Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.360>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Assessment of Hyperspectral Reflectance on Rice Leaf Inoculated with Bacterial Leaf Blight for Applicability of UAV Monitoring

Kyung-Do Lee, Sang-Min Kim¹, Chan-Won Park, Kyu-Ho So, Ho-yong An, and Sang-Il Na*

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

¹National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: sangil917@korea.kr

ABSTRACT

Received: June 8, 2018

Revised: November 29, 2018

Accepted: November 29, 2018

We analyzed the spectral reflectance characteristics of rice leaves according to the occurrence of bacterial leaf blight and the correlation between vegetation index and disease area ratio in order to evaluate the possibility of using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) image for disease investigation. As a result, relationship between the spectral reflectance of inoculated rice leaves and the ratio of disease area showed a high correlation of 0.9 or more in wavelength from 700 nm to 750 nm. Also, the reflectance of the visible light region from 500 nm to 700 nm and the near infrared region in more than 800 nm showed a correlation from 0.8 to 0.9 more. The area ratio of rice leaves increase rapidly after 10 days of inoculation. The vegetation index(NDVI, GNDVI and NDRE) that can be calculated by UAV images showed a tendency to decrease remarkably with increase of diseased area ratio. Relationship between the vegetation index and disease area ratio on the 10th day after the inoculation, in which disease area ratio increased rapidly, showed a negative linear correlation from -0.77 to -0.95. Therefore, it is considered that it is possible to analyze the diseased area by UAV image.

Keywords: Hyperspectral reflectance, Bacterial leaf blight, UAV Monitoring

Change of spectral reflectance on rice leaves according to days after inoculation of Bacterial Leaf Blight.

Introduction

농촌 인구 감소, 고령화에 대응하여 영농생산 기반을 안정적으로 유지하기 위해서는 경영효율화 측면에서 규모화와 자동화가 필요하다 (Lee et al., 2016). 영농활동의 규모화와 자동화를 위해서는 농경지와 작물의 정보를 신속하고 과학적으로 분석하여 제공할 필요가 있다 (Park et al., 2005; Kim, 2016).

원격탐사는 전자기파를 감지하는 센서를 이용하여 지표면, 물, 대기 현상에 대해 비접촉, 비파괴적인 방법으로 정보를 얻는 기술로서 농업분야에서는 토양 특성 분석 및 농작물 작황 추정에 활용되어 왔다 (Hong et al., 1998; Hong et al., 2010; Choi et al., 2010). 최근에는 무인비행체 기술이 급속히 발전하면서 기존 유인 항공기 및 상업용 위성에 비해 저렴하게 사용자가 원하는 시간과 공간에서 100-300 ha 내외의 들녘 단위에 대해 5 cm 내외의 고해상도 항공 영상을 획득할 수 있게 되면서 원격탐사 기술에 기반하여 농경지와 농작물 정보를 신속하고 과학적으로 생산할 수 있게 되었다 (Lee et al., 2016).

무인비행체 영상을 농업분야에 활용한 연구로서, Xiang and Tian (2011)은 무인비행체 영상을 이용하여 작물의 초장을 추정하였으며, Torres-Sanchez et al. (2014)은 무인비행체에 카메라를 부착하여 밭의 토지 피복량을 산정한 바 있다. Bendig et al. (2014)은 UAV 기반의 RGB (Red-Green-Blue) 영상을 작물모형에 적용하여 보리를 대상으로 작황변이를 모니터링하고 바이오매스를 추정한 바 있다. 국내에서도 Lee et al. (2015)은 무인비행체 영상을 기반으로 풋거름 (헤어리베치) 재배단지를 촬영하고 풋거름의 질소량을 추정한 바 있으며, Lee et al. (2016)은 1년간 무인비행체 영상 촬영 결과 분석을 통해 무인비행체 영상으로 잔디 및 콩에 대해 산정한 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 식생지수가 지상센서로 측정한 결과와 높은 상관관계를 보고한 바 있다. Na et al. (2016a, 2016b)은 무인비행체 영상을 활용하여 고랭지배추, 맥류 작황 추정 연구를 수행하였으며, Lee et al. (2017)은 무인비행체 영상을 활용하여 벼 생육인자 추정 시 최적 식생지수와 추정식을 제안한 바 있다.

