

秋播大麥 재배시 基肥로 施用한 尿素의 窒酸化 및 그에 따른 窒酸態窒素의 環境에의 放出

金石東* · 蘇昌鎭** · 權容雄** · 林雄圭**

Nitrification of the Soil Applied Urea for Winter Barley as Basal Dressing and Following Nitrate Release to the Environment

Sok-Dong Kim*, Chang-Ho Soh**, Yong Woong Kwon**, and Ung-Kyu Lim**

Abstract

The use of fertilizer N is essential for maximum economic yield of crops. Meanwhile, enrichment of NO_3^- in the environment has to be avoided. Winter barley crop has a short duration of growth before winter, but is used to receive N greater than 60 kg/ha at seeding. Experiments were performed to determine the quantitative aspect of the fate of soil applied urea N among the residual, leached, and uptaken by winter barley (cv. Olbori), and to evaluate the effect of soil temperature on nitrification.

Four levels of urea (0, 40, 80, and 120 kg N/ha) was basal-dressed to Olbori. NH_4^+ appeared dominant in the soil until 40 days after seeding, whereas NO_3^- did thereafter. Nitrification rate at 5°C of soil temperature was 40 to 50% of that at 15°C. Linear increase in the number of ammonia oxidizing and nitrite oxidizing bacteria of the soil was present as the level of urea fertilization was higher. Less than 60% of N applied at seeding was uptaken by winter barley until mid-March but 50% was lost from death of older barley leaves during overwintering. Thereby only 10% of the applied N remained in the barley in spring. Only 15% of the applied N was present in the rhizosphere. The 17 to 20% of the soil applied N leached out as NO_3^- the rhizosphere. Nitrogen leaching during winter was estimated to be 16 and 20 kg/ha when the basal application level of urea fertilization was 80 and 120 kg/ha, respectively.

* 농촌진흥청 작물시험장(Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea)

** 서울대학교 농업생명과학대학 (College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

緒 言

작물이 토양으로부터 흡수하는 질소중에는 저분자량의 유기태질소¹⁾도 있으나, 주로 무기태 이온상태인 NH_4^+ 와 NH_3 형태로 흡수 이용된다. 밭토양에施用한 尿素는 토양미생물의 Urease작용으로 가수분해되어 NH_4^+ 로 전환되며 NH_4^+ 는 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 의 질산화작용을 거치게 되는데^{2,3)}, 일반 밭토양에서는 NO_3^- 가 주로 이용되지만 NH_4^+ 형태도 공존하여 可給態窒素를 이룬다. 토양에施用된 尿素의 분해와 질산화작용은 토양환경, 즉 온도, 수분, 유기물, 토양미생물 등의 영향을 크게 받으며^{4,5)}, 토양중의 질소는 유기물에의 固定, 溶脫, 揮散, 脫窒 및 작물의 흡수에 의하여 작물의 생육기간동안 작물에 대한 토양의 窒素可給性이 다양하게 변화하게 된다. 질산태질소는 토양내 이동이 쉽고 강우 및 토양수분의 유동에 따라 根圈을 이탈하기 용이하여 施肥窒素의 효율이 낮아지게 된다. 이러한 질산태질소의 용탈은 表面水 및 地下水를 오염시키게 되는데, 질산태질소는 메트헤모글로빈혈증(methemoglobinemia)을 유발시키는 등 인간과 가축에 피해를 주는 것으로 알려져⁶⁾, 질산태질소의 용탈이 단순히 작물의 재배면에서 뿐만 아니라 환경오염 면에서도 문제가 제기되고 있다^{7,8,9)}.

