

벼 유수분화기 생육 및 질소영양 상태에 따른 쌀 단백질함량의 수비 질소 반응

김민호 · 이규종 · 이변우[†]

서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부

Response of Grain Protein Content to Nitrogen Topdress Rate at Panicle Initiation Stage under Different Growth and Plant Nitrogen Status of Rice

Min-Ho Kim, Kyu-Jong Lee, and Byun-Woo Lee[†]

Department of Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

ABSTRACT As protein content of milled rice, generally used as a benchmark for rice eating quality, is greatly affected by N fertilization and nutrition status of rice plant, understanding its response to nitrogen rate and plant nitrogen status at different growth stage is important for recommending N fertilizer management for high quality rice production. The responses of milled-rice protein content were compared and quantified under various combinations of basal+tillering and panicle N application levels in 2001 and 2002. Protein content of milled rice was ranged from 6 to 9%, increasing significantly with increasing basal+tillering and panicle N rates. However, milled rice protein content was raised much greater by panicle N than by basal+tillering N fertilization. Even though basal+tillering N increased up to 20 kg/ha, protein content of milled rice was observed less than 7% in case that panicle N was applied below 1.8 kg/10a. Regression analysis revealed that nitrogen accumulated until harvest was partitioned with almost constant rates of 58.3% and 46.5% to panicle and milled rice, respectively. The partitioning rates was slightly but not significantly different between experimental years. Protein content of milled rice showed linear and quadratic responses to the shoot N accumulation until panicle initiation stage (PIS) and shoot nitrogen accumulation from PIS to harvest, respectively. The increment of milled-rice protein content per unit N increase was much greater in shoot N accumulation from PIS to harvest than in that until PIS. Regardless of shoot N accumulation until PIS upto 8 kg/10a, protein content of milled rice was lower than 7% and ranged from 6.5 to 7.5% in case that shoot N accumulation from PIS to harvest was below 3.0 kg/10a and below 6.0 kg/10a respectively. It would be concluded that even under

the same N accumulation until harvest milled rice protein content could be different according to the N fertilizer management and weather condition especially during ripening, providing rooms for controlling protein content by N fertilizer management without damage to grain yield.

Keywords : rice, protein, nitrogen, top-dressing

쌀이 지닌 단백질 조성의 우수성으로 인해(Perez *et al.*, 1996; 박, 1994; Martin and Fitzgerald, 2002), 1960~70년대에는 국제미작연구소와 우리나라는 쌀의 단백질 함량을 높이고자 고단백질 벼 품종의 육종 및 재배·시비·환경 조건에 대한 연구가 진행되었다(허 등, 1974; Perez *et al.*, 1996). 지금도 쌀의 단백질 함량을 증가시키기 위한 연구가 많이 진행되고 있으나, 우리나라에서는 고품질 쌀 생산이라는 측면에서 쌀의 단백질 함량을 낮추려는 연구와 함께 쌀의 lysine 함량을 높여 단백질 조성을 변화시키고자 하는 연구가 병행되고 있다. 쌀의 단백질함량은 아밀로스 함량과 함께 쌀의 식미를 결정하는 요인으로 아밀로스 함량이 적정 수준 이상으로 높을 경우 쌀의 점도와 응집력이 떨어져 찰기가 없고, 단백질 함량이 높을 경우 쌀의 경도가 높아지고 점도가 떨어져 식미치가 낮아진다(박 등, 1994; Martin and Fitzgerald, 2002; 손 등, 2002). Juliano *et al.*(1973)가 7760개의 벼 품종을 조사하여 쌀의 단백질 함량은 5~17% 범위라고 하였으며, Heu 등(1969)은 33개 벼 품종에 대한 실험에서 5.3~9.4% 정도라고 보고하였다. 우리나라와 일본에서 재배하는 벼의 평균 단백질함량은 현미 7.4%, 백미 6.8%로 세계평균보다 낮다고 한다(손 등, 2002). 벼의 단백질 함량은 품종, 재배환경 및 기상환경에 따라서 달라지는데(Gomez and De Datta, 1975), 품종이나 기상환경보다는 주로 이앙시기,

[†]Corresponding author: (Phone) +82-2-880-4544
(E-mail) leebw@snu.ac.kr <Received August 25, 2006>

지역, 토양비옥도, 질소 시비수준, 재식밀도 등 재배여건에 의해 더 큰 영향을 받는다(Heu *et al.*, 1969; 허 등, 1974). 그 중에서도 질소시비수준은 단백질 함량에 가장 크게 영향을 한다고 한다(Heu *et al.*, 1969; Perez *et al.*, 1996). 쌀의 단백질 함량은 질소시비량이 많을수록(Patrick *et al.*, 1974; Souza *et al.*, 1993), 동일한 시비량이라도 수비중점 시비일 경우나 알거름을 줄 경우(De Datta *et al.*, 1972; Perez *et al.*, 1996), 그리고 수비시기가 늦을수록(Islam *et al.*, 1996; Nguyen *et al.*, 2006a) 증가한다고 한다. 질소추비에 따른 단백질 함량 증가는 자포니카보다는 인디카에서 현저하다고 한다(허와 박, 1973; Islam *et al.*, 1996).

