

무에서 니켈 독성검정을 위한 생육 및 생리반응 비교

I. 무의 생육 및 니켈 흡수이행

조재영* · 한강완

전북대학교 농화학과

초록 : 니켈 독성의 생물검정에 있어서 지표식물로서 무를 이용하였고 토양중 니켈의 농도, 토양 pH, 공존 이온의 첨가, 복토, 유기물, 석회처리의 요인을 변수로 하여 무의 생육 상태 및 니켈의 흡수축적량 차이를 비교하였다. 무종자의 발아율은 대조구에 비하여 니켈 처리농도 150 mg/kg에서 40%의 낮은 발아율을 나타내었다. 토양 중에 처리된 니켈 농도가 증가할수록 무의 초장, 근장, 건물량이 감소하는 경향이었으며, 니켈 처리농도 100 mg/kg에서 약 65%의 생육저해를 보였으며 150 mg/kg부터는 무의 정상적인 생육이 불가능하였다. 토양 pH가 증가함에 따라 무로 흡수이행되는 니켈의 함량이 감소하는 역의 상관관계를 나타내었다. 토양에 니켈을 50 mg/kg으로 처리한 후 Fe의 농도를 10, 50, 100 mg/kg으로 증가시켰을 때 무로 이행되는 니켈의 흡수축적량간에 유의성이 인정되지 않았다($p>0.1$). 토양에 니켈을 50 mg/kg으로 처리한 후 Zn의 농도를 10, 50, 100 mg/kg으로 증가시켰을 때 무로 흡수 이행되는 니켈의 흡수축적량간에 유의성이 인정되었다(줄기, 뿌리 $p<0.05$). 복토, 유기물과 석회처리시 모두 대조구에 비하여 니켈 흡수축적량이 감소하는 경향이 있었다($p<0.01$). 각 처리구간의 니켈 흡수축적량 차이는 인정할 수 없었으나(줄기, 뿌리 $p>0.5$), 유기물>복토>석회처리의 순서대로 니켈 흡수량 감소의 효과가 나타났다.(1996년 6월 17일 접수, 1996년 7월 1일 수리)

서 론

생물의 영양공급원인 토양에 인간의 생산활동 과정에서 유출되거나 버려진 오염물질이 부하될 때 오염물질들은 토양 중에 존재하는 미생물에 의하여 분해되거나, 식물에 의한 흡수 또는 강우에 의하여 용출·소실되지만 대부분의 중금속 오염물질은 화학적·생화학적 으로 안정하여 분해되거나 이동하지 않고 토양 중에 그대로 축적되게 된다.

식물생육에 영향을 미치는 중금속의 독성을 상대적으로 평가하는 지표로 아연등량계수(Zinc equivalent factor)를 사용하고 있는데 구리는 아연의 2배, 니켈은 아연의 8배나 되며, 여러 가지 중금속 오염물질 중에서도 특히 니켈은 식물에 용이하게 흡수되며 식물생육에 독성을 강하게 나타내는 원소로 알려져 있다.¹⁻⁴⁾

중금속에 의한 토양오염과 관련하여 많은 연구가 수행되고 있지만 식물에 흡수되는 니켈의 독성에 관한 연구는 많지 않은 편이고, 이들은 대부분 중금속이 식물에 흡수되는 한계농도의 조사에만 치우쳐온 것이 사실이다.⁵⁻⁹⁾ 식물에 의한 중금속의 흡수는 그 흡수축적량이 가변적이기 때문에 토양의 중금속농도가 낮다 해도 식물체에 미치는 생육피해는 물론 먹이연쇄를 통한 생물농축으로 인체에 해로운 영향을 미칠 우려가 있다. 따라서 토양과 식물계에 대한 중금속의 흡수 이행에 관한 연구는 식물의 영양 공급장소인 토양오염 방지대

책에 중요한 역할을 할 것이다.

본 연구는 니켈 독성의 생물검정에 있어서 지표식물로서 무를 이용하여 토양 중 니켈의 농도, 토양 pH, 공존중금속 첨가, 복토, 유기물, 석회처리의 요인을 변수로 하여 무의 생육상태 및 무에 의한 니켈의 흡수 이행량을 조사 비교하였다.

