

태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 건물량 추정

이정택* · 이춘우** · 주문갑*** · 홍석영* · 김한명****

Estimation of Rice Dry Matter Production by Spectral Reflectance of Solar Radiation in Paddy Field

Jeong Taek Lee*, Chun Woo Lee**, Moon Kap Joo***, Suk Young Hong* and Han-Myeong Kim****

ABSTRACT : To estimate the total dry matter(TDM) of rice plant by non-destructive method, spectral reflectance from rice plant canopy was measured by using the spectroradiometer (LI-1800, LICOR Inc.) with one week interval during the rice growing season at Suwon paddy field in 1993. Two medium late maturing rices, Daechung-byeo Ilpum-byeo, and one early maturing variety, Jinbu-byeo, were cultured to observe TDM, then they were compared with those estimated by vegetation index together.

Vegetation index determined by the reflectance of visible against near infrared wavelength showed high correlation with TDM. Vegetation index derived from narrow band(10nm interval) ratio, R910/R460, has the highest correlation coefficient with TDM. TDM estimated from R910/R460 from transplanting to heading stage corresponded well to measured values ($Y=21.2428X-212.734$; $R^2=0.87^{**}$). But another vegetation index, NIR(720~1,100nm)/Red(600~700nm) showed higher correlation with TDM than NIR(720~1,100nm)/Blue(400~500nm) did from heading stage to maturity.

Key words : Rice, Dry matter, Spectral reflectance, Vegetation index.

태양 복사에너지가 지표면에 도달하여 녹색 식물체에 이용되기까지 빛의 세기와 스펙트럼이 변화하는데, 이 에너지가 식물체에 이르면 일부는 반사되고 나머지는 투과·흡수하게 된다.

식물체의 군락내에서 가시광선과 근적외선의 파장별 흡수, 반사율은 가시광선 영역에서는 흡수가 많고 반사율이 작은 반면에 근적외선 영역은 반사율이 큰 것으로 알려져 있다^{2,3}. 실제로 Daughtry et al.¹⁾ 은 봄밀 군락에서 엽면적지수(LAI)가 증가함에 따라 적색파장역은 반사율이

감소하고 근적외선역은 증가하는 결과를 얻었다고 하였다. 이러한 분광특성을 이용하여 직접 작물체와 접촉하지 않고서 그 작물체의 생육상황에 대한 정보를 얻는 것을 원격탐사(remote sensing)라 하고 이것의 응용은 지상에서 수백 내지 수천 미터 떨어진 상공에서 인공위성이나 비행물체를 이용하지만 지상에서 측정장비가 대상물체로부터 몇 분의 일 미터 떨어진 상태에서도 활용될 수 있다고 하였다⁶.

원격탐사의 응용은 농업에서 휴대용 측정장비

농업과학기술원 논문투고 승인번호 : 96-1-4-021

* 농업과학기술원(National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

** 흥농종묘(Hungnong Seed Co., Cheonan 333-802, Korea)

*** 단국대학교(Coll. of Agri., Dankook Univ., Cheonan 330-714, Korea)

**** 농촌진흥청(Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea)

와 인공위성 등의 첨단기기를 이용할 수 있는 계기가 되었으며, 이들에서 획득된 자료를 가공하여 얻은 정보는 작물군락의 식생상태를 모니터링할 수 있도록 하였는데 이를 위한 기초적인 연구는 오래 전부터 계속되어 왔다.

Pearson et al.⁷⁾과 Tucker¹¹⁾은 작물의 초장과 엽록소 함량, 엽면적 등 작물군락의 밀도에 관계되는 요인이 가시광영역과 근적외광영역의 파장들의 반사량과 밀접한 관련이 있다고 보고 이 반사파장들을 이용한 다양한 조합으로 식생지수(vegetation index)를 만들었다.

식생지수는 학자들마다 여러 가지 반사파장에 따른 식생군락의 밀도와와의 상관을 밝히는 연구가 이루어지고 있는데, 이들 조합의 형태에는 대체로 각 파장의 반사율들의 비율로 나타내는 RVI(ratio vegetation index)와 그들 차이를 이용한 DVI(difference vegetation index), 그리고 이들을 변환한 TVI(transformed vegetation index) 등^{5,8)}이 있다.