출수기 식물체내 질소함량과 단백질함량간에는 매우 밀접한 관련이 있다. 출수기 이삭수를 흡수질소량으로 나눈 흡수질소량당 이삭수와 단백질함량간, 그리고 1립중과 단백질함량간에는 부의 상관관계가 있으며(Matsue *et al.*, 1994; Matsuda *et al.*, 1997), 1수 이삭수 및 영화 1립내의 질소함량과 단백질함량 간에는 정의 상관관계가 존재한다(Matsuda *et al.*, 2000). 단백질 함량은 한 이삭내의 위치에 따라서도 6~8%의 변이를 보여 상위에 있는 1차지경에서의 단백질 함량은 하위의 2차지경에 비해 낮다(Matsue *et al.*, 1994).

이상에서 보는 바와 같이 밥맛과 밀접한 관계가 있는 쌀

의 단백질 함량은 질소 시비 체계와 밀접한 관련이 있다. 그러나 종전의 시비관리 체계는 다수성을 목표로 하여 설정된 것으로 쌀의 품질과 수량 향상을 동시에 충족해야하는 현재의 상황에서는 이의 재검토가 요구된다. 따라서 본 연구는 기비 및 분얼비 사용량을 달리하여 수비 시기인 유수분화기에 다양하게 조성된 벼 생육 및 질소영양상태 별 수비 질소 사용량에 대한 쌀 단백질함량 반응을 검토하여 고품질 쌀의 다수확에 맞는 질소 시비체계 설정을 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

2001년과 2002년 두 해에 걸쳐 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장에서 화성비를 공시하여 실험하였다. 실험포장은 유기물함량이 2.0~2.1%로 비교적 낮고, CEC가 12.3~13.1 cmol⁽⁺⁾/kg, pH가 5.5~5.7인 사질식양토(sandy clay loam)였다. 4월 24일('01)과 23일('02)에 기계이앙상자에 최아한 종자를 파종, 출아, 녹화시킨 후 비닐보온절충못자리에서 육묘하였고, 5월 22일('01)과 21일('02)에 재식밀도 15×30 cm²로 1주3본으로 손이앙하였다.

N-P₂O₅-K₂O = 12-8-8 kg/10a를 기준시비량으로 하여 Table

Table 1. Summary of nitrogen application treatments in 2001 (upper) and 2002 (lower).

Treatment	Basal N.	Tillering N.				Panicle N.	Total (kgN/10a)				
		10DAT	20DAT	30DAT	Total						
T1	0N	0N			0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N	0.0	1.8	6.0	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	6.0	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	12.0	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	18.0	19.8
T8	2N	1N	0.5N	0.5N	2N	"	16.8	18.6	20.4	22.2	24.0
T9	2.5N	1N	1N	0.5N	2.5N	"	21.0	22.8	24.6	26.4	28.2

Treatment	Basal N.	Tillering N. (12DAT)			Panicle N.	Total (kgN/10a)					
T1	0N			0N	0N, 0.5N, 1N, 1.5N, 2N, 3N	0.0	1.8	3.6	5.4	7.2	10.8
T2	1N			0N	"	4.8	6.6	8.4	10.2	12.0	15.6
T3	1N			0.5N	"	6.6	8.4	10.2	12.0	13.8	17.4
T4	1N			1N	"	8.4	10.2	12.0	13.8	15.6	19.2
T5	1N			1.5N	"	10.2	12.0	13.8	15.6	17.4	21.0
T6	1N			2N	"	12.0	13.8	15.6	17.4	19.2	22.8

DAT = days after transplanting

1N in basal, tillering, and panicle N fertilizer amounts at 4.8, 3.6, and 3.6 kg/10a, respectively.

Table 2. Weather conditions during rice growing season in experimental years of 2001 and 2002.

