

논·밭윤환 복원논의 벼 생육특성 및 질소흡수량 변화

서종호*[†] · 이충근* · 조영손*** · 이춘기* · 김정곤**

*국립식량과학원, **국립농업과학원, ***진주산업대학교

Change of Growth and Nitrogen Uptake of Rice at the Paddy Field with Previous Upland Condition

Jong-Ho Seo*[†], Chung-Keun Lee*, Young-Son Cho***, Chun-Ki Lee*, and Chung-Kon Kim**

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

***Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

ABSTRACT Excess nitrogen (N) uptake of rice, which could cause much lodging, disease and reduction of rice quality, could be occurred at the paddy field with previous upland condition at which much soil N could be mineralized by soil-drying effect. N fertilizers of 0, 3, and 6 kg N 10a⁻¹ were applied to early-maturity rice, cultivar Joanbyeon at the paddy field of first and second year after upland condition, and rice growth and nitrogen uptake were investigated to know the increase of rice N uptake at the paddy field with previous upland condition for one-year. Total dry matter (DM) and N uptake of rice at the paddy field with previous upland condition increased more than continuous paddy field. Total DM and N uptake of rice at the paddy field with previous upland condition increased linearly to N fertilizer 6 kg 10a⁻¹ at the paddy field owing to vigorous growth compared to continuous paddy field. Rice N uptake was higher at the paddy field of the first year than the second year after upland condition in considering N uptake at the plot of no N fertilizer. Vigorous growth at the paddy field with previous upland condition resulted in higher rice yield which was related with high panicle and spikelet, but much N fertilizer as much as 6 kg 10a⁻¹ at the paddy field with previous upland condition resulted in higher lodging and protein content of brown and milled rice. Particularly, protein content of brown and milled rice increased more when the same N fertilizer was applied two times splitly at transplanting and panicle initiation stage than when N fertilizer was applied one time at transplanting as basal N. N application with under 3 kg 10a⁻¹ as only basal N was recommended at the paddy field with previous upland condition to obtain high quality rice without lodging.

Keywords : paddy field with upland condition, rice, dry matter, nitrogen uptake, protein content

현재 정부는 국민의 쌀소비 감소, 밀과 콩 등 주요 밭작물의 낮은 국내 자급률을 증대시키기 위해 논을 밭으로 전환하여 밭작물 재배를 증대시키고자 하고 있다. 특히 국제 곡물가격의 폭등 등 국제 곡물수급의 불안정에 따라 논을 범용적으로 이용할 수 있는 기반의 조성 및 생산기술을 개발하는 것이 요구되고 있다. 벼를 계속적으로 재배하여 왔던 연작논을 밭상태로 전환하면 논의 환원상태에서 미처 분해되지 못하였던 유기물이 분해되기 쉬운 상태로 되며(건토효과), 토양의 산화에 따라 환원층(glei층) 위치가 점차적으로 낮아지게 되고, 경반층이 파괴되면서 뿌리가 자랄 수 있는 근역(根域)이 확대되어 전환년차의 증가에 따라 밭작물의 생산성이 증가할 수 있는 토양조건으로 서서히 변하여 가게 된다(大久保, 1992 ; 中野, 1978). 논을 밭으로 전환했을 때는 직후인 전환1년차는 토양물리성이 좋지 않아 수량이 감소되지만 2년차부터 작물의 수량성은 현저히 증가하여 콩은 2년차에서 최고수량, 옥수수수는 5년차까지 수량이 계속적으로 증가된다(金田, 1990 ; 靑田, 1978).

그런데 밭으로 전환하였던 논을 벼 재배를 위해 담수하여 다시 논상태로 복원하였을 때는 건토효과에 따라 그동안 환원상태에서 분해되지 못하였던 이분해성 유기물이 분해되면서 토양질소의 무기화가 증가하고, 또 밭작물재배에 따른 환원층의 저하, 경반층의 파괴 등 토양의 물리성 개선에 따라 벼 뿌리가 생육할 수 있는 근권이 확대되어진다. 이런 토양 물리성 및 가급태 양분의 증가에 따라 벼뿌리의 생육량 및 활력이 증가하여 생육이 증대되고, 질소와 규산 등 각종

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6763

(E-mail) sseo@korea.kr

<Received July 2, 2009>

Table 1. Chemical soil properties of experimental paddy field.

pH (1:5)	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol ⁺ kg ⁻¹)		
			K	Ca	Mg
5.7	3.24	136	0.87	3.86	0.84

