

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행 기간	연구실	책임자
벼 재배 정밀관리기술 및 생산비 절감 연구		벼 LS0201	'08~'09	농업기술원 작물개발과	지정현
디지털 영상분석 이용 벼 수비처방 프로그램 개발		벼 LS0201	'08~'09	농업기술원 작물개발과	지정현
색인용어	벼, 디지털영상, 수비량, 생육, 수량, 품질				

ABSTRACT

This study was to develop the program for determining topdressing rate at panicle initiation stage by the digital image taken from the plant canopy at the rice field and evaluate the effect of recommended topdressing rate on rice growth and rice quality. To develop the program for determining topdressing rate, N fertilizer were treated at the rate of 0-0%, 50-20%, and 70-0% for the basal application and topdressing at tillering stage, and topdressing at panicle initiation stages was applied at the rate of 0, 15, 30, and 45% corresponding to the recommended N amount by the result of soil testing. The field treated with recommended rate was top dressed at panicle initiation stage based on the result of digital image analysis. Rice growth, dry weight, and amount of N uptake at 50-20% and 70-0% treatment field were not different between the N fertilizer treatments, but plant height and the number of tillers at 50-20% and 70-0% were higher than those of 0-0% treatment field. Head rice yield, immature grain ratio of brown rice, and protein content of brown rice were increased by the increment of N topdressing rate at panicle initiation stage. Correlation coefficient were high between plant characteristics such as plant height, dry weight, and amount of N uptake and index of digital image such as canopy cover(CC) and canopy volume(CV). Correlation coefficient between normalized R(r) and SPAD and between normalized G(g) and plant height, dry weight, and amount of N uptake was relatively high. Nitrogen topdressing rate determination program consisted with multiple regression equations were based on the analysis of digital image of rice growth at panicle initiation stage to meet the target of rice yield and rice protein content. Nitrogen rates applied as topdressing by the developed program were 21% for 0-0 % treatment plot and 19% for 50-20% and 70-0% treatment plots. Nitrogen topdressing rates at panicle initiation stage by the program were lower compared to the amount of recommended rate, but the rice growth and rice quality were same to those of the plots top-dressed with 30% of Nitrogen.

Key words : Rice, Digital image, Topdressing rate, Rice growth, Rice quality

1. 연구목표

밭맛, 쌀의 외관 등 쌀의 품질을 좌우하는 요인은 품종, 재배관리, 수확 후 관리, 산지 등 매우 많은 요인이 있으나 재배관리적인 측면에서는 질소 시비 관리가 가장 크게 영향한다. 우리나라의 벼 재배에서 질소비료 권장 시비량은 1990년대 이후 10a당 11kg이었으나, 최근 고품질 쌀 생산을 위하여 표준 질소시비량을 9kg/10a으로 하향 조정하였다. 질소비료 분시비율도 기비-분얼비-수비-실비를 50-20-20-10의 비율로 시비하도록 2002년까지 권장하였으나 실비(알거름)는 쌀의 등숙 향상을 통한 수량의 증대에는 도움이 되지만 쌀의 단백질함량을 높여 식미를 저하시키는 요인이 되므로(김, 2004; 石間 等, 1974; Nishizawa et al, 1977; 채와 정, 2002) 실비(알거름)를 생략하고 기비-분얼비-수비를 50-20-30으로 분시하도록 권장하고 있다. 그러나 이는 권장 기준일 뿐 실제 농민들이 사용하는 시비량은 기준시비량보다 적게는 1.5배에서 많게는 2배에 이르는 등 비료 남용에 의한 비용 증가, 품질저하, 도복 등으로 경제적 손실이 큰 실정일 뿐만 아니라 환경오염의 우려 요인이 되고 있다. 이와 같은 과비의 문제점을 개선하고자 토양검정에 의한 시비량을 추천을 하고 있으나 이 경우 역시 고품질 쌀의 다수확을 위해서는 생육기간 중 벼의 생육 상태를 진단하여 추비로 생육 조절을 하여야 한다. 그러나 지금까지 농민들의 눈대중에 의한 생육진단과 시비가 이루어지고 있는 실정으로 간편하고 정확한 생육진단 정보에 의한 시비처방기술이 개발 보급되지 못하고 있다.

작물의 생육기간 중 영양 상태 특히 질소 영양 상태를 진단하여 추비시기를 진단하려는 노력이 우리나라에서도 다양하게 이루어져 왔으나 실용적으로 이용되지는 못하고 있다. LCC나 SPAD를 이용하여 벼의 영양 진단에 이용하려는 연구들도 다수 있었으나(Yang et al, 2003; 홍 등, 2003; 이 등, 2004; 김 등 2002; 김, 2004) 엽색표(leaf color chart, LCC)를 이용하는 경우 특정 품종, 지역, 시기 내에서는 엽 질소함량과 LCC간에는 상관성이 높으나(Yang et al, 2003, Singh et al, 2002), 시비를 위한 임계 LCC 값은 품종, 지역 및 계절에 따라 다르므로 조건에 따라 각각 결정 되어야 하는 문제점이 있고(Singh et al, 2002), 또한 LCC값을 비엽중(SLW)으로 보정하면 이와 같은 문제점을 다소 해소할 수 있으나(Yang et al, 2003) 비엽중을 파괴적으로 측정해야 되는 어려움이 있다. 또한 SPAD와 마찬가지로 잎 국소 부분의 특정 파장 빛의 반사.투과 특성을 이용하여 잎의 질소함량을 비파괴적으로 측정하기 위하여 디지털질소측정기(박광호, 2004)를 개발되었으나 근본적으로 LCC와 같은 문제점을 가지고 있다.

위에서 언급한 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 생육량(건물중)에 대한 정보가 있어야한다. 그러나 이 경우 균락 반사를 측정하는 데는 고가의 장비(GER1500: 300~1500nm, 1.5nm해상도)를 이용하여야 하는 문제점이 있다. 그러나 우리나라에서는 균락반사를 이용한 영양 및 생육 진단기 개발을 위한 기초연구는 이루어지지 않고 있다.

한편 범용 digital camera를 이용한 작물 영양 진단의 경우 Ku 등(2004)이 호밀 개엽의 엽록소 함

량과 digital camera image의 RGB값을 추출하여 계산한 식생지수와와의 관계를 검토한 연구가 보고되었고, Digital camera의 경우 근적외선(NIR)에 대한 반사값을 직접 얻을 수 없어 생육량에 대한 정보를 얻기 어렵고, 또한 사진 촬영시 날씨에 따라 RGB값이 달라지는 등의 문제점이 있었고 이를 해결하기 위해 변인 조건에서 Digital camera 이미지의 색상지표를 개발한 연구가 보고(Lee and Lee, 2007a, 2007b)되었으나 생육진단과 시비처방에 디지털 카메라를 활용하기에는 미흡한부분이 많다. 이러한 문제점을 기술적으로 해결하는 경우 Digital camera 또는 Digital camera 부착 휴대전화기 보편화 되어 있어 현장에서 실제로 활용될 가능성은 매우 크다.

