제주 토양에서 배추의 질소 이용 및 질산태 질소의 축적

송성준[1] · 강태우[1] · 유장걸[2]

[1]제주대학교 방사선응용과학연구소,
[2]제주대학교 생명자원과학대학

N utilizations and nitrate accumulations of Chinese cabbage in Jeju soils

Song Sung-Jun[1], Kang Tae-Woo[1] and U. Zang-Kual[2]

[1]*Applied Radioisotope Research Institute, Cheju National University, Cheju, Republic of Korea 690-756*
[2]*Faculty of Horticultural Life Science, College of Agriculture & Life Science, Cheju National University, Cheju, Republic of Korea 690-756*

The pot experiment was carried out to determine N utilizations and nitrate accumulation of Chinese cabbage, as applied at the different rates of ^{15}N-labeled urea in VDBV(very dark brown volcanic ash) and DBNV(dark brown non-volcanic ash) soils. The amounts of N taken up by Chinese cabbage in VDBV soil and in DBNV soil was 52% and 53%, respectively at rate of the recommended application(150 kg N/ha). However, N absorption by plants in DBNV soil decreased more with increased NO_3-N leaching and uncountable N losses(e.g. NH_3 volatilization etc.) at four fold higher rate of the recommended application than in VDBV soil. On the other hand, the concentrations of NO_3-N accumulated in plants increased with more N application. Owing to inferior growth of Chinese cabbage in DBNV soil the per cent NO_3-N in the plants from urea applied was greater in DBNV soil(5.9~11.7%) than in VDBV soil(3.95~6.67%). The per cent leaching of NO_3-N during the cultivation of Chinese cabbage was greater in DBNV soil(0.04~11 %) than in VDBV soil (0.00~0.3 %).

서 론

국내에서 질산태 질소 오염에 대한 대중적인 관심은 음용수에 국한되어 왔다 해도 과언이 아니다. 그러나, 우리 체내로 들어오는 질산태 질소 함량의 80~90% 이상이 채소로부터 기인된다는 점(Laitinen 등, 1993; Knight 등, 1987)은 다량시비에 의한 식물체중의 질산태 질소 과다축적이 음용수의 경우보다 국민 건강에 더 심각한 영향을 줄 수 있다는 것을 간과해서는 안된다(Kuebler 와 Hueppe, 1985).

외국의 경우 이미 1970년대부터 채소와 과일뿐만 아니라 가공 육류중의 질산태 질소 함량에 대한 전반적인 조사가 활발히 이루어져 왔다. 미국인의 질산태 질소의 일일 평균섭취량은 99.8 mg이고, 영국인은 95 mg (Knight 등, 1987)이라고 보고되고 있다. 유럽의 식품 보건 전문가 합의 위원회(The council of European Partial Agreement's Committee of Experts on the Health Control of Foodstuff)에서는 채소별 질산태 질소의 일일 섭취 허용기준양을 마련하여 질산태 질소 섭취에 대한 관리를 보건위생 측면에서 철저히 하고 있다. 질산태 질소의 일일 섭취 허용양은 220 mg 정도이라고 보고(Corre and Breimer, 1979)하고 있으며 이 값은 2,200 mg NO_3/kg 함량을 가진 채소를 100 g 먹었을 때 도달할 수 있는 수치이다.

국내에서도 채소의 질산태 질소 축적에 대한 연구는 몇몇 연구자에 의해 이루어지기는 했으나(신, 1982;이, 1995; 손과 오, 1993;손 등, 1995)

매우 미약한 수준이다. 밭 토양에서 채소에 의한 질소질 비료의 흡수 및 축적에 관한 연구는 채소에 대한 질산태 질소 축적을 최소화 시켜 국민들의 안전한 식생활을 위해서 뿐만 아니라 환경 보전농업을 구현하기 위한 효율적인 시비 관리를 하기 위해서 필요한 일이다. 따라서, 본 연구에서는 배추를 공시재료로 하여 암갈색 비화산회토양과 농암갈색 화산회 토양에서 질산태 질소 식물체내 흡수 및 축적 양상을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 시험토양

농암갈색 화산회 토양과 암갈색 비화산회 토양(홍적색토)을 사용하였으며, 특히 암갈색 토양은 토양분류학상 육지부 전라도 무릉통의 밭 토양과 이화학적 성질이 매우 유사한 것이다. 공시 토양의 이화학적 성질은 Table 1과 같다. 총질소, 질산태 질소, 암모늄태 질소, 유기물 및 유효인산 함량이 농암갈색 화산회 토양보다 암갈색 비화산회 토양이 높은 것이 특징이다.

