

군락구조계를 이용한 벼 엽면적 측정

박흥규[†] · 최원영 · 백남현 · 김상수 · 김보경 · 김정곤

호남농업연구소

Estimation of Leaf Area Index by Plant Canopy Analyzer in Rice

H. K. Park[†], W. Y. Choi, N. H. Back, S. S. Kim, B. K. Kim, and K. K. Kim

Honam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, 381, Songhag-Dong, Iksan 570-080, Korea

ABSTRACT : This study was carried out to estimate of leaf area index (LAI) rapidly using plant canopy analyzer, comparing with specific leaf area (SLA) and leaf area ratio (LAR) in rice from 2001 to 2002 at Honam Agricultural Research Institute in Iksan Korea. The relationship between LAI values taken by plant canopy analyzer and by leaf area meter showed high correlation at each growth stages of rice. LAIs obtained by plant canopy analyzer were highly correlated with that by leaf area meter which were the highest in Dongjinbyeo and the lowest in Hapcheon1. Specific leaf area (SLA) of all rice cultivars were tend to decrease remarkably with the progress of growth stage. It was found that the SLA of Dasanbyeo was the highest and that of Hapcheon1 was the lowest among rice cultivars tested. Leaf area ratios (LARs) was also decreased with the progress of growth stage.

Keywords: rice, leaf area index, nondestructive, leaf area ratio, specific leaf area

벼의 생육단계별 성장량을 파악하고 이에 따라 적절한 관리를 하는 것은 벼 재배에 있어 매우 중요하며, 벼 생육에 적합한 재배관리를 위해서는 엽면적지수, 건물생산량 등 벼 생육량에 대한 실시간 진단이 필수적이다. 그 중 엽면적 지수는 벼의 군락상태와 성장측정에 많이 이용되고 있는데, 이는 품종 및 생육시기별 엽면적 자료를 바탕으로 병해충 방제, 도복 경감, 물관리 등 적절한 비배관리를 할 수 있기 때문이다. 지금까지 엽면적은 대부분 작물의 잎을 채취하여 실험실 내에서 엽면적측정기로 측정하고 있으나, 이 방법은 많은 노력과 시간이 소요될 뿐만 아니라 포장에서의 실시간 측정이 어렵고, 또한 측정을 위해서 잎을 채취함으로써 특정 개체군에 대한 경시적인 엽면적지수 측정이 불가능하다. 따라서 최근에는 포장 군락내에서 광의 투광량 및 흡광량을 측정하여 엽면적지수

를 산출하는 방법이 시도되고 있는데, 일사의 투광을 측정에 의한 방법으로 관형 일사계와 소형 광센서를 이용하는 방법(Futakuchi & Ishii, 1997)과 포장 군락내의 투광량을 특수한 어안렌즈로 측정하여 엽면적지수와 잎의 경사각도를 측정하는 기기가 개발되어 콩, 밀, 목화, 포도, 사료작물, 수목 등에 광범위하게 이용되고 있으며(Welles & Norman, 1991, Grantz & Williams, 1993; Kris *et al.*, 2000; Patakas & Noitsakis, 1999), 벼를 대상으로 측정한 결과에서도 광학렌즈를 이용한 엽면적지수 추정치와 잎을 채취해서 측정한 실측치간에 유의적인 상관을 나타냈다(Pampolino & Dobermann, 1994). 그러나 광학렌즈를 이용한 엽면적지수 측정은 작물의 종류, 태양광의 정도(Welles & Norman, 1991; Hicks & Iascano, 1995)와 엽면적지수의 정도 및 생육단계(Dobermann & Pampolino, 1995)에 따라서도 오차범위 정도가 다르기 때문에 측정하고자 하는 작물별로 품종, 생육시기, 재배조건에 따른 변이를 밝히는 것이 필요하다. 따라서 본 시험에서는 식물 군락구조계를 이용하여 벼 품종별, 생육단계별로 엽면적지수를 측정하여 실측치와 비교 분석함으로써 비파괴적 방법에 의한 엽면적 추정의 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

