

銅害地土壌に関する研究(第2報)

土壌並びに水稻体の銅害の実態

小柴尚博・佐野豊

Naohiro KOSHIBA and Yutaka SANO

The Studies on the Copper-Poisoned Soils (Part 2)

The Actual Condition of the Copper-Poison
in the Soils and the Rice Plants

はじめに

筆者等は先に島根県八東郡東出雲町内馬地区の銅鉱山付近の土壌を調査し、特に水田土壌中には可給態銅が著しく多量に含有されていたことを報告した⁽³⁾。この場合、現地の圃場における水稻の生育状態と水田土壌中における可給態銅の含有量との間には明確なる関係を何ら見出すことが出来ず、必ずしも現地の圃場の水田土壌の銅害の実態を明かにすることが出来なかった。

この点を明かにするために、次の2点について検討を行なった。その1つは水田土壌中の可給態銅の含有量と水稻の生育状態との関係並びに水稻の生育状態の差異による水稻体内の銅含有量の変化である。これらの点を更に詳細に検討するために、ノイバウアーの植木鉢によって水稻の幼植物栽培試験を行なった。その2は銅害地付近の農家では水田土壌を乾燥させると銅害が現われることを経験的に知っており、冬期休閑中も湛水して土壌の乾燥を防いでいる事実がある。先に行なった実験では試料の調製を行なった場合に風乾したが、この風乾により可給態銅が増大し、前報のような結果が得られたと考え、水田土壌の風乾過程における可給態銅の変化について検討した。

1. 供試土壌

供試土壌は1967年5月、八東郡東出雲町内馬地区に水稻の銅害が発生したので、水稻の生育不良な水田並びに良好な水田より各々1点を採取したものである。なお、これらの土壌は風乾過程における可給態銅の変化を検討した場合にも実験に供試した。

水稻の幼植物栽培試験に供試した土壌は島根農科大学

第1表 現地土壌並びに水稻体の銅含有量
(乾物当り Cu ppm)

土壌番号	水稻の生育状態	土壌の銅含有量		水稻体の銅含有量	
		可給態銅	全銅	茎葉部	根部
1	不良	181.8	1217.3	31.8	204.6
2	良好	41.4	1087.1	30.9	208.3

付近の一般の水田土壌より採取し、これを風乾し、径約8mmの篩を通過したものである。

2. 実験方法

土壌中の銅の定量はすべて前報のとおりである。水稻体内の銅の分析は常法により行なった。

水稻の幼植物栽培試験はノイバウアーの植木鉢を用いて行なった。すなわち、土壌に対して各種の量となるように、銅として CuSO_4 を添加した。1週間湛水後、予め発芽処理した種子を播種し、30°C のコイトロン中で30日間栽培を行なった。

風乾過程における水田土壌中の可給態銅の変化については、次のような処理区を設けて実験を行なった。(1) 畑地状態まで風乾した場合(土壌水分は56.9~58.7%である。)、(2) 風乾した場合(土壌水分は7.7~9.8%である。)、(3) 畑地状態まで風乾した土壌を30°Cの下で30日間放置した場合(土壌水分は56.7~58.6%である。)、(4) 畑地状態まで風乾した土壌を5°Cの下で30日間放置した場合(土壌水分は56.5~58.4%である。)

3. 実験結果

1. 水田土壌並びに水稻体中の銅の含有量

※ 土壌肥科学研究室

第2表 水稲幼植物栽培試験供試土壌の主なる理化学的性質

機 械 的 組 成 %					※ 全炭素 %	※ 全窒素 %	※※ 可給態銅 Cu ppm	※※ 全銅 Cu ppm
礫	粗 砂	細 砂	微 砂	粘 土				
0.43	15.88	29.73	29.16	25.23	0.21	0.23	4.6	64.7

※ 細土についての定量値

※※ 供試した土壌そのままの定量値

第3表 水 稲 幼 植 物 の 生 育 調 査

銅添加量 Cu ppm	0	50	100	150	200	250	500	750	1000
生育調査項目									
草 丈 cm	43.1	42.5	44.1	44.7	43.2	43.0	26.0	22.8	19.6
根 長 cm	9.8	9.9	9.8	10.4	10.4	10.2	8.2	5.9	5.9
茎葉部重量 g (乾物当り)	4.4	4.4	4.7	4.3	4.4	4.3	2.2	1.9	0.8
根部重量 g (乾物当り)	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	0.5	0.4	0.2

