

Letter

## 일리노이주 옥수수, 콩 재배지 MODIS와 VIIRS NDVI 특성 비교

이경도<sup>1)</sup> · 김숙경<sup>2)</sup> · 류재현<sup>3)</sup> · 안호용<sup>1)\*</sup>

### Comparison of MODIS and VIIRS NDVI Characteristics on Corn and Soybean Cultivation Areas in Illinois

Kyungdo Lee<sup>1)</sup> · Sookgyeong Kim<sup>2)</sup> · Jae-Hyun Ryu<sup>3)</sup> · Hoyong Ahn<sup>1)\*</sup>

**Abstract:** We analyzed the potential for joint utilization of Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) satellite imagery Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in crop assessment, considering the aging of MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellites. Over 11 years from 2012 to 2022, we examined the characteristics of NDVI changes in corn and soybean cultivation areas in Illinois, USA. VIIRS and MODIS satellite imagery NDVI exhibited a high correlation coefficient of over 0.98. However, during periods of rapid crop growth or decline, VIIRS NDVI showed values approximately 0.12 to 0.14 higher than MODIS. Estimating crop anomaly classes based on NDVI, we observed similar trends in corn and soybean crop anomaly classes in 2018 and 2019. However, in 2022, there appeared to be a significant divergence in crop anomaly classes, suggesting the need for further investigation. The correlation coefficients between MODIS and VIIRS satellite imagery NDVI and corn and soybean yields were consistently high, exceeding 0.8, indicating the potential for quantity estimation using both MODIS and VIIRS satellite imagery. Specifically, for VIIRS NDVI, excluding the increasing trend in crop quantity estimation for soybeans enhanced the correlation, and compared to MODIS, it showed a consistently high correlation with quantity from approximately 16 days earlier, indicating the potential for early estimation.

**Keywords:** MODIS, VIIRS, NDVI, Crop condition

**요약:** Aqua/ MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 위성의 노후화에 따라 Suomi-NPP/Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 위성영상을 활용한 작황 평가 가능성을 분석하기 위해 미국 일리노이

Received November 20, 2023; Revised November 30, 2023; Accepted December 3, 2023; Published online December 31, 2023

<sup>1)</sup> 농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과 연구사(Researcher, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Republic of Korea)

<sup>2)</sup> 농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과 연구원(Research Assistant, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Republic of Korea)

<sup>3)</sup> 농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과 박사후연구원(Postdoctoral Researcher, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Republic of Korea)

\* Corresponding author: Hoyong Ahn (hyahn85@korea.kr)

Copyright © 2023 by The Korean Society of Remote Sensing. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주 옥수수, 콩 재배지를 대상으로 2012년부터 2022년까지 11년동안 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 변화 특성을 분석하였다. MODIS, VIIRS NDVI는 0.98 이상의 높은 상관계수를 보였다. 그러나 작물이 급격히 성장, 쇠락하는 시기에는 VIIRS NDVI가 MODIS에 비해 0.12~0.14 정도 높은 값을 보였다. NDVI를 기반으로 생육이상 등급을 추정한 결과 2018, 2019년 옥수수, 콩의 생육이상 등급은 유사한 변화 경향을 보였다. 그러나 2022년에는 생육등급의 차이가 커지는 것으로 나타났다. MODIS 및 VIIRS 위성영상 NDVI와 옥수수, 콩 수량의 상관계수는 0.8 이상의 높은 값을 보여 MODIS 위성영상뿐 아니라 VIIRS 위성영상을 활용한 수량 추정 가능성을 확인할 수 있었다. VIIRS 위성영상 NDVI의 경우 콩 수량 추정에서 작물 증가 추세를 제외하는 것이 상관성을 높여주는 것으로 나타났으며, MODIS에 비해서 NDVI와 수량의 상관성이 16일 정도 이른 시기부터 높은 경향을 보여 조기 추정에 대한 가능성도 확인할 수 있었다.

**주요어:** MODIS, VIIRS, 정규화식생지수, 작황

## 1. 서론

작물 재배면적과 생산량 등 작황을 과학적으로 추정하는 것은 농산물 수급 조절과 연계된 농업정책 수립에 기반이 되므로 국가 경제에 미치는 영향으로 인해 중요성이 점차 증가하고 있다(Hong et al., 2012). 광범위한 지역에서 작황을 추정하기 위해서는 장기간의 객관적인 관측 자료 확보가 필요하다. 이러한 측면에서 위성영상은 농작물의 작황 모니터링에 활발하게 활용 및 연구되어 왔다(Doraiswamy et al., 2005; Becker-Reshef et al., 2010). MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)는 Terra, Aqua 위성이 각각 1999년, 2002년 발사된 이후 전 세계 작물 모니터링의 일환으로 광범위하게 사용되어 왔다(Hong et al., 2012; Justice et al., 2013; Lee et al., 2021; Meroni et al., 2019).

