

岩手県における微量要素欠乏に関する研究

The Studies on Trace Elements Difficiencies in Iwate pref.

千葉 明、白旗秀雄、新毛晴夫、千葉行雄、古沢典夫、内田修
* ** *** **** *****
吉、中野信夫、関沢憲夫、佐藤久仁子、黒沢順平、高橋健太郎、

夏井和七

目 次

I. 緒 言	4. 苦土欠乏（特殊成分）
II. 微量要素に関する調査研究	5. 硼素欠乏
1. マンガン欠乏	6. 鉄欠乏
2. 銅欠乏	III. 総合考察
3. 亜鉛欠乏	引用文献

岩手県における微量要素欠乏に関する研究

I. 緒 論

岩手県はその面積は約1,528,000haで北海道に次いで広く、これはほぼ四国4県に匹敵する広さになっている。その中に古くはかつて日本最古の地層といわれた北上山地のシルル紀の地層から沖積紀降灰の極く新しい火山灰土壌まで、広い地質時代にわたる地層、土壌の分布が見られる。しかも岩手県は、畑地の面積が広いので、水田土壌のように長い期間にわたり灌漑水の影響を受けていないその土壌本来の性格を示す土壌が多く見られる。

岩手県の畑土壌の生産力阻害の要因を見ると、

上記土壌の多様な性質を反映し、強酸性土壌、火山灰に由来する燐酸欠乏土壌、それに各種の微量要素欠乏土壌の存在が大きい影響を及ぼしている。この中で微量要素欠乏については昭和28年にマンガン欠乏に関する調査が行われたのを初めとしてその後、銅、亜鉛、硼素、モリブデン、鉄等各種の欠乏症が県内で認められ、歴代の研究員がその実態調査と対策の樹立に当たって来た。これらの成果の大部分については、その都度農業試験場研究会議、土壌肥料ブロック会議、あるいは日本土壌肥料学会等で報告し、岩手農試研究報告としても一部報告したものもあるが、この度、岩手県内で

註 *岩手県産検定所、 **岩手県東京事務所、 ***岩手県醸造食品試験場、 ****岩手県公害センター、
*****岩手県経済連、 *****自営

発生しその対策を樹立した全微量元素について特殊成分の苦土を含め一括してとりまとめた。

本研究は農林省指導のもとに行なわれた低位生産地調査事業、地力保全調査事業によって得られた成績が多く、農林省関係各位に謝意を表す。また各試験研究の実施に当っては、東北大学名誉教授藤原彰夫博士、同教授大平幸次博士、岩手大学教授吉田稔博士の御指導を得た。ここに記して謝意を表す。

II. 微量元素に関する調査研究

1. マンガン欠乏

(1) マンガン欠乏研究の経過

微量元素としてのマンガンの確認が行なわれたのは1897年Bertrand によるものが最初とされているが、その後Maze は、1914年にとうもろこしの水耕栽培でこれを確認し、さらに1920年代にケンタッキー農事試験場のS. McHargue は、マンガンの植物体中における割役について広範な研究を行った。¹⁾

我国においては1902年に麻生慶次郎がマンガンの生理作用について研究し、水稻に対する施用効果等を検討していたのが最初である。²⁾ またマンガン欠乏土壌については、小林の広範な研究がある。^{3) 4)}

岩手県においては1936年に、気仙郡、陸前高田市、大船渡市、東磐井郡等主として県南地域の麦類に異常生育を来すものが認められ、調査の結果マンガン欠乏に由来するものであることが明かにされた。その後マンガン欠乏の発生地域は釜石、宮古を結ぶ三陸沿岸、あるいは岩手火山灰土壌地域などに広がって認められている。

前記のように本県におけるマンガン欠乏の発生は麦類に多かったことから、研究は麦類を中心に発生土壌条件の解析、品種間差異、対策試験等を主体に行った。その後、小面積に陸稲(畑稲)のマンガン欠乏の発生も見られ一部検討も行なわれたが、大きな問題にはならなかった。

いずれにせよこのマンガン欠乏の研究は、

本県における微量元素欠乏に関する研究の最初になったものである。

(2) 生体内におけるマンガンの機能⁵⁾

マンガンは植物や動物、バクテリア、かび等の正常な生育に必須の栄養素であって、全ての植物組織に存在しているが、とくに緑の葉、芽、種子に濃縮されている。

マンガンは数種の重要な酵素に觸媒として作用し、植物体内での生理反応に関与しているが、過剰は有害であり、また植物に対する鉄の有効性を減少させる。鉄は一般には3価の形で植物に吸収され、植物体内で2価に還元されて代謝に利用されるが、マンガンの過剰吸収によって3価の鉄のまま植物に利用されない形で残って鉄欠乏を起す。

マンガンは炭水化物が炭酸ガスと水に分解されるような、植物の呼吸経路に一般に含まれている。この呼吸経路はマンガンによって活性化された酵素によって觸媒される。活性化された酵素が、植物の呼吸作用の各段階で触媒として作用する一方で、マンガンは窒素代謝に関与する酵素も活性化する。さらに重要な機能として、葉緑素の合成に直接関与する酵素の活性化にあずかる。マンガンは植物の組織内ではまったく移動しないので、これが極く初期の欠乏症状が若い葉や芽に出る理由である。マンガンは鉄と共に明暗両環境において植物細胞中の酸化還元電位を調節する機能を有している。

(3) マンガン欠乏症状の特徴

マンガン欠乏を起し易い作物は、水稻、陸稲、麦類、等のいね科作物、また野菜ではトマト、ほうれんそう、ねぎ、大根、果樹ではみかん、りんご、なし、ぶどう、もも、かき等とされているが、その中でも特に欠乏症を起し易いものは麦類である。岩手県での発生も麦類が主体であるので、その欠乏症の特徴を示す。

越冬前の生育は概ね普通の生育状態であるが、越冬後の最大伸長期近くに、葉脈に沿って、葉の中央よりやや先の部分から縦

に黒褐色の破線を生ずる。これが時には明瞭な線となり、いわゆる褐線萎黄状を呈する。下葉の中は広くなり、褪色黄化して、甚しい場合は最初に褐線が発生した葉の中央部附近から完全に折れることもある。また症状の激しい場合は、草体は萎縮黄化して出穂が著しく遅延し、甚しい場合は出すしくみになって全く出穂しないこともある。このような状態では耐病性が弱まることも特徴的であり、特にうどんこ病（白濁病）に極端に罹病し易くなる。マンガン欠乏には特に裸麦が弱く、小麦はやや強い傾向が認められるが、さらにそれ等の品種間にも著しい強弱の差が認められる。

(4) マンガン欠乏土壌の性格と分布⁸⁾

岩手県で、麦の異常生育からマンガン欠乏の危険性があると見られたのは県東南部の気仙地帯（陸前高田市、大船渡市、三陸町）であったので、これ等の地域の土壌調査を行ない、マンガン欠乏症と見られる地点の土壌を採取し分析に供し、さらに若干の資料について茎葉中のマンガン含量を測定した。

なお、現地調査及び各農業改良普及所の報告に基づいたマンガン欠乏の発生面積は、大船渡市で450ha、陸前高田市で657ha、三陸村で450haで計1557haであり、これは麦類作付面積の約80%に達した。

土壌分析法

ア. pH ; 常法

イ 腐植 ; Tiurin 法

ウ. 置換性石灰 ; N- 醋酸アンモニウム浸出液の蔭酸アンモニウム・過マンガン酸カリによる容量分析法

エ 置換性マンガン ; N- 醋酸アンモニウム浸出液の過硫酸アンモニウムによる比色分析法

オ. 易還元性マンガン ; 0.2%ハイドロキノン含有N- 醋酸アンモニウム浸出液の、過硫酸アンモニウムによる比色分析法

1) 土壌調査結果

麦類の生育がマンガン欠乏を示していると観察された圃場の土壌分析を行った。

pH (H₂O) は6.1—6.5が36%、6.6—7.0 が24%、7.1以上が6%であり、6.1以上が全体の66%を占め、当時強酸性土壌の多い県内の畑土壌に比べて、明らかにpHは高い傾向であった。置換性石灰は200—299mgが36%、300mg以上が40%であり、含有量の多い土壌程マンガン欠乏症が顕著な傾向にあることが観察された。

置換性マンガンは10ppm以下が62%を占め、その中でも5 ppm以下では著しい欠乏症を示すことが多かった。

易還元性マンガンは50ppm以下が69%に達した。腐植含量は5%以上と5%以下が合半ばする程度であった。これらの結果を表一1及び図一1に示した。

表一1 気仙地帯の土壌

No.	土 壤 採 取 地	地質・土性	土 色	風 乾 細 土 中					
				pH		腐 植 (%)	置 換 性 石 灰 CaO (%)	置 換 性 マンガン MnO (ppm)	易還元性 マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl				
1	陸前高田市横田町砂子田	沖積層 L	暗 褐	5.2	4.5	3.27	0.144	12	49
2	“ “ 久連坪	花崗岩 SL	“	5.9	5.6	3.29	0.258	10	41
3	“ 竹駒町下	“ L	暗黄褐	6.4	5.8	3.01	0.244	15	39

No.	土 壤 採 取 地	地質・土性	土 色	風 乾 細 土 中					
				pH		腐 植 (%)	置 換 性 石 灰 CaO (%)	置 換 性 マンガン MnO (ppm)	易還元性 マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl				
5	陸前高田市竹駒町大畑	沖積層 S L	灰黄褐	4.8	4.1	1.13	0.064	12	37
6	" 気仙町福伏	古生層 L	黒 褐	5.4	4.9	7.97	-	8	33
7	" " "	" L	"	7.0	6.8	-	-	-	-
8	" " "	" L	暗 褐	6.4	6.1	5.49	0.247	13	16
9	" " 仲町	" L	灰黄褐	6.7	6.4	2.42	0.211	14	86
10	" " "	" L	暗 褐	6.4	6.3	3.86	-	12	143
11	" " "	CL	暗灰褐	6.2	5.8	2.29	-	25	66
12	" " 福伏	古生層 L	黒 褐	6.8	6.1	6.18	0.430	微	19
13	" 小泉試作圃	沖積層 L	暗黄褐	7.3	6.8	2.51	-	30	209
14	" 米崎町中島	花崗岩 L	暗 褐	6.8	6.1	4.78	0.331	微	37
15	大船渡市小友町両替	" L	"	5.2	4.9	3.14	0.292	11	25
16	" " 谷地館	中生層 CL	"	6.2	6.1	3.44	0.409	8	77
17	" " 只出	沖積層 L	褐 色	5.5	4.8	3.30	0.273	7	82
18	" 広田町小屋敷	花崗岩 S L	黒 褐	6.7	6.6	4.04	0.280	3	12
19	" " 平畑	沖積層 S L	"	6.9	6.7	3.09	0.242	2	39
20	" " 大祝	花崗岩 L	淡 褐	6.3	5.5	1.07	0.188	28	77
21	" " 根崎	" L	"	7.1	6.4	-	-	-	-
24	" 末崎町平上山	中生層 L	暗 褐	5.8	5.2	4.93	0.438	微	52
25	" " 小細浦	" L	褐 色	5.6	4.8	2.74	0.243	8	99
28	気仙郡矢作村湯浸畑	古生層 S L	暗 褐	5.9	5.3	4.99	0.255	13	77
29	" " 金屋敷	洪積層 L	"	6.0	5.5	7.18	0.128	4	15
30	大船渡市立根町	" CL	黒	6.6	6.6	15.11	0.455	8	12
31	" " "	花崗岩 L	黒 褐	6.2	5.7	7.80	0.320	8	16
32	" 猪川町長谷堂	洪積層 L	"	6.5	6.3	5.97	0.399	7	41
33	" " 巾井	" L	暗黒褐	6.5	6.0	9.18	0.381	5	28
34	" 赤崎町中井	" L	"	6.1	5.9	7.80	0.345	3	33
35	" " 後の入	中生層 CL	"	6.4	6.0	8.48	0.393	25	119
36	" " 大立	" CL	淡黄褐	7.7	7.4	4.40	0.347	8	25
37	" " 蛸の浦	" CL	"	6.0	5.1	0.06	0.204	16	77
38	" " "	" CL	淡 褐	6.7	6.3	1.69	0.318	13	94
39	気仙郡三陸村綾里中會根	沖積層 CL	黒 褐	6.4	6.0	8.57	0.405	5	28
40	" " "	中生層 L	暗 褐	6.4	6.1	3.03	0.309	12	8
41	" " 大明神	" CL	"	6.8	6.5	3.45	0.353	4	33
43	" " 宮野	" CL	濁黄褐	4.8	4.1	10.9	0.159	8	49
44	" " 白浜	" S L	黒黄褐	5.6	4.7	7.7	0.149	13	41
45	" " 起喜来甫令	" CL	黒 褐	6.1	5.9	7.79	-	5	111
46	" " 享泊	" L	暗黒褐	6.5	6.3	10.96	0.439	9	21
47	" " 享崎浜	花崗岩 L	暗 褐	5.6	4.3	4.17	0.047	8	90
48	" " 泊	" L	黒 褐	5.3	5.1	14.2	0.221	2	4
50	気仙郡三陸村綾里肥田	" L	濁黄褐	6.1	5.7	5.3	0.295	5	13
51	" " 吉浜后山	" L	暗 褐	5.8	5.5	8.73	-	6	16
52	" " " 根白	" L	"	6.6	6.0	6.01	0.0232	微	12
53	" " " 上野	沖積層 L	"	6.3	5.7	4.09	0.170	6	33
54	大船渡市赤崎町吉浜大野	花崗岩 S L	"	4.7	4.0	6.10	0.031	8	23
55	" " " " "	" S L	黒 褐	6.5	5.8	6.30	0.261	12	24
56	" " " " 上野	沖積層 L	"	6.8	6.3	8.30	0.369	16	3
57	" " " " "	" S L	灰 褐	6.8	6.2	4.90	0.239	8	3

千葉県：岩手県における微量元素欠乏に関する研究

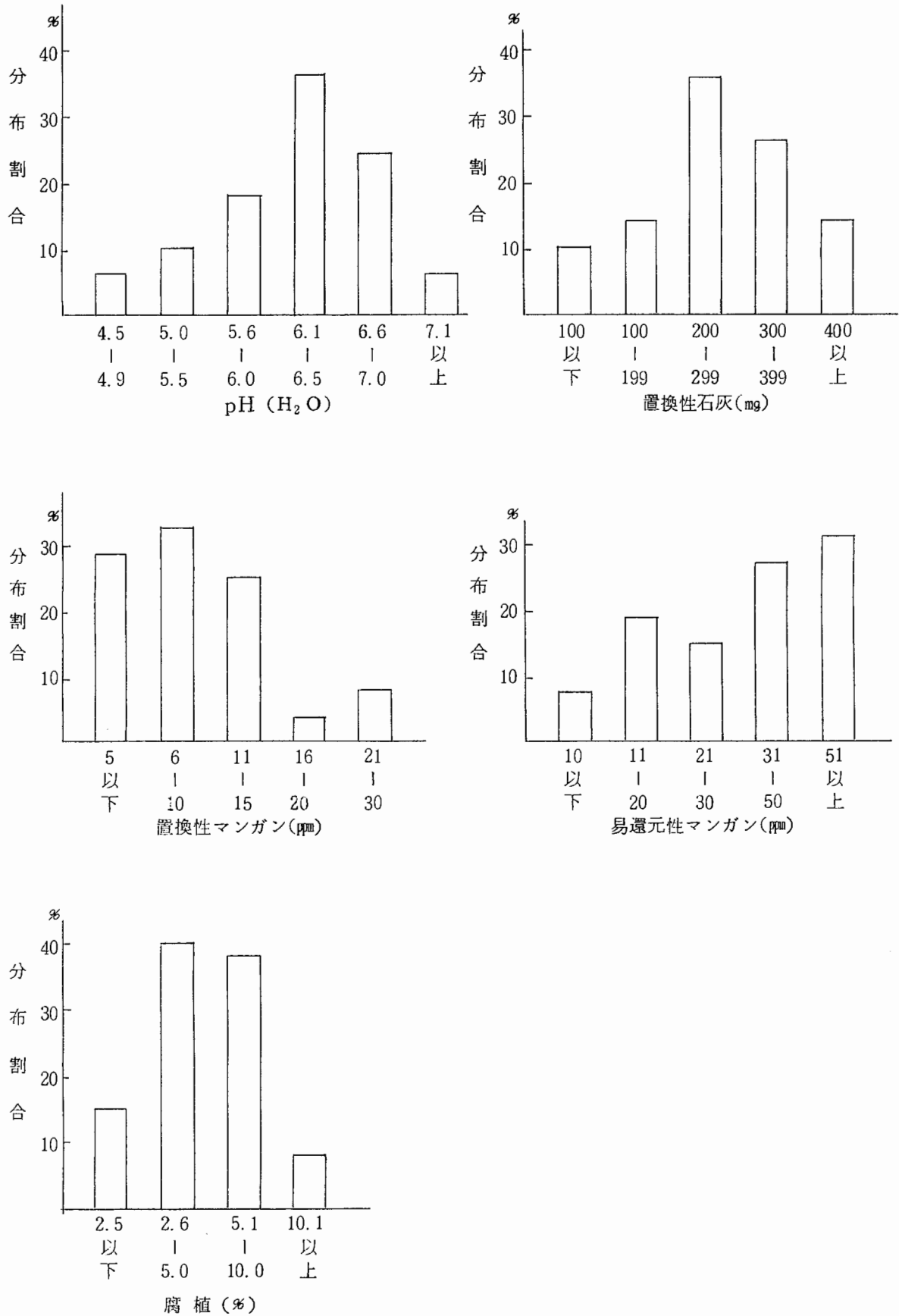


図-1 要因別土壌の分布割合

なお麦類の生育が正常な土壌5点について同様な土壌分析をした結果では、置換性マンガンか易還元性マンガンかいずれ

れかが概して高い傾向が認められた。これを表-2に示した。

表-2 麦類の生育が正常な土壌

No.	土壌採取地	地質土性	土色	風 乾 細 土					
				pH		腐植 (%)	置換性 石灰 CaO (mg)	置換性 マンガン MnO (ppm)	易還元性 マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl				
4	陸前高田市竹駒相川	花崗岩 L	黒褐	5.5	4.9	6.96	187	23	90
26	大船渡市末崎町山岸	中生層 S L	褐	6.4	5.7	2.27	327	Tr	344
27	“ 小細浦	中生層 L	灰褐	5.9	5.3	3.76	312	2	318
49	“ 赤崎町大立	中生層 L	暗褐	6.1	5.4	6.03	331	17	41
58	盛岡市本宮(農試)	洪積層 C L	黒	6.0	5.4	11.20	408	16	41

またこれら土壌要因相互の比較では、例えば欠乏症の激しい置換性マンガン5ppm以下の土壌は14点のうちpH(H₂O)の6.5以上が7点、6.0~6.4が5点5.9以下が2点というように、pHの高い土壌でマンガン欠乏水準の激しい土壌が見られた。また易還元性マンガンと置換性マンガン含量にも比例的な傾向がみられ、置換性石灰が多い程置換性マンガンが少ない傾向もうかがわれる。

ただし、各要因を全地点について分散

分析した結果では、置換性マンガン含量と易還元性マンガン含量には高い相関が認められるものの(r=0.5485***)、pH(H₂O)と置換性マンガンあるいは易還元性マンガン含量との相関その他については、殆ど関連性は認められていない。

次に、気仙地帯のマンガン欠乏麦の確認からさらに三陸沿岸地帯にもそれが広がっている傾向が見られたので、宮古市から釜石にかけての沿岸地域の土壌・作

表-3 三陸沿岸地帯(宮古市~釜石市)の土壌

No.	土壌採取地	地質・土性	土色	風 乾 土 中					
				pH		腐植 (%)	置換性 石灰 CaO (%)	置換性 マンガン MnO (ppm)	易還元性 マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl				
1	釜石市平田	古生層 L	黒褐	6.8	6.3	7.00	0.379	2	19
2	“ 鶉住居	沖積層 L	“	6.1	5.6	7.30	0.249	4	17
3	大槌町赤浜	古生層 L	暗灰黄	5.0	4.7	7.40	0.197	13	17
4	“ 吉里吉里	花崗岩 C L	黒褐	4.7	4.5	21.00	0.187	3	3
5	“ 浪板	“ L	灰褐	5.7	5.2	4.40	0.174	7	27
6	山田町船越	“ C L	暗褐	5.4	5.2	9.20	0.315	12	36
7	“ 関谷	“ C L	灰黄褐	5.2	4.7	9.60	0.267	35	111
8	“ 大沢	“ C L	暗褐	6.6	6.3	10.20	0.112	4	13
9	宮古市金浜	沖積層 C L	“	5.0	4.4	8.60	0.151	23	54
10	“ 津軽石法脇	“ L	黒褐	-	-	9.90	-	3	17
11	“ 弘川	“ L	“	6.9	6.4	9.50	0.334	3	8

物体の分析を行った。

まず土壌分析の結果は表-3に示したように、当地域では土壌pHは中性に近いものばかりでなくかなり酸性の強い土壌がみられ、置換性石灰も200mg以下が50%で、石灰欠乏に近い水準の土壌も認められた。また気仙地帯と異なり、腐植含量が高く、それが5%以下の土壌は10

%以下に過ぎなかった。しかし置換性、易還元性のマンガンはいずれも少なく、置換性マンガンは5ppm以下のものが50%を超し、ここでは著しい欠乏症状が認められた。易還元性マンガンも20ppm以下のものが50%を超えた。各要因別の割合を表-4に示した。

表-4 要因別土壌の分布割合

pH		腐植		置換性石灰		置換性マンガン		易還元性マンガン	
pH(H ₂ O)	点	腐植(%)	点	CaO(mg)	点	MnO(ppm)	点	MnO(ppm)	点
4.5 - 4.9	1	< 5	6	100 - 199	5	< 5	6	< 10	2
5.0 - 5.5	4	6 - 10	1	200 - 299	2	6 - 10	1	11 - 20	5
5.6 - 6.0	1	11 - 20	2	300 - 399	3	11 - 20	2	21 - 30	1
6.1 - 6.5	1	21 - 30	1			21 - 30	1	31 - 50	1
6.6 - 7.0	3	31 <	1			31 <	1	51 -	2

表-5 収穫期茎葉のマンガン含有率

気仙地帯マンガン欠乏麦		三陸地帯マンガン欠乏麦		正 常 麦	
麦の種類・品種	マンガン MnO(PFm)	麦の種類・品種	マンガン MnO(ppm)	麦の種類・品種	マンガン MnO(ppm)
1. 大麦会津2号	20.5	1. 大麦、在来種	37.7	1. 大麦、五畝四石	76.9
2. " " 7号	32.8	2. " "	24.6	2. " ショウキムギ	89.0
3. " " "	44.3	3. " "	26.2		
4. " 関取	44.3	4. " "	59.0		
5. " "	22.1	5. 岩手大麦1号	44.3		
6. " "	32.8				
7. " 五畝四石	12.3				
8. " "	27.1				
9. 裸麦・ダテハダカ	20.5				
10. " "	41.0				
11. " "	18.0				
12. " "	53.3				
13. " "	63.1				
14. " 在来種	29.5				
平均	33.0	平均	38.4	平均	83.0

(収穫期、茎葉)

これら各要素間の相関を見ると、pHと置換性マンガンの相関は殆ど認められなかった。一方、置換性マンガンの少ない土壌は易還元性マンガンも少ない傾向の見られることは、気仙地帯の土壌と同様の結果であった。その他の置換性石灰あるいは腐植含量と各形態のマンガンとの関連性も認められなかった。

2) マンガン欠乏麦のマンガン含量

気仙地帯及び三陸沿岸地帯より採取した成熟期の大麦と裸麦の茎葉中のマンガン含量を測定した。分析法は乾式灰化を行なった後除珪酸を行ない、得た塩酸添加溶液について過硫酸アンモニウム法による比色分析を行った。

その結果は、気仙地帯の正常麦の茎葉中のマンガン含量が80ppm前後であるのに対し、同地帯のマンガン欠乏麦は平均で33ppmであり、また三陸沿岸地帯の欠乏麦は平均38ppmでやはり低かった。

これらの結果を表一5に示した。

土壌調査結果のまとめ

岩手県でのマンガン欠乏ははじめ県東南部の気仙地方の麦類に見出されたのがはじまりである。この地域の土壌は石灰岩の風化による高pH、それに由来する置換性及び易還元性のマンガン欠乏が、麦類のマンガン欠乏症発生の主要因とみられた。しかし、マンガン欠乏の発生地域が沿岸部を北上するに及び、土壌pHは必ずしも高くない場合においてもマンガン欠乏の発生は見られ、また腐植含量は前者では少なかったにもかかわらず後者では、高い例もみられた。しかし、いずれにせよ置換性及び易還元性のマンガンは少なく、置換性マンガン5ppm、易還元性マンガン20ppm前後においてマンガン欠乏は多発の傾向が認められた。

なお麦の収穫期茎葉中のマンガン含量は30ppm前後のものが多く、健全麦の80ppm前後と比較して明らかに低含量を示した。

(5) マンガン欠乏対策

マンガン欠乏土壌の分布調査と並行して、

麦類を対象に欠乏対策試験を実施した。マンガン欠乏の発生原因は、土壌調査によって知られたように主として石灰岩土壌地帯に見られるような土壌pHの上り過ぎに基づくもの、あるいは強酸性でありながら本来的なマンガンの不足に基づくものと、二つのタイプが考えられたが、発生地域全体としては、pHの高い地点での障害が顕著であった。

このようなことから対策試験としては、土壌pHの引下げ対策、マンガン資材の施用量、施用法に重点を置くかたわら、石灰資材、あるいはアルカリ肥料によるマイナス要因の解析、さらには欠乏症発現に大きく関与すると見られる加里の影響等について調査した。

また現地調査においてマンガン欠乏に対する麦類の品種間差異が大きいことが観察されたので、これについても細かい検討を実施した。なお品種間差異の検討は南部試験地(現園芸試験場南部分場)との共同研究として行った。

1) マンガン欠乏対策基礎試験

(ア) ポット試験¹⁴⁾(昭32)

試験場所 盛岡市本宮 農試場内

試験規模 1/5,000 ワグネルポット
2連制

供試作物 裸麦(ダテハダカ)

供試土壌

採取地 陸前高田市気仙町福伏

土壌の理化学性

供試土壌の理化学性を表一6に示した。

耕種概要

播種期 11月2日

収穫期 7月9日

試験設計

試験区名及び施肥設計を表一7に示した。

試験成績

試験成績を表一8~10に示した。

考察

供試土壌はマンガン欠乏が観察された

表-6 土壌の理化学性

土性	土色	腐植(%)	磷酸吸収係数	塩基置換容量(me)	置換性石灰CaO(mg)	置換性苦土MgO(mg)	熱塩酸可溶(%)			置換酸度Y ₁	pH		置換性マンガンMnO(ppm)	易還元性マンガンMnO(ppm)
							MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅		H ₂ O	KCl		
L	黒褐	6.29	666	28.42	372	12	0.06	5.6	0.18	0.30	6.5	6.1	2.0	19.0

表-7 試験区名及び施肥設計

区名	鉢当要素量(g)			備考
	N(硫安)	P ₂ O ₅ (過石)	K ₂ O(塩加)	
1. 標準	0.5	0.5	0.5	
2. 塩基性肥料	"	"	"	石灰窒素、熔燐、塩加
3. 硫酸少量	"	"	"	0.1規定硫酸200cc
4. "多量	"	"	"	" " 400cc
5. "処理トーマス燐肥	"	"	"	" " 200cc
6. "マンガン	"	"	"	" " " cc+硫マン(25%)0.3g
7. "鉄	"	"	"	" " " cc+硫酸第一鉄0.3g
8. トーマス燐肥	"	(%)	"	
9. マンガン	"	"	"	硫マン(25%) 0.3g
10. 鉄少量	"	"	"	硫酸第一鉄 0.3g
11. "多量	"	"	"	" 0.6g
12. グルコース	"	"	"	グルコース 15g
13. 焼土	"	"	"	細土200gを100~200℃1時間加熱
14. 硼素	"	"	"	硼酸 0.03g
15. 三要素増施	0.75	0.75	0.75	

表-8 生育収量調査成績

(鉢当)

区名	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本)	4月5日	6月10日	稈重(g)	穂重(g)	同左比
				クロロシス	ネクロシス			
1. 標準	45.9	3.9	11.0	卅	卅	3.9	2.3	100
2. 塩基性肥料	55.5	4.2	12.0	卅	卅卅	3.6	2.6	114
3. 硫酸少量	56.3	4.5	13.0	+	+	4.7	3.5	152
4. "多量	53.6	4.3	10.5	卅	-	4.8	4.3	187
5. 硫酸処理トーマス燐肥	60.0	4.6	10.5	+	-	4.6	4.7	204
6. "マンガン	59.5	4.1	15.0	+	-	4.8	6.0	261
7. "鉄	60.2	4.4	15.0	+	-	4.4	6.8	296
8. トーマス燐肥	54.9	4.4	12.0	+	-	4.9	5.0	217
9. マンガン	54.4	4.9	12.0	+	-	4.6	4.4	191
10. 鉄少量	57.2	4.6	12.0	+	-	4.2	4.8	209
11. "多量	53.2	4.4	13.0	+	-	4.6	5.8	252
12. グルコース	60.5	4.1	12.5	+	-	4.4	4.8	209
13. 焼土	53.6	4.4	13.0	+	-	5.0	3.3	144
14. 硼素	50.5	4.5	13.5	+	-	4.0	5.4	235
15. 三要素増施	50.0	4.6	14.0	+	-	4.6	4.8	209

表-9 作物体分析成績

区名	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	MnO (ppm)	Fe ₂ O ₃ (ppm)	Fe ₂ O ₃ MnO
1. 標準	0.675	0.275	2.88	31.9	670	21.0
2. 塩基性肥料	0.413	0.220	2.54	29.9	480	16.1
3. 硫酸少量	0.415	0.170	2.58	36.6	550	15.0
4. " 多量	0.569	0.140	2.20	86.5	670	6.9
5. 硫酸処理トーマス燐肥	0.411	0.128	2.26	63.2	510	8.1
6. " マンガン	0.428	0.080	2.08	63.2	580	9.2
7. " 鉄	0.423	0.080	1.82	59.9	840	14.2
8. トーマス燐肥	0.353	0.115	2.16	43.2	520	12.0
9. マンガン	0.438	0.110	2.50	61.9	560	9.0
10. 鉄少量	0.398	0.108	2.52	45.2	500	11.1
11. " 多量	0.428	0.130	2.04	58.6	640	10.7
12. グルコース	0.353	0.110	2.40	29.9	570	19.1
13. 焼土	0.641	0.138	2.54	79.9	640	8.0
14. 硼素	0.686	0.270	2.40	73.2	630	8.6
15. 三要素増施	0.614	0.250	2.36	63.2	910	14.4

(収穫時、茎葉)

表-10 跡地土壌分析成績

区名	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	置換酸度 Y ₁	置換性マンガン MnO (ppm)
1. 標準	5.02	4.82	1.12	3.0
2. 塩基性肥料	5.88	5.21	0.64	2.1
3. 硫酸少量	4.	4.76	0.88	5.1
4. " 多量	4.73	4.53	1.43	17.4
5. 硫酸処理トーマス燐肥	5.23	4.93	0.72	5.1
6. " マンガン	4.83	4.55	0.96	5.2
7. " 鉄	5.03	4.75	0.96	13.0
8. トーマス燐肥	—	—	—	—
9. マンガン	4.98	4.65	0.88	5.1
10. 鉄少量	5.07	4.71	0.56	12.3
11. " 多量	5.21	5.00	0.48	7.1
12. グルコース	5.25	4.97	0.72	7.0
13. 焼土	5.27	4.88	1.12	13.0
14. 硼素	5.30	4.82	0.64	7.1
15. 三要素増施	4.95	4.81	0.56	3.0

土壌であるが、土壌のpHが高いことからみて、マンガン欠乏と同時に鉄の吸収あるいは硼素の吸収阻害も起きる可能性のあることを考慮し、さらに、マンガン補給の方法としては直接マンガンを補給する他に、土壌のpHを低め、あるいは土壌還元を強める等を検討の内容とした。

生育は標準区、塩基性肥料区が初期より劣ったほかは順調な経過を辿った。特に硫酸処理群、グルコース添加区が他区に比し良好な生育状況であった。マンガン欠乏症状は標準区、塩基性肥料区においてクロロシス、ネクロシスが発生したが、他区では発現しなかった。

収量調査結果は、穂重では各区とも標準区に比べ収量が高まり、特に硫酸処理をしたマンガン、鉄添加区が高収となり、標準対比261及び296%となった。

茎葉中のマンガン含量は、塩基性肥料区、グルコース区以外いずれも標準区に比べて高まった。その中では硫酸処理区が全般に高かった他、焼土区、硼素区、三要素増施区が高く60~80ppmであった。

跡地土壌の置換性マンガンは塩基性肥

料区と三要素区が標準区と差がなかったが、その他の区はいずれも高まり、最も高い区は硫酸多量区の17.4ppmであった。

以上のように、本試験ではpH低下、マンガン添加、鉄添加、さらには硼素添加等いずれも収量増を示し、なおこれらの区では程度の違いはあるが、いずれも茎葉中のマンガン含量は高まり、また跡地土壌では置換性マンガンの増加もみられた。ただし、マンガンのみでなく硼素鉄添加の効果も高いことから見て、硼素鉄欠乏症も内在しているものと考えられた。

(イ) マンガン欠乏に対する各肥料資材の影響⁷⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏

試験規模 1区10㎡ 2連制

供試作物 裸麦(ダテハダカ)

土壌条件

土壌の理化学性 表-6に同じ

耕種概要 播種期、11月4日 条播

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-11に示した。

試験成績

試験の結果を表-12~14に示した。

表-11 試験区名及び施肥設計

(現物kg/10a)

区名	尿素	熔 燐	塩 加	硫 安	過 石	硫 加	炭カル	珪カル	硫マン	堆 肥
1. 標 準	8.5 +2.9	34.1	9.8	-	-	-	-	-	-	-
2. 無 加 里	"	"	-	-	-	-	-	-	-	-
3. 加里倍量	"	"	19.6	-	-	-	-	-	-	-
4. マンガン	"	"	9.8	-	-	-	-	-	11	-
5. 無加里、マンガン	"	"	-	-	-	-	-	-	11	-
6. 堆 肥	"	"	9.8	-	-	-	-	-	-	1125
7. 石 灰	"	"	"	-	-	-	150	-	-	-
8. 珪 カ ル	"	"	"	-	-	-	-	180	-	-
9. 酸 性 肥 料	"	"	-	18.8 +6.3	39.4	10.1	-	-	-	-
10. 総 合 改 良	"	"	-	"	39.4	10.1	-	-	11	1125

硫酸マンガンは日産化学 水溶性マンガン33%

表-12 生育、収量調査成績

(kg/10a)

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	6月6日*		稈重 **	子実重 **	同左比
				クロロシス	ネクロシス			
1. 標準	76.5	3.6	22	中-激	多	381	93	100
2. 無加里	81.5	4.0	28	中-激	多	363	109	114
3. 加里倍量	91.5	3.8	43	中-甚	多	371	149	156
4. マンガン	95.6	4.0	57	中-多	中-多	390	212	222
5. 無加里マンガン	98.7	3.7	59	中-甚	中	456	221	232
6. 堆肥	85.2	3.8	44	中	多	447	188	197
7. 石灰	72.4	3.7	21	甚-激	多	194	57	60
8. 珪カル	79.5	3.5	38	甚	多	255	76	80
9. 酸性肥料	91.6	3.6	41	中-甚	中	299	126	132
10. 総合改良	91.6	3.6	39	中	小-多	539	288	302

* A系列
** kg/10a

表-13 作物体分析成績

区名	Mn ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
	(ppm)	(ppm)
1. 標準	8	310
2. 無加里	13	290
3. 加里倍量	22	260
4. マンガン	27	250
5. 無加里マンガン	20	300
6. 堆肥	33	290
7. 石灰	11	390
8. 珪カル	14	270
9. 酸性肥料	18	200
10. 総合改良	23	180

表-14 跡地土壌分析成績

区名	pH		置換性 マンガン MnO (ppm)
	(H ₂ O)	(KCl)	
1. 標準	6.2	5.9	3.2
2. 無加里	6.2	5.8	4.8
3. 加里倍量	6.2	5.7	5.4
4. マンガン	6.2	5.7	7.8
5. 無加里マンガン	6.2	6.0	9.2
6. 堆肥	6.4	6.0	2.6
7. 石灰	6.9	6.9	3.4
8. 珪カル	7.4	7.1	3.4
9. 酸性肥料	6.5	6.5	4.6
10. 総合改良	6.3	6.0	7.4

考察

生育は越冬前から区間差が認められ、石灰、珪カルの両区、とくに石灰区は黄化が甚だしく、軟弱な生育を示した。無加里区も葉色はやや淡かった。マンガン、酸性肥料、総合改良の3区は葉色が著しく濃く、生育は旺盛であった。

クロロシスの発生は石灰区と標準区（無堆肥、アルカリ肥料）に最も早く認められ、5月上旬の観察によると、総合改良、酸性肥料、マンガン、加里倍量、堆肥の各区の生育が良好で、葉色は濃く、クロロシス、ネクロシスは少なかった。

収量は総合改良（堆肥、酸性肥料、マンガン）が最高を示し対標準302%となり、次いで無加里マンガン及びマンガンの両マンガン加用区の収量がそれぞれ232、222%の収量指数となった。石灰、珪カル両区はそれぞれ60、80の収量指数であった。

跡地土壌の置換性マンガンは標準区で3.2ppmに対しマンガン加用区で7.8—9.2ppm、総合改良区で7.4ppm、一方石灰、珪カル両区は3.4ppmであり、施肥及び収量から予想される傾向になった。pHは石灰、珪カル両区が高くなった。

収穫物の茎葉中のマンガン含量も生育収量あるいは土壌中の置換性マンガン含量の傾向と似た傾向となったが、全般に含有率が低く、現地調査の結果から見れば欠乏の水準であった。

以上のような結果から本土壌におけるマンガン欠乏対策としては、マンガン資材の施用、酸性肥料の施用及びそれらの組合せが有効なことが明らかであった。逆に石灰資材（炭カル、珪カル）の施用は生育を阻害し、クロロシス、ネクロシスの発生を多くして収量減となった。これら各肥料資材の影響は、作物体中のマンガン含量や土壌中の置換性マンガン含量に現われたが、しかし試験の全体を通じてみると、なおマンガン欠乏土壌におけるそれらの水準に近いものであった。

(ウ) マンガンの施用量に関する試験⁹⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏
試験規模 1区10^m 2連制
供試作物 裸麦（ダテハダカ）
土壌条件

土壌の理化学性
表一6に同じ

試験設計

試験区名及び施肥設計を表一15に示した。

耕種概要

畦巾；60.6cm、播巾；15cm
播種量；10.8ℓ
播種期；11月4日 播種様式；条播

試験成績

試験成績を表一16～18に示した。

表一15 試験区名及び施肥設計 (kg/10a)

区名	尿素	熔 磷	塩 加	硫 酸 マンガ
1. 標 準	8.5+2.9	27.4	9.8	0
2. マンガン少量	"	"	"	3.75
3. " 中量	"	"	"	11.25
4. " 多量	"	"	"	18.75
5. " 極多量	"	"	"	37.50
6. 標 準	"	"	"	0

(現物)

表-16 生育、収量調査成績

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	6月6日		稈重 *	子実重 *	同左比
				クロロシス	ネクロシス			
1. 標準	70.5	3.6	24	甚	多	131	63	(100)
2. マンガン少量	90.1	3.8	37	中	中	300	135	201
3. " 中量	90.6	3.4	38	小一中	小	302	144	214
4. " 多量	93.6	3.7	53	中	小	335	150	223
5. " 極多量	95.5	3.9	59	中	小	323	175	261
6. 標準	79.8	3.3	27	多一激	中一多	181	82	(100)

※ (kg/10a)

表-17 作物体分析成績

区名	Mn ₂ O ₃ (ppm)	Fe ₂ O ₃ (ppm)
1. 標準	15	310
2. マンガン少量	24	280
3. " 中量	24	250
4. " 多量	27	240
5. " 極多量	30	290

表-18 跡地土壌分析成績

区名	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	置換性 マンガン MnO (ppm)
1. 標準	6.4	6.1	4.0
2. マンガン少量	6.2	5.9	8.6
3. " 中量	6.2	6.0	9.6
4. " 多量	6.2	6.0	7.4
5. " 極多量	6.1	5.8	10.2

考察

生育経過は越冬前からすでに区間差が見られ、マンガン施用量の少い区程葉色が淡く、越冬後5月の観察では、マンガンの少い区程ネクロシスが多くウドンコ病も著しくなった。なおマンガン欠乏症が激しい区程止葉巾が広がる現象が見られた。

成熟期における生育も、マンガン施用量の多い区程稈長、穂数共に多い傾で、収量も同傾向であった。

跡地土壌の置換性マンガンもマンガン資材の施用に従って多くなり、また収穫期茎葉中のマンガン含有率も同様の傾向であった。

以上のように、硫酸マンガンの施用量が多い区程 (37.5kg/10a) 生育収量とも勝ったが、三要素肥料としては尿素、熔燐、塩加を使用しているので、酸性肥料だけの施用にすれば、硫酸マンガンの肥効は高まり、施用適量も低くなることが予想される。本試験の中でみれば硫酸マンガンの施用によ

る置換性マンガンの増え方も、茎葉中のマンガン含有率の上昇程度も極めて少ないと言える。

(エ) マンガンの施用法

に関する試験¹⁰⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏

試験規模 1区10㎡ 2連制

供試作物 裸麦 (ダテハダカ)

土壌条件

土壌の理化学性

表-6に同じ

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-19に示した。

耕種概要

畦巾; 60.6cm、播巾; 15cm

播種量; 10.8ℓ

播種期; 11月4日 播種様式; 条播

試験成績

生育・収量調査成績を表-20に示した。

表-19 試験区名及び施肥設計

区名	堆肥	硫安	硫加	過石	(kg/10a)		備考
					硫酸マンガン		
1. 無施用	750	18.0+6.4	9.8	34.1	—		
2. マンガン基肥	"	"	"	"	11.3		N : 5.1
3. " 追肥	"	"	"	"	11.3		P ₂ O ₅ : 5.6
4. " 分施	"	"	"	"	5.6+5.6		K ₂ O : 4.9
5. " 葉面0.4%液	"	"	"	"	11.3		
6. " 葉面0.8%液	"	"	"	"	11.3		
7. 無施用	"	"	"	"	—		

注) 葉面散布、追肥とも4月3日分施は基肥+追肥

表-20 生育、収量調査成績

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	6月6日*		稈重 **	子実重 **	同左比 *
				クロロシス	ネクロシス			
1. 無施用	91.8	3.7	32	甚	多	432	186	(100)
2. マンガン基肥	96.3	3.7	45	中~甚	中~多	482	276	152
3. " 追肥	99.3	4.8	48	"	小~中	439	241	133
4. " 分施	100.0	3.7	53	中	微	455	259	143
5. " 葉面0.4%液	97.1	3.9	42	中~甚	中~多	398	239	132
6. " 葉面0.8%液	101.4	4.0	52	"	中	484	270	149
7. 無施用	87.4	3.6	46	甚~激	多	394	176	(100)

* 無施用子実重平均181 kg ** : kg/10a

考察

本試験では硫酸マンガンの施用法、すなわち基肥、追肥、葉面散布について検討した。

越冬前の生育ではその時点でマンガンの施用量の多い区程明らかに葉色が濃く、生育の勝る傾向であった。

しかし越冬後各区ともそれぞれの処理を行った後では、葉色、クロロシスの発生程度とも、大きな差は認められなかった。

収量調査の結果では、各マンガン処理ともその効果は認められたが、最も収量の高かったのは初期よりマンガンを供給した全量基肥施用区で、対標準比152%であり、葉面散布0.8%液区は同比149%で同等、基肥及び追肥併用区は同比143%でこれに次ぐ等、それぞれの肥効が認められた。これから見れば、基肥として硫酸マンガンを施用するのが最も望ましい方法ではあるが、作業の都合、あるいは欠乏症の確認が遅れ

たような場合には、越冬後4月初旬の追肥又は葉面散布で十分対応出来ることが明らかになった。なお葉面散布は4月初旬1回としたが、回数を増やすことにより効果が大きくなることも考えられる。

(オ) マンガンの基肥及び分施試験¹¹⁾ (昭32)

試験場所 大船渡市立根
試験規模 1区10㎡ 2連制
供試作物 裸麦(ダテハダカ)
土壌条件

土壌の理化学性

土壌の理化学性を表-21に示した。

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-22に示した。

耕種概要

試験成績

試験成績を表-23~24に示した。

表-21 土壌の理化学性

土性	土色	腐植(%)	置換性 石灰 CaO (mg)	pH		置換性 マンガン MnO (ppm)	易還元性 マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl		
CL	暗黒色	9.71	436	6.9	6.6	Tr.	21.0

表-22 試験区名及び施肥設計

(kg/10a)

区名	要素量			現物施用量						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硫安	過石	塩加	硫酸マンガン			
							基肥	分施1	分施2	分施3
1. 標準	3.75+1.88	5.6	5.6	17.9+8.9	34.1	9.5	—	—	—	—
2. マンガン基肥A	"	"	"	"	"	"	5.6	—	—	—
3. " 基肥B	"	"	"	"	"	"	11.2	—	—	—
4. " 基肥C	"	"	"	"	"	"	18.7	—	—	—
5. " 分施1回	"	"	"	"	"	"	3.7	1.9	—	—
6. " 分施2回	"	"	"	"	"	"	1.9	1.9	1.9	—
7. " 分施3回	"	"	"	"	"	"	—	1.9	1.9	1.9

注) マンガン分施は硫酸マンガンをも0.5%液として葉面散布
分施1; 4月1日 分施2; 4月18日 分施3; 5月2日

表-23 生育、収量調査成績

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	稈重 (kg)	子実重 (kg)	同左比
1. 標準	54.0	5.6	11	45	24	100
2. " 基肥A	82.5	4.7	23	251	206	860
3. " 基肥B	85.8	5.3	24	266	218	907
4. " 基肥C	86.4	5.4	28	311	263	1090
5. " 分施1回	86.9	5.0	34	330	274	1140
6. " 分施2回	89.7	5.4	37	450	311	1295
7. " 分施3回	82.0	5.5	25	263	161	670

表-24 跡地土壌分析成績

区名	置換性 マンガン MnO (ppm)	pH	
		H ₂ O	KCl
1. 標準	0.20	6.5	6.3
2. マンガン基肥A	0.20	6.6	6.4
3. " 基肥B	0.43	6.4	6.1
4. " 基肥C	0.68	6.3	6.0
5. " 分施1回	0.15	6.7	6.6
6. " 分施2回	0.28	6.5	6.3
7. " 分施3回	0.22	6.5	6.3