1967年5月、内馬地区に水稲の銅害の発生を見た。そこで、現地において水稲の生育不良な水田並びに良好な水田を選び、各々1点ずつ土壌を採取し、可給態銅、全銅の定量を行なった。この場合、可給態銅の定量は水田状態のままで行なった。また、土壌の採取と同時にそれぞれの地点より水稲体を掘り取り、茎葉部、根部の2部分に分けて、分析を行なった。これらの結果は第1表に示すとおりである。先ず、水田土壌中の可給態銅について見ると、水稲の生育不良な水田は良好な水田に比較して著しく多量の銅を含有していた。全銅についても生育不良な水田は多いが、可給態銅における差異ほどではなかった。

水稲体中の銅含有量は生育不良なものと良好なものとの間にはほとんど差異を認めなかったが、両者共に根部の方が茎葉部よりも著しく多量の銅を含有していた。

2. 水稲の幼植物栽培試験

本試験に供試した土壌の主なる理化学的性質は第2表に示すとおりである。第3表には、銅の各種添加量の下で30日間水稲を栽培した後の生育状態を示した。第4表には栽培期間中における土壌中の可給態銅を水田状態のまま測定した結果が示されている。第5表には30日間栽培した後の水稲体中の銅の含有量の測定結果が示されている。

第3表の結果によると、草丈、根長、茎葉部重量、根部重量共に250ppmまで銅を添加しても差異をほとんど認めることは出来なかった。一方500ppm添加すると、これらの生育状態には明かに差異が認められた。

第4表 水稲の幼植物栽培期間中における土壌中の銅の変化 (乾物当り Cu ppm)

銅添加量 Cu ppm	栽培後日数		
	10日	20日	30日
0	2.5	1.6	0.9
50	14.4	10.0	7.8
100	26.7	14.7	10.7
150	49.6	24.1	17.8
200	61.7	38.0	29.1
250	93.2	45.2	38.5
500	243.2	165.2	115.5
750	540.4	391.9	259.0
1000	683.4	611.4	452.6

第4表によって、栽培期間中における可給態銅の変化を見ると、銅の添加量に関係なく、栽培期間の進むに従って可給態銅の含有量は減少した。特に、水稲の生育状態に差異が現われた500ppm以上の銅を添加した区では、栽培の全期間にわたって100ppm以上の可給態銅の含有量を示した。

第5表によって、土壌に対する銅の添加量と水稲体中の茎葉部、根部の銅含有量との間の関係を見ると、次のようであった。すなわち、茎葉部では0~250ppmの添加量の範囲では僅かに増大する傾向があるが、500ppm、750ppm、1000ppmの添加量ではその増大が明確に認

第5表 水稲幼植物体の銅含有量

(乾物当り Cu ppm)

銅添加量 Cu ppm	0	50	100	150	200	250	500	750	1000
水稲体の部位									
茎葉部	23.2	26.2	28.6	30.9	34.0	36.0	51.1	81.7	118.0
根部	58.9	229.9	480.6	644.6	664.9	700.9	800.4	944.0	1006.3

第6表 風乾過程における可給態銅の変化

(乾物当り Cu ppm)

処理区 土壤 番号	未風乾 (原土)	畑地状態まで風乾したもの			風乾し たもの
		未放置	30°C, 30日間 放置	5°C, 30日間 放置	
1	181.8	310.1	499.8	322.8	314.4
2	41.4	195.8	363.0	199.5	196.0

められ、茎葉部では銅の添加量の増大に伴って銅の含有量も増大する結果を得た。一方、根部においては、銅の添加量を増大すると、それに伴って顕著に銅の含有量も増大した。また、いずれの添加量区でも根部の方が茎葉部よりも銅の含有量ははるかに多い。

3. 風乾過程における可給態銅の変化

第6表には前述のように処理した土壤の可給態銅の含有量を示した。この結果によると、2つの土壤共に水田土壤を畑地状態まで風乾すると、可給態銅の含有量は急激に増大するが、さらにこれを風乾状態まで乾燥してもほとんど増大しなかった。一方、畑地状態まで風乾した土壤を30°Cの下で30日間水分の蒸発を防いで放置すると、土壤中の可給態銅はさらに増大するが、5°Cの下で同様な方法で30日間放置してもほとんど増大しなかった。