		T.P.~PIS		PIS~H		H~E.R.S.		E.R.S.~H.S.		T.P.~H.S.	
		AVG	SUM	AVG	SUM	AVG	SUM	AVG	SUM	AVG	SUM
Temperature (°C)	Normal	21.7	1299.0	26.0	624.4	24.7	493.0	19.6	665.0	22.3	3081.4
	2001	22.6	1357.4	26.3	631.3	25.3	506.2	20.7	703.8	23.2	3198.7
	2002	21.4	1283.1	24.8	596.1	23.7	473.0	19.8	672.8	21.9	3025.0
Precipitation (mm)	Normal	5.7	343.3	9.7	233.3	10.2	203.2	3.8	129.4	6.6	909.2
	2001	4.7	279.7	19.1	457.8	5.1	102.0	0.8	25.8	6.3	865.3
	2002	3.6	218.1	20.1	483.2	5.2	103.3	1.5	52.3	6.2	856.9
Duration of sunshine (hours)	Normal	6.3	375.0	5.7	136.8	5.4	107.9	6.4	219.0	6.1	838.7
	2001	5.4	321.1	4.2	101.1	8.0	160.5	7.0	236.8	5.9	819.5
	2002	7.3	436.6	2.8	67.3	2.7	54.7	5.8	197.2	5.5	755.8

T.P. = transplanting, PIS = panicle initiation stage, H = heading,

E.R.S. = early ripening stage (from heading to 20 days after heading), H.S. = harvest, AVG = average, SUM = summation

1에서와 같이 기비, 분얼비 및 수비 시용량을 다양하게 처리하였다. 인산은 전량기비, 가리는 기비 : 수비 = 70 : 30으로 분시하였다. 출수기는 두해 모두 8월 12일이었다.

이양 후 7~14일 간격으로 각 처리구당 3주씩 예취하여 부위별로 분리하고, 72°C에서 72시간 건조하여 건물중을 칭량하였으며, 칭량이 끝난 건물은 마쇄기로 분쇄하여 Kjeldahl 방식(Auto-Kjeltec 1035 System, Tecator社, Swiss)으로 질소를 분석하였다. 수량은 각 시험구별로 72주를 예취하여 상법에 준하여 조사하였고, 수분함량을 조사하여 14% 수분함량에서 수량으로 보정하였다. 수량 조사 후 시료는 9분도미로 도정하였다. 백미의 단백질함량은 백미를 72°C에서 72시간 건조 후 식물체와 동일하게 Kjeldahl방식으로 분석한 전질소 함량에 쌀의 단백질 계수 5.95를 곱하여 계산하였다. 중회귀분석은 SAS의 stepwise regression을 적용하였으며, 변수의 선택은 5% 유의수준에서 forward selection 방법을 이용하였다.

Table 2는 벼 재배 기간 중 기상 상태를 주요 생육시기별로 나타낸 것이다. 일평균기온은 2001년도가 평년보다 다소 높았으나 2002년도는 평년보다 낮았고 특히 유수분화기부터 출수기까지는 평년보다 1.2°C 낮았다. 강수량은 두해 모두 평년에 비해 많았다. 일조시간의 경우 2001년도에는 출수기 이전에는 예년보다 적었으나 등숙기에는 현저하게 많았다. 반면에 2002년도는 유수형성기 이전에는 예년보다 일조시간이 많았으나 그 후 성숙기까지 적었으며 특히 유수분화기부터 출수후 20일까지는 예년의 절반 이하로 크게 적었다.

결과 및 고찰

질소시비량에 따른 단백질함량 변화

기비+분얼비와 수비 질소 시용량에 따른 백미의 단백질함량을 나타낸 것이 Fig. 1이다. 백미 단백질함량은 6~9% 정도의 범위였으며, 기비+분얼비의 시용량이 증가할수록 그리고 수비시용량이 증가할수록 단백질함량도 증가하는 경향을 보였다. 이는 Perez 등(1996)이 0~19 kg/10a 시비 수준에서 IR계통 벼의 백미 단백질함량이 5.63~8.1%라 보고한 것보다 다소 높은 것이나 Heu 등(1969)이 보고한 현미 단백질함량 5.3~9.4%와는 비슷한 결과이다. 기비+분얼비 질소 시용량이 증가할 수록 단백질 함량은 높아졌으나 그 증가폭은 크지 않았고, 20 kg/10a까지 기비+분얼비 시용량이 많아지더라도 수비 질소 시용량이 1.8 kg/10a이하일 경우 단백질함량은 7% 이하를 나타내었다. 수비 질소 시용량 증가에 따른 단백질 함량 증가는 기비+분얼비 증가에 따른 단백질함량 증가 보다 현저하였고, 그 증가 폭은 기비+분얼비 시용량이 커질수록 커졌다. 즉, 백미의 단백질 함량은 영양생장기 시비량보다 수비 시용량에 의해 크게 좌우되었는데, 이는 Nguyen *et al.*(2006b)의 보고와 같은 결과였다. 질소 추비 시기가 늦을수록 미립 단백질 함량에 미치는 영향이 커지는 것은 시비 질소의 식물체 회수율이 높아질 뿐만 아니라(김 등, 2006a) 흡수 질소가 직접 미립으로 전류되어 축적되는 양이 많아지기 때문인 것으로(Matsushima, 1995) 판단된다.

