

디지털 카메라 칼라영상 분석을 이용한 벼 질소 수비량 추천 원시 프로그램의 개발과 예비 적용성 검토

지정현*[†] · 이재홍* · 최병열* · 한상욱* · 김순재* · 박경열* · 이규종**[†] · 이변우**[†]

*경기도농업기술원, **서울대학교농업생명과학대학

Development and Preliminary Test of a Prototype Program to Recommend Nitrogen Topdressing Rate Using Color Digital Camera Image Analysis at Panicle Initiation Stage of Rice

Jeong-Hyun Chi*[†], Jae-Hong Lee*, Byoung-rourl Choi*, Sang-wook Han*, Soon-jae Kim*, Kyeong-Yeol Park*, Kyu-jong Lee**[†], and Byun-woo Lee**[†]

*Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong 445-972, Korea

**College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

ABSTRACT This study was carried out to develop and test a prototype program that recommends the nitrogen topdressing rate using the color digital camera image taken from rice field at panicle initiation stage (PIS). This program comprises four models to estimate shoot N content (PNup) by color digital image analysis, shoot N accumulation from PIS to maturity (PHNup), yield, and protein content of rice. The models were formulated using data set from N rate experiments in 2008. PNup was found to be estimated by non-linear regression model using canopy cover and normalized green values calculated from color digital image analysis as predictor variables. PHNup could be predicted by quadratic regression model from PNup and N fertilization rate at panicle initiation stage with R^2 of 0.923. Yield and protein content of rice could also be predicted by quadratic regression models using PNup and PHNup as predictor variables with R^2 of 0.859 and 0.804, respectively. The performance of the program integrating the above models to recommend N topdressing rate at PIS was field-tested in 2009. N topdressing rate prescribed for the target protein content of 6.0% by the program were lower by about 30% compared to the fixed rate of 30% that is recommended conventionally as the split application rate of N fertilizer at PIS, while rice yield in the plots top-dressed with the prescribed N rate were not different from those of the plots top-

dressed with the fixed N rates of 30% and showed a little lower or similar protein content of rice as well. And coefficients of variation in rice yield and quality parameters were reduced substantially by the prescribed N topdressing. These results indicate that the N rate recommendation using the analysis of color digital camera image is promising to be applied for precise management of N fertilization. However, for the universal and practical application the component models of the program are needed to be improved so as to be applicable to the diverse edaphic and climatic condition.

Keywords : rice, digital camera image, topdressing rate, yield, rice quality

밥맛, 외관 등의 쌀 품질을 좌우하는 요인은 품종, 재배관리, 수확 후 관리, 산지의 환경 등 매우 많으나, 이중 재배관리적인 측면의 질소비료 시비관리는 쌀의 품질에 가장 크게 영향을 미치는 요인이다. 이에 우리나라에서는 고품질 쌀 생산을 위해 점차적으로 시비량을 줄여 나가는 방향으로 변화되고 있으나, 여전히 생육 상태를 고려하지 않은 과다 시비로 인하여 환경부하를 가중 시키고, 쌀의 품질을 떨어뜨리는 경우가 많은 실정이다.

따라서 벼의 생육 및 영양 상태를 파악하여 목표 품질과 수량에 도달할 수 있도록 적기에 적량을 시비 처방하는 기술이 개발되어야 한다. 즉, 고품질 쌀 생산을 위해 생육기간 중 벼의 생육과 질소영양 상태를 진단하여 추비로 생육 조절을

[†]Corresponding authors:

(Phone) +82-31-229-5771

(E-mail) chijh@gg.go.kr

(Phone) +82-2-880-4554

(E-mail) handal20@snu.ac.kr

(Phone) +82-2-880-4544

(E-mail) leebw@snu.ac.kr

<Received August 26, 2010>

하는 것이 매우 중요하다. 그러나 식물체를 채취하여 생장과 영양 상태를 측정하는 데는 시간, 노력, 비용이 많이 들므로 실용적이지 못하다. 이를 극복하기 위해 작물의 생육기간 중 질소영양 상태를 비파괴적으로 진단하여 추비시기와 추비량 결정에 이용하려는 연구가 다양하게 이루어지고 있으나 실용적으로 이용되지는 못하고 있다.

