

## 벼 유수분화기 생장 및 질소영양상태에 따른 수량의 수비질소 반응

김민호 · 부금동 · 이변우<sup>†</sup>

서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부

### Yield Response to Nitrogen Topdress Rate at Panicle Initiation Stage under Different Growth and Nitrogen Nutrition Status of Rice Plant

Min-Ho Kim, Jin-Dong Fu, and Byun-Woo Lee<sup>†</sup>

Department of Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**ABSTRACT** To secure high yield and good quality of rice, plant growth and nitrogen (N) nutrition status should be taken into account for managing panicle N topdressing (PN). This research aimed at investigating the rice yield response to PN under different plant growth and N nutrition status that was conditioned by different rates of basal and tillering N fertilizer (BTN). Stepwise multiple regression (SMR) was used for the analysis of yield response to (i) BTN and PN, and (ii) shoot N content at PIS (BTNup) and shoot N uptake from PIS to harvest (PNup). Rice yield increased significantly as BTN and PN increased, but there was no significant interaction between BTN and PN. Yield increased almost linearly with the increasing BTN and PN up to 10~12 and 6~7 kgN/10a, and with the increasing BTNup and PNup up to 6~7 and 5~6 kgN/10a, respectively. But yield increment tended to decrease above those levels. These declines resulted from the decreased ripened grain ratio and 1000 grain weight even though spikelet number per unit area increased more at above those N levels. Spikelet number per unit area had the linear relationships with the shoot N uptake until heading, and with yield. Like most yield response curves, yield response in this experiment followed the diminishing return function with BTNup, PNup, and plant N uptake from seeding to harvest. Regardless of the degree of BTNup and PNup, yield had a quadratic relationship ( $R^2 > 0.88$ ) with whole shoot N accumulation until harvest, suggesting that the yield determination was closely related with the whole shoot N uptake until harvest regardless of the differences in seasonal shoot N uptake.

**Keywords** : rice, yield response, panicle nitrogen, nitrogen accumulation

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-2-880-4544  
(E-mail) leebw@snu.ac.kr <Received August 23, 2006>

**일반적**으로 벼의 수량은 영양생장기간의 발육 및 질소영양도와 유수분화기의 시비량에 의해 결정되는데, 이는 영양생장에서 생식생장으로 상 전환이 이뤄지는 유수분화기 수비시용에 따른 질소영양상태의 변화에 의해 sink size가 결정되기 때문이다(Schnier *et al.*, 1990; Guindo *et al.*, 1994). 생식생장이 시작되는 유수분화기는 질소요구도가 가장 큰 시기으로써, 이 시기의 질소부족은 결국 성장량 감소뿐만 아니라 퇴화영화수 증가로 인하여 potential sink size를 저하시키고, 엽의 노화를 촉진시키며 이는 다시 등숙기 광합성능력의 감소로 이어져 결국 등숙률과 천립중을 저하시켜 수량을 크게 감소시킨다(Hinzman *et al.*, 1986, Diker and Bausch, 2003). 또한 근락하부에 있는 엽신이나 엽초내에 있는 질소의 재분배를 가져와 무효분얼의 퇴화뿐만 아니라 유효분얼의 무효분얼화를 일으킨다. 반면, 질소과다시비는 영양생장기간을 늘리고, 성숙을 늦춤으로써 도복의 위험성을 증가시킬 뿐만 아니라, 줄기의 신장을 촉진시켜 줄기를 연약하게 만들고 도열병 및 벼멸구 등에 의한 병충해의 피해를 가져올 수 있다(Mills and Jones, 1979; Diker and Bausch, 2003). 그러나 일반적으로 유수분화기부터 출수기 사이에는 벼의 생육량에 비해 지력질소의 공급이 충분하지 못한 경우가 많으며(Schnier *et al.*, 1990), 유수분화기의 질소과다 시비로 인해 질소흡수량이 어느 정도로 많아진다 하더라도 극단적으로 영화수가 증가하거나 수광태세가 악화되는 경우는 거의 없다고 한다(조 등, 1995).

벼의 시비량에 대한 수량반응 곡선은 질소시비량이 증가할수록 단위질소량 증가에 의한 수량의 증가분은 감소하게 되고, 작물의 질소 요구도를 넘어서는 과잉 시비시에는 병충해 증가, 도복 및 작물내적 생리적 독성 등으로 인하여 수량은 오히려 감소하게 된다(Fischer, 1998; Sasahara and

Itoh, 1989).

수량증가를 위해서는 시비시기가 중요한데, 과거 1960~1970년대에 분얼비에 의한 수수증가와 수비에 의한 수증증가에 대한 연구가 크게 진척되어 지금까지도 분얼비는 이양 후 12~14일경, 수비는 출수전 25일경에 주고 있다. 과거 여러 품종을 대상으로 실험한 결과, 질소시비량이 10~12 kgN/10a까지는 수량증가효과가 컸지만 그 이후 20 kgN/10a까지는 수량증가효과가 매우 적었기 때문에 질소의 추천시비량이 11 kgN/10a 내외로 정해졌으나, 유신벼는 질소시비량이 20 kgN/10a 정도까지 증가함에 따라 수량이 560 kg/10a 정도로 증가하고, 통일벼는 25 kgN/10a까지 수량이 710 kg/10a 정도로 증가하는 것으로 나타났다(Oh and Park, 1993; 조 등, 1995). 이처럼 semi-dwarf 유전자를 도입한 근래의 벼 품종들은 높은 질소시비까지 수량이 현저히 증가하는 특징이 있기 때문에 벼의 수량성을 극대화시킬 수 있는 질소시비 및 벼의 질소흡수량은 다시 검토되어야 한다.

작물 수량에 대한 질소 공급량의 영향을 이해하기 위해서는 실제 작물이 흡수한 질소량 등 정확한 모니터링이 필수적이다(Sinclair and Muchow, 1995). 벼의 경우 유수분화기의 질소영양상태에 따라서 벼가 흡수 이용하는 수비질소량은 크게 달라질 수 있음에도, 지금까지 대부분의 연구는 수비 질소 시비량 자체에 대한 수량 반응에 중점을 두어왔다.

정확한 수비 처방을 하기 위해서는 유수분화기 생육 및 질소 영양 상태 등 생체정보에 따른 수량의 수비 반응 변화 양상을 파악하고 있어야 한다(Ntamatungiro *et al.*, 1999; Hansen *et al.*, 2002; Hung *et al.*, 2006a; Hung *et al.*, 2006b). 따라서 본 연구는 기비와 분얼비 시용량을 달리하여 유수분화기에 다양하게 조성된 벼 생육 및 질소영양상태 별로 수비 질소 시용량을 달리하였을 때의 수량반응을 질소시비량과 질소흡수량으로 살펴봄으로써 수비처방에 필요한 기초 자료를 얻고자 하였다.

## 재료 및 방법

2001년과 2002년 2년에 걸쳐 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장에서 화성벼를 공시하여 실험하였다. 실험포장은 유기물함량이 2.0~2.1%로 비교적 낮고, CEC가 12.3~13.1 cmol<sup>(+)</sup>/kg, pH가 5.5~5.7인 사질식양토(sandy clay loam)였다. 4월 24일('01)과 23일('02)에 기계이앙상자에 최야한 종자를 파종, 출아, 녹화시킨 후 비닐보온절충못자리에서 육묘하였고, 5월 22일('01)과 21일('02)에 재식밀도 15×30 cm<sup>2</sup>로 1주3본으로 손이앙하였다.

N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 12-8-8 kg/10a를 기준시비량으로 하였으며, 질소시비 처리는 표 1과 같다. 질소는 기비 : 분얼비 :

Table 1. Summary of nitrogen application treatments in 2001 and 2002.

