ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 49(5), 598-607 (2016)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.5.598

Article

Evaluation of the Amount of Nitrogen Top Dressing Based on Ground-based Remote Sensing for Leaf Perilla (*Perilla frutescens*) under the Polytunnel House

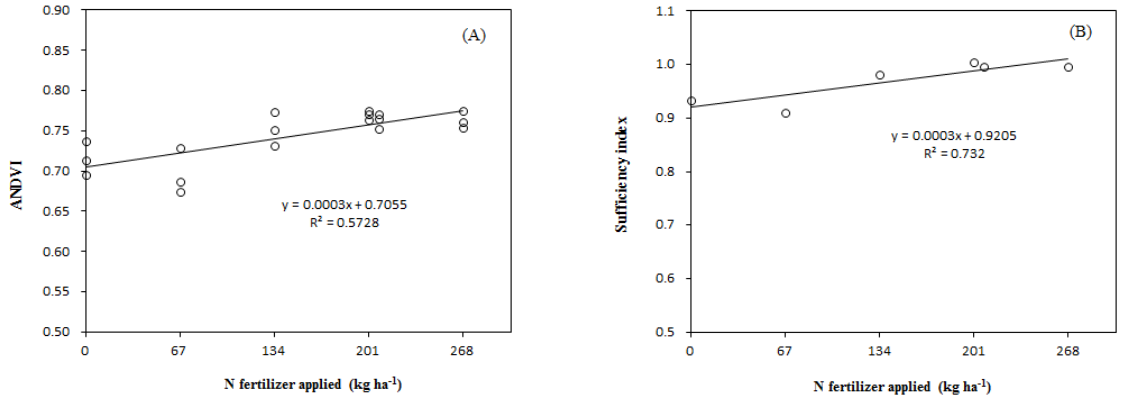
Seong-Soo Kang, Jwa-Kyung Sung[1], Hyo-Young Gong[2], Hyung-Jin Jung[2], Yoo-Hak Kim[1], and Soon-Dal Hong[2]*

R&D Coordination Division, Rural Development Administration, Jeonju 55365, Korea
[1]Soil & Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 54875, Korea
[2]Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

(Received: September 19 2016, Revised: October 19 2016, Accepted: October 27 2016)

This study was conducted to evaluate the amount of nitrogen (N) top dressing based on the normalized difference vegetation indices (NDVI) by ground based sensors for leaf perilla under the polyethylene house. Experimental design was the randomized complete block design for five N fertilization levels and conventional fertilization with 3 and 4 replications in Gumsan-gun and Milyang-si field, respectively. Dry weight (DW), concentration of N, and amount of N uptake by leaf perilla as well as NDVIs from sensors were measured monthly. Difference of growth characteristics among treatments in Gumsan field was wider than Milyang. SPAD-502 chlorophyll meter reading explained 43.4% of the variability in N content of leaves in Gumsan field at 150th day after seedling (DAS) and 45.9% in Milyang at 239th DAS. Indexes of red sensor (RNDVI) and amber sensor (ANDVI) at 172th day after seedling (DAS) in Gumsan explained 50% and 57% of the variability in N content of leaves. RNDVI and ANDVI at 31th DAS in Milyang explained 60% and 65% of the variability in DW of leaves. Based on the relationship between ANDVI and N application rate, ANDVI at 172th DAS in Gumsan explained 57% of the variability in N application rate but non significant relationship in Milyang field. Average sufficiency index (SI) calculated from ratio of each measurement index per maximum index of ANDVI at 172th DAS in Gumsan explained 73% of the variability in N application rate. Although the relationship between NDVIs and growth characteristics was various upon growing season, SI by NDVIs of ground based remote sensors at top dressing season was thought to be useful index for recommendation of N top dressing rate of leaf perilla.

Key words: Ground based remote sensor, Leaf perilla, NDVI, Nitrogen fertilizer, Top dressing



Relationship between the amount of nitrogen fertilizer applied and ANDVI (A) and sufficiency index by ANDVI (B).

*Corresponding author: Phone: +82432612564, Fax: +82432715921, E-mail: sdhong@chungbuk.ac.kr
§Acknowledgement: This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2014.

Introduction

작물에 필요한 양분 중에서 질소는 생육에 미치는 영향이 가장 큰 원소로 알려져 있어 정밀한 시비관리가 요구된다. 우리나라 시설재배지 작물의 경우 전기전도도 또는 질산태질소로 토양검정시비량이 추천된다. 전기전도도에 대한 화학성의 기여도는 질산태질소가 가장 큰 것으로 평가되었는데 (Kim et al., 2006), 우리나라 시설재배지의 전기전도도 평균은 3.2 dS m^{-1}이며 약 55%가 전기전도도 적정범위 상한기준인 2 dS m^{-1}를 초과하는 것으로 조사되어 질소 과잉문제가 심각한 수준이다 (Kang et al., 2013). 따라서 시설재배지에서 염류장해를 줄여 작물의 생산성을 높이고 질소 과다시비에 의한 지표수 및 지하수의 오염을 최소화하고 더 나아가 온실가스인 아산화질소의 방출을 줄이기 위해서는 최적의 질소 관리기술 확립이 필요하다.

잎들깨 질소시비량은 표준시비량과 토양검정에 의한 시비량으로 추천되고 있다. 시설재배 조건에서 질소 표준시비량은 밑거름:웃거름=19:45 kg ha^{-1}, 질소 검정시비량은 '질소시비량 (kg $10a^{-1}$) = 15.412 − 3.859 × 토양전기전도도 (dS m^{-1})'의 식으로 결정되며 표준시비량의 밑거름:웃거름 비율인 3:7로 나누어 시비하는 것으로 추천된다 (NAAS, 2010).

우리나라의 시설재배 잎들깨에 대한 양분관리 연구는 많이 이루어지지 않은 상태이다. Choi and Park (2007)은 잎들깨 (품종: 만추)를 펄라이트 배지경 재배조건에서 질소를 수준별로 처리하였을 때 10−15 mM 시비구에서 가장 좋은 생장을 보였으며, 이 때의 식물체 중 질소농도는 건물중 기준으로 0.9−1.25%, 엽병추출액의 NO_3−N 농도는 800−3,300 mg kg^{-1}, 그리고 1:2 추출법으로 분석한 토양 질산태질소 농도는 28.7−47.3 mg L^{-1}의 범위에 해당한다고 하였다. Kim et al. (2003)은 질소시비량이 증가함에 따라 엽수도 증가하는 경향이었으며, 특히 N:P_2O_5:K_2O=90:60:100 kg ha^{-1} 처리구에서 엽수가 가장 많았다고 하였다. 이러한 질소 추천량은 웃거름 시비량의 총량만 제시되어 있고 몇 회에 나누어 얼마만큼씩 주는가에 대한 기준이 없는데 일정한 간격으로 소량씩 관비하는 것은 작물의 양분이용율을 높일 수 있는 방법이다. Kim et al. (2004)은 오이의 일일 평균흡수량을 계산하여 일일시비기준을 설정하였고, Jung et al. (2010)은 참외의 생육단계별 양분 흡수특성을 조사하여 관비재배 시 생육단계별 질소 시비기준을 설정하였다. Kang et al. (2011)은 잎들깨에 대하여 누적 질소흡수량과 토양의 질산태질소함량의 상한과 하한 기준을 설정하여 잎들깨 1마디 생육에 필요한 웃거름 시비 기준을 설정하였다. 이 방법을 활용하기 위해서는 토양의 질산태질소 분석을 해야 하는데 현장에서 간편하게 분석할 수 있는 방법이 개발되어 있으나 (농촌진흥청, 2010), 토양의 채취, 추출, 정량에 다소 시간이 소요된다.

