

亜鉛欠乏に起因する玉ねぎの生育障害

南 松 雄† 古 山 芳 広† 土 居 晃 郎†

INFERIOR GROWTH OF ONIONS CAUSED BY ZINC DEFICIENCY IN FURANO DISTRICT

Matsuo MINAMI, Yoshihiro FURUYAMA & Akio DOI

富良野地方の玉ねぎ栽培地帯に発生している葉の黄白化、カール状化、小葉化などの特異的な症状を呈する生育異常現象について、その実態調査と要因解析を行なった結果、生育障害の主要因は亜鉛欠乏によることが判明した。

生育障害を呈する玉ねぎは健全なものに比して、玉ねぎ体内の微量要素のうち、とくに Zn 濃度が 16 ppm 以下で異常に低く、同時に Ni 濃度は 20 ppm 以上で高く、Zn/Ni 比も 1 以下であった。また、障害発生地域の土壌中の 0.1 N-HCl 可溶 Zn 含量は 10 ppm 以下で低く、玉ねぎ茎葉中の Zn 濃度との間にきわめて高い正の相関 ($r=0.950^{**}$) が認められた。

亜鉛の施用によって、これら生育障害発生の程度が著しく軽減され、その改良対策としては、 $ZnSO_4$ (Zn 0.2 kg/a) の土壌施用および 0.2 % $ZnCl_2$ 溶液による苗浸漬が有効である。

I 緒 言

一般に、玉ねぎの主産地は河川流域の肥沃な沖積土地帯に分布、形成されているが、連作が可能であり、経済的な有利性や栽培技術の向上などによって、近年、その栽培面積も漸増し、同時にその産地も沖積土壌に限らず洪積土壌地帯にも拡大されている。さらに、ごく最近においては、米の生産調整を背景とした水田転換によってその傾向が助長されつつある。

主要な玉ねぎ栽培地帯では、土壌物理性が良好であり、また化学性の面においても塩基や燐酸の肥沃度が高く、酸性矯正も充分なされているのが一般的である¹⁾が、最近では上記のような趨勢から、新規に玉ねぎを栽培する場合の土壌改良や施肥の問題が大きくクローズアップしてきている。

同時に、多肥による濃度障害や、深耕にとまらう劣悪な下層土の混入などによって、微量要素欠

乏などの問題が派生しているとみることであり。

近年、富良野地方の玉ねぎ栽培地帯において、葉の黄白化、カール状化、小葉化などの特異的な症状を示す生育異常現象が発生し、これが玉ねぎの初期生育の遅滞、枯死などを招き、品質および収量面に多大の悪影響を及ぼしている。また、その生育障害の発生分布も富良野地方の玉ねぎ栽培地帯全域に広く散見される。そこで生育障害の発生分布と土壌的要因の関連性を研究しようとして、当地帯の土壌が母材的に蛇紋岩風化物の影響を受けていることから、とくに亜鉛とニッケルに調査の主眼をおきながら亜鉛の施用効果試験を設定した。

その結果、土壌および作物体の両面において、亜鉛とニッケルの含量に密接な関係が認められ、亜鉛含量が著しく低下していることが分った。同時に、該症状に対して亜鉛の施用が顕著な効果を示し、したがって、当地方に発生する生育障害が亜鉛欠乏に起因することを現地実証的に確認した。

† 上川農業試験場

また、その改良対策についても検討した。

わが国における亜鉛欠乏は果樹²⁹⁾、水稲²⁹⁾、陸稲²⁹⁾、こんにゃく⁹⁾などについてすでに確認されているが、玉ねぎについては現在のところその報告が全く見当たらない。したがって、筆者らが実施、確認した玉ねぎの亜鉛欠乏に関する一連の試験結果をここに報告する。

本試験は1970年に実施したものである。

なお、本試験の実施に際し、種々ご協力をいただいた富良野市役所、富良野地区農業改良普及所職員諸氏に対し深甚の謝意を表する。

II 試験方法

(1) 研究項目および処理

区 名	処 理 内 容	資材施用方法
1. 対 照 区		
2. ZnSO ₄ 0.1 kg/a区	Zn 0.1 kg/a 相当量を ZnSO ₄ 0.44 kg/a で施用	土 壤 施 用
3. 〃 〃 0.2 〃	〃 0.2 〃 〃 0.88 〃	〃
4. 〃 〃 0.3 〃	〃 0.3 〃 〃 1.32 〃	〃
5. ZnCl ₂ 0.2 kg/a区	〃 0.2 〃 ZnCl ₂ 0.42 kg/a で施用	〃
6. Zn 液葉面散布区	生育異常現象発生初期に0.5% ZnSO ₄ 液散布	葉 面 散 布
7. 土 壤 pH 5.0 区	硫黄粉 24.8 kg/a 施用	土 壤 施 用
8. 〃 6.0 区	〃 14.9 kg/a 〃	〃
9. 〃 7.0 区	〃 5.0 kg/a 〃	〃

b) 移植栽培試験については、①無処理区、②亜鉛液瞬間苗浸漬区、(0.2% ZnCl₂ 液に瞬間浸漬した苗を移植した)、③亜鉛液15分間浸漬区の3処理を設定した。

(2) 耕種梗概および施肥法

供試品種はすべて「札幌黄」を用いた。

栽植密度は畦幅30 cm×10 cmの1条植とし、播種期は5月8日(直播)、定植期は5月19日(64日苗)、収穫期は10月2日とした。現地実証対策試験はいずれも富良野市下五区において実施し、直播栽培は1区10 m²、2連制、移植栽培は1区5 m²、1連制の規模で実施した。