그러나 아직 무인비행체 영상을 활용한 작물 병해 분석 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 무인비행체 영상을 활용한 작물 병해 평가의 사전 연구로서 벼 흰잎마름병 발생에 따른 벼 잎의 분광반사 특성을 분석하고 병해 조사를 위한 무인비행체 영상의 활용 가능성을 평가하기 위하여 수행되었다.

Materials and Methods

벼 흰잎마름병 접종, 분광반사 및 병징 면적 비율 조사 벼 흰잎마름병은 세균에 의해 발병되는 병으로 우리나라를 비롯하여 일본, 대만, 필리핀, 인도, 인도네시아 등 동남아의 벼 재배지에서 큰 문제가 되고 있는 병해이다 (Noh et al., 2007). 벼 흰잎마름병 접종 및 병해 진전에 따른 분광반사 특성을 분석하기 위해 2016년 12월 14일 국립식량과학원 온실에서 벼 흰잎마름병 감수성 품종인 “동진1호”를 사각 포트에 이양하여 2017년 3월 3일 벼 흰잎마름병 (K3a 레이스) 군 배양액에 가위를 적신 후 절엽하여 병을 접종하였다. 2017년 3월 3일 병 접종 직전과 접종 후 3, 5, 7, 10, 12, 17, 24일이 경과한 3월 6일, 3월 8일, 3월 10일, 3월 13일, 3월 15일, 3월 20일, 3월 27일 총 8회에 걸쳐 포트에서 벼 6주에 대해 벼 잎을 1본씩 6본을 채취하였다. 대조구는 병균에 접촉되지 않은 가위로 3월 3일 절엽 한 후 병 접종 시료 채취 일자와 동일한 날짜에 벼 2주에 대해 벼 잎을 1본씩 2본을 채취하였다.

분광반사 스펙트럼은 분광복사계 ASD FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices Inc., USA)에 Plant Probe를 장착하여 절엽 부위에서 5 cm 밑 부분을 400-2500 nm 범위에서 1 nm 간격으로 반사율을 측정하였다. Plant probe는

벼 잎 분광반사율 측정 시 외부 영향을 차단하기 위해 밀폐되는 구조로 제작되었으며, 할로겐 램프에서 빛을 균일하게 방사하여 식물체 앞에서 반사되는 에너지를 감지한다. 할로겐 램프와 벼 잎 측정부위 뒷면은 백색판 (White Reference)이 설치되어 있어 벼 잎 측정 전후로 반사율 값을 일정하게 보정하여 실험을 수행하였다 (Fig. 1). 측정상 스펙트럼의 잡음과 오차를 최소화하기 위해 매 측정 시마다 스펙트럼을 3회 반복 측정하여 평균하였다 (Choi et al., 2009). 벼 잎의 병징 면적 비율은 채취한 벼 잎을 스캐너 (HP inc., USA)로 스캔하여 Probe 측정 부분에 대해 ArcGIS (ESRI, USA) 프로그램을 이용하여 병징이 판별되는 부분의 경계를 작도 (Digitizing)한 후 산정하였다.

병 발생 면적 비율과 분광반사율, 식생지수 상관성 분석 농경지와 작물의 상황을 정성적으로 분석하거나 한 시기의 영상만을 이용할 경우 촬영된 항공 영상 그대로를 이용할 수 있다. 그러나 시계열적 작물 변화 상황을 정량적으로 분석하기 위해서는 촬영 시점의 기상, 태양 고도, 카메라 특성 등 다양한 촬영 환경에 따라 촬영된 영상 데이터 값 (DN : Digital Number)이 변화 될 수 있으므로 식물체 고유 반사율 값 (Reflectance)과 단위가 없는 복사 값으로 식생 활력도와 생육 현황을 나타내는 지표인 식생지수 (Vegetation Index) 산정과 활용이 필요하다 (Cohen, 1991; Lee et al., 2016).

