

氏名	李 松涛
本籍（国籍）	中国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 726 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	<b>Reducing cadmium absorption in soybean with mixing tillage and groundwater level control（混層耕及び地下水位制御による大豆のカドミウム吸収抑制対策）</b>
学位審査委員	主査 佐々木 長市(弘前) 副査 辻 修(帯広 教授),森谷 慈宙(弘前 助教),安中 武幸(山形 教授),加藤 千尋(弘前 助教)

### 論文の内容の要旨

土壌の重金属汚染は、20 世紀になって特に世界の注目を浴びている。この汚染は、作物生産や人間の健康に多大な被害を及ぼした。特に、イタイイタイ病で知られるカドミウム（Cd）そして銅（Cu）などが代表物質としてあげられる。今日の地球規模での工業化と人間活動の展開は、環境負荷を増加させている。我々にとって、汚染土の修復ための効果的で実用的な方法の開発は作物の収量の確保と安全な食料？の供給のために重要である。これまでも、作物の重金属吸収を抑制する対策が検討されてきてはいる。具体的には、化学的な物質による洗浄、客土、ファイトレメデーションそして pH 調整などがある。しかし、これらの方法は、非常に費用が高いことや時間がかかること、さらに客土などは汚染物質が現地に残存することによる影響が考えられる。またこれらの対策は、主に水田に対して検討されたものである。他方近年、地下水位のコンロトルや混層耕が、簡便かつ環境負荷の少ない方法として水稻の重金属吸収抑制対策が中心に実施され、それらが十分な効果を持つことが示されている。大豆は、近年、世界的に急速に需要が拡大している作物の一つである。しかしながら、大豆は、Cd を子実に蓄積しやすい作物であることがわかっている。こうした背景の下に、本研究では、地下水位の制御と混層耕で大豆の Cd と Cu の吸収抑制とこれらの物質の生育収量への影響を調査することを目的としている。

栽培実験は、プラスチックの箱（61×41×63cm）を用い、これらの箱に酸化還元電位（Eh）センサー、温度センサーをセットし栽培環境を明確にしつつ実施した。地下水位制御実験では、地下水位 5cm（GL5）、10cm（GL10）と 40cm（GL40）の 3 種類の模型を作製し比較検討した。これらの 3 模型には、装置底面から、礫（14cm 厚）、非汚染土（15cm 厚、0.12mgCd/kg、2.4mgCu/kg）、カドミウム汚染土（25cm 厚、2.27mgCd/kg、43.4mgCu/kg）を充填した。混層耕試験では、地下水位を 40cm とし、8 種類の模型を試験に供した。各模型は、非汚染土を 40cm 厚とした模型（C-01、C-02）、汚染土の濃度を非汚染土と混ぜ合わせることによって 0.65mgCd/kg（Low）、1.20mgCd/kg（Middle）、1.75mgCd/kg（High）と変化させ、その汚

染土厚を 10cm とした模型 (L-10、M-10、H-10) と 20cm とした模型 (L-20、M-20、H-20) を作製した。この試験は 2 カ年にわたり実施した。装置底面から礫は 14cm、非汚染土は各 30 cm 及び 20cm となるように充填した。試験に用いた大豆の品種はリュウホウ、いずれの試験でも装置内の 4 箇所、6 月上旬に播種した。播種後 15-16 日に 8 株/箱となるように間引きを行い、かつほぼ 4 日毎に 2L の給水管理を行った。生育調査は、秋田県農業試験場の指針に準じて行った。

地下水位制御試験では、地下水位以下の土層は全模型で還元層となった。大豆子実の Cd 濃度は、GL5、GL10、GL40 でそれぞれ 0.25mgCd/kg、0.52mgCd/kg、1.27mgCd/kg となった。同様に各模型の子実の Cu 濃度は、5.08mgCu/kg、5.82mgCu/kg、9.96mgCu/kg となった。子実の Cd 濃度及び Cu 濃度の有意差 (5%) は 3 模型間に認められた。大豆の生育収量は、地下水位の上昇に伴い低下する傾向となった。良好な子実の重量/株は、GL5 で 20.5g、GL10 で 36.2g、GL40 で 56.3g となった。主茎長及び百粒重は、地下水位の異なる 3 模型間で有意差が認められた。このことより、地下水位の制御は大豆の Cd 及び Cu の吸収抑制及び生育収量に影響を及ぼすと判断される。しかし、この方法による大豆子実の Cd 濃度の国際基準 (0.2mgCd/kg) のクリアは困難と推測された。

混層耕試験では、各模型とも 0~40cm 区間の土層が栽培期間中酸化層となった。8 模型の良好な子実の重量は、C-02 (30.9g) < C-01 (43.0g) < H-20 (44.6g) < H-10 (48.3g) < L-20 (49.6g) < M-10 (54.4g) < L-10 (56.0g) < M-20 (64.5g) の順となった。非汚染土の有機物含有量が生育収量に影響していると推察される。しかし、良好な子実重量が H-20 で最も低いことは、汚染土の濃度および厚さの影響と考えられる。

