한작지(Korean J. Crop Sci.), 51(5): 369~378(2006)

# 소규모 경작지에서 질소 변량시비가 벼 수량 및 품질에 미치는 영향

최민규† · 최원영 · 박홍규 · 남정권 · 백남현 · 이준희 · 김상수 · 김정곤

작물과학원 호남농업연구소

# Influences of Site-specific N Application on Rice Grain Yield and Quality in Small Size Paddy Field

Min-Gyu Choi†, Won-Young Choi, Hong-Kyu Park, Jeong-Kwon Nam, Nam-Hyun Back, Jun-Hee Lee, Sang-Su Kim, and Chung-Kon Kim

*Honam Agricultural Research Institute, NICS, RDA. Iksan 570-080, Korea*

**ABSTRACT** For precision farming the influences of site-specific N application on rice grain yield and quality were investigated in 0.5 ha paddy field from 2001 to 2003. In pre-cultured soil, EC, O.M., total nitrogen, phosphate and potassium content showed high spatial variation, ranging from 11.63 to 52.03% of coefficient of variation, while that of pH was relatively low. In rice growth characteristics, tiller number at panicle formation stage was more than 10% in coefficient of variation, but plant height, SPAD figure at panicle formation stage and milled rice yield, protein content in brown rice showed less below 10%. Spatial dependence was over 0.60 in pH, total nitrogen, phosphate and potassium in pre-cultured soil and was over 0.50 in plant height, SPAD figure and protein content, while it was below 0.22 in tiller number at panicle formation. The range of spatial dependence was longer than 20m in all factors except for protein content in brown rice. Basal dressing nitrogen rate was positively correlated with pH, $SiO_2$, plant height and SPAD figure. Nitrogen fertilization rate at panicle formation stage was positively correlated with EC and O.M.. Protein content in brown rice was positively correlated with $SiO_2$ in pre-cultured soil. Milled rice yield was positively correlated with plant height, tiller number and SPAD figure at panicle formation stage.

*Keywords* : precision farming, rice, mapping, soil chemical properties, paddy field

†Corresponding author: (Phone) +82-63-840-2173
(E-mail) choims@rda.go.kr <Received May 17, 2006>

**정밀농업**은 지난 10여년 동안 세계적으로 급속히 연구 발전되어 오고 있는 친환경 농업으로 환경보전과 농작물의 생산성유지 향상을 동시에 실현하고자 수량에 관여하는 요인들의 변이를 실시간으로 찾아 최소화하는 농법이다. 개개의 포장은 토양특성, 관개수의 흐름, 병해충 발생 정도 등이 다르며, 동일 포장내에서도 포장전체에 대하여 동일 파종을 하고 비료, 농약 등을 균일하게 처리했음에도 포장의 각 위치에 따라 생육 및 수확량이 달라지는데 이러한 여러 가지 요소를 가진 포장의 성질에 대하여 변량적으로 대응하는 정밀농업 관련 기술에 대한 관심이 급격히 증가하였다. 미국의 경우 옥수수 등의 밭작물을 중심으로 질소질 비료의 이용효율 향상과 토양 시스템이 작물성장과 생산에 미치는 변이 등에 대한 연구(Newell R. Kitchen 등, 2002)을 수행하고 있다. 우리나라에서도 최 등(2002)은 소규모 논에 있어서 포장지도 작성에 의하여 토양 화학성분, 생육 및 수량의 공간의존성이 존재하며, 쌀수량과 현미중 단백질 함량은 유수형성기의 생육 및 벼 재배전 토양상태와도 높은 상관관계가 있다고 하였으며, 이 등(2002)은 공간 통계학적 방법을 이용해 논에 있어서 생육정보간 공간 변이의 원인을 고찰하였다. 성 등(2000, 2002)은 수도포장에서의 엽록소 함량을 측정하여 공간변이가 있음을 보고하였으며, 또한 벼 군락의 무성도 측정을 위하여 3종의 광 에너지를 측정하여 포장정보와의 상관관계를 분석하였다. 그리고 이와 김(2002)은 가변시비에 의한 벼의 생체량의 변화, 구간별 군락 반사율 등을 조사하였다.

그러나 우리나라에서 정밀농업에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 소규모 논에 있어서 정밀관리를 위하여 포장변이 지도를 작성하여 정밀농업을 위한 기초 자료로 삼고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 소규모 경작지에서 필지내 지점별 포장변이 지도를 작성하여 정밀농업을 위한 기초 자료을 얻기 위하여 2001년에서 2003년까지 3년 동안 익산시 목촌동에 소재한 일반 농가답(전북통)에서 중만생종인 동안벼를 공시하여 5월 31일에 35일 묘를 기계이앙하였으며 질소는 11 kg/10a을 2001년에는 기비 : 분얼비 : 수비 = 40 : 30 : 30%로 표준재배 하였으며 2002년에는 기비와 분얼비는 2001년과 같이 분시하였으나 수비는 유수형성기의 초장, 경수, 엽색등의 생육량을 조사하여 생육량에 기인한 변량시비량(질소수비량 = (현미질소함유율 - 1.08)/(4.8 × $m^2$당경수 × 엽색 × 초장) × $10^8$ - 1(新潟縣農林水産部, 1996))을 계산하여 분시하였고 인산 4.5 kg/10a은 전량 기비, 칼리 5.7 kg/10a은 기비 : 수비 = 70 : 30% 비율로 분시하였다. 그리고 2003년에는 질소기비를 토양의 유기물함량 및 규산함량을 분석하여 토양검정시비 공식(농촌진흥청, 1999)에 의거 시비하였으며 수비 및 기타 비료는 2002년도와 같이 시비하였다.

포장 구획은 5.4×6 m로서 총 144 구획으로 분할하여 토양 및 생육정보를 조사했으며 해석에는 공간통계학의 해석 소프트 GS$^+$ Version 3.1 for Window(Gamma Design Software)를 이용(Robertson, 1988)했다. 포장면 고저차 및 EC는 시험후에 각각 TPS-System(Leica제), Veries 2000가지고 측정하였으며 기타 토양 유기물 함량을 비롯한 시험전 토양 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 · 식물체분석법(농과원, 2000)에 따라 pH는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 치환성 양이온은 1N-$NH_4OAc$(pH 7.0) 용액으로 침출하여 유도결합 플라즈마 분광 광도계로 측정하였으며, 엽색은 SPAD 502로 측정하였다. 그리고 기타 본답 관리는 호남농업시험장 표준재배법(호남농업시험장, 2001), 생육 및 수량조사 등은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준(농촌진흥청, 1995)에 준하였다.