재료 및 방법

실험재료

(1) 토양

전주시 덕진구 덕진동 소재 밭토양의 10~20 cm지점 표토를 채취하여 풍건 후 2 mm체를 통과시킨 다음 pot실험에 사용하였으며 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

(2) 중금속화합물 및 시약

Ni원으로 nickel nitrate[$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$], Zn원으로 zinc sulfate($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), Fe원으로 ferrous sulfate($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)는 Junsei Chemical Co., Ltd의 특급시약을 사용하였다.

(3) 실험식물 및 재배환경

본 실험에 사용한 식물은 무(*Raphanus Sativus* L.)였으며, Pot(직경 20 cm, 높이 18 cm, PVC제품)에 공시토양 4.0 kg을 충전하고 실험조건별로 처리한 후 토양내 완충작용이 완료된 3개월 후에 무종자(한농교배, 평강알

찾는말 : Nickel, Radish, Competitive metal interactions, Organic matter, Lime

*연락처

Table 1. Chemical and physical properties of the experimental soil

Soil texture	Sandy Clay Loam
pH	5.45
Organic matter (%)	2.14
Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	59.80
Cation exchange capacity (cmol/kg)	9.04
Exchangeable cations (cmol/kg)	
Ca	2.04
Mg	1.82
0.1N-HCl extractable heavy metals(mg/kg)	
Zn	3.92
Fe	3.04
Ni	2.66

타리무우, 품종등록번호 VR-HY-66)를 pot당 20립씩 1 cm 깊이로 파종하여 무배수조건으로 재배하였다. 재배기간 동안 탈이온수를 공급하여 포장용수량을 유지하였으며, 복합비료(N : P₂O₅ : K₂O = 16 : 16 : 6)는 15 kg/10a 수준으로 pot당 2 g을 기비 60%, 파종 30일 후 추비 40%의 비율로 2회 시비하였다.

(4) 유기물

전북 완주군 소재의 제일비료에서 생산한 유기질비료를 사용하였으며 유기물함량 40.61%, 전질소 1.63%, 양이온치환용량 63.2 cmol/kg, 중금속함량은 극히 미량이었다.

실험방법

토양 중 니켈 농도에 따른 영향을 조사하기 위해 공시토양에 토양 4.0 kg에 대한 무게함량으로 수용액형태로 니켈을 각각 10, 50, 100, 150, 200 mg/kg으로 처리하여 균등하게 혼합한 다음 무종자를 20립씩 1 cm 깊이로 파종하여 재배하였다. 토양 pH변화에 따른 영향을 조사하기 위해 공시토양 4.0 kg에 각각 0.4N-H₂SO₄ 용액 70 ml, 0.2N-H₂SO₄ 용액 70 ml, Ca(OH)₂ 8 g, Ca(OH)₂ 15 g을 첨가하여 토양 pH를 5, 6, 7, 8로 조정 한 후 토양과 균등하게 혼합하여 토양반응이 완료될 때까지 방치시킨 다음 토양 4.0 kg에 대한 무게함량으로 수용액형태로 니켈을 각각 10, 50, 100, 150, 200 mg/kg을 첨가한 후 무종자를 20립씩 1 cm 깊이로 파종하여 재배하였으며 무의 재배기간 동안 실험토양의 pH변화는 Table 2와 같다. 공존이온의 영향을 조사하기 위하여 공시토양 4.0 kg에 수용액형태로 니켈을 50 mg/kg으로 처리 후 잘 혼합한 다음 Fe(FeSO₄·7H₂O), Zn(ZnSO₄·7H₂O)을 각각 10, 50, 100 mg/kg 처리한 후 무종자를 20립씩 1 cm 깊이로 파종하여 재배하였다. 니켈의 흡수이행량 감소에 대한 조사는 공시토양 4.0 kg에 수용액형태로 니켈을 10, 50, 100 mg/kg 처리 후 균등하게 혼합한 다음 복토처리는 공시토양을 5 cm, 10 cm 깊이로, 유기물 시용은 공시토양에 유기물 50 g, 100 g을, 석회처리는 Ca(OH)₂ 20 g, 30 g 처리하여 균등하게 혼합한 후 무종자를 20립씩 1 cm

Table 2. Changes pH of the soils after amending with H₂SO₄ and Ca(OH)₂

pH	Soil pH			
	0	15	30	45*
5	4.92	4.94	4.94	4.93
6	6.10	6.13	6.12	6.10
7	6.89	6.94	6.93	6.94
8	7.93	8.01	7.98	7.95

*DAT : Days After Treatment

Table 3. Germination rate of radish seeds as affected by different concentration of Ni

Concentration	Germination rate (% of control)
Control	100.0
5	109.0
10	112.5
50	94.9
100	85.4
150	39.6
200	15.8

깊이로 파종하여 재배하였다.