엽색표(leaf color chart, LCC)나 SPAD를 이용하여 벼의 영양 진단에 이용하려는 연구들도 다수 있었으나(Yang *et al.*, 2003; 홍 등, 2003; 이 등, 2004; 김 등 2002; 김, 2004; Nguyen *et al.* 2007) 시비를 위한 입계 LCC나 SPAD 값은 품종, 지역 및 계절에 따라 다르므로 조건에 따라 각각 결정되어야 하는 문제점이 있고(Singh *et al.*, 2002), 또한 LCC, SPAD 등은 작물의 영양 상태 즉 비료의 시비 필요 여부에 대한 정보만을 제한적으로 제공할 뿐 얼마나 비료를 주어야 할지에 대한 정보는 제공하지 못하는 단점이 있다. 언제 얼마나 비료를 주어야 하는 가는 영양 상태 즉 엽록소 또는 질소 함량뿐만 아니라 생육량에 대한 정보가 있어야 하는데, 작물 군락의 hyper-spectral reflectance를 측정하여 이와 같은 목표를 달성하려는 연구가 진행되어 왔다(Nguyen *et al.*, 2008). 그러나 이 경우 군락 반사를 측정하는데 고가의 장비를 이용하여야 하는 문제점이 있다.

한편 칼라 디지털 카메라가 범용화 되면서 이를 작물의 영양 및 생육상태 진단과 시비 처방에 활용하려는 시도가 이루어지고 있다. 디지털 영상의 RGB값을 추출하여 이로부터 식물체 개엽(Kawashima & Nakatani, 1998; Ku *et al.*, 2004) 과 작물 군락(Jia *et al.*, 2004; Liangliang *et al.*, 2004)의 영양 및 생육상태 진단에 관한 연구가 일부 보고되고 있으나, 디지털 카메라의 경우 근적외선(NIR)에 대한 반사값을 직접 얻을 수 없어 생육량에 대한 정보를 얻기 어렵고, 또한 사진 촬영시 날씨에 따라 RGB값이 달라지는 등의 문제점이 있다. 그러나 이 두 가지 문제점을 기술적으로 해결하는 경우 디지털 카메라 또는 디지털 카메라 부착 휴대전화가 보편화 되어 있기 때문에 현장에서 실제로 활용될 가능성은 매우 크다. 그런데 Lee & Lee (2007a, 2007b)는 디지털 카메라 영상 사진 촬영 시 날씨에 따라 변하지 않고 엽색도와 높은 상관성을 나타내는 색상지표에 대하여 보고하였으며 또한 영상의 RGB 값으로부터 계산한 군락의 피도(canopy cover)가 군락의 건

물중, 질소 흡수량 등과 높은 상관성을 보임을 보고하였다. 이는 작물 군락의 생육 및 영양상태를 비파괴적으로 진단하여 질소비료 시비 처방에 디지털 카메라를 이용할 가능성이 있음을 시사하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 칼라 디지털 카메라 영상 분석에 의한 유수분화기 벼 군락의 건물중 및 질소흡수량 추정 모델, 유수분화기 질소흡수량과 질소 수비량에 따른 유수분화기 이후 질소 흡수량 추정 모델, 유수분화기 질소 흡수량과 유수분화기 이후 질소 흡수량에 따른 수량 및 쌀 단백질함량 추정 모델을 구축하였으며 이를 종합하여 목표 수량 또는 단백질 함량에 이를 수 있도록 질소 수비량을 추천하는 원시 프로그램(prototype program)을 개발하였고, 수비 추천 프로그램의 현장 적용성 예비 검토를 실시하여 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

벼 수비처방 프로그램의 개발과 검증에 필요한 디지털 카메라 영상, 질소 영양, 생육, 수량 등의 정보를 얻기 위하여 경기도농업기술원 논 포장에서 추첨벼를 시험품종으로 하여 2008년과 2009년에 실험을 하였다. 2008년 실험 자료는 수비처방 모델 작성에 이용하였으며, 2009년 실험은 모델의 검증에 이용하였다. 시험 전 토양은 유기물과 인산함량이 적정 범위인 유기물 25~30g/kg, 인산 80~120 mg/kg(농촌진흥청, 2006)에 비해 다소 낮았다(표 1).