## 결과 및 고찰

### 가. 생육 정보의 기술 통계학적 해석

토양 이화학성의 최소값, 최대값, 평균값 그리고 변이계수를 보면 표 1에서와 같다. 시험전 토양의 유효 인산 함량은 3년 평균 178.7 mg/kg으로서 농가 평균 136 mg/kg보다 42.7 mg/kg 높았으며, 치환성 칼리 함량은 농가 평균 0.32 cmol(+)/kg와 같거나 약간 적은 0.24, 0.32, 0.27 cmol(+)/kg이었다. 공간 변이계수는 pH를 제외하고 유기물, EC, 전질소, 유효 인산 및 칼리의 공간 변이계수가 10%이상의 큰 공간 변이를 보였다. 시험후의 포장면 고저차는 3년 평균 6.0 cm, 최고 8.4～16 cm의 고저차를 보였으며, 포장면 고저차와 EC의 공간 변이계수는 17.45～56.6%로 균일한 써레질

**Table 1.** Descriptive statistics of soil chemical properties and growth characteristics.

| Time | Items | 2001 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Average | CV (%) |
| Pre-culture | O.M. (%) | 2.0 | 3.0 | 2.45 | 11.63 |
| 〃 | pH (1 : 5) | 4.88 | 5.46 | 5.22 | 2.51 |
| 〃 | Total N (%) | 0.15 | 1.62 | 0.50 | 45.19 |
| 〃 | Available $P_2O_5$ (mg/kg) | 138 | 296 | 210 | 14.37 |
| 〃 | Exchangeable $K^+$ (cmol(+)/kg) | 0.10 | 1.51 | 0.24 | 28.47 |
| Post-culture | Relief (cm) | 0 | 12.5 | 5.6 | 43.7 |
| 〃 | EC (dS/m) | 2.1 | 10.7 | 5.5 | 29.3 |
| PFS† | Ammonium nitrogen (ppm) | 0.30 | 20.0 | 10.6 | 52.7 |
| 〃 | Leaf color (SPAD) | 29.6 | 38.3 | 34.6 | 4.0 |
| 〃 | Leaf N content (%) | 0.5 | 2.3 | 1.5 | 23.6 |
| MTS‡ | Plant height (cm) | 44.7 | 57.0 | 50.6 | 4.57 |
| PFS | Plant height (cm) | 65.7 | 80.8 | 72.0 | 4.49 |
| MTS | Tiller number (No./$m^2$) | 360 | 634 | 503 | 11.01 |
| PFS | Tiller number (No./$m^2$) | 317 | 520 | 383 | 10.6 |
| | Milled rice yield (kg/10a) | 431 | 667 | 545 | 8.06 |
| | Head rice yield (kg/10a) | 393 | 606 | 492 | 8.19 |
| | Head rice percentage (%) | 83.6 | 93.7 | 90.2 | 2.07 |
| | Protein content (%) | 6.40 | 7.60 | 6.91 | 4.06 |

**Table 1.** continue.

| Time | Items | 2002 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Average | CV (%) |
| Pre-culture | EC (dS/m) | 3.71 | 9.85 | 6.45 | 17.45 |
| 〃 | O.M. (%) | 2.94 | 5.2 | 4.00 | 9.93 |
| 〃 | pH (1 : 5) | 4.28 | 6.01 | 4.98 | 4.97 |
| 〃 | Total N (%) | 0.6 | 5.01 | 1.82 | 52.03 |
| 〃 | Available $P_2O_5$ (mg/kg) | 80 | 207 | 153.4 | 18.98 |
| 〃 | Exchangeable $K^+$ (cmol(+)/kg) | 0.17 | 0.72 | 0.32 | 24.38 |
| Post-culture | Relief (cm) | 0 | 8.4 | 3.6 | 56.6 |
| PFS† | Leaf color (SPAD) | 24.5 | 36.6 | 30.4 | 7.81 |
| 〃 | Leaf N content (%) | 2.4 | 3.9 | 3.0 | 9.69 |
| 〃 | Plant height (cm) | 52 | 76 | 66.5 | 7.66 |
| 〃 | Tiller number (No./$m^2$) | 333 | 738 | 487 | 14.21 |
| | Culm length (cm) | 70 | 87 | 76.2 | 4.15 |
| | Panicle number (No./$m^2$) | 276 | 468 | 366 | 10.59 |
| | Milled rice yield (kg/10a) | 389 | 558 | 495 | 6.22 |
| | Protein content (%) | 6.9 | 8.0 | 7.5 | 3.40 |

| Time | Items | 2003 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Average | CV (%) |
| Pre-culture | EC (dS/m) | 5.40 | 13.20 | 8.71 | 20.74 |
| 〃 | O.M. (%) | 1.00 | 4.74 | 3.83 | 11.84 |
| 〃 | pH (1 : 5) | 5.13 | 5.71 | 5.37 | 1.96 |
| 〃 | Total N (%) | 0.10 | 2.20 | 1.04 | 44.13 |
| 〃 | Available $P_2O_5$ (mg/kg) | 108 | 223 | 173 | 12.81 |
| 〃 | Exchangeable $K^+$ (cmol(+)/kg) | 0.14 | 0.57 | 0.27 | 26.46 |
| 〃 | $SiO_2$ (mg/kg) | 35.0 | 107.0 | 59.0 | 23.91 |
| Post-culture | Relief (cm) | 0 | 16.0 | 8.9 | 35.83 |
| PFS† | Leaf color (SPAD) | 25.9 | 35.4 | 29.18 | 5.38 |
| 〃 | Leaf N content (%) | 2.6 | 3.7 | 3.1 | 8.20 |
| 〃 | Plant height (cm) | 59 | 77 | 68.9 | 5.62 |
| 〃 | Tiller number (No./$m^2$) | 321 | 607 | 445 | 11.8 |
| | Milled rice yield (kg/10a) | 435 | 583 | 494 | 5.81 |
| | Protein content (%) | 6.9 | 8.2 | 7.4 | 3.40 |

†PFS : Panicle formation stage, ‡MTS : Maximum tillering stage, Protein content : Protein content in brown rice.

