Estimation of Winter Wheat Nitrogen Content, Biomass and Yield using UAV Images in South Korea

Kyung-Do Lee¹, Ho-yong An¹, Suk-young Hong², Chan-Won Park², Kyu-Ho So², Sang-In Shim³, Gi-Eun Song⁴, and Sang-Il Na^{1*}

¹Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

²Senior Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 56365, Korea

³Professor, National Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴PhD Student, National Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Corresponding author: sangil917@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 2, 2020

Revised: November 27, 2020

Accepted: November 30, 2020

ORCID

Kyung-Do Lee

<http://orcid.org/0000-0001-8870-9978>

Sang-Il Na

<http://orcid.org/0000-0001-7142-4845>

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)s have a high resolution of around 10 cm, and can acquire images with lower cost when we want. The purpose of this study was to estimate the winter wheat nitrogen content, biomass and grain yield using UAV image. We collected the time series UAV aerial images at the upland and the data were compared with the wheat nitrogen contents, biomass and yield in the experimental sites. Correlation coefficient (R) between the vegetation indices (NDVI, GNDVI, RVI, GRVI, NDRE) and wheat nitrogen contents were more than 0.8 from early-April to late-April. Correlation coefficient (R) between the vegetation indices (NDVI, GNDVI, RVI, GRVI, NDRE) and wheat biomass, grain yield, and crude protein were from 0.7 to 0.8 from early-April to late-April. Using these results, we were able to make the distribution map of the wheat nitrogen, biomass and yield. In the future, it will be necessary to study to recommend supplemental fertilization to ensure the wheat yield using UAV images information.

Keywords: UAV, Vegetation index, Remote sensing, Winter wheat, Nitrogen

Distribution map of biomass, grain weight, and grain crude protein in the winter wheat using UAV imagery.

Introduction

국내 1인당 밀 소비량은 쌀 다음으로 많지만 2018년 기준 자급률이 1.2%로 낮아 재배면적 확대를 위한 품질 개선 노력이 필요하다 (MAFRA, 2019). 밀가루 단백질 함량은 밀가루의 품질 특성에 큰 영향을 주는 요소로서 품종 및 재배기술 개발의 중요 지표이다 (Kang et al., 2010). 질소는 작물 생육 및 수량에 큰 영향을 미치는 중요한 요소로서 (Agren, 1985), 곡물 단백질 함량과 높은 정의 상관관계를 보인다 (Lee et al., 2003). 따라서, 질소 영양상태를 정확히 진단하여 질소 양분을 공급하는 것은 비료 사용의 효율성을 높여 줄 뿐 아니라 품질 증진을 위한 재배기술 적용의 기초자료로 활용될 수 있다 (Norman et al., 1992). 작물의 질소량을 파악하기 위해서는 식물체를 채취하여 분석하는 것이 가장 정확하나 많은 노력과 비용이 필요한 작업으로 확대하는 것에는 한계가 있다 (Kim et al., 2005). 원격탐사는 각종 센서를 이용하여 지면, 물, 대기에 대해 비접촉, 비파괴적 방법으로 정보를 얻어내는 기술로서 농업분야에서도 많이 이용되어 왔다. 원격탐사를 활용한 작황 분석은 주로 태양광이 식물체 표면에 도달하여 반사되는 특성이 고유한 식물의 생육 상태를 반영한다는 원리로 수행된다. 식물 생육이 양호할수록 400 - 700 nm의 가시광선 영역 복사선은 흡수하고 근적외선 영역 (700 - 1300 nm)은 반사하게 되는데, 이들 가시광선 영역과 근적외선 영역의 반사율을 다양하게 조합하여 계산한 식생지수 (Vegetation Index)로 수치에 기반한 작황 분석이 가능하다.