본 시험은 비파괴적 방법에 의한 엽면적 및 생육량 측정방법을 개발하고자 2001년과 2002년에 호남농업연구소 수도포장인 전북통(미사질양토)에서 동진벼와 소얼 장간형인 합천1호, 통일형인 다산벼 및 소얼 수중형인 소비벼를 공시하여 종자를 prochloraz 2,000배액에 24시간 침지¹소독한 후 침종 최아시켜 육묘상자에 200 g/상자씩 5월 20일경에 파종하여 6월 1일에 어린모를 78주/3.3 m²로 기계이앙 하였다. 질소는 11 kg/10a을 기비 분얼비 : 수비 = 40 : 30 : 30%로 분시하였으며, 인산은 4.5 kg/10a을 전량 기비, 칼리는 5.7 kg/10a을 기비 · 수비 = 70 : 30%로 분시하였다. 식물 군락내 투광을 측정에 의한 엽면적 측정은 Plant Canopy Analyzer(LAI-2000, Li-cor)를 이

[†]Corresponding author: (Phone) +82-62-840-2166 (E-mail) parkhok@rda.go.kr <Received June 14, 2004>

용하였다. 식물 군락내의 투광량 측정은 먼저 센서를 차광되지 않은 벼 군락위에 놓고 입사광을 측정하고 다음 벼 군락내 지면 바로 위에서 투광량을 측정하고, 생육조사를 하여 단위면적당 경수를 산출한 다음 반복당 중용인 3주의 벼를 채취하여 자동 엽면적기(LI-3000, Li-cor)로 엽면적을 측정하여 엽면적 지수를 구하였고 엽면적을 측정하는 시료는 건조기에서 건조한 후 평량하여 단위면적당 건물중을 구하였다. 엽면적비율(leaf area ratio; LAR)과 비엽중(specific leaf area; SLA)의 조사는 Blackman(1919)의 방법에 따랐다. 즉 엽면적비율은 한 측정시기의 작물 총건물중에 대한 엽면적의 비율을 나타낸 것으로 간단히 식으로 표현하면 다음과 같다. $LAR = L/W$ (L: 엽면적, W: 작물의 건물중). 비엽중은 비엽중은 단위 엽면적의 무게를 나타낸 것으로 식은 다음과 같다. $SLA = L/LW$ (L: 엽면적, LW: 엽면적중). 기타 조사는 농사시험연구 조사기준(농진청, 1995)에 따랐다

결과 및 고찰

엽면적 지수의 변화

동진벼에서 최고분얼기인 이양후 35일부터 95일까지 10일 간격으로 식물군락구조계를 이용하여 포장상태에서 측정된 엽면적지수 값(추정치)과 식물체를 채취하여 실험실에서 엽면적 측정기를 이용하여 측정된 엽면적지수 값(실측치)과의 관계를 보면(Fig. 1) 최고분얼기인 이양후 35일에는 실측치보다 추정치의 엽면적 지수가 다소 높게 나타났으나 이양후 45일부터 85일까지는 두 측정값이 일치하였으며 이양후 95일에 다시 추정치가 다소 높아졌으나 별 차이는 없었다. 출수기 이후에 추정치가 높아진 것은 이삭이 엽초로부터 추출됨에 따라 광이 차단되어 군락의 하부 지면에서 측정하는 관측값이 높아져 실측치와 다소 차이가 있는 것으로 생각된다 동진벼에서 군락

구조계로 측정된 엽면적지수와 엽면적계로 측정된 엽면적지수 간에는 고도의 상관성이 있었으며, 또한 이들 두 측정값은 엽면적지수가 3.5~5.0일때 가장 잘 일치하였다 이상의 결과로 보면 동진벼에서는 식물체를 채취하여 실험실 조건에서 측정하지 않고도 포장에서 군락구조계를 이용하여 엽면적지수를 측정함으로써 벼의 생육을 신속하게 진단할 수 있을 것으로 생각된다.

