

질소 시비량에 따른 벼의 건물중, 질소 함량, 엽록소, 수확량 변이 지도 및 이들의 상관 관계에 관한 연구

Dry Matter, Nitrogen Content, Chlorophyll and Yield Maps of Rice by Different Rates of Nitrogen Application and Their Correlations

이호상 김경욱

H. S. Lee K. U. Kim

ABSTRACT

This study was intended to investigate the temporal and spatial variabilities of dry matter, nitrogen content, chlorophyll of paddy rice and yield caused by different rates of nitrogen application. An experimental field was divided into 45 plots of 3.48×12 m in size and application rate of nitrogen varied from 0 to 235% with an increment of 25% based on the standard rate of N P₂O₅ K₂O=12-8-8 kg/10a. The measurements were made 8 times every 9-10 days after the transplanting. About 60 days after the transplanting, there exhibited little variabilities in the dry matter caused by different rates of nitrogen application. After that, however, there showed large variabilities and the dry matter increased with the application rate. The nitrogen content of paddy also increased with the application rate but it was inconsistent. After the tillering period, the nitrogen content remained constant. In the early stage of the tillering period the nitrogen content decreased in spite of increase in the dry matter. However, after a certain period of time it increased with the dry matter. There were little variabilities of chlorophyll after the transplanting. However, the SPAD increased with application rate of nitrogen as the paddy grew. After the tillering period SPAD was not affected by the different rates. More yield was obtained at the plots where larger nitrogen content was measured.

Keywords : Precision farming, Nitrogen application, Spatial variabilities.

1. 서 론

정밀 농업의 목적은 포장과 작물의 상태에 따라 적절한 지역과 시기에 적절한 처리를 실시하여 자원을 절약하고 환경 오염을 방지하는 데 있다. 이상적으로 정밀 농업을 위해서는 작물에 따라 모든 환경 요인과 토양 조건을 고려하여 작물의 성장 모델을 구축하고 이를 이용하여 특정 시점에서 가장 필요한 처리를 실시하여야 한다. 작물의 생장은 수많은 변수가 포함되어 있는 복잡한 과정이므로 완벽한 성장모형을 구축하기는 불가능하다. 그러나, 작물의 상태에 따라서 비료의 결핍, 보통, 과다를 간단하게 구별할 수 있으면, 가변 처리를

실시하는 데 큰 도움이 될 수 있을 것이다 (김, 2001).

구미의 대구획 포장에서 유도된 정밀 농업의 개념을 국내의 소규모 경작지에 그대로 적용하기는 어렵다. 지역적 영농 방식과 재배 양식에 따라 가장 적합한 정밀 농업의 방법을 강구해야 한다. 현재 정밀 농업에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 가변 처리는 시비와 방제를 대상으로 하고 있다 (Blackmore, 1999, Sudduth, 1999).

본 연구에서는 가변 시비에 의한 벼의 건물중, 건물중의 질소 함량, 엽록소 함량의 변화를 조사하고 이들의 공간적 변이의 특징과 수확량과의 관계를 구명하고자 하였다.

This work was supported by the Rural Development Administration. The paper was submitted for publication in April 2003; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2003. The authors are H. S. Lee, Research Assistant, School of Bioresources and Material Engineering Seoul National University, K. U. Kim, Professor School of Bioresources and Material Engineering Seoul National University, Suwon, Korea. The corresponding author is K. U. Kim, Professor School of Bioresources and Material Engineering Seoul National University Suwon, Korea. e-mail: kukim@plaza.snu.ac.kr

2. 재료 및 방법

가. 시험 포장

시험 포장은 서울대학교 농업생명과학대학 실험 농장의 논으로서 길이가 52.2 m이고, 폭이 36 m인 직사각형 포장이었다. 일조가 충분하고 관배수 시설이 우수하여 물 관리가 용이하였으며, 생육 환경도 우수하였다. 이양 전 시험 포장의 토양을 분석한 결과는 Table 1에서와 같다.