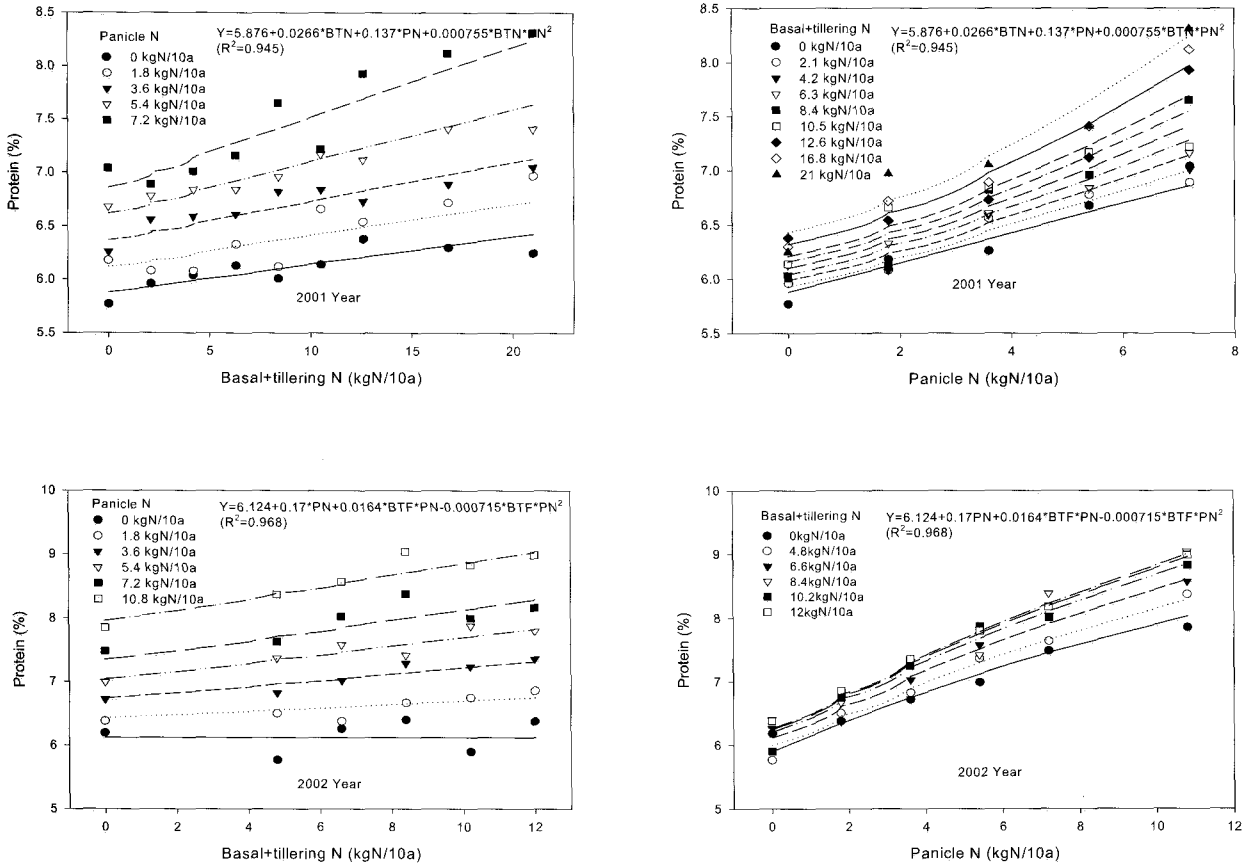


Fig. 1. Protein content of milled rice in response to basal+tiltering (BTN) and panicle fertilizer N (PN) levels in 2001 and 2002.

흡수 질소의 이삭 및 백미로의 배분

벼가 흡수한 질소의 이삭으로의 배분 정도를 알아보기 위하여 수확기 지상부 전체의 질소 함량과 이삭의 질소 함량 및 백미 중의 질소함량과의 관계를 살펴보았다(Fig. 2), 2001년과 2002년 모두 수확기 질소함량과 이삭 및 백미 질소함량 간에 고도로 유의한 직선회귀관계를 보였다. 수확기 지상부에 집적된 질소 중 이삭 또는 백미로 배분된 비율은 2002년에 비하여 2001년에 다소 높았으나 유의적인 차이는 아니었다. 2001년과 2002년을 통합하더라도 수확기까지의 지상부 총 질소 집적량과 이삭 및 백미 질소함량과는 매우 유의한 직선회귀 관계를 나타내어, 평균적으로 보면 수확기 지상부 총 질소 집적량 중 약 58.3%와 46.5% 정도가 각각 이삭 및 백미의 질소를 구성하는 것으로 나타났다. Nguyen *et al.*(2006b)도 품종 연차에 관계없이 수확기 지상부 전체 질소함량 중 백미로 전이된 비율은 45.5%라고 하여 본 연구와 큰 차이가 없었다. 또한 Martre *et al.*(2003, 2006)은 밀에서 곡립으로의 질소 분배는 sink size나 strength에 의해

서 결정되는 것이 아니라 source의 N availability에 의하여 결정된다고 하였다. 이와 같은 결과들로부터 추론하여 보면 수확기까지의 질소 흡수량이 같다고 하더라도 sink size(영화수)가 크게 형성되었거나 기상이 좋아 등숙이 잘 된 경우 미립의 단백질 함량은 그렇지 않은 경우 보다 낮아질 것으로 판단된다.