따라서 본 연구는 유수분화기에 벼 군락의 생육상태를 Digital camera로 촬영하여 영상 분석에 의한 지상부 질소 보유량을 추정하고 목표 수량 및 목표 단백질함량에 필요한 유수분화기 이후 질소 흡수요구량을 산정하여 이삭거름 사용량을 결정하는 프로그램 개발과 사용법에 관한 결과에 관한 것이다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2008년 경기도농업기술원 논 포장에서 추청벼를 시험품종으로 하여 5월 21일 35일묘를 3.3m²당 70주로 기계이앙 하였다. 시비처리는 토양검정시비량 N-9.8, P2O5-6.0, K2O-2.8kg/10a에 대하여 질소량 분시는 기비-분얼비로 0-0, 50-20, 70-0%로 분할하여 처리하였고, 각 처리구마다 질소 이삭거름을 0, 15, 30, 45%로 사용하였다. 인산은 전량 밑거름으로 사용하였고, 칼리는 모든 처리구에서 기비70%, 수비30%로 사용하였고 기타 재배관리 방법은 경기도농업기술원 벼 표준재배법에 준하였다.

시험전·후 포장의 유기물함량을 비롯한 토양분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체분석법(2000)에 준하여 실시하였고, 유수분화기(출수전30일 기준) 생육상황으로 초장, 경수, 지상부건물중 및 벼 잎의 엽록소함량은 간이엽록소측정기(SPAD- 502, Minolta, Japan)을 이용하여 지엽의 엽맥을 제외한 중앙부에서 측정하였다. 식물체 질소함량은 부위별 시료를 건조 마쇄하여 Micro-Kjeldahl법으로 분석하였고, 식물체 영상분석을 위해 지상 1.2m높이에서 수직하방향으로 디지털카메라로 촬영 프로그램을 통한 영상분석에 이용하였다.

수확기 생육 및 수량조사는 출수후 55일 기준으로 지상부 건물중, 식물체 질소함량, 수량 및 수량구성요소, 현미 및 쌀 외관품질, 현미 및 쌀 단백질함량, 식미치(Toyo)를 조사하였다. 쌀품질과 관련된 형질로서 완전미율은 RN-500(Kett, Japan), 단백질함량은 AN-700 (Kett, Japan), 백도는 C-300(Kett, Japan), 식미치는 쌀을 일정한 조건에서 호화시켜 밥알 표면의 보수막 특성을 근적외선으로 측정하여 밥맛을 간접 측정하는 Toyo사의 미도메타(MA-30A, Japan)을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시험 전·후 토양의 화학적 특성

시험전 토양의 지력을 파악하고자 화학적 특성을 분석한 결과 표1에서와 같이 유기물과 인산함량은

작물별 시비처방 기준(농촌진흥청, 2006)에서 제시한 적당한 토양의 화학성 유기물 25~30g/kg, 인산 80~120mg/kg에 비해 20.4g/kg, 42mg/kg으로 낮은 결과를 나타내었다.

표 1. 시험전 토양의 화학적 특성

pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P2O5 (mg/kg)	Ex. Cat.(cmol+/kg)			CEC (cmol+/kg)	SiO2 (mg/kg)
			K	Ca	Mg		
7.1	20.4	42	0.4	7.6	2.0	13.4	188

※검정시비량 : N-10.7, P2O5 - 5.8, K2O - 3.0kg/10a

나. 벼 생육 양상 및 부위별 질소함량

벼의 생육 및 영양 상태를 파악하여 목표 품질과 수량에 도달할 수 있도록 정확한 수비처방을 위해 벼의 영양 상태 즉 엽록소 또는 질소 함량뿐만 아니라 생육량(건물중)에 대한 정보가 있어야 한다 (김, 2004; Nguyen 등, 2005; Nguyen, 2006). 이를 위해 추청벼 유수분화기 생육상황 및 건물중과 질소흡수량을 조사한 결과 표2, 표3에서와 같이 기비와 분얼비를 무시용한 처리 대비 시용한 처리에서 초장6.2~7.4cm, 경수 5.4~5.6개 많았다. 기비와 분얼비를 시용한 처리구의 분시방법에 따른 생육은 대등하였다. 유수분화기 벼 지상부 건물중도 무시용구 대비 시용구에서 123~138.6kg/10a 많았고 질소흡수량도 1.2kg/10a 많았으나, 기비와 분얼비를 시용한 처리구의 분시방법에 따른 건물중과 질소흡수량은 생육상황과 같은 경향으로 대등하였다.

표 2. 유수분화기 생육

처리	초 장(cm)		경 수(개/주)		SPAD
	평균	C.V(%)	평균	C.V(%)	
0-0-0	55.9±2.2	4.0	17.1±3.2	18.9	30.3±1.5
50-20-0	63.3±1.6	2.6	22.5±3.8	16.7	30.0±1.5
70-0-0	62.1±1.8	1.8	22.7±4.0	17.7	29.4±1.2

표 3. 유수분화기 지상부 건물중 및 질소함량

처리	건물중(개.g/주)			T-N(%)		건물중(kg/10a)			질소흡수량(kg/10a)		
	경수	엽중	경중	엽	줄기	엽중	경중	지상부	잎	줄기	지상부
0-0-0	20.3	3.8	6.1	2.2	0.8	80.4	129.6	210.0	1.8	1.0	2.8
50-20-0	25.8	5.9	9.8	2.1	0.7	125.1	207.9	333.0	2.6	1.5	4.1
70-0-0	26.2	6.0	10.5	2.0	0.7	126.8	221.7	348.6	2.5	1.5	4.0

※ Factor:1.009N, Blank:0.0274ml

그림 1은 유수분화기 벼 생육상황을 영상분석하기 위해 지상부 1.2m 높이에서촬영한 사진이다. 기비와 분얼비 무시용구에서 생육이 부진하였고 분시방법에 따른 생육은 대등함을 알 수 있다.

