

시설재배 토양과 작물 잎 중의 미량원소 함량 관계

정종배* · 김복진¹⁾ · 유관식 · 이승호¹⁾ · 신현진¹⁾ · 황태경¹⁾ · 최희열 · 이용우 · 이윤정 · 김종집

대구대학교 생명환경학부, ¹⁾영남대학교 생물자원학부
(2006년 8월 18일 접수, 2006년 9월 23일 수리)

Relationships between Micronutrient Contents in Soils and Crops of Plastic Film House

Jong-Bae Chung*, Bok-Jin Kim¹⁾, Kwan-Sig Ryu, Seung-Ho Lee¹⁾, Hyun-Jin Shin¹⁾, Tae-Kyung Hwang¹⁾, Hee-Youl Choi, Yong-Woo Lee, Yoon-Jeong Lee, and Jong-Jib Kim (Division of Life & Environmental Sciences, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea, ¹⁾Division of Biological Resources, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea)

ABSTRACT: Micronutrient status in soils and crops of plastic film house and their relationship were investigated. Total 203 plastic film houses were selected (red pepper, 66; cucumber, 63; tomato, 74) in Yeongnam region and soil and leaf samples were collected. Hot-water extractable B and 0.1 N HCl extractable Cu, Zn, Fe, and Mn in soil samples and total micronutrients in leaf samples were analyzed. Contents Zn, Fe, and Mn in most of the investigated soils were higher than the upper limits of optimum level for general crop cultivation. Contents of Cu in most soils of cucumber and tomato cultivation were higher than the upper limit of optimum level, but Cu contents in about 30% of red pepper cultivation soils were below the sufficient level. Contents of B in most soils of cucumber and tomato were above the sufficient level but in 48% of red pepper cultivation soils B were found to be deficient. Micronutrient contents in leaf of investigated crops were much variable. Contents of B, Fe, and Mn were mostly within the sufficient levels, while in 71% of red pepper samples Cu was under deficient level and in 44% of cucumber samples Cu contents were higher than the upper limit of sufficient level. Contents of Zn in red pepper and cucumber samples were mostly within the sufficient level but in 62% of tomato samples Zn contents were under deficient condition. However, any visible deficiency or toxicity symptoms of micronutrients were not found in the crops. No consistent relationships were found between micronutrient contents in soil and leaf, and this indicates that growth and absorption activity of root and interactions among the nutrients in soil might be important factors in overall micronutrient uptake of crops. For best management of micronutrients in plastic film house, much attention should be focused on the management of soil and plant characteristics which control the micronutrient uptake of crops.

Key Words: micronutrients, plastic film house, red pepper, cucumber, tomato

서 론

우리나라 시설재배 면적은 1992년 5만 8천 ha에서 최근 수년간 10만 ha 내외로 유지되고 있으며, 다양한 작물을 연중 재배할 수 있는 시설농업은 농가의 소득 증대와 국민 식생활의 질을 향상시키는데 크게 기여하고 있다¹⁾.

강우의 직접 유입이 차단된 시설재배지 내 토양은 일반

노지 경작 토양과는 다른 환경 특성을 가지며, 이러한 환경 하에서 잔류 양분 상태를 포함한 토양비옥도의 적절한 평가 없이 연중 수차례에 걸쳐 매 작기마다 화학비료와 퇴비 등을 사용함으로써 염류집적 문제가 쉽게 유발된다²⁾. 염류집적 현상은 작물의 뿌리 발달을 저해하며 양분 흡수 불균형이나 수분흡수 억제 등을 통하여 작물의 생육불량 또는 생산성 감소를 초래한다. 염류집적 문제를 해결하기 위해 토양세척이나 염류제거 식물 재배 등의 다양한 방안들이 제시되었으나 일시적으로 작물재배를 중단해야하므로 이러한 방안들은 그 효율성 여부를 떠나 농가에 쉽게 적용되기 어렵다. 객토와 복토를 통하여 시설의 활용기간을 연장하기도 하나 염류집적으로

*연락처:
Tel: +82-53-850-6755 Fax: +82-53-850-6759
E-mail: jbchung@daegu.ac.kr

작물생육이 불량할 경우 추가적인 시비를 통하여 이를 극복하고자 하는 오류가 농가현장에서 흔히 발생하며 염류집적 문제는 더욱 악화될 수밖에 없다. 따라서 염류집적 문제와 함께 양분 불균형 문제를 사전에 예방하거나 완화시키기 위해서는 토양 비옥도와 작물 생육 상황에 근거한 적정 시비관리가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

1990년 이후 시설재배지의 시비현황을 보면 작물에 따라 다소 차이는 있지만, 노지재배 보다 질소 21%, 인산 52%, 칼리 34%까지 과잉시비 되고 있으며, 화학비료와 병행하여 사용되고 있는 퇴비 역시 40-89 ton/ha의 많은 양이 투입되고 있는 것으로 보고된 바 있다³⁾. 시설재배 토양에서 특히 유효인산 평균 함량은 1,092 mg/kg, 질산태 질소의 평균 함량은 155 mg/kg, 전기전도도는 2.29 dS/m로 대부분의 토양에서 작물생육에 적절한 기준보다 높다⁴⁾.

시설재배 농가의 과다시비와 토양 염류집적 문제는 주로 3요소 비료와 퇴비의 사용 그리고 다량원소의 축적과 관련하여 조사 연구되고 있으나, 토양 중 미량원소의 함량이나 적정 시비량에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 기축분 등 부산물 유기자원을 원료로 제조된 퇴비의 연용은 Cu, Zn, Fe, Mn 등의 미량원소 축적을 유발할 수 있으며⁵⁻⁷⁾, 토양에 축적된 다량원소는 경쟁 작용 등을 통하여 작물의 미량원소 흡수에 영향을 미칠 수 있다⁸⁻¹¹⁾. 작물중의 미량원소 함량은 소량이지만 여러 가지 대사과정에서 중요한 생리적 기능을 가지므로 작물의 수량과 품질을 확보하는데 있어서 다량원소와 함께 미량원소의 최적관리가 필수적이다^{8,12,13)}. 작물이 요구하는 미량원소는 토양의 천연공급력에 의해 대부분 충당되며 모암의 특성에 따라서 지역적으로 특정 미량원소의 결핍과 과잉현상이 발생할 수 있다. 또한 토양중의 영양원소들 사이의 상호작용이나 pH 등 토양의 화학적 특성에 따라라도 미량원소의 과부족 문제가 발생할 수 있으며, 특정한 작물 또는 품종에 국한하여 이러한 문제가 발생하기도 한다¹⁴⁾. 그러나 현재 대부분의 시설재배 농가에서는 토양중의 미량원소 함량

에 대한 정확한 정보나 권장시비 기준이 없는 상태에서 엽면 살포 또는 관주 방법으로 4종 복합비료나 자가 제조 액비를 사용하고 있다. 작물의 수량과 품질 향상에 대한 막연한 기대로 이루어지고 있는 이러한 시비관행은 시비효율 측면에서 불합리할 뿐만 아니라 염류집적과 양분 불균형 문제를 더욱 악화시키는 결과를 초래할 수도 있다.