Lee et al. (2016)은 2015년부터 2016년까지 1년 동안 20회 무인비행체 항공영상 촬영을 통해 다양한 지표면 물체를 대상으로 항공영상 반사율과 대표적인 식생지수 중 하나인 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)를

Fig. 1. Photo of spectral reflectance measurement.

Fig. 2. Symptoms change of Bacterial Leaf Blight in rice leaf with time after inoculation.

산정하여 지상에서 분광복사계로 측정한 값과 비교하였다. 그 결과 항공영상으로 산정한 반사율 경우 지상에서 측정한 분광복사계 반사율과 일정한 경향을 보이지 않았으며, 기상, 광 환경 등 촬영환경 차이에 따른 반사율 편차도 컸으나 가시광선 영역과 근적외선 영역의 반사율 비율식으로 계산되는 NDVI 경우 촬영환경 조건에 큰 영향 없이 지상센서에서 측정한 값과 유사한 변화 경향과 높은 상관관계를 보인다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 무인비행체 영상을 활용한 병 발생 추정 가능성을 평가하기 위해 병 접종 벼 잎에 대한 분광 반사율 측정 값 중에서 최근 농작물 작황평가에 많이 활용되고 있는 무인비행체 탑재 카메라(Table 1)의 중심 파장에 해당하는 값을 활용하여 산정 가능하고, 기존 위성 및 유인 비행체를 활용한 병해 탐지 연구(Das et al., 2016; Qin and Zhan, 2005)에 사용된 식생지수 산정 방식을 참고하여 Table 2와 같이 NDVI, GNDVI, NDRE 식생지수를 선정하여 병징 면적 비율과 상관성을 분석하였다.

Table 1. Specification of mainly camera mounted on UAV for crop condition monitoring.

Camera Model (Manufacturer)	Band type	Center wavelength (nm)	Utilization case study of UAV application in agriculture
S110 (Cannon)	Green	550	Nitrogen in plant (Lee et al., 2015), Rice, Kimchi cabbage, Barely monitoring (Na et al., 2016a; 2016b; Lee et al., 2017a; 2017b)
	Red	625	
	NIR	850	
RedEdge (Micasense)	Green	560	Growth monitoring in vegetation, wheat, beans (Aasen et al, 2015; Zhou et al., 2016; Duan et al., 2017)
	Red	668	
	RedEdge	717	
	NIR	840	

Table 2. Vegetation index that can be calculated and be used mainly by imagery of camera mounted on UAV.

Name	Equation*	Camera Model
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(R_n - R_r) / (R_n + R_r)$	S110, RedEdge
GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(R_n - R_g) / (R_n + R_g)$	S110, RedEdge
NDRE (Normalized Difference Vegetation Index)	$(R_n - R_{edg}) / (R_n + R_{edg})$	RedEdge

* R_λ the reflectance at wavelength λ ; R_n , R_r , R_g , and R_{edg} are the reflectances for NIR, red, green, and rededge bands, respectively.