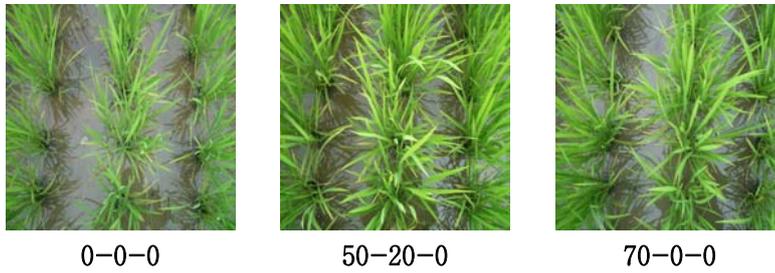


그림 1. 기비, 분얼비 시용량에 따른 벼 유수분화기 디지털 영상

기비와 분얼비 무시용 및 시용처리구별로 이삭거름을 0, 15, 30, 45%로 사용한 후 성숙기의 생육상황과 건물중 및 질소흡수량은 표 4, 표5와 같다. 기비와 분얼비를 무시용한 처리에서 전반적으로 간장, 수장, 수수가 적었고 수비 시용량이 증가할수록 생육량은 증가되었다. 분시비율에 따른 생육상황은 기비-분얼비를 50-20%로 사용한 처리에서 다소 양호한 경향을 나타내었다. 성숙기 지상부 건물중 및 질소흡수량도 생육상황과 같은 경향을 나타내었고 50-20-0, 15, 30, 45% 처리에서 이삭부분의 건물중 및 질소흡수량이 다소 높았다.

표 4. 성숙기 생육상황

처리	간장(cm)		수장 (cm)	수수(개/주)		SPAD
	평균	C.V(%)		평균	C.V(%)	
0-0-0	69.5	3.9	17.3	12.4	15.6	24.7
0-0-15	75.4	2.1	19.0	12.8	16.5	29.9
0-0-30	75.9	2.4	19.7	15.1	17.3	32.1
0-0-45	79.1	2.7	19.8	20.0	19.4	32.3
50-20-0	74.8	2.9	18.5	15.1	22.8	24.2
50-20-15	79.2	3.0	19.5	16.1	20.6	28.2
50-20-30	81.9	4.0	20.3	17.1	14.3	32.1
50-20-45	82.2	3.1	20.4	17.7	16.8	33.5
70-0-0	75.2	2.2	17.7	15.9	18.6	23.1
70-0-15	75.5	3.0	18.8	16.1	12.6	26.7
70-0-30	79.0	3.0	20.1	16.7	19.9	28.4
70-0-45	79.1	3.0	20.6	17.1	17.7	31.5

표 5. 성숙기 지상부 건물중 및 질소함량

처리	건물중(kg/10a)				질소량(%)			질소흡수량(kg/10a)			
	줄기	잎	이삭	총중	줄기	잎	이삭	줄기	잎	이삭	지상부
0-0-0	526.3	168.9	531.3	1226.5	0.3	0.7	0.9	1.5	1.1	5.0	7.6
0-0-15	547.9	199.8	624.4	1372.1	0.3	0.8	1.0	1.7	1.6	6.2	9.5
0-0-30	579.8	212.4	717.1	1509.2	0.4	0.8	1.0	2.1	1.7	7.0	10.8
0-0-45	580.6	218.1	764.7	1563.4	0.4	1.0	1.0	2.2	2.1	7.7	12.0
50-20-0	604.2	207.2	602.3	1413.8	0.3	0.7	0.9	2.0	1.4	5.7	9.1
50-20-15	638.0	228.1	710.8	1576.9	0.4	0.8	1.0	2.2	1.8	6.9	10.9
50-20-30	665.4	247.4	823.8	1736.6	0.4	0.8	1.0	2.5	2.0	8.2	12.7
50-20-45	655.5	235.0	813.7	1704.3	0.5	0.9	1.0	3.0	2.2	8.5	13.6
70-0-0	615.0	214.4	579.5	1409.0	0.3	0.6	0.9	1.8	1.3	5.2	8.3
70-0-15	648.3	228.9	655.0	1532.2	0.3	0.7	1.0	2.0	1.6	6.4	10.0
70-0-30	732.2	233.9	745.1	1711.2	0.4	0.8	1.0	2.6	1.8	7.3	11.7
70-0-45	756.5	240.3	841.8	1838.6	0.4	0.8	1.0	3.2	2.0	8.7	13.9

다. 수량구성요소 및 수량

이삭거름을 0, 15, 30, 45%로 사용한 후 수량구성요소 및 수량은 표 6과 같다. 수비량 증가에 따라 m²당수수와 수당립수가 증가되었으나 기비시용구에서는 수비30%와 45%차이가 크지 않았고 등숙율과 정현비는 모든 처리구에서 대등하였다. 10a당 완전미 수량도 이삭거름 시용량에 따라 증가되는 경향이었으나 수비량 30%이후에는 증가량이 많지 않았다.

표 6. 수량구성요소 및 수량

처리	m ² 당수수 (개)	수당립수 (립)	m ² 당립수 (립)	등숙율 (%)	천립중 (g)	정현비 (%)	수량(kg/10a)		
							백미	완전미	C.V
0-0-0	311.1	77.4	24,013	95.2	21.9	83.0	345	335	4.6
0-0-15	315.0	85.4	27,035	95.8	21.9	83.7	467	452	1.2
0-0-30	318.2	91.6	28,983	92.5	21.6	84.0	501	480	2.6
0-0-45	363.1	85.1	30,934	95.5	21.7	84.4	536	512	3.1
50-20-0	311.1	81.0	25,060	96.3	22.1	83.7	433	422	3.7
50-20-15	353.5	78.6	27,356	96.0	22.6	83.7	518	510	3.8
50-20-30	396.0	85.2	33,690	96.8	23.0	84.1	570	562	1.4
50-20-45	398.9	85.8	34,839	96.7	23.0	84.4	581	571	3.0
70-0-0	367.7	70.9	25,819	95.2	21.8	83.1	409	398	1.5
70-0-15	381.8	71.7	27,153	95.7	22.4	83.0	464	447	0.3
70-0-30	396.0	82.9	32,814	96.5	22.9	84.0	530	521	4.9
70-0-45	397.7	83.0	33,020	97.0	22.5	84.2	541	532	3.2

라. 품질특성

수비시용량에 따른 현미와 백미의 품질 특성을 조사한 결과는 표7, 표8와 같다. 현미의 경우 수비량이 증가할수록 미숙립이 다소 증가하는 경향을 나타내었으나 백미품위에서는 처리간 큰 차이가 없었다. 그러나 단백질함량은 수비시 용량이 증가할수록 증가되어 45%수준에서는 무시용구에 비해 많은 차이를 나타내었다.

