

Evaluation of Feed Value of IRG in Middle Region Using UAV

Sang-Il Na, Young-Jin Kim¹, Chan-Won Park, Kyu-Ho So, Jae-Moon Park, and Kyung-Do Lee*

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

¹Paddy Crop Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Milryang 50424, Korea

*Corresponding author: kdlee11@korea.kr

ABSTRACT

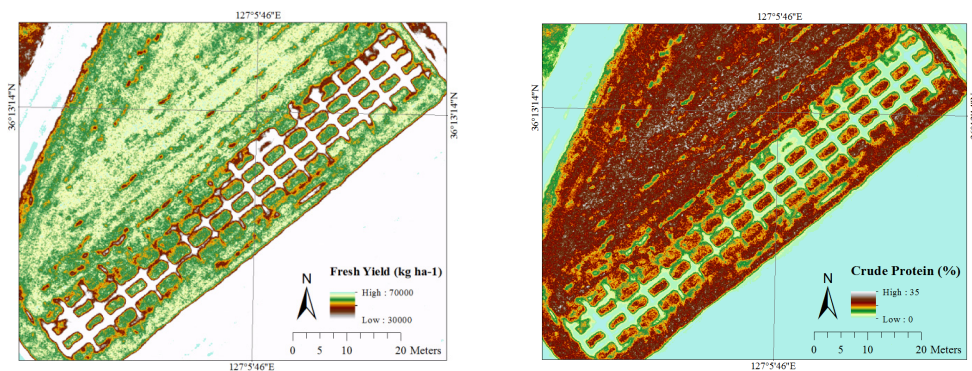
Received: September 1, 2017

Revised: October 11, 2017

Accepted: October 30, 2017

Italian ryegrass (IRG) is one of the fastest growing grasses available to farmers. It offers rapid establishment and starts growing early in the following spring and has fast regrowth after defoliation. So, IRG can be utilized as the dominant/single species of grass used in a farming system, or to play a role as a large producing pasture and sacrificial paddock. The objective of this study was to develop the use of unmanned aerial vehicle (UAV) for the evaluation of feed value of IRG. For this study, UAV imagery was taken on the Nonsan regions two times during the IRG growing season. We analyzed the relationships between $NDVI_{UAV}$ and feed value parameters such as fresh matter yield, dry matter yield, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), total digestible nutrient (TDN) and crude protein at the season of harvest. Correlation analysis between $NDVI_{UAV}$ and feed value parameters of IRG revealed that $NDVI_{UAV}$ correlated well with crude protein ($r = 0.745$), and fresh matter yield ($r = 0.655$). According to the relationship, the variation of $NDVI_{UAV}$ was significant to interpret feed value parameters of IRG. Eight different regression models such as Linear, Logarithmic, Inverse, Quadratic, Cubic, Power, S, and Exponential model were used to estimate IRG feed value parameters. The S and exponential model provided more accurate results to predict fresh matter yield and crude protein than other models based on coefficient of determination, p- and F-value. The spatial distribution map of feed values in IRG plot was in strong agreement with the field measurements in terms of geographical variation and relative numerical values when $NDVI_{UAV}$ was applied to regression equation. These lead to the result that the characteristics of variations in feed value of IRG according to $NDVI_{UAV}$ were well reflected in the model.

Keywords: IRG, UAV, NDVI, Feed value, Spatial distribution map



Fresh yield (kg ha^{-1})

Crude protein (%)

Spatial distribution of feed values in IRG plots.



Introduction

최근 중국, 베트남, 뉴질랜드 등 FTA 체결국이 확대됨에 따라 축산물의 수입 급증으로 인한 국내 축산분야 피해가 클것으로 전문가들은 예측하고 있다. 이에 따라 농림축산식품부는 FTA 체결 및 급변하는 축산 환경에 능동적으로 대응하고 축산업 피해를 최소화하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 국내 축산농가 경쟁력 확보를 위하여 FTA 피해 예상분야인 한우, 낙농, 양돈분야에 대한 개량사업과 함께 적정사육두수 조절을 위한 대책을 동시에 추진 중에 있으며, 양질의 조사료 생산기반 확대를 위하여 조사료 생산면적 확대 조성 및 품질향상을 위해 노력하고 있다. 여기서, 조사료란 가소화영양소 함량이 적고 섬유질이 많은 사료의 총칭으로 각종 짚류, 건초류, 생초류 및 청예작물, 사일리지와 근채류 등이 포함된다. 국내에서는 동계재배 사료 작물로 호밀, 청보리, 이탈리아인 라이그라스 (Italian-ryegrass, IRG), 유채 등이 있으며, 그 중 IRG는 조단백질, 가소화양분 및 당분함량이 많아 사료가치가 우수한 사료작물이다. 또한, 국립축산과학원에서는 극조생종 ‘그린팜’과 조생종 ‘코윈어리’를 9월 하순 벼가 있는 상태에서 파종하는 재배기술을 개발하여 중부지역 논에서 IRG 재배면적을 확대하는 계기가 마련되었다.