본 연구에서는 시설재배 작물에 대한 미량원소의 효율적인 관리에 필요한 기초자료를 확보하기 위해 영남지역 시설재배지를 대상으로 토양 중 미량원소 함량 분포와 작물의 미량원소 흡수 이용 실태를 평가하였다.

재료 및 방법

토양 및 작물 시료 채취

경상남북도 일대의 고추, 오이 및 토마토 시설재배지에서 작물별로 중기부터 후기까지의 생육시기에 토양과 작물별 잎 시료를 채취하였다(Table 1). 시설재배지 내 작물의 생육환경이 외부환경의 영향을 적게 받는 중간 지점을 선택하였으며, 그 중 시설재배지 내 작물의 전체적인 생육상태와 비교하여 중간정도의 생육상황을 보이는 작물체를 선택하여 잎 시료와 그 주변 토양 시료를 채취하였다. 그리고 각 조사지점 시설재배지의 인근 노지작물 재배 토양을 채취하여 시설재배지 토양 특성과 비교하였다.

토양중 기용성 미량원소 함량 분석

작물이 흡수 이용할 수 있는 토양중의 유효 미량원소는 B의 경우 열수로 추출하였으며 Cu, Zn, Fe과 Mn의 경우에는 0.1 N HCl로 추출하여 분석하였다.

봉소의 열수 추출은 Bingham의 방법에 따랐는데¹⁵⁾, 1 mm 체를 통과하도록 분쇄한 토양 시료 20 g을 250-mL 플라스크에 담고 증류수 40 mL를 가한 후 끓을 때 까지 가열한 후 냉각환류 하에서 5분 동안 더 가열한 다음 냉각시키고

Table 1. Locations of sampling and number of samples for different crops

Crop	Gyeongnam		Gyeongbuk		Total number of sample
	Location	sample	Location	sample	
Red pepper	Miryang	17	Yecheon	49	66
			Goonwi	31	
Cucumber			Andong	10	63
			Dalseong	14	
			Chilgok	8	
			Nongong	20	
Tomato	Gimhae	11	Daegu	13	74
	Hamyang	2	Goonwi	11	
	Sacheon	4	Angang	12	
			Seongju	1	

Whatman No. 6 여과지로 여과하였다. 가용성 Cu, Zn, Fe, Mn은 2 mm 체에 통과시킨 10 g의 풍건 토양시료를 100-mL flask에 담고 0.1 N HCl 50 mL를 가한 후 30°C 에서 1시간 동안 진탕하여 추출하고 Whatman No. 2 여과지로 여과하였다¹⁶⁾. 추출액중의 미량원소는 inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer(ICP-AES, Varian Liberty Series II, Mulgrave, Australia)로 분석하였다.

식물체 중 미량원소 함량 분석

채취한 잎 시료를 증류수로 깨끗이 세척한 후 80°C 에서 48시간 동안 송풍 건조 시킨 후 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다. 시료 0.5 g을 HNO₃:H₂SO₄:HClO₄(10:1:4) 용액으로 습식분해 후, inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer(ICP-AES, Varian Liberty Series II, Mulgrave, Australia)를 이용하여 B, Cu, Zn, Fe, Mn 함량을 분석하였다.

결과 및 고찰

시설재배지 토양의 가용성 미량원소 함량 분포

시설재배지 토양 중의 가용성 미량원소 함량을 재배 작물

별로 Table 2에 나타내었다. 토양 중 가용성 미량원소의 함량은 농가별로 수십 내지 수백 배까지의 큰 차이를 보였으며, 재배작물에 따라서도 마찬가지로 큰 차이를 보였다. 작물별 시설재배지 토양의 가용성 B, Cu, Zn, Fe, Mn의 평균 함량은 각각 0.8-2.7, 3.1-11.5, 22-51, 136-181, 139-161 mg/kg의 범위에 있었으며, B, Cu, Zn의 경우 오이 재배지 토양에서 가장 높은 함량을 나타냈다. Fe과 Mn의 함량은 각각 고추와 토마토 재배지에서 가장 높았다.

시설하우스 인근 노지 경작 토양 중의 가용성 B, Cu, Zn의 평균 함량이 각각 0.4, 5.0, 12.1 mg/kg이었는데(Table 3), 이와 비교하면 시설재배지의 미량원소 함량이 노지재배지에 비하여 높았다. 반면 가용성 Fe과 Mn 함량은 노지 경작 토양에서 각각 397, 150 mg/kg으로 조사되었는데 비하면 시설재배지 토양 중의 함량이 상대적으로 낮았다. 시설재배지 토양에서 가용성 B, Cu, Zn의 함량이 노지 토양에 비하여 상대적으로 높은 이유는 집약적인 재배방식에서 퇴비와 함께 각종 미량원소 비료의 시용이 많았거나 객토 등의 영향 때문으로 판단된다. 오이와 토마토에 비하여 고추재배지에서 가용성 B, Cu, Zn의 함량이 낮은 것은 연작장해가 심하게 나타나는 고추의 경우 동일 시설에서 장기간 재배가 어려우므로 2-4년 경작 후 새로운 토양에 시설을 옮겨 재배하므로

Table 2. Contents of extractable micronutrients in plastic film house soils[†]

Crop		B	Cu	Zn	Fe	Mn
		mg/kg				
Red pepper	Minimum	ND [‡]	ND	3	20	14
	Maximum	5.3	15.8	84	746	355
	Mean	0.8	3.2	22	181	158
Cucumber	Minimum	0.1	1.7	8	9	12
	Maximum	9.2	91.9	171	727	310
	Mean	2.7	11.5	51	170	139
Tomato	Minimum	ND	0.5	2	2	13
	Maximum	10.1	108	131	904	330
	Mean	2.3	11.3	41	136	161
Optimum levels for crops ²⁰⁾		0.1-2.0	1.0-2.0	1.0-5.0	10-16	1.0-4.0

[†] B was extracted in hot water and Cu, Zn, Fe and Mn were extracted in 0.1 N HCl.

