

蛇紋岩質水田土壤地帯における微量元素に関する研究

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	425
掲載ページ	p. 214-220
発行年月	1971年5月

蛇紋岩質水田土壌地帯における微量要素に関する研究

—水稲体および土壌中のマンガン、鉄、銅、亜鉛
ならびにモリブデン含量とニッケルの影響について—

水野直治*・小林荘司*

1. 緒言

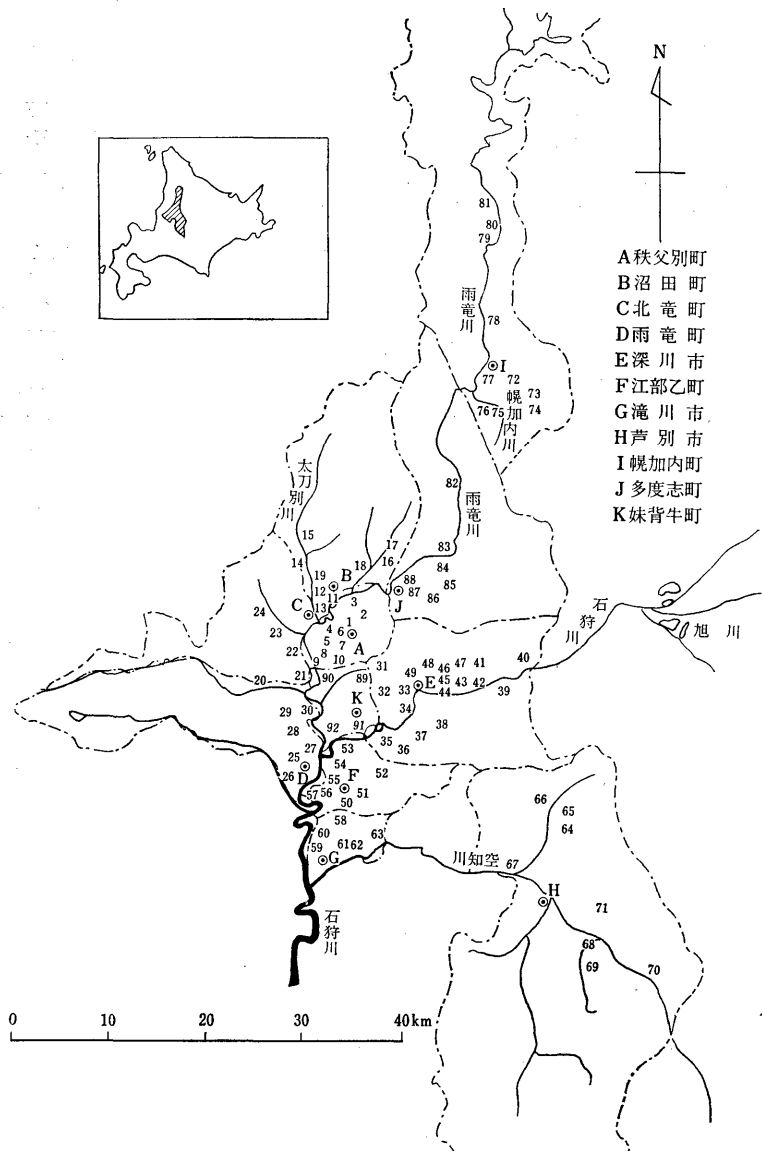
筆者らはさきに北海道中央部の南北に分布する蛇紋岩質土壌において、ニッケル過剰障害の抵抗力は畑作物間において大差のあることを認めた⁵⁾。とくにエンバク、豆類、アルファルファにおける障害は顕著であった。しかしながら水稲についてはこれらの地域においても明白なニッケルによる障害が発見されなかった。

このようなことから畑作物にニッケル障害がみられる地帯では畑地を一部水田に転換することによってその被害を回避している。

一方、ニッケルによる生育障害についてCROOKE⁶⁾は、エンバククロロシスは作物中 Fe/Ni 比の減少によって発生すると報じている。また MIZUNO⁷⁾によると、各種の畑作物のクロロシスまたはネクロシスは Ct/Ni 比が 1.0~0.8 以下になると発現が強まり、収量はむしろ Fe/Ni 比が 6~5 以下になるとこの比の低下に伴って減少する。多くの場合、これらの現象は同時に発生するが、時にはそれぞれ独立して発生することもあり、作物による抵抗力の差異はこれらの比の減少度合によって現われてくることを認めた。