조사료의 품질은 근적외선 분광기를 이용하여 건초의 수분함량, 섬유소, 조단백질 및 조회분 등의 성분검사를 통해 최종 등급을 판정한다. 그러나 이와 같은 방법은 시료의 건조 및 분쇄과정을 거치는 전처리가 필요하고, 포장 일부분에서 샘플을 채취하는 방법으로 생육이 불규칙한 포장 전체에 대한 정확한 등급 판정에는 한계가 있다. 이와 같은 조사료 품질관리 체계의 한계는 국내에서 생산된 조사료의 품질에 대한 불신으로 이어져 축산농가의 국내산 조사료의 이용 기피로 이어지고 있으며, 국내산 조사료의 유통 활성화를 저해하는 큰 요인으로 지적되고 있다 (Park et al., 2012). 따라서 포장 전체에 대하여 신속하고 정확하게 등급을 평가할 수 있는 기술의 개발과 품질관리 체계 구축이 필요한 시점이다.

한편, 첨단 기술이 발전함에 따라 무인비행체 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)를 이용한 작황 모니터링에 대한 연구가 증가하고 있다. UAV는 촬영비용이 위성영상과 비교하여 상대적으로 저렴하고 10 cm 안팎의 높은 해상도와 함께 원하는 시기의 영상 수집이 용이하여 정밀한 분석이 요구되는 들녘단위 (100~1,000 ha) 작황추정 연구에 유용하다 (Na et al., 2016a). UAV를 이용한 작황추정 관련 연구는 주로 가시광선 카메라 (Bendig et al., 2014), 근적외선 카메라 (Hunt et al., 2010) 및 레이저 스캐너 (Tilly et al., 2012) 등 UAV에 탑재한 센서를 이용한 작물 생육 및 작황변이 모니터링에 관한 연구를 시작으로 UAV로부터 얻어지는 식생지수를 활용하여 작물의 재배면적, 생육, 수량 및 재배 등을 모니터링하려는 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 그 결과, 현재에는 UAV 기반 최적 식생지수를 이용한 맥류 작황 추정식 유도 (Na et al., 2016b), UAV 기반 식생지수와 기상요인을 이용한 고랭지배추 작황평가 (Na et al., 2016d) 등 UAV를 이용한 작황 추정 모형 개발에 관한 연구로 본격화 되었으며, 정밀농업 분야와의 연계를 위한 UAV 기반 식생지수 자료 생성방안 (Candiago et al., 2015), UAV 영상과 현장조사 자료를 이용한 IRG 재배단지의 필지별 생육인자 분포도 작성 (Na et al., 2016c), UAV를 이용한 고랭지배추 재배현황맵 작성 및 활용방안 (Na et al., 2016a) 등 UAV의 활용방안에 관한 연구로 확대되는 추세이다. 이와 같이 많은 연구자들은 식생지수와 농작물의 생육인자간에 선형관계가 있다고 보고하고 있으며, 현재에도 UAV를 활용한 생육인자 추정 연구를 계속하고 있다.

본 연구에서는 UAV를 활용한 중부지역 IRG의 사료가치 평가 기법 개발을 위하여 충남 논산시의 시험포장을 대상으로 UAV 영상에서 추출한 식생지수와 사료가치 평가 요인별 상관분석을 수행하고 회귀모형을 도출하였다. 또한 모형을 UAV 영상에 적용하여 들녘단위 분포도를 작성하였다.

Materials and Methods

대상지역 및 시험포장 조성 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 충청남도 논산시 부적면 왕덕리의 IRG 재배단지 내 (N36°13'13.32", E127°5'45.81") 1,150 m²를 대상으로 시험포장을 조성하고, UAV 촬영 및 생육조사를 수행하였다. 대상지역의 IRG 생육기간에 따른 기상특성으로 기온은 10.9°C로 평년대비 1.1°C 높았으며, 강수량은 326 mm로 평년보다 46 mm (116%) 많은 것으로 나타났다 (KMA, 2017). 시험 포장 논 토양의 토양통은 석천통으로 양토이며, 토양의 pH는 5.81, 토양 질소 함량은 0.20%, 유기물 함량은 27.34 g kg⁻¹, 인산은 76.64 mg kg⁻¹, 염기치환용량은 12.91 cmol⁺ kg⁻¹를 나타내었다 (Table 1). 또한, 시험구의 크기는 각각 2 m × 4 m이며, 배치는 난괴법 3반복으로 하였으며, 기본 재배법은 무경운 재배로 파종량은 50 kg ha⁻¹, 그 외 시험구별 처리 내용은 Table 2와 같다.



Fig. 1. Split plot design for the experiments in Nonsan-si.