간장이 110 cm로 키가 크고 분얼수가 적은 함천1호(Fig 2)는 전 생육기간동안 군락구조계에 의한 추정치가 실측치보다 높게 나타났다. 이들 두 값은 생육이 진전될수록 차이는 더 커지는 경향이였다. 반면 간장이 70 cm로 키가 작은 다산벼(Fig. 3)는 전 생육기간동안 군락구조계에 의한 추정치가 실측치보다 낮게 나타났으며, 이들 두 값은 생육중기보다는 생육초기나 생육후기에 더 일치하는 경향이였다. 군락구조계에 의한 엽면적지수는 잎과 줄기의 구분 없이 작물에 의한 태양광의 차단정도로서 나타낸 것이기 때문에 일반 벼 품종보다 간장이 30 cm가 긴 함천1호는 줄기에 의한 태양광 차단정도가 높아 엽면적계로 측정된 실측치보다 엽면적지수가 높고, 다산벼는 줄기의 길이가 일반 벼 품종보다 짧아 실측치보다 추정치가 낮게 산출된 요인의 하나로 작용된 것으로 생각된다 따라서 군락구조계를 이용한 간접적 엽면적지수 측정시는 측정 당시 생육단계뿐만 아니라 분얼정도, 간장 등의 요인도 조사되어야 할 것으로 생각된다.

소비벼의 생육시기별 추정치와 실측치의 엽면적지수는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 생육후기에 추정치가 약간 높게 나타났으나 대체로 두 측정값이 일치하였으며 관측엽면적지수와 측정엽면적지수와의 상관성을 보면 고도의 상관성이 있었으며, 또한 이들 두 측정값은 엽면적지수가 3~4일때 가장 잘 일치하였다. 이상의 결과로 보면 군락구조계로 측정된 엽면적지수와 엽면적기를 이용한 엽면적지수와의 공시품종 모두 고도의 상관

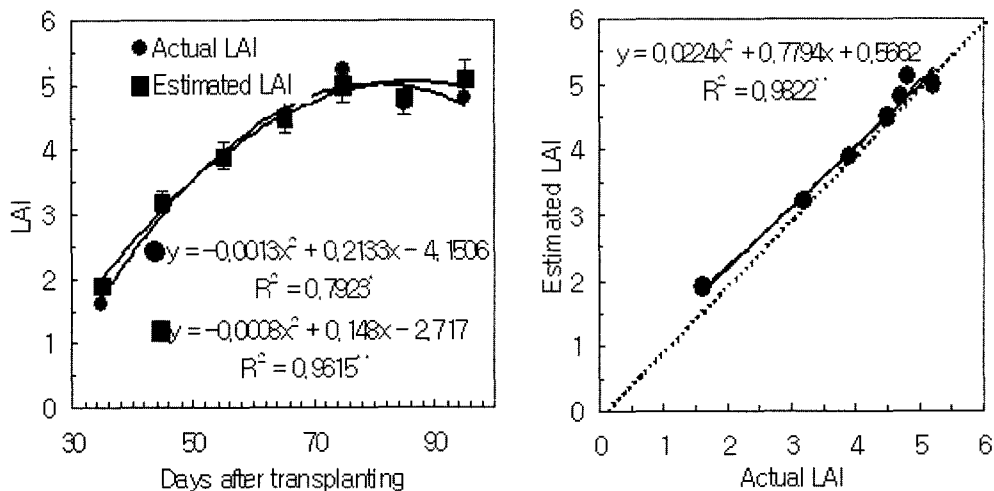


Fig. 1. Comparison of LAIs measured directly and indirectly at Dongjunbyeo in 2001 and 2002