(1) 작물의 생육조사 및 무 중 니켈의 함량분석

공시토양에서 재배한 무를 대조군으로 하여 파종 7일 후 니켈 처리농도에 따른 발아율을 조사하였으며, 파종 후 45일째 되는 날에 각각의 시험구당 10개의 시료를 채취하여 무의 초장, 근장, 건물량을 조사하여 대조구에 대한 생육상태를 조사하였다. 또한 생육조사가 끝난 시료를 물로 씻은 후 탈이온수로 3~5회 정도 헹구어 건조시킨 다음 분석시료로 사용하였다. 250 ml Kjeldahl flask에 시료 2 g과 ternary solution 10 ml를 첨가하여 가열 분해하였으며 분해가 완료된 시료를 방랭 후 여액을 50 ml로 용량을 맞추어 원자흡광분광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Varian Spectr AA 400, Graphite furnace GTA 96, Co., Australia)로 니켈함량을 분석하였다.

결과 및 고찰

무 종자의 발아율

니켈 농도에 따른 무의 발아율을 조사한 결과(Table 3) 무의 발아율은 니켈 함량 5~10 mg/kg에서 100% 이상이었으며, 150 mg/kg에서 40%, 200 mg/kg에서는 발아율이 극히 저조하였다.

토양 중 니켈 농도에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량

토양 중에 처리된 니켈 농도가 10 mg/kg일 때 대조구에 비해 약 13~20%정도 초장, 근장, 건물량이 증가하였으며, 초장, 근장, 건물량은 니켈 처리농도가 증가

Table 4. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by different concentration of Ni

Ni level treated in soil (mg/kg)	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Control	100.0**	100.0	100.0	0.13± 0.02	0.21± 0.05
10	119.6	113.2	116.2	0.29± 0.12	0.39± 0.03
50	95.2	82.0	97.2	0.37± 0.03	0.51± 0.04
100	36.4	34.9	37.1	0.61± 0.06	0.88± 0.06
150	—***	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—

*Growth of radish value indicates relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the control(100%)

Values are Mean± S.D. of three replications *No plants were present

Table 5. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by different soil pH

Soil pH	Ni level treated in soil (mg/kg)	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
		Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
5	Control	100.0	100.0	100.0	0.18± 0.05	0.25± 0.10
	10	72.9**	87.7	77.6	0.36± 0.01	0.51± 0.03
	50	60.2	68.4	70.2	0.53± 0.02	0.68± 0.12
	100	50.8	62.9	54.3	0.69± 0.05	0.93± 0.14
	150	—***	—	—	—	—
6	Control	100.0	100.0	100.0	0.16± 0.03	0.24± 0.12
	10	89.5	100.8	97.6	0.33± 0.03	0.48± 0.10
	50	84.8	100.0	98.2	0.46± 0.01	0.63± 0.12
	100	83.1	81.9	88.5	0.63± 0.01	0.92± 0.11
	150	—	—	—	—	—
7	Control	100.0	100.0	100.0	0.18± 0.03	0.24± 0.06
	10	106.7	118.5	122.6	0.27± 0.05	0.32± 0.01
	50	138.2	116.7	130.4	0.35± 0.04	0.51± 0.12
	100	106.8	111.1	103.0	0.59± 0.11	0.88± 0.06
	150	—	—	—	0.72± 0.13	1.04± 0.15
8	Control	100.0	100.0	100.0	0.16± 0.07	0.26± 0.08
	10	100.5	112.3	105.0	0.28± 0.12	0.34± 0.08
	50	121.9	120.0	118.1	0.37± 0.08	0.50± 0.07
	100	105.1	103.7	104.9	0.56± 0.11	0.94± 0.11
	150	—	—	—	0.66± 0.10	1.02± 0.18

*Growth of radish value indicates relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the control(100%)

Values are Mean± S.D. of three replications *No plants were present

할수록 감소하는 경향이였으며, 니켈 처리농도 100 mg/kg에서 약 65%의 생육저해가 나타났다(Table 4).