[‡] Not detected.

Table 3. Contents of extractable micronutrients in open field soils near the plastic film houses[†]

	B	Cu	Zn	Fe	Mn
mg/kg					
Minimum	ND [‡]	0.4	2	86	9
Maximum	1.3	15.7	63	764	332
Mean	0.4	5.0	12	397	150

[†] B was extracted in hot water and Cu, Zn, Fe and Mn were extracted in 0.1 N HCl.

[‡] Not detected.

이들 미량원소의 토양 중 축적이 비교적 적기 때문에 판단된다. 시설재배지 토양에 비하여 노지 경작 토양에서 Fe과 Mn의 함량이 높은 이유는 조사된 노지 경작 토양 대부분이 논토양이었으며, 이는 연중 장기간 환원상태로 유지되는 토양 조건에서 환원형태의 가용성 Fe와 Mn의 용출량이 많기 때문인 것으로 판단된다^{17,18}. 우리나라 시설재배지 토양 중 가용성 B, Cu, Zn 평균 함량은 각각 11.9, 3.69, 23.3 mg/kg으로 보고되어 있는데^{4,19}, 이들 자료에 비하면 본 연구에서 조사된 가용성 B 함량은 상대적으로 낮았으며 반면 가용성 Cu와 Zn의 함량은 높았다.

우리나라에서는 작물재배에 필요한 토양 중 적정 미량원소 함량기준이 별도로 설정되어 있지 않지만 일반작물에 대한 토양 중 가용성 B, Cu, Zn, Fe, Mn의 적정 수준은 각각 0.1-2.0, 1.0-2.0, 1.0-5.0, 10-16, 1.0-4.0 mg/kg으로 제시되어 있다²⁰. 이를 기준으로 적용하여 본 연구에서 조사된 시설재배지 토양을 가용성 미량원소 함량에 따라서 부족, 적정 및 과잉으로 구분하였으며 작물별로 총 조사 대상 토양에 대한 비율을 Table 4에 나타내었다. B의 경우 과잉상태의 토양 비율이 다른 미량원소에 비하여 상대적으로 낮았으며, 반면 고추 재배지의 경우 B가 부족한 상태인 토양 비율이 48%로 상대적으로 높았다. Cu의 경우 고추 재배지에서 과잉상태인 토양의 비율이 38%로 다른 작물 재배지에 비하여 과잉비율이 상대적으로 낮았으며 부족 상태의 토양 비율도 32% 정도로 다른 작물 재배지에 비해 매우 높았다. 오이와 토마토 재배지의 경우에는 Cu 함량은 대부분 과잉 상태로 그 비율은 80% 이상이었다. Zn, Fe, Mn의 경우에는 조사된 대부분의 토양에서 작물 재배에 적절한 수준을 초과하는 것으로 나타났다. 특히 Fe와 Mn의 함량이 높은 이유는 앞서 언급한 바와 같이 이들 시설재배지 토양이 이전에 대부분 논토양이었으며, 또한 비를 시설작물의 후작으로 하는 작부체계를 이용하기 때문일 것이다.

농작물에 과잉피해를 유발할 수 있는 가용성 미량원소의 토양 중 함량은 B, Cu, Zn, Fe, Mn에 대하여 각각 50-200, 20-100, 100-400, >500, 300-500 mg/kg 정도로 알려져 있다²¹. 본 조사에서 시설재배 작물에 과잉피해를 유발할 수 있는 수준의 가용성 Cu, Zn, Fe을 함유하는 토양이 다수 발견

되었다. 그리고 우리나라 토양환경보전법에서 Cu의 경우 토양오염 우려기준과 대책기준은 총 함량으로 각각 50 및 125 mg/kg으로 정해져 있는데²², 가용성 Cu 함량이 이미 이러한 범위에 해당하는 토양이 토마토 지배지 2곳과 오이 재배지 1곳에서 발견되었다. 따라서 시설재배지 토양의 Cu 축적이 오염 수준에 이르는 것으로 판단되며, 토양 중의 Cu와 Zn의 함량이 높은 것은 이들 원소의 함량이 높은 가축분 퇴비를 비롯한 유기물 자재의 과도한 사용 또는 장기간의 연용에 일부 기인할 것으로 사료된다.

본 연구에서 조사된 시설재배지 토양의 가용성 미량원소 함량은 토성, pH, EC, 유기물 함량 및 경작연수 등과 특정한 상관관계를 갖지 못하였다(자료 미제시). 이러한 결과는 토양의 가용성 미량원소 함량이 단순히 해당원소의 시비량이나 그 유효도에 영향을 미치는 pH 등에 의해 결정되기 보다는 다양한 지역에서 토양 시료를 채취하였으므로 농가별로 모재를 비롯한 토양 특성의 차이, 수분관리의 차이 및 윤작이나 휴경 등의 다양한 작부체계와 함께 심토반경이나 복토와 객토 등도 시설재배 토양 중의 가용성 미량원소 함량에 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있을 것이다^{23,24}.

식물체 중 미량원소 함량

작물별 잎 중의 미량원소 함량을 조사한 결과를 Table 5에 나타내었다. 토양 중 가용성 미량원소의 함량이 농가별로 큰 차이를 보였던 것과 마찬가지로 작물 잎 중의 미량원소 함량도 작물별로 또는 동일한 작물의 경우 농가별로 큰 차이를 보였다. 일반 작물에 대한 잎 중의 B, Cu, Zn, Fe, Mn의 적정 함량 범위는 각각 10-200, 5-30, 20-150, 100-500, 20-300 mg/kg으로 제시되어 있는데²⁵, 이를 기준으로 하여 농가별 각 작물 잎 중의 미량원소 함량 상태를 부족, 적정, 과잉으로 구분하여 그 비율을 Table 6에 나타내었다.