Table 1 Soil characteristics of test field

토심 cm	토성	산성도 pH	총질소 %	유효 인산 ppm	유기물 %
0-20	Clay Loam	5.36	0.075	39.7	1.44

시험 포장에 대한 변이 지도를 작성하기 위하여 포장을 일정한 크기로 세분하였다. 한 구획의 크기를 12 × 17.4 m로 하여, 수비 이전에는 총 9개, 수비 이후에는 9개 구획을 다시 구획당 5개로 세분하여 총 45개의 12 × 3.48 m 구획으로 하였다. 구획간 구분은 두둑으로 하였다.

나. 시비 처리

2001년 4월 24일 모판당 볍씨 130 g을 파종하여, 5월 22일 이양 작업을 실시하였다. 이양은 인력으로 실시하였으며, 벼의 품종은 화성벼로 하였다.

시비는 기비, 분얼비, 수비로 분시하였으며, 기비는 이양 전인 5월 21일, 분얼비는 분얼기에 3차례로 나누어, 1차는 6월 2일, 2차는 6월 12일, 3차는 6월 21일에 시비하였다. 수비는 이삭이 팠 무렵인 7월 18일에 시비하였다. 질소, 인산, 칼륨은 각각 요소, 용과린, 염화가리를 사용하였다. 질소의 경우 기비, 분얼비, 수비의 비율은 각각 40%, 30%, 30%로 하였으며, 인산은 전량 기비로 하였다. 칼륨은 기비와 수비의 비율을 각각 70%와 30%로 하였다.

기준 시비량은 N-P₂O₅-K₂O=12-8-8 kg/10a로 하였다. 따라서 질소의 경우, 기비는 4.8 kg/10a를 100%로 하였으며, 분얼비와 수비는 각각 3.6 kg/10a를 100%로 하였다. 시비 처리는 질소만 하였으며, 질소 처리구는 분시법과 기준 시비량을 기준으로 수비 전에는 총 9개, 수비 이후에는 각 처리구를 다시 5개로 나누어 총 45개로 하였다. 각 처리구별 질소 시비량은 시비량의 차이가 크도록 기준 질소 시비량의 0~235%로

하였으며, 이에 해당되는 실제 질소 시비량은 0~28.2 kg/10a이었다. Table 2는 질소 처리구별 질소 시비량으로서 기비, 분얼비, 수비의 기준 시비량에 대한 %로써 나타낸 것이다.

Table 2 Application rates of nitrogen

Plot No.	Basal (%)	Top(tillering)(%)				Top (heading) (%)	Total (kg/10a)
		1st	2nd	3rd	sum		
T1-1	0	0			0	0	0
T1-2	0	0			0	50	1.8
T1-3	0	0			0	100	3.6
T1-4	0	0			0	150	5.4
T1-5	0	0			0	200	7.2
T2-1	25	25			25	0	2.1
T2-2	25	25			25	50	3.9
T2-3	25	25			25	100	5.7
T2-4	25	25			25	150	7.5
T2-5	25	25			25	200	9.3
T3-1	50	50			50	0	4.2
T3-2	50	50			50	50	6
T3-3	50	50			50	100	7.8
T3-4	50	50			50	150	9.6
T3-5	50	50			50	200	11.4
T4-1	75	75			75	0	6.3
T4-2	75	75			75	50	8.1
T4-3	75	75			75	100	9.9
T4-4	75	75			75	150	11.7
T4-5	75	75			75	200	13.5
T5-1	100	100			100	0	8.4
T5-2	100	100			100	50	10.2
T5-3	100	100			100	100	12
T5-4	100	100			100	150	13.8
T5-5	100	100			100	200	15.6
T6-1	125	100	25		125	0	10.5
T6-2	125	100	25		125	50	12.3
T6-3	125	100	25		125	100	14.1
T6-4	125	100	25		125	150	15.9
T6-5	125	100	25		125	200	17.7
T7-1	150	100	50		150	0	12.6
T7-2	150	100	50		150	50	14.4
T7-3	150	100	50		150	100	16.2
T7-4	150	100	50		150	150	18
T7-5	150	100	50		150	200	19.8
T8-1	200	100	50	50	200	0	16.8
T8-2	200	100	50	50	200	50	18.6
T8-3	200	100	50	50	200	100	20.4
T8-4	200	100	50	50	200	150	22.2
T8-5	200	100	50	50	200	200	24
T9-1	250	100	100	50	250	0	21
T9-2	250	100	100	50	250	50	22.8
T9-3	250	100	100	50	250	100	24.6
T9-4	250	100	100	50	250	150	26.4
T9-5	250	100	100	50	250	200	28.2