토양의 질소수준에 영향을 받은 식물체에 대한 검정으로도 웃거름 시비량을 추천할 수 있는데 이러한 식물체 검정 방법 중에서도 비파괴적이고 비접촉식인 방법은 조사개체수를 많이 늘릴 수 있다는 장점이 있다. 이를 위한 기기로 SPAD 502 엽록소 측정기와 능동형 지상원격측정센서 GreenSeeker Red와 Green의 2종 (Ntech industries, Inc.,) Crop Circle Red와 Amber의 2종 (Holland Scientific, ACS−210) 등이 있다. 본 연구는 잎들깨 주산단지인 밀양과 금산 2개 포장에서 질소 시비수준에 따른 잎들깨의 생육특성을 지상원격측정기기를 이용하여 측정하여 질소시비 추천 도구로의 활용 가능성을 평가하였다.

Materials and Methods

재배방법 및 처리수준 본 시험은 잎들깨 주산단지인 금산과 밀양에서 실시하였다. 금산 시험포장은 가천통 (Gacheon coarse loamy over sandy skeletal, mixed, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts)으로 표토는 사양토였고, 밀양 시험포장은 강서통 (Gangseo coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Aquic Fluvaquentic Eutrudepts)으로 표토는 양토였다. 시험 전 토양의 물리화학적 성질은 Table 1과 같다. pH는 모두 6.2로 적정범위였고, 유기물 함량은 두 지역 모두 17% 정도로 다소 낮은 편이였으며, 인산은 모두 적정범위 이상이었다. 치환성칼륨은 적정범위인 0.4−0.6 $cmol_c$ kg^{-1}보다 두 지역 모두 낮았고, 밀양포장이 0.16 $cmol_c$ kg^{-1}로

Table 1. Physico-chemical properties of surface soil for the experimental sites.

Site	pH	EC†	OM‡	NO_3-N	NH_4-N	Avail. P_2O_5	Exch. cation			CEC§	Particle Size Distribution		
							K	Ca	Mg		Sand	Silt	Clay
	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------				---------- % ----------		
Gumsan	6.2	0.53	17.2	16.0	1.7	755	0.30	7.7	2.1	10.3	67.4	24.4	8.2
Milyang	6.2	0.09	17.5	5.0	3.0	507	0.16	6.4	1.2	14.4	43.0	42.5	14.5
Optimum level	6.0~6.5	≤2	20~30	-	-	250~350	0.40~0.60	5.0~6.0	1.5~2.0	10~15	-	-	-

†EC: Electrical conductivity, ‡OM: Organic matter, §CEC: Cation exchange capacity.

Table 2. Treatment levels of compost and nitrogen fertilizer.

Treatment	Gumsan			Milyang		
	Basal fertilization		Top dressing	Basal fertilization		Top dressing
	Compost	Nitrogen	Nitrogen	Compost	Nitrogen	Nitrogen
	Mg ha^{-1}	kg ha^{-1}		Mg ha^{-1}	kg ha^{-1}	
N-0%	10	0	0	20	0	0
N-50%	10	20	47	20	23	53
N-100%	10	40	94	20	45	105
N-150%	10	60	141	20	68	158
N-200%	10	80	188	20	90	211
Conventional	20	0	208	20	31	313

특히 더 낮았다. 두 지역 모두 촉성재배 조건으로 재배하였다. 금산 시험포장의 질소수준별 처리구와 농가관행 처리구는 시판 가축분 퇴비를 각각 10, 20 Mg ha^{-1} 수준으로 2009년 7월 28일에 시용하였고 시비수준별 처리는 8월 13일에 하였으며 8월 17일에 잎들깨 1호 품종을 7.8×11 cm의 재식밀도로 파종하였다. 밀양 시험포장은 여름 장마철에 비닐을 벗겨 두었으며 시비처리는 9월 2일에, 퇴비시용은 계분 80%, 버섯배지 5%, 석회 5%, 첨가제 10%의 부산물비료 (계분퇴비)를 시험구와 관행구 모두 농가 관행대로 20 Mg ha^{-1} 수준으로 9월 4일에 시용하였고 파종은 9월 14일에 남천 품종을 5×11.5 cm의 재식밀도로 파종하였다.

금산시험포장의 처리수준은 질소시비량 134 kg ha^{-1} 기준 (N-100%)으로 난괴법 6수준처리 3반복으로 배치하였고, 밀양시험포장은 질소시비량 150 kg ha^{-1} 기준 (N-100%)으로 난괴법 6수준처리 4반복으로 배치하였다. 질소비료는 요소를 사용하였고 웃거름은 금산의 경우 웃거름 총량을 6회로 나누어서 11월부터 4월까지 시용하였고, 밀양의 경우 웃거름 총량을 7회로 나누어서 11월부터 5월까지 시용하였다. 인산비료는 시험토양의 유효인산이 적정범위 250-350 mg kg^{-1} 이상이었기 때문에 시용하지 않았으며, 칼리질 비료는 염화칼리로 성분량 기준 밑거름 69 kg ha^{-1}, 웃거름으로 104 kg ha^{-1}를 질소 웃거름 시비 때 처리구별로 같은 양을 같은 양의 물에 녹여 시비하였다.