Kim et al. (2005)은 지상 분광반사 측정 센서를 활용하여 벼 군락의 반사율을 측정하여 식생지수가 벼 생육과 질소 영양 상태를 추정할 수 있다고 보고하였다. Kim and Hong (2007)은 지상광학센서를 이용하여 벼 군락 엽 질소 함량과 식생지수를 비교한 결과 식생지수가 웃거름 전 질소영양상태를 추정할 수 있었다고 보고하였다. Kang et al. (2010)은 지상원격측정 센서로 산정한 식생지수와 질소 비료 수준별 벼 질소 흡수량, 생체량 및 수량의 상호관계를 분석한 결과 7월 중순 - 8월 초에 측정한 센서 식생지수 값을 활용하여 질소 웃거름량 산정에 활용할 수 있을 것으로 보고하였다. 이처럼 지상에서 센서를 이용하여 군락 단위로 질소 상태를 진단하는 연구가 벼 중심으로 수행 되었으나 작업자가 센서를 운반하며 소규모 지점을 관측하는 방식으로 들녘 단위 정보를 얻는 것에는 한계가 있었다. 최근 무인비행체 기술 발전으로 100 - 300 ha 규모 들녘 단위에 대해 5 - 10 cm 내외 고해상도 항공 영상 수집이 가능하게 되어 국내외적으로 무인비행체 영상을 활용한 작황 정보 생산 연구가 활발히 진행되고 있다 (Lee et al., 2015). Walsh et al. (2018)은 무인비행체에 가시광선 및 근적외선 영역의 다중분광 카메라 센서를 장착하여 항공영상을 촬영하고 식생지수를 산정하여 질소함량을 추정한 바 있으며, Yang et al. (2019)은 가시광선 영역의 카메라를 무인비행체에 장착하여 영상을 촬영하고 밀 질소함량을 추정한 바 있다. 국내의 경우, Lee et al. (2015)은 친환경농업단지 95 ha에 대해 무인비행체 영상 식생지수와 표본 풋거름 작물의 질소량을 비교하여 식생지수 기반의 질소량 추정식을 구축하여 필지 별로 풋거름 작물의 질소량 분포를 추정한 바 있다. Lee et al. (2020)은 무인비행체 영상을 활용하여 벼 질소 함량 추정 연구를 수행한 바 있다. 그러나 국내에서는 무인비행체 영상 식생지수를 기반으로 밀 질소량 및 수량 추정 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 질소 비료량 수준별 조건에서 무인비행체 영상을 활용하여 밀 질소 함량, 건물중 및 수량을 추정하여 항공영상에 기반한 밀 질소영양상태 진단 및 웃거름 사용에 대한 기초자료를 제공하고 수행하였다.

Materials and Methods

본 연구는 경남 진주시 가좌동에 위치한 경상대학교 부속농장 전작포장 (35°08'57.5"N 128°05'49.2"E)에서 수행하였다 (Fig. 1). 시험 품종은 국내에서 육성된 경질밀 품종인 조정밀을 이용하였다. 시험 포장은 경운 후에 파종 3주

전에 퇴비를 1,000 kg 10a⁻¹ 양으로 살포하고 로타리 하였다. 화학비료 밑거름을 10월 29일 처리 후, 2019년 10월 30일에 조간 거리 25 cm로 세조파하였고, 파종량은 14 kg 10a⁻¹이다. 시비량은 10a 당 N-P₂O₅-K₂O를 성분량 기준 9.1-7.4-3.9 kg 사용하였고, 인산과 칼륨은 전량 밑거름으로 처리하였다. 파종 후 제초제 처리는 티오벤카브 입제를 2 kg 10a⁻¹ 살포하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 밀 표준 재배법에 준하였다. 질소 처리는 요소 비료를 이용하여 모든 질소 시험 처리구에 밑거름은 3.64 kg 10a⁻¹, 웃거름 1회차는 2월 20일 2.74 kg 10a⁻¹ 처리하였다. 웃거름 2회차 시비는 2020년 3월 13일에 3가지 질소 시비 처리량(0% : 0 kg 10a⁻¹, 30% : 2.73 kg 10a⁻¹, 60% : 5.46 kg 10a⁻¹)으로 질소 처리구별로 각 시험구에 손으로 사용하였다. 종합적으로 질소 시비량은 밑거름 40%, 1차 웃거름 30%가 처리되었고, 2차 웃거름(0%, 30%, 60%)에 따라 N1 (4:3:0), N2 (4:3:3), N3 (4:3:6)으로 구분하였다. 인산과 칼리 성분은 ha 기준으로 각각 74 kg, 39 kg을 사용하였다. 토양 화학성 분석은 국립농업과학원 토양 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 수행하였다 (Table 1). 채취한 토양을 풍건 후 2 mm 체로 통과시켜 pH는 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH미터로 측정하였다. 유기물은 원소분석기로 분석하였으며, 유효인산은 Landcaster법을 이용하였다. 치환성양이온은 pH 7.0 1N CH₃COONH₄로 치환 후 ICP (Inductively Coupled Plasma)로 분석하고 CEC를 계산하였다.