Results and Discussions

병징 확산에 따른 벼 잎 분광반사 특성 변화 벼 흰잎마름병 접종 후 경과 일수에 따른 벼 잎 분광반사율 변화는 Fig. 3과 같았다. 2017년 3월 3일 병 접종 전 채취한 벼 잎 분광반사율은 가시광선 영역(425 nm-740 nm) 중 청색 영역(425 nm-490 nm)과 적색 영역(640 nm-740 nm)에서는 낮은 값을 보이고 녹색영역(490 nm-585 nm)에서는 청색, 적색에 비해 높은 반사율 값을 보였다. 근적외선 영역(740 nm-1300 nm)은 가시광선에 비해 높은 반사율을 보였으며 이후 단파 적외선 영역(1300 nm-1800 nm)에서는 1400 nm 근방에서 감소하다 다시 증가하는 경향을 보였다. 중적외선 영역(1800 nm-2500 nm)의 경우 1900 nm 파장에서 반사율 값이 감소한 이후 2200 nm 파장까지 증가하다 이후 2400 nm 파장에서 감소하는 경향을 보였다. 건강한 벼 잎의 이러한 분광반사 특성은 엽록소가 녹색 영역 파장에 비해 청색과 적색 영역 파장을 잘 흡수하며, 식물 잎 세포 구조 및 특성이 근적외선 영역을 잘 반사하고, 잎 수분 함량

이 높을수록 단파적외선, 중적외선 일부 파장 구간 (1400 nm, 1900 nm, 2500 nm)의 빛 흡수가 증가하기 때문이다 (Jense, 2005; Hong et al., 1998).

병 접종 후 7일이 경과한 2017년 3월 10일까지는 측정지점에서 가시광선 영역의 경우 분광반사율 차이를 보이지 않았다. 이는 분광반사율 모니터링을 이용한 병 발생 분석은 식물체 엽록소 및 수분 감소 등으로 인한 엽색 변화 등 외부 병징에 의한 간접적 추정 방법으로 식물체에 잠복한 병을 조기에 분석하기는 어렵기 때문으로 판단된다 (Mutka and Bart, 2014).

병 접종 후 10일이 경과한 2017년 3월 13일 벼 잎 분광반사율은 470 nm에서 690 nm까지 가시광선영역에서 증가하는 경향을 보였는데 특히, 황색 영역 (560 nm-640 nm) 파장대에서 뚜렷한 증가 경향을 보였다. 또한, 근적외선 영역은 740 nm에서 900 nm까지 감소하는 경향을 보였으며, 1400 nm 및 1900 nm 부근에서 증가 경향을 보였다. 병 접종 이후 12일이 경과한 2017년 3월 15일은 3월 13일에 비해 가시광선 영역과 근적외선 영역 모두에서 반사율이 증가하는 경향을 보였으며, 병 접종 후 17일, 24일이 경과한 2017년 3월 20일, 27일의 경우 측정 파장 영역 전체에서 반사율이 크게 증가하는 경향을 보였다.

병 접종 후 10일이 경과한 경우 가시광선 영역 반사율은 증가하고, 근적외선 영역 반사율은 감소하였는데 이는 벼 잎집무늬마름병에 따른 분광반사 특성 연구 (Qin and Zhang, 2005), 세균성 병해에 따른 사탕수수 분광반사 특성 연구 (Mahlein et al., 2010), 벼 흰잎마름병에 발생에 따른 벼 군락의 분광반사 특성 연구 (Yang, 2010), 흑명나방 피해에 따른 벼 잎 분광반사 특성 연구 (Huang et al., 2012)와 동일한 결과였다.

병 접종 후 12일 이후부터 병징 면적 비율이 증가하면서 가시광선 영역 반사율은 지속적으로 증가하였으며 근적외선 영역 반사율의 경우 병 접종 후 10일에는 감소하였으나 병 접종 후 12일의 경우 다시 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Plant probe로 세균성 병해에 따른 사탕수수의 분광반사 특성을 조사한 Mahlein et al. (2010)의 연구 결과와 일치하였으나 작물 군락의 병해 진전에 따라 근적외선 영역 반사율이 지속적으로 감소했다는 Qin and Zhang (2005), Yang (2010), Huang et al. (2012)의 연구 결과와는 다른 결과를 보였다. 이는 작물 군락의 경우 병해 진전에 따라 엽록소가 감소하면서 입사되는 빛 에너지의 투과가 증가하여 반사율이 지속적으로 감소한 반면, Plant probe를 이용하여 벼 단위 잎의 분광반사율을 측정할 경우 할로겐 램프에서 입사되는 빛 에너지가 병해 진전에 따라 벼 잎의 흡수능이 저하되면서 벼 잎을 투과한 후 벼 잎 뒷면에 설치된 Plant probe 끝부분 백색판에서 다시 반사되었기 때문으로 판단된다.