ここでは空中中北部の蛇紋岩

質土壌地帯における水田土壌中のニッケルその他の微量要素の分布を明らかにし、それらが水稲にどのような影響をもたらすか、とくに上に述べたような各要素の相互関係が水稲にも存在するか否かを追求し、2, 3 の結果



第1図 試料採取地点およびその見取図

* 北海道立中央農業試験場
(北海道夕張郡長沼町東6
線北15号)
昭和45年10月19日受理
日本土壤肥料学雑誌 第42
巻 第5号 p.214~220
(1971)

を得たので報告する。

2. 実験材料と方法

1) 材料 分析のための試料の採取は現地踏査によって空知中北部の蛇紋岩質土壌地帯の水田から土壌と水稻体を同時に採取した。採取は水稻の幼穂形成期ないし、その初期にあたる7月上、中旬に行なった。なお、試料採取地帯の見取図を第1図に示し、第1表にはこの土壌の堆積様式および水系、試料採取場所およびpHを示した。

2) 分析法 土壌中の全含量定量のための前処理としては、試料を炭酸ナトリウムとともにマッフル炉で熔融後塩酸にとかし、ケイ酸を分離して分析に供した。土壌中の可溶性亜鉛、銅は0.1N塩酸可溶、マンガンは0.2%ハイドロキノン含有1N酢酸アンモニウム(易還元性)、モリブデンはpH3.3のシュウ酸-シュウ酸アンモ

ニウム溶液で抽出するGRIGG法によった。ニッケルの可溶性は1N酢酸アンモニウム抽出の置換性(以下置換性ニッケルという)のものを定量した。

なお、土壌の分類は置換性ニッケル含量が1.0ppm以上のものを蛇紋岩質土壌とし、対照として用いた非蛇紋岩質土壌とは置換性ニッケル含量が1.0ppm以下のものである。植物体は水稻の茎葉部を洗剤でよく洗い、さらに水洗後乾燥して磁製乳鉢で粉碎し、硝酸-過塩素酸混液で分解後定量に供した。

各供試液について亜鉛、マンガン、鉄およびニッケルの定量は原子吸光度法、銅の定量は原子吸光度法と溶媒抽出吸光度法⁹⁾を併用し、モリブデンの定量は溶媒抽出吸光度法¹¹⁾をもちいた。

洗浄および分析定量に用いた水はすべて蒸留水をさらにイオン交換樹脂に通してからもちいた。

3. 実験結果および考察

土壌および植物体の亜鉛、銅、マンガン、モリブデン鉄およびニッケル含量の分布を第2表に示した。空知中北部の主要な河川は蛇紋岩地帯を蛇行しているのが、この流域の沖積土はほぼ蛇紋岩の影響を受けているが、残積土、崩積土、扇状土・洪積土などの非沖積土(以下非沖積土という)に比べて母材が明確でなく、化学的性質も多少異なると考えられるので、両者を分けて検討した。また分析値はそれぞれ統計処理し、平均値ならびに標準偏差を算出して第2表に示した。

1) 亜鉛 蛇紋岩質系土壌の全含量は130~380ppmの範囲であった。非沖積土の平均値は240ppmであるのに対し、沖積土は210ppmであった。これらの含量はさきに報告⁸⁾した胆振地方畑土壌のよりいずれも高い含量であった。可溶性亜鉛含量はやはり、全含量に比例して非沖積土、沖積土とも高く、とくに畑土壌に比べて著しく可溶率が高いため、平均値はいずれも100ppmをこえた。これに対し植物体中の亜鉛含量は一般水田土壌の場合よりも低く¹⁰⁾、また同じ蛇紋岩質土壌では非沖積土の方が低かった。この現象は蛇紋岩質土壌に特有な高ニッケル含量の影響によるものであるかもしれない。しかし植物体中における亜鉛とニッケルの間にはわずかに逆相関が認められるものの($y=592-0.335x$, $r=-0.141$, $y=Zn$, $x=Ni$) 統計的に有為な差はなかった。