니켈 처리농도 100 mg/kg에서 파종 45일 후 무의 생육이 극히 저조하였는데 잎이 위축되어 요철증상을 나타내었으며, 150 mg/kg 이상의 농도에서는 무의 생육이 불가능하였다. 또한 토양 중에 처리된 니켈 농도가 증가할수록 줄기, 뿌리에 축적되는 니켈의 농도가 증가하는 경향을 나타내었으며[줄기, 뿌리(p<0.05)], 무의 부분별 니켈의 축적량은 줄기에서 보다 뿌리에서 더 높게 나타났다. 토양 pH변화에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량 토양 pH 5에서 니켈 처리농도 100 mg/kg의 경우 공시토양에 니켈을 100 mg/kg 처리한 대조구에 비해 건물량이 45%정도 감소하였으며, 150 mg/kg부터는 무의 생육이 불가능하였다. pH 7, 8 동일농도에서 대조구에 비해 3.0%정도 건물량이 증가하였으며, 니켈

처리농도 200 mg/kg에서 부터 무의 정상적인 생육이 불가능하였다(Table 5).

pH가 낮을수록 토양 중 니켈의 무로의 흡수이행이 증가하였는데 pH 5, 니켈 처리농도 100 mg/kg에서 줄기, 뿌리내 니켈 함량이 0.69, 0.93 mg/kg이었던 반면에 pH 7, 동일처리농도에서 0.59, 0.88 mg/kg으로 5~15% 정도의 흡수축적량이 감소하였다. 토양 pH가 증가함에 따라 작물체로 흡수 축적되는 니켈의 함량이 감소하는 부의 상관을 나타내었는데 줄기 함량과는(r: -0.965**) 1%의 고도의 유의수준을 나타내었고, 뿌리 함량과는(r: -0.837*) 5%의 유의수준을 나타내었다.

Mcfee¹⁰⁾는 산이 토양에 유입될 경우 중금속의 이동성이 증가함으로써 중금속의 잔류기간을 단축시켜 식물에 흡수가 용이하다고 하였으며, 또한 Carl¹¹⁾ 등은 산성토양에서는 Ni²⁺, NiSO₄, 그리고 NiHPO₄가 주로

Table 6. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by different Fe concentration

Treatment	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Control	100.0	100.0	100.0	0.37±0.03	0.51±0.04
Fe 10 mg/kg	113.0	115.0	103.6**	0.33±0.07	0.53±0.07
Fe 50 mg/kg	114.6	106.7	102.7	0.30±0.10	0.51±0.04
Fe 100 mg/kg	81.3	86.7	88.4	0.31±0.02	0.50±0.10

*Growth of radish value(%) indicate relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the soil treated Ni 50 mg/kg ** Values are Mean±S.D. of three replications

Table 7. Effect of Ni on growth of radish and Zn contents in the radish affected by different Zn concentration

Treatment	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Control	100.0	100.0	100.0	0.37±0.03	0.51±0.04
Zn 10 mg/kg	98.6	103.3	105.6**	0.39±0.06	0.50±0.07
Zn 50 mg/kg	107.6	108.3	107.7	0.34±0.06	0.51±0.04
Zn 100 mg/kg	99.2	112.3	102.6	0.31±0.11	0.48±0.09

*Growth of radish value(%) indicate relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the soil treated Ni 50 mg/kg ** Values are Mean±S.D. of three replications

Table 8. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by covering with soil depth

Treatment	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Ni 10 mg/kg		100.0	100.0	0.29±0.12	0.39±0.03
Ni 10 mg/kg+C.S. 5 cm***	109.0	106.2	103.4**	0.29±0.04	0.33±0.06
Ni 10 mg/kg+C.S. 10 cm	129.1	103.1	106.4	0.24±0.06	0.29±0.06
Ni 50 mg/kg		100.0	100.0	0.37±0.03	0.51±0.04
Ni 50 mg/kg+C.S. 5 cm	108.9	108.3	109.4	0.34±0.01	0.56±0.04
Ni 50 mg/kg+C.S. 10 cm	104.8	108.3	106.9	0.32±0.03	0.55±0.08
Ni 100 mg/kg		100.0	100.0	0.61±0.06	0.88±0.06
Ni 100 mg/kg+C.S. 5 cm	114.5	124.3	115.3	0.60±0.10	0.83±0.09
Ni 100 mg/kg+C.S. 10 cm	117.5	132.4	113.6	0.54±0.06	0.82±0.13