생육조사 및 센서 측정 생육조사는 파종 후 30일 이후부터 매달 조사하였고 조사항목은 잎들깨 지상부를 잎과 줄기로 구분하여 처리구당 5주씩 조사하였다. 채취한 시료는 60°C에서 건조한 후 건물중을 측정하였고 곱게 갈아 양분흡수량을 분석하였다. 센서를 이용한 잎의 엽록소 측정을 위하여 SPAD-502 Chlorophyll meter (Minolta사)를 이용하였다. 잎들깨 한 개체에서 가장 크게 전개된 잎에 대하여 잎의 좌우 각각 3 지점에 대하여 6회 측정하여 평균하였고, 처리구당 5개체를 조사하였다. 지상원격측정 기기는 Crop Circle Red와 Amber 센서 (ACS-210, Holland Scientific)를 사용하였다. 이 측정기는 센서의 진행방향에 수직으로 모듈레이션 (modulation)된 LED (light-emitting diode)광을 방출하고 검출부에서 자연광과 구별하여 변조된 반사광을 검출하여 지표값을 나타낸다. Red 버전 센서는 근적외선 파장으로 880±10 nm와 적색 파장으로 650±5 nm, 그리고 amber 버전 센서는 근적외선 파장으로 880±10 nm와 amber 파장으로 590±5.5 nm의 LED광을 이용하며 각각 Red파장을 이용한 정규화 식생지수 RNDVI [Red Normalized Difference Vegetation Index, (NIR-Red)/(NIR+Red)]와 근적외선 파장과 적색 파장 반사율의 비율값인 NIR/Red, ANDVI [Amber NDVI, (NIR-Amber)/(NIR+Amber)]와 NIR/Amber 지표를 산출한다. 센서와 목표물까지의 거리가 증가할수록 관측영역은 32°×6°의 비율로 증가하게 된다. 따라서 센서와 목표물까지의 거리가 90 cm일 때 관측영역은 50×10 cm가 된다. 센서 측정은 생육 조사일에 잎들깨 캐노피 위 80 cm 높이에서 스캔하듯이 측정하였다. 각각의 기기로 측정된 정규화 식생지수로 RNDVI와 ANDVI 지표로 잎들깨의 질소흡수량과 생장량과의 관계를 평가하였다 (Behmann et al., 2015; Lee et al., 2010).

토양 및 식물체분석 토양분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 따라 분석하였다. pH와 전기전도도 (EC, Electric conductivity)는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 진탕하여 전극으로 측정하였다. 유효인산은 Lancaster법에 의하여 토양시료 5 g에 침출액 20 mL를 넣고 10분간 진탕하고 No.2 여과지로 여과한 후 발색시켜 비색계 (U-2000, Hitachi)로 720 nm에서 비색정량하였다. 치환성양이온은 풍건토 5 g에 pH를 7로 조절한 침출액 1N CH_3COONH_4 50 mL를 넣고 30분간 진탕한 후 No.2 여과지로 여과하여 여과액을 ICP (Intergra XL, GBC)로 측정하였다. 식물체 분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여, 식물체 시료 0.5 g을 유리삼각플라스크에 취하고, 진한 황산 1 mL와 50% $HClO_4$ 10 mL의 혼합분해액을 가하여 분해한 후 100 mL 메스플라스크로 여과하여 옮긴 후 총질소 함량 분석을 위하여 20

mL를 취하여 켈달자동증류적정법 (Kjeltec 8400 Analyzer, Foss)으로 분석하였다.

Results and Discussion

잎들깨 생육 특성 금산포장의 경우 11월 중순에서 2월 말까지는 마디의 생장속도가 다른 시기에 비해 늦은 경향을 보이며 4월 말까지 약 15마디까지 생장하였고 밀양포장의 잎들깨 생장속도는 10월 중순에서 2월 말에 비해 3월 말 이후로 더 빨라졌으며 6월 초까지 약 20마디까지 생육하였다. 잎들깨의 생육시기별 지상부 건물중, 잎질소 함량, 지상부 질소흡수량은 Table 3 (금산포장)과 4 (밀양포장)과 같다. 잎들깨의 ha 당 지상부 건물중은 밀양포장에서 더 높았는데 그 이유는 재식밀도가 주산단지인 금산지역의 경우 7.8×11 cm이 일반적이었으나 남쪽 밀양지역의 경우 따뜻한 기후조건으로 금산보다 밀식조건인 5×11.5 cm의 재식밀도였기 때문에 건물중이 더 높게 계산되었다. 건물중의 변이계수는 금산포장에서 시기별로 최소 13.6%–21.4%의 범위를 나타냈고, 밀양포장에서는 10.6%–20.2%를 나타냈다. 금산포장에서 잎질소농도는 생육 후반으로 갈수록 다소 낮아지는 경향이었고, 변이계수는 생육 후반으로 갈수록 더 커지는 경향이었다. 그러나 밀양포장에서 잎 질소농도는 전 생육기간동안 큰 변화는 없었고 변이계수는 5.1–10.3% 범위에서 변화하였다. 조사시기별 잎 질소농도는 12월을 제외하고는 모두 밀양포장에서 더 높았다. 이것은 밀양포장에서 퇴비시용량이 2배 더 많았기 때문으로 추정되었다. 조사시기별 지상부의 질소흡수량의 변이계수는 금산포장에서 16.5–41.8% 범위, 밀양포장에서 10.7–23.8%의 범위를 보여 처리구 간 차이는 금산 포장에서 더 컸다.

생육특성과 엽록소 측정값과의 관계 Table 3, 4의 지상부 건물중, 질소함량, 질소흡수량과 잎들깨 수량 등의 생육특성값들과 각 조사시기별 엽록소 측정값, RNDVI, ANDVI와의 상관관계는 Table 5 (금산포장), 6(밀양포장)과 같다. 일부 조사일의 센서 측정자료가 잘 저장되지 않아 자료가 소실되어 상관계수가 제시되지 않았다. 금산포장에서 SPAD 502 엽록소 측정값과 생육특성들과의 상관계수는 9월 30일, 1월 14일, 2월 5일 4월 8일에는 유의성 있는 상관관계를 보였으나 10월 16일, 11월 3일, 12월 1일에는 상관계수의 유의성이 없게 나타났다. 밀양포장에서 엽록소 측정값은 12월 2일의 생육 특성값들과는 상관이 없었고, 다른 조사시기에는 1–4개 생육특성과 유의성 있는 상관계수 값을 보였다. 일반적으로 SPAD–502 엽록소 측정값은 잎의 엽록소함량과 질소 농도에 비례한다는 이론으로 개발된 기기이다. 금산포장에서 엽록소 측정값과 잎 질소농도와의 상관계수는 파종 후 150일째인 1월 14일 이후부터 유의성 있게 나타났다. 금산과 밀양포장에서 각각 가장 높은 상관계수를 보인 1월 14일, 5월 11일의 잎 질소함량과 엽록소측정값과의 회귀관계는 각각 Fig. 1의

Table 3. Growth characteristics of leaf perilla at each sampling date in Gumsan polytunnel house.