考察

本試験では硫酸マンガンの基肥量として5.6kgから18.7kgの肥効と、総量5.6kgの分施効果についての比較を行った。その結果、硫酸マンガン施用の効果は明瞭であり、とくに基肥と追肥を組合せた区の収量が高かった。基肥単用では施用量が多い程収量増とはなかったが、5.6kg以上では増収傾向が小さく、また基肥無施用で追肥のみでも収量は低かった。結局マンガンの施肥法としては基肥のほか越冬後2回程度（本試験では4月1日と4月18日）の追肥が最も有効であった。

跡地土壌中の置換性マンガン含量は基肥量が増加する程多い傾向になったが、全区ともMnOとして1ppm以下であり、明らかな欠乏水準であった。土壌のpHは、流

酸マンガン基肥量の多い区で、わずかに低下する傾向が見られた。

(カ) マンガンの葉面散布時期に関する試験¹²⁾ (昭32)

試験場所 大船渡市赤崎字中井

試験規模 1区10m² 2連制

供試作物 裸麦(ダテハダカ)

土壌条件

土壌の理化学性

土壌の理化学性を表-25に示した。

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-26に示した。

耕種概要

試験成績

試験成績を表-27~28に示した。

表-25 土壌の理化学性

土性	土色	腐植(%)	置換性石灰 CaO (mg)	pH		置換性マンガン MnO (ppm)	易還元性マンガン MnO (ppm)
				H ₂ O	KCl		
L	黒褐	7.80	345	6.1	5.9	3.0	33.0

表-26 試験区名及び施肥設計

(kg/10a)

区名	要素量			現物施用量					備考
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硫安	尿素	過石	塩加	硫マン	
1. 標準	3.75+1.88	5.6	5.6	17.9+8.9	—	34.1	9.5	—	
2. マンガン基肥	—	—	—	—	—	—	—	5.6	
3. " 追肥A	—	—	—	—	—	—	—	—	4月1日
4. " 追肥B	—	—	—	—	—	—	—	—	4月18日
5. " 追肥C	—	—	—	—	—	—	—	—	5月2日
6. " 尿素追肥	—	—	—	17.9	4.2	—	—	—	4月1日

注) 追肥は0.5%液葉面散布

表-27 生育、収量調査成績

(kg/10a)

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	稈重 **	子実重 **	同左比
1. 標準	71.2	4.9	29	131	49	100
2. マンガン基肥	91.2	5.0	42	563	326	669
3. " 追肥A	78.8	5.3	29	206	131	269
4. " 追肥B	84.4	5.1	33	338	176	362
5. " 追肥C	90.0	4.9	47	379	272	578
6. " 尿素追肥	80.4	4.9	53	225	109	223

** ; kg/10a

考察

本試験では硫酸マンガンの葉面散布を中心に検討を行った。ただし葉面散布であっても圃場試験であるから、地面に散布液が直接落下し、そこから吸収が行われる部分もあることは予想されることである。

試験は硫酸マンガンの5%液を4月から5月の初めにかけて散布し、その比較を中心とした。その結果、葉面散布の時期は、最も遅い時期の5月1日施用区の収量が高かったが、硫酸マンガンの同量基肥施用区には及ばなかった。区内では最も早い4月1日の葉面散布では、尿素併用の効果も認められなかった。なお本試験では4区と5区のAB間に大きいフレが見られた。

跡地土壌のpH及び置換性マンガン含量には、収量との並行的な相関は認められなかった。置換性マンガンは3-4ppmの水準で、いずれの区も欠乏水準であった。

(*) マンガン欠乏に及ぼす

窒素質肥料の影響調査¹³⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏

試験規模 1区1.65㎡ 3連制

ラテン方格法

供試作物 裸麦 (ダテハダカ)

土壌条件

土壌の理化学性 表-6に同じ

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-29に示した。

表-28 跡地土壌分析成績

区名	置換性 マンガン MnO (ppm)	pH	
		H ₂ O	KCl
1. 標準	2.8	5.8	5.6
2. マンガン基肥	3.2	5.7	5.7
3. " 追肥A	3.6	5.8	5.6
4. " 追肥B	2.8	6.0	5.7
5. " 追肥C	4.4	5.9	5.7
6. " 尿素追肥	3.8	5.8	5.7

耕種概要

畦巾 ; 60.6cm、播巾 ; 15cm

播種量 ; 10.8ℓ/10a

播種期 ; 11月4日 播種様式 ; 条播

試験成績

試験成績及び子実重分散分析成績を表-30~31に示した。

考察

生育は石灰窒素区が越冬前から葉色が淡く生育も軟弱であり、硫酸、尿素両区は生育差は見られず両者とも良好な生育となった。クロロシスは石灰窒素区に最も早く認められ、出穂後に激甚を極めた所もあった。

収量は硫酸、尿素区が多収でほぼ同等であり、石灰窒素区はその約60%の子実種であった。

石灰窒素のアルカリ性がマンガンの吸収阻害を除長したためと考えられる。

表-29 試験区名及び施肥設計 (kg/10a)

区名	窒素質	熔 磷	塩 加	備 考
1. 硫 安	24.4	27.4	9.8	N : 5.1
2. 尿 素	10.8	"	"	P ₂ O ₅ : 5.6
3. 石灰窒素	24.4	"	"	K ₂ O : 4.9

注) 全量基肥

表-30 生育、収量調査成績

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	6月6日		稈重 **	子実重 **	同左比
				クロロシス	ネクロシス			
1. 硫 安	101.3	3.8	59	中-甚	少-多	392	225	100
2. 尿 素	94.7	3.4	46	中-甚	少-多	387	234	104
3. 石灰窒素	80.1	3.3	31	甚-激	中-多	221	135	60

** ; kg/10a

表-31 子実重 (3.3 m²) 分散分析

	SS	DF	V	F
全 体	25,426.0	8	—	—
肥 料	14,032.7	2	7,016.4	2.81
行	6,378.0	2	3,189.0	1.27
列	13.7	2	6.4	< 1
誤 差	5,002.6	2	2,501.3	

CV = 0.222

(ク) マンガン欠乏に及ぼす
 磷酸質肥料の影響調査¹⁴⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏

試験規模 1区1.65m² 3連制

ラテン方格法

供試作物 裸麦 (ダテハダカ)

土壤条件

土壤の理化学性 表-6に同じ

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-32に示した。

耕種概要

畦巾 ; 60.6cm、播巾 ; 15cm

播種量 ; 10.8ℓ / 10a

播種期 ; 11月4日 播種様式 ; 条播
 試験成績

試験成績及び実重分析成績を表-33~34に示した。

考察

越冬前は過石区、トーマス区、熔磷区の順に葉色が濃く生育も旺盛であった。越冬後のクロロシス発現も同傾向で、過石区は発現が最も遅く5月中旬であった。出穂時には生育の区間差は一層明瞭となり、収量も過石標準に対してトーマス磷肥63%、熔磷30%で、アルカリ性を示す磷酸肥料の不利なことが明らかに認められた。

表-32 試験区名及び施肥設計 (kg/10a)

区名	尿素	塩加	磷酸質	備考
1. 過石	8.3+2.9	9.8	34.1	N: 5.2
2. 熔燐	"	"	27.4	P ₂ O ₅ : 5.6
3. トーマス燐肥	"	"	28.5	K ₂ O: 4.9

表-33 生育、収量調査成績

区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	6月6日		稈重 **	子実重 **	同左比
				クロロシス	ネクロシス			
1. 過石	84.7	3.6	38	甚	中-多	245	88	100
2. 熔燐	67.5	3.6	12	激	多	94	34	35
3. トーマス燐肥	77.2	3.7	35	激	多	167	70	72

** kg/10a

表-34 子実重(3.3㎡)分散分析

	SS	DF	V	F
全体	7,846	8	—	—
肥料	4,914	2	2,457	548
行	1,814	2	907	202
列	222	2	111	< 1
誤差	896	2	448	

CV = 0.35

2) マンガン欠乏総合対策試験¹⁵⁾ (昭41)

試験場所 大船渡市立根町中野

試験規模 1区10㎡ 2連制

供試作物 裸麦(ダテハダカ)

供試土壌

土壌の理化学性

土壌の理化学性を表-35に示した。

試験設計

試験区名及び施肥設計を表-36に示した。

耕種概要

畦巾; 60cm

播種期; 10月20日 収穫期; 6月22日

播種様式; 条播

試験成績

試験成績を表-37~38に示した。

考察

マンガン欠乏の対策としてはマンガン肥料の添加及び土壌酸性を強めることが第一であり、土壌酸性を強める手段としては酸

性肥料の施用の他に直接硫黄を添加することが考えられる。またpHが高過ぎてマンガン欠乏が起るような条件では、硼素欠乏が併発する可能性もあるので、これらの組合せによる対策の効果を検討した。

その結果、10a当たり硫黄10kg、硼砂1kg、硫酸マンガン10kgの水準においては、単独の効果としては硫黄と硫酸マンガンの効果が無処理対比約70%前後の増収割合で高かった。これに対し硼素の施用も16%程度の増収効果は認められたものの三者では最も低く、その結果硼素と硫黄あるいは硼素と硫酸マンガンの組合せは、硫黄単独、あるいは硫酸マンガン単独施用と大差のない収量三者の組合せも、硫酸マンガン、硫黄の組合せと比べ子実増とはならず、茎葉重は逆に後者が大きくなった。各組合せの中に硼素が入ることにより、いずれの区においても子実重減となってくることから、本土壤ではpHを低下させることにより硼素の供給は満たされているものと考えられる。

表-35 土壌の理化学性

層位	pH		腐植 (%)	置換性塩基(mg)		
	(H ₂ O)	(KCl)		CaO	MgO	K ₂ O
I 0~14cm	7.0	6.3	11.1	716	39	25
II 14~39cm	6.1	5.2	7.8	145	7	10

表-36 試験区名及び施肥設計

(kg/10a)

区名	要素量			現物施用量						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	尿素	熔燐	塩加	硫黄	硼砂	硫酸マンガン	
1. 無処理	7.5+2.0	10.0	8.0	163+4.3	50.0	13.3	-	-	-	
2. K倍量	"	"	16.0	"	"	26.6	-	-	-	
3. S添加	"	"	8.0	"	"	13.3	10.0	-	-	
4. B"	"	"	"	"	"	"	-	1.0	-	
5. Mn"	"	"	"	"	"	"	-	-	10.0	
6. B+S	"	"	"	"	"	"	10.0	1.0	-	
7. Mn+S	"	"	"	"	"	"	"	-	10.0	
8. B+Mn	"	"	"	"	"	"	-	1.0	"	
9. B+Mn+S	"	"	"	"	"	"	10.0	"	"	

追肥3月18日

表-37 収量調査

(kg/10a)

区名	稈重	%	子実重	%
1. 無処理	110.0	100	97.0	100
2. K倍量	128.0	116	116.0	119
3. S添加	199.0	181	167.0	172
4. B"	134.0	122	113.0	116
5. Mn"	192.0	174	164.0	169
6. B+S	192.0	174	164.0	169
7. Mn+S	350.0	318	210.0	217
8. B+Mn	201.0	183	161.0	166
9. B+Mn+S	219.0	199	196.0	202

表-38 跡地土壌分析成績

区名	pH		置換酸度 Y ₁	置換性塩基(mg)	
	(H ₂ O)	(KCl)		CaO	MgO
1. 無処理	6.40	6.00	0.4	697	18
2. K倍量	6.42	5.95	0.6	708	24
3. S添加	6.18	5.82	0.4	674	28
4. B"	6.40	5.98	0.4	715	18
5. Mn"	6.35	5.89	0.4	629	23
6. B+S	6.40	5.85	0.4	703	24
7. Mn+S	6.28	5.82	0.4	702	22
8. B+Mn	6.38	5.92	0.4	737	12
9. B+Mn+S	6.58	5.96	0.4	683	13

3) 麦類におけるマンガン欠乏抵抗性の品種間差異に関する試験¹⁶⁾ (昭31)

試験場所 陸前高田市気仙町福伏
 試験規模 1区1.65㎡ 1区制標準法
 供試作物 大麦 26品種
 小麦 21品種
 裸麦 13品種

供試土壌

土壌の理化学性を表-39に示した。

施肥設計

試験区名及び施肥設計を表-40に示した。

耕種概要

麦類試験耕種梗概に準ずる。

試験成績

試験成績を表-41~42及び図-2~4に示した。

考察

生育の経過を見ると、越冬前の生育は一

般にやや劣り、特に助長区の葉色は淡いものが多かった。又助長区には殆ど越冬出来ないものが数品種あり出穂期までに完全に枯死するに至った。

春期の伸長増分期になり品種間差は一層明瞭になり、クロロシスが発現しその後ネクロシスが認められ、生育につれて下葉より次第に病徴が明瞭になり止葉に及ぶに至った。

また助長区は抑制区に比し出穂が2-10日も遅延し、かつ不整で、出穂揃まで概ね10日以上を要し、この間天折、出すくみ、倒伏、節折れも多く成熟も枯熟れ現象を呈するものも多く、成熟期の判定は困難であった。

病害の発生も助長区に特に多く、なかでもウドンコ病はマンガン欠乏症と関係があると見られ、それらが相まって生育出穂に悪影響を及ぼし、不稔、枯熟を起しているものと思われた。

表-39 供試土壌の理化学性

土性	土色	腐植(%)	磷酸 吸収 係数	塩基 置換 容量 (me)	置換性塩基		熱KCl可溶(%)			置換 酸度 Y ₁	加水 酸度 Y ₁	pH	
					CaO (mg)	MgO (mg)	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅			H ₂ O	KCl
L	黒褐	6.29	666	28.42	392	12	0.06	5.60	0.18	0.3	12.6	6.5	6.1

表-40 試験区名及び施肥量

区名	(kg/10a)							
	硫安	尿素	過石	熔磷	塩加	消石灰	硫酸 マンガ	
A. マンガン欠乏助長区	0	7.0+3.0	0	27.4	0	225	0	
B. マンガン欠乏抑制区	18.0+6.4	0	34.1	0	9.8	0	11.3	

注) 硫酸マンガ：水溶性マンガ 33%

表-41 大麦、生育、収量調査

品 種 名	区 名	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本	5月11日		稈 重 g	子実重 g	B 対 比 率	標準対 比 率	うどん こ 病
					ク ロ ロシス	ネ ク ロシス					
1. ショウキムギ	A	63.9	4.4	73	井	井井多	465	743	62.3	100.0	多
	B	83.4	3.7	77	ナシ	井井多	555	1,079	100.0	100.0	無
2. 会津2号	A	50.2	4.3	21	井井	井 中	75	108	12.4	14.5	多
	B	89.0	4.0	62	ナシ	井 中	600	872	100.0	82.2	微
3. 会津4号	A	50.3	4.0	22	井	井 中	135	168	24.0	22.5	多
	B	82.1	3.6	51	ナシ	井 中	465	698	100.0	65.8	微
4. 会津7号	A	44.3	3.1	18	井	井 中	60	65	13.3	88.7	多
	B	69.2	2.6	56	ナシ	井 中	525	486	100.0	45.9	多
5. 会系66号	A	57.1	4.0	58	井	井井中	375	302	40.4	40.4	多
	B	75.2	4.0	43	ナシ	井 中	555	746	100.0	70.3	微
6. 会系67号	A	50.1	4.7	21	井	井井中	90	62	7.4	8.2	多
	B	81.7	3.8	43	ナシ	井井少	495	828	100.0	78.1	少
7. 会系75号	A	43.7	4.4	22	井井	井井少	120	113	13.3	15.1	多
	B	81.6	4.7	49	ナシ	井井少	480	840	100.0	79.5	微
8. 会系77号	A	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—
	B	79.5	3.6	41	ナシ	井 多	480	770	100.0	72.6	微
9. 会系81号	A	47.6	4.8	11	ナシ	井井少	60	56	9.5	7.4	多
	B	70.1	4.0	54	ナシ	井 少	330	584	100.0	55.1	微
10. 会系85号	A	43.5	4.0	31	井	井 中	120	126	14.4	16.9	多
	B	75.4	3.3	61	ナシ	井極少	525	876	100.0	82.7	微
11. 会系94号	A	—	—	—	—	—	—	—	0	0	—
	B	73.7	3.4	47	+	井 少	375	585	100.0	55.2	多
12. ユキワリムギ	A	45.2	4.6	17	ナシ	井井少	120	735	13.7	9.9	多
	B	63.7	3.5	40	ナシ	井 少	300	537	100.0	50.7	多
13. 岩手メンシュ アリー2号	A	70.9	6.9	29	ナシ	井 少	225	179	22.5	23.9	多
	B	101.9	7.2	55	井井	井 少	600	794	100.0	74.9	微
14. 北関東皮2号	A	55.9	4.3	23	ナシ	井 少	195	260	49.1	34.8	中
	B	63.5	4.3	30	+	井 少	330	528	100.0	49.8	中
15. 北関東皮3号	A	48.2	3.1	38	井	井 少	225	212	35.3	28.4	多
	B	60.7	3.3	57	ナシ	井 少	375	60	100.0	56.6	中
16. 北関東皮7号	A	53.4	3.3	22	井	井 少	150	80	21.6	10.7	多
	B	59.2	3.3	38	井井	井 少	255	308	100.0	34.7	中
17. 関東皮11号	A	56.0	5.2	32	ナシ	井 少	210	386	100.8	51.7	多
	B	53.8	5.2	56	+	井 少	180	383	100.0	36.1	中
18. 関東皮14号	A	61.7	3.3	55	井井	井 少	435	512	25.9	68.6	多
	B	68.1	3.2	44	+	井 多	345	596	100.0	56.2	多
19. 関東皮15号	A	36.9	3.5	17	ナシ	井井多	60	68	18.1	9.1	多
	B	60.1	3.4	35	+	井 少	255	372	100.0	35.1	中
20. サツキムギ	A	48.9	4.7	38	ナシ	井 少	180	359	23.6	48.1	中
	B	60.2	4.8	39	+	井 少	225	428	100.0	40.3	中
21. アズマムギ	A	49.8	3.4	42	ナシ	井 中	158	222	38.1	29.8	多
	B	65.3	3.1	60	井井	井 少	345	582	100.0	54.9	少
22. 北陸皮6号	A	—	—	—	—	—	0	44	7.0	5.8	—
	B	65.1	4.9	46	井	井 中	345	626	100.0	59.0	多
23. 関 取	A	45.4	3.4	38	井井	井井多	225	297	54.1	39.8	多
	B	65.4	3.1	48	井	井 少	300	549	100.0	51.8	少

品 種 名	区 名	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本	5月11日		稈 重 g	子実重 g	B 対 比 率	標準対 比 率	うどん こ 病
					ク ロ ロシス	ネ ク ロシス					
24. 盛 在 来	A	—	—	—	ナシ	## 中	0	0	0	0	—
	B	75.4	5.1	46	+	### 多	375	566	100.0	53.4	微
25. 四 畝 四 石	A	45.7	3.5	20	+++	## 中	135	71	35.3	9.5	中
	B	81.3	3.0	42	+	### 少	375	200	100.0	18.8	少
26. 五 畝 四 石	A	60.6	3.6	48	ナシ	## 少	315	461	87.0	61.8	多
	B	72.9	3.9	43	+	キ 少	360	530	100.0	50.0	微
27. ショウキムギ	A	70.7	4.2	69	##	## 多	495	749	71.9	100.0	中
	B	87.7	3.9	81	ナシ	キ 少	525	1,041	100.0	100.0	微

注) A; マンガン欠乏助長区
B; マンガン欠乏抑制区

表-42 裸麦、生育、収量調査

品 種 名	区 名	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本	5月11日		稈 重 g	子実重 g	B 対 比 率	標準対 比 率	うどん こ 病
					ク ロ ロシス	ネ ク ロシス					
1. 会 津 裸 3 号	A	54.9	5.7	23	##	## 多	150	192	34.1	100.0	多
	B	74.1	3.9	55	+++	### 多	375	563	100.0	100.0	少
2. ダテハダカ	A	51.2	4.7	17	+++	### 多	90	54	12.0	25.2	多
	B	100.9	4.2	51	ナシ	## 中	735	452	100.0	76.9	微
3. バンダイハダカ	A	52.8	4.8	10	##	## 多	0	182	23.9	24.6	多
	B	25.0	3.9	65	###	## 中	615	759	100.0	129.2	多
4. ナカテハダカ	A	56.0	4.8	31	##	## 少	120	152	30.3	70.6	多
	B	68.6	4.9	45	##	キ 少	450	500	100.0	25.1	多
5. ツクバハダカ	A	39.9	3.8	23	##	## 少	45	53	11.4	24.5	多
	B	64.3	3.9	48	+	キ 少	405	462	100.0	78.7	中
6. 会 系 76 号	A	56.6	4.2	27	##	## 中	120	120	19.5	55.9	多
	B	81.7	4.0	59	+	キ 少	480	615	100.0	104.7	少
7. 会 系 80 号	A	54.9	4.8	25	##	## 中	120	177	23.0	82.5	中
	B	23.5	3.7	73	##	## 少	420	536	100.0	91.4	少
8. 福 系 103 号	A	57.5	4.9	21	##	## 中	90	107	20.6	49.7	多
	B	73.8	5.0	51	+	キ 少	450	518	100.0	88.1	中
9. 四 国 裸	A	—	—	—	—	—	0	0	0	0	無
	B	69.5	4.9	40	##	## 多	180	377	100.0	64.1	少
10. 早 生 裸	A	60.7	4.2	36	##	## 中	135	206	65.9	95.8	多
	B	66.3	3.2	42	##	## 多	225	312	100.0	53.1	多
11. 白 米 裸	A	66.1	5.2	24	##	## 中	165	132	47.6	61.5	多
	B	77.3	4.4	46	+	キ 少	300	278	100.0	47.3	多
12. 岩 沼 裸 3 号	A	61.4	4.3	55	##	## 多	120	141	30.5	65.7	多
	B	65.4	4.5	52	+	## 多	435	462	100.0	78.7	少
13. 2 号 熊 島	A	52.1	3.1	24	##	## 中	150	152	33.4	70.6	多
	B	72.6	3.4	49	+	キ 少	225	453	100.0	77.1	中
14. 会 津 裸 3 号	A	63.3	4.5	43	##	## 中	210	237	38.7	100.0	多
	B	82.5	5.4	71	##	## 多	405	612	100.0	100.0	少

注) A; マンガン欠乏助長区
B; マンガン欠乏抑制区

表-43 小麦、生育、収量調査表

品 種 名	区 名	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本	5月11日		稈 重 g	子実重 g	B 対 比 率	標準対 比 率	うどん こ 病
					ク ロ ロシス	ネ ク ロシス					
1. ナンプコムギ	A	92.4	10.3	62	+++	ナシ	750	693	72.5	100.0	少
	B	92.4	8.6	96	ナシ	ナシ	1,275	971	100.0	100.0	無
2. アオバコムギ	A	81.6	7.8	43	+++	ナシ	390	305	42.5	43.9	少
	B	91.1	8.0	82	##	ナシ	885	717	100.0	75.0	無
3. ヒツミコムギ	A	79.9	2.6	33	+++	ナシ	375	255	29.7	36.8	多
	B	94.9	9.0	85	+++	ナシ	1,380	858	100.0	89.8	無
4. コケシコムギ	A	59.4	7.4	56	+++	ナシ	225	225	40.4	32.5	多
	B	67.4	6.6	91	ナシ	ナシ	675	557	100.0	58.2	少
5. 農 林 27 号	A	97.8	9.1	69	+++	ナシ	885	650	95.4	93.7	少
	B	102.8	8.4	65	ナシ	ナシ	990	681	100.0	71.3	無
6. 農 林 39 号	A	91.0	8.4	45	+++	ナシ	525	341	69.0	49.1	多
	B	113.7	8.8	65	+	ナシ	1,020	494	100.0	51.6	無
7. 農 林 55 号	A	枯	枯死		+++	ナシ	0	0	0	0	死
	B	91.4	8.7	94	##	ナシ	750	605	100.0	63.3	無
8. 農 林 64 号	A	63.9	6.9	44	+++	## 少	165	98	15.4	14.1	多
	B	78.7	7.8	81	ナシ	ナシ	600	632	100.0	66.1	少
9. 農 林 67 号	A	69.6	7.2	60	+++	## 少	255	209	37.2	30.1	多
	B	84.1	8.0	80	##	ナシ	900	561	100.0	58.7	無
10. 農 林 68 号	A	58.0	6.3	39	+++	## 少	53	59	8.8	8.4	多
	B	81.4	7.2	74	ナシ	ナシ	690	668	100.0	69.9	少
11. 農 林 69 号	A	71.3	7.6	48	+++	ナシ	315	248	32.8	35.7	多
	B	92.3	7.7	78	ナシ	ナシ	855	755	100.0	79.0	少
12. 北 陸 42 号	A	56.7	6.1	32	+++	ナシ	90	39	5.3	5.0	多
	B	85.0	8.1	74	+	ナシ	1,050	743	100.0	77.7	少
13. 東 北 104 号	A	59.0	5.5	39	+++	ナシ	135	150	17.9	21.6	多
	B	87.2	7.5	80	ナシ	ナシ	780	840	100.0	87.9	少
14. 東 北 106 号	A	54.9	6.0	21	+++	ナシ	0	0	0	0	多
	B	90.0	7.5	75	ナシ	ナシ	990	824	100.0	86.9	無
15. 東 北 107 号	A	78.1	9.3	69	+++	ナシ	750	720	96.0	103.9	多
	B	81.2	8.8	68	ナシ	ナシ	975	750	100.0	78.5	無
16. 東 北 108 号	A	66.5	8.0	65	+++	ナシ	345	324	52.9	46.8	多
	B	71.8	7.7	96	ナシ	ナシ	855	612	100.0	64.1	無
17. 東 北 109 号	A	74.5	7.4	63	+++	ナシ	405	410	55.0	59.1	多
	B	90.3	8.1	85	##	ナシ	1,170	734	100.0	76.8	無
18. 埼 玉 27 号	A	76.0	8.8	65	+++	ナシ	375	194	24.9	27.9	多
	B	85.3	6.7	78	ナシ	ナシ	900	777	100.0	81.3	無
19. 小 野 1 号	A	51.0	7.2	58	+++	ナシ	105	54	12.5	7.8	多
	B	64.9	7.0	65	ナシ	ナシ	690	434	100.0	45.4	無
20. 遠野在来1号	A	45.9	6.4	46	+++	ナシ	60	75	19.7	10.8	多
	B	61.8	7.3	72	ナシ	ナシ	540	381	100.0	39.9	無
21. 赤 チャボ	A	56.0	5.7	31	+++	+++ 多	45	18	4.4	2.6	多
	B	95.7	7.6	89	ナシ	ナシ	750	407	100.0	42.5	無

注) A ; マンガン欠乏助長区
B ; マンガン欠乏抑制区

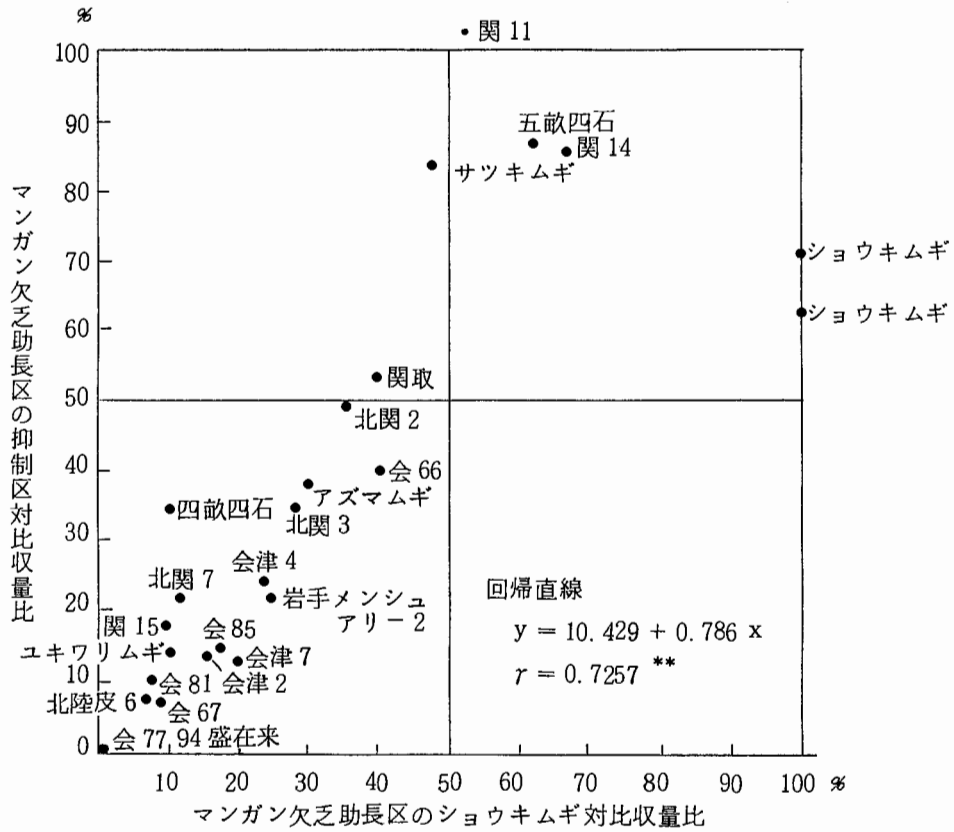


図-2 大麦のマンガン欠乏抵抗性比較

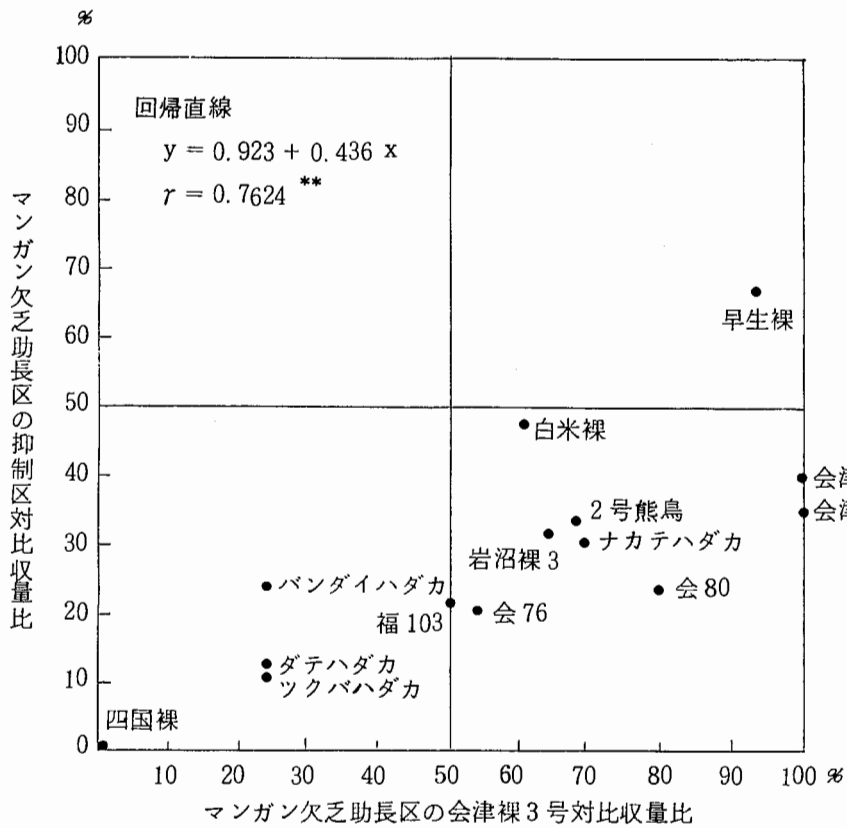


図-3 裸麦のマンガン欠乏抵抗性比較

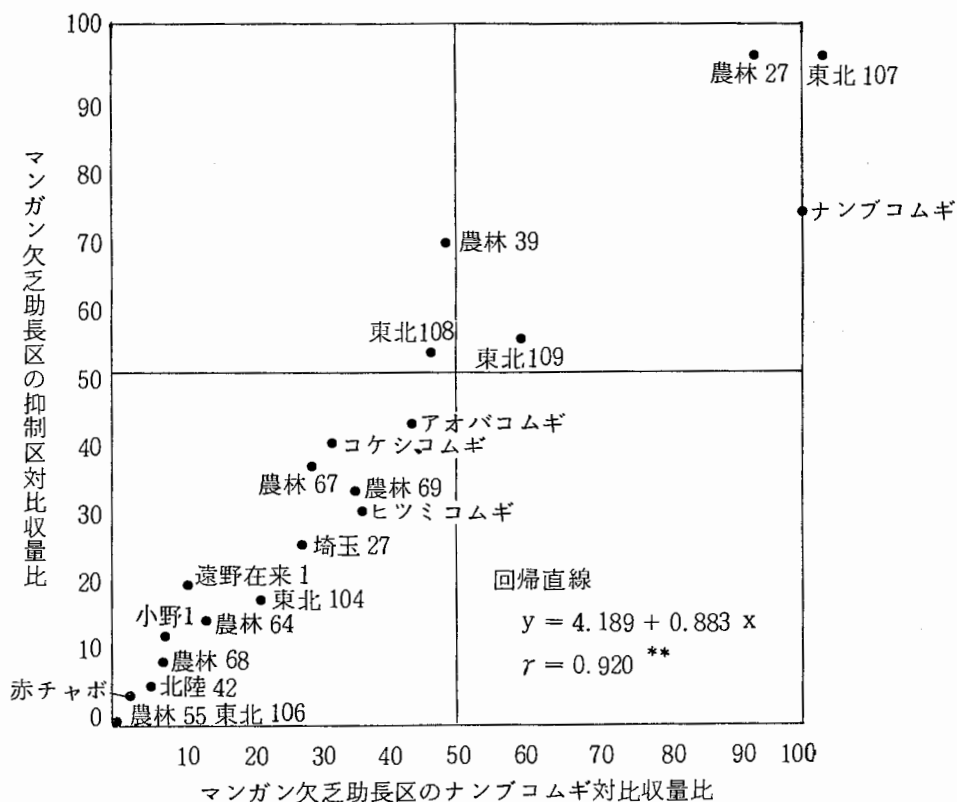


図-4 小麦のマンガン欠乏抵抗性比較

表-44 麦類の低抗性の差異による分類

低抗性程度	麦別	大麦	裸麦	小麦
最も弱いもの		会系67、75、77、81、85、94号、盛在来、会津2、7号 関東皮15号、北関東皮7号、ユキワリムギ	ダテハダカ、バンダイハダカ、ナカテハダカ、ツクバハダカ、会系76、80号、四国ハダカ、白米ハダカ、岩沼裸3号、2号	農林55、68、64号、東北106号、赤チャボ、北陸42号、小野1号、遠野在来1号
甚だ弱いもの		会津4号、岩手メンシュアリー2号、会系66号、北関東皮3号	早生裸	埼玉27号、東北104号
弱いもの		関取、北関東皮2号、関東皮11号	会津裸3号	アオバコムギ、コケシコムギ、ヒツミコムギ、農林39号、東北108、109号、福系4号
少々弱いもの		ショウキムギ、関東皮14号、サツキムギ、五畝四石、岩手メンシュアリー2号		農林39号、東北110号
強いと思われるもの				ナンブコムギ、東北107号、農林27号

また病徴として全般に葉巾が健全なものに比べ甚だしく広くなる形態上の特性が認められた。

子実収量も品種により大きい差が見られ、助長区の子実重が抑制区の子実重に対し30%以下に過ぎないものが、大麦では26品種中15品種、裸麦では13品種中6品種、小麦では21品種中10品種であった。また麦の種類別には、裸麦が一般に抵抗性が最も弱く、次いで大麦が劣り、小麦は比較的強い傾向であった。これらの中で、大麦ではショウキムギ、小麦ではナンブコムギ、農林27号が強く、裸麦では強いと判定出来る品種はなかった。

結 論

岩手県の気仙郡、陸前高田市、大船渡市地帯では前々からクセと称して麦類の病気が出ており、その一般的症状としては葉色が淡くなり褐色の斑点を生じ、これが時には明瞭な線となり、いわゆる褐線萎黄病症状を呈し出穂は遅延し特にウドンコ病にかかり易くなった。この地域の地質は古生層、中生層、洪積層、沖積層であり、これらを構成する母岩は砂岩、花崗岩、輝緑凝灰岩、粘板岩、石灰岩など複雑であるが、pHが高過ぎることによるマンガン欠乏の可能性が考えられた。

マンガン欠乏が発生した土壤について化学分析を行った結果、気仙地帯では概して高pHで置換性石灰の多い土壤でマンガン欠乏の症状が激しく、古生層の石灰岩地帯など、その被害は大きかった。しかし宮古市から釜石市にかけての三陸沿岸部では、土壤pHとマンガン欠乏の関係は一定せず、強酸性下でのマンガン欠乏症も多かった。また気仙地帯の土壤でも、全体を統計処理した結果では、pHと置換性マンガンあるいは有効態マンガンの間には、傾向的な差は認められなかった。しかしマンガン欠乏症は、置換性マンガン5 ppm、易還元性マンガン20ppm、前後で多発傾向が見られた。なおマンガン欠乏症は置換性マンガン3 ppm、易還元性マンガン50 ppmで発生し易いという報告もある。また麦類の収穫期の茎葉中のマンガン含量は30ppm前後のものが多く、健全麦の80ppm前後と比較し

て明らかに低かった。

このようなマンガン欠乏の多発する条件下で対策試験を実施したが、その基本となるものは、やはり高pH条件下での被害が多いので、土壤pHの引下げ対策、マンガン資材の施用量、施肥法の検討を行なうと同時に、石灰資材、アルカリ肥料によるマイナス要因の解析を行った。

まず基礎試験としてポット試験を行ないpH(K_2O)6.5置換性マンガン2 ppmの土壤を供試し硫酸による土壤pHの低下と硫酸マンガンの施用の効果のあること、さらに、マンガン資材の他に鉄資材あるいは硼素資材添加の効果も認められ、このことは、土壤pHの高いことによる鉄、硼素等の微量要素も複合的に欠乏しているものと考えられた。これらの処理により収量増となった区は、いずれも茎葉中のマンガン濃度、土壤中の置換性マンガン含量が増加する傾向であった。

次に圃場試験において各種肥料、土改資材、マンガン資材の効果を検討した結果、ポット試験結果と同様、マンガン資材、酸性肥料の施用あるいは併用の効果が高いのに対し、炭カル、珪カルの施用は生育を阻害し、クロロシス、ネクロシスの発生を著しくした。これらの各資材、肥料の影響は作物体のマンガン含量や土壤中の置換性マンガン含量に現われたが、とくに作物体で明瞭な差になった。しかし試験区全体のこれらの水準を見ると、現地調査の結果から見られた正常な水準にははるかに達しなかった。

同じ試験地において尿素、熔磷、塩加のマンガン欠乏の出易い施肥条件で、硫酸マンガンの用量試験を行った。その結果、硫酸マンガンの3.75kgから37.50kgまで施用量が多い程子実収量は増加し、土壤中の置換性マンガンも多くなったが、施用量の割にはその程度は小さく、三要素肥料を酸性肥料にすることの重要性が示唆された。

硫酸マンガン施用量を10a当たり11.3kgとし、施用時期と施用法の検討を行った結果、1回処理では基肥としての施用が最も望ましいが、越冬後(4月初旬)の追肥又は葉面散布でも、かなり肥効が高く、応急対策として応用出来ることが明らかになった。さらに置換性マンガンを

殆ど含まない立根土壌での硫酸マンガンの配分試験では、基肥及び分施2回の配分が、少量のマンガン施用量でも有効なことが明らかにされた。

置換性マンガン3.0mgの中井土壌について、越冬後の葉面散布を4月1日から5月2日にかけて行ない効果を比較した。葉面散布区間では最もおそい5月2日の子実重が標準区に対し578の指数で明らかな増収となったが、基肥区の669には及ばなかった。

三要素肥料の種類の中で、土壌反応にそれぞれ違った影響を与えることが多い窒素質肥料と磷酸質肥料の種類が、マンガン欠乏症の発生に与える影響を検討した結果、硫酸と尿素はマンガン欠乏症の発生程度、収量とも大差はなかったが、石灰窒素は明らかに欠乏症の発生が多く収量も低下した。また磷酸質肥料では過石>トーマス燐肥>熔燐の順に生育が勝り、収量も高かった。

大船渡市田根町中野の現地試験においても、硫黄による土壌pHの低下、硫酸マンガンの施用効果の高いことを明らかにしたが、硼砂の施用は、単独の場合10数%の効果が見られたものの、硫黄又は硫酸マンガンとの併用では硼砂の効果は認められなかった。

結局マンガン欠乏対策としては、(1)、硫酸マンガン10a当り10~15kgの施用、(2)、酸性肥料の施用、(3)、硫黄華10a当り10~20kgの施用、が効果的であり、その他堆厩肥の施用の効果も認められた。これに対し、炭カル、珪カル、石灰窒素、熔燐等塩基性の肥料資材はいずれも大巾な収量減をもたらした。当時農家の聴取調査結果でも、畑では原則として炭カルは常時施用するものと考えられていたので、この事もマンガン欠乏欠乏発生の一因になっていたことは間違いないことである。なお以上のマンガン欠乏欠乏対策試験は全部土壌pH(H₂O)が6.2以上で、置換性マンガンが5ppm、以下の条件で実施した。したがって現地土壌調査の項で述べたような強酸性土壌におけるマンガン欠乏対策としては、酸性肥料の効果等については、多少異なる結果も出るものと予測される。

最後に麦類のマンガン欠乏の発生は、大麦、

小麦、裸麦の種類によって異なり、また同じ種類でも、その品種により抵抗性の強弱が著しいことを明らかにした。全体的な傾向としては裸麦が最もマンガン欠乏に弱く次いで大麦であり、小麦は比較的強い。またこれらの等で、大麦ではショウキムギ、小麦ではナンブコムギ、農林27号が強く、裸麦は供試品種は総て弱いという結果であった。

2. 銅欠乏

1) 銅欠乏研究の組過と銅欠乏の特徴

作物の銅欠乏症が最初に日本で確認されたのは1957年岩手県胆沢町(当時若柳村)においてであった。それまでは主として農作物に対する銅鉍害に関する研究であり、作物に対する必須微量元素としての銅の研究は本格的なものではなかった。

外国においては銅の研究は、銅を含む農薬との関連で進められ、例えばボルドー液を散布することにより、果樹および野菜類の生育を刺激し収量を増大させることから、植物に必須の要素として考えられるようになった。すなわち、Freoydは甘きつ類の枝枯れに(1917年)、Phelixは泥炭地帯における玉ねぎ及びレタスに(1927年)銅の施用効果を認めている。1931年にSommerは水耕栽培によりヒマワリ、亜麻及びトマトについて微量の銅が必要であることを認めた。

日本においては、徳岡らが小麦の生育に対する銅の効果についてポット試験を行い、20ppmまでの銅の添加が小麦の収量を増加させることを認めた¹⁾。また藤原らは、宮城県鳴子町の草地土壌を用いた大麦の栽培試験において、銅の添加により穂重が無施用の3.5倍にもなり、銅無添加区においては、正常な生育ながら潜在的な銅欠乏の存在することを示唆した。また東北地方に散見された麦の不稔現象について、この大麦の栽培試験の結果から銅欠乏によるものと確認した。森田らは黒土について潜在的な微量元素欠乏を予測し、それらの補給に

より増収を期待できるとした⁴⁾

岩手県における銅欠乏の確認は胆沢町(1957年)においてであるが、現地試験圃において見られた麦の不稔が、電話電線下(銅の裸線)では生育良好で不稔にならなかったことから銅欠乏と確認され、さらに青森県境に近い九戸郡軽米町においても小麦の生育不良があり、調査および試験の結果やはり銅欠乏と認められた⁵⁾。さらに本県において銅欠乏が確認されてからは、東北各県および北海道においても銅欠乏土壌の存在が報告されている。昭和53年から始まった水田利用再編により水田に麦類を栽培する事例が多くなり、また農地開発が進むにつれ、再び麦類の銅欠乏症状が二戸市、軽米町、花巻市、金ヶ崎町等の十和田、八甲田山系および焼石岳系の火山灰土壌が分布する地域に時折見られるようになり、詳細な調査を継続中である⁶⁾。

a. 植物生体内における銅の機能

植物体内に含まれる銅の含量は微量元素のうちでもとくに少なく、一部の作物以外は5~15ppmの範囲である。

植物体内における銅の機能は重要であり、その主なる働きとして次の3つを上げることができる。その第一は植物の光合成作用の一翼をになっていることである。植物の葉緑体には銅の含量が高く、銅が欠乏する条件では葉緑体による光合成が著しく衰える結果となる。その第二は、銅はアンニア態窒素の利用に関与し

ていることである。銅は地上部よりも地下部の細根に多く含まれており、この部分で重要な機能をはたしていると考えられる。銅が欠乏すると植物体内にアミノ酸が集積され、蛋白質への合成が順調に行われなくなる。またその第三は、植物体内物質の酸化還元をつかさどる酵素の重要な構成成分となっていることである。銅の酸化還元の過程において他の物質の酸化還元をおこなっており、有機物質の酸化およびカリ、鉄、磷等の作用と深くかかわりあっている。

b. 銅欠乏研究の端緒

昭和30年代当初に岩手農試が胆沢郡若柳村(現胆沢町)に火山灰土壌の改良試験を実施したところ、小麦が原因不明の不稔にかかり、収穫皆無の状態が続いた。立枯病の疑いもあり、現地試験地を他に移して、試験を継続したが、やはり同様の結果となったがしかし、このとき一部電話電線の下のみは生育が良く、稔実も良好であった。そこで周辺を詳細に調査したところ、電話電線の下はいづれも麦類は良好な生育を示していた。そして電話電線が銅製であることから銅の関与が考えられ、土壌分析を行った。結果は第1表のとおりで、明らかに電話電線下の銅含量が高く、酸度も高いことから、銅欠乏による不稔と考えられ、現地土壌によるポット試験を実施し銅欠乏土壌であることを確認した。(第2、3表)⁷⁾

表-1 小麦不稔地の土壌分析結果

土 壤	pH		置換酸度 Y ₁	置 換 性 灰 CaO (mg)	磷 酸 吸 収 力 (%)	1 : 10 HCl可溶 銅、C ₁₁ (ppm)	全 銅 C ₁₁ (ppm)	腐 植 (%)
	H ₂ O	KCl						
被 害 地 土 壤	5.55	4.80	2.17	220	70.7	8.30	43.5	10.23
電話電線下土壌	5.20	4.60	5.83	130	72.8	13.30	59.5	10.96

註) CuはCarbamate法による比色定量

表-2 試験設計 (g/鉢)