4. 実験結果の考察

内馬地区における水稲の生育不良な水田土壤中には、可給態銅が181.8ppm、一方、生育良好な水田土壤中には41.8ppm含まれ、前者が後者の約4倍強の銅を含有していた。全銅について見ると、前者は後者の約1.2倍程度の差異を示すに過ぎなかった。従って、可給態銅の含有量は全銅のそれに比較して、現地の圃場における水稲の生育状態の差異を一層明瞭に示していると言える。水稲の幼植物栽培試験結果によると、銅が0~250ppmの範囲で添加されても、水稲の幼植物の生育状態には変化がほとんど認められないが、500ppm以上の銅を添加すると、生育状態が悪化し、銅による被害が現われた。

栽培期間中における土壤中の可給態銅の含有量の推移を見ると、水稲の幼植物の生育状態を悪化した500ppm以上添加した土壤中には可給態銅が全栽培期間中にわたって100ppm以上であった。他方、水稲の幼植物の生育状態の良好な250ppm以下の銅を添加した土壤中には、可給態銅は100ppm以下含有されていた。水稲の幼植物栽培試験結果より判断すると、内馬地区における水稲の生育不良な水田土壤中に含まれる、可給態銅の含有量は水稲に銅害を与えるのに十分な量ではないかと推察される。従来行なわれた栽培試験結果⁽²⁾⁽⁶⁾によると、土壤に対する銅の添加量によって銅害の現われる量が示され、栽培期間中における可給態銅の含有量が示されていない。これは現地の圃場の水稲の銅害発生の実態を推察するには不都合であろう。勿論、筆者等の行なった水稲の幼植物栽培試験結果をそのまま現地の圃場の水稲の生育状態に当てはめて考えるには余りにも自然状態下の因子が多過ぎるが、筆者等は水田状態下で可給態銅の測定を行なったので、従来の試験結果よりも一層現地の圃場の実態に近づけることが出来ると思われる。また、土壤における銅害発生のための可給態銅含有量は決定的なものではなく、自然状態下の種々なる因子に左右され、かなり広い範囲を有するものと思われる。かくして、銅害発生の一応の目安として、水田状態下で可給態銅を測定して、その場合にもし100ppm以上の含有量が示されるならば、危険な状態下におかれていると見なして差し支えはなからう。

内馬地区の水稲体内の銅含有量は生育不良なものとの間に明確な差異を認めなかった。徳岡⁽⁷⁾、諸岡等は土耕栽培試験において、銅の添加量と水稲体内の銅の含有量との間に一定の関係は見い出されないと報告している。同様な結果は志方⁽⁴⁾、館⁽⁸⁾、保崎等も認めている。渡辺、安尾等は銅鉋害現地水田の水稲体を分析し、水稲の生育の良否と水稲体内の銅含有量との間に明確な関係を示していない。出口⁽¹⁾によると、伸長期の水稲では水口付近の生育障害を受けた水稲は銅の含有量が生育障害の甚しいものほど高いことを示している。筆者等の水

稲の幼植物栽培試験結果によると、莖葉部では0～250 ppm の範囲で銅を添加したものでは若干増大する傾向を認めたが、500ppm 以上添加したものでは更に一層増大した。この点より見ると、莖葉部では土壌への銅の添加量の増大に伴ってその含有量は増大するものと推察される。また、根部では銅の添加量の増大に従って、銅の含有量は著しく増大する。根部は莖葉部よりも銅の含有量はいずれの添加量の場合にも著しく多い。

このように土壌中における銅の含有量と水稲体中の銅の含有量との関係については一致した見解がなく、筆者等の調査した現地の圃場の水稲体中の銅含有量は水稲の幼植物栽培試験結果とは異なっていた。従って今後、この問題は十分に検討すべきであろう。しかし、現地の圃場における水稲の銅害の実態を把握するためには、水田土壌中の可給態銅を測定した方がより一層確実な結果を与えるようである。