2. 재료식물

서울종묘에서 구입한 만점배추를 플라스틱 묘판에 파종하여 발아시킨 뒤 본엽이 2개 나왔을 때 균일한 개체만을 골라 이식하였다.

3. 포트재배

플라스틱 재질의 원통형 포트(윗면 : 34 cm, 높이 : 28 cm, 아랫면 : 21 cm)의 밑면에 직경 1.0 cm 크기의 구멍을 17군데 뚫고 직경 20 cm 크기의 가랑을 부착하여 PE관을 연결함으로써 진공펌프로 지상에서 용탈액을 수거할 수 있도록 하였다. 포트는 그 윗면이 토양 표층과 같은 높이가 되도록 하여 설치하였다. 농암갈색 화산회 토양 14 kg과 암갈색 비화산회 토양이 17 kg이 담긴 포트에 배추의 유묘를 정식하였다. 질소비료는 5 % atom 중질소 표지 요소를 사용하였고 0, 150, 300, 600 N kg/ha 수준에 해당하는 비료의 양을 각각의 토양 가비중(농암갈색 화산회 토양 : 0.7 g/㎤, 비화산회 토양: 1.3 g/㎤)과 작토 깊이(25 cm)을 고려하여 계산하였는데, 농암갈색 화산회토인 경우에는 토양 14 kg(포트) 당 0, 0.65, 1.30, 2.60 g N 그리고 암갈색 비화산회토 경우에는 토양 17 kg(포트) 당 0, 1.46, 2.92, 5.84 g N을 가하였다. 인산과 가리질 비료로는 용성인비와 염화가리를 각각 사용하였고 토양특성별로 그 시비량을 달리하였다. 농암갈색 화산회토의 경우에는 성분량으로 하여 73.4 kg P_2O_5/ha(2.94 g P_2O_5/pot)와 69.6 kg K_2O/ha(0.93 g K_2O/pot)을 그리고 암갈색 비화산회토의 경우 67.4 kg P_2O_5/ha(1.76 P_2O_5/pot)와 56.4 kg K_2O/ha(0.49 g K_2O/pot)을 시비하였다. 질소, 인산, 및 가리질 비료는 배추 정식전에 전량 기비로 처리하였다. 재배기간은 정식후 70일이었으며 총 관수량은 실험기간 동안의 강우량을 합하여 500 mm(15.7 liter)였다.

Table 1. Chemical properties of soils used for the study.

Soil	pH (1:5)	EC (ms/m)	OM (%)	Total N (%)	NH_4-N (mg/kg)	NO_3-N (mg/kg)	Available P (mgP/kg)	Exchangeable bases		
								K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)
Dark brown non-volcanic ash soil	5.35	10.7	1.53	0.06	6.65	20.4	130	0.58	2.40	1.15
Very dark brown volcanic ash soil	5.62	16.8	8.50	0.41	3.85	7.93	87.3	0.47	2.75	0.85

4. 화학분석

포트 재배 후에 배추를 기관별(지상부와 지하부)로 나누어 채취하고 70℃에서 건조하여 곱게 빻은 뒤 분석시료로 하였다. 식물체 중의 총 질소는 분말시료의 일부를 황산-과산화수소법으로 분해한 뒤 Kjeldahle 증류하여 분석하였으며(Ahn, 1987), NO_3-N은 분말시료에 물을 첨가하여 45℃에서 1시간 가열한 뒤 이온크로마토그라프(Dione, DX-500, USA)로 분석하였다. 토양은 채취후 음지에서 풍건시키고 2 mm 체를 통과시켰다. 토양 중의 총 질소는 Kjeldahle 방법으로 분석하였으며(Ahn, 1987), NH_4-N과 NO_3- N은 2 M KCl를 가한 토양 현탁액을 1시간 진탕함으로써 추출하였다(Bremner, 1965; Knowles와 Lefebvre, 1971). 그 여액의 일부에 MgO를 가하여 증류하여 NH_4-N 분획을 얻었고 그 후 Devarda's alloy를 첨가하여 증류함으로써 NO_3-N에 해당되는 NH_4-N 분획를 얻었다. 각각 증류 분획은 0.005N H_2SO_4로 적정하여 NH_4-N과 NO_3-N의 함량을 구하였다. 토양 용탈액 중의 NO_3-N은 이온크로마토그라피법(Dione, DX-500, USA)로 분석하였다.