2001	Basal N.	Tillering N.				Panicle N.	Total (kgN/10a)
		10 DAT	20 DAT	30 DAT	Total		
T1	0N	0N			0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N	0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2
T2	0.25N	0.25N			0.25N	"	2.1, 3.9, 5.7, 7.5, 9.3
T3	0.5N	0.5N			0.5N	"	4.2, 6, 7.8, 9.6, 11.4
T4	0.75N	0.75N			0.75N	"	6.3, 8.1, 9.9, 11.7, 13.5
T5	1N	1N			1N	"	8.4, 10.2, 12, 13.8, 15.6
T6	1.25N	1N	0.25N		1.25N	"	10.5, 12.3, 14.1, 15.9, 17.7
T7	1.5N	1N	0.5N		1.5N	"	12.6, 14.4, 16.2, 18, 19.8
T8	2N	1N	0.5N	0.5N	2N	"	16.8, 18.6, 20.4, 22.2, 24
T9	2.5N	1N	1N	0.5N	2.5N	"	21, 22.8, 24.6, 26.4, 28.2

2002	Basal N.	Tillering N.		Panicle N.	Total (kgN/10a)
T1	0N		0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N, 3N	0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2, 10.8
T2	1N		0N	"	4.8, 6.6, 8.4, 10.2, 12, 15.6
T3	1N		0.5N	"	6.6, 8.4, 10.2, 12, 13.8, 17.4
T4	1N		1N	"	8.4, 10.2, 12, 13.8, 15.6, 19.2
T5	1N		1.5N	"	10.2, 12, 13.8, 15.6, 17.4, 21
T6	1N		2N	"	12, 13.8, 15.6, 17.4, 19.2, 22.8

DAT = days after transplanting

1N's in basal, tillering, and panicle N fertilizer mean 4.8, 3.6, and 3.6 kgN/10a respectively.

결과 및 고찰

수비 = 40 : 30 : 30%으로 분시, 인산은 전량기비, 가리는 기비:수비 = 70 : 30%으로 분시하였다. 출수기는 두해 모두 8월 12일이었다.

생육조사는 이앙 후 7~14일 간격으로 분얼수, 엽면적, SPAD, 건물중 등을 조사하였으며, 수확시 수량 및 수량구성요소를 처리당 72주를 3반복 조사하였다. SPAD 측정은 상위 2번째 엽(Y-leaf)에서 측정하였다. 시료는 72°C에서 72시간 건조하여 건물중을 칭량한 후 마쇄기로 분쇄하고 이후 Kjeldahl법(Auto-Kjeltec 1035 System, Tecator사, Swiss)으로 질소분석 하였다. 질소영양지수(NNI, nitrogen nutrition index)는 Cui 등(2002)에 따라서 계산하였다. 중회귀분석은 SAS의 stepwise regression을 적용하였으며, 변수의 선택은 5% 유의수준에서 forward selection 방법을 이용하였다

일평균기온은 2001년도에 평년에 비해 다소 높았으나 2002년은 평년보다 낮았고 특히 유수형성기부터 출수기까지는 평년보다 1.2°C나 낮았다. 강수량은 두해 모두 평년에 비해 많았다. 일조시간은 2001년이 유수형성기 이전에 적다가 이후 많아진 반면 2002년도는 유수형성기 이전에 많다가 이후 크게 적어졌다. 특히 2002년도 8월달의 일조시간은 평년의 170시간보다 크게 적은 70여 시간이었다.

유수분화기 생육 및 질소영양상태와 수량의 변이

2001년과 2002년 영양생장기 질소시비조건에 따른 유수분화기 생육 및 질소영양상태를 나타낸 것이 표 2이다. 분얼수는 2002년에 다소 많았으며, 엽면적지수는 2001년도에 1.9~5.5로, 2002년도의 1.9~4.5보다 범위가 넓었다. 건물중, 엽중 및 지상부 질소농도, 지상부 질소함량, 질소영양지수(NNI), 그리고 SPAD값 등도 2001년과 2002년 모두 다양하게 나타났다. 2001년도와 2002년의 무비구(T1)를 비교해보면 2002년도에서 SPAD값을 제외한 생육 및 질소영양상태가 2001년도보다 다소 양호하였고, 기준 질소시비량(12 kgN/10a)을 처리한 2001년도의 T5, 2002년도의 T4 처리구를 비교해보면 건물중과 SPAD값을 제외한 생육 및 질소영양상태가 2002년이 다소 양호하였는데, 이는 영양생장기 기상조건이 2002년도에 비해 다소 좋았기 때문으로 판단된다. 2001년과 2002년 모두 기비 + 분얼비 시비수준이 증가함에 따라서 생장 및 질소영양상태는 유의한 차이를 보였다.

기비 + 분얼비 및 수비시용량에 따른 수량 및 수량구성요소 변이에 대한 분산분석 결과는 표 3과 같다. 일반적으로 수량은 시비량이 증가할수록 특히 수비량이 증가할수록 높

Table 2. Growth and nitrogen nutrition status at panicle initiation stage (26 days before heading) under different basal + tillering N application rates in 2001 and 2002.

	Treatment	Tiller (No./m <sup>2</sup> )	Leaf area index	Shoot DM. (g/m <sup>2</sup> )	Leaf N conc. (mg/g)	Shoot N conc. (%)	Shoot N content (g/m <sup>2</sup> )	Nitrogen nutrition index	SPAD value
2001 26DBH	T1	293.3	1.91	200.7	20.02	1.39	2.79	0.36	30.90
	T2	311.1	2.40	231.0	22.25	1.54	3.57	0.42	31.80
	T3	333.3	2.61	264.2	22.93	1.59	4.21	0.46	33.40
	T4	342.2	3.07	270.1	24.34	1.67	4.51	0.49	33.78
	T5	360.0	3.27	306.2	24.71	1.73	5.30	0.54	34.38
	T6	386.7	3.65	317.4	25.32	1.79	5.68	0.56	35.60
	T7	407.4	4.09	346.4	26.34	1.83	6.33	0.60	36.82
	T8	460.0	4.54	376.0	26.72	1.88	7.06	0.64	38.06
	T9	504.4	5.49	417.8	27.60	1.94	8.13	0.69	40.20
	F-value	5.19	18.17	8.76	6.35	7.32	10.64	10.72	3.38
LSD <sub>0.05</sub>	85.2	0.98	82.0	2.55	0.22	1.74	0.10	3.79	
2002 26DBH	T1	322.9	1.93	170.1	24.13	1.70	2.86	0.407	29.20
	T2	431.3	2.82	236.1	24.74	1.76	4.12	0.486	30.98
	T3	471.6	3.14	269.6	25.13	1.77	4.70	0.515	31.72
	T4	485.1	3.47	294.9	25.78	1.83	5.32	0.553	32.55
	T5	521.9	3.93	341.0	26.94	1.90	6.36	0.609	33.58
	T6	549.7	4.48	383.3	28.63	2.00	7.52	0.674	34.68
	F-value	5.24	51.47	59.75	15.92	20.65	137.08	145.40	20.05
LSD <sub>0.05</sub>	93.68	0.33	26.26	1.13	0.07	0.38	0.02	1.16	

DBH=days before heading

**Table 3.** Root mean square errors for yield and yield components as affected by basal + tillering and panicle N application rate.