Fig. 3. Change of spectral reflectance on rice leaves according to days after inoculation of Bacterial Leaf Blight.

벼 잎 병징 면적 비율과 분광 반사율 및 식생지수의 상관관계 분광반사율 측정지점에서 병징 면적 비율과 분광반사율과의 상관성을 분석한 결과는 Fig. 4와 같았다. 전 기간 동안 병징 면적 비율과 분광반사율 간의 상관계수는 705 nm에선 0.92로 가장 높은 값을 보였으며, 1370 nm, 1850 nm, 505 nm 순이었다. 이러한 결과는 세균성 병해에 의한 사탕수수 잎의 분광반사율을 350 nm에서 1100 nm의 범위에서 측정한 Mahlein et al. (2010)의 연구에서 병해 발생 정도와 반사율의 상관계수가 710 nm에서 가장 높았다는 보고와 유사한 결과이다.

병 접종 이후 병징 면적 비율이 급격히 증가하는 3월 13일까지의 분광반사율과 병징 면적 비율간의 상관계수는 695 nm파장대역에서 0.99로 가장 높았으며 620 nm, 1390 nm, 1860 nm에서도 0.95 이상의 높은 값을 보였다. 또한 745 nm에서도 -0.97의 높은 음의 상관관을 보였다. 이러한 결과는 벼 흰잎마름병에 감수성인 품종에 대해 병 발생에 따른 군락의 분광반사율을 측정한 Yang (2010)의 연구에서 병징 면적 비율과 분광반사율의 상관은 745 nm 파장에서 -0.96으로 가장 높은 음의 상관관을 보였으며 550 nm 부근과 700 nm 부근 및 NIR 영역에서 상관성이 높았다는 보고와 유사한 결과이다.

분광반사율 측정 대상이 단위 잎인지 또는 군락인지에 따라서 또한 측정 방법과 병 종류에 따라서 병해 발생 면적 비율과 분광반사율의 상관성은 차이를 보였으나 대체적으로 700 nm에서 750 nm에서 0.9 이상의 높은 상관관계를 보였으며 500 nm에서 700 nm 사이의 가시광선 영역과 800 nm 이후 근적외선 영역에서도 0.8-0.9 이상의 비교적 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

무인비행체에 탑재되어 많이 활용되고 있는 카메라 모델 (S110, RedEdge)로 획득 가능한 항공영상의 중심 파장으로 산정한 주요 식생지수 (NDVI, GNDVI, NDRE)와 병해 조사 면적 비율 변화는 Fig. 5와 같았다. 병 접종 처리한 잎의 병 발생면적 비율은 병 접종 10일 이후부터 급격히 증가하였으며, 식생지수의 경우 병 발생면적 증가와 함께 뚜렷이 감소하는 경향을 보였다. NDVI의 경우 카메라 모델에 관계없이 초기에 GNDVI에 비해 높은 값을 보이다 병발생 면적 비율이 급격히 증가하는 시점을 기준으로 수치가 급격히 감소하여 후기에는 GNDVI에 비해 낮은 값을 보였다. 카메라 종류에 따른 식생지수의 차이는 크지 않았는데 이는 S110 카메라와 RedEdge 카메라의 중심파장이 Green, Red, NIR 영역에서 차이가 크지 않았기 때문으로 판단된다. NDRE의 경우 0.04-0.32의 범위로 NDVI 및 GNDVI에 비해 낮은 수치를 보였으나 병 발생 면적 비율이 급격히 증가했던 병 접종 후 10일을 경계로 전후 식생지수 값 변동률은 NDVI 및 GNDVI가 10-20%였던 반면 NDRE의 경우 46%로 높은 값을 보였다.