2008년과 2009년 두 해 모두 5월 21일 35일 묘를 3.3 m² 당 70주로 기계이앙 하였다. 유수분화기와 유수분화 이후 벼의 영양 및 생육상태를 달리하기 위하여 토양검정시비량 N-P₂O₅-K₂O=9.8-6.0-2.8 kg/10a을 기준으로 하여 질소를 기비-분얼비 = 0-0, 50-20, 70-0%가 되도록 처리하였고, 각 질소 처리구마다 질소 이삭거름을 기준량의 0, 15, 30, 45%를 사용하였다. 모든 질소 처리에 대하여 인산은 전량 밑거름으로 사용하였고, 칼리는 기비70%, 수비30%로 사용하였다. 한편 2009년 실험에서는 수비처방 프로그램 검증을 위하여 단백질함량 6.0%를 목표로 처방한 수비 처리구를 추가하였다. 기타 재배관리 방법은 경기도농업기술원 벼 표준재배법에 준하였고, 실험은 분할구 배치 3반복으로 수행하였다. 생육 조사 항목은 유수분화기(출수 전 30일 기준) 초장, 경수, 지상

Table 1. Chemical properties of soil before experiment.

pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cat.(cmol ⁺ /kg)			CEC (cmol ⁺ /kg)	SiO ₂ (mg/kg)
			K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
7.1	20.4	42	0.4	7.6	2.0	13.4	188

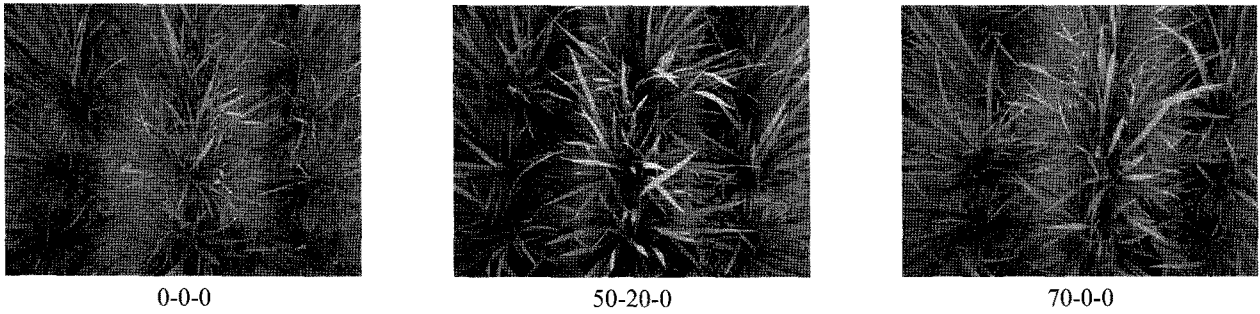


Fig. 1. Digital camera images at panicle initiation stage of rice grown under different split application ratios of nitrogen fertilizer in 2008.

Table 2. Color indices calculated by analyzing the color digital camera image of rice canopy.

Non-normalized indices	Normalized indices
Red(R), Green(G), Blue(B), G-B, Hue =W (if B≤G or Hue=2π-W if B>G where $W = \cos^{-1}[\{2R-(G+B)\}/2\{(R-G)^2+(R-B)(G-B)\}^{1/2}]$ Saturation=1-3*min(R, G, B)/(R+G+B)	$r = R/(R+G+B)$ $g = G/(R+G+B)$ $b = B/(R+G+B)$ $EGI = 2g-r-b$ MEGI = 0 if $g < r$ or b , otherwise MEGI=EGI (Modified EGI)

부 부위별 건물중과 질소 함량, 벼 잎의 엽록도 등을 측정하였다. 엽록도는 SPAD- 502(Minolta社)를 이용하여 지엽의 엽맥을 제외한 중앙부에서 측정하였다.

수확기 생육 및 수량조사는 출수 후 55일에 지상부 건물중, 식물체 질소함량, 수량, 수량구성요소, 완전미율, 쌀 단백질 함량 등을 조사하였다. 식물체 질소함량은 부위별 시료를 건조 마쇄하여 Micro-Kjeldahl법으로 분석하였으며, 완전미율은 RN-500(Kett, Japan), 단백질함량은 AN-700(Kett, Japan)를 이용하여 분석하였다.

