

蛇紋岩土壤における作物生育障害について

(障害要因と土壤反応の影響)

増 田 敏 春†

THE INJURY TO PLANT GROWTH ON SERPENTINE SOILS

(The Factors of Injury and the Effects of Soil Reaction)

Toshiharu MASUDA

蛇紋岩土壤に発生する作物生育障害要因の確認と障害発生におよぼす石灰の影響等を解明するため、幌延村字間寒別土壤について、本場沖積土壤を対照として燕麦を供試し框試験を実施した。

その結果 Ni 吸収量の増加に伴い、燕麦葉の白化症状は顕著になり、障害発生度と Ni 吸収量に関連性が認められた。また燕麦による Ni の吸収は土壤反応に大きな影響を受け、反応の低下に従い吸収量が急激に増加することが知られた。

なお石灰量と障害の発生度との関係については今回の試験より明らかにすることができなかった。

I 緒 言

北海道幌延村字間寒別に分布する蛇紋岩土壤の性状およびそこで発生している作物生育障害の実態については前回の予報¹⁾で報告し、障害要因とみなされる 2, 3 の特性を明らかにした。すなわち Ni, Cr などの重金属類および石灰、苦土の unbalance のいずれか、あるいはそれらの相互作用によって特有の生育障害が発生しているものと推定された。

しかし今後対策を検討してゆく場合、障害に対するそれら各要因の関係を明らかにしなければならず、解明の第 1 段階として、障害要因の確認ならびに障害発生に及ぼす石灰の影響などについて試験を実施したので、その結果を報告する。

なお試験の実施に当たり常に適切なお指導を頂いた北海道大学石塚教授、ならびに有益なご助力を与えられた北海道佐藤専門技術員(元道立農試化学部長)に厚く謝意を表する次第である。

II 試料の処理・定量法

詳細については前報¹⁾に報告したが、その概要は次のとおりである。すなわち作物は 80°C 通風乾燥後細粉し、硫硝酸分解をし、土壤は 2.5 % 醋酸(酸可溶)、N-醋酸アンモン(置換性)で浸出し硫酸溶液となして、これらにつきそれぞれ Ni : Dimethyl-glyoxime, Cr : Diphenyl-carbazide の比色法, Ca, Mg : EDTA 滴定法により定量。

III 試 験 [I]

前述した各要因について障害発生に対する関係を明らかにするため次の方法により試験を行なった。なお J. Vlamis の報告⁵⁾および当土壤の pH が高く CaCO₃ の使用に若干の危惧があったため、石灰資材として CaSO₄ · 2H₂O を使用した。

(1) 方 法

試験は 2 連制で行ない、供試作物は燕麦(前進)供試土壤は間寒別で採取した蛇紋岩土壤(間-A, 間-B)および琴似(農試本場)の沖積土壤で、2 千

† 元化学部

分の1コンクリート框(無底)を使用した。

土壌に行なった処理は第1表に示したとおりで、琴似沖積土壌に Ni, Cr をそれぞれ加えるこ

とにより、それらと障害発生との関係を確認し、また蛇紋岩土壌に Gypsum を加えて、Ca との相互関係を明らかにしようと試みた。

第1表 試験処理……試験〔I〕

土 壌	処 理	添 加 物 お よ び 量	備 考
琴 似	—	—	—
	Ni	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 85.8 g	土壌に対して Ni 100ppm
	Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1,500 g	" Mg 30 m.e./100 g
	Cr	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 10 g	" Cr 25 ppm
間 - A	—	—	—
	1. Ca	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 51.6 g	土壌の置換性 Ca/Mg = 1
	2. Ca	" 918.3 g	" " = 2
間 - B	—	—	—
	1. Ca	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 423.2 g	土壌の置換性 Ca/Mg = 1
	2. Ca	" 1,176.4 g	" " = 2

添加物は1框当たり、2,000分の1コンクリート框(無底)使用

土壌：琴似…札幌市琴似町(農試本場)で採取した沖積土

間-A、間-B…間寒別で採取した蛇紋岩土

これら各処理に示された添加物を土壌に混合し、埋設したコンクリート框に厚さ30 cmにつめ固め状態に達したときに播種し、以後の生育経過を観察した。また症状の進行状況、および燕麦体の部位による Ni 含有率の変化などより考えて¹⁾出穂直前に2連のうち1連を採取し、その地上部について Ni, Ca, Mg の含有率を調べた。残りの1連は成熟時まで観察を継続し、その収穫跡地土壌について2, 3の性状を調べた。なお1框当たりの施肥量は N : 5.09 g, P_2O_5 : 8.05 g, K_2O : 5.40 g でそれぞれ硫酸、過石、硫酸で施した。

