

벼 잎의 엽록소 및 질소함량과 엽록도 관계의 품종적 차이

김덕수*[†] · 윤영환* · 신진철* · 김제규* · 김석동*

*농촌진흥청 작물시험장

Varietal Difference in Relationship between SPAD Value and Chlorophyll and Nitrogen Concentration in Rice Leaf

D.S. Kim*[†], Y.H. Yoon*, J.C. Shin*, J.K. Kim* and S.D. Kim*

* National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea

Abstracts : This experiment was conducted to find out the varietal differences in the relationships of chlorophyll and nitrogen concentration with leaf greenness value (SPAD value). We used two rice varieties with different leaf color type: Hwaseongbyeon has pale green leaves, and Gwanganbyeon has dark green leaves. SPAD value was correlated with chlorophyll a concentration significantly in both varieties, but not with chlorophyll b in Hwaseongbyeon. The correlation coefficients between SPAD value and nitrogen concentration of rice flag leaves were highly significant. However, the regression analysis between SPAD value and nitrogen concentration of rice flag leaves showed different relation among varieties. The slope of the regression line in Gwanganbyeon was steeper than that in Hwaseongbyeon. In conclusion, SPAD value can be applied to estimate the chlorophyll a concentration without consideration of varietal differences. Chlorophyll b and nitrogen concentration in the leaf were regressed to the SPAD values differently with varieties. This implies that the SPAD value can not be used directly to estimate chlorophyll b and nitrogen concentration without consideration of varietal differences.

Keywords : Chlorophyll a, chlorophyll b, SPAD, rice, leaf greenness.

작물을 재배하는데 있어서 잎에 있는 엽록소나 질소함량을 안다는 것은 재배관리 면에서나 재해 경감 및 수량 향상에 매우 중요하다. 그러므로 SPAD-502는 간편하게 녹색에 대한 정도를 측정하므로 잎의 엽록소 함량이나 질소함량을 예측할 수 있도록 일본 미놀타사에서 개발한 엽록소 측정 장치이다 (Minolta, 1989). SPAD-502는 휴대가 간편하고 비파괴적인 방법으로 엽색의 차이를 알 수 있으므로 국내외에서 작물의 시험 연구에 광범위하게 이용하고 있다(Peng *et al.*, 1993;

김 등 1998). 잎의 엽록소 함량은 잎 질소 함량과 높은 정의 상관관계가 있으며, SPAD값은 벼의 질소 요구량을 결정하는데 이용되어지고 있다(Chubachi *et al.*, 1986; Rutger, 1991). Turner & Jund(1994)는 엽색과 엽록소의 상관관계는 $r^2=0.62$ 의 정의 상관관계가 있다고 하였다. 그러나 엽색은 엽이 가지고 있는 색소의 종류와 함량에 의하여 결정되며 엽색과 엽질소 농도 관계는 생육단계에 따라서 조직의 조밀성, 세포의 크기, 품종, 환경에 따라 변한다고 하였다(Takebe and Yoneyama, 1989; Campbell *et al.*, 1990). 이와 같이 엽색을 이용한 연구 결과 해석에는 생육시기, 품종 및 환경에 따라 해석하는데 신중을 기해야 할 것으로 생각된다. 따라서 우리나라에서 재배 하는 벼 색깔이 옅은 것과 비교적 진한 벼 품종을 이용하여 SPAD-502 값과 엽록소 함량 및 질소농도의 관계를 구명하여 SPAD의 이용 한계를 명확하게 하고자 수행하였다.