2) 銅 銅の全含量は亜鉛の場合と反対に沖積土の方がわずかながら高い傾向にあり(平均37ppm)、非沖積土(平均30ppm)では19ppmの最低値を記録した。銅は鉱床学的に酸性ないし中性の深成岩、とくに花崗岩類に多い¹⁴⁾といわれている。この説からずると塩基性の蛇紋岩質土壌に低いのは当然であるかもしれない。可溶

第1表 供試した蛇紋岩質土壌の堆積様式および水系、採取場所とそのpH

No.	堆積様式 および水系		試料採取場所	pH	
				H ₂ O	KCl
65	非 沖 積 土	崩積土	芦別市新城	6.8	6.4
69		洪積土	芦別市野花南	5.0	4.4
71		残積土	"	6.2	5.3
73		洪積土	幌加内町沼牛	5.1	4.1
74		扇状土	"	5.3	4.4
76		洪積土	幌加内町新成	5.3	4.4
82	扇状土	多度志町鷹泊	6.0	4.8	
67	沖 積 土	空知川	芦別市常盤	5.3	4.7
68		"	芦別市野花南	5.6	4.7
70		"	芦別市滝里	6.1	5.5
75		幌加内川	幌加内町下幌	5.4	4.2
77		雨竜川	幌加内町平和	5.2	3.9
78		"	幌加内町上幌	5.8	4.6
80		"	幌加内町政和第1	5.7	4.5
81		"	幌加内町新富	5.0	3.9
83		"	多度志町ウツカ	5.5	4.4
3		"	秩父別町17区	5.0	4.5
4		"	秩父別町15区	5.8	5.2
6		"	秩父別町14区	4.6	4.0
7		"	秩父別町13区	4.8	4.0
12		太刀川	沼田町第13	5.1	4.4
13		雨竜川	沼田町北竜第1	5.2	4.3
18		"	沼田町高穂第1	5.2	4.6
27		"	雨竜町中島	5.0	4.3
30		"	雨竜町面白内	4.9	4.1
56		石狩川	江部乙町西11丁目	5.0	4.2
57	"	江部乙町西8丁目	4.9	4.2	
61	空知川	滝川市南滝の川	4.4	3.7	
90	雨竜川	妹背牛町小藤	5.6	4.6	
92	石狩川, 雨竜川	妹背牛町7区	5.5	4.4	