(2) 結 果

蛇紋岩土壌における燕麦の障害発生は葉脈にそって黄化が起り、ついで白化→枯死という経過をたどる。白化は障害程度が中度以上の場合に起こり葉脈にそって出現するが黄化と異なり葉の中間より先にかけて主に発現する。

これら症状の発生程度と、推定された2, 3の障害要素の体内含有率との関係を知るため発芽後の生育観察を重点的に行なった。障害症状の発生は第3葉～第4葉期(発芽後20～30日)より始まり間-A、間-Bの各3処理および琴似 -Ni 処理に

黄化がみられ、ついで第4～5葉期になるとこれら各処理では白化があらわれ始めた。この時期では間-A、間-Bの各3処理のうちGypsumを多く添加したもののほど強度の障害症状(黄化、白化)をていし、この傾向は出穂期まで続いた。出穂後間-A、間-Bの各3処理では葉面の黄化はなお続いたが、出穂前に発生した白化部分は枯死により

第2表 燕麦の Ca, Mg, Ni 含有率……試験〔I〕

土 壤	処 理	Ca	Mg	Ca/Mg	Ni
		mM/100 g			ppm
琴 似	—	13.5	12.6	1.1	—
	Ni	19.7	10.7	1.9	57.4
	Cr	16.6	10.6	1.6	—
	Mg	14.8	22.3	0.7	—
間 - A	—	10.1	23.3	0.4	36.9
	1. Ca	12.3	28.6	0.4	39.8
	2. Ca	14.6	34.6	0.4	63.7
間 - B	—	10.5	18.6	0.6	54.0
	1. Ca	13.4	18.7	0.7	54.9
	2. Ca	14.1	18.9	0.8	58.8

mM : mili

脱落し、それ以後新たな発生はみられなかったが、生育は Gypsum を多く添加したもののほど劣っていた。また琴似 -Ni 処理における症状(黄化・白化)の出現部位および形態は、問-A、問-B の各処理におけるものと類似していたが、出穂後も白化がみられ、生育は最も劣っていた。

ほかの琴似土壌の各処理では正常な生育をし、琴似 -Cr 処理においても障害の発生はみられず、Cr による特有の症状²⁾もみられなかった。

出穂直前の燕麦中の Ca, Mg, Ni 含有率は第2表に示した。障害要因として推定された Cr については予報¹⁾で報告した結果が、この試験によっても確認され、要因として考えられないので省略した。燕麦中の Ca, Mg 含有率の比は琴似-無処理、琴似-Ni、琴似-Cr では1.0より大きく、琴似-Mg および問-A、問-B の各処理では1.0より小さい。このうち琴似-Mg は $MgSO_4$ の添加により Mg 含有率が増したものであるが、問-A 問-B は Gypsum の添加により燕麦の Ca 吸収量を増加させ、Ca/Mg を大きくしようという意図であったが、石灰含有率の増加につれて苦土含有率も増加し、その結果 Ca/Mg は問-A で0.4、問-B で0.6—0.8 と大差のない値であった。ここで Ca/Mg と障害症状の程度を対比すると、琴似土壌では障害の発生した琴似-Ni 処理の Ca/Mg は1.9であり、問-B の3処理では Ca/Mg は Gypsum の添加により0.6、0.7、0.8 と大きくなっているが、障害も強くおられる傾向にあり、問-A では3処理とも、その比率0.4であるが、問-B と同様 Gypsum の添加 (Ca 含有率の増加) により障害も強くあらわれている。

一方燕麦の Ni 含有率は琴似-Ni で57.4 ppm であり、また問-A の3処理では36.9~63.7 ppm 問-B の3処理では54.0~58.8 ppm でいずれも Gypsum の添加により増加しており、障害の発生程度と明らかに比例的である。したがって燕麦の障害発生と直接関連しているのは Ni 含有率であり、Ca 含有率および Ca/Mg の関連性は少ないといえる。