区名	硫酸銅	硼酸	鉄カル	珪カル	備考
1. 無添加	—	—	—	—	N = 0.5 g/鉢 (硫安)
2. Cu 1 ppm	0.015	—	—	—	P ₂ O ₅ = 1.0 g/鉢 (過石)
3. " 5 "	0.074	—	—	—	K ₂ O = 0.5 g/鉢 (塩加)
4. " 10 "	0.147	—	—	—	三要素は各区に上記量を加用
5. " 15 "	0.221	—	—	—	
6. B 1 "	—	0.0214	—	—	
7. " 3 "	—	0.0643	—	—	
8. Cu 10ppm + B 3 ppm	0.147	"	—	—	
9. 鉄カル	—	—	3.75	—	
10. 珪カル	—	—	—	3.75	

表-3 収量 (g/鉢)

区名	全重	稈重	穂重	完全粒重
1. 無添加	18.5	14.6	3.9	0.3
2. Cu 1 ppm	26.0	12.2	13.8	9.6
3. " 5 "	30.8	14.2	16.6	12.4
4. " 10 "	30.0	13.0	17.0	13.1
5. " 15 "	32.3	14.8	17.5	13.4
6. B 1 "	19.5	13.9	5.7	1.8
7. " 3 "	19.0	13.9	5.2	0.8
8. Cu 10ppm + B 3 ppm	28.5	13.9	14.7	10.4
9. 鉄カル	8.6	6.8	1.8	0.1
10. 珪カル	10.1	6.8	3.5	1.0

c. 銅欠乏症状の特徴

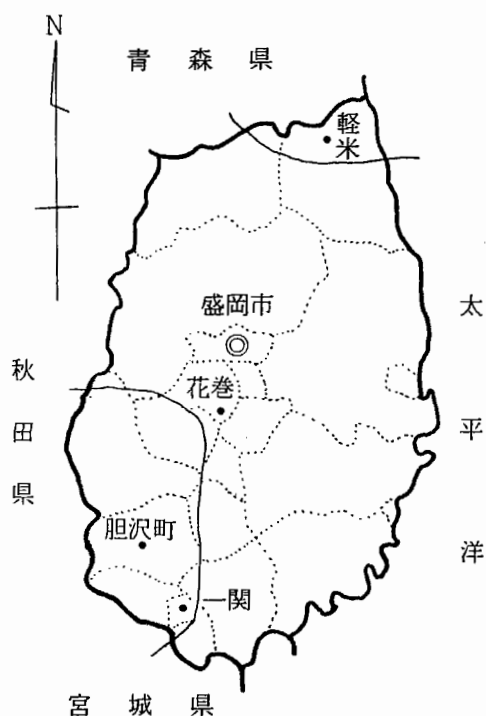
大小麦については、銅欠乏症状は明らかに認められるが、他の作物については銅の施用効果が認められても症状は確認されていない。大小麦は、越冬直後までは正常な生育と変わりなく、麦の伸長期に入ってから伸びがおくれ、止葉を中心に葉がこより状となり、葉先が黄白色に枯れて来る。著しいものは生長が停止したようになる。穂は出すくみ状になることが多く、止葉になかば包まれたままで穂軸が伸びきらないままとなる。芒も縮れた状態となる。穂首部分の穂軸はねぢれたようになることも多い。これらの穂は殆んど結実せず、欠乏が進むと畑全面に

症状がみられ収穫は全く望むことが出来ない。銅含量が欠乏限界値の場合は不稔が多くなる程度で明らかな症状がみられない。

2) 岩手県における銅欠乏土壌の分布と実態

a. 分布について最も広い分布をみるのは胆沢郡を中心に花巻市を含む北上川西岸部であり、奥羽山系の火山灰土壌で覆われた地域である。また県北では青森県に近い二戸市および軽米町付近の十和田系火山灰土壌の分布する地域であり、いづれも腐植に富んだ土壌で欠乏症状が著しい。

代表地点における土壌分析値を表-4



第1図 銅欠乏土壌の分布図

に示したが全銅含量は25~60ppmであり、志波氏の調査による各種土壌の全銅含量平均90ppm、に比較すると極めて少ない。従って岩手県における銅欠乏は土壌中の銅含量の少ないことが主原因であり、また後記するように腐植と結びついてさらに不可給態化していることも大きな原因と考えられる。

銅欠乏土壌の分布調査は、麦の欠乏症が明瞭になる5~6月に重点をおき、現地における症状の確認と土壌調査および作物体の分析によった。胆沢町周辺で銅欠乏の発生がみられるのは、奥羽山系寄りの台地で、いわゆる胆沢扇状地の西部に当たり、胆沢川によって発達した河岸段丘である。母岩は凝灰岩質であり、焼石岳に由来する腐植質火山灰土壌で覆われている。調査地点の表土の分析値は第

表-4 銅欠乏土壌の銅含量

採集地	pH		置換酸度 Y ₁	腐植 (%)	磷酸 吸収 係数	置換 容量 (m.e.)	置換性塩基(mg)			全銅 CuO (ppm)
	H ₂ O	KCl					CaO	MgO	K ₂ O	
九戸郡 軽米町	5.50	4.99	1.1	8.42	1.440	44.6	177	40	18	26.3
花巻市 笹間	6.23	5.04	1.7	18.46	2.019	27.7	365	10	16	55.0
和賀郡 和賀町	5.62	4.17	10.8	10.65	1.801	25.0	108	15	37	58.0
胆沢郡 金ヶ崎町	5.51	4.38	10.0	8.21	2.019	29.6	176	18	37	60.0
胆沢町	5.72	4.35	5.4	13.19	1.610	23.7	97	16	7	50.0

(※Carbamate法による比色定量)

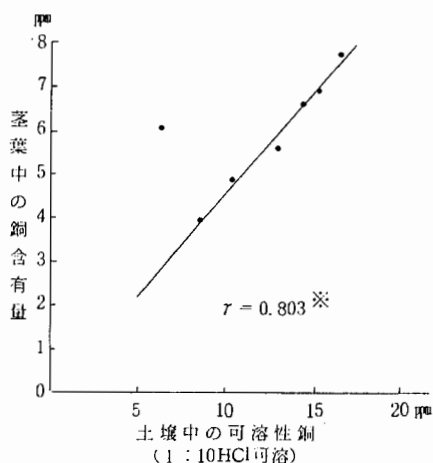
表-5 胆沢町における銅欠乏土壌分析成績

地点 番号	被害 程度	pH		置換 酸度 Y ₁	置換性 石灰 CaO(mg)	腐植 (%)	磷酸 吸収 係数	0.05N -KCl 可溶銅 Cu(ppm)	1:10 HCl可溶		全銅 CuO (ppm)
		H ₂ O	KCl						Fe ₂ O ₃ 鉄 (%)	CuO 銅 (ppm)	
1	正常 甚	5.20	4.60	5.83	130	10.96	2,068	0.96	2.36	16.65	74.5
		5.55	4.80	2.17	220	10.23	2,008	0.52	2.95	10.39	54.5
2	甚	5.40	5.30	0.60	260	10.96	1,602	0.25	3.14	12.96	60.1
3	甚	5.50	4.75	3.55	120	12.95	1,846	0.34	2.70	6.39	61.3
4	正常 甚	5.10	4.50	10.03	90	15.66	2,249	0.09	2.78	13.95	66.4
		5.25	4.70	6.08	70	13.36	1,886	0.20	3.96	8.64	41.3
5	正常 軽微	5.60	4.80	2.09	260	10.65	1,906	0.36	4.30	15.27	192.2
		5.10	4.40	9.83	120	10.02	2,090	0.10	4.42	14.40	157.1

表一 6 作物体分析成績

(風乾物中%)

採取 月日	地点 番号	被害 程度	部位	粗灰分	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	CuO (ppm)
5 月 11 日	2	正常	茎葉	9.55	1.43	—	0.38	3.30	0.45	0.17	0.033	7.71
		甚	"	12.25	3.55	—	0.46	4.60	0.63	0.34	0.077	5.63
	3	甚	"	8.93	2.33	—	0.45	3.40	0.53	0.26	0.079	6.05
	4	甚	"	6.77	1.69	—	0.44	2.60	0.59	0.22	0.060	4.01
	5	正常	"	9.29	2.30	—	0.53	4.20	0.62	0.16	0.047	6.89
軽微		"	9.07	1.08	—	0.56	4.90	0.69	0.24	0.046	6.64	
6 月 16 日	1	正常	"	5.91	3.15	0.65	0.22	1.60	0.37	0.12	0.063	7.67
			穂	3.77	2.08	1.51	0.48	0.75	0.16	0.16	0.023	5.05
	中	茎葉	6.21	2.45	1.06	0.32	1.95	0.33	0.14	0.047	6.26	
		穂	4.79	2.84	1.93	0.48	0.80	0.18	0.23	0.024	4.01	
	甚	茎葉	8.36	3.75	1.69	0.41	2.50	0.39	0.27	—	4.86	
		穂	9.37	6.42	1.88	0.50	0.95	0.29	0.45	0.045	5.20	



第2図 茎葉中の銅含量と土壤中の可溶性銅含量の相関

5表に、また作物体の分析値を表一6に示したが、土壤中の0.05N—KCl可溶銅は0.09~0.96ppmの範囲であり、銅欠乏発現の著しい土壌ほど少なく、また1:10塩酸可溶銅および全銅についても同様の結果である。

作物体中の銅と他の成分の相互関連は不明である。銅含量は欠乏症の明らかなもの程少なく、また茎葉中の銅含量と土壌中の1:10塩酸可溶銅の間には第2図のような高い相関がみられた。

胆沢川北部から花巻市西部に至る地域でも銅欠乏症状が各地でみられており、

同様の調査を実施した。地形は洪積世台地ではほぼ平坦であるが、夏油川、和賀川および豊沢川等で解析されている。土壌は前記焼石岳系に由来する火山灰の影響を強く受けており、腐植に頗る富む黒ボク土壌である。りん酸吸収係数も高く、1:10塩酸可溶銅も前記胆沢地区と同じように欠乏症発現土壌は含量が低い傾向となった。作物体でも銅含量は全般的に低い、銅欠乏症の著しい地点ではその含量も少ない傾向であった。逆にNおよびSiO₂の含量が高い傾向となった。銅が欠乏すると蛋白含量の対乾物比が上昇するというLucas. Robert. Eの報告があるがN含量が高いのはこれと同傾向を示していると思われる。

青森県と接する九戸郡軽米町においても麦の生育の不良が認められていたが原因が判明せず、被害程度の少ない品種で対応していた。この地域の土壌は十和田系の火山灰土壌であり、土壌分析および作物体分析結果は前記2地区と同様であり、銅欠乏地帯と認められる。

最近の調査では二戸市の北西部地帯でも銅欠乏症状がみられており、しかも非火山灰土壌にも及んでいることからさらに検討を進めている。⁶⁾

表-7 花巻市南西部における銅欠土壤分析成績

採取地点 No.	pH		腐植 (%)	磷酸 吸収 係 数	置換性塩基(mg)			置換 容 量 (m. e)	1:10 HCl 可溶銅 Cu (ppm)	全 銅 CuO (ppm)
	H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O			
1.	4.93	4.25	10.91	1,800	42	4	29	24.0	7.0	67.6
2.	5.94	4.70	7.44	1,360	253	28	22	21.2	12.0	65.1
3.	7.25	6.12	10.87	1,640	642	23	22	15.6	5.8	40.1
4.	7.20	5.99	7.92	1,480	610	6	20	24.0	7.8	67.6
5.	4.69	4.22	12.94	1,720	107	30	42	25.6	7.3	43.8
6.	6.25	4.99	11.68	1,720	292	28	35	24.0	10.8	62.6
7.	5.11	4.42	13.23	1,720	135	24	48	24.4	8.3	47.6
8.	5.65	4.50	15.25	1,680	121	5	30	19.6	16.8	60.1
9.	5.30	4.45	18.43	1,560	191	87	27	21.2	7.5	37.6

表-8 作物体分析成績 (小麦・茎葉)

(乾物%)

採取 地点 No.	被 害 程 度	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃ (ppm)	CuO (ppm)
1.	中	0.60	2.58	0.41	2.22	0.39	0.12	0.080	78	3.80
2.	正 常	1.37	1.56	0.37	2.06	0.45	0.18	0.092	73	4.66
3.	中	1.43	1.41	0.40	2.50	0.28	0.13	0.081	34	4.85
4.	中	1.30	0.95	0.23	1.95	0.25	0.15	0.075	47	4.79
5.	中	1.37	3.56	0.56	3.14	0.58	0.18	0.116	161	4.29
6.	正 常	1.12	1.65	0.36	2.32	0.35	0.14	0.081	56	7.17
7.	微	0.83	2.09	0.44	3.20	0.40	0.18	0.067	148	6.32
8.	中	1.23	1.81	0.32	2.77	0.36	0.18	0.080	151	5.53
9.	甚	1.28	2.37	0.57	3.04	0.77	0.19	0.070	122	4.37

表-9 軽米町における作物体分析成績

(乾物%)

採取 地点 No.	種 類	欠 乏 程 度	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Mo ₂ O ₃ (ppm)	CuO (ppm)
1	小 麦	A	5.00	1.58	0.42	1.32	0.43	0.17	0.069	96	4.04
		B	5.78	2.01	0.56	1.48	0.40	0.24	0.099	82	3.44
2	"	A	4.87	1.93	0.40	1.65	0.36	0.20	0.062	95	4.51
		B	6.59	2.00	0.36	1.57	0.46	0.21	0.068	84	4.09

表-10 軽米町における土壌分析成績

採取地点 No.	欠 乏 程 度	pH		置 換 酸 度 Y ₁	腐 植 吸 收 係 数 (%)	磷 酸 吸 收 係 数	塩基置 換容量 (m. e)	置換性塩基(mg)			1:10 HCl 可溶銅 CuO(ppm)	全 銅 CuO (ppm)
		H ₂ O	KCl					CaO	MgO	K ₂ O		
1.	A	5.7	5.0	3.8	11.22	1,160	51.2	299	32	30	17.0	53
	B	5.8	5.1	4.5	11.01	1,160	57.0	299	50	30	14.4	32
2.	A	5.5	4.9	6.1	12.49	1,070	50.5	283	24	32	21.6	46
	B	5.4	4.8	11.1	13.33	740	53.8	260	44	45	22.8	53
3.	A	5.6	5.1	4.5	3.81	796	36.9	194	38	23	13.6	41
	B	6.1	5.1	4.7	7.41	980	55.7	199	28	26	13.0	42
4.	A	5.8	4.9	5.1	16.19	1,180	60.9	427	28	26	17.0	64
	B	5.6	4.8	5.9	12.91	1,090	58.3	371	16	26	14.4	46
	C	5.2	4.9	5.1	17.99	1,098	60.5	352	22	20	11.6	44
5.	A	5.8	5.2	3.2	8.25	920	43.4	260	36	19	15.8	52
	B	5.3	5.0	6.7	9.74	820	44.0	377	32	34	16.4	50
6.	A	6.1	5.2	4.5	7.20	1,060	42.1	277	32	20	17.4	48
	B	6.1	5.3	5.9	5.93	1,100	44.7	355	36	44	15.2	53
7.	A	5.7	5.1	6.7	8.68	820	42.7	222	28	31	10.8	43

注) 欠乏程度 A軽微～健全 B中程度 C甚

b. 岩手県に分布する土壌中の銅含量と銅欠乏の原因

岩手県では銅欠乏の土壌分布の概略を把握しているが、他県では確認例が少なく、また分布も広くはない。したがって各種土壌について全銅含量の詳細な検討はなされていない。Mitchellは鉍質土壌では100ppm以内であるとし、志波によれば上田周辺の各種土壌の全銅平均は約90ppmであると報告している。⁹⁾ 岩手県に分布する銅欠乏発生土壌についてみると、第11表に示すように20～50ppm内外で極めて少ない。銅欠乏がみられない岩手山火山灰土壌では100ppm内外であることから、母材として火山灰中に含まれる銅の量の多少が遠因であると考えられる。

堤らは、キレート結合によると考えられる腐植による銅の固定があり、この固定は腐植化の進んでいる中層において強いことを認めている。¹³⁾ 本県の銅欠の発生は腐植質の火山灰土壌に多く、しかも

胆沢周辺および九戸地方に分布する古い火山灰土壌に顕著にみられることから、腐植との結合についてその関連性が考えられる。主要火山灰土壌について銅欠乏と腐植と銅の結合関係を検討したところ、いずれも腐植による銅の固定は明らかであり、とくに岩手火山灰土壌(南一本木)で顕著である。焼石系(五本松、横沢原および堰袋)および十和田系(種市および笹渡)の火山灰土壌は、全銅が少なく、このことが欠乏症状発生の第一原因とみられるが、腐植による固定が可給態銅をさらに少なくしていると考えられる。一方、腐植含量の少ない下層土では、銅の固定は明らかに少ないことが認められる。しかし腐植の固定する量的関係は土壌間の差が大きく、一定傾向はみられない。腐植の質的な面との関連があるとも考えられる。¹⁰⁾ 銅が主体の鉍害地にあっては石灰により土壌pHを高めることで鉍害を抑制できるという報告¹¹⁾があり、このこ

とから土壌の高pHは銅欠乏をひきおこす原因と予想されるが、本県の場合、胆沢町周辺、金ヶ崎町から花巻市にかけて、および軽米町でも土壌pHと銅欠乏発現

の相関はみられていない。むしろ後で述べるように高pHにすることにより増収の傾向を示した。

表-11 腐植と銅の結合関係

土 壤	層位	腐 植 (%)	全 銅 CuO (ppm)	1:10 HCl 可溶銅 CuO (ppm)	0.1 N-HCl 可溶銅 CuO (ppm)	腐 植 分解後 0.1 N HCl 可溶銅 CuO (ppm)	腐植に 固定さ れた銅 CuO (ppm)	同 左 固定率 (%)	土 性	備 考
南一本木 (B統)	I	11.8	92.5	56.7	3.1	21.3	18.2	85	L	
	II	5.7	105.0	60.7	3.8	20.8	17.0	82	L	
南一本木 (C統)	I	10.9	80.0	31.3	0.9	9.7	8.8	91	L	
	II	5.3	62.5	21.9	1.7	4.1	2.4	58	L	
五本松	I	11.4	25.0	4.7	0.8	2.0	1.2	60	L	銅欠
	II	9.3	30.0	5.6	1.1	1.6	0.5	31	L	発生
堰袋	I	10.1	22.5	6.3	1.1	1.3	0.2	16	SL	銅欠
	II	8.9	22.5	5.6	1.7	1.7	0	0	SL	発生
横沢原	I	19.9	45.0	13.4	1.6	2.3	0.8	34	C	
	II	11.4	45.0	11.6	1.2	3.3	2.1	64	C	
種市	I	9.7	30.0	13.1	1.5	3.9	2.4	62	L	
	II	1.2	37.5	10.0	3.2	3.0	-	-	L	
笹渡	I	10.9	30.0	8.4	1.4	2.5	1.1	44	L	銅欠
	II	8.5	30.0	11.3	1.2	4.1	2.8	68	L	発生
本宮	I	2.9	-	-	4.2	8.4	4.2	50	L	
矢沢	I	15.8	-	-	2.0	4.7	2.7	57	L	
	II	3.3	-	-	1.7	3.3	1.7	52	L	

注) 固定率は腐植による0.1N-HCl可溶銅の固定率

全銅と1:10HCl可溶銅 $r = 0.9606^{***}$
 全銅と0.1N-HCl可溶銅 $r = 0.6244^*$
 全銅と腐植分解後の0.1N-HCl可溶銅 $r = 0.9144^{***}$

c. 作物の銅欠乏発生の限界値について

岩手県下に発生した銅欠乏発生の土壌および作物体(麦)の分析調査を行った結果、0.05N塩化カリ可溶銅、1:10塩酸可溶銅および全銅と茎葉中の銅含量は第2図に示したようにきわめて高い相関を示した。花巻以南の台地および軽米町周辺ではこの相関が必ずしも高くない面もあったが、欠乏発生地土壌は概して

1:10塩酸可溶の銅の少ない傾向は明らかであった。

これらのことから黒沢は、種々の条件により、多少のちがいはあるものの銅欠乏発生の限界値は、0.1N塩酸可溶銅で1ppm、1:10塩酸可溶銅で15ppmおよび全銅で50ppm付近であるとした⁸⁾。その後岩手県における畑地土壌の重金属の分布等の調査がすすめられた結果、0.1N

塩酸可溶による銅欠乏限界の 1 ppmは高すぎるのではないかと考えられた。すなわち、この基準によれば表12および表13のとおり、銅欠乏は県内随所に分布し、広い面積となり、かつ作物生育と合致し

ない。そこであらためて銅含量の異なる土壌を用い、各溶媒による浸出の程度を比較し、銅欠乏土壌判定の基準を検討した。¹²⁾ 銅抽出の方法および分析結果を第14~16表に示した。

表-12 県内主要畑土壌の亜鉛、銅含量

No	地目	調査地点	母材、堆積様式	土性	土壌 0.1 N		作物、可食部		作物
					HCl 可溶 (ppm)		(ppm)		
					Zn	Cu	Zn	Cu	
1	畑	二戸市仁左平佐久保	固結水成岩、崩積	L	3.1	0.2	34.2	6.6	大豆
2	"	二戸市斗米上野	非固結火成岩、風積	L	6.8	0.2	44.8	7.7	"
3	"	二戸郡安代町瀬の沢	固結火成岩、崩積	CL	38.5	3.6	67.6	11.8	"
4	"	" 安代町高畑	" "	SL	8.1	9.1	45.7	10.2	"
5	"	" 一戸町中山	非固結火成岩、風積	L	6.4	0.2	38.0	8.4	"
6	"	九戸郡種市町宿戸	固結火成岩、崩積	CL	12.1	0.1	42.8	4.3	"
7	"	" 九戸村長興寺	固結水成岩、残積	CL	11.4	3.4	44.7	11.4	"
8	"	久慈市侍浜町向町	非固結火成岩、風積	CL	22.5	0.2	50.2	9.1	"
9	"	" 大川目外里	固結水成岩、崩積	CL	24.0	0.2	48.2	6.9	"
10	"	九戸郡野田村玉川	" "	L	20.4	1.5	52.8	9.6	"
11	"	岩手郡葛巻町田部	" "	CL	9.3	0.2	31.8	8.8	"
12	"	" 葛巻町元木	" "	L	10.7	0.1	39.2	6.8	菜豆
13	"	" 岩手町沼宮内	非固結火成岩、風積	L	5.1	0.2	11.2	1.9	陸稲
14	"	" 松尾村北寄木	" "	L	1.8	0.2	37.6	9.8	大豆
15	"	" 滝沢村柳沢	" "	SL	7.2	1.4	27.8	8.5	小豆
16	"	九戸郡山形村川井	" 水積	CL	17.4	0.5	44.7	5.9	大豆
17	"	岩手郡雫石町丸谷地	" 風積	L	7.4	0.2	33.1	5.8	"
18	"	下閉伊郡岩泉町大川	非固結堆積岩、水積	CL	4.3	0.3	31.6	9.6	"
19	"	" 岩泉町巖野	" "	CL	7.8	2.2	40.6	8.6	"
20	"	" 田老町末前	固結火成岩、残積	L	8.3	0.6	49.5	6.8	"
21	"	宮古市山口	" 崩積	SL	6.2	1.3	41.8	8.3	"
22	"	" 花原市	" 残積	CL	18.6	1.6	34.0	7.6	"
23	"	下閉伊郡川井村箱石	" 崩積	SL	8.1	0.5	45.6	14.6	"
24	"	花巻市太田坂井	非固結火成岩、洪積	CL	10.3	1.0	60.2	10.0	"
25	"	和賀郡湯田町草井沢	固結水成岩、崩積	L	19.7	5.2	56.8	10.0	菜豆
26	"	上閉伊郡宮守村下宮守	変成岩、残積	CL	22.9	0.5	31.6	3.7	大豆

表-13 県内主要土壌の亜鉛、銅含量(続)

No.	地目	調査地点	母材、堆積様式	土性	土壌 0.1 N HCl 可溶 (ppm)		作物、可食部 (ppm)		作物
					Zn	Cu	Zn	Cu	
					27	畑	遠野市附馬牛小倉	固結火成岩、崩積	
28	"	下閉伊郡山田町関谷	非固結堆積岩、水積	S L	6.3	2.8	24.6	5.0	"
29	"	釜石市橋野町萩野洞	" "	S L	11.3	2.8	39.1	12.3	大豆
30	"	遠野市上郷町暮坪	固結堆積岩、洪積	L	4.2	0.3	41.6	13.5	"
31	"	釜石市上平田	固結火成岩、崩積	L	28.6	0.9	30.8	4.0	小豆
32	"	胆沢郡金ヶ崎町千貫石	固結堆積岩、洪積	C L	23.3	0.1	33.9	10.9	大豆
33	"	江刺市米里火石	非固結堆積岩、水積	S L	9.4	3.0	44.6	11.1	"
34	"	東磐井郡東山町松川	固結火成岩、崩積	L	0.2	0.1	35.2	11.4	"
35	"	" 川崎村鴨池	固結水成岩、残積	C L	15.0	1.1	45.8	9.8	"
36	"	" 花泉町涌津	" "	L i c	7.7	2.9	32.8	8.6	小豆
37	"	気仙郡住田町世田米	"、崩積	L	5.9	0.4	33.2	13.2	大豆
38	"	陸前高田市気仙町	" "	L	2.9	0.7	56.2	14.3	"
39	"	大船渡市猪川町町下	非固結堆積岩、水積	L	17.8	0.2	30.6	4.4	菜豆

注) $Cu \times 1.252 = CuO$

表-14 抽出方法

抽出法	抽出操作
全銅 (三混分解)	土壌 5 g + concH ₂ SO ₄ 1 ml + concHNO ₃ 5 ml + HClO ₃ 20 ml 砂皿上で3時間加熱分解HClO ₃ を蒸発させ後ろ過
1 : 10 塩酸 可溶銅	土壌 5 g + 1 : 10 HCl 50 ml 3時間湯煎器中に浸漬し時々振盪ろ過
0.1 N-塩酸 可溶銅	土壌 10 g + 0.1 N-HCl 50 ml 30℃ 1時間振とう後ろ過
N酢酸アンモニウム 抽出銅	土壌 10 g + N-CH ₃ COONH ₄ (pH 4.8) 20 ml 30℃ 1時間振とう後ろ過
0.05 M-EDTA 抽出銅	土壌 5 g + 0.05 M-EDTA (pH 7.0) 50 ml 30℃ 2時間振とう後ろ過
1% EDTA 抽出銅	土壌 5 g + 1% EDTA (pH 4.0) 50 ml 30℃ 2時間振とう後ろ過

表-15 各種溶媒による銅の抽出

土 壤	pH (H ₂ O)	腐 植 (%)	全 銅 Cu (ppm)	1:10 HCl 可 溶 Cu (ppm)	0.1 N -HCl 可 溶 Cu (ppm)	N-CH ₃ COONH ₄ 抽 出 Cu (ppm)	0.05 M -EDTA 抽 出 Cu (ppm)	1 % EDTA 抽 出 Cu (ppm)	浸出後 0.1 N -HCl pH	浸出後 1 % EDTA pH
※若柳A	5.50	15.2	10.00	4.38	0.05	0.03	0.40	0.13	1.60	4.42
※ " B	5.10	14.3	10.29	4.38	0.08	0.10	0.63	0.46	2.00	4.50
※軽米A	6.30	10.6	10.00	6.30	0.01	0.03	0.63	0.46	1.85	4.42
※ " B	5.20	10.9	11.21	4.81	0.08	0.05	0.60	0.38	—	—
横沢原	5.41	2.0	31.14	16.84	0.53	0.19	0.87	0.66	1.60	4.50
福 伏	6.78	6.9	65.71	51.03	0.89	0.36	18.69	16.95	2.10	4.35
中 山	6.49	0.4	41.70	21.05	1.61	1.02	1.90	1.25	1.38	4.08
滝 沢	5.90	14.4	30.86	21.05	0.46	0.16	3.09	3.16	1.90	4.30
安 代	6.10	12.5	22.42	16.24	0.83	0.13	4.75	2.77	—	—
沼宮内	5.60	11.2	38.00	29.47	0.87	0.15	5.57	4.00	—	—

※ 銅欠乏発生土壌

注) $Cu \times 1,252 = CuO$

0.1 N-HCl 原液 pH1.00

1% EDTA 原液 pH 4.00

表-16 全銅に対する各種溶媒の銅溶出率(%)

土 壤	1:10HCl	0.1 N-HCl	N-CH ₃ COONH ₄	0.05M-EDTA	1% EDTA
若 柳 A	43.8	0.50	0.30	4.00	1.30
" B	42.6	0.78	0.97	6.12	4.47
軽 米 A	63.0	1.00	0.30	6.30	4.60
" B	42.9	0.71	0.45	5.35	3.39
横 沢 原	54.1	1.70	0.61	2.79	2.12
福 伏	77.7	1.35	0.55	28.44	25.80
中 山	50.5	3.86	2.45	4.56	3.00
滝 沢	68.2	1.49	0.52	10.01	10.24
安 代	72.4	3.70	0.58	21.19	12.36
沼 宮 内	77.6	2.29	0.39	14.66	10.53

全銅と各溶媒による浸出銅の相関は次のようである。

全銅； 1 : 1 : 10塩酸可溶銅
r = 0.9709 ***

全銅； 0.1N塩酸可溶銅
r = 0.7431 *

全銅； N酢酸アンモニウム抽出銅
r = 0.5668

全銅； 0.05N・EDTA抽出銅
r = 0.8339 **

全銅； 1%EDTA抽出銅
r = 0.8310 **

これからみると、1 : 10塩酸浸出可溶銅は、全銅と完全な比例関係にあり、かえてその特徴を表わさないことになる。全銅に対する溶出率は40~80%で、他法に比べ著しく高いので、そのまま可給態銅とすることはできないと考えられる。

0.1N塩酸可溶銅の浸出法では、浸出液のpHが土壌の種類（腐植、原土pH、土性等）により変動するため銅含量が過少評価されるおそれがあり、これらをも

とに考えると銅欠乏の限界値は0.1~0.2 ppmと低いものとしなければ正確な銅欠乏の判定はむづかしいと考えられる。すなわち、0.2ppm以下が危険水準、0.1ppm以下で完全な欠乏水準と考えられる。

3) 銅欠乏土壌の土壌改良

a. 銅の土壌施用について

銅欠乏土壌の改良対策として、銅資材の土壌施用を、欠乏地点の現地において麦類を中心に試験を行った。試験場所は胆沢町および花巻市である。

小麦に対する銅の施用適量は硫酸銅を用いナンブコムギを供試して検討を行ったが、硫酸銅の施用効果は顕著であり、無処理では僅かに7 kg/10aの子実収量であるが、硫酸銅施用の各区は200~250 kg/10aの収量を示した。とくに硫酸銅4 kg/10 a 施用がもっともすぐれ、施用適量と推定できた。それ以上の施用は過剰となり減収傾向を示した。これを第17~18表に示した。

表一17 銅施用量試験 (試験地土壌の化学特性)

(胆沢町若柳五本松 昭34)

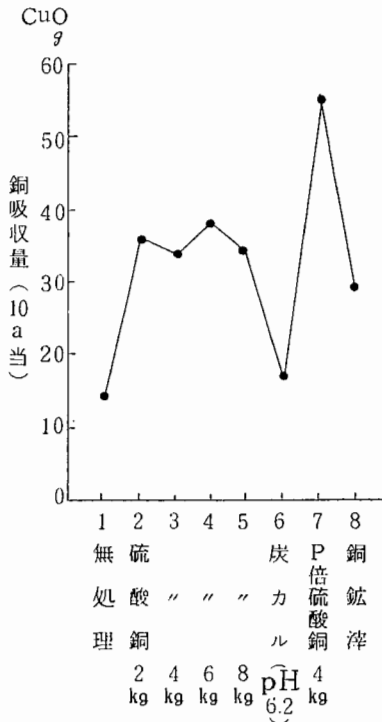
層位	pH		置換酸度 Y ₁	腐植 (%)	磷酸吸 収係数	置換容 量 (m. e)	置換性塩基(mg)			N/5HCl可溶(mg)		全銅 C ₁₁ O (ppm)
	H ₂ O	KCI					CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	
I	5.7	4.3	5.4	13.2	1,619	23.7	97.0	16.0	7.0	3.50	36.3	55
II	5.4	4.6	8.0	8.1	1,676	19.1	79.0	21.0	20.0	0.44	11.3	58
III	5.7	4.6	8.8	0.8	1,448	11.5	72.0	18.0	10.0	0.95	79.5	50

表一18 銅施用量試験結果

区名	欠乏程度	生 育						収量 (10 a)		
		草丈 12月1日 (cm)	草丈 3月17日 (cm)	草丈 5月2日 (cm)	7 月 8 日			全量 (kg)	子実重 (kg)	同左 比率 (%)
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)						
1. 無処理	+++	22.3	18.5	43.2	69.1	8.6	3.1	331.0	6.9	3.4
2. 硫酸銅 2 kg	+	23.1	18.3	48.4	83.8	9.0	3.0	847.5	202.8	100.0
3. " 4 kg	○	23.1	18.8	51.2	87.0	9.3	3.3	864.0	250.8	123.7
4. " 6 kg	○	21.0	17.6	46.9	83.7	9.0	3.1	849.0	240.3	118.5
5. " 8 kg	○	22.0	16.4	46.1	82.9	8.9	3.6	787.5	226.8	111.8

備考、施肥量N 9.5 kg (硫安)、P₂O₅ 12kg (過石)
K₂O 8.0 kg (塩加)、pH 6.2 中和 (炭カル)

銅の施用量を2kgから8kgまで増しても作物（小麦）の銅吸収量の間には明らかな相関はなく、施用量のちがいにかわらずほぼ一定の吸収量を示した。火山灰土壌であるためりん酸増量の効果は認められ銅の吸収も増大した。炭カル

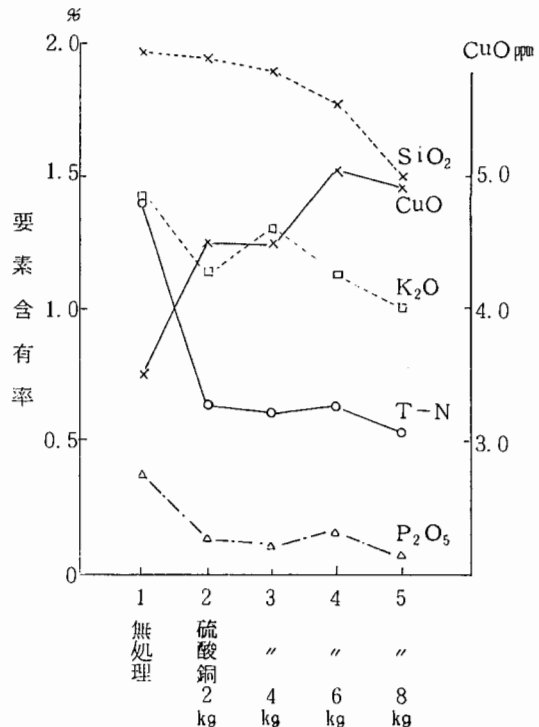


第3図 銅施用量と吸収量

施用した銅の持続効果は、硫酸銅4kg/10a施用が最もすぐれかつ銅の残効も高く、3年以上は持続効果が認められる。すなわち、硫酸銅2kgでは施用2年目で欠乏症状が目立ち、3年目で著しい欠乏症となった。4kg/10a以上施用では残

用 (pH6.2目標) では銅の吸収が阻害される結果となった。作物（小麦）の茎葉中の各成分含有率は (SiO₂、N、P₂O₅、K₂O) は銅の施用増により、低下した。

これらの結果を第3～4図に示した。



第4図 銅施用量と各要素含有率

効3年目に至っても欠乏症状は認められなかったが6kg/10a以上の施用では過剰のためか生育収量は4kg施用にまさることはなかった。これを表19～21に示した。

表-19 銅施用残効1年目調査成績 (昭35)

区名	生				育			収量 (10a)		
	12月15日		3月29日		6月27日			全重 (kg)	子実重 (kg)	同左比率 (%)
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無処理	14.8	165.0	11.5	163.0	54.1	7.4	25.8	126.0	49.5	53.2
2. 硫酸銅 2 kg	14.5	176.5	12.0	182.0	63.2	7.8	66.0	264.0	93.0	100.0
3. " 4 kg	15.6	170.0	13.9	189.3	72.3	8.1	78.5	459.0	187.5	201.7
4. " 6 kg	14.5	136.0	12.3	172.8	62.1	7.7	66.8	354.0	130.5	140.3
5. " 8 kg	15.3	166.5	10.6	165.3	63.9	7.5	66.0	366.0	150.0	161.3

備考：施肥量は表-18と同じ

表一20 残効2年目調査成績(昭36)

区名	生				育			収量(10a)		
	11月17日		5月15日		6月26日			全重	子実重	同左比率
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無処理	16.3	129.0	41.4	—	—	—	—	—	—	—
2. 硫酸銅 2 kg	15.6	113.3	45.2	—	60.3	8.8	71.8	165.0	42.0	100.0
3. " 4 kg	16.5	94.8	59.8	—	77.6	9.1	86.3	408.0	156.0	371.4
4. " 6 kg	13.9	134.0	46.7	—	63.9	8.5	69.3	402.0	156.0	371.4
5. " 8 kg	15.6	150.3	57.0	—	66.7	8.6	81.5	235.5	67.5	160.7

備考：施肥量は表一18と同じ

表一21 残効3年目調査成績(昭37)

区名	生				育			収量(10a)		
	11月30日		5月21日		7月4日			全重	子実重	同左比率
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無処理	15.7	—	32.4	—	—	—	—	—	—	—
2. 硫酸銅 2 kg	14.5	—	49.4	—	59.5	8.0	50.5	147.8	37.5	100.0
3. " 4 kg	17.0	—	67.2	—	75.5	8.9	80.0	458.3	186.8	498.1
4. " 6 kg	14.8	—	50.2	—	66.8	8.5	69.5	245.3	99.8	266.1
5. " 8 kg	15.4	—	52.8	—	66.5	8.0	64.5	304.5	126.8	338.1

備考：施肥量は表一18と同じ

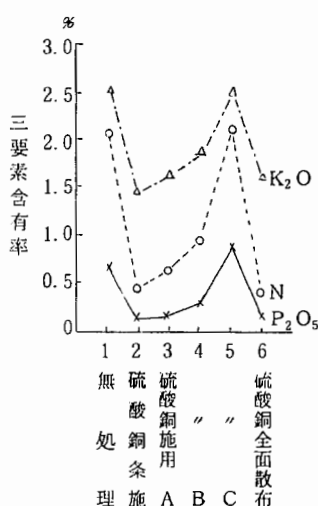
銅の施用時期は小麦の場合、基肥と同時に施用することが望ましい。同時施用以外では、施用が遅れるほど生育収量が劣ったものとなる。つまり施用時期が早

目であれば欠乏程度の軽減をはかることができることを認めた。これを表22に示した。

表一22 銅の施用時期並びに施用法試験(花巻市笹間町 昭36)

区名	生				育			収量(10a)		
	12月7日		4月4日		6月29日			全重	子実重	同左比率
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無処理	19.3	254.5	10.4	173.5	41.3	5.5	37.0	63.8	0.8	0.9
2. 硫酸銅条施	16.7	200.5	11.9	176.3	73.0	7.9	70.0	391.5	84.0	100.0
3. 硫酸銅施用A	17.8	297.5	10.3	160.0	58.3	7.5	58.0	286.5	33.0	39.3
4. " B	17.9	205.3	9.8	162.0	44.7	6.6	47.0	126.0	13.5	16.1
5. " C	18.7	188.5	9.9	165.5	36.8	5.6	36.5	73.5	1.1	1.3
6. 硫酸銅全面撒布	19.6	210.5	12.1	241.0	75.3	7.8	85.3	468.0	87.0	103.6

備考 (1) 供試作物 小麦ナンブコムギ (2) 1区10㎡2連 (3) 施肥量 N(硫安) 9.5 kg P₂O₅ (過石) 15.0 kg K₂O (塩加) 8.0 kg (4) 銅施用 A=4月4日 B=5月11日 C=5月29日 (5) 硫酸銅施用量 10a当り4kg



第5図 茎葉に於ける三要素含有率(乾物)

三要素の吸収も銅施用の時期が遅れる程、その含有率が高まり、欠乏症の激甚なもの程三要素含有率は異常に高まった。これを第5図に示した。

銅の施用方法の比較では、条施および全面散布とも効果の差はなかった。

石灰資材投入等による土壌pHの上昇により、銅の作物への吸収が阻害されるおそれのあることは前にふれたが、この石灰と銅の関係について検討した結果、pH5.5~6.5の範囲内では施用した銅の不可給態化はみられず、むしろ石灰の投入によって、増収をもたらした。これを表23および表24に示した。

表-23 銅と石灰の相関試験(初年目昭35 和賀郡和賀町岩崎)

区名	生				育			収量(10a)		
	12月7日		4月4日		7月7日			全重(kg)	子実重(kg)	同左比率(%)
	草丈(cm)	茎数(本)	草丈(cm)	茎数(本)	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本)			
1. 無処理	22.2	242.8	13.1	184.5	70.4	8.3	61.3	382.5	118.5	50.4
2. 硫酸銅4kg	18.3	223.3	13.5	191.5	83.3	9.1	76.5	583.5	235.5	100.0
3. pH4.5	19.7	226.8	14.5	188.8	84.7	9.2	78.5	568.5	237.0	100.6
4. pH5.5	19.8	223.5	14.1	183.3	86.2	9.1	89.5	603.0	252.0	107.1
5. pH6.0	20.8	221.3	14.9	204.3	88.8	9.3	86.3	643.5	270.0	114.6
6. pH6.5	21.1	227.3	14.7	210.3	87.7	9.1	86.5	682.5	285.0	121.1
7. pH7.0	20.5	231.8	14.9	220.3	89.1	9.4	92.3	663.0	276.0	117.2

備考 (1) 供試作物 小麦ナンブコムギ (2) 1区10㎡2連
 (3) 施肥量 N(硫安) 9.5 kg P₂O₅(過石) 15.0 kg K₂O(塩加) 8.0 kg
 (4) 処理 無処理区を除き全区に硫酸銅4kg、炭カルは夫々のpHに相当する量を添加、ともに2年目は残効
 pH 4.5 (28.8 kg) pH 5.5 (107.4 kg) pH 6.0 (272.4 kg)
 pH 6.5 (343.3 kg) pH 7.0 (483.3 kg)

表-24 銅と石灰の相関試験(2年目残効 昭36 和賀郡和賀町岩崎)

区名	生				育			収量(10a)		
	11月24日		5月16日		7月4日			全重(kg)	子実重(kg)	同左比率(%)
	草丈(cm)	茎数(本)	草丈(cm)	茎数(本)	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本)			
1. 無処理	22.5	6.4	66.8	—	81.3	8.8	79.3	394.5	114.0	41.3
2. 硫酸銅4kg	20.5	4.9	69.5	—	91.0	9.6	86.0	699.0	276.0	100.0
3. pH4.5	21.7	7.6	69.1	—	91.7	9.5	100.3	709.5	285.0	103.3
4. pH5.5	22.0	5.7	71.8	—	94.1	9.7	97.8	715.5	306.0	110.9
5. pH6.0	22.5	6.2	71.2	—	85.9	10.0	94.5	834.0	337.5	122.3
6. pH6.5	22.8	5.4	72.2	—	95.7	9.7	99.0	853.5	327.0	118.5
7. pH7.0	24.8	5.7	71.7	—	95.6	9.7	95.3	846.0	339.0	122.8

銅と苦土の併用効果は、銅欠乏症状のみられる地帯が火山灰土壌でしかも酸性土壌が多いことから当然期待できる。生育初期においては苦土の効果は著しく、後期においては逆に銅の効果が顕著となっ

た。苦土の併用効果は、硫酸銅単用よりも著しい多収を示した。また火山灰土壌であるためりん酸増施効果も大きかった。これを第25表および第26表に示した。

表一25 銅と苦土の併用試験 (花巻市笹間町 昭36)

区名	生 育						収量 (10 a)		
	11月24日		5月17日	7月3日			全重 (kg)	子実重 (kg)	同左 比率 (%)
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無 処 理	18.6	4.1	46.2	49.9	7.2	45.5	82.0	6.0	9.5
2. P倍・硫酸銅+硫酸苦土	25.1	5.8	68.6	88.3	9.6	112.0	718.5	270.0	428.6
3. 硫酸銅+硫酸	20.6	4.5	66.9	81.4	9.1	95.0	520.5	178.5	283.3
4. 硫酸苦土	22.2	4.7	50.1	56.8	7.8	56.8	147.0	4.5	7.1
5. 熔 磷	21.7	4.4	47.9	51.4	6.8	58.8	135.0	12.0	19.0
6. 硫酸銅	13.8	4.1	49.9	65.0	7.8	65.5	204.0	63.0	100.0
7. 硫酸銅多量	11.1	1.5	39.2	53.1	7.3	44.5	102.0	27.0	42.9

備考 (1) 供試作物 小麦ナンブコムギ (2) 1区10㎡2連 (3) 施肥量 N(硫酸) 9.5 kg
P₂O₅(過石) 15.0 kg K₂O(塩加) 8.0 kg (4) 硫酸銅 4 kg 多量15kg (5) 硫酸苦土 40 kg

表一26 銅と苦土の併用試験 (九戸郡軽米町 昭37)

区名	生 育						収量 (10 a)		
	草丈 (cm)			7月15日			全重 (kg)	子実重 (kg)	同左 比率 (%)
	12月14日	4月22日	5月20日	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)			
1. 無 処 理	16.8	19.7	56.8	59.3	7.5	84.3	253.2	38.3	12.2
2. 硫酸銅	16.5	20.8	69.3	76.9	9.3	85.3	726.0	314.3	100.0
3. 硫酸苦土	16.2	20.4	63.2	63.3	8.1	95.8	286.5	36.3	11.5
4. 熔 磷	15.4	18.7	51.9	60.9	7.9	93.0	245.3	61.5	19.6
5. 硫酸銅+硫酸苦土	16.3	22.6	70.0	81.1	9.3	99.0	720.0	312.8	99.5
6. 熔磷+硫酸銅	15.0	19.2	65.5	74.0	9.0	76.5	598.5	251.3	80.0
7. 堆 肥	17.0	20.5	63.2	67.0	8.6	111.0	350.3	31.6	10.1

備考 (1) 供試作物 小麦ナンブコムギ (2) 1区10㎡2連 (3) 施肥量 N(硫酸) 10.0 kg
P₂O₅(過石) 15.0 kg K₂O(塩加) 8.0 kg (4) 硫酸銅 3.0 kg (5) 硫酸苦土 40.0 kg
(6) 堆肥 1,000 kg

b. 銅の形態による効果比較

硫酸銅以外の銅塩について土壌への施用効果を検討した結果、いずれの銅塩でも施用効果は顕著であり、難溶性の水酸化銅でも効果は明らかであったがキレート銅のみ若干劣った。