2001년과 2002년 자료를 통합하여 유수분화기 지상부 질소함량과 유수분화기 이후 수확기까지의 질소집적량에 따른 백미의 질소함량 반응을 나타낸 것이 Fig. 3이다. 백미의 질소함량은 유수분화기 지상부 질소함량이 증가함에 따라서 2차 곡선적인 반응을 보이거나 유수분화기 이후 질소 집적량 증가에 따라서는 직선적으로 증가하는 경향을 보이며 또한 이들 간의 상승적 상호작용도 인정되었다. 단위 질소 흡수량 증가에 따른 백미 질소 함량 증가는 유수분화기까지 지상부 질소 집적량 보다는 유수분화기 이후 질소 집적량의 영향이 커서, 영양생장기 질소흡수량보다는 유수분화기 이후의 질소흡수량에 의해 더 크게 영향 받는 것으로 나타났다.

질소흡수량에 따른 백미 단백질함량의 변화

질소의 회수율은 토양의 양분유효도 · 기상환경 · 재배관리 등 여러 요인에 따라 달라지기 때문에, 시비량 자체 보다

는 작물이 실제로 흡수한 질소량을 기준으로 작물에 대한 영향을 검토하는 것이 바람직하다(Muchow and Sinclair, 1995). 우수분화기 지상부 질소함량과 우수분화기 이후 질소축적량에 따른 미립단백질 함량의 변화를 중회귀 분석을 통하여 살펴보았다(Fig. 4). 미립단백질 함량은 우수분화기까지 지상부 질소 집적량의 증가에 의해서도 다소 증가하나 그 증가폭은 크지 않았고, 우수분화기 이후 지상부 질소집적량 증가에 의해 크게 증가하였으며, 또한 연차에 관계없이 우수분화기까지 질소집적량과 우수분화기 이후 질소 집적량 간에 상호작용이 있어서, 우수분화 전과 후의 질소집적량이 증가하면 미약하기는 하지만 미립 단백질 함량이 상승적으로 증가하였다.

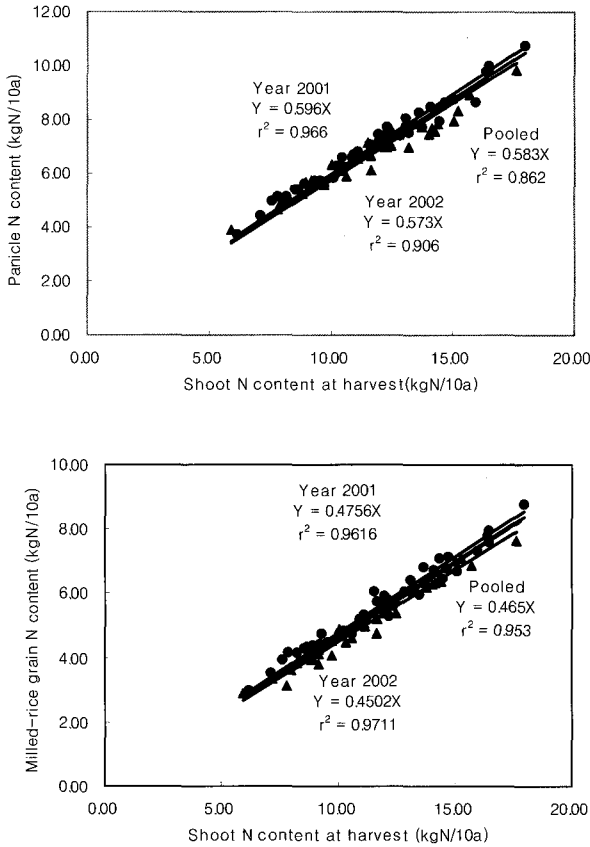


Fig. 2. Relationship of shoot N content with panicle N content and milled grain N content at harvest.

