Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.530>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Analysis of Spectral Reflectance Characteristics of Forage Crops

Sang-Il Na, Chan-Won Park, Kyu-Ho So, Ho-Yong Ahn, and Kyung-Do Lee*

Climate Change and Agro-Ecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: kdlee11@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 2, 2018

Revised: December 5, 2018

Accepted: December 5, 2018

The objective of this study was to investigate the basic relationships between spectral reflectance and growing period of forage crops. Ground-level spectral reflectance was collected in the field experiment containing plots of rye, whole-crop barley and Italian-ryegrass (IRG). We observed that spectral reflectance increases with SSC, first at the visible range, then in the red-edge range, and finally, in the near-infrared range; a characteristic maximum reflectance variation appears at 730-760 nm. The first derivative of reflectance spectra showed several peaks that were dependent in different degrees on chlorophyll concentration in the forage crops. Experimental data recorded on forage crops during the growing season are in good agreement with previous theoretical results.

Keywords: Spectral reflectance characteristic, Forage crops, Rye, Whole-crop barley, IRG

(a) Spectral reflectance

(b) first derivative

Spectral reflectance and first derivative of forage crops.

Introduction

첨단 기술의 발달로 인하여 인공위성, 유무인 항공기 등을 이용한 원격탐사 기술과 이를 통해 수집한 데이터를 이 용목적에 따라 가공하는 영상처리 기술은 비약적으로 진화하고 있다. 특히, 농업분야에서는 농업환경 관측 및 모니터링을 시작으로 작물 구분도 제작, 작물 생육이상 판별, 시계열 정보 생산을 통한 작황 추정 모형 구축 등에서 많은 연구가 진행되고 있다.

작물의 생육특성 파악을 위한 원격탐사 자료획득의 최적기를 선정하기 위해서는 각 작물의 시기별 생육주기에 대한 정확한 정보가 무엇보다 필요하다 (Jensen, 2000). 일정 지역에 대한 작물을 구분하거나 바이오매스, 엽록소 함량 등 생·물리적 특성 정보를 추출하는데 원격탐사 자료획득 시기와 식생정보 추출방법은 매우 중요하기 때문이다. 또한, 지표면의 식생조건에 따른 작물의 반사 특성은 그 작물의 잎과 엽층 구성에 따른 피복도, 바이오매스, 토양수분 및 지표면 토양 특성과 피복형태에 따라 좌우되며, 농경지에 다양하게 분포되어 있는 식생조건은 작물의 반사특성에 반영되어 작물 고유의 분광반사특성을 나타낸다. 작물에 대한 분광반사율은 휴대용 분광복사계 등을 이용하여 현장에서 측정할 수 있으며, 이렇게 수집된 자료는 태양광의 파장대별 반사 특성을 수치화한 자료로서 원격탐사 자료를 효율적으로 분석하고 해석하는데 중요한 자료로 사용된다. 따라서 정확한 작황 모니터링을 위해서는 작물별 분광반사특성에 대한 이해가 선행되어야 한다.

다양한 작물에 대한 분광반사특성은 이미 많은 연구자들에 의하여 규명되어 왔다. Hong et al. (1998)은 벼를 대상으로 군락의 생육단계에 따른 분광반사특성을 규명하였으며, Park and Na (2005)는 콩, 담배, 수박, 파, 토란, 무, 고추, 참외 등 8가지의 밭작물을 대상으로 분광반사율을 조사하였다. 또한, Na et al. (2016)은 보리와 밀의 5 품종을 대상으로 맥류의 시계열 분광반사율을 측정하고 도함수를 이용하여 각 품종에 따른 스펙트럼 기울기를 추정하였다. 본 연구에서는 사료작물의 작황 분석에 원격탐사 기술의 적용을 위한 기초연구로 분광복사계를 이용하여 우리나라의 대표적인 사료작물인 호밀, 청보리 및 이탈리아인 라이그라스 (Italian-ryegrass; IRG)를 대상으로 현장에서 측정한 분광반사율을 이용하여 생육단계별 분광반사특성을 파악하고자 하였다.

Materials and Methods

대상작물 및 시험포장 대상작물의 생육단계별 현장 분광반사율 측정은 전북 완주군 이서면에 위치한 국립식량과학원 내 맥류 작황 시험포장과 충남 논산시 부적면의 IRG 재배단지에서 수행하였다 (Fig. 1). 또한, 대상작물 및 품종은 호밀 (금강), 청보리 (영양), IRG (코원어리)를 선정하였으며, 작물별 재배법은 반 건답 조건에서 표준 재배법에 준하여 재배하였다.