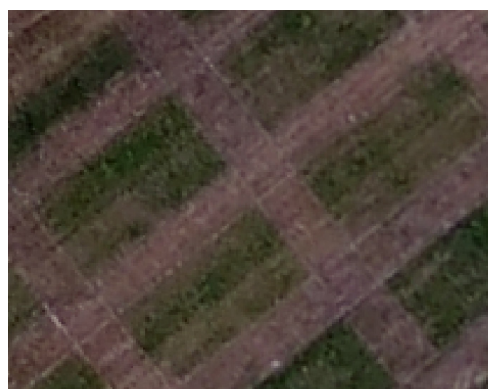
Table 1. The physicochemical properties of paddy field soil experiment.

Soil series	Soil texture	pH	Total-N (%)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)
SEOGCHEON	Loam	5.81	0.20	27.34	76.64	12.91

UAV 영상 촬영 및 처리 UAV 영상 촬영은 IRG 출현기 (4월 20일)와 출수기 (5월 11일) 2회에 걸쳐 수행하였다 (Fig. 2). UAV (eBee, Sensefly, Swiss)는 고정익으로 육안 판독을 위한 가시광선 (Red, Green, Blue) 파장 카메라 (IXUS/ELPH, Cannon, Japan)와 식생지수 산출을 위한 근적외선 (Red, Green, NIR) 파장 카메라 (S110, Cannon, Japan)를 번갈아 탑재하여 촬영하였다. 공간해상도 5 cm의 날장으로 촬영된 영상은 전처리 프로그램 (Postflight

Table 2 Treatments of plot.

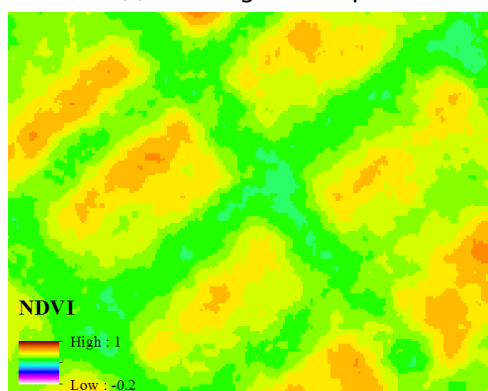
Test	Treatment
Split application rate of nitrogen fertilizer (basal : additional)	100 : 0
	50 : 50
	100 : 0 + urea fertilizer 100 kg ha ⁻¹
	100 : 0 + silicate 200 kg ha ⁻¹ + urea fertilizer 100 kg ha ⁻¹
	100 : 0 + lime 200 kg ha ⁻¹ + urea fertilizer 100 kg ha ⁻¹
Fertilization level (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, kg ha ⁻¹)	100-80-80
	120-100-100
	140-120-120
	160-140-140
	140-120-120 + Silicate 200 kg ha ⁻¹
	140-120-120 + Lime 200 kg ha ⁻¹
	24 Sep. (last year)
Seeding dates	5 Feb.
	16 Feb.
	19 Feb.
	26 Feb.
	5 Mar.



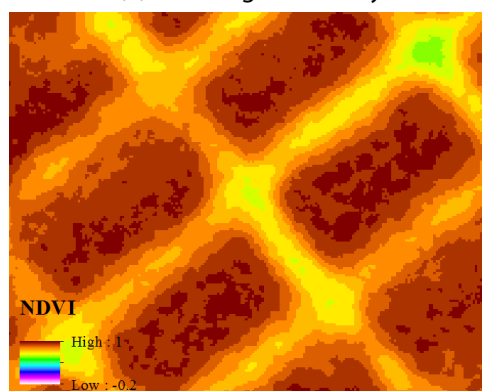
(a) RGB image on 20 Apr.



(b) RGB image on 11 May



(c) NDVI distribution on 20 Apr.



(d) NDVI distribution on 11 May

Fig. 2. RGB imagery and NDVI distribution of IRG plots using UAV.

Terra3D, Pix4D, Swiss)을 이용하여 정사영상과 DSM (Digital Surface Model) 제작을 위한 전처리 (Initial Processing) 과정을 수행하였으며, 접합된 영상은 반사율 영상으로 변환한 후 Eq. 1의 관계식을 이용하여 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 를 산출하였다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, NIR은 S110 카메라의 파장 850 nm 근적외선 밴드이며, Red는 파장 625 nm의 가시광선 밴드이다. NDVI의 범위는 -1.0에서 1.0까지이며, 증가하는 양수 값은 식생 활력도의 증가를 의미한다.

IRG 수량성 및 사료가치 평가 IRG의 수량성 평가를 위하여 수확기 (파종 후 210일) 생육조사 후 수량을 확인하였다. 수량구는 50 cm × 50 cm 방형구로 하여, 3반복으로 수확하고 수량을 조사한 후 사료가치 분석에 사용하였다. 시료는 70°C 순환식 건조기에 72시간 건조한 후 건물중량 및 건물함량을 산출한 후 마쇄하여 분석에 사용하였다. 시료의 조단백질 분석은 AOAC (1995) 방법으로, 중성세제불용섬유 (neutral detergent fiber, NDF) 및 산성세제불용섬유 (acid detergent fiber, ADF) 함량은 Goering과 Van Soest (1970)의 방법으로 분석하였으며, 가소화영양분총량 (total digestible nutrient, TDN)은 ADF 측정값을 Eq. 2에 적용하여 산출하였다 (Holland et al., 1990).

$$TDN (\%) = 88.9 - (0.79 \times \% ADF) \quad (\text{Eq. 2})$$

통계 분석은 SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램 (Statistics Standard ver. 18, IBM Inc.)을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, Duncan's multiple range test에 의하여 5% 유의수준에서 처리구간의 통계적인 차이를 구명하였다.