第 2 表 蛇紋岩質土壤および水稻の亜鉛, 銅, マンガン, モリブデン, 鉄ならびにニッケル含量

No.	Zn			Cu			Mn			Mo			Fe	Ni
	土 壤		植 物	土 壤		植 物	土 壤		植 物	土 壤		植 物	植 物	土 壤 可
	全	可		全	可		全	可		全	可			
65	132	47	28	26	4	5	1,370	268	1,400	0.4	0.3	1.0	570	5.0
69	220	115	45	28	7	6	1,525	795	2,125	0.8	0.5	1.0	1,100	1.3
71	200	90	38	35	7	6	1,025	330	925	1.2	0.2	1.4	600	5.9
73	382	206	63	33	7	9	1,000	288	825	2.4	0.8	1.4	1,200	16.5
74	295	167	65	33	12	10	1,750	266	1,400	1.0	0.3	1.9	1,200	1.6
76	287	163	60	38	5	4	1,550	577	1,625	3.4	0.3	1.0	1,100	8.8
82	160	75	43	19	2	5	675	234	925	1.2	0.4	2.0	770	10.0
平均	239	123	49	30	6	6	1,271	394	1,318	1.5	0.4	1.4	934	7.0
標準偏差	87	57	14	6	3	2	381	211	467	1.0	0.2	0.4	279	5.3
67	185	85	36	40	8	10	1,025	355	1,380	2.0	0.8	1.1	400	1.4
68	182	84	35	44	8	9	875	304	900	0.8	0.4	1.9	480	1.0
70	205	102	38	44	12	9	1,175	436	1,125	0.8	0.7	1.2	740	2.9
75	232	73	55	45	15	9	1,550	380	1,400	1.3	0.6	0.9	1,000	3.2
77	227	113	53	49	10	15	700	245	750	1.4	0.3	1.9	750	3.2
78	145	74	63	39	8	8	700	268	700	2.2	0.3	3.9	1,270	4.0
80	240	122	59	49	16	14	750	373	1,175	2.8	0.7	1.5	1,200	1.8
81	300	200	55	30	11	9	325	58	250	1.7	0.4	0.8	1,100	1.4
83	213	113	59	25	7	7	900	642	1,850	1.2	0.5	1.6	700	1.8
3	175	85	60	30	5	10	1,600	450	1,310	1.3	0.7	1.5	590	2.7
4	220	42	63	36	7	11	1,025	300	1,550	1.8	0.6	3.9	920	6.1
6	207	98	59	35	10	21	625	185	725	1.5	0.2	0.8	780	3.2
7	125	94	65	28	10	16	925	375	1,250	0.8	0.5	1.7	800	1.7
12	200	95	79	39	10	15	725	250	927	3.4	0.4	4.2	1,270	1.2
13	177	83	82	39	10	19	575	155	800	8.8	0.5	1.4	370	2.2
18	255	123	61	41	9	15	1,050	307	1,300	1.5	0.6	3.7	1,070	4.6
27	162	61	50	32	7	22	850	266	1,700	1.1	1.0	1.8	870	1.0
30	210	90	55	32	8	19	875	305	877	3.4	0.7	2.5	870	3.2
56	202	85	44	36	9	12	850	220	950	3.1	1.1	2.0	510	1.0
57	207	74	45	36	10	11	875	263	550	1.3	0.7	1.4	560	1.8
61	175	112	50	31	4	11	400	96	650	1.5	0.4	4.1	610	1.0
90	275	165	70	33	7	17	950	230	1,250	1.5	0.6	1.3	870	3.5
92	310	125	73	35	6	8	1,275	330	1,200	2.7	1.8	1.7	940	1.1
平均	210	100	57	37	9	13	896	294	1,068	2.0	0.6	2.0	812	2.4
標準偏差	45	34	12	6	3	8	308	123	387	1.8	0.3	1.1	264	1.3

* 乾物当たり ppm, 全: 全含量, 可: 可溶性

性含量の平均値は非沖積土が 6 ppm, 沖積土は 9 ppm であった。全含量に対する可溶率は沖積土の方がやや高かった。

沖積土の植物体銅含量は一般土壤の沖積土(黒色土壤は除く)¹⁰⁾に比べてやや低い。非沖積土の植物体銅含量の平均値はさらに低く, この 2 分の 1 程度で最高値が 10 ppm, 最低値は 4 ppm と著しく低い値を示した。植物体中の銅の含量については生育障害問題とあわせて後段で再度論ずる。

3) マンガン 蛇紋岩質非沖積土の全マンガン含量は 675~1,750 ppm の範囲にあり, 平均値は 1,271 ppm であり, 一方蛇紋岩質沖積土は 325~1,600 ppm の範囲で

平均値は 896 ppm であった。また, この地帯の一般土壤の沖積土は黒色土壤を除けば 880 ppm 程度の平均値であった¹⁰⁾から, 蛇紋岩質非沖積土の全マンガン含量はこの地帯の一般の土壤と比較してかなり高い含量になる。また可溶性含量は全含量に比例し一般土壤¹⁰⁾より高かった。植物体のマンガン含量は土壤の全含量よりやや高い値を示し, 一般土壤の場合と同様の傾向であった。

4) モリブデン 非沖積土の全モリブデン含量の平均値は 1.5 ppm で, 一般の土壤に比べてきわめて低い含量であった。可溶性モリブデン含量も同じ傾向が認められ, 平均値は 0.4 ppm であった。沖積土の可溶性含量は非沖積土の 1.5 倍の含量を示したが, それでも普通の