현장 분광반사율 측정 분광반사율 측정은 휴대용 분광복사계 (FieldSpec Pro, ASD Inc)를 이용하여 태양고도의 변화가 비교적 적은 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다. 측정방법은 백색표준판을 이용하여 분광복사계 보정을 실시한 후 작물의 초장 끝에서 약 50 cm 떨어진 위치에 Telescope를 고정하여 작물의 측정 범위를 정하고 작물에서 반사되는 태양복사에너지를 측정하였다. 측정은 3회 실시하여 평균값을 이용하였으며, 작물이 성장함에 따라 초장이 점점 길어지면 Telescope의 위치 또한 초장의 성장 길이만큼 올려 Telescope와 초장 끝의 거리가 항상 50 cm를 유지하도록 하여 측정하였다. 반사율의 계산은 표준백색판에 입사되어 반사되는 전자파 에너지와 작물에 입사되

Fig. 1. Study area for the experiments with three forage crops.

어 반사되는 에너지를 측정하여 식 (1)과 같이 반사율 $R(\lambda)$ 을 구하였다.

$$R(\lambda) = \frac{I_{plant}(\lambda)}{I_{target}(\lambda)} \quad (1)$$

여기서, λ 는 파장을 나타내며, $I_{plant}(\lambda)$ 는 작물의 반사 전자파에너지, $I_{target}(\lambda)$ 은 표준 백색판의 반사 전자파에너지이다.

Results and Discussion

사료작물 최고 분광반사특성 작물은 엽록소, 카로테노이드와 같은 식물색소, 엽육세포의 구조, 수분함량에 따라 분광반사곡선이 달라진다고 알려져 있다 (Guyot, 1990). 따라서 분광반사곡선의 시계열 분석을 통해 작물 성장에 따른 물 스트레스나 식물의 생체량 및 증발산량 변화 등을 정량적으로 파악할 수 있다.

각 사료작물의 분광반사특성 차이를 파악하기 위하여 호밀, 청보리 및 IRG를 대상으로 최대 반사율이 나타나는 시기에 현장에서 측정한 결과를 정리하면 Fig. 2a와 같다. 사료작물의 분광반사곡선은 작물에 따른 정도 차이는 있으나 거의 비슷한 패턴을 보였으며, 호밀과 청보리는 4월 29일, IRG는 4월 20일에 최대 반사율을 나타내었다. 적색경계 (red edge, 750 nm 전후) 파장대를 기준으로 가시광선 파장대의 반사율은 10% 미만을 나타낸 반면에 근적외선 파장

Fig. 2. Spectral reflectance and first derivative of forage crops.

대에서는 청보리, 호밀은 40-50%, IRG는 70% 이상으로 높게 나타나 같은 사료작물이라 할지라도 근적외선 파장대에서 최대치의 차이를 보였다. 즉, 3가지 사료작물에 대한 분광반사율은 IRG > 청보리 > 호밀 순으로 나타났다. 또한, 파장대역에 따른 특징 파악을 위하여 Fig. 2b와 같이 각 파장에 따른 1차 도함수를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 550, 750, 950 및 1000 nm 등 4개 파장영역에서 큰 변화를 확인할 수 있으며, 가장 큰 변화는 적색경계(red edge) 파장대인 750 nm 에서 나타났다. 이는 녹색식물의 일반적인 반사특성으로 적색경계(red edge) 파장대는 가시광선 파장대 중 적색 영역에서의 흡수 특성과 근적외선 파장대에서의 잎과 줄기 등의 근섬유에서 갖는 반사 특성이 교차하여 나타난 결과로 해석된다. 따라서 적색과 근적외선 파장대에서 보이는 작물의 반사특성 차이는 각 작물의 생체량 차이를 나타내는 것으로 두 영역의 반사특성을 산술적으로 이용하면 식생지수가 되어 작황 파악이 가능할 것으로 판단된다.