両試験の共通施肥量は、N:1.8, P₂O₅:3.0, K₂O:2.25 kg/aとし、それぞれ、硫安、過石、硫加の単肥配合で全面全層に施用した。

亜鉛の施用は所定量を水溶液として畦に散布し

本研究はつぎの2項目について実施した。

A) 生育障害発生の実態調査とその要因解析

B) 現地実証対策について

A) 試験は、富良野市の生育障害発生地点と、隣接する健全地点の各7か所(うち沖積土5か所、扇状堆土2か所)をとりあげ、さらに、地帯的差異を知るために空知地方の岩見沢市および滝川市の健全地点各2か所について調査した。調査時期は、それぞれ生育障害発生時期(6月22日)と収穫期(9月8日)の2回とし、土壌および作物を採取し、分析に供試した。

B) 試験は、a) 直播栽培と b) 移植栽培について実施した。

a) 直播栽培の試験区名とその内容

た。

(3) 分析方法

分析方法は下記によった。

○土壌分析; 可給態 P₂O₅……Truog 法。水溶性 SO₄……比濁法²¹⁾。易還元性 Mn……ハイドロキノン0.2%を含有する1 N-NH₄OAc 液抽出²⁹⁾。可溶性 Fe……0.1 N-HCl 抽出、可溶性 Zn……0.1 N-HCl 抽出および1 M-NH₄OAc (pH 4.8)+M/100-EDTA 液抽出、置換性 Ni……1 N-NH₄OAc 抽出とし、それぞれの抽出液について原子吸光光度計で定量した。

○作物体分析; S……SANFORD & LANCASTER²¹⁾による比濁法にて定量。Ni, Fe, Mn, Zn は硫酸分解後、それぞれ原子吸光光度計で定量した。

III 試験成績

A) 生育障害発生の実態調査と要因解析

1) 生育異常障害の症状

生育のごく初期に、まず、葉の黄化ないし黄白化がおこり、やがてそれが中肋に進むころになると葉が豚尾状(カール状)になるとか、小葉化するなどの症状を呈する。この症状は、一般に発芽(直播)または定植後、おおよそ2週間程度を経過

した6月上旬ころより出始め、6月下旬～7月上旬ころに一層激甚となるが、7月中旬の鱗茎肥大開始以降は、しだいにその異常葉が回復してくるのが普通である。もちろん、最後まで回復しなかったり、枯死してしまうものもある。

この症状は、移植栽培または苗床にさえも見られるが、概して直播したものに発生が多く、普通は畑全体でなく、部分的に発生している場合が多い。

2) 玉ねぎの微量要素含量調査

第1表 移植後45日目(生育障害の発生盛期)における作物体の微量要素およびP₂O₅濃度

採取地点	区分	要素 試料点数	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	P/Zn	Zn/Ni	1個平均 生体重 (g)
空知	健全	4	1.19	0.87	170	29.4	29.8	7.6	174	3.9	29.0
富良野	健全	7	1.17	0.83	149	34.0	19.8	17.4	258	1.1	27.6
	異常	7	1.47	0.83	180	39.0	13.7	27.0	470	0.5	19.2

第2表 Zn, Ni濃度の範囲と標準偏差ならびに変異係数

区	分	試料数	Zn濃度					Ni濃度				
			平均値 (ppm)	範囲 (ppm)		変異係数 (%)	標準 偏差	平均値 (ppm)	範囲 (ppm)		変異係数 (%)	標準 偏差
				最高	最低				最高	最低		
富良野	健全	7	19.8	22.5	17.0	25.3	5.00	17.4	21.8	12.5	47.2	8.21
	異常	7	13.7	16.0	11.5	24.7	3.38	27.0	36.3	18.4	63.2	17.07

第3表 収穫期(9月8日)における鱗茎の微量要素およびP₂O₅濃度

採取地点	区分	要素 試料点数	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	P/Zn	Zn/Ni	1個平均 鱗茎重 (g)
空知	健全	4	0.61	0.61	53.5	12.4	29.9	6.5	89	4.6	269
富良野	健全	7	0.60	0.60	44.5	12.5	20.1	15.8	130	1.2	253
	異常	7	0.64	0.61	48.6	11.5	12.3	22.5	227	0.5	198

玉ねぎの生育異常現象の発生盛期(6月下旬)における、作物体の微量要素含量について調査した結果(第1～3表)によると、一般に富良野地方の玉ねぎは空知地方(岩見沢市、滝川市)のものに比して、茎葉のZn濃度が30 ppmに対して20 ppm以下で低く、Ni濃度が18 ppm以上で異常に高い傾向を示しており、さらに、この傾向は生育異常障害を呈する玉ねぎにおいて顕著である。すなわち、富良野地方の生育障害を呈する玉ねぎのZn濃度は平均14 ppm、Ni濃度は27 ppm前後で、Zn/Ni

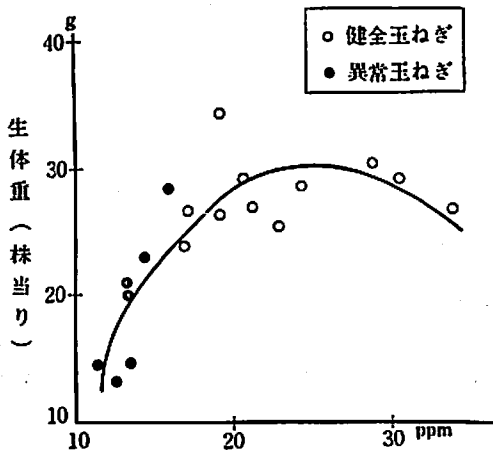
比も小さく0.5以下である。収穫期における分析結果でも全く同様の傾向を示している。

