

분광반사특성과 엽면적지수 및 SPAD를 이용한 벼의 성장단계별 생육상태의 평가

Evaluation of Growth Diagnosis in Rice Field using Spectral Characteristics, LAI, and SPAD

박종화*, 신형섭**, 박진기***

Jong Hwa Park, Hyoung Sub Shin, Jin Ki Park

Abstract

Measurement of leaf area index (LAI) is useful for understanding rice growth, water use, and canopy light interception. The top nitrogen content(TNC) per unit area is an important quantitative index of the condition of nitrogen nutrition in rice production. The rapid and simple method of estimation of TNC, with the use of the existing nondestructive analyzing instruments chlorophyll meter SPAD-502 and plant canopy analyzer (PCA) LAI-2000, was scrutinized. Destructive measurement is time consuming and labor intensive. Our objective was to evaluate sampling procedures using the Li-Cor LI-1800, LAI 2000 plant canopy analyzer (PCA) for nondestructive estimation of rice LAI, and SPAD-502 on the Northern Plains of Cheongju.

The LAI estimated by PCA tended to underestimate the LAI determined by actual measurement by about 20%. The estimation of LAI by PCA was judged to have a sufficient accuracy as a practical technique. A high positive correlation was obtained between the values of the SPAD reading and LAI. NDVI and LAI also showed a very high correlation. The values of the SPAD reading and LAI, and NDVI gave a high positive correlation. These results indicated that the method described in this study was effective as a simple and rapid method for the estimation of rice growth.

Key words: leaf area index (LAI), SPAD, NDVI, PCA

1. 서론

작물의 성장과 질병을 파악하고 분석하는 장비는 매우 다양하나 그 중 비파괴측정 방법은 쌀의 고품질화와 국제경쟁력 강화를 위해 적극적인 도입이 필요한 요소로 질소함유량 및 식생지수와 밀접한 관련을 가지고 있다. LAI 측정기술은 우리의 경우 아직 체계적인 조사가 이루어지지 못하고 있는 실정으로 앞으로 벼와 밭작물, 산림분야에 적극적인 도입이 필요한 기술이다.

* 정회원 · 충북대학교 지역건설공학과 교수 · E-mail : jhpak7@cbnu.ac.kr
** 학생회원 · 충북대학교 지역건설공학과 석사과정 · E-mail : subihoho@hanmail.net
*** 학생회원 · 충북대학교 지역건설공학과 학부과정 · E-mail : krfamily@nate.com

SPAD치는 잎이 가지고 있는 색소 종류와 함량에 의해 결정되며 SPAD치와 질소농도 관계는 생육단계에 따라서 식생의 조밀도, 세포의 크기, 품종, 환경에 따라 변하는 것으로 조사되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 관련된 기술 확보를 위하여 LI-1800을 이용한 분광반사와 LAI-1800을 이용한 엽면적지수(Leaf Area Index, 이후 LAI), 엽록소측정방법인 SPAD 방법을 이용하여 벼의 성장단계별 특성을 파악하고 진단하는 방법에 대하여 검토, 고찰하였다.

2. 측정 항목과 방법

2.1 분광반사특성

분광반사특성은 충북 청원군 오창면에 위치한 충북농업기술원 포장에서 휴대용 분광복사계(spectro-radiometer, LI-1800)를 이용하여 질소 시비조건을 달리하는 4개의 시험구별로 표준백색판과 논을 2회씩 측정하여 평균한 값을 사용하였다. 분광반사율을 구한 다음 정규화식생지수(NDVI)를 구하는데 이용하였다. NDVI는 적색과 근적외선파장의 조합으로 다음 식으로 계산하였다.

$$NDVI = \frac{\rho_{Nir} - \rho_{Red}}{\rho_{Nir} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

여기서, ρ_{Red} 는 적색파장의 650nm파장이며, ρ_{Nir} 은 근적외선파장중 850nm의 파장이다.

