

## Humus 첨가와 미량원소 수준이 상추의 무기성분 흡수 및 생육에 미치는 영향<sup>1)</sup>

이수연\* · 이성재 · 서명훈 · 이상우 · 심상연  
경기도농업기술원

### Effect of Humus and Micronutrient Element Content on Nutrient Absorb and Growth of Lettuce in Hydroponics

Lee, Su-Yeon\* · Lee, Sung-Jae · Seo, Myeong-Whoon · Lee, Sang-Woo · Sim,  
Sang-Yeon

Kyonggi-Do Agricultural Research and Extension Services

#### Abstract

In the recirculating hydroponics, pH of nutrient solution was gradually decreased until the middle of growing-period, and then began to go up and reached the initial level at the latter of growing-period regardless of Cu · Zn content. Changes of pH was gently down for supply of humus in nutrient solution. The growth of lettuce was good with supply of humus, but it was decreased as Cu · Zn content was increased. Although leaf chlorosis was caused by excessive content of Cu · Zn as 5, 10 ppm, it was controlled by adding humus in nutrient solution, and fresh weight of lettuce was obviously improved by adding humus.

---

주제어 : 양액재배, 양액, Cu, Zn

Key words : Hydroponics, Nutrient solution, Cu, Zn

\* Corresponding author

<sup>1)</sup> 본 연구는 '96~'98 농촌진흥청 산학관공동연구과제의 일부로 수행되었음

서 론

최근 급속한 산업발달로 인하여 환경오염이 날로 심화되고 있으며, 특히 재배적 인 측면에서 토양이나 수질의 중금속오염 문제가 크게 우려되고 있다. 현재 양액재배 농가의 양액폐수는 오염물질 배출 허용기준(수질환경보전법 제8조 제1항 - 총질소 60ppm, 총 인 8ppm)을 초과하고 있으며 특히, 버려지는 양액 내에 함유되어 있는 Cu와 Zn은 식물체의 탄수화물이나 단백질 합성 및 여러 가지 효소 작용에는 필수적인 원소이지만 그 양이 과다하면 철 결핍 증상과 비슷한 잎의 황화(chlorosis)현상을 일으키며 뿌리생장 억제 및 생체중을 감소시킨다고 알려져 있다 (Yang 등, 1990).

한편, humus내에 함유되어 있는 humic acid는 양액에 첨가하면 다가의 양이온과 결합하여 난용성 염을 형성하고 H<sup>+</sup>이온을 포함한 양이온을 흡착하여 양액의 pH 저하 속도를 지연시킨다고 알려져 있고 (오, 1983 ; 이 등, 1998a), 淺尾 등(1998)에 의하면 오이 양액재배시 배양액을 2주마다 교환한 것과 그렇지 않은 것과는 생육에는 차이가 없으나 배양액을 교환하지 않았을 경우 수량이 급격히 감소하며 이것은 새 양액의 보충과 활성탄 첨가에 의해 완화되고 토마토에서도 이러한 처리로 경엽생장 및 수량이 증가한다고 하였다. 따라서 수경재배시 난용성 염을 흡착하는 성질을 가지고 있어서 활성탄과 비슷한 역할을 하는 humus를 양액에 첨가하여 이것이 양액이나 원수 내에 존재하는 중금속 및 미량원소 그리고 식물체 등에 어떻게 작용하고 어떤 흡수 변화를 일으키는지 알아보기 위해 본 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료 및 재배개요

실험은 경기도농촌진흥원(경기도화성) 유리온실에서 85×40×35 cm 크기(약 50ℓ)의 간이 양액재배기(하이그린)에서 수행하였고 공시작물은 상추(*Lactuca sativa* L., 품종:뚝섬적측면)를 이용하였으며 1처리당 27주씩 3반복으로 하였다. 재배는 '96년 11월 8일에 육묘용 우레탄 스폰지에 파종하여 11월 23일에 정식하였고, 12월 27일에 수확하였다.

2. 처리내용 및 양액조성

처리내용은 주구로 Humus(humic acid 75% 함유, 분말)농도를 0, 1, 2 ml/ℓ의 3수준, 세구로 미량원소 Cu(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), Zn(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)을 각각 0.1, 1, 5, 10 ppm의 4수준을 두었고 정식 4일 후에 처리하였다. 재배방식은 담액수경으로 하였고, 기본 배양액조성은 원예연구소 상추 전용배양액(N-P-K-Ca-Mg=9.2-3.6-5-3-1.5 me/ℓ)으로 하였으며, 기타 미량원소는 B-0.2, Mn- 0.2, Mo- 0.005 ppm을 첨가하였다.