Year	Source of variation	No. of spikelet/m <sup>2</sup>	Grain ripened ratio	1000 grain weight	Yield
2001	Basal + tillering N (B)	1.52×10 <sup>8**</sup>	19.87**	3.09**	8.93×10 <sup>4**</sup>
	Panicle N (P)	8.16×10 <sup>7**</sup>	8.29**	0.72 <sup>ns</sup>	3.71×10 <sup>4**</sup>
	B×P	7.86×10 <sup>6 ns</sup>	4.30*	0.64 <sup>ns</sup>	1.99×10 <sup>3 ns</sup>
2002	Basal + tillering N (B)	1.26×10 <sup>8**</sup>	34.96**	1.24**	6.01×10 <sup>4**</sup>
	Panicle N (P)	2.19×10 <sup>8**</sup>	226.95**	1.88**	4.42×10 <sup>4**</sup>
	B×P	1.19×10 <sup>6 ns</sup>	5.38 <sup>ns</sup>	0.25 <sup>ns</sup>	3.63×10 <sup>2 ns</sup>

ns, \* and \*\* : not significant, significant at 5% and 1% probability, respectively.

은 것으로 알려져 있다(Sasahara and Itoh, 1989; Hinzman *et al.*, 1986; Perez *et al.*, 1996). 2001년도에 수비 시용량에 따른 천립중의 차이가 유의하지 않은 경우를 제외하면, 2001년과 2002년 모두 기비 + 분얼비 및 수비시용량이 증가할수록 수량 및 모든 수량구성요소가 고도로 유의한 차이를 나타내었다. 수량 및 수량구성요소에 미치는 기비 + 분얼비와 수비시용량의 상호작용효과는 2001년도의 등숙률을 제외한 모든 수량 및 수량구성요소에서 유의성이 없었다. 따라서 대부분의 경우 수비시용량에 관계없이 기비 + 분얼비가 증가할수록, 그리고 기비 + 분얼비 시용량에 관계없이 수비시용량이 증가할수록 수량은 유의하게 높았다.

#### 기비 + 분얼비 및 수비시용량에 대한 수량 반응

기비 + 분얼비 시비량에 따른 수량 및 수량구성요소의 반응을 나타낸 것이 그림 1이다. 영양생장기 기비 + 분얼비 시비량이 증가할수록 수량은 증가하는 경향으로, 기비 + 분얼비 시비량이 10~12 kgN/10a까지는 직선적으로 증가하였으나 그 이후부터는 증가폭이 다소 둔화되었다. 단위면적(m<sup>2</sup>)당 이삭수와 이삭당 영화수를 곱한 단위면적(m<sup>2</sup>)당 총영화수 또한 수량과 비슷한 경향이었으나 수량이 직선적으로 증가하는 10~12 kgN/10a 보다 높은 시비수준에서도 증가하는 경향을 보였다. 2001년도의 등숙률과 천립중은 기비 + 분얼비 시비량이 10~12 kgN/10a 정도까지, 2002년도에는 등숙률은 6~8 kgN/10a, 천립중은 8~10 kgN/10a 정도까지 증가함에 따라서 증가하다가 이후 감소하였다. 2001년도에 등숙률은 85~92%, 천립중은 24~28g 정도로 2002년의 등숙률 70~90%, 천립중 24~27g에 비해 다소 높았는데, 이는 2001년 등숙기 기상조건이 평년에 비해 좋았던 반면 2002년도에는 평년보다도 나뭇기 때문으로 판단된다.

수비시용량이 증가할수록 수량 또한 증가하는 경향을 보였는데, 수비시용량이 6~7 kgN/10a 내외까지는 시비량이

증가할수록 직선적으로 증가하는 경향을 보였으나 그 이후부터는 시비량 증가에 따른 수량증가폭이 둔화되었다(그림 2). 총영화수(/m<sup>2</sup>)는 수비시비량 8 kgN/10a정도까지 지속적으로 증가하는 경향이었고, 등숙률과 천립중은 수비시비량이 증가할수록 감소폭이 증가하는 경향이였다. 특히 영양생장기 생육량이 저조한 상태(T1, 무비구)에서 많은 양의 수비를 사용할 경우 수량은 오히려 감소하는 경향이었는데, 이는 영화수증가보다도 등숙률과 천립중이 큰 폭으로 감소하였기 때문이었다.

수량은 시비량이 어느 정도까지는 직선적으로 증가하는 경향을 보이다가 그 이상에서는 수량증가폭이 둔화되었는데, 이는 대부분의 농업투입산출반응과 마찬가지로 벼의 시비량에 대한 수량반응 곡선도 수확체감의 법칙(law of diminishing return)에 의존하기 때문이다(Fischer, 1998. Sasahara and Itoh, 1988). 수량을 최대로 하기 위한 질소시비량은 16~18 kgN/10a 내외로 판단되는데, 이는 김 등(1999)이 평야지 벼 다수확재배를 위한 질소시비량 18 kgN/10a와 비슷한 결과였다.

#### 영양생장기 및 생식생장기 질소흡수량에 따른 수량반응

유수분화기까지 벼가 흡수한 질소합량과 유수분화기부터 수확기까지의 질소흡수량에 따른 수량 및 수량구성요소 반응을 나타낸 것이 그림 3이다. 2001년도와 2002년 모두 유수분화기 질소합량이 6~7 kgN/10a까지는 직선적으로 수량이 증가하는 경향이였으나 그 이상의 흡수량에서는 수량증가폭이 둔화되었다. 총영화수(/m<sup>2</sup>)는 유수분화기 질소합량이 많을수록 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보였으나 등숙률은 유수분화기 질소합량 6 kgN/10a에서, 천립중은 5~6 kgN/10a에서 정점에 이른 후 그 이상이 되면 낮아지는 경향이였다.