한편施用한 질소의 損失을 적게 하면서 작물의 이용도를 증대하는 가장 보편적인 방법이 施用시기를 조절하고 분시하는 방법이다. 우리나라에서 추파맥류의 추천 시비량은 160kg/ha이며, 일반적인 분시방법은 기비와 추비로 나누어 그 비율을 중북부에서는 50:50, 남부에서는 40:60으로 행하고 있다.¹⁰⁾ 맥류재배에서 기비량이 40~50%를 차지하고 있지만 실제로는 맥류의 파종 후 초기 생장이 이루어진 후 곧 바로 越冬에 들어가기 때문에 기비로施用한 질소의 대부분은 보리에 의하여 흡수되지 못하고 여분의 질소량은 揮散, 脫窒, 溶脫 등에 의한 損失이 일어나게 된다. 더구나 질소비료의 효율을 높이기 위한 分施方法이나 시비량의

결정은 맥류의 생육이나 수량과 관련지어 검토되었을 뿐 施用한 질소질비료의 토양중 窒酸化作用이나 어느 정도의 질산태질소가 作土層으로부터 溶脫되는가를 밝히는 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 前報¹¹⁾의 尿素 分施方法에 따른 大麥의 생육 및 수량반응과는 별도로 파종시 기비로施用한 尿素의 窒酸化와 作土層에서 消失되어지는 질산태 질소의 量을 산출하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 포장에서 토양중 尿素의 窒酸化

본 실험은 추파대맥 품종 올보리를 작물시험장 맥류포장에 공시하여 수행하였다. 포장의 토성은 Silt clay loam으로 10월 12일 파종시 NH_4^+-N 및 NO_3^--N 함량은 14.3 μg 및 1.13 $\mu\text{g/g}$ soil 이었다. 10월 12일에 파종량 150kg/ha로 하여 20×5cm로 細條播하였으며 질소시비량은 0, 40, 80 및 120kg/ha의 4수준으로 질소원으로 尿素(46% N)를 사용하였다. 인산은 용과린으로, 가리는 염화과린으로 각각 ha당 120, 90kg씩 전량 기비로 사용하였다. 基肥의 사용은 포장 전면을 경운 정지한다음 처리구별로 고루 뿌리고 트랙타 로타베이타로써 5cm 깊이로 토양과 혼합하였다. 시험구의 크기는 24m²이었고 난괴법 4반복으로 수행하였다. 보리 생육 조사 및 토양 분석은 10월 12일, 11월 12일, 12월 15일 및 월동 후인 3월 17일에 실시하였고, 또한 3월 17일에는 질산화박테리아인 ammonia oxidizing bacteria 및 nitrite oxidizing bacteria의 수를 조사하였다.

2. 窒酸化作用에 미치는 온도의 영향

위 실험을 수행한 포장에서 作土層(0~10cm)의 토양을 채취하여 배양실험을 하였다. 온도는 보리의 재배환경을 고려하여 5, 10 및 15℃로 하였고 尿素시용량을 4, 8, 12 mg N/100g soil로 하여 尿素와 토양을 잘 섞은 다음 토양수분 약 -0.03 MPa, pH 6.4의 동일조건에서 培養하면서 처리 후 5, 10

및 15일에 NH_4^+-N 및 NO_3^--N 함량을 측정하였다.

3. NH_4^+-N 및 NO_3^--N 의 분석

토양시료는 시료채취기 (내경 2cm)를 이용, 각 시험구의 5개 지점에서 표토로부터 10cm, 10~20cm, 20~30cm로 3분하여 측정하였다. NH_4^+-N 및 NO_3^--N 의 정량은 2N KCl용액으로 浸出하고 kjeldahl 증류장치를 이용, Keeney 와 Nelson¹²의 방법으로 분별증류하여 HCl로 적정, 산출하였다. 全窒素含量은 $\text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O} = 90:5:55$ 인 분해액으로 습식분해¹³ 후 kjeldahl법으로 증류, 적정하였다. 식물체 시료는 畦長 50cm내의 전 개체를 뽑아 뿌리를 제거한 후 건물중 및 질소함량을 정량하였고, 정량방법은 토양에서와 같은 방법으로 하였다.

4. 질산화 박테리아의 조사

작토층 (0~10cm)에 분포한 질산화 박테리아의

수를 Schmidt와 Belser의 방법¹¹ 과 Most Probable Number법¹⁵으로 ammonia oxidizing bacteria와 nitrite oxidizing bacteria의 수를 조사하였다.