難溶性である水酸化銅の施用効果を硫

酸銅と比較してみると、硫酸銅と同等の効果を期待でき、かつ作物体内の銅含量を増加させる傾向が認められた。跡地土壌でも水酸化銅の施用により可溶性銅の増加が著しく多い結果であった。これらの結果を第27～30表に示した。

表-27 銅塩の相異が小麦収量に及ぼす影響(ポット試験)昭37

区名	全重 (g)	指数 (%)	稈重 (g)	穂重 (g)	指数 (%)	完全粒重 (g)
無処理	16.5	66	7.8	8.8	64	5.6
硫酸銅	25.0	100	11.5	13.8	100	5.8
硝酸銅	25.3	101	11.0	14.0	101	6.3
塩化銅	25.2	101	11.1	14.0	101	8.0
水酸化銅	26.1	104	11.8	14.4	104	6.7
キレート銅	23.6	94	11.6	11.6	84	3.9

注) (a / 5,000 ポット、銅施用量：CuOとして47.8 mg / pot)
供試土壌：花巻市笹間字横志田

表-28 難溶性銅塩の施用効果

昭40 (10a当)

区名	全重 (kg)	指数 (%)	稈重 (kg)	子実重 (kg)	指数 (%)	
無処理	1,020.0	100	709.6	310.4	100	
硫酸銅	CuO 1 kg / 10 a	1,065.0	104	673.9	391.1	126
	" 2 "	975.0	96	567.4	407.6	131
	" 3 "	975.0	96	541.5	433.5	140
水酸化銅	" 1 "	1,035.0	102	588.1	446.9	144
	" 2 "	960.0	94	555.4	404.6	130
	" 3 "	1,035.0	102	569.2	465.8	150

備考：供試作物えんぱく(前進)、施肥量 N=8+2、P₂O₅=20、K₂O=10

表-29 収かく物分析結果

昭40

区名	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CuO (ppm)		区名	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CuO (ppm)	
茎	無処理	0.62	0.28	4.43	7.0	穂	無処理	1.97	0.98	1.18	1.9
	硫酸銅 CuO1 kg	0.79	0.27	4.73	9.5		硫酸銅 CuO1 kg	2.01	1.09	1.12	4.2
	" " 2 "	0.67	0.35	4.50	9.0		" " 2 "	1.90	0.87	1.10	5.1
葉	" " 3 "	0.59	0.19	4.65	4.5	" " 3 "	1.91	0.83	1.21	5.3	
	水酸化銅 " 1 "	0.53	0.25	4.03	12.3	水酸化銅 " 1 "	1.87	0.88	1.30	6.0	
	" " 2 "	0.74	0.25	4.13	10.5	" " 2 "	2.01	0.94	1.20	5.8	
	" " 3 "	0.62	0.25	4.25	8.3	" " 3 "	1.94	0.93	1.18	8.0	

表-30 跡地土壌分析結果

昭40

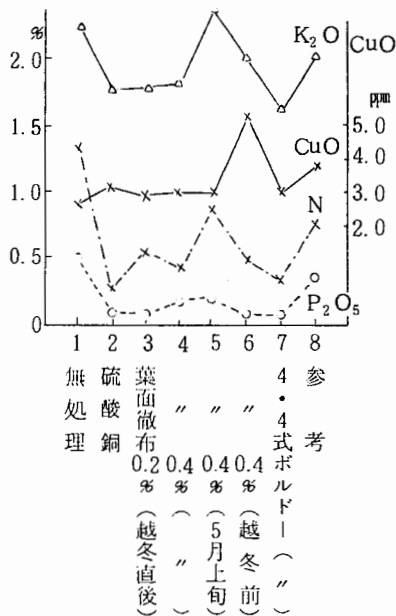
区名	PH		置換酸度 Y ₁	置換性塩基(mg)			可溶性 CuO (ppm)
	H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O	
無処理	5.1	4.5	7.2	176	16	28	34
硫酸銅 CuO1 kg	5.3	4.6	4.4	156	14	27	39
" " 2 "	5.3	4.6	4.2	162	18	31	94
" " 3 "	5.1	4.5	10.1	131	22	25	117
水酸化銅 " 1 "	5.0	4.3	7.6	150	21	29	120
" " 2 "	5.0	4.5	5.4	171	22	27	127
" " 3 "	5.3	4.5	5.3	123	16	30	86

C. 銅の葉面散布

銅欠乏に対する改良対策として、銅の土壌施用が最も効果的であることは前記したとおりである。他の方策としては、作物体への直接的な葉面散布が考えられる。そこで現地において小麦に対する葉面散布の効果を散布時期および銅の濃度について検討した。

小麦に対する葉面散布の効果は極めて高く、土壌施用と比べて同等もしくはそれ以上の効果を確認できた。葉面散布の時期は早い程有利であり、土壌施用の場

合同様であった。越冬後の散布でもその効果は十分であった。しかし、散布がおくれ5月上旬の散布では、その効果が劣る結果となった。作物体(茎葉)の分析値からみると、5月上旬の小麦にとっては、おそい時期の葉面散布では銅の含量は大差ないものの、3要素含有率は銅の無散布と同じように異常に高く、銅の葉面散布があったものの、銅欠乏と同じ生育状況をたどったと考えられる。この結果を第31表および第6図に示した。



第6図 茎葉中銅含有率と三要素含有率(乾物)

葉面散布の銅濃度は0.2および0.4%では大差なかったが、さらに詳しい検討を試みた。

第1回(越冬前)の散布後若干の葉害をみたが全般的に殆ど影響はなく、第2回(越冬後)散布では葉害が高濃度(0.8%)でもみられなかった。しかし収量は銅濃度の増大に伴い低下したことから、散布濃度は0.4%が適濃度と推定された。以上のことから、小麦に対する葉面散布は、土壌施用と同様にかんがりの効果が認められる。しかし、銅濃度が増大するにつれて顕著な葉害は認められていないが収量への影響が大きく、銅濃度は0.4%が有害限度と考えられる。この結果を第32表に示した。

表-31 銅の葉面散布に関する試験(胆沢郡金ヶ崎町 昭36)

区名	生育							収量(10a)		
	12月7日		4月4日		6月29日			全重(kg)	子実重(kg)	同左比率(%)
	草丈(cm)	茎数(本)	草丈(cm)	茎数(本)	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本)			
1. 無処理	19.0	232.3	11.9	178.3	46.9	6.8	53.5	163.5	39.0	2.9
2. 硫酸銅	19.3	207.8	11.8	176.0	70.5	8.5	83.3	385.5	136.5	100.0
3. 葉面散布0.2%(越冬直後)	18.9	215.5	12.1	169.5	67.6	8.2	70.3	388.5	136.5	100.0
4. " 0.4%(越冬直後)	19.3	178.3	12.0	181.5	67.4	8.4	69.8	414.0	141.0	103.3
5. " 0.4%(5月上旬)	20.6	244.3	12.6	189.8	54.9	7.9	56.8	235.5	78.0	57.2
6. " 0.4%(越冬前)	21.2	255.0	11.1	177.0	58.3	7.9	71.3	463.5	175.5	128.5
7. 4.4式ボルドー(越冬前)	19.5	263.3	11.8	197.0	63.9	8.1	71.0	363.0	121.5	89.0
8. 参考	19.3	233.3	10.9	162.3	60.2	7.9	63.5	207.0	52.5	38.5

備考 (1) 供試作物 小麦ナンブコムギ (2) 1区10m²2連 (3) 施肥量 N(硫安)9.5kg P₂O₅(過石)15.0kg K₂O(塩加)8.0kg (4)硫酸銅4kg/10a (5)葉面散布 硫酸銅各濃度区当り1ℓ散布 (6) 4.4式ボルドー 区当り1ℓ散布 (7) 参考サム3回散布(葉面散布剤として市販)1,000倍液 1ℓ

表-32 小麦に対する葉面散布の効果

昭39(10a)

区名	全重(kg)	指数(%)	稈重(kg)	子実重(kg)	指数(%)	1ℓ重(g)
1. 無散布	178.5	22	159.9	18.6	7	690
2. 硫酸銅液0.50%	816.0	100	545.4	270.6	100	747
3. " 0.20%	780.0	96	493.2	286.8	106	754
4. " 0.40%	759.0	93	475.5	283.5	105	759
5. " 0.60%	705.0	86	444.0	261.0	97	754
6. " 0.80%	720.0	88	455.0	265.0	98	753

(硫酸銅は越冬前後の2回散布 N=7.5+2.0 P₂O₅=15 K₂O=8)

4) 銅欠乏に対する大小麦の品種抵抗性

銅欠乏の発現性は畑作物のなかでは麦類が最も顕著であるが、それも品種により抵抗性が認められる。すなわち県北部の軽米町では銅欠乏と確認されるまでは原因不明の不稔とされており、対策として、被害の著しいナンブコムギから比較的被害の緩やかなキタカミコムギを栽培するようになった経緯があった。そこで大小麦の主要品種について検討を行った。

銅無施用では、どの品種も激甚な欠乏症状を示し、収量的には著しく低下する結果となった。銅欠乏に対する反応は品種により差異は認められ、小麦では、本県の主要品種であるナンブコムギが最も弱く、キタカミコムギは抵抗性はやや大と認められた。大麦ではショウキムギが最も強い結果を示した。従って銅添加による増収率は小麦ではナンブコムギ、大麦では岩手メンシュアリ2号、岩手大麦1号等であった。

表-33 供 試 条 件

区 名	施 肥 量				備 考
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	硫酸銅	
1. 硫酸銅添加	95 (75+20)	15.0	8.0	4.0	N=硫安 P ₂ O ₅ =過石 K ₂ O=塩加
2. 無 添 加	"	"	"	—	

表-34 銅欠乏抵抗性品種間差異に関する試験(昭36)

種 類	品 種 名	銅 添 加						無 添 加					
		生育(6月26日)			収 量			生育(6月26日)			収 量		
		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本	全重 kg	子実重 kg	比率 %	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本	全重 kg	子実重 kg	比率 %
小 麦	ナンブコムギ	80.5	9.2	113.5	564.0	216.0	100.0	65.4	8.6	78.0	240.0	52.5	100.0
	ヒツミコムギ	88.6	9.4	92.0	648.0	246.0	113.9	75.2	9.1	84.0	510.0	168.0	320.0
	キタカミコムギ	81.1	9.3	75.0	498.0	216.0	100.0	70.6	9.5	59.0	297.0	114.0	217.1
	農林27号	90.0	8.0	78.0	576.0	208.5	96.5	80.7	9.1	102.0	376.5	104.0	198.1
大 麦	会津2号	73.3	4.4	77.0	429.0	171.0	93.4	61.4	5.4	49.0	177.0	51.0	45.3
	岩手メンシュアリ2号	95.5	8.0	109.0	568.5	241.5	132.0	61.6	8.5	37.5	130.5	27.0	24.0
	岩手大麦1号	97.2	4.3	96.0	400.5	162.0	88.5	60.9	7.4	41.0	204.0	30.0	26.6
	細稈2号	92.7	7.3	95.0	919.5	387.0	211.5	74.5	7.2	83.0	315.0	85.5	76.0
	ショウキムギ	74.1	4.5	103.0	379.5	183.0	100.0	66.1	4.8	76.0	300.0	112.5	100.0
	会津7号	65.2	4.3	73.5	265.5	105.0	57.4	49.8	3.6	48.0	142.5	43.0	38.2

備考 (1) 1区10㎡ 2連 (2) 穂数 50cm間

5) 麦類以外の畑作物に対する銅の施用効果
大小麦以外の作物の銅欠乏に対する反応を検討した結果、えんばくは大小麦と同様

な欠乏症状を示し、銅施用効果は顕著に認められた。

表-35 えん麦に対する銅施用効果(胆沢郡胆沢村若柳土壌)

区名	8月6日			収量 g/pot					
	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本	全重	同左 比率	稈重	子実重	同左 比率	
1. 無処理	58.0	8.9	1.2	19.2	71.9	12.7	6.4	54.7	
2. 硫酸銅 0.15 g	76.3	10.9	1.0	26.7	100.0	14.2	11.7	100.0	
3. " 0.30 g	75.6	11.6	1.0	25.7	96.2	14.4	11.3	96.6	
4. " 0.45 g	69.4	12.1	1.0	27.5	103.0	15.0	12.3	105.1	
5. 硫酸銅+硫酸苦土	56.6	9.7	1.0	26.9	100.7	14.1	12.2	104.2	
6. 硫酸苦土	54.5	8.5	1.3	25.0	93.6	16.0	7.9	67.5	

備考 (1) 供試土壌 若柳土壌 (2) 供試品種 前進 (3) 5,000分の1ワグネルポット2連
 (4) 施肥量 N(硫酸) 0.5 g P₂O₅(過石) 1.0 g K₂O(塩加) 0.5 g (5) 硫酸苦土 30 g

なたねについては硼素との関連も含めて検討したが、現地においては硼素欠乏も見られており、本試験でも銅よりも硼素の影響が強く、生育および収量ともに硼素に支配される結果となった。一方銅は添加量の

増大につれて吸収量も増大するが、硼素のみの添加によっても銅の吸収が増加した。しかし銅については僅少ではあるが施用効果が認められた。これを第36表に示した。

表-36 なたねに対する銅施用効果(胆沢郡胆沢村若柳土壌 昭36)

区名	草丈 cm		成熟期			抽苔期 月日	開花期 月日	全重 g	稈重 g	総分枝 数本	子実重 g	同左 比率 %
	3月25日	5月2日	草丈 cm	第一次 分枝数	穂長 cm							
1. 無処理	6.9	31.3	62.3	9.0	17.0	3.28	5.3	25.6	19.5	14.0	0.8	38.1
2. 硫酸銅 0.30 g	14.8	57.2	72.5	15.3	9.8	26	1	27.3	21.0	18.3	2.1	100.0
3. " 0.40 g	15.5	57.8	79.0	14.0	21.5	26	1	35.8	22.6	22.3	7.0	333.5
4. " 0.50 g	15.3	60.8	85.5	15.0	12.8	25	4.28	42.8	25.7	28.0	9.3	443.0
5. 硼砂	24.0	83.2	91.5	15.7	25.8	25	26	57.7	24.7	16.7	22.1	1053.0
6. 硫酸銅+ 硼砂	22.0	80.0	89.0	15.3	28.2	25	25	55.3	24.0	16.3	20.3	967.0

備考 (1) 供試土壌 胆沢郡胆沢村若柳 (2) 供試品種 アブクマ (3) 試験規模 2,000分の1 ワグネルポット 3連
 (4) 施肥量 N(硫酸) 1.0 g P₂O₅(過石) K₂O(塩加) 1.0 g (5) 6区硫酸銅 0.3 g (6) 硼砂 0.065 g
 (7) 定植 11月4日

大豆に対する銅の施用効果は収量において認められたものの、生育期間中は無施用と比べて観察差はなく、無施用区でも欠乏

症状は認められなかった。銅添加の増大により増収の傾向を示した。これを第37表に示した。

表-37 大豆に対する銅施用効果(胆沢郡胆沢村若柳土壌 昭37)

区名	生育(7月17日)			収量(11月5日) g/pot						
	茎長 cm	節数	分枝数 本	茎長 cm	全重	同左 比率	稈重	子実重	同左 比率	
1. 無処理	41.5	8.0	1.5	65.5	44.5	74.2	15.3	17.1	71.2	
2. 硫酸銅 0.3 g	45.5	8.5	1.8	71.3	60.0	100.0	17.7	24.0	100.0	
3. " 0.6 g	42.3	8.3	1.5	69.5	61.0	101.6	17.5	27.3	113.7	
4. " 0.9 g	40.1	8.0	1.0	67.8	65.5	109.2	17.5	30.0	125.0	

備考 (1) 供試品種 ネマシラズ (2) 2万分の1ワグネルポット2連 (3) 供試土壌 胆沢郡胆沢村若柳 (4) 施肥量 N(硫酸) 0.3 g P₂O₅(過石) 2.0 g K₂O(塩加) 2.0 g

牧草（オーチャードグラス）に対する銅の施用効果（葉面散布）は殆んど認められず、むしろ収量は低下の傾向が認められた。これは散布濃度に関係なく一定量の散布による葉害の発生に起因するものと考えられたが葉害のおそれがある葉面散布よりもむしろ土壌施用による対策が期待できると考えられ2ヶ年の試験結果からも銅施用効果は認められた。しかし銅の無処理区でも銅欠乏症状の発生はなく、収量も2年目で効果はやや高く現われたものの、小麦ほどではなく有害限界量も麦類よりも高い水準にあり、6～8 kgの施用でも障害はないと推定された。しかし飼料作物の場合、収量性と同時に家畜の存在を無視できないので施

用量については持続性および牧草の吸収状況等さらに検討が必要である。これらの結果を第38～39表に示した。またオーチャード収穫物中の養分含有率の違いを第7図に示したが、硫酸銅無施用以外、硫酸銅の施用による含有率の上昇は顕著でなかった。

ともろこしは銅欠乏症状を示すことはないが銅施用により3～20%の増収効果が認められる。施用適量は4～8 kg/10aの範囲では施用増に伴い減収していることからさらに低い水準と考えられる。また条施よりも全面施用がより増収していることから施用適量は麦類よりは低い水準であることを示唆している。

表-38 牧草に対する施用効果、オーチャード乾草収量 (昭39) (kg/10a)

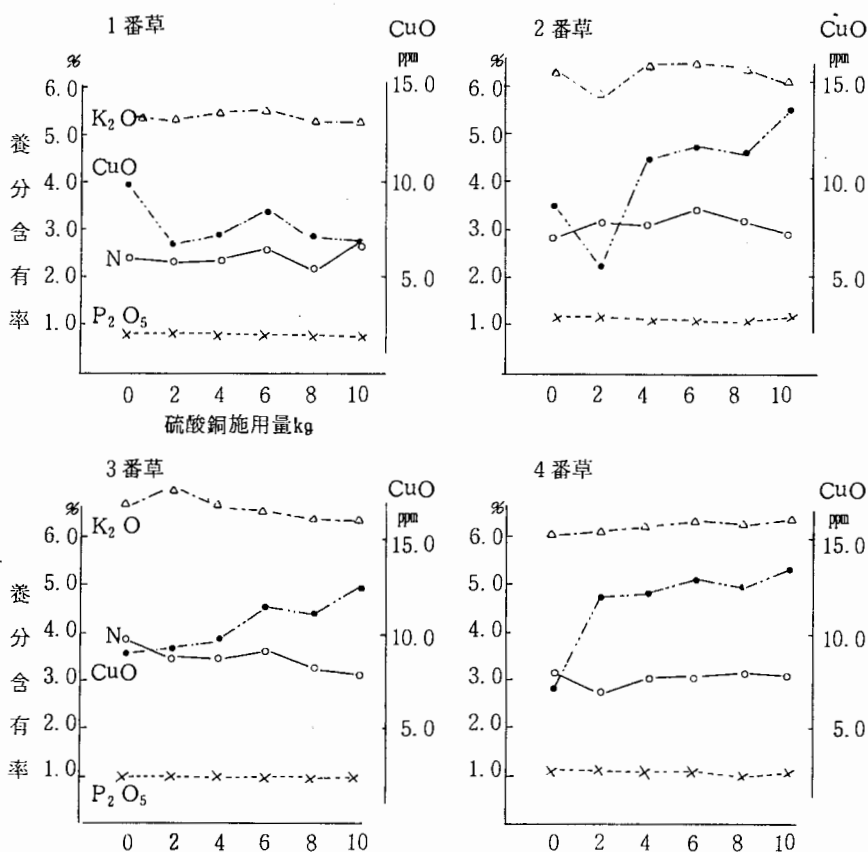
区名	1番草		2番草		3番草		4番草		合計	
	総重	指数	総重	指数	総重	指数	総重	指数	総重	指数
無処理	331	100	171	100	123	100	69	100	694	100
硫酸銅添加 2 kg	305	92	179	104	146	118	100	144	730	105
“ 4 kg	325	98	178	104	133	108	103	148	739	106
“ 6 kg	318	96	171	100	136	110	95	138	720	104
“ 8 kg	342	103	183	107	139	113	147	212	811	117
“ 10kg	311	94	184	107	144	116	139	201	778	112

備考：N = 8、P₂O₅ = 20、K₂O = 8

表-39 牧草に対する施用効果、オーチャード乾草収量 昭40 (kg/10a)

区名	1番草		2番草		3番草		4番草		合計	
	総重	指数	総重	指数	総重	指数	総重	指数	総重	指数
無処理	164	100	279	100	142	100	133	100	718	100
硫酸銅添加 2 kg	176	107	380	136	168	118	165	124	889	124
“ 4 kg	172	105	349	125	186	131	167	126	874	122
“ 6 kg	168	102	388	139	180	127	174	131	910	127
“ 8 kg	167	102	391	140	169	119	152	114	879	122
“ 10kg	146	89	386	138	175	123	134	101	841	117

千葉他：岩手県における微量元素欠乏に関する研究



第7図 オーチャード収穫物中三要素ならびに銅含有率

表-40 とうもろこしに対する銅の施用効果(昭41) 胆沢町堰袋、腐植質火山灰土壌

区名	収かく時		収量 kg/10a					
	稈長 cm	着雌穂 高 cm	全重	指数	稈重	指数	♀穂重	指数
無処理	249	112	3,509	100	2,408	100	1,100	100
硫酸銅全面4kg	251	117	4,259	121	3,067	127	1,192	108
“ 条施4kg	244	117	3,934	112	2,792	116	1,142	104
“ “ 6kg	246	118	3,800	108	2,683	111	1,117	102
“ “ 8kg	232	102	3,600	103	2,550	106	1,050	95

備考：品種、とうもろこし交1号、施肥量 N=5+5 P₂O₅=20 K₂O=10

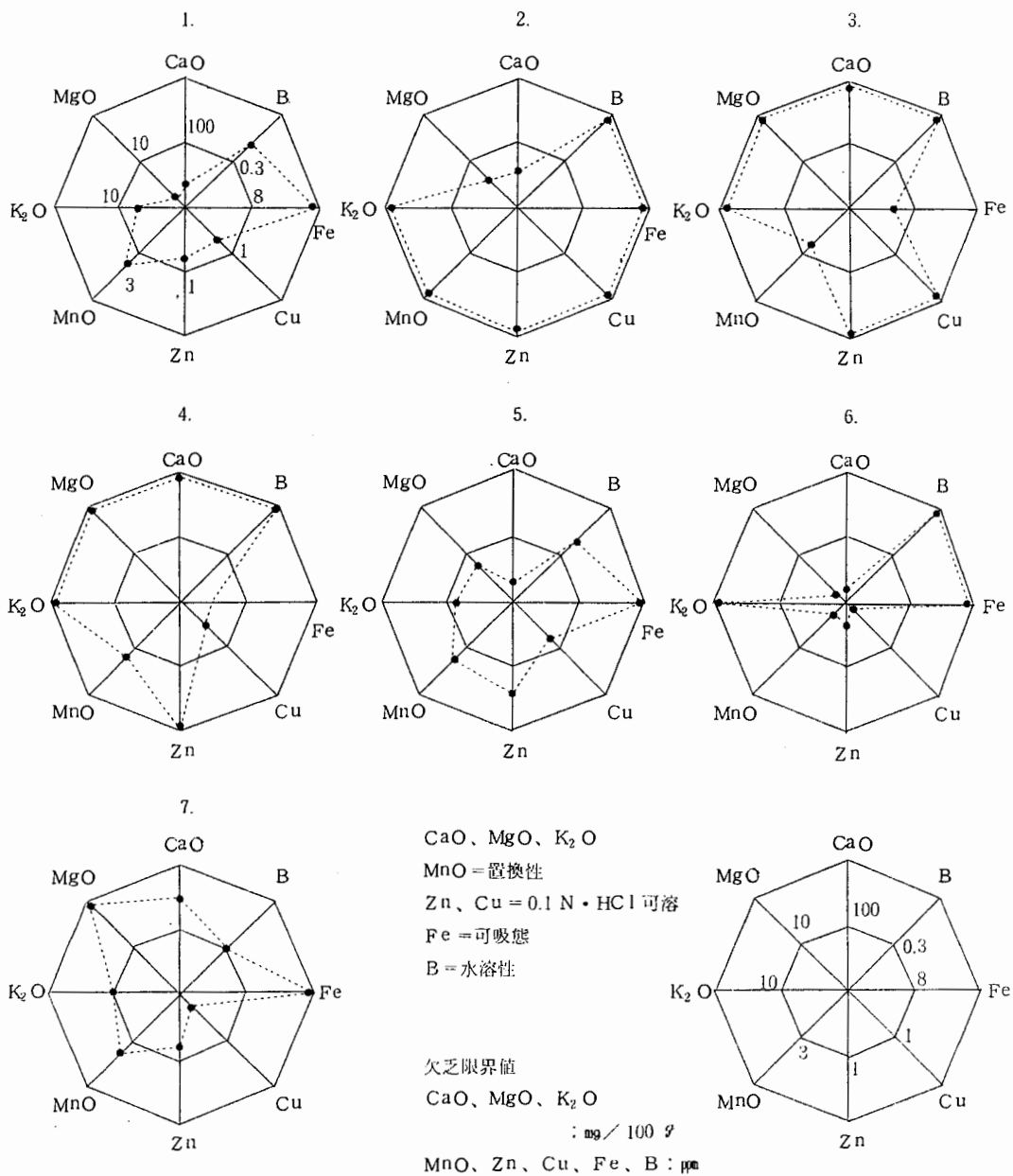
6) 他の微量元素との関連性

特定の微量元素欠乏土壌について他の微量元素も複合的に欠乏している場合が多い。県内で確認された微量元素欠乏土壌で複数の分析をすすめると数種の微量元素が欠乏水準にあることを認めた。たとえば遠野土壌ではカルシウム、マグネシウム、銅および亜鉛がいずれも欠乏水準にあり、胆沢の亜鉛欠乏土壌はカルシウム、マグネシウム、カリウムおよび銅が欠乏水準にあり、また同じ胆沢の銅欠乏土壌ではさらにマン

ガンおよび亜鉛が加わり欠乏水準であるというようになり複合的に欠乏していることが認められた。したがって、たまたま特定の微量元素欠乏が発生しやすい作物で明らかになった微量元素欠乏地帯も、実は他の作物が栽培されていれば別の微量元素欠乏地帯となるおそれがあり、その様な地帯が県内では広く分布していることが明らかである。とくに銅欠乏の認められる胆沢および軽米周辺では複合的に他要素の欠乏を来しやすいといえる。

表-41-a 各地における各種微量元素欠乏土壌分析値(昭和50年分析)

欠乏要素	項目	土壤採取地点	土 壤 型	pH		置換性塩基 (mg/100g)		
				H ₂ O	KCl	CaO	MgO	K ₂ O
1. Ca, Mg, Zn, Cu		遠野市附馬牛	腐植質火山灰(風積)	5.19	4.40	27	1	7
2. Ca, Mg		胆沢郡金ヶ崎町	" (洪積)	4.30	4.40	55	6	28
3. Mn, Fe		二戸郡安代町	" (風積)	6.33	5.50	658	59	37
4. Fe, Cu		陸前高田市福伏	古 成 層(石灰岩)	6.78	5.93	806	73	185
5. Ca, Mg, Cu		胆沢郡胆沢町	非腐植質火山灰(洪積)	5.41	4.39	24	8	9
6. Ca, Mg, Mn, Zn, Cu		" "	腐植質火山灰(風積)	5.01	4.30	19	1	56
7. Zn, Cu, B		九戸郡軽米町	" (")	5.83	4.51	146	29	10



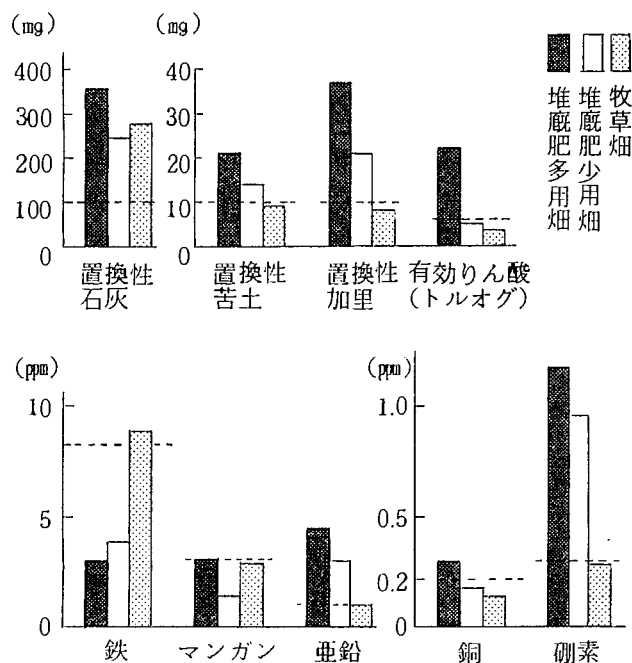
第8図 各要素含量模式図

表-41-b 微量元素等分析値

欠乏要素	微量元素 (ppm)					腐植 (%)	Truog P ₂ O ₅ (mg)	りん酸吸収係数
	MnO	Fe	Zn	Cu	B			
1. Ca, Mg, Zn, Cu	3.9	47.6	0.8	0.8	0.4	13.3	tr	2,040
2. Ca, Mg	14.1	25.4	3.6	3.5	1.0	9.8	17.8	1,200
3. Mn, Fe	2.6	6.7	10.5	5.4	0.9	13.1	56.0	1,060
4. Fe, Cu	3.3	3.8	8.7	0.5	1.4	6.9	71.2	540
5. Ca, Mg, Cu	4.0	137.6	1.4	0.8	0.4	2.0	tr	1,960
6. Ca, Mg, Mn, Zn, Cu	0.7	35.7	0.4	0.1	0.7	14.3	tr	2,020
7. Zn, Cu, B	4.0	33.8	0.8	0.2	0.3	14.5	tr	1,350

7) 銅の供給源としての堆厩肥の効果

粗大有機物の交換が古くから行われ、地区内の地力増強に努めている一部落（軽米町車門）について堆厩肥の効果を検討したところ堆厩肥施用の有無により微量元素含量の差が認められた。銅はすべて欠乏限界に近いが堆厩肥施用の有無による影響が認められ、銅欠乏地帯という条件下でも、堆厩肥の施用が銅を含む土壌の微量元素に影響していることが明らかである。



第9図 堆厩肥の施用による微量元素含量の変化(----- 欠乏限界値)

表-42 堆厩肥投入による微量元素への影響

区分	No.	微量元素 (ppm)				
		MnO	Fe	Zn	Cu	B
堆厩肥多用畑	1.	3.1	2.8	4.7	0.19	1.58
	2.	2.6	2.7	3.9	0.22	1.08
	3.	2.0	4.5	2.2	0.23	1.08
	6.	5.2	2.8	4.1	0.28	1.16
	7.	4.0	3.8	3.0	0.28	1.18
	9.	2.1	2.8	4.2	0.23	1.16
	10.	1.6	1.8	5.2	0.30	1.66
	12.	3.1	1.9	5.2	0.37	0.84
	13.	2.3	1.4	8.3	0.79	1.06
	14.	4.2	2.5	4.3	0.47	0.84
	19.	3.4	4.2	4.8	0.12	1.20
	23.	3.6	5.1	4.4	0.14	1.28
24.	2.9	2.9	4.8	0.14	0.88	
堆厩肥少用畑	4.	2.3	3.2	2.6	0.23	0.88
	5.	0.8	2.8	2.1	0.21	0.74
	8.	2.4	3.5	3.8	0.23	1.12
	11.	0.8	5.7	2.2	0.10	0.94
	20.	1.2	2.4	4.1	0.14	1.06
	21.	1.4	6.6	2.0	0.19	0.60
牧草畑	22.	1.2	2.9	4.0	0.19	0.70
	15.	0.7	6.4	0.6	0.10	0.04
	16.	2.5	8.7	1.3	0.21	0.30
	17.	3.9	7.9	1.6	0.10	0.50
18.	4.8	12.2	0.6	0.14	0.30	
多用畑平均		3.1	3.0	4.5	0.29	1.18
少用畑平均		1.4	3.9	3.0	0.18	0.86
牧草畑平均		3.0	8.8	1.0	0.14	0.29

考 察

岩手県における銅欠乏の発見は吾国で最初であり、その端緒は電話電線の下で麦の生育がきわだって旺盛であったことであった。これを契機に県内の麦を指標として欠乏土壌の探索の結果、その分布は県中南部の北上川西岸の2,000～4,000年前降下の焼石系火山灰台地と、青森県境の1,000～2,000年前降下の十和田系火山灰土壌の2つに大別される。そして分析の結果からは銅欠乏の主たる原因は、土壌中における銅含量の低いことであり、さらに欠乏症状発生土壌は軽しような火山灰土壌で腐植含量が多く、腐植と銅の結合がみられていることから、腐植による銅の固定がさらに欠乏を助長していると考えられる。ただしこの銅の固定は土壌間の差が大きく、腐植の質的な相違によって異なると考えられる。黒沢は銅欠乏発現の限界値を土壌中の全銅および1:10塩酸可溶銅と作物体中の銅含量は高い相関を示したことから0.1N塩酸可溶銅で1ppm、1:10塩酸可溶銅で15ppm、全銅で50ppmであるとした。しかし土壌の重金属等の分布調査により0.1N塩酸可溶銅の1ppmを限界値とするのは作物生育と合致しないことがわかり、各種溶媒を用いて検討の結果、0.2ppmが危険水準、0.1ppmで完全な欠乏水準と考えられた。ただし、可給態銅の適切な分析法はさらに検討を要する。

銅欠乏に対する対策は銅を補給することであるが麦類の場合は硫酸銅の4kg/10aで十分であり、牧草では6～8kg(オーチャードグラス)、とうもろこしは麦類よりも低く2～4kgが施用適量であった。またその持続性は3～4年あると考えられたが、輪作体系のなかで検討を要する。また場合によっては土壌中の蓄積も考慮する必要がある。葉面散布も効果が著しく銅の吸収量も多く効率も高いが、欠乏症状が発現してからでは効果がないので、早期の散布が必要である。また葉面散布の濃度は0.4%が適当であった。しかし牧草(オーチャードグラス)に対しては濃度に関係なく葉害が著しかったので作物毎の検討を要しよう。牧草に対しては土壌施用が効果的かつ安全であると考えられる。

麦類の品種間抵抗性が認められ、とくに主要

品種であるナンブコムギは弱く、キタカミコムギはやや強と判定された。品種を導入する際には他の要素も含めて土壌に対する考慮が必要であろう。

なたねに対しては銅よりも硼素の効果が著しく複合的な対策が必要である。また銅欠乏が認められている土壌は他の数種の要素欠乏のおそれが認められたことから要素間の相互関係を検討する必要がある。

銅欠乏地帯にあっても長期的に堆厩肥を連用することにより銅を含む微量元素に好影響を与えている事例があり、有機物施用が微量元素供給源ともなっていることが認められ、その重要性が再認識できる。

3. 亜鉛欠乏

(1) 亜鉛欠乏研究の経過

亜鉛の施用が作物に効果のあることは1912年、Javallier, M. によって報告されているが、緑色植物に必須のものであることが明らかにされたのは1926年、SommerとLipmanによって裸麦、大豆、大麦で得られたものである。その後Chandler, Hoagland, Hibbardは1931年に果樹の小葉病を亜鉛欠乏として明らかにしている。

我国においては1933年田中¹⁾が静岡県下で柑きつの亜鉛欠乏を明らかにしたのを初めとし、その後和歌山、愛知、広島等の諸県の柑きつ類に亜鉛欠乏が発生することが認められた。また水耕栽培による水稻の亜鉛欠乏症については藤原、堤²⁾および石塚、田中³⁾の詳細な報告がある。しかし普通畑作物での亜鉛欠乏の発生例は極めて少ない。

岩手県では県南の奥羽山系寄りの台地およびこれに続く小起伏丘陵地帯の畑地で、水稻の赤枯れ症状とも見られる生育障害が発生し、土壌分析及び栽培試験を実施した結果、亜鉛欠乏であることが明らかになった。

(2) 生体内中における亜鉛の機能⁴⁾

亜鉛は植物細胞の酸化反応において触媒

として作用し、炭水化物の転流を活性化し、糖の消費を調節し、さらに葉緑素生成のエネルギー源を増加させ、生長促進物質のオーキシンの生成を助ける。また水の吸収を促進させ、植物がしおれるのを防ぎ、さらに炭酸脱水素酵素の成分として働き、これは炭酸を CO_2 と H_2O に逆分解するのに必要であり、またアミノ酸の一種であるトリプトファンの生成に必要である。亜鉛はインドール酢酸ホルモンの生成過程に含まれる。

色々の植物の亜鉛含量は種類によって大きな巾がある。Thaterによれば亜鉛と銅は酸化還元反応において一緒になって働く触媒と考えられ、これは水素の転移を含む化学反応に特異的に関係している。亜鉛自身は原子価が変化しないので、これは多分間接的に酸化反応に関与していると思われる。

(3) 亜鉛欠乏の症状

亜鉛欠乏は国外でも果樹その他に起き易いことが報告されており、その名称も、例えばピーカンの叢生 (Pecan Rosette)、落葉果樹の小葉病 (Little leaf) かんきつ類の斑葉病 (Mottle Leaf) しなあぶらぎりの青銅色化 (Bronzing) とうもろこしの白芽症 (White Bud) 等色々の呼び名がつけられている。そしてこれらの呼び名のように欠乏症状は各作物によって様々の形をとって現われてくる。しかし岩手県下で見られた欠乏症発現作物は陸稲 (畑稲) ととうもろこしの2作物であった⁵⁾。

岩手県胆沢郡下に見られた生育の異常な陸稲の症状は、一見水稻の赤枯れ症状に似ているが、葉身に発生する紫色の斑点は特異的であり、また、斑点の出現時期やその程度は、品種によって非常に差が見られる。共通的な症状としては、はじめ葉身の中肋部附近が褪色し、草丈の伸びが悪くなり、さらに症状が進むと、茎と葉身との角度が大きくなり、全体として開張した形になる。アントチアの発生し易い品種では、4—5葉期頃から斑点が現われはじめ、下位葉

のつけね附近から次第に上位葉にも発生し、激しい場合には出穂期頃には斑点ではなく、葉全体を紫色に塗りつぶしたようになる。欠乏程度が軽い場合には出穂期以後に中肋の一部のみが紫色を呈する場合もある。欠乏が激しい場合は生育も極端におくれ、激しい場合はかろうじて出穂するにとどまる場合もある。

とうもろこしの場合には草型の変化は畑稲ほど明確でなく、症状は主として葉色に現われる。しかし、症状の品種間差は少ない。胆沢地方で見られたものは、3葉期頃から葉の中位から淡く黄白色になり、生育が進むにしたがって殆ど白色になる。この白色部は明確な輪郭がなく健全部へ漸変するが、葉全体が淡い感じを受ける。発生葉位は下葉位からとは限らず、中葉位から目立ってくる場合もある。

(4) 亜鉛欠乏土壌の性格と分布

亜鉛欠乏の発生要因としては、土壌の母材に亜鉛の少ない場合や、土壌有機物による固定、高pH土壌、粘土鉱物による固定、燐酸の多用等が報告されている。土壌中の全亜鉛と亜鉛欠乏との関係について、山添⁷⁾らが主として岩手県下の土壌について分析した結果、両者の間には相関は認められないとしている。

A. 亜鉛欠乏発生地点の土壌⁸⁾

胆沢郡下で見られた亜鉛欠乏は、同一圃場内でも欠乏症状の軽重にかなりの差があるので、同一圃場における欠乏症状の違いによる土壌の化学性を比較したのが表—1である。胆沢地方の調査地4地点はいずれも火山灰性であるが、高野原と堰袋土壌は水の影響を受けている。比較の砂込土壌は岩手火山灰土壌である。

0.1 N—HCl可溶亜鉛は、症状が激しい土壌で少ない傾向であるが、必ずしも並行していない。同一地点での軽症部と比較すれば例外なく後者が低いが、その差は少ない場合もある。ここでは0.1 N—HCl可溶亜鉛の1 ppm以下ではほぼ亜鉛欠乏症発生の

表-1 亜鉛欠乏症状の軽重と土壤の化学性

地名	植物体 (8月23日)		土 壤										
	症状 の 程度	わら中 亜鉛Zn (ppm)	腐植 (%)	土性	pH		置換性塩基 (mg)			石 灰 飽和度 (%)	磷 酸 吸 収 係 数	易還元 性マン ガンMn (ppm)	0.1 N-HCl 可溶亜鉛 Zn (ppm)
					H ₂ O	KCl	CaO	MgO	K ₂ O				
胆 沢 町	+	7.4	8.8	LiC	6.1	5.0	222	27	24	30	1,800	140	0.75
横 沢 原	+++	5.4	9.6	LiC	6.6	5.8	437	35	28	57	1,700	119	0.31
“	—	25.0	7.2	S C	6.1	5.0	206	22	21	31	1,020	108	3.00
堰 袋	++	6.8	6.8	S C	7.0	6.3	408	33	30	71	1,120	72	0.89
金ヶ崎町	—	18.3	11.6	LiC	5.4	4.5	84	21	23	13	1,900	414	1.07
高 野 原	++	8.8	12.4	C L	6.1	4.9	179	21	31	25	2,100	450	0.80
“	+	14.0	8.8	LiC	5.9	5.0	286	65	25	37	1,460	420	0.82
野 崎	++	8.9	7.6	LiC	5.8	4.8	238	57	38	33	1,580	334	0.74
滝 沢 村 (比 砂 込)	—	24.2	12.2	L	6.1	5.0	232	48	21	35	2,300	119	2.40

注) 0.1 N-HCl可溶亜鉛; 土壤: 浸出液比を1:4とし15分間振とう後、沝液について原子吸光分析

危険性があると見られる。

亜鉛以外では、重症部分はpHが高く、石灰に富む場合が多いが、野崎では逆転している。腐植については一定の傾向は認められない。易還元性マンガンは、重症の方がむしろ少ない場合が多く、マンガンの拮抗作用に原因を求めることはできない。

胆沢地方は、未耕地土壤ではほぼpH(H₂O) 4.8~5.0の強酸性土壤地帯であり、畑稲でも石灰を施用しなければ正常な生育をしないことが多いが、この調査地点では、欠乏症状の激しい部分は散布むらのため多量の石灰が投入されたところと見られ、石灰の過用も原因の一つになっているものと推察される。

B. 土壤 pH との関係

土壤pHと亜鉛の施用量との関係を明らかにするため、現地試験を実施した。

試験地は、腐植質火山灰土壤の上宮沢原試験地と、開畑の際に表層の腐植層はぎとられた横沢原の2試験地とした。

① 上宮沢原試験地⁹⁾ (昭44)

試験場所 胆沢郡胆沢町上宮沢原

試験規模 1区 m² 2連制

供試作物 陸稲(農林2号)

供試土壤 腐植質火山灰土壤

土壤の理化学性

土壤の理化学性を表-2に示した。

施肥設計

共通施肥量(10a当り)

炭カル pH5.6系列……400kg

pH6.3系列……800kg

注) pHはいずれもpH(H₂O)を示す。

N、P₂O₅、K₂Oそれぞれ7、14、7kg

試験成績

試験成績を表-3~4に示した。

考察

無石灰系列は全般に生育が良く、亜鉛の施用効果も高い。これに対し石灰の施用区は少量系列(pH5.6)でも亜鉛の施用効果は認められない。

収穫物の亜鉛含量は、石灰無施用系列では亜鉛の施用によって葉中の亜鉛濃度は著しく高まるが、石灰を増すほど濃度の上昇は僅少になり、亜鉛の吸収は抑制されている。したがって、高pH土壤に

表-2 土壌の理化学性

層位	土性	pH		腐植 (%)	置換性塩基 (mg)			塩基置換容量 (me)	石灰飽和度 (%)	磷酸係	0.1N-HCl 可溶亜鉛 Zn (ppm)
		H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O				
0~14 ^{cm}	LiC	5.1	4.3	14.8	54	14	13	32.2	6	2.020	0.83
14~25	LiC	5.2	4.3	9.9	25	5	9	28.9	3	2.290	0.04
25~	LiC	5.2	4.5	2.0	49	27	6	19.6	9	2.060	0.66

表-3 陸稲の生育・収量成績

区名	収穫時			収量 (kg/10a)			
	稈長 (cm)	穂長 (cm)	50cm間数 指(本)	葉重	籾重	玄米重	同佐指数
1 pH 5.1 Zn 0	66	16.7	83	237	264	209	89
2 " " 0.50	68	17.3	90	265	287	229	97
3 " " 0.75	71	16.8	71	284	332	262	111
4 " " 1.00	70	17.0	88	315	355	277	117
5 pH 5.6 " 0	67	16.5	76	271	305	245	104
6 " " 0.75	66	17.3	87	273	291	232	98
7 " " 1.00	70	17.0	81	275	295	236	(100)
8 " " 1.25	67	16.9	77	225	262	212	90
9 pH 6.3 " 0	62	16.9	70	234	262	211	90
10 " " 1.00	64	16.9	79	223	253	203	85
11 " " 1.25	66	17.1	76	252	285	230	97
12 " " 1.50	67	17.3	67	242	274	218	92

表-4 作物体および跡地土壌分析

区名	葉 (%)					穂 (%)					跡地土壌 0.1N-HCl 可溶亜鉛 Zn (ppm)
	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	
1 pH 5.1 Zn 0	7.40	1.02	0.16	1.97	15.4	7.41	1.42	0.74	1.82	21.6	1.1
2 " " 0.50	6.62	0.81	0.14	1.86	20.1	6.12	1.35	0.70	1.58	25.2	1.9
3 " " 0.75	6.14	0.79	0.14	2.00	47.9	5.27	1.32	0.66	1.53	30.1	3.2
4 " " 1.00	6.40	0.79	0.15	2.11	59.3	5.90	1.32	0.77	1.66	33.5	3.5
5 pH 5.6 " 0	7.66	1.02	0.17	2.28	10.3	6.37	1.52	0.82	1.77	17.4	0.8
6 " " 0.75	6.49	0.95	0.17	2.14	16.1	4.54	1.52	0.74	1.55	24.7	3.3
7 " " 1.00	5.65	0.81	0.15	2.12	24.8	4.77	1.48	0.68	1.42	22.3	4.4
8 " " 1.25	5.91	0.84	0.19	2.28	36.7	4.80	1.46	0.77	1.54	30.0	3.6
9 pH 6.3 " 0	6.23	1.03	0.19	2.02	11.5	5.41	1.44	0.78	1.70	19.7	0.9
10 " " 1.00	6.29	1.40	0.17	2.18	19.7	4.34	1.44	0.71	1.43	25.5	3.2
11 " " 1.25	6.40	1.48	0.20	2.28	17.3	4.33	1.46	0.69	1.30	25.1	3.3
12 " " 1.50	6.26	0.92	0.17	2.34	28.0	4.38	1.39	0.71	1.42	29.8	5.8