유수분화기 이후 수확기까지 즉 생식생장기의 질소흡수량에 따른 수량반응을 살펴보면(그림 4), 대체로 질소흡수

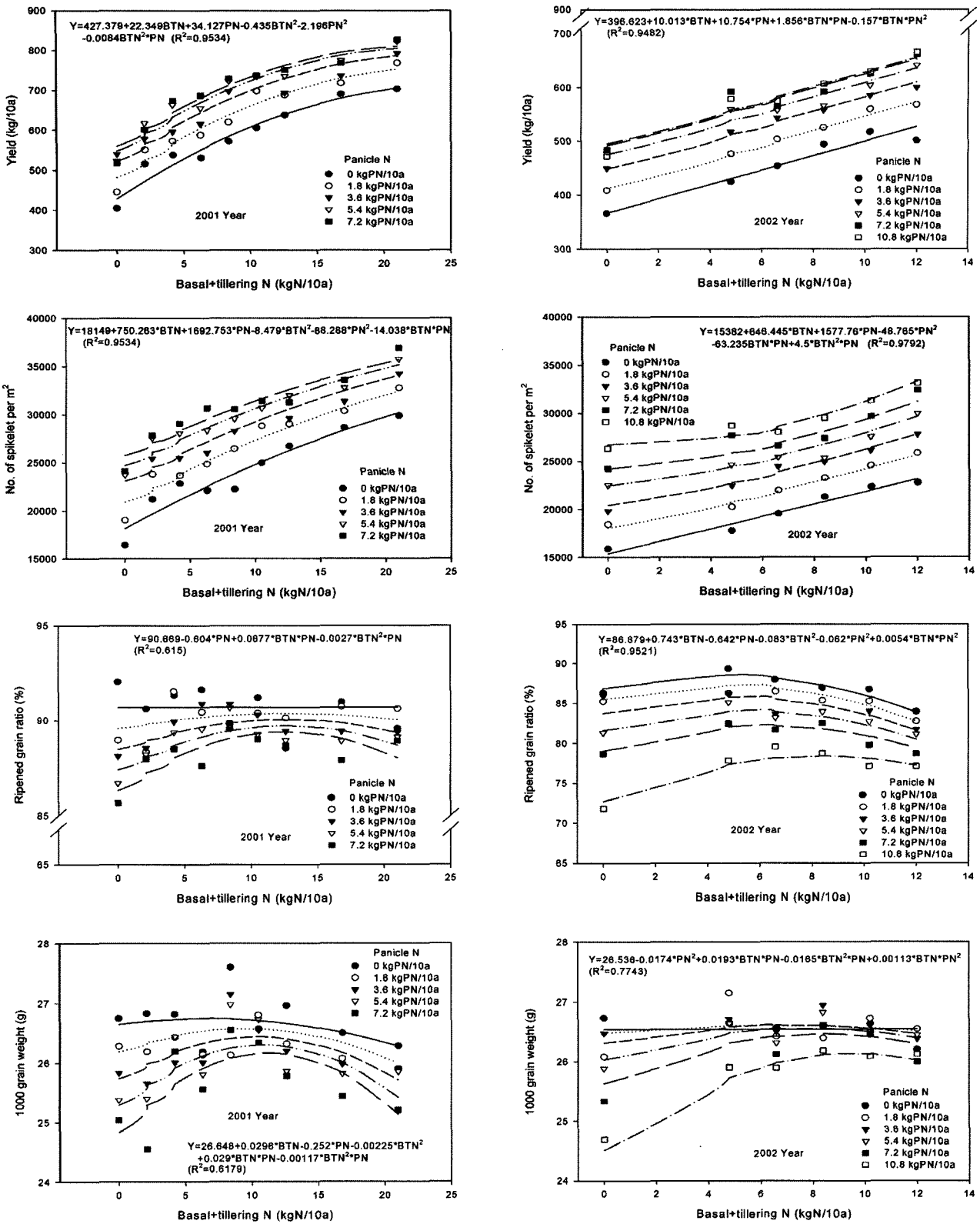


Fig. 1. Response of yield and yield components to basal + tillering N application under different N levels at panicle initiation stage in 2001 and 2002.

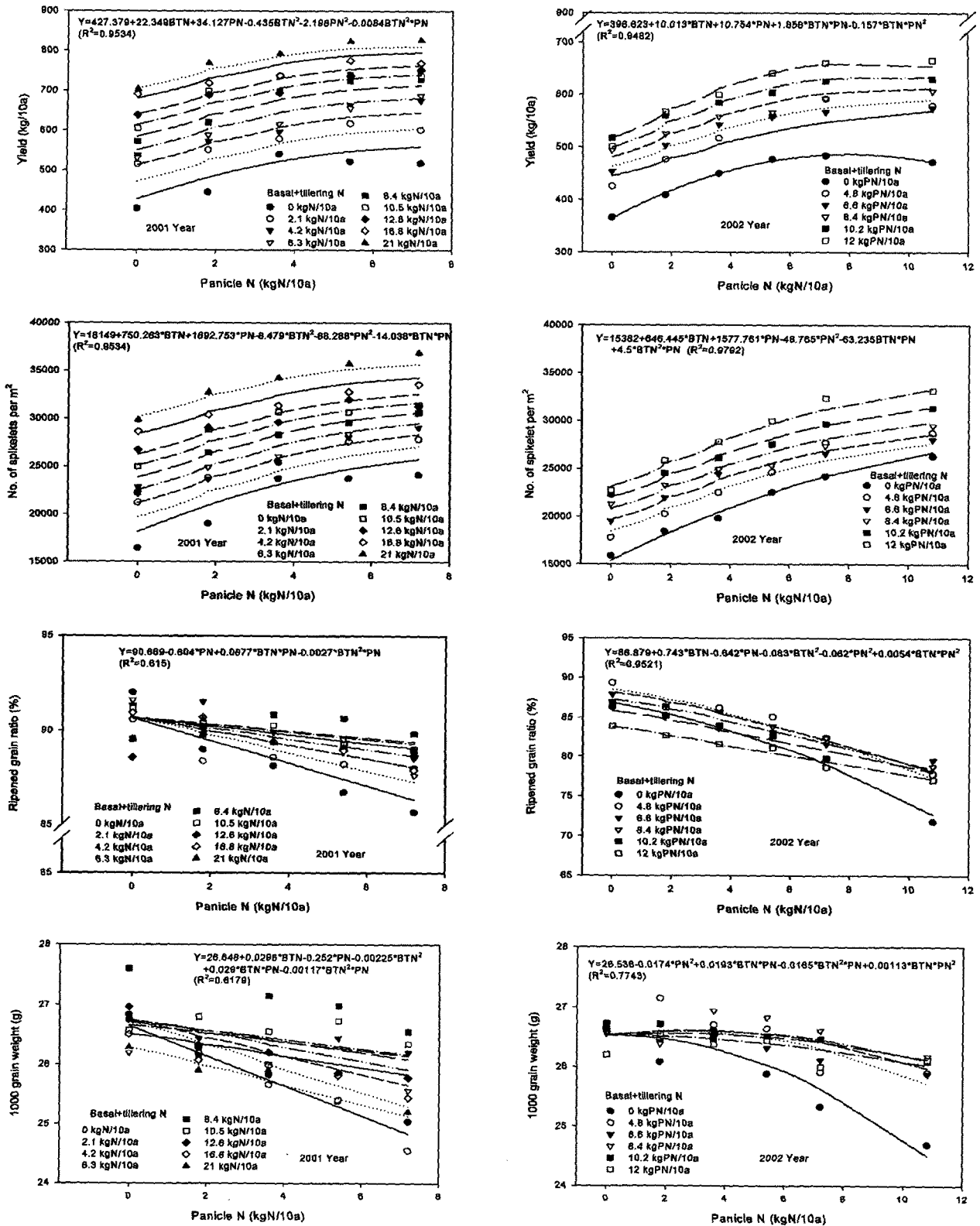


Fig. 2. Response of yield and yield components to panicle N application rate under different basal + tillering N levels in 2001 and 2002.