Characteristics	Statistics	Sampling date						
		09/30	10/16	12/01	01/14	02/05	03/05	04/08
		---------- kg ha^{-1} ----------						
Dry weight of shoot	Minimum	306	474	808	966	998	1,151	1,288
	Maximum	616	747	1,578	1,587	2,043	2,430	2,816
	Average	494	603	1,179	1,314	1,535	1,796	2,067
	St. Dev.	90	82	229	178	329	324	406
	C.V. (%)	18.3	13.6	19.4	13.6	21.4	18.0	19.7
		---------- % ----------						
N content in leaves	Minimum	4.3	4.0	3.6	2.3	2.6	2.3	1.6
	Maximum	5.2	4.9	5.6	4.5	4.3	5.0	4.5
	Average	4.7	4.4	4.8	3.7	3.5	3.7	2.6
	St. Dev.	0.3	0.3	0.5	0.7	0.6	0.9	0.9
	C.V. (%)	5.4	6.3	10.4	19.4	17.7	24.9	33.7
		---------- kg ha^{-1} ----------						
N uptake of shoot	Minimum	10.6	13.9	16.0	11.8	7.8	12.6	12.2
	Maximum	22.7	25.2	42.3	36.7	28.7	42.9	46.7
	Average	18.1	18.4	27.0	22.5	18.5	27.2	24.0
	St. Dev.	3.3	3.0	7.5	6.7	6.0	8.5	10.0
	C.V. (%)	18.2	16.5	27.7	29.8	32.2	31.1	41.8

Table 4. Growth characteristics of leaf perilla at each sampling date in Milyang polytunnel house.

Characteristics	Statistics	Sampling date						
		10/15	12/02	01/13	02/04	03/04	04/07	05/11
		kg ha^{-1}						
Dry weight of shoot	Minimum	449	959	1,717	1,759	2,675	2,575	3,625
	Maximum	692	1,834	3,803	3,864	4,818	4,554	6,344
	Average	576	1,282	2,407	2,871	3,357	3,583	4,991
	St. Dev.	61	194	486	517	469	510	780
	C.V. (%)	10.6	15.1	20.2	18.0	14.0	14.2	15.6
		%						
N content in leaves	Minimum	4.3	3.6	3.5	3.2	4.0	3.9	4.0
	Maximum	5.5	4.6	5.2	4.1	4.9	4.9	4.7
	Average	4.9	4.1	4.3	3.7	4.4	4.4	4.3
	St. Dev.	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2
	C.V. (%)	5.5	5.9	10.3	6.8	5.6	6.6	5.1
		kg ha^{-1}						
N uptake of shoot	Minimum	17.2	27.8	34.6	32.9	46.1	41.3	50.1
	Maximum	26.8	48.7	83.3	66.5	93.1	88.9	125.8
	Average	21.8	36.3	54.0	51.3	64.4	67.1	82.1
	St. Dev.	2.3	5.6	12.7	10.8	12.5	13.9	19.6
	C.V. (%)	10.7	15.4	23.5	21.0	19.4	20.8	23.8

Table 5. Correlation coefficients between sensing data and growth characteristics at each sampling date in Gumsan experimental field.

Growth characteristics	Sensing or sampling date						
	09/30	10/16	12/01	01/14	02/05	03/05	04/08
	SPAD 502 Chlorophyll meter readings						
DW-Leaves	0.434	0.396	-0.144	-0.022	0.234	-0.321	0.748**
DW-Total	0.496*	0.446	0.051	0.405	-0.008	-0.321	0.729**
N content in leaves	0.449	-0.133	-0.309	0.659**	0.587*	0.552*	0.548*
N uptake of leaves	0.560*	0.240	-0.285	0.678**	0.495*	0.307	0.873**
Total N uptake	0.549*	0.343	-0.297	0.599**	0.497*	0.279	0.836**
Yield	-0.189	0.541	0.138	0.699**	0.286	-0.283	0.485*
	RNDVIs from CropCircle red version sensor						
DW-Leaves	0.599**	-	-	-0.152	0.374	0.031	0.522*
DW-Total	0.506*	-	-	0.197	0.324	0.258	0.610**
N content in leaves	0.140	-	-	0.601**	0.747**	0.621**	0.430
N uptake of leaves	0.495*	-	-	0.567*	0.733**	0.574*	0.622**
Total N uptake	0.486*	-	-	0.601**	0.717**	0.565*	0.592**
Yield	0.758**	-	-	0.575*	0.411	0.206	0.184
	ANDVIs from CropCircle amber version sensor						
DW-Leaves	0.605**	0.831**	0.218	-0.103	0.296	0.043	0.537*
DW-Total	0.430	0.752**	0.154	0.352	0.260	0.291	0.633**
N content in leaves	0.221	0.271	0.591**	0.643**	0.790**	0.615**	0.433
N uptake of leaves	0.537*	0.763**	0.478*	0.636**	0.690**	0.575*	0.632**
Total N uptake	0.455	0.800**	0.444	0.702**	0.708**	0.556*	0.606**
Yield	0.662**	0.611**	0.350	0.694**	0.366	0.220	0.236

Table 6. Correlation coefficients between sensing data and growth characteristics at each sampling date in Milyang experimental field.

Growth characteristics	Sensing or sampling date						
	10/15	12/02	01/13	02/04	03/04	04/07	05/11
	SPAD 502 Chlorophyll meter readings						
DW-Leaves	0.497*	-0.106	0.016	0.418*	-	0.493*	0.309
DW-Total	0.448*	0.195	0.266	0.211	-	0.523**	0.253
N content in leaves	0.149	-0.222	0.463*	0.350	-	0.262	0.677**
N uptake of leaves	0.284	-0.212	0.164	0.517**	-	0.505*	0.470*
Total N uptake	0.423*	0.029	0.373	0.405*	-	0.568**	0.357
Yield	-0.137	0.112	0.037	-0.164	-	0.014	-0.410
	RNDVIs from CropCircle red version sensor						
DW-Leaves	0.776**	-	0.281	0.013	-0.331	-0.057	0.083
DW-Total	0.759**	-	0.175	0.293	-0.314	-0.193	0.097
N content in leaves	0.043	-	0.171	0.355	-0.306	-0.096	0.076
N uptake of leaves	0.606**	-	0.340	0.188	-0.382	-0.083	0.089
Total N uptake	0.501*	-	0.256	0.325	-0.450*	-0.201	-0.018
Yield	0.399	-	-0.301	0.026	0.150	0.006	-0.298
	ANDVIs from CropCircle amber version sensor						
DW-Leaves	0.804**	-0.097	0.219	-0.055	-0.371	0.005	-0.032
DW-Total	0.849**	-0.397	0.114	0.267	-0.264	-0.207	0.001
N content in leaves	-0.056	-0.070	0.154	0.364	-0.315	-0.082	0.035
N uptake of leaves	0.558**	-0.123	0.276	0.134	-0.416*	-0.028	-0.022
Total N uptake	0.548**	-0.447*	0.185	0.292	-0.448*	-0.183	-0.130
Yield	0.367	-0.233	-0.280	0.001	0.243	-0.042	-0.302