つぎに第3表に示した収獲跡地土壌の pH は、問-A、問-B の各処理とも Gypsum の添加によ

り低下し、一方置換性、酸可溶いずれの Ni もその浸出量が増している。すなわち Gypsum の添加により、可溶性 Ni が増加し、燕麦の吸収量も増して障害が強くと考えられ、可溶性 Ni の増加は Gypsum 添加による pH 低下に起因していると推定される。

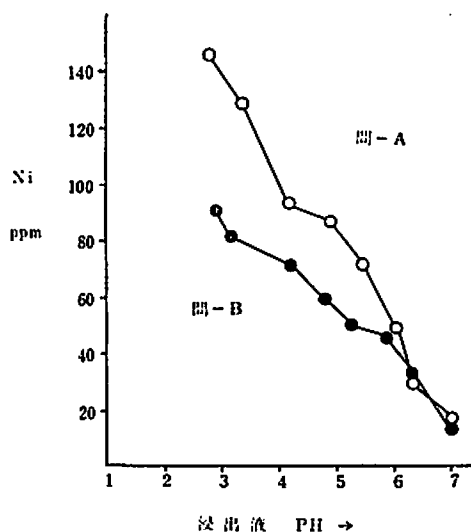
第3表 収獲跡地土壌……試験〔I〕

土 壤	処 理	pH		Ex. Ca	Ex. Mg	Ni ppm	
		H ₂ O	KCl			m.e./100 g	酸可溶 置換性
琴 似	—	6.2	5.3	17.6	2.0	—	—
	Ni	6.0	5.0	17.2	1.9	14.6	3.7
	Mg	5.0	5.0	16.9	9.6	—	—
問-A	—	6.5	6.2	10.7	10.8	95.8	17.8
	1. Ca	6.4	6.2	15.2	14.4	98.5	18.9
	2. Ca	6.0	6.0	27.4	15.6	139.8	27.1
問-B	—	6.4	5.9	6.2	15.5	71.6	13.5
	1. Ca	6.2	5.9	15.0	15.5	72.4	14.6
	2. Ca	6.0	5.9	23.2	15.3	82.0	15.6

酸可溶: 2.5% CH_3COOH (pH 2.8) により浸出された Ni

置換性: $N-CH_3COONH_4$ (pH 7.0) により浸出された Ni

第1図 pH と Ni 浸出量



$N-CH_3COOH-CH_3COONH_4$ Buffer sol. (pH 2.3, 3.0, 4.0, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0) で浸出

第1図は pH と Ni 浸出量の関係を図示したもので、 $\text{N-CH}_3\text{COOH}$ と $\text{N-CH}_3\text{COONH}_4$ の混合により pH 2.3, 3.0, 4.0, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0 の緩衝液をつくり、問-A, 問-B の土壌を浸出したもので、縦軸は浸出された Ni ppm, 横軸は土壌を浸出したあとの緩衝液の pH であり、pH 5.0 附近での浸出 Ni は 60~90 ppm であるが、pH 7.0 では 20 ppm 以下と急激に減少している。したがって土壌 Ni の可溶化に及ぼす pH の影響の大きいことが知られる。

IV 試 験〔II〕

試験〔I〕の結果より燕麦の障害発生と Ni 含有率に関連がみられ、また土壌の Ni は pH の低下につれて可溶化する傾向が大で、燕麦の Ni 吸収量も増加するものと推定されたが、実際に蛇紋岩土壌において、土壌の pH と障害発生程度との関係はどうであるか、さらに土壌の pH は多くの場合土壌の Ca 量と相関があるので、試験〔I〕の結果

の補足として、同量の石灰を蛇紋岩土壌に添加したうえで、pH を変化せしめることが障害程度 (Ni 含有率) とどのような関係にあるかなどを明らかにするため、硫黄粉, Gypsum, CaCO_3 を使用して次の試験を実施した。

(1) 方 法

供試作物は燕麦 (前進), 供試土壌は問寒別で採取した蛇紋岩土壌である。長径 30 cm, 長さ 1 m の土管を埋設し、第4表に示した処理による各添加物を土壌に混合し、深さ 50 cm につめた。石灰は各処理とも 20 m.e./100 g 相当量を Gypsum と CaCO_3 で添加し、硫黄粉は pH 6.8 の原土を pH 6.0 と pH 5.0 にする理論値を緩衝曲線法で求め、その当量を添加した。また硫黄粉 + CaCO_3 は硫黄粉およびそれと当量の CaCO_3 を土壌に添加した。いずれも圃場状態に達してから30日後に播種し、出穂直前に2連のうち1連の地上部を採取し、Ni, Ca, Mg 含有率を調べた。なお生育期間を通じて障害程度の観察は詳細に行なった。