2.2 LAI

벼의 LAI 측정은 태양에너지가 수관을 통과하는 동안 식물의 잎 등으로 가려지는 부분을 제외한 빛이 LAI-2000의 어안렌즈를 통해 입사되어 5개의 실리콘 검파기에 각각 5-74°범위에서 벼 잎의 식생정보를 취득하게 된다. LAI의 계산은 다음과 같다.

$$LAI = 2 \sum_{i=1}^5 \frac{\ln(T(\theta_i))}{S(\theta_i)} W_i \quad (2)$$

여기서, θ 는 각 검파기 링의 중심각도, $T(\theta)$ 는 수관을 통과한 태양에너지의 통과율, $S(\theta)$ 는 5개 검출기를 통과한 길이, W_i 는 가중치 ($W_i = \sin \theta_i$)이다.

2.3 SPAD치 (엽록소 값)

SPAD-502는 잎의 체도를 통해서 작물 내의 영양 상태를 알 수 있고, 잎의 넓은 부분을 장치 앞부분에 삽입하여 2초 동안 엽색을 측정하는 장치이다. 간편하게 녹색 정도를 측정하여 잎의 엽록소 함량이나 질소함량을 예측할 수 있는 비파괴 방법으로 현장에서 신속하게 측정하고 판단이 가능하다.

2.4 실험 포장 조건

실험 포장은 완효성비료의 시비량 차에 의한 수확량 조사를 위해 설치한 포장으로, 충청북도 농업기술원내에 16×33m-4EA의 시험구에서 실시하였다. 이 때 표준시비(standard fertilizer application, 이후 SFA)는 N-P-K: 11-4.5-5.7kg/10a를 실시하였으며, 표준시비량을 기준으로 질소량이 표준시비에 80%(이후, N80), 100%(이후, N100), 120%(이후, N120)를 처리하여 각각 1개의 포장으로 구성하였다. 논토양은 모두 사질립이며, 벼 품종은 세계화벼를 식재하였다. 벼는 2004년 5월 20일에 30×15cm의 평균재식거리로 이앙하여 2004년 10월 04일에 수확하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시비 조건별 NDVI

식생과 관련된 지수는 지표면에서 녹색식물의 상대적인 분포와 활동성, 엽면적지수(LAI), 엽록소함량과 광합성 흡수복사량(APAR) 등과 밀접한 관련을 갖는 지표로 가시광선영역과 근적외선과장의 반사특성과 밀접한 관련이 있다. Fig. 1은 표준시비, N80, N100, N120의 4개 시험구에 대한 성장단계별 NDVI 결과를 나타내었다. 4개 시험구 모두 식 (3)의 관계로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났으며 회귀식 차이에 대한 분산분석결과 높은 유의성이 인정되었다.

$$NDVI = aDOY^2 + bDOY + c \quad (3)$$

여기서, DOY 는 NDVI 측정일이며 a , b , c 는 실험결과에 따른 상수이다.

그림에서 NDVI의 최대치는 표준시비와 N80의 경우 7월 21일, N100과 N120의 경우 7월 29일 경에 나타났으며 시간이 경과할수록 낮아지는 경향을 나타냈다. 따라서 완효성비료의 질소함량이 증가 할수록 NDVI의 최고점에 이르는 일자는 늦어지는 경향이 있는 것으로 파악되었다.