Wiegand et al.¹²⁾은 밀군락을 측정하는 Landsat MSS(Satellite, USA)의 자료를 이용한 식생지수(vegetation index)를 구하여 엽면적지수와와의 관계를 구명한 결과(MSS7-MSS5)/(MSS7+MSS5)의 변환식에서 매우 높은 정의 상관관계가 있음을 알아내었다. Daughtry et al.¹³⁾은 봄밀군락에서 휴대용 측정장비(Exotech 100 radiometer)를 사용하여 파장기부터 출수기까지의 군락밀도가 높은 기간동안 측정된 자료로 NIR/Red의 비율과 LAI 및 건물생산과의 관계를 본 결과 높은 상관을 보였다고 하였다. Yang¹⁴⁾은 벼군락에서 휴대용 장비를 이용한 측정자료를 Landsat 위성의 TM band와 MSS band로 구분하여 여러 가지 변환식을 이용한 식생지수를 구한 결과 TM4(760~900 nm)/TM3(630~690 nm)가 건물생산과의 상관관계가 $r=0.89^{**}$ 로 매우 높았다고 하였다. Shibayama & Munakata⁹⁾는 Milyang-23, LT-18, Sugaippon 등의 벼군락 내에서 spectroradiometer를 이용하여 460~1,600 nm까지 20 nm간격으로 반사율을 측정 후 각 파장의 조합을 이용한 식생지수(VI)를 구하여 건물생산과의 관계를 분석한 결과(R1,100-R1,200)/

(R1,100+R1,200)과 R1,100/R1,200에서 각각 $r=0.65$ 로 정의 상관관계를 보였다고 하였다. Yamamoto et al.¹³⁾은 반사율을 50nm간격으로 생육 초기부터 황숙기까지 측정하여 분석한 결과 R850/R650nm의 조합에서 LAI 및 건물생산과의 상관관계가 가장 높다고 하였으며, Inoue & Iwasaki⁴⁾도 역시 R850/R650이 옥수수 군락에서 LAI와의 상관관계가 가장 높다고 하였다.

현재 한국과학기술원, 농촌진흥청 등 여러 연구기관에서 원격탐사기법을 농업적 측면에서 활용하는 연구가 이루어지고 있으나 작물체에 관한 연구는 초보단계이다. 다양한 원격탐사기법을 이용하여 얻은 자료는 풍·흉작과 병해충의 예측 등 국가의 농업정책 및 연구에 빠른 정보를 제공할 수 있을 것이나 국내에서는 아직 정확하고 신속한 농업정보체계가 확립되어 있지 않아 이를 위한 기초연구가 이루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구는 벼군락에서 태양광의 반사특성을 이용하여 군락의 생산능력과의 관계를 구명하고 파장별 반사율을 여러 형태의 수식으로 조합하여 건물 생산량 추정 및 그 응용연구를 위한 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

재료 및 방법

본 시험은 경기도 수원시 서둔동에 위치한 기상청 수원기상대 구내 포장(37° 16' N, 126° 59' E 39m Alt.)에서 조생종 진부벼와 중만생종 대청벼, 일품벼 3품종을 공시하여 1993년 4월 30일에 파종, 5월 20일에 이앙하였다.

재식거리는 3품종 모두 30×15cm로 하였고, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O를 11-7-8(kg/10a)로 하였으며, 기비는 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 사용하였으며, 1회 추비는 이앙 2주후에 질소 20%, 2회 추비는 유수형성기에 질소 30%, 칼리 30%를 사용하여 실시하였다.

태양광의 파장별 관측에 이용된 관측기기는 330~1,100nm까지 측정할 수 있는 spectroradiometer(LI-1,800, 미국 LICOR社)를 이용하였다. LI-1800을 이용한 측정은 이앙후 2주부터 황숙기

까지 7~10일 간격으로 채취한 낱을 택하여 태양의 고도의 변화가 비교적 작은 오전 11~12시 사이에 수행하였다¹³⁾. 측정방법은 군락의 생육 상태가 고른 곳을 임의로 측정위치를 선정하여 최상위엽에서 50cm 상단부에서 센서(sensor)를 상향으로 하여 태양광의 입사량을 측정하고 같은 위치에서 센서를 하향으로 하여 반사량을 3반복으로 측정하였으며, 파장은 330~1100nm까지 10nm 간격으로 하였다.