다. 측정 변수

측정 변수는 벼의 건물중, 벼의 질소 함량, 엽록소 함량으로 하였으며, 출수 전에는 10일 간격으로, 출수 후에는 7일 간격으로 각 처리구에서 3회 측정하였으며, 측정치는 그 평균으로 하였다. 엽록소 함량은 휴대용 엽록소 함량 측정 기기인 Chlorophyll meter SPAD 502를 이용하여 측정하였다.

수확량은 수확 직전 시험 포장의 각 처리구에서 10 주씩 샘플을 채취하여 측정하였다.

라. 측정 방법

건물중과 질소 함량은 6월 3일 처음 측정하였으며, 이후 총 8회 측정하였다. 각 처리구에서 3개의 샘플을 취하여, 부위별로 건물중을 측정하고 이를 합산한 후 각 샘플의 평균값을 구하여 단위 면적당 중량(g/m²)으로 나타내었다. 질소 함량도 건물중 측정에서와 같이 부위별로 질소 함량을 측정하고 이를 평균하여 건물중에 대한 질소의 중량 %로써 나타내었다. 엽록소 함량은 휴대용 엽록소 측정 장치를 이용하여 SPAD값을 측정하고 이를 이용하여 엽록소 함량을 추정하였다. 측정 방법은 각 샘플당 3회씩, 1회당 3번씩 SPAD를 측정하여 평균을 구하는 방식으로 하였다. 즉, 각 샘플마다 총 9번 SPAD를 측정하여 3개의 평균값을 구하였다.

수확량은 각 시험구에서 3반복으로 샘플을 채취하여 함수율을 측정하고, 다시 14% 함수율로 환산하여 단위 면적당 수량(kg/10a)으로 표시하였다.

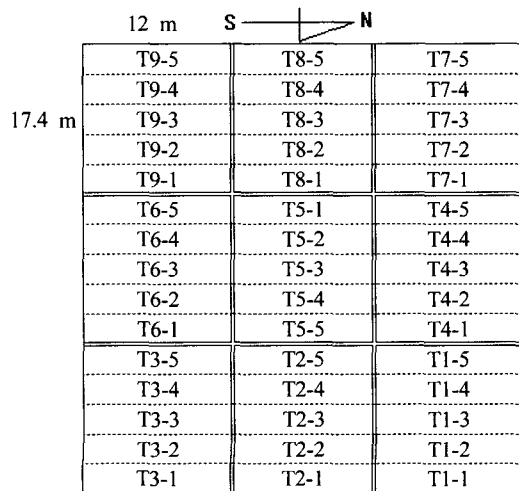


Fig. 1 Plot plan of test field.

마. 변이 지도

변이 지도는 ArcView(ESRI, 1977)를 이용하여 작성하였다. 변이 지도의 구획은 Fig. 1에서와 같이 하였으며, 변이 지도의 윗쪽은 서향, 오른쪽은 북향이었다.