5. ^{15}N 분석

곱게 빻은 토양 또는 시료를 tin capsule에 취한 뒤 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로 ^{15}N존재비를 구하였다. 또한, NH_4-N과 NO_3-N 분획의 증류액은 다시 증류하여 0.05 N H_2SO_4에 포집하고 70~80℃(Kreitler, 1978)에서 농축한 뒤 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로 ^{15}N 존재비를 구하였다. %Ndff(시료 중에 시비된 비료에서 질소분율)은 시비된 비료 중의 $\%^{15}N$ atom excess에 대한 시료 중에 $\%^{15}N$ atom excess를 백분율로 나타냈다(IAEA, 1976).

결과 및 고찰

가. 생체중, 질소의 엽중 함량 및 식물체 흡수량

질소시비량이 증가함에 따라 배추의 생체중과 엽중 질소함량은 증가했고 이에 따라 식물체의 질소흡수량도 함께 증가했다(Table 2). 암갈색 비화산회 토양보다 농암갈색 화산회토양에서 생

Table 2. Fresh weight, leaf N and N application of Chinese cabbage, as four different rates of N-fertilizer were applied in the soil.

Soil type	Application rate (mg N/pot)	Fresh weight (g/plant)	Leaf N(%)	N absorption (mg/plant)
Dark brown non-volcanic ash soil	0 (0 kg N/ha)	230	0.67	310
	1460 (150 kg N/ha)	849	1.57	920
	2920 (300 kg N/ha)	892	2.62	1,450
	5840 (600 kg N/ha)	982	3.44	1,860
Very dark brown volcanic ash soil	0 (0 kgN/10a)	526	0.77	480
	650 (150 kgN/ha)	711	1.24	720
	1290 (300 kgN/ha)	1,014	1.82	1,230
	2580 (600 kgN/ha)	1,285	2.72	1,930

체중의 증가는 컸으나 엽중 질소 함량은 그 반대의 현상을 나타냈는데, 이는 식물체의 생육이 왕성하여 질소양분이 희석되어 농암갈색토양에서 나타난 결과라고 사료된다.

나. 질산태 질소의 기관별 식물체내 축적 양상

질소시비량에 따른 질산태질소의 기관별 식물체내 축적양상을 보면 Table 3과 같다. 시비량이 증가함에 따라 식물체내에 질산태 질소의 축적량은 점차 증가하는 경향을 보였다. 암갈색 비화산회토의 경우 질산태 질소 축적량은 기준시비량(지상부 : 2,495 mg NO_3-N/kg DM, 지하부 : 1,435 mg NO_3-N/kg DM)에 비해 4배 높게 시용한 구(5840 mg N/pot) 에서는 지상부가 6,211 mg NO_3-N/kg DM, 지하부가 5,504 mg NO_3-N/kg DM 정도로 2배 정도 높았다. 농암갈색 화산회 토양의 질산태 질소 축적량은 기준시비량의 4배일 때 급격한 증가를 보였고 지상부의 경우 그 양이 약 5배 정도 높아졌다. 축적된 질산태 질소의 양은 시비량과 기관별로 다소 달랐지만 생체중 단위로 환산할 때 암갈색 토양에서는 236~1130 mg NO_3/kg FW이며 농암갈색 화산회 토양에서는 170~1525 mg NO_3/kg FW정도로 손과 오(1993)의 연구와 비슷한 결과를 보였다.