また、作物体中のZn濃度は健全、異常を問わずその変異係数が小さく、一方、Ni濃度はZnに比較していずれも変異係数が多い。

次に生育障害の発生時期における玉ねぎの生体重とZn濃度との関係(第1図)についてみると、Zn濃度の高いものほど玉ねぎの生体重が大きい傾向を示している。

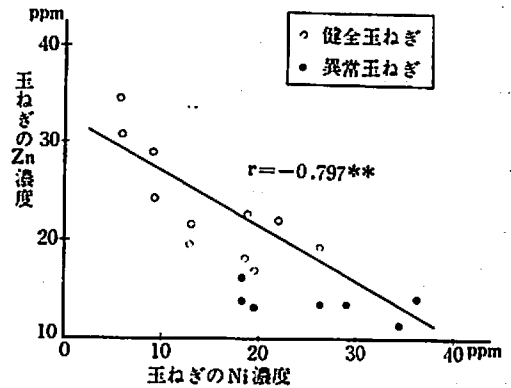
さらに、興味あることは作物体内のZn濃度と

Ni濃度との間に高い負の相関($r=-0.797^{**}$)が認められ、Ni濃度が高いものほどZn濃度が低下し



玉ねぎのZn濃度

第1図 玉ねぎの生体重とZn濃度の関係
(生育障害の発生盛期)



第2図 玉ねぎのZn濃度とNi濃度の関係
(生育障害の発生盛期)

ている。

3) 玉ねぎ栽培土壌の微量要素含量調査

生育障害の発生盛期(6月下旬)における土壌の化学性および微量要素含量を調査した結果を第4, 5表に示した。それによると、富良野地方の玉

第4表 生育障害の発生盛期(6月下旬)における土壌の化学性

その1 作土(0~15cm)

採取地点	区分	試料点数	腐植(%)	pH(H ₂ O)	ex-CaO(mg)	Truog P ₂ O ₅ (mg)	水溶性SO ₄ (mg)	易還元性Mn(mg)	0.1N-HCl抽出Fe(ppm)	ex-Ni(ppm)	可溶性Zn(ppm)	
											0.1N-HCl抽出	NH ₄ OAc抽出
空知	健全	4	6.81	6.04	220	183	40.5	21.2	94	2.8	20.2	11.8
富良野	健全	7	5.91	6.03	192	85	32.8	13.3	81	8.2	12.6	8.7
	異常	7	5.88	6.39	186	77	26.3	15.0	89	8.6	7.2	3.1

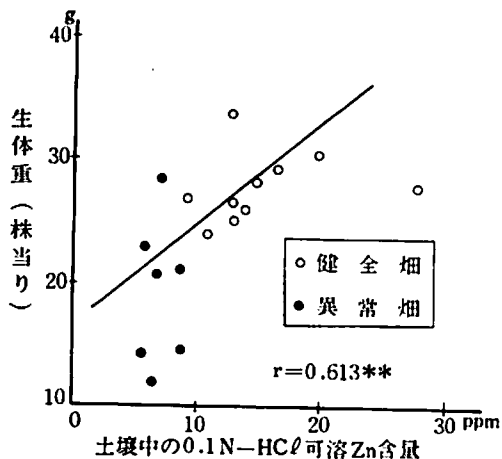
その2 心土

採取地点	区分	試料点数	pH(H ₂ O)	ex-Ni(ppm)	可溶性Zn(ppm)	
					0.1N-HCl抽出	NH ₄ OAc抽出
空知	健全	4	5.89	3.5	14.4	8.4
富良野	健全	7	6.26	6.8	8.3	3.6
	異常	7	6.79	8.7	5.9	2.8

第5表 亜鉛、ニッケル含量の範囲と標準偏差ならびに変異係数

区 分			試料数	Zn 含 量					Ni 含 量				
				平均值 (ppm)	範 囲 (ppm)		変異係数 (%)	標 準 偏 差	平均值 (ppm)	範 囲 (ppm)		変異係数 (%)	標 準 偏 差
					最 高	最 低				最 高	最 低		
富 良 野	作土	健全	7	12.6	16.3	9.4	42.4	5.34	8.2	12.4	3.8	89.4	7.33
		異常	7	7.2	8.5	5.9	34.9	2.55	8.6	12.2	5.0	74.2	6.38
	心土	健全	7	8.3	12.8	6.2	54.9	4.56	6.8	9.4	3.3	78.8	5.36
		異常	7	5.9	7.1	4.8	36.8	2.17	8.7	13.2	5.1	86.1	7.49

ねぎ栽培土壌は、作土、心土ともに空知地方の土壌に比して、可給態- P_2O_5 、水溶性 SO_4 、易還元性 Mn 含量および可溶性 Zn 含量 (20 ppm に対し 12 ppm) が低く、置換性 Ni 含量 (3 ppm に対し 8 ppm) が概して高い傾向を示しており、しかも、その傾向は生育障害を呈する玉ねぎ畑において顕著である。一般に、富良野地方の玉ねぎ栽培地帯は、空知川沖積土および扇状堆土に分布しており、そのほとんどは蛇紋岩風化物を混入している粗粒質土壌よりなるが、障害発生地域の玉ねぎ畑土壌は健全なものに比して、とくに土壌 pH が高く、可溶性 Zn 含量が半分以下 (13 ppm に対し 7 ppm) ときわめて低いことが特徴的である。

