

	ファン ジンフン
氏 名	范 津瑋
本籍（国籍）	中国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 725 号
学位授与年月日	平成 30 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物環境科学
学位論文題目	Influence of percolation patterns and concentrations of polluted soil on copper uptake , and growth and yield of rice plants in copper-polluted stratified paddy fields （銅汚染水田の浸透型と銅濃度の相違が水稻の銅吸収抑制および生育収量に及ぼす影響）
学位審査委員	主査 佐々木 長市(弘前) 副査 辻 修(帯広 教授),安中 武幸(山形 教授),遠藤 明(弘前 准教授),加藤 千尋(弘前 助教)

論文の内容の要旨

日本における土壤汚染農地は、銅（Cu）、カドミウム（Cd）、ヒ素が主な物質となっている。鉱山の排水を農業用水として用いることが原因で発生している。そのため、これらの物質を対象に土壤汚染防止法が 1970 年から施行されている。農地土壤の銅汚染に関する研究は、作物の生育収量への影響が中心で、玄米の Cu 濃度などに関する関心は低かった。カドミウム汚染は、イタイイタイ病などの健康被害が顕在となり大きな社会問題となったが、Cd に比べ Cu に対する関心は低かった。しかし、今日の農産物の国際的な取り引きを考えると、玄米中の Cu 濃度基準のある国への輸出のためには玄米中の濃度への影響などを解明する必要がある。また、りんご園では、ボルドー液などが長い間使用されているため、日本における土壤中の銅の安全基準の 125 mgCu/kg を上回る高い濃度の土壤も確認されている。このような地域において果樹園が水田として再利用される可能性もある。また、土壤中の Cu は、酸化環境の相違で溶解性が異なり、稲に及ぼす影響が異なることがわかっている。これまでの研究で、客土を施しても、水田下層の浸透型の相違で汚染土からの Cu の吸収の影響が懸念される。

こうした背景を踏まえ、本研究では成層水田模型を作製し下層の浸透型を開放浸透と閉鎖浸透とした模型を作製し、同層の Cu 濃度を変えて、浸透型の相違が玄米中の Cu 濃度及び生育収量に及ぼす影響を解明することを目的とした。

実験では、成層水田模型を鉄箱内に 3 層に土を充填し作製した。各層の厚さは、作土層を 0-10.0cm（代掻き状態、客土）、すき床層を 10.0cm-20.0cm（突き固め作製、上部 2.5cm は客土、下層は銅濃度調整土）、心土層を 20.0-62.5cm（突き固め作製、上部 7.5cm は銅濃度調整土、その下層は礫）とした。Cu 濃度調整土は、弘前大学の学内水田土と塩化銅水溶液を混ぜて作製した。装置には、地温、酸化還元電位及び圧力水頭測定用センサー等をセットした。成層水田模型は、同一土層条件で 下層の浸透型と銅濃度（40mgCu/kg、70mgCu/kg、100mgCu/kg、150mgCu/kg、250mgCu/kg、500mgCu/kg）を変え 12 種作製し、開放浸透

模型では地下水位を約 55.0cm、閉鎖浸透模型では約 20.0cm に維持した。Cu 濃度調整土の濃度に対応させ、各模型は O-40、C-40 (Cu 濃度 40mgCu/kg)、O-70、C-70 (Cu 濃度 70mgCu/kg)、O-100、C-100 (Cu 濃度 100mgCu/kg)、O-150、C-150 (Cu 濃度 150mgCu/kg)、O-250、C-250 (Cu 濃度 250mgCu/kg) O-500 及び C-500 (Cu 濃度 500mgCu/kg) と呼称する。但し、O の記号は開放浸透層と閉鎖浸透層を持つ模型、C は閉鎖浸透層のみを持つ模型を意味する。各模型にはそれぞれ草丈及び葉齢が 12.5~17.5cm 及び 4.4~5.0 葉の苗を 15 本 (品種：つがるロマン) 移植した。生育収量調査は、岩手県農業試験場の基準に従った。栽培は、常時湛水とし、中干しは行わなかった。調査した 2 カ年 (2016 年、2017 年) とも移植は 5 月下旬、稲刈りは 9 月下旬とした。

O-40~O-500 の各開放浸透層を持つ模型では、作土層はほぼ 100mV 以下の還元層、すき床層及び心土層は 300mV 以上の酸化層となった。全層閉鎖浸透層の C-40~C-500 模型では、田植え後約 20 日で、全層 100mV 以下の還元層となった。下層の環境の影響で Cu の溶解性に相違が推測された。

玄米の Cu 濃度 (n=10) は、O-40、C-40、O-70、C-70、O-100、C-100、O-150、C-150、O-250、C-250、O-500 及び C-500 で、それぞれ 3.5mgCu/kg、2.6mgCu/kg、4.3mgCu/kg、3.4mgCu/kg、4.0mg/kg、3.3mg/kg、4.6mgCu/kg、3.3mgCu/kg、4.1mgCu/kg、2.0mgCu/kg、3.8mgCu/kg、2.9mgCu/kg となった。得られた値は、2.0~4.3mgCu/kg と低濃度でかつ既往の研究で得られた値と近似した。しかし、同一の濃度の模型間では、開放浸透模型の玄米の Cu 濃度が閉鎖浸透模型の値に比べ有意 (5%) に高かった。このことより、この客土厚の条件下の成層水田では、玄米中の Cu 濃度に有意差が生じることがわかった。しかしながら、茎葉及び根 (作土層) における Cu 濃度には、明確な有意差は確認できなかった。また、各模型の植物体の Cu 濃度は、浸透型の相違にかかわらず、根 > 玄米 > 茎葉となった。Cu 濃度比は、茎葉 : 玄米 : 根でおおよそ 1 : 3 : 15 となった。玄米中の Cu 濃度は、中国の安全基準である 10mgCu/kg 以下となることがわかった。