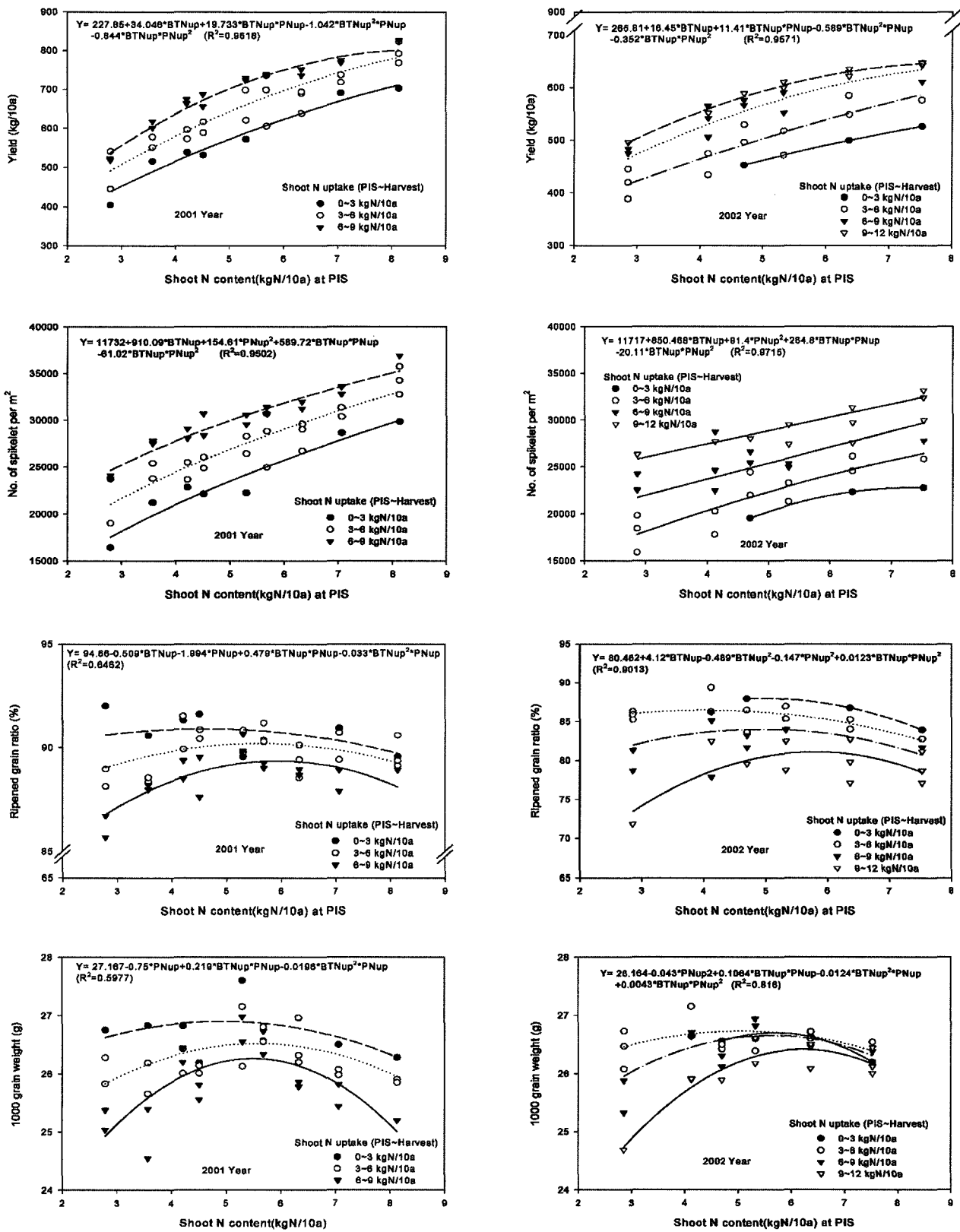


Fig. 3. Response of yield and yield components to shoot N content at panicle initiation stage (PIS) and shoot N accumulation from PIS to harvest.

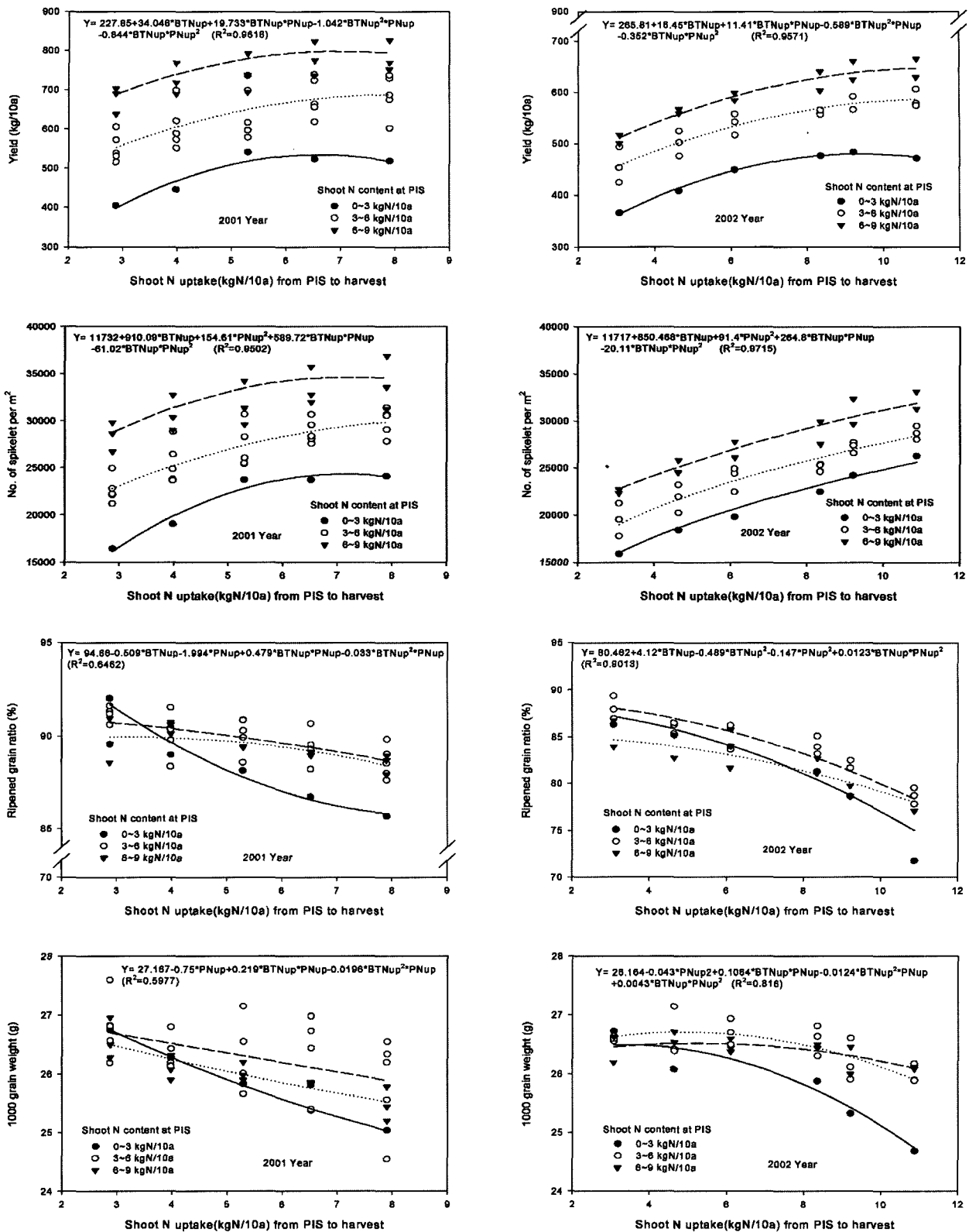


Fig. 4. Response of yield and yield components to shoot N accumulation from PIS to harvest and shoot N content at panicle initiation stage (PIS).



량이 5~6 kgN/10a까지는 수량이 직선적으로 증가하였으나 그 이상에서는 수량증가가 둔화되었다. 총영양수( $m^2$ ) 또한 수량반응과 비슷한 경향이었지만 질소흡수량이 많아 질수록 총영양수는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 반면 등숙률과 천립중은 유수분화기 이후 질소흡수량이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였는데, 영양생장기 질소흡수량이 적을수록 그 감소폭은 커지는 경향이였다. 영양생장기 질소흡수량이 적다는 것은 생육량이 그만큼 적다고 할 수 있는데, 생육량이 충분히 확보되지 못한 상황에서 질소흡수량이 과도하게 많아질 경우 등숙률과 천립중이 큰 폭으로 감소하기 때문에 수량은 오히려 감소하게 된다.

이상의 결과로 살펴보면 수량을 최대로 할 수 있는 영양생장기 질소흡수량과 유수분화기 이후 질소흡수량을 구할 수는 있지만, 질소흡수량이 적정수준 이상으로 증가할 경우 수량의 증가폭은 크게 감소할 뿐만 아니라 도열병 등 병충해를 입거나 풍수해로 인한 도복이 발생할 여지가 매우 크다. 따라서 유수분화기 이후의 질소흡수량은 영양생장기 생육 및 질소영양상태를 충분히 고려해서 결정되어야 할 것으로 판단된다.