第3表 非蛇紋岩質土壌* および植物体のニッケル、鉄の含量と鉄：ニッケル、ならびに銅：ニッケル比

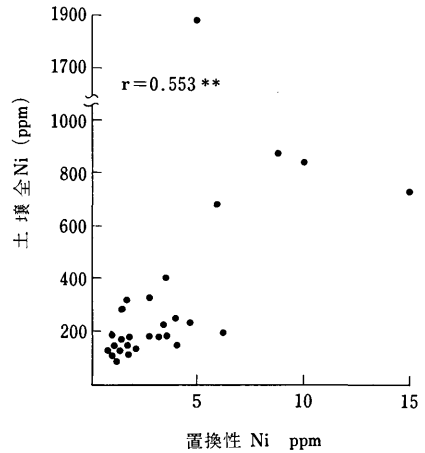
No.	土 壌		植 物			
	堆積	全 Ni (ppm)	Ni (ppm)	Fe (ppm)	Fe/Ni	Cu/Ni
2		90	8	1,000	125	1.6
16		125	5	1,000	200	2.0
17		65	2	1,280	850	5.3
23	洪積土	95	10	1,380	142	0.8
25		100	8	620	83	1.6
28		115	10	620	65	1.4
29		115	6	1,070	195	1.5
46		115	5	550	122	2.7
47		100	8	740	99	1.2
48		90	3	700	280	2.2
49		95	5	1,500	333	3.3
52		95	3	580	193	5.2
58		115	7	700	100	1.5
87		165	9	750	83	1.4
平均		106	6	889	205	2.3
標準偏差		23	3	312	201	1.4
1	沖積土	115	8	720	96	1.8
15		90	6	1,450	242	2.5
19		95	4	1,170	334	3.6
20		95	4	1,000	286	6.3
34		150	8	760	101	1.5
35		190	9	800	89	1.2
39		135	9	1,000	111	1.6
45		135	9	870	97	1.1
49		95	5	1,500	333	8.4
54		150	11	860	82	0.7
平均		125	7	1,013	177	2.9
標準偏差		33	2	277	108	2.5

* 可溶性 Ni 含量 1.0 ppm 以下

沖積土より低い 0.65 ppm であった。植物体のモリブデン含量は全含量にほぼ等しい含量水準であって、非沖積土は 1.4 ppm、沖積土は 2.0 ppm であった。この非沖積土の値は一般土壌の植物体含量の 2 分の 1 以下であった。以上のように蛇紋岩混入率の高いほど植物体、土壌双方とも明らかにモリブデン含量は低下するが、モリブデンは銅の場合と同じく、中性もしくは酸性岩ほど含量が高くなるといわれているところから¹⁴⁾、この結果は当然かもしれない。なおこれらの結果は蛇紋岩質土壌の畑の場合⁶⁾と同じ結果である。

5) ニッケル

i) 全含量 土壌中の全ニッケル含量には非蛇紋岩質土壌を対象のためもちいた。この非蛇紋岩質土壌の種類は洪積土（灰褐色土壌）と沖積土（灰褐色土壌とグライ土壌のみ）の二種類である。蛇紋岩の影響がないと考えられるこの洪積土の平均値は 106 ppm と最低であり、



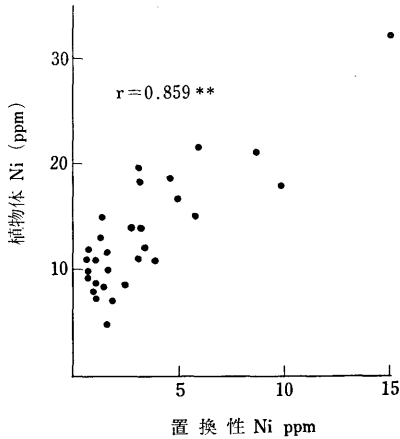
第2図 土壌の全 Ni と置換性 Ni の関係

これはクラーク数にはほぼ一致する値であった（第3表）。これに比較して同じ非蛇紋岩質土壌であっても沖積土の平均値は 125 ppm で、洪積土よりやや高い値を示した。

これに対して蛇紋岩質土壌は蛇紋岩の混入割合によって著しく異なり、非沖積土の最も高いものは 1,800 ppm 以上にも達した。蛇紋岩そのもののニッケル含量は約 1,700 ppm⁶⁾程度であるから、最高値はこれに等しい含量であり、また分析に供したこの土壌も蛇紋岩を粉碎したようなものであった。この最高値に対し最低値は 10 分の 1 以下の 135 ppm 程度で、一般土壌の含量と大差がなかった（第2図）。