과 시비관리를 하고 있음에도 포장 내에서 벼 생육 전후의 토양 성분 및 포장면 고저차가 상당한 변이를 보이고 있음을 알 수 있었으며 이러한 것은 3년간의 C.V를 비교하여 보아도 비슷한 경향임을 알 수 있었다.

유수형성기의 엽색, 초장 및 경수의 변이계수를 보면 경수의 변이계수가 엽색이나 초장의 변이계수 보다 컸으며, 평균 쌀수량은 농가 수량과 비슷하였으나 최고 수량과 최저 수량 차이는 최저 25%에서 35%의 차이를 보였으며 변이계수는 3년 평균 6.67%이였으나, 현미중 단백질 함량의 변이계수는 3.62%로 작은 변이를 보였다. 또한 3년간의 변이계수를 비교하여 볼 때 쌀수량과 현미중 단백질 함량의 변이계수는 각각 2001년 8.06, 4.06%에서 2002년도 6.22, 3.4%로 2003년도는 5.81, 3.4%으로 낮아져 균일성이 쌀수량은 28%, 단백질 함량은 16%향상되었다. 또한 바람직한 현미중 단백질 함량을 7.5%로 볼 때 수비를 변량수비 하였던 해에 등숙기간중 기상조건이 불리하였는데도 현미중 단백질 함량 7.4~7.5%를 유지하여 변량시비의 효과가 있었던 것으로 생각된다.

### 나. 생육 정보의 공간 통계학적 분석

#### 1) 시험 전후의 포장 고저차

시험 전후 포장 고저차의 세미베리어그램 및 세미베리어그램으로 부터 계산된 공간의존성의 지표값을 각각 표 2와 그림 1에서 보면, 공간 구조의 강약을 표시하는 시험후 포장면 고저차의 Q 값이 2001년, 2002년, 2003년 각각 0.88, 0.77, 0.51로 공간 구조가 강함을 알 수 있고, 의존거리를 나타내는 Range의 값은 각각 61.3, 32.4, 57.4 m을 보여 공간의존성이 존재함을 알 수 있었다.

2001년도 시험후 포장 고저차는 북쪽에서 높고 남쪽으로 갈수록 낮고, 동서간에는 중앙 부분이 낮게 나타났으며 이로 보아 벼 재배중 관수시 물의 흐름은 주로 중앙으로 흐르고 낙수시에도 중앙부분의 물이 오래도록 남아있었을 것으로 생각되며, 2002년도 시험후의 포장 고저차는 오히려 남

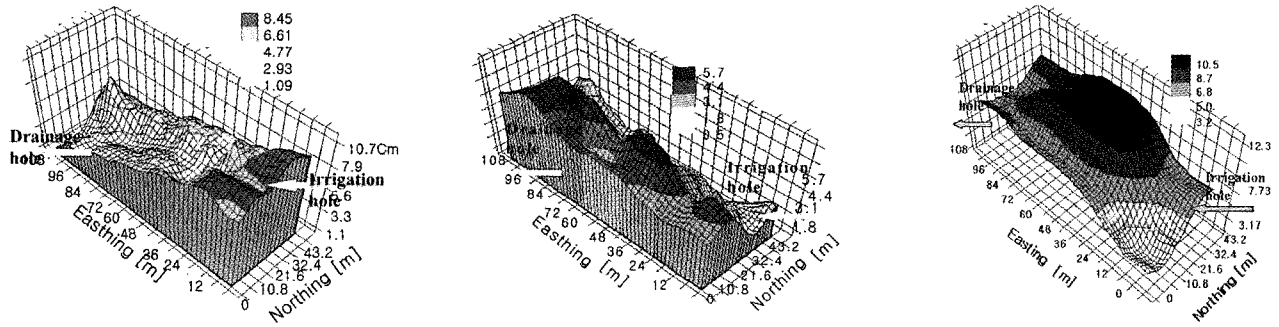
**Table 2.** Geostatistical parameters of the soil chemical properties and growth characteristics.

| Items | 2001 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nugget | Sill | Range (m) | Q value | Model | $R^2$ |
| O.M. | 0.136 | 0.17 | 61.3 | 0.22 | Linear | 0.42 |
| pH | 0.041 | 0.05 | 61.3 | 0.22 | Linear | 0.53 |
| Total N | 0.007 | 0.02 | 56.2 | 0.65 | Exponential | 0.97 |
| Available $P_2O_5$ | 310 | 110 | 69.6 | 0.72 | Spherical | 0.99 |
| Exchangeable $K^+$ | 0.014 | 0.06 | 46.3 | 0.79 | Spherical | 0.51 |
| Relief | 0.905 | 7.411 | 61.3 | 0.88 | Linear | 0.85 |
| EC | 0.010 | 4.029 | 93.1 | 0.99 | Spherical | 0.99 |
| Ammonium nitrogen | 0.145 | 0.528 | 0.3 | 0.72 | Exponential | 0.0 |
| Leaf color (SPAD) | 1.622 | 2.104 | 61.3 | 0.22 | Linear | 0.49 |
| Leaf N content (%) | 0.050 | 0.141 | 42.6 | 0.64 | Spherical | 0.94 |
| Plant height in MTS | 1.34 | 5.389 | 14.4 | 0.75 | Exponential | 0.51 |
| Plant height in PFS | 0.010 | 13.57 | 44.3 | 0.99 | Spherical | 0.91 |
| Tiller number in MTS | 984 | 3182 | 10.2 | 0.69 | Exponential | 0.57 |
| Tiller number in PFS | 933 | 1920 | 44.3 | 0.51 | Spherical | 0.81 |
| Milled rice yield (kg/10a) | 537 | 1958 | 26.1 | 0.72 | Exponential | 0.68 |
| Head rice yield (kg/10a) | 896 | 1793 | 65.7 | 0.50 | Exponential | 0.76 |
| Head rice percentage (%) | 1.029 | 3.640 | 12.0 | 0.71 | Exponential | 0.29 |
| Protein content (%) | 0.011 | 0.079 | 12.7 | 0.86 | Spherical | 0.39 |