앞에서 유수분화기 질소함량과 유수분화기 이후 질소흡수량에 따른 수량 및 수량구성요소의 반응을 2001년도와 2002년도로 구분하여 살펴보았다. 일반적으로 작물의 유전적 특성에 따라 작물이 흡수한 질소량에 대한 수량반응은 다르고, 또한 각 연차에 따라서 재배·기상환경은 다르기 때문에 연차적 변이가 존재하게 된다. 따라서 2001년과 2002년의 연차적 변이를 고려한 수량반응식을 얻고자 2001년에는 0, 2002년에는 1의 가변수(Dummy-variable)을 두어 양년도 통합식을 구하였다.

수량과 수량구성요소 모두 각 연차적 차이가 나타났는데, 수량의 Dummy-variable의 계수 -127이 뜻하는 것은 동일한

질소흡수량일지라도 2001년도가 2002년도에 비해 수량은 127 kg/10a가 많다는 것이다. 마찬가지로 2001년도가 2002년도에 비해 총영양수( $m^2$ )는 4370개가 많았으며, 등숙률은 4.9%가 높았고, 천립중은 0.37 g이 적었다. 수량과 총영양수 및 등숙률은 결정계수( $R^2$ )가 0.9 이상으로 높았지만, 천립중은 0.63으로 다소 낮았다.

표 4에서 얻어진 추정식을 이용하여 유수분화기 질소흡수량과 유수분화기 이후의 질소흡수량에 대한 수량의 등치선 반응곡선을 Dummy variable을 0.5로 두어 그림 5로 나타내었다. 질소흡수량에 따른 수량은 영양생장기 질소흡수량이 1 kgN/10a 증가할 때 약 30~50 kg/10a, 유수분화기 이후 질소흡수량이 1 kgN/10a 증가할 때 약 40~80 kg/10a 증가하는 것으로 나타나, 수량증가폭은 유수분화기 이후의 질소

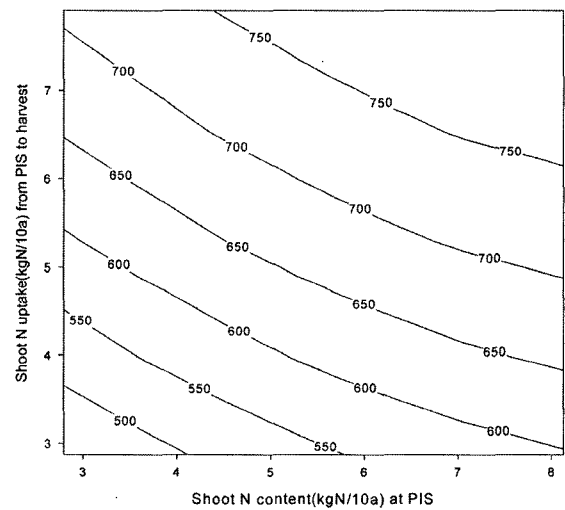


Fig. 5. Isopleth of yield in relation to shoot N content at panicle initiation stage (PIS) and shoot N uptake from PIS to harvest. Graph was drawn from the equation in Table 4.

Table 4. Regression equation of grain yield and its components to shoot nitrogen content at panicle initiation stage (BTNup) and N uptake from PIS to harvest (PNup). Data were pooled across years of 2001 and 2002.

Parameters	Equation	R <sup>2</sup>
Yield (kg/10a)	$Y = 96.54 + 84.02 \times PNup + 56.33 \times BTNup - 2.513 \times PNup^2 - 2.512 \times BTNup^2 - 0.191 \times BTNup \times PNup^2 - 127.37 \times Dummy^{\dagger}$	0.9437
No. of spikelet per m <sup>2</sup>	$Y = 4500.38 + 2819.88 \times BTNup + 2913.98 \times PNup - 73.68 \times PNup^2 - 185.23 \times BTNup \times PNup + 2.88 \times BTNup \times PNup^2 - 4369.55 \times Dummy$	0.9388
Ripened grain ratio (%)	$Y = 90.24 - 0.139 \times BTNup - 0.239 \times PNup^2 + 0.426 \times BTNup \times PNup - 0.049 \times BTNup^2 \times PNup + 0.021 \times BTNup \times PNup^2 - 4.86 \times Dummy$	0.9093
1000 grain weight (g)	$Y = 27.7 - 0.228 \times BTNup - 0.808 \times PNup + 0.00186 \times BTNup^2 + 0.227 \times BTNup \times PNup - 0.017 \times BTNup^2 \times PNup + 0.372 \times Dummy$	0.6307

<sup>†</sup>Dummy means dummy variable of which value was assigned as zero for year 2001 and one for year 2002.

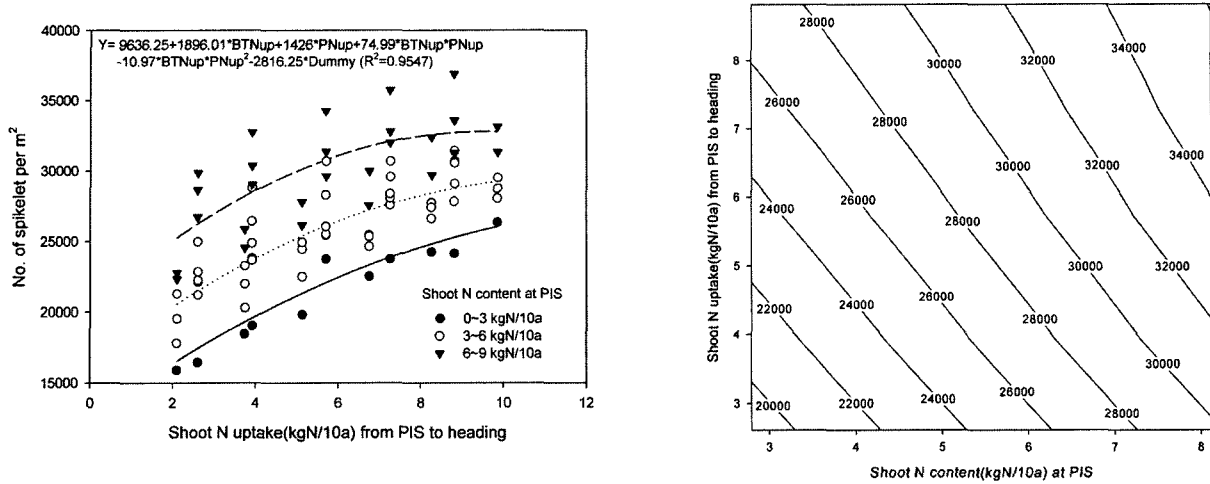


Fig. 6. Response of spikelet number ( $/m^2$ ) (left) and isopleth of spikelet number ( $/m^2$ ) (right) in relation to shoot N content (BTNup) at panicle initiation stage (PIS) and shoot N accumulation (PNup) from PIS to heading.

흡수량에 더 크게 영향 하는 것으로 나타났다. 이는 영양생장기 질소흡수량이 주로 작물의 엽, 줄기 등 건물생산에 주로 쓰인 반면, 유수분화기 이후의 질소흡수량은 엽, 줄기보다도 이삭의 건물생산에 주로 쓰이기 때문에 나타난 결과로 보인다.

**유수형성기간 중의 질소흡수량과 단위면적당 영화수의 관계**

단위면적( $m^2$ )당 영화수는 sink size를 대표하는데, 이 sink size는 수량을 결정짓는 1차적인 요소로 수량형성과정에 있어서 약 80% 이상의 변이를 설명할 수 있다고 한다(Kropff *et al.*, 1994; Ying *et al.*, 1998). Sink size는 출수기 이전에 결정되는데, Kropff 등(1994)은 sink size가 유수분화기부터 출수기까지의 건물증과 밀접한 관련이 있다고 보고하였고, 우메다와 이(2000)는 단위면적당 영화수는 출수기 벼의 질소보유량에 의해 결정된다고 하였다.