재료 및 방법

엽록도(SPAD-502)에 따른 벼의 엽록소 함량 및 질소농도 차이

본 시험은 2001년 작물시험장 벼 재배 포장에서 동일 시비량에서 엽색이 뚜렷하게 다른 화성벼와 광안벼를 이용하여 수행하였다. 중모기계이앙 상자에 상자 당 100g씩 4월 25일에 파종하여, 5월 25일에 30일 모로 이앙하였으며, 재식거리는 30×14 cm로 주당 1본씩 손이앙 하였다. 질소 시비량은 다양한 엽색을 얻기 위해 ha당 0, 90, 110, 180, 200 kg을 사용하였다. 인산과 칼리질 비료는 45~57 kg/ha를 사용하였으며, 분시 방법은 질소는 기비-분얼비-수비를 40-30-30%로 하였으며, 인산은 전량 기비로, 칼리는 기비-수비를 70~30%로 분시하였다. 분시 시기는 분얼비는 이앙 후 13일에, 수비는 출수 25일전에 사용하였다. 엽색측정은 SPAD-502(Minolta, 일본)를 이용하여 출수기에 지엽의 중륵을 기준으로 넓은 쪽 부분을 측정하였다. 엽록소 분석용 잎은 무게를 예측하여 5지점의 엽색을 측정하

[†]Corresponding author:(phone)+82-31-290-6831 (E-mail)Kim0dus@rda.go.kr
<Received June 7, 2002>

Table 1. Time course of SPAD value in the uppermost leaves of pale and dark green leaf color type rice varieties.

Variety	SPAD value in uppermost leaf on									
	0	11	26	39	46	54	60	67	74	81DAT (Heading stage)
Hwasongbyeon (A)	21.4	30.9	43.9	41.0	33.9	31.1	32.9	36.9	34.1	36.5
Gwangsanbyeon (B)	25.4	33.1	45.1	43.1	38.3	34.2	35.4	38.1	37.0	38.4
B-A	4.0	2.2	1.2	2.1	4.4	3.1	2.5	1.2	2.9	1.9

DAT: days after transplanting

고 잘게 썰어서 0.1 g을 평량 해서 acetone 80% 용액에 calcium carbonate를 첨가한 용액 10 ml에 넣고 4°C 냉장고에서 3일간 엽록소를 추출하여 분광광도계를 이용하여 파장 663 nm와 646 nm에서 흡광도를 측정하여 Kinng-Arnon 관계식으로 엽록소 a, b의 함량을 구하였다. 질소 분석은 지엽전체에서 5지점의 엽색을 측정하고 평균하여 엽색도로 정하고, 90°C 건조기에서 1시간 동안 조직을 죽인 후 3일 동안 70°C 건조기에서 건조시켜서 질소분석용 시료로 이용하였다. 질소 분석은 진한 황산으로 분해하여 Berthelot blue법(농촌진흥청, 1997)으로 분석하였다.

결과 및 고찰

실험에 이용 한 두 품종을 SPAD-502로 조사한 엽색(SPAD 값) 차이는 Table 1에서와 같이 이앙 당일 모에서부터 차이가 있었다. 생육전반에 걸쳐 광안벼가 화성벼보다 엽색이 짙은 품종이었음을 알 수 있었고 이앙당시는 화성벼는 21.4, 광안벼는 25.4로 화성벼가 4.0이 낮았고, 분얼기인 이앙 후 39일까지는 비교적 SPAD값의 차이가 적어서 화성벼는 30.9~43.9, 광안벼는 33.1~45.1로 화성벼가 1.2~2.2가 낮았으며 분얼 초기인 이앙 후 46~54일은 화성벼는 31.1~33.9, 광안벼는 34.2~38.3으로 화성벼가 3.1~4.4가 낮았고 출수전 20일 경부터 출수기까지는 화성벼는 32.9~36.9, 광안벼는 35.4~38.1로 화성벼가 1.2~2.9가 낮았다. 이와 같이 일반적으로 질소의 흡수가 많은 분얼 시기에는 품종간 SPAD값의 차이가 적은 경향이었고, 그 외의 시기에는 SPAD 값의 차이가 많아 품종간에 엽색의 차이가 뚜렷하였다.