그러나 20년 이상의 시간이 경과하면서 노후화로 인해 Terra/MODIS부터 2025년 종료될 예정이다(United States Geological Survey, 2023). Suomi-NPP/Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)는 MODIS가 수행해오던 지구관측 임무를 연속적으로 수행하기 위해 2011년 발사된(Justice et al., 2013) 이후 MODIS와 VIIRS 위성영상을 공동 활용하기 위한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. MODIS와 VIIRS 위성영상 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 활용하여 Guo et al. (2015)은 불투수 지역을 추정하는 연구를 수행하였으며, Wang et al. (2017)은 도심지역이 확장되는 추세를 모니터링 하였다. Benedict et al. (2021)은 가뭄 모니터링에 MODIS, VIIRS 위성영상 NDVI를 공동 활용할 수 있음을 보고하였으며, Skakun et al. (2018)은 MODIS 및 VIIRS 위성

영상에 밴드조정계수를 적용하고 NDVI를 산정하여 비교하고 오차율을 산정하였다.

그러나 기존 연구들은 연구 기간 동안의 전체적인 통계값을 기준으로 MODIS와 VIIRS 위성영상 특성을 비교하고 있어 농작물 생육에 따라 변동되는 시계열적인 NDVI 변화 특성을 비교한 농업분야 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 MODIS, VIIRS NDVI를 활용하여 작물 생육 모니터링 및 생산성 추정을 위한 공동 활용 가능성을 평가하기 위해 미국 일리노이주 옥수수, 콩 재배지를 대상으로 시계열적인 NDVI 변화 특성과 작황 분석을 위한 활용 가능성을 평가하고자 수행하였다.

## 2. 연구자료 및 방법

### 2.1. 대상지역 및 NDVI 값 추출

미국 중서부에 위치한 일리노이주는 대표적인 옥수수, 콩 생산지이다. 면적은 약 1,500만 ha로 우리나라 면적에 약 1.5배에 해당하며, 구릉은 있으나 산이 거의 없는 평탄한 지대로 이루어져 있다. 옥수수와 콩 재배지에 대한 MODIS, VIIRS NDVI 추출을 위해 작물별 경작지 경계를 확인할 수 있는 마스크(Mask) 자료로 미국 농무부 국가농업통계청(United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service)의 Crop Data Layer (CDL) 자료를 활용하였다.

MODIS 위성영상은 0.405  $\mu\text{m}$ 에서 11.28  $\mu\text{m}$ 까지 36개의 스펙트럼 밴드를 제공하고 있으며, VIIRS 위성영상은 0.402  $\mu\text{m}$ 에서 12.4  $\mu\text{m}$ 까지 22개의 스펙트럼 밴드를 제공한다. VIIRS 위성영상 밴드를 기준으로 MODIS