유수분화기부터 출수기까지의 질소흡수량에 따른 단위면적당 영화수의 변이를 살펴보면(그림 6), 단위면적당 영화수는 유수분화기부터 출수기까지의 질소흡수량이 7~8 kgN/10a까지는 직선적으로 증가하였지만 그 이상에서는 증가폭이 둔화되었다. 영화수 반응을 등치선 반응곡선으로 표현한 것이 그림 6(右)인데, 영화수는 영양생장기 질소합량이 1 kgN/10a 증가할 때 약 1,900여개 증가하는 것으로, 유수분화기이후 출수기까지의 질소흡수량이 1 kgN/10a 증가할 때 약 1,400~1,500여개 증가하는 것으로 나타났다. 단위질소

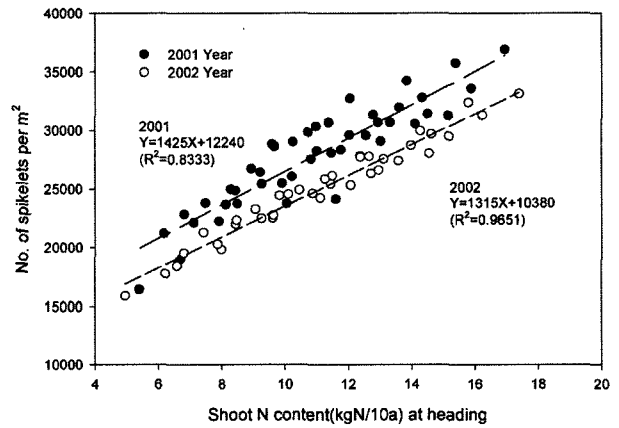


Fig. 7. Relationship between spikelet number ( $/m^2$ ) and shoot N content at heading stage.

흡수량당 영화수 증가분이 생식생장기보다 영양생장기에서 더 크다는 것은 이삭당영화수 증가보다도 이삭수확보가 sink size에 우선한다는 것을 보여준다.

이양이후 출수기까지의 질소흡수량에 따른 단위면적당 영화수를 살펴보면(그림 7), 출수기까지의 질소흡수량이 증가할수록 영화수는 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 2001년도와 2002년도에 연차간 변이가 존재하여 2001년도가 질소흡수량당 영화수 증가폭이 더 크게 나타났는데, 이처럼 유수형성기때 분얼수가 2002년도가 2001년도에 비해 다소 많았음을 감안한다면(표 2), 이는 유수분화기 이후의 기상여건이 2001년도가 평년보다 매우 양호한 반면

2002년도는 평년보다 매우 나뭇기 때문인 것으로 판단된다. 출수기까지의 질소흡수량이 4~6 kgN/10a일 경우 총영양수(/m<sup>2</sup>)는 15,000~20,000개였고, 12 kgN/10a일 경우 25,000~30,000개였으며, 16~18 kgN/10a일 경우 30,000~40,000개 정도였다. 2001년의 기상조건과 2002년의 기상조건이 극과 극이었던 점을 감안한다면, 출수기까지의 질소흡수량에 따른 총영양수는 이 범위내에서 크게 벗어나지 않을 것으로 생각되어진다. 반면, 일본의 교토대학에서 질소시비량 산출모델을 위해서 실험한 결과(우메다와 이, 2000) 출수기 질소보유량이 12~13 kgN/10a인 경우 단위면적(/m<sup>2</sup>)당 영양수는 35,000~40,000개, 18 kgN/10a일 경우 약 45,000~50,000개로 나타나 본 실험결과보다 영양수가 매우 많았는데, 이는 품종·재식밀도·기후환경 등이 다르기 때문으로 판단된다.

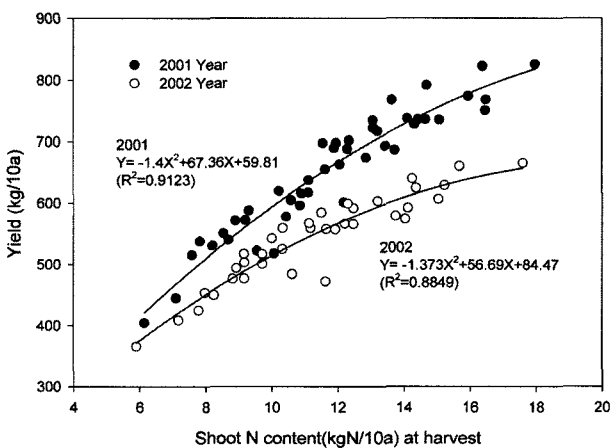
**수확기 지상부 질소함량과 수량과의 관계**

이양 후부터 수확기까지의 질소흡수량에 따른 수량반응을 살펴보면(그림 8) 수량은 영양생장기 또는 생식생장기 질소흡수량의 다과에 관계없이 이들의 총합인 지상부 질소함량과 2차 곡선관계를 보였는데, 이는 어느 시기에 얼마만큼 질소를 흡수하느냐 보다는 생육기간 전체를 통하여 흡수한 총량에 의하여 수량이 좌우되는 것으로 볼 수 있다. 이는 대부분의 질소흡수가 출수기에 이르러 완료되며(Ladha *et al.*, 1998; 조 등, 1995) 출수기까지의 질소흡수량과 총영양수와는 매우 유의한 상관관계( $r=0.94$ )가 존재하기 때문인(Schnier *et al.*, 1990) 것으로 판단된다. 본 실험에서도 비록 연차 간에 차이가 존재하였지만 출수기 지상부 질소함량

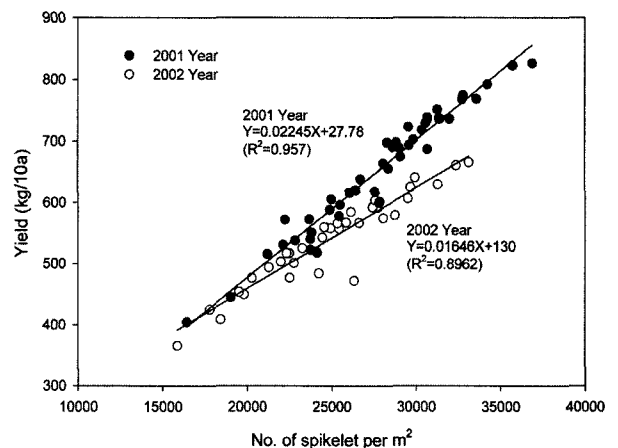
과 총영양수와는  $R^2 > 0.83$ 의, 총영양수와 수량간에는  $R^2 > 0.89$ 의 직선적인 회귀관계가 존재하였다(그림 7, 9). 질소흡수량에 따른 수량증가폭은 '01년도가 '02년도에 비해 컸는데, 이는 유수분화기 이후 등숙기까지의 기상여건이 '01년도가 '02년도에 비해 매우 좋았기 때문이었다.

단위면적(m<sup>2</sup>)당 총영양수와 수량과의 관계를 살펴보면(그림 9), 단위면적당 영양수와 수량사이에는 1차 직선관계가 성립되어 영양수가 증가할수록 수량도 증가하는 것으로 나타났다. 앞서 살펴본 바와 같이 단위면적당 영양수는 수량을 결정짓는 1차적인 요인인데, 단위면적당 영양수에 따라서 수량이 2001년도와 2002년도에 차이가 난 것은 등숙기 환경에 따라서 등숙률과 천립중이 달라졌기 때문이었다.