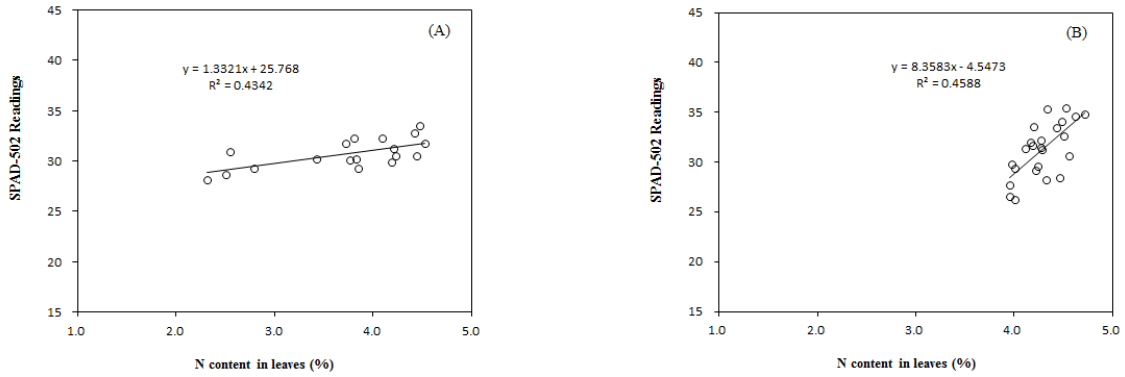


Fig. 1. Relationship between N content in leaves and SPAD-502 Chlorophyll meter readings on Jan. 24 in Gumsan (A) and Milyang (B) experimental fields.

(A), (B)와 같다. 밀양포장에서 잎 질소농도가 3.8–4.8% 범위로 금산포장보다 더 좁았으나 엽록소 측정값의 범위는 금산포장보다 더 넓어서 기울기 값이 더 컸다. 이것은 두 포장의 잎들깨 품종이 다르고 조사 시기가 다른 차이가 원인일 것으로 판단된다. 엽록소 측정기 값과 엽면적당 엽록소 함량의 관계는 품종 간에 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다 (Lin et al., 2015; Parry et al., 2014; Udding et al., 2007). 금산포장에서 SPAD–502 엽록소 측정값은 잎 질소 농도의 43.4%를 설명하고 밀양포장에서는 45.9%를 설명하는 것으로 나타났다. 보통 이러한 관계로부터 질소시비량을 추천하기 위하여 적정 잎 질소농도 기준 또는 질소 표준시비구를 기준으로 한 충족지수 등을 이용하여 질소시비량을 추천하지만 본 논문에서는 조사시기별로 상관계수의 일관성이 나타나지 않아서 다음 단계의 분석은 하지 않았다. Lee et al. (2012)은 금산지역 반촉성재배 조건의 5농가에 대한 조사로부터 잎의 양분함량 변화를 조사하였고, 잎질소 함량의 변화 범위는 4.11%–

6.34%를 보였다고 하였다. 촉성재배 조건이었던 본 시험의 관행구에서는 잎질소 농도는 금산 4.1%–5.3%, 밀양 3.7%–5.0%의 범위로 다소 낮은 범위를 보였다.

생육특성과 반사율 지표값과의 관계 금산포장과 밀양포장의 생육특성과 CropCircle red와 amber의 NDVI지표와의 상관관계 (Table 5, 6)에서 금산포장은 여러 조사시기에서 생육특성과 유의성 있는 상관계수 값을 보였고, 밀양포장에서는 10월 15일 조사에서는 상관계수가 높았으나 그 외 시기에서는 상관계수가 낮았다. 금산포장에서 상관계수가 가장 높았던 파종 후 172일째 (2월 5일)의 잎 질소 농도와 RNDVI (A) ANDVI (D), NIR 반사율 (B, E), 가시광선 Red 파장의 반사율 (C), Amber 파장의 반사율 (F)의 관계는 Fig. 2와 같다. 잎질소 농도는 CropCircle Red 센서보다 Amber 센서의 지표에서 더 높은 결정계수 값을 보였다. 그리고 두 센서 모두 가시광선 파장보다는 근적외선 파장의 반사율이 더 높은 결정계수 (R^2)를 보였고 NDVI값으로 평가했을 때 결정계수가 향상되었다. RNDVI는 잎 질소흡수량을 50% 설명하였고, ANDVI는 57% 설명하는 관계를 보여 ANDVI의 설명력이 7% 더 높았다. 이것은 Fig. 2에서 (C)의 Red 파장보다 (F)의 Amber 파장의 반사율이 잎 질소 농도에 대한 설명력이 더 높았기 때문으로 판단된다.

Fig. 3은 밀양포장에서 파종 후 31일째인 10월 15일에 측정한 잎 건물중과 NDVI (A, D), NIR 반사율 (B, E), 가시광선의 반사율 (C, F)의 관계를 나타낸 것이다. 가시광선 파장의 반사율보다는 근적외광의 반사율이 건물중과 더 높은 결정계수 값을 보였다. 이를 조합하여 계산한 표준화된 식생지수와 잎 건물중과의 관계에서 RNDVI (A)는 결정계수 0.6015로 NIR반사율 (B)의 0.6391보다 더 낮아졌으나, ANDVI (D)는 결정계수 0.6456으로 NIR반사율 (E)의 0.6123보다 더 높아졌다. ANDVI보다는 RNDVI가 조금 더 높은 값을 보였고 회귀식의 기울기 값도 더 컷으나 건물중에 대한 설명력은