Fig. 4. Diagram of coefficient of correlation for the linear correlation between spectral reflectance of Bacterial Leaf Blight and proportion of infested area (%) in relation to wavelength.

Fig. 5. Change of proportion of infested area(%) on rice leaves and vegetation index by camera type.

Fig. 6. Correlation between vegetation index and proportion of infested area(%).

병 접종을 하지 않은 대조구의 경우 실험기간 동안 병해 발생면적 비율은 대체적으로 5% 이하였으나 병 발생 후 24일이 경과한 이후에는 병해 발생 면적이 증가하는 경향을 보였다. 이는 병 처리구의 벼 병해가 진전되면서 시험 후기에 병 처리구와 인접한 대조구에서도 일부 병 감염이 발생했기 때문으로 판단된다.

병징 면적 비율이 빠르게 증가했던 병 접종 후 10일 (2017년 3월 13일)의 식생지수와 병징 면적 비율의 관계는 Fig. 6과 같았다. NDVI, GNDVI 및 NDRE와 병징 면적 비율의 상관계수는 -0.77에서 -0.95으로 음의 선형 상관을 보여 무인비행체로 촬영한 항공영상의 식생지수로 병징 면적 분석 가능성을 확인할 수 있었다. 이는 이들 식생지수가 앞서 분석한 분광반사율 분석에서 병징 비율과 상관성이 높은 500 nm에서 700 nm 사이의 가시광선 영역과 800 nm 이후 근적외선 영역의 비율로 계산되었기 때문으로 판단된다.

Conclusions

벼 흰잎마름병 발생에 따른 벼 잎의 분광반사 특성을 분석하고 병해 조사를 위한 무인비행체 영상의 활용 가능성을 평가하기 위하여 영상 기반 식생지수와 병징 면적 비율의 상관관계를 분석하였다. 병 접종 벼 잎의 분광반사율 변화를 분석한 결과 병징 면적 비율은 700 nm에서 750 nm의 파장대역 반사율과 0.9 이상의 높은 상관관계를 보였으며 500 nm에서 700 nm 사이 가시광선 영역과 800 nm 이후 근적외선 영역 반사율과도 0.8-0.9 이상의 비교적 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 벼 흰잎마름병 접종 처리한 벼 잎 병징 면적 비율은 병 접종 10일 이후부터 급격히 증가하였으며, NDVI, GNDVI 및 NDRE 식생지수는 병징 면적 비율 증가와 함께 뚜렷이 감소하는 경향을 보였다. 병징 면적 비율이 빠르게 증가했던 병 접종 후 10일의 식생지수와 병징 면적 비율의 상관계수는 -0.77에서 -0.95로 음의 선형 상관을 보여 무인비행체로 촬영한 항공영상 식생지수로 병징 면적 분석 가능성을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ012071012018)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Aasen, H., A. Burkart, A. Bolten, and G. Bareth. 2015. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 108:245-259.
- Bendig, J., A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, S. Eichfuss, and G. Bareth. 2014. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging, *Remote Sens.* 6(11):10395-10412.
- Choi, E.Y., S.Y. Hong, Y.H. Kim, G.C. Song, and Y.S. Jang. 2009. Quantification of soil properties using visible-nearinfrared reflectance spectroscopy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(6):522-528 (in Korean).
- Cohen, W.B. 1991. Response of vegetation indices to change in three measures of leaf water stress. *Photogramm. Eng. Remote Sensing.* 57(2):195-202.
- Das, P.K., B. Laxman, S.K. Rao, M.S. Seshasa, and V.K. Dadhwal. 2015. Monitoring of bacterial leaf blight in rice using ground-based hyperspectral and LISS IV satellite data in Kurnool, Andhra Pradesh, India. *Int. J. Pest Manag.* 61(4):359-368.

