

農田表土輻射汙染去除技術介紹

張金元

摘 要

利用農業機械去除農田表面土壤汙染，應用表土搬移法搭配植生復育法，減少土壤中的放射性物質濃度，作業後土壤放射性濃度除去率為 75%，作業後汙染值低於水稻耕種限制的上限值，表土除去後重新插秧 2 品種水稻，收穫後之糙米放射性物質濃度為 20 Bq/kg，低於日本食品衛生管理法規定值。應用噴灑土壤固化劑方法並配合油壓鏟斗挖掘機，可減少土壤粉塵揚起，整治後降低率為 82%。作業效率及安全性大幅提高，相當適合大面積作業。利用土壤反轉犁耕方式，將具放射性物質之埋設於土壤中，以降低土壤輻射量，整治效果達 68%，可有效降低輻射量。

前 言

2011 年 3 月日本東北地方近海發生規模 9.0 級地震，並引發 40.1 公尺高之海嘯，進而造成福島第一核能發電廠核能外洩，大量的核汙染物質使農田受到汙染，此事件在國際核事件分級表(International Nuclear Event Scale)中屬第 7 級事故，與著名的車諾比核電廠事故並列為第 7 級，日本參考車諾比核電廠事故後的整治經驗，可發現受放射性物質汙染的土壤集中在表層，因此藉由去除受汙染的土地土壤表面，以減少土壤中放射性物質濃度，達土壤可耕作之標準。

內 容

首先，須先對輻射有所認識，輻射度量單位皆以科學家名字命名，如倫琴(R)、貝克(Bq)、居禮(Ci)、戈雷(Gy)與西弗(Sv)等，為輻射五傑。

威廉·倫琴(Wilhelm Conrad Roentgen)為德國物理學家⁽¹⁾，因進行陰極射線管實驗時，發現某種光線可穿過陰極射線管上的屏蔽，發現了一種新的具穿透性的射線，倫琴用 X 標誌這種射線，表示一種未知的輻射類型，獲得 1901 年第一屆諾貝

爾物理獎，為紀念侖琴的貢獻，以其名字命名，在游離輻射的環境中，侖琴數越大暴露量就越大，亦代表越危險。

亨利·貝克勒爾(Henri Becquerel)法國籍科學家，於 1903 年發現天然物質放射性而獲得諾貝爾物理獎，X 射線發現後的 2 個月，推測鈾不需要外來能源也能發射出輻射。以鈾鹽-硫酸鉀鈾(U235、U238)進行試驗，發現鈾可不需外來能源能發射輻射，為紀念貝克的貢獻，以其名字作為放射活性的單位，每一貝克(Bq)指每秒一個衰變(disintegration)。

居禮(Ci)是彼埃居禮(Pierre Curie)夫婦的姓氏命名，因共同發現鈾礦的放射性，此現象雖為貝克勒爾首先發現，因對放射性物質衰變過程進行描述，同年度與貝克勒爾共同獲得諾貝爾物理獎。

戈雷(Louis Harold Gray) (Gy)為英國物理學家，重要的貢獻在許多領域均與輻射生物有關，戈雷(Gy)是吸收劑量(absorbed dose)的單位，吸收劑量的定義是指單位質量物質接受輻射的平均能量，每單位質量的物質(公斤)平均吸收的輻射能量(焦耳)。

羅爾夫·馬克西米連·西弗(Rolf Maximilian Sievert、Sv)為瑞典生物物理學家，是指人體吸收輻射線的劑量。西弗(Sv)是輻射劑量的基本單位，人體所受的輻射劑量是以輻射的強度與曝露時間來計算。評估輻射對人體影響的程度，通常是以單位體重所接受的輻射能量計算，人體所受的輻射劑量，是以輻射場的強度與曝露時間相乘積計算，如人體每公斤接受加碼射線的能量為一焦耳時，其劑量定為一西弗(Sv)。因此輻射防護最基本的 3 原則為減少曝露時間、增加與輻射源的距離、使用屏蔽減少輻射強度⁽²⁾。

日本利用農業機械去除農田表面土壤汙染，應用表土搬移法搭配植生復育法，減少土壤中的放射性物質濃度。試驗選擇一處面積 0.8 分地、無深耕之受汙染稻田施作，驗證放射性物質濃度除去的效果，並於施作後栽培水稻，調查糙米的放射性物質濃度。土壤汙染去除作業流程分為 6 步驟：1.事前調查、2.表土碎土、3.表土刮除、4.表土集中、5.載運排出、6.裝袋，以及後續的 2 品種水稻栽培⁽³⁾。

在作業前先檢測土壤在不同深度下之放射性物質濃度，可發現土壤深度 2~4 cm 的範圍下，放射性銫 Cs-134 及 Cs-137 測定值分為 1,490 及 1,570 Bq/kg，而在 1 cm 範圍內測定值為 53,100 Bq/kg，由檢測結果可知放射性物質汙染土壤是集中在表層，並且高於 2011 年日本針對核災特別修法規定土壤中所含放射性銫濃度的上