結果 및 考察

1. 포장에서 施用한 尿素의 질산화작용

과종시 기비로써 尿素를 사용한 후 可給態窒素인 NH_4^+-N 및 NO_3^--N 함량을 측정하기 위하여 表土로부터 30cm 깊이까지의 토양을 채취하고 表土로부터 10cm, 10~20cm, 20~30cm의 10cm 간격으로 구분하여 經時적으로 조사하였다. 10cm 이하의 토양에서는 可給態窒素의 함량이 0~10cm에 비해 현저하게 적었고 조사시기에 따른 변이폭이 적어 (결과 제시 생략) 여기에서는 表토로부터 10cm 깊이까지의 토양의 가급태질소 함량 변화만 그림 1에 나타내었다. NH_4^+-N 의 함량은 기비 질소사용 후 첫번째 조사인 11월 12일 이후 계속

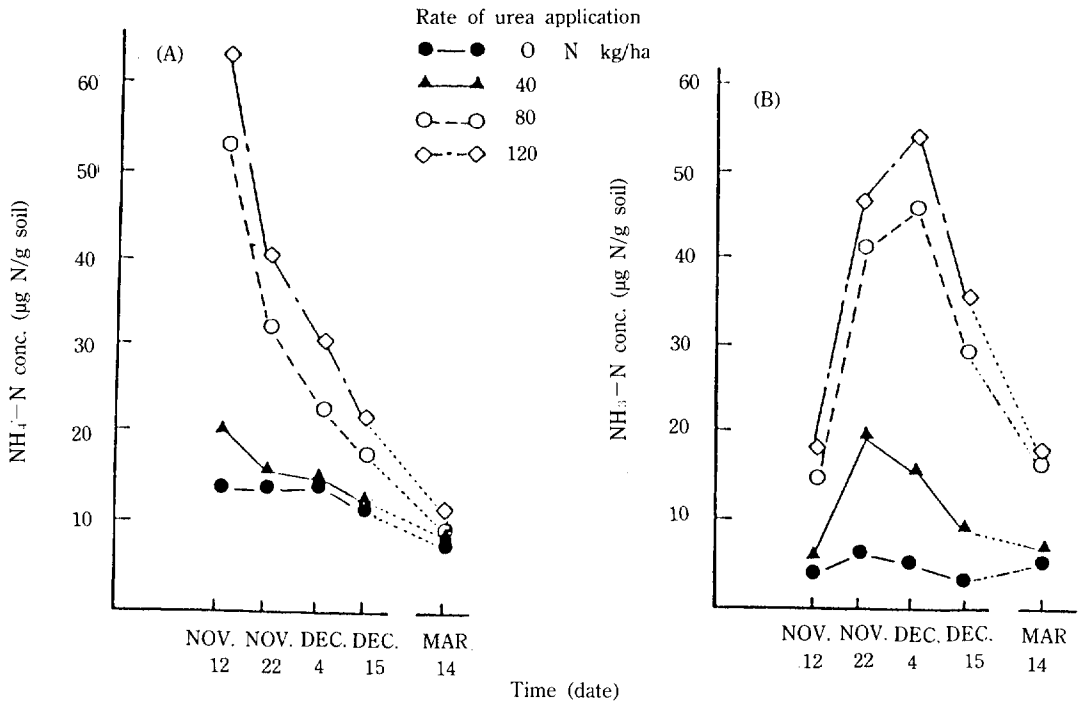


Fig. 1. Changes in NH_4^+-N (A) and NO_3^--N (B) concentration in soil, 0~10cm depth, of winter barley field.

Table 1. Progressive change in the ratio of $\text{NO}_3^- \text{N}/\text{NH}_4^+ \text{N}$ in the field soil (0~10cm) after application of urea at seeding time of winter barley

Rate of urea application (kg N/ha)	Days after urea application			
	0* (Oct.12)	31(Nov.12)	41(Nov.22)	53(Dec.4)
40	13.0	0.27	1.3	1.1
80	13.0	0.31	1.3	2.0
120	13.0	0.27	1.1	1.8
Temperature(°C)				
Mean	11.8		5.8	3.3
Range	6.0~15.6		2.7~9.6	-1.2~7.9
Soil Moisture (-MPa)	0.04~0.06		0.01~0.02	0.01~0.22

* Just before application of urea.