Results and Discussion

시험구 처리별 NDVI_{UAV}와 IRG 사료가치 비교 UAV를 활용한 IRG의 사료가치 평가 기법 개발을 위하여 UAV 영상에서 얻어진 NDVI와 IRG 사료가치 평가 결과를 비교 분석하였다. 먼저 질소 분시비율에 따른 NDVI_{UAV}와 사료가치 비교 결과는 Table 3과 같다. 출수기 (5월 11일) NDVI_{UAV}의 경우 시비 표준량을 기비로 전량 사용시 (100 : 0) 가장 낮은 수준을 나타내었으며, 추비 및 요소의 추가 사용에 따라 점차 높게 나타났다. 반면에 시비 표준량을 기비로 전량 사용 (100 : 0) 했을 때의 건물수량은 6,444 kg ha⁻¹으로 기비 : 추비 (50 : 50)로 사용했을 때의 6,342 kg ha⁻¹과 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 표준시비량을 전량 기비 (100 : 0)로 주고 3~4엽기 (4월 29일)에 요소 100 kg ha⁻¹를 추가 사용했을 때는 건물수량이 8,151 kg ha⁻¹으로 26% 증가했으며, 2~3엽기 (4월 12일)와 3~4엽기 (4월 29일)에 각각 요소 100 kg ha⁻¹씩을 추가 사용하면 건물수량이 9,405 kg ha⁻¹으로 46% 나 비약적으로 증가하는 경향을 나타내었다. TDN 함량 및 조단백질 함량 역시 62.01%, 17.70%로 가장 높은 수치를 나타내었다.

Table 3. NDVI_{UAV} and feed values under different application rate of N fertilizer.

Split application rate of N fertilizer (basal : additional)	NDVI _{UAV}		F.Y. (kg ha ⁻¹)	D.Y. (kg ha ⁻¹)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)	C.P. (%)
	20 Apr.	11 May						
100 : 0	0.509	0.660	35,261 ^d	6,444 ^d	34.77	54.25	61.43	6.42 ^d
50 : 50	0.472	0.742	36,710 ^d	6,342 ^d	35.08	56.07	61.19	8.86 ^{cd}
100 : 0 + Urea 100 kg ha ⁻¹ (Apr.12)	0.470	0.755	54,233 ^c	7,291 ^c	34.27	55.23	61.83	10.11 ^c
100 : 0 + Urea 100 kg ha ⁻¹ (Apr.29)	0.478	0.753	55,026 ^b	8,151 ^b	34.13	54.41	61.94	14.07 ^b
100 : 0 + Urea 200 kg ha ⁻¹ (Apr.12, 29)	0.497	0.769	57,521 ^a	9,405 ^a	34.04	53.79	62.01	17.70 ^a

F.Y.: Fresh matter yield, D.Y.: Dry matter yield, C.P.: Crude protein.

a,b,c: Means in the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$). ns: not significant.

IRG 시비수준별 NDVI_{UAV}는 표준시비량 (NIAS, 2015)인 140-120-120 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K₂O) 에서 가장 높은 수치를 보이고 있지만 시비수준별 차이는 크게 나타나지 않았으며, 표준시비량보다 초과하였을 경우 오히려 NDVI_{UAV}가 낮아지는 특징을 보였다 (Table 4). 따라서 현재 IRG의 표준시비량은 적절한 수준인 것으로 판단된다. 그러나 시험 조건별 건물수량 변화는 140-120-120 kg ha⁻¹ + 규산질비료 2,000 kg ha⁻¹ 처리에서 8,575 kg ha⁻¹로 표준시비량 대비 약 17.61% 증수하였다. 또한, 140-120-120 kg ha⁻¹ + 석회질비료 2,000 kg ha⁻¹를 1월 말~2월 초에 시비하면 IRG의 건물수량이 표준재배에 비해 13.96% 증대되었으나 사료가치의 큰 변동은 없었다. TDN 함량은 160-140-140 kg ha⁻¹에서 61.48%로 가장 높았으며, 100-80-80 kg ha⁻¹ 처리에서 59.01%로 가장 낮았다. 조단백질 함량의 경우 석회질 비료를 추가한 처리에서 10.24%로 가장 낮게 나타난 반면에 규산질 비료를 추가한 처리에서 13.82%로 가장 높았다. 선행연구에서도 규산질 비료는 알칼리 성분이 40% 이상 함유되어 있어 산성토양을 개량하고 식물체의 줄기를 튼튼하게 하며, 엽을 직립화하여 도복 억제 및 병충해 저항성을 증가 시키는 효과가 있으므로 (Tisdale et al., 1984), 벼과 목초의 생육 및 사료가치에 큰 영향을 준다고 보고되고 있다 (Metson et al., 1979, Park et al., 1988, Kim et al., 2016).