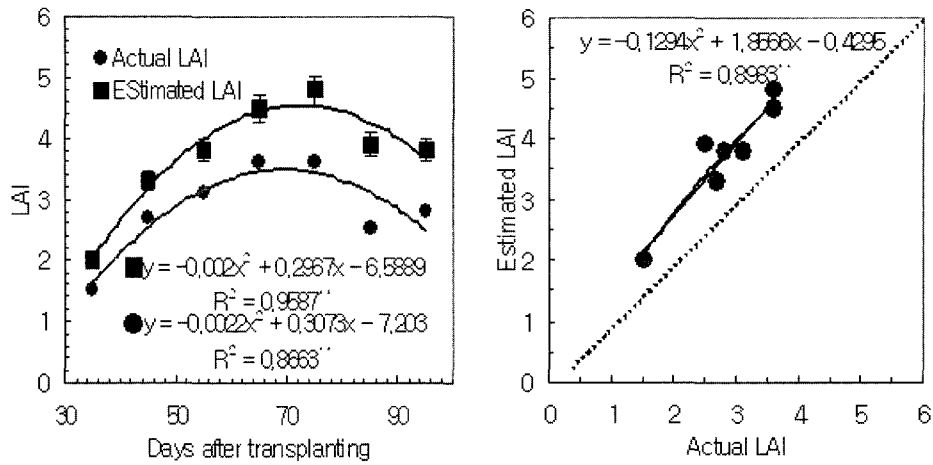


Fig. 2. Comparison of LAIs measured directly and indirectly at Hapcheon1 in 2001 and 2002.

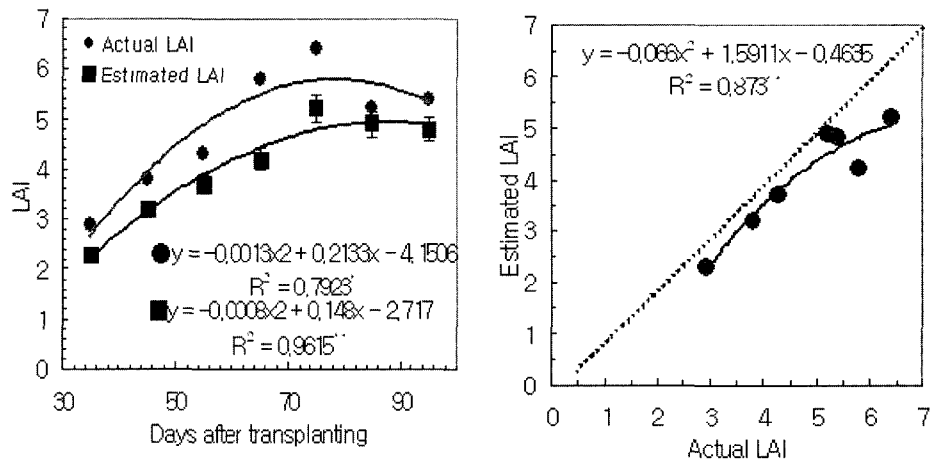


Fig. 3. Comparison of LAIs measured directly and indirectly at Dasanbyeo in 2001 and 2002.

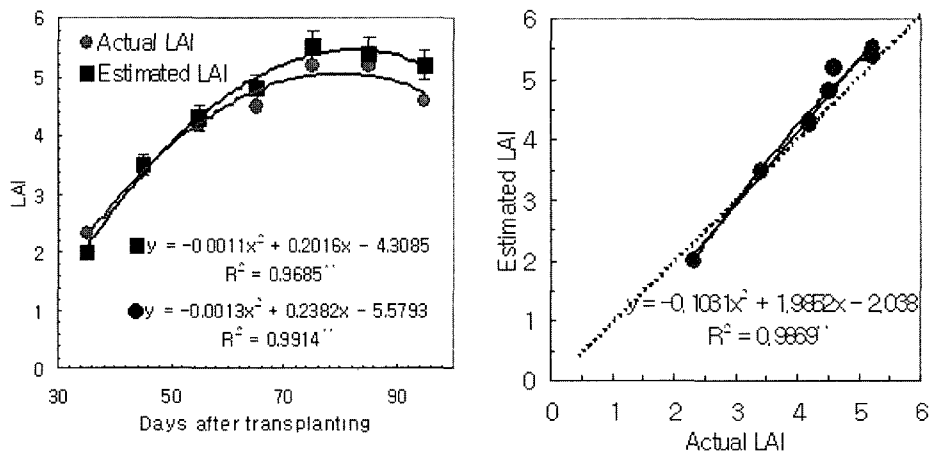


Fig. 4. Comparison of directly and indirectly measured LAI in Sobitbyeo.