B의 경우 각 작물별로 대부분의 농가에서 작물체내 함량이 적정 수준인 것으로 나타났으나, 일부 농가에서는 분석과정에서 검출이 되지 않을 정도의 낮은 함량을 보이거나 과잉상태인 것으로 조사되었다. 특히 오이의 경우에는 조사 농가의 13%에서 잎 중의 B 함량이 적정 수준을 초과하는 것으로 나타났다. Cu의 경우에는 다른 미량원소에 비하여 적정 수준

Table 4. Frequency distribution of plastic film house soils under the condition of deficiency, sufficiency and excess in extractable micronutrient contents[†]

Crop	B			Cu			Zn			Fe			Mn		
	D	S	E	D	S	E	D	S	E	D	S	E	D	S	E
	%														
Red pepper	48	31	11	32	30	38	0	6	94	0	0	100	0	0	100
Cucumber	2	52	46	0	2	98	0	0	100	2	0	98	0	0	100
Tomato	1	56	43	4	8	88	0	1	99	5	10	85	0	0	100

[†] D, S and E represent deficiency, sufficiency and excess, respectively. Soil micronutrient status were evaluated using the critical levels suggested by Sims and Johnson²⁰.

을 유지하는 농가 수가 상대적으로 적었다. 고추와 토마토 재배 농가에서는 적정 함량보다 낮은 수준을 보이는 비율이 각각 71 및 34%로 높았으며, 오이 재배 농가의 경우 Cu가 부족 농가와 과잉인 농가가 각각 25 및 44%로 나타났다. Zn의 경우 오이에서 잎 중의 함량이 적정 범위를 상회하는 농가들이 많이 발견되었으며, 토마토의 경우처럼 63%의 농가에서 잎 중의 Zn 함량이 적정 수준 이하인 것으로 나타났다. 고추와 오이 재배 농가에서도 잎 중의 Zn이 부족 상태인 경우가 20%에 가까이 조사되었다. Fe의 경우 고추 재배 농가에서는 대부분 잎 중의 Fe 함량이 적정 수준인 것으로 조사되었으나 오이와 토마토 재배 농가의 경우에는 부족한 상태인 비율이 상대적으로 높았다. 한편 오이의 경우 재배농가 10%에서 Fe가 과잉상태인 것으로 나타났다. Mn의 경우 조사 대상 농가 모두에서 토양 중의 가용성 Mn 함량은 과잉 상태로 나타났으나 작물별로 잎 중의 Mn 함량이 과잉상태인 농가는 9-17%였으며 잎 중의 함량이 부족상태인 농가 비율도 작물별로 11-15%까지 나타났다.

특히 오이재배 시설 토양 중의 가용성 Cu 함량이 적정 수준 이상인 농가가 98%임에도 불구하고 오이 잎 중의 Cu가 부족한 농가의 비율이 높은 것은 토양이나 시비 측면에서의 관리에 큰 문제가 있는 것으로 판단된다. 고추, 토마토, 오

이 등에서는 1,000 mg/kg 내외의 Cu를 함유하고 있는 시료도 조사되었는데, 이는 엽면시비 등을 통한 과잉 공급의 결과일 가능성이 매우 큰 것으로 판단된다.

토양과 작물 중의 미량원소 함량 관계 비교

토양 중의 가용성 미량원소 함량과 작물 잎 중의 미량원소 함량 관계를 토양 및 식물체 중 미량원소 적정 함량을 기준으로 상한과 하한선을 표시하여 작물별로 Fig. 1-3에 나타내었으며, 토양이나 작물 잎 중의 함량이 지나치게 높은 경우는 그림에서 제외하였다.

고추의 경우 대체로 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 증가함에 따라서 잎 중의 미량원소 함량도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 비슷한 경우에도 잎 중의 함량 차이가 심하게 나타나기도 하였다. B의 경우 토양중의 가용성 함량이 매우 낮음에도 불구하고 잎 중의 함량은 적정 수준을 유지하였으며, 반대로 Cu의 경우 토양 중의 함량이 적정 또는 과잉 상태임에도 고추 잎 중의 함량은 적정수준 하한인 5 mg/kg에 미달하는 경우가 조사농가의 70%정도에 달하였다. Zn은 토양중의 함량 증가에 비례하여 잎 중의 함량이 증가하는 현상을 보였으며, 대부분의 농가에서 토양중의 함량은 적정 수준 이상이나 고추 잎 중의 함

Table 5. Contents of micronutrients in leaf of plastic film house crops

Crop		B	Cu	Zn	Fe	Mn
----- mg/kg -----						
Red pepper	Minimum	6	ND	15	74	ND
	Maximum	292	1,281	261	392	1,088
	Mean	71	50	69	175	1,721
Cucumber	Minimum	ND [†]	ND	3	18	ND
	Maximum	768	940	503	831	1,284
	Mean	102	169	101	247	161
Tomato	Minimum	0.7	ND	6	46	ND
	Maximum	229	1,011	266	527	646
	Mean	39	568	38	168	123

[†] Not detected.

Table 6. Frequency distribution of plastic film house crops under the condition of deficiency, sufficiency and excess in micronutrient contents[†]

Crop	B			Cu			Zn			Fe			Mn		
	D	S	E	D	S	E	D	S	E	D	S	E	D	S	E
----- % -----															
Red pepper	2	95	3	71	21	8	17	75	8	8	92	0	11	77	12
Cucumber	6	81	13	25	31	44	19	65	16	16	74	10	13	70	17
Tomato	7	92	1	34	55	11	62	34	4	18	81	1	15	76	9

[†] D, S and E represent deficiency, sufficiency and excess, respectively. The status of micronutrients were evaluated using the critical levels suggested by Jones²⁵.