감소함으로서 尿素는 施用 후 곧 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 으로 전환하는 것을 알수 있었다. 이렇듯 토양에 施用한 尿素의 분해가 빨리 일어나는 것은 Bortwright와 Haas(1961)⁶⁾ 및 릿(1983)¹⁷⁾의 결과와 같은 경향이었다. $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 은 施用 후 시간이 경과함에 따라 감소하였으며, 감소폭은 ha당 80kg 및 120kg 施用구에서 현저하였다. 또한 40kg/ha 수준에서는 월동전(12월 15일)에, 80kg 및 120kg/ha 수준에서는 월동후(3월 14일)에 각각 無窒素施用區의 수준으로 떨어져 월동 후에는 尿素 施用량에 따른 차이를 볼 수 없었다. 반면에 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 함량은 기비施用 후 계속 증가하여 40kg/ha 施用구에서는 施用 후 41일(11월 22일), 그리고 80kg과 120kg/ha 施用구에서는 施用 후 53일(12월 4일)에 가장 높은 함량을 보였다. $\text{NO}_3^- \text{N}$ 함량은 최고치를 보인 이후 점차 감소하여 평균기온이 9°C로 떨어진 12월 15일에는 기비량 40, 80 및 120kg/ha에서 각각 8.4, 31.0 및 36.8µg N/g soil 수준이었고 월동 후 3월 14일 조사에서는 각각 5.3, 15.5 및 17.1 µg N/g soil로 낮아졌다. 따라서 기비질소 40kg/ha 施用에서는 월동 후 토양중 가급태질소가 무질소구의 수준에 이르렀고, 80 및 120kg/ha 施用구에서는 월동기간 중 각각 15.5 및 19.7 µg N/g soil 정도의 양이 작

토층(0~10cm)에서 소실된 것으로 나타났는데, Bergstrom(1987)⁷⁾도 보리 재배시 120kg N/ha 를 施用할 때 약 30%에 해당되는 30kg N/ha 정도가 NO_3^- 형태로 溶脫되었다고 하였다.

한편 그림 1의 결과중에서 질산화과정을 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 과 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 의 비율로 나타낸 것이 표 1이다. 표 1에서와 같이 尿素를 기비로 施用한 후 41일에 조사한 $\text{NO}_3^- \text{N}/\text{NH}_4^+ \text{N}$ 비가 1을 상회하므로써 尿素施用 후 40여일까지는 가급태질소로는 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 가 많으며 그 이후에는 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 가 많음을 뜻하는 것으로 施用 후 시기에 따라 보리가 흡수 이용하는 可給態窒素의 構成이 다를 수 시사하였다. 또한 파종 후부터 월동기에 이르기까지 평균온도가 11.8°C에서 3.3°C로 낮아졌음에도 불구하고 施用량이 많은 80 및 120 kg/ha구에서는 질산화가 진행되어 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 보다는 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 가 많이 생성되었다.

한편 尿素를 기비로 施用한 후 37일에 작토층(0~10cm)에 분포한 질산화박테리아의 수를 나타낸 것이 그림 2이다. 질산화과정중 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$ 에 관여하는 ammonia oxidizing bacteria 와 $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 에 관여하는 nitrite oxidizing bacteria 의 수는 尿素 施用량 증가에 거의 직선적으로 증가

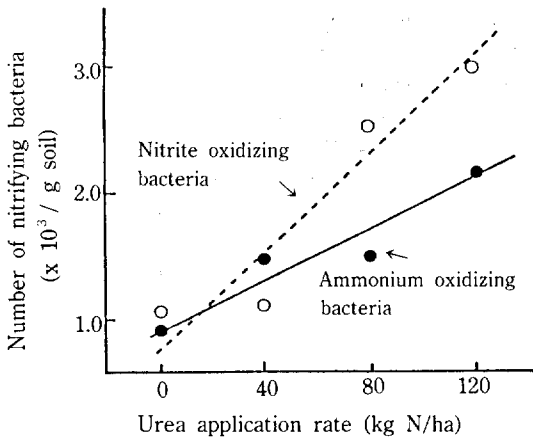


Fig. 2. Number of nitrifying bacteria in the winter barley field soil 37 days after urea application as affected by the rate of urea.