반사율(reflectivity)은 LI-1800으로 측정된 반사광량과 입사광량의 비를 백분율로 나타내었다. 반사율의 파장별 분포는 가시광 파장대인 380~720nm(visible wavelength ; VIS)와 근적외광 파장대인 720~1,300nm(near infrared ; NIR)으로 분류하고 이중 식물체의 광합성에 이용되어 가장 흡수가 많은 가시광영역의 파장분포와 반사율이 큰 근적외광 파장들의 시기별 분포특성을 분석하였다. 벼 군락밀도의 정도를 표현하기 위하여 태양광의 반사율을 각 파장별로 조합한 식생지수(vegetation index)중 파장의 비율로 구하는 식생지수(ratio vegetation index ; RVI)를 이용하였다. 건물생산량의 추정은 건물생산량($g \cdot m^{-2}$)과의 상호관계를 상관분석을 통하여 가장 상관성이 높은 파장반사율 비율(식생지수)을 찾아내고 단순회귀 분석한 후 건물생산량의 추정식을 만들어 실시하였다.

Table 1. Wavelength of satellite : Landsat (USA)

Sensor	Spectral channel	Resolution	Wavelength (nm)
MSS	4	80×80m	500~ 600
	5		600~ 700
	6		700~ 800
	7		800~ 1,100
TM	1	30×30m	450~ 520
	2		520~ 600
	3		630~ 690
	4		760~ 900
	5		1,550~ 1,750
	6		10,400~12,500
	7		2,080~ 2,350

TM, MSS band는 미국의 인공위성 Landsat에 부착된 측정장비인 Thematic Mapper(TM), Multispectral Scanner Sensor(MSS)의 파장대로서 파장범위는 표 1과 같으며 본 실험에서는 LI-1800으로 각 파장을 측정하여 TM과 MSS에 해당하는 파장역과 식생지수를 비교 분석하였다.

건물중은 품종별로 3주씩 채취하여 건조기를 이용하여 80℃에서 72시간 건조시킨 후 칭량하여 품종별로 평균하였다.

결과 및 고찰

3품종의 생육기간(이앙~수확기)은 조생종인 진부벼는 약 118일, 중만생종인 대청벼와 일품벼는 약 140일 정도 경과되었으며, 실험이 수행된 1993년의 냉해로 인하여 생육기간이 대청벼와 일품벼는 평년보다 약 10일 정도 길어졌다. 시기별 건물생산량은 변화를 보면 그림 1과 같으며, 이앙 후 30일까지는 품종간에 건물중 차이는 크지 않았으나 그 이후 진부벼는 대청벼나 일품벼보다 건물중이 급격히 증가하였다. 대청벼와 일품벼의 건물중 변화는 전반적으로 비슷하였으며, 진부벼보다 생육기간이 길어 수확기까지의 대청벼, 일품벼 및 진부벼의 총 건물생산량은 각각 1531.0, 1369.3, 1225.7 $g \cdot m^{-2}$ 이었다.

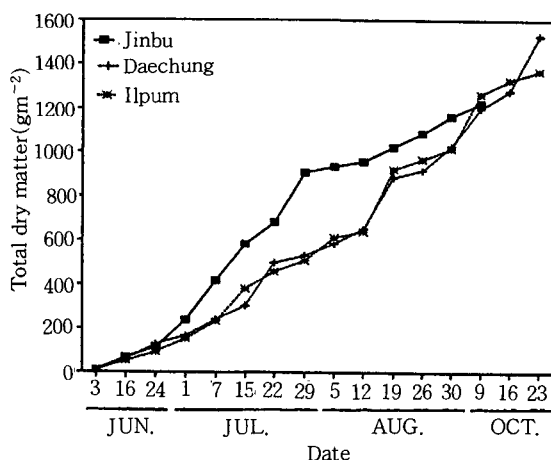


Fig. 1. Seasonal changes in total dry matter of three rice varieties.