| Items | 2002 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nugget | Sill | Range (m) | Q value | Model | $R^2$ |
| EC | 0.760 | 1.912 | 61.3 | 0.60 | Linear | 0.97 |
| O.M. | 0.05 | 0.17 | 39.6 | 0.71 | Spherical | 0.97 |
| pH | 0.084 | 0.164 | 84.16 | 0.48 | Linear | 0.48 |
| Total N | 0.784 | 1.022 | 61.3 | 0.23 | Linear | 0.71 |
| Available $P_2O_5$ | 492 | 955.4 | 61.3 | 0.48 | Linear | 0.76 |
| Exchangeable $K^+$ | 0.004 | 0.006 | 61.3 | 0.33 | Linear | 0.68 |
| Relief | 1.030 | 4.648 | 32.4 | 0.77 | Spherical | 0.92 |
| Leaf color (SPAD) | 1.49 | 5.764 | 0.30 | 0.74 | Exponential | 0.40 |
| Leaf N content (%) | 0.051 | 0.104 | 61.3 | 0.51 | Linear | 0.90 |
| Plant height in PFS | 5.10 | 36.75 | 86.0 | 0.86 | Spherical | 0.98 |
| Tiller number in PFS | 1900 | 5530 | 61.3 | 0.65 | Linear | 0.83 |
| Culm length (cm) | 1.210 | 13.38 | 61.3 | 0.91 | Linear | 0.97 |
| Panicle number (No./$m^2$) | 777 | 1744 | 61.3 | 0.55 | Linear | 0.83 |
| Milled rice yield (kg/10a) | 777 | 1003 | 61.3 | 0.22 | Linear | 0.42 |
| Protein content (%) | 0.015 | 0.063 | 13.5 | 0.76 | Exponential | 0.49 |

**Table 2.** continue.

| Items | 2003 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nugget | Sill | Range (m) | Q value | Model | $R^2$ |
| EC | 1.860 | 3.803 | 61.3 | 0.51 | Linear | 0.88 |
| O.M. | 0.160 | 0.216 | 61.3 | 0.25 | Linear | 0.56 |
| pH | 0.003 | 0.001 | 20.7 | 0.73 | Exponential | 0.86 |
| Total N | 0.078 | 0.241 | 44.7 | 0.76 | Spherical | 0.92 |
| Available $P_2O_5$ | 74.70 | 671.3 | 61.3 | 0.88 | Linear | 0.99 |
| Exchangeable $K^+$ | 0.002 | 0.006 | 73.0 | 0.66 | Spherica | 0.95 |
| $SiO_2$ (mg/kg) | 0.100 | 200.6 | 18.8 | 0.99 | Spherica | 0.87 |
| Relief | 6.160 | 12.65 | 57.4 | 0.51 | Spherical | 0.92 |
| Leaf color (SPAD) | 1.341 | 3.013 | 61.3 | 0.55 | Linear | 0.95 |
| Leaf N content (%) | 0.027 | 0.088 | 61.3 | 0.69 | Linear | 0.96 |
| Plant height in PFS | 8.36 | 17.96 | 61.3 | 0.53 | Linear | 0.95 |
| Tiller number in PFS | 2324 | 2999 | 61.3 | 0.22 | Linear | 0.53 |
| Milled rice yield (kg/10a) | 419 | 851 | 25.5 | 0.50 | Exponential | 0.74 |
| Protein content (%) | 0.013 | 0.064 | 15.4 | 0.79 | Spherical | 0.49 |




2001 2002 2003

**Fig. 1.** Kriged maps of relief values (cm) in the paddy field at post-culture.

쪽보다 북쪽으로 갈수록 높아졌으며 동쪽이 서쪽보다 높았는데 이로 보아 벼 재배시 물의 흐름은 주로 서쪽으로 이동했을 것으로 생각되며 2003년도는 이와 반대로 서쪽이 동쪽 보다 높은 경향이었다. 이와 같이 시험전후의 포장 고저차가 다른 이유는 전년도의 포장 고저차를 고려하여 다음 년도에는 경운 로타리 및 정지 작업시 전년도의 논상태를 고려하여 경운하고 정지 작업시 토양을 이동시켰기 때문이다.

### 2) 시험전 토양의 화학성분 분포

시험전 토양의 세미베리어그램 및 공간의존성 지표값은 각각 그림 2, 3, 4와 표 2에서 보면 공간구조의 강약을 표시하는 Q값은 0.22～0.99로 연차간 차이를 보이고 있으나 공간구조가 존재함을 알 수 있었으며, 의존거리 역시 20.7～93.1 m를 보여 공간 의존성이 존재함을 알 수 있었다.

토양중 유기물함량은 중앙 및 동쪽부분이 높았는데 이는 저지대에서 건토 효과에 의하여 볏짚 및 유기물의 부숙이 빨랐기 때문으로 생각되며, EC 농도는 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 높았는데 이는 관수시 물의 이동에 따라 시비양분이 이동하였기 때문으로 생각된다. 그리고 치환성 칼리 함량 분포는 연차간에 차이를 보였는데 이는 수용성이 강하여 벼 재배시 식물체로의 흡수량에 따른 차이 때문으로 생각된다.