*Growth of radish value(%) indicate relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the soil treated different Ni concentration **Values are Mean±S.D. of three replications ***C.S: Covering with Soil

Table 9. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by different organic matter treatments

Treatment	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Ni 10 mg/kg		100.0	100.0	0.29±0.12	0.39±0.03
Ni 10 mg/kg+O.M. 50 g***	104.8	106.2	109.6**	0.23±0.03	0.31±0.05
Ni 10 mg/kg+O.M. 100 g	100.9	106.2	106.6	0.20±0.03	0.27±0.04
Ni 50 mg/kg		100.0	100.0	0.37±0.03	0.51±0.04
Ni 50 mg/kg+O.M. 50 g	117.1	106.7	114.5	0.30±0.06	0.56±0.04
Ni 50 mg/kg+O.M. 100 g	112.2	103.3	112.7	0.26±0.09	0.54±0.06
Ni 100 mg/kg		100.0	100.0	0.61±0.06	0.88±0.06
Ni 100 mg/kg+O.M. 50 g	157.9	132.3	136.3	0.58±0.11	0.76±0.07
Ni 100 mg/kg+O.M. 100 g	142.0	129.7	132.1	0.57±0.14	0.75±0.14

*Growth of radish value(%) indicate relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the soil treated different Ni concentration **Values are Mean±S.D. of three replications ***O.M.: Organic Matter

Table 10. Effect of Ni on growth of radish and Ni contents in the radish affected by different Ca(OH)₂ treatments

Treatment	Growth of radish (% of control)*			Ni contents (mg/kg)	
	Plant height	Root length	Dry weight	Shoot	Root
Ni 10 mg/kg	100.0	100.0	100.0	0.29± 0.12	0.39± 0.03
Ni 10 mg/kg+Ca(OH) ₂ 20 g	110.5	112.3	110.9**	0.24± 0.04	0.34± 0.06
Ni 10 mg/kg+Ca(OH) ₂ 30 g	118.1	106.7	118.3	0.23± 0.06	0.30± 0.08
Ni 50 mg/kg	100.0	100.0	100.0	0.37± 0.03	0.51± 0.04
Ni 50 mg/kg+Ca(OH) ₂ 20 g	113.0	116.7	103.8	0.32± 0.07	0.61± 0.08
Ni 50 mg/kg+Ca(OH) ₂ 30 g	108.9	116.7	105.4	0.32± 0.04	0.60± 0.09
Ni 100 mg/kg	100.0	100.0	100.0	0.61± 0.06	0.88± 0.06
Ni 100 mg/kg+Ca(OH) ₂ 20 g	107.2	119.5	104.3	0.61± 0.06	0.84± 0.11
Ni 100 mg/kg+Ca(OH) ₂ 30 g	116.7	116.8	107.9	0.60± 0.07	0.79± 0.18

*Growth of radish value(%) indicate relative values of plant height, root length and dry weight of each radish in comparison with the soil treated different Ni concentration **Values are Mean±S.D. of three replications

존재하며 이들은 SO₄²⁻와 PO₄³⁻의 농도수준에 의존한다고 보고하였는데 본 실험에서도 유사한 경향을 나타내었다.

공존이온 첨가에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량

(1) Fe의 첨가

니켈 50 mg/kg 처리 후 Fe농도를 10, 50, 100 mg/kg으로 상승시켰을 때 Fe 처리농도 10, 50 mg/kg은 Fe을 첨가하지 않은 처리구에 비해 3% 정도 건물량이 증가하였으나, 100 mg/kg 처리구에서는 약 12% 정도 건물량이 감소하였다(Table 6).

이것은 저농도에서 Fe의 일부가 니켈과 대체되었거나 식물에 필수성분으로 존재하지만, Fe의 농도가 과잉으로 존재할 경우 용질농도 과잉으로 인한 뿌리호흡불량 등의 일시적인 독성인 것으로 사료된다. Fe의 농도를 증가시켰을 때 무로 흡수 이행되는 니켈 함량의 증감 여부와 농도이행비에 차이가 있는지를 분산분석한 결과 유의성이 인정되지 않았다(p>0.1).