이 있었으며 품종간에는 동진벼 > 소비벼 > 다산벼 > 합천1호의 순으로 두 측정치가 일치하는 경향이였다. 또 네 품종 모두 엽면적지수가 4내외일 때 두 값이 가장 잘 일치하였다.

건물생산과 엽면적

엽면적지수를 측정하는 방법으로 잎을 엽면적 측정기를 이용하여 측정하는 법을 이용하고 있다. 이 방법은 소규모 면적

의 엽면적지수 추정은 비교적 정확하지만 시간과 노력이 많이 소요되고 실시간 측정이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 품종 및 생육시기별로 식물체의 지상부 건물중과 엽면적, 엽중과 엽면적과의 관계 등을 분석하여 엽면적 추정식을 산출함으로써 엽면적 측정기가 없는 조건에서도 엽면적을 추정하고자 비엽중, 엽면적비율, 지상부 생건비등을 조사하여 그 관계를 보고자 하였다

이양후 일수에 따른 비엽중은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 이양후 35일에 약 275 m²/kg에서 45일에 225 m²/kg, 65일에 190 m²/kg 내외로 공시품종 모두 생육이 경과함에 따라 적어지는 경향이었고, 품종간에는 다산벼>소비벼>동진벼>합천1호

의 순으로 컸으며 합천1호는 단위 무게당 엽면적이 160 m²/kg 내외로 현저히 적었다 품종에 따라 단위 엽면적당 건물중의 무게가 다르므로 엽 조직의 두께 정도에 따라 최소한 품종을 몇 개의 군으로 구분하여 비엽중 추정식을 산출 적용하면 실제 엽면적을 측정하지 않고 건물중만으로도 품종군별, 생육시기별로 엽면적을 산출할 수 있을 것으로 판단된다

엽면적비율(leaf area ratio; LAR)은 한 측정시기의 작물 총 건물중에 대한 엽면적의 비율을 나타낸 값이다. 이양후 일수에 따른 엽면적비율은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 이양후 35일에 약 130 m²/kg에서 55일에 70 m²/kg, 75일에 65 m²/kg 내외로 공시품종 모두 생육이 경과함에 따라 적어지는 경향이 있었으며, 품종간에는 다산벼>동진벼>소비벼>합천1호의 순으로 컸다. 합천1호의 엽면적비율은 이양후 35일에 약 85 m²/kg에서 이양후 75일에 50 m²/kg 내외로 현저히 적어 전체 건물중에서 엽면적이 차지하는 비율이 적음을 알 수 있었다.

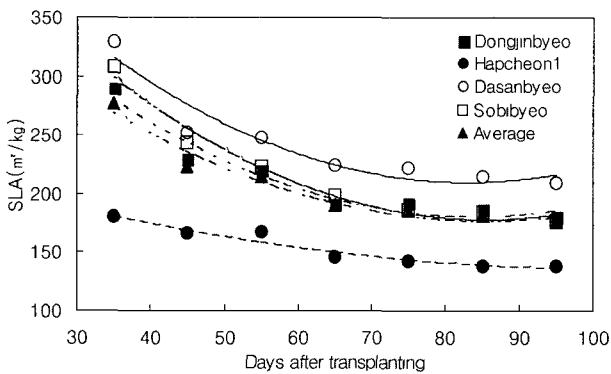
적 요

식물 군락구조계를 이용하여 벼의 품종 및 생육단계별로 엽면적지수를 측정하여 실측치와 비교 분석함으로써 비파괴적 방법으로 엽면적을 측정하고자 동진벼 등 4품종을 공시하여 2년간('01~'02) 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 군락구조계로 측정된 엽면적지수 값(추정치)과 엽면적측정기로 측정된 엽면적지수 값(실측치)과는 고도의 유의적인 상관관계를 나타냈다.
2. 군락구조계로 측정된 엽면적지수와 엽면적기를 이용한 엽면적지수와의 공시품종 모두 고도의 상관성이 있었으며 품종간에는 동진벼> 소비벼> 다산벼> 합천1호의 순으로 두 측정치가 일치하는 경향이였다. 또한 대부분의 품종에서 엽면적지수가 4내외일 때 두 값이 가장 잘 일치하였다.
- 3 비엽중과 엽면적 비율은 생육이 경과함에 따라 적어지는 경향이었고, 품종간에는 다산벼>소비벼>동진벼>합천1호의 순으로 컸으며 합천1호는 단위 무게당 엽면적이 160 m²/kg 내외로 두 측정치 모두 현저히 적었다.