생육 조사는 2020년 3월 2일 (생육재생기)부터 2020년 4월 29일 (유숙기)까지 2주일마다 생육 조사구에서 초장을 측정하고 지상부를 채취하여 잎과 줄기를 분리하여 건조중을 측정하였다. 수확기 조사는 2020년 6월 9일에 지상부를 수집하여 수량을 조사하였다. 식물체 질소 분석은 건조된 잎을 실험용 분쇄기 (TUBE-MILL Control, IKA, Germination)에서 2분간 분쇄하여 혼합 후 원소분석기 (Automated True Macro Element Analyzer)를 이용하여 농도를 측정하였으며, 조단백질 함량 (%)은 질소 농도에 조단백질 계수 5.83을 곱하여 계산하였다 (Givens et al., 2004).

Fig. 1. Location of treatment and time-series aerial photos in the experimental site.

Table 1. Soil physicochemical properties of the experimental site.

Soil Depth (cm)	Soil Texture	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	CEC
					----- (cmol _c kg ⁻¹) -----	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----	(cmol _c kg ⁻¹)
0 - 20	Loam	7.1	29.7	250	1.25	8.17	0.91	14
20 - 40	Loam	7.1	14.1	83	0.71	8.08	0.89	13

Table 2. UAV image collecting dates.

Year (Count)	Month / Day
2020 (10)	1st : February 6, 2nd : March 2, 3rd : March 20, 4th : April 2, 5th : April 9, 6th : April 16, 7th : April 22, 8th : April 29, 9th : May 8, 10th : May 22

Table 3. Vegetation indices related to crop growth monitoring.

Name	Equation*	Reference
RVI (Ratio vegetation index)	Rn/Rr	Jordan (1969)
NDVI (Normalized difference vegetation index)	$(Rn-Rr)/(Rn+Rr)$	Tucker (1979)
GNDVI (Green normalized difference vegetation index)	$(Rn-Rg)/(Rn+Rg)$	Gitelson et al. (1996)
GRVI (Green ratio vegetation index)	Rn/Rg	Sripada et al. (2006)
NDRE (Normalized difference rededge)	$(Rn-Rrg)/(Rn+Rrg)$	Walsh et al. (2018)

* Rn, Rr, Rg and Rrg are the reflectance for NIR, red, green, blue and rededge bands, respectively.

무인비행체 항공영상은 2020년 2월 6일부터 5월 22일까지 REDEGE-MX (Micasense, USA) 카메라를 M200 (DJI, China) 기체에 장착하여 고도 30 m, 해상도 2 cm, 횡중복도 75%, 종중복도 75%, 비행속도 4 m s⁻¹로 설정하여 10회 촬영하였다 (Table 2). 무인비행체는 지상 컨트롤 시스템 (GCS : ground control system)을 이용하여 사전에 비행 경로를 설정하여 자동비행 모드로 비행토록 했다. 영상 합성 및 반사율 산정은 Pix4D mapper (Pix4D, Swiss) 프로그램을 사용하여 정합 (mosaic) 영상과 반사율 영상을 제작하였다 (Lee et al., 2016). 합성된 무인비행체 항공영상은 광량 등 외부 환경 요건에 따른 영상 값이 변동될 수 있으므로 비율 식을 이용하여 기상, 태양고도 및 카메라 특성에 따른 영상 값 변동을 상쇄하면서도 식생의 활력을 반영할 수 있는 식생지수 (Vegetation Index, Table 3)로 변환하여 질소, 건물중 및 수량 추정에 활용하였다 (Lee et al., 2020). 합성된 무인비행체 항공영상을 이용하여 식생지수 값 추출 및 지도 작성은 Leica사의 Erdas Imagine 및 ESRI사의 Arcgis Arcinfo 프로그램을 이용하였다.