한편, 식물체중에 시비한 비료로부터 온 질산태 질소의 총량을 보면 암갈색 토양에서 재배한 경우 기준시비구(1460 mg N/pot)에서는 86.0 mg 2배 시비구에서는 341 mg, 4배시비구에서는 642 mg 였고, 농암갈색 토양에서는 기준구 시비구에서 43.1 mg, 2배시비구에서 44.8 mg, 4배시비구에서 102 mg를 보였으며, 특히 4배시비구에서 비료에서 온 질소 양이 급격한 증가를 보였다. 또한, 비료 기여율을 계산하여 보면 3.5~11.7% 였으며 일반적으로 질소 시비량이 증가함에 따라 높아졌는데 비록 채소의 생육은 토양의 비옥도와 환경 등에 의해 다를 수는 있지만 기준시비구의 4배와 같은 많은 양의 질소 시비는 질산태 질소의 축적을 급격히 증가시킬 가능성이 있는 것으로 생각된다.

Table 3. NO_3-N accumulation, N fertilizer-derived NO_3-N in Chinese cabbage, as four different rates of N-fertilizer were applied in the soil.

Soil type	Application rate (mg N/pot)	NO_3-N(mg/kg)		N fertilizer-derived NO_3-N(%) (mg/plant)
		Shoot	Root	
Dark brown non-volcanic ash soil	0 (0 kg N/ha)	771	976	-
	1460 (150 kg N/ha)	2,495	1,435	86.0[5.90]
	2920 (300 kg N/ha)	4,448	3,175	341[11.7]
	5840 (600 kg N/ha)	6,211	5,504	642[11.0]
Very dark brown volcanic ash soil	0 (0 kgN/10a)	1,069	1,317	-
	650 (150 kgN/ha)	1,067	1,561	43.1[6.67]
	1290 (300 kgN/ha)	1,350	2,473	44.8[3.47]
	2580 (600 kgN/ha)	5,120	2,866	102[3.95]

다. 시비된 비료의 행방조사

시비된 질소질 비료(요소)의 행방 즉 배추의 이용율, 토양의 잔류율 그리고 손실율을 조사한 결과는 Table 4 에 나타냈다. 일반적으로 질소 비료 이용율은 시비량이 적을 때에 높다고 알려져 있듯이(이와 유, 1994; Varvel and Peterson, 1990), 시비량이 증가함에 따라 암갈색 비화산회 토양에서는 53%에서 32%로 감소하였다. 그러나, 농암갈색 화산회토양의 경우 52~60% 범위를 보였으나 시비량에 따른 차이를 나타내지 않았다. 암갈색 비화산회토양에서는 생체중이 무비구와 시비구간에는 현격한 차이를 나타냈으나, 시비량에 따른 차이가 그리 크지 않아 시비된 질소양에 대한 질소의 총 흡수율이 증가되지 않았고 질소의 용탈양 등이 컸기 때문에 시비량에 따른 비료의 이용율이 점차 낮아 진 것으로 사료된다. 농암갈색 화산회토양에서는 비료의 이용율이 시비량에 따라 차이를 보이지 않은 것은 암갈색 비화산회 토양과는 달리 생체중이 시비량에 반응하여 크게 증가하여 시비된 비료의 총 흡수율이 컷기 때문인 것으로 생각된다.

실험후 토양 중에 남아 있는 비료 유래의 총 잔류 질소양과 용탈 등의 손실 양을 보면, 암갈색 비화산회 토양인 경우 총잔류 질소양은 시비량이 증가함에 따라 배추에서는 49%에서 35%로 감소하였다. 농암갈색 화산회 토양에서도 시비량이 증가함에 따라 잔류 총질소량은 감소하였다. 이처럼 시비량에 따른 잔류 총질소량이 감소한 것은 식물체에 의한 흡수 그리고 용탈 또는 탈질작용 등에 의한 손실양의 증가했기 때문이라고 사료되며 암갈색 비화산회토양 경우에 그 경향은 더욱 뚜렷하였다. 기준시비량의 4배에 해당하는 경우에는 본 실험에서 조사되지 않은 원인에 의한 손실양도 20% 이상 되었다. 따라서, 다량의 비료시비는 식물체내에 질산태 질소의 축적을 증가시킬 뿐만 아니라 비료의 손실율을 현격히 높이는 결과를 초래할 수 있다고 생각된다.

적 요

^{15}N 표지 요소 비료의 시비량을 달리하여 배추의 질소 흡수와 질산태 질소의 축적, 비료 이용율, 토양 잔류율 및 용탈 등에 의한 손실 양을 조사하였다. 질소 시비량이 증가함에 따라 암갈색 비화산회 토양과 농암갈색 화산회 토양에서 재배

Table 4 . Nitrogen balance for ^{15}N-labeled urea applied in the soil.

