 엽 질소함량과의 관계를 추정식으로 작성하였다 (Fig. 3).

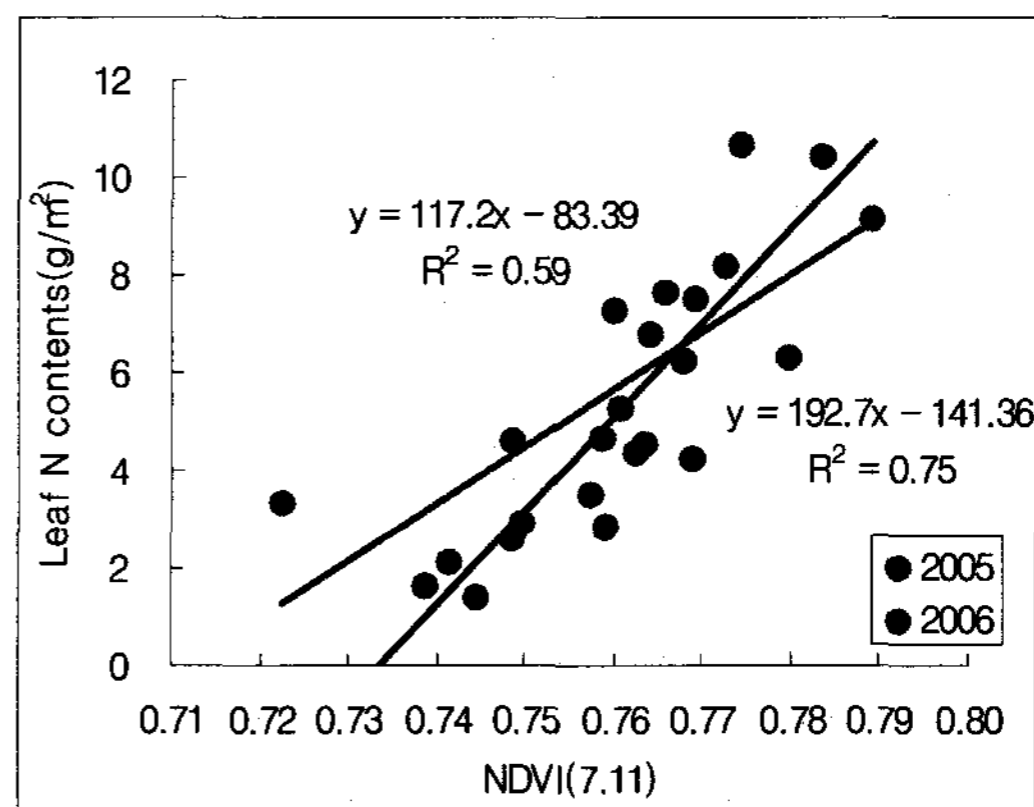
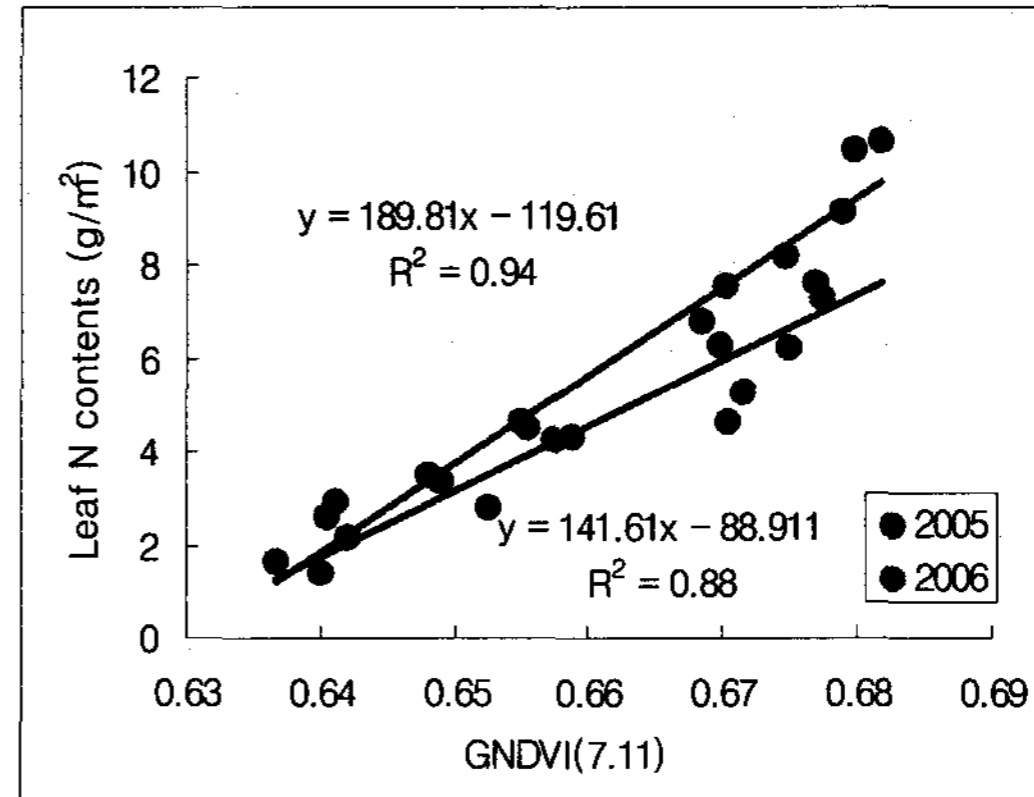