**Table 1.** Characteristics of VIIRS and MODIS sensors

Band Explanation	Suomi-NPP/VIIRS				Aqua/MODIS			
	Band	Central Wavelength (μm)	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution at nadir (m)	Band	Central Wavelength (μm)	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution at nadir (m)
Visible	M1	0.412	0.402 ~ 0.422	750	B8	0.412	0.405 ~ 0.420	1000
	M2	0.445	0.436 ~ 0.454		B9	0.443	0.438 ~ 0.448	
	M3	0.488	0.478 ~ 0.488		B10	0.488	0.483 ~ 0.493	
	M4	0.555	0.545 ~ 0.565		B4	0.555	0.545 ~ 0.565	500
	M5	0.672	0.662 ~ 0.682		B1	0.659	0.620 ~ 0.670	250
Near IR	M6	0.746	0.739 ~ 0.754		B15	0.748	0.743 ~ 0.753	1000
	M7	0.865	0.846 ~ 0.885		B2	0.865	0.841 ~ 0.876	250
Shortwave IR	M8	1.240	1.230 ~ 1.250		B5	1.240	1.230 ~ 1.250	500
	M9	1.378	1.371 ~ 1.386		B26	1.375	1.360 ~ 1.390	1000
	M10	1.610	1.580 ~ 1.640		B6	1.640	1.628 ~ 1.652	500
	M11	2.250	2.230 ~ 2.280		B7	2.130	2.105 ~ 2.155	
Mediumwave IR	M12	3.700	3.610 ~ 3.790		B20	3.750	3.660 ~ 3.840	1000
	M13	4.050	3.970 ~ 4.130		B23	4.050	4.020 ~ 4.080	
Longwave IR	M14	8.550	8.400 ~ 8.700		B29	8.550	8.400 ~ 8.700	
	M15	10.763	10.260 ~ 11.260		B31	11.030	10.780 ~ 11.280	
	M16	12.013	11.540 ~ 12.490		B32	12.020	11.770 ~ 12.270	
Visible	DNB	0.700	0.500 ~ 0.900	750 across full scan				
Visible	I1	0.640	0.600 ~ 0.680	375	B1	0.659	0.620 ~ 0.670	250
Near IR	I2	0.865	0.850 ~ 0.880		B2	0.865	0.841 ~ 0.876	
Shortwave IR	I3	1.610	1.580 ~ 1.640		B6	1.640	1.628 ~ 1.652	500
Mediumwave IR	I4	3.740	3.550 ~ 3.930		B20	3.750	3.660 ~ 3.840	1000
Longwave IR	I5	11.450	10.500 ~ 12.400		B31	11.030	10.780 ~ 11.280	

IR: Infrared.

위성영상 밴드를 비교한 표는 Table 1과 같다(Datla et al., 2016). VIIRS 위성영상의 공간해상도는 밴드에 따라 375 m 및 750 m인데, 500 m, 1 km로 리샘플링되어 활용된다. 위성영상은 Google Earth Engine (GEE)을 통해 2012년부터 2022년까지 11년 동안의 VIIRS (VNP13A1) 및 MODIS (MYD13Q1) NDVI 값을 옥수수, 콩 재배지 경계 마스크 (CDL)를 기반으로 추출하였다. VNP13A1 NDVI 제작 시 Table 1에서 I1 (중심파장 0.640 μm), I2 (중심파장 0.865 μm) 2개 밴드가 사용되었으며, MYD13Q1 NDVI 제작시에는 B1 (중심파장 0.659 μm), B2 (중심파장 0.865 μm) 2개 밴드가 각각 활용되었다.

## 2.2. NDVI기반 생육이상 등급 비교

주기적으로 산출되는 위성영상 식생지수는 작물의

생육이상 모니터링에 활용된다. 생육이상 등급(Anomaly classes)은 작물의 생육을 평년과 비교하여 작황을 평가할 수 있는 지표로 활용된다. 본 연구에서는 Z-score법을 활용하여 MODIS 및 VIIRS 위성영상으로 산출한 NDVI로 생육이상 등급을 추정하였다. Z-score 계산은 식(1)과 같이 계산하였다. Z-score에 따른 생육이상 등급은 Table 2와 같다(Meroni et al., 2019).

$$Z_i = \frac{NDVI_i - NDVI_{mean,i}}{NDVI_{sd,i}} \quad (1)$$

식(1)에서  $i$ ,  $NDVI_{mean,i}$ ,  $NDVI_{sd,i}$ 는 각각 해당 시점(Day of Year, DOY), 과거 5년 동안의 동일 시점 NDVI 평균과 표준편차를 의미한다.

**Table 2.** Classification of anomaly values into anomaly classes

Z-score Value	Class
$x \geq 2$	Extremely good
$1.5 \leq x < 2$	Very good
$1 \leq x < 1.5$	Moderately good
$-1 < x < 1$	Near normal
$-1.5 < x \leq -1$	Moderately bad
$-2 < x \leq -1.5$	Very bad
$x \leq -2$	Extremely bad