식물체 영상은 유수분화기에 범용 디지털 카메라를 이용하여 지상 1.2 m 높이에서 수직 하향으로 벼 군락을 촬영하여 수집하였으며(그림 1), 수집된 영상은 Visual Basic ver. 6.0으로 프로그램을 개발하여 분석하였다. 수집된 영상으로부터 군락피복도(CC; conopy cover), 군락 체적(CV; canopy volume)을 비롯하여 표 1과 같은 색지표를 계산하였다. 군락 피복도는 영상 전체 픽셀(pixel) 수에 대한 식물체 픽셀 수의 비율로 계산하였는데 배경과 식물체 픽셀의 구분은 MEGI(modified excessive greenness index)를 기준으로 MEGI>0인 경우 식물체 픽셀로 간주하였고(Lee & Lee 2007), 군락 체적은 CC와 초장(PH; plant height)으로부터 다음과 같이 계산하였다. 즉,

$$CV = CC \times PH$$

한편 CC와 CV 이외의 색지표들은 식물체 픽셀의 RGB값만을 추출하여 계산하였다.

유수분화기 벼 군락의 디지털 카메라 영상분석을 이용하여 유수분화기 지상부 건물중 및 질소흡수량 추정 모델을 작성하였으며, 또한 유수분화기 질소흡수량 수비질소이용량, 유수분화기 이후 질소 흡수량 등으로부터 유수분화기부터 성숙기까지의 지상부 질소흡수량, 벼 수량 및 쌀 단백질 함량을 추정하기 위한 중회귀 모델을 작성하였다. 이와 같은 모델은 SAS 9.1의 PROC REG procedure를 이용하여 작성하였으며 모델의 변수 선택은 단계적회귀법(stepwise regression)을 이용하였다.

결과 및 고찰

디지털 카메라 영상분석을 이용한 벼 지상부 건물중 및 질소흡수량 추정 모델

벼 유수분화기에 실측한 생육 및 질소영양 지표와 벼 군락의 이미지 분석을 통하여 산출한 색지표와의 단순상관을 나타낸 것이 표 3이다. 군락피복도와 군락체적은 초장, 건물중 및 질소흡수량과 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었으며, R, G, B, NDI 및 명도(intensity) 값은 이들과 유의한 부의 상관을 나타내었다. 한편 표준화된 색지표인 r은 잎 및 지상부 질소함량과 유의한 부의 상관을 나타내었으나 표준화 색

Table 3. Correlation coefficient between plant variables and indices derived from digital camera image of rice canopy around panicle initiation stage.

Index	Plant height	Shoot Dry weight	SPAD value	Leaf N concentration	Shoot N concentration	Shoot N accumulation
CC	0.729**	0.770**	0.252	0.019	-0.096	0.713**
CV	0.918**	0.833**	0.421*	0.103	-0.001	0.819**
R	-0.688**	-0.440*	-0.389*	-0.162	-0.150	-0.504**
G	-0.627**	-0.386*	-0.277	-0.027	-0.0370	-0.386*
B	-0.398*	-0.473**	0.027	0.156	0.214	-0.346
r	-0.492**	-0.149	-0.519**	-0.365*	-0.379*	-0.342
g	0.668**	0.627**	0.196	-0.046	-0.111	0.544**
b	-0.297	-0.471**	0.177	0.302	0.365*	-0.260
NDI	-0.761**	-0.506**	-0.487**	-0.215	-0.182	-0.581**
Hue	0.094	-0.236	0.275	0.297	0.338	0.025
Saturation	0.296	0.480**	-0.190	-0.318	-0.380*	0.259
Intensity	-0.627**	-0.486**	-0.225	-0.004	0.021	-0.457*

CC : canopy cover, CV : canopy volume, R, G, B : red, green, blue, r, g, b : normalized R, G, B.

Table 4. Non-linear regression models using color indices and plant height as predictor variables for estimating shoot dry weight (SDT) and shoot N accumulation (PNup).