## 다. 시험전 토양화학성을 고려한 기비 질소시용량 지도 작성

질소 기비를 변량시비하기 위하여 토양중 유기물 및 규산함량을 측정하여 토양검정시비 공식(농촌진흥청, 1999)을

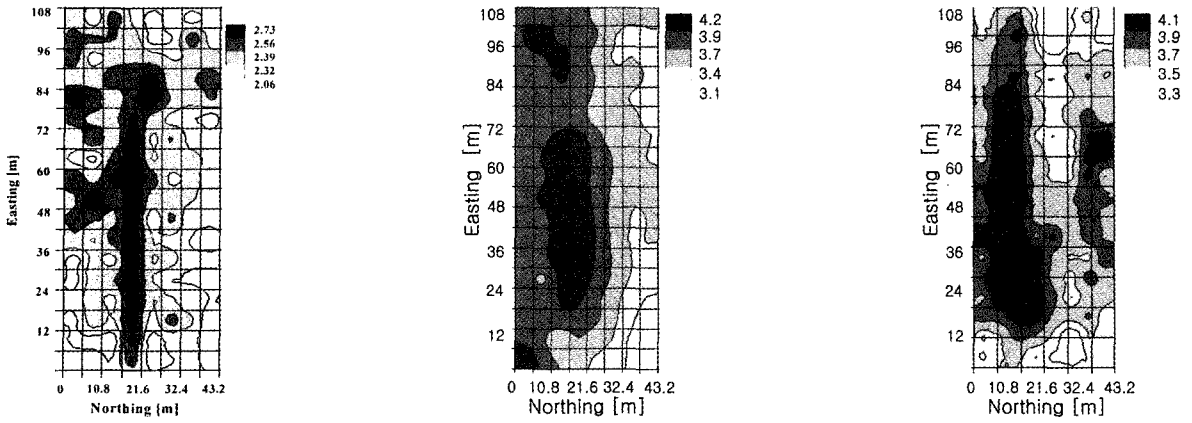



**Fig. 2.** Kriged maps of soil chemical properties of O.M. (%) in the paddy field.

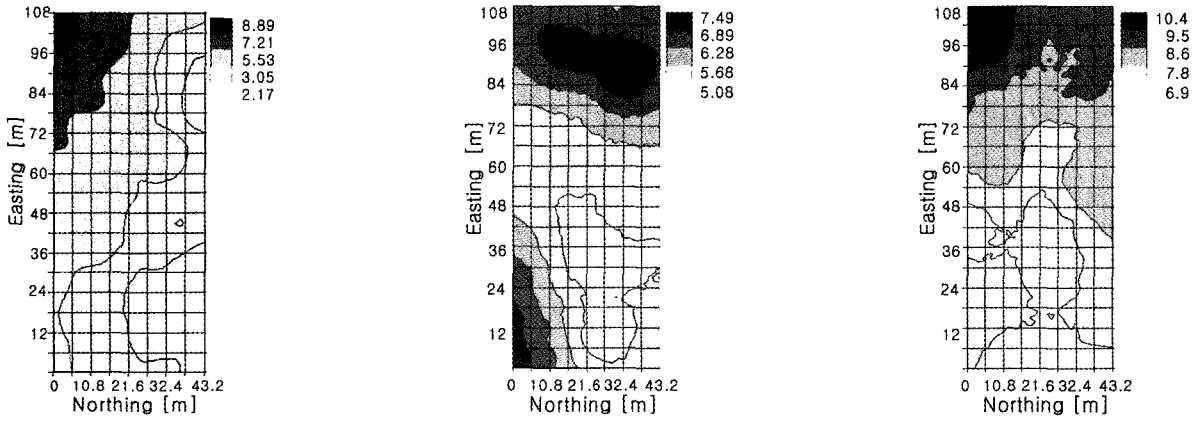



**Fig. 3.** Kriged maps of soil chemical properties of EC (dS/m) in the paddy field.

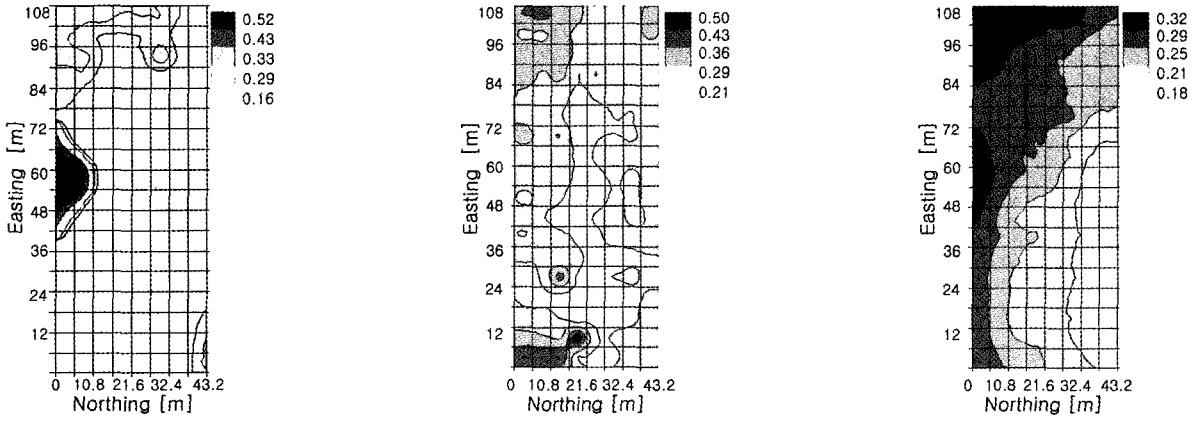



**Fig. 4.** Kriged maps of soil chemical properties of $K^+$ (cmol(+)/kg) in the paddy field.

이용하여 계산된 질소 시비량 분포(그림 5)를 보면 일반적으로 유기물 함량이 많고 규산함량이 적은 곳에서 질소의 기비시용량이 적었으며 평균 10a당 4.2 kg이 시용되었다.

### 라. 유수형성기 생육 및 변량 수비시용량

유수형성기 초장, 경수 및 엽색의 분포를 그림 6, 7, 8에서 보면, 매년 시비질소, 지력 및 물관리 등에 따라 달라지는 것을 알 수 있었으며, 유수형성기에는 기비 및 분얼비의 비효가 떨어지는 시기로써 엽의 SPAD값은 엽 질소 함량을 나타내는 지표로서 변량시비와 관련해 중요한데 그의 분포를 보면 생육이 좋은 곳에서 엽색이 짙은 경향이었다.

수비를 변량시비하기 위하여 유수형성기의 초장, 경수 및 엽색을 이용하여 유도한 수비의 변량질소시비량 공식(新潟縣農林水産部, 1996)을 이용하여 계산된 질소 시비량 분포(그림 8)를 보면 일반적으로 초장이 길고 경수가 많으며 엽색이 짙은 곳에서는 시비량이 적었으며 평균적으로는 10a당 2.5 kg이 시용되었다.