Table 2. Relationships between total dry matter and spectral reflectance ratio measured from transplanting to heading stage for three rice varieties

Reflectance ratio	Correlation coefficient			Standard error of coefficient			
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu	
A	R500/R400	0.626*	0.144	0.576	161.1	280.1	67.3
	R600/R400	0.742**	0.389	0.614	48.8	100.9	25.9
	R700/R400	0.759**	0.447	0.627	27.8	55.8	15.5
	R500/R450	0.645*	0.381	0.253	650.4	1310.2	936.1
	R600/R450	0.775**	0.718*	0.755*	125.8	172.8	185.3
	R700/R450	0.792**	0.747**	0.793*	66.8	85.8	85.2
	R600/R500	0.691*	0.388	0.578	271.3	198.5	156.2
	R700/R500	0.592	0.326	0.543	215.0	167.5	144.6
	R600/R550	0.678*	0.478	0.751	199.8	147.3	210.1
	R700/R550	0.566	0.567	0.684	87.2	54.9	49.8
	R700/R600	0.463	0.667*	0.594	174.9	161.4	150.2
	R700/R650	0.532	0.465	0.661	31.7	45.1	32.2
	B	R 800/R750	0.847**	0.804**	0.919**	2074.9	1672.2
R 900/R750		0.788**	0.878**	0.758*	1469.3	779.6	1157.9
R1000/R750		0.828**	0.810**	0.871**	726.8	556.8	528.8
R1100/R750		0.758**	0.852**	0.837*	961.0	572.2	509.9
R 900/R800		0.452	0.837**	0.516	3920.2	1979.0	2632.9
R1000/R800		0.734*	0.813**	0.806*	1259.2	935.5	884.4
R1100/R800		0.622*	0.752**	0.766*	1781.7	1094.7	812.1
R1000/R900		0.676*	0.605*	0.832*	1638.6	1421.9	1140.7
R1100/R900		0.513	0.563	0.839*	2521.2	1942.3	968.3
R1100/R1000		0.568	0.375	0.118	2785.4	2370.4	3019.6
C	R400/R750	0.680*	0.632*	0.725	2610.7	2330.1	2093.1
	R500/R750	0.706*	0.675*	0.693	1835.3	1761.5	1797.9
	R600/R750	0.706*	0.655*	0.711	1131.8	1145.1	1206.5
	R650/R750	0.668*	0.641*	0.680	1205.0	1205.6	1329.3
	R400/R850	0.694*	0.642*	0.734	2851.5	2428.8	2231.8
	R500/R850	0.724*	0.683*	0.709	1971.7	1822.7	1893.8
	R600/R850	0.731*	0.669*	0.733	1198.2	1162.6	1245.6
	R650/R850	0.684*	0.653*	0.695	1162.6	1245.6	1405.9
	R400/R950	0.663*	0.620*	0.748	2229.2	1308.6	1253.9
	R500/R950	0.689*	0.645*	0.735	1618.1	1647.4	1345.5
R600/R950	0.689*	0.639*	0.767*	1234.7	1545.1	1210.6	
R650/R950	0.653	0.619*	0.720	1013.6	831.3	926.2	
D	R 800/R400	0.912**	0.692*	0.733	1.577	3.904	1.570
	R 850/R400	0.918**	0.697*	0.737	1.493	3.819	1.563
	R 900/R400	0.926**	0.707*	0.746*	1.463	3.788	1.565
	R 950/R400	0.924**	0.735*	0.760	1.615	3.837	1.637
	R1000/R400	0.926**	0.707*	0.752	1.506	3.913	1.655
	R 910/R460	0.924**	0.926**	0.971**	3.052	3.195	2.466
	R 800/R500	0.898**	0.926**	0.934**	4.972	4.328	4.639
	R 850/R500	0.905**	0.928**	0.938**	4.702	4.148	4.478
R 900/R500	0.901**	0.933**	0.948**	4.822	3.995	4.081	
D	R 950/R500	0.894**	0.939**	0.958**	5.354	3.855	3.710
	R1000/R500	0.903**	0.927**	0.955**	4.865	4.242	3.904
	R 800/R550	0.898**	0.837**	0.933**	29.06	32.80	26.77
	R 850/R550	0.855**	0.846**	0.938**	26.55	31.11	25.58
	R 900/R550	0.903**	0.854**	0.946**	27.48	29.51	22.98
	R 950/R550	0.887**	0.864**	0.948**	30.52	27.18	21.01
	R1000/R550	0.906**	0.851**	0.949**	26.35	29.09	21.39
	R 800/R600	0.881**	0.822**	0.913**	14.04	15.88	13.56
	R 850/R600	0.892**	0.829**	0.918**	13.13	15.25	13.12
	R 900/R600	0.886**	0.839**	0.875**	13.49	14.72	11.92
	R 950/R600	0.877**	0.854**	0.941**	14.84	14.06	10.77
	R1000/R600	0.797**	0.825**	0.887**	567.14	491.40	560.26
	R 800/R650	0.876**	0.870**	0.928**	6.58	6.55	5.84
	R 850/R650	0.884**	0.874**	0.931**	6.26	6.32	5.69
	R 900/R650	0.879**	0.881**	0.940**	6.42	6.14	5.26
	R 950/R650	0.876**	0.891**	0.950**	7.03	6.01	4.86
	R1000/R650	0.884**	0.881**	0.948**	6.47	6.32	5.09