작물별 생육단계에 따른 분광반사특성 작물의 분광반사 특성은 생육단계와 생육상태에 따라 크게 변한다. Fig. 3은 호밀, 청보리 및 IRG의 생육단계에 따른 분광반사 곡선과 1차 도함수의 변화를 나타내고 있다. 모든 작물에서 최대 반사율은 증가하다가 4월 하순을 기점으로 감소하는 것으로 나타났으며, 호밀과 청보리는 거의 유사한 반사특성을 보이는 반면에 IRG는 생육단계에 따른 반사율의 차이가 크게 나타났다. 이는 작물별 성장속도의 차이가 반사특성에 반영된 결과로 동계작물인 호밀과 청보리는 월동기 이후 생육재생기인 2월부터 급격히 성장한 후, 성숙기에 접어드는 반면에 상대적으로 추위에 약한 IRG는 4월에 들어서야 성장이 시작되기 때문에 분광반사 특성도 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 또한, 잎의 성장량이 증가하는 3월-4월에는 농경지의 토양이 군락으로 덮여 녹색식물 특유의 반사특성을 나타내고 있으나 수확기로 접어드는 5월 하순에는 가시광선 파장대의 반사율이 다소 높아지고, 녹색 파장대(550 nm)와 적색 파장대(650 nm)의 반사율이 거의 같아지는 특성을 보였다. 이는 수확기에 가까워지면서 작물의 생장이 둔화되면서 엽록소가 감소하게 되고 상대적으로 카로틴 등의 색소가 우세해지면서 나타나는 특징으로 해석된다.

작물별 생육단계에 따른 분광반사율의 1차 도함수 변화를 살펴보면 호밀과 청보리는 760 nm 파장대에서 반사율의 변화가 가장 크게 나타난 반면에 IRG는 730 nm 파장대에서 가장 큰 변화를 보였다. 또한 반사율의 차이가 크게 나타난 시기도 호밀은 4월 29일, 청보리는 3월 21일, IRG는 4월 20일로 각각 다르게 나타났다. 따라서 사료작물의 생육상태를 최적으로 감지할 수 있는 파장대는 작물의 클로로필 양과 성장속도, 색소농도 등과 밀접한 관계가 있는 적색경계

Fig. 3. Spectral reflectance and first derivative during the growing period.

(red edge) 파장 구간인 730-760 nm 로 확인되었으며, 각 작물별 분광반사특성 차이가 가장 뚜렷한 시기는 청보리 > IRG > 호밀 순으로 나타났다. 따라서 사료작물의 작황 모니터링에 원격탐사 기법을 적용할 경우, 이를 고려하여 자료 획득 시기 및 정보 추출방법 등을 결정해야 할 것으로 판단된다.

Conclusions

휴대용 분광복사계를 이용하여 호밀, 청보리 및 IRG를 대상으로 생육단계별 분광반사특성을 파악하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 사료작물의 분광반사 곡선은 작물에 따른 정도 차이는 있으나 거의 비슷한 패턴을 보였으며, 분광반사율의 최대치는 IRG > 청보리 > 호밀 순으로 나타났다.

2. 적색과 근적외선 파장대에서 보이는 작물의 반사특성 차이는 각 작물의 생체량 차이를 나타내는 것으로 두 영역의 반사특성을 이용하면 작황 파악이 가능할 것으로 판단된다.
3. 호밀과 청보리는 거의 유사한 반사특성을 보이는 반면에 IRG는 생육단계에 따른 반사율의 차이가 크게 나타났다. 이는 작물별 성장속도의 차이가 반사특성에 반영된 결과로 해석된다.
4. 잎의 성장량이 증가하는 3월-4월에는 녹색식물 특유의 반사특성을 나타내고 있으나 수확기로 접어든 5월 하순에는 가시광선 파장대의 반사율이 다소 높아지고, 녹색 파장대 (550 nm)와 적색 파장대 (650 nm)의 반사율이 거의 같아지는 특성을 보였다.
5. 사료작물의 생육상태를 최적으로 감지할 수 있는 파장대는 적색경계 (red edge) 파장 구간인 730-760 nm 로 확인되었으며, 각 작물별 분광반사특성 차이가 가장 뚜렷한 시기는 청보리 > IRG > 호밀 순으로 나타났다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ012054022018)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Guyot, G., 1990. Application of remote sensing in agriculture, Butterworths. pp. 19-43.
- Hong, S.Y., J.T. Lee, S.K. Rim, W.K. Jung, and I.S. Jo. 1998. Estimation of paddy rice growth increment by using spectral reflectance signature, Korean J. Remote Sens. 14(1):83-94 (in Korean with English abstract).
- Jensen, J.R., 2000. Remote sensing of the environment, Prentice Hall. pp. 370-391.
- Na, S.I., C.W. Park, Y.K. Cheong, C.S. Kang, I.B. Choi, and K.D. Lee. 2016. Selection of optimal vegetation indices for estimation of barley & wheat growth based on remote sensing - An application of unmanned aerial vehicle and field investigation data, Korean J. Remote Sens. 32(5):483-497 (in Korean with English abstract).
- Park, J.H. and S.I. Na. 2005. Estimating the vegetation indices for field crops using a spectral reflectance technique, J. Agr. Sci, Chungbuk Nat'l Univ. 22(1):101-105 (in Korean with English abstract).