Soil type	Application rate (mg N/pot)	Fertilizer nitrogen uptake by plant(%)	Fertilizer nitrogen found in soil(%)	Nitrogen losses		Total
				Leaching of NO_3-N	Unaccount -able N	
Dark brown non-volcanic ash soil	1460 (150 kg N/ha)	53.0	46.0	0.04	0.96	100
	2920 (300 kg N/ha)	48.0	38.0	10.0	4.00	100
	5840 (600 kg N/ha)	32.0	35.0	11.0	22.0	100
Very dark brown volcanic ash soil	650 (150 kg N/ha)	52.0	58.0	0.00	-10.0	100
	1290 (300 kg N/ha)	60.0	41.0	0.00	-1.00	100
	2580 (600 kg N/ha)	50.0	29.0	0.30	20.7	100

된 배추의 질소함량, 생체중 그리고 질소흡수량은 증가하였다. 식물체내 질산태 질소의 축적은 기준 시비량보다 4배 높은 질소량을 시비했을 때 급격히 증가했으며 요소비료에서 유래한 질소 분율은 시비량에 따라 차이는 있었지만 시비된 질소 비료양의 3.5~11.7%였다. 비료의 이용율은 기준 시비량에서는 암갈색 비화산회 토양(53%)과 농암갈색 화산회 토양(52%)간에 비슷하였고, 기준 시비량보다 4배 높은 경우의 비료 이용율은 암갈색 화산회 토양에서는 현격히 떨어졌으나 식물체 생육이 왕성했던 농암갈색 비화산회 토양에서는 그 차이가 없었다. 시비된 비료의 토양 잔류율은 배추의 이용율과 용탈 및 기타 손실율에 의해 그 비율은 변하였다. 질산태 질소의 용탈양 및 기타 손실율도 암갈색 비화산회 토양이 농암갈색 화산회 토양에 비해 높았고 시비량이 증가함에 따라 더 커졌다.

참고문헌

1. Ahn, Y. S.(1987) Plant analysis for evaluating plant nutrition. In "International training workshop on soil test and plant analysis", RDA & FFTC/ASPAC.

2. Corre, W. J. and T. Breimer(1979) Nitrate and nitrite in vegetables. Pudoc. Wageningen, Netherlands, p.75.

3. IAEA(1976) Tracer manual on crops and soils. Technical Report Series No. 171. pp. 119-122.

4. Knight, T. M., D. Forman, S.A. Al Dabbagh, and R. Doll(1987) Estimation of dietary intake of nitrate and nitrite in Great Britain, Food. Chem. Toxicol. 25(4):277-285.

5. Knowles, R. and J. Lefebvre(1971) Field, greenhouse and laboratory studies on the tranformation and translocation of ^{15}N-labelled urea in a boreal forest black spruce system, Proceeding of a symposium on isotopes and radiation in soil-plant relationships including forestry. 13-17 December 1971. IAEA

6. Kuebler, W. and R. Hueppe(1985) What level of nitrate intakes are tolerable in man?, Ernaehr-Umsch 32(10):328-332

7. Laitinen, S., S.M. Virtanen, L. Raesaenen, P.L. Penttilae(1993) Calculated dietary intakes of nitrate by young Finns, Food. Add. Contam. 10(4):469-477

8. 이상모, 류순호(1994) 논토양에서 중질소(N-15)를 이용한 표면시용 요소로부터 유래하는 질소의 행동에 관한 연구, 한국농화학회지 37(4):277-286

9. 신대휴(1982) 재배중 토마토 과실의 질산염 및 아질산염과 ascorbic acid의 함량변화, 경북대학교 석사학위논문

10. 손상목, 오경석(1993) 질소시비량이 배추, 무우 및 오이의 가식부위내 NO_3^-집적에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 26(1):10-19

11. 손상목,오경석,이장석(1995) 차광정도 및 질소시비량이 배추수량과 가식부위내 NO_3^-집적에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 28(2):154-159

12. Varvel, G. E. and T. A. Peterson. 1990. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation system. Agron. J. 82:935-938