한편 2001년과 2002년에 미립의 단백질함량을 비교해 보면 2001년이 2002년에 비하여 이삭으로의 흡수 질소의 배분이 다소 많았음에도 불구하고(Fig. 2), 우수분화기까지 질소 집적량과 우수분화 이후 질소 집적량이 같더라도 2002년에 비하여 2001년도가 미립단백질함량이 현저히 낮았는데, 이는 우수분화기 이후의 기상여건이 양 연도 간에 현저히 차이가 있어서 sink size의 형성과 충진율이 다르고(Kropff *et al.*, 1993), 또한 이삭내 질소흡수량과 단백질함량이 증가 하더라도 어느 특정한 부위에 집적되는 것이 아니라 각각의 영화에 골고루 분포하기 때문에(Juliano *et al.*, 1973) sink size가 커지거나 영화수의 부피가 커지게 되면 미립단백질 함량은 낮아지기 때문이다. 결국 2001년도는 2002년에 비하여 우수분화기 이후 수확기까지 일조량이 현저히 많아 (Table 2) sink의 형성과 충진에 유리하였기 때문인 것으로 판단된다.

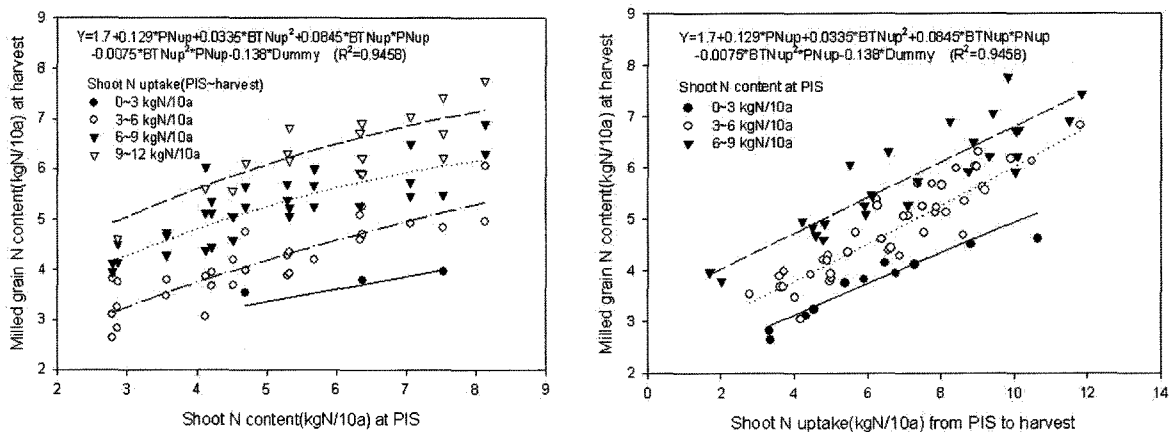


Fig. 3. Response of milled rice N content to shoot N content (BTNup) at panicle initiation stage (PIS) and shoot N accumulation (PNup) from PIS to harvest. In the regression Dummy means dummy variable assigned as 0 and 1 to 2001 and 2002, respectively.

