

RS기법을 이용한 벼의 생육단계별 식생반사특성

○신용희* · 박중화** · 박민서***

1. 서론

급속한 산업의 발달과 공업화의 진행은 대류권내의 이산화탄소 농도를 증가시켜 이상기온과 온난화현상의 원인이 되고 있으며 국지성 가뭄과 홍수뿐만 아니라 엘니뇨나 라니냐와 같은 기상이변을 일으키고 있다. 이러한 기후변화는 농작물의 성장환경에 커다란 영향을 미치며 생산량 및 품질저하의 원인이 되기도 한다. 따라서 지구의 환경변화가 농업생태계에 미치는 영향을 평가하고 이에 대한 대책을 마련하여 대비해가야 될 것이다. 이와 관련하여 자원을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 방법으로 원격탐사(Remote Sensing 이후 RS)기법을 이용한 기술과 활용방법이 유효할 것이다.

농작물의 생육단계별 분광반사특성을 정확하게 측정하여 그 특성을 파악해 둔다면 작물의 생태학적 특성과 생육량, 병충해의 유무, 한발에 의한 물 스트레스 정도, 홍수에 의한 침수피해 상황 등을 지구관측위성에서 취득한 ground truth 데이터분석을 통해 보다 쉽게 파악할 수 있을 것이다¹⁾²⁾⁴⁾⁵⁾.

따라서 본 연구에서는 휴대용 분광복사계(Spectroradiometer)를 이용하여 벼의 생육단계별 분광반사특성을 파악하여 제시하고자 한다.

2. 실험방법 및 개요

1) 분광반사 측정

벼의 생육단계별 분광반사측정은 이앙기부터 분얼기, 유수형성기, 수잉기, 출수기, 수확기까지 휴대용 분광복사계(Li-1800, Li Cor Inc.; 측정파역: 300-1100nm, 측정간격: 2nm)를 이용하여 구름이 없는 날 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다. 또한 계절 및 시간대에 따라 변하는 태양복사에너지의 측정 오차를 최소화하기 위해 반사율 개념을 도입하였다.

먼저 벼에서 반사되는 전자파에너지를 그림 1과 같이 벼의 초장 끝으로부터 약 50cm 떨어진 위치에 Telescope/Microscope을 고정시키고 광케이블로 연결된 휴대용 분광복사계를 통해 측정한 다음 반사율이 99%에 달하는 표준백색판(target)을 같은 위치에 놓아 표준백색판으로부터 반사되는 태양복사에너지를 측정하여 식(1)과 같이 반사율을 계산하였다¹⁾²⁾.



그림 1 논에서의 분광반사율 측정

$$R(\lambda) = \frac{I_o(\lambda)}{I_T(\lambda)} \quad (1)$$

여기서, $I_o(\lambda)$ 는 대상물질로부터 반사되는 전자파에너지, $I_T(\lambda)$ 는 표준백색판으로부터 반사되는 전자파에너지이다.

* 한국수자원공사 수자원연구소 인턴연구원

** 충북대학교 농공학과 교수

*** 충북대학교 농공학과 석사과정

2) 조사대상

벼의 생육단계별 분광반사특성을 알아보기 위한 조사는 충북 청주시 흥덕구 개신동 충북대학교내에 위치한 30m×78m의 논 포장에서 실시하였다. 실험포장의 토양은 입도분석하여 삼각분류법으로 분류한 결과 표 1과 같이 Sandy loam으로 나타났다. 실험포장에 이앙된 벼의 품종은 중생종 진품벼로 2002년 5월 22일에 평균 13cm×30cm의 재식간격으로 이앙되어 2002년 10월 9일에 수확되었다.

분광반사율의 측정은 그림 2와 같이 성장단계에 따라 생육기별로 구름이 없는 맑은 날을 선정하여 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다.