*, ** Significant at P=.05, .01 respectively

A : Combination of visible wavelength, B : Combination of near infrared wavelength, C : Combination of visible and near infrared wavelength, D : Combination of near infrared and visible wavelength

출수전까지 태양광의 반사특성을 이용하여 400~1,100nm까지 각각의 파장들의 반사율을 50nm 혹은 100nm 간격으로 서로 나누어 엽면적지수와 의 관계를 상관 분석한 결과 출수전까지의 시기별 건물 생산량의 변화와 각 파장반사율 비율과의 상관관계는 표 2와 같으며, 가시광파장들을 청색파장인 400, 450nm의 반사율로 나눈 조합(A)에서는 R600/R400, R700/R400에서 처럼 상관계수가 품종에 따라 약간의 차이가 있었다. R500/R450은 회귀계수의 표준오차가 3품종 모두 가장 컸고, 녹색파장의 550nm의 반사율을 분모로 한 조합과 적색파장 600, 650nm의 조합에서도 대체로 건물 생산량과의 상관관계는 유의성이 없었으며 회귀계수의 표준오차가 큰 것으로 나타났다.

근적외광의 파장비율조합(B)과 가시광파장을 근적외광 파장으로 나눈 조합(C)도 상관관계가 품종마다 균일하지 못하고 커다란 오차를 나타냈으며, 특히 R900/R800의 비율이 상관계수 $r=0.45, 0.85^{**}, 0.51$ 로 품종간의 차이가 있었다. 근적외광 파장을 가시광파장으로 나눈 조합(D)에서는 대체로 높은 상관을 보였고, 400, 500nm의 청색파장을 분모로 한 것이 녹색이나 적색 파장보

다 높은 상관과 작은 오차를 나타냈으며, 청색파장의 400nm와 500nm에서 500nm를 분모로 한 조합이 상관이 높았지만 400nm보다 오차가 컸다. 이러한 파장에 따른 표준오차의 크기의 청색<적색<녹색의 순으로 나타났다. 이와 같이 건물생산량과 근적외광의 반사율을 가시광 파장대중 청색파장의 반사율로 나눈 조합이 높은 상관을 보였고, 다시 청색 파장대와 근적외광 파장대를 10nm 간격으로 하여 조합한 결과 R910/R460의 비율이 건물생산량과의 상관계수 (r)가 0.92^{**} 이상이였다.

출수 이전에 기존의 몇 가지 식생지수와 건물중과의 상관관계는 표 3과 같다. 건물생산량과의 상관이 가장 높았던 R910/R460 비율과 Shibayama & Munakata¹⁰⁾의 R800/R550 비율 및 Yamamoto et al.¹³⁾의 R850/R650의 비율을 비교한 결과 R910/R460의 청색파장으로 나눈 비율이 가장 높았으며, R850/R650의 분모가 적색파장인 비율이 그 다음으로 높았다. 또한 근적외광 파장의 반사율을 청색파장의 반사율을 분모로 하여 나눈 NIR/Blue와 R910/R460비율에서도 R910/R460이 더 높은 상관을 보였다.