ii) 置換性ニッケル 置換性ニッケル含量の分析値は 1.0 ppm 以下のものを省略したので、論議の対象は蛇紋岩質土壌のみである。これらの水田土壌の置換性ニッケル含量の大半は 10 ppm 以下（第2表）であって、まれに 15 ppm 以上のものが見いだされる。しかしこの調査では畑土壌を対象⁵⁾としたときのように 30~40 ppm という高含量のものは見いだせなかった。またこの置換性ニッケル含量は個々に検討してみると全含量の高いものと必ずしも一致せず、置換性ニッケルの高い土壌は畑土壌の場合と同様に母岩から有視界の距離の範囲に何らかの形で運積されたものであって、全含量ニッケルが 700~800 ppm 程度の土壌であった。全体としてみた場合、全含量と置換性ニッケルとの間にはかなり高い相関関係が認められた（第2図、 $r=0.553^{**}$ ）。

iii) 植物体ニッケル 水稻のニッケル含量は蛇紋岩質土壌の場合 4 ppm から、なかには 32 ppm に達する（第3図）ものも存在するが大半は 20 ppm 以下であった。また一般の水田土壌においても 1.5 ppm から 10 ppm の含量で見いだされた。このような含量は非蛇紋岩質土

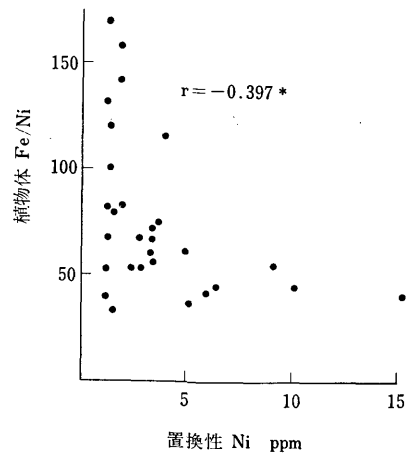


第3図 植物体 Ni 含量と置換性 Ni の関係

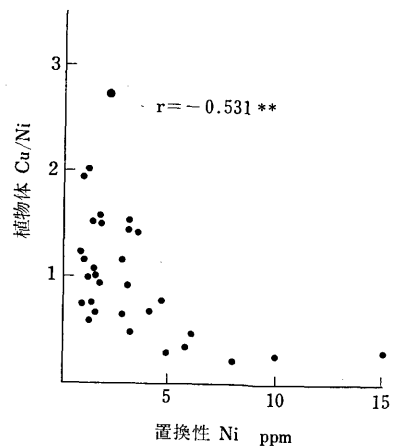
壤で栽培されたエンバクなどでは考えられず、もしこの程度のニッケル含量があれば何らかの障害が見いだされた。個々に検討した場合、水稻で最もニッケル含量の高い植物体は置換性ニッケルの最も高いものと一致し、全含量の最高値の土壌とは一致しない。植物体ニッケルと置換性ニッケル含量の間にはかなり高い相関関係のあることがうかがわれた ($r=0.859^{**}$)。

6) 植物体鉄含量 この調査で見いだされた水稻中の鉄含量の最高値は 1,500 ppm 程度 (第 2, 3 表) であったが、最低値は 400 ppm であり、標準偏差はいずれも平均値よりかなり小さかった。この試料における植物体鉄含量平均値は 800~1,000 ppm 程度で、土壌による差異は少ないようであった。また植物体の鉄：マンガン比は 1:1.3~1.4 程度であったが、植物体マンガン含量は土壌の含量にもなって上下して植物体の鉄含量とは直接関係がないようであった。一般の畑作物の鉄含量⁹⁾は比較的高含量に属するパレイショでも 470 ppm 程度で、平均値は 310~530 ppm 程度であったし、またマンガンは最も含量の高かったオーチャードグラスでも 470 ppm で、他の作物は 100 ppm 以下が大半であった。これに対し沼沢性植物である水稻が重金属含量において畑作物と著しく異なる点は鉄、マンガン¹⁰⁾含量が高いことであろう。その理由としては両元素とも還元状態においてより吸収されやすくなることと、これらの沼沢性植物は長い進化の過程でその最も得やすい栄養源の環境に適応するような生理条件を備えてきたためと考えられ、その最も良い例は終末酸化のための麦類の銅と水稻の鉄のように主体とする金属酵素の相異点があげられよう^{3,4)}。