(2) Zn의 첨가

니켈 처리 농도 50 mg/kg에서 Zn의 농도를 10, 50, 100 mg/kg으로 상승시켰을 때 10, 50, 100 mg/kg 모두 Zn을 첨가하지 않은 처리구에 비하여 3~8% 정도 건물량이 증가하였으며(Table 7), Zn의 농도를 증가시켜 무로 흡수 이행되는 니켈 함량의 증감 여부와 농도이행비에 차이가 있는지를 분산분석한 결과 Zn의 첨가농도가 증가함에 따라 줄기와 뿌리로 흡수 이행되는 니켈 농도와 이행비가 감소하는 경향이였다(줄기, 뿌리 p<0.05).

니켈과 아연은 화학적성질이 매우 유사한 원소로서 이들 원소간의 비율이 일정수준 이상에서는 서로 결합하는 성질을 가지고 있으므로¹⁷⁾ 작물 및 재배환경에 따라 약간의 차이가 있겠지만 서로 길항작용을 하여 니켈의 흡수 이행량이 감소한 것으로 사료된다.

복토처리에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량
복토처리의 경우 공시토양에 니켈 수용액을 농도별로

처리하였던 것 보다 건물량이 3~15% 정도 증가하였다. 무로의 니켈 흡수 이행량도 5cm 복토처리의 경우 5% 정도, 10 cm 복토처리의 경우 8~20%정도 니켈의 흡수 이행량이 감소하였으며 니켈 처리 농도가 높아질수록 복토처리에 의해 니켈의 흡수 이행량이 감소하는 경향이였다(Table 8).

복토처리 깊이에 따라 무의 니켈 흡수량에 차이가 있는지를 분산분석한 결과 10 cm의 복토처리가 니켈 흡수 감소에 더 효과적이었다(p<0.05).

유기물처리에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량

유기물처리의 경우 공시토양에 니켈 수용액을 농도별로 처리하였던 것 보다 건물량이 6.6~36.3% 정도 증가하였으며, 무로의 니켈 흡수축적량도 50 g처리의 경우 3~20%정도, 100 g처리의 경우 9~30%정도 감소하였으며 니켈 처리 농도가 낮을수록 유기물처리에 의해 니켈의 흡수 이행량이 감소하는 경향이였다(Table 9).

유기물 처리량에 따라 무의 니켈 흡수 차이가 있는지를 분산분석한 결과 유기물 처리량 50 g과 100 g의 차이가 나타나지 않았다(p>0.5). Stevenson¹²⁾은 고분자량의 유기리간드들은 반응성이 크기 때문에 금속과 복합체를 형성할 수 있으며, 유기리간드들 중 토양과 물에서 흔히 발견할 수 있는 고분자량의 리간드인 부식산과 홀브산은 COOH, Phenolic-OH 등 다양한 작용기를 함유하고 있어 양이온 흡착능력이 강하고 중금속과 쉽게 착염을 형성할 수 있는 특성을 가지고 있다고 보고하였으며, John¹³⁾은 토양중 유기물의 증가와 무의 뿌리나 줄기부분의 카드뮴함량은 역의 상관성이 있다고 보고하였다. 본 실험결과도 토양중에 시용된 유기물과 니켈이 복합체를 형성하여 활성도를 감소시킴으로서 무로의 흡수이행을 감소시켰을 것으로 사료된다.

석회처리에 따른 무의 생육 및 니켈의 흡수 축적량

석회처리의 경우 공시토양에 니켈 수용액을 농도별로 처리하였던 것 보다 건물량이 4~18% 정도 증가하였으며, 무로의 니켈 흡수 이행량도 20 g의 석회처리의

경우 3~19% 정도, 30 g의 석회처리의 경우 3~18% 정도 니켈의 흡수 이행량이 감소하였으며, 니켈 처리 농도가 높아질수록 석회처리에 의해 니켈의 흡수 이행량이 감소하였다(Table 10).