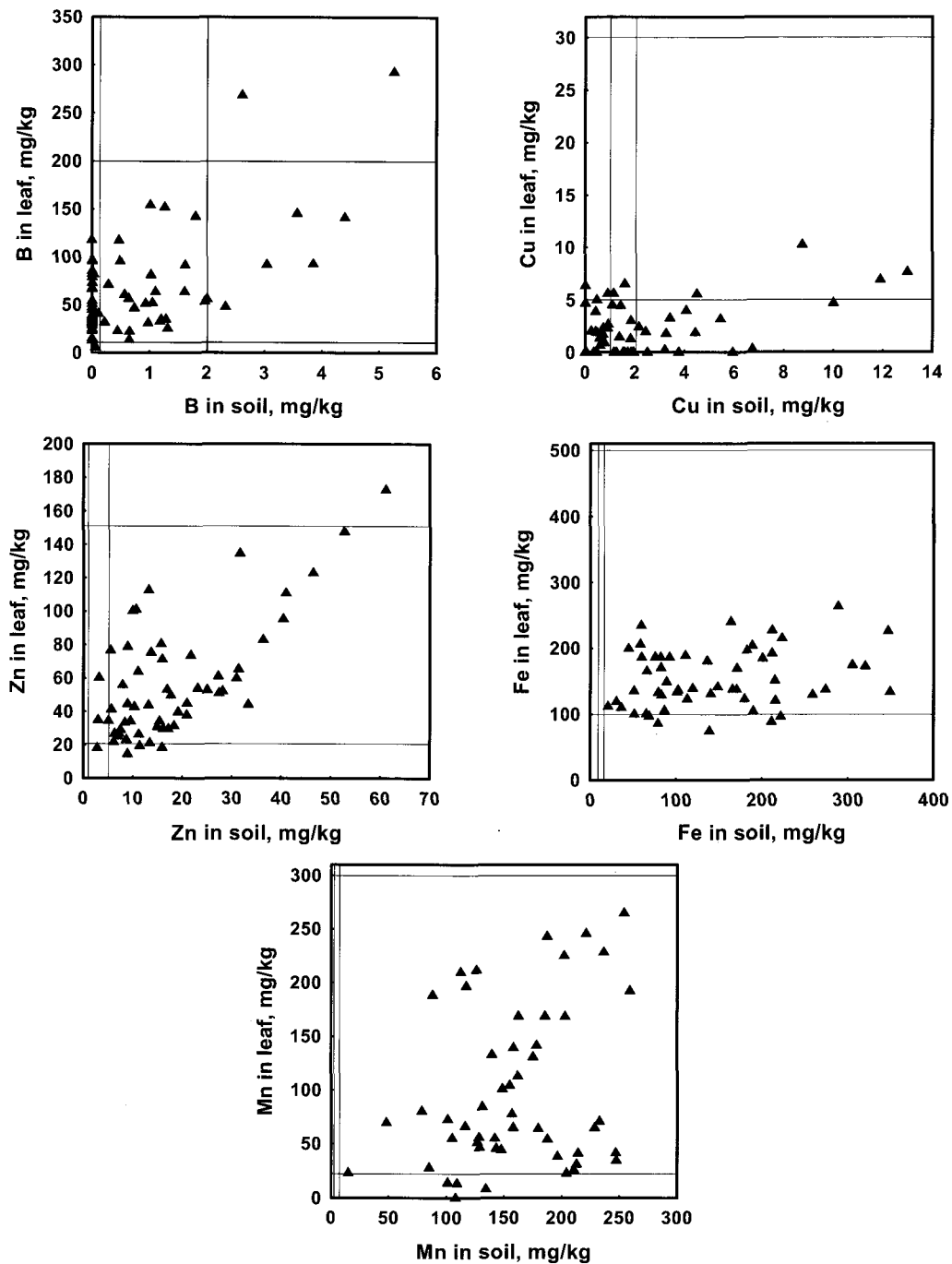


Fig. 1. The relationship between micronutrient content in soil and leaf of red pepper. Soil B was extracted with hot water and Cu, Zn, Fe and Mn were extracted with 0.1 N HCl. The vertical and horizontal lines are lower and upper limits of optimum levels of micronutrients in soil and plant, respectively.

량은 대부분 적절한 상태이었다. 토양중의 가용성 Fe 함량은 대부분의 농가에서 적정 수준 이상이며 또한 함량 차이가 크게 나타났으나 이에 관계없이 잎 중의 함량은 100-250 mg/kg 수준으로 적절한 상태를 유지하고 있었다. 고추 잎 중의 Mn 함량은 토양 중의 가용성 Mn 함량과 관계없이 부족 상태부터 과잉상태까지 나타났으며 다른 미량원소에 비하여 과잉상

태의 비율이 높았다.

오이의 경우 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 잎 중의 미량원소 함량에 뚜렷한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다으며, B와 Zn에 비하여 Cu, Fe, Mn의 경우 이러한 현상이 더욱 현저하였다. 다른 작물의 경우와 마찬가지로 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 비슷한 수준에서도 잎 중의