3. 생육조사 및 양액·식물체시료 분석 방법

생육조사는 농촌진흥청의 농사시험연구 조사기준에 따라 1반복당 10주씩 수확할 때 조사하였고 양액분석을 위한 양액채취는 처리후 양액이 완전히 섞이도록 충분히 순환시키고 하루가 경과한 후의 양액을 정식시 양액으로 하고, 상추를 수확한 직후의 양액을 수확시 양액으로 하여 처리별 3반복으로 채취하였다. 식물체분석을 위한 시료채취는 생육조사한 식물체(뿌리를 제외한 지상부 식물체 전체)를 처리별로 10

주씩 3반복으로 하여 70℃에서 5일정도 건조시켜 마쇄한 후 0.5g씩 정량하여 농촌진흥청 토양화학분석법에 따라 습식분해한 후 No.2 여과지로 여과시킨 액으로 분석하였다. 양액 및 식물체 시료분석은 T-N은 Kjeldahl법을, 인산은 양액의 경우 Lancaster법, 식물체시료의 경우 Vanadate법, K, Ca, Mg, Cu, Zn은 원자흡광분광분석법으로 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 양액의 pH와 EC변화

양액의 pH는 모든 처리에서 생육중기에 급격히 낮아지다가 생육후반에 적정수준으로 높아졌는데 미량원소의 농도가 높을수록 적정수준으로 회복되는 것이 더디었고, humus의 첨가에 의해 pH의 변화가 완만해졌는데 이것은 이 등(1998a)의 특정한 경우 암모니아태 질소의 비율이 증가하게 되면 양액의 pH가 급속히 저하되는데 humate와 humus(humic acid 10%) 같

은 유기물을 첨가하면 이들이 양액내의 H<sup>+</sup> 이온을 포함한 양이온을 흡착하여 양액의 pH저하 속도를 지연시킨다는 보고내용과 같은 결과를 나타내었다. 양액의 EC는 Humus의 농도와 관계없이 미량원소 5 ppm이상에서는 생육이 진전되면서 높아지는 경향을 보였다(Table 1).

#### 2. 생육특성

생육은 Humus 농도와는 관계없이 Cu·Zn의 농도가 높아질수록 저조하였고 특히 초장이나 엽수는 5 ppm이상의 농도에서 현저한 감소를 보였다. 이러한 현상은 Humus처리에 의해 완화되었는데 Humus의 농도가 높을수록 그 효과가 컸다. 이것은 활성탄이 오이 뿌리에서 분비되는 생육억제물질을 흡착하여 수광감소를 억제시킨 것(淺尾 등,1998)과 비슷한 맥락으로 Humus가 Cu나 Zn 같은 다가의 양이온을 흡착하여 식물체의 독성장해를 줄인 것으로 보인다.

Table 1. Changes of pH and EC in nutrient solution at different concentration of humus and Cu, Zn

Treatment	Humus (mℓ/ℓ)	Cu·Zn (ppm)	pH					EC(dS/m)				
			Days after treatment (days)					Days after treatment (days)				
			2	7	14	21	28	2	7	14	21	28
0	0.1	6.8	6.6	5.8	4.4	6.5	1.55	1.52	1.52	1.48	1.37	
	1	6.8	6.5	5.9	4.7	6.5	1.57	1.56	1.53	1.49	1.42	
	5	6.6	6.4	5.5	4.9	5.4	1.58	1.58	1.59	1.65	1.73	
	10	6.4	6.1	5.6	4.8	5.0	1.56	1.60	1.64	1.65	1.68	
1	0.1	6.9	6.8	6.2	5.7	6.4	1.55	1.55	1.54	1.50	1.44	
	1	6.9	6.7	6.1	5.0	6.2	1.58	1.59	1.58	1.53	1.50	
	5	6.7	6.6	6.0	4.5	4.1	1.59	1.59	1.59	1.63	1.70	
	10	6.7	6.5	5.8	4.9	4.5	1.58	1.59	1.61	1.66	1.72	
2	0.1	7.0	6.9	6.5	6.0	6.8	1.60	1.60	1.58	1.53	1.44	
	1	7.0	6.9	6.5	6.0	6.6	1.59	1.60	1.58	1.56	1.54	
	5	6.8	6.8	6.2	5.2	5.1	1.60	1.60	1.60	1.61	1.67	
	10	6.8	6.7	6.2	5.1	5.3	1.63	1.64	1.65	1.74	1.85	

Table 2. Effect of concentration of humus and Cu, Zn on the growth in lettuce.