표 7. 현미 품질 특성

처 리	현 미 품 위 (%)				
	정상립	동할립	미숙립	피해립	사미
0-0-0	90.0	0.6	4.7	4.4	0.3
0-0-15	89.8	0.1	5.0	4.2	0.9
0-0-30	86.4	0.1	7.4	4.8	1.3
0-0-45	86.6	0.2	10.1	2.9	0.2
50-20-0	90.7	0.5	6.4	2.1	0.3
50-20-15	90.1	0.4	6.8	2.7	0.0
50-20-30	90.8	0.2	6.8	2.0	0.2
50-20-45	89.0	0.0	9.0	1.8	0.2
70-0-0	89.7	0.8	6.6	2.7	1.0
70-0-15	88.4	1.2	7.8	2.7	0.9
70-0-30	91.3	0.6	6.3	1.3	0.5
70-0-45	89.4	0.2	7.7	2.4	0.2

표 8. 백미의 품질특성

처 리	백미품위(%)				아밀로스 (%)	단백질 (%)
	완전립	싸래기	분상질	피해립		
0-0-0	97.1	0.5	2.2	0.2	18.2	5.5
0-0-15	96.8	0.8	2.2	0.2	18.7	5.8
0-0-30	95.8	0.8	3.2	0.2	18.6	5.9
0-0-45	97.5	1.3	1.1	0.1	19.0	6.3
50-20-0	97.4	0.7	1.5	0.4	18.4	5.7
50-20-15	98.4	0.3	1.2	0.1	19.0	6.0
50-20-30	98.5	0.3	1.2	0.0	19.0	6.2
50-20-45	98.4	0.4	1.0	0.2	19.0	6.6
70-0-0	97.1	0.5	2.4	0.0	18.9	5.5
70-0-15	96.3	0.5	2.9	0.3	18.4	5.7
70-0-30	98.2	0.4	1.4	0.0	18.6	6.0
70-0-45	98.7	0.4	0.7	0.2	18.9	6.4

마. Digital 영상 분석을 위한 색지표와 중회귀모델 작성

Digital camera 촬영시 기상조건에 따른 RGB 값 변동의 문제점을 해결하기 위해 이미지로부터 추출한 RGB 값을 이용하여 다양한 index를 만든 결과는 아래 Index 1.과 같고 Digital camera 영상 색지표 Calculation은 Index 2와 같다.

Index 1. The evaluated indices

- non-normalized red (R)
- non-normalized green (G)
- non-normalized blue (B)
- normalized red ($r = R/R+G+B$)
- normalized green ($g = G/R+G+B$)
- normalized blue ($b = B/R+G+B$)
- difference between non-normalized green and non-normalized blue ($G-B$)
- difference between normalized green and normalized blue ($g-b$)
- excessive green index (EGI) = $2g-r-b$ or $EGI=3g-1$
- modified excessive green index (MEGI)
= MEGI=0 If g is lower than r or b , and otherwise $MEGI=EGI$
- hue = W if $B \leq G$ or $Hue=2\pi-W$ if $B > G$
($W = \cos^{-1} [\{ 2R - (G+B) \} / 2 \{ (R-G)^2 + (R-B)(G-B) \}^{1/2}]$)
- saturation (SAT) = $1 - 3\min(r, g, b)$

Index 2. Calculation of colour index

- $r = R/R+G+B$ ----- (1)
- $g = G/R+G+B$ ----- (2)
- $b = B/R+G+B$ ----- (3)
- EGI (Equation 4) : $EGI=2g-r-b$ or $EGI=3g-1$ ----- (4)
- MEGI (Equation 5) : MEGI=0 If g is lower than r or b , and otherwise $MEGI=EGI$ -- (5)
- $W = \cos^{-1} [\{ 2R - (G+B) \} / 2 \{ (R-G)^2 + (R-B)(G-B) \}^{1/2}]$
- Hue = W if $B \leq G$ or $Hue=2\pi-W$ if $B > G$ ----- (6)
- $SAT=1-3\min(r, g, b)$ ----- (7)

앞에서 만들어진 index들을 이용하여 포장 실험에서 얻어진 생육지표들과 비교하여 벼 군락 Digital camera 영상 색지표와 식물체 특성과의 상관을 분석한 결과는 표 9와 같다. 벼 군락의 영상 색지표

중 균락피도(CC)와 균락체적(CV)이 초장, 건물중 및 질소흡수량과의 상관계수가 높았는데 디지털 영상자료인 균락피도(CC) 값에 초장을 곱한 값인 균락체적(CV)과 식물체 특성간의 상관계수가 더 높아 균락피도 이외에 초장을 영상진단에 활용할 경우 진단의 정도를 효과적으로 높일 수 있었다. RGB 값으로 부터 표준화 시킨 r값은 상대적으로 SPAD값과의 상관계수가 높았고, g값은 초장, 건물중 및 질소흡수량과의 상관계수가 높아 생육진단에 활용이 가능 하였다.

표 9. 벼 균락 Digital camera 영상 색지표와 식물체 특성과의 상관

구 분	초장	건물중	SPAD	잎질소 농도	지상부 N 농도	질소 흡수량
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
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
Sat	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 (=CC * 초장), R, G, B: red, green, blue value
 r, g, b: normalized R, G, B. NDI : normalized difference index, Hue: 색상, Sat: 채도,
 Intensity: 명도

벼 균락의 디지털 영상 자료로부터 벼 지상부의 건물중(SDT)과 질소흡수량(Nup)을 추정할 수 있는 모델을 작성한 결과는 표 10과 같다. 지상부 건물중은 명도와 초장과의 관계 및 균락피도와 표준화된 R값(NorR)의 관계식으로부터 작성하였고, 지상부 질소흡수량은 명도와 초장 및 균락피도와 표준화된 G값(NorG)과의 관계식으로 추정 모델의 작성이 가능하였다. 지상부 건물중과 질소흡수량에 대한 추정 모델의 결정계수는 각각 최대 0.867 및 0.823으로 높게 나타났다.

표 10. 디지털 카메라 영상을 이용한 벼 지상부 건물중 및 질소 흡수량 추정 모델

Model Equation		R2
SDT =	45.6CC0.481 Int-1.271 PltH1.943 (1)	0.867
SDT =	6063.2CC0.980 NorR3.711	0.811
Nup =	e-3.637 Int-1.049 PltH2.335 (2)	0.823
Nup =	e4.286 CC0.499 NorG3.870	0.68

SDT : 지상부 건물중(g/m²) Nup : 지상부 질소흡수량(g/m²)
 CC : canopy cover (군락 피도) Hue : 색상
 NorR, NorG: normalized Red, Green Int : intensity (명도)
 NDI : normalized difference index PltH : 초장(cm)

벼 군락의 영상분석 자료로부터 지상부 건물중과 질소흡수량 모델을 작성하여 추정된 값과 실측치 간 비교를 통해 추정정도를 확인해 본 결과는 그림2와 같다. 지상부 건물중과 지상부 질소흡수량의 추정치와 실측치간 비교시 결정계수가 각각 0.869와 0.816으로 추정 정도가 높게 나타나 디지털 영상 분석에 의한 벼 생장량 및 질소흡수량의 추정이 가능한 것으로 평가되었다.