Landsat의 TM band와 MSS band를 이용한

Table 3. Relationships between total dry matter and vegetation index from transplanting to heading stage

Vegetation index	Correlation coefficient			Standard error of coefficient		
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu
NIR /Blue	0.887**	0.914**	0.957**	3.6	3.3	2.6
NIR /Green	0.897**	0.843**	0.945**	19.6	22.1	16.5
NIR /Red	0.882**	0.870**	0.933**	8.6	8.7	7.6
R850/R650	0.884**	0.875**	0.931**	6.3	6.3	5.7
R800/R550	0.898**	0.837**	0.933**	29.1	32.8	26.8
R910/R460	0.924**	0.926**	0.971**	3.1	3.2	2.5
R950-R550	0.835**	0.848**	0.920**	554.0	558.8	442.0
R1050-R550	0.843**	0.864**	0.917**	478.8	439.9	446.4
ND7	0.693*	0.658*	0.736*	1702.9	1605.5	1745.2
NVI	0.682*	0.658*	0.697*	1520.2	1496.0	1640.7
MSS7 /4	0.899**	0.853**	0.948**	3.2	3.2	2.7
MSS7 /5	0.884**	0.868**	0.937**	6.0	6.7	5.0
TM4 /1	0.909**	0.900**	0.943**	2.8	3.0	2.7
TM4 /3	0.886**	0.819**	0.928**	2.8	3.9	2.7

*, ** : Significant at $P = .05, .01$ respectively

ND7 : $(MSS7 - MSS5) / (MSS7 + MSS5)$, NVI : $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$

Blue : 400~500nm, Green : 500~600nm, Red : 600~700nm, NIR : 720~1,100nm.

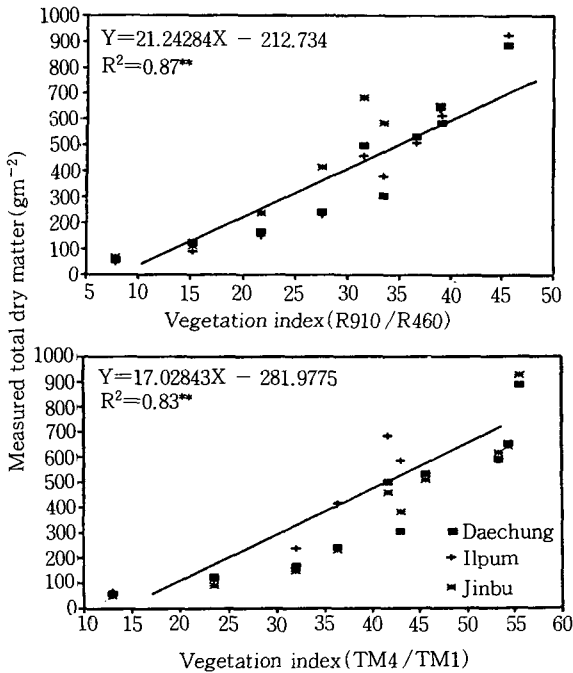


Fig. 2. Relationships between vegetation index(R910/R460, TM4/TM1) and total dry matter in rice canopy.

조합에서 Yang¹⁴⁾은 TM4/TM3의 조합이 건물량과의 상관성이 높다고 보고하였으며, 이들 기존의 보고된 각각의 지수들(vegetation indices)을 비교한 결과 적색파장을 포함하는 TM3와 MSS5를 분모로 한 것보다 청색파장대인 TM1과 MSS4를 분모로 한 비율이 건물생산량과 더욱 높은 상관을 보였으며 회귀계수가 표준오차도 작았다. 이처럼 분모를 청색파장 중 R460으로 한 R910/R460비율이 건물생산량과의 상관관계가 높은 경향이였다.

Landsat 위성 TM band를 이용한 파장조합의 식생지수와 R910/R460의 식생지수를 건물중과의 관계를 보면 그림 2와 같다. R910/R460의 식생지수가 15정도일 때 건물중은 50gm⁻²정도이었고, 식생지수가 45정도일 때 건물중은 800gm⁻² 정도 되는 것으로 식생지수가 1 증가함에 따라 건물중은 21.2gm⁻²정도 증가되는 경향이였다.