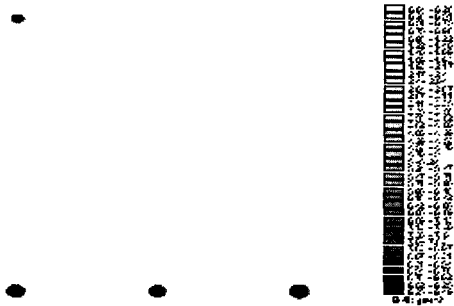
3. 결과 및 고찰

가. 건물중과 질소 함량

Fig. 2는 6월 3일부터 8월 14일까지 9~10일 간격으로 8회 측정된 건물중의 공간 변이 지도를 나타낸 것이다. 변이 지도의 등급은 8월 14일까지 측정된 건물중을 포함하여 0.04 g/m²에서 9.45 g/m²까지 0.24 g/m² 간격으로 40등분한 것이다. 측정된 건물중의 범위는 0.04~9.45 g/m²이었다. 생육 초기에는 건물중의 공간적 차이가 나타나지 않았으나 7월 2일 이후부터 약간의 차이가 나타나기 시작하였다. 그러나, 분얼기가 끝나는 7월 말까지는 육안으로도 공간 변이를 구별하기가 어려웠다. 공간 변이가 뚜렷이 구별되기 시작한 것은 8월 중순 이후이었다. 이는 생장 초기에는 공간별로 분얼수의 차이가 크지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 8월 중순 이후, 시비량별 차이는 질소를 적게 시비한 T1구에 비하여 많이 시비한 T9구에서 건물중이 큰 것으로 나타났다. 즉, 질소 시비량이 많을수록 생장이 커서 건물중이 증가되었다. 그러나 생장 초기에는 시비량에 의한 건물중의 차이가 크지 않았다. 즉, 수비 전까지 시비량의 차이에 의한 건물중의 변이는 거의 나타나지 않았다. 그러나, 건물중의 시간적 변화는 Fig. 3에서와 같이 작물이 성장함에 따라 증가되었다. 즉, 작물이 성장함에 따라 체중이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 6월 3일부터 8월 14일까지 9~10일 간격으로 8회 측정된 질소 함량의 공간 변이 지도를 나타낸 것이다. 변이 지도의 등급은 8월 14일까지 측정된 질소 함량을 포함하여 1.08 %에서 3.73%까지 0.06~0.07% 간격으로 40등분한 것이다. 측정값의 범위는 1.08~3.64%이었다.

건물중에 비하여 질소 함량의 공간 변이는 크게 나타났다. 이는 포장 내에서도 공간에 따라 작물의 체내에 흡수된 질소의 양이 다르기 때문이다. 그러나 8월 중순에는 공간 변이가 크게 감소되었다. 질소 함량의 시간 변이는 Fig. 5에서와 같이 시간이 지남에 따라 감소되었다. 일정한 시비량에 대하여 건물중이 증가함에 따라 질소 함량은 상대적으로 감소되기 때



(a) 12 days after transplanting(6/3).

(e) 50 days after transplanting(7/11).

(b) 21 days after transplanting(6/12).

(f) 57 days after transplanting(7/17).

(c) 30 days after transplanting(6/21).

(g) 67 days after transplanting(7/27).

(d) 41 days after transplanting(7/2).

(h) 85 days after transplanting(8/14).

Fig. 2 Variability map of dry matter.

질소 시비량에 따른 벼의 건물중, 질소 함량, 엽록소, 수확량 변이 지도 및 이들의 상관 관계에 관한 연구

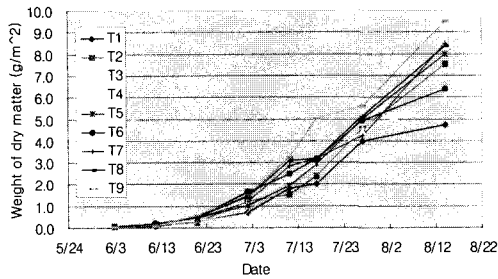


Fig. 3 Temporal variation of dry matter.