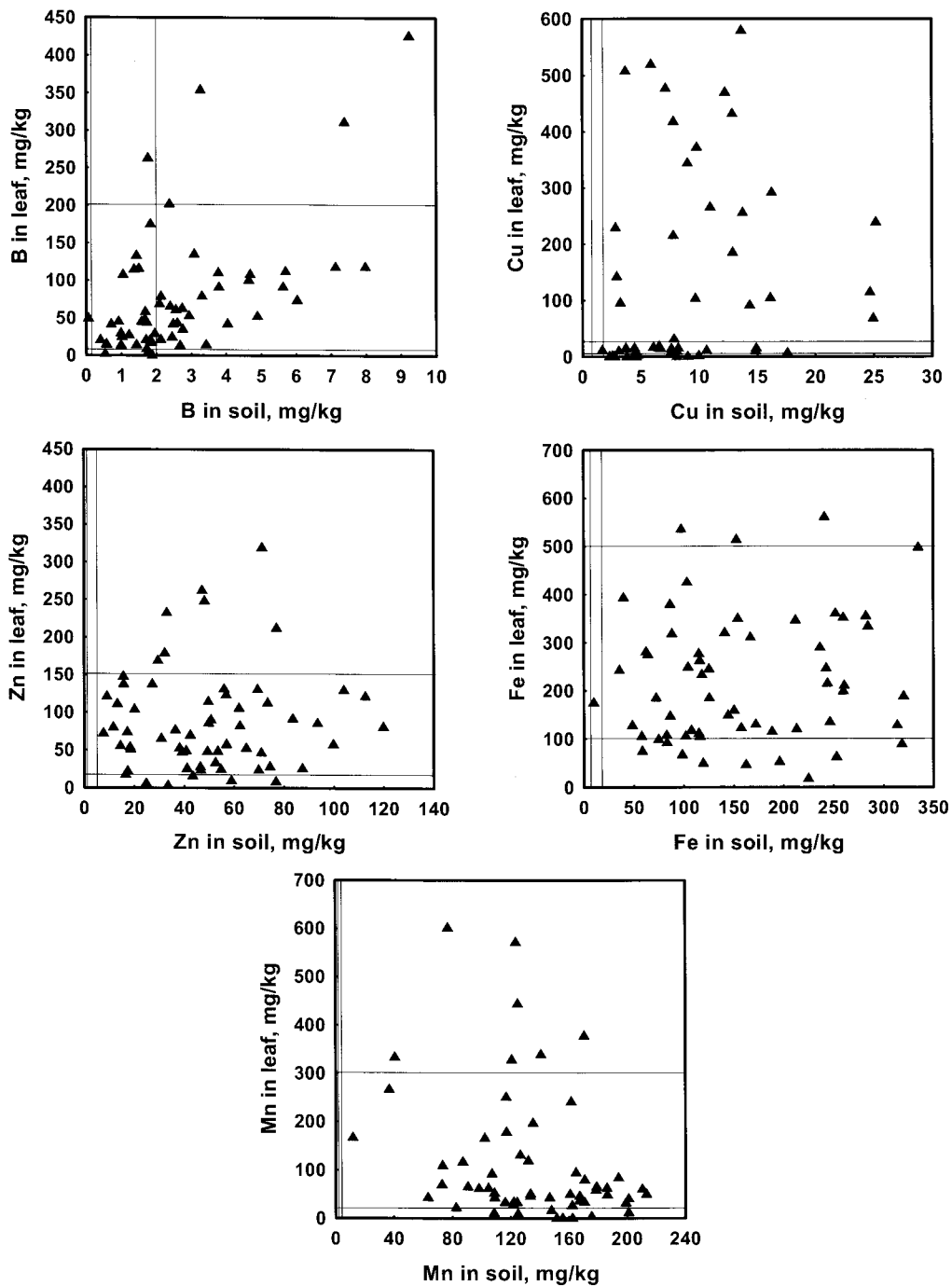


Fig. 2. The relationship between extractable micronutrient content in soil and leaf of cucumber. Soil B was extracted with hot water and Cu, Zn, Fe and Mn were extracted with 0.1 N HCl. The vertical and horizontal lines are lower and upper limits of optimum levels of micronutrients in soil and plant, respectively.

함량 차이가 크게 나타났다. Zn, Fe, Mn의 경우 토양 중의 가용성 미량원소 함량이 대부분의 농가에서 적정수준 이상임에도 불구하고 잎 중의 함량은 대부분 적정 수준으로 나타났다. Cu의 경우 고추와 토마토에서는 토양중의 가용성 함량이 과잉임에도 잎 중의 함량은 적정 또는 그 이하로 나타났지만 오이에서는 잎 중의 함량이 과잉상태를 보이는 농가가 상대

적으로 많았다.

토마토의 경우 오이 재배 농가에서 조사된 바와 마찬가지로 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 잎 중의 미량원소 함량에 뚜렷한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. B의 경우에는 토양중의 함량과 관계없이 잎 중의 함량은 대부분의 농가에서 적정 함량 범위 내에서 낮은 수준으로 나타났으

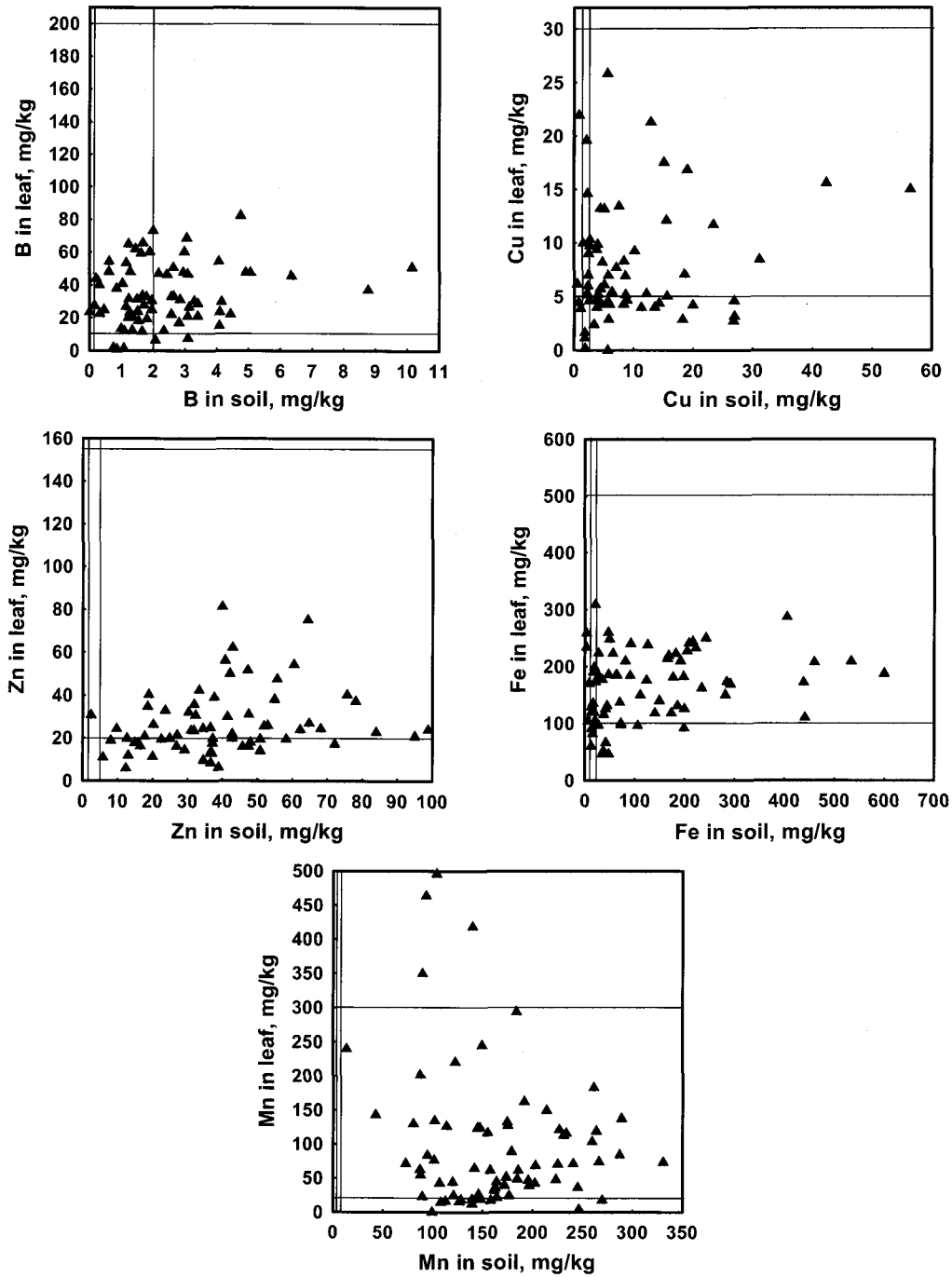


Fig. 3. The relationship between extractable micronutrient content in soil and leaf of tomato. Soil B was extracted with hot water and Cu, Zn, Fe and Mn were extracted with 0.1 N HCl. The vertical and horizontal lines are lower and upper limits of optimum levels of micronutrients in soil and plant, respectively.