하브로서 120kg/ha 수준까지 증가하는 동안 질산화박테리아의 수가 飽和點에 이르지 않는 것으로

나타나 표 1에서와 같이 尿素 사용량 증가에 따른 질산화작용의 둔화가 거의 없거나 작았던 것과 관련이 있는 것으로 생각되었다. 그러나 질산화박테리아의 수 및 활성과 질산화작용과의 관계에 대하여는 보다 세밀한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

토양에 사용된 尿素는 가수분해와 질산화작용을 거쳐 작물에 대한 가급태인 NH_4 와 NO_3 로 전환되는데 특히 질산화작용은 온도, 수분 등 토양환경의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다^{4,5)} 질산화작용이 일어나는 온도범위는 5~40℃이며 질산화작용 박테리아는 好氣性으로 토양수분이 過多하면 질산화작용이 억제된다.¹⁸⁾ 표 1에서 나타난 바와 같이 질산화작용은 평균온도가 3.3℃로 낮아질 때까지 진행되었고, 평균온도도 年次變異가 있기 때문에 질산화작용에 미치는 온도의 영향을 검토하고자 앞의 포장실험과 동일한 포장의 作土層 토양을 사용하여 尿素를 4, 8, 16 mg N/100g Soil

Table 2. Ammonification and nitrification of the soil-incorporated urea in silty clay loam soil under 5°C, 10°C, and 15°C.

Temp. (°C)	Incubation period (days)	Amount of incorporated urea (mg N/100g soil)					
		4		8		16	
		NH_4-N	NO_3-N	NH_4-N	NO_3-N	NH_4-N	NO_3-N
..... mg/100g							
5	5	2.92 a	0.53 c	6.06 a	1.17 d	11.5 a	1.86 c
	10	2.69 ab	1.04 bc	5.78 a	1.80 cd	11.8 a-c	2.94 bc
	15	2.07 bc	1.80 ab	5.07 b	2.35 b-d	9.9 cd	3.43 bc
10	5	2.11 bc	1.08 bc	5.01 b	1.80 cd	12.6 ab	2.49 bc
	10	2.07 bc	2.51 a	4.08 c	3.09 a-c	10.7 b-d	3.04 bc
	15	1.74 c	2.01 ab	3.79 c	3.12 a-c	7.6 e	4.35 ab
15	5	2.01 bc	1.18 bc	3.83 c	2.765 b-c	11.1 b-d	2.76 bc
	10	1.52 cd	1.90 ab	3.02 d	3.80 ab	8.8 de	4.33 ab
	15	0.94 d	2.54 a	2.70 d	4.73 a	6.6 e	5.56 a
LSD at	5%	0.69	0.96	0.66	1.58	2.1	1.87

Incubation conditions: moisture: about -0.03MPa, pH: 6.4

의 3수준으로 토양과 잘 혼합한다음, 적습조건에서 맥류 생육기간중 시비 후 흔히 조우하는 온도인 5, 10 및 15°C에서 培養한 후 생성된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량을 측정하여 질산화작용의 변화과정을 살펴보았다(표 2). 표 2에서와 같이 5°C에서 5일간 배양한 후 정량한 NH_4^+ 과 NO_3^- 양을 합하였을 때 그 양은 시용량의 86~96%에 이르므로 시용한 尿素는 5°C 이상의 온도조건이면 5일 이내에 거의 전량이 NH_4^+ 으로 전환됨을 알 수 있었다. NO_3^- 의 생성량은 온도가 높을수록 많고 尿素 시용량이 증가할수록 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 토양에 시용된 尿素는 곧 분해되어 NH_4^+ 로 전환되고,¹⁶⁾ 질산화작용의 적온이 20°C이라는 Mahli와 McGill (1982)¹⁵⁾의 결과와 같은 경향을 나타내었다.

