

우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양의 화학적 특성 (Ⅲ) - 질소의 형태별 함량 분포 -

Chemical Properties in the Soils of Reclaimed and Natural Tidelands of Southwest Coastal Area of Korea (Ⅲ) - Distribution of Nitrogens Fractions -

조 재 영* · 구 자 웅** · 손 재 권**

Cho, Jae Young · Koo, Ja Woong · Son, Jae Gwon

Abstract

The fractions of nitrogen were investigated in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal area of Korea. The content of total-N varied to ranged from 619 to 5,534 mg/kg dry weight with a mean value of 1,857 mg/kg. The order of different fractions of nitrogen was as follows: Acid non-extractable-N > uncounted-N > acid extractable-N > ammonia-N > nitrate-N. The content of ammonia-N, acid extractable-N, and acid non-extractable-N showed highly negative correlations with pH. The content of acid extractable-N and ammonia-N showed highly positive correlation with clay content

Keywords : Nitrogen, Reclaimed tidelands, Fraction, Plant nutrient

I. 서 론

국내에서 간척지 토양과 관련하여 이루어진 연구는 주로 토성별 제염효과 분석, 제염과정 해석, 제염용수량 추정, 제염시 용수 중 염분함량의 영향 (Koo *et al.*, 1998), 제염과 수도재배 (Im, 1970; Im *et al.*, 1971) 및 내염성 벼품종의 개발을 중심

으로 이루어져 왔다 (Cho *et al.*, 1990). 지금까지 국내에서는 간척지 토양을 토양생성론적인 견지에서 작물생산력이 낮은 특수토양의 일부로 규정하여 다양한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

질소는 토양 중에서 이동성이 큰 물질로서 대기권, 토양 및 생물 사이를 순환하고 있다. 토양에 존재하는 무기태 질소는 ammomium (NH₄-N)과 nitrate (NO₃-N)의 형태가 주를 이루고 있다. 물론 nitrite (NO₂-N) 형태도 존재하지만 극미량이기 때문에 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 알려져 있다. 지금까지 알려진 바로는 중성염을 가지고 추출하여 분석하였을 때 무기태질소의 함량은 총질소의

* 전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소
** 전북대학교 농업생명과학대학 생물자원시스템공학부
* Corresponding author. Tel.: +82-63-270-2547
Fax: +82-63-270-2550
E-mail address: soilcosmos@chonbuk.ac.kr

약 2% 미만으로 알려져 있다. 토양질소의 대부분은 유기태질소로 구성되어 있으며, 가급태질소의 급원으로서 토양비옥도면에서 중요한 인자로 알려져 있다. 유기태 질소는 복잡한 화합물의 구성원으로써 그의 형태, 조성 및 화학성에 관한 것이 불분명한 것이 아직도 많이 남아 있다.

간척지 토양의 고도이용에 대한 방안 모색과 간척 사업으로 인한 환경생태학적인 문제를 해결하기 위해서는 간척지 토양의 이화학적 특성의 변화, 양분의 유효도와 유실감수성, 양분의 흡·탈착률, 양분흡수 특성 등 체계적인 연구의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 연구결과를 기초로 하여 지속적인 작물생산 기반을 구축하기 위한 저투입지속농업의 모델개발 및 최적관리기법의 도입과 같은 다양한 연구가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양에 존재하는 질소의 화학적 형태별 특성을 구명하기 위한 연구의 일부로서 서남해안 간척지 총 10개 지구를 대상으로 102점의 토양시료를 채취하여 토양 중에 존재하는 질소의 형태별 함량을 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양 중에 분포하는 인의 화학적 형태별 함량을 조사하기 위하여 서남해안 4개 지역에 걸쳐 대표성이 있다고 판단되는 10개 지구에서 총 102점의 토양시료를 채취하였다. 토양시료의 채취지점의 구역 특성, 채취방법, 채취시기, 시료보관 및 토양 일반성분에 대한 분석내용은 Cho *et al.* (2006)에 자세히 나타나 있다. 질소의 형태별 함량분석은 Page *et al.* (1982)의 방법에 따랐는데, 총질소는 Kjeldahl법, 암모니아태질소는 10% KCl 침출후 steam-distillation법, 질산태질소는 10% KCl 침출후 Brucine법, 유기태질소는 Stewart법을 사용하였다. Stewart법은 유기태질소를 HCl과 NaOH를 써서 3가지로