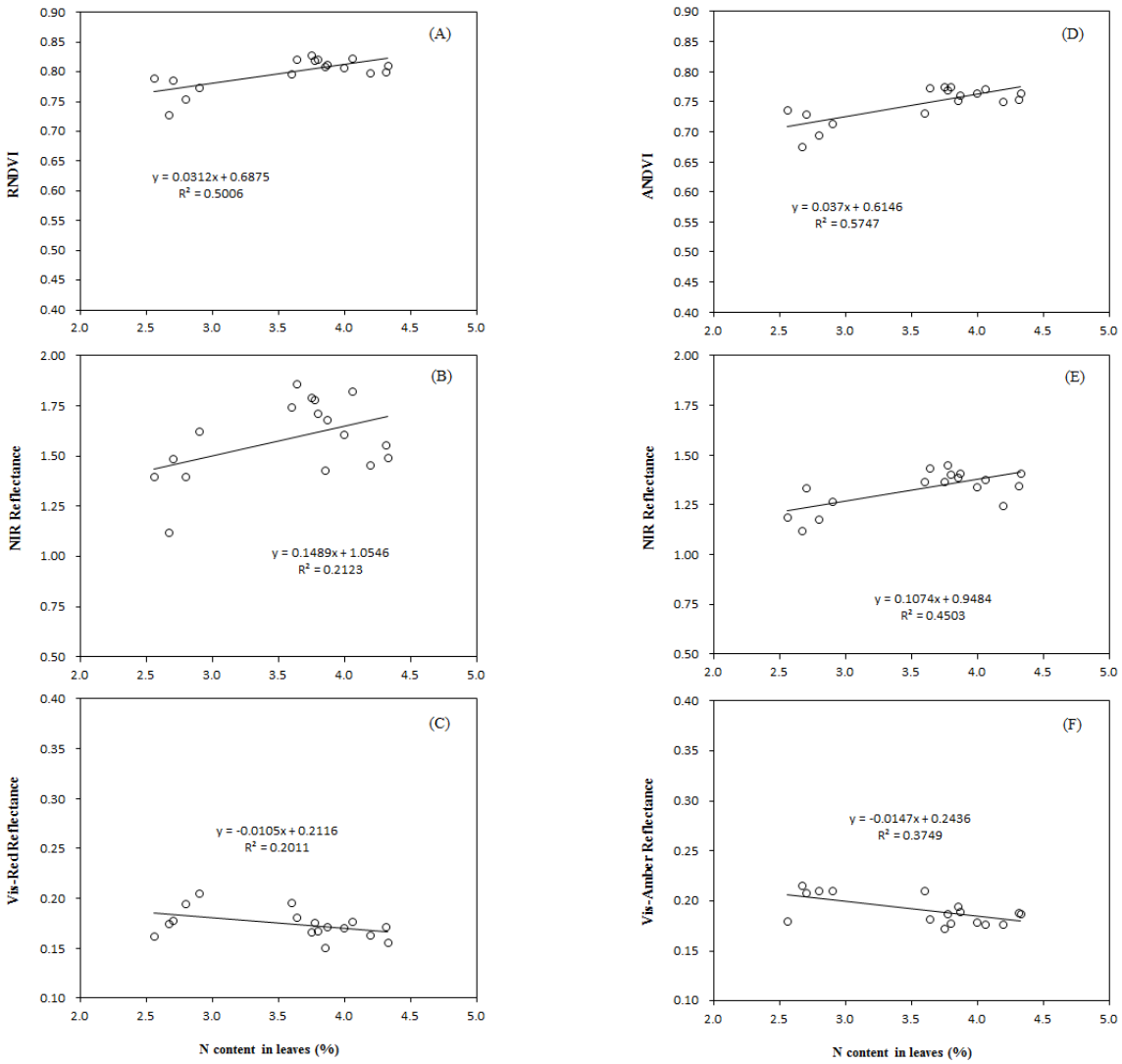


Fig. 2. Relationship between nitrogen content in leaves and reflectance indices at 172th day after seedling (Feb. 05) in Gumsan experimental field.

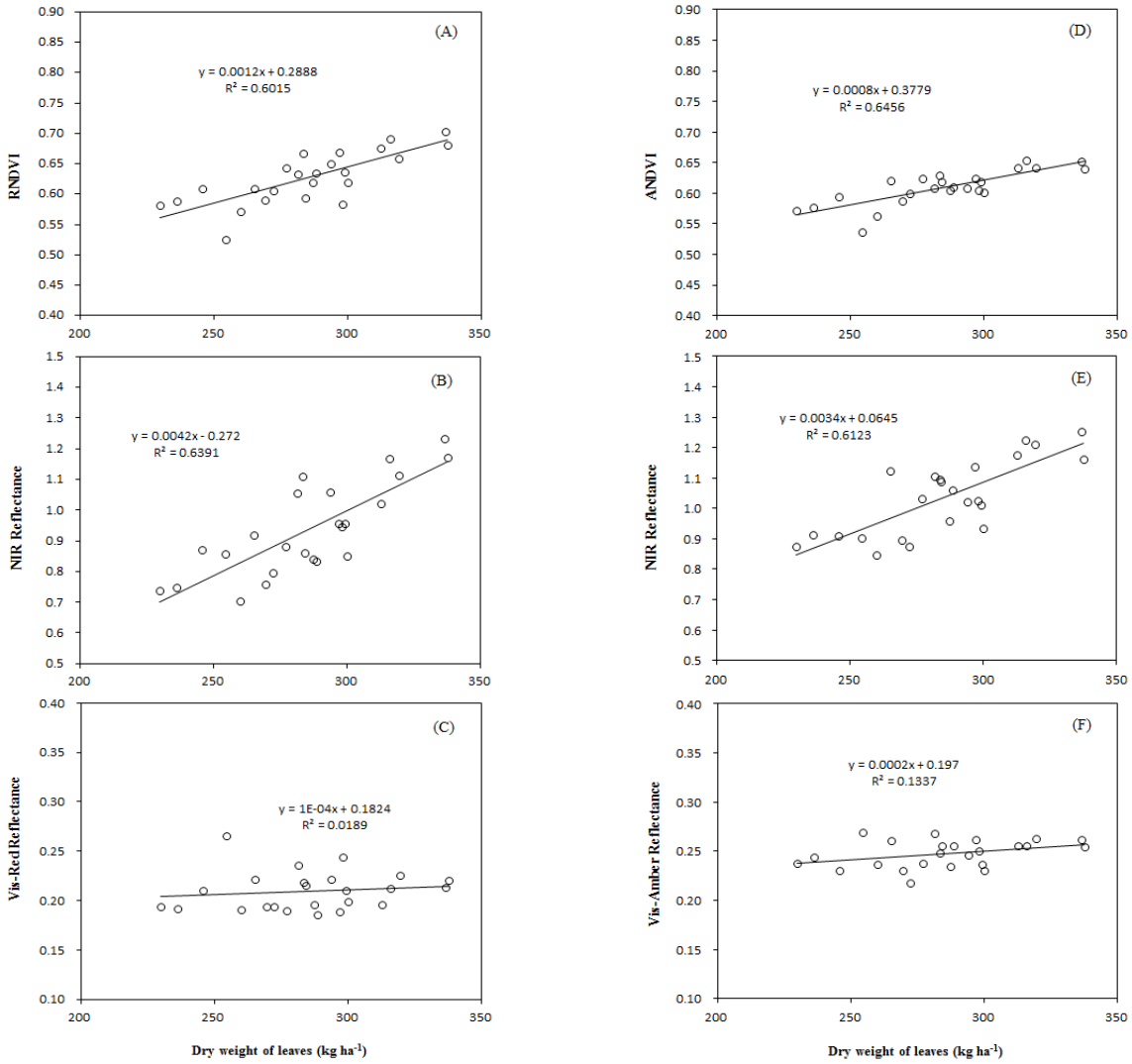


Fig. 3. Relationship between dry weight of leaves and reflectance indices at 31th day after seedling (Oct. 15) in Milyang experimental field.