무기태 양분의 흡수가 증가하게 된다(안 등, 1992; Takashi *et al.*, 1994). 복원논에서의 토양무기태질소의 증가 및 벼 질소흡수량 증가는 토양성질, 밭상태의 기간, 밭작물 종류, 밭작물의 작부체계 및 시비방법 등에 따라 다르기 때문에 일률적으로 이야기 할 수는 없지만, 일반적으로 밭전환년수가 증가할수록 복원시 무기태질소량이 증가하는데, 특히 복원논 1년차에서 증가량이 높다고 한다(古賀野, 1989). 따라서 윤환논의 복원 시 토양 질소발생의 과다 및 벼 질소흡수량 증가에 따라서 보통 연작논에서의 관행방법과 같이 질소를 시비할 때에는 벼가 질소를 과잉 흡수하여 도복이 많이 발생하고 및 도열병이 증가하는 등 질소과다 시 발생하는 부작용이 나타나고, 또 쌀 단백질 함량이 증가하여 미질이 현저히 떨어질 우려가 있어 질소비료를 줄이는 등 각별한 질소 시비관리가 요구되어진다.

따라서 논밭윤환 복원논에서의 벼의 질소흡수 증가 정도를 살펴보고 그에 따른 질소시비관리에 대해 유의할 점을 검토하고자 본 실험을 실시하였다.

재료 및 방법

본 시험은 2006~2007년 2년간에 걸쳐 수원시의 국립식량과학원 논포장(서둔동)에서 실시되었다. 시험 전에 조사한 시험포장의 토양특성은 Table 1에 나타내었는데, pH 5.7, 유기물함량 3.24%, 유효인산 136 mg kg⁻¹ 등으로 논토양으로는 지력이 우수한 토양이었다. 시험포장은 논상태로 연속적으로 벼를 재배하여 오던 포장이었는데, 시험포장의 반을 2005년도에 밭상태로 전환하여 콩(대원콩)을 1년간 재배하였다. 2006년 및 2007년도는 2005년도 밭상태로 1년 전환한 곳을 다시 논상태로 복원하여 연작논과 동시에 벼를 재배하였다. 시험에 사용된 벼 품종은 조생종인 조안벼였다. 벼에 대한 질소시비량은 연속논 및 복원논을 대상으로 각각 무질소(N0), 질소 3 kg 10a⁻¹(N3) 및 질소 6 kg 10a⁻¹(N6)의 처리를 두었는데, N3 및 N6 질소시비구는 질소추비의 효과를 보기 위하여 N3구는 기비3+추비0 kg 10a⁻¹ {N(3+0)} 및 기비0+추비3 kg 10a⁻¹ {N(0+3)}의 두 처리를, N6구는 기비6+추비0 kg 10a⁻¹ {N(6+0)} 및 기비3+추비3 kg 10a⁻¹ {N(3+3)}의 두 처리를 각각 두었다. 시험구 배치는 완전임의배치법

4반복으로 하였다. 기비는 벼이앙 5일전 물로타리 작업과 동시에 사용하여 비료가 작토층과 혼합되게(전면전층) 하였으며, 추비는 벼의 유수형성기에 산파하였다.

주요조사내용으로 벼 초기생육량과 성숙기 전생육량을 조사하기 위하여 유수형성기(질소 추비시기)와 성숙기(수확기)에 각각 10주의 벼 지상부를 수확·건조하여 건물중을 조사하였는데, 수확기 건물중은 경엽과 이삭 부분으로 나누어 조사하였다. 시료를 열풍순환건조기에서(65℃ 72시간) 건조시킨 후 건물중을 각각 조사하였다. 건물중 조사 후 식물체는 각각 마쇄 후(유수형성기는 지상부 경엽, 수확기는 이삭 및 경엽) 질소함량을 분석하였고, 질소함량에 건물중을 곱하여 벼의 지상부 질소흡수량을 구하였다. 식물체 질소함량의 분석은 탄소·질소·황 동시원소분석기(CNS2000, LECO, USA)를 이용하여 Dumas 법으로 측정하였다. 수확기 단위 면적당 이삭수 조사는 구당 10주를 조사하여 평균하였으며, 이삭당 립수와 등숙비율은 시험구당 평균적인 3주의 이삭을 수확하여 전체이삭의 립수를 조사하였고, 총립에서 불완전립을 제외한 완전립의 비율을 등숙비율로 나타내었다. 수량조사를 위해 수확기에 구당 5.4 m²(1.8×3 m)의 면적에서 벼를 수확하여 탈곡하였고, 자연 건조시킨 정조는 곡물수분 측정기로 정조의 수분함량을 조사 후 무게를 측정하였고, 정조수량은 수분함량 15%로 보정하였다. 그 중 정조 1 kg를 채취하여 현미를 만들고, 정형비율을 조사하여 현미중을 조사하였다. 벼수량은 현미중에 계수 0.92(현백비율)를 곱하여 나타내었다. 현미와 백미의 단백질함량을 조사하기 위하여 현미는 다시 도정하여 백미를 만들고, 현미와 백미를 각각 마쇄하여 건조시킨 후 질소함량을 분석하였다. 단백질함량은 질소함량에 계수 5.95(쌀 단백질계수)를 곱하여 나타내었다. 단백질함량 측정을 위한 질소분석은 앞의 식물체 분석(Dumas법)과 동일한 방법으로 하였다.