Treatments		Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves (ea/plant)	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Chlorosis of leaf (0~9) <sup>z</sup>
Humus (ml/l)	Cu · Zn (ppm)							
0	0.1	24.8	21.5	17.0	8.6	4.0	10.7	0
	1	24.1	20.8	15.7	9.6	4.6	11.5	0
	5	13.8	11.7	7.8	6.5	2.9	5.6	7
	10	7.6	7.1	6.3	5.2	0.7	3.8	9
	Means	17.6	15.3	11.7	7.5	3.1	7.9	-
1	0.1	25.4	21.9	16.9	8.4	4.3	11.3	0
	1	22.2	19.3	16.2	8.3	3.8	12.0	0
	5	17.9	13.8	7.3	8.9	4.9	7.9	5
	10	13.3	9.7	5.2	6.6	4.4	4.1	7
	Means	19.7	16.2	11.4	8.1	4.4	8.8	-
2	0.1	26.1	22.5	17.6	9.4	4.4	12.3	0
	1	25.0	21.1	16.6	8.9	5.1	11.4	0
	5	19.3	14.0	8.6	8.8	5.9	7.7	3
	10	17.6	11.9	6.3	8.4	6.3	5.9	5
	Means	22.0	17.4	12.3	8.9	5.4	9.3	-
Humus		**	**	NS	**	**	**	
Cu · Zn		**	**	**	**	NS	**	
Humus×Cu · Zn		**	*	NS	**	**	NS	

NS : nonsignificant at P = 0.05 and 0.01, respectively.

\*,\*\* : significant at P = 0.05 or 0.01, respectively.

<sup>z</sup> 0 : Nonchlorosis, 1 : Chlorosis width is 1~2 mm(chlorosis width : < 3mm)

3 : Chlorosis is under 5 mm width, under 3 spot and under 3 leaves.

5 : Chlorosis is a third of leaf area, and this aspect is under 2 leaves.

7 : Chlorosis is a half of leaf area, and this aspect is under 3 leaves.

9 : Chlorosis is a half of leaf area, and this aspect is above 4 leaves.

(Continued)

Treatment		Top		Root		
Humus (ml/l)	Cu·Zn (ppm)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter rate(%)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter rate(%)
0	0.1	38.1	3.4	28.3	4.4	3.4
	1	35.5	3.8	32.6	3.6	4.5
	5	6.3	7.0	26.0	1.4	5.0
	10	2.8	8.0	11.7	0.9	7.4
	Means	20.7	5.6	24.7	2.6	5.1
1	0.1	35.2	3.6	28.7	4.2	5.0
	1	29.5	3.9	28.7	4.2	4.2
	5	12.7	5.4	22.5	1.6	6.5
	10	3.4	7.3	14.4	0.9	5.5
	Means	20.2	5.1	23.6	2.7	5.2
2	0.1	39.4	3.7	22.8	4.4	4.1
	1	34.9	3.7	27.7	4.8	5.0
	5	15.9	4.8	24.3	1.9	5.4
	10	7.3	6.2	19.1	1.4	5.0
	Means	24.4	4.6	23.5	3.1	4.9
Humus		*	**	NS	NS	NS
Cu·Zn		**	**	**	**	**
Humus × Cu·Zn		NS	**	NS	NS	*

NS : nonsignificant at P = 0.05 and 0.01, respectively.

\*,\*\* : significant at P = 0.05 or 0.01, respectively.