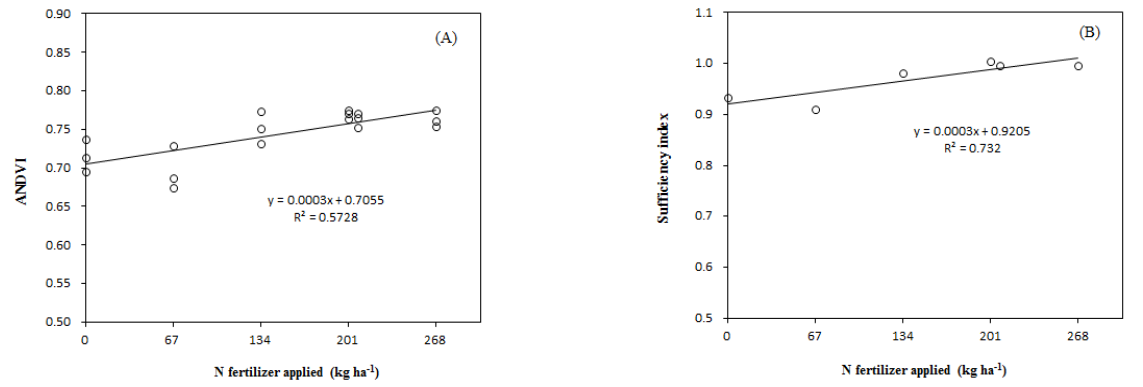


Fig. 4. Relationship between the amount of nitrogen fertilizer applied and ANDVI (A) and sufficiency index (B) at 172th day after seedling (Feb. 05) in Gumsan experimental field.

ANDVI가 64.6%로 4.4% 더 높았다.

질소시비수준 추정 금산포장에서 잎 질소 함량에 대한 설명력이 가장 높았던 2월 5일의 ANDVI (Fig. 2-D)값과 질소시비량과의 관계를 Fig. 4에 나타냈다. ANDVI는 질소시비량의 57%를 설명하는 관계를 보였다 (Fig. 4-A). 시비수준 추정을 통한 시비량 결정을 위하여 충족지수 (SI, Sufficiency Index)를 이용하였다. 충족지수는 한 포장 내에서 질소영양

이 충분한 기준구획 (well-fertilized reference)을 만들어 기준구획의 SPAD502 측정치에 대한 동일 포장 내의 다른 지점의 SPAD502 측정치의 비로 구해지며, 옥수수의 경우 보통 충족지수가 0.95보다 작을 때 질소시비를 한다 (Varvel et al., 1997; Hussain et al., 2000). 충족지수를 이용한 방법은 SPAD502 chlorophyll meter를 활용하기 위한 과정에서 개발되었고 활용에 있어서 제한 인자들인 서로 다른 재배환경과 재배 품종 등 SPAD502 chlorophyll meter 측정치에 영향을 미칠 수 있는 모든 요인들을 상쇄하게 된다 (Peterson et al., 1993). 따라서 재배환경과 재배 품종 등의 영향을 받는 원격측정에서도 충족지수를 이용하여 생육 및 질소시비량을 평가할 수 있다. 질소 150%와 관행구의 시비량은 각각 201, 208 kg ha^{-1}이었는데 이 두 처리구의 ANDVI값의 평균을 충족지수 기준값으로 하여 이에 대한 처리구별 ANDVI값의 비를 충족지수로 계산하였다. 각 처리구별 충족지수의 평균값과 질소시비량과의 관계는 Fig. 4-B와 같으며 충족지수는 질소시비량의 73%를 설명하는 관계를 보여 질소 웃거름 시비량을 추천할 수 있는 가능성을 확인하였다. 밀양지역에서는 질소시비량에 따른 ANDVI값의 회귀관계의 결정계수가 낮았다 (자료 미제시). 충족지수를 활용할 때 표준 웃거름 시용량 등의 기준 처리구가 필요하다. 이를 위해 금산과 밀양지역의 시비수준에 따른 질소흡수량 평가에서 잎들깨 1 마디 생육에 필요한 질소요구량이 금산지역 22 kg ha^{-1}, 밀양지역 35 kg ha^{-1}이라고 제시 (Kang et al., 2011)한 자료를 활용할 수 있다.

본 연구에서 생육특성 지표들과 센서 측정 지표들과의 관계가 두 지역에서 그리고 생육 전반에 걸쳐 계속적으로 밀접한 관계를 보이지는 못하였다. 두 포장 간에는 퇴비의 시용량이 밀양포장에서 2배 더 많아 시비량 차이에 따른 생육 특성의 차이가 크지 않았던 것으로 판단된다 (Table 3, 4). 금산과 밀양 두 지역의 잎들깨 품종이 잎들깨 1호와 남천이었던 점도 차이의 한 원인이었을 것이다. 일반적으로 남천들깨가 잎 뒷면의 자색이 잎들깨 1호보다 양호한 것으로 알려져 있다 (농촌진흥청, 2015). 재식밀도도 두 지역 간 차이가 컸는데 금산 7.8×11 cm에 비해 밀양 5×11.5 cm로 더 높았다. 재식밀도가 더 높은 밀양에서 NDVI값의 포화도가 더 높았을 것으로 추정된다. Gitelson (2004)은 지상부 생체량이 많아짐에 따라 NDVI가 포화에 가까워져 NDVI의 증가가 둔화된다고 하였다. 그는 엽면적지수가 2를 초과하면 적색파장의 반사율이 거의 변화가 없는 반응을 보이는 반면 근적외선 파장의 반사율은 엽면적지수가 2에서 6으로 높아짐에 따라 유의하게 변화한다고 하였고 이러한 근적외선 파장의 민감성에도 불구하고 NIR의 반사율이 30%를 초과하면 NDVI값에 미치는 영향이 거의 없기 때문에 NDVI 계산식에서 NIR의 반사율에 가중치 (weighting coefficient) a (0.1-0.2)를 곱해주는 것이 밀, 옥수수, 콩의 생장량과 상관관계가 증가한다고 보고하였다. Fig. 3에서도 이러한 관계를 대략 확인할 수 있었으나 가중치를 주어 평가하지는 않았다. 벼에 대한 평가에서 센서의 측정각도를 벼 캐노피의 수직 위에서 그리고 45° 각도로 측정하였을 때 ANDVI 범위는 각각 0.375-0.668, 0.555-0.700으로 더 높게 측정되었는데 이것은 45° 각도로 측정하였을 때 관측영역 내에 배경이 되는 담수상태의 토양보다 식생이 더 많이 분포하기 때문이라고 하였다 (Kang, 2007). 이러한 NDVI값의 포화 문제 때문에 잎들깨의 잎을 따는 수확 주기가 봄가을 3-5일, 겨울 1-2주 간격인 점을 고려하여 수확 후 일정한 일자 후에 측정을 하는 것이 더 민감하게 생육 특성 정보를 평가할 수 있었을 것이다. 이를 위해 수확 수 일자별로 센서 측정을 하여 센서의 측정값과 생장량의 관계가 높은 시기를 추가로 평가할 필요가 있다.