표 1 논 토양의 자연함수비와 입도분포

Sample	분 류	함수비(%)	모래(%)	실트(%)	점토(%)
논 토양	Sandy loam	26.30	77.65	15.27	7.08

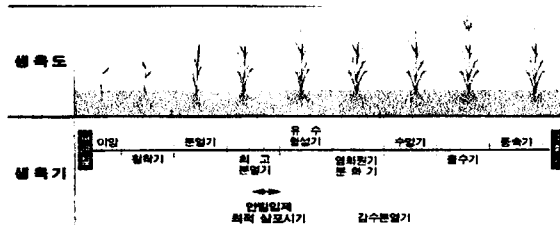


그림 2 벼의 생육도와 생육기와의 관계

3. 실험결과 및 고찰

1) 생육단계에 따른 벼의 분광반사특성

벼가 포장에 이앙되어 추수되기까지 측정된 분광반사율은 그림 3과 같이 성장단계 및 파장대별로 각기 다른 반사특성을 나타낸다. 포장에 옮겨 심은 이앙초기(5월 22일) 어린 벼의 반사율곡선은 일반적인 식생의 분광반사특성보다는 토양, 물, 어린 벼의 분광반사특성이 혼재된 형태로 나타난다. 벼가 점점 성장하여 영양생장기(6월 26일)가 되면 토양과 물의 특성은 크게 나타나지 않고 일반적인 녹색 식물의 분광반사특성을 나타낸다. 6월 26일부터 8월 20일까지의 분광반사율 특성을 살펴보면 가시광선 영역의 변화는 크지 않으나 근적외선파장영역에서는 시간이 경과할수록 반사율이 증가한다. 이것은 벼의 잎과 줄기에 발달한 근섬유조직의 성장과 발달에 기인한 영향으로 사료된다. 8월 20일부터 10월 9일 벼를 수확하기까지는 가시광선영역에서 반사율이 높아지는데 이는 벼 잎의 Chlorophyll 농도가 낮아지면서 빛에너지의 흡수가 줄어 상대적으로 반사율이 증가하기 때문으로 판단된다.

벼가 광합성작용을 가장 활발하게 하는 성장단계를 찾기 위해 Chlorophyll의 흡수에 가장 영향을 받는 녹색파장 G550nm와 적색파장 R670nm의 두 파장대를 선정하여 각 파장의 반사율 비(G550/R670)로 나타내면 그림 4와 같다. 벼의 광합성작용은 이앙 후부터 점점 증가하여 수잉기(7월 20일)에 최고점에 달하며 그 이후는 점진적으로 감소하는 특징을 보인다. 특히, 초기 성장기에는 광합성작용이 매우 활발하다는 것을 보여주며 일정 초장으로 성장한 후에는 광합성작용에 의한 영향이 점진적으로 줄어드는 것을 알 수 있다.

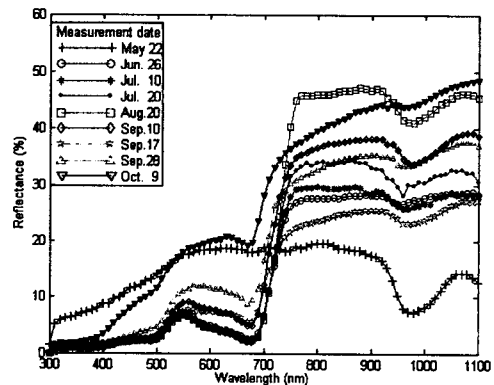


그림 3 벼 성장기간 동안의 반사율곡선 변화

벼가 성장하면서 나타내는 분광반사특성의 이력(Hysteresis)을 알아보기 위하여 가시광선 파장영역의 적색 650nm와 근적외선 파장영역의 850nm를 선정하여 이앙시기부터 추수기까지 성장단계별 관계를 나타내면 그림 5와 같다. 벼의 경우 이앙기에는 토양과 물이 갖는 특징을 보이며 토양선(soil line) 부근에 위치하나 벼가 점점 성장함에 따라 초장이 토양을 덮어 토양에 의한 반사율의 영향이 줄어들고 벼의 잎과 줄기의 특성이 반영되면서 R자형 이력곡선(Hysteresis loop)을 형성한다. 가시광선 영역에서는 녹색식물이 갖는 광합성작용과 잎의 chlorophyll작용에 의한 청색과 적색영역의 광 흡수 및 카로틴과 크산토피에 의한 청색영역의 광 흡수작용 등에 의해 적색파장의 반사율이 낮아졌다가 증가하는 이력을 보이며 변화한다. 근적외선 파장영역에서는 초장의 근섬유조직이 반사율에 영향을 주어 이력곡선을 형성하게 된다. 만약 벼를 수확한 후 논을 경운한다면 논토양의 영향이 반영되어 벼의 이력곡선은 처음 이앙할 때와 같이 토양선 부근 점에 위치할 것이므로 B자형 루프를 형성할 것이다.

