

学 位 論 文 題 名

カドミウム汚染土壌における水稻のカドミウム吸収 およびその抑制に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、米のカドミウム汚染問題に関し、水稻のカドミウム吸収の機作と、その玄米への蓄積を抑制するための方法について研究したものである。結果は、次のように要約できる。

1. 山形県におけるカドミウム汚染の実態と汚染土壌におけるカドミウムの状態

山形県のカドミウム汚染地域は、19地域、356haが確認されており、そのほとんどが吉野川流域の村山、置賜地域に分布する。土壌汚染地域として指定されたのは、南陽市の吉野川流域を始め3地域であるが、汚染原因は、いずれも上流部の鉱山活動による水質汚濁である。すなわち、カドミウムは、灌漑水中に懸濁した状態で水田に流入し、表層土壌に蓄積したものである。汚染土壌中におけるカドミウムの形態は、有機態および交換態を主とし、大部分が0.1N塩酸可溶性であったが、水溶性カドミウムは認められなかった。

2. 土壌のカドミウム含有率と玄米のカドミウム含有率の関係

土壌の化学的諸性質および栽培条件がほぼ等しい場合、土壌のカドミウム含有率とそこから生産される玄米のそれとの間には、有意な正の相関が認められたが、この相関関係は、生育期間中の土壌の酸化還元状態によって大きく変動し、したがって年次による変動が著しかった。このため、土壌のカドミウム含有率を調べることによって玄米のカドミウム含有率を予測することは、一般的には困難であり、玄米のカドミウム含有率を抑制するための先行指標を得るには、別な方法が必要であると考えられた。

3. 水稻によるカドミウムの吸収と分配

水稻によるカドミウム吸収は、出穂期前後の排水によって著しく促進され、排水区の地上部集積量は、湛水区のその8倍以上に達した。また、経根的に吸収されたカドミウムの水稻体内濃度は、吸収部位に近いほど高くなっていた。すなわち、地上部については茎>葉身>籾の順であり、量的には、地上部に集積されたカドミウムの70-80%が茎、4-6%が葉、14-23%が玄米に分配された。なお、この分配率は安定しており、年次による変動は極めて小さかった。

地上部に移行したカドミウムの玄米への集積は米粒の肥大成長が盛んな時期に行われ、その後、他の同化産物が米粒へ蓄積されるのにもなって玄米のカドミウム含有率はやや低下し、完熟期以降ほぼ一定に保たれる。すなわち、出穂期前後の土壤酸化処理によって、カドミウムは可溶化し、水稻に多量に吸収されるとともに、出穂直後の穂に急速に蓄積される。この結果、玄米のカドミウム含有率は、出穂前後（7月下旬－8月上旬）の作土の酸化還元電位（ E_h ）と極めて高い相関を示すことになり、両者の回帰式から玄米のカドミウム含有率を1 ppmの許容限界以下に保つための限界 E_h を推定したところ、穂孕後期で195mV、穂揃直後で267mVの値が得られた。また、自主規制基準である0.4ppm以下の玄米カドミウム含有率を確保するには、同じく55および79mV以下に維持することが必要と推定された。この値を農家圃場の調査結果と照合したところ、土壌のカドミウム含有率1－5 ppmの範囲でよく適合し、これを農家水田の水管理基準として利用できるなどのことが明らかになった。これらの結果より、 E_h による酸化還元状態監視のための指標を設定した。

4. 水稻カドミウム吸収を抑制するための水管理法

玄米のカドミウム含有率は、出穂10日後の落水によって上昇したが、35日および25日後の落水によってはほとんど影響を受けなかった。したがって、出穂直後の落水は、玄米のカドミウム含有率を高めるおそれがあり、25日程度以上の余裕をもって落水すべきである。

水稻の生育期間中、玄米のカドミウム含有率が最も上昇しやすい排水時期は、穂孕期から穂揃い直後の時期で、次いで幼穂形成期（出穂25日前）から穂孕期（出穂10日前）にかけての期間および中干し期間（出穂40日前から出穂25日前）であり、一般に、出穂期に近い排水ほど、玄米のカドミウム含有率を高める傾向にあった。したがって、幼穂形成期以降の排水はもとより、6月上旬から7月上旬にかけての強度の中干しも避ける必要がある。

土壌を還元的に維持する水管理技術は、水稻のカドミウム吸収抑制対策のうち、農家が実施できる最も有効な対策である。出穂期を中心として E_h を監視することにより、土壌を還元的に維持し、玄米のカドミウム含有率を抑制する方法は、測定が簡便で、かつ予知の精度も比較的高く、汚染米発生防止のための現地指導には極めて有効な方法であり、実際に適用して満足すべき結果が得られた。

5. 水稻のカドミウム吸収に対する土壌改良の効果

水管理による水稻のカドミウム吸収制御を支援する方法として、熔成燐肥およびケイ酸石灰の効果調べた。還元的な水管理条件下においては、熔成燐肥、ケイ酸石灰とも水稻のカドミウム吸収を抑制した。しかし、酸化的な土壌条件下では、これら土壌改良材の抑制効果は不明瞭であっ

た。熔成磷肥の効果は、対象土壌の磷酸吸収係数の25-50%に相当する多量施与によってはじめで発現し、磷そのものの効果というよりは、pHの上昇または Eh_6 の低下による間接的なものと推定された。また、熔成磷肥とケイ酸石灰の相乗効果も明らかでなかった。したがって、土壌改良は、それだけでは安定したカドミウム吸収抑制対策にはなり得ないと判断された。