次に、風乾過程における水田土壌中の可給態銅の変化について述べる。水田土壌を畑地状態まで風乾すると（土壌水分は56.9～58.7%である。）、著しく多量の可給態銅が生ずる。これを更に風乾すると（土壌水分は7.7～9.8%である。）、可給態銅はほとんど増大しなかった。このことは水田土壌中の可給態銅の増大には水分条件が重要な役割を果していることを想像させる。他方、畑地状態まで風乾したものを水分が蒸発しないように処理して30°Cの下で30日間放置すると、可給態銅の含有量は一層増大するが、5°Cのような低温下ではほとんど増大しない。これは可給態銅の増大には温度条件が影響を及ぼしていることを示すものである。銅鉋山付近の農家では、土壌を乾燥すると銅害が発生することは経験的に知られていたが、これは乾燥によって土壌中の銅が可給態化を促進されるためであることが以上の実験によって実証された。この場合、水分条件、温度条件が重要な役割を果していることが推察された。今後、これらの条件について更に詳細に検討したいと思う。

要 約

前報で得られた疑問点を明かにするために、次の2つ

の点を検討した。先ず第1に、内馬地区の水稲の生育不良な水田並びに良好な水田を選び、土壌並びに水稲体中の銅含有量を測定し、両水田の比較を行なった。さらにこの結果を詳細に検討するために、水稲の幼植物栽培試験を行なった。土壌中の可給態銅の測定は水田状態下のものを用いて行なった。第2には、風乾過程における水田土壌中の可給態銅の変化を調べた。これらの結果を要約すると、次のようである。

(1) 水稲の生育不良な水田土壌中には可給態銅が181.8ppm含有され、一方、生育良好な水田土壌中には41.8ppm含有されていた。可給態銅の含有量は全銅のそれに比較して、銅害水田における水稲の生育状態の差異を一層明瞭に示した。

(2) 水稲体内の銅含有量は水稲の生育不良な水田と良好な水田との間に差異を見い出さなかった。

(3) 水稲の幼植物栽培試験結果によって、水田土壌中に100ppm以上の可給態銅が含有された場合、銅害の危険性があることを推察した。

(4) 水稲の幼植物栽培試験結果では土壌への銅の添加量が増大すると水稲体内の銅の含有量は増大する。特に、この関係は根部において明瞭であった。

(5) 風乾過程における水田土壌中の可給態銅の増大には水分条件、温度条件が重要な役割を果していた。

引 用 文 献

1. 出口正夫：土肥誌，26：81～87（1955）
2. 細田克己：土肥誌，16：459～466（1942）
3. 小柴尚博・佐野豊：島根大学農学部研報1号：135～138（1967）
4. 志方益三・館勇・保崎信成：農化誌，10：368～373（1934）
5. 植物栄養学実験編集委員会編：植物栄養学実験，P 68（1959）朝倉書店，東京
6. 徳岡松雄・徐水泉：熱農誌，10：9～15（1938）
7. 徳岡松雄・諸岡等：熱農誌，9：339～349（1937）
8. 渡辺敏夫・安尾正元：関東々山農試研報18号：34～65（1961）

Summary

The copper-poisoned soils were studied to clarify the question introduced from the previous report. First of all, the copper contents of the soils and the rice plants in the paddylands, growing favorably or poorly, were measured in connection with

the difference of the growth. The soils were measured with the total copper contents and the available ones under the paddyland condition. The results obtained were comparatively investigated by the experiment of the younger rice plant cultivation. Secondly, the effects of the drying processes of the paddyland soils on the available copper contents were investigated.

The results were as follows:

(1) The available copper content under the paddyland condition was 181.8 ppm in the paddyland soil, growing the rice plant poorly, and was more than 4 times, in comparison with that of the paddyland soil, growing the rice plant favorably. The difference of the growth was more obviously shown by the available copper content than by the total one.

(2) The copper content of the rice plant of the poor growth was as same as that of the favorable growth.

(3) According to the experiment of the younger rice plant cultivation, the plants were poisoned by the existence of the available copper of more than 100 ppm under the paddyland condition. The copper contents of the plants were parallel with the quantities of the copper application.

(4) The available copper contents were increased with the drying processes of the paddyland soils, distributed in the copper-poisoned area. The conditions of the moisture and the temperature had the influences on the available copper contents.