2. 추파대맥의 월동기간중 窒酸態窒素의 溶脫

토양내에서 질산태질소의 용탈량을 산출하는데에는 복합적인 요인이 관련되어 여러 요인을 동시에 고려하는 것이 바람직하며, 이러한 점들을 감안하여 개발된 모형들이 있지만²⁾ 본 연구에서는 실험수행기간이 가을에서부터 초봄까지로 이 기간중의 강우량은 10mm 이하이며 강우횟수도 많지 않았고, 온도도 평균기온이 15°C 이하로 揮散, 脫窒 등이 거의 없을 것으로 판단하여, 질소 시용량에서 보리가 흡수한 질소의 양 및 월동 전과 월동 후의 토양의 질소량을 이용하여 월동기간중 용탈되는 양을 산출하였다.

파종기부터 월동 후인 이듬해 3월 중순까지 보리가 흡수한 질소의 양을 산출하기 위하여 보리의 건물중 (건물중의 결과는 前報¹⁾를 참고)과 체내의 질소함량을 조사하고 월동기간중 보리의 枯死體에 함유되어 소실된 질소량을 그림 3과 4에 나타내었다. 파종 후부터 월동 후까지의 葉重 질소 함량은 기비시용구에서 3.2~3.9%의 함량을 보였고 이를 乾物重과 계산하여 體內 질소함량으로 나타낸 것이 그림 3이다. 전체적인 경향은 건물중과 비슷하여 월동 전의 질소흡수량은 12월 15일까지 질소시용량이 증가함에 따라 증가하였으며, 월동직후에는

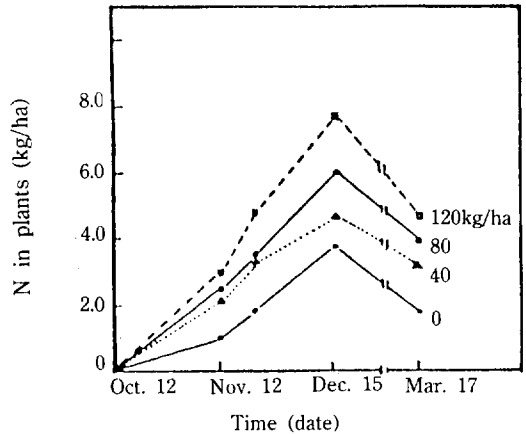


Fig. 3. Accumulation of N in barley plants in relation to basal application of N.

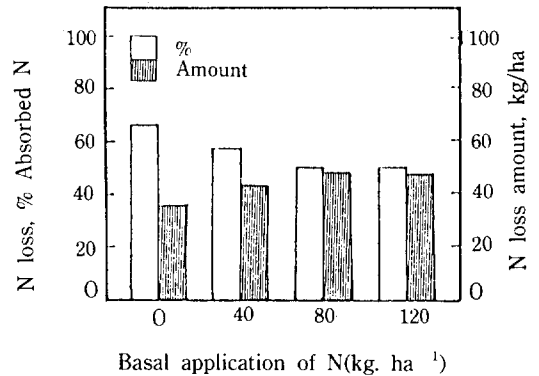


Fig. 4. N loss caused by dead portion of leaves exposed to the air during winter period in relation to basal application of N.

枯死葉에 의한 흡수된 질소의 消失로 인하여 월동 후 보리가 함유한 질소의 양은 모든 窒素施用水準에 걸쳐 월동 전의 함유량보다 적은 것으로 나타났는데 消失 정도는 기비 질소시용량 0, 40, 80 및 120 kg/ha에서 각각 ha당 35, 42, 48 및 48kg에 이르는 것으로 나타났다.(그림 3과 4)

한편 그림 1에서 보리의 생장이 정지되고 고사체가 발생하였던 기간인 12월 15일부터 이듬해 3월 14일 사이의 토양중 窒素량을 산출하기 위하여 12월 15일의 질소함량과 3월 14일의 질소량을 비