시설재배 잎들깨 질소 웃거름 관리를 위한 평가도구로서 엽록소측정기와 지상원격측정센서의 활용가능성 평가에서 생육시기별로 모두 일관성 있게 밀접한 관계를 나타내지는 않았지만 어느 정도의 가능성은 확인할 수 있었다. 센서 측정시기 및 측정방법 등 본 연구에서 고려하지 못했던 오차 요인들의 영향을 고려한 재평가가 더 필요할 것으로 사료된다.

Conclusions

질소 시비수준에 따른 잎들깨의 생육특성을 지상원격측정기기로 측정하여 질소 웃거름 시비량 추천도구로의 활용가능성을 평가하였다. 잎들깨 주산단지인 금산과 밀양 두 지역에서 각각 1개의 시설하우스에서 질소시비량 5수준과 관행구를 난괴법 3반복과 4반복으로 각각 배치하였다. 생육시기별로 건물중과 질소함량 및 흡수량의 생육특성을 조사하였고 SPAD 502 엽록소 측정기와 Crop Circle Red와 Amber 센서로 생육 정보를 측정하였다. 처리구간 생육특성의 차이는 밀양포장보다는 금산포장에서 더 크게 나타났다. SPAD-502 엽록소 측정값의 잎 질소 농도에 대한 설명력은 금산포장에서는 1월 14일에 43.4%, 밀양포장에서는 5월 11일에 45.9%로 가장 높았다. 지상원격측정 센서를 활용한 평가의 경우 금산포장에서 상관계수가 가장 높았던 파종 후 172일째 (2월 5일)의 RNDVI는 잎 질소농도를 50% 설명하였고, ANDVI는 57% 설명하는 관계를 보여 ANDVI의 설명력이 7% 더 높았다. 밀양포장에서는 10월 15일 조사에서 센서측정값과 생육특성들과의 상관계수가 가장 높았고, RNDVI는 잎 건물중을 60% 설명하였고, ANDVI는 65% 설명하는 관계를 보여 ANDVI의 설명력이 5% 더 높았다. 금산포장에서 잎 질소 함량에 대한 설명력이 가장 높았던 2월 5일의 ANDVI값은 질소시비량의 57%를 설명하는 관계를 보였으나 밀양포장에서는 질소시비량에 따른 ANDVI값의 회귀관계에서 결정계수가 낮았다. 금산포장에서 2월 5일의 ANDVI 충족지수는 질소시비량의 73%를 설명하는 관계를 보였다. 센서 측정치와 생육특성의 밀접한 관계가 조사시기별로 일관성 있게 나타나지는 않았으나

질소 웃거름 시비량을 추천할 수 있는 가능성을 확인하였다.

References

Behmann, J., A.K. Mahlein, T. Rumpf, C. Römer, and L. Plümer. 2015. A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. Precision Agric. 16:239-260.

Choi, J.M. and J.Y. Park. 2007. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of Leaf Perilla (*Perilla frutesens* Britt) as influenced by nitrogen concentrations in the fertigation solution. J. Bio-Env. Con. 16(4):365-371.

Gitelson, A.A. 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. J. Plant Physiol. 161(2):165-173.

Hussain, F., K.F. Bronson, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, and S. Peng. 2000. Use chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. Agron. J. 92:875-879.

Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the optimum nitrogen application rates for oriental melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(3):349-355.

Kang, S.S. 2007. Evaluation for biomass and nitrogen nutrition of crops by reflectance indices of ground-based remote sensors. Ph. D. Thesis, Chungbuk National University. Cheongju, Korea.

Kang, S.S., J.Y. Lee, J.K. Sung, H.Y. Gong, H.J. Jung, C.H. Park, Y.U. Yun, M.S. Kim, and Y.H. Kim. 2011. Recommendation of the amount of nitrogen top dressing based on soil nitrate nitrogen content for leaf perilla (*Perilla frutescens*) under the Plastic Film House. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6):1112-1117.

Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.G. Ahn, H.K. Kim, S.J. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.G. Sohn, M.S. Kim, M.S. Kong, C.H. Lee, D.B. Lee, and Y. H. Kim. 2013. Status and Change in Chemical Properties of Polytunnel Soil in Korea from 2000 to 2012. Korean J. Soil Sci. Fert. 46(6):641-646.

Kim, H.K., J.S. Oh, D.S. Chung, W.B. Chung, S.J. Jeong, Y.B. Yi, and D.H. Kim. 2003. Difference of yield components according to application levels, seeding methods and seeding date in Leaf Perilla. J. Life Sci. 13(6):782-787.

Kim, J.J., S.S. Kang, K.I. Kim, and S.D. Hong. 2006. Relationship among chemical properties of soils with different texture taken from plastic film house of chungbuk area. Korean J. Soil Sci. Fert. 39(3):144-150.

Kim, K.D., J.W. Lee, I.H. Cho, T.Y. Kim, Y.H. Woo, E.Y. Nam, and B.H. Mun. 2004. Determination of daily amount of N and K required in various growth stage and establishment of diagnostic criteria using petiole sap analysis in the semi-forcing culture of cucumber. J. Bio. Environ. Con. 13:96-101.

Lee, J.Y., J.K. Sung, S.S. Kang, B.C. Jang., S.Y. Lee, R.Y. Kim and Y.J. Lee. 2012. Contents of inorganic nutrient in leaf perilla in growing stages under plastic film house cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(2):215-222.

Lee, W.S., V. Alchanatis, C. Yang, M. Hirafuji, D. Moshou, and C. Li. 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. Comput. Electron. Agric. 74:2-33.

Lin, C., S.C. Popescu, S.C. Huang, P.T. Chang, and H.L. Wen. 2015. A novel reflectance-based model for evaluating chlorophyll concentrations of fresh and water-stressed leaves. Biogeosci. 12:49-66.

NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.

NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

NIAST. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

Parry, C., J.M.Jr. Blonquist, and B. Bugbee. 2014. *In situ* measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. Plant Cell Environ. 37:2508-2520.

Peterson, T.A., T.M. Blackmer, D.D. Francis, and J.S. Schepers. 1993. Using a chlorophyll meter to improve N management. Nebguide G93-1171A. Coop. Ext. Serv., Univ. of Nebraska, Lincoln.

RDA. 2010. Nongsaro. On-site soil nitrate testing using nitrate test strip. http://www.nongsaro.go.kr (retrieved on September 18, 2016) (In Korean).

RDA. 2015. Nongsaro. Selection of perilla variety. http://www.nongsaro.go.kr (In Korean).

Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki, and H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. Photosynth. Res. 91:37-46.

Varvel, G.E., J.S. Schepers, and D.D. Francis. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1233-1239.