Fig. 3. Relationship between G(NDVI) and leaf nitrogen contents at July 11, 2005 and 2006.

GNDVI를 이용하여 2005년과 2006년 실측한 엽 질소함량 값과 추정 값을 비교해 본 결과 2005년과 2006년의 결정계수가 각각 0.88, 0.94로 2006년이 더 예측률이 높게 나타났다. NDVI를 이용하여 엽 질소함량을 추정한 결과 결정계수가 2005년 0.75, 2006년 0.58로 GNDVI보다 결정계수가 낮게 나타났다. GNDVI값을 이용하여 엽 질소함량 추정값과 실측값을 비교해 본 결과 결정계수가 0.86으로 추정값과 실측값이 1:1선상에 근접하게 분포하였다 (Fig. 4).

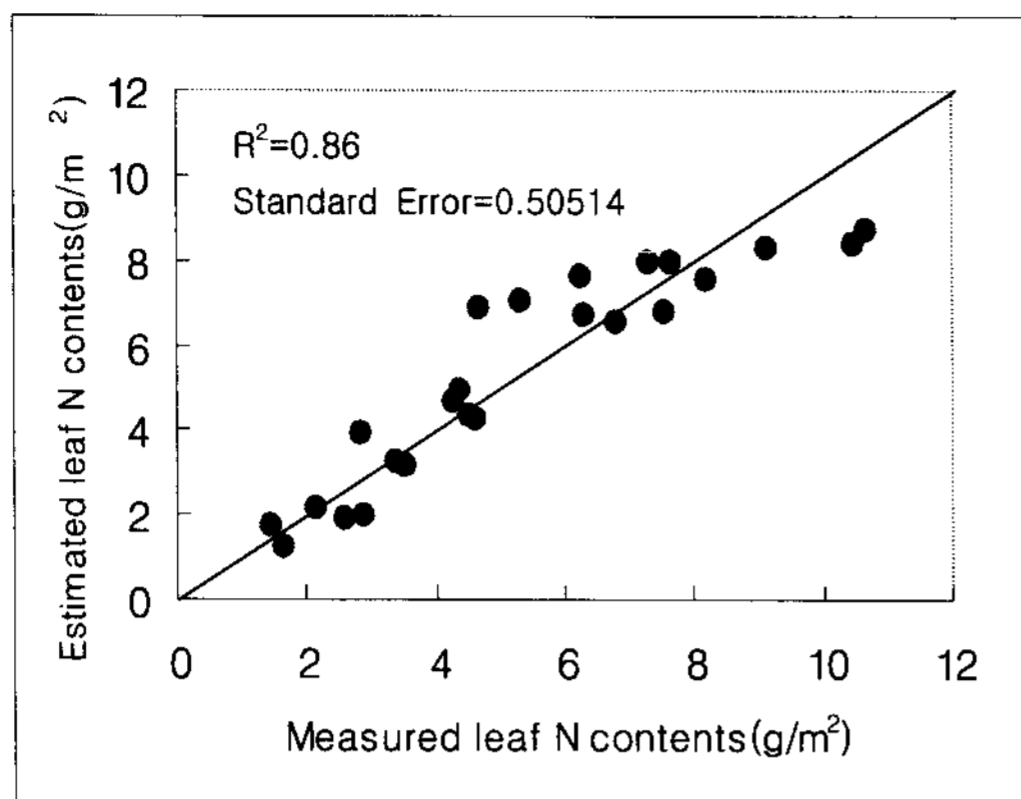


Fig. 4. Relationship between leaf nitrogen measured by analysis and estimated by GNDVI at July 11, 2005 and 2006.

따라서 GNDVI가 엽 질소함량 추정에 효과적으로 이용할 수 있는 한 방법으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 인공광원을 사용하는 능동형 지상광학센서 (GNDVI, NDVI)를 이용하여 질소수준별·생육단계별 벼 식생지수변화를 알아보고, 식생지수와 벼 엽 질소함량과의 관계를 구명하여 벼 군락의 엽 질소함량을 추정하고자 하였다.

(G)NDVI값 과 엽 질소함량과의 시기별 상관분석 결과 GNDVI값이 NDVI값보다 엽 질소함량과의 상관계수가 높게 나타났고, 특히 2005년, 2006년 모두 벼 유수형성기 약 2주전 (7월 11일) GNDVI와 엽 질소함량과의 상관계수가 높게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 GNDVI를 이용하여 엽 질소함량을 추정해본결과 2005년, 2006년 결정계수가 0.88, 0.94였고, 2년간의 자료를 이용하여 엽 질소함량 실측값과 추정

값을 비교해본결과 추정값과 실측값이 근접하게 분포하였다 ($R^2=0.86$).