### 마. 쌀 수량 및 현미의 단백질함량 분포

쌀 수량 및 현미중 단백질함량 분포를 그림 9와 10에서 보면, 쌀 수량은 생육이 좋은 부분에서 대체적으로 많았으며, 현미중 단백질 함량은 일반적으로 생육이 좋은 곳에서 높은 경향을 보였다. 그러나 변량시비를 하지 않은 2001년도와 변량시비를 한 2002, 2003년도의 변량시비 효과를 변이계수로 비교하여 볼 때(표 1) 쌀 수량은 변이계수가 2001년도 8.06에서 2002년도 6.22%, 2003년도는 5.81로 낮아져

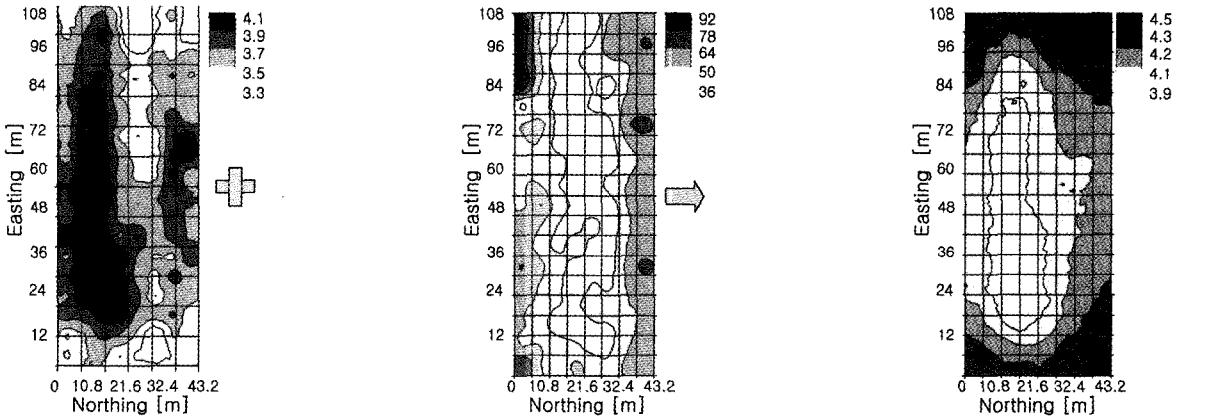



**Fig. 5.** Kriged maps of N basal fertilization by soil test in the paddy field at pre-culture.

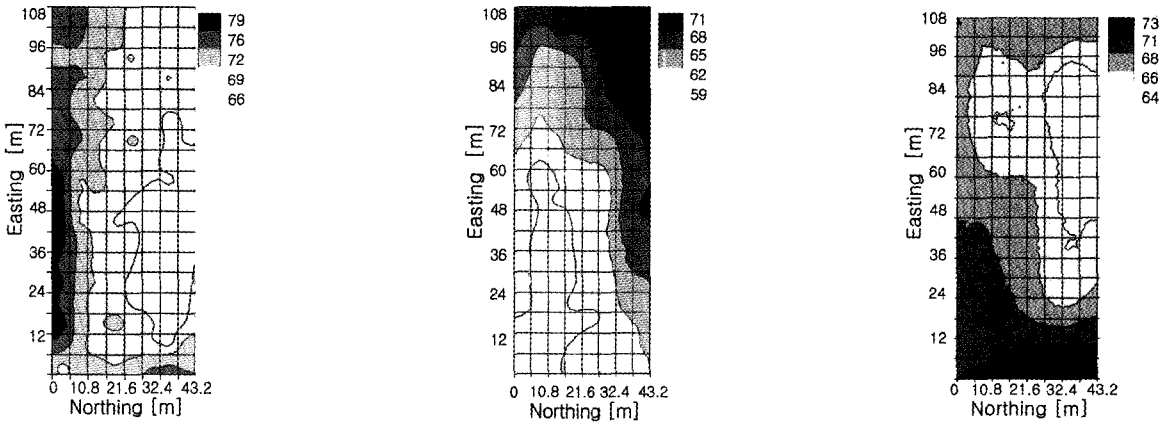
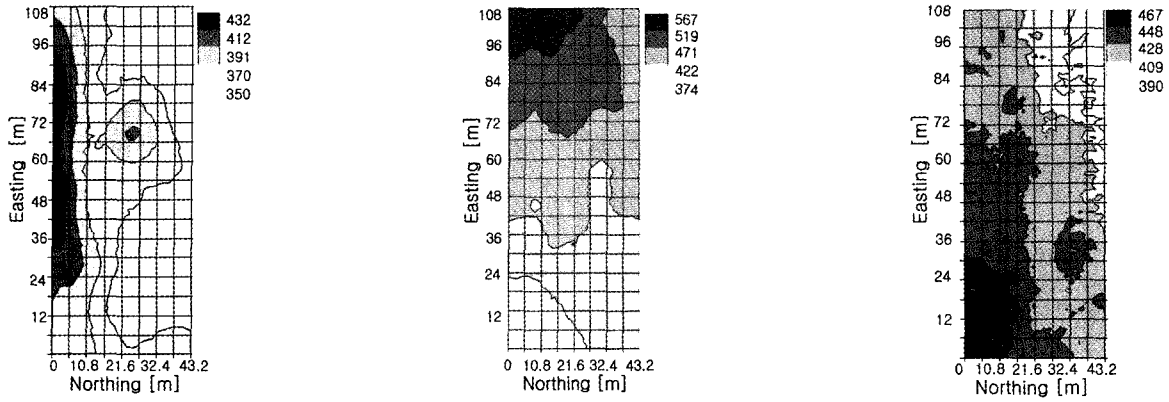
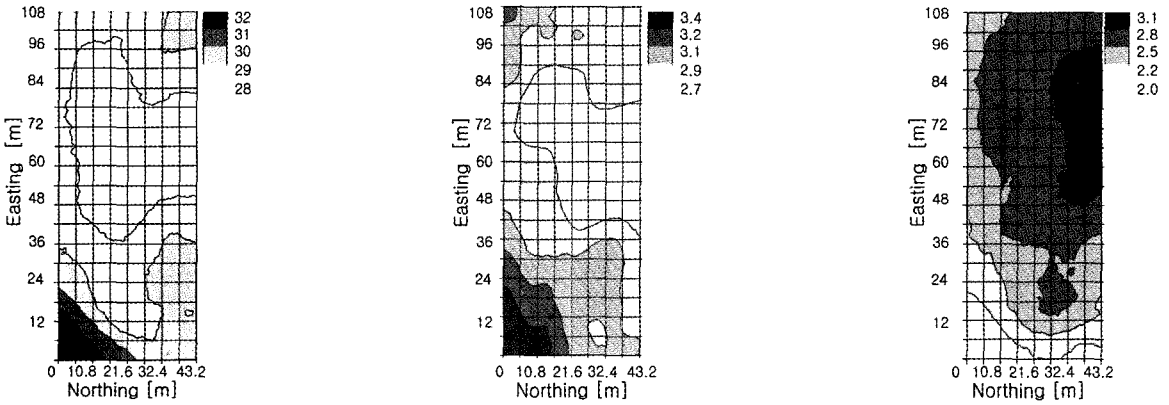