Table 2는 변이가 충분하게 나타나도록 질소시비량을 ha당 0에서 200 kg 처리한 후 출수기에 지엽에 있는 엽록소 a, b,

및 질소함량의 변이를 조사한 결과이다. 엽록소 a는 화성벼가 엽신 생체 1 g당 19.8~34.4 mg의 변이를 보였으며, 평균 28.0 mg이었고, 광안벼는 25.7~36.1 mg의 변이를 보였으며, 평균은 30.6 mg이었다. 엽록소 a는 평균적으로 광안벼가 많은 경향이었고 변이 폭은 화성벼 14.6 mg, 광안벼 10.4 mg이어서 시비량에 의한 엽록소 a의 변이는 화성벼에서 크게 나타났다. 엽록소 b의 함량도 화성벼는 평균 15.7 mg, 광안벼는 평균 15.9 mg으로 엽록소 a에 비하여 품종간의 차이는 적었으나 광안벼가 약간 많았고 변이폭도 컸다. 그러나 질소함량은 엽색이 짙은 화성벼가 평균 2.1%, 엽색이 짙은 광안벼가 2.3%로 품종간에 차이가 적었고 변이폭도 비슷하였는데 이는 시비량이 같은 조건에서 흡수양상에 차이가 없기 때문으로 생각된다. 그러나 엽신의 질소함량은 비슷하여도 엽록소 함량은 전반적으로 화성벼보다 광안벼가 높게 나타났으며 높은 쪽의 분포가 화성벼보다 많았다. 엽록체가 광합성과정의 광반응에서 에너지를 흡수하는 1차적인 중심기관인 것을 생각하면 아주 중요한 품종적 특성이란 생각된다.

Fig. 1은 시비수준을 달리 했을 때 지엽에서 나타나는 엽록소 a의 함량변이를 SPAD값의 변이에 따라 나타낸 것이다. 화성벼는 엽색이 짙은 품종으로서 엽록소 a의 함량이 광안벼에 비하여 낮고 변이폭도 크며 SPAD값의 변이도 광안벼에 비하여 상대적으로 크게 나타나서 환경에 의하여 엽색의 변이가 크게 됨을 알 수 있다.

한편 SPAD값에 따른 엽록소 a의 함량변화를 회귀분석 해본 결과 화성벼는 $y=0.9582x-7.1592$ ($n=30$, $R^2=0.3789$), 광안벼는 $y=0.9403x-6.4789$ ($n=27$, $R^2=0.2873$)로 엽록소 함량(y)은 SPAD값(x)에 의해서 1차식으로 나타낼 수 있다. 엽록소 a에 대한 회귀식의 분산분석 결과 F값이 화성벼 15.63**, 광안벼 9.84**로 두 품종 모두 유의성이 인정되었고 화성벼와 광

Table 2. Variations in chlorophyll a, chlorophyll b and nitrogen concentration of the flag leaves of the two different leaf color type varieties.

Item	Hwasongbyeon			Gwangsanbyeon		
	Mean	C.V.	Range	Mean	C.V.	Range
Chlorophyll a (mg/g F.wt.)	28.0	12.9	19.8-34.4	30.6	9.8	25.7-36.1
Chlorophyll b (mg/g F.wt.)	15.7	13.3	10.9-19.6	15.9	14.4	11.9-22.6
Total chlorophyll (mg/g F.wt.)	37.8	12.3	27.0-46.4	40.5	10.2	33.9-47.7
Nitrogen (%)	2.1	8.6	1.6-2.6	2.3	8.2	1.8-2.7

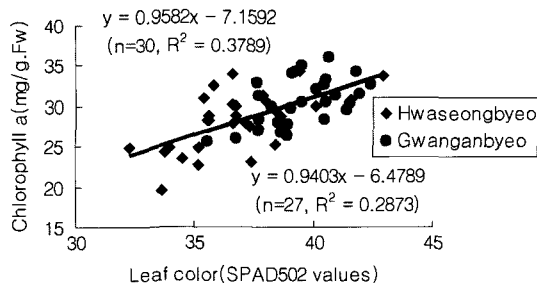


Fig. 1. Relationship between SPAD value and chlorophyll a of flag leaf at heading stage in rice plant.