며, Cu의 경우에는 토양중의 가용성 함량이 대부분 과잉상태 이나 토마토 잎 중의 함량은 적정 또는 부족 상태로 나타났 다. Fe와 Mn의 경우에는 토양중의 가용성 함량이 과잉 상태 이나 잎 중의 함량은 적정상 상태로 나타났다.

작물별로 또는 미량원소별로 보았을 때, 토양 중 가용성 미량원소 함량이 증가함에 따라서 작물 잎 중의 미량원소 함

량도 증가하는 경향을 나타내는 경우도 있었으나 대부분의 경우 토양 중의 가용성 미량원소 함량과 작물 잎 중의 미량 원소 함량 사이에 상관관계는 없었다. 특히 토양 중의 가용성 미량원소 함량이 증가하는데도 작물 잎의 함량이 크게 다르 지 않거나 오히려 감소하는 경향을 보이는 등 토양 중의 가 용성 미량원소의 함량이 작물 잎의 함량에 직접적인 또는 결

정적인 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

작물의 무기영양소의 흡수에 미치는 요인으로서 우선 토양 중의 유효태 또는 가용성 무기영양소 함량이 가장 중요할 것이며, 그 외에 작물의 생육시기와 생육상태와 같은 식물의 특성을 비롯하여 다양한 토양 특성과 영양소들 사이의 상호 경쟁 등을 고려해야 한다^{23,26-28}). 본 연구에서는 생육시기와 생육상태가 비슷한 작물의 잎 시료를 채취하였으며 토양 중의 가용성 미량원소의 함량이 적정수준보다 훨씬 높음에도 불구하고 작물 잎 중의 함량이 적정수준 미만으로 나타난 것을 고려하면, 토양과 잎 중의 미량원소 함량 사이에 상관관계는 없는 현상은 결국 토양중 가용성 미량원소의 양을 결정하는 요인보다는 작물의 뿌리를 통한 미량원소의 흡수 현상에 직접적으로 관여하는 식물 및 토양 요인의 차이에 기인하는 것으로 추정할 수 있을 것이다. 실제 토양 중 가용성 미량원소의 함량이 높음에도 불구하고 잎 중 미량원소의 함량이 부족한 경우는 작물의 뿌리가 영양소 흡수 기능을 제대로 하지 못하고 있다는 증거이다. 반대로 미량원소의 지나친 과잉흡수 현상은 퇴비나 4종 복합비료의 과다 시용으로 토양중의 함량이 높기 때문일 수도 있으며 특히 토양중의 가용성 미량원소의 함량이 낮음에도 잎 중의 함량이 지나치게 높은 경우는 미량원소의 염면시비가 그 원인일 수 있을 것이다. 특히 대부분의 시설재배지 토양이 염류집적 문제를 안고 있으며 이러한 토양에서 작물의 뿌리 발육상태나 활성이 불량하며 과도한 염류 집적은 토양 수분포텐셜을 감소시키므로 수분 흡수를 어렵게 하여 일시적인 위조현상과 함께 양분 흡수에 지장을 초래한다. 특히 염류집적이 심한 토양조건에서 축적된 다량원소가 작물의 미량원소 흡수를 저해하거나 미량원소들 사이의 경쟁적인 흡수 억제 현상을 염두에 둘 수 있을 것이다^{10,27-29}). 토양 중 인산의 함량이 증가할수록 식물체 중 Cu와 Zn의 흡수가 증가하는데, 토양 중 인산의 함량이 증가할수록 줄기 중 Cu의 함량이 12-58%의 증가의 경향을 나타낸다고 하였다³⁰). 또한 N 함량은 Mn 함량과 정의 상관관계를 가지나 Cu와 Zn 함량과는 역의 상관관계를 가지며, Ca, Mg, Zn은 Mn의 흡수를 저해하며, K는 Cu의 흡수를 저해하고, Zn은 Fe의 흡수를 저해는 등 영양소 상호간의 다양한 상호 또는 길항 작용이 작물의 영양소 흡수에 관여하는 것으로 알려져 있다^{10,11,31}).

본 연구에서 조사된 토양과 작물별 잎 시료 중의 미량원소 함량은 일반적인 작물생육에 적정한 수준에 훨씬 미달 또는 초과하는 경우가 많았으나 작물에서 미량원소의 결핍이나 과잉 증상은 육안으로 관찰되지 않았다. 그러므로 가용성 미량원소 추출방법 자체가 유효태 미량원소를 결정하기에 부적합하거나 제시된 기준이 본 연구에서 조사한 시설재배지 토양이나 작물에 적용하기에는 부적합 할 수도 있을 것이다. 따라서 우리나라 시설재배 작물에 적용할 수 있는 미량원소 적정 요구량에 대한 구체적인 연구가 필요하며, 토양중의 가용성 미량원소 함량과 작물의 흡수 이용에 대한 보다 광범위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 시설재배 고추, 오이, 토마토를 대상으로 토양 및 식물체 중 미량원소 함량을 조사하여 미량원소의 적정시비관리를 위한 자료로 활용하고자 수행하였다.

일반작물에 대한 평균적인 토양 중 적정 미량원소 함량기준과 비교하면, Fe, Mn, Zn의 함량은 조사된 대부분의 토양에서 과잉상태이었고 Cu 또한 고추 재배지를 제외하면 대부분 과잉 상태이었다. 고추 재배지에서 Cu 함량이 적정 수준 이하인 토양 비율이 30%정도였다. B는 다른 미량원소에 비하여 과잉상태인 토양 비율이 상대적으로 낮았으나 고추 재배지의 경우에는 부족 토양 비율이 상대적으로 많았다. 작물 잎 중의 미량원소 함량은 원소별 또는 작물별로 매우 넓은 범위에 분포하였다. B, Fe, Mn은 대부분이 적정 함량 범위에 있었으나, Cu와 Zn은 적정 함량 이하인 경우가 많았다. 그러나 농가조사에서 미량원소의 가시적인 과잉 또는 결핍 증상은 발견되지 않았다. 토양 중의 가용성 미량원소 함량과 작물 잎 중의 미량원소 함량 사이에는 유의한 상관관계가 없었고, 작물별 또는 미량원소별로 토양중의 가용성 함량이 적정수준 이상임에도 불구하고 잎 중의 미량원소 함량이 매우 낮은 경우도 많았다. 이러한 결과는 조사된 농가별로 토양 특성이 다양하고 시비관리 및 수분관리 방법 등이 크게 다르기 때문일 것이다.