7) 水稻とニッケル障害の関係 少なくとも北海道の蛇紋岩質土壌地帯の水稻においては今までニッケル障害についての報告もなく、筆者らも発見していないことは



第4図 植物体 Fe/Ni 比と置換性 Ni の関係



第5図 植物体 Cu/Ni 比と土壤置換性 Ni の関係

さきへのべた。また畑作物のニッケルによる障害の発生は植物体内のニッケルと銅や鉄との割合が関係して⁷⁾、生育量の阻害は Fe/Ni 比の減少によって、ネクロ

シスやクロシスは Cu/Ni 比の減少によってそれぞれ強まることがうかがわれたが、水稻にこの関係があるのかどうか明らかでなかった。第4図および第5図には土壌の置換性ニッケルと植物体中の Fe/Ni 比および Cu/Ni 比の関係を示した。この結果、これらの間にはかなり高い負の相関関係のあることが明らかになった。そうして蛇紋岩質土壌の水稻の場合、Fe/Ni 比は 30 以下のものはなく、置換性ニッケル含量が高くなるに伴って Fe/Ni 比が 30 から 50 付近に収束するような傾向にあった。また、この比の高いものは 100 をこえることが明らかになった。このように Fe/Ni 比の水準が高いばかりでなく、ある一定の値以下に低下しにくいことは畑作物と異なる著しい特徴といえよう。この Fe/Ni 比で見ると、水稻が生育阻害を受けないのは当然であると考えられる。一方、Cu/Ni 比は置換性ニッケル含量増加

によって銅含量そのものが低下する傾向を示し、それは非沖積土で著しい。このことは第5図から明らかなように植物体のニッケルと銅含量は拮抗的な関係にあるといえよう。水稻の Cu/Ni 比は1以下のものが多く、中には0.2付近のものも存在する。Cu/Ni 比が1~0.8以下の場合、燕麦やアルファルファは障害症状発現領域に入る。このように水稻は Cu/Ni 比が著しく低くなっているが、何ら障害の症状は観察されないのであるが、その理由については次のことが考えられる。

i) 終末酸化酵素が麦類などと異なって、銅より鉄を主体とする金属酵素に依存していて、それに必要な鉄含量は高い。

ii) 土壌中の全ニッケル含量が高くても、水田の置換性ニッケルはあまり高くない。

植物体中の Fe/Ni 比、または Cu/Ni 比が問題としてあげられるのは外面的にはさきのべたような生育量の減少や障害症状の発現であったとしても、その原因となる生理的理由は鉄や銅の関与する酵素活性がニッケルのために抑制されるためと考えられる。このように生体内での鉄、銅などの作用物質と抑制剤との間には一定の限界比が存在することはたしかであろうが、この限界比は生体の作用物質への依存度合により可変的であると考えられる。またこの依存度合は作物間のみならず、品種間においても何らかの差異があろう。すでに指摘したごとく、水稻は銅より鉄に対する依存度が高く、その鉄含量はニッケルに対してきわめて高いために、ニッケルは鉄活性の抑制剤とはなりえない。一方、水稻は銅酵素に対し依存度が低いため、ニッケルによる抑制作用で表面に現われるほど障害をうけないと考えられる。

ii) にあげたことは土壌条件の方である。畑土壌では置換性ニッケルが30~40 ppmの高含量のものも見いだされたが、水田では20 ppmをこえるものは見当たらなかった。これは置換性ニッケルが比較的容易に水で流されるためと想像される。この点においても水稻は畑作物よりニッケル障害回避に有利な条件を備えているといわなければならない。

蛇紋岩質土壌地帯の作物に発生する生育障害症状は高城¹²⁾や茅野²⁾が水稻で認めた重金属の過剰によって誘導される鉄欠乏クロロシスと同一の発生機作によるものかどうか疑わしい。これは作物によってはネクロシスのみでまったくクロロシスを示さなかったり、あるいは両方とも現われず生育量の減退のみであったりしてクロロシス発生がニッケル障害の前兆に必ずしもなりえないからである。また燕麦のクロロシスを例にとるとマグネシウム欠乏症などのとき認められる黄化現象は伴わずにこれ