- Duan, T., S.C. Chapman, Y. Guo, and B. Zheng. 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Res.* 210:71-80.
- 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. *Korea. J. Remote Sensing.* 14(1):83-94(in Korean).
- Huang, J., H. Liao, Y. Zhu, J. Sun, Q. Sun, and X. Liu. 2012. Hyperspectral detection of rice damaged by rice leaf folder. *Comput. Electron. Agric.* 82:100-107.
- Jensen, J.R. 2013. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.* Pearson education limited. p. 620.
- Kim, S.H. 2016. A study on the diffusion of Korean agricultural ICT and role of the agricultural cooperative federation using the theory of technology adoption life cycle and chasm. *Cooperative management review* 45: 1-27(in Korean).
- Lee, B.O., J.W. Yoon, J.H. Yang, C.Z. Jin. 2016. Strategies for the value innovation of agriculture in Korea. *J. Agric. Life Environ. Sci.* 28(1):43-51(in Korean).
- Lee, K.D., C.W. Park, K.H. So, and S.I. Na. 2017b. Selection of optimal vegetation indices and regression model for estimation of rice growth using UAV aerial images. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(5):409-421 (in Korean).
- Lee, K.D., C.W. Park, K.H. So, Ki-Deog Kim, and S.I. Na. 2017a. Characteristics of UAV aerial images for monitoring of highland Kimchi cabbage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(3):162-178 (in Korean).
- Lee, K.D., S.I. Na, S.C. Baek, K.D. Park, J.S. Choi, S.J. Kim, H.J. Kim, H.S. Choi and S.Y. Hong. 2015. Estimating the amount of nitrogen in hairy vetch on paddy fields using unmanned aerial vehicle imagery. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(5):384-390.
- Lee, K.D., Y.E. Lee, C.W. Park, S.Y. Hong, and S.I. Na. 2016. Study on reflectance and NDVI of aerial images using a fixed-wing UAV "Ebee". *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):731-742.
- Mahlein, A.K., U. Steiner, H.W. Dehne, and E.C. Oerke. 2010. Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of disease. *Precision Agric.* 11:413-431.
- Mutka, A.M. and R.S. Bart. 2015. Image-based phenotyping of plant disease symptoms. *Front. Plant Sci.* 5:1-8.
- Na, S.I., C.W. Park, Y.K. Cheong, C.S. Kang, I.B. Choi, and K.D. Lee. 2016b. 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 -. *Korea. J. Remote Sensing* 32(5):483-497 (in Korean).
- Na, S.I., S.Y. Hong, C.W. Park, K.D. Kim, and K.D. Lee. 2016a. Estimation of Highland Kimchi Cabbage Growth using UAV NDVI and Agro-meteorological Factors, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):420-428 (in Korean).
- Noh, T.H., K.Y. Kim, D.K. Lee, H.K. Shim, M.H. Kang, and J.C. Park. 2007. Disease incidence, yield and quality comparisons among rice varieties with different resistance to Bacterial Leaf Blight. *Res. Plant Dis.* 14(3):171-175(in Korean).
- Park, J.K., H.J. Lee, J.W. Hwang. 2005. An analysis of adoption possibility for precision agriculture in Korean rice farms. *Korean J. economics* 46(4):1-23 (in Korean).
- Qin, Z. and M. Zhan. 2005. Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multispectral remote sensing. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 7:115-128.
- Torres-Sanchez J., J.M. Pena, A.I. de Castro and F. Lopez-Granados. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Comput. Electron. Agric.* 103:104-113.
- Xiang, H. and L. Tian, 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosyst. Eng.* 108(2):174-190.
- Yang, C.M. 2010. Assessment of the severity of bacterial leaf blight in rice using canopy hyperspectral reflectance. *Precision Agric.* 11:61-81.
- Zhou, J. L.R. Khot, H.Y. Bahlol, R. Boydston, and P.N. Miklas. 2016. Evaluation of ground, proximal and aerial remote sensing technologies for crop stress monitoring. *IFAC-Papers OnLine.* 49-16:22-26.