TM4/TM1의 식생지수가 1 증가함에 따라 17gm⁻² 정도의 건물중이 증가되어 R910/R460

식생지수보다 건물중의 증가율은 낮았으며, R910/R460과 TM4/TM1 식생지수와 실측된 건물중과의 결정계수는 각각 R²=0.93**과 R²=0.91**이었다. 그림 3은 건물생산량의 실측치와 추정치의 관계를 본 것으로 R910/R460, TM4/TM1 각각 결정계수가 R²=0.90**, R²=0.87**로 R910/R460이 더 높은 상관을 나타내었다.

출수기 이후에 기존의 식생지수와 건물중과의 관계를 보면 표 4와 같으며, 각 파장대를 적색 파장으로 나눈 조합이 청색파장보다 상관계수가 높았고, 회귀계수가 표준오차도 작아지는 경향이였다. 본 실험의 결과로 건물생산량 추정을 위한 비율을 이용한 식생지수는 근적외광 파장을 청색파장으로 나눈 것이 더욱더 유효하고 그 정확도가 높은 것으로 판단되며, 출수 이후엔 적색파장을 분모로 하는 것이 더 좋을 것으로 생각된다. 또한 이것을 더욱 발전시키기 위하여 태양광의 반사특성에 관한 심도 깊은 연구가 이루어져야 할 것이다.

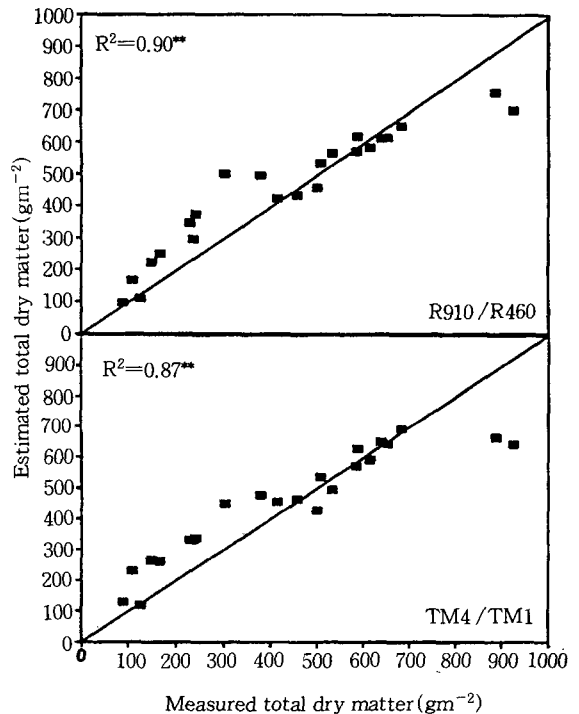


Fig. 3. Relationships between total dry matter estimated by vegetation index and measured one in rice canopy.

Table 4. Relationships between total dry matter and vegetation index from heading to maturing stage

Vegetation index	Correlation coefficient			Standard error of coefficient		
	Daechung	Ilpum	Jinbu	Daechung	Ilpum	Jinbu
NIR /Blue	0.582	0.780**	0.890**	20.0	10.5	2.7
NIR /Green	0.791**	0.879**	0.958**	65.9	29.1	8.9
NIR /Red	0.927**	0.978**	0.927**	14.4	5.4	3.4
R850 /R650	0.907**	0.991**	0.931**	9.8	2.3	2.4
R800 /R550	0.917**	0.922**	0.924**	51.0	29.7	10.5
R910 /R460	0.750**	0.838**	0.919**	16.4	9.5	2.3
R950-R550	0.417*	0.120*	0.785*	1386.1	2160.7	490.5
R1050-R550	0.426*	0.151*	0.864*	1201.6	1946.5	7.2
ND7	0.944**	0.957**	0.966**	3189.0	1752.0	528.1
NVI	0.956**	0.974**	0.967**	2269.7	1168.7	440.9
MSS7 /4	0.742**	0.865**	0.904**	6.1	0.0	1.3
MSS7 /5	0.914**	0.967**	0.919**	22.9	1.3	2.8
TM4 /1	0.818**	0.897**	0.889**	9.9	4.8	1.8
TM4 /3	0.925**	0.991**	0.921**	4.0	1.0	1.2

*, ** : Significant at P =.05, .01 respectively

ND7 : (MSS7 - MSS5) / (MSS7 + MSS5), NVI : (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)

Blue : 400~500nm, Green : 500~600nm, Red : 660~700nm, NIR : 720~1,100nm.