第4表 試 験 処 理……試験〔II〕

処 理	添 加 物	添 加 量 (g)		
		CaCO_3	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	S
原 土	—	—	—	—
$\text{CaSO}_4 \frac{1}{4}$	添加 Ca の $\frac{1}{4}$ を CaSO_4	—	206.4	—
$\text{CaSO}_4 \frac{3}{4}$ $\text{CaCO}_3 \frac{1}{4}$	" の $\frac{3}{4}$ を CaSO_4 $\frac{1}{4}$ を CaCO_3	30	154.8	—
$\text{CaSO}_4 \frac{2}{4}$ $\text{CaCO}_3 \frac{2}{4}$	" の $\frac{2}{4}$ " $\frac{2}{4}$ "	60	103.2	—
$\text{CaSO}_4 \frac{1}{4}$ $\text{CaCO}_3 \frac{3}{4}$	" の $\frac{1}{4}$ " $\frac{3}{4}$ "	90	51.6	—
$\text{CaCO}_3 \frac{4}{4}$	" の $\frac{4}{4}$ を CaCO_3	120	—	—
S (6.0)	pH 6.0 相当量 S	—	—	19.2
S (5.0)	pH 5.0 "	—	—	38.4
S (6.0) + CaCO_3	pH 6.0 相当量 S + 当量の CaCO_3	60	—	19.2
S (5.0) + CaCO_3	pH 5.0 " "	120	—	38.4

添加量はポット当たり g

土壌：問寒物で採取した蛇紋岩土

(2) 結 果

発芽後第3葉期より特有の障害があらわれ、原土、 $\frac{3}{4}$ Ca 量以上を Gypsum とし添加した場合および硫黄粉添加の各処理では生育につれ障害度は次第に強くなってきた。そして燕麦で症状が最も特徴的に出る出穂直前の時期では第5表

に示したように、原土、 $\text{CaSO}_4 \frac{4}{4}$, $\text{CaSO}_4 \frac{3}{4}$ の各処理では障害度が強く、 CaCO_3 の添加比率が増すにつれて軽減し、 $\text{CaCO}_3 \frac{4}{4}$ では障害度は軽微で、症状は黄化程度、白化は葉面のごく一部 (先端) のみであった。一方硫黄粉添加の処理では、障害度ははなはだしく、ほとんど葉面全体

第5表 燕麦の障害発生度と生育状況……試験〔II〕

処 理	草 丈 cm			地 上 部 重 g		出 穂 直 前 の 症 状
	分けつ時	出穂直前	成 熟 時	生 重	乾 重	
原 土	52.9	65.0	83.7	70.6	12.0	H
CaSO ₄ ¼	57.5	62.5	79.6	64.5	10.6	H
CaSO ₄ ¾ CaCO ₃ ¼	61.5	77.6	95.1	85.6	13.4	M~H
CaSO ₄ ½ CaCO ₃ ½	63.9	80.6	93.3	93.5	13.2	M
CaSO ₄ ¼ CaCO ₃ ¾	67.3	82.3	97.7	103.2	15.1	L
CaCO ₃ ¾	66.3	90.1	105.1	100.3	14.2	L
S (6.0)	43.5	51.6	69.1	30.0	6.7	V. H
S (5.0)	23.7	40.3	58.8	6.6	1.8	V. H
S (6.0) + CaCO ₃	65.3	74.9	90.5	101.3	17.3	L
S (5.0) + CaCO ₃	60.0	71.7	89.6	77.1	13.6	M

分けつ時：7月4日，出穂直前：7月11日，成熟時：8月3日

症状 V.H: Very Heavy H: Heavy M: Middle L: Light

にわたって白化がみられ，生育は阻害され，出穂登熟も不完全で，症状は硫黄粉の添加量が多いほど著しかった。しかし硫黄粉とそれに当量のCaCO₃を併用した場合，障害の発生は軽度～中度にまで軽減した。このように生育期間中の観察では，いずれの場合もCaCO₃の添加により障害度が軽減するという傾向が認められた。