분별정량할 수 있는 방법으로 산가용유출성 질소 (acid extractable nitrogen)에는 가수분해에 의해 생성된 ammonia-N, amino sugar-N가 함유되어 있고, 산가용비유출성 질소 (acid non-extractable nitrogen)에는 amino acid-N와 산가용성 humin-N가 함유되어 있다. 본 연구에 사용된 간척지 및 간석지 토양의 물리·화학적 특성은 Koo *et al.*(1998)에 자세히 제시되어 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 간척지 및 간석지 토양 중 총질소의 함량분포

토양 중 총질소의 함량은 619.5~5,533.4 mg/kg의 범위로 평균 1,857.6 mg/kg을 나타내었다(Fig. 1과 Table 1). 지역별로는 경기도 용진과 화옹지구 그리고 전남 고흥지구에서 평균 함량이 2,000 mg/kg을 상회하고 있는 것으로 조사되었다. 충남 석문지구의 경우 1,000 mg/kg 수준으로 가장 낮게 나타났다. 지역별로 총질소의 함량이 차이를 보이는 것은 토양특성 보다는 육상으로부터 어느 정도의 질소가 배출될 수 있는가와 유역특성에 기인한 것으로 판단된다. 간척지 및 간석지 토양 중 총질소의 함량은 일부 지점에서 우리나라 일반 농경지의 총질소 함량보다 높게 나타났다.

총질소의 함량만을 대상으로 고찰할 경우 내부

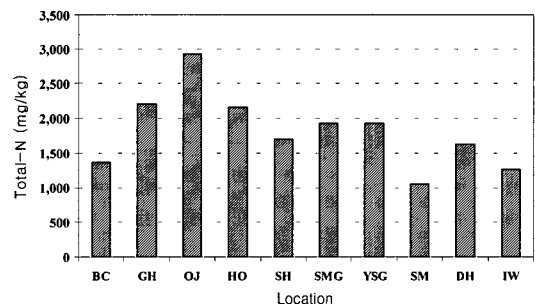


Fig. 1 Distribution of total nitrogen in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

Table 1 Mean and concentration range of nitrogen components in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast (unit: mg/kg)

Location		Total-N	Inorganic-N		Organic-N		
			Nitrate-N	Ammonia-N	AE-N	ANE-N	UC-N
Total (n=102)	Mean	1857.6	62.7	195.2	353.3	625.6	606.0
	SD	967.4	34.7	56.1	200.4	526.9	488.5
	Min	619.5	19.5	105.8	119.7	68.8	81.5
	Max	5533.4	169.0	396.9	1351.9	2970.2	1983.5
BC (n=9)	Mean	1362.8	44.1	161.7	229.9	509.3	398.6
	SD	1249.9	19.1	27.9	133.0	933.4	343.6
	Min	619.5	20.2	105.8	125.4	68.8	148.8
	Max	4500.0	78.0	185.2	551.9	2970.2	1148.5
GH (n=9)	Mean	2249.3	56.6	195.1	355.2	580.6	1050.0
	SD	878.9	18.4	59.9	95.3	195.6	729.3
	Min	1156.9	32.5	132.3	272.5	309.3	182.2
	Max	3525.6	82.6	291.1	563.6	808.9	1983.5
OJ (n=9)	Mean	2878.4	47.5	215.0	627.9	978.4	1005.4
	SD	998.7	20.4	57.3	345.7	650.1	408.2
	Min	1529.9	26.0	132.3	272.5	440.6	487.1
	Max	4555.3	78.0	317.5	1299.0	2254.4	1582.8
HO (n=9)	Mean	2279.2	48.0	238.1	448.5	770.2	767.4
	SD	1464.1	20.8	92.7	385.9	782.2	432.4
	Min	1000.0	21.5	132.3	166.7	324.0	166.0
	Max	5533.4	89.1	396.9	1351.9	2690.1	1370.8
SH (n=9)	Mean	1689.5	117.3	211.7	305.6	722.4	324.9
	SD	258.8	36.4	37.4	27.4	304.5	262.9
	Min	1300.2	72.2	158.8	272.5	382.1	112.9
	Max	2069.8	169.0	264.6	351.9	1334.7	886.2
SMG (n=24)	Mean	1824.2	41.5	182.5	329.7	674.2	574.4
	SD	772.4	18.0	38.1	133.7	450.4	419.1
	Min	689.9	19.5	105.8	119.7	70.1	131.3
	Max	3239.8	83.9	264.6	590.0	1599.3	1839.1
YSG (n=12)	Mean	2010.3	55.4	248.7	388.9	580.4	732.3
	SD	1001.7	24.8	53.2	206.2	620.3	492.9
	Min	998.5	31.2	185.2	219.6	223.4	168.7
	Max	3776.5	100.1	317.5	775.3	2175.9	1735.7
SM (n=9)	Mean	1021.7	108.6	138.9	230.3	344.2	178.5
	SD	156.2	34.0	33.9	66.3	136.5	59.7
	Min	800.3	66.3	105.8	119.7	129.2	81.5
	Max	1256.2	166.4	211.7	299.0	493.9	273.5
DH (n=6)	Mean	1626.6	93.5	201.1	330.7	707.1	271.1
	SD	356.3	38.6	51.6	65.9	214.8	184.0
	Min	1012.3	31.9	158.8	219.6	367.2	84.5
	Max	1902.1	126.8	291.1	378.4	911.3	515.2
IW (n=6)	Mean	1234.3	83.7	164.1	293.7	344.2	339.5
	SD	78.3	31.0	29.0	63.2	70.7	162.6
	Min	1123.1	50.1	132.3	219.6	276.3	144.1
	Max	1299.8	121.6	211.7	378.4	440.9	550.9