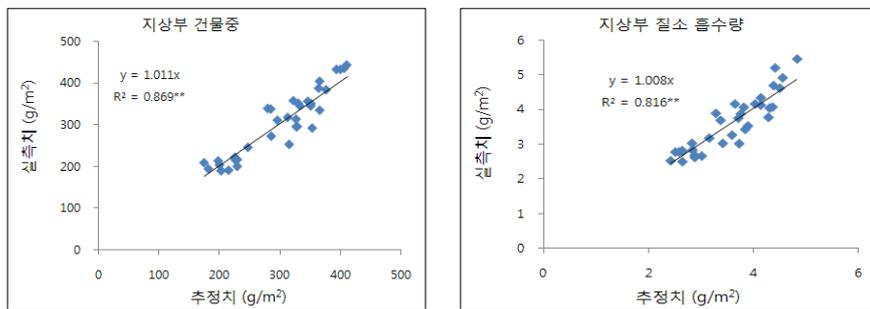


그림 2. 벼 군락 Digital Camera 영상 분석에 의한 유수분화기 지상부 건물 중 및 유수분화 이후 질소 흡수량의 추정치와 실측치 비교

벼 군락의 영상자료로부터 작성한 지상부 건물중과 질소흡수량 모델을 이용하여 유수분화기부터 성숙기까지의 지상부 질소흡수량, 벼 수량 및 쌀 단백질 함량을 추정하기 위한 중회귀 모델을 작성한 결과는 표 11과 같다. 유수분화기~성숙기 지상부 질소흡수량은 유수분화기 벼 지상부 질소함량과 질소 수비 시용량과의 관계식으로 추정이 가능하였으며 결정계수는 0.923으로 매우 높았다. 수량 및 쌀 단백질 함량은 벼 지상부의 유수분화기 질소흡수량과 유수분화기~성숙기 질소흡수량의 중회귀 모델로 추정이 가능하였는데 각각의 결정계수는 0.859와 0.804로 높았다.

표 11. 벼 수량, 쌀 단백질함량 및 유수분화기 이후 질소흡수량 추정을 위한 중회귀 모델

Equation for yield, protein and PHNup		R2
PHNup= 0.79 + 0.978Npi + 2.673PNup - 0.408PNup2	(1)	0.923
Yield = 88.6 + 6.97PNup2 + 84.7PHNup - 2.60PHNup2	(2)	0.859
Protein = 6.05 + 0.016PNup2 + 0.0013PHNups2	(3)	0.804

PHNup : 유수분화기~성숙기 질소 흡수량(g/m²)

Yield : 벼 수량(kg/10a)

Protein : 쌀 단백질함량(% , 건물중 기준)

Npi : 질소 수비 사용량 (kg N/10a)

PNup: 유수분화기 벼 지상부 질소함량 (g/m²)

벼 지상부 질소흡수량, 벼 수량 및 쌀 단백질 함량을 중회귀 모델로부터 추정된 값과 실측치간의 비교를 통해 추정 정도를 확인해 본 결과(그림 3) 결정계수는 각각 0.916, 0.86 및 0.804로 높게 나타나 실용적 이용이 가능하였다. 각각의 중회귀 모델을 활용할 경우 유수분화기 벼 군락의 영상자료로부터 벼 생육을 진단하여 목표로 하는 벼 수량과 쌀 단백질 함량에 따라 수비 질소량을 산출하여 수비 사용에 실용적으로 활용할 수 있었다.

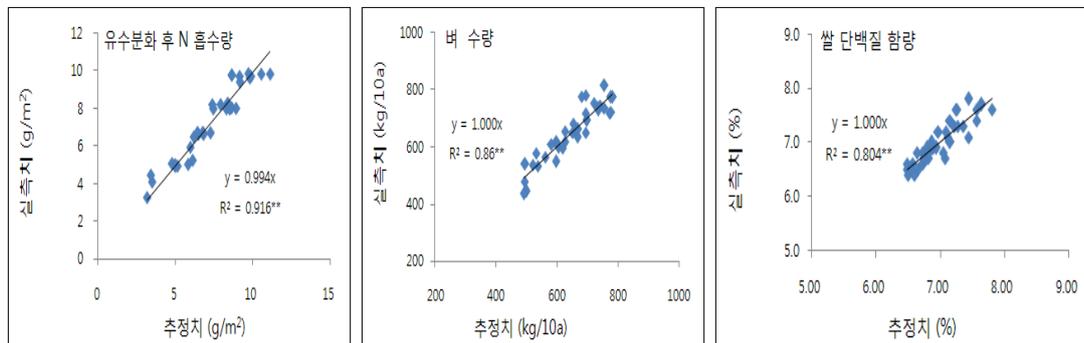


그림 3. 벼 수량, 쌀 단백질함량 및 유수분화 이후 질소 흡수량의 추정치와 실측치 비교

바. 디지털영상분석 프로그램 개발

디지털영상을 이용한 벼 수비처방 진단 프로그램은 디지털 카메라 영상을 통한 군락 반사 촬영시 일사 등과 같은 측정 조건에 따른 군락 반사의 변인을 보정하고, 기비+분얼비의 양을 달리하여 질소 영양과 생장량을 다르게 조성한 시험포장에서 조사된 유수분화기의 생육상황(초장, N농도, SPAD, 건물중 등)과 같은 시점에서 촬영된 디지털 카메라 영상 해석(군락식피율, 엽면적 등)에 의하여 도출한

식생지표들을 이용 벼 지상부 건물중 및 질소 흡수량 추정 모델과 벼수량, 쌀 단백질함량에 따른 수비 사용량 추정을 위한 중회귀 모델식으로 구성되었다.