결 과

복원논 벼 생육 및 질소흡수량

2006년 연작논과 복원논 1년차에서의 벼 유수형성기 건물생산량과 질소흡수량을 보면(Table 2) 복원논-N0구의 건물중은 329 kg 10a⁻¹로 연작논-N0구의 220 kg 10a⁻¹ 보다

Table 2. Changes of DM and N uptake of rice at panicle initiation stage affected by conversion to upland condition and basal N fertilizer.

Paddy soil	Amount of N fertilizer ¹	Dry matter (kg 10a ⁻¹)		N uptake (kg 10a ⁻¹)	
		2006	2007	2006	2007
Continuous	N0	220 ^d	176 ^d	4.1 ^e	3.2 ^d
	N3	298 ^c	250 ^{bc}	5.2 ^d	4.5 ^c
	N6	323 ^{bc}	302 ^a	5.8 ^{cd}	6.0 ^{ab}
Converted	N0	329 ^{bc}	230 ^c	6.4 ^{bc}	4.9 ^{bc}
	N3	353 ^{ab}	288 ^{ab}	7.1 ^b	5.8 ^b
	N6	385 ^a	330 ^a	8.3 ^a	7.1 ^a

¹ N0, N3, N6 : 0, 3, 6 kg N/10a as basal N

※ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

약 100 kg 10a⁻¹ 이상 증가하였으며 연작논-6N구와 거의 같은 건물중을 나타내었다. 복원논에서는 질소비료의 사용량에 따라 건물중이 증가하여 복원논-N6구에서의 건물중은 385 kg 10a⁻¹로 복원논-N0구보다 56 kg 10a⁻¹ 증가하였다. 복원2년차인 2007년도는 2006년과는 달리 발전환 효과가 다소 감소하였는데 복원논-N0구가 230 kg 10a⁻¹로 연작논-N0구보다 54 kg 10a⁻¹ 증가한 것에 불과하였다. N3 및 N6구에서는 논발전환 전력에 관계없이 토양간 큰 차이를 나타내지 못했다.

질소흡수량의 변화는 건물중보다 더 뚜렷한 경향을 보였는데, 복원논 1년차인 2006년도 벼질소흡수량을 보면 복원논-N0구가 6.4 kg 10a⁻¹로 연작논-N0구보다 2.3 kg 10a⁻¹ 증가하였다. 질소흡수량도 연작논 및 복원논 모두 질소시비량이 증가할수록 뚜렷이 증가하는 경향을 보였는데, 복원논-N0구는 연작논-N6구의 벼 질소흡수량 5.8 kg 10a⁻¹보다 같거나 증가하여 복원 1년차에서의 유수형성기 벼질소흡수량이 현저히 크을 알 수가 있었고, 그것은 연작논 질소비료 6 kg 10a⁻¹의 시용한 것과 비슷한 효과가 있었다. 복원 2년차인 2007년 유수형성기에서의 벼 질소흡수량도 건물중의 변화와 동일한 경향을 나타내었다. 복원 1년차인 2006년과 비교했을 때 발전환 효과가 다소 감소하였는데 복원논-N0구의 질소흡수량이 4.9 kg 10a⁻¹로 연작논-N0구의 3.2 kg 10a⁻¹보다 1.7 kg 10a⁻¹의 증가를 보였고, 연작논-N3구와 비슷한 값을 나타내었다. 본 결과에서 유수형성기에서의 질소흡수량을 기준으로 논발전환(1년)효과를 보았을 때 복원 1년차에서는 연작논-N6구와 동일한 효과가, 복원 2년차에서는 연작-N3구의 효과가 있는 것으로 나타났다. 복원1년 및 2년차 모두 복원논에서는 질소시비량 6 kg 10a⁻¹까지 벼의 건물중 및 질소흡수량이 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다.