において収穫物の亜鉛濃度を低pH土壌のそれなみに高めるためには、亜鉛資材のかなりの増量が必要である。ただこの試験では、石灰施用系列においては、亜鉛の施用量を増して収穫物の亜鉛濃度を高めても収穫増にはなっていない。したがって収量を規制しているのはもはやpHと亜鉛の施用量との関係ではなく、pHそれ自身か亜鉛以外の要素との関連であると考えられる。本試験では検討を加えなかったが、高pHでは鉄欠乏、マンガン欠乏が出やすいことは他の試験で明らかにされている。

跡地土壌中の0.1N-HCl可溶亜鉛は回収率がやや低く、施用量の1/3~1/4程度である。また抽出量は主として亜鉛の施用量に影響され、石灰の施用量にあまり

影響されない傾向が認められ、作物による吸収とはかなり異なることが認められる。

② 横沢原試験地¹⁰⁾ (昭44)

試験場所 胆沢郡胆沢町横沢原

供試作物 陸稲 (農林22号)

供試土壌 腐植に乏しい火山灰土壌
土壌の理化学性

土壌の理化学性を表一5に示した。

施肥設計

共通施肥量 (10a当り)

N、9 + 3 kg、P₂O₅、18kg、

K₂O、9 kg、MgO、10kg

炭カル、pH5.6系列……250kg

pH6.3系列……500kg

試験成績

試験成績を表一6~7に示した。

表一5 土壌の化学性

層厚 (cm)	粒径 組成	pH		腐植 (%)	置換性塩基 (mg%)			CEC (me)	石灰飽和度 (%)	磷酸吸収係数	0.1N-HCl 可溶 Zn (ppm)
		H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O				
0~12	LiC	4.9	4.0	3.2	12	13	7	19.1	2	1,950	0.38
12~	LiC	5.1	4.1	1.4	12	22	11	17.7	2	1,720	0.44

表一6 陸稲の生育・収量成績

区名	収穫時			収量 (kg/10a)			
	稈長 (cm)	穂長 (cm)	50cm間 穂数 (本)	葉重	籾重	玄米重	玄米重 指数
1 pH 4.9 Zn 0	50	15.4	60	125	70	43	25
2 " " 0.50	51	15.7	53	185	110	74	44
3 " " 0.75	52	15.7	53	140	85	56	33
4 " " 1.00	55	15.6	51	160	116	80	47
5 pH 5.6 " 0	50	15.0	66	204	135	93	55
6 " " 0.75	60	16.4	72	248	222	158	93
7 " " 1.00	62	16.6	76	244	239	170	(100)
8 " " 1.25	55	16.0	62	192	168	118	70
9 pH 6.3 " 0	53	14.4	64	171	99	70	41
10 " " 1.00	58	15.7	71	219	168	121	71
11 " " 1.25	57	15.7	61	192	170	127	74
12 " " 1.50	58	15.6	53	190	178	132	78

表-7 作物体および跡地土壌分析

区名	薬 (%)					穂 (%)					跡地土壌 0.1N-HCl 可溶亜鉛 Zn (ppm)
	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	SiO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	
1 pH 4.9 Zn 0	7.36	1.26	0.26	2.03	9.4	7.52	1.49	0.61	1.16	21.0	0.3
2 " " 0.50	7.37	1.06	0.20	2.04	19.4	10.14	1.47	0.61	2.04	24.6	2.1
3 " " 0.75	7.93	1.23	0.15	1.93	20.9	8.24	1.45	0.55	1.67	25.6	3.6
4 " " 1.00	8.15	1.23	0.14	1.96	46.9	8.90	1.42	0.59	1.76	29.2	7.1
5 pH 5.6 " 0	7.93	1.65	0.29	1.97	9.2	8.85	1.61	0.61	1.77	21.2	0.9
6 " " 0.75	7.10	1.01	0.11	1.94	16.9	7.56	1.37	0.53	1.55	24.0	3.2
7 " " 1.00	8.71	0.93	0.11	1.93	19.6	6.63	1.47	0.49	1.63	26.2	3.3
8 " " 1.25	7.75	1.22	0.12	1.88	36.1	9.74	1.36	0.51	1.88	28.0	5.8
9 pH 6.3 " 0	8.40	1.56	0.21	1.90	9.0	10.41	1.61	0.63	1.92	18.1	0.9
10 " " 1.00	7.35	1.10	0.13	1.98	13.0	6.63	1.48	0.49	1.51	19.2	3.5
11 " " 1.25	8.33	1.10	0.10	1.81	11.7	8.58	1.39	0.55	1.70	22.4	4.2
12 " " 1.50	8.06	1.11	0.11	1.82	18.5	5.51	1.44	0.59	1.46	33.2	8.5

考察

本試験地は、新墾地であり、極めてせき薄な土壌である。したがって、無石灰系列は生育が極めて悪く、亜鉛を施用しても収量の増加は少ない。亜鉛無施用区には、いずれも欠乏症がみられるが、無石灰区は軽く、石灰施用の2系列は激しい。pH5.6系列では亜鉛の効果が顕著であり、1kg施用区が最も多収である。石灰多用系列は亜鉛の施用量が多いほど増収したが、その差はわずかであり全般にpH5.6系列より収量水準は低い。

収穫物の分析結果も、石灰を多用するほど生体中の亜鉛の濃度は低く、三要素は亜鉛無施用区の濃度が高い傾向が見られ、作物体の生育が順調に行われていない事を示している。

まとめ

2試験地を総合すると、横沢原のような極端な塩基欠乏土壌では、亜鉛よりも石灰、苦土の不足のために生育が抑制されるが、畑稲の場合は石灰の施用量は比較的少量でよく、pH5.1~5.5附近が良好である。

石灰が適量の場合は亜鉛の効果は顕著であり、施用量は1kgが適量である。石灰過用の場合は亜鉛の吸収は阻害され、そのため植物体中の亜鉛濃度を低下させないためには多用しなければならないが、多用すれば生体中の濃度は高まっても作物の収量はあまり増加しない。結局、石灰多用の場合に多くみられる激しい亜鉛欠乏に対しては、亜鉛を多用するのではなく、土壌反応の適正化が重要であり、亜鉛の施用は1kgで一応充分であると考えられる。

横沢原試験地¹¹⁾ (昭45)

とうもろこしにも亜鉛欠乏が発生していることが判明したが、とうもろこしは畑稲と異なり最適pHが比較的高い作物であるから、土壌の面からは亜鉛欠乏をおこしやすい条件で栽培することが考えられる。そこで、横沢原試験地の陸稲の跡地を利用して、石灰をさらに添加し試験を実施した。

栽培法の概要

供試作物 とうもろこし (イエローデントコーン)

共通施肥量 (10a当り)

N、7 + 3 kg、P₂O₅、15kg、K₂O、
6.5kg
炭カル、pH6.0……250kg
(前作) + 150kg
pH7.0……500kg
(前作) + 300kg

注) pHはいずれもpH
(H₂O) を示す。

試験成績

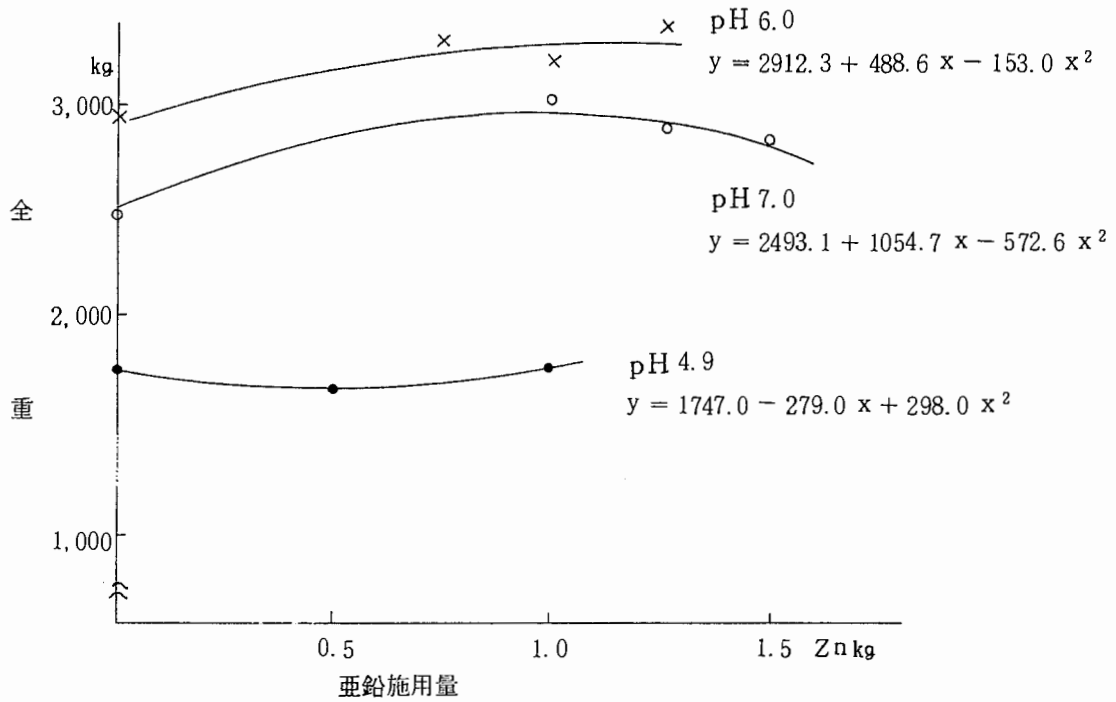
試験成績を表—8~9及び図—1~
2に示した。

表—8 生育・収量成績

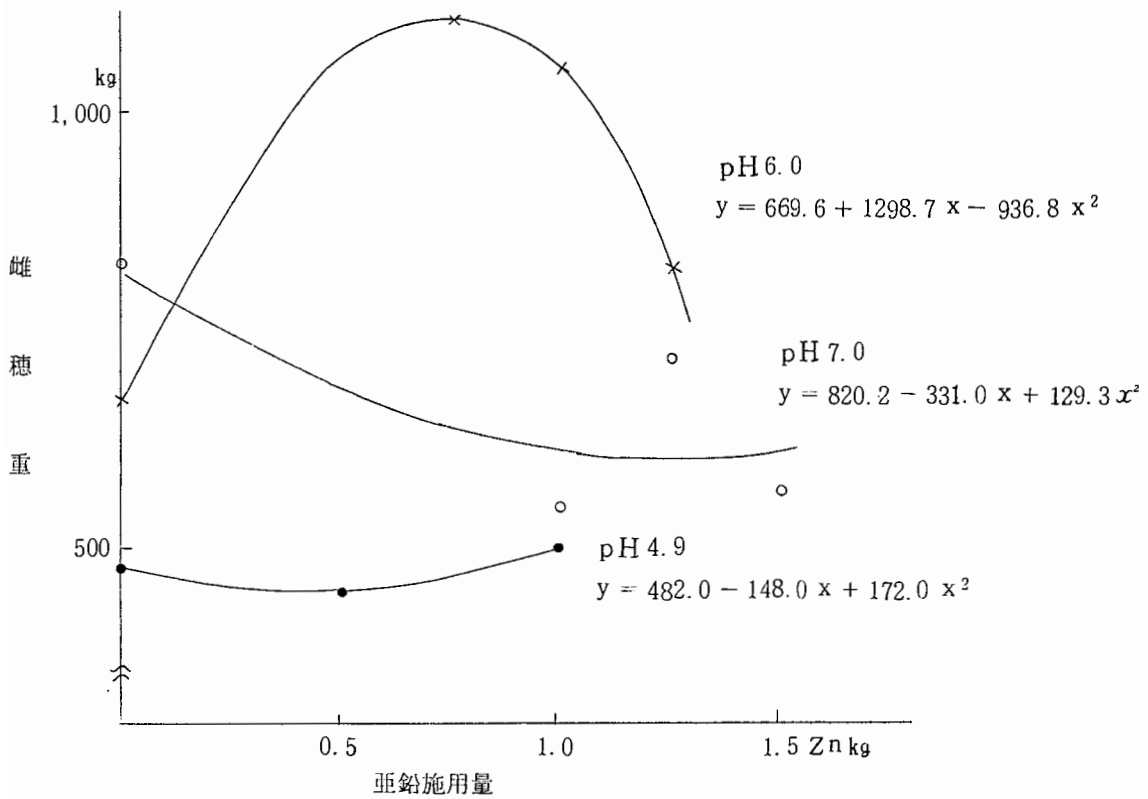
区名	稈長 (cm)	収量 (kg/10a)				全重指数	亜鉛 欠乏症
		全量	葉量	茎重	雌穂重		
1 pH 4.9 Zn 0	155	1,747	271	999	482	55	+ +
2 " " 0.50	161	1,682	261	971	451	53	-
3 " " 1.00	158	1,766	259	1,004	506	56	-
4 pH 6.0 Zn 0	202	2,907	452	1,785	671	92	+ +
5 " " 0.75	221	3,246	411	1,733	1,103	102	-
6 " " 1.00	209	3,168	462	1,654	1,052	(100)	-
7 " " 1.25	219	3,316	498	1,998	821	104	-
8 pH 7.0 Zn 0	207	2,491	346	1,320	825	79	+ +
9 " " 1.00	215	3,007	491	1,970	547	95	-
10 " " 1.25	210	2,866	444	1,800	723	91	-
11 " " 1.50	203	2,808	451	1,700	567	89	-

表—9 作物体分析

区名	葉身 (%)				茎 (%)				雌穂 (%)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn (ppm)
1 pH 4.9 Zn, 0	1.19	0.30	1.35	8.6	0.56	0.15	0.52	4.6	1.41	0.60	0.84	14.5
2 " " 0.50	1.37	0.36	1.54	12.5	0.45	0.16	0.54	6.0	1.29	0.59	1.02	16.8
3 " " 1.00	1.25	0.28	1.38	14.8	0.38	0.16	0.56	7.6	1.21	0.56	0.87	19.7
4 pH 6.0 Zn, 0	1.21	0.37	1.51	10.5	0.38	0.24	0.72	3.6	1.17	0.55	0.73	15.1
5 " " 0.75	0.96	0.23	1.41	9.9	0.18	0.09	0.64	3.6	1.05	0.48	0.69	13.5
6 " " 1.00	1.21	0.28	1.74	9.2	0.22	0.08	0.80	4.8	0.84	0.35	0.75	14.8
7 " " 1.25	1.25	0.28	1.51	10.2	0.36	0.14	0.81	6.4	1.05	0.50	0.72	17.4
8 pH 7.0 Zn, 0	1.69	0.64	1.48	11.5	0.50	0.27	0.78	3.6	1.29	0.67	0.84	11.8
9 " " 1.00	1.33	0.38	1.48	11.5	0.40	0.16	0.79	3.6	1.29	0.58	0.88	16.4
10 " " 1.25	1.09	0.27	1.42	10.9	0.18	0.12	0.82	4.4	1.25	0.51	0.77	16.3
11 " " 1.50	1.21	0.30	1.38	11.5	0.24	0.16	0.81	4.7	1.21	0.50	0.78	20.4



図一 亜鉛施用量ととうもろこし収量(全重)



図二 亜鉛施用量ととうもろこし収量(雌穂重)

考察

亜鉛無施用区はいずれも明瞭な亜鉛欠乏が発生しているが、症状の程度は炭カルド量はあまり影響されない。無石灰系列の生育は極めて不良であり亜鉛の施用によって欠乏症状は発生しなくなるが、その場合でも生育はほとんど良くならない。pH 6.0系列は全般に生育が良く、亜鉛の効果も認められる。しかし施用適量は畑稲より少なくてよいようであり、0.75kgですでに横這いの段階である。pH7.0系列はpH 6.0系列よりも収量水準は多少低下し、亜鉛の効果も認められるが、1kgかそれ以下で充分である。

収穫物の分析では、無石灰系列は亜鉛の施用量の増加とともに各部位とも亜鉛濃度が高まっている。pH6.0及び7.0系列でも茎および雌穂で低率ながら上昇しているが、葉身ではほとんど変化がない。pH6.0および7.0系列においては、亜鉛無施用区でもかなりの生育量が得られているが、生体中の窒素およびリン酸の濃度は高く、異常な生育であることがうかがわれる。しかし両系列とも亜鉛の最高施用量では窒素、リン酸は明らかに上昇しており、過剰障害もまた出やすいのではないかと考えられる。

(5) 亜鉛欠乏対策

(施用亜鉛の形態および施用量に関する試験)

亜鉛欠乏発生の原因は、土壌中の亜鉛含量そのものの不足のほかに、粘土鉱物、あるいは腐植による固定も考えられるので、亜鉛の形態をかえて現地対策試験を実施した。

堰袋試験地¹²⁾(昭43)

試験場所 胆沢郡胆沢町堰袋

供試土壌 腐植質洪積層土壌

土壌の理化学性

土壌の理化学性を表一10に示した。

供試作物 陸稲(農林22号)

施肥設計

共通肥料(10a当り)

N、P₂O₅、K₂Oそれぞれ7、14、7kg

微量元素資材

W-Zn; ZnSO₄·7H₂O

(水溶性亜鉛)

C-Zn; Zn(OH)₂

(く溶性亜鉛)

CL-Zn; EDTA-Zn

肥料は全面施用、ロータリー耕

試験成績

試験成績を表一11及び図3~5に示した。

考察

亜鉛欠乏症状は軽症であるが、7月中旬から亜鉛無施用区に認められ、その後次第に生育の遅れが目立ち、出穂も2~3日遅延している。亜鉛施用により若干の収量増が見られているが、施用量や形態による差は明瞭でない。

収穫物中の亜鉛濃度は亜鉛の施用によって著しく高まり、跡地土壌の0.1N一塩酸可溶亜鉛は、施用量から計算される推定量に近く、施用亜鉛の大部分が0.1N一塩酸可溶部分として保たれていると見なし得る。

表一10 土壌の理化学性

層厚 (cm)	土性	pH		腐植 (%)	置換性塩基(mg)			塩基置換容量 (me)	石灰飽和度 (%)	磷酸吸収係数	0.1N-HCl 可溶亜鉛 Zn(μm)	仮比重
		H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O					
0~15	S C	6.2	4.8	10.0	287	20	23	23.4	44	1,500	0.80	0.93
15~37	S C	5.2	4.2	9.2	23	13	12	25.9	3	2,000	0.60	0.77
37~67	SCL	5.2	4.2	2.0	28	7	18	15.7	6	1,590	0.90	0.89
67~	SCL	5.2	4.2	1.6	111	27	7	17.6	23	990	0.74	1.06

表-11 収量成績、作物体分析および跡地土壌分析

区名	収量(kg/10a)			玄米重 指数	収穫物中亜鉛 Zn(ppm)				跡地土壌 0.1N-HCl 可溶 Zn (ppm)
	葉重	籾重	玄米重		7月 茎葉	8月 茎葉	収穫時		
							葉	籾	
1. Zn 無添加	345	294	232	84	28	12	12	16	2
2. W - Zn 1kg	461	350	278	100	38	28	35	24	9
3. " 2	498	360	282	102	66	49	48	28	21
4. " 4	528	383	301	108	147	126	124	36	51
5. " 6	544	356	279	100	162	212	178	38	68
6. C - Zn 1	447	367	299	108	32	28	26	27	10
7. " 4	466	354	281	101	45	43	34	28	35
8. CL - Zn 1	478	350	278	100	32	28	22	23	4

注) W - Zn : 水溶性亜鉛 (硫酸亜鉛)
 C - Zn : 可溶性亜鉛 (水酸化亜鉛)
 CL - Zn : キレート亜鉛 (亜鉛 EDTA)

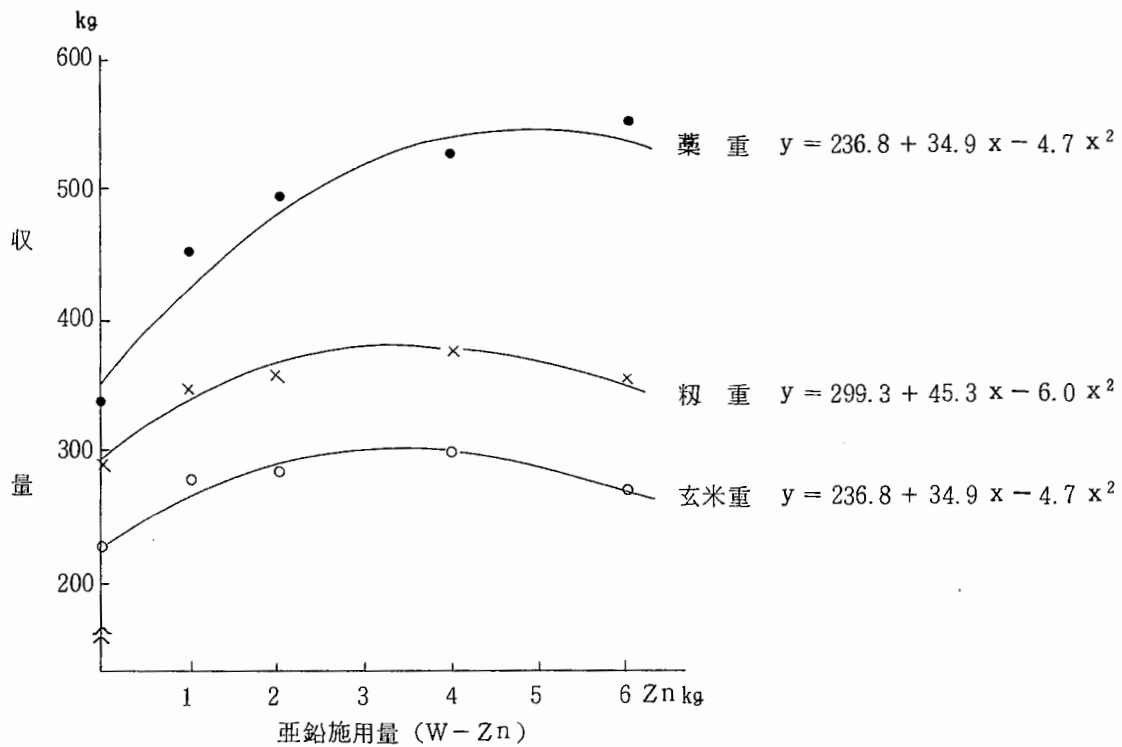
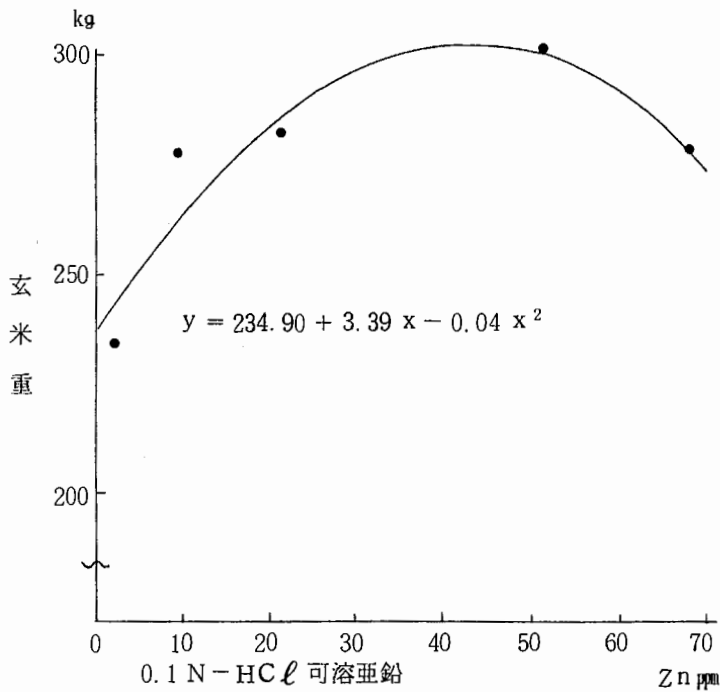
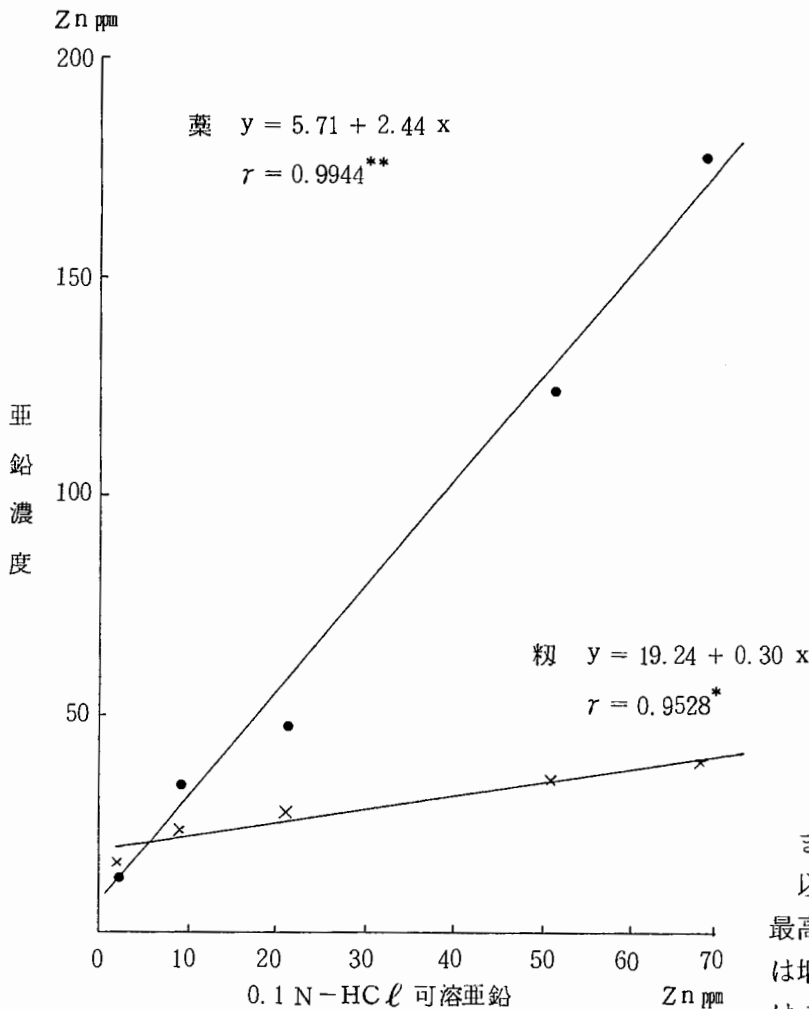


図-3 亜鉛施用量と陸稲収量



図一 4 可給態亜鉛と玄米収量



図一 5 可給態亜鉛と作物体亜鉛濃度

横沢原試験地¹³⁾ (昭43)

試験場所 胆沢郡胆沢町横沢原
試験地の土壌 腐植質火山灰土壌
土壌の理化学性

土壌の理化学性を表一12に示した。

栽培法の概要

肥料を条施した以外は堰袋試験地に同じ。

試験成績

試験成績を表一13及び図一6～8に示した。

考察

この試験地は機械開墾によって表土を除去した圃場であり、前年亜鉛欠乏の発生を確認している。地力が極めて低く、また早魃のために全般に収量水準が低くなったが、亜鉛無施用区には激しい欠乏症がみられ、亜鉛施用区でも施肥溝から離れた部分では生育初期に明確な欠乏症状が観察されている。硫酸亜鉛系列ではZnとして1kgの施用で収量は大幅に増収したが、2kg以上では1kgよりもむしろ減収している。したがってこの試験地の場合には1kg以下でも必要量は充たされたかもしれない。しかし、施用量がもっとも多い6kgでも肉眼的には過剰障害は認められていない。水酸化亜鉛の場合は4kg施用の方が多収である。

収穫物中の亜鉛濃度は、堰袋試験地に比べると、亜鉛施用による濃度の高まりは大きくなっている。

まとめ

以上両試験地の結果を総合すると、最高収量をあげたのは、水溶性系列では堰袋ではZnとして4kg、横沢原では1kgである。水酸化亜鉛は吸収率がかなり劣るようであり、EDTA-Zn

表-12 土壌の理化学性

層厚 (cm)	土性	pH		腐植 (%)	置換性塩基 (mg)			塩基置換容量 (me)	石灰飽和度 (%)	磷酸吸収係	0.1N-HCl 可溶亜鉛 Zn (ppm)	仮比重
		H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O					
0~14	LiC	5.0	4.3	9.2	32	13	17	26.2	4	2.040	0.79	0.77
14~	S C	4.8	4.2	1.6	19	7	9	19.7	3	1.880	0.95	0.89

表-13 収量成績、作物体分析および跡地土壌分析

区名	収量 (kg/10a)			玄米重 指数	収穫物中 亜鉛, Zn(ppm)		跡地土壌 0.1N-HCl 可溶 Zn (ppm)
	藁重	籾重	玄米重		藁	籾	
1. Zn 無添加	199	134	101	63	8	12	1
2. W - Zn 1kg	237	200	159	100	57	33	20
3. " 2 "	192	168	133	84	90	36	28
4. " 4 "	185	187	149	94	158	40	65
5. " 6 "	174	170	135	84	172	43	70
6. C - Zn 1 "	230	203	161	101	32	28	7
7. " 4 "	224	222	177	112	81	38	23
8. CL - Zn 1 "	217	210	170	107	63	29	2

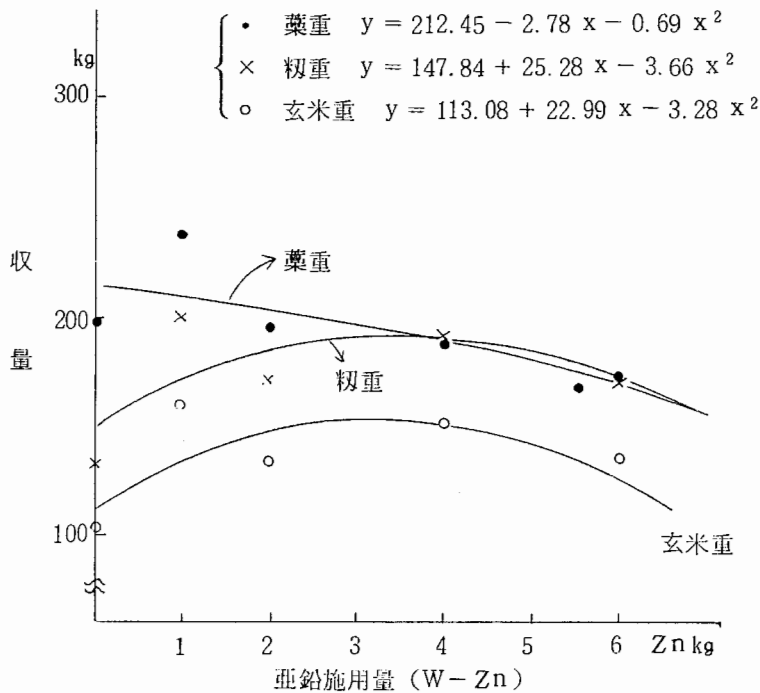
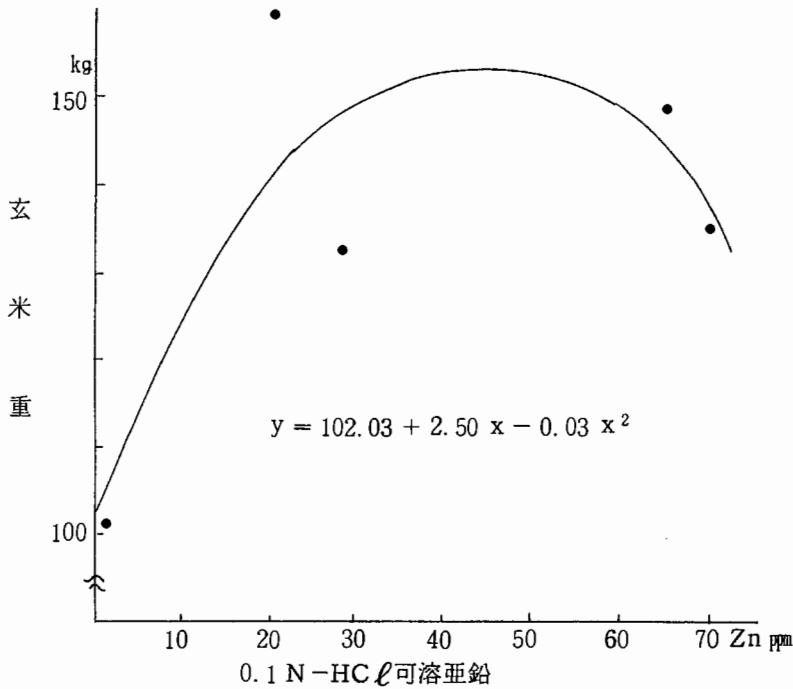


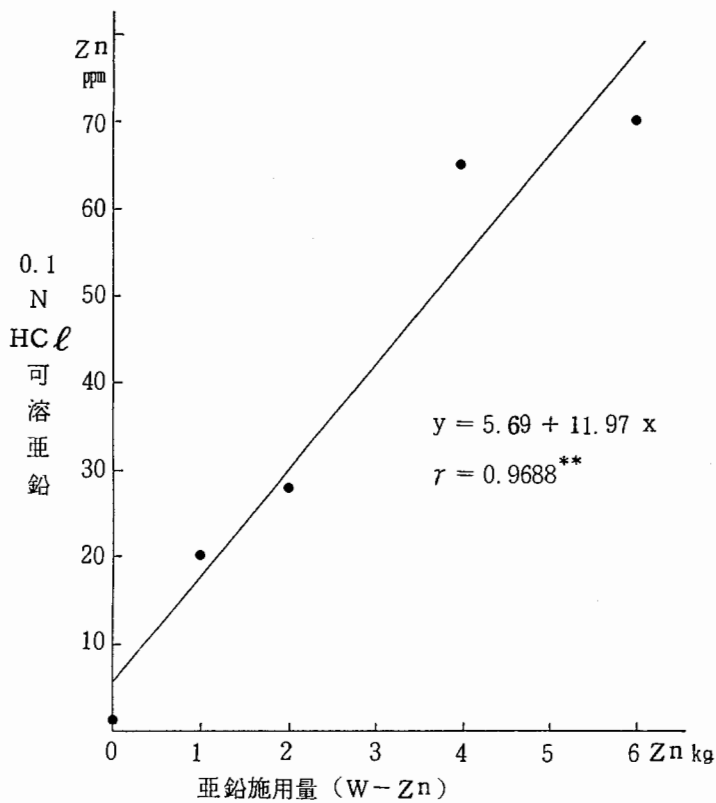
図-6 亜鉛施用量と陸稲収量

も特に有効ではない。もともと水溶性以外の亜鉛は土壌による固定を避けるねらいで供試したものであるが、水溶性亜鉛よりも吸収されにくい結果となっている。欠乏症状が激しい横沢原試験地がかえって亜鉛施用による収量の頭打ちが早く、収穫物中の亜鉛濃度が高まりやすいことは一見矛盾している。しかしこれは亜鉛資材の施用方法（横沢原は条施）および土壌条件の差、なかんずくpHの差によるものと考えられる。

亜鉛の施用量を決めるにあたって、畑稲中の亜鉛の適正濃度が知られていれば的確な結論が出易いわけであるが、これについては不明である。しかし、これまでの各試験結果によれば、亜



図一七 可給態亜鉛と玄米収量



図一八 亜鉛施用量と可給態亜鉛

鉛欠乏症の発生は藁では20ppm以下であり、30ppm以上であれば一応充分とみられる。そして亜鉛1kgの施用でこの水準に達している。輪作の中には、亜鉛を吸収しやすい作物があったり、また過剰障害の出やすい作物が組入れられたり、人工的に土壌pHを下げる場合もおこり得るから、これらのことを想定すれば施用量はなるべく少なくとどめる必要がある。このような配慮から、10a当りZnとして1kgの全面施用がほぼ妥当な線と考える。

(6) 亜鉛欠乏に対する作物の感応性¹⁴⁾

亜鉛に限らず微量元素は、作物の種類に大差があるのが普通である。

作物の亜鉛欠乏に対する抵抗性について、Vietsは3グループに分類し、いんげん、とうもろこし等が欠乏に対して最も敏感であるとしている。岩手県下で最初に確認された亜鉛欠乏が畑稲であったことはすでに述べたが、各作物による感応について試験を実施した。

堰袋試験地¹⁵⁾ (昭和45~46年)

圃場条件：前掲堰袋試験地に同じ
試験設計

供試作物と施肥量を表一14に示した。

試験成績

収量成績を表一15に示した。

分散分析

各作物に対する亜鉛施用効果の分散分析を表一16~17にあげた。

考察

供試作物の中には、畑稲やとうもろこしのように明瞭な亜鉛欠乏症が発現したものはないが、小豆に若干それとみられる症状が観察されている。収量は亜鉛の施用によって白菜、大麦、えん麦はかなり増収し、ばれいしょ、小豆も若干増収している。

表-14 供試作物と施肥量

作物	品 種	共通肥料 (kg/10a)								試験 実施 年度	備 考
		N		P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Cu	B			
		基	追肥								
ばれいしょ	男 爵 薯	7	3	15	10	10	-	-	昭45	亜鉛施用量は Zn として 0, 1, 2. (kg/10a)	
えん麦	前 進	7	2	15	10	10	1	-	"		
大 豆	ラ イ デ ン	3.5	-	10	7	10	-	0.1	"		
小 豆	大 館 2 号	3.5	-	10	7	10	-	0.1	"	ばれいしょ跡 えん麦跡 小豆跡	
白 菜	松島交配60日	14	4	17	17	10	-	0.1	"		
大 麦	ベンケイムギ	4	4	20	15	10	1	-	昭46		
小 麦	ナンブコムギ	4	4	20	15	10	1	0.1	"		

表-15 収量成績

区 名	(kg/10a)										
	ばれいしょ		えん麦			大 豆			小 豆		
	いも重	同 比	わら重	子実重	同 比	稈 重	子実重	同 比	稈 重	子実重	同 比
1. Zn 0kg	2,301	100	322	161	100	490	364	100	132	127	100*
2. " 1	2,346	102	356	177	110	423	312	86	154	133	105
3. " 2	2,445	106	358	179	111	505	352	97	164	139	109

区 名	白 菜		大 麦			小 麦			※ Zn 欠乏症± 他 は -
	結球重	同 比	稈 重	子実重	同 比	稈 重	子実重	同 比	
	1. Zn 0kg	4,710	100	97	134	100	168	213	
2. " 1	5,580	118	126	169	126	153	187	88	
3. " 2	5,670	120	122	163	122	165	197	92	

表-16 各作物に対する亜鉛の施用効果(全作物)

項 目	自 由 度	平 方 和	分 散	F
全 体	20	2,260.95		
処 理	2	236.1	118.05	1.0494
誤 差	18	2,024.86	112.49	

Sd = 5.6693

ℓSd 5% = 11.9%

表-17 (白菜、大麦)

項 目	自 由 度	平 方 和	分 散	F
全 体	5	651		
処 理	2	617	309	27.24*
誤 差	3	34	11.3	

Sd = 3.3665

ℓSd 5% = 10.7%

注) 表-16.3 処理7 反復とし収量比を分散分析

表-17.3 処理2 反復とし " "

大豆は徒長のため、また小麦は雪腐れのため成績は乱れている。

7作物の収量比を7反復と見做して1~3処理区の分散分析を行った結果では、処理間に有意差はみられないが、効果の高かった白菜と大麦について分散分析を行った結果では処理間に5%水準の有意差が認めら

れる。

収穫物の亜鉛濃度は、作物の種類、部位によって大きく異なり、ばれいしょの茎葉、大豆の子実、白菜球で高く、えん麦稈、大豆の茎では低い。作物体内の亜鉛濃度分析結果を表-18に示した。

表-18 作物体中Zn濃度

区名	ばれいしょ		えん麦		大豆			
	茎葉	いも	稈	子実	葉	茎	さや	子実
1. Zn 0kg	67.1	9.2	4.5	15.0	15.8	2.9	7.1	35.5
2. 1	62.0	11.4	5.9	21.3	18.0	3.8	9.1	40.9
3. 2	80.0	14.5	6.0	23.3	30.6	4.4	11.4	45.6

(ppm)

区名	小豆				白菜	大麦		小麦	
	葉	茎	さや	子実	球	稈	穂	稈	穂
1. Zn 0kg	18.3	7.6	8.2	22.2	32.3	12.2	29.3	8.8	23.8
2. 1	18.3	9.9	8.6	24.1	41.3	16.0	34.6	9.9	32.2
3. 2	20.6	12.9	23.5	28.5	46.6	21.0	44.3	12.3	35.0

横沢原試験地¹⁶⁾(昭46年)

土壌pHと亜鉛との関連について、青刈とうもろこしを供試して試験を実施した跡地のうち、石灰少量系列および多量系列を利用し、石灰は多量系列にあわせ、亜鉛は既投入分を差引いて不足分を補い試験を行った。

試験設計

供試作物と施肥量を表-19に示した。

試験成績

各作物の収量成績を表-20に示した。

供試作物では、いずれも亜鉛欠乏症の

発生はみられていない。亜鉛の施用が2kgまで増収傾向にあるのはラジノクローバーで、そばは逆に施用量が多い程減収し、ほうれんそうは1kgで増収し、2kgで減収している。

収穫物中の亜鉛濃度は、亜鉛の施用によりほぼ高まるが、とくに、ほうれんそうはそれが顕著である。ラジノクローバーは3番刈で亜鉛濃度は明らかに低く、またそばでは子実の亜鉛濃度は茎葉ほどには差が見られない。各作物の亜鉛濃度を表-21に示した。

表-19 供試作物および施肥量

作物	品種	共通肥料 (kg/10a)					試験実施年度	備考
		N	P ₂ O ₅		K ₂ O			
			溶燐	化成	基肥	追肥		
ほうれんそう	キングオブデンマーク	15	120	18	14	—	昭46	
そば	在来種	3	—	4	6	—	"	ほうれんそうの後作
ラジノクローバー	オレゴン	10	60	12	9	10	"	カリの追肥は各刈取毎

表-20 収量成績

区名	ほうれんそう		そば			ラジノクロール				
	生草重	同 比	稈 重	子実重	同 比	1 番刈	2 番刈	3 番刈	計	同 比
1. Zn 0kg	1.463	100	188	125	100	151	126	184	461	100
2. " 1	1.556	106	181	120	96	159	155	158	472	102
3. " 2	1.488	102	148	97	78	154	177	186	517	112

注) 亜鉛欠乏症いずれもなし

表-21 作物の亜鉛濃度

区名	ほうれん そ う	そば		ラジノクロール		
		茎 葉	子 実	1 番刈	2 番刈	3 番刈
1. Zn 0kg	28.5	16.1	29.1	19.9	21.1	17.3
2. " 1	56.0	23.4	30.5	24.3	27.7	21.8
3. " 2	84.4	28.5	30.6	39.2	30.9	25.8

亜鉛に対する作物の感応のまとめ

畑稲およびとうもろこしに、亜鉛欠乏が確認された圃場において、各作物の亜鉛欠乏症を探索したが、いずれの作物にも明確な症状は認められていない。供試作物全体を通じて収量および作物体の分析結果からおよそ次のように要約される。なお、陸稲およびとうもろこしは、亜鉛欠乏と土壌の反応との関連に関する試験等で述べたように、亜鉛欠乏に敏感なことが認められている。

- i) 欠乏に敏感な作物
陸稲、とうもろこし、白菜、大麦
- ii) 感受性中位の作物
えん麦、大豆、小豆、ほうれんそう
- iii) 欠乏に鈍感な作物
ばれいしょ、小麦、そば、ラジノクロール

(7) 各種溶媒による土壌亜鉛の抽出と作物による亜鉛吸収量との相関¹⁷⁾

亜鉛が作物の必須元素であることが認められてから、有効態亜鉛の分析法については、数多くの提案がなされているが、それらの分析法は抽出溶媒を何にするかが相違

点であり、亜鉛の分析法は古くはジチゾン法、近年は原子吸光法によっている。溶媒は酸、塩、キレートに大別され、さらに、これらの組合せや、pH、浸出時間等、他の要因との組合せ等各種の方法がある。溶媒として単独の酸を使用するものとしては、0.1N塩酸が代表的なものであり、塩の単用としては塩化マグネシウムがあげられる。キレート法では0.05モルEDTAあるいはEDTA+炭酸アンモニウムのように、塩類と組合せたものが多い。酸と塩との組合せでは、酢酸+塩化カリなどがある。その他にも多数の方法があるが、それらの分析法と作物による吸収との相関は地域的な差があるようであり、土壌診断に実際に利用するにはどの方法によるべきかの吟味が必要と思われる。

山添らは、土壌の種類（主として岩手県のもの）を変え、数種の溶媒による亜鉛抽出量と亜鉛欠乏症の発現程度との関係について報告しているが、それによれば、全亜鉛は欠乏症の発現とは相関が見られず、また、0.1 N 塩酸可溶の亜鉛は欠乏発生土壌ではいずれも低い、抽出量が低い土壌が必ずしも亜鉛欠乏が発生するとは限らないと

している。また1N-酢酸アンモニウムは、pH4.8、7.0、8.6の3種と、それらにEDTAを加えた場合について検討し、酢酸アンモニウムの単用系列は、欠乏症の有無と比較的に良く一致し、抽出量も多くなること、またEDTAとの併用系列はさらに抽出量を多くし、分析はしやすくなるがpHが高いほど一層抽出量は多くなり、かえって症状との関係は良くならないことを報告している。

これまで、亜鉛欠乏発生の可能性の診断方法として、土壌分析、収穫物中の亜鉛濃度を使用した。次に、可給態亜鉛分析に

使用する溶媒の比較を行った。まず、陸稲のポット試験における亜鉛欠乏症の程度、吸収量等と土壌亜鉛との関係を検討した。

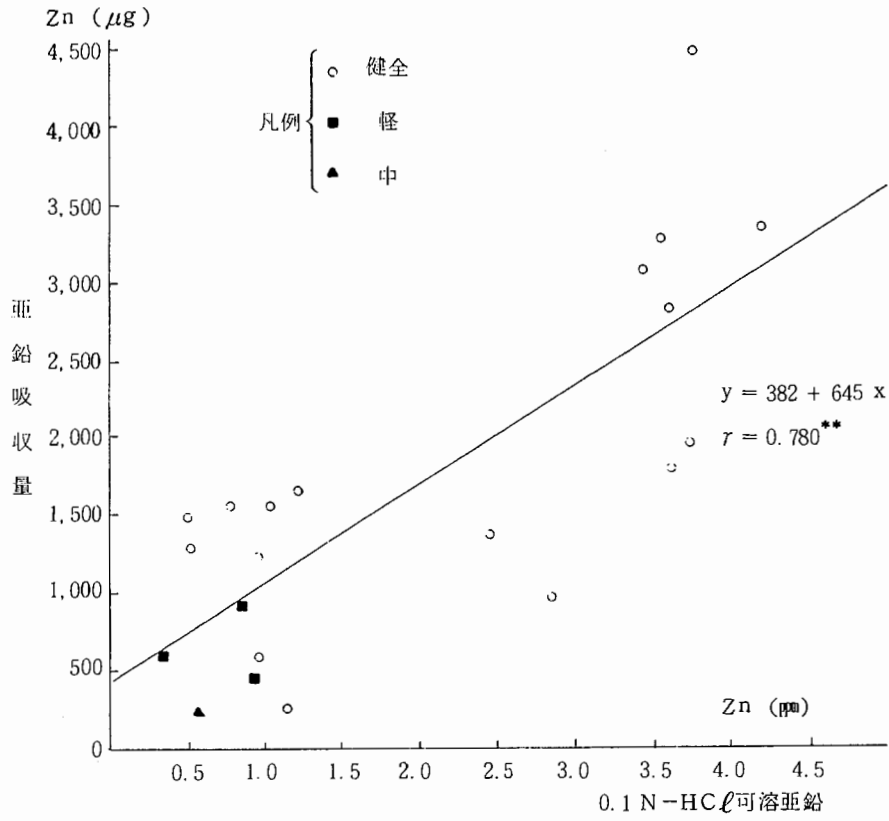
溶媒としては、①0.1N塩酸、②1M-炭酸アンモニウム溶液に、0.01MになるようにEDTAを加えた溶液の2種について検討を行った。なお、亜鉛の抽出法は、風乾土5gに溶媒25mlを加え、1時間振とう後、濾液について亜鉛を定量した。