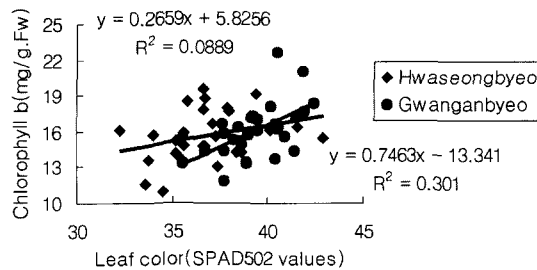


Fig. 2. Relationship between SPAD value and chlorophyll b of flag leaf at heading stage in rice plant.

안벼를 통틀어서 본 결과도 유의성이 인정되었다(Table 5). 그러나 두 품종에 대한 회귀식의 차이는 화성벼의 기울기가 0.9582이고, 광안벼는 0.9403으로 품종간의 차이가 유의하지 않았고 절편도 화성벼 -7.16, 광안벼 -6.48로 차이가 인정되지 않았다($F=0.007^{ns}$, Table 5). 따라서 엽색이 옅은 화성벼나 엽색이 짙은 광안벼 모두 하나의 관계식으로 나타낼 수 있고 SPAD값으로 엽록소 a의 함량을 알 수 있음을 의미한다. 광안벼와 화성벼의 모든 data를 합쳐서 엽록소 a함량과 SPAD값의 관계를 구하면 엽록소 a 함량(y)은 SPAD값(x)과 $y=0.9512x-6.9076$ ($F=39.79^{**}$, Table 5)의 관계가 성립되었다.

엽록소 b는 엽록체 내에 있는 색소체의 광포획엽록소단백체(light harvesting chlorophyll protein; LHCP)에 주로 존재하면서 PSI와 PSII에 광에너지를 공급해 주는 역할을 하며 특히 약광하에서 그 역할이 크다. 일반적으로 작물에서는 광합성할 때 광포획을 하는 중심이 엽록소 a, b인데 그 맡은 역할이 각각 다르며 중요성도 다르다. 특히 최근에 기후 온난화 및 이상기상현상으로 일조부족 현상이 자주 나타나는데 일조부족에서 엽록소 b의 기능은 아주 중요하다고 할 것이다. Fig. 2는

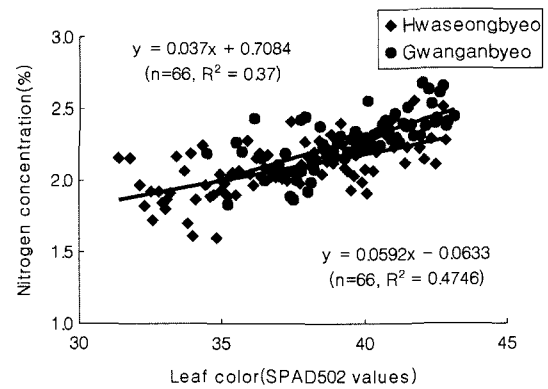


Fig. 3. Relationship between SPAD value and nitrogen concentration of flag leaf at heading stage in rice plant.

SPAD값과 엽록소 b와의 관계를 품종별로 나타낸 그림이다. 엽록소 a와는 달리 SPAD값과 엽록소 b의 관계는 품종에 따라 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 화성벼는 SPAD값의 변이가 큰 반면 엽록소 b의 변이 폭은 광안벼와 비슷하여 관계식이 $y=0.2659x+5.8256$ ($R^2=0.0889$)로서 회귀식에 대한 유의성이 인정되지 않았으나, 광안벼는 $y=0.7463x-13.341$ ($R^2=0.301$)의 관계로 회귀식에 대한 유의성이 인정되어(Table 5) 품종간에 상이하게 나타났다. 따라서 엽색도계를 이용한 엽록소 b의 추정은 화성벼 같은 품종에서는 불가능하며 광안벼는 정의 관계를 보이므로 품종에 따라 다르게 이용되어야 하고 확실적인 비교는 어렵다는 것을 알 수 있다.