Table 4. NDVI_{UAV} and feed values under different levels of N-P₂O₅-K₂O fertilizers.

Fertilization level (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	NDVI _{UAV}		F.Y. (kg ha ⁻¹)	D.Y. (kg ha ⁻¹)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)	C.P. (%)
	20 Apr.	11 May						
100-80-80	0.518	0.778	49,370 ^d	6,348 ^d	37.84	57.54	59.01 ^{ns}	12.52
120-100-100	0.471	0.780	53,431 ^c	7,049 ^c	36.60	56.60	59.99	13.42
140-120-120	0.503	0.790	54,233 ^c	7,291 ^b	35.67	55.23	60.72	13.51
160-140-140	0.449	0.775	56,204 ^b	7,490 ^b	34.71	54.21	61.48	13.75
140-120-120 + Silicate 200 kg ha ⁻¹	0.523	0.766	58,616 ^a	8,575 ^a	35.67	55.27	60.72	13.82
140-120-120 + Lime 200 kg ha ⁻¹	0.522	0.755	57,446 ^a	8,309 ^a	34.89	56.39	61.34	10.24

F.Y.: Fresh matter yield, D.Y.: Dry matter yield, C.P.: Crude protein.

a,b,c: Means in the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$). ns: not significant.

한편, 파종시기에 따른 NDVI_{UAV}와 사료가치 비교 결과는 Table 5와 같다. NDVI_{UAV}는 가을 파종보다 봄 파종에서 높은 수준을 나타내었으며 이는 파종시기에 따른 생육단계 차이가 원인으로 판단된다. 즉, IRG의 출현시기는 토양 내 수분함량에 영향을 받아 토양이 건조할수록 늦어지는데 파종시기가 늦을수록 기온이 높아짐에 따라 출현시기가 빨라

지기 때문이다. 실제로 각 시험구별 파종기에서 출현기까지의 소요기간을 살펴보면, 2월 5~26일에 봄 파종하였을 때는 출현기간이 15~24일 소요된 반면, 2015년 가을 9월 24일과 2016년 봄 3월 5일에 파종하였을 때는 기온이 상대적으로 높아 출현기간이 11~12일 밖에 소요되지 않았다. 따라서 파종시기에 따른 NDVI_{UAV} 변화는 출현기의 차이로 인한 출수기의 변화가 반영된 결과로 해석된다. 2016년 봄 파종 시 파종시기별 건물수량은 2월 5일 파종 (7,301 kg ha⁻¹) > 2월 16일 파종 (7,291 kg ha⁻¹) > 2월 19일 파종 (6,962 kg ha⁻¹) > 2월 26일 파종 (6,917 kg ha⁻¹) > 3월 5일 파종 (5,940 kg ha⁻¹) 순으로 파종이 늦을수록 수량은 줄어들었고, 가을 파종 (8,745 kg ha⁻¹)에 비하여 2월 5일 파종은 83.48% 수준으로 나타났다. 또한, IRG를 봄에 파종하면 가을 파종에 비하여 ADF 및 NDF 함량이 파종 일자가 늦어 질수록 감소한 반면에 조단백질 함량은 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5. NDVI_{UAV} and feed values under different seeding dates.

Seeding dates	Leaf appearance	NDVI _{UAV}	F.Y.	D.Y.	ADF	NDF	TDN	C.P.
		11 May	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)
24 Sep. (last year)	6 Oct.	0.734	53,146 ^b	8,745 ^a	39.64	62.08	57.58	9.27 ^c
5 Feb.	28 Feb.	0.768	49,025 ^d	7,301 ^b	38.87	61.62	58.19	10.10 ^c
16 Feb.	4 Feb.	0.742	54,233 ^a	7,291 ^b	38.67	59.23	58.35	10.11 ^c
19 Feb.	5 Feb.	0.761	52,814 ^c	6,962 ^c	37.91	58.11	58.95	13.45 ^b
26 Feb.	12 Feb.	0.780	52,794 ^c	6,917 ^c	34.38	55.01	61.74	13.64 ^b
5 Mar.	16 Feb.	0.789	54,210 ^a	5,940 ^d	33.13	52.80	62.73	16.93 ^a

F.Y.: Fresh matter yield, D.Y.: Dry matter yield, C.P.: Crude protein.

a,b,c: Means in the same column with different letter were significantly different ($p < 0.05$). ns: not significant.