AE: acid extractable, ANE: acid non-extractable, UC: uncounted

개발후 간척지를 농경지로 이용시 식물영양성분으로서 질소의 함량은 어느 정도 충족된 것으로 판단된다. 그러나 간척지 또는 간석지 토양에 질소가 과다하게 축적되어 있을 경우 향후 간척지 인근의 담수호에 불리하게 작용할 수 있다는 점을 감안해야 할 것으로 판단된다.

2. 토양 중 무기태 질소와 유기태 질소의 함량 분포

토양 중 무기태 질소의 분획별 함량분포를 조사한 결과는 Fig. 2에 나타나 있다. 질산태 질소의 함량은 19.5~169.0 mg/kg의 범위로 평균 62.7 mg/kg을, 암모니아태 질소의 함량은 105.8~396.9 mg/kg의 범위로 평균 195.2 mg/kg을 나타내었다. 무기태 질소의 함량은 부창지구에서 205.8 mg/kg으로 최소를 보인 반면, 시화지구에서 323.9 mg/kg으로 최대를 나타내었다. 거의 대부분의 조사지구에서 암모니아태 질소가 전체 무기태 질소의 80% 정도를 차지하였으나 일부 석문, 대호, 이원지구에서는 60% 수준을 나타내고 있었다. 이는 각 조사지구별로 암모니아태 질소의 질산화도의 차이와 함께 여러 가지 토양의 물리화학적 특성 즉, 포화도, 하전특성, 입도분포 그리고 양이온교환용량 (CEC)의 분포특성이 서로 차이를 보이는 것과 연관되어 있을 것으로 사료된다.

토양 중에 분포하는 유기물의 양과 화학적 조성에 의해 크게 영향을 받는 유기태 질소의 분획별 함량분포를 조사한 결과는 Fig. 3에 나타나 있다. 토양의 산화환원조건 변화에 의해 유기물이 분해될 때 가장 먼저 토양에 공급될 수 있는 산가용유출성 질소의 함량은 229.1~617.8 mg/kg의 범위로 평균 353.5 mg/kg을 나타내었다. 석문지구와 부창지구에서 230 mg/kg 수준으로 가장 낮은 값을 보인 반면에 웅진지구에서 620 mg/kg 수준으로 가장 높게 나타났다. 유기태 질소 가운데 산가용비유출성 질소는 유기물과 강한 결합을 하고 있어 일부

유기물이 분해되더라도 쉽게 용출되기 어려운 것으로 알려져 있는데 이들 함량은 324.0~956.8 mg/kg의 범위로 평균 603.8 mg/kg을 나타내었다. 석문과 이원지구에서 320~340 mg/kg 수준으로 가장 낮은 값을 보인 반면에 웅진지구에서 956 mg/kg으로 가장 높은 값을 나타내었다. 유기태 질소로 구성되어 있지만 그 구성분을 정확히 알 수 없는 uncounted-N의 함량은 210~1,091 mg/kg의 범위로 평균 582.7 mg/kg을 나타내었다. 전체적으로 우리나라 서남해안에 존재하는 간척지와 간석지에 분포하는 유기태 질소의 함량은 782~2,666 mg/kg의 범위로 평균 1,540.7 mg/kg을 나타내었다.