지상부의 생체중은 Cu, Zn의 농도가 높아질수록 급격히 저조해지는 경향으로 특히 Cu, Zn 5 ppm이상의 처리는 거의 생육이 정지한 상태였으며 10 ppm처리는 0.1 ppm에 비해 10배 이상 생체중이 감소되었고 황화현상(chlorosis)의 발생도 심하였는데 Yang 등(1990)이 보고한 Cu 5ppm, Zn 10 ppm이상에서 상추의 생육이 현저히 억제되며, Cu와 Zn의 임계독성 수준이 10 ppm이상이었다는 내용과 같은 결과를 나타내었고, Cu 1~3 ppm, Zn 1~10 ppm에서 50% 이상 상추의 생체중이 감소하였다(Osawa 등, 1974)는 보고와도 동일하였다. Cu의 독성은 식물별로 다르며 콩은 타 작물에 비해 상당히 저항성이 크다고 하는데 대체로 Cu의 임계독성은 20~30  $\mu\text{g g}^{-1}$  dry wt 이상으로 알려져 있다(Hodenberg와 Finck, 1975). 그러나 본 실험에서 이용한 상추는 Cu 5ppm이상

에서 장애를 나타낸 것으로 보아 상당히 저항성이 약한 작물임을 알 수 있었다. 이등(1998b)이 보고한 상추 양액재배시 Zn을 10 ppm까지 처리하여도 상품성이나 질산환원효소의 활성에는 영향이 없다는 실험결과를 볼 때 황화현상은 Cu독성의 영향이 큰 것으로 보인다(Table 2). 한편 Humus첨가에 의해 고농도의 Cu·Zn에 의한 초장감소 등의 생육억제가 경감되었고 Humus의 농도가 진할수록 그 효과가 더 컸으며 황화현상도 크게 억제되었다. 지상부 생체중에서도 Humus첨가에 의해 생체중 감소가 크게 억제되었고 1 ml/l 처리보다는 2 ml/l 처리가 더 효과적이었고 지하부 생육도 지상부 생육과 같은 경향을 보였는데(Table 2), 다량의 Cu첨가에 의한 장애증상은 일반적으로 지상부 생육이전에 지하부 생육을 현저히 저하시키며(Lexmond와 Vorm, 1981) 토마토에

Cu를 0~0.25ppm 처리했을 때 지상부의 Cu함량은 2.8~20.3 mg kg<sup>-1</sup> dry wt 정도로 증가하지만 뿌리내의 Cu 함량은 4~360 mg kg<sup>-1</sup> dry wt 까지 증가한다 (Rahimi와 Bussler, 1974)는 실험결과로 보아 5ppm이상의 Cu 처리로 인해 지하부 생육이 현저히 떨어진 것으로 보인다.

3. 양액 및 식물체중 무기성분 함량

Cu의 첨가농도가 높아질수록 양액 내의 K함량이 높아졌기 때문인 것으로 보인다. Ca은 처리에 관계없이 시험 후에 낮아졌으며 반대로 Mg은 처리에 관계없이 시험 후에 높아지는 경향이였다. Cu와 Zn은 Humus첨가에 의해 시험전후 양액에 잔존해 있는 양이 적어지는 경향이였다(Table 3). Humus첨가는 식물체의 무기성분중 T-N, K 및 Zn의 함량을 증가시킨 반면,

Table 3. Cation content of nutrient solution at different humus content and Cu · Zn concentration

Treatments		K (ppm)		Ca (ppm)		Mg (ppm)		Cu (ppm)		Zn (ppm)	
Humus (m/l)	Cu · Zn (ppm)	Planting	Harvesting	Planting	Harvesting	Planting	Harvesting	Planting	Harvesting	Planting	Harvesting
0	0.1	167.0	149.6	57.6	51.5	23.7	28.0	0.05	0.05	0.45	0.64
	1	169.7	158.5	60.0	55.4	24.6	28.8	0.56	0.65	0.82	1.29
	5	171.6	221.3	61.4	54.0	25.0	27.5	1.82	2.54	1.45	4.16
	10	168.4	218.1	58.5	52.3	24.9	26.7	2.66	4.40	2.80	4.45
	Means	169.2	186.9	59.4	53.3	24.6	27.8	1.27	1.91	1.38	2.64
1	0.1	165.8	166.8	56.3	47.4	23.9	27.0	0.02	0.07	0.46	0.55
	1	164.5	181.1	55.7	50.8	24.6	29.1	0.34	0.34	0.79	1.01
	5	167.2	216.3	56.8	49.4	24.9	27.2	1.38	1.82	1.71	3.84
	10	156.3	217.5	53.8	49.6	22.4	25.7	2.11	2.39	2.48	3.50
	Means	163.5	195.4	55.7	49.3	24.0	27.3	0.96	1.16	1.36	2.23
2	0.1	162.2	152.8	51.1	42.9	23.2	28.1	0.01	0.02	0.39	0.66
	1	171.7	178.4	58.2	49.4	25.3	28.8	0.32	0.30	0.92	1.02
	5	158.1	210.6	51.3	45.2	22.6	27.0	1.20	1.41	1.66	2.57
	10	155.5	227.7	53.5	48.7	23.1	27.6	1.93	2.61	2.01	4.08
	Means	161.9	192.4	53.5	46.6	23.6	27.9	0.87	1.09	1.25	2.08
Humus	*	NS	**	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	
Cu · Zn	*	**	NS	NS	NS	*	**	**	**	**	
Humus×Cu · Zn	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	