벼의 성숙기의 2006 및 2007년에서의 벼 건물중과 질소흡수량의 변화를 보면(Table 3) 2006년 연작논에서의 수확기 벼 건물중은 789~882 kg 10a⁻¹로 질소시비처리 간 차이를 나타내지 못하였다. 그러나 복원논에서는 질소시비량 6 kg 10a⁻¹까지 건물중이 증가하여 생육이 왕성하고, 그에 따라 질소흡수가 증가됨을 알 수 있었다. 2007년도(복원2년차)는 질소시비량의 증가에 따라 벼 건물중이 연작논 및 복원논 모두 증가하는 경향을 보였다. 복원논에서는 2006년도(복원1년차)만큼 크지는 않지만 2007년도(복원2년차) 복원논이 연작논에 비해 건물중이 다소 증가하는 경향을 보였다. 수확기 질소흡수량도 건물중과 거의 비슷한 경향을 보였는데, 2006년도 연작논에서의 전체 질소흡수량은 7.9~9.8 kg 10a⁻¹로 큰 차이를 나타내지 못하였으며, 그 값은 복원1년차논의 N0구와 동일한 값을 나타내었다. 복원논에서는 질소시비량에 따라 질소흡수량이 증가하여 N(6+0)구에서 13.1 kg 10a⁻¹까지 증가하여 N0구보다 4.4 kg 10a⁻¹ 증가하였다. 이는 복원논의 벼생육이 왕성하여 질소시비효과가 큼 것을 나타낸다고 할 수 있다.

복원논 2년차인 2007년도의 수확기 질소흡수량을 보면 복원논-N0구에서 12.0 kg 10a⁻¹로 연작논-N6구와 비슷한 값을 나타내면서, 연작논 및 복원논 모두 질소시비량의 증가에 의해 질소흡수량이 증가하였는데, 연작논-N0구는 7.4 kg 10a⁻¹로 가장 낮았고, 연작논-N6 및 복원논-N0구에서는 12.0 kg 10a⁻¹내외를 나타내었으며, 복원-N6구에서 14.5 kg 10a⁻¹까지 증가하였다. 수확기에서의 질소흡수량을 기준으로 논발전환(1년)효과를 추측하였을 때 복원논의 1년 및 2년차 모두 연작논의 질소시비량 6 kg 10a⁻¹와 비슷한 벼의 질소증대효과가 있었다. 또 질소무기화량과는 달리 복원논에서 질소시비량 증가에 의해 건물중 및 질소흡수량이 계속적으로 증가하였던 것은 논토양의 물리성 개선 및 권역의

Table 3. Changes of DM and N uptake of rice at harvest affected by conversion to upland condition and N fertilizer.

Paddy soil	Amount of N fertilizer ¹⁾	Fertilization method ²⁾	Dry matter (kg 10a ⁻¹)		N uptake (kg 10a ⁻¹)	
			2006	2007	2006	2007
Continuous	N0	-	789 ^d	823 ^c	8.2 ^{de}	7.4 ^e
		N(3+0)	789 ^d	887 ^{bc}	7.9 ^e	9.3 ^{de}
	N6	N(0+3)	821 ^d	982 ^{ab}	8.8 ^{de}	9.9 ^{cd}
		N(6+0)	882 ^{cd}	1,048 ^a	8.5 ^{de}	12.0 ^b
		N(3+3)	869 ^{cd}	982 ^{ab}	9.8 ^{cd}	11.3 ^{bc}
Converted	N0	-	903 ^{cd}	937 ^{abc}	8.7 ^{de}	12.0 ^b
		N(3+0)	996 ^{bc}	1,013 ^{ab}	11.0 ^{bc}	11.4 ^{bc}
	N6	N(0+3)	1,127 ^{ab}	1,064 ^a	11.9 ^{ab}	14.7 ^a
		N(6+0)	1,174 ^a	1,083 ^a	13.1 ^a	13.2 ^{ab}
		N(3+3)	1,100 ^{ab}	1,068 ^a	12.5 ^{ab}	14.5 ^a

¹⁾ N0, N3, N6 : 0, 3, 6 kg N/10a.

²⁾ Basal N at transplanting + Adventitious N at panicle initiation stage.

※ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

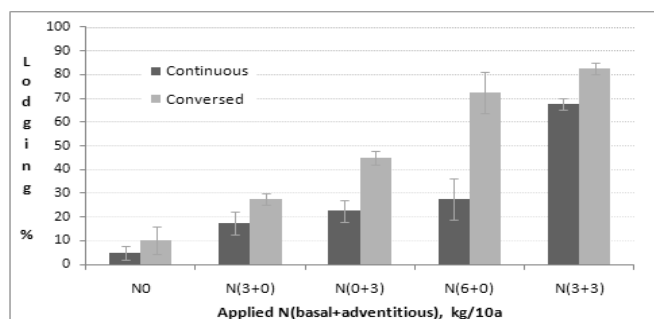


Fig. 1. Changes of lodging percent affected by conversion to upland condition and N fertilizer in 2007.

확대와 더불어 벼가 왕성한 생육을 하고, 생육에 필요한 질소를 더 많이 필요로 하였기 때문으로 보였다. N3 및 N6 시비구에서의 시비방법에 따른 건물중의 변화는 큰 차이를 보이지 않았지만 질소흡수량을 보면 복원논-N3구에서는 기비보다는 추비로 시비한 구가 질소시비량이 다소 증가한 것으로 나타났다.