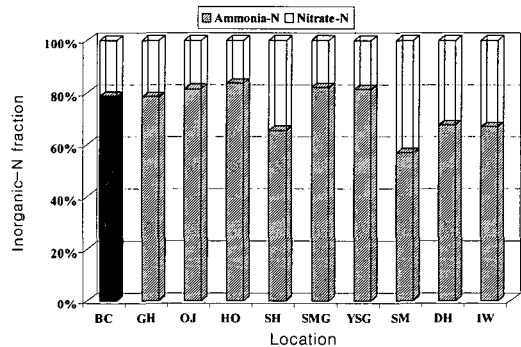


Fig. 2 Fractions of inorganic nitrogen in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

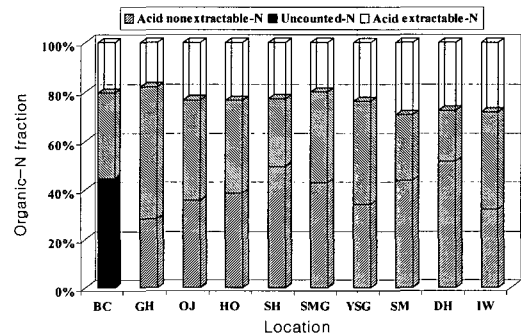


Fig. 3 Fractions of organic nitrogen in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

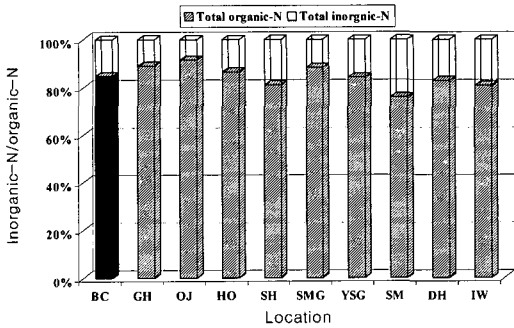


Fig. 4 Comparison of inorganic and organic nitrogen in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

3. 토양 중 무기태 질소/유기태 질소의 비율

토양 중에 분포하는 무기태 질소와 유기태 질소의 비율을 비교한 결과 유기태 질소가 전체 총질소의 80~90% 이상을 차지하고 있었다 (Fig. 4). 토양 중에 존재하는 유기태 질소의 경우 그 자체로서 식물에 이용되지 않고 토양미생물에 의한 질소 무기화 과정을 거쳐 무기태 질소 즉, 암모니아태 질소 또는 질산태 질소로 전환된 다음 식물이 흡수 이용하는 것으로 알려져 있다. 지금까지의 조사결과를 토대로 고찰할 경우 우리나라 서남해안 간척지 및 간척지 토양에 존재하는 총질소의 함량은 일반 농경지 토양과 비교할 경우 거의 유사하거나 약간 높은 수준이다. 아울러 이들 대부분이 유기태 질소의 형태로 존재하고 있으므로 추후 간척사업이 완료된 후 농경지로서의 활용 단계에서 토양의 산화환원조건 변화 예를 들어, 표토층과 심토층의 교환이나 경운활동을 통해 유기태 질소의 무기화를 촉진시킬 경우 식물체로의 양분 공급율이 증가하여 정밀농업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 토양 중 질소의 화학적 형태별 함량과 토양 특성과의 관계

토양 중 질소원의 형태별 분포와 토양특성 (pH,

CEC, OM, Clay)간의 관계를 조사한 결과는 Table 2에 나타나 있다. 무기태 질소 가운데 암모니아태 질소, 유기태 질소 가운데 산가용유출성 질소와 산가용비유출성 질소는 pH가 증가함에 따라 감소하는 유의성 있는 부(負)의 상관을 나타내었다. pH가 증가함에 따라 산가용유출성 질소의 함량이 감소한 것은 일반적으로 설명이 가능한 부분이지만, 산가용비유출성 질소의 함량이 산가용유출성 질소와 동일한 관계를 보이는 것은 추후 검토가 필요한 부분이라 생각된다. 추후 간척지의 조성이 완료되거나 일부 간척지의 간척지로의 전환이 이루어질 경우 초기 토양의 산성화가 진행될 경우 산가용유출성 질소의 용출이 발생하게 되어 식물영양학적으로는 식물양분의 공급이 이루어지는 면이 있겠지만 상대적으로 주변 하천생태계에 일부 영향을 끼칠 수 있는 요인이 될 수도 있을 것으로 판단된다.