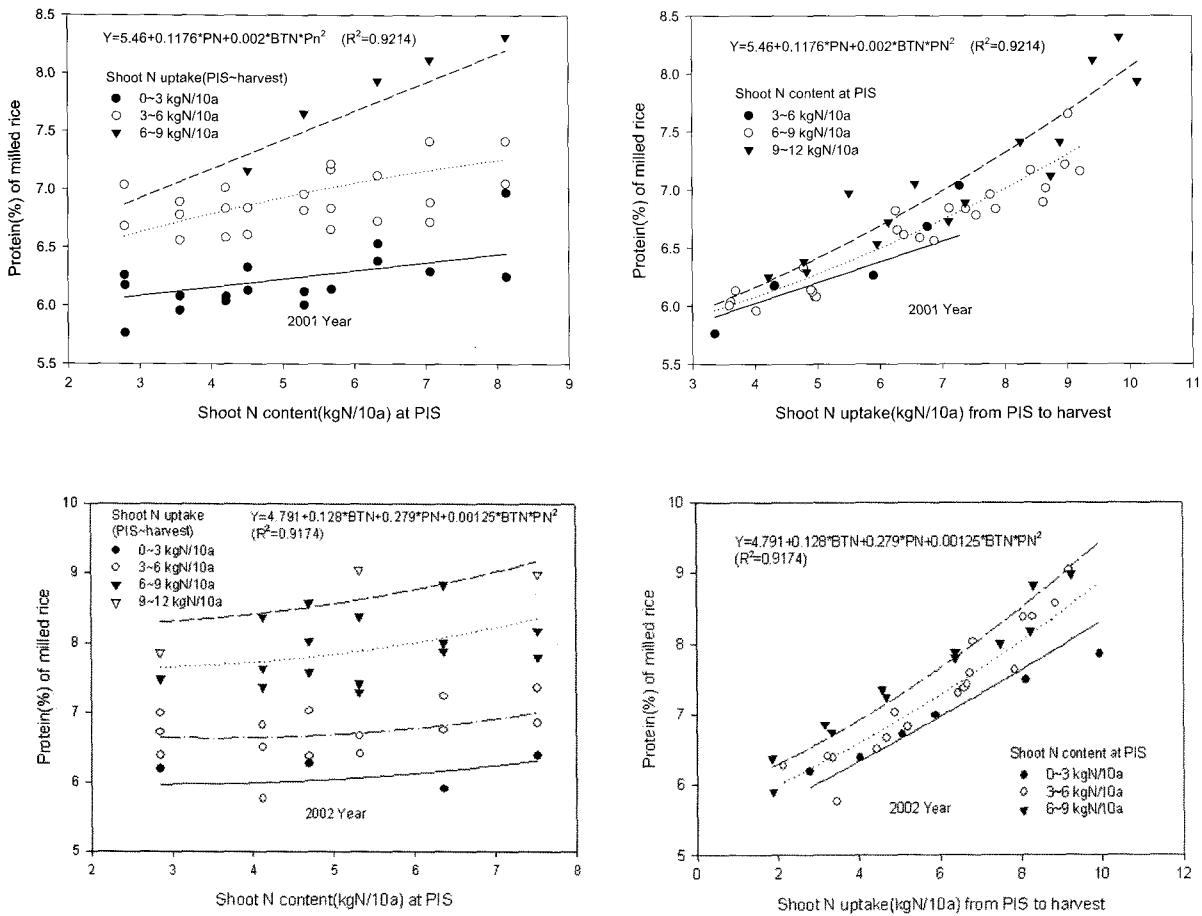


Fig. 4. Response of protein to shoot N content (BTNup) at panicle initiation stage (PIS) and plant N accumulation (PNup) from PIS to harvest in 2001 (upper) and 2002 (lower).

이상의 결과들을 종합하여 보면 미립 단백질 함량은 수비 사용량에 따르는 생식생장기 질소 집적량에 크게 지배를 받지만 수비 사용시의 지상부 질소 집적량이 많으면 수비사용에 따르는 미립단백질 함량의 증가폭이 커지고, 또한 연차에 따르는 기상환경 차이도 단백질 함량에 크게 영향하였다. 이와 같은 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 어느 시기에 질소가 흡수되더라도 흡수된 질소의 일정 부분이 이삭 즉 백미로 분배가 되는데, 동일량의 질소 집적 증가가 있더라도 유수분화기 이전에 흡수된 질소가 유수분화기 이후 흡수된 질소보다 sink size 증대 효과가 크기 때문에(김 등, 2006b) 미립당 배분되는 질소의 양이 적어 미립 단백질 함량 증가가 완화되기 때문이며 또한 등숙기 기상이 좋아 등숙이 잘 되면 그렇지 않은 경우 보다 질소(단백질)의 희석(dilution) 효과가 나타나기 때문이다. 따라서 밥맛을 크게 좌우하는 미립 단백질 함량을 조절하기 위해서는 유수분화기 벼의 생육 및 질소 영양 상태와 기후 조건을 고려하여

수비의 양을 조절하는 수비 처방기술의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

적 요

백미의 단백질 함량은 쌀의 품질과 식미를 결정하는 중요한 요인이며, 질소시비에 의해서 크게 좌우된다. 따라서 본 실험에서는 기비 및 분얼비 사용량을 달리하여 수비 시기인 유수분화기에 벼의 생육 및 질소영양 상태를 다양하게 조성한 상태에서 수비 사용량을 달리하였을 때의 백미 단백질함량의 변화를 검토함으로써 고품질 쌀 생산에 맞는 질소 시비체계 설정을 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

1. 백미의 단백질함량은 6~9%로서 기비+분얼비 및 수비 사용량이 증가할수록 높아지는 경향이었는데, 기비+분얼비 사용량이 20 kgN/10a까지 증가하더라도 수비 1.8 kgN/10a 이하일 경우 백미의 단백질함량은 7% 이하였으며, 기비+분

얼비 보다는 수비에 의한 단백질 함량 증가폭이 더 컸다.

2. 수확기 지상부 질소함량과 백미의 질소함량간에는 고도로 유의한 직선회귀 관계를 보였는데, 수확기 총 질소흡수량 중에서 58.3%와 46.5%가 각각 이삭과 백미로 전이되었고, 연차간에 큰 차이가 없었다.

3. 백미의 단백질 함량은 유수형성기 지상부 질소 집적량 증가에 따라서는 직선적으로 증가하였고, 유수분화기 이후 수확기까지의 질소 집적량 증가에 따라서는 2차곡선적으로 증가하였으며, 후자의 영향이 컸다. 유수분화기 지상부 질소 집적량이 8 kgN/10a까지 증가하더라도 수비 이후의 질소 집적량이 3 kgN/10a 미만일 경우에는 백미의 단백질함량이 7% 미만이었다.