収穫跡地土壌のpHは第6表に示したように，Gypsumの添加により若干低下しているがCaCO₃の添加比率が増すにつれ高くなり，CaCO₃ 4/4ではpH 7.6となっている。また硫黄粉添加の処理ではpH 5.7，pH 4.5と理論値よりも低い値となっているが，当量のCaCO₃添加によりpH 7.1

と高くなっている。一方第6表に示した出穂直前の燕麦地上部のNi含有率は，原土で7.1 ppm，Gypsum添加で76.6 ppmと増加し，これは試験〔I〕の場合と同じ傾向であるが，CaCO₃の添加比率が増すにつれて減少し，CaCO₃ 4/4では47.1 ppmとなっている。さらに硫黄粉添加の処理では156.9，189.6 ppmと急増し，これに当量のCaCO₃を加えた場合61.3，61.6 ppmに減少している。この傾向は試験〔I〕において行なったCH₃COOH-CH₃COONH₄ Buffer sol. 浸出による結果と同じで，pHと土壌Niの可溶性，ひいては燕麦のNi吸収量（障害度）は比例的關係にあり，土壌の石灰量によって受ける影響は少ないも

第6表 出穂直前燕麦のNi, Ca, Mg含有率と収穫跡地土壌のpH

処 理	Ni	Ca	Mg	Ca/Mg	跡地土壌の pH	
	ppm	mM/100 g			H ₂ O	KCl
原 土	71.1	7.8	15.6	0.50	6.8	6.5
CaSO ₄ ¼	76.6	8.3	17.4	0.48	6.5	6.3
CaSO ₄ ¾ CaCO ₃ ¼	75.9	7.7	18.8	0.41	7.3	7.1
CaSO ₄ ½ CaCO ₃ ½	47.0	7.8	18.0	0.43	7.4	7.3
CaSO ₄ ¼ CaCO ₃ ¾	46.9	8.5	17.3	0.49	7.5	7.4
CaCO ₃ ¾	47.1	7.2	16.3	0.44	7.6	7.5
S (6.0)	156.9	7.4	16.2	0.46	5.7	5.6
S (5.0)	189.6	8.0	16.4	0.49	4.5	4.4
S (6.0) + CaCO ₃	61.3	7.8	13.5	0.53	7.1	6.8
S (5.0) + CaCO ₃	61.6	8.1	13.2	0.61	7.1	6.8

mM: mili Mole.

のと判断しうる。

第6表中の燕麥のCa含有率は、各処理とも大きな差はなく7.2~8.5 mM/100 gの範囲であり、またCa/Mgも同様に各処理0.41~0.61の範囲で、いずれの場合も添加した石灰の種類やNi含有率(障害度)との関連性はほとんどみられない。

V 考 察

J. HUNTER, O. VERGNANO²⁾は燕麥の水耕培養でCr 5~10 ppm以上で特徴的障害の発生することを報告している。しかし今回の試験でCr 25ppmを土壌に添加しても燕麥に障害症状は全く発生せず、すでに報告したように、間寒別に分布する蛇紋岩土壌中のCrは不活性の形態が大部分であり、可溶性Crが25 ppmを超えることは考えられず、(実態調査では土壌の酸可溶Cr 1.8 ppm以下)実際に障害発生濃度にまで達することはありえないと判断される。

J. VLAMIS^{3) 4)}の行なった一連の試験では、蛇紋岩土壌に発生する障害に対してGypsumの施用が効果的であったと報告している。そこでは蛇紋岩土壌のCa含量が低いことより、Ca供給の意味でGypsumを施したのであるが、同じ目的をもってGypsumを添加した今回の試験では障害軽減への効果は認められず、むしろ障害程度が促進される傾向にあった。これはGypsumの添加によりpHが6.5→6.0(試験I) 6.8→6.5(試験II)に低下し、このため土壌Niの可溶性が増し、燕麥のNi吸収量が増加したことに起因するものと推定されたが、J. VLAMISらの試験ではGypsum無施用のpH 7.1, Gypsum 1.0~8.0 ton/acre施用後のpHは7.0~7.3で、このようにpHの低下がみられないことの原因については不明であるが、跡地のpHは7.0以上であり、この点よりGypsum施用で障害が促進されなかったものと考えられる。またJ. VLAMISによるとGypsum施用によるCaの吸収量の増加が効果的であると報告しているが、今回の試験では燕麥のCa含有率さらにはCa-Mg比と障害程度の関連性はきわめて低かった。