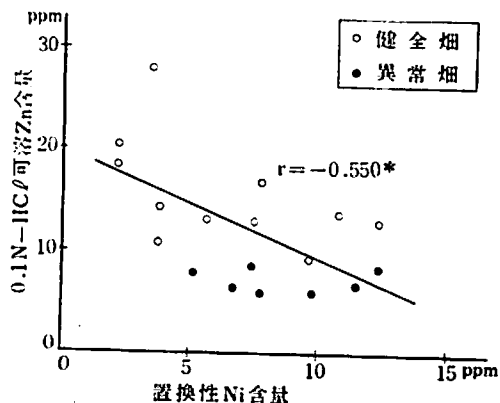


第3図 玉ねぎの生体量と土壌中の可溶性 Zn 含量の関係 (生育障害の発生盛期)
HCl抽出Zn

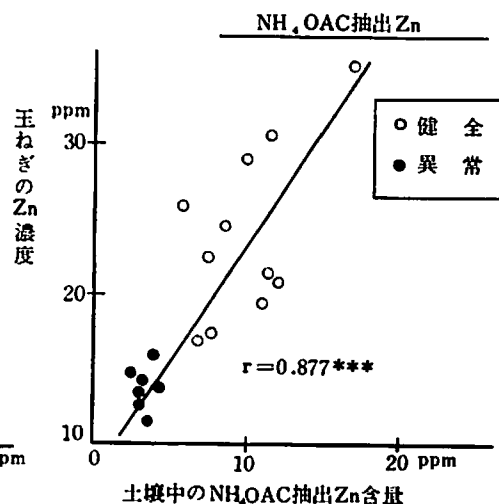
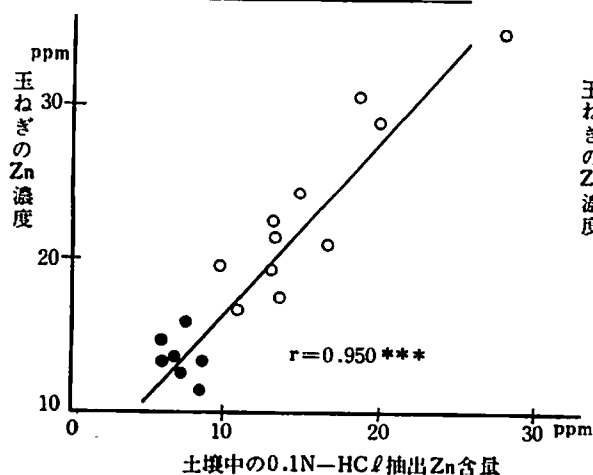
次に、生育障害の発生時期における玉ねぎ茎葉の生体重と、土壌中の可溶性 Zn 含量との関係についてみると、第3図のとおり、両者の間に密接な正の相関 ($r=0.613^{**}$) が認められ、土壌中の Zn 含量の高いものほど玉ねぎの生体重が大きい傾向を示している。

また、土壌中の可溶性 Zn 含量と置換性 Ni 含量との間には第4図に示したように、負の相関 ($r=-0.550^{*}$) が認められ、土壌中の置換性 Ni 含量の高いものほど可溶性 Zn 含量が低くなる傾向を示している。

さらに、一般に土壌中の可給態 Zn の測定法として、0.04 N- CH_3COOH 、0.1 N-HCl、1 M- NH_4OAC 、1 M- $MgCl_2$ などによる抽出方法がす



第4図 土壌中の可溶性 Zn 含量と置換性 Ni 含量の関係 (生育障害の発生盛期)



第5図 玉ねぎの Zn 濃度と土壌中の可溶性 Zn 含量の関係

で提案されているが、第5図に示した玉ねぎのZn濃度と土壤中の可溶性Zn含量との関係から、可給態Znの測定法について検討してみると、相関係数および抽出されるZn含量の絶対値などよりみて、明らかに1 M-NH₄OAc (pH 4.8)+M/100-EDTA液抽出法よりも0.1 N-HCl抽出法の方が可給態Znの多少を判定するには有効であると推定される。

以上のように、生育障害を呈する玉ねぎおよびその障害発生地域の土壌分析の結果より、富良野地方における玉ねぎの生育障害はNiとZnの含量に強く支配されていると考えられ、Zn欠乏が発現する濃度は、土壤中の0.1 N HCl抽出Zn含量として10 ppm、作物体のZn濃度は15 ppm前後と推定される。

B) 現地実証対策試験

第6表 直播栽培系列の生育障害発生および微量要素含量調査

区 分	生育障害発生状況			生 育 調 査					作物体成分含量 (ppm)			
	生育障害発生		障害発生程度 (7.2)	7 月 2 日		6 月 5 日			Zn		Ni	
	始	終		草 丈	葉 数	草 丈	葉 数	球 径	6.22	9.8	6.22	9.8
対 照 区	6.5	8.18	3.4	22.2	4.2	58.4	8.5	3.1	15.5	12.1	15.0	18.4
ZnSO ₄ 0.1 kg/a 区	9	5	1.7	31.4	5.0	76.0	9.1	4.5	18.0	16.3	15.1	19.3
〃 0.2 〃	10	1	1.6	31.9	4.7	76.0	9.3	4.6	24.0	16.8	14.3	19.0
〃 0.3 〃	12	1	1.3	29.5	4.6	75.6	9.1	4.6	31.0	17.8	11.6	19.2
ZnCl ₂ 0.2 kg/a 区	10	1	1.7	28.6	4.5	74.4	9.0	4.0	21.5	15.8	18.3	18.5
0.5% Zn液葉面散布区	5	20	2.3	25.8	4.2	63.6	8.7	4.0	16.0	12.5	23.2	20.7
土 壌 pH 5.0 区	14	1	1.1	25.6	4.4	62.1	8.4	4.1	22.5	13.5	19.4	24.6
〃 6.0 区	12	5	1.3	26.8	4.5	73.5	8.9	4.3	19.5	13.6	10.8	20.0
〃 7.0 区	9	15	2.0	27.1	4.5	74.4	8.9	4.2	17.0	13.6	8.9	19.5

試験圃の土壌条件: pH (H₂O) 7.22, 0.1 N-HCl可溶Zn 5.4 ppm, 置換性Ni 4.1 ppm

指数	発 生 程 度 調 査 基 準	指数	発 生 程 度 調 査 基 準
0	発生症状の全く認められないもの	3	葉に軽度のカールが認められ黄白化したもの
1	葉姿が正常で中心葉に僅か黄白化の認められるもの	4	葉が明らかにカール状となり黄白化したもの
2	葉姿が正常で葉にかなり黄白化の認められるもの	5	葉が極端なカール状を呈し甚だしく黄白化したもの