2007년은 수확기에 가까워져 나쁜 기상으로 인해 벼도복이 많이 발생하였는데, Fig. 1은 2007년 수확기 때의 도복율을 조사한 것이다. 벼 도복율은 질소흡수량이 많았던 복원논에서 발생이 많았는데, 특히 복원논-N6구에서 증가하였다. 복원논-N0구의 벼 질소흡수량이 12 kg 10a⁻¹로 연작논-6N구와 같았지만 복원논-N0구의 도복율은 10%로 연작논-N6구 특히 연작논-N(3+3)구의 67.5%보다 월등히 낮았던 점을 볼 때 도복은 질소시비량에 따라 크게 좌우되는 것으로 보였다. 같은 량의 질소흡수에도 불구하고 복원논-N0

구가 연작논-6N구보다 도복이 훨씬 감소된 것은 밭전환에 따른 토양 물리성의 개선 및 뿌리의 발달에 따라 벼의 튼튼한 생육으로 도복이 감소되었던 것으로 사료된다. 질소시비 방법에서는 N3구에서는 기비보다는 추비로 시용할 때, N6구에서는 기비로 전량 시용한 것보다 기비와 추비로 3 kg 10a⁻¹ 씩 나누어 주는 것이 도복이 증가하는 것으로 보여 도복을 줄이기 위해서는 유수형성기 추비시기에 시비량을 줄이는 것이 필요한 것으로 보였다.

벼 수량 및 미질 변화

Table 4와 5는 수확기에서의 벼 수량 및 수량구성요소의 변화를 나타낸 것이다. 수수는 연작논에서 질소시비량이 적을 때 다소 감소하는 경향을 보여 2006년도는 연작논의 N0와 N(3+0)구에서 다소 감소하였고, 2007년도는 연작논 및 복원논 모두 N0구에서 낮은 값을 나타내었다. 수당립수도 2006년 및 2007년 모두 연작논-N0구에서 다소 감소하였고 그 외 처리에서는 큰 차이를 볼 수 없었다. 등숙비율은 질소시비량과 부의 관계를 뚜렷히 나타내었는데, 2년 모두 연작논 및 복원논 모두 N0구에서 2006년도에 84~85% 2007년도에 90%로 등숙비율이 다소 높은 값을 보였고, 질소시비량이 증가할수록 등숙비율이 낮아졌는데, 2007년도의 N(3+3)구에서 연작논 71% 및 복원논 73%로 가장 낮은 값을 보였다. 벼수량을 보면 2006년도에는 연작논 및 복원논 1년차 모두 질소처리간에는 차이를 보이지 않았지만 연작논이 346~380 kg 10a⁻¹, 복원논이 402~438 kg 10a⁻¹로 복원논에서 수량이 높았다. 질소처리 간 벼수량의 차이가 없었던 것

Table 4. Changes of panicle and spikelet of rice at harvest affected by conversion to upland condition and N fertilizer.

Paddy soil	Amount of N fertilizer [↓]	Fertilization method [▷]	Panicle (No. m ⁻²)		Spikelet(No. panicle ⁻¹)	
			2006	2007	2006	2007
Continuous	N0	-	229 ^d	10.6 ^{de}	84 ^{cd}	90 ^c
		N(3+0)	231 ^d	11.6 ^{cd}	90 ^{abcd}	92 ^c
	N6	N(0+3)	264 ^{abcd}	13.0 ^{ab}	82 ^d	97 ^{bc}
		N(6+0)	257 ^{bcd}	13.6 ^{ab}	91 ^{abcd}	97 ^{bc}
		N(3+3)	245 ^{cd}	12.7 ^{bc}	88 ^{bcd}	98 ^{abc}
Conversed	N0	-	262 ^{abcd}	10.2 ^e	99 ^{ab}	113 ^a
		N(3+0)	295 ^{ab}	13.9 ^{ab}	94 ^{abc}	98 ^{bc}
	N6	N(0+3)	264 ^{abcd}	13.4 ^{ab}	101 ^a	113 ^a
		N(6+0)	300 ^a	14.2 ^a	97 ^{ab}	107 ^{ab}
		N(3+3)	276 ^{abc}	14.4 ^a	91 ^{abcd}	99 ^{abc}

[↓] N0, N3, N6 : 0, 3, 6 kg N/10a.

[▷] Basal N at transplanting + Adventitious N at panicle initiation stage

※ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 5. Changes of ripened grain and rice yield at harvest affected by conversion to upland condition and N fertilizer.