화성벼와 광안벼는 엽색이 다른 품종인데 엽록소 b는 차이가 없으나 엽록소 a가 차이 남에 따라 전체 엽록소 양에 대한 엽록소 b의 비율이 유의하게 차이가 남을 보였다(Table 3). 엽록소 a는 P700과 함께 엽록체 내에 있는 엽록소 단백질 복합체(chlorophyll-protein complex: CPI)에 존재하는데 주로 엽록체 gene에 의해 복제되며 엽록체 리보솜에서 생성되고 엽록소 b는 LHCP 내에 있는데 LHCP는 핵내 gene에 의하여 복제되고 세포질 리보솜에 의하여 합성된다(Goodwin & Mercer, 1983). LHCP는 강한 빛 아래에서는 광합성이나 물질 생산에 큰 역할을 하지 못하나 약광하에서는 엽록소 a에서 광합성에 이용하기에 부족한 광에너지를 보충해 주는 기능을 담당하므로 이상기상 하에서 일조가 부족한 경우 또는 하엽에서 광이용 효율을 증진시키는 기능을 수행하는데 이에 대한 유전적 변이와 이용에 대한 연구는 중요하다고 생각된다.

Table 3. Differences of chlorophyll content and chlorophyll b ratio to total chlorophyll between two rice varieties.

Varieties	Chl a (mg/g F.wt.) (A)	Chl b (mg/g F.wt.) (B)	Chl b ratio (B/A)	Number of data
Hwaseongbyeo	28.02	15.69	35.9	30
Gwanganbyeo	30.60	15.93	34.2	27
t-value	2.93**	0.44	3.39**	

Table 4. Correlation coefficients of SPAD value with chlorophyll and nitrogen concentration of flag leaf at heading stage in rice plant.

Varieties	Correlation coefficients			
	Ch. a	Ch. b	Total Ch.	Nitrogen content
Hwaseongbyeon	0.616**	0.298	0.541**	0.608**
Gwanganbyeon	0.536**	0.549**	0.596**	0.685**

(n=27 for Chlorophyll, n=66 for Nitrogen content)

**Significant at the 0.01 probability level.

Table 5. Analysis of the variance in the regressions of chlorophyll a, chlorophyll b and nitrogen concentration on SPAD value of the flag leaf at heading stage and in the difference between varieties.

Variety	Item	Source of Variation	D.F.	Sum of Squares	Mean Square	F
Hwaseongbyeon	Chlorophyll a	Total	29	369.87		
		Regression	1	132.53	132.53	
		Error	28	237.30	8.48	15.63**
	Chlorophyll b	Total	29	125.01		
		Regression	1	14.96	14.96	
		Error	28	110.05	3.93	3.80 ^{ns}
	Nitrogen content	Total	119	3.63		
		Regression	1	0.31	0.31	
		Error	118	3.32	0.028	11.1**
Gwanganbyeon	Chlorophyll a	Total	26	234.32		
		Regression	1	66.18	66.18	
		Error	25	168.14	6.73	9.84**
	Chlorophyll b	Total	26	101.61		
		Regression	1	35.50	35.50	
		Error	25	66.11	2.64	13.45**
	Nitrogen content	Total	119	7.26		
		Regression	1	1.50	1.50	
		Error	118	5.76	0.0488	30.74**
Pulled varieties	Chlorophyll a	Total	56	698.79		
		Regression	1	293.24	293.24	
		Error	55	405.55	7.37	39.79**
	Chlorophyll b	Total	56	233.47		
		Regression	1	42.77	42.77	
		Error	55	190.69	3.47	12.34**
	Nitrogen content	Total	119	12.27		
		Regression	1	2.09	2.09	
		Error	118	10.18	0.086	24.30**
Difference in regressions of pulled and individual variety	Chlorophyll a	Pulled error	55	405.55		
		Difference	2	0.11	0.055	
		Sum of Error	53	405.44	7.65	0.007 ^{ns}
	Chlorophyll b	Pulled error	55	190.69		
		Difference	2	14.53	7.27	
		Sum of Error	53	176.16	3.32	2.19 ^{ns}
	Nitrogen content	Pulled error	118	10.18		
		Difference	2	1.08	0.54	
		Sum of Error	116	9.10	0.078	6.92**