蛇紋岩土壌における障害はNiによって惹起さ

れることはW. M. CROOKE¹⁾らにより報告されているが、今回の試験においても燕麥の障害発生度とNi含有率には高い相関がみられた。試験[I]において琴似沖積土壌にNiを添加した場合、燕麥の生育が進むにつれ障害症状も顕著になったが、間寒別の蛇紋岩土壌では出穂期以後では症状がさらに進展することはなかった。これは吸収されたNiが速かに根部へ移行したため¹⁾と考えられたが、試験[I]の跡地土壌のNiは琴似-Ni処理の方が蛇紋岩土壌に比し少なく、燕麥中のNi含有率と相反する結果となっている。この吸収量の差は土壌中のNiの形態に起因するものと推定され、琴似沖積土の場合NiSO₄の形態で添加したが、この形態のNiは比較的速かに吸収され、一方蛇紋岩土壌の場合、土壌中のNi含量は多いが、燕麥による吸収はNiSO₄形態ほど速かでないため、Ni吸収量に差が生じたものと考えられ、泥炭地に蛇紋岩土壌が混合したところでは2.5% CH₃COOHにより抽出されるNiが燕麥の含有率と比例的でないことはすでに報告¹⁾したことであるが、これら吸収量の相違の1因として土壌中の腐植(今回の試験では琴似沖積土4%, 間寒別蛇紋岩土壌-A 14%, -B 10%であった)の作用というものが一応考えられる。

VI 要 約

幌延村で採取した蛇紋岩土壌および硫酸ニッケルを添加(100 ppm)した琴似沖積土壌を用いて框試験を実施した結果、蛇紋岩土壌の生育障害要因として実態調査当時想定されたもののうち、燕麥のNi含有率は障害度との関連性大であったが、Ca, Mg含有率およびCa/Mg比との関連性は低く、Crは障害要因となっていないことが判明した。

また蛇紋岩土壌のpHがCaCO₃の添加により7.0もしくはそれ以上の範囲になった場合、土壌中のNiの可溶性は低い、硫黄粉、石膏などの添加でpHが低下すると急激に増大し、その結果、燕麥によるNi吸収量も増加して、障害度が強くなった。

文 献

- 1) CROOKE, W. M., 1956 ; Effect of soil reaction on uptake of nickel from serpentine soil. *Soil. Sci.* 81, 269.
- 2) HUNTER, J. G. and O. VERGNANO, 1952 ; Trace element toxicities in oat plant. *Ann. Appl. Biol.* 39, 279.
- 3) MARTINE, W. E., JAMES VLAMIS, and N. W. STICE, 1953 ; Field correction of calcium deficiency on a serpentine soil. *Agr. J.* 45, 204.
- 4) 増田敏春, 佐藤亮八 1961 ; 蛇紋岩土壌における作物生育障害について, 予報, 土壌ならびに生育障害実態調査, 道農試集, 第8号, 37.
- 5) VLAMIS, J. and H. JENNY, 1948 ; Calcium deficiency in serpentine soils as revealed by absorbent technique. *Science* 107, 549.

Summary

Tests were carried out with concrete pots, the plant employed being oats, by sampling serpentine soils of Horonobe and alluvial soils of Kotonu to

which was added nickel sulfate at 100 ppm Ni. The results obtained were as follows :

The degree of toxicity symptoms appearing on oat plants growing on the soils has high correlation with the contents of nickel, low correlation with the contents of calcium or magnesium as well as the ratio of calcium to magnesium in oat plants. These elements were inferred primarily as the factors in the toxicity to oat plants growing on the serpentine soils of Horonobe village through the actual survey done in 1960.

If the range of pH of serpentine soils brought to 7.0 and over by adding the calcium carbonate, solubility of nickel in the soils is low, but it is raised quickly when pH is lowered with addition of sulfur-powder or gypsums to the soils. Consequently the amounts of nickel absorbed by oat plants from the serpentine soils increased and the toxicity symptoms on oat plants were made more vigorous with lower pH values.