고한 결과, 基肥窒素 40kg/ha 시용에서는 월동후 토양중 가급태질소가 무질소구의 수준에 이르렀고, 80 및 120kg/ha 시용에서는 월동기간중 각각 15.5 및 19.7 $\mu\text{g N/g soil}$ 정도의 양이 작토층 0~10cm에서 용탈된 것으로 나타났는데, 이를 ha당으로 환산하면 각각 16kg 및 20kg에 해당하였다. 파종 후 越冬 前까지의 기간중에도 강우 또는 토양 수분의 이동에 따라 질산태 질소의 용탈이 어느 정도 일어났을 것으로 생각되었으나, 이 기간에는 보리의 생장이 계속 이루어졌고 이에 수반하여 질소의 흡수도 계속적으로 이루어졌기 때문에 대부분의 가급태질소는 흡수 이용되었을 것으로 판단하여 월동기간중에 용탈되어 消失된 가급태질소, 특히 질산태질소의 量을 추정하였다. 이상의 결과를 정리한 것이 표 3이다. 표 3에서와 같이 무질소구와 40 kg/ha 시용구는 월동기간중 고사된 보리에 함유된 질소의 함량과 토양에 잔존하는 질소의 量이 시용했던 것보다 많아 예외로 하고, ha 당 80kg 및 120kg 이용한 區에서 살펴보면 월동기간중 보리의 枯死體에 함유되어 有機態窒素의 형태로 소실된 질소의 量이 각각 ha당 48kg에 달하여 이것 역시 環境으로 환원되어 소실되었고, 월동 후 토양에 잔존하는 가급태질소의 量은 기비시용량의 24~26% 정도였다. 질산태질소로 월동기간중에 消失된 量이 질소시용량 80 및 120kg/ha에서 각각 ha당

16 및 20kg 정도로 施用量の 20% 및 17%에 달하였다. 또한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 손실량도 ha당 8 및 11kg 정도로 나타났으나 NH_4 가 직접 消失된 것인지 월동기간중 NO_3 로 변하여 없어진 것인지는 알 수 없었다. 월동기간중에 NO_3 와 NH_4 를 합한 消失量이 ha당 24kg과 31kg으로 기비시용량의 30%와 26%에 달하였다. 이러한 窒素基肥의 소실은 질산태질소에 의한 水質汚染의 면에서도 문제가 있지만, 보리재배에서 질소비료의 효율성면에서도 검토해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

摘 要

추파 대맥포장에서 基肥로 시용한 尿素의 토양중 窒酸化率과 월동기간중 보리의 枯死體함유된 질소의 量과 작토층에서 消失된 질산태질소의 量 및 월동 후 토양에 잔존하고 있는 질소의 量을 추정하고자 실시되었다. 보리 품종 올보리를 감시하고 작물시험장 맥류포장에서 기비 시용량을 0, 40, 80 및 120kg/ha을 尿素로 시용하였다. 파종은 10월 12일에 하였고 이듬해 3월 17일까지 조사하였으며, 월동기간은 12월 15일부터 3월 17일까지로 하였다. 또한 같은 토양을 이용하여 질산화작용에 미치는 온도의 영향을 밝히기 위하여 5, 10 및 15 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서 4, 8, 16 mg N/100g soil 수준으로 培養하였다.

Table 3. Fate of the soil applied urea as basal dressing after overwintering (Mar. 17) or during overwintering. (Dec. 15-Mar. 17)

(Unit: kg/ha)

N Fertilization	0	40	80	120
N Loss due to dead plant parts	35	42	48	48
Residual soil N	12	15	21	31
Loss of Available N ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$)	1	3	24	31
[$\text{NH}_4\text{-N}$ Loss	1	1	8	11
[$\text{NO}_3\text{-N}$ Loss	-	2	16	20

1. 토양의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량의 변화는 尿素 시용 후 40일경을 기점으로, 40일경까지는 NH_4 가, 그리고 그 이후에는 NO_3 가 각각 可給態 窒素의 主를 이루었다.
2. 토양에 시용된 尿素의 질산화는 尿素 시용량이 많을수록, 그리고 온도가 낮을수록 완만하게 進行되었는데, 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 15 $^{\circ}\text{C}$ 에서의 窒酸化率의 40~50%가 일어났다.
3. 窒酸化作用에 관여하는 ammonia oxidizing bacteria 와 nitrite oxidizing bacteria의 수는 尿素 시용량의 증가에 따라 거의 직선적으로 增加하였다.
4. 월동 후 생존한 보리에 함유된 窒素量은 基

肥量の 10% 미만이었으며, 작토층에 잔류한 可給態窒素의 함량은 기비량의 약 24~26% 이었으며, 월동기간중 보리의 고사체에 함유되어 유기태질소로 消失된 量은 기비량의 약 50% 였고, 질산태질소의 溶脫量은 약 17~20%에 달하였다. 월동기간중 질산태질소의 용탈량은 기비시용량 80 및 120kg/ha에서 각각 ha당 16kg 및 20kg 정도로 추정되었다.