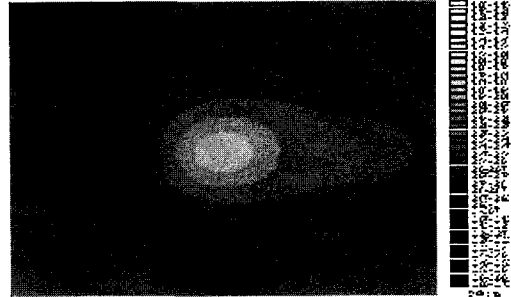
문이다. 시비량에 따른 질소 함량의 차이는 시비량이 많을수록 질소 함량이 많은 것으로 보이나, 일관성이 없었으며, 측정 시기에 따라 변화가 심한 것으로 나타났다. 생육 초기에는 시비량이 적은 T1구와 시비량이 많은 T9구의 차이가 잘 나타났으나, 생육 후기에 서 그 차이가 감소되었다. 이는 질소 함량의 절대값에서는 차이가 있으나, T9구로 갈수록 건물중이 증가하기 때문에 건물중에 대한 질소 함량의 비 즉, N%는 상대적으로 감소하는 것으로 보인다. 따라서 분얼 이후에는 생장이 감소되고 건물중에 대한 질소 함량의 비는 일정한 수준을 유지하는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 6월 3일, 6월 12일, 6월 21일에 측정한 건물중과 질소 함량의 관계를 나타낸 것이다. 이양 후 시간이 경과함에 따라 건물중과 질소 함량은 점차 비례적인 관계를 나타내었다. 이양 직후에는 건물중과 질소 함량의 관계가 명확하지 않았으며 건물중이 증가한 경우에도 질소 함량은 감소하였다. 그러나 20일 정도의 시간이 지난 다음에도 건물중이 증가함에 따라 질소 함량도 증가하는 경향을 나타내었다.

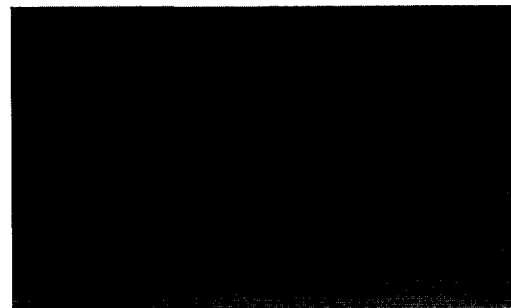
나. 엽록소 함량의 변이

Fig. 7은 6월 3일부터 8월 14일까지 9~10일 간격으로 8회 측정한 엽록소 함량의 공간 변이 지도를 나타낸 것이다. 변이 지도의 등급은 8월 14일까지 측정한 엽록소 함량을 포함하여 22.86~45.78의 범위를 40등분한 것이다.

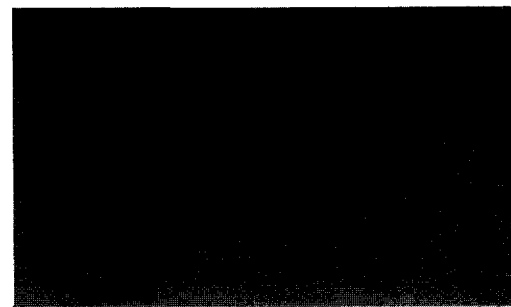
Fig. 7(a)에서와 같이, 6월 3일 엽록소에서는 시비량에 비례하여 엽록소 함량이 나타나지 않았다. 즉, 시비량이 적은 곳의 SPAD값이 시비량이 많은 곳보다 오히려 높았다. 이는 생장 초기에는 질소 시비량이 엽록소 함량에 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, Fig. 7(b)-7(h)에서와 같이 6월 12일 이후에는 6월 3일의 SPAD 분포와 큰 차이가 나타났다. 즉, 6월 12일 이후에는 질소 시비량에 따라 SPAD 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 벼가 생장



(a) 12 days after transplanting(6/3).



(b) 21 days after transplanting(6/12).



(c) 30 days after transplanting(7/21).