그림. 디지털영상을 이용한 벼 수비처방 진단 프로그램

사. 디지털영상분석 프로그램에 의한 질소 수비량 처방 후 벼의 생육상황

일정한량별로 질소 수비량을 처리한 것과 벼 수비처방 진단 프로그램에 의해 쌀 단백질 함량 6.0%를 기준으로 질소 수비 처방한것의 출수기 생육상황은 표 12와 같다. 디지털 영상분석에 의한 시비결과 기비-분얼비를 생략한 처리구의 수비질소 사용량은 2.1 kg/10a로 벼 초장과 SPAD값은 각각 92.1cm와 29.8로 분시비율 0-0-15처리구의 벼 생육과 유사한 결과를 나타내었다. 기비-분얼비를 50-20%와 70-0%로 처리한 시험구를 유수분화기의 영상분석을 통해 진단한 수비질소량은 1.9 kg/10a으로 영상분석에 의한 시비총량은 같은 수준이었다. 영상분석에 의한 수비질소의 분시비율은 19%로 표준재배 기준 30%에 비해 낮은 수준으로 처방되어 생육에 필요한 수비량을 초과하여 쌀 단백질 함량의 과도한 증가로 인한 품질의 저하는 없을 것으로 기대되었다. 영상분석에 의한 수비질소 사용후 출수기 벼 생육은 초장 96.4cm, SPAD 30.7로 50-20-15 및 50-20-30 처리구의 벼 생육과 비슷한 수준으로 나타났다. 또한 기비를 70%로 사용하고 분얼비를 생략한 처리구의 출수기 벼 생육은 초장 99cm, SPAD 30.4로 70-0-30 처리구의 벼 생육과 비슷한 수준으로 나타났다. 기비질소 70% 사용후 분얼비를 생략한 경우의 수비질소 분시비율도 19% 수준으로 생육정도는 수비질소 30%와 대등한 것으로 나타나 적절한 시비가 이루어진 것으로 판단되어 영상분석이 식물체의 영양상태 진단에 유효한 것으로 확인되었다.

표 12. 출수기 생육상황

수비량별 시비				디지털영상분석 시비			
분시비율(%)	초장(cm)	C.V.(%)	SPAD	분시비율(%)	초장(cm)	C.V.(%)	SPAD
0-0-0	82.0±2.8	3.4	27.4±1.2				
0-0-15	92.9±2.2	2.3	30.0±1.5	0-0-21	92.1±2.2	2.3	29.8±1.6
0-0-30	101.0±2.2	1.4	31.7±1.3	(N 2.1kg /10a)			
0-0-45	106.2±3.5	3.3	33.9±1.7				
50-20-0	89.8±2.6	2.9	27.7±1.6				
50-20-15	97.3±2.5	2.5	29.8±1.7	50-20-19	96.4±2.0	2.0	30.7±1.3
50-20-30	99.8±2.4	2.4	31.3±1.7	(N 1.9kg /10a)			
50-20-45	105.0±2.2	2.1	33.2±2.1				
70-0-0	90.3±3.4	3.7	27.6±1.5				
70-0-15	92.2±2.7	2.9	29.2±1.7	70-0-19	99.0±2.0	2.0	30.4±1.4
70-0-30	98.2±2.9	3.0	30.2±1.3	(N 1.9kg /10a)			
70-0-45	104.1±3.2	3.0	30.9±1.7				

※검정시비량 : N-9.8, P2O5-6.0, K2O-2.8kg/10a. 출수기 : 8월 18~19일.

벼 수비처방 진단 프로그램에 의해 질소 수비 처방후의 성숙기 생육상황은 표 13과 같다. 디지털 영상분석에 의한 시비결과 앞에서 언급한 출수기 생육상황과 같은 경향이었는데 전반적으로 수비량별로 처리한 시용구의 15~30%내에 포함되었다. 초장은 디지털영상 분석에 의한 수비시용구에서 다소 작았으나 수장, 수수, SPAD는 수비시용량 15%보다 많거나 높고 30%보다는 낮거나 적어 디지털영상 분석에 의한 처방 시비량 21%와 19%는 수비량별 시비구와 비교해 볼때 적절한 생육으로 생각되었다. 그러나 기비와 분얼비를 무시용한 처리구에서는 간장과 수수에서 적은 결과를 나타내었다.

성숙기 벼 지상부 건물중과 질소흡수량도 표 14와 같이 생육상황과 같은 경향을 나타내어 수비량별로 처리한 시용구의 15~30%내에 포함되었고 수비시용량 15%보다는 많고 30%보다는 적었다. 수비량별 시비구의 잎, 줄기, 이삭부위별 질소량은 수비시용량의 증가에 따라 잎의 질소량도 다소 증가 되는 경향이였으나 디지털 영상분석에 의한 시비구에서는 차이가 없었다. 그러나 건물중과 질소흡수량에서는 기비와 분얼비를 무시용한 처리구에서 디지털 영상분석에 의한 시비를 하였어도 적은 결과를 나타내었다.

표 13. 성숙기 수비 처리간 생육

구분	처 리	간장(cm)		수장 (cm)	수수(개/주)		SPAD
		평균	C.V(%)		평균	C.V(%)	
수비량별 시비	0-0-0	67.6±3.6	5.3	18.1±0.8	13.1±1.1	8.2	23.1±2.6
	0-0-15	71.2±2.0	2.9	18.3±0.8	13.6±1.4	10.6	27.3±1.2
	0-0-30	73.2±1.9	2.6	19.6±0.8	14.1±2.3	16.6	28.4±2.0
	0-0-45	77.1±3.0	3.9	21.0±1.1	16.5±1.6	9.9	29.3±1.8
	50-20-0	68.3±2.3	3.4	17.1±0.7	14.1±2.2	15.8	23.8±2.0
	50-20-15	76.1±2.5	3.3	18.3±1.3	14.9±1.3	8.7	25.5±2.1
	50-20-30	77.8±1.6	2.1	19.3±1.0	15.2±2.0	12.9	27.4±1.6
	50-20-45	77.7±2.5	3.3	19.6±1.0	15.7±2.0	12.9	28.5±1.4
	70-0-0	68.3±2.1	3.1	17.6±0.8	13.5±1.6	11.7	22.9±2.3
	70-0-15	70.8±2.2	3.1	18.7±0.8	14.2±1.7	12.2	24.7±1.5
	70-0-30	73.8±1.7	2.3	18.6±0.9	15.0±2.7	18.0	28.0±1.9
	70-0-45	75.7±1.8	2.4	20.4±0.7	17.2±2.8	16.1	28.2±2.1
디지털 영상분석 시비	0-0-D(21)	70.2±1.9	2.7	19.3±0.8	13.9±1.5	10.9	26.7±1.3
	50-20-D(19)	72.1±1.6	2.2	19.0±1.0	14.9±1.6	10.5	26.3±1.5
	70-0-D(19)	73.8±1.7	2.2	19.2±0.7	14.7±1.4	9.7	25.9±1.4