大豆子実の Cd 濃度は、C-02 (0.14mgCd/kg) < C-01 (0.18mgCd/kg) < M-10 (0.26mgCd/kg) < L-10 (0.30mgCd/kg) < M-20 (0.33mgCd/kg) < L-20 (0.37mgCd/kg) < H-10 (0.46mgCd/kg) < H-20 (0.54mgCd/kg) の順となった。この値より、大豆は Cd を吸収しやすく、汚染土の Cd 濃度が高いことが子実の Cd 蓄積量を高くすると考えられる。この結果により、混層耕が大豆子実の Cd 濃度を低下させることがわかった。しかし、この条件の混層耕の Cd 濃度の場合では、大豆子実の Cd 濃度は、国際的な基準値の 0.2mgCd/kg より高くなると推察される。本試験での植物体の Cd 濃度は、子実：茎：根の値が凡そ 1:2:7 となった。子実の Cu 濃度は、9.12-11.20mgCu/kg となり、模型間の有意差は認められなかった。これは土壤中の Cu 濃度が低かったためと考えられる。また、各模型での植物体の Cu 濃度は、茎 < 子実 < 根の順となった。

以上の結果より、土壤汚染地の大豆栽培において、混層耕及び地下水位制御の方法は、Cd 及び Cu の吸収抑制及び生育収量への悪影響を回避する十分有効な方法と判断された。しかし、Cd の人間の健康への影響等を考えた場合は、更なる低濃度の大豆子実の生産が必要と推察される。

## 論文審査の結果の要旨

土壤の重金属汚染は、20 世紀になって特に世界の注目を浴びている。この汚染は、作物生産や人間の健康に多大な被害を及ぼした。特に、イタイイタイ病で知られるカドミウム (Cd) そして銅 (Cu) などが代表物質としてあげられる。今日の地球規模での工業化と人間活動の

展開は、環境負荷を増加させている。我々にとって、汚染土の修復ための効果的で実用的な方法の開発は作物の収量の確保と安全な食料の供給のために重要である。大豆は、近年、世界的に急速に需要が拡大している作物の一つである。しかしながら、大豆は、Cd を子実に蓄積しやすい作物であることがわかっている。こうした背景の下に、本研究では、地下水位の制御と混層耕で大豆の Cd と Cu の吸収抑制とこれらの物質の生育収量への影響を調査することを目的としている。

栽培実験は、プラスチックの箱 (61×41×63cm) を用い、これらの箱に酸化還元電位 (Eh) センサー、温度センサーをセットし栽培環境を明確にしつつ実施した。地下水位制御実験では、地下水位 5cm (GL5)、10cm (GL10) と 40cm (GL40) の 3 種類の模型を作製し比較検討した。これらの 3 模型には、装置底面から、礫 (14cm 厚)、非汚染土 (15cm 厚、0.12mgCd/kg、2.4mgCu/kg)、カドミウム汚染土 (25cm 厚、2.27mgCd/kg、43.4mgCu/kg) を充填した。混層耕試験では、地下水位を 40cm とし、8 種類の模型を試験に供した。各模型は、非汚染土を 40cm 厚とした模型 (C-01、C-02)、汚染土の濃度を非汚染土と混ぜ合わせることによって 0.65mgCd/kg (Low)、1.20mgCd/kg (Middle)、1.75mgCd/kg (High) と変化させ、その汚染土厚を 10cm とした模型 (L-10、M-10、H-10) と 20cm とした模型 (L-20、M-20、H-20) を作製した。この試験は 2 カ年にわたり実施した。装置底面から礫は 14cm、非汚染土は各 30 cm 及び 20cm となるように充填した。試験に用いた大豆の品種はリュウホウ、いずれの試験でも装置内の 4 箇所、6 月上旬に播種した。生育調査は、秋田県農業試験場の指針に準じて行った。

地下水位制御試験では、地下水位以下の土層は全模型で還元層となった。大豆子実の Cd 濃度は、GL5、GL10、GL40 でそれぞれ 0.25mgCd/kg、0.52mgCd/kg、1.27mgCd/kg となった。子実の Cd 濃度の有意差 (5%) は 3 模型間に認められた。大豆の生育収量は、地下水位の上昇に伴い低下する傾向となった。主茎長及び百粒重は、地下水位の異なる 3 模型間で有意差が認められた。

混層耕試験では、各模型とも 0~40cm 区間の土層が栽培期間中酸化層となった。8 模型の良好な子実の重量は、C-02 (30.9g) < C-01 (43.0g) < H-20 (44.6g) < H-10 (48.3g) < L-20 (49.6g) < M-10 (54.4g) < L-10 (56.0g) < M-20 (64.5g) の順となった。

大豆子実の Cd 濃度は、C-02 (0.14mgCd/kg) < C-01 (0.18mgCd/kg) < M-10 (0.26mgCd/kg) < L-10 (0.30mgCd/kg) < M-20 (0.33mgCd/kg) < L-20 (0.37mgCd/kg) < H-10 (0.46mgCd/kg) < H-20 (0.54mgCd/kg) の順となった。この値より、大豆は Cd を吸収しやすく、汚染土の Cd 濃度が高いことが子実の Cd 蓄積量を高くすると考えられた。この結果により、混層耕が大豆子実の Cd 濃度を低下させることがわかった。本試験での植物体の Cd 濃度は、子実：茎：根の値が凡そ 1:2:7 となった。本研究では、Cd 濃度と同様に植物体の Cu 濃度についても検討されて、有用なデータが得られている。

以上の結果より、土壤汚染地の大豆栽培において、混層耕及び地下水位制御の方法は、Cd 及び Cu の吸収抑制及び生育収量への悪影響を回避する十分有効な方法と判断されたという結論を得ている。

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

Li, S., C. Sasaki, C. Kato, N. Matsuyama, T. Annaka, A. Endo, and K. Sasaki (2017)  
Reducing cadmium and copper uptake of soybeans by controlling groundwater level and  
its impacts on growth and yield, *International Journal of Environmental and Rural  
Development*, 8(1), 77-84