とまったく異なった白化現象であったりする。

もし仮に水稻が重金属過剰の際に必ず鉄欠乏が誘発されてその後クロロシスを示すのであったとしたら、少なくとも空知中北部の蛇紋岩質土壌地帯の水稻には容易にニッケル障害のクロロシスは発生しないだろう。

4. 要 約

空知中北部蛇紋岩質水田土壌の微量重金属元素の含量とニッケルの水稻に対する影響をみた結果つぎのことが明らかとなった。

1) 全亜鉛含量の平均値は非沖積土が240 ppm、沖積土は210 ppmであった。また可溶性含量(0.1 N HCl)はこの全含量に比例した。

2) 全銅含量は蛇紋岩混入率の低い沖積土でわずかに高い傾向にあった。植物体中の銅含量は蛇紋岩混入率の高いほど低くなる傾向を示し、非沖積土は沖積土に比べてきわめて低く、平均値は2分の1程度であった。

3) 非沖積土の全マンガン含量の平均値は1,271 ppmで、沖積土は896 ppmであった。可溶性マンガンもこれに比例して非沖積土の方が高かった。植物体のマンガンの平均値は土壌の全含量よりやや高かった。

4) 全ニッケル含量は非蛇紋岩質土壌で90~190 ppmの範囲にあり、蛇紋岩質土壌は100から1,800 ppm以上の範囲で、標準偏差もきわめて高かった。

5) 置換性ニッケル含量は非沖積土が1.3から16.5 ppm、沖積土は1.0から4.6 ppmで、いずれも20 ppmをこえる土壌はみられなかった。

6) 植物体ニッケル含量は一般の土壌でも2から10 ppm程度であり、蛇紋岩質土壌では2から32 ppm程度であった。また植物体ニッケルは置換性ニッケル含量とかなり高い正の相関($r=0.859^{**}$)にあった。

7) 植物体鉄含量は一般の土壌も含め400から1,500 ppmの範囲であり、平均値は800から1,000 ppm程度であって土壌による特別な差は認められなかった。また植物体の鉄：マンガン比は1:1.3から1:1.4程度であった。

8) 水稻のニッケル障害はまったく見いだせなかった。蛇紋岩質土壌地帯の水稻でも Fe/Ni 比は畑作物の場合と異なってきわめて高く、土壌の置換性ニッケルが高まる場合は Fe/Ni 比が30から50の間に収束するため、畑作物でニッケルにより影響の出る5~6以下に下るものはなかった。Cu/Ni 比は畑作物で障害症状発生を示す1.0から0.8以下になるものが多かった。

謝 辞 本研究を行なうにあたり、本論文の御校閲をいただいた北海道立中央農業試験場森哲郎化学部長に謝意を表します。

文 献

- 1) CROOKE, W. M. and KNIGHT, A. H. : *Ann. Appl. Biol.*, 43, 454 (1955)
- 2) 茅野充男・三井進午 : 土肥誌, 38, 249 (1967)
- 3) 三井進午・矢崎仁也 : 土肥誌, 31, 343 (1960)
- 4) 三井進午・矢崎仁也・熊沢喜久雄 : 土肥誌, 31, 455 (1960)
- 5) 水野直治・平井義孝・小林莊司・佐藤亮八・増田敏春 : 道立中央農試地力保全研報, 第 1 号, p. 1 (1967)
- 6) 水野直治・道農試集, 第 15 号, 48 (1967)
- 7) MIZUNO, N. : *Nature*, 219, 1271 (1968)
- 8) 水野直治・平井義孝 : 道農試集, 第 18 号, 86 (1968)
- 9) MIZUNO, N., HAYASHI, K. and HASEBE, T. : *Bull. Hokkaido Prefectural Agric. Exp. Station*, No. 19, 59 (1969)
- 10) 水野直治 : 北海道立中央農業試験場低位生産地調査事業成績書, p. 1 (1969)
- 11) PURVIS, E. R. and PETERSON, N. K. : *Soil Sci.*, 81, 223 (1956)
- 12) 高城成一 : 東北大農研報, 18, 1 (1966)
- 13) VLAMIS, J. and WILLIAMS, D. E. : *Plant Soil*, 20, 221 (1964)
- 14) 渡辺武男編 : 鈷床学の進歩, p. 4, 富山房 (1965)