이상의 결과를 살펴보면, GNDVI센서에서 산출된 식생지수를 이용하여 이삭거름 처리전 시기에 질소영양상태를 효과적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 벼 유수형성기 생육 및 질소영양상태는 생장, 수량 및 쌀의 품질에 큰 영향을 미친다. 유수형성기 이후 질소영양상태는 수량 sink형성 뿐 만 아니라 쌀 단백질함량, 맛 등 품질을 좌우하기 때문에 질소영양진단과 이에 따른 적정수비 처방 기술이 확립되어야한다. 따라서 이삭거름 처리 전 엽 질소 및 생육인자와 상관관계가 높은 GNDVI센서를 이용하여 수확기 단백질함량, 수량, 엽 면적지수, 생체중, 건물중 등 생육인자와의 관계분석을 통하여 유수형성기 질소영양상태의 비 파괴적 진단에 의한 수비 시용량을 제안하고자하는 연구를 수행 중에 있다.

참고문헌

- Agren, G. I. 1985. Theory for growth of plants derived from the nitrogen productivity concept. *Physiologia Plantarum*. 64:17-28.
- Mae, T. 1986. Partitioning and utilization of nitrogen in rice plants. *Japan Research Quality*. 20:115-120.
- Richardson, A. J., and C. L. Weigand. 1992. Using Spectral Vegetation Indices to Estimate Rangeland Productivity. *Geocarto International*. 1:63-77.
- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J. L, and C. Royo. 2000. Spectral vegetation indices as non-destructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy*. J. 92:83-91.
- Anna, P., and B. Abdou. 2001.

Application of hyperspectral remote sensing for LAI estimation in precision farming. Canadian Remote Sensing Symposium.

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

Piekielek, W. P., R. H. Fox., J. D. Toth and K. E. Macneal. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy. J.* 87:403-408.

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