NDVI_{UAV}를 이용한 IRG 사료가치 평가 IRG의 사료가치 평가항목과 NDVI_{UAV}의 관계는 다양한 함수에 해당하는 회귀분석을 통하여 정의할 수 있다. 따라서 회귀분석 전 각 인자들의 관련성을 파악하기 위하여 IRG 사료가치 평가 결과를 바탕으로 NDVI_{UAV}와 생초수량, 건물수량, ADF, NDF, TDN 및 조단백질과의 상관관계를 분석하였다 (Table 6). 그 결과, 출수기 (5월 11일) NDVI_{UAV}는 IRG의 사료가치 평가 요인 중 생초수량 ($r = 0.655$) 및 조단백질 ($r = 0.745$)과 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 그 외 건물수량, ADF, NDF 및 TDN과는 유의한 상관성을 보이지 않았다. 따라서 NDVI_{UAV}를 독립변수로, 사료가치 항목 중 생초수량 및 조단백질을 종속변수로서 다양한 회귀모형을 작성하였다. 모형의 예측치와 실측치와의 오차를 판단하는 척도는 우수한 예측기법에 대한 판단 기준이 되며 (Kim and Shin, 2012), 결정계수 R^2 , 수정 결정계수, 평균제곱합 MSE (Mean square error) 등을 주로 사용한다. 본 연구에서도 유의성 검증과 함께 R^2 및 MSE를 고려하여 최적의 모형을 선정하였다 (Table 7).

Table 6. Correlation coefficients (r) between NDVI_{UAV} and feed values of IRG.

NDVI _{UAV}	F.Y. (kg ha ⁻¹)	D.Y. (kg ha ⁻¹)	ADF (%)	NDF (%)	TDN (%)	C.P. (%)
20 Apr.	0.035	-0.155	-0.260	-0.312	0.260	0.108
11 May	0.655**	0.035	-0.074	-0.093	0.074	0.745**

F.Y.: Fresh matter yield, D.Y.: Dry matter yield, C.P.: Crude protein.

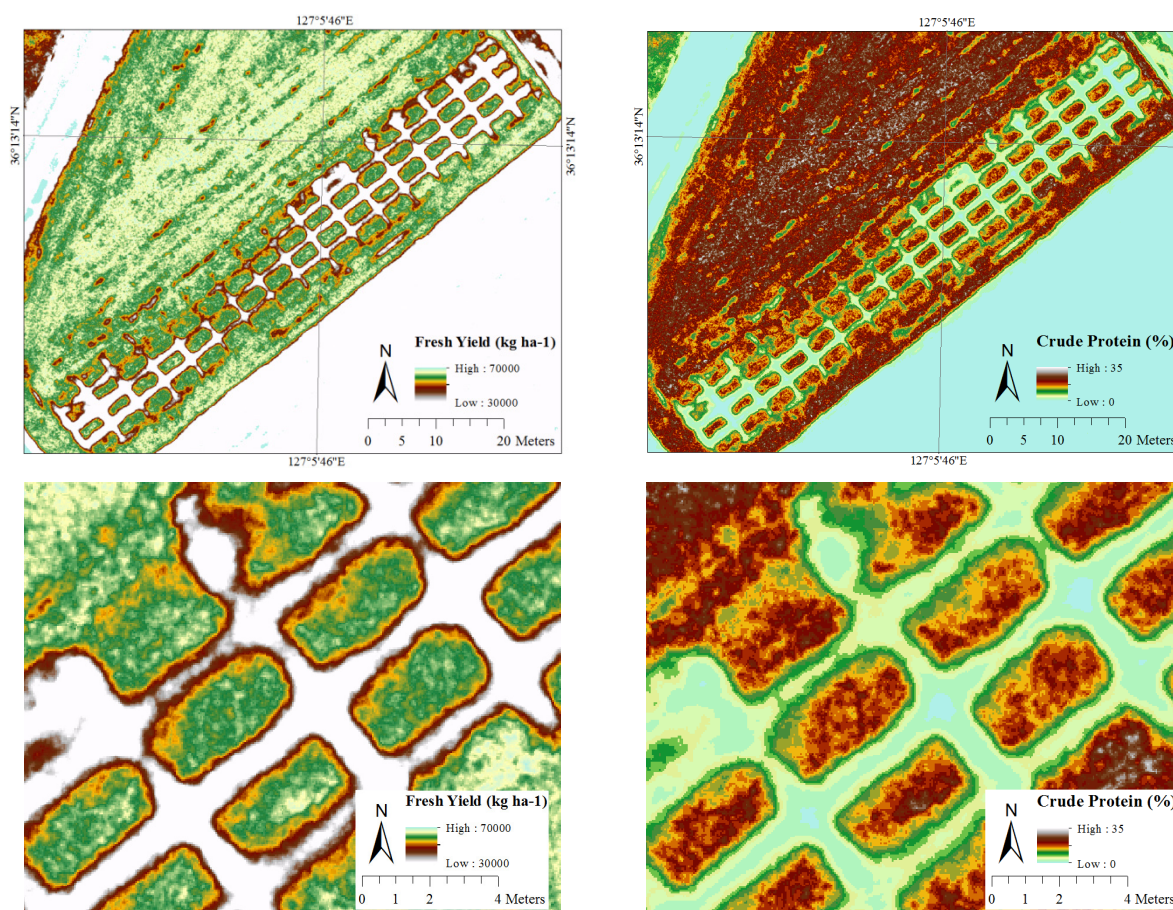
**Significant at the 0.01 significance levels.