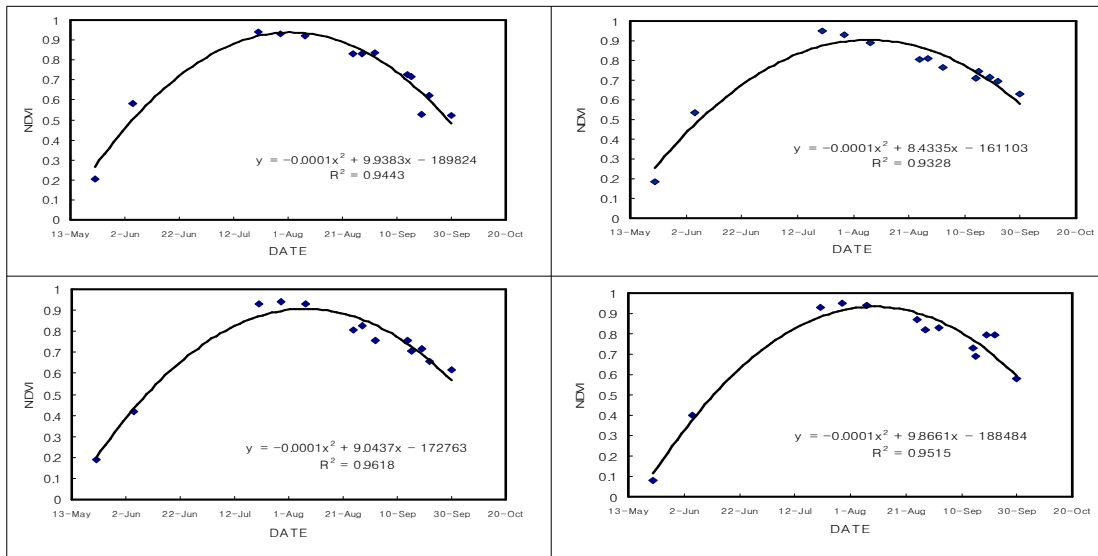


Fig. 1 표준시비구, N80, N100, N120의 NDVI의 변화

3.2 시비 조건별 LAI

Fig. 2는 표준시비, N80, N100, N120의 4개 시험구에 대한 생육단계별 LAI 조사 결과이다. LAI의 변화특성은 NDVI의 변화패턴과 매우 유사한 경향을 보였으며 모든 시험구에서 식 (3)의 관계로 높은 상관이 있는 것으로 나타났으며, 이에 대한 분산분석결과 높은 유의성이 인정되었다.

$$LAI = aDOY^2 + bDOY + c \quad (3)$$

여기서, DOY 는 LAI 측정일이며 a , b , c 는 실험결과에 따른 상수이다.

LAI의 측정은 벼가 어느 정도 성장하여 벼 상하의 식생군락이 형성되기 시작한 7월 21일부터 실시한 것으로 4개 시험구 모두 벼가 유수형성기와 수잉기를 거치는 시기인 8월 하순과 9월 초순 사이에 최대치를 이룬다. LAI는 잎색의 중요한 인자인 질소의 영향으로 질소 농도가 높을수록 높

게 나타났다.