질소 2차 웃거름 수준에 따른 영상 식생지수의 차이 비교를 위해 R프로그램을 이용하여 Turkey 다중검정을 수행하였다. 무인비행체 영상 식생지수와 밀 질소 농도, 건물중 및 수량의 상관성을 분석하기 위해 시계열로 촬영된 무인비행체 영상 식생지수 값과 밀 질소 농도, 건물중 및 수량의 피어슨 상관계수를 구하여 비교하였다. 상관계수가 높게 나타나는 시기의 무인비행체 영상 식생지수를 독립변수로 하여 밀 질소, 건물중 및 수량을 추정하기 위해 아래 식과 같이 선형 회귀식을 구축하였다 (Eq. 1).

$$Y = aX + b \cdots \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, Y는 밀 질소 농도, 건물중 또는 수량이며, X는 무인비행체 영상 식생지수, a와 b는 계산 상수이다. 상관계수 계산 및 선형회귀식 구축은 엑셀 프로그램 (Microsoft Excel 2010, Microsoft Inc.)을 활용하였다.

Results and Discussion

무인비행체 영상 식생지수 기반 밀 질소함량 추정 수준별 질소 처리 포장의 무인비행체 영상 식생지수 변화는 Fig. 2와 같다. NDVI, GNDVI, GRVI, NDRE 식생지수는 밀 생육과 함께 지속적으로 값이 증가하다 4월초에서 5월초까 최대값을 보이고 이후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 반면에 RVI 값은 4월 초에 최대값을 보이고 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 2월 20일 1차 질소비료 웃거름 시 까지는 시험구별로 식생지수의 차이가 없었으나 3월 13일 2차 질소비료 웃거름 시용 이후 약 20일이 경과한 4월 2일부터 처리구 간의 식생지수 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. NDVI는 4월 경우 2차 웃거름 질소량에 따른 차이가 구간별로 명확히 구분되지 않았으나 5월 초 식생지수

감소 시에는 2차 질소 웃거름 처리별로 구분이 되는 것을 확인할 수 있었다. GNDVI의 경우에도 4월 2일에는 N3 (4:2:6) 처리와 N1 (4:2:0), N2 (4:2:3) 처리구 간에는 차이를 보였으나 N1 (4:2:0), N2 (4:2:3) 처리구 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다. RVI와 GRVI의 경우 4월말 1 - 2회 2차 질소 웃거름 처리구 간의 식생지수 차이가 보이기도 하였으나 지속적인 구분은 어려웠다. 그러나 NDRE 식생지수는 4월 2일 N3 (4:3:6) 처리구의 차이가 보인 이후 식생지수가 급격히 감소하였던 5월 초까지 지속적으로 질소 처리구별 식생지수 값의 유의한 차이를 보였다. 이는 Karande et al. (2014)이 지상 분광복사계로 반사율을 측정하고 산정한 NDRE 식생지수가 밀 질소 결핍 진단에 효과적이었다는 연구와 일치하는 결과이다. 지상 센서 및 항공 영상을 이용해 산정한 NDRE 식생지수가 다른 식생지수에 비해 질소 웃거름 양에 따른 값 차이에 민감하게 반응하는 결과를 보인 만큼 질소비료 사용량 차이 구분 및 식물체 질소량 진단에 NDRE 식생지수가 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 2. Temporal changes in Vegetation Index (NDVI, GNDVI, RVI, GRVI, NDRE) values of canopy during the growing season under different nitrogen levels (a, b, c : Turkey multiple comparison, 5% significant).

2차 웃거름 이후 밀 생육의 질적 변화가 일어나는 4월 중순 개화, 출수기 까지 무인비행체 영상 식생지수와 밀 식물체 질소함량의 상관계수는 Table 4와 같았다. 밀 식물체 질소 함량과 NDVI, GNDVI, RVI, GRVI 식생지수의 상관관계는 수잉기 (booting stage)인 4월 2에 0.77 - 0.84로 가장 높았으며 이후 개화, 출수기인 4월 16일에는 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Walsh et al. (2018)가 무인비행체 식생지수와 밀 질소 함량 상관관계를 분석한 연구에서 수잉기에 가장 높은 상관성을 보였다는 보고와 동일한 것이다. 식생지수와 밀 식물체 질소함량과의 상관계수 값은 4월 2일의 GRVI 식생지수 값이 가장 높았으나 NDRE 식생지수와 거의 값의 차이가 없고 NDRE 식생지수가 질소 처리구 별로 가장 뚜렷한 차이를 보여 NDRE 식생지수를 기반으로 식물체 질소함량 추정식을 구축한 결과 결정계수가 0.7로서 밀 질소 함량의 약 70%를 설명할 수 있었다 (Fig. 3). 무인비행체 영상 GRVI 식생지수 기반으로 수잉기에 밀 질소

Table 4. Correlation coefficient between N concentration (%) in wheat plant and vegetation indices by UAV images.