Model equation			R ²
SDT	=	45.6 CC ^{0.481} Int ^{-1.271} PH ^{1.943}	0.867
SDT	=	6063.2 CC ^{0.980} NorR ^{3.711}	0.811
PNup	=	e ^{-3.637} Int ^{-1.049} PH ^{2.335}	0.823
PNup	=	e ^{4.286} CC ^{0.499} NorG ^{3.870}	0.680

SDT : shoot dry weight (g/m²), PNup : N accumulation in shoot (g/m²), NorR and NorG : normalized Red(r) and Green(g), Int : Intensity, PH : plant height (cm)

지표 b와 g는 이들과 유의한 상관을 보이지 않았다. 그런데 Jia & Zhang(2007)과 Liangliang *et al.*(2004)은 밀에서 r, g, b 모두 SPAD값 및 지상부 질소함량과 유의한 부의 상관을 나타내었다고 하여 본 연구 결과와는 차이가 있었다. 이와 같은 결과는 영상분석에 의하여 색지표를 계산하는 방법에 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다. 본 연구에서는 군락의 배경(담수 토양)을 제외한 식물체의 pixel만을 추출하여 계산한 데 반하여 Jia & Zhang(2007)과 Liangliang *et al.*(2004)은 배경을 구분하지 않고 전체 pixel에 대하여 평균치를 구함으로서 질소 영양상태에 따른 군락 피도의 차이에서 오는 군락 반사 차이가 반영되었기 때문인 것으로 생각된다.

생육 지표와 색지표 간 상관분석 결과를 바탕으로 색지표를 추정변수(독립변수)로 하여 지상부 건물중 및 질소 흡수량 추정 모델을 작성하였다. 비선형 회귀모델은 모든 종속 및 독립변수를 자연로그(natural logarithm)로 변환하여 중회귀 분

석을 하는 방법으로 작성하였으며 변수 선택은 단계적회귀(stepwise regression)를 이용하였다. 모델은 영상분석에 의하여 계산된 색지표만을 독립변수로 한 경우와 색지표 외에 실측이 용이한 초장을 독립변수에 포함시킨 경우로 나누어 작성하였다. 이와 같은 과정을 통해서 구축된 모델은 표 4와 같다. 모델에 초장을 포함시킨 경우가 색지표만을 이용한 경우보다 모델의 결정계수가 높았으나, 색지표만을 이용하는 경우도 비교적 높은 결정계수를 보였다. 색지표만을 이용하는 경우 지상부 건물중(SDT) 추정에는 CC와 정규화된 R값(r, NorR)이 변수로 채택이 되었으며 질소 흡수량(PNup) 추정에는 CC와 정규화된 G값(g, NorG)이 채택되었다.

유수분화 이후 질소 흡수량, 수량 및 단백질함량 추정 모델

유수분화기에 적정 질소 추비량을 처방하기 위해서는 유수분화기 식물체의 질소 영양 상태(PNup) 및 질소 시비량(Npi)

Table 5. Multiple regression model to estimate rice yield, protein content of rice and amount of nitrogen uptake after panicle initiation stage.

Model equations		R ²
PHNup = 0.79 + 0.978Npi + 2.673PNup - 0.408PNup ²	(3)	0.923
Yield = 88.6 + 6.97PNup ² + 84.7PHNup - 2.60PHNup ²	(4)	0.859
Protein = 6.05 + 0.016PNup ² + 0.0013PHNup ²	(5)	0.804

PHNup : shoot nitrogen accumulation from panicle initiation stage to maturity(g/m²), PNup : shoot nitrogen accumulation at panicle initiation stage (g/m²) Npi : nitrogen top-dressing rate at panicle initiation stage(kg N/10a), Yield : grain yield(kg/10a), Protein : protein content of milled rice (% , dry weight basis)

이 수량과 단백질함량에 미치는 영향을 정량화하여야 하는데, 이를 위하여 Npi와 PNup이 유수분화기부터 성숙기까지의 지상부 질소흡수량(PHNup)에 미치는 영향 및 PNup과 PHNup이 벼 수량 및 쌀 단백질 함량에 미치는 영향을 검토하여 표 5와 같은 중회귀 모델을 작성하였는데 이 모델들은 결정계수(R²)가 모두 0.8이상으로 높았다. PHNup은 Npi에는 직선적인 반응을 나타내었으며 PNup에는 2차 곡선적인 반응을 나타내었다. 수량은 PNup이 증가할수록 2차 곡선적으로 수량이 증가하지만, PHNup이 증가함에 따라 증가하여 PHNup이 약 3.3kg/10a에서 최대를 이루고 그 이상으로 증가하면 수량이 감소하는 2차 곡선적인 반응을 나타내었다. 한편 쌀 단백질 함량은 PNup과 PHNup이 증가할 수록 2차 곡선적으로 증가하는 반응을 보였다. 이와 유사한 결과를 김(2004)과 Nguyen(2006)도 발표한 바 있다. 본 연구, 김(2004)과 Nguyen(2006)의 연구 모두 PHNup, 수량 및 단백질함량 추정 모델 작성에 있어서 토양 및 기상에 따르는 차이를 모델에 반영하지 못하고 있어서 이 모델들의 범용적 이용에 한계가 있으며, 이와 같은 한계를 극복하기 위해서는 보다 광범위한 자료를 종합하여 토양과 기상 요인을 모델에 반영하여야 할 것으로 판단된다.