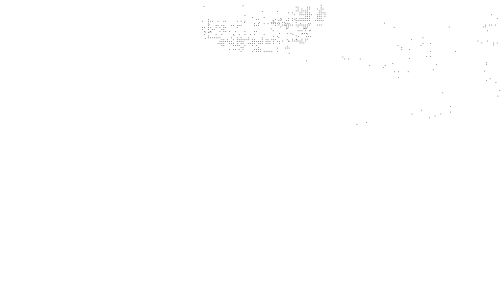
(d) 41 days after transplanting(7/2).



(e) 50 days after transplanting(7/11).



(f) 57 days after transplanting(7/17).



(g) 67 days after transplanting(7/27).



(h) 85 days after transplanting(8/14).

Fig. 4 Variability map of nitrogen content.

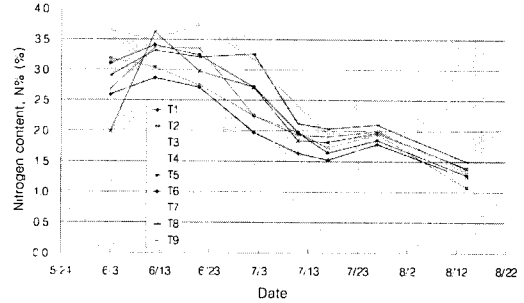
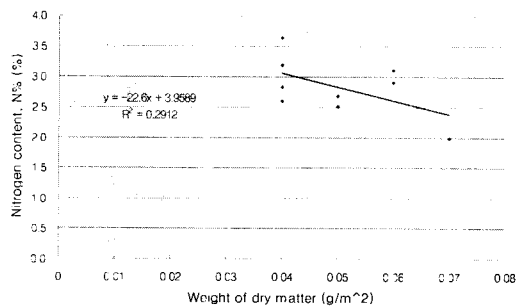
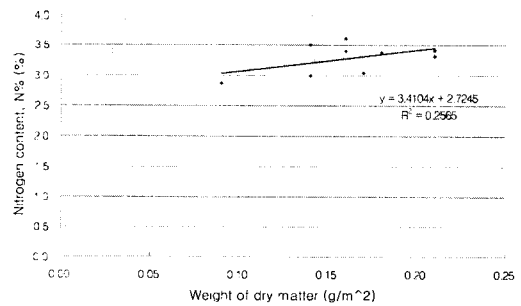


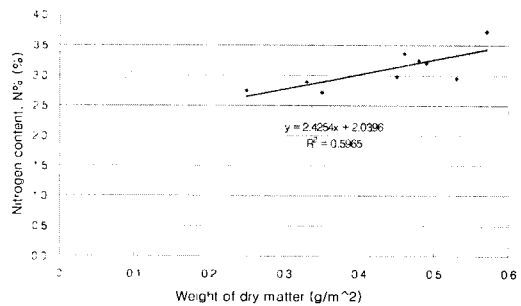
Fig. 5 Temporal variation of nitrogen content.



(a) 12 days after transplanting(6/3).



(b) 21 days after transplanting(6/12).



(c) 30 days after transplanting(6/21).

Fig. 6 Dry matter vs. nitrogen content.