第7表 直播栽培系列の収量調査 (kg/a)

区 名	規 格 内 収 量					規 格 内 収 量 比 (%)	規 格 外 収 量	総 収 量
	LL	L	M	S	計			
対 照 区	5	261	132	44	442	100	61	503
ZnSO ₄ 0.1 kg/a 区	42	392	106	25	565	128	104	669
〃 0.2 〃	46	453	81	17	597	135	102	699
〃 0.3 〃	57	401	96	15	569	129	108	677
ZnCl ₂ 0.2 kg/a 区	27	411	88	25	551	125	102	653
0.5% Zn液葉面散布区	—	291	174	34	499	113	49	548
土 壌 pH 5.0 区	16	258	89	14	377	85	83	460
〃 6.0 区	15	399	104	11	529	120	154	683
〃 7.0 区	15	336	135	17	503	114	94	597

注) LL—球径9.0 cm以上, L—球径7.0~9.0 cm, M—球径5.8~7.0 cm, S—球径4.6~5.8 cm, 規格外—屑球, 分球, 長玉等を含む。

1 直播栽培

玉ねぎの生育障害発生畑に対する Zn の施用効果と、硫黄粉施用による土壌 pH の変換効果について検討した結果 (第 6, 7 表) によると, Zn の施用によって明らかに生育障害の発生時期が対照区に比して遅れ, さらにその障害の発生率も著しく減少し, したがって生育面でも Zn の施用効果が顕著に現われ, Zn 施用量の増加にともない葉色が濃くなり, 草丈も高まる。また作物体の Zn 含量も著しく増加している。

施用した Zn の化合形態については, 生育障害の発生程度, 作物体の Zn 濃度および草丈の伸長面より類推されるように, ZnCl_2 よりも ZnSO_4 の方がやや良好である。

また, 生育異常現象の発生初期に 0.5 % ZnSO_4 液を葉面散布したものは生育, 障害発生状況ともに対照区よりもわずかにまさる傾向が認められたが, その改良効果はほとんど期待できない。

一方, 土壌 pH と生育の関係では, 硫黄粉施用による土壌 pH の低下によって, $\text{pH } 5.0 > \text{pH } 6.0 > \text{pH } 7.0$ の順に確かに生育障害が軽減されて, 作物体内の Zn 濃度も高まるが, 同時に Ni 濃度も異常に高くなり, 生育面ではむしろ $\text{pH } 7.0 > \text{pH } 6.0 > \text{pH } 5.0$ の順に pH の高いものほど生育が良好であり, pH 5.0 ではとくに草丈が低く, 後半の

生育は対照区より劣る。

次に鱗茎収量についても同様に Zn 施用の効果が顕著に認められ, Zn 0.2 kg/a 区が 35 % の高い増収率を示し, かつ, 球径は L, LL などの大玉の構成割合が多くなっている。一方, 土壌 pH と収量との関係では $\text{pH } 6.0 > \text{pH } 7.0 > \text{pH } 5.0$ の順となり, pH 6.0 区が最も高い増収率を示している。

2) 移植栽培

Zn 溶液による苗浸漬の効果について検討した結果 (第 8, 9 表) によると, 0.2 % ZnCl_2 液に苗を浸漬後定植した場合, 無処理区に比して明らかに生育障害の発生時期が 2 週間前後遅れ, その発生程度も減少して, 生育初期における草丈の伸長面および作物体の Zn 濃度の高まりなどにその効果が顕著に認められ, 収量面でも 13~16 % の高い増収率を示した。

なお, 苗の浸漬時間による収量差は比較的小さいが, 作物体の Zn 濃度および球の肥大などよりみて, 瞬間浸漬よりも 15 分間程度浸漬した方が効果的である。

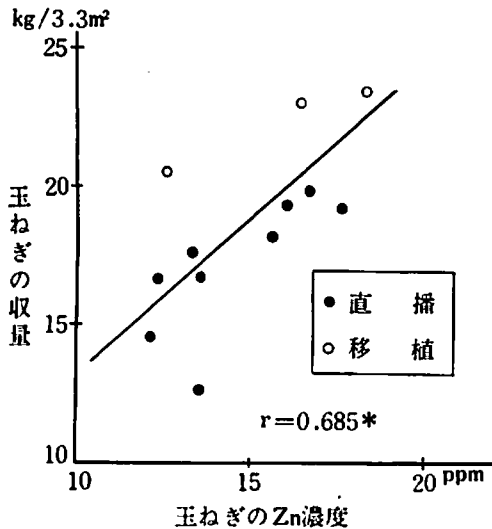
また, 玉ねぎの鱗茎収量と収穫期における鱗茎中の Zn 濃度の関係について第 6 図に示したが, 両者の間に比較的高い正の相関 ($r=0.685^*$) が認められ, 作物体の Zn 濃度の高いものほど収量が増加する傾向を示している。

第 8 表 移植栽培系列の生育調査

区 別	生育障害発生状況			生 育 調 査						作物体成分含量	
	生育障害発生		障害発生程度 (7.2)	7 月 2 日		8 月 5 日			Zn (ppm)	6.22	9.8
	始	終		草 丈	葉 数	草 丈	葉 数	球 径			
無 処 理 区	5.28	7.25	3.4	45.5 ^{cm}	7.0 ^枚	72.5 ^{cm}	8.5 ^枚	6.3 ^{cm}	15.0	12.6	
Zn 液瞬間苗浸漬区	6.10	8.2	1.7	53.1	7.4	77.1	9.1	6.9	17.0	16.5	
〃 15 分間 〃	13	2	1.5	57.2	7.4	78.4	9.5	6.8	20.5	18.6	