### 2.3 위성영상 NDVI와 작물 수량 상관성 비교

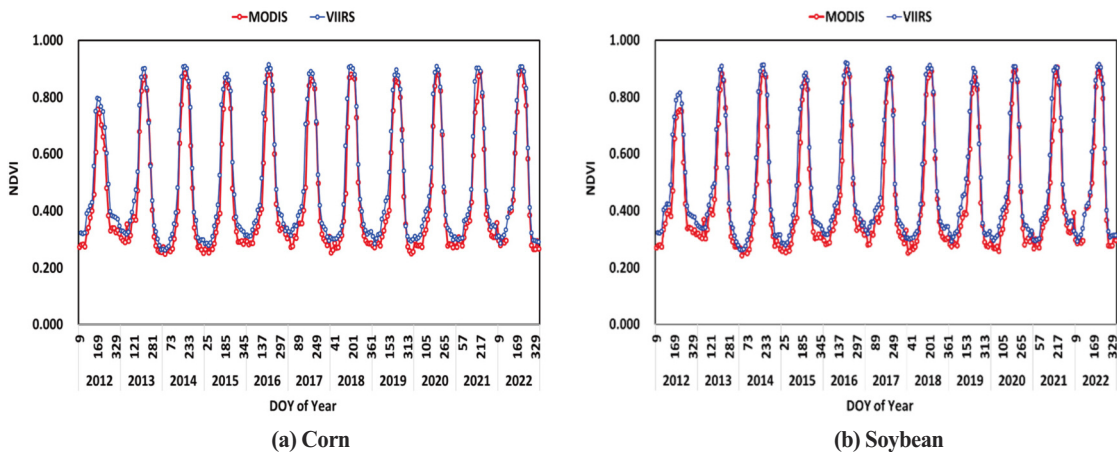
위성영상 NDVI 기반 작물 수량 추정 가능성 평가를 위해서는 NDVI와 작물 수량 간의 상관관계 분석이 필요하다(Hong et al., 2012). 본 연구에서는 옥수수, 콩 재배지에서 추출된 시계열 MODIS, VIIRS NDVI와 옥수수, 콩 수량의 상관계수(Correlation Coefficient)를 산정하였다. 옥수수, 콩 수량은 통계검색 사이트 Quick Stats (United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service, 2023)에서 수집하였다. 또한, 장기간에 걸쳐 수집되는 작물수량은 품종·재배관리 등의 기술 발전에 따라 증가하는 추세를 보일 수 있다(Lu et al., 2017; Na et al., 2021). 따라서 본 연구에서는 장기적인 시계열 수량 평균의 변화 추세를 통계적으로 분석하여 제거한 결과도 함께 비교하였다.