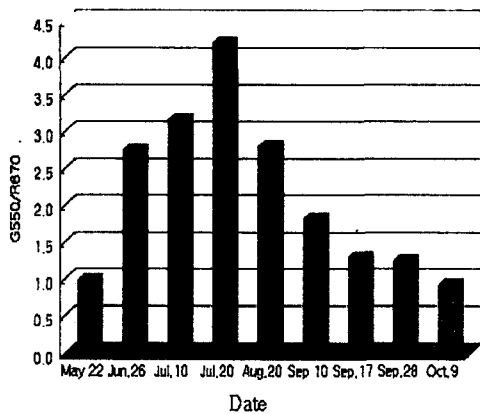


그림 4 벼의 성장단계별 광합성 활성도

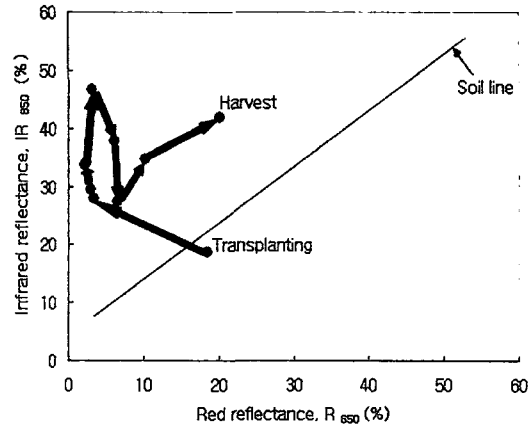


그림 5 벼 성장과정에 따른 분광반사율의 이력곡선

2) 생육단계별 벼의 식생지수 변화특성

식생지수(vegetation indexes, VI)는 식물의 분포정도, 계절적 변화, 식생의 생리적 특성을 나타내는 지표로 다양한 형태로 개발되어 현재 약 50여종이 제시되고 있다. 이 중 대표적인 반사특성을 보이는 파장대를 선정하여 이들 파장대의 조합으로 만들어지는 5가지 식생지수(NDVI, RVI, ARVI, SAVI, MSAVI2)를 계산하여 벼의 생육단계별로 정리하여 나타내면 표 2와 같다³⁾. 이들 식생지수중 생육단계별로 변화특성이 명확한 RVI의 변화를 도시하면 그림 6과 같다.

표 2 벼의 생육기간 동안의 식생지수

Date	NDVI	RVI	ARVI	SAVI	MSAVI2
May 22	0.01	1.02	2.04	0.01	0.52
June 26	0.78	8.12	0.84	1.15	1.37
July 10	0.81	9.70	0.87	1.20	1.4
July 20	0.86	13.42	0.90	1.27	1.42
Aug. 20	0.87	14.87	0.91	1.30	1.43
Sep. 10	0.72	6.1	0.89	1.07	1.33
Sep. 17	0.58	3.77	0.84	0.86	1.23
Sep. 28	0.54	3.37	0.83	0.80	1.20
Oct. 09	0.35	2.07	0.68	0.52	1.01