NS : nonsignificant at P = 0.05 and 0.01, respectively.

\*,\*\* : significant at P = 0.05 or 0.01, respectively.

양액중 K는 Humus농도와 관계없이 Cu · Zn이 5ppm이상일 경우 시험 전에 비해 시험 후에 축적되는 경향이였고 이것은 Baker와 Walker(1989)의 실험결과에 따르면 고농도의 Cu첨가시 나타나는 반응으로 식물체의 세포 내에서 K가 유출되어

Cu의 흡수를 크게 억제시켰는데, 이 결과는 앞서 나온 황화현상이나 생육억제 저하와 관계가 있는 것으로 보인다. 또한 미량원소인 Cu, Zn의 농도가 높을수록 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K 및 Ca의 흡수가 억제되었다 (Table 4).

Table 4. Nutrient content of lettuce leaf at different humus and Cu · Zn concentration

Treatment		T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Cu	Zn
Humus (ml/l)	Cu · Zn (ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)
0	0.1	1.34	2.94	5.75	1.84	0.65	17.9	73
	1	1.43	2.64	5.58	1.57	0.55	16.7	137
	5	1.49	1.65	4.11	1.01	0.53	41.2	445
	10	1.48	1.75	4.16	1.41	0.67	78.3	479
	Means	1.44	2.25	4.90	1.46	0.60	38.5	284
1	0.1	2.40	2.38	5.31	1.76	0.62	11.3	82
	1	1.74	2.54	5.53	1.88	0.61	21.9	162
	5	1.92	1.93	4.76	1.72	0.65	35.0	699
	10	1.75	1.61	4.26	1.16	0.56	56.9	796
	Means	1.95	2.12	4.97	1.63	0.61	31.3	435
2	0.1	1.66	2.31	5.54	1.66	0.57	10.2	57
	1	2.30	2.34	5.42	1.57	0.56	16.7	65
	5	2.49	2.07	5.04	1.90	0.63	30.1	582
	10	2.33	1.72	4.53	1.12	0.53	33.5	804
	Means	2.20	2.11	5.13	1.56	0.57	22.6	377
Humus		**	NS	**	NS	NS	**	**
Cu · Zn		NS	**	**	**	NS	**	**
Humus×Cu · Zn		NS	**	**	**	*	**	**

NS : nonsignificant at P = 0.05 and 0.01, respectively.

\*,\*\* : significant at P = 0.05 or 0.01, respectively.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우 Zn과 길항작용이 있어 인산이 많은 토양에서 자란 식물체에는 Zn의 부족현상이 나타나며(Robson와 Pitman,1983) 오크라를 양액재배 했을 때 Zn의 농도를 0, 0.25, 1.0 uM로 각각 처리하면 식물체 내의 인산의 함량은 처리농도와 반대로 점점 줄어드는 결과(Loneragan 등, 1982b) 나 목화에서 Zn을 충분히 공급했을 때와 부족하게 공급했을 때의 <sup>32</sup>P의 식물체내의 함량은 반대의 경향을 나타낸 것(Marschner와 Cakmak, 1986)을 볼 때 상추에서도 역시 같은 원인에 의한 결과가 나온 것으로 추측된다. K의 경우는 앞서 언급했듯이 Cu의 농도가 높아질수록 식물체로부터 유출되는 K함량이 늘어나 반대로 식물체내의 함량은 줄어드는 것으로 보인다. 또한 상추엽에 축적되는 Cu와 Zn의 함량은 Cu에 비해 Zn이 처리농도가 높아

질수록 급격한 증가를 보여 Yang 등(1990)이 Cu는 배양액중 처리농도에 따라 비교적 적게 증가는 추세이었으나 이와 대조적으로 Zn은 급격한 함량증가를 나타내었다는 결과와 일치하였다. 양액과 식물체의 Cu, Zn함량과 비교해 보면 Humus가 양액 내에서 Cu를 흡착하거나 난용성 염을 만든 것으로 보이지만(오, 1983), Zn의 경우 식물체내에 흡수되는 양을 오히려 증가시켜서 Humus의 첨가가 모든 미량원소의 고농도 장해를 해소해 줄 수 있는 것으로 판단된다.