질소 농도와 엽색도와의 관계를 알기위하여 SPAD-502로 엽의 색도를 측정하고 그 엽신을 가지고 질소분석하여 SPAD값과 질소함량과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 4이다. 측정 엽의

SPAD 값의 범위는 화성벼가 31.4~42.8, 광안벼가 34.5~43.1로 화성벼가 광안벼의 변이 폭보다 컸으며, SPAD 값과 질소농도의 관계는 Fig. 3과 같이 화성벼는 $y=0.037x+0.7084$ (n=66,

$R^2=0.37$), 광안벼는 $y=0.0592x-0.0633$ ($n=66$, $R^2=0.4746$)으로 회귀식에 대한 차이에 대한 분산분석 결과 고도의 유의성이 인정되어 품종간에 뚜렷하게 다른 반응을 보였다(Table 5). Turner and Jund(1994)는 엽색도를 질소 농도 설정의 기초 자료로 사용해서는 안된다고 하였는데, 본 시험에서도 두 품종간에 엽록도에 따른 질소 농도의 변화양상이 상이하였다.

SPAD값과 총엽록소, 엽록소 a, 엽록소 b 및 질소농도의 상관관계는 Table 4에서와 같이 엽록소 a는 화성벼는 0.616**, 광안벼는 0.536**으로 두 품종 모두 정의 상관인 인정되었으나, 엽록소 b는 화성벼는 0.298, 광안벼는 0.549**로 광안벼만이 인정되어 품종에 따른 차이가 있었으며, 전체 엽록소 함량은 화성벼는 0.541** 광안벼는 0.596**로 정의 상관이 있었다. 이와 같이 엽색도와 엽록소 a, 총 엽록소 함량 및 질소농도는 두 품종 모두 고도의 상관인 인정된다. 이는 Turner and Jund (1994)가 엽색과 엽록소의 상관관계는 0.62의 정의 상관이 있다고 한 것과 비슷한 결과였다. 또한 Takebe and Yoneyama (1989)와 Campbell *et al.*(1990)은 엽색과 엽 질소농도 관계는 생육단계, 품종, 환경에 따라 변한다고 한 것과 같은 결과였다. 하지만 SPAD값과 엽록소 b 함량 및 질소 농도와의 관계를 나타내는 직선회귀식의 회귀계수는 품종간에 차이가 있어서, SPAD값으로 엽록소 b 및 질소농도를 추정하여 품종간 비교를 하는 것은 곤란하다. 동일 처리의 실험에서도 품종이 다를 경우에는 SPAD값으로 엽록소농도를 비교하는 것은 보다 신중해야 할 것으로 생각된다.

Table 5는 엽록소 a, b, 및 질소함량과 SPAD값의 각 품종별 회귀식에 대한 분산분석 결과로서 화성벼의 엽록소 b와 SPAD값과의 관계식만 유의차가 인정되지 않았으며, 품종을 통틀어서 본 관계식은 모두 인정되었다. 각 품종의 회귀식간의 차이에 대한 분산분석결과는 엽록소에서는 인정되지 않았고 질소함량에서는 각 품종의 회귀식이 서로 다른 것이 고도의 유의차가 있었다. 한편 엽록소 b에 대한 SPAD값의 회귀식은 화성벼에서는 인정되지 않았으므로 품종을 통틀어서 이용할 수 없을 것이며, 지엽의 질소함량과 SPAD값과는 품종마다 다르게 반응하므로 품종별로 회귀식을 따로 구하여 이용해야 될 것이다. 그러나 엽록소 a의 함량과 SPAD값과의 회귀식은 엽색이 옅은 품종과 짙은 품종을 통틀어서 차이에 대한 유의성이 인정되지 않으므로 품종에 관계없이 이용이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