## 3. 연구결과 및 토의

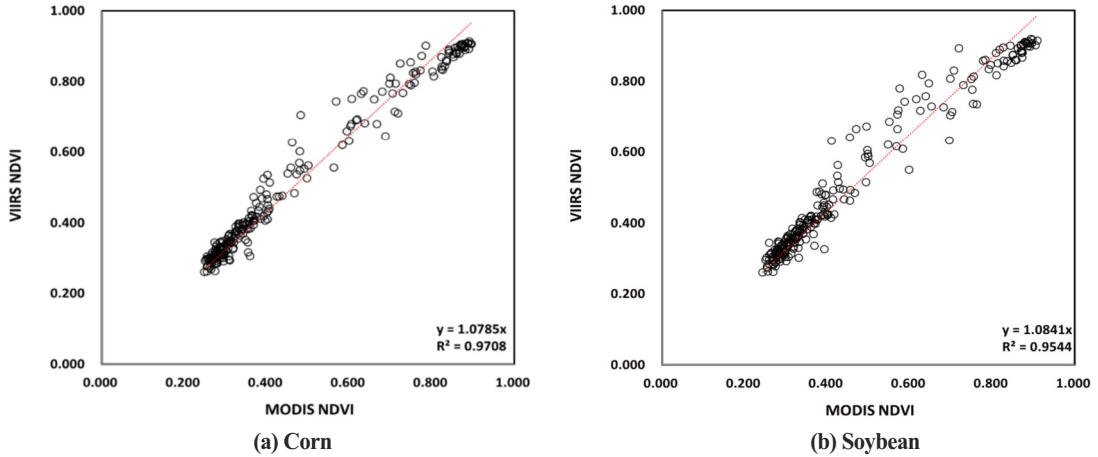
### 3.1. NDVI 식생지수 특성 비교

2012년부터 2022년까지 11년간 일리노이주 옥수수, 콩 재배지에 대한 Day Of Year (DOY)별 MODIS, VIIRS NDVI의 시계열 변화는 Fig. 1과 같다. MODIS, VIIRS NDVI는 파종 후 성장하다 개화 후 곡실로 양분이 전이되면서 쇠락하는 작물 생육주기와 유사한 증감 경향을 보였다. 그러나 동일 시기를 기준으로 보면 MODIS NDVI에 비해서 VIIRS NDVI의 값이 전반적으로 높은 경향을 보였다. 이러한 경향은 MODIS, VIIRS NDVI의 상관관계를 나타낸 그래프에서도 확인할 수 있다(Fig. 2). VIIRS 위성영상 NDVI는 MODIS 위성영상 NDVI와 옥수수, 콩 모두 0.98 이상의 높은 상관계수를 보였으나, 상관계수 기울기는 VIIRS NDVI가 MODIS에 비해 7~8% 정도 높은 것으로 나타났다. 또한, NDVI값이 0.5보다 낮거나 0.8보다 높은 구간에서는 선형성이 잘 나타났으나 작물이 급속히 성장하거나 쇠퇴하는 구간인 NDVI 0.5~0.8 사이 구간에서는 타 구간에 비해 선형성이 떨어지는 것으로 나타났다.

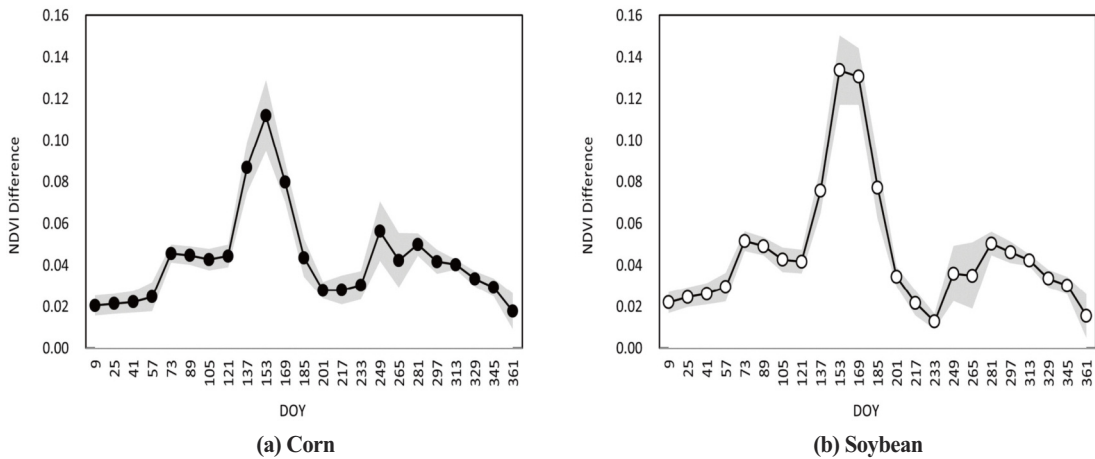
2012년부터 2022년까지 11년 동안 동일 시기의 MODIS, VIIRS NDVI 차이는 Fig. 3과 같다. 옥수수의 경우 VIIRS NDVI는 MODIS에 비해 0.02~0.12 정도 높았던 것으로 나타났다. 옥수수가 급격히 성장하기 시작하는 6월 초 중순(DOY 153)의 NDVI에서 가장 큰 차이를 보였다. 이후 생육이 최고조에 이르러 개화, 수정을 통해 생식



**Fig. 1.** Temporal changes in NDVI of MODIS and VIIRS satellite imagery on corn and soybean cultivation area in Illinois.



**Fig. 2.** Comparison of correlation in NDVI between MODIS and VIIRS satellite imagery on corn and soybean cultivation area in Illinois.



**Fig. 3.** Distribution of NDVI discrepancies in MODIS and VIIRS satellite imagery on corn and soybean cultivation area in Illinois from 2012 to 2022 years.

생장이 이루어지는 8월까지 NDVI 값의 차이가 감소하였다. 작물체내 양분이 곡실로 이동하면서 엽록소가 감소하게 되는 9~10월 등숙기(DOY 249)의 경우 다시 NDVI 값 차이가 소폭 증가하다가 10월 하순(DOY 281) 이후 수확기에 접어들면서 위성영상 NDVI값 차이가 감소하였다.