草丈、葉齢等の生育調査結果及び玄米千粒重等の収量調査結果のいずれの値でも、浸透型による有意差及び Cu 調整土の濃度の差異による統計的な有意差は明確とはならなかった。なお、根色は、開放浸透の模型の色が閉鎖浸透層模型の根の色に比べ、白くなっていた。以上の結果より、客土水田の浸透型の相違が、下層の酸化還元環境を制御し、かつ玄米中の Cu 濃度に有意に差を生じさせた。したがって養分吸収等に下層の浸透型影響が重要であると判断された。しかし、このような客土条件下で、下層の Cu 濃度を 40~500mgCu/kg に変化させても、生育収量には統計的な有意差は認められず、客土の有効性が確認された。果樹園等の Cu 濃度実態を考えると、本試験での Cu 濃度のより大きい値の検討も必要と推察される。

論文審査の結果の要旨

日本における土壤汚染農地は、銅 (Cu)、カドミウム (Cd)、ヒ素が主な物質となっている。鉱山の排水を農業用水として用いることが原因で発生している。りんご園では、ボルドー液などが長い間使用されているため、日本における土壤中の銅の安全基準の 125 mgCu/kg を上回る高い濃度の土壤も確認されている。このような地域において果樹園が水田として再利用される可能性もある。また、土壤中の Cu は、酸化還元環境の相違で溶解性が異なり、稲に及ぼす

影響が異なることが予想される。これまでの研究で、客土を施しても、水田下層の浸透型の相違で汚染土からの Cu の吸収の影響が懸念される。

こうした背景を踏まえ、本研究では成層水田模型で下層の浸透型を開放浸透と閉鎖浸透とした模型を作製し、同層の Cu 濃度を変えて、浸透型の相違が玄米中の Cu 濃度及び生育収量に及ぼす影響を解明することを目的とした。

実験では、成層水田模型を鉄箱内に 3 層に土を充填し作製した。各層の厚さは、作土層を 0-10.0cm (代掻き状態、客土)、すき床層を 10.0cm-20.0cm (突き固め作製、上部 2.5cm は客土、下層は銅濃度調整土)、心土層を 20.0-62.5cm (突き固め作製、上部 7.5cm は銅濃度調整土、その下層は礫) とした。Cu 濃度調整土は、弘前大学の学内水田土と塩化銅水溶液を混ぜて作製した。装置には、地温、酸化還元電位及び圧力水頭測定用センサー等をセットした。成層水田模型は、同一土層条件で下層の浸透型と銅濃度 (40mgCu/kg、70mgCu/kg、100mgCu/kg、150mgCu/kg、250mgCu/kg、500mgCu/kg) を変え 12 種作製し、開放浸透模型では地下水位を約 55.0cm、閉鎖浸透模型では約 20.0cm に維持した。各模型には苗を 15 本 (品種：つがるロマン) 移植した。生育収量調査は、岩手県農業試験場の基準に従った。栽培は、常時湛水とし、中干しは行わなかった。

各開放浸透層を持つ模型では、作土層はほぼ-100mV 以下の還元層、すき床層及び心土層は 300mV 以上の酸化層となった。全層閉鎖浸透層の各模型では、田植え後約 20 日で、全層-100mV 以下の還元層となった。

玄米の Cu 濃度 (n=10) は、2.0~4.3mgCu/kg と低濃度でかつ既往の研究で得られた値と近似した。しかし、同一の濃度の模型間では、開放浸透模型の玄米の Cu 濃度が閉鎖浸透模型の値に比べ有意 (5%) に高かった。このことより、この客土厚の条件下の成層水田では、玄米中の Cu 濃度に有意差が生じることがわかった。しかしながら、茎葉及び根 (作土層) における Cu 濃度には、明確な有意差は確認できなかった。また、各模型の植物体の Cu 濃度は、浸透型の相違いにかかわらず、根 > 玄米 > 茎葉となった。草丈、葉齢等の生育調査結果及び玄米千粒重等の収量調査結果のいずれの値でも、浸透型による有意差及び Cu 調整土の濃度の差異による統計的な有意差は明確とはならなかった。

以上の結果より、客土水田の浸透型の相違が、下層の酸化還元環境を制御し、かつ玄米中の Cu 濃度に有意に差を生じさせることを明らかにした。しかし、このような客土条件下で、下層の Cu 濃度を 40~500mgCu/kg に変化させても、生育収量には統計的な有意差は認められず、客土の有効性が確認された。

本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士 (農学) の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

Fan, J., C. Sasaki, C. Kato, N. Matsuyama, T. Annaka, A. Endo, S. Li and K. Sasaki(2018) Influence of percolation patterns on copper uptake, and growth and yield with copper-polluted stratified paddy fields. International Journal of Environmental and Rural Development, 9 (in press)