県西部土壌

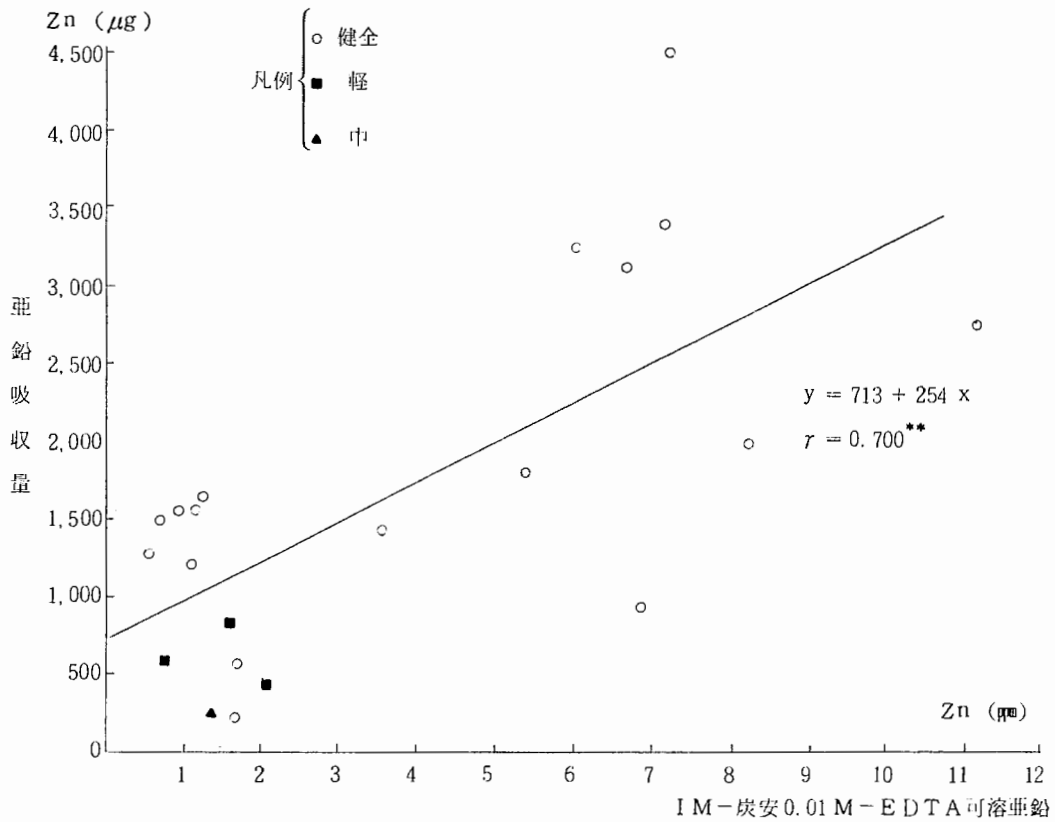
県西部土壌での土壌中亜鉛と陸稲による吸収量との関係を調査した結果を表-22及び図-8~9に示した。

表-22 県西部における土壌中亜鉛と陸稲による吸収量との関係(ポット試)

土 壤	層位	原土中亜鉛Zn (ppm)		収穫物中亜鉛Zn (ppm)		亜鉛吸収量 Zn (μg)	無 処 理 区 の欠乏程度
		0.1N-塩酸 可 溶	1M-炭安 0.01M-EDTA 可 溶	葉	穂		
大 花 森	I	2.86	6.80	22.3	27.0	932	-
	II	0.57	1.31	9.1	17.9	216	++
	III	0.34	0.79	8.3	14.8	506	+
大 淵	I	3.73	8.27	64.2	39.2	1,967	-
	II	2.47	3.60	39.8	36.2	1,446	-
	III	3.61	5.39	41.2	36.6	1,763	-
砂 込	I	3.76	7.28	126.8	44.4	4,468	-
	II	0.98	1.68	19.0	26.6	572	-
	III	1.16	1.66	16.3	22.1	249	-
横 沢 原	I	4.22	7.18	90.0	40.0	3,372	-
	II	0.85	1.56	15.1	29.9	862	+
	III	0.92	2.07	8.2	17.3	436	+
白 山	I	3.58	6.05	82.4	41.3	3,257	-
	II	0.96	1.05	27.6	34.4	1,206	-
	III	0.76	1.11	31.0	33.1	1,527	-
谷 内	I	3.60	11.07	112.5	34.3	2,832	-
	II	1.05	0.94	33.0	49.0	1,506	-
	III	0.54	0.58	32.2	48.2	1,277	-
上 駒 沢	I	3.46	6.72	103.2	40.3	3,090	-
	II	0.52	0.70	45.2	36.6	1,460	-
	III	1.21	1.26	45.2	32.8	1,639	-



図一 9 土壤中亜鉛と陸稲による亜鉛の吸収量 (県西部)



図一 10 土壤中亜鉛と陸稲による亜鉛の吸収量 (県西部)

表-23 県北東部土壤における土壤中亜鉛と畑稲による吸収量との関係(ポット試)

土 壤	層 位	土壤中亜鉛Zn (ppm)		収穫物中亜鉛Zn (ppm)		亜鉛吸収量 Zn(μg)	無処理区の 欠乏程度
		0.1 N-塩酸可溶		葉	穂		
区 界	I	3.44		67.1	33.0	2,400	-
	II	0.52		29.9	23.2	1,242	-
	III	0.94		20.4	24.6	981	-
茂 市	I	3.52		73.7	38.0	2,522	-
	II	0.78		25.7	31.3	1,265	-
	III	0.52		20.4	29.6	1,074	-
近 内	I	7.78		212.1	52.3	5,480	-
	II	0.78		52.3	32.0	1,688	-
	III	0.28		17.8	25.9	859	±
斐 綿 浜 岩 泉	I	3.16		46.0	27.3	2,039	-
	II	0.82		49.7	36.7	1,671	-
	II	0.64		16.8	17.5	1,383	+
小 平 沢	I	2.40		31.6	23.9	1,087	-
	II	0.30		10.2	17.8	314	+
	III	0.34		7.6	14.1	312	++
横 打	I	2.24		24.0	27.3	1,153	-
	II	1.82		21.4	21.9	1,075	-
戸 田	II	0.60		7.2	16.5	565	+
観 音 林	II	1.10		8.6	14.5	282	++

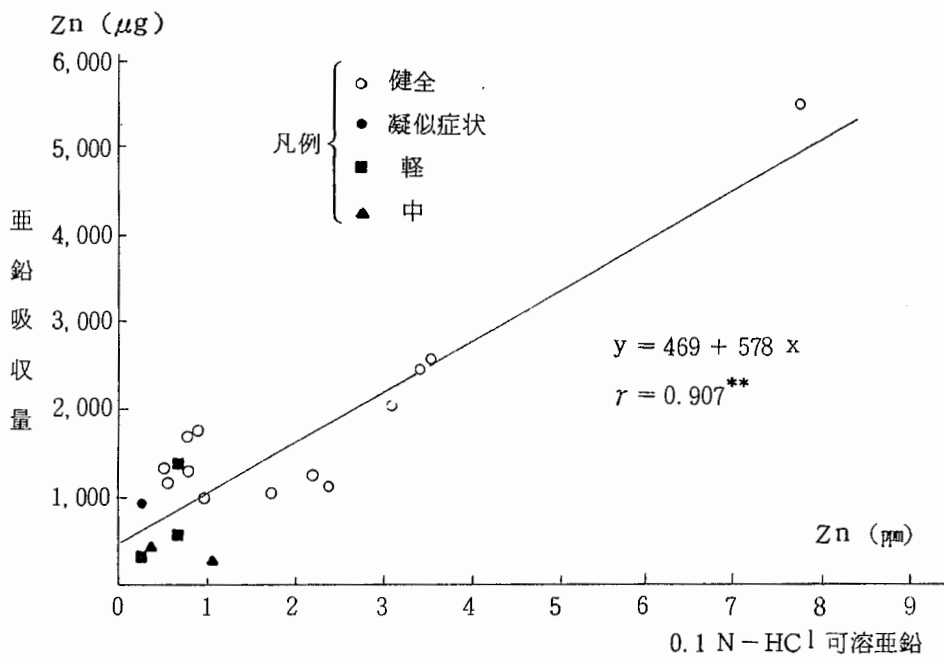


図-11 土壤中亜鉛と畑稲による亜鉛の吸収量(県北部)

2種の溶媒を比較すると、相関係数は0.1N塩酸可溶の方がいくらか高いが、土壤からの抽出量は炭酸アンモニウム+EDTA可溶の方が多し。欠乏症発生土壤は、0.1N-塩酸可溶では1ppm以下、炭酸アンモニウム+EDTA可溶ではほぼ2ppm以下である。ただし、土壤中亜鉛が同じレベルでも欠乏症が発生しない土壤もあり、その場合、吸収量も多い。したがって両分析法とも前記水準以上ならば

亜鉛欠乏の発生はないと言えるが、それ以下の場合でも発生しない場合もある。

県北東部土壤

県北東部の土壤では、相関係数は県西部土壤に比べると若干高いが、県西部とほぼ同様の傾向である。すなわち、土壤中に約1 ppm以上の亜鉛があれば欠乏はおこらないが、それ以下では発生する場合の両者が混在している。分析結果を表-23及び図-11に示した。

まとめ

岩手県内で銅欠乏土壤が明らかにされて、約10年後に、銅欠乏が発生したと同地域の胆沢郡胆沢町及び金ヶ崎町周辺において、亜鉛欠乏の存在が明らかにされた。

亜鉛欠乏が最も発生し易いと見られる作物は陸稲であるが、主にこの陸稲を供試して亜鉛欠乏の発生要因、対策、有効態亜鉛の抽出法を検討しさらに他の作物の亜鉛欠乏に対する感応性等を検討した。

亜鉛欠乏は腐植に富む火山灰土壤に発生しているがその他に、機械開墾、土壤侵蝕、階段畑の造成などにより、表土が除去された圃場で激発することが多い。亜鉛欠乏地域の下層土は、表層土のように植物により吸収された亜鉛の還元もなく、おおむね著しい亜鉛欠乏状態になっていることが多いからである。

陸稲の場合は亜鉛欠乏の危険範囲は土壤中の0.1N塩酸可溶亜鉛 (Zn) が1 ppm以下と見てよい。陸稲は土壤pHが上り過ぎても下り過ぎても生育は阻害され、pH (H₂O) が5.1~5.6前後において施用した亜鉛の吸収も多く、収量も高くなる。しかしpH (H₂O) が6.3にもなると、施用亜鉛量に比例して陸稲体内の亜鉛含量は上昇せず、収量も増加しない。またこの時に亜鉛施用量をさらに多くしても、陸稲体内の亜鉛含量は上昇しても収量はpHの低い水準に及ばない。このことは、陸稲においてはpHが6前後以上の高い条件は、亜鉛以外の他の要因、例えば鉄、マンガン含量、あるいはpHそのものが不適当な状態になっているものと考えられる。これに対しとうもろこしでは、

pH (H₂O) が6前後で収量が高く、施用亜鉛の効果が高かった。

陸稲の亜鉛欠乏症は、下位葉の葉身のつけ根付近から、次第に葉身上部にかけて発生する褐色の斑点であり、甚しい場合は紫褐色に塗りつぶされたように広がり、草型もロゼット状になる。欠乏症の起き易いもう一つの作物はとうもろこしでありこの場合には症状は陸稲とはまったく異なり、葉身の黄白化が特徴である。すなわち、葉の中位から淡く黄化色になり、生育が進むにしたがって殆ど白色になる。この白色部は明確な輪郭がなく健全部へ漸変するが、葉全体が淡くなる。

亜鉛欠乏の対策としては、10a当り亜鉛として0.75~1.0kgを硫酸亜鉛で施用するのが最も効果的である。

施用亜鉛の形態としては水溶性亜鉛の他に、く溶性の水酸化亜鉛、さらにキレート亜鉛としてEDTA亜鉛の検討も行ったが、特に有効ではなかった。土壤による固定の軽減をねらいとしく溶性亜鉛、キレート亜鉛は、いずれも陸稲では吸収が劣る傾向である。

亜鉛欠乏に対する作物の感応を3グループに大別すると、欠乏に敏感なものは、陸稲(畑稲)、とうもろこし、白菜、大麦であり、感受性に中位のもの、えん麦、大豆、小豆、ほうれんそうであり、欠乏に鈍感なものは、ばれいしょ、小麦、そば、ラジノクローバー等である。

土壤中の亜鉛と作物による亜鉛吸収量の相関を見るため、2種類の溶媒(0.1N塩酸及び1M炭酸アンモニウムに0.01MになるようEDTAを加えた溶液)について検討した結果では、いずれの抽出液においても作物の吸収量と高い相関を示した。しかし抽出量が少ない土壤の中には亜鉛欠乏症発生、非発生の両土壤が混在し、両者の分離が困難であった。しかし、現在一般に行われている0.1N塩酸抽出の場合、亜鉛欠乏の限界値は一応1 ppmとしてよいと見られる。

また陸稲のわら中の亜鉛濃度から見れば、欠乏症の発生するのはほぼ20ppm以下であり、30ppm以上あれば十分とみられる。

4. 苦土欠乏

(1) 苦土欠乏研究の経過

苦土欠乏は、普通畑作物、牧草および野菜を問わず広くまた身近に見られる症状である。ことに本県の場合、酸性土壌が広く分布していることにもより他の要素欠乏と異なり、畑地の土壌管理に若干の不十分な面があれば容易に目につく症状である。第二次大戦後、全国的に開拓行政が強力に推進され、本県においても広く入植が行われたが、その大部分は不良火山灰土壌および酸性土壌がその対象地であった。しかも肥料事情が著しく悪く、土壌改良が徹底しないまま作物栽培が行われたため、多量要素も含む各種要素欠乏が各地でみられ、苦土欠乏も殆どの土壌でみられた。従って苦土資材の補給は当然であったが、酸性土壌および不良火山灰土壌の改良につとめたものの、経済的な事情もあり土壌改良は不十分なもののうちに経過した。ただしようりを継続的に投与したところでは苦土欠がみられなくなったのは当然であった。開拓地以外の既耕地でも事情は同じであったが、当時は堆肥がほぼ自給できたことにもより、開拓地ほど多発生はみられなかった。経済および肥料の好転にともない、また土壌診断が広く行われる様になり、農家および行政による土壌改良が推進されるにつれて、苦土欠乏症状は次第に散見される程度にまで至っている。しかし、野菜等の多肥作物の導入や良質堆肥の不足等による多肥傾向のため、苦土と他要素の均衡がくずれられる場合が次第に多くなり、苦土と石灰および苦土とカリのアンバランスが原因となり、苦土欠乏状態となる事例が増加している。以上のような経過および事情から、苦土に関する研究は銅欠乏等の場合のように一連の試験態勢によるものではなく、土壌改良および施肥に関する試験のなかで実施されて来たものが多い。

(2) 植物体内におけるマグネシウムの機能

マグネシウムは植物のもつ葉緑素の構成成分であり、動物の血液に相当する役割を示し、葉緑素の化学構造はヘモグロビン(血色素)と著しく似ている。そのはたらきは細胞分裂の盛んな生長部にエネルギーを運搬する作用に関与し、自由に移動する。マグネシウムが欠乏すると葉緑素の生成が行われずクロロシスを生じ光合成がおとろえ、炭水化物の生産が減少する。葉緑素の成分以外にも植物体内には多量のマグネシウムが存在する。つまり原形質と結合したもの、イオンとして遊離しているものおよび酵素の構成成分となっているもの等である。とくに炭水化物の代謝に関与する酵素はマグネシウムによって活性化されるものが多く、重要な機能を示している。また、りん吸収運搬にも関与し、高エネルギーりん酸形態の活動を支えている。以上のほかにでん粉の転流、油脂の生成等の生体の代謝に大きく関与する。

(3) 苦土欠乏症状の特徴

マグネシウムは植物体内では易動性のものであり、欠乏により若い部分に移るため、欠乏病状は下位葉に先づ示され、葉脈間にクロロシスを生ずる。麦の場合は越冬前の分けつ期から越冬後の幼穂形成期にかけて葉が黄緑になり、また葉脈に沿ってジュズ玉状の葉緑体があらわれて来る。この現象はえんばく、大麦および裸麦でみられるが、小麦、水稻およびとうもろこしではジュズ玉状症状がみえない場合もあり、葉脈にそって黄白化した条斑がみられる。野菜では、生育の初期よりも生育がやや進んだ頃に欠乏症状がみられ、キュウリ等の果菜類では果実が肥大する時期になって古葉から発生し始める。葉脈間にクロロシスがあらわれ、症状がある程度進行してから古葉が枯死するが、そうであっても新葉が枯死することはない。ほ場全面に欠乏症状がみられることは極めて少なく、局所的な発生が殆んどである。根部の何らかの障害による養分吸収の阻害や果実の異常な着生による場合が多い。

(4) 苦土欠乏土壌の特徴とその分布

苦土欠乏を生じやすい土壌の特徴は、当然ながら酸性土壌の特徴でもある。酸性土壌が広くみられる胆沢台地で陸稲について調査した結果によると、pHが4.2~5.2であり、置換性石灰は $100 \frac{mg}{100g}$ 以下であり、苦土も $5 \sim 10 \frac{mg}{100g}$ であった。とくに全般的に酸性が強く、苦土欠乏症状が甚だしいときは、酸性が著しく強くpHは4.4~4.8を示した。置換酸度 Y_1 も高い傾向を示す土壌であった。作物により差はあるものの、苦土欠乏を生ずるのは、置換性苦土として $10 \frac{mg}{100g}$ 以下である。苦土欠乏はもともと土壌中の苦土含量が少ないことに原因するものと、表土からの苦土の溶脱によるものがあり、後述するように黒ボク土において野菜等の多肥作物の栽培により下層土への溶脱があり、作土の苦土含量が減

少することを認めている。苦土はカリとの拮抗作用があり、カリの偏用により苦土欠が増長されることが認められており、苦土カリ比（当量比）が2以下ではこのおそれが大きくなり、とくに野菜栽培で注目されている。

本県における苦土欠乏土壌の分布は、土壌改良資材の施用が十分でない時代では奥羽山系よりの丘陵台地一帯であったが、土壌改良がほぼ十分に行われるようになってからは、とくに明瞭な地域分布を示すことはなく、おそれのある土壌としてはむしろ土壌管理によるところが大きいといえる。昭和40年に陸稲の苦土欠乏症状のみられた事例について、第1表および第2表に調査結果を示した。茎葉分析の結果では、表一1、2苦土と共に石灰含有率の低下が顕著に認められている。

表一 1 土壌分析成績

採取地点	耕作者名	程 度	p H		置 換 酸 度 Y_1	置 換 性 塩 基 (mg)			$\frac{MgO^{me}}{K_2O^{me}}$
			H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O	
大字西根字真折 147	木村正三	A	4.8	4.1	10.3	27	3	17	0.42
		C	4.5	4.1	15.3	20	2	17	0.28
大字西根字真折 65	宍戸留蔵	A	4.9	4.2	9.9	35	5	17	0.68
		C	4.4	4.0	20.5	17	3	18	0.40
大字西根字桂11	高橋徳蔵	A	4.8	4.2	14.9	99	5	22	0.54
		B	4.4	4.1	18.7	33	4	22	0.42
大字西根字濁沢 26の2	斉藤良男	A	5.0	4.0	13.8	130	5	11	1.05
		B	4.7	3.9	21.5	75	2	10	0.47
大字永栄 字中の又	高橋定治	A	5.1	4.3	19.1	76	10	19	1.24
		B	4.8	4.1	21.6	18	6	14	1.00

注) 程度：A - 健全 B - 中程度 C - 甚

胆沢台地周辺火山灰土壌（胆沢郡金ヶ崎町）

表-2 陸稲分析成績

(茎葉)

採取地点	耕作者名	程度	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
大字西根字真折147	木村正三	A	2.24	0.62	4.5	0.28	0.29
		C	2.06	0.83	5.0	0.17	0.25
大字西根字真折65	穴戸留蔵	A	2.19	0.63	5.0	0.26	0.38
		C	2.79	0.74	5.0	0.08	0.26
大字西根字桂11	高橋徳蔵	A	1.99	0.46	5.2	0.26	0.19
		B	2.42	0.64	3.0	0.16	0.26
大字西根字濁沢26の2	斉藤良男	A	2.03	0.77	3.8	0.62	0.50
		B	2.38	0.62	4.6	0.20	0.11
大字永栄字中の又	高橋定治	A	1.80	0.50	2.7	0.46	0.36
		B	1.37	0.83	2.7	0.08	0.12

注) 程度は前記土壤分析に同じ。

(5) 苦土欠乏対策

1) 苦土資材の肥効

各種苦土資材の効果を比較する目的で異なる2種の土壤を用いポット試験を行った。(昭和42)

供試土壤: 和賀土壤(洪積世堆積土、置換性苦土15^{mg}/100g) 滝沢土壤(風積土、置換性苦土22^{mg}/100g)

供試作物: 小麦(ナンブコムギ)

供試苦土資材: 硫酸苦土、炭酸苦土、焼成蛇紋岩、焼成苦土、アヅミン、試料A(豊年アヅミンA)、試料B(豊年アヅミンB)、ようりん
 ポット当り施用量: ようりん以外はく溶性苦土として1g、ようりんは0.75g
 試験結果: 苦土無施用では両土壤ともジュズ玉状の苦土欠乏症状を呈し、

表-3 生育収量調査結果

土壤	区名	6月13日			収穫時(VI/26)		収量指数	
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	ポット当り穂数 (本)	ポット当り		稈重	穂重
					稈重 (g)	穂重 (g)		
和賀	1. 苦土無施用	35.7	8.7	19	19.4	19.2	100	100
	2. 硫酸苦土	47.4	10.3	23	25.5	24.7	131	129
	3. 炭酸苦土	44.5	8.5	25	19.4	24.5	100	128
	4. 焼成蛇紋岩	49.6	9.3	23	27.0	28.0	139	146
	5. 焼成苦土	49.1	9.6	23	26.0	20.3	134	158
	6. 熔 磷	47.8	9.3	22	23.9	25.3	123	132
	7. アヅミン	47.5	9.0	23	27.2	23.4	140	122
	8. 試料 A	47.6	9.4	24	27.8	26.1	143	136
	9. 試料 B	48.8	9.2	23	26.0	27.6	134	144
滝沢	10. 苦土無施用	37.8	9.3	23	14.8	21.9	(100)	(100)
	11. 試料 A	44.4	9.1	27	29.0	26.6	(196)	(121)

次第に黄化し生育収量とも劣った。各苦土資材とも効果が認められ20~60%穂重増であった。和賀土壌では焼成苦土、および焼成蛇紋岩が効果高かった。他の資材でも20%以上の増収効果が認められた。すなわち、通常考えられる苦土資材はどれも施用効果が期待できる。試験結果を表-3に示した。

2) 形態の異なる苦土資材の効果および溶脱状況の比較

形態の異なる各種苦土資材を苦土の溶脱の著しい土壌を用いて、苦土の溶脱状況を含めて検討した。(昭)

供試土壌：厚層腐植質黒ボク土一大津統の表土(岩手農試)、置換性苦土17mg、pH5.46

試験規模：ライシメーター方式の0.36㎡の鉄枠(0.6×0.6×深さ0.4m)

供試作物：黄カラシナ

耕種概要：播種9月2日、収穫期11月1日

供試条件：MgOとして34g/㎡施用(苦土飽和度10%相当)、N=12、P₂O₅=150、K₂O=12g/㎡

試験結果：黄カラシナの苦土含有率は苦土添加で高まり、吸収量も増加する。収量が多くしかも苦土の吸収量も多いのは水酸化マグネシウムであり、ついでBMようりんであった。苦土吸収量の調査結果を表-4に示した。

浸透水による苦土の溶脱は、硫酸苦土区が最も多くついで浸透水量の多い裸地区であり、他は大差なかった。この結果を表-5に示した。

表-4 苦土吸収量に関する調査

区名	収穫時(11/1)		
	㎡当収量(g)	苦土含有率(%)	苦土吸収量(g/㎡)
1. 裸地	-	-	-
2. 三要素	2,800	0.30	1.09
3. 硫酸苦土	2,589	0.40	1.35
4. 苦土石灰	2,333	0.43	1.33
5. BMようりん	2,769	0.45	1.67
6. 水酸化マグネシウム	2,958	0.53	2.02

表-5 浸透水による苦土の溶脱

(mg/㎡)

区名	9月		10月								計
	16	18	1~20	21	22	24	25	26	27	28	
1. 裸地	213.6	162.2	415.7	181.9	138.6	132.8	78.1	165.8	112.5	150.9	1,751.9
2. 三要素	261.7	185.3	-	20.6	129.4	106.7	91.1	156.9	132.5	182.2	1,266.4
3. 硫酸苦土	178.9	186.9	-	112.8	153.1	130.6	123.9	259.2	428.9	985.6	2,559.9
4. 苦土石灰	170.0	176.9	-	131.1	136.9	116.1	96.9	151.1	152.5	261.4	1,392.9
5. BMようりん	203.3	184.7	-	100.8	151.7	148.6	146.1	186.9	141.6	162.5	1,426.2
6. 水酸化マグネシウム	196.7	166.1	-	56.1	147.5	117.5	75.8	163.6	135.2	208.3	1,266.8

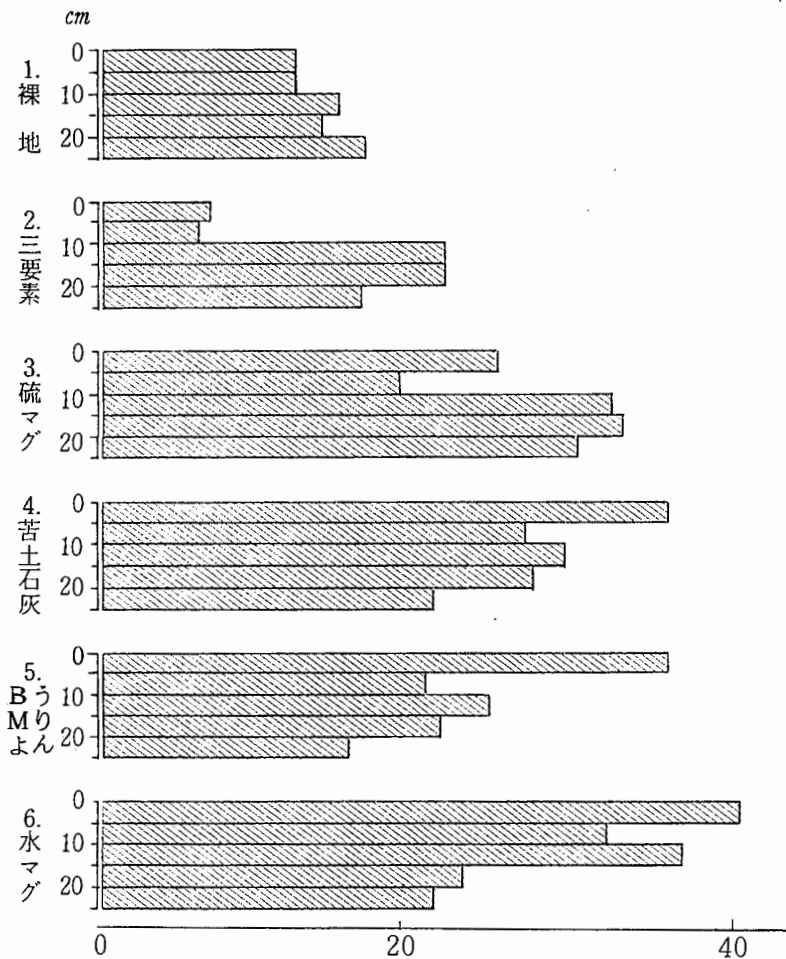


図-1 跡地土壌の置換性苦土の垂直分布

跡地土壌の置換性苦土の垂直分布は、裸地区では平均的に分布し、苦土石灰、BMよりん、および水酸化マグネシウム区では15~20cmまで富化した。これを図-1に示した。

供試土壌と同条件のは場において硫酸苦土 (MgOとして 150mg/100mg) を投入し、約7ヶ月後の表土からの溶脱状況を調査したが無施用の場合と比べて作土へのMgOの富化があるものの同時に10cm~40cmまで著しく富化しており、苦土の下層への移動が認められる。これを図-2に示した。

以上のことから腐植質火山灰土壌においては、浸透水の多い場合はとくに苦土の下層への溶脱が大きく、その補給資材としては硫酸苦土のような水溶性のものよりは、溶性の苦土を多く含む水酸化苦土、BMよりんおよび苦土石灰がより有効と考えられた。

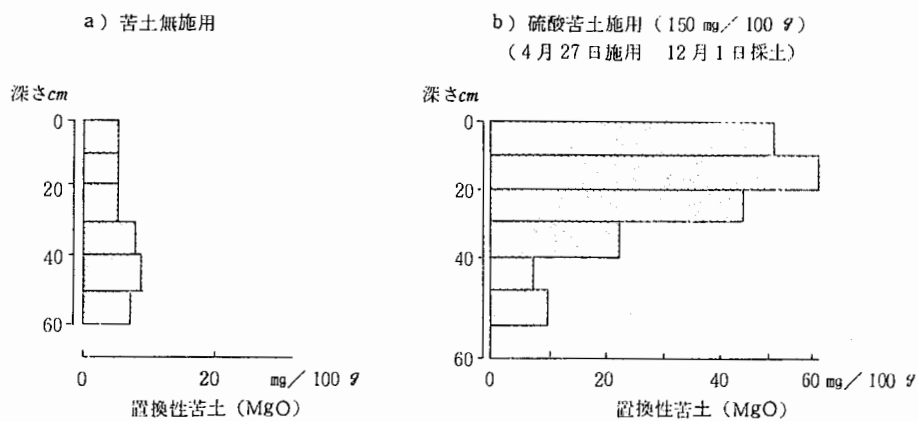


図-2 圃場における置換性苦土の垂直分布

3) 苦土の基肥施用効果

苦土欠乏の著しい強酸性土壌について、基肥としての苦土施用効果を畑稲および小麦について検討した (昭41)。

供試土壌：胆沢台地の火山灰土壌

実施場所：金ヶ崎町西根

調査結果：石灰および苦土に欠乏した強酸性土壌であるが、苦土無施用では両作物ともに葉脈間が黄化する症状を示し、生育収量共に劣った。陸作水稲では、硫酸苦土100kg/10aの施用で玄米収量指数169% (玄米

重310kg/10a)となり、施用効果が明らかに認められ、とくに稔実歩合の向上が特徴的であった。これを表一6に示した。小麦でも炭カル施用によるpHの矯正で、土壌中の苦土

が有効化されたと推定され、飛躍的な増収となった。さらに硫酸苦土の併用により子実重は13%増収となった。これを表一7に示した。

表-6 陸作稲

区 別	10 a 当り 収 量					跡 地 土 壤			
	わら重 (kg)	玄米重 (kg)	同 比 (%)	不稔粒 歩 合 (%)	屑 米 歩 合 (%)	pH (KCl)	置換性塩基 (mg)		
							CaO	MgO	K ₂ O
1. 対 照	388	183	100	39.6	18.1	4.3	69	8	25
2. 硫酸苦土100kg	407	310	169	9.5	8.7	4.2	62	15	21

表-7 小 麦

区 別	収 穫 期		10 a 当 収 量			稈	跡 地 土 壤		
	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	稈 重 (kg)	子実重 (kg)	同 比 (%)		苦 土 含有率 (%)MgO	pH (KCl)	置換性塩基(mg)
						CaO			MgO
1. 対 照	54.3	8.1	525	38	17	0.01	4.0	26	7
2. 炭カル450kg	82.6	9.4	525	220	100	0.04	5.4	656	25
3. 炭カル450kg 硫酸苦土20kg	84.4	9.4	570	250	113	0.05	5.0	470	22

4) 苦土追肥の効果

著しい苦土欠乏を示している陸稲に対し、畦間に硫酸苦土100~120kg/10aを追肥しその効果をみた。(昭)

実施場所：金ヶ崎町および和賀町

試験結果：硫酸苦土100~120kg/10a

の施用で精籾重の増加が著しいもの

となった。置換性苦土が20^{mg}/100g以上になったことから効果は明らかである。追肥の施用時期および追肥量と有効化率等検討する必要があるが、この場合、石灰投与による土壌反応の矯正が必須と考えられる。試験結果を表一8に示した。

表-8 畑稲に対する苦土追肥の効果

場 所	試 験 区	10 a 収 量		同 比		わら中苦土含有率 MgO% (風乾物)		跡 地 土 壤		
		わら重 (kg)	精籾重 (kg)	わら重 (%)	精籾重 (%)	8 月	10 月	pH (KCl)	置換性塩基(mg)	
									CaO	MgO
金ヶ崎町 北 方	1. 苦土無施用	139	163	100	100	0.03	0.04	4.0	61	5
	2. 硫酸苦土120kg	137	486	99	298	0.17	0.15	4.1	54	39
金ヶ崎町 夏 栄 木	1. 苦土無施用	315	205	100	100	0.04	0.06	4.3	34	11
	2. 硫酸苦土100kg	335	432	107	211	0.10	0.14	4.3	27	26
和 賀 町 梅 の 木	1. 苦土無施用	177	3	100	100	0.06	0.14	4.0	25	15
	2. 硫酸苦土120kg	192	123	123	4.228	0.11	0.23	4.2	18	20

硫酸苦土追肥は7月13日

(6) 苦土欠乏の発現

腐植質火山灰土壌における苦土の溶脱については2)項でも記したが、長期にわたる作付において苦土の動向を調査した。

試験課題名：土壌改造の持続効果

供試場所：農試本場

供試土壌：厚層腐植質黒ボク土一大津統

供試条件：

区名及び改造内容	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
	P吸 0.75%改造	6 %	12 %	6 % + 堆肥
りん酸投入量 (kg/10a)	12.5	100	200	100 + 1,000 (堆肥)

注) りん酸投入比は過石ようりん成分比 1 : 2、りん酸資材投入は試験開始時のみ (昭39)。施肥は単肥 (硫安、過石および塩加) を施用。

供試作物：

作付年次	40		41	42	43		45	46
	1	2	3	4	5	6	7	8
作物名	スイートコーン	小麦	白菜	短根人参	レタス	白菜	きゅうり	レタス
作付年次	47	48		49	50	51	52	53
	9	10	11	12	13	14	15	16
作物名	ホーレンソウ	春玉ねぎ	白菜	大根	大豆	レタス	小麦	短根人参

試験結果

土壌改造の効果は大きく、初年度にりん酸資材を投入したのみでその効果は長期にわたり継続する。跡地土壌養分の年次変化は、作試作物により変動に大小はあるが、

りん酸吸収係数は低下傾向、有効りん酸 (トルオーグ態) は増加傾向を示した。pH (H₂O) および塩基含量は次第に低下し、第12作目に至り石灰および苦土は欠乏状態となった。これらの結果を図-3に示した。

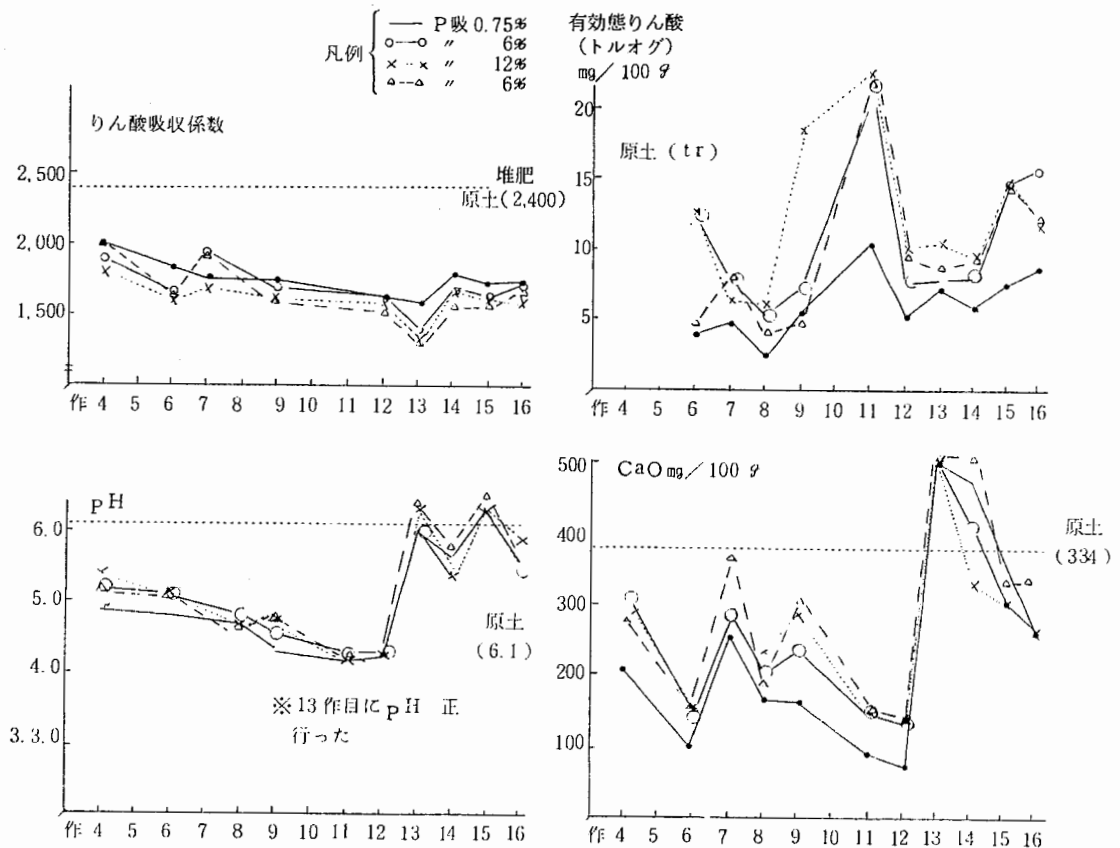
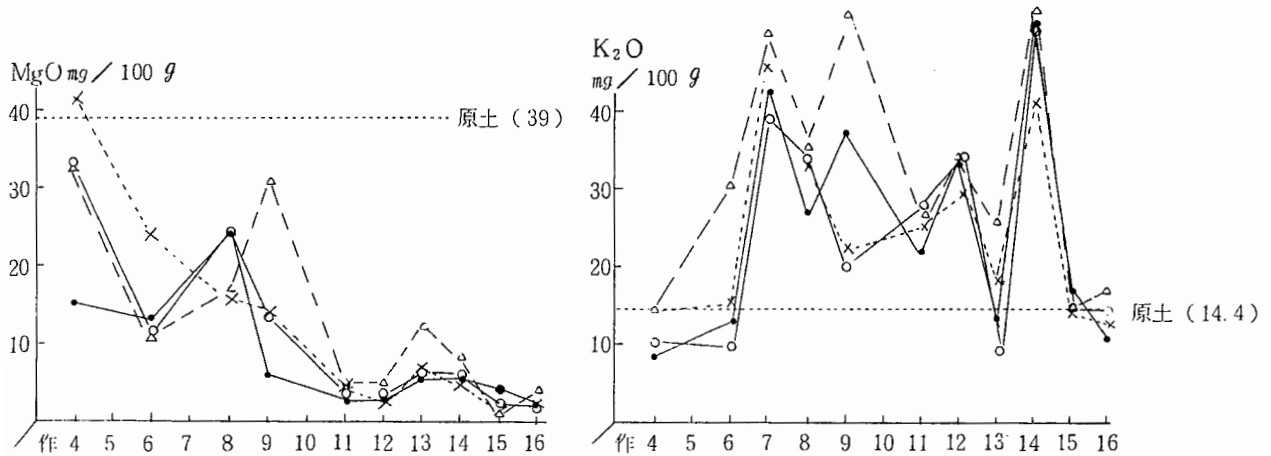


図-3 跡地土壌養分の年次変化

千葉県：岩手県における微量元素欠乏に関する研究



第12作目の大根(昭49)では全区とも置換性苦土が5 mg/100g以下となり、堆肥併用区を除き各区に苦土欠症状がみられた。しかし堆肥併用(1t/10a)区は、置換性苦土含量が少ないにもかかわらず苦土欠乏

症状がみられずその効果が認められた。これを表-9に示した。

花岡岩風化土壌における大根の連作対策試験においても表-10のように同様の結果が得られた。

表-9 第11~12作目における土壤養分

区名	年次 項目	11 作 目 白 菜 (48)				12 作 目 大 根 (49)			
		置換性塩基 ^{mg} /100g		有効能 P ₂ O ₅	収量比	置換性塩基 ^{mg} /100g		収量比	苦土欠乏 発生程度
		MgO	K ₂ O			MgO	K ₂ O		
1. P吸0.75%改造		2.9	22.4	10.4	100	2.9	34.6	100	卅
2. P吸1.5%改造		2.1	23.2	14.4	104	3.5	56.0	95	卅
3. P吸3.0%改造		2.8	25.6	17.6	105	2.6	12.8	98	卅
4. P吸6.0%改造		3.1	28.0	20.8	143	3.5	34.6	99	+
5. P吸12.0%改造		3.4	25.4	22.4	179	2.5	34.0	100	+~-
6. P吸6%+堆肥		5.4	27.4	22.4	196	4.8	29.6	95	-

表-10 地力保全対策試験成績(釜石市・大根)

区名	年次 項目	第1作(48)			第2作(48)			第3作(49)			苦土欠乏 発生程度
		置換性塩基 ^{mg} /100g		収量比	置換性塩基 ^{mg} /100g		収量比	置換性塩基 ^{mg} /100g		収量比	
		MgO	K ₂ O		MgO	K ₂ O		MgO	K ₂ O		
1. 標準区		3.5	31.0	100	5.0	16.8	100	3.2	24.2	100	卅
2. 硼素加用区		14.9	16.9	116	8.3	15.2	113	8.1	12.4	113	+
3. モリブデン加用区		14.9	9.2	119	5.0	13.2	97	8.1	12.6	98	卅
4. 堆肥加用区		13.2	13.2	119	9.9	11.5	104	14.5	20.0	134	+~-
5. 微量元素化成区		9.9	9.9	125	13.2	11.6	111	14.5	19.8	119	-
6. 原土区		13.2	13.2	119	8.3	11.3	93	3.2	11.0	87	卅
7. 原土モリブデン加用区		9.9	9.9	113	9.9	12.7	100	9.7	13.6	90	+

()は年度

以上の2例から、苦土欠乏は苦土の補給がなければ第3作目頃より、またようりん等苦土を含んだ資材投入の場合は、その投入量のちがいによるが、第10作目頃に注目する必要があると考えられる。とくに置換性苦土が $10\text{mg}/100\text{g}$ 以下になり pHも強酸性を示す場合には、作物に欠乏症が強くあらわれると考えられる。

(7) 苦土とカリの拮抗作用について

苦土とカリとは拮抗作用があることが知られているが、本県においてもそのことが認められている。すなわち、地力保全対策事業地力判定試験(昭34~46)で県下各地

表-11 苦土欠乏土壌と加里施用効果

試験地	項目	置換性塩基 $\text{mg}/100\text{g}$		収 量 比	
		MgO	K ₂ O	K-O	K-標準施肥
軽 米		8	14	100	71
胆 沢		trace	39	100	82
大 船 渡		5	12	100	86

表-12 改良前の土壌分析値

層 位	pH (H ₂ O)	置 換 性 塩 基 (mg)				CEC (me)	塩 基 飽和度 (%)	CaO MgO (mg比)	MgO K ₂ O (mg比)	有効りん酸 Ca-P ₂ O ₅ (mg)	りん酸 吸収 係 数
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						
0~15cm	6.1	231	7	5	11	27.1	33	35.1	1.0	3.1	2,092
15~30cm	6.2	302	7	5	10	25.6	45	44.0	1.0	1.5	2,182

表-13 改良後の土壌分析値

層 位	pH (H ₂ O)	置 換 性 塩 基 (g)				CEC (me)	塩 基 飽和度 (%)	CaO MgO (mg比)	MgO K ₂ O (mg比)	有効りん酸 Ca-P ₂ O ₅ (mg)	りん酸 吸収 係 数
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						
0~15cm	6.8	524	85	38	9	37.5	64	6.2	2.2	30.3	1,744
15~30cm	6.4	371	58	38	8	35.2	49	6.4	1.5	9.2	2,380

(ながいも跡)

帯にほぼ同一施肥量で小麦を栽培し、各土壌型の地力の判定を行った。その結果表-11のように、置換性苦土が $10\text{mg}/100\text{g}$ 以下の土壌ではカリを施用しても逆に苦土欠を助長し収量を減収させるため、むしろ無カリの場合が収量が高くなるという苦土とカリの拮抗作用が認められた。ただし、このような場合は収量水準は低い。

(8) 苦土補給を含む総合的土壌改良の効果

苦土欠を生じる場合は同時に、他の塩基および他の土壌養分状態が不良である場合が多く、苦土の補給のみでなく他の土壌養分も同時に補給する土壌改良が望ましく、この場合、良質堆肥の併用により、さらに土壌改良効果が増大する。本県滝沢村の宮林正美氏は野菜を中心とした農業経営で大きな成果を上げ、昭和54年度の日本農業賞受賞者であるが、長年にわたる土壌改良の成果がこの受賞をもたらしたものと考えられる。土壌改良実施前の同氏の土壌は苦土およびカリともに $10\text{mg}/100\text{g}$ 以下で欠乏状態であり、塩基飽和度も低く、塩基バランス(CaO/

／MgO、MgO／K₂O）は不良であった。

改良後は全ての数値が向上し、しかも30cmの深さまで土壤改良のあとがみられている。とくに塩基のバランスは下層まで良好化したことが認められる。これらの調査成績を表12-13に示した。