**Fig. 6.** Kriged maps of plant height (cm) at panicle formation stage in the paddy field.



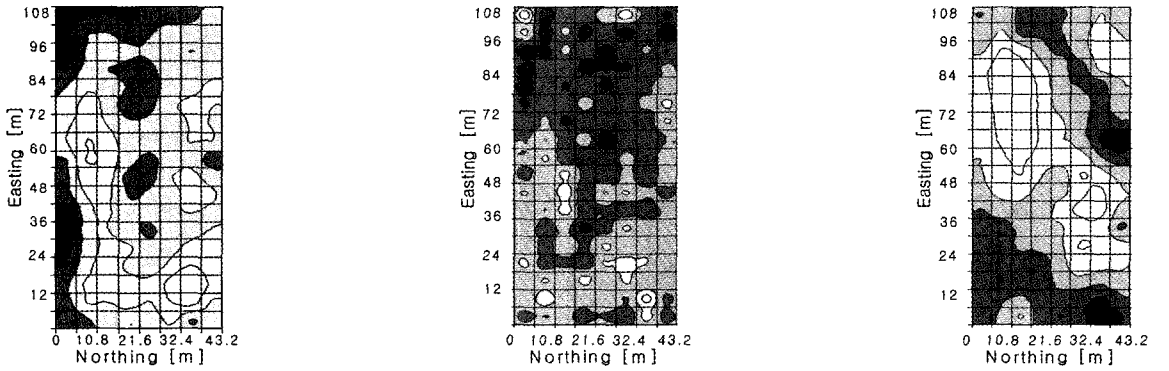

2001 2002 2003

**Fig. 7.** Kriged maps of tiller number per $m^2$ at panicle formation stage in the paddy field.




Leaf color (SPAD) Leaf N content (%) N fertilization at panicle formation stage (kg/10a)

**Fig. 8.** Kriged maps of N fertilization at panicle formation stage by growth of rice in the paddy field in 2003.

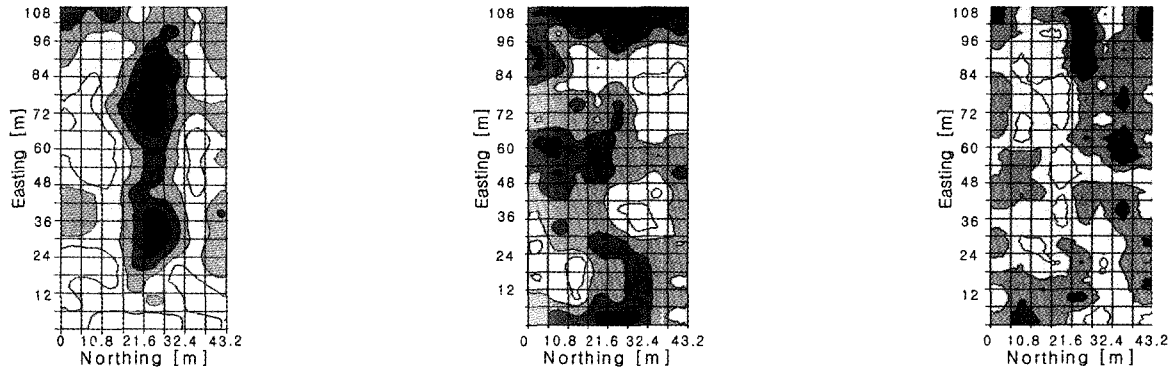



Traditional cultivation (2001, CV8.06)

Variable-rate N application at panicle formation stage (2002, CV6.22)

Variable-rate N application of basal dressing and panicle formation stage (2003, CV5.81)

**Fig. 9.** Rice grain yield (kg/10a) map on variable-rate N application of basal dressing and N fertilization at panicle formation stage.




Traditional cultivation (2001, CV4.06) | Variable-rate N application at panicle formation stage (2002, CV3.40) | Variable-rate N application of basal dressing and panicle formation stage (2003, CV3.40)

**Fig. 10.** Protein content (%) map in brown rice on variable-rate N application of basal dressing and N fertilization at panicle formation stage.

**Table 3.** Correlation coefficient between the soil chemical properties, growth characteristics and rice yield (2003).

| | Relief | pH | EC | $SiO_2$ | O.M. | T-N | BF | PH | TN | SPAD | PIF | PC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Relief | 1 | | | | | | | | | | | |
| pH | -0.070 | 1 | | | | | | | | | | |
| EC | -0.044 | -0.264 | 1 | | | | | | | | | |
| $SiO_2$ | -0.066 | 0.195 | 0.292 | 1 | | | | | | | | |
| O.M. | -0.098 | -0.096 | 0.162 | 0.001 | 1 | | | | | | | |
| T-N | 0.209 | -0.031 | 0.001 | -0.062 | -0.085 | 1 | | | | | | |
| BF | 0.048 | 0.179 | 0.014 | 0.512 | -0.854 | 0.036 | 1 | | | | | |
| PH | -0.291 | 0.103 | -0.267 | 0.045 | -0.297 | -0.185 | 0.279 | 1 | | | | |
| TN | -0.186 | 0.066 | -0.247 | 0.107 | -0.019 | -0.292 | 0.071 | 0.519 | 1 | | | |
| SPAD | -0.169 | 0.028 | -0.173 | 0.248 | -0.193 | -0.160 | 0.299 | 0.293 | 0.162 | 1 | | |
| PIF | 0.268 | -0.075 | 0.291 | -0.185 | 0.168 | 0.310 | -0.241 | -0.748 | -0.880 | -0.526 | 1 | |
| PC | -0.051 | 0.059 | 0.030 | 0.188 | -0.266 | 0.149 | 0.327 | 0.108 | 0.095 | 0.174 | -0.156 | 1 |
| Yield | 0.008 | -0.184 | -0.098 | 0.136 | -0.152 | 0.057 | 0.198 | 0.332 | 0.209 | 0.167 | -0.316 | 0.173 |

T-N : Total nitrogen, BF : N basal fertilization, PH : Plant height in Panicle formation stage, TN : Tiller number per $m^2$ in Panicle formation stage, PIF : N fertilization at panicle formation stage, PC : Protein content in brown rice.
*Significant level (5% : 0.159, 1% : 0.208).