第 9 表 移植栽培系列の収量調査 (kg/a)

区 別	規 格 内 収 量					規 格 内 比 収 量 比 (%)	規 格 外 収 量	総 収 量
	LL	L	M	S	計			
無 処 理 区	156	430	26	—	612	100	113	725
Zn 液瞬間苗浸漬区	195	462	29	6	692	113	196	888
〃 15 分間 〃	213	458	36	—	707	116	180	887



第8図 鱗茎収量と収穫期における鱗茎のZn濃度の関係

IV 考 察

富良野地方に発生している玉ねぎの生育異常は、その特異的な症状と、土壌および作物体の分析結果から、ニッケルと亜鉛の関係が最も密接であり、かつ現地実証対策試験において、亜鉛の施用がその症状を著しく軽減することを知った。

すでにわが国において確認されている果樹²³⁾²⁷⁾、水稻²³⁾²⁶⁾³⁰⁾、陸稻²⁹⁾³⁰⁾、こんにゃく⁶⁾における亜鉛欠乏の症状は、新葉の黄白化、小葉化、ロゼット、捲葉などでほぼ共通している。しかし、玉ねぎにおいては黄白化、小葉化はもちろんであるが、葉が筒状である形態的特性から、典型的な豚尾状(カール状)を呈する点がほかの作物と異なった特徴といえる。

亜鉛欠乏の発生する土壌はアルカリ土壌に多いことはすでに知られているが、多くは石灰多施の影響を受けたもの²⁶⁾³⁶⁾や火山灰土壌²⁹⁾に起因するものがある。また茶樹¹⁷⁾において蛇紋岩土壌のニッケル過剰による亜鉛欠乏が認められている。本試験の玉ねぎの場合も、また蛇紋岩風化物の混入した砂質系の土壌であって、亜鉛欠乏発生の土壌条件は比較的限定されているものと思われる。

一般に、石灰の施用によってpHが上昇すると、土壌中の可溶性Zn含量が低下することが認めら

れている⁴⁾³⁾¹⁰⁾¹⁶⁾²³⁾³⁶⁾。しかし本試験の場合、生育障害発生畑のpHが健全畑より若干高い傾向を示しているが、置換性石灰含量は比較的lowく、石灰の影響はきわめて小さいものといえる。また硫黄粉の施用によって土壌pHを低下させると、可溶性Zn含量が増し、体内のZn濃度も高まって該症状が軽減されるが、逆にNi溶解度が増加し、体内のNi濃度が高まる。McGEORGE²⁶⁾、増田⁹⁾らもこのような現象を認めている。しかし、pHの低下によって、とくに酸性に弱い玉ねぎは¹⁾むしろ生育、収量面では不利である。

また、磷酸と亜鉛の比率が亜鉛欠乏の指標としてしばしば記述されている⁶⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁵⁾³²⁾が、そのP/Zn比のcritical levelは、WATANABE³³⁾は「とうもろこし」で300、小林⁶⁾は「こんにゃく」で180以上としている。STUKENHOLTZ²⁵⁾によると、土壌タイプなどによって100~350と変異があるとし、WARNOCK³²⁾は「とうもろこし」で、RUSSELL¹⁹⁾は大豆において、それぞれ130前後が生育に対して最も良好であると報告している。

本試験の玉ねぎの場合、健全な玉ねぎの258(空知地方のものは174)に対して、異常玉ねぎは470で著しく高い。一方、生育障害畑土壌の可給態P₂O₅含量は健全畑よりも低い、一般作物と比較するときわめて高く、上記のP/Zn比の関連からも磷酸が亜鉛欠乏を助長している可能性も十分に考えられる。

Zn含量と最も関係の大きいニッケルについてみると、蛇紋岩土壌地帯における茶樹¹⁷⁾では、葉のNi濃度が健全30ppmに対し70ppmでニッケル過剰害を認め、市倉³⁴⁾によると、玉ねぎに対する重金属の過剰害はNi>Cu>Zn>Cr≒Asであるとし、土壌中のNi含量が100ppmで収量が半減し、その時の茎葉のNi濃度は5ppmで、正常なものは1ppm以下であったと記述している。さらに市倉³⁴⁾は裏作玉ねぎについて、工場廃液の被害調査の結果から、無被害畑はNi含量が28ppm、被害畑は50ppm以上としている。

以上の点を考慮すると、本試験の玉ねぎのNi濃度は、正常なものにおいても市倉らの数値より高いが、培地のNi含量からみると過剰吸収を起

こすほどの含量ではなく、明らかに亜鉛の欠乏が主要因であると理解される。

亜鉛欠乏の critical level については、作物の種類および作物体の分析部位によって異なる⁹⁾²⁰⁾が、一般に 10~15 ppm と考えられ、本試験においてもほぼ同様の結果を得た。

つぎに、亜鉛の土壌中における存在形態についてみると、水野^{11~13)}によると蛇紋岩土壌の全 Zn 含量は沖積土壌に比して高い反面、可溶性 Zn 含量は逆に低いことを報告している。また陽ら³⁴⁾によると、Zn は土壌の粘土部分に多く、松田ら⁹⁾は鉍質土壌では置換態の割合が高いことを認め、山添ら³⁵⁾は亜鉛の土壌中の拡散速度は ZnSO_4 の場合は、第三紀層土壌>花こう岩質土壌>蛇紋岩土壌>沖積土>火山灰土；Zn-EDTA の場合は沖積土>第三紀層土壌>花こう岩質土壌>蛇紋岩土壌>火山灰土の順に速く、かつ土壌水分が高いほど拡散速度が速いことを示している。