限值(5,000 Bq/kg)，為達土壤可耕作之標準，試驗規劃除去 4 cm 至 5 cm 的土壤深度⁽⁴⁾。

整套作業流程需使用 75 馬力之曳引機、碟耙、刮土機、鏟斗機、卸斗車、挖土機、噸袋等機具。在進行表土碎土作業時，首先先利用曳引機及碟耙進行土壤表層鬆土，有利於刮土機集中土壤，透過碟耙深淺控制輪及曳引機 3 點鍊接裝置調整土壤耕深，耕深控制在 5 cm 左右，而選用耙片的原因是因直徑較小可作淺層耕犁，且迴轉方向與地面垂直可減少土壤層間的攪拌。碎土後以刮土機在田區短邊分段集中，起初刮土機於田區長邊與行進方向成一角度傾斜進行作業，結果發現因土壤水分較高，土壤在橫向上幾乎沒有移動，因此選擇於田區短邊方向進行土壤收集作業，而分段收集次數需視刮土機單趟可收集量決定。土壤集中至田區側邊後，再以鏟斗機及卸斗車將土壤集中載運至特定地點暫放，並利用挖土機將受污染土壤裝入噸袋存放。作業完畢後，約除去 4 cm 之土壤深度，總共裝填 37 袋，比較作業前後的土壤放射性濃度，深度 15 cm 的土壤除去前 10,370 Bq/kg，除去後為 2,599 Bq/kg，除去率為 75%，作業後之放射性物質濃度低於水稻耕種限制的上限值。作業面積以 1 分地計算，各項作業效率/作業人員數/使用機具：碎土 15~20 分/1 名/曳引機、碟耙，土壤刮除 40~50 分/1 名/刮土機，土壤集中 20~25 分/1 名/鏟斗機，載運排出 50~60 分/2 名/卸斗車、挖土機，裝袋 15~20 分/袋/2 名/挖土機、噸袋，總作業人數為 7 人次，總作業時間 14~18.5 hr，因此處理 1 分地約需 2 至 3 日的工作時間⁽⁵⁾。

表土除去後重新插秧 2 品種水稻(ひとめぼれ、びあきたこまち)，面積 1 分地之產量分別為 530 kg、410 kg，分析收穫後之糙米放射性物質濃度為 20 Bq/kg，低於日本食品衛生管理法規定值。另於面積 20 a 之農田進行試驗，將 2 m 高之雜草耕鋤後，作業前檢測土壤在不同深度下之放射性物質濃度，土壤深度 4 cm 範圍下，放射性銫 Cs-134 及 Cs-137 測定值分別為 3,870 及 5,220 Bq/kg，接近放射性銫濃度上限值，作業後之土壤放射性濃度，在深度 15 cm 的土壤除去前 15,180 Bq/kg，除去後為 2,801 Bq/kg，除去率為 82%。使用農業機械去除受污染的表土，透過去除約 4 cm 水稻田表土，可使土壤放射性物質濃度小於種植限制，並且糙米收割後之濃度亦低於暫定規定值⁽⁶⁾。

表土搬移法整治過程中須使用 5 種以上農機具，作業時間較長，處理較緩慢，並且作業人員數多，人員有健康上之疑慮。在田區的實際狀況上，若田區較為不

平整，整治結果亦較不平均，水田土壤較軟，阻力大，並且碎土後又被農機具壓實，農機搬移土壤耗能，若農路較小，土壤載運搬移困難。而污染土在運輸過程中，亦有二次污染的可能性，因此，應用噴灑土壤固化劑的方法，以減少土壤切削及搬運過程中，所可能產生的粉塵揚起，此為表土剝取法。在面積 1 分之水田進行施作，使用挖土機、鏟斗、噴灑機，噴灑固化劑後，需經過 7 日進行固化反應，作業效率為 $2,000 \text{ m}^2/\text{日}$ ，再使用挖土機及鏟斗剝取土壤，作業效率為 $1,200 \text{ m}^2/\text{日}$ ⁽⁹⁾。土壤固化後剝取厚度約為 3.0 cm ，處理土量約為 32 m^3 ，於田區量測放射性物質分佈，整治前平均為 $9,616 \text{ Bq/kg}$ ，整治後平均為 $1,721 \text{ Bq/kg}$ ，去除後之放射性物質濃度降低率 82%。此方法可改善土壤搬移法之缺失，然作業過程中，挖土機機件易損壞，為減少機件損壞及提高作業效率，研製一種油壓鏟斗挖掘機，利用油壓缸經皮帶驅動迴轉犁，切削土壤後直接由負壓吸土車吸入受污染土壤，作業效率及安全性大幅提高，並且不受田面凹凸影響，可有效剝離 $2\sim 3 \text{ cm}$ 受污染土壤，整治效果較佳，相當適合大面積作業。

另外，針對受污染但輻射檢量未超量、經整治後之農田、草地等對象，利用土壤反轉犁耕方式，將具放射性物質之土壤埋設於土壤中，以降低土壤輻射量⁽⁸⁾。以 1 組 3 具 20 英寸反轉犁耕耘水稻田，翻耕深度 30 cm ，作業幅寬 3 m ，作業效率約為 94 分鐘/1 分地，整治前為 $1.63\pm 0.02 \text{ }\mu\text{Sv/h}$ ，整治後 $0.52\pm 0.01 \text{ }\mu\text{Sv/h}$ ，整治效果達 68%，可有效降低輻射量⁽⁷⁾，但此法須避免破壞犁底層，因為輻射水若滲透，將造成二次污染，可藉由埋設排水暗管方式收集，