Table 7. Results of regression analysis between NDVI_{UAV} and feed values of IRG.

Regression model	Fresh matter yield (kg ha ⁻¹)				Crude protein (%)			
	R ²	F	p	MSE	R ²	F	p	MSE
Linear	0.430	11.304	0.004	22,988,090	0.557	18.832	0.001	3.62
Logarithmic	0.439	11.724	0.004	22,620,898	0.547	18.116	0.001	3.70
Inverse	0.447	12.111	0.003	22,292,341	0.537	17.363	0.001	3.78
Quadratic	0.483	6.529	0.010	20,808,813	0.594	10.227	0.002	3.33
Cubic	0.483	6.542	0.010	20,787,152	0.593	10.207	0.002	3.33
Power	0.471	13.335	0.002	23,756,785	0.672	30.695	0.000	3.45
S	0.479	13.789	0.002	23,303,438	0.664	29.634	0.000	3.50
Exponential	0.461	12.842	0.003	24,242,895	0.678	31.617	0.000	3.41

Table 8. Feed values of IRG estimation models using UAVN_{DVI}.

	Regression equation	b ₀	b ₁	R ²	RMSE
Fresh matter yield (kg ha ⁻¹)	$y = e^{(b_0 + (b_1/x))}$	13.126	-1.723	0.479	4.827
Crude protein (%)	$y = b_0 \times e^{(b_1 \times x)}$	0.060	6.978	0.678	1.847



(a) Fresh matter yield (kg ha⁻¹)

(b) Crude protein (%)

Fig. 3. Spatial distribution of feed values in IRG plots.

그 결과, 생초수량은 2차(Quadratic) 및 3차(Cubic) 모형에서 가장 높은 결정계수 ($R^2 = 0.483$)를 보였으며, S 모형 ($R^2 = 0.479$) > 파워(Power) 모형 ($R^2 = 0.471$) > 지수(Exponential) 모형 ($R^2 = 0.461$) 순으로 나타났다. MSE는 3차(Cubic) 모형에서 가장 적게 나타났다(MSE = 20,787,152). 그러나 유의수준은 S 모형이 더 높게 나타났으며 ($p = 0.002$), 종속변수에 대한 독립변수의 영향력 또한 S 모형이 더 높은 것으로 ($F = 13.789$) 나타났다. 조단백질의 경우에는 지수(Exponential) 모형에서 결정계수 ($R^2 = 0.678$) 및 유의수준 ($p < 0.001$, $F = 31.617$)이 가장 높게 나타났으며, MSE도 다른 모형에 비해 상대적으로 낮은 수준을 보였다(MSE = 3.41). 이와 같은 결과를 종합해 볼 때, NDVI_{UAV}를 이용한 IRG의 생초수량 추정에는 S 모형을, 조단백질 추정에는 지수(Exponential) 모형을 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 일반적으로 변수가 선형으로 연결되어 있을 때는 단순 선형회귀 모형을 사용한다. 하지만 변수가 선형이 아닌 비선형인 경우에는 로그를 취하여 선형으로 변환한 후 모형을 작성한다. 특히, 비선형 회귀모형은 생물체 전체와 어느 한 기관, 또는 부분 사이의 생장 관계로 정의되는 상대생장(allometry) 연구 분야에서 주로 이용되는 모형으로 작물 성장모형 뿐만 아니라 곤충, 어류, 육상식물 등 다양한 생물에 적용되어 왔다(Ko et al., 2008). 본 연구에서 선택된 모형도 비선형 회귀모형으로 선택한 모형은 생초수량의 47.9% 와 조단백질의 67.8% 설명이 가능한 것으로 나타나 NDVI_{UAV}를 이용한 IRG 사료가치 평가 가능성을 확인하였다(Table 8). 또한, 회귀모형을 NDVI_{UAV} 영상에 적용하여 IRG의 생초수량 및 조단백질 분포도를 작성한 결과, IRG 생초수량 및 조단백질의 공간분포에 대한 시각적 확인 및 상대적 비교가 가능하였으며(Fig. 3), 시험구 처리별 사료가치를 평가하는데 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