Paddy soil	Amount of N fertilizer [↓]	Fertilization method [▷]	Ripened grain(%)		Rice yield (kg 10a ⁻¹)	
			2006	2007	2006	2007
Continuous	N0	-	85 ^a	90 ^a	362 ^b	378 ^c
		N(3+0)	74 ^{ab}	81 ^{bcd}	346 ^b	372 ^c
	N6	N(0+3)	86 ^a	88 ^{ab}	380 ^{ab}	445 ^{ab}
		N(6+0)	78 ^{ab}	86 ^{ab}	366 ^b	469 ^a
		N(3+3)	80 ^{ab}	71 ^c	350 ^b	447 ^{ab}
Conversed	N0	-	84 ^a	90 ^a	402 ^{ab}	412 ^{bc}
		N(3+0)	80 ^{ab}	84 ^{abc}	405 ^{ab}	442 ^{ab}
	N6	N(0+3)	79 ^{ab}	83 ^{abc}	415 ^{ab}	461 ^{ab}
		N(6+0)	68 ^b	77 ^{cde}	438 ^a	474 ^a
		N(3+3)	76 ^{ab}	73 ^{de}	410 ^{ab}	432 ^{ab}

[↓] N0, N3, N6 : 0, 3, 6 kg N/10a.

[▷] Basal N at transplanting + Adventitious N at panicle initiation stage.

※ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

은 질소시비량이 적었을 때는 수수가 감소하였으나 역으로 등숙비율이 증가하였기 때문에 보였다. 복원논 2년차인 2007년도는 복원논이 연작논보다 다소 수량이 증가하는 경향을 보였으나 복원 1년차에 비해 크게 증가하지는 않았으며, 대신에 질소시비효과가 다소 있어 연작논 및 복원논 모두 N0구에서 벼수량이 다소 감소하는 경향을 보였다.

미질에 영향을 크게 주는 단백질 함량의 변화는 질소시비에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 현미 및 백미의 단백질 함량의 변화를 보면(Table 6), 2006년도 연

작논의 N0구 및 N(3+0), N(6+0)구, 그리고 복원논-N0구 간에는 현미 및 백미의 단백질 함량이 차이를 나타내지 못했고 복원논의 N(3+0)구 및 N(6+0)구에서 다소 증가하였다. 2007년도에서 연작논의 N0 및 N3구에서 현미 및 백미의 단백질함량이 다소 감소하였고, 연작논-N6구, 특히 연작논-N(3+3)구에서 증가하였다. 연작논-N(3+3)구는 복원논-N0구와 같았다. 2007년도에는 연작논 및 복원논 모두 N3 및 N6구에서는 기비로 한 것보다 추비로 준 것 즉 N(0+3) 및 N(3+3) 이 같은 량의 질소를 기비로 전체 준 것보다 뚜렷이 증

Table 6. Changes of protein content of brown and milled rice at harvest affected by conversion to upland condition and N fertilizer

Paddy soil	Amount of N fertilizer ¹⁾	Fertilization method ²⁾	Protein of brown rice (%)		Protein of milled rice (%)	
			2006	2007	2006	2007
Continuous	N0	-	8.8 ^{cd}	8.7 ^{bcd}	8.2 ^{bcd}	7.4 ^e
		N(3+0)	8.3 ^e	8.8 ^d	7.7 ^d	8.3 ^c
	N6	N(0+3)	9.1 ^{bc}	8.9 ^{abc}	8.4 ^{abc}	8.1 ^{cd}
		N(6+0)	8.5 ^{de}	9.4 ^d	7.8 ^d	8.5 ^c
		N(3+3)	9.3 ^b	9.5 ^{ab}	8.4 ^{ab}	9.0 ^b
Conversed	N0	-	8.5 ^{de}	9.9 ^{cd}	7.8 ^{cd}	9.3 ^b
		N(3+0)	9.0 ^{bc}	8.8 ^{bcd}	8.1 ^{bcd}	7.8 ^{de}
	N6	N(0+3)	8.9 ^{bcd}	10.6 ^{ab}	8.5 ^{ab}	9.9 ^a
		N(6+0)	9.1 ^{bc}	10.0 ^{ab}	8.4 ^{ab}	9.4 ^b
		N(3+3)	9.7 ^a	11.0 ^a	8.8 ^a	9.9 ^a

¹⁾ N0, N3, N6 : 0, 3, 6 kg N/10a.

²⁾ Basal N at transplanting + Adventitious N at panicle initiation stage.

※ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

가하였다. 이는 단백질함량이 낮은 쌀을 생산하기 위해서는 질소 추비의 양을 현저히 줄이고, 기비 위주로 질소비료를 시비할 필요성이 있다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 특히 논·밭전환에 의해 벼의 질소흡수량이 많은 복원논에서는 질소비료를 추비로 3 kg 10a⁻¹ 시용한 복원논의 N(0+3) 및 N(3+3)구에서 백미의 단백질함량이 2006년이 각각 8.5, 8.8 %, 2007년이 모두 9.9 %로 아주 높은 값을 보였다. 따라서 복원논에서는 발전환에 따른 토양 질소무기화량을 감안하여 부족한 양을 기비 위주로 사용하는 것이 바람직할 것으로 보였다.

고 찰

논을 밭으로 전환하여 밭작물을 재배하고 다시 논으로 복원한 논에서는 발전환에 따라 토양 환원층(glei층)의 낮아지고, 경반층이 파괴되는 등 작토층 및 근권층이 넓어져 뿌리의 생육 및 활력이 증대되고 각종 양분의 흡수가 활발해져 벼의 생육이 촉진되고 이것이 수량의 증가로 이어지는 것으로 알려져 있는데(市田&游坐, 1982 ; 金田, 1990), 본 시험에서도 복원논의 유수형성기까지의 벼 초기생육도 연작논에 비해서 월등히 증가하는 것으로 나타났다. 특히 복원논에서는 질소시비량이 6 kg 10a⁻¹까지 증가할수록 유수형성기의 벼 건물중 및 질소흡수량이 증가하는 것으로 보아 뿌리의 생육과 활력이 현저히 증가하여 시비한 질소비료를 이용하는 효율이 높아짐을 알 수 있었다. 토양 종류별 복원논

에서의 질소무기화량은 총적토가 화산회토에 비해 현저히 많다고 한다(住田, 2001). 따라서 우리나라와 같이 총적토가 대부분인 논에서는 발전환에 따른 복원논에서의 토양질소 무기화량은 일본의 화산회토에 비해 훨씬 많을 것으로 판단되고, 따라서 복원논(특히, 복원1년차)에서의 질소시비 시 더욱 감비가 필요하다고 할 수 있다. 본 시험에서도 1년간 발전환 후 복원논 1년차에서는 무질소구의 유수형성기 및 수확기의 건물중 및 질소량이 연작논의 질소 6 kg 10a⁻¹와 동일한 값을 나타내었다.

논·밭윤환에 따른 복원논에서의 벼수량은 보통 10% 이상 증가하는 것으로 알려져 있다. 수량의 증가 원인으로서는 수수 및 수당영화수 증가에 의해 영화수 증가가 크게 기여한다고 보여지는데, 일본의 예에서도 복원논 1년차에서 다른 수량구성요소보다 특히 영화수가 약 16% 정도 연작논에 비해 증가하였다(住田, 2001). 2006년 수원 작물과학원의 복원논 벼의 수량구성요소에서도 수수 및 수당립수가 증가한 것을 볼 때(Table 4) 영화수의 증가가 복원논의 수량증가에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 그러나 복원논 1년차에서 토양으로부터 벼 질소흡수증가와 더불어 질소시비 수준을 증가시킬 때는 영화수가 증가함에도 불구하고 역으로 등숙비율이 현저히 감소하여 벼수량이 더 증가하지 않았다. 복원논에서는 2007년도에 질소흡수의 증가와 더불어 질소시비량이 증가할수록 도복이 많이 발생하였으며, 현미 및 백미의 단백질 함량이 증가하였는데, 이는 벼 수량감소, 수확작업 불편뿐 만 아니라 미질을 떨어뜨릴 위험성이 있어

질소시비에 각별한 주의를 요하는 것으로 나타났다.

복원논에서 벼를 안전하게 재배하거나 미질이 좋은 벼를 생산하기 위해서는 우선 발지속년차에 따라 질소시비량을 현저히 줄이고, 또 생육기에 엽록소 측정기를 이용하여 엽록소량(SPAD)를 측정하여 부족한 양을 추비로 주는 방법도 고려할 수 있다. 또 기상조건에 따라 질소시비량을 달리 할 필요가 있어, 지구온난화 등으로 토양온도가 증대하고, 강우의 증가 및 일조가 부족할 때는 추비량을 많이 줄여야 할 것으로 생각되었다. 또한 안전한 재배를 위해서는 내병성 및 내도복성 그리고 내병성이 높은 품종을 선택하는 것도 필요하다고 생각된다. 金田(1990)은 복원논에서 토양의 질소무기화량을 추정할 수 있는 유효토양의 두께와 엽록소 계 등을 이용한 벼의 질소흡수량을 측정하여 벼의 부족한 양을 추비 위주로 공급하는 시비전략을 추천하였다. 그러나 본 시험의 결과에 의하면 쌀의 단백질 함량은 질소를 기비로 사용하는 것보다 기비+추비로 나누어 사용했을 때 쌀 단백질함량이 크게 증가하는 것으로 나타나 질소를 추비로 사용하는 것은 바람직한 것이 아니었다. 따라서 질소흡수량이 많은 복원논에서는 추비위주로 시비를 하는 것보다는 부족한 양을 기비위주로 전면전층 시비하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 따라서 질소무기화가 많은 복원 1년차에서는 조생종 벼는 무질소로 재배하고, 질소무기화량이 다소 감소하는 복원 2년차에서는 질소 3 kg 10a⁻¹를 기비로 사용하는 것이 수량 및 미질이 감소되지 않고, 도복의 걱정 없이 벼를 안정적으로 생산할 수 있는 방법이라고 생각되어졌다.