엽록도(SPAD-502)에 따른 엽록소와 질소농도의 관계를 구명하여 벼 재배기술 개발 및 품종육성의 기초 자료로 활용하고자 2001년 작물 시험장 벼 재배 포장에서 화성벼와 광안벼

를 이용하여 실험 한 결과는 다음과 같다.

1. 엽록도(SPAD값)는 표준시비량(11 kg/10a)에서 이앙 이후부터 출수기까지 화성벼가 광안벼보다 1.2~4.4가 낮았다.
2. 엽록소 a 함량과 SPAD값은 품종 구분 없이 정의 상관관계로서 엽록소 a 함량(y)은 SPAD값(x)과 $y=0.9582x-6.9078$ ($R^2=0.4307^{**}$)의 관계가 성립되었다.
3. 광안벼와 화성벼 지엽의 엽록소 함량은 유의하게 차이가 인정되었으나 엽록소 b의 함량은 차이가 없었다. 따라서 총엽록소 함량에 대한 엽록소 b의 비율은 유의하게 차이가 있었다.
4. SPAD 값과 엽록소 함량의 상관관계는 엽록소 a는 화성벼는 0.616**, 광안벼는 0.536**으로 두 품종 모두 정의 상관이 인정되었으나, 엽록소 b는 화성벼는 0.298, 광안벼는 0.549**로 광안벼만이 인정되어 품종에 따른 차이가 있었으며, 전체 엽록소 함량은 화성벼는 0.541** 광안벼는 0.596**로 정의 상관이 있었다.
5. SPAD 값과 질소농도의 상관관계는 화성벼는 0.608**, 광안벼는 0.685**로 정의 상관이 인정되었다. 그러나 동일 처리의 시험에서도 품종간 SPAD 값과 엽록소함량 및 질소농도의 관계가 다르게 나타나므로 SPAD값을 이용하여 엽록소 함량과 질소농도를 추정하는 것은 한계가 있는 것으로 생각된다.

인용문헌

- Campbell, R. J., K. N. Mobley, R. P. Marini and D. G. Pfeiffer. 1990. Growing conditions alter the relationship between SPAD-501 values and apple leaf chlorophyll. *HortScience* 25 : 330-331.
- Chubachi, T., I. Asano and T. Oikawa. 1986. The diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants (Sasanishiki) using chlorophyll-meter. *Soi; Sci. Plant Nutr.* 57(2) : 190-193.
- 김정곤, 김창영, 이정일, 신진철, 이문희. 1998. 이앙시기 및 질소 시비량이 유색미 “흑진주벼”의 건물생산 및 수량에 미치는 영향. *농업환경논문집*40(2) : 48-55.
- Goodwin, T. W. and E. I. Mercer. 1983. Introduction to plant biochemistry, Pergamon Press. Oxford. 677pp.
- Minolta Camera Co., Ltd. 1989. Manual for chlorophyll meter SPAD502. Minolta, Radiometric Instruments Div., Osaka, Japan.
- Peng, S., F. V. Garcia, R. C. Laza and K. G. Cassman. 1993. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J.* 85 : 987-990.
- 농촌진흥청. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험. 농업과학기술 총서(2). 문영당. 1083pp.
- Rutger, R. J. 1991. Chlorophyll tester helps pinpoint nitrogen needs. *Rice J.* 94(4) : 6-10.
- Takebe, M. and T. Yoneyama. 1989. Measurements of leaf color scores and its implication to nitrogen nutrition of rice plants. *JARQ* 23 : 86-93.
- Turner, F. T. and M. F. Jund. 1994. Assessing the nitrogen requirements of rice crops with a chlorophyll meter. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34 : 1001-1005.