(9) 考察

岩手県における苦土欠乏は、県内に広く分布する黒ボク土壌および花崗岩風化土壌を中心に広く認められている。苦土は塩基成分であるため、一般的には耕土が酸性化した場合に、石灰とともに苦土の欠乏も進行する。本県南西部の胆沢台地に分布する火山灰土壌のように、苦土そのものが少ない場合もあるが、土壤が酸性化しやすい条件では、土壤の種類を問わず欠乏症状が認められる。

昭和20～30年代では肥料事業がわるく、土壤改良資材も十分に施用できず、土壤は酸性傾向が続いたため、苦土欠乏は県内に広くみられた。このことは土壤管理が不十分になると比較的簡単に発生する症状といえる。苦土欠乏は作物の生育初期から現われることは少なく、生育中～後期に下位葉の葉脈間クロロシスにはじまる黄化壊死が順次上位葉に進行する。この症状は各作物にほぼ共通しているので容易に確認できる。従って、他の要素対策も含めて継続的な土壤診断が必要である。

不良火山灰土壌の改良に広く実施されているようりん等の施用による土壤改良は、苦土の富化に効果的であるが、年数が経過するに従い、溶脱等により苦土欠になりやすいことを認めている。この場合、苦土を補給することにより土壤改良の効果の継続もはかられる。

苦土欠乏は、土壤的には土壤の酸性化が進むなかで置換性苦土含量が10 mg/100g以下で明確となる場合が多く20 mg/100g以下の留意が必要である。

最近では、苦土を含んだ肥料が数多く出まわっていることもあり、苦土欠乏は散見される程度であるが、苦土を補給する場合は、土壤中の溶脱状況からみて、硫マグは下層に移動しやすい特徴があるので、く溶性苦土を多く含む水マグおよびようりんが効果的である。

最近では野菜栽培等におけるような多肥傾向および堆厩肥の増投等の場合は、土壤養分のアンバランスおよび過剰蓄積がみられ、とくにカリ含量が異常に高い事例が多くなっており、カリとの拮抗作用による苦土欠のおそれが新たな問題となって来ている。この場合、苦土の補給により、カリとのバランスを良好すると同時に施肥条件の検討が必要である。

苦土欠乏に対しては前記したように苦土資材の補給を要するが、この場合、目標は置換性苦土25 mg/100gとすることが望ましく、塩基飽和度から苦土を補給する方法もあるが、この場合は他塩基とのバランスの持続性等さらに検討を要する。

5. 硼素欠乏

1) 硼素欠乏研究の経過^{1), 2), 3)}

硼素は鉄以外の微量要素のなかで最も古くから研究された要素である。植物体中に硼素の存在が認められたのは1857年で、1910年にはAgulston、Bertrandによって少量の硼素が植物の生育に必要であることが明らかにされた。その後、Warrington (1923、ソラマメ)、Brenchley (1927、ソラマメ)、Sommer (1926、ソバ)等の研究で必須元素であることが証明された。現在までに硼素の欠乏症状はアルファルファ、ビート、カブ、セルリ、トマト、白菜、カリフラワー、タバコ、クローバー、果樹類等に多くの植物で報告されている。わが国における硼素欠乏に関する研究は戦後からで、1953年に菅野がナタネの奇病とされていた不稔現象は、硼素欠乏であることを報告したのが最初である。その後、ブドウ果房のエビ、

赤花、黒花と称された異常症状が硼素欠乏であることが確認される等、種々の作物に硼素欠乏が発生していたことが知らされた。岩手県においては昭和30年代になって甘味資源の国内需給を目的に導入されたビートやナタネ、白菜で異常症状が認められ、調査の結果、硼素欠乏に由来するものであることが明らかにされた。その後、十字花科の野菜やリンゴ、ブドウ等の果樹にも発生していることが確認された。発生地域も火山灰土壌地帯を中心にほぼ全県にみられる。

本県における硼素に関する研究は白菜、ビート、カリフラワー、ナタネについて、発生土壌条件の解析、対策試験を行った。

2) 生体内における硼素の機能^{1), 2), 3), 4)}

硼素の植物体内における生理的役割や作用については不明な点が多いが、生育に及ぼす影響は顕著である。必須微量元素のうち非金属元素であるため、他の微量元素と異なり、酵素の補欠分子族(補酵素)としての作用はなく、化学的性質により種々の生理作用に関与すると考えられる。硼素は細胞壁成分であるリグニンの形成、炭水化物及び窒素代謝、カルシウムの吸収、酵素作用の活力の増減等に関係があると言われている。

3) 硼素欠乏症状の特徴

植物体内の硼素含量は作物により著しくちがいが、硼素含量が高いものは要求量が多く硼素欠乏にかかり易い。硼素含量の低いものは要求量も少なく硼素に敏感で過剰症が出易い。硼素欠乏の出易い作物の主なものは、十字科植物のナタネ、大根、ビート、カブ、白菜の他、セルリ、アルファルファ等である。果樹ではブドウに発生し易いがリンゴにも発生する。

硼素は根から吸収され、植物体中には不溶性の形で存在する部分が多く再利用されにくい。このため欠乏症状は新生部分位に、過剰症状は硼素の集積する古い組織に発現

する。微量元素の多くのもものでは、欠乏症状として葉緑素の減退、いわゆるクロロシスとなってあらわれるが、硼素の場合、初めは通導組織が退化するため、外観的症状として矮化、茎葉の肥厚とねじれ、アントシアン色素の発現等となってあらわれる。ひきつづいて細胞膜の破壊、褐変壊死等となるので硼素欠乏は当初目につきにくい。

ナタネの場合、まず茎の生長点の発育が停止し、花芽や花粉の生成が悪くなり不稔障害がでる。ビート、カブ、大根のような根菜類では、根部の中心部が黒変あるいはコルク化し心腐れの症状となる。白菜、セルリ等の葉菜類では、葉が縮まって褐変し、中心部が心腐れとなる。ブドウでは葉に不透明な淡黄色の斑点があらわれ、淡黄色のクロロシスとなり縮葉し、新梢が枯死することもある。リンゴでは果実に顕著にあらわれ、果心又は果皮がコルク化する縮果病となる。茎葉にも欠乏症状がみられ、葉脈のネジレ、葉柄の肥厚、新梢の枯死、異常枝が発生したりする。

4) 硼素欠乏対策

硼素欠乏の発生原因は、土壌中の硼素含量そのものが少ない場合と、土壌反応がアルカリ側でとけにくくなって欠乏する場合の2つのタイプがある。岩手県でみられる欠乏発生土壌は、土壌反応が弱酸性～強酸性と巾があり、硼素含量の少ない事に主要因がある。

白菜、ビート、カリフラワー、ナタネで欠乏対策試験を実施し、主に硼素資材施用量について検討した結果を報告する。

(1) ビート、白菜、カリフラワーに対する

硼砂施用試験⁵⁾ (昭42)

試験場所 雫石町中沼

試験規模 1区25m²、2連制

供試土壌

試験圃場の土壌断面及び土壌の理化学性を表1～2に示した。

試験区の構成及び施肥量

試験区の構成及び施肥量を表3に示した。

耕種概要

耕種概要を表4に示した。

表-1 土 壤 断 面

層位	厚さ	土性	礫				腐植	土色	構造	孔隙		ち密度	粘着性
			形	風化	大きさ	含量				大きさ	量		
I	0~20cm	L	-				富む	7.5 YR 2/2	単粒	細孔	あり	9	2
II	20~50	L	-	-	-	-	含む	" 3/4	粒状	"	"	12	2
III	50~80	L	O	K	a	2	あり	" 6/8	"	小孔	含む	19	1
IV	80~	礫層	O	K	a	5	-	-	-	-	-	-	-

表-2 土壌の理化学性

層位	土性	腐植	pH		置換酸度 Y ₁	全窒素 N(%)	置換性塩基 (mg)			1%クソ りん酸 P ₂ O ₅ (mg)	燐酸吸 収係数	水溶性 硼素 B(ppm)
			H ₂ O	KCl			CaO	MgO	K ₂ O			
I 0-20cm	L	H ₃	6.5	5.7	0.4	0.39	419.9	31.0	26.2	34.0	2,160	0.24
II 20~50	L	H ₂	5.3	5.3	0.9	0.24	199.4	11.3	9.9	0.8	-	0.52

表-3 試験区名及び施肥量

(kg/10a)

区名	白菜・カリフラワー						ビート			堆肥	炭カル
	基肥			追肥			基肥				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
1. 硼砂 0kg	10	12	15	5	-	5	12	20	15	2000	100
2. " 1	"	"	"	"	-	"	"	"	"	2000	100
3. " 2	"	"	"	"	-	"	"	"	"	2000	100
4. " 3	"	"	"	"	-	"	"	"	"	2000	100

表-4 品種名及び播種期、収穫期

作物	品種名	播種	収穫	栽植距離
白菜	中秋白菜	7月28日	11月10日	70×40 cm
カリフラワー	野崎早生	6月5日 (定植7月15日)	10月20日 11月10日	75×45 cm
てん菜	E-5	5月28日	11月10日	60×23 cm

表-5 作物別生育収量、欠乏発生状況

〔白菜〕

区名	生存株率 (%)	結球率 (%)	10 a 当 結球重 (kg)	同 比 (%)	硼素欠乏症状株	
					萎縮株率 (%)	葉内側褐変粗皮状 (%)
1. 硼砂 0 kg	70	0	0	0	100	92
2. " 1	100	100	5,650	100	0	25
3. " 2	100	100	5,890	104	0	0
4. " 3	100	100	6,530	116	0	0

〔カリフラワー〕

(10 a 当)

区名	全 重 (kg)	同 比 (%)	着花蕾数 (個)	花 蕾 重 (kg)	同 比 (%)	硼素欠乏症状株 葉内側褐変 (%)
1. 硼砂 0 kg	816	29	1,120	270	28	34
2. " 1	2,849	100	2,660	950	100	8
3. " 2	3,766	132	3,220	1,400	147	0
4. " 3	3,547	124	3,150	1,260	133	0

〔ビート〕

(10 a 当)

区名	草 丈 (cm)	葉 数 (枚)	10 a 当り根重 (kg)	硼素欠乏症状株, 葉柄 内側褐変, 粗皮状 (%)
1. 硼砂 0 kg	27.9	12.5	1,100	65.9
2. " 1	35.6	14.0	1,800	2.3
3. " 2	36.5	16.9	1,801	0
4. " 3	44.9	19.4	1,803	0

結果の概要

白菜、カリフラワー、ビートとも、硼素無施用区では生育初期から欠乏症状が認められた。欠乏症状は白菜では初期生育が不良で、株全体が萎縮して欠株となる。結球期（9月）になると葉の内側中肋が褐変粗皮状となる。この症状は外葉からはじまり、次第に中心葉に及び結球する株は無い。カリフラワーでは白菜のように粗皮木質状となるような著しい症状にはならないが、葉柄内側から葉脈にかけて黄褐色になり花蕾の一部も褐変する。ビートでは生育初期から萎縮症状がみられ、9月頃から葉柄が褐変木質化し葉脈に及ぶ。

硼砂の施用により各作物とも生育量が増加し、硼砂1kg/10aを施用すると生育が回復してまづ正常な生育を示し、カリフラワー、ビートは欠乏症状発現株も10%以下となる。硼砂2~3kg/10a施用では欠乏症状が全くみられなくなり、各作物ともに硼砂施用により増収する。各作物とも生育のほぼ正常な硼砂1kg/10a施用区の収量を標準とした場合、硼砂無施用区は収量指数0、28、61%と著しく低収となった。特に欠乏症状が激しく全株不結球となった白菜は収穫皆無であった。白菜では硼砂多施用ほど多収傾向を示し、カリフラワーでも硼砂2kg/

10a施用区まで増収したが、ビートでは硼砂施用量の差はほとんどなかった。

収穫した作物中の硼素含有率は表6に示すように白菜、カリフラワー、ビートとも硼砂施用にしたがって硼

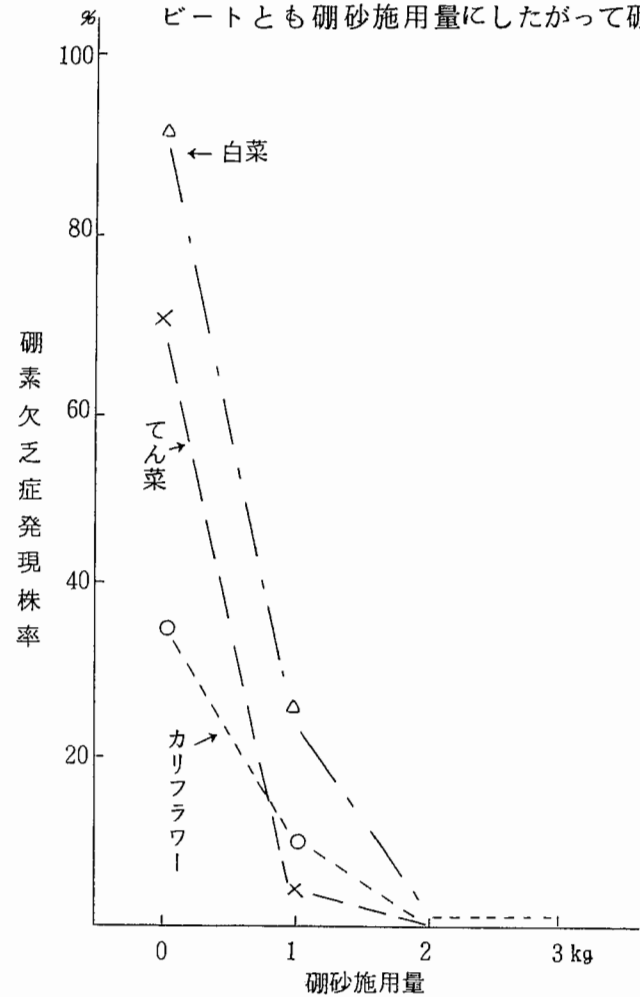


図-1 硼砂施用量と欠乏症状発現株率

表-6 硼砂施用量と作物中の硼素含有率

(%)

区名	白菜(葉)	カリフラワー		てん菜(葉)
		葉	花蕾	
1. 硼砂 0 kg	15.0	20.5	17.0	8.0
2. " 1	16.5	33.5	31.0	35.0
3. " 2	20.5	34.5	35.0	42.0
4. " 3	33.0	40.0	55.0	55.0

表-7 硼砂施用量と硼素吸収量

区 名		10 a 当収量 (kg)	同風乾物収量 (kg)	硼素濃度 (風乾物中) B, (ppm)	10 a 当硼素量 吸 収 B, (g)
雫 石	1. 硼砂 0 kg	714	44.2	15.0	0.66
	2. 1	5,650	350.2	16.5	5.78
	3. 2	5,890	365.1	20.5	7.48
	4. 3	6,530	404.8	33.0	13.36
本場	硼砂 1	8,400	520.8	48.0	24.99

表-8 跡地土壌の土壌分析成績 (白菜跡)

区 名	pH		全窒素 N(%)	置換性塩基 (mg)			1%く溶性 りん酸 P ₂ O ₅ (mg)	水溶性硼素 B, (ppm)
	H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O		
1. 硼砂 0 kg	6.50	5.85	0.39	522	36	33	30.2	0.24
2. " 1	6.65	5.85	0.42	493	21	20	29.5	0.90
3. " 2	6.15	5.50	0.40	454	33	13	31.0	2.52
4. " 3	6.70	5.95	0.43	533	39	23	30.0	3.24

表-9 滝沢土壌における土壌ならびに作物
体中の硼素

土壌および作物	硼 素 (ppm)	
土 壌(作土)	水溶性硼素(B)	1.32
白 菜(葉)	全 硼 素(B)	48.0
カリフラワー(葉)	"	31.0
" (花蕾)	"	65.5
て ん 菜(葉)	"	42.5

素含有率も高まる。葉中の硼素濃度と硼素欠乏症状発現との関係は、カリフラワー、ビートとも硼素濃度20ppm以下で欠乏病状が強くあらわれ、33~35ppmまでは生育がかなり良好となり、一部の株に欠乏症状が発現する。硼素濃度35~40ppm以上になると欠乏症状は全くみられない。一方激しい欠乏症状の発現した白菜は、硼砂1kg/10a施用でも葉中硼素濃度20ppm以下で、25%の株に欠乏症状がみとめられた。硼砂2kg/10aの施用では葉中硼素濃度20ppm以下となり欠乏症状はおさえられ、硼砂3kg/10a施用ではさらに33ppmまで高まり

収量も増加している。跡地土壌の水溶性硼素含量は、硼砂施用量に比例して高くなる傾向を示す。土壌中の水溶性硼素濃度と硼素欠乏発現との関係を白菜跡地でみると、欠乏症状の激しい硼砂無施用区で0.24ppm、25%に欠乏症状の発生した硼砂1kg/10a施用区は、0.9ppmである。欠乏のみられない硼砂2、3kg/10a施用区は2.5、3.2ppmとなっている。硼素的にはやや健全で母材も同一と考えられる岩手県農試(滝沢土壌)における土壌ならびに作物体中硼素の分析値を第9表に示した。滝沢土壌の水溶性硼素濃度は1.3ppm、作物体中の硼素濃度は白菜、カリフラワー、ビートとも30ppm以上となっている。以上のことから、土壌中の水溶性硼素濃度が0.2ppm程度では欠乏症状が明らかに発生し、1ppm以下の土壌では欠乏が懸念される。また白菜、ビート、カリフラワー等の硼素要求度の高い作物で、健全な生育収量を得るためには葉中硼素濃度が30ppm以上確保されることが望しいと考えられる。

(2) 硼素のビートに対する効果と跡作に及ぼす影響^{6) 7) 8)}

a. 硼素のビートに対する施用効果
(昭36)

試験場所 岩手郡雫石町、遠野市及び九戸郡大野村

供試土壤

供試土壤の化学性を表10に示した。
試験区の構成及び施肥量

試験区の構成及び施肥量を表11に示した。

供試品種 導入2号

試験成績

試験の結果を表12及び図2に示した。

表-10 土壤の化学性

試験地	地質母材	深 さ (cm)	土 性	pH(KCl)	水 溶 性 素 B (ppm)
雫 石	火 山 灰	0 ~ 60	C L	5.1	0.18
		60 <	C L	5.3	0.27
遠 野	洪 積 層	0 ~ 40	C L	5.3	0.49
		40 ~ 60	C L	5.2	0.43
		60 <	L	5.1	0.30
大 野	花 崗 岩	0 ~ 35	L	5.3	0.24
		35 ~ 70	L	5.3	0.29
		70 ~	C L	5.3	0.36

表-11 試験区名及び施肥量

場所及び施肥量 区名	雫 石	遠 野	大 野	施肥量, 堆厩肥, 土壤改良資材 (kg/10a)
1. 硼砂無施用	○	○	○	• N: 12, P ₂ O ₅ 13, K ₂ O 8kg
2. 硼砂 0.6*	○	○	○	• pH 6.5目標相当の消石灰投入
3. " 1.2*	○	○	○	• 堆厩肥
4. " 1.8*	○	○	○	雫石 2000 kg/10a
5. " 2.4*	○	—	—	遠野・大野 1200 kg/10a
6. " 3.0*	○	—	—	

* kg/10a

b. 硼砂施用が跡作に及ぼす影響
(昭37)

試験場所 岩手郡雫石町

供試土壤 前記aの雫石試験区の跡地を使用

試験区の構成及び施肥量

試験区の構成及び施肥量を表13に示した。

供試作物 大豆：岩手ヤギ1号

試験成績

試験の結果を表14及び図3に示した。

結果の概要

硼砂のビートに対する施用効果は、土壤中の小溶性硼素濃度が0.3ppm以下の雫石、大野試験地で、ほぼ10%以上の増収効果が認められたが、0.49ppmの遠野試験地は2~4%の増収で効果は小さかった。

表-12 収量調査結果

区の別	試験地名 収量	雫石		遠野		大野	
		根部収量	同指数	根部収量	同指数	根部収量	同指数
		トン/10a	%	トン/10a	%	トン/10a	%
1.	硼砂無施用	3.52	100	4.41	100	3.45	100
2.	硼砂 0.6 kg	3.82	108	4.60	104	3.76	108
3.	" 1.2	3.82	108	4.52	102	3.97	115
4.	" 1.8	3.87	110	4.60	104	3.86	112
5.	" 2.4	4.04	115	—	—	—	—
6.	" 3.0	3.83	109	—	—	—	—

表-14 収量調査結果

区名	項目	(kg/10a)	
		子実重	同指数 %
1.	硼砂無施用 跡地	160	100
2.	硼砂 1.2 kg 施用跡地	181	113
3.	" 1.8 kg "	179	111
4.	" 3 kg "	183	114

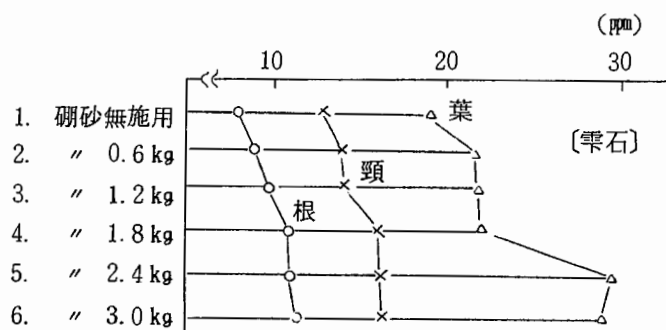


図2 硼砂施用量と作物体中の硼素濃度

表-13 試験区名及び施肥量

区名	施肥量	基肥			堆厩肥
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1.	硼砂無施用 跡地	0.79	6.65	5.63	1125
2.	硼砂 1.2 kg 施用跡地	"	"	"	"
3.	" 1.8 " "	"	"	"	"
4.	" 3.0 " "	"	"	"	"

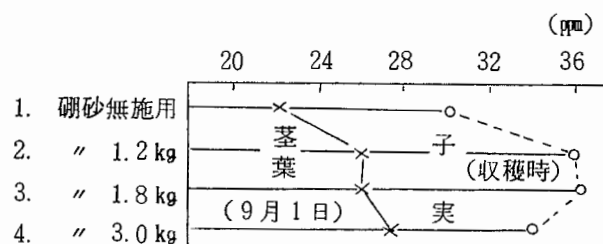


図3 作物体中の硼素濃度

硼素要求度の強い作物では硼素の施用効果が大いだが、硼素の場合、欠乏と過剰の限界濃度差が小さい要素で、作物によっては過剰が心配される。岩手県で輪作にとり入れられている作物で硼素に比較的敏感で過剰症の出易いと考えられる大豆で検討した結果、硼砂 3kg/10a 施用した場合でも過剰症状はみられず、硼砂施用区は無施用跡よりも10%以上の子実収量となったが、硼砂施用量 1.2~3.0kgの収量の差は認められなかった。

(3) ナタネに対する硼砂施用試験^{8), 9)} (昭36)

試験場所 胆沢郡胆沢町若柳
 試験規模 1/2000 ワグネルポット
 3連制 供試土壤

供試土壤の化学性を表15に示した。

試験区の構成及び施肥量

試験区の構成及び施肥量を表16に示した。

供試作物 ナタネ：アブクマナタネ

試験成績

試験の結果を表17~18に示した。

試験結果の概要

供試した土壤は小麦の著しい欠乏症状が発現した土壤であったが、ナタネでは全生育期間を通じて銅欠乏症状はみられず、生育初期から硼素欠乏が顕著に認められた。硼砂無施用区は越冬後の生育が極めて不良で、茎の生長点が発育停止して枯死したのもあり、子実重は著しく少なかった。銅施用効果もわずかに認められたが、硼砂施用区はその効果が極めて大きく、硫酸銅施用区の子実重を100とした場合の10倍以上となった。

考察

岩手県における硼素欠乏は県中南部の黒ボク土壤（焼石岳、岩手山、秋田駒ヶ岳）を中心に全県下でみられる。硼素欠乏は土壤がアルカリ性に傾き難溶性になる場合と硼素含量そのものが少ない場合が考えられるが、岩手県での発生例では後者が多い。また県南部に分布する強酸性黒ボク土壤では、強酸性で硼素が溶脱し易いために欠乏症状の出易い条件にある。

表-15 供試土壤の化学性

項目 層位 (cm)	pH (H ₂ O)	置換 酸度 (Y ₁)	腐植 (%)	置換性塩基 (mg)			塩基置 換容量 (me)	りん酸 吸収量 (%)	1/5N-HCl 可溶性りん酸 P ₂ O ₅ (mg)	全銅 CuO (ppm)	水溶性 硼素B (ppm)
				CaO	MgO	K ₂ O					
I (0 - 29)	5.72	5.42	13.19	97.0	16.0	7.0	23.7	56.7	3.50	50	
II (29 - 46)	5.40	7.95	8.09	79.0	21.0	20.0	19.1	59.2	0.44	58	
III (46 ~)	5.70	8.79	0.77	72.0	18.0	10.0	11.5	50.7	0.95	50	

表-16 試験区の構成及び施肥量

区 名	施肥量 (g/ポット)			硫酸銅*	硼 砂*	耕種概要
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
1. 無施用	1.0	3.0	1.0	—	—	移植期
2. 硫酸銅 300	"	"	"	300	—	11月4日
3. 硼砂 65	"	"	"	—	65	収穫期
4. 硫酸銅 300 硼砂 65	"	"	"	300	65	6月5日

* mg/ポット

表-17 収量調査結果

区名	成熟期(6/5)		全重 (g/ポット)	稈重 (g/ポット)	総分枝数 (本/ポット)	子実重 (g/ポット)	同左比 (%)
	草丈(cm)	穂長(cm)					
1. 無施用	62.3	17.0	25.6	19.5	14.0	0.8	38
2. 硫酸銅300	72.5	9.8	27.3	21.0	18.3	2.1	100
3. 硼砂 65	91.5	25.8	57.7	24.7	16.7	22.1	1053
4. 硫酸銅300 硼砂 65	89.0	28.2	55.3	24.0	16.3	20.3	967

表-18 作物体中の養分含有率

(6月5日, 茎葉)

成分 区名	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Mn ₂ O ₃ (ppm)	Fe ₂ O ₃ (ppm)	CuO (ppm)	B (ppm)
1. 無施用	3.05	0.62	3.98	83.5	0.16	2.99	5.4
2. 硫酸銅300	0.60	0.44	3.13	61.8	0.08	3.79	5.3
3. 硼砂 65	0.33	0.32	3.59	111.4	0.03	4.66	8.8
4. 硫酸銅300 硼砂 65	0.32	0.11	3.50	55.3	0.02	2.93	10.7

硼素欠乏土壤(零石:水溶性硼素:0.24 ppm)で硼素要求度の大きい白菜、ビート、カリフラワーで対策のための硼砂用量試験を行った。その結果、3作物とも硼砂無施用区で欠乏症状が発生したが、硼砂施用により生育量が増加し、硼砂1kg/10a施用ではほぼ正常な生育となり、硼砂2~3kg/10a施用で欠乏症状は全く認められない。葉中の硼素濃度と欠乏症状発現との関係は、3作物とも硼素20ppm以下で欠乏症状が強くあらわれ、35~40ppm以上では全くみられない。また、跡地土壤の水溶性硼素を白菜跡地でみると、欠乏の著しい硼砂無施用区は0.24ppm、硼砂1kg/10a施用区0.9ppm、2kg/10a施用区2.5ppmと硼砂施用量に比例して富化した。一方、ほぼ健全な土壤と考えられる滝沢土壤(水溶性硼素1.3ppm)で栽培した場合、葉中の硼素濃度は30ppm以上となっている。以上の事から、土壤中の水溶性硼素含量が、0.2ppmでは欠乏が明らかに発生し、1ppm以下の土壤では欠乏が懸念され、硼素要求度の高い作物で健全な生育収量を得るためには、

葉中硼素濃度が30ppm以上確保される必要がある。このほか硼素の施用効果は大野、遠野(ビート)、胆沢(ナタネ)でも確認された。

硼素を含む資材としては、硼砂(B₂O₃ 36%) BMようりん(B₂O₃ 0.5%)、FTE(B₂O₃ 10%)等がある。硼素の施用量は土壤中の硼素欠乏度によっても異なるが、白菜、カリフラワー等の硼素要求の高い作物は硼砂の場合10a当り1~2kg位必要とする。またこの程度の施用量であれば、硼素に敏感な大豆を後作として栽培しても、硼素過剰症状はみられない。

岩手県では野菜栽培面積が急速に拡大して主産地が形成されてきているが、近年、白菜、カリフラワー以外の野菜にも硼素欠乏症状が確認されてきているし、野菜は土壤pH6~6.5が好適とされており、多肥栽培、改良資材の投入により、土壤反応も極端にアルカリ側になり、土壤中の硼素が固定されて欠乏症の事例も想定されるので、土壤管理には十分留意する必要がある。

6. 鉄欠乏

1) 鉄欠乏研究の経過

諸外国では土壤のpHが高いために作物に鉄が欠乏する例が多いが、酸性土壤の多いわが国ではこのような理由による作物の鉄欠乏はまれであるとされていた。¹⁾しかし群馬県では陸稲やオオムギに鉄欠乏が多発し、小林らは陸稲においては土壤pH6.0で欠乏症が発現し、pH6.5では激甚になることを報告している。^{2), 3)}また畑作物の鉄欠乏および鉄の可給性に関する研究は、渡辺らの詳細な報告がある。⁴⁾

岩手県においては、1974年に二戸郡安代町扇畑でホップ跡地の畑稲に生育異常がみられ、現地調査を行った結果、鉄欠乏であることが確認された。また、二戸市においても畑稲の異常生育が鉄欠乏と認められた。これらに基づいて1975年に鉄欠乏対策樹立のための試験を実施した。

また、一関市真滝の須川パイロット地区の新規造成果樹園において、ブドウの新梢に異常葉が発生したため調査を行ったところ、土壤中の微量要素が複合的に欠乏していることが判明し、果樹団地内に鉄欠乏土壤が分布していることが明らかにされた。

これらの事例の他には、水稻の育苗床土に高pH土壤を使用したため幼苗が軽い鉄欠乏症状を呈した例が県内で散見されているが、いずれも点として分布であり、大きな問題にはなっていない。またマンガン欠乏地帯の土壤でも麦類に対する硫酸第一鉄施用の効果のみられることは「マンガン欠乏土壤」の項で述べたとおりであるが、その場合はマンガン欠乏の徴候がより顕著であった。

また最近の新規造成畑では、未熟および不良土壤が表土化することが多く鉄欠乏を含む各種微量要素欠乏の多発のおそれがあり、作目が多様になることにもより注目を続ける必要がある。

2) 生体内における鉄の機能

鉄は生物にとって必須な元素の一つであ

り、特に動物では血液色素（ヘモグロビン、エリスロクルオリン、クロロクルオリン）の色素部分に含まれていて、酸素の運搬に重なる役割を果たしている。⁵⁾植物の養分としての鉄は、最も古くからその必須性が認められているものの一つであり、植物体内で各種の酵素の構成成分として存在し、 Fe^{++} （還元型） \rightleftharpoons Fe^{+++} （酸化型）の相互変化によって酸化還元反応に関与している。

植物体内の含鉄酵素のあるものは、葉緑素の生成過程で触媒的な働きをしているため、鉄が欠乏すると葉緑素の欠乏が阻害され、葉が黄緑、黄化、黄白化等のいわゆるクロロシスを呈する。植物における光合成、呼吸あるいは根からの陰イオン吸収などにも含鉄酵素が関与することが知られており、したがって植物がマンガン、銅、燐などの過剰によってクロロシスをおこすのは、本質的には、鉄が相対的に欠乏して、酵素作用が減退することによるものと考えられている。

鉄の欠乏に伴い、植物体内の生理作用が円滑に営まれなくなることは他の必須元素の場合と全く同様であり、たとえば、鉄が欠乏した植物体では、窒素代謝が阻害され、ひいてはタンパク質の合成が阻害される。この結果可溶性窒素化合物の増加、炭水化物含量の低下などをきたす。また鉄が欠乏すると他の元素の異常蓄積が起こるとされている。¹⁾

3) 鉄欠乏症状の特徴

鉄はカルシウムと同様に、作物体内では移行性の小さい元素である。したがって欠乏症状は古い葉には殆ど発生せず、新葉に顕著にあらわれる。欠乏症の発生しやすい作物は、陸稲、畑稲、とされている。園芸作物ではハウス栽培のナス、トマトやウリ類に欠乏症がみられており、他には花卉類、ミカン、ナシなどにも発生する。⁶⁾まれに麦類や水稻にも鉄欠乏症が発生することがある。一般的な欠乏症状は、新葉の葉脈にやや緑色が残るだけで、新葉全体が

黄化～黄白化し、窒素欠乏や硫黄欠乏に類似した症状を示す。⁶⁾

安代町扇畑でみられた畑稲の鉄欠乏症状は次のとおりである。すなわち、3～4葉期の比較的早くから葉の黄化が目立ち、株全体の葉色が淡くなり、新葉ほど黄化が著しくその回復はみられない。症状の激しい株では葉脈も完全に黄化し、生育は完全に停滞する。症状の軽い株は葉脈に緑色を残し、葉脈間のみ黄化する。硫酸第一鉄水溶液の葉面散布により、黄化した葉面に緑斑を生じ次第に葉色が回復して正常な新葉が展開する。

また一関市真滝の果樹園（ブドウ）の場合は、微量元素が複合的に欠乏していたため、必ずしも鉄欠乏の症状とは断定できないが、ブドウの生育が不良で、異常葉の症状としては、新葉か成葉の褪色、黄化および捲葉などが観察されており、これらの症状のうち新葉の褪色、黄化が鉄欠乏に由来すると推察された。

4) 畑稲の鉄欠乏

畑稲の鉄欠乏が確認された1974年に現地圃場を調査し、応急処置として硫酸第一鉄の葉面散布をおこなった。その結果被害を最少限にとどめることができた。この現地の実態を踏まえて、さらに基本的な鉄欠乏の対策を樹立するため、1975年に、現地土壌を採取してポット試験をおこなった。

・現地調査

二戸郡安代町扇畑の現地圃場を調査し土壌を採取、分析に供した。また葉面散布後、その効果を確認したうえで作物体

表-1 現地圃場の土壌分析成績

生育状態	pH (H ₂ O)	換置性塩基 (mg)			有効態 りん酸 (mg)	磷酸 吸収 係 数	可給態 鉄 (Fe _{ppm})	マンガン(Mn _{ppm})	
		CaO	MgO	K ₂ O				置換性	易 還元性
正常・表層	6.18	613	55	55	62.0	1,340	9.6	1.0	92.0
正常・下層	5.80	-	-	-	-	-	24.5	1.7	151.1
異常・表層	6.70	631	70	59	56.0	1,320	7.3	1.1	81.8

(茎葉)を採取し、分析に供した。

土壌分析法

pH: 常法

置換性石灰、苦土: N-CH₃COONH₄ (pH, 7) 浸出液の原子吸光分光分析法

置換性加里: N-CH₃COONH₄ (pH, 7) 浸出液の炎光分析法

有効態りん酸: Truog法

りん酸吸収係数: M/100 正りん酸吸着法

メタバナジン酸アンモンによる比色法

可給態鉄: N-CH₃COONa (pH 4.8) 浸出液の原子吸光分析法

易還元性マンガン: 0.2%ハイドロキノン含有N-CH₃COONH₄浸出液の原子吸光分光分析法

置換性マンガン: N-CH₃COONH₄ (pH, 7) 浸出液の原子吸光分光分析法

作物体分析法

Fe: 過塩素酸分解液の原子吸光分光分析法

P₂O₅: 過塩素酸分解液のモリブデンブルー比色法

調査成績

a) 土壌分析

表1に土壌分析結果を示した。

生育異常の作土は生育正常の作土に比べてpHが高く、可給態鉄含量が欠乏限界といわれる8 ppm以下になっていることが特徴的である。置換性マンガン含量は両土壌とも欠乏水準であるが、易還元性マンガン含量は欠乏限界以上であった。置換性塩基や有効態りん酸含量は両土壌とも豊富であり、いわゆる肥沃畑であることがうかがわれる。なお、生育正常の下層土は表層に比べてpHが低く、可給態鉄や易還元性マンガんに富んでいる。

b). 作物体分析

表2に作物体の分析結果を示した。

試料は、生育が正常なもの、当初は生育が不良であったが葉面散布により回復したもの、及び生育が極く不良なもの、の三種類を採取分析した。鉄の濃度は生育正常なものが最

表-2 畑稲の茎葉分析成績 (減分期)

試料	Fe (ppm)	P ₂ O ₅ (%)	Fe [*] / P ₂ O ₅
1. 生育正常	142.5	0.76	188
2. 生育正常	165.0	0.78	212
3. 葉面散布に	125.0	1.09	115
4. より生育回復	102.5	0.90	114
5. 生育極不良	75.0	2.16	35

※ Fe/P₂O₅は便宜上、各ppm各%そのままの数値で比を求めた。

も高い傾向で、生育極く不良なものが最も低い。葉面散布により回復したものはその中間の濃度であった。りん酸の濃度は鉄とは逆の傾向で、生育極く不良のものが生育正常なもの約3倍の濃度になっていることが特異的であった。

表-3 供試土壌の理化学性

pH		腐植 (%)	置換性塩基 (mg)			有効態りん酸 P ₂ O ₅ (mg)	りん酸吸収係数	可給態鉄 Fe(ppm)
H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O			
6.33	5.50	13.1	658	59	37	56.0	1,060	6.70

表-4 試験区名及び処理内容

区名	処理	共通
1 無処	理	—
2 鉄資材施用	FeSO ₄ ・7H ₂ O 5g	N: 1.0
3 葉面散布 A	FeSO ₄ ・7H ₂ O 0.1%液4回散布	P ₂ O ₅ : 1.0
4 葉面散布 B	FeSO ₄ ・7H ₂ O 0.1%液6回散布	K ₂ O: 10
5 pH 5.5 矯正	土壤 pH 5.5 矯正 (N-H ₂ SO ₄ 450ml)	g/pot
6 pH +鉄資材	土壤 pH 5.5 矯正 + FeSO ₄ ・7H ₂ O 5g	
7 pH 5.5 矯正 (参考A)	土壤 pH 5.5 矯正 (硫黄華 10.7g)	
8 pH 5.2 矯正 (参考B)	土壤 pH 5.2 矯正 (硫黄華 14.5g)	

※ 硫酸の所要量は緩衝曲線から求め、硫黄華の量はアレニウスの表から逆算して求めたため、同じ pH 5.5 矯正目標でも S の絶対量は異なる。

c). ポット試験⁷⁾

試験場所 岩手郡滝沢村砂込 農試
場内

試験規模 a/2000 ワグネルポッ
ト 2区制供試作物
畑稲(シモキタ)

供試土壌 腐植質火山灰土壌

採取地 二戸郡安代町扇畑

土壌の理化学性

供試土壌の分析値を表3に示した。

試験設計

試験設計を表4に示した。

耗種概要 5月14日は性 9月29日

収穫

試験成績

試験成績を表5~8及び図1~
3に示した。

表5 生育、収量調査成績

表6 収穫物分析成績

表7 鉄、マンガン吸収量

表8 跡地土壌の化学性

図1 土壌pHと籾収量

図2 可給態鉄及び置換性マンガン
と籾収量

図3 土壌pHと可給態鉄及び置
換性マンガン

表-5 生育・収量調査成績表

区 名	成熟期調査(9月29日)			収穫物(g/ポット)	
	稈長(cm)	穂長(cm)	穂数(本)	茎葉重	籾重
1 無処理	25.3	—	8.5	1.1	—
2 鉄資材施用	47.0	14.3	24.5	24.4	9.4
3 葉面散布A	37.5	13.8	22.5	19.4	11.1
4 葉面散布B	48.0	15.8	20.0	19.0	10.0
5 pH 5.5 矯正	55.5	16.3	18.5	20.4	13.6
6 pH 5.5 + 鉄資材	55.0	17.3	25.0	26.5	25.5
7 pH 5.5 矯正(参考A)	56.0	16.5	35.0	29.7	33.0
8 pH 5.2 矯正(参考B)	60.0	14.0	31.0	38.4	37.6

表-6 鉄・マンガン含有率

区 名	Fe (ppm)		MnO (ppm)	
	茎	葉	茎	葉
1 無処理*	—	—	—	—
2 鉄資材施用	109	198	56	52
3 葉面散布A	118	137	92	33
4 葉面散布B	105	140	63	33
5 pH 5.5 矯正	111	180	182	42
6 pH 5.5 + 鉄資材	110	144	311	46
7 pH 5.5 矯正(参考A)	99	118	599	92
8 pH 5.2 矯正(参考A)	118	106	1,720	179

* 枯 死

表-7 鉄・マンガン*吸収量

区 分	Fe (mg/pot)			MnO (mg/pot)		
	茎 葉	籾	計	茎 葉	籾	計
1. 無 処 理	—	—	—	—	—	—
2. 鉄資材施用	2.66	1.86	4.52	1.37	0.49	1.86
3. 葉面散布 A	2.29	1.52	3.81	1.78	0.37	2.15
4. " B	2.00	1.40	3.44	1.20	0.33	1.53
5. pH 5.5 矯正	2.26	2.45	4.71	3.71	0.57	4.28
6. " +鉄資材	2.92	3.67	6.69	8.24	1.17	9.41
7. pH 5.5 矯正(参考A)	2.94	3.93	6.87	17.79	3.06	20.85
8. pH 5.2 矯正(参考B)	4.53	3.99	3.52	66.05	6.73	72.78

表-8 跡地土壌の化学性

区 分	pH (H ₂ O)	置換性塩基 (mg)			有 効 りん酸 P ₂ O ₅ (mg)	可給態 鉄 Fe (ppm)	置換性 マンガン MnO (ppm)
		CaO	MgO	K ₂ O			
1. 無 処 理	6.23	436	28	38	68	6.7	1.6
2. 鉄資材施用	6.25	414	28	32	66	10.4	1.6
3. 葉面散布 A	6.30	413	29	27	69	6.7	1.5
4. " B	6.32	417	30	34	74	6.6	1.4
5. pH 5.5 矯正	6.05	376	20	21	71	8.9	1.4
6. " +鉄資材	6.02	359	22	21	70	13.6	2.4
7. pH 5.5 矯正(参考A)	5.70	331	16	19	72	10.3	3.1
8. pH 5.2 矯正(参考B)	5.32	288	10	22	75	13.6	4.5

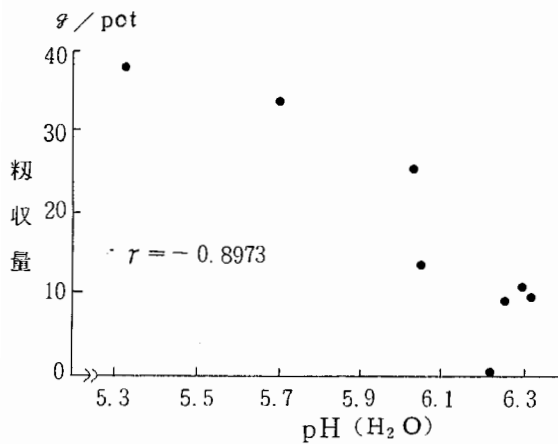


図-1 土壌 pH と籾収量

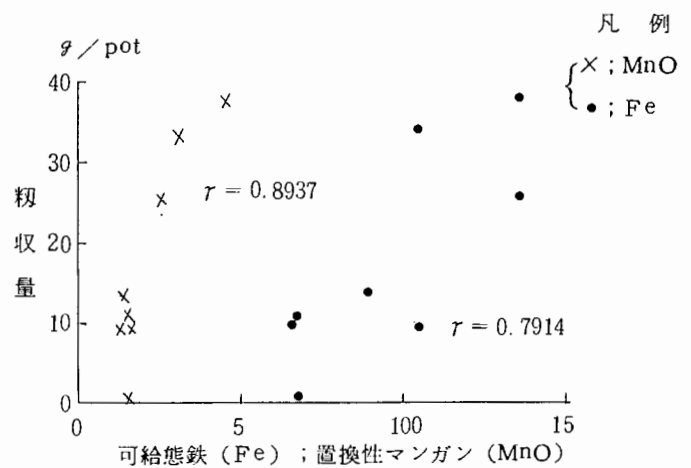


図-2 可給態鉄、置換性マンガン含量と籾収量

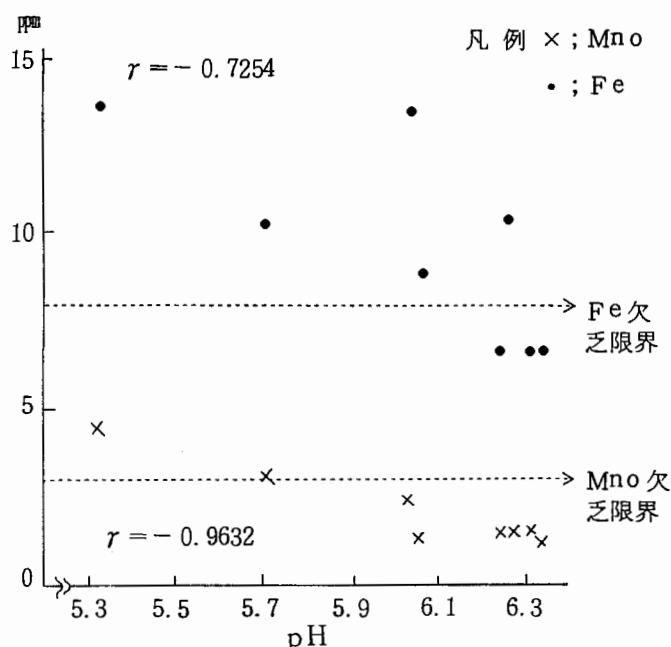


図-3 土壌 pH と可給態鉄、置換性マンガン含量

無処理区は2~3葉期から黄白化しはじめ、それ以後生育は著しく遅延し、殆ど分けつがなく、生育中期には葉先が褐変枯死した。出穂も殆どなく、収穫物は大部分茎葉であった。

各処理の中では土壌pH処理が効果的で、生育、収量ともに他の処理に優る傾向であった。

鉄資材施用区は、初期生育は比較的良好であったが、生育中期以後生育が遅延し、籾収量は処理区中で最も劣った。葉面散布区は、散布直後は葉色が回復するものの、生育量は少なく収量的にも鉄資材施用区と大差なかった。

土壌pH処理区の中では、硫酸よりも硫黄華が効果的であった。

茎葉中の鉄濃度には明確な傾向が認められなかったが、マンガン濃度は収量が高い区ほど高まる傾向がみられた。籾の鉄濃度は硫黄華施用区でやや低い傾向がみられたが、マンガン濃度は逆に硫黄華施用区が高し傾向であった。

作物の鉄吸収量は、濃度に極端な

差がみられないため、ほぼ収量と同様の傾向であったが、マンガンについては、鉄収量の高い区はマンガン濃度も高いため、傾向的には鉄吸収量と同様であるが、区間の吸収較差が極めて大きくなった。