질소 시비량에 따른 벼의 건물중, 질소 함량, 엽록소, 수확량 변이 지도 및 이들의 상관 관계에 관한 연구

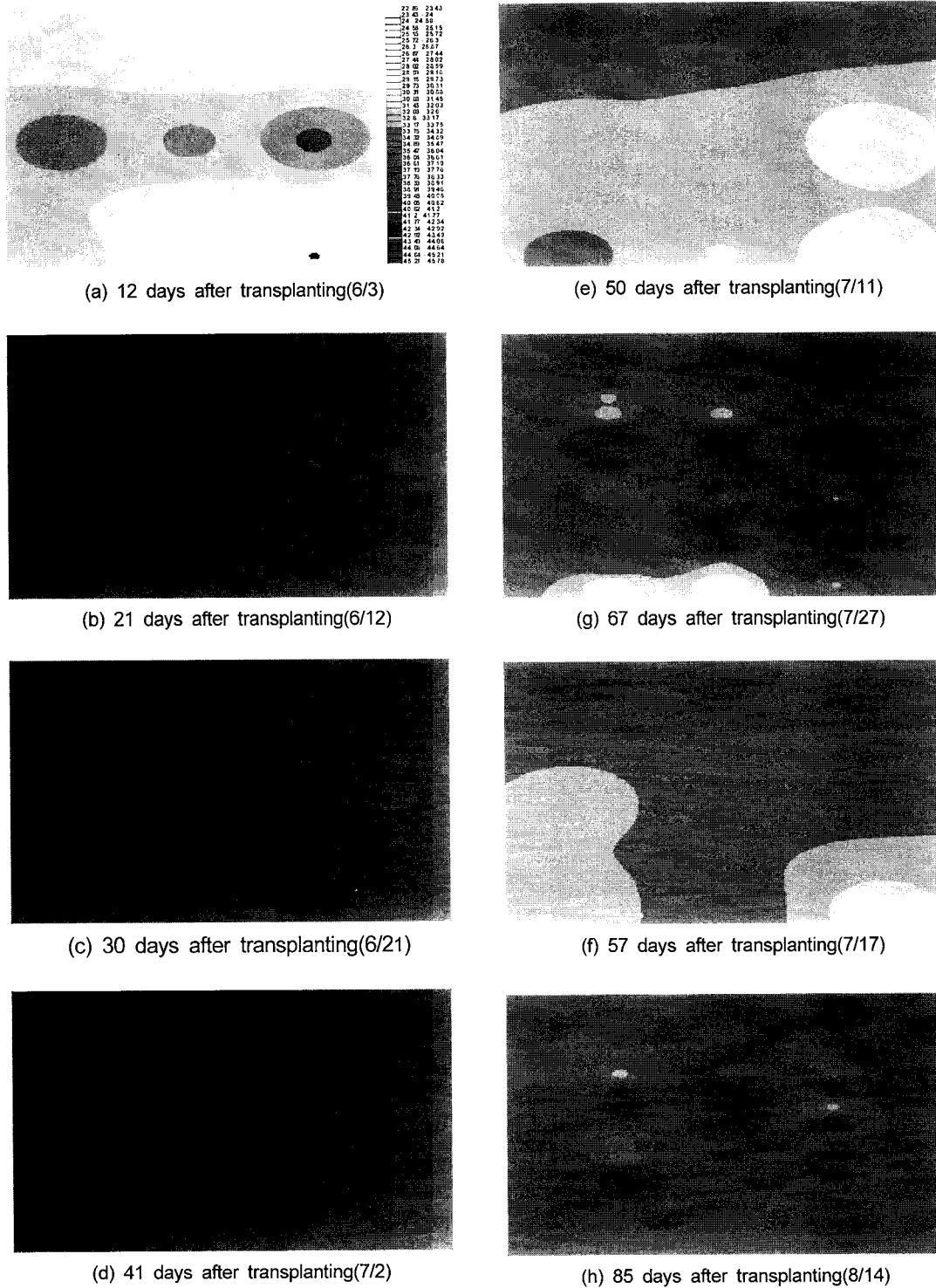


Fig. 7 Variability map of SPAD.

Fig. 8 Yield map.

함에 따라 엽록소 함량이 증가하기 때문이다. 또한, 그 경향은 질소 함량의 공간 변이와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 엽록소 함량은 질소 함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다.

SPAD값의 시간 변이에 의하면, 7월 11일과 17일의 SPAD값은 다른 날에 비하여 적었다. 분얼 후부터 수비 전까지 SPAD값은 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 영양 성장 단계를 벗어나는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 7월 27일 이후, SPAD의 공간 변이와 시비량 사이에는 특별한 관계가 나타나지 않았다. 공간 변이가 거의 사라지고, 전체적으로 균일한 경향이 나타났다. 즉, 엽록소 함량은 분얼 시까지 질소 시비량에 따라 증가되었으나, 분얼기 이후에는 균일화되는 경향을 나타내었다. 이는 분얼 이후에는 점차 영양 성장이 감소되어 고사체가 발생하고, 생식 성장기인 출수기로 전환되기 때문인 것으로 판단된다.