4. 수확기까지 총 질소 집적량이 같더라도 단위면적 당 영화수에 영향이 큰 유수분화기까지의 질소 집적량이 차지하는 비중이 클수록 그리고 등숙기 기상환경이 좋아 sink의 증진에 유리한 해에 백미의 단백질함량이 낮아지는 경향이 있었다.

사 사

본 연구는 농림기술관리센터의 “벼 생육정보 비파괴적 수집 및 가변시비 처방기술 개발” 연구비지원에 의하여 이루어진 것임.

인용문헌

- 김민호, 부금동, 이변우. 2006a. 유수분화기 식생지수와 SPAD 값에 의한 벼 질소 수비사용량 결정. 한국작물학회지. 51(5) : 386-395.
- 김민호, 부금동, 이변우. 2006b. 벼 유수분화기 생장 및 질소영양상태에 따른 수량의 수비질소 반응. 한국작물학회지. 51(7) : 571-583.
- 박래경 외 38인. 1994. 작물 품질개량 육종. 박래경장장 정년퇴임기념 발간추진위원회.
- 허문회, 김광호, 서학수. 1974. 수도 고단백 계통육성을 위한 기초적 연구 : III. 질소, 인산, 가리의 시용이 미립내 단백질 함량에 미치는 영향. 한국작물학회. 15 : 123-128.
- 허문회, 박형직. 1973. 수도 고단백 계통육성을 위한 기초적 연구 : II. 성숙기간중의 잎·줄기·현미 내의 단백질함량 변이. 한국작물학회. 13 : 69-72.
- De Datta, S. K., W. N. Obcemea, and R. K. Jana. 1972. Protein content of rice grain as affected by nitrogen fertilizer and some triazines and substituted ureas. Agron. J. 64 : 785-788.
- Gomez, K. A. and S. K. De Datta. 1975. Influence of environment on protein content in rice. Agronomy Journal. 67 : 565-568.
- Heu, M. H., C. Y. Lee, J. Y. Choe, and S. I. Kim. 1969. Variability of protein content in rice grown at several different environments. Korean J. Crop Sci. 7 : 79-84.
- Islam, N., S. Inanaga, N. Chishaki, and T. Horiguchi. 1996. Effect of N top-dressing on protein content in Japonica and Indica rice grains. Cereal Chem. 42 : 225-235.
- Juliano, B. O., A. A. Antonio, and B. V. Esmama. 1973. Effect of protein content on the distribution and properties of rice protein. J. Sci. Food Agric. 24 : 295-306.
- Kropff, M. J., K. G. Cassman, H. H. Vanlaar, and S. Peng. 1993. Nitrogen and yield potential of irrigated rice. Plant Soil. 156 : 391-394.
- Martin, M. and M. A. Fitzgerald. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties. Journal of Cereal Science. 36 : 285-294.
- Martre, P., P. D. Jamieson, M. A. Semenov, R. F. Zyskowski, J. R. Porter, and E. Triboi. 2006. Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. European J. of Agronomy. 25(2) : 138-154.
- Martre, P., J. R. Porter, P. D. Jamieson, and E. Triboi. 2003. Modeling grain nitrogen accumulation and protein composition to understand the sink/source regulations of nitrogen remobilization for wheat. Plant Physiol. 133 : 1959-1967.
- Matsuda, H., H. Fujii, H. Ando, S. Mori, C. Kominami, and Y. Shibata. 2000. Protein content of milled rice as affected by number of grain per panicle. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 71 : 697-699.
- Matsuda, H., H. Fujii, Y. Shibata, C. Kominami, S. Hasegawa, K. Oobuchi, and H. Andou. 1997. Effect of number of grains per amount of N at Heading and amount of N in grain on the protein content of milled rice. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 68 : 501-507.
- Matsue, Y., K. Odahara, and M. Hiramatsu. 1994. Differences in protein content, amylose content and palatability in relation to location of grains within rice panicle. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 271-277.
- Matsushima, S. 1995. Physiology of high-yielding rice plants from the viewpoint of yield components, In T. Matsuo, K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, H. Hirata, Science of The Rice Plant, Volume 2 : Physiology. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, Japan. pp. 737-766.
- Muchow, R. C., and T. R. Sinclair. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield : II. Field and model analysis. Agronomy J. 87 : 642-648.
- 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.
- Patrick, R. M., F. H. Hoskins, E. Wilson, and F. J. Peterson. 1974. Protein and amino acid content of rice as affected by application of nitrogen fertilizer. *Cereal Chem.* 51 : 84-95.
- 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.
- Souza, S. R., E. M. L. M. Stark, and M. S. Fernandes. 1993. Effect of supplemental nitrogen on the quality of rice proteins. *J. Plant Nutr.* 16 : 1739-1751.