수확기까지의 질소흡수량에 대한 수량반응식에서 수량이 더 이상 증가하지 않는 질소흡수량을 구할 수 있는데, 2001년도에는 24 kgN/10a로 2002년도에는 21 kgN/10a로 구해졌다. 질소흡수량이 크게 증가할 때까지 수량이 증가하는 경향을 보이는 것은 과거에 육성된 품종과는 달리 최근에 육성된 품종들은 semi-dwarf 유전자를 포함하고 있어서 절간신장이 작아 줄기가 굵고, 엽이 직립형이고 두꺼우며, 지엽이 이삭위에 존재하여 이삭에 의한 차광효과가 적은 내비성과 내도복성의 특징을 갖고 있기 때문이다(Hu, 1973; Sasahara and Itoh, 1989; Peng *et al.*, 1994; 조 등, 1995). 보통 품종이 높은 질소시비수준에서만 질소흡수량과 건물생산이 많은 반면, semi-dwarf 유전자를 포함한 벼 품종은 낮은 질소시비수준에서도 질소흡수량과 건물생산이 많다고 한다(Guindo *et al.*, 1994).



**Fig. 8.** Relationship between yield and shoot N content at harvest in 2001 and 2002.



**Fig. 9.** Relationship between yield and spikelet number (/m<sup>2</sup>) in 2001 and 2002.

## 적 요

안정적인 고품질 쌀의 생산을 위한 수비처방을 하기 위해서는 유수형성기 생육상태와 질소영양상태별 질소시비량에 따른 수량반응에 대한 이해가 있어야만 한다. 따라서 본 연구는 기비와 분얼비 시용량을 달리하여 유수분화기에 다양하게 조성된 벼 생육 및 질소영양상태별로 수비 질소 시용량을 달리하였을 때의 수량반응을 질소시비량과 질소흡수량으로 살펴봄으로써 수비처방에 필요한 기초 자료를 얻고자 하였다.

1. 기비 + 분얼비와 수비 시용량 간에는 유의한 상호작용이 없어 수비 시용량에 관계없이 기비 + 분얼비가 증가할수록 그리고 기비 + 분얼비 시용량에 관계없이 수비 시용량이 증가할수록 수량은 증가하는 경향이였다.

2. 영양생장기 시비량(기비 + 분얼비)이 10~12 kgN/10a 까지 생식생장기 시비량(수비)이 6 kgN/10a까지 증가할수록, 그리고 영양생장기 질소흡수량이 6~7 kgN/10a까지 생식생장기 질소흡수량이 5~6 kgN/10a까지 수량은 직선적으로 유의하게 증가하는 경향이였으나 그 이상일 경우 수량 증가폭은 점차 줄어들었는데, 이는 등숙률과 천립중이 크게 감소하기 때문이었다.

3. 단위질소흡수량당(kgN/10a) 총영양수( $m^2$ ) 증가는 영양생장기가 약 1900여개, 생식생장기가 1400~1500여개였지만 단위질소흡수량당 수량증가(kg/10a)는 영양생장기가 30~50, 생식생장기가 40~80 정도였다.

4. 총영양수는 출수기 질소흡수량과 직선적인 관계를 보이고 수량은 시기별 질소흡수량의 다과에 상관없이 이들의 총합인 수확기 질소함량과 2차 곡선관계( $R^2 > 0.88$ )를 보였는데, 이는 어느 시기에 질소를 흡수하느냐보다는 생육기간의 총질소흡수량에 의해 수량이 좌우되는 것으로 볼 수 있다. 또한 질소흡수량이 같더라도 총영양수와 수량은 연차간에 차이를 보였다.

## 사 사

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-4301)의 지원으로 수행되었습니다.

## 인용문헌

- Cui, R. X., M. H. Kim, J. H. Kim, H. S. Nam, and B. W. Lee. 2002. Determination of critical nitrogen concentration and dilution curve for rice growth. *Korean Journal of Crop Science*. 47 : 127-131.
- Diker, K. and W. C. Bausch. 2003. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen. *Biosystems Engineering* 86(4) : 411-420.
- Fischer, K. S. 1998. Toward increasing nutrient-use efficiency in rice cropping systems: the next generation of technology. *Field Crops Research* 56 : 1-6.
- Guindo, D., B. R. Wells, and R. J. Norman. 1994. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 : 840-845.
- Hansen, P. M., J. R. Jørgensen and A. Thomsen. 2002. Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *Journal of Agricultural Science*. 139 : 307-318.
- Hinzman, L. D., M. E. Bauer, and C. S. T. Daughtry. 1986. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remote Sensing of Environment* 19 : 47-61.
- Hu, C. H. 1973. Evaluation of breeding semidwarf rice by induced mutation and hybridization. *Euphytica*. 22 : 562-574.
- Nguyen, T. H., M. H. Kim, and B. W. Lee. 2006a. Response of grain yield and milled-rice protein content to nitrogen topdress timing at panicle initiation stage of rice. *Korean J. Crop Sci.* 51(1) : 1-13.
- Nguyen, T. H., M. H. Kim, L. T. Nguyen, and B. W. Lee. 2006b. Response of grain yield and milled-rice protein content to nitrogen rates applied at different growth stages of rice. *Korean J. Crop Sci.* 51(1) : 14-25.
- Kropff, M. J., K. G. Cassman, S. Peng, R. B. Matthews, and T. L. Setter. 1994. Quantitative understanding of yield potential. In : Cassman, K. G. (Ed.), *Breaking the yield barrier*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. pp. 57-60.
- Ladha, J. K., A. Tirol-Padre, G. C. Punzalan, E. Castillo, U. Singh, and C. K. Reddy. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. *Agronomy Journal* 90 : 33-40.
- Mills, H. A. and J. B. Jr. Jones. 1979. Nutrient deficiencies and toxicities in plants : nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 1 : 101-122.
- Ntamatungiro, S., R. J. Norman, R. W. McNew, and B. R. Wells. 1999. Comparison of plant measurements for estimating nitrogen accumulation and grain yield by flooded rice. *Agronomy Journal* 91 : 676-685.
- Oh, Y. J. and K. H. Park. 1993. In : *Low input sustainable crop production systems in Asia*. KSCS (Korean Journal of Crop Science) symposium in Seoul Nat.'l Univ. pp. 125-139.
- Peng, S., G. S. Khush, and K. G. Cassman. 1994. Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential. In

Cui, R. X., M. H. Kim, J. H. Kim, H. S. Nam, and B. W. Lee. 2002. Determination of critical nitrogen concentration and dilution curve for rice growth. *Korean Journal of Crop*

- : K. G. Cassman (Editor), Breaking the yield barrier. IRRI. pp. 5-20.
- Perez, C. M., B. O. Juliano, S. P. Liboon, J. M. Alcantara, and K. G. Cassman. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal Chem.* 73 : 556-560.
- Sasahara, T. and Y. Itoh. 1989. Comparison of the effect of fertilizer application at and after the stage of panicle-base initiation on yield and yield components of semi-dwarf and standard rice cultivars. *Field Crops Research.* 20 : 157-164.
- Schnier, H. F., M. Dingkuhn, S. K. De Datta, K. Mengel, and J. E. Faronilo. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice : I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield. *Crop Sci.* 30 : 1276-1284.
- Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield : I. Modeling physiological responses. *Agronomy J.* 87 : 632-641.
- Ying, J., S. Peng, Q. He, H. Yang, C. Yang, R. M. Visperas, and K. G. Cassman. 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments : I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Research* 57 : 71-84.
- 김재현, 한희석, 양운호, 김제규, 이문희. 1999. 평야지 벼 다수확 재배기술 연구. 농촌진흥청 시험연구보고서(수도편). pp. 450-459.
- 우메다 미키오, 이충근. 2000. 일본에 있어서 정밀농업 연구(제 1회) : 질소시비량 산출모델과 포장지도의 작성에 관한 연구. *한국농업기계학회지* 25 : 421-427.
- 조동삼 외 14인 공저. 1995. 벼의 생리와 생태. 향문사.