다. 수확량의 공간적 변이

Fig. 8은 수확량의 변이 지도를 나타낸 것이다. 수확량은 질소 함량이 많은 지역에서 예상대로 수확량이 많았으며, 질소 함량이 적은 지역에서는 수확량이 적은 것으로 나타났다. 질소 함량이 많았던 지역은 영양 성장기에 건물중과 엽록소 함량이 많았던 지역이므로, 수확량은 결국 건물중, 질소 함량, 엽록소 함량이 모두 높았던 지역에서 많은 것으로 나타났다.

측정한 수확량의 평균은 763 kg/10a이었으며, 수확량 범위는 458.0~1082.6 kg/10a이었다. 즉 최대 수확량은 최소 수확량의 약 2.36배이었다.

4. 요약 및 결론

서울대학교 농업생명과학대학 실험 농장의 시험 포장에서 질소-인산-칼륨의 기준 시비량을 12-8-8 kg/10a로 하여 총 45개 처리구에 기준 질소 시비량의 0~235%에 해당되는 질소를 변량 시비하였다. 질소 시비

량에 따른 벼의 건물중, 건물중의 질소 함량, 엽록소, 수확량을 측정하고, 시간적 변이와 공간적 변이의 특성 및 각 측정치 사이의 상관 관계를 구명하였다.

시비량의 차이에 의한 건물중의 공간 변이는 생육 초기에는 나타나지 않았으나, 8월 중순 이후에는 크게 나타났으며, 질소 시비량이 많을수록 건물중이 증가되었다. 질소 함량의 시간 변이는 시간이 지날수록 감소되었다. 일정 시비량에 대하여 건물중이 증가함에 따라 질소 함량은 상대적으로 감소하였기 때문이었다. 시비량에 따른 질소 함량의 변화는 시비량이 많을수록 질소 함량도 증가되었으나 일관성이 없었으며, 분얼 이후에는 생장이 감소되고 질소 함량은 일정한 수준을 유지하였다. 건물중과 질소 함량은 비례적인 관계를 나타내었으며, 생육 초기에는 건물중이 증가하더라도 질소 함량은 감소되는 경향을 나타내었으나, 일정한 기간이 지난 후에는 건물중이 증가함에 따라 질소 함량도 증가되는 경향을 나타내었다.

엽록소 함량은 생육 초기에는 질소 시비량에 따른 변화 없었으나, 벼가 성장함에 따라 질소 시비량이 많을수록 SPAD의 값도 증가되었다. 그러나, 분얼 이후에는 균일화되는 경향을 나타내었다. SPAD 값의 공간 변이는 질소 함량과 유사한 경향을 나타내었으며, SPAD 값은 질소 함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

수확량은 질소 함량이 많았던 곳에서 많았다. 즉, 수확량은 영양 성장기에 건물중, 질소 함량, 엽록소 함량이 모두 높았던 지역에서 많은 것으로 나타났다. 수확량의 범위는 458.0~1,082.6 kg/10a이었고, 최대 수확량은 최소 수확량의 약 2.4배이었다.

참 고 문 헌

1. 김준환. 2001. 벼 한계 질소 농도 구명 및 균락 반사율에 의한 질소 영양 상태 추정 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
2. Blackmore, S. 1999. Understanding field variability for precision farming. Proceedings of the International Seminar on Agricultural Machinery Technology for Precision Farming. May 27, 1999, National Agricultural Mechanization Research Institute. P44-63.
3. ESRI. 1997. Arcview dialog designer. ArcView GIS Version 3.1. Environmental Systems Research Institute, Inc.
4. Sudduth, K. A. 1999. Engineering technologies for precision farming. Proceedings of the International Seminar on Agricultural Machinery Technology for Precision Farming. May 27, 1999, National Agricultural Mechanization Research Institute. P5-27.