적 요

논을 밭으로 1년 전환 후 다시 논으로 복원한 논에서의 벼의 생육촉진 및 질소흡수 증가의 효과를 살펴보기 위하여 복원논 1년 및 2년차인 2006년 및 2007년에 복원논 및 연작논을 대상으로 질소시비를 0, 3, 6 kg 10a⁻¹ 사용하여 벼의 생육량, 질소흡수량, 쌀의 수량 및 단백질 함량 등을 조사하였는데 결과는 다음과 같다. 연작논에 비해 복원논에서 복원 1년 및 2년차 모두 벼의 초기생육이 크게 증가하여 유수형성기 건물중 및 질소함량이 증가하였으며, 복원논에서도 질소시비량 증가에 따라 건물중 및 질소량이 증가하여 질소시비량 6 kg 10a⁻¹까지 질소시비 효과가 뚜렷이 나타났는데, 복원논 1년차 및 2년차의 질소무비구의 건물중 및 질소흡수량은 각각 연작논의 질소시비량 6 및 3 kg 10a⁻¹와

동일한 값을 나타내었다. 수확기에서의 벼의 건물중 및 질소흡수량도 유수형성기와 비슷한 경향을 보였으며, 질소시비 방법으로는 같은 양의 질소시비량이라도 전량을 기비로 사용한 것보다 유수형성기에 추비로 3 kg 10a⁻¹를 사용한구가 질소흡수량이 다소 높았다. 수량구성요소에서는 연작논에 비해 복원논에서 벼의 수당립수가 증가하는 경향이였으며, 질소시비량이 많아질수록 등숙율이 감소하였는데, 특히 질소흡수량이 많았던 복원논-질소시비량 6 kg 10a⁻¹ 구에서의 등숙비율이 많이 감소하였다. 벼의 수량도 복원논이 연작논에 비해 복원 1년차 및 2년차 모두 연작논보다 증가하였는데, 복원 1년차는 질소시비량간 벼수량의 차이가 없었지만, 복원 2년차에는 무질소시비구에서 벼의 수량이 다소 감소하였다. 현미 및 백미의 단백질 함량은 복원논이 연작논보다, 질소시비량이 증대할수록 높아졌는데, 질소시비방법에서는 질소시비량 모두 3, 6 kg 10a⁻¹ 모두 유수형성기에서 추비로 3 kg 10a⁻¹를 준 구에서 높아 질소흡수량이 많은 복원논에서 질소를 추비로 줄 때 단백질함량이 증대할 위험성이 높았다.

인용문헌

- 古賀野關爾. 1990. 低濕重粘土汎用水田の窒素供給特性. 水田農業技術情報シリーズ No. 1.
- 金田吉弘. 1990. 輪換水田に栽培された水稻の窒素施肥法策定手順. 総合農業の新技術.
- 大久保隆弘. 1992. 답전윤환과 농경지 고도이용. 농촌진흥청심포지움 21:71-92.
- 北田敬宇. 1994. 地域輪換田における合理的な土壤管理技術の確立に関する研究. 石川農總試特別研報 5. 1-57.
- 市田俊一, 遊坐次夫. 1982. 地力培養による田畑輪換水田の収量性について. 青森農試研報 26. 139-160.
- 안상배, 本松輝久, 연병렬, 육창수. 1992. 답전윤환토양에서 질소무기화의 특성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 25(2) : 133-137.
- 青田精一. 1978. 低濕重粘土水田の畑輪換におけるトウモロコシ収量の年次變化, 日草誌 24:118-122.
- 住田弘一. 2001. 水田地域輪作の圃場生産力. 水田輪作技術と地域營農. 農林統計協會 p67-109.
- 中野啓三. 1978. 低濕重粘土水田の畑轉換に伴う土壤物理性の推移. 北陸農試報告 21:63-94.
- Takashi Nishio, Hiroyuki Sekiya, Kazunobu Toriyama, and Kanji Kogano. 1994. Changes in gross rates of nitrogen transformations in soil caused by conversion of paddy fields to upland fields. Soil Sci. Plant Nutr., 40(2):301-309.