以上のことがらを考慮すると、富良野地方の土壌中の亜鉛の形態は置換態の割合が高く、かつほとんどが砂質系土壌であることから当然置換容量も小さく、さらに、蛇紋岩土壌は可給態 Zn 含量が少ないと同時に亜鉛の拡散速度も遅いことなどから亜鉛欠乏を惹起する要因がより裏づけられる。

一方、亜鉛欠乏土壌に対する亜鉛の施用効果は高く⁹⁾⁴⁾、いずれも ZnSO_4 を Zn として 0.2~0.4 kg/a 施用した場合が適量とされているが、本試験においても同一結果である。これら亜鉛の施用形態についてみると、施用亜鉛の土壌中の拡散速度は $\text{Zn-EDTA} > \text{ZnSO}_4 > \text{ZnO}$ の順に速く⁷⁾³⁵⁾、亜鉛源の形態によって異なり、Zn-EDTA はほかの形態よりも土壌中の Ni 含量を低下させること³¹⁾が認められている。

しかし、小林ら⁹⁾によると、Zn-EDTA の多施は作物に対し危険性があることを報告している。

また、玉ねぎにおける亜鉛の過剰障害について、市倉ら³⁴⁾は土壌中の Zn 含量が 200 ppm 以上で被害が現われ、玉ねぎの体内の Zn の限界濃度は 350 ppm 前後としており、さらに、石灰を併用すればその被害がかなり軽減されると述べている。したがって、本試験における生育障害発生土壌に

対する亜鉛の施用は、極端に多施しないかぎり安全と思われるが、残効および連年施用の問題については検討の余地がある。

このように、亜鉛の過剰障害という点から考えると、移植栽培の場合に苗を亜鉛液に浸漬することは、苗の消毒と同時に行なえるという有利性の面からも実用性に富んでいると考えられる。亜鉛液への苗浸漬の効果は吉田ら³⁰⁾によって水稻でも認められている。

V 摘 要

富良野地方の玉ねぎ栽培地帯に特異的に発生する生育異常現象について、その実態調査を実施し、次のような結果を得た。

1) 生育異常現象の症状は、葉の黄白化、カール状化、小葉化などに特徴づけられ、これが玉ねぎの初期生育の遅滞、枯死などを招き、品質および収量面に多大の悪影響を及ぼす。また障害の程度は移植よりも直播の方が著しい。

2) 生育異常を呈する玉ねぎは健全なものに比して、微量要素含量のうち、とくに Zn 濃度が異常に低く (16 ppm 以下)、Ni 濃度が高い (20 ppm)。また Zn/Ni 比も小さく 1 以下である。

3) 障害発生地域の玉ねぎ土壌もまた、健全なものに比して土壌 pH が高く、0.1 N HCl 可溶 Zn 含量が半分以下 (10 ppm) であり、極めて低い。この傾向は作土よりも心土において著しい。

4) 作物体の Zn 濃度と、土壌中の 0.1 N HCl 可溶 Zn 含量の間にきわめて高い正の相関 ($r=0.950^{***}$) が認められ、作物体および土壌中の Zn 含量の高いものほど生育障害発生の程度が軽く、玉ねぎの生育量、生体重が高まる傾向を示す。したがって、当地方における玉ねぎの生育障害は明らかに Zn 欠乏が主要因である。

5) 生育障害発生畑に対する Zn の施用効果が顕著に認められ、その施用量として Zn 0.2 kg/a 前後、化合形態としては ZnCl_2 よりも ZnSO_4 の方が効果的である。