여러 가지 토양 질소의 형태 가운데 양이온교환용량은 질산태 질소와 유의성 있는 정(正)의 상관을 보이고 있었다. 양이온교환용량은 일정량의 토양이 가지고 있는 치환성 양이온의 총량을 말한다. 양이온교환용량이 증가할수록 작물의 생육에 필요한 K^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 등의 보유량이 증가하게 될 것이다. 양이온교환용량이 증가함에 따라 암모니아태질소의 함량이 증가할 것으로 예상하였지만 반대로 질산태 질소의 함량이 증가하는 반대의 경향을 나타내었다.

토양유기물은 유기태 질소 가운데 산가용비유출

Table 2 Correlation coefficients for relationships between nitrogen forms and soil properties

Soil properties	Inorganic-N		Organic-N	
	Nitrate-N	Ammonia-N	AE-N	ANE-N
pH	0.1238	-0.2200*	-0.2660*	-0.2387*
CEC	0.3086**	0.1594	-0.0169	-0.0344
OM	0.0718	-0.0548	0.1642	0.2253*
Clay	-0.1471	0.4271**	0.2321*	0.0617

*, **: Significant at the 0.05, and 0.01 levels, respectively.

성 질소와 밀접한 관련을 보이고 있었으며, 토양중 점토함량은 암모니아태 질소와 산가용유출성 질소와 유의성 있는 정의 상관을 보이고 있었다.

IV. 요약 및 결론

우리나라 서남해안 간척지 및 간척지 토양 중에 분포하는 질소의 화학적 형태별 함량을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 토양 중 총질소의 함량은 619.5~5,533.4 mg/kg의 범위로 평균 1,857.6 mg/kg을 나타내었다. 지역별로는 경기도 용진과 화옹지구 그리고 전남 고흥지구에서 평균 함량이 2,000 mg/kg을 상회하고 있는 것으로 조사되었다. 충남 석문지구의 경우 1,000 mg/kg 수준으로 가장 낮게 나타났다.

2. 무기태 질소 가운데 질산태 질소의 함량은 19.5~169.0mg/kg의 범위로 평균 62.7 mg/kg을, 암모니아태 질소의 함량은 105.8~396.9 mg/kg의 범위로 평균 195.2 mg/kg을 나타내었다. 거의 대부분의 조사지역에서 암모니아태 질소가 전체 무기태 질소의 80% 정도를 차지하였으나 일부 석문, 대호, 이원지구에서는 60% 수준을 나타내고 있었다.

3. 유기태 질소의 함량은 782~2,666 mg/kg의 범위로 평균 1,540.7 mg/kg을 나타내었다. 유기태 질소의 분획별로는 산가용비유출성 질소가 산가용유출성 질소보다 높게 나타났으며, uncounted-N의 함량이 전체 유기태 질소 가운데 30% 이상을 차지하고 있었다.

4. 간척지 및 간척지 토양 중에 분포하는 무기태 질소와 유기태 질소의 비율을 비교한 결과 유기태 질소가 전체 총질소의 80~90% 이상을 차지하고 있었다.

References

1. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. G. Son, 2006. Chemical properties in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal area of Korea. I. Distribution of Heavy Metal Fractions, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(1): pp. 3-10. (in Korean)
2. Cho, Y. K., I. S. Jo, and K. T. Um, 1992. Effects of decreasing methods of salt content in root zone on soil properties and crop growth at the newly reclaimed tidal soil, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 25(2): pp. 127-132. (in Korean)
3. Im, H. B., 1970. Study on the salt tolerance of rice and other crops in reclaimed soil areas, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 3(1): pp. 31-41. (in Korean)
4. Im, H. B., U. K. Lim, and C. S. Hoang, 1971. Study on the salt tolerance of rice and other crops in reclaimed soil areas, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 4(1): pp. 79-85. (in Korean)
5. Koo, J. W., J. K. Choi, and J. G. Son, 1998. Soil properties of reclaimed tidelands and tidelands of western sea coast in Korea, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 31(2): pp. 120-127. (in Korean)
6. Lee, S. K., J. S. Suh, and J. Y. Ko, 1987. Associated nitrogen fixation in the rhizosphere of rice in saline and reclaimed saline paddy soil 1. Enumeration of aerobic heterotrophic bacteria associated in histosphere of grasses and rice, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 20(1): pp. 76. (in Korean)
7. Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeny, 1982. Methods of Soil Analysis. *Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA*

관 계 배 수