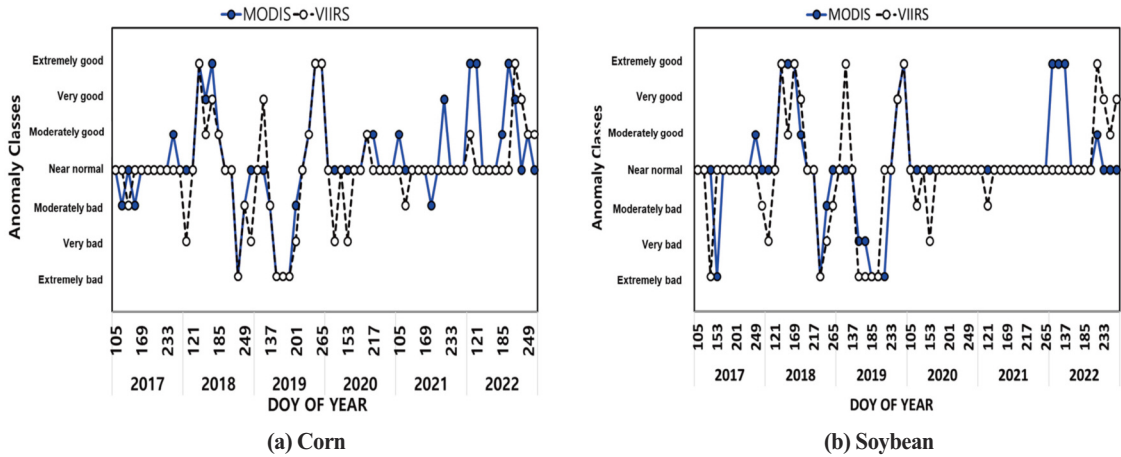
콩의 경우에도 VIIRS NDVI와 MODIS NDVI 차이는 옥수수와 대체로 유사한 변화 경향을 보였다. 두 위성의 NDVI가 높은 상관성과 유사한 변화 경향을 보이지만 작물 생육단계에 따라 차이를 보이는 것은 두 위성의 분광특성 및 공간해상도 등의 차이에 기인한 것으로 추정되며(Skakun et al., 2018), 향후 타 지역 및 작물

모니터링 적용시에도 사전 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2. NDVI기반 생육이상 등급 비교

두 위성의 NDVI 평년값과 당해연도 NDVI 값을 활용하여 Z-score 방법으로 생육이상(Anomaly) 등급을 산정하고 비교하였다(Fig. 4). 옥수수의 경우 2018년 5~6월 초기 생육이 평년에 비해 양호하였으나 생육 최적기인 8월 중순 급격히 저하되는 경향을 보였는데, MODIS와 VIIRS 영상 모두 대체로 동일한 생육이상 등급 변화를 보였다. 2019년에도 7월까지 생육이 평년에 비해 저조하다 8월 중순 이후 등숙기에 접어들면서 평년에 비해





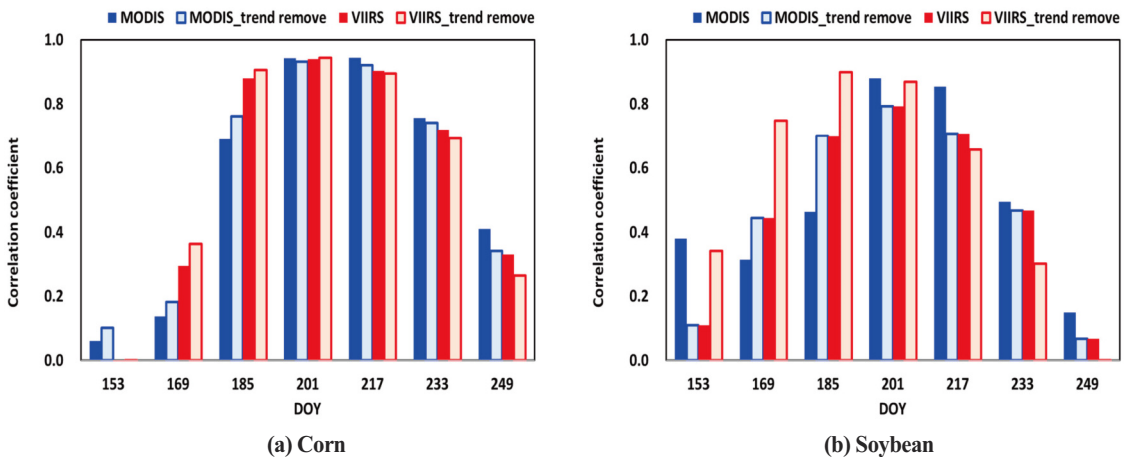
**Fig. 4.** Distribution of NDVI anomaly classes in MODIS and VIIRS satellite imagery on corn and soybean cultivation area in Illinois from 2017 to 2022 years.