디지털카메라 영상 분석에 의한 질소 수비량 추천 프로그램 구축 및 예비 검증

위에서 작성한 모델들(표 4, 표 5)을 종합하여 목표 단백질 함량 또는 수량을 달성할 수 있도록 질소 수비 추천량을 처방하는 프로그램을 Visual Basic 6.0으로 개발하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 1) 칼라 디지털 카메라로 유수분화기에 벼 군락 영상을 촬영하여 영상분석과정을 거쳐 표 4의 식 (2)를 이용하여 유수분화기 지상부 질소보유량(PNup)을 추정하며, 2) 목표수량 또는 단백질함량을 결정하여 입력하면 이를 달성하기 위하여 필요한 유수분화기 이후 질소 흡수 요구량(PHNup)을 표 5의 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 계산하며, 3) 위에서 결정한 PNup과 PHNup을 이용하여 표 5의 식 (3)을

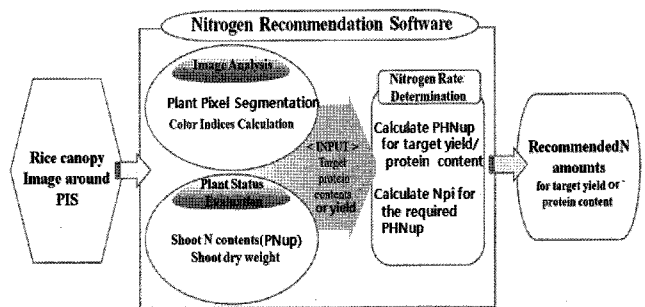


Fig. 2. Procedures for prescribing nitrogen top-dressing rate by the developed N recommendation program.

이용하여 목표 수량 또는 단백질 함량을 달성하기 위한 수비 시용량을 결정하며, 4) 이와 같이하여 결정한 목표 수량 또는 단백질함량 달성을 위한 수비 시용량 중에서 작은 쪽을 택하여 처방하는 과정을 거친다.

수비량 추천 프로그램의 적용성을 검토하기 위하여 기비-분얼비를 토양검정시비량(9.8 kg/10a)의 0-0, 70-0, 및 50-20로 사용하여 유수분화기 생육 상태가 다른 포장을 2등분하여 한쪽은 관행 추천 수비량 30%를 사용하고 한쪽은 쌀 단백질 함량 6%를 목표로 수비량 추천 프로그램에 의하여 처방한 수비량을 사용하여 수량 및 수량구성요소를 비교하였다(표 6). 목표 단백질함량 6%를 기준으로 처방한 질소 수비량은 기비-분얼비=0-0 분시구는 토양검정시비량의 21%, 기비-분얼비=70-0 및 50-20 분시구는 모두 19%로 관행 수비 추천량 30%에 비하여 약 30% 정도 낮게 처방되었다. 그러나 수량은 관행 수비량 시용구와 프로그램 처방 시용구 간에 차이가 없었으며 단백질함량은 관행 수비처리가 평균 5.9%이고 프로그램 처방구는 평균 5.7%로 다소 낮았다. 수량과 단백질 함량의 변이 계수는 관행 수비 처방구에 비하여 프로그램 처방구에서 크게 낮아 저서 프로그램 처방에 의하여 수량과 품질이 균질화되었다. 프로그램 처방시 목표 단백질 함량을 6%로 하였으나 실제로는 이보다 낮은 5.7%(5.7 ~ 5.8%)를 나타내었는데, 이는 모델을 구축한 2008년보다 모델을 검증한

Table 6. Comparison of rice yield and yield components between the fixed rate of N topdressing and the variable rates of N topdressing at panicle initiation stage that were prescribed for the target rice protein content of 6% by the N topdressing recommendation program.