석회처리량에 따라 무의 니켈 흡수량에 차이가 있는지를 분산분석한 결과 20 g과 30 g의 석회처리에서 유의성이 인정되지 않았다($p>0.5$). Konard²⁾ 등은 석회시용이 니켈의 유효도를 감소시켜 작물로의 흡수이행을 감소시킨다고 보고하였는데 본 실험결과에서도 석회처리에 따라 무로의 니켈 흡수 이행이 감소하는 경향이 있었다.

니켈 처리농도 10, 50, 100 mg/kg에서 복토, 유기물, 석회처리에서 각 처리간 니켈 흡수량의 차이를 분산분석 및 Duncan 다중검정을 실시한 결과 각 처리구간의 니켈 흡수량차이를 인정할 수 없었으나($p>0.5$), 석회처리<복토처리<유기물처리의 순서대로 니켈 흡수량감소의 효과가 나타났다.

참 고 문 헌

1. 梁運眞 (1989) 環境植物學. p. 121-198. 東和技術.
2. 趙成鎭, 朴天緒, 嚴大翼 (1993) 三訂土壤學. p. 317-328. 鄉文社.
3. 金福榮, 金才正, 嚴基泰, 李奎承, 李英煥, 許種秀, 愼齋昊 (1989) 農業環境化學. p. 198. 東和技術.
4. Essington, M. E., M. Elrashidi, and R. S. Bowman(1985) Nickel and Zinc Sorption in sludge amended soils. *J. Soil Sci.* **135**, 65-72.
5. Ohh. W. K. (1986) Effect of combined application of Lime and Organic Matter and Calcium Silicate on the growth and Cadmium Content of Chinese cabbage. *Korean. J. Environ. Agric.* **5**, p. 61-66.
6. Kuo, E. J. Jellum, and A. S. Baker (1985) Effects of soil type, Limie, and sludge application on Zinc and Cadmium availability to Swiss chard. *J. Soil Sci.* **139**, p. 122-129.
7. Korcak, R. F., and D. S. Fanning (1985) Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. *J. Soil Sci.* **140**, p. 126-130.
8. Williams, D. E., Vlamis, A. H. Pukite., and J. E. Corey (1985) Metal movement in sludge treated soils after six years of sludge addition. *J. Soil Sci.* **140**, p. 120-125.
9. Shuman, L. M (1988) Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *J. Soil Sci.* **146**, p. 192-197.
10. Mcfee, W. W (1980) Effect of atmosphere pollutants on soil polluted rain plenum. *Press New York.* p. 307-320.
11. Carl, G., Enfield Muhammad Sadiq (1984) Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils. *J. Soil Sci.* **138**, p. 351-359.
12. Stevenson, F. J (1982) Humus Chemistry. p. 340-373.
13. Matt, K. John, Cornelis., Van Ladrhoven and Hong H. chuah (1972) Factors affecting plant uptake and Phytotoxicity of Cd added to soils. *Environmental science and Technology.* **6**, p. 1005-1009.
14. Vallee, B., and D. D. Ulmer (1972) Biochemical effects of mercury, cadmium, and lead. *Biochem.* **41**, p. 91-128.
15. Konrad Mengel and Ernest A. Kirkby (1987) Principles of plant nutrition. International Potash Institute. p. 594-596.
16. Jonathan R. Cummung and A. Brian Tomsett(1992) Biogeochemistry of Trace Metals. Lewis publishers. p. 329-364.

Comparison of Growth and Physiological Responses in Radish for Assay of Nickel Toxicity.

1. Growth of Radish and Absorption and Translocation of Nickel

Jae-Young Cho*, Kang-Wan Han (Department of Agricultural Chemistry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea)

Abstract: The present study was carried out to investigate the difference of absorption and translocation of Ni by radish grown for 45 days under factors such as the levels of Ni in soil, soil pH, competitive metal interactions, covering with soil, organic matter and lime. Germination rate of radish in soil treated by Ni 150 mg/kg was 40%. As soil pH was increased, the contents of Ni translocated to radish showed the negative correlation (shoot = -0.965^{**} , root = -0.837^{*}). The Ni content in shoot and root of radish grown under 50 mg/kg Ni treated soil were slowly decreased with iron levels increased. However Ni content in shoot and root of radish grown under 50 mg/kg Ni treated soil showed increasing trend with the increasing the zinc levels. As covering with soil, organic matter and lime were treated, Ni contents of shoot and root in radishes were in the decreasing order of organic matter > covering with soil > lime.

*Corresponding author