적 요

벼 군락에서 건물생산량을 태양광의 반사스펙트럼 특성을 이용하여 추정하고자 1993년 4월부터 10월까지 경기도 소재 수원기상대 구내 포장에서 조생종 진부벼와 중만생종 대청벼, 일품벼를 공시 품종으로 하고 생육시기별 태양광 반사스펙트럼과 건물중을 조사한 결과 다음과 같다.

1. 출수전에 근적외광 파장대(720~1,100nm)의 반사율을 가시광 파장대(400~700nm)의 반사율로 나눈 비율이 건물생산량과 상관이 높았으며, 가시광 파장대 중에서도 녹색, 적색파장보다 청색파장(400~500nm)의 반사율로 나눈 비율이 건물생산량과의 상관이 높았다.
2. 적외광 파장의 반사율을 청색파장의 반사율로 나눈 비율 중에서 특히 R910 /R460 비율이 건물생산량과 가장 높은 정의 상관을 보였다.
3. 출수이전에 R910 /R460 비율과 건물생산과

의 회귀식을 이용한 추정식 $Y=21.24284 X - 212.734$ 는 실측치와의 상관관계는 매우 높았다.

4. 출수이후엔 근적외광 파장(720~1,100nm)의 반사율을 적색파장(600~700nm)의 반사율로 나눈 비율이 청색이나 녹색파장의 반사율로 나눈 비율보다 건물생산량과의 상관이 더 높았다.

LITERATURE CITED

1. Daughtry C.S, Bauer M.E, Crececius D.W and Hixson M.M. 1980. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies. Agron. J. 72(6):1055-1060.
2. Gates D.M, Keegan H.J, Schleiter J.C and Weidner V.R. 1965. Spectral properties of plants. Applied Optics. 4:11-22.
3. _____, 1970. Physical and physiological properties of plants. "Remote Sensing wi-

- th Special Reference to Agriculture and Forestry" National Academy of Science, Washington D.C. pp. 224-252.
4. Inoue Y. and Iwasaki K. 1991. Spectral estimation of radiation absorptance and leaf area index in corn canopy architecture and growth stage. Japan. J. Crop Sci. 60(4):578-580.
 5. Jung W.K. 1993. Identifying the ground vegetation by statistical analysis of remotely sensed data. Thesis. Kyunghee University.
 6. Landgrebe D.A. 1978. Remote Sensing—The quantitative approach. The National Academy of Sciences, Republic of Korea, 1980. pp. 1-26.
 7. Pearson R.L, Miller L.D and Tucker C.J. 1976. Handheld spectral radiation to estimate gramineous biomass. Appl. Optics, 15:416-418.
 8. Rouse Jr.J.W, Hass R.H, Schell J.A and Deering D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symp. 1:309-317.
 9. Shibayama M and Munakata K. 1986. A spectroradiometer for field(II). Biomass estimates for paddy rice using 1,100 and 1,200 reflectance. Japan. J. Crop. Sci. 55 (1):28-34.
 10. _____ and _____. 1986. A spectroradiometer for field(III). A comparison of some vegetation indices for predicting luxuriant paddy rice biomass. Japan J. Crop Sci. 55:47-52.
 11. Tucker C.J. 1977. Spectral estimation of grass canopy variables. Remote Sensing Environ. 6:11-26.
 12. Wiegand C.L, Richardson A.J and Kanesmasu E.T. 1979. Leaf area index estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop modeling. Agron. J. 71(2):336-342.
 13. Yamamoto H, Honjo H and Wakiyama Y. 1990. Evaluation of leaf area index and biomass of soybean canopies using spectral reflectivity. J. Agr. Met. 46(1):19-22.
 14. Yang Y.K. 1985. Correlation of rice grain yield to radiometric estimates of canopy biomass as a function of growth stage. J. of Korean Society of Remote Sensing. Vol. 1:163-187.