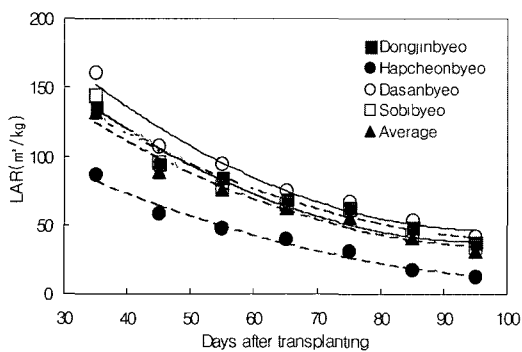
인용문헌

Blackman, V H 1919 The compound interest law and plant growth Ann. Bot. 33 : 353-360
 Dobermann, A and M F Pampolino. 1995. Indirect leaf area index measurement as a tool for characterizing rice growth at the field scale Communications in soil science and plant analysis (USA) 26(9/10) 1507-1523.
 Futakuchi, K and R. Ishii 1997 Estimation of leaf area index in rice canopy by tube solarimeter and photodiode Jpn J Crop Sci 66(1) . 135-136
 Grantz, D. A. and L. E. Williams. 1993. An empirical protocol for indirect measurement of leaf area index in grape (*Vitis vinifera* L.)



Cultivars	Estimates formular for SLA
Dongjinbyeo	$y = 0.0417x^2 - 7.0024x + 475.3$ $R^2 = 0.9489^{**}$
Dasanbyeo	$y = 0.0458x^2 - 7.6119x + 525.8$ $R^2 = 0.9076^{**}$
Sobibyeo	$y = 0.0475x^2 - 8.1286x + 526.2$ $R^2 = 0.9759^{**}$
Hapcheon1	$y = 0.0099x^2 - 2.0238x + 240.6$ $R^2 = 0.9345^{**}$

Fig. 5. Changes of specific leaf area (SLA) according to the days after transplanting of rice cultivars (y: SLA, x: days after transplanting).



Cultivars	Estimates formular for LAR(dry weight)
Dongjinbyeo	$y = 0.0178x^2 - 3.7682x + 239.6$ $R^2 = 0.9631^{**}$
Dasanbyeo	$y = 0.0267x^2 - 5.2242x + 302.2$ $R^2 = 0.9638^{**}$
Sobibyeo	$y = 0.0249x^2 - 4.8592x + 275.2$ $R^2 = 0.9577^{**}$
Hapcheon1	$y = 0.0122x^2 - 2.7418x + 164.0$ $R^2 = 0.9750^{**}$

Fig. 6. Changes of leaf area ratio (LAR m²/D.W kg) according to the days after transplanting of rice cultivars (y: LAR, x: days after transplanting)

- HortScience (USA) 28(8) . 777-779.
- Hicks, S. K. and R J Lascano. 1995. Estimation of leaf area index for cotton canopies using the LI-COR LAI-2000 plant canopy analyzer Agronomy journal (USA) 87(3) · 458-464.
- Kris Nackaerts, Pol Coppin, Bart Muys, and Martin Hermy. 2000 Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands. Agricultural and Forest Meteorology. 101(4) . 247-250
- Pampolino, M F. and A Dobermann 1994. Optical leaf area index measurement as a tool for characterizing crop growth at the field scale Philippine Journal of Crop Science 19(1) : 21-28.
- Patakas, A and B Noitsakis 1999. An indirect method of estimating leaf area index in cordon trained spur pruned grapevines, Scientia Horticulturae. 80(3-4) 299-305.
- Welles, J. M and J M. Norman 1991 Instrument for indirect of canopy architecture. Agron. J 83 818-825
- 농촌진흥청. 1995 농사시험연구조사기준.