표 14. 성숙기 부위별 건물중 및 질소함량

구분	처 리	건물중(kg/10a)				질소량(%)			질소흡수량(kg/10a)			
		줄기	잎	이삭	총중	줄기	잎	이삭	줄기	잎	이삭	지상부
수비량별 시비	0-0-0	375.8	132.7	448.0	956.5	0.2	0.4	0.7	0.8	0.6	3.2	4.6
	0-0-15	450.9	162.5	602.0	1215.4	0.2	0.6	0.7	0.9	1.0	4.2	6.2
	0-0-30	453.2	167.4	628.6	1249.3	0.2	0.6	0.7	1.1	1.0	4.5	6.6
	0-0-45	534.3	216.0	739.9	1490.2	0.3	0.7	0.7	1.7	1.6	5.5	8.7
	50-20-0	357.7	162.9	438.0	958.6	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	3.0	4.5
	50-20-15	401.8	179.5	494.1	1075.4	0.2	0.5	0.7	1.0	0.9	3.4	5.3
	50-20-30	539.4	192.9	620.8	1353.0	0.3	0.6	0.7	1.4	1.2	4.4	6.9
	50-20-45	541.4	196.1	674.6	1412.1	0.3	0.8	0.8	1.6	1.5	5.4	8.6
	70-0-0	425.4	142.5	442.4	1010.3	0.2	0.5	0.7	0.9	0.7	3.1	4.7
	70-0-15	436.3	143.1	527.0	1106.4	0.2	0.5	0.7	0.9	0.8	3.6	5.3
	70-0-30	502.4	175.4	650.5	1328.3	0.3	0.6	0.7	1.3	1.1	4.4	6.8
	70-0-45	609.8	215.6	717.0	1542.4	0.3	0.8	0.8	1.9	1.6	5.5	9.0
디지털 영상분석 시비	0-0-D	467.9	161.1	588.4	1217.2	0.2	0.6	0.7	1.1	1.0	4.1	6.2
	50-20-D	484.4	187.5	594.3	1266.3	0.2	0.6	0.7	1.2	1.1	4.2	6.5
	70-0-D	477.7	161.4	576.1	1215.2	0.2	0.6	0.7	1.1	1.0	4.1	6.2

아. 디지털영상분석 프로그램에 의한 질소 수비량 처방후 수량 및 품질

수비량을 인위적으로 조절하여 사용한 처리구 중 기비, 분얼비를 무시용했을 경우 수비량에 따라 m² 당수수 및 수량은 비례적으로 증가되었고 기비와 분얼비를 사용했어도 수비를 사용하지 않았을 경우 m² 당 수수 및 수량은 현저히 적어지는 결과를 나타내었는데 이는 수비에 의해 주당 수수가 확보되어 진다고 생각 되었다. 디지털영상분석 프로그램에 의한 질소 수비량 처방 후 결과에서도 기비, 분얼비 무시용구에서 m² 당수수 및 수량이 다소 낮았으나 모든 처리의 결과는 표준수비량 15~30%내에 포함되었는데 기비와 분얼비를 사용한 후 프로그램에 의해 수비분시율 19%로 처방된 50-20-D와 70-0-D 처리구의 완전미 수량은 460, 467kg으로 수비 30%처리와 대등하였다(표15). 백미의 품질특성은 표 16과 같이 수비를 주지 않은 처리구에서는 공히 백미품위 중 완전미율이 낮고 쌀래기율이 높은 경향을 보였는데 이는 조기 등숙에 따라 수확까지 기간이 길어진 것에 기인한 것으로 생각되었다. 아밀로스, 단백질, 백도, 식미치에서도 수비량 15~30% 내에서 30%에 가까운 품질특성을 나타내었는데 특히 단백질함량은 5.7~5.8%로 적합한수준을 나타내어 적정량의 수비진단이 이루어졌다고 판단 되었다. 현재 소비자들은 고품질쌀을 요구하고 있는 추세이고 정부의 친환경농업정책에 부응하기 위해 적정량의 비료사용은 더욱 필요하다고 생각된다.

표 15. 수량구성요소 및 수량

구분	처 리	m ² 당수수 (개)	수당립수 (립)	m ² 당립수 (립)	등숙율 (%)	천립중 (g)	정현비 (%)	수량(kg/10a)		
								백미	완전미	
수량별 시비	0-0-0	262	85	22022	95.6	21.9	82.5	327	297	
	0-0-15	325	82	26676	93.4	22.4	82.8	424	392	
	0-0-30	346	84	29232	92.5	21.8	83.7	470	450	
	0-0-45	403	87	35160	91.6	21.9	83.3	529	509	
	50-20-0	311	74	23073	94.8	22.2	82.4	389	341	
	50-20-15	389	78	30043	96.2	22.6	83.1	498	451	
	50-20-30	389	79	30439	94.7	22.5	83.2	527	485	
	50-20-45	396	76	29695	93.9	22.7	83.2	555	528	
	70-0-0	276	77	21284	93.1	22.1	82.1	374	343	
	70-0-15	325	84	27284	91.1	21.8	83.0	430	401	
	70-0-30	396	83	32665	94.4	22.1	83.1	497	465	
	70-0-45	382	83	31600	92.8	22.3	83.2	533	506	
	디지털 영상분석 시비	0-0-D	313	86	26958	93.8	21.9	82.6	466	439
		50-20-D	338	85	28650	93.8	22.4	83.1	493	460
70-0-D		373	85	31759	93.5	22.1	83.0	499	467	

표 16. 백미 품질특성

구분	처 리	백미품위(%)					아밀로스 (%)	단백질 (%)	백도	식미치	
		완전립	싸래기	분상질	피해립	열손립					
수비량별 시비	0-0-0	91.0	6.2	2.5	0.3	0.0	18.1	5.6	38.2	78.8	
	0-0-15	92.5	4.7	2.5	0.2	0.1	18.8	5.8	37.6	79.9	
	0-0-30	95.7	2.3	1.6	0.4	0.0	18.8	5.9	38.9	79.7	
	0-0-45	96.2	2.2	1.4	0.2	0.0	19.1	6.0	39.1	79.9	
	50-20-0	87.7	9.3	2.5	0.5	0.0	18.0	5.5	38.0	78.9	
	50-20-15	90.6	8.3	0.9	0.2	0.0	18.9	5.8	39.4	77.6	
	50-20-30	92.0	5.6	1.9	0.4	0.1	18.4	6.0	37.6	77.8	
	50-20-45	95.1	2.9	1.6	0.3	0.0	18.7	6.1	38.5	77.3	
	70-0-0	91.8	5.3	2.1	0.7	0.1	18.1	5.6	37.6	80.5	
	70-0-15	93.3	5.2	1.3	0.2	0.0	18.6	5.6	38.6	82.5	
	70-0-30	93.5	5.1	1.1	0.3	0.0	18.6	5.7	38.0	80.8	
	70-0-45	95.1	3.1	1.3	0.5	0.0	18.6	6.1	37.6	79.9	
	디지털 영상분석 시비	0-0-D	94.2	3.0	2.2	0.6	0.1	18.5	5.7	37.4	79.9
		50-20-D	91.2	7.1	1.5	0.3	0.0	18.5	5.8	38.4	78.9
	70-0-D	93.8	4.6	1.3	0.3	0.0	18.6	5.7	38.5	81.9	