また、硫黄粉施用による土壌 pH の低下は該症状を軽減するが、収量面に対してはむしろマイナスであり、土壌 pH としては 6.5 前後が妥当であ

る。さらに移植栽培においては、0.2% ZnCl_2 液に15分間苗浸漬の効果がきわめて高く、より実用性に富む。

引用文献

- 1) 古山芳広, 南 松雄, 1968; 北海道における玉ねぎの施肥技術改善に関する研究(第2報), 道農試集18; 33-47.
- 2) 石塚喜明, 下野勝昭, 1967; 水稻の生育と微量要素(第1報), 土肥要旨集13: 48.
- 3) 市倉恒七, 前田正男, 1966; 工場廃液中の亜鉛とホウ素が農作物に及ぼす影響, 大阪農技センター研究報告3; 1-10.
- 4) ———, 土山和英・前田正男, 1970; 水稻と玉ねぎの生育および収量におよぼす各種金属の影響について, ——— 7; 44-41.
- 5) KHAN, D. H., 1969; Response of Sweet Corn and Rice to Phosphorus, Zinc, and Calcium Carbonate on Acid Genview Soil of California. Soil Sci., 108: 424-428.
- 6) 小林茂久平ほか, 1967; 畑作物に対する特殊成分および微量要素の効果(第3報), 群馬農試報告, 6: 133-166.
- 7) 越野正義, 1969; 微量要素含有肥料に関する研究(第1報), 土肥要旨集15: 139.
- 8) 増田敏春, 1963; 蛇紋岩土壤における作物生育障害について, 道農試集11; 52-58.
- 9) 松田敬一郎, 伊藤純雄, 1968; 亜鉛-腐植酸, フルボ酸コンプレックス安定度定数腐植化度との関係について, 土肥要旨集14: 15.
- 10) MELTON, J. R., B. G. ELLIS and E. C. DOLL, 1970; Zinc, Phosphorus, and Lime Interactions With Yield and Zinc Uptake by Phaseorus Vulgaris. Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 34; 91-93.
- 11) 水野直治, 1967; 北海道蛇紋岩質土壤の化学的特性に関する研究(第1報), 道農試集, 15; 48-55.
- 12) ———, 1967; 同上(第2報) 道農試集16; 1-9.
- 13) ———, 平井義孝, 1968; 微量要素の分布に関する研究(第1報), 道農試集18; 86-97.
- 14) ———, 後藤計二, 高尾欽弥, 平井義孝, 1969; てん菜に対する微量要素施用に関する研究(第1報), 土肥要旨集15: 51.
- 15) MORTUEDT, J. J. and P. M. GIORDANO, 1969; Availability to corn of zinc applied with various macronutrient fertilizers. Soil Sci., 108; 180-187.
- 16) NAVROT, J. and S. RAVIKOVITCH, 1969; Zinc availability in calcareous soils. Soil Sci., 108; 30-37.
- 17) 小川 茂, 向笠芳郎, 1967; 異常茶樹に関する研究(第2報), 土肥要旨集13; 26.
- 18) RUDGERS, L. A. et al. 1970; Interaction Among Atrazine, Temperature, and Phosphorus Induced Zinc Deficiency in Corn (*Zea mays* L.) Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 34; 240-244.
- 19) RUSSELL, D. Frazier, H. G. SMALL, and A. J. OHLROGGE, 1967; Nutrient Concentrations in Plant Parts Sampled from Soybean Fields. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Publisher, Soil testing and plant analysis, part II, Plant analysis.
- 20) Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Publisher, 1967; Soil testing and plant analysis, part II Plant analysis.
- 21) SANFORD, J. O. and J. D. LANCASTER, 1962; Biological and Chemical Evaluation of the Readily Available Sulfur Status of Mississippi. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 26; 63-65.
- 22) SHARPLESS, R. G., E. F. WALLIHAN, and F. F. PETERSON, 1969; Retention of Zinc by Some Arid Zone Soil Materials Treated with Zinc Sulfate. Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 33; 901-904.
- 23) 塩谷惣次, 1939, 柑橘の斑葉について, 土肥誌13; 5.
- 24) 白鳥孝治, 鈴木 武, 三好 洋, 1970; 亜鉛欠乏症状と水稻体の亜鉛含量, 土肥要旨集16; 57.
- 25) STUKENHOLTZ, D., et al. 1966; On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 30; 759-763.
- 26) 田中 明, 下野勝昭, 石塚喜明, 1969; 亜鉛欠乏に帰因する水稻の“赤枯”について, 土肥誌40-10; 415-419.
- 27) 田中彰一郎, 1939; 農及園16; 1503, 1651.
- 28) 東大農芸化学教室編, 1960; 実験農芸化学(上); 63.
- 29) 内田修吉, 関沢憲夫, 高橋良治, 1969; 岩手県における亜鉛欠乏について(第1報), 土肥要旨集15: 51.
- 30) ———, ———, ———, 1969; 同上(第2報), 土肥要旨集15: 52.
- 31) WALLACE, A. and R. T. MUELLER, 1969; Effect of Chelating Agents on the Availability to Plants of Carrier-Free Fe and Zn Added to Soils to

- Simulate Contaminaton From Fall Out. Soil Sci Soc. Amer. pro., 33; 912-914.
- 32) WARNOCK, R. E., 1970; Micronutrient Uptake and Mobility with in Corn Plants (*Zea mays* L.) in Relation to Phosphorus induced Zinc Deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 34; 765-769.
- 33) WATANABE, F. S. and S. R. OLSEN, 1965; Nutrient Balance involving Phosphorus, Iron, and Zinc. Soil Sci. Soc. Amer. Pro., 29-5. 562-565.
- 34) 陽 捷行, 庄司貞雄, 増井淳一, 1970; 火山灰土壌中の微量要素について(第2報), 土肥要旨集 16; 22.
- 35) 山添文雄, 越野正義, 関沢憲夫, 1970; 土壌中亜鉛の各種溶媒による抽出及び施用亜鉛の土壌中の拡散(第4報), 農技研肥料化学科資料, 137; 33-55.
- 36) 吉田昌一, A. バドラチャラム, D. A. フォルノ, 1970; 石灰質土壌における水稲の亜鉛欠乏, 土肥要旨集 16; 22.

Summary

In Japan, Zn deficiencies have been recognized in some plants; such as rice, citrus fruits and konnyaku.

Recently, the authors remarked the inferior growth of onions which seemed to be due to Zn deficiency or Ni toxicity in Furano district of Hokkaido. The soil was characterized by weathered serpentinite rock.

Therefore, the distribution of injury to onions was investigated, and the samples were analyzed for minor elements; such as Zn, Mn, S, Fe, and Ni in the soil or onion plants. Then, Zn fertilizers were applied to the abnormal soil confirming Zn deficiency.

The results were summarized as follows;

- (1) The symptoms of the injured onions

were characterized by leaf chlorosis, smaller leaves, especially curly leaves like a pig tail.

(2) Zn concentrations in the leaves of abnormal plants were especially lower (16ppm), Ni concentrations higher (20ppm) than normal plants, therefore Zn/Ni ratios were below 1.

(3) The pH of abnormal soils was higher than that of normal soils; inversely, available Zn contents extracted with 0.1 N-HCl were below 10 ppm in average. They were one half of that of normal soils.

(4) The higher correlation ($r=0.950^{***}$) was obtained between Zn concentration in leaves of onion plants and Zn contents in soils extracted with 0.1 N-HCl. And then, higher Zn contents in the soil and plant mitigated the symptoms of injury and consequently enlarged the plant growth.

(5) Application of Zn fertilizers such as $ZnSO_4$ to the abnormal soils remarkably cured them of the inferior growth, and increased the yield of onions.

Therefore, the injured growth of onions in Furano district was concluded to be caused by Zn deficiency mainly.

(6) Application of 0.2 kg Zn per are as $ZnSO_4$ was more suitable than that of $ZnCl_2$ form.

(7) In the transplanting culture, it was more effective to dip the roots of seedling into the 0.2 % $ZnCl_2$ solution for about 15 minutes.