### 적 요

순환식 담액수경 상추재배에서 양액의 pH 변화는 미량원소 수준에 관계없이 생육 중기에 낮아지다가 생육후반에 회복되었는데

양액 내에 Humus첨가에 의해 양액의 pH 변화가 완만해졌다.

생육은 Humus첨가에 의해 양호한 경향을 나타냈고 미량원소수준이 높아질수록 저조하여 Cu·Zn농도 5ppm이상에서 황화현상 등의 피해가 발생하였으며, Humus 첨가에 의해 증금속에 의한 생체중 감소가 현저히 억제되었으며 과잉피해증상이 완화되는 경향을 나타내었다. 무기성분 흡수에서는 Zn은 흡수억제 효과가 없었으나 Cu원소의 흡수는 억제되어 증금속의 피해 우려시 Humus의 효과가 어느 정도 인정된다.

### 인용문헌

- 오왕근. 1983. 채소 다수확 재배를 위한 토양관리와 비료. (사)가리연구회. p. 14.
- 이용호, 이성재, 김광용, 황기성. 1998a. 유기물 첨가에 의한 양액의 pH저하 저감. 한원지 발표요지 16(1) : 68.
- 이용호, 이재욱, 남윤일. 1998b. 상추와 미나리의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량, 질산환원효소의 활성에 미치는 Zn, Mo 및 Mn의 영향. 한원지 발표요지 16(1) : 68.
- 浅尾俊樹, 梅山元正, 太田勝已, 細木高志, 伊藤憲弘, 植田尙文. 1998. 水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復. 日園學雜. 67(1) : 99-105.
- Baker, A. J. M. and P. L. Walker. 1989. Physiological responses of plants to heavy metals and the quantification of tolerance and toxicity. Chem. Speciation Bioavail. 1:7-17 In: Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants (second editon). Academic press. p. 345.
- Hodenberg, A. von and A. Finck. 1975. Ermittlung von toxizitäts-grenzwerten für zink, kupfer und blei in hafer und rotklee. Z. Planzenernähr. Bodenk. 138 : 489-503. In: Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants (second editon). Academic press. p. 344.
- Lexmond, T. M. and P. D. J. van der Vorm. 1981. The effect of pH on copper toxicity to hydroponically grown maize. Neth. J. Agric. Sci. 29 : 217-238. In : Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants (second editon). Academic press. p. 345.
- Loneragan, J. F., D. L. Grunes, R. M. Welch, E. A. Aduayi, A. Tengah, V. A. Lazar and E. E. Cary. 1982. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. Soil. Sci. Soc. Amer. J. 46 : 345-352. In: Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants(second editon). Academic press. p. 358.
- Marschner, H. and I. Cakman. 1986. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II.Evidence for impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under zinc deficiency. Physiol. Plant. 68 : 491-496 In : Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants(second editon). Academic press. p. 359.
- Osawa, T. and H. Ikeda. 1974. Heavy metal toxicities in vegetable crop (4). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 43 : 267-272.
- Rahimi, A. and W. Bussler. 1974. Kupfermangel bei höheren pflanzen und sein histochemischer nachweis. Landwirtsch. Forsch. Sonderh. 30(II) : 101-111. In : Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants (second editon). Academic press. p. 345.



12. Robson, A. D. and M. G. Pitman. 1983. Interaction between nutrients in higher plants. In: A. Läuchli and R. L. Bielecki(eds.). Encyclopedia of plant physiology, new series. Springer-Verlag, Berlin and New York. 15A : 147-180.
13. Yang, Y. J., B. Y. Lee. 1990. Effect of heavy metal treatment on the growth and uptake in hydroponically cultured lettuce. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 31(1) : 37-41.