Treatment	Split application ratio of N(%)	No. of panicles /m ²	No. of grains/ panicle	No. of grains/m ²	Yield(kg/10a)		Amylose (%)	Protein (%)
					Milled rice	Head rice		
Fixed rate of N topdressing at panicle initiation stage	0-0-30 [†]	346	84	29232	470	450	18.8	5.9
	50-20-30	389	79	30439	527	485	18.4	6.0
	70-0-30	396	83	32665	497	465	18.6	5.7
	Mean	377	82	30779	498	467	18.6	5.9
	CV(%)	7.2	3.2	5.7	5.7	3.8	1.1	2.6
Variable rate of N topdressing by the developed program	0-0-21 [‡]	313	86	26958	466	439	18.5	5.7
	50-20-19	338	85	28650	493	460	18.5	5.8
	70-0-19	373	85	31759	499	467	18.6	5.7
	Mean	341	85	29122	486	455	18.5	5.7
	CV(%)	8.8	0.7	8.4	3.6	3.2	0.3	1.0

[†]Split application rates applied as basal-tillering-panicle N fertilizer and described as percentage of total N fertilizer amount (9.8 kg/10a). Regardless of N fertilization before panicle initiation stage, 30% of total N fertilizer was applied at panicle initiation stage.

[‡]Split application rate of N fertilizer that was prescribed for the target rice protein content of 6.0% by the N topdressing recommendation program.

2009년이 유수분화기 이후 기상환경이 등숙에 유리하였기 때문인 것으로 판단되는데, 수원기상대 자료에 의하면 유수분화에서 성숙기에 해당하는 7월 20일부터 10월 10일까지의 일조시간이 2008년에는 491시간이었고 2009년에는 558시간이었다. 이 프로그램을 범용적이고 실용적으로 사용할 수 있기 위해서는 유수분화기 이후 기상환경 뿐만 아니라 토양환경을 고려할 수 있는 모델의 구축이 필요할 것으로 사료된다.

적 요

이 연구는 칼라 디지털 카메라 영상 분석에 의한 유수분화기 벼 군락의 건물중 및 질소흡수량 추정 모델, 유수분화기 질소흡수량과 질소 수비량에 따른 유수분화기 이후 질소 흡수량 추정 모델, 유수분화기 질소 흡수량과 유수분화기 이후 질소 흡수량에 따른 수량 및 쌀 단백질함량 추정 모델을 구축하고 이를 종합하여 목표 수량 또는 단백질함량을 달성하기 위한 질소 수비량을 추천하는 원시 프로그램을 개발하여 현장 적용성 예비 검토를 실시하고자 한 것이다.

1. 군락피복도(CC)와 군락체적(CV)은 초장, 건물중 및 질소흡수량과 고도로 유의한정의 상관을 나타내었으며,

R, G, B, NDI 및 명도 값은 이들과 유의한 부의 상관을 나타내었다. 한편 표준화된 색지표인 r은 앞 및 지상부 질소함량과 유의한 부의 상관을 나타내었으나 표준화 색지표 b와 g는 이들과 유의한 상관을 보이지 않았다.

2. 벼 군락의 디지털 카메라 영상분석을 이용한 벼 지상부 건물중 및 질소 흡수량을 추정하기 위한 비선형회귀 모델을 작성하였다. 지상부 건물중 추정 모델에는 CC와 정규화된 R값(r, NorR)이 변수로 채택이 되었고, 질소 흡수량 추정에는 CC와 정규화된 G값(g, NorG)이 채택되었으며, 이들 모델의 결정계수는 각각 0.81과 0.68이었다. 영상분석 색지표 이외에 초장을 모델에 도입하는 경우 모델의 결정계수는 더 높아졌다.
3. 유수분화기에 적정 질소 추비량을 처방하기 위해서는 유수분화기 식물체의 질소 영양 상태(질소 흡수량, PNup) 및 질소 시비량이 수량과 단백질함량에 미치는 영향을 정량화하여야 하는데, 이를 위하여 Npi와 PNup이 유수분화기부터 성숙기까지의 지상부 질소흡수량에 미치는 영향 및 PNup과 PHNup이 벼 수량 및 쌀 단백질 함량에 미치는 영향을 검토하여 중회귀 모델을 작성하였으며 이 모델들은 결정계수가 모두 0.8이상으로 높았다.
4. 상기의 모델들을 종합하여 유수분화기 벼 군락 영상분