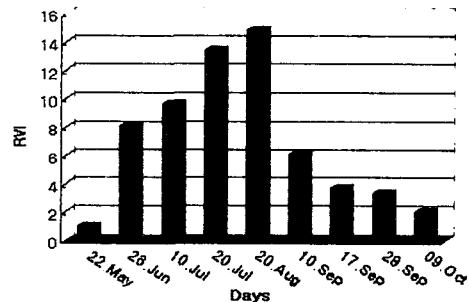


그림 6 벼 생육기간동안의 식생지수(RVI)의 변화

모든 식생지수에서 8월 20일의 값이 가장 크게 나타났는데 이는 그림 3의 분광반사율곡선에 나타

난 결과를 잘 표현해 준 것으로 벼 잎의 Chlorophyll 농도가 증가하여 가시광파장대에서의 태양복사에 너지의 흡수가 활발하여 반사율이 낮아지는 시기에 해당된다. 또한 식생지수가 높게 나타난 7월 20일은 벼 잎의 Chlorophyll 농도의 증가로 빛에너지의 흡수가 활발하게 이루어지는 시기이므로 반사율은 낮아지는 시기에 해당된다. 다른 성장단계에 있어서도 식생지수에 나타난 결과들은 전술한 벼의 분광 반사특성에서 보이는 결과를 잘 표현해주고 있으므로 벼의 생육단계별 식생정보 파악에 유용한 자료로 해석된다.

4. 결 론

RS기법을 이용 휴대용 분광복사계를 사용하여 벼의 생육단계별 분광반사특성을 조사한 결과 다음과 같은 점들이 파악되었다.

- 1) 벼의 생육단계별 분광반사특성은 수잉기(7월 20일) 전까지 광합성에 의한 Chlorophyll의 증가로 인해 430nm~450nm와 650nm~660nm의 파장대에서 반사율이 점점 낮아지며, 근적외선 파장대인 700nm~1100nm의 파장대에서는 근섬유조직의 발달에 의해 수잉기까지 반사율이 높아지나 이후 벼 알곡에 의한 전자파에너지의 흡수로 유숙기까지 낮아지다가 완전히 익으면 추수 전까지 다시 높아지는 경향을 보인다.
- 2) 본 실험에서 얻어낸 벼에 대한 생육단계별 분광반사특성 자료를 이미 개발되어 사용되고 있는 대표적인 식생지수 계산식에 적용하여 검토한 결과 각각의 식생지수들은 벼의 성장단계별 생육특성을 잘 표현해 주었다.
- 3) 논에서의 광합성 작용이 가장 활발한 벼의 성장단계를 알아보기 위해 Chlorophyll의 흡수에 가장 영향을 받는 녹색파장 G550nm와 적색파장 R670nm의 두 파장대를 선정하여 그 파장대의 분광반사율 비(G550/R670)를 구한 결과 광합성의 활성도는 이양후 수잉기까지 점점 증가하고 수잉기를 최고점으로 하여 다시 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 벼의 분광반사특성에 의한 성장과정을 이력곡선(Hysteresis loop)으로 나타낸 결과 벼의 R자형 이력곡선을 형성하였다. 추수후의 토양조건을 반영하면 벼의 이력곡선은 B자형 이력곡선을 형성하는 것이 파악되었다.

참고문헌

- 1) 박종화 · 신용희 · 이상혁, 2003, 원격탐사(RS)기법을 이용한 충북지역 5개 토양과 갯벌토양의 분광반사특성, 환경복원논화, 6(1), pp.34-40.
- 2) 박종화 · 이상혁 · 신용희 · 전택기, 2002, 분광반사율에 의한 콩잎의 식생피복률 추정, 한국관개배수, 9(1), pp.29-37.
- 3) 신용희, 2003, Remote Sensing기법을 이용한 작물의 생육단계별 식생반사특성, 충북대학교 대학원 석사논문
- 4) 장세진 · 서애숙 · 김판기 · 윤진일, 2000, 스펙트로레디오메터를 이용한 벼 성장시기의 분광반사특성 변화 분석, 한국지리정보학회지, 3(3), pp. 12-19.
- 5) 이정택 · 이춘우 · 주문갑 · 홍석영, 1997a, 태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정, 한국작물학회지, 42(2), pp. 173-181.
- 6) Derek R. Peddle외 3인, 2001, Reflectance processing of remote sensing, Computers & Geoscience, Vol.27 No.2, pp.203-213.