Vegetation Index	Date of data collection date		
	19 March	2 April	16 April
NDVI	0.47	0.77*	0.47
GNDVI	0.55	0.84**	0.65
RVI	0.52	0.81*	0.67
GRVI	0.58	0.84**	0.73*
NDRE	0.57	0.84**	0.70

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

Fig. 3. Relationship between winter wheat nitrogen contents and vegetation index (NDRE).

Fig. 4. Distribution map of winter wheat nitrogen contents using UAV imagery.

함량 분포지도를 작성한 것은 Fig. 4와 같았다. 시험포장 중간에 생육조사를 위한 시료 채취구를 제외하면 대체로 N3 (4:3:6) 처리구의 질소함량이 가장 높았고 N2 (4:3:3), N1 (4:3:0) 순이었다. N3 (4:3:6)의 경우 질소함량이 고르게 분포하였으나 N2 (4:3:3) 및 N1 (4:3:0) 포장의 경우 N3 (4:3:6) 포장에 비해 질소 분포의 공간적 변이가 큰 것을 확인할 수 있었다. 밀 종실의 질소 함량은 밀 품질과 밀접한 관계가 있으므로 무인비행체 영상을 활용하여 작성한 밀 식물체 질소분포 추정 지도는 질소영양 상태 진단의 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

무인비행체 영상 식생지수 기반 밀 건물중, 수량 및 종실 조단백질 추정 수확기 밀 건물중, 수량 및 종실 조단백질과 무인비행체 영상 식생지수의 상관관계 조사 결과는 Table 5과 같았다. 수확기 밀 건물중과 영상 식생지수의 상관계수는 4월 초부터 4월 말까지 0.68 - 0.80의 값을 보였다. 식생지수별 상관계수 최솟값은 NDVI 0.74, GNDVI 0.79, RVI 0.76, GRVI 0.79, NDRE 0.80으로 NDRE가 가장 높은 상관성을 보였다. 밀 수량과 영상 식생지수의 상관계수는 수잉기인 4월2일부터 4월말까지 0.55 - 0.78의 값을 보였는데 건물중과 같이 NDRE에서 상관계수 0.78로 가장 높은 값을 보였다. 밀 종실의 조단백질 함량과 영상 식생지수의 상관계수도 수잉기인 4월2일부터 4월말까지 0.55 - 0.77의 값을 보였으며 4월 22일 NDRE 식생지수에서 상관계수 0.77로 가장 높은 값을 보였다.

Table 5. Correlation coefficient between winter wheat biomass, grain yield, grain crude protein and vegetation indices by UAV images.

Biomass (g/m ²)	Date of data collection date									
	6-Feb	2-Mar	20-Mar	2-April	9-April	16-April	22-pril	29-pril	8-May	22-May
NDVI	-0.02	0.31	0.54**	0.73**	0.74**	0.72**	0.72**	0.74**	0.70**	0.41
GNDVI	-0.02	0.33	0.55**	0.78**	0.77**	0.79**	0.71**	0.77**	0.68**	0.49*
RVI	-0.02	0.31	0.53**	0.76**	0.72**	0.76**	0.70**	0.72**	0.58**	0.36
GRVI	-0.02	0.33	0.53**	0.75**	0.74**	0.79**	0.68**	0.74**	0.59**	0.46*
NDRE	0.02	0.39	0.57**	0.77**	0.77**	0.80**	0.72**	0.76**	0.62**	0.21

Grain Weight (g/m ²)	Date of data collection date									
	6-Feb	2-Mar	20-Mar	2-April	9-April	16-April	22-pril	29-pril	8-May	22-May
NDVI	-0.07	0.25	0.45*	0.55**	0.60**	0.57**	0.61**	0.60**	0.70**	0.59**
GNDVI	-0.06	0.33	0.50**	0.66**	0.68**	0.67**	0.66**	0.68**	0.71**	0.60**
RVI	0.00	0.32	0.50**	0.66**	0.69**	0.73**	0.70**	0.69**	0.71**	0.58**
GRVI	-0.01	0.44	0.58**	0.70**	0.69**	0.67**	0.61**	0.69**	0.56**	0.37
NDRE	0.06	0.47*	0.60**	0.75**	0.78**	0.77**	0.75**	0.78**	0.74**	0.28