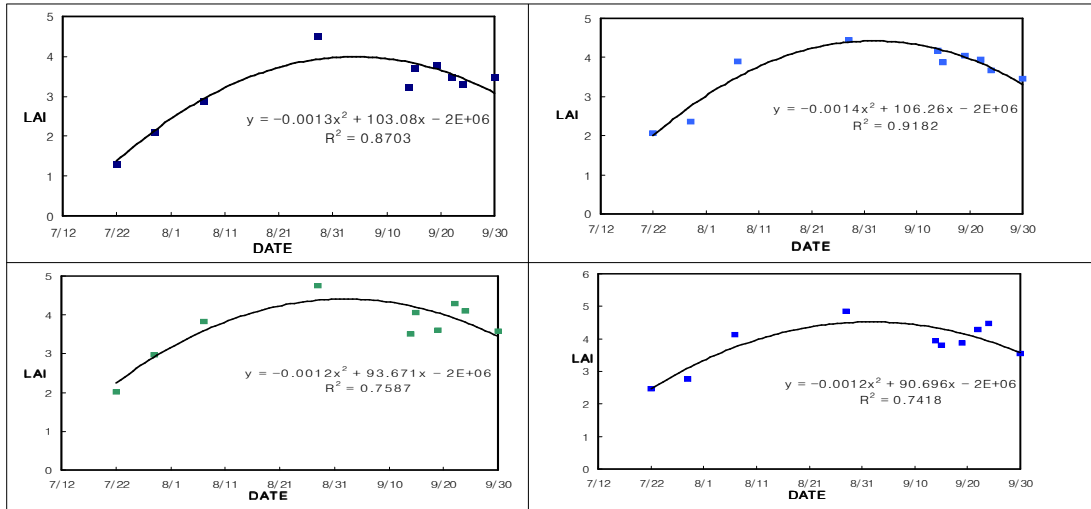


Fig. 2 표준시비구, N80, N100, N120의 LAI의 변화

3.3 NDVI와 LAI의 관계

본 연구는 벼의 성장에 필요한 적정 질소 시비량을 찾고 벼의 생육단계별 특성을 비파괴적 방법으로 파악하는 것이므로 서로 다른 방법으로 취득한 LAI와 NDVI의 관계를 비교하여 서로의 상관성을 조사하였다. 4개 시험구에 대한 NDVI와 LAI의 상관관계를 나타내면 Fig. 3과 같다.

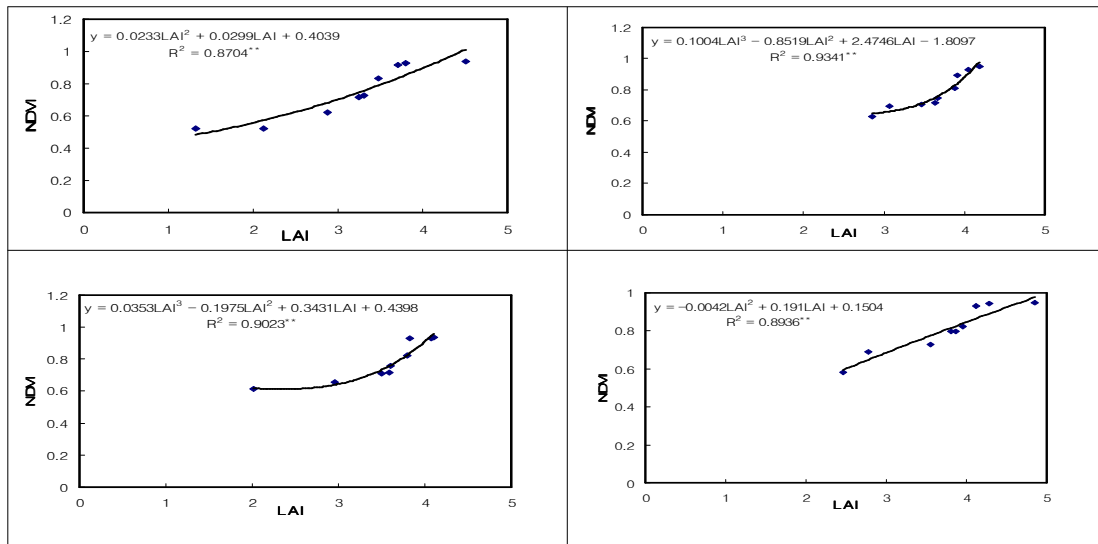


Fig. 3 표준시비구, N80, N100, N120의 LAI와 NDVI의 상관관계

이 때 벼의 성장 초기는 LAI측정을 할 수 없으므로 LAI가 1 이하인 경우는 검토에서 제외하였다. 일반적으로 LAI가 낮은 2부터 고려할 경우 NDVI는 LAI에 관한 2차식으로 표현되며, LAI가 3이상부터 고려할 경우 NDVI는 LAI에 관한 3차식으로 나타났다. 그러나 전체적인 경향은 NDVI는 LAI에 관한 3차식이 좀 더 정확한 경향을 표현해 주었으며, 모든 경우 유의성 검토 결과 $p < 0.001$ 을 만족하여 유의성이 있는 것으로 평가되었다.