양호한 생육을 보이는 경향은 MODIS와 VIIRS 영상 기반 생육이상 등급에서 유사하게 평가하였다. 그러나 2020~2021년에는 2018~2019년에 보였던 유사한 생육 이상 등급 변화는 보이지 않았다. 2022년의 경우 MODIS NDVI로 추정된 생육이상 등급과 VIIRS NDVI로 추정된 생육이상 등급이 16일간의 시차를 두면서 나타났다. 콩의 경우에도 옥수수와 유사한 생육이상 등급 변화를 보였다. 2018년과 2019년 생육 변동에 대해서는 대체로 MODIS, VIIRS NDVI로 산정한 생육이상 등급이 유사한 변화 경향을 보였다. 그러나 평년과 유사한 생육을 보인 2020, 2021년을 지나 2022년에는 서로 다른 생육이상 등급을 보였다. 이처럼 2020년 이후부터는 생육이상

등급 추정에 차이가 커지는 것에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3. NDVI와 작물 수량 상관성 비교

2012년부터 2022년까지 11년간 일리노이주 옥수수, 콩 재배지에 대한 MODIS, VIIRS NDVI와 옥수수, 콩 수량의 상관계수를 나타내었다(Fig. 5). 옥수수의 경우 MODIS, VIIRS NDVI 모두 7월 하순에서 8월 초순(DOY 201), 8월 초순에서 중순(DOY 217)의 값과 옥수수 수량의 상관계수가 0.8 이상으로 높은 정의 상관관계를 보여 MODIS 위성영상뿐 아니라 VIIRS 위성영상을 활용한 수량 추정 가능성을 확인할 수 있었다. VIIRS의



**Fig. 5.** Correlation coefficient changes between corn, soybean yields, and NDVI in MODIS and VIIRS satellite imagery in Illinois from 2012 to 2022 years. “trend remove” means a comparison excluding the increasing trend of grain yield.

경우 7월 초중순(DOY 217)의 NDVI에서도 옥수수와 수량의 상관계수가 0.8 이상의 값을 보였으며, 7~8월 위성영상 NDVI와 작물 수량 비교 시 작물 수량 증가 추세를 제거에 따른 상관계수 차이는 크지 않았다. 콩의 경우 MODIS, VIIRS NDVI와 수량의 최고 상관계수가 0.8 내외로 옥수수에 비해 낮은 것으로 나타났다.

MODIS 위성영상의 경우 7월 하순에서 8월 초순(DOY 201) NDVI와 수량의 상관계수가 가장 높았으며, 8월 초순에서 중순(DOY 217)이 그 다음으로 높았으며, 0.8 이상의 상관계수를 보인 구간에서는 작물 수량 증가 추세를 반영한 것이 NDVI를 활용한 콩 수량 추정에 유리한 것으로 나타났다. VIIRS NDVI와 콩 수량의 상관계수는 7월 초순에서 중순(DOY 185)에 작물 수량 증가 추세를 제외한 자료에서 가장 높았으며 이후 7월 하순에서 8월 초순(DOY 201)의 순이었다. 옥수수, 콩 모두 VIIRS 위성영상의 경우 MODIS에 비해서 NDVI와 수량의 상관성이 16일 정도 이른 시기부터 높은 경향을 보였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 MODIS, VIIRS NDVI를 공동 활용한 작황 평가 가능성을 분석하기 위해 미국 일리노이주 옥수수, 콩 재배지를 대상으로 2012년부터 2022년까지 11년 동안 NDVI 변화 특성을 분석하였다. 그 결과, VIIRS NDVI는 MODIS NDVI와 옥수수, 콩 재배지 모두에서 0.98 이상의 높은 상관계수를 보였다.

그러나 작물이 급격히 성장, 쇠락하는 6~7월, 9~10월의 경우에는 다른 시기에 비해 VIIRS 위성영상 NDVI가 MODIS NDVI에 비해 상대적으로 높은 값을 보여 선형적인 관계성이 떨어지는 것으로 나타났다. NDVI를 기반으로 Z-score법을 활용하여 MODIS와 VIIRS 위성의 생육이상 등급을 추정하고 비교한 결과, 2018년과 2019년 옥수수, 콩의 생육이상 등급은 유사한 변화 경향을 보였다.