Conclusions

본 연구에서는 UAV를 활용한 중부지역 IRG의 사료가치 평가 기법 개발을 위하여 UAV 영상에서 추출한 식생지수와 사료가치 평가 요인과의 관계식을 도출하고, 이를 UAV 영상에 적용하여 IRG의 사료가치 평가 요인별 공간분포도 작성을 목적으로 하였다. 그 결과, 출수기의 NDVI_{UAV}는 시비 표준량을 기비로 전량 사용시(100 : 0) 가장 낮은 수준을 나타내었으며, 추비 및 요소의 추가 사용에 따라 점차 높게 나타났다. 또한, IRG 시비수준별 NDVI_{UAV}의 차이는 크게 나타나지 않았으나 표준시비량보다 초과하였을 경우 오히려 NDVI_{UAV}가 낮아지는 특징을 보였고 파종시기에 따른 NDVI_{UAV}는 출현기의 차이로 인한 출수기의 변화가 반영되어 가을 파종보다 봄 파종에서 높은 수준을 나타내었다. 사료가치 평가 요인과의 관계식 도출을 위한 상관분석 결과, NDVI_{UAV}는 생초수량($r = 0.655$) 및 조단백질($r = 0.745$)과 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 각 모형에 대한 결정계수 및 유의수준을 고려한 결과, NDVI_{UAV}를 이용한 IRG의 생초수량 추정에는 S 모형 ($R^2 = 0.479$)을, 조단백질 추정에는 지수(Exponential) 모형 ($R^2 = 0.678$)을 사용하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 또한, 회귀모형을 NDVI_{UAV} 영상에 적용하여 제작한 IRG의 생초수량 및 조단백질 분포도는 사료가치 요인별 공간분포에 대한 시각적 확인 및 상대적 비교가 가능하여 IRG의 사료가치 평가에 활용이 가능할 뿐만 아니라 UAV에 의한 적기의 고해상도 영상 수집을 통해 정밀농업에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ012054022017)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- AOAC, 1995. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis. 15th Edition. Washington, DC.
- 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.
- Candiago, S., F. Remondino, M.D. Giglio, M. Dubbini, and M. Gattelli. 2015. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sens.* 7:4026-4047.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. *Agric. Handbook* 379. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Holland, C., W. Kezar, W.P. Kautz, E.J. Lazowski, W.C. Mahanna, and R. Reinhart. 1990. The pioneer forage manual-A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International, Inc., Des Moines, Iowa, USA.
- Hunt, E.R., W.D. Hively, S.J. Fujikawa, D.S. Linden, C.S. Daughtry, and G.W. McCarty. 2010. Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring. *Remote Sens.* 2(1):290-305.
- Kim, H.C. and H.C. Shin. 2012. The study for software future forecasting failure time using curve regression analysis. *J. Inform. Security.* 12(3):115-121.
- Kim, Y.J., J.S. Jung and K.C. Choi. 2016. Effect of different fertilizer levels, split application rate, and seeding methods on dry matter yield and forage quality of italian ryegrass in early spring on paddy field. *J. Korean Soc. Grassl. Forage. Sci.* 36(4):303-308.
- Ko, Y.W., G.H. Sung, and J.H. Kim. 2008. Estimation for seaweed biomass using regression: A Methodological Approach, *Algae*, 23(4):289-294 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration Homepage. <http://www.kma.go.kr/> Accessed 17 Jul. 2017.
- Metson, A.J., E.J. Gibson, J.L. Hunt, and W.M.H. Saunders. 1979. Seasonal variations in chemical composition of pasture, New Zealand. *J. Agric. Res.* 22(2):309-318.
- Na, S.I., C.W. Park, and K.D. Lee, 2016a. Application of highland kimchi cabbage status map for growth monitoring based on unmanned aerial vehicle. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):469-479 (in Korean with English abstract).
- 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. *Korean J. Remote Sens.* 32(5):483-497 (in Korean with English abstract).
- Na, S.I., C.W. Park, Y.J. Kim, and K.D. Lee. 2016c. Mapping the spatial distribution of IRG growth based on UAV. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):495-502 (in Korean with English abstract).
- Na, S.I., S.Y. Hong, C.W. Park, K.D. Kim, and K.D. Lee. 2016d. Estimation of highland kimchi cabbage growth using UAV NDVI and agro-meteorological factors. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):420-428 (in Korean with English abstract).
- National Institute of Animal Science (NIAS), Rural Development Administration (RDA). 2015. Forage cultivation 100 questions 100 answered. p. 23.
- Park, G.J., J.S. Shin, P.S. Lee, and J.Y. Lee. 1988. Studies on application of silicate fertilizer on grassland. *Korean J. Animal Sci.* 30(4):264-268 (in Korean with English abstract).
- Park, H.S., S.H. Lee, K.C. Choi, Y.C. Lim, J.G. Kim, K.C. Jo, and G.J. Choi. 2012. Evaluation of the quality of italian ryegrass silages by near infrared spectroscopy. *J. Korean Soc. Grassl. Forage. Sci.* 32(3):301-308 (in Korean with English abstract).
- Tilly, N., D. Hoffmeister, H. Liang, Q. Cao, Y. Liu, V. Lenz-Wiedemann, and G. Bareth. 2012. Evaluation of terrestrial laser scanning for rice growth monitoring. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 39, B7.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1984. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Pub., Com., New York. 90-91.