28%가, 또한 현미 단백질함량은 변이계수가 2001년도 4.06에서 2002년 및 2003년도에는 3.40으로 낮아져 단백질 함량은 16%가 향상되었다. 그리고 3년 평균 Q값은 쌀수량은 0.48로 낮았으나 단백질 함량은 0.80으로 공간구조성이 강하였으며, 의존거리를 나타내는 Range값은 각각 37.9, 13.9 m로 공간의존성이 존재함을 보여 주었다.

생육 정보간의 상관계수는 표 3과 같이 유수형성기의 초장은 질소 기비 및 유수형성기 경수와는 상관계수가 각각 0.279, 0.519로 1%의 정의 유의성을 보였으나, 유기물 함량 및 포장고저차와는 -0.297, -0.291로 부의 상관을 보였다. 유수형성기 전질소 함량 및 포장고저차와는 각각 -0.292 및 -0.186으로 부의 상관을 보였으며, SPAD와 유수형성기의 초장 및 경수는 상관계수가 각각 0.293, 0.162로 1%수준의 유의성을 보였다. 쌀수량은 유수형성기 초장, 경수, SPAD 및 기비와는 각각 0.332, 0.209, 0.167, 0.198로 1% 수준의 유의성이 있었으나 수비와는 -0.316으로 부의 상관이 있었으며, 현미중 단백질 함량은 규산, SPAD 및 기비와는 각각 0.188, 0.174, 0.327로 정의상관이 있었으나 유기물 함량과는 -0.266으로 부의 상관을 보였다.

이상의 결과로 볼 때 벼 재배전 포장의 토양상태와 유수

형성기의 생육과는 높은 상관관계가 있고, 유수형성기 생육과 쌀수량과도 높은 상관관계가 있었다.

## 적 요

논에 있어서 정밀농업시 변량시비가 벼 생육에 미치는 기초자료를 얻기 위하여 토양 및 생육정보를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 시험전 토양의 변이계수는 EC, 유기물, 전질소, 유효인산 및 칼리는 11.63~52.03%로 10% 이상의 큰 변이를 보였으나 pH는 각각 1.96~4.97%로 적었다.

2. 생육중의 경수는 10%이상의 변이를 보였으나 초장, 엽색 및 쌀수량, 현미중 단백질은 10%이하의 변이를 보였다. 변량시비에 의하여 변이계수가 쌀수량은 8.06%에서 6.22% 및 5.81%로, 현미중 단백질 함량은 4.06%에서 3.40%로 낮아졌다.

3. 공간구조의 강약을 보여주는 Q값은 시험전 토양의 pH, 전질소함량, 유효인산 및 칼리함량은 0.60이상으로 공간의존성이 강하였으며, 엽색, 초장, 쌀수량 및 현미중 단백질함량 등도 0.50이상으로 공간의존성이 강하였으나 유수형성기 경수는 0.22로 공간 의존성이 약했다.

4. 공간거리를 나타내는 공간의존 거리는 현미중 단백질 함량을 제외하고는 20 m 이상의 공간의존성이 있었다.

5. 시험전 토양의 pH, $SiO_2$ 및 초장, 엽색은 기비와 정의 상관을 보였으나 O.M.은 부의상관을 보였다. 수비는 시험전 토양중 EC, O.M. 및 토양 고저차와는 정의 상관을 보였으나 초장, 경수 및 엽색과는 부의상관을 보였다. 현미중 단백질 함량은 토양중 $SiO_2$ 및 엽색, 수량과는 정의 상관을 보였으나 토양중 O.M.과는 부의상관을 보였으며 쌀수량은 초장, 경수 및 엽색과는 정의상관을 토양중 pH와는 부의 상관을 보였다.

## 인용문헌

Choi, M.K., S.S. Kim, N.H. Back, W.Y. Choi, J.K. Lee, C.K. Lee, and S.C. Kim. 2002. Field Variation Mapping for Precision Management in Small Size Paddy Field. The Korean Society of Precision Agriculture 1(1) : 39-50 (In Korean).

Lee, C.K., J.H. Sung, Y.K. Son, I.G. Jung, S.C. Kim, S.J. Hwang, and W.P. Park. 2002. Geostatistical Analysis of Growth Variability in Rice Paddy Field. The Korean Society of Precision Agriculture 1(1) : 61-70 (In Korean).

Lee, H.S. and K.U. Kim. 2002. Research of Reflectance about Variable Amount of Applied Fertilizer. Proceedings of the KSPA 2002 Conference : 107-112 (In Korean).

Kitchen, N.R., K.S. Sudduth, and S.K. Hong. 2002. Before You Variable Apply, Understand Why. Proceedings of the KSPA 2002 Conference : 45-66 (In Korean).

Robertson, G.P. 1988. Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Soft-Ware, Plainwell, Michigan.

Sung, J.H., S.O. Chung, W.P. Park, S.C. Kim, I.K. Chung, and D.H. Lee. 2000. Spatial variability of yield, chlorophyll content and soil properties for Korea rice paddy field. Proc. of the second Asian conference for information technology in agriculture June 15-17. 2000. pp. 97-102 (In Korean).

Sung, J.H., S.R. Suh, W.P. Park, L.G. Jung, S.C. Kim, and C.K. Lee. 2002. Luxuriant Measuring of Paddy Crops Using Light Sensors. Proceedings of the KSPA 2002 Conference : 79-85 (In Korean).

호남농업시험장. 2001. 2001년도 농업과학기술연구개발 시험연구과제계획서: 20-28.

농촌진흥청. 1995. 농사시험연구조사기준. pp. 603.

농촌진흥청 농업기술연구소. 2000. 토양화학분석법-토양 · 식물체 · 토양미생물-. pp. 450.

농촌진흥청 농업과학기술원. 1999. 작물별시비처방기준. pp 313.

新潟縣農林水産部. 1996. 水稻栽培指針. pp 52 (in Japanese).