參考文獻

1. 三井進牛, 栗原淳. (1959): トレ-サ-法による尿素肥料中炭素の經時的同化に關する研究, 日土肥誌, 30, 405.
2. Allison, F. E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils, *Adv. Agron. J.*, 18, 219.
3. Tomar, J. S. and Soper, R. J.(1981): Fate of tagged urea N in the field with different methods of N and organic matter placement, *Agron. J.*, 73, 991.
4. Delwiche, C.C. ed. (1981): Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide, John Wiley & Sons, p. 67.
5. Eggleton, W.G.E. (1935): The nitrification of ammonia in the field and in laboratory experiments, *Ann. Appl. Biol.*, 22, 419.
6. Fltcher, D.A. (1991): A national perspective, In *Managing Nitrogen for Ground Water Quality and Farm Profitability*, R.F. Follet, D.R. Keeney and R.M. Cruse, eds. SSSA, Inc., Wisconsin, USA. p. 9.
7. Bergstrom, L. (1987): Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters, *J. Environ. Qual.*, 16, 11.
8. Hergert, G. W. (1986): Nitrogen leaching through sandy soil as affected by sprinkler irrigation management, *J. Environ. Qual.*, 15, 272.
9. Kee Kwong, K. F. NG. and Deville, J. (1984): Nitrogen leaching from soils cropped with sugarcane under the humid tropical climate of Mauritius, Indian Ocean, *J. Environ. Qual.*, 13, 471.
10. 조재영, 이동우, 조장환, 홍병희. (1969): 질소의 追肥期 및 추비방법이 소맥의 수량 및 수량요인에 미치는 영향, 韓作誌, 7, 103.
11. Kim, S. D. and Kwon, Y. W. (1993): Soil nitrogen availability, Nitrogen uptake and growth of winter barley, In *Crop Production and Improvement Technology in Asia*, The Proceedings of the First Asian Crop Science Conference, p. 359.
12. Spratt, E.D. (1974): Effect of ammonium and nitrate forms of fertilizer-N and their time of application on utilization of N by wheat, *Agron. J.*, 66, 57
13. 농촌진흥청. (1983): 농사시험연구조사기준, p. 25.
14. Schimt, E.L. and Belser, L. W.(1982): In Miller, R.H. and D.R. Keeney, ed. *Methods of Soil Analysis, Part II. ASA-SSSA*, p. 1027.
15. Alexander, M. (1982): Most probable number method for microbial populations, In Miller, R.H. and D.R. Keeney, ed. *Methods of Soil Analysis, Part II. ASA-SSSA*, p. 815.
16. 吳南舜. (1983): 밭 토양에 있어서 緩效性 질소질 비료의 질소공급력과 효과에 관하여, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
17. Bortwright, G.O. and Haas, H. J. (1961): Development and composition of spring wheat as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization, *Agron.J.*, 53, 33.
18. Alexander, M. (1977): *International to soil microbiology*. John Wiley & Sons, p. 222.
19. Malhi, S.S. and McGill, W. W. (1982): Nitri-

fication in three alberta soils: Effect of temperature, moisture and substrate concentration, *Soil Biochem.*, 14, 393.

20. Pierce, F.J., Shaffer, M. J. and Halvorson, A. D. (1991): Screening procedure for estimating

potentially leachable nitrate-nitrogen below the root zone, In *Managing Nitrogen for Ground Water Quality and Farm Profitability*, R.F. Follet, D.R. Keeney and R.M. Cruse, eds. SSSA, Inc., Wisconsin, USA. p. 259.