석을 이용한 수비처방 원시 프로그램을 작성하여 예비 검증 실험을 하였다. 벼 수비 처방 프로그램에 의해 쌀 단백질 함량 6.0%를 기준으로 처방된 수비질소 분시율이 19%~21%로 표준재배 분시율 30%에 비해 낮은 수준으로 처방되었으나 완전미 수량은 대등하였고, 단백질함량은 수비처방 목표단백질 함량 6%보다는 다소 낮은 5.7~5.8%였으며, 수량과 단백질함량의 변이 계수는 관행 수비 처방구에 비하여 프로그램 처방구에서 크게 낮아져서 프로그램 처방에 의하여 수량과 품질이 균질화되는 결과였다.

사 사

이 연구의 일부는 학술진흥재단 2008년도 기초연구과제(아공분야) 지원에 의하여 이루어진 것임

인용문헌

- 김덕수, 윤영환, 신진철, 김제규, 김석동. 2002. 벼 잎의 엽록소 및 질소함량과 엽록도 관계의 품종적 차이. 한국작물학회지 47(3): 263-267.
- 김민호. 2004. 벼 유수분화기 질소영양 및 생육 상태의 비파괴적 진단에 의한 질소 수비량 결정에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
- 이충근, 신진철, 최경진, 김덕수, 박태식, 김제규. 2004. 벼 엽신 질소 농도 간에 측정법 설정 연구. 작물시험연구논총 제5권: 221-226.
- 홍광표, 김영광, 정완규, 손길만, 송근우, 최용조, 최진룡. 2003. 벼 엽록도값의 품종간 차이와 생육기간중 경시적 변화. 한국작물학회지 48(6): 479-483.
- Jia, L., A. Buerkert, X. Chen, V. Roemheld, and F. Zhang. 2004. Low-altitude aerial photography for optimum N fertilization of winter wheat on the North China Plain. Field Crops Research 89: 389-396.
- Kawashima, S. and M. Nakatani, 1998. an algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. Annals of Botany 81: 49-54.
- Ku, H. H. S. H. Kim, K. S. Choi, H. Y. Eom, S. E. Lee, S. G. Yun, and T. W. Kim. 2004. Nondestructive and rapid estimation of chlorophyll content in rye leaf using digital camera. Korean J. Crop Science 44(1): 41-45.
- Lee, K. J. and B. W. Lee. 2007a. Evaluating color indices for rice plant segmentation from variable background in digital camera images in rice field, Asian Crop Science Association, The 2nd International conference on rice for the future, pp 174, Thailand.
- Lee, K. J. and B. W. Lee. 2007b. Greenness (SPAD Value) of Rice Leaves can be Evaluated by Hue Value of Digital Camera Image under Variable Irradiance Condition, Korean J. of Crop Science 52(supplement 2), pp 204.
- Liangliang, J., X.P. Chen, F. Zhang, A. Buerkert, and V. Romheld, 2004. Use of digital camera to assess nitrogen status of winter wheat in the northern China plain. J. of Plant Nutrition 27(3): 441-450.
- Nguyen, T. H., 2006. Development of a non-destructive method for assessing N-nutrition status of rice plant and prescribing N-fertilizer rate at panicle initiation stage for the target yield and protein content of rice. Ph.D. dissertation, Seoul National University.
- Nguyen, T. H., L. T. Nguyen, Y. F. Yan, K. J. Lee, and B. W. Lee. 2007. Hung The Nguyen, Lan The Nguyen, Yong-Feng Yan, Kyu-Jong Lee, Byun-Woo Lee, Using chlorophyll (SPAD) meter reading and shoot fresh weight for recommending nitrogen top dressing rate at panicle stage of rice. Journal of Crop Science and Biotechnology. 10: 33-38.
- Nguyen, T. H., K. J. Lee, and B. W. Lee. 2008. Recommendation of nitrogen topdressing rates at panicle initiation stage of rice using canopy reflectance. Journal of Crop Science and Biotechnology. 11: 141-150.
- Singh, B., Y. Singh, J. K. Latha, K. F. Bronson, V. Balasubramanian, and J. Singh, 2002. Chlorophyll meter- and leaf color chart-based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. Agronomy J. 94(4): 821-829.
- Yang, W. H., S. Peng, J. Huang, A. L. Sanico, R. L. Buresh, and C. Witt. 2003. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. Agronomy J. 95: 212-217.