Nitrogen Conc. (%)	Date of data collection date									
	6-Feb	2-Mar	20-Mar	2-April	9-April	16-April	22-pril	29-pril	8-May	22-May
NDVI	-0.03	0.16	0.22	0.55**	0.57**	0.52**	0.68**	0.57**	0.77**	0.65**
GNDVI	-0.04	0.25	0.34	0.69**	0.69**	0.66**	0.75**	0.68**	0.76**	0.70**
RVI	-0.03	0.20	0.25	0.62**	0.63**	0.64**	0.73**	0.63**	0.74**	0.64**
GRVI	-0.04	0.21	0.29	0.62**	0.63**	0.62**	0.70**	0.63**	0.66**	0.67**
NDRE	0.05	0.34	0.41	0.72**	0.74**	0.72**	0.77**	0.74**	0.74**	0.56**

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

무인비행체 영상 NDRE 식생지수와 밀 건물중, 수량 및 종실 조단백질의 상관계수가 가장 높았던 시기는 약간씩 달랐으나 밀 단백질 함량 증진을 위해 4월 중순 출수기 알거름 시용을 고려하여 4월 9일 NDRE 식생지수를 바탕으로 건물중, 수량 및 종실 조단백질 함량을 추정하고 (Fig. 5), 공간 분포 지도를 작성한 것은 Fig. 6과 같았다. 질소수준별 밀 건물중, 수량 및 종실 조단백질 함량 분포는 질소 웃거름량이 가장 많았던 N3 (4:3:6) 처리구에서 가장 높았으며, N1 (4:3:0) 처리구에서 낮은 경향을 보였다. 동일한 포장 내에서도 지점에 따라 수량의 변이가 발생하였는데, 이는 불

Fig. 5. Relationship between winter wheat biomass, grain yield, grain nitrogen and vegetation index (NDRE).

균일한 양분 관리 등 세부적인 영농관리 방법의 차이에 기인한 것으로 추정되나 정확한 원인 규명을 위해서는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다 (Lee et al., 2004; Lee et al., 2019). 들녘 단위로 정밀 농작업을 수행하기 위해서는 작황 정보의 공간 변이 정보 생산이 선행되어야 한다 (Lee et al., 2004). 그러나 기존 연구에서는 격자별 토양, 작물 시료 채취 및 수확장비에 수량 측정 장비를 부착하여 변이 정보를 수집하여 (Chung et al., 1999) 데이터 수집, 처리 및 공간변이 분포 정보 생산까지 시간과 비용의 소요가 클 뿐 아니라 당해 연도 영농지원에는 제한이 있었다. 본 연구에서는 밀 수잉기부터 등숙기에 무인비행체 영상을 이용하여 밀 건물중, 수량 및 종실 단백질 함량을 추정함으로써 단백질 함량 증진을 위한 사전 진단 가능성을 확인하였다. 추후에는 웃거름 질소 사용량 차이에 따른 질소이용효율, 수량 등을 연차간 반복 실험하여 분석함으로써 영상기반 밀 질소함량 진단을 통한 웃거름 사용량 결정 방법을 확립하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 6. Distribution map of biomass, grain weight, and grain crude protein in winter wheat using UAV imagery.