6. 水稻のカドミウム吸収に対する客土および排土客土の効果

汚染土壌に対する反転耕、上乘せ客土および排土客土の効果を調べた。30-50 m^3 /10a程度の少量客土および反転耕は、吸収抑制効果が低く、効果的な対策とは認められなかった。上乘せ客土および排土客土とも、玄米カドミウム濃度を低下させるのに有効で、その効果は客土深に比例する。酸化的水管理条件下では、玄米のカドミウム濃度を0.4ppm以下に抑制するのに必要な客土深は、危険率5%で計算上約45cmとなったが、慣行水管理条件下では、客土深25cm程度で十分な効果を期待できた。客土後の水田については、再汚染の防止が問題であり、強度の酸化的水管理や深耕を避けるとともに、灌漑水系の水質および底質保全対策が重要である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐久間 敏 雄

副 査 教 授 前 田 隆

副 査 教 授 但 野 利 秋

カドミウムによる土壌汚染は、作物の生育阻害ではなく、汚染米を摂取することによって人の健康が損なわれるのをどう回避するかが主題であった点でそれまでの土壌汚染とは違った問題を提起した。この問題が表面化して以来多くの研究がなされたが、現実的で有効な対策はなかなか見出せなかった。汚染土壌に生育する水稻にカドミウムを吸収させないあるいは吸収しても玄米に蓄積させない方法を見いだすという課題が、各地の水稻栽培の実態に即して解決できなかったことによる。本論文は、山形県のカドミウム汚染水田土壌を例として、この点について詳細に分析し、具体的な方法を提案するとともに、水管理の指導を通してその効果を確かめたもので、表83および図27を含む7章、総頁数199の和文論文である。別に、参考論文19編が添えられている。

始めに山形県におけるカドミウム汚染地域の分布と特質を調査し、県全体で19地域、356haの汚染水田が存在することを確認するとともに、汚染原因は、いずれも上流地域で排出される鉱山

排水に懸濁物質として含有されたカドミウムが灌漑水とともに水田に流入し、表層土壤に蓄積されたことによるものであることを明らかにした。また、汚染水田土壤中のカドミウムは、主として有機態および交換態として存在し、その大部分が0.1N塩酸可溶性で、水溶性のものは認められなかった。

次に、これらの各形態のカドミウム含有率とそこで栽培された水稻の玄米カドミウム含有率の関係を調べた。両者の関係は、土壤の種類および水稻の栽培条件によって大きく変動し、土壤のカドミウム含有率を調べることによって玄米のカドミウム含有率を予測することは、一般的には困難であった。したがって、土壤のカドミウム含有率は、玄米のそれを抑制するための先行指標としては不適当と考えられた。

上記の変動の原因を追求することによって、出穂期前後の作土の酸化還元電位 (Eh_6) が重要なことをつきとめ、 Eh_6 を監視することによって玄米のカドミウム含有率を許容限度以下に抑制することが可能であるとの作業仮説を設け、いろいろな水管理条件下で Eh_6 と水稻のカドミウム吸収、転流および玄米への蓄積の関係を分析した。その結果、①水稻によるカドミウム吸収は、穂孕期から出穂期にかけて土壤が酸化的になったときに最も顕著である、②水稻の地上部に移行したカドミウムは、その70-80%が茎、4-6%が葉、14-23%が玄米に分配される、③玄米へのカドミウムの集積は米粒の肥大成長が盛んな時期に行われる、④穂孕期、出穂期の Eh_6 をそれぞれ195mV および265mV 以下に保つような還元的水管理によって、玄米のカドミウム含有率を1ppmの許容限界以下に抑制できる、⑤また、自主規制基準である0.4ppm以下の値を確保するには、同じく55および79mV以下に維持することが必要である、⑥上記の Eh_6 に関する基準は、現地圃場における調査結果との適合率が高く、農家水田の水管理基準として利用できるなどのことが明らかになった。これらの結果に基づいて、 Eh_6 による酸化還元状態の監視のための指標を設定した。

さらに、水管理による水稻のカドミウム吸収の抑制を支援する方法として、熔成磷肥およびケイ酸石灰の効果を調べたが、酸化的な土壤条件下では、玄米のカドミウム含有率に対するこれら土壤改良材の抑制効果は小さかった。さらに、汚染土壤に対する上乘せ客土および排土客土の効果を調べ、①両客土とも、玄米カドミウム濃度を低下させるのに有効で、その効果は客土深に比例する、②酸化的水管理条件下では、玄米のカドミウム濃度を0.4ppm以下に維持するのに必要な客土深は、危険率5%で計算上約45cmとなったが、慣行的または還元的水管理によれば、客土深25cm程度で十分な効果を期待できる、③再汚染を防止するために、客土施工後の水田については強度の酸化的水管理や深耕は避けるべきであるなどのことを明らかにし、深さ25cm程度の客土

と還元的水管理を組合わせることによって汚染米の生産を防止できるとの結論に達している。

以上のように、本研究は水稻のカドミウム吸収および玄米への集積機構を明らかにするとともに、それと土壌の酸化還元電位の関係を水稻栽培の実際に即して解明したもので、学術的に高く評価される。また、穂孕期から出穂期の土壌の酸化還元電位を監視することによって汚染米の生産を防止する具体的な方法を提案し、その実用性を確認した点では、汚染水田における土壌管理の実際面にも貢献するところが大きい。

よって審査員一同は別に実施した学力確認試験の成績とあわせて、大竹俊博は博士（農学）の学位を受ける資格十分なものとして認定した。