跡地土壌pHは、硫酸施用区よりも硫黄華施用区の方が目標pHに近い傾向であった。置換性塩基含量は、土壌pHの低下につれて、低下する傾向がみられた。鉄資材施用区は土壌pHは原土にくらべて殆ど低下しなかったが、可給態鉄含量は増加した。

考察

山崎は鉄欠乏の誘因として、りん酸過剰、硝酸態窒素の施与、土壌反応(pH)、マンガンあるいは鉄の過剰吸収、カリウムの欠乏、植物体内における鉄の難移動性を挙げているが、本誌験では、現地調査の時点で土壌pHが高すぎることで鉄欠乏症発現の主要因と考えられたので、土壌反応の矯正を主眼において試験を実施した。

その結果、鉄資材の土壌施用や葉面散布よりも、土壌pHを下げる処理の方が作物の生育、収量の面で効果が大きく、また土壌pHの低下により土壌中の可給性態鉄含量も増加したことから、供試土壌の鉄欠乏は主として土壌pHの過上昇に起因していることが確認された。

この様に土壌pHの過上昇によって鉄欠乏が生じるのは、pHが酸性側から中性に近づくとき鉄の溶解度が極端に低下するため作物が吸収できる鉄の量が極めて少なくなるからである。また、土壌中におけるりん酸固定のパターンの一つとしてりん酸と鉄の結合があげられるが、供試土壌の様に有効態りん酸含量が著しく高い条件では逆に鉄を固定する

ことになり、このことも鉄の不可給態化に拍車をかけたものと推察される。

この様に可給態鉄の発現が抑制される条件であったことから、作物に吸収される鉄の量は通常の場合よりも少なくなるにもかかわらず、作物はりん酸を十分吸収できる条件にあったため、生体内での鉄の移動が抑制され激しい鉄欠乏症が発現したものと考えられた。

鉄資材施用区で、可給態鉄含量が増加し欠乏水準を脱しているにもかかわらず、さほど生育が良くなかったのは土壌pHが畑稲の生育にとって好適な状態ではなかったため、十分な量の鉄を吸収し得なかったことによると思われる。

現地では葉面散布が卓効を示したが、ポット試験ではそれほど効果が認められず、葉面散布の効果に疑問がもたれたが、これは圃場とポットの根圏域の差異によると考えられる。つまり葉面散布により生育が回復すれば根も伸長するが、現地圃場では根が作土層下まで達すれば十分に鉄を吸収できる条件にあったのに対し、ポットでは葉面散布により一時的に生育が回復し根が伸長しても可給態鉄含量の少ない条件であるため、鉄の供給は葉面散布に依存するのみでありこのことが現地圃場に比べて効果が小さかった要因と推察された。

なお、硫酸に比べて硫黄華のpH矯正能が高かったのは、同じpH 5.5矯正目標でも、硫黄華処理区の方が硫酸処理区よりも硫黄成分が多かったことに由来すると考えられた。

土壌分析の結果はマンガン欠乏の可能性を示唆していたが、マンガン欠乏症状はみられず、これは鉄欠乏症状が激しかったためマンガン欠乏症の発現が判然としなかったのでは

ないかと思われる。

以上のことから、鉄欠乏の対策としては、応急的には硫酸第一鉄の葉面散布が、また根本的には土壌pHを少なくとも6以下に下げることが有効でありこのほかに前作の肥培管理を考慮した輪作をおこなうことも必要と考えられた。本村らは、土壌の可給態鉄豊否判定の規準を、陸稲について、可給態鉄含量2 ppm以下を著しい欠乏状態、2～4 ppmを明らかな欠乏状態、4～8 ppmを軽微な欠乏状態と区分しており、8 ppmをこえればおおむね作物に欠乏を来さないとしている。⁹⁾ この規準によれば、本試験に供試した土壌は軽微な欠乏状態にあるが、実際には現地、ポットとも作物が著しい欠乏症状を呈しており、この差異は、地域、土壌が異なること及び陸稲と畑稲の栄養生理的差異に由来するものと推察される。従って本村らの規準をそのまま可給態鉄豊否判定に適用することについては論議を残すところであるが、可給態鉄含量の欠乏限界を8 ppmに設定することについては、現地調査及びポット試験の結果からみて、本県においても適用できると思われる。

5) 土壌改良と鉄の不可給態化

一関市真滝の丘陵地帯を新規に開畑し、果樹園を造成したところ、植栽したブドウやリンゴの幼木に生育障害が発生した。調査の結果、植穴の排水不良による湿害、不良な土壌物理性などが主な原因と判明したが、土壌改良資材の混入不均一によりマンガンを鉄が欠乏状態になっている地点もみられ、このことも生育障害の一因になっているものと推定されたので、作物の鉄欠乏症状は特定できなかったが、土壌改良と可給態鉄含量の関連性について検討した。

調査場所 一関市真滝 国営農地開発事業
 業須川地区 果樹団地
 調査年度 1977年
 調査成績

土壤分析の結果を表9～10及び図4～6に示した。

表9 造成前の基本断面の理化学性

表10 調査地点の化学性の概略
 図4 炭カルによるpH矯正の実態
 図5 pHと可給態鉄
 図6 有効態りん酸と可給態鉄

表9に造成前の基本断面と土壤の理化学性を示した。

造成後に作土層となったのは主に

表一9 造成前の基本断面の理化学性

層位	層厚 (cm)	土性	土色 (湿)	粘土(%)	ち密度	腐植(%)
I	0 ~ 10	CL	7.5 YR 4 / 4	22.7	23	5.5
II	10 ~ 30	SC	7.5 YR 5 / 8	40.5	24	2.2
III	30 ~ 50	SC	7.5 YR 5 / 8	28.8	25	1.5
IV	50 ~ 200	SCL	10 YR 5 / 8	21.3	28	1.1
V	200 ~	HC	2.5 Y 7 / 4	48.7	27	0.7

層位	pH (H ₂ O)	りん酸 吸収係数	置換性塩基 (mg)			可給態微量元素 (ppm)*				
			CaO	MgO	K ₂ O	MnO	Fe	Zn	Cu	B
I	5.01	420	85	26	20	5.7	31.2	3.8	0.48	0.52
II	4.69	500	32	31	8	0.3	14.7	2.6	0.57	0.16
III	4.75	480	33	25	6	1.1	10.7	2.9	0.69	0.19
IV	4.92	340	90	34	8	3.7	14.1	2.2	0.38	0.18
V	4.98	400	219	123	10	5.7	12.7	5.9	0.80	0.10

※可給態微量元素

- MnO: 置換性マンガン (pH 7.0 N-CH₃COONH₄ 浸出)
- Fe : 可給態鉄 (pH 4.8 N-CH₃COONa 浸出)
- Zn : 可溶性亜鉛 (0.1 N-HCl 浸出)
- Cu : 可溶性銅 (0.1 N-HCl 浸出)
- B : 水溶性硼素 (熱水抽出)

表一10 調査地点の化学性の概略

	pH		有効態りん酸 (TrueogP ₂ O ₅ mg)	置換性塩基 (mg)			可給態鉄 Fe (ppm)
	H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O	
max	7.70	7.35	109.0	1002	95	98	16.9
∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩
min	4.50	3.95	1.6	69	27	4	1.8
\bar{x}	6.23	5.74	19.1	353	54	31	6.9
(n)	(47)	(47)	(47)	(47)	(46)	(47)	(47)
C.V%	16.5	20.7	115.8	62.1	27.1	71.7	51.6

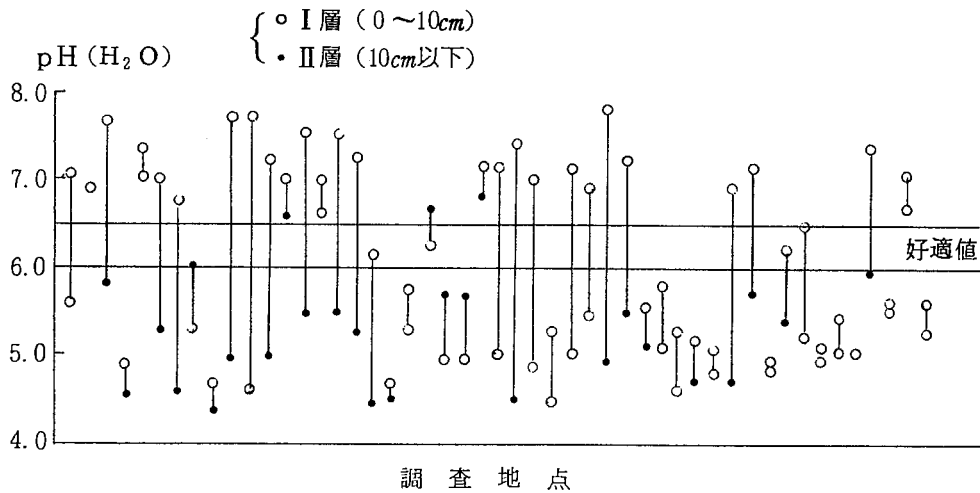


図-4 炭カルによるpH矯正の実態

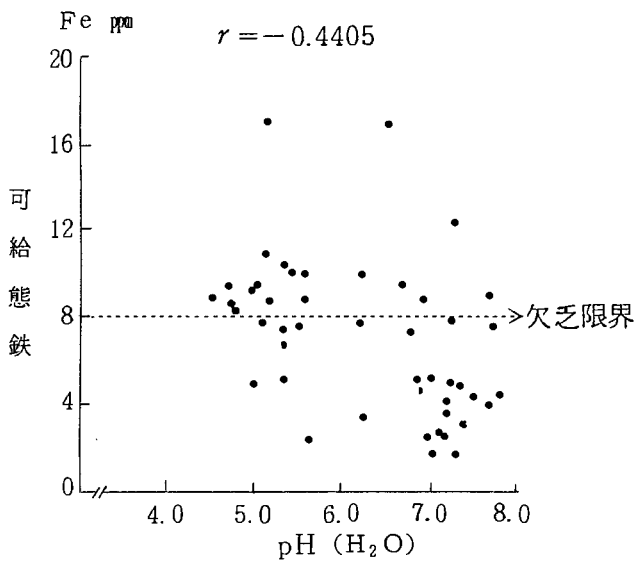


図-5 pHと可給態鉄

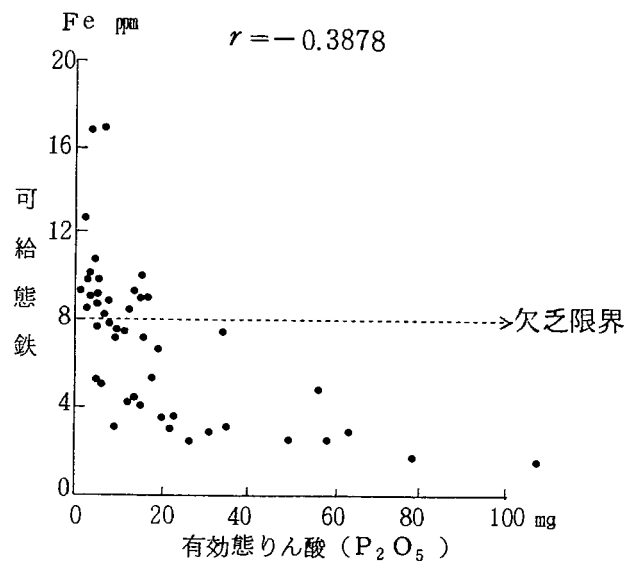


図-6 有効態りん酸と可給態鉄

VI、V層で、腐植に乏しい三紀層由来の強酸性土壌であるが、りん酸吸収係数は低く、VI層置換性石灰を除けば無機養分含量もそれほど低い水準ではない。

調査地点47点の土壌化学性の概略を表10に示した。

いずれも地点間のバラツキが大きく、特に有効態りん酸含量は変動係数が100%をこえており土壌とりん酸資材の混和不均一がうかがわれる。

本団地は強酸性土壌を母材としているため、炭カルを投入して矯正を図っているが、

図4に示されるようにI層とII層のpHに大差のある地点が多いことから、炭カルの分布が表層に偏っていることがわかるし、pHが低いままの未矯正の地点もみられる。またI層よりもII層のpHが高い地点があり、土壌と炭カルの混和不均一が明らかである。

図5にみられるように、pHが高いほど可給態鉄含量が低下する傾向がみられ、特にpHが6.5以上になると欠乏水準になる例が多い。また有効態りん酸含量が高まるにつれて可給態鉄含量が低下する傾向も図6にみられる。

考察

土壌にはもともと10%前後の鉄が含まれており、¹⁾ 自然状態にある植物には鉄欠乏はないとされている。⁸⁾ したがって農作物の鉄欠乏は殆どの場合その原因は人為的なものに由来しており、本調査地区もその例外にもれず、造成に伴う土壌改良資材の施用、混合が不均一であったことが部分的に鉄欠乏土壌をつくりだしていたものと推察された。土壌pHは通常6.0~6.5を矯正目標としており、この範囲であれば微量元素の欠乏はさほど問題になることはない。しかし当団地では、図4にもみられるようにpH7をこえる地点がある一方で原土と変わらない地点もあることから、pH矯正のために施用した炭カルが偏在していることがうかがわれ、このため土壌pHが過上昇した地点では鉄が不可給態化したものと考えられる。また有効態りん酸含量が地点間でバラツキが大きいことから、りん酸資材についても炭カルと同様に偏在していたものと思われ、このことも鉄の不可給態化に影響したと推察された。

この様に改良資材の分布が著しく不均一であったのは、傾斜地であるための散布ムラや強粘質土壌が広く分布していたため耕耘による碎土が十分にはなされず、土壌と改良資料の混合が不十分であったことによるものと考えられる。また、改良資材の偏在によって土壌PHが過上昇したのは、腐植に乏しく緩衝能が小さい土壌であったためであろう。

新規造成畑には必ず土壌改良資材が施用されるが、画一的な施用法が各地の土壌の特質に必ずしも適合しない場合があり、その結果として改良資材の施用が土壌の微量元素欠乏を招く恐れがあることをこの調査結果は示唆している。調査した団地については碎土を十分におこなえば、少なくとも調査結果にあらわれたような極端な偏在はなかったものと考えられ、ひいては鉄欠乏土壌の出現も小さくなっていったものと考えられる。

農地の新規造成は時代の趨勢であるが、それにとまなう土壌改良に常に効果的に実

施されなければならない。土壌の特質を十分考慮した土壌改良施工が望まれる。

6) 摘要

岩手県内に畑稲の鉄欠乏が発見され、その発生要因と対策について検討した。また新規造成畑における土壌改良資材の混合ムラと鉄の不可給態化の関連性について検討した。

- (1). 畑稲の鉄欠乏症状は、3~4葉期の比較的早期から葉の黄化がみられ、次第に株全体の葉色が淡くなり、新葉ほど黄化が著しく、症状が激しい株では完全に生育が停滞する。
- (2). 畑稲の鉄欠乏は、土壌pHの過上昇にともない土壌中の鉄が不可給態化したことに起因しており、従来からいわれているように、土壌中の可給態鉄含量8ppmが欠乏限界であった。
- (3). 鉄欠乏対策は、応急的には硫酸第一鉄の葉面散布が有効であり、根本的には土壌pHを6.0以下にする必要がある。
- (4). 新規造成畑における土壌改良資材の混合が不均一であると部分的に鉄欠乏土壌が作られる。これは土壌pHの過上昇や高りん酸土壌化にともない。土壌中の鉄が不可給態化することに起因する。

III. 総合考察

岩手県下には、マンガン、銅、亜鉛、硼素、鉄、モリブデンの6種類の微量元素欠乏土壌が認められている。この中で、モリブデンについては研究成果が少ないのでこれを省略し、また特殊成分である苦土は、欠乏症状を示す事例も少なくないことからこれを加え、結局合計6種の要素欠乏土壌についての解析を行った。

これら微量元素欠乏土壌(苦土も含み)は、土壌の本来的な欠乏に由来するもの、例えばその典型的なものとしては、焼石岳系火山灰あるいは十和田・八甲田系火山灰に由来する銅欠乏、あるいは硼素欠乏があるが、鉄欠乏のように本来的に欠乏土壌ではなく、石灰資材の多用に伴う高pHが

鉄の不可給態化を助長し、あるいはリン酸の過剰吸収が作物体内での鉄欠乏を助長していると思われるものもある。とくに最近では推肥等有機物の施用が少なく、逆に化学肥料は多用されることも多いから、これら肥料成分の多用による特殊成分あるいは微量要素の吸収阻害が起き易い状態になっていることは容易に想像される。しかしいずれにせよ岩手県下には各種の微量要素欠乏土壌が分布するから、その対策には十分の注意が必要である。

微量要素全体についてみると、欠乏症の発生し易い作物は普通畑作物に多い。例えばマンガン、銅欠乏症は麦類に、亜鉛、鉄欠乏症は陸稲に、硼素欠乏は菜類というように、研究当時普通畑作物の栽培面積が多かったこともあって、野菜類で目立ったのは硼素とモリブデン程度であり、果樹、牧草については殆ど欠乏症状の確認は出来なかった。このことは、最近、麦類や豆類あるいは陸稲などの普通畑作物の栽培面積が一時期より著しく減少している岩手県下においては、影響が小さいと見られようが、野菜類においても、顕著な欠乏症状は出なくても生育は著しく阻害される場合もあるし、また極最近では、水田転換の面積の増加に伴い、麦類の作付面積も増加傾向に転じ、そのような地域では再び銅欠乏症などが見られるようになっている例もある。また、硼素欠乏や鉄欠乏が、果樹とくに新規開園地域のぶどうに発生している例もある。これらの発生は、おおむね三紀層の重粘土傾斜地の開発地域において、炭カル等の土壌改良資材の土壌混和がうまく行かず、部分的な過剰投入によるpHの過上昇等に由来することが多い。

いずれにしる岩手県内には、特異的と思われる程微量要素欠乏が多く発生するので、畑作栽培に当ってはその土壌管理に十分な注意を払う必要がある。

岩手県で最も早く見つけられた微量要素欠乏はマンガン欠乏である。すなわち、岩手県南部沿岸の気仙地帯（陸前高田市、大船渡市、三陸町）に昔から麦のクセと呼ばれていた生育不良は、土壌調査及び作物体分析の結果マンガン欠乏であることが判明した。

このマンガン欠乏は、土壌的にはpHの高い条件、すなわち古生層の石灰岩風化土壌地帯を中心に多く見られたが、さらにその広がりを追跡調査した結果では、釜石市から宮古市の沿岸にかけて、pHは5台の低い条件でもマンガン欠乏の発生してい

ることが認められた。しかし、地域全体としてはやはり当時の畑としては高いpH（H₂O）である6.1以上の分布が多かった。これらマンガン欠乏発生土壌条件としては、置換性マンガンで5ppm以下、易還元性マンガンで20ppm以下で激発し、置換性マンガンは10ppmですでに危険域にあると見られた。また当地域の被害麦の収穫期茎葉中のマンガン含量は30ppm前後の場合が多く、健全麦の80ppmと比べて明らかに低かった。

なお麦類のマンガン欠乏の一般的な症状は、越冬後葉色が淡くなり褐色の斑点を生じ、これが時には明瞭な線となり、いわゆる褐線萎黄状を呈する。下葉の巾は広くなり、褪色黄化し、甚しい場合は葉が中央部より折れたり、葉全体が萎縮黄化して出穂が甚しく遅れ、あるいは出穂しない。そしてウドンコ病に著しく弱くなる。

マンガン欠乏対策試験は全部pHが6以上で高く置換性マンガンがほぼ3ppm以下という土壌条件で実施したが、その基本となるものは土壌pHの引下げ対策、マンガン資材の施用量と施用時期の解明、さらに窒素肥料及びリン酸肥料の種類がマンガン欠乏の発生に及ぼす影響等の調査とした。

基本的な土壌の性格を明らかにするためのポット試験では、硫酸による土壌pHの低下の他、硫酸マンガン施用の効果が認められたが、さらに鉄資材、硼素資材の効果も明らかに認められ、高pHでのこれら微量要素欠乏の同時発生の危険性も考えられた。

圃場試験においてもマンガン資材、酸性肥料の効果が高いのに対し、炭カル、珪カル等のアルカリ資材はクロロシス、ネクロシスの発生を助長した。マンガン資材、酸性肥料の施用により土壌中の置換性マンガンは増加し作物のマンガン含量も高まった。ただマンガン資材として酸性マンガンそ10~15kg/10a程度施しても、土壌中の置換性マンガン含量の増加は極めて少なく、大部分な非置換性になることが知られた。

硫酸マンガンは基肥としての利用が最も有効であるが、越冬後の追肥、さらには葉面散布も、それに近い効果が認められ、基肥と追肥（葉面散布の組合せ）で最多収になった例もあった。

結局気仙地域でマンガン欠乏を激発させているpH（H₂O）6.2~7.0、置換性マンガン（Mn

O) 5 ppm 以下、易還元性マンガン (MnO) 20~30ppm の土壌では、硫酸マンガン10a 当り10~15kgの施用、酸性肥料の施用、硫黄華10a 10~20 kgの施用が効果的であった。この事はもちろん土壌の種類により、その緩衝能の違いから、さらに大きなへだだりが生ずることも予想されるが、現場での一応の基準としては有効である。

マンガン欠乏は麦の種類により、また品種により抵抗性の異なることも極めて特異的である。麦の種類では全体的な傾向として裸麦が最も弱く、次いで大麦であり、小麦は比較的強い。そして大麦ではショウキムギ、小麦ではナンブコムギ、農林27号が強く、裸麦には強いものが見られない。

銅欠乏土壌の分布は北上川西岸の焼石系火山灰台地と、青森県境の九戸高原地帯の十和田系火山灰土壌の二つに大別される。これら土壌の分析値から見ると、銅欠乏の主なる原因は土壌中における銅含量が低いことが第一の要因として上げられ、さらに、欠乏症発生土壌は軽鬆な腐植に富む火山灰土壌が多く、腐植と銅の結合が認められる。このことから、腐植による銅の固定がさらに銅欠乏を助長していると思われる。ただ、腐植含量と銅固定の割合は必ずしも比例的ではなく、腐植の質的な相違あるいはその他の土壌的な要因で、固定量は変化していると思われる。

銅欠乏判定のための可給態銅の分析法としては当初1:10塩酸可溶銅 (CuO) 15ppm、0.1N-塩酸可溶銅で1ppm 全銅50ppm と設定した。1:10塩酸可溶銅と作物体内の銅とは高い相関を示した。しかしその後県内の重金属等分布調査により、0.1N塩酸可溶銅の1ppm を限界値とするのは作物の生育に合致しないことがわかり、あらためて各種溶媒を用いて検討を行った。その中で現在土壌汚染対策等にも多く利用されている0.1N-塩酸可溶銅についてみると、対象土壌の土性、腐植含量、pH等によって浸出液(0.1N-塩酸)のpHも大きく変動することが見られた。これらのことを考慮した上での0.1N塩酸可溶による銅欠乏の危険水準は0.2ppm、完全な欠乏水準はほぼ0.1ppm と見られた。なお、この可給態銅の分析法については、さらに検討が必要である。

銅欠乏対策としては硫酸銅の施用が有効であり、厳密には欠乏水準あるいは土壌による固定力の差

により施用量の差をつけることが必要かも知れないが、試験の範囲では麦類では硫酸銅10a 当り4kg、牧草(オーチャードグラス)では6~8kg、とうもろこしでは2~4kgが適量であった。そしてその持続効果も3~4年期待出来る。また応急対策としての葉面散布(0.4%液)や追肥の効果も認められるがオーチャードグラスのように葉面散布により葉害の発生し易いものもあるので、施用効果の面からも考えて原則的には基肥施用が望ましい。

麦類では銅欠乏に対する品種間差も認められ、県内で栽培される主要品種ではナンブコムギは弱く、キタカミコムギはやや強い。弱い品種の導入に当っては、十分な銅欠乏対策が必要である。

他の微量元素にも関連するが、堆肥の連用による微量元素の供給も重要な対策の一つである。しかし堆肥の原料となるものが、同じ銅欠乏地帯の畑作物の残滓であったりすると、それらのもも銅に欠乏していることが多いから、得られた堆肥の銅含量も低く、銅の補給効果は期待出来ない。その点水稲のわらが原料としてとり入れられている堆肥は、水稲での微量元素欠乏は殆ど見られないので、微量元素の供給効果も期待される。

銅欠乏が発生した胆沢郡胆沢町、金ヶ崎町周辺で亜鉛欠乏の陸稲が見つけられた。亜鉛欠乏も銅欠乏と同様に腐植質火山灰土壌でも発生するが、より顕著に発生するのは機械開墾などにより表土の腐植層が除去され、下層の黄褐色火山灰が表土となったような圃場である。県内には腐植を含む表土の亜鉛含量が高いにもかかわらず、下層の腐植を含まない層の亜鉛含量が欠乏している土壌は所々に散見されるが、当地域では下層の亜鉛含量が極端に少ないものが見られ、これが亜鉛欠乏を激発させる結果となっている。腐植層における亜鉛の富化は、植物根による亜鉛の吸収とその地表還元由来するものと考えられる。

陸稲の亜鉛欠乏の発生限界は土壌中の0.1N塩酸可溶亜鉛(Zn)がほぼ1ppm とみてよい。ただし厳密には1ppm 以上では亜鉛欠乏が発生しないが、1ppm 以下では非発生も混在することがある。

亜鉛欠乏の判定の指標となる陸稲は、比較的低いpHを好む作物であり、pHが6以上になると亜鉛の吸収が阻害され、さらに鉄、マンガンの吸収も

抑えられる傾向になり生育は抑えられる。この時に、亜鉛の施用量を増すとその吸収量は増加するが、生育はこれに伴わず、結局陸稲ではpHが高いという条件は他の微量要素あるいは生理上に総合的なマイナスの要因をもたらすと見られる。

亜鉛欠乏の対策としては、10a 当り亜鉛として0.75～1.0kgを硫酸亜鉛で施用する。亜鉛の土壤固定を軽減させるため、く溶性亜鉛（水酸化亜鉛）、キレート亜鉛（EDTA亜鉛）の効果を検討したが、作物による亜鉛吸収量はかえって少なく、効果的でなかった。

亜鉛欠乏の著しい特徴としては、陸稲では葉身の褐色斑点、葉を塗りつぶしたような紫褐色の着色と草型のロゼット化、とうもろこしでは葉身の黄白化であるが、亜鉛欠乏の作物の感応を3グループに大別すると、欠乏に敏感なものは、陸稲（畑稲）、とうもろこし、白菜、大麦であり、感応に中位のもの、えん麦、大豆、小豆、ほうれんそうであり、欠乏に鈍感なものは、ばれいしょ、小麦、そば、ラジノクローバー等である。

土壤中の亜鉛と作物による亜鉛吸収量の相関を0.1N塩酸及び1M炭酸アンモニウム・0.01M・EDTAの2溶媒で検討した結果、両者とも $r = 0.7^{**} \sim 0.9^{**}$ 程度で比較的高い相関が見られた。ただ既に述べたように0.1N塩酸可溶の亜鉛が1ppm以上においては亜鉛欠乏は発生しないが、1ppmでは発生、非発生が混在した。

また陸稲についてみれば亜鉛欠乏症の発生するのはほぼ20ppm以下であり、30ppmあれば十分である。

岩手県においての苦土欠乏は、県内に広く分布する酸性腐植質火山灰土壤を中心に花崗岩風岩土壤などでも広く認められた。とくに昭和20年から30年代にかけては、土壤改良資材の補給もままならず、強酸性土壤が多かったので、苦土欠乏も広く分布した。当時の苦土欠乏は主として麦類に発生したが、しかし麦類では、越冬前に明らかなジュズ玉状の苦土欠乏症状が見られても、越冬後は次第に欠乏症が消失する場合が多かった。このような状態の中であって、胆沢郡金ヶ崎町を中心にして発生した陸稲の苦土欠乏は特異的で、生育に及ぼす影響は極めて大きかった。その後野菜類の作付面積が増加し、ここでは苦土欠乏そのものの他に加里の多施用に伴う苦土欠乏の発生や、果樹（ぶ

どう）における苦土欠乏の発生など、目に付くようになって来ている。

最も特異的であった金ヶ崎町周辺の腐植質火山火土壤（焼石岳火山灰）の場合は、陸稲は完全に黄化枯死して、収穫は皆無に近い圃場もあった。比較的酸性条件を好む陸稲においてのこのような実態は驚くべきものであった。

苦土欠乏は土壌的には置換性苦土が10mg以下では激発する可能性があるが、20mgを切った時点ですでに注意が肝要と見られる。なお加里過剰による苦土欠乏の発生については、地力保全土壤調査等の基準によれば加里・苦土比を2以上（当量比）としておいて、これに対応した施肥が必要になる。

なお苦土の補給としては火山灰土壤などでの水溶性苦土は溶脱流亡が激しく、肥効が短期間になることがある。この点については、熔燐・水酸化マグネシウム等ク溶性苦土の肥効が高い土壤があるので、苦土炭カルを含め、その選択が重要である。

硼素欠乏は黒ボク土壤を中心に、県内ほぼどの地域にも認められる。硼素欠乏の発生原因は強酸性下での硼素の溶脱と、アルカリ性に近い側での硼素の不可給態化が原因とされるが、本県で見出されるのは前者が多く、後者は岩手火山灰等中性に近い土壤での石灰資材の過用による例が時にある。県南部に分布する焼石火山灰を中心にした強酸性黒ボク土壤は特に著しい硼素欠乏発生土壤である。

硼素欠乏の発生し易い作物は十字科の野菜が多いが、菜種の生長点の萎縮、不稔莢の多発、白菜の葉柄中肋の黒変、てん菜の中心葉の黒変、あるいは根の中心部黒変、空洞化などが特徴的な欠乏症であり近年はぶどうの硼素欠乏である生長点の萎縮症状なども見られている。

秋田県駒ヶ岳火山灰の雫石町で行った試験では（水溶性硼素0.24ppm）、白菜、ビート、カリフラワーの著しい硼素欠乏症は、硼砂10a 当り1kgの施用でほぼ正常な生育となり、硼砂2～3kgの施用で欠乏症は完全に消失している。また葉中の硼素濃度と欠乏症発現の関係は、3作物とも硼素20ppm以下で欠乏病状が強く現われ、35～40ppm以上では全く見られない。また跡地土壤の水溶性硼素を白菜跡地でみると、欠乏の著しい硼砂無施

用区は0.24ppm、硼砂1kg施用区0.9ppm、2kg施用区は2.5ppmと硼砂施用量に比例して富化している。一方、ほぼ健全とみられる岩手火山灰の滝沢土壌(水溶性硼素1.3ppm)で栽培した場合、葉中の硼素濃度は30ppm以上になっている。以上のことから、土壌中の水溶性硼素含量は0.2ppm以下では欠乏症が明らかに発生し、1ppm以下の土壌では欠乏が懸念され、硼素要求度の高い作物では、葉中の硼素濃度を30ppm以上に保つ必要があ

る。硼素施用の効果はこの他、大野、遠野、胆沢の各地でも確認しているが、これらはいずれも十和田系あるいは焼石岳系の火山灰である。

硼素を含む資材としては、硼砂(B_2O_3 36%)、BMようりん(B_2O_3 0.5%)、FTE(B_2O_3 10%)等がある。硼素の施用量も厳密には土壌の硼素欠乏度と施用硼素の土壌施用後の可給程度など勘案せねばならないが、白菜、カリフラワー等硼素要求度の高い作物では硼砂であれば10a当

Trace Elements Deficiencies

Deficient Elements	Indicator Plants	Deficient level	
		Soil	Plant
Manganese (Mn)	Wheat and barley esp. Naked barley and barley	1) Exchangeable - Mn 5 ppm 2) Easily reducible - Mn 30 ppm (as MnO)	Naked barley Maturing stage Leaves and stem 30 ppm (as MnO)
Copper (Cu)	Wheat and Barley	1) 0.1 N - HCl soluble - Cu 0.2 ppm 2) 1 : 10 - HCl Soluble - Cu 10 ppm (as Cu)	Maturing stage Leaves and stem 5 ppm (as Cu)
Zinc (Zn)	Upland rice Dent corn Barley Chinese cabbage	0.1 N - HCl soluble - Zn 1 ppm (as Zn)	Upland rice Maturing stage Leaves and stem 20 ppm (as Zn)
Boron (B)	Chinese cabbage Beet Cauliflower Rape greens	Hot water soluble - B 0.2 ppm (as B)	Chinese cabbage Beet Cauliflower 30 ppm (as B)
Iron (Fe)	Upland Cultured paddy rice	N - Sodium acetate pH 4.8 soln. 8 ppm (as Fe)	Panicle formation stage 75 ppm (as Fe)
Magnesium (Mg)	Upland rice	Exchangeable - Mg 10 mg % (as MgO)	

り1~2kg必要である。これは硼素 (B_2O_3) として 120~240gである。

岩手県では野菜栽培面積が急速に拡大されつつあり、近年は各種の野菜に硼素欠乏の発生が認められて来ている。野菜類は一般に土壌pH (H_2O) を6~6.5に矯正されるので、場合によっては石灰質資材投入の不均一、あるいは過剰投入によりpHの上り過ぎによる硼素欠乏発生の可能性が多くなるし、一方焼石火山灰のようにもともと

硼素含量の少ない土壌では、石灰過剰による硼素の不可給態化は極端な硼素欠乏発生の原因となりかねない。このようなことから、硼素欠乏については、特に細心の注意を払う必要がある。

これ迄検討して来た微量要素のマンガン、銅、亜鉛、硼素は、その欠乏の原因は本来的に土壌中における存在量が少ないか、又は土壌pHの影響による不可給態化が原因である。しかし鉄の場合は土壌に鉄が不足することは殆どない。従って鉄

Corrective Measures

1) Acidifying*

- (1) Acidic fertilizer
- (2) Sulphur powder 10 - 20 kg/10 a
- 2) Manganese sulfate ($MnSO_4 \cdot 5H_2O$) 10 - 15 kg/10 a
- 3) Manganese sulfate 0.5% soln. foliage application

1) Copper sulfate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)

- (1) Wheat and Barley ; 4 kg/10 a (\doteq 1 kg Cu)
or 0.4% soln. foliage application
- (2) Orchard grass ; 6 - 8 kg/10 a
- (3) Dent corn ; 2 - 4 kg/10 a

1) Zink sulfate ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)

- (1) Upland rice ; 4.4 kg/10 a (\doteq 1 kg Zn)
- (2) Dent corn ; 3.5 kg/10 a (\doteq 0.8 kg Zn)

1) Sodium borate ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)

- 1 - 2 kg/10 a
- Each crops

1) Acidifying**

- 2) Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
0.1% Soln. Foliage application

1) Magnesium sulfate ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)

* pH(H_2O) is above 6.2 ~ 7.2
** " " " 6.2 ~ 6.5

欠乏の発生は土壤中での不可給態化が原因である。したがって他の微量元素と異なり地域全体の広がりとなって欠乏症が発生することはまずなく、殆どの場合 点として存在するに過ぎない。

岩手県で鉄欠乏の確認されたのは陸稲(畑稲)であったが、この場合も前作に石灰資材と磷酸資材を施用しpHを高めにしている圃場に、比較的低いpHを好む陸稲を入れたため鉄欠乏が発生したものである。

陸稲の鉄欠乏症は新葉の黄化であり、激しい場合は葉脈にまで及んで葉身全体が黄白化する。生育は著しく阻害されて、殆ど収穫皆無になることもある。

鉄欠乏の発生限界は、土壤中の可給態鉄が(1N-酢酸アンモニウム、pH 4.8浸出法)これまでに指摘されている8ppmが妥当とみられる。そしてポット試験及び現地調査の結果からも、土壌pHと可給態鉄のマイナスの相関が認められている。

鉄欠乏の基本的な対策として圃場での実用的な技術としては、室内分析で得られたpH低下に要する硫酸相当量の硫黄華を土壌混入する方法が良いが、土壌pHを5.0~5.5と陸稲(畑稲)の好適pHまで下げても又後作のpHで問題が起きることもあるので、むしろ硫酸第一鉄0.1%溶液の葉面散布で被害の軽減を図った方が有利な場合もある。また火山灰土壌では熔燐主体の土壌改良を行うことが多いため、pHが高まると同時に有効燐酸が富化され、それは陸稲全体内の燐酸濃度の増加となり、鉄吸収量の減少と相まって鉄欠乏の発生を激化させていると見られる。

鉄欠乏発生の現因としては同じ理由であるが、新規造成畑工事において、土壌改良資材の炭カル、熔燐等の作土混和が不十分なために起る鉄欠乏も最近では散見される。腐植含量が少なく重粘な土壌な場合、とくにその傾向が強いので注意が必要である。

摘 要

岩手県内に発生した微量元素欠乏で、その欠乏症状が顕著であった作物で、しかも対策試験の結果が明らかに認められた作物について取りまとめた。なお欠乏症状の著しかった苦土もあわせてとり上げた。

1. マンガン欠乏症は麦類とくに裸麦に多発し、発生の土壌条件は置換性マンガン(MnO)5ppm以下、易還元性マンガン30ppm以下であり、収穫期裸麦の茎葉中のマンガン含量は30ppm以下で欠乏症は明瞭であった。マンガン欠乏対策としては、高pHの場合が多いので酸性肥料の施用、硫黄華による土壌pHの低下、硫酸マンガン10~15kg/10aの施用及び硫酸マンガン0.5%液の葉面散布が有効である。
2. 銅欠乏症は麦類に多発し、発生土壌条件は0.1規定塩酸可溶銅(Cu)ではほぼ0.2ppm以下、1:10塩酸可溶銅で10ppm以下と見られる。欠乏水準にある麦類の収穫期茎葉中の銅含量は5ppm内外であり、銅欠乏対策としては、麦類では硫酸銅4kg/10a、オーチャードグラスでは6~8kg/10a、デントコーンでは2~4kg/10aの施用が有効である。
3. 亜鉛欠乏症は陸稲(畑稲)ととうもろこしで著しく、大麦、白菜でも収量減は顕著である。欠乏症発生の土壌条件は0.1規定塩酸可溶亜鉛(Zn)で1ppm以下であり陸稲では収穫期茎葉中の亜鉛含量は20ppm以下である。亜鉛欠乏対策としては陸稲では硫酸亜鉛4.4kg/10a(亜鉛として1kg)、とうもろこしでは同じく3.5kg/10a(亜鉛として0.8kg)の施用が有効である。
4. 硼素欠乏は白菜、ビート、カリフラワー、菜種等多くの十字科作物に発生するが、欠乏症発生の土壌条件は水溶性硼素(B)として0.2ppm以下である。白菜、ビート、カリフラワーの収穫期の硼素含量は30ppm以下では欠乏水準である。硼素欠乏対策としては上記のいずれの作物も、硼砂1~2kg/10aの施用が有効である。
5. 鉄欠乏は畑稲に見られている。欠乏症発生の土壌条件はpH 4.8の1規定酢酸ナトリウム抽出鉄(Fe)の8ppm以下である。幼穂形成期頃の茎葉の鉄含量は75ppmが欠乏水準である。鉄欠乏対策は土壌酸性の低下が根本対策であるが、硫酸第一鉄の施用、あるいは同資材の0.1%溶液の葉面散布も応急対策として有効である。
6. 苦土欠乏も多くの作物に発生が認められるが、本県では陸稲の発生症状が特異的であった。欠乏発生の土壌条件は置換性苦土(MgO)の10mg%である。苦土欠乏対策としては硫酸苦土の効果

が高いが、硫酸苦土は土壤中で下層への移行が多いので、熔燐のように溶性の苦土を含むものが効果的なこともある。

岩手県内にはこれら微量要素欠乏が複合している土壤も多いから、総合的な対策も必要である。

引用文献

マンガン欠乏の部

- 1) Vincent Sauchelli Trace Elements in Agriculture P.58 Van Nostrand Reinhold Company New York (1969)
- 2) 麻生慶次郎「マンガン」の植物生育に対する作用、大日本農、2 65 (1903)
- 5) 1) に同じ
- 6) 岩手農試、昭和30年度、低位生産地改良施設事業成績書、P.9~12
- 7) 岩手農試、昭和31年度、低位生産地調査事業成績書、P.26~32 (1956)
- 8) 岩手農試、昭和32年度、低位生産地調査事業成績書、P.109~113 (1957)
- 3) 小林茂久平ほか、畑作物のマンガン及び鉄欠乏に関する研究、群馬農試研報 2号P.1~74 (1959)
- 4) 小林茂久平ほか、同上、続報、同上5号 P.1~80 (1964)
- 9) 7) に同じ P. 13~ 17
- 10) 7) に同じ P. 18~ 21
- 11) 8) に同じ P.120~121
- 12) 8) に同じ P.118~119
- 13) 7) に同じ P. 21~ 23
- 14) 7) に同じ P. 23~ 26
- 15) 岩手農試、昭和41年度、地力保全現地試験成績書 P. ~ (1966)
- 16) 7) に同じ P. 33~ 62

銅欠乏の部

- 1) 徳岡松雄、魚秀辰、小麦の生育に対する銅の影響について、日土肥誌14 P.622 ~ 629 (1940)
- 2) 藤原彰夫、微量要素に関する研究、東北大学農学部 (1957)
- 3) 藤原彰夫、黒ボク土壤における作物の銅欠乏

- 症について、開拓地における生産力阻害要因別地力保全対策P.230~232(農林省農地局 昭39)
- 4) 森田修二、黒土に対する微量要素の効果について、同上 P.226~230
 - 5)、7) 黒沢他、銅欠乏土壤に関する調査研究 (第1報)、岩手農試研究報告 第5号
 - 6) 岩手農試、昭和58年度土壤保全対策事業土壤保全対策診断調査成績書 (未定稿)
 - 8) 黒沢、岩手県下の火山灰土壤の分類とその生産増強対策、岩手農試研究報告 第14号
 - 9) 志波清時、土壤および緑葉中の微量要素含量について、第1報 銅含量、日土肥誌22P.26~28 (1951)
 - 10) 佐藤他、銅欠乏土壤に関する研究、第4報各種火山灰土壤における腐植と銅の結合関係、日土肥誌講要17集 P.16
 - 11) 塚本正一郎他、銅鉍害地土壤に対する有機物料の効果、日土肥誌講要 I、2、(1955)
 - 12) 千葉(行)他、銅欠乏土壤における可給態銅分析法についての一考察、日土肥誌講要24集 P.26
 - 13) 堤道雄、腐植質火山灰土壤における銅欠乏について(第1報) 土肥誌38P.459~465 (1968)

亜鉛欠乏の部

- 1) 田中彰一、温州密柑の斑葉病に関する研究〔1〕〔2〕〔3〕、農及園16、P.1503~1506、P.1651~1654、P.1777~1780 (1941)
- 2) 藤原彰夫、堤道雄、水稻、大麦、トマトの微量要素欠乏 農及園 31 P.155~158
- 3) 石塚喜明、田中明、水稻の養分代謝に関する研究(第7報) 土肥誌 33 P.93~96 (1962)
- 4) Vincent Sauchelli Trace Elements in Agriculture P.111 Van Nostrand Reinhold Company New York (1969)
- 5) 関沢憲夫ほか、亜鉛欠乏土壤に関する調査研究 岩手農試研報 第17号 P. 25~77 (1973)
- 6) 黒沢順平ほか、水稻の赤枯れ(開田病)に関する調査研究 岩手農試研報 第9号 ~ (1965)
- 7) 山添文雄、越野正義、関沢憲夫、土壤中亜鉛の各種溶媒による抽出および施用亜鉛の土壤中での拡散、農技研化学資料 137 P. 33~55

(1970)

- 8) 岩手農試 昭和 年度 地力保全土壤調査報告書P. ~ (19)
- 9) 岩手農試 昭和44年度 地力保全現地試験調査成績書(1969)
- 10) 9)に同じ P. ~
- 11) 岩手農試 昭和45年度 地力保全現地試験調査成績書(1970)
- 12) 岩手農試 昭和43年度 地力保全現地調査成績書(1968)
- 13) 12)に同じ P. ~
- 14) 岩手農試
- 15) 岩手農試 昭和45~46年度 地力保全現地試験調査成績書
- 16) 岩手農試 昭和46年度
- 17) 岩手農試

苦土欠乏の部

- 1) 岩手農試、水田利用再編における土壤肥料の問題点 P.9~14(1978)
- 2) 山崎伝、微量元素と多量要素 P.175~184(1966)
- 3) 黒沢順平、岩手県下の火山灰土壌の分類とその生産増強対策、岩手農試研究報告14号 P.43~44(1970)
- 4) 村上芳子他、主要畑作物の養分収支について東北農業研究第29号 P.67~68(1981)
- 5) 武藤和夫他、高カリ含量畑における夏秋キュウリのカリ施肥について、東北農業研究第29号 P.229~230(1981)

硼素欠乏の部

- 1) Vincent Sauchelli(1969): Trace Elements in Agriculture, P.81~106 (Van Nostrand Reinhold Company)
- 2) 山崎伝(1967): 微量元素と多量要素、P.240~272 (博友社)
- 3) 植物栄養・土壤肥料大辞典編集委員会編(1976): 植物栄養土壤肥料大辞典 P.123~125, 549
- 4) 前田正男(1973): 作物の要素欠乏・過剰症、P.104~120(農文協)

- 5) 岩手農試(1967): 昭和42年度 地力保全調査事業試験成績書、P.9~16
- 6) 岩手農試(1966): 微量要素および土壤改造に関する試験成績概要(畑) P.37~40
- 7) 岩手農試(1962): 昭和37年度 土壤肥料に関する試験成績書(夏作) P.143~146
- 8) 岩手農試(1969): 岩手県における畑土壌と地力増強対策 P.122~123, 163~164
- 9) 岩手農試(1961): 昭和36年度 低地生産地調査事業報告書 P.106~111

鉄欠乏の部

- 1) 山崎博、微量元素と多量要素 第1版 P.223~230 博友社 東京(1971)
- 2) 小林茂久平ほか、畑作物のマンガンおよび鉄欠乏に関する研究 群馬農試研究報告 2号 P.1~74 (1959)
- 3) 小林茂久平ほか、畑作物のマンガンおよび鉄欠乏に関する研究、続報、群馬農試研究報告 5号 P.1~80 (1964)
- 4) 渡辺敏夫・安尾正元、陸稲の萎黄症状に関する研究 関東東山農試研報 18 P.34~65 (1961)
- 5) 三輪和雄・丘英通、生物小事典 第7版 P.230 三省堂 東京(1966)
- 6) 前田正男、作物の要素欠乏・過剰症 第8版 P.132~134 農文協 東京(1973)
- 7) 土壤肥料に関する試験成績書(畑作) 岩手農試 P.114~118 (1975)
- 8) Vincent Sauchelli Trace Elements in Agriculture P.40 Van Nostrand Reinhold Company 450 West 33rd Street, New York. (1969)
- 9) 土壤養分測定法委員会 土壤養分分析法 訂正増補第6版 P.308 養賢堂 東京 (1978)