Conclusions

무인비행체 영상 식생지수를 활용하여 밀 질소 함량 및 수확기 건물중, 종실 수량, 종실 단백질 함량 추정 가능성을 평가하기 위하여 질소비료 수준을 다르게 처리한 시험 포장에서 시계열 무인비행체 영상을 촬영하고 밀 질소 농도 및 수확 조사구의 조사 결과와 비교하였다. 그 결과 밀 식물체 질소 함량은 수잉기에 촬영한 무인비행체 영상 식생지수와 상관계수 0.8 이상의 높은 상관성을 보여 무인비행체 영상으로 밀 질소 함량 추정이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한, 수확기 밀 건물중, 수량 및 종실 조단백질량과 무인비행체 영상 식생지수의 상관계수도 밀 수잉기부터 등숙기 사이에 식생지수 별로 0.7 - 0.8의 높은 상관성을 보였다. 이를 통해 질소비료 처리 수준이 다른 포장뿐 아니라 동일한 질소비료를 사용한 포장 내에서도 밀 질소 함량 및 수량 분포의 공간 변이 정보를 생산할 수 있었다. 무인비행체 영상을 활용한 밀 질소 함량 및 수량 추정 분포 공간 변이 정보는 추후 밀 품질 및 수량 향상을 위한 옷거름 사용의 효율성을 높이기 위한 영농작업 계획 수립에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후에는 밀 질소 함량 및 수량의 공간변이 원인 규명과 함께 옷거름 질소 사용량 차이에 따른 수량, 질소이용효율 등을 연차간 반복 실험하여 영상기반 질소 옷거름 사용량 결정 방법을 확립하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01384101)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Agren, G.I. 1985. Theory for growth of plants derived from the nitrogen productivity concept. *Physiologia Plantarum*. 64:17-28.
- Chung, S.O., W.K. Park, Y.C. Chang, D.H. Lee, and W.P. Park. 1999. Yield mapping of a small sized paddy field. *J. Biosyst. Eng.* 24(2):135-144 (in Korean).
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 58:289-298.
- Givens, D.I., T.W. Davies, and R.M. Laverick. 2004. Effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain. *Animal Feed Science and Technology*. 13:168-181.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*. 50:663-666.
- Kang, C.S., C.S. Park, J.C. Park, H.S. Kim, Y.K. Cheong, K.H. Kim, K.J. Kim, K.H. Park, and J.G. Kim. 2010. Flour characteristics and end-use quality of Korean wheat cultivars I. flour characteristics. *Korean J. Breed. Sci.* 42(1):61-74 (in Korean).
- Kang, S.S., H.Y. Gong, H.C. Jung, Y.H. Kim, S.K. Hong, and S.D. Hong. 2010. Evaluation of biomass and nitrogen status in paddy rice using ground-based remote sensors. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:954-961 (in Korean).
- Karande, B., M.M. Lunagaria, K.I. Patel, and V. Pandey. 2014. Model for detecting nitrogen deficiency in wheat crop using spectral indices. *Journal of agrometeorology*. 16(1):85-93.
- Kim, M.H., J.C. Shin, and B.W. Lee. 2005. Applicability of vegetation index and SPAD reading to nondestructive diagnosis of rice growth and nitrogen nutrition status. *Korean J. Crop Sci.* 50:369-377 (in Korean).

- Kim, Y.H. and S.Y. Hong. 2007. Estimation of nondestructive rice leaf nitrogen content using ground optical sensors. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:435-441 (in Korean).
- Lee, C.K., M. Umeda, I.G. Jung, J.H. Sung, S.C. Kim, W.P. Park, and Y.B. Lee, 2004. Spatial variability analysis of paddy rice yield in field. *J. Biosyst. Eng.* 29(3):267-274 (in Korean).
- Lee, K.B., D.K. Jun, and J.C. Chae. 2003. Effects of nitrogen fertilization on quality characteristics of rice grain and aroma-active compounds of cooked rice. *Korean J. Crop Sci.* 48(6):527-533 (in Korean).
- Lee, K.D., C.W. Park, K.H. So, H.Y. An, S.Y. Hong, S.Y. Jang, and S.I. Na. 2020. Estimation of rice leaf nitrogen content and yield using UAV images. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(3):335-344 (in Korean).
- Lee, K.D., H.Y. An, C.W. Park, K.H. So, S.I. Na, and S.Y. Jang. 2019. Estimation of rice grain yield distribution using UAV imagery. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 61(4):1-10 (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 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2019. Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook.
- Norman, R.J., D. Guindo., B.R. Wells, and C.E. Wilson. 1992. Seasonal accumulation and partitioning of N₁₅ in rice. *Soil Soc. Am. J.* 56:1251-1527.
- Sripada, R.P., R.W. Heiniger, J.G. White, and A.D. Meijer. 2006. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. *Agronomy Journal*. 98:968-977.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8:127-150.
- Walsh, O.S., S. Shafian, J.M. Marshall, C. Jackson, J.R. McClintick-Chess, S.M. Blanscet, K. Swoboda, C. Thompson, K.M. Belmont, and W.L. Walsh. 2018. Assessment of UAB based vegetation indices for nitrogen concentration estimation in spring wheat. *Advances in Remote Sensing*. 7:71-90.
- Yang, B., M. Wang, Z. Sha, B. Wang, J. Chen, X. Yao, T. Cheng, W. Cao, and Y. Zhu. 2019. Evaluation of aboveground nitrogen content of winter wheat using digital imagery of unmanned aerial vehicles. *Sensors*. 19:4416.