대부분의 농가에서 토양 중의 미량원소 함량이 과잉임을 고려하면 뿌리를 통한 작물의 미량원소 흡수가 원활히 이루어질 수 있도록 미량원소의 흡수에 장애가 될 수 있는 다량원소의 과다시비나 염류집적 문제의 해결을 포함한 시비 및 토양관리에 주의를 기울일 필요가 있을 것이다. 또한 토양검정과 작물체 분석 자료를 확보하여 작물생육에 기여하지 못하는 과잉의 미량원소 시비 관행의 문제점을 보다 철저히 검토해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구개발사업의 지원으로 이루어진 것임(과제 번호 20040101033003).

참고문헌

1. Ministry of Agriculture and Forestry. (2005) Agriculture and forestry statistical year book, Gwacheon, Korea.
2. Kang, B.K., Jeong, I.M., Kim, J.J., Hong, S.D. and Min, K.B. (1997) Chemical characteristics of plastic film house soils in Chungbuk area, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30, 265-271.
3. Park, B.G., Jeon, T.H., Kim, Y.H. and Ho, Q.S. (1994) Status of farmers' application rates of chemical

- fertilizer and farm manure for major crops, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 27, 238-246.
4. Jung, B.G., Choi, J.W., Yun, E.S., Yoon, J.H., Kim, Y.H. and Jung, G.B. (1998) Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31, 9-15.
 5. Moreno-Caselles, J., Moral, R., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Paredes, C. and Agullo, E. (2005) Fe, Cu, Mn, and Zn input and availability in calcareous soils amended with the solid phase pig slurry, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36, 525-534.
 6. Solan, J.J., Dowdy, R.H. and Dolan, M.S. (1998) Recovery of biosolids applied heavy metals 16 years after application, *J. Environ. Qual.* 27, 1312-1317.
 7. Ozores-Hampton, M., Stansly, P.A. and Obreza, T.A. (2005) Heavy metal accumulation in a sandy soil and in pepper fruit following long-term application of organic amendments, *Compost Sci. Util.* 13, 60-64.
 8. El-Fouly, M.M., Nofal, O.A. and Mobarak, Z.M. (2001) Effect of soil treatment with iron, manganese and zinc on growth and micronutrient uptake of sunflower plant grown in high-pH soil, *J. Agron. Crop Sci.* 186, 245-251.
 9. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B.L. and Smith, D.L. (2000) Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal *Zea mays* L. grown in soil at different P and micronutrient levels, *Mycorrhiza* 9, 331-336.
 10. Robson, A.D. and Loneragan, J.F. (1970) Sensitivity of annual (Medicago) species of manganese toxicity as affected by calcium and pH, *Aust. J. Agri. Res.* 21, 223-232.
 11. Galizzi, F.A., Felker, P., Gonzalez, C. and Gardiner, D. (2004) Correlation between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in argentina, *J. Arid. Environ.* 59, 115-132.
 12. Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plant, 2nd ed. Academic Press INC., London, UK.
 13. Graham, R. D. and Webb, M. J. (1991) Micronutrients and disease resistance and tolerance in plant, p. 329-370, *In* Mortvedt, J.J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture, 2nd ed. SSSA book series No. 4, Madison, WI, USA.
 14. Welch, R.M., Allway, W.H., House, W.A. and Kubota, J. (1991) Geographic distribution of trace elements, p. 31-57, *In* Mortvedt, J.J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture, 2nd ed. SSSA book series No. 4, Madison, WI, USA.
 15. Bingham, F.T. (1982) Boron, p. 431-447, *In* Page, A.L. et al. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, 2nd ed, Agronomy series No. 9, ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
 16. Cox, F.R. (1987) Micronutrient soil tests: correlation and calibration, p. 97-117, *In* Brown, J.R. (ed.) Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation, SSSA Spec. Publ. 21, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.
 17. McLaren, R.G. and Cameron, K.C. (1996) Soil science, 2nd ed. Oxford University Press, New Zealand.
 18. Beckwith, R.S., Tiller, K.G. and Suwadi, E. (1975) The effects of flooding on the availability of trace metals to rice in soils of differing organic matter status, p. 135-149, *In* Nicholas, D.C.D. and Egan, A. (ed.) Trace elements in soil-plant-animal systems, Academic Press, New York, NY, USA.
 19. Ha, H.S., Yang, M.S., Lee, H., Lee, Y.B., Sohn, B.K. and Kang, U.G. (1997) Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30, 272-279.
 20. Sims, J.T. and Johnson, G.V. (1991) Micronutrient in soil, p. 427-479, *In* Mortvedt, J. J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture, 2nd ed. SSSA book series No. 4, Madison, WI, USA.
 21. Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1991) Trace elements in plants, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
 22. Ministry of Environment. (1996) Warning and countermeasure standards of soil contamination, Gwacheon, Korea.
 23. Shuman, L.M. (1991) Chemical forms of micronutrient in soil, p. 113-144, *In* Mortvedt, J.J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture, 2nd ed. SSSA book series No. 4, Madison, WI, USA.
 24. Szalai, T., Lehozky, E., Nyàrai, F., Hollò, S. and Csathó, P. (2002) The available micronutrient content of soil in a long-term nutrient supply experiment, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33, 3251-3260.
 25. Jones, J.B. (1991) Plant tissue analysis in micronutrients, p. 477-521, *In* Mortvedt, J.J. et al. (ed.) Micronutrient in agriculture, 2nd ed. SSSA book series No. 4, Madison, WI, USA.

-
26. Suleiman, M.K. (2003) Changes in soil properties following a 40- and 20-years application of organic waste, *Arch. Agron. Soil Sci.* 49, 105-110.
 27. Pearson, J.N., Rengel, Z., Jenner, C.F. and Graham, R.D. (1995) Transport of zinc and manganese to developing wheat grains, *Physiologia Plantarum* 95, 449-455.
 28. Yu, M., Hu, C.X. and Wang, Y.U. (2002) Molybdenum efficiency in winter wheat cultivars as related to molybdenum uptake and distribution, *Plant Soil* 245, 287-293.
 29. Mass, E.V., Moore, D.P. and Mason, B.J. (1969) Influence of calcium and manganese on manganese absorption, *Plant Physiol.* 44, 796-800.
 30. Li, X.L., Marschner, H. and Römheld, V. (1991) Acquisition of phosphorus and copper by VA-mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover, *Plant Soil* 136, 49-57.
 31. Adiloglu, A. (2003) The effect of zinc (Zn) and application on the available iron (Fe) contents of calcareous soils in Thrace region, *Arch. Agron. Soil Sci.* 49, 283-287.
-