4. 적 요

본 연구는 유수분화기에 벼 군락의 생육상태를 Digital camera로 촬영하여 영상 분석에 의한 이삭거름 사용량을 결정하는 프로그램 개발과 프로그램에 의한 시비처방 후 벼 생육 및 품질에 관한 결과이다.

- 가. 시험전 토양의 화학성은 유기물 20.4g/kg, 인산 42mg/kg, 칼리 0.4cmol+/kg, CEC 13.4cmol+/kg, 규 산 188mg/kg으로 유기물과 인산함량이 농촌진흥청에서 제시한 적당한 토양의 기준 보다 낮았다.
- 나. 디지털영상분석을 위한 추정벼 유수분화기의 초장, 경수는 기비와 분얼비를 무시용한 처리 대비 사용한 처리에서 초장 6.2~7.4cm, 경수 5.4~5.6개 많았고, 기비와 분얼비 분시방법에 따른 생 육은 대등하였으며 건물중과 질소흡수량도 생육상황과 같은 경향이였다.
- 다. 이삭거름을 0, 15, 30, 45%로 사용한 후 수량구성요소 및 수량은 기비와 분얼비 미시용구에서 m²당수수와 천립중이 적었으나 등숙율과 정현비는 시용구와모든 처리구에서 대등하였다. 10a당 완전미 수량은 이삭거름 사용량 증가에 따라 증가되었다.
- 라. 품질 특성에 있어서 현미의 경우 수비량이 증가할수록 미숙립이 다소 증가하는 경향을 나타내었으나 백미품위에서는 처리간 큰 차이가 없었고, 단백질함량은 수비사용량이 증가 할수록 증가되었다.
- 마. 벼 군락 Digital camera 영상 색지표와 식물체 특성과의 상관을 분석한 결과 군락피도(CC)와 군락체적(CV)이 초장, 건물중 및 질소흡수량과의 상관계수가 높았고, RGB 값으로 부터 표준화

시킨 r값은 상대적으로 SPAD값과의 상관계수가 높았으며 g값은 초장, 건물중 및 질소흡수량과의 상관계수가 높았다.

- 바. 벼 유수분화기부터 성숙기까지의 지상부 질소흡수량, 벼 수량 및 쌀 단백질 함량을 추정하기 위한 중회귀 모델을 작성한 결과 지상부 질소흡수량은 유수분화기 벼 지상부 질소함량과 질소 수비 사용량과의 관계식으로 추정이 가능하였으며 결정계수는 0.923으로 높았다. 수량 및 쌀 단백질 함량은 벼 지상부의 유수분화기 질소흡수량과 유수분화기~성숙기 질소흡수량의 중회귀 모델로 추정이 가능하였는데 각각의 결정계수는 0.859와 0.804였다.
- 사. 디지털영상을 이용한 벼 수비 처방 진단 프로그램은 유수분화기의 생육상황과 디지털 카메라 영상 해석에 의하여 벼수량, 쌀 단백질함량에 따른 수비사용량 추정을 위한 중회귀 모델식으로 구성되었다.
- 아. 벼 수비 진단 프로그램에 의해 쌀 단백질 함량 6.0%를 기준으로 처방된 질소 수비량은 50-20-D와 70-0-D 시험구에서 수비질소 분시율이 19%(N 1.9kg)로 표준재배 분시율 30%에 비해 낮은 수준으로 처방되었으나, 완전미 수량은 460~467kg/10a으로 대등하였고, 단백질함량도 5.7~5.8%로 적합한 수준을 나타내 적정량의 수비진단이 이루어졌다고 판단 되었다.

5. 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.
- 김민호, 부금동, 이변우, 2006, 유수분화기 식생지수와 SPAD값에 의한 벼 질소 수비량 결정, 한국작물학회지 51, pp.386-395
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법
- 박광호, 2004. 디지털 질소측정기(벼, 마늘) 개발에 의한 정밀 시비관리 시스템연구, 농림기술관리센터 최종연구보고서.
- 이충근, 신진철, 최경진, 김덕수, 박태식, 김제규, 2004. 벼 엽신 질소 농도 간이 측정법 설정 연구. 작물시험연구논총 제5권: 221-226.
- 홍광표, 김영광, 정완규, 손길만, 송근우, 최용조, 최진룡, 2003. 벼 엽록도값의 품종간 차이와 생육 기간중 경시적 변화. 한국작물학회지 48(6):479-483.
- 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 Lee, B.W., 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 Lee, B.W., 2007b. Greenness (SPAD Value) of Rice Leaves can be Evaluated by Hue Value of Digital Camera Image under Variable Irradiance Condition, 한국작물학회 추계학술발표회, pp 204, 2007.

Nguyen T. Hung, 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. Hung, Thanh D. Nguyen, Lan T. Nguyen, Anh T. Nguyen, and Byun-Woo Lee, 2005. Prescription of nitrogen top dressing rate at panicle initiation stage based on fresh weight and SPAD value. “첨단 친환경 농업기술과 작물생산 국제학술회의 초록” In International Symposium for Environment-Friendly Agricultural Technology and Crop Production. pp 124-125.

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.

6. 연구결과 활용제목

- 디지털영상분석 프로그램을 이용한 벼 수비처방 기술(영농활용)
- 디지털영상분석 이용 벼 수비처방 시스템(프로그램등록)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						'09	
디지털 영상분석 이용 벼 수비처방 프로그램 개발	책임자	농업기술원 작물개발과	농업연구관	지정현	세부과제총괄	○	
	공동연구자	"	농업연구사	이재홍	과제수행	○	
		"	"	최병열	결과검토	○	
		"	"	한상욱	결과검토	○	
		"	농업연구관	김순재	결과검토	○	
		"	농업기술원	"	박경열	"	○
		"	서울대학교	교수	이변우	프로그램개발	○
"	"	박사	이규중	"	○		