그러나 2022년에는 MODIS, VIIRS NDVI로 추정된 생육등급의 차이가 커지는 것으로 나타나 센서 성능 감퇴 등의 영향에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 일리노이주 옥수수, 콩 재배지에 대한 MODIS,

VIIRS NDVI와 옥수수, 콩 수량의 상관계수는 0.8 이상의 높은 값을 보여 MODIS 위성영상뿐 아니라 VIIRS 위성영상을 활용한 수량 추정 가능성을 확인할 수 있었다. VIIRS NDVI의 경우 콩 수량 추정에서 작물 증가 추세를 제외하는 것이 상관성을 높여주는 것으로 나타났으며, MODIS에 비해서 NDVI와 수량의 상관성이 16일 정도 이른 시기부터 높은 경향을 보여 조기 추정에 대한 가능성도 확인할 수 있었다.

#### 사사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2020-RD009308)의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

#### References

Becker-Reshef, I., Vermote, E., Lineman M., and Justice, C., 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(6), 1312–1323. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.010>

Benedict, T. D., Brown, J. F., Boyte, S. P., Howard, D. M., Fuchs, B. A., Wardlow, B. D. et al., 2021. Exploring VIIRS continuity with MODIS in an expedited capability for monitoring drought-related vegetation conditions. *Remote Sensing*, 13(6), 1210. <https://doi.org/10.3390/rs13061210>

Datla, R., Shao, X., Cao, C., and Wu, X., 2016. Comparison of the calibration algorithms and SI traceability of MODIS, VIIRS, GOES, and GOES-R ABI sensors. *Remote Sensing*, 8(2),126. <https://doi.org/10.3390/rs8020126>

- org/10.3390/rs8020126
- Doraiswamy, P. C., Sinclair, T. R., Hollinger, S., Akhmedov, B., Stern, A., and Prueger, J., 2005. Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 192–202. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.015>
- Guo, W., Lu, D., Wu, Y., and Zhang, X., 2015. Mapping impervious surface distribution with integration of SNNP VIIRS-DNB and MODIS NDVI data. *Remote Sensing*, 7(9), 12459–12477. <https://doi.org/10.3390/rs70912459>
- Hong, S. Y., Hur, J., Ahn, J. B., Lee, J. M., Min, B. K., Lee, C. K. et al., 2012. Estimating rice yield using MODIS NDVI and meteorological data in Korea. *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(5), 509–520. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2012.28.5.4>
- Justice, C. O., Román, M. O., Csiszar, I., Vermote, E. F., Wolfe, R. E., Hook, S. J. et al., 2013. Land and cryosphere products from Suomi NPP VIIRS: Overview and status. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(17), 9753–9765. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50771>
- Lee, K. D., Na, S. I., Hong, S. Y., Park, C. W., So, K. H., and Park, J. M., 2021. Estimating corn and soybean yield using MODIS NDVI and meteorological data in Illinois and Iowa, USA. *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(5–2), 741–750. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2017.33.5.2.13>
- Lu, J., Carbone, G. J., and Gao, P., 2017. Detrending crop yield data for spatial visualization of drought impacts in the United States, 1895–2014. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.001>
- Meroni, M., Fasbender, D., Rembold, F., Atzberger, C., and Klisch, A., 2019. Near real-time vegetation anomaly detection with MODIS NDVI: Timeliness vs. accuracy and effect of anomaly computation options. *Remote Sensing of Environment*, 221, 508–521. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.041>
- Na, S. I., Hong, S. Y., Ahn, H. Y., Park, C. W., So, K. H., and Lee, K. D., 2021. Detrending crop yield data for improving MODIS NDVI and meteorological data-based rice yield estimation model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(2), 199–209. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.2.2>
- Skakun, S., Justice, C. O., Vermote, E., and Roger, J. C., 2018. Transitioning from MODIS to VIIRS: An analysis of inter-consistency of NDVI data sets for agricultural monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 39(4), 971–992. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1395970>
- United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service, 2023. Quick Stats tools. Available online: [https://www.nass.usda.gov/Quick\\_stats/index.php](https://www.nass.usda.gov/Quick_stats/index.php) (accessed on Nov. 20, 2023).
- United States Geological Survey, 2023. MODIS land - MODIS collections and other news. Available online: <https://modis-land.gsfc.nasa.gov/news.html> (accessed on Nov. 20, 2023).
- Wang, R., Wan, B., Guo, Q., Hu, M., and Zhou, S., 2017. Mapping regional urban extent using NPP-VIIRS DNB and MODIS NDVI data. *Remote Sensing*, 9(8), 862. <https://doi.org/10.3390/rs9080862>