3.4 벼의 성장단계별 NDVI와 SPAD치의 관계

SPAD치와 질소농도 사이에는 정의 상관관계가 성립되므로 NDVI와 SPAD치를 검토하여 상관성이 높으면 벼의 분광반사 특성을 이용하여 벼의 엽록소와 질소농도를 비파괴적으로 파악할 수 있을 것이다. Fig. 4는 NDVI와 SPAD치의 상관관계를 나타낸 것이다. 4개 시험구에 대한 상관성을 검토한 결과 모두 식 (4)의 관계로 높은 상관성을 보였다.

$$SPAD = \alpha NDVI^2 + \beta NDVI + \gamma \quad (4)$$

여기서, NDVI는 NDVI이며, SPAD는 SPAD치, α, β, γ 는 실험결과에 따른 상수이다.

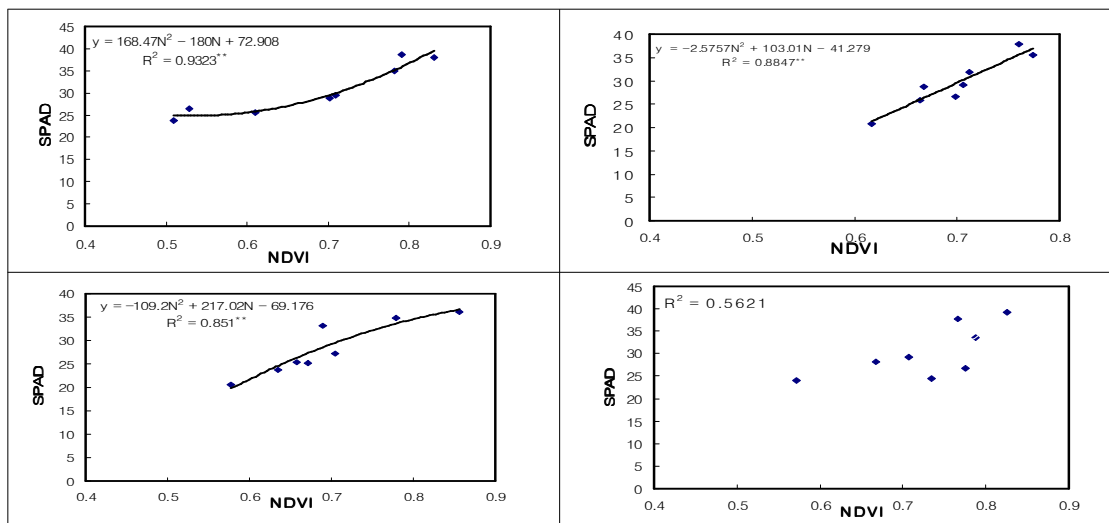


Fig. 4 표준시비구, N80, N100, N120의 NDVI와 SPAD치의 관계

4개 시험구의 모두 일반적인 경향으로 NDVI가 높아질수록 SPAD치도 증가하는 경향을 보였다. 따라서 분광반사특성 조사를 통하여 구한 식생지수는 엽록소 a, 잎의 엽록소 함량과 잎 질소 함량을 파악하는데 유용한 지수가 되며 파장의 적절한 선별과 활용을 한다면 식물의 식생정보를 보다 정밀하게 파악하고 진단할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구는 질소시비를 다르게 처리한 4개의 시험구에서 RS기법과 LAI-2000, SPAD-502를 이용하여 벼의 생육단계별 분광반사특성과 엽면적지수, SPAD치를 조사하였다. 그 결과 벼의 생육상태를 간접적으로 확인할 수 있었으며 분광반사특성과 LAI 및 SPAD치는 상호간에 높은 상관성을 갖는 것으로 파악되었다. 따라서 이러한 잎의 엽록소 함량이나 질소함량을 파악하고자 할 때 분광반사특성이나 SPAD치의 활용이 유용한 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

1. Stroppiana, D., Boschetti, M., Confalonieri, R., Bocchi, S., Brivio, P. A., 2006. Evaluation of LAI-2000 for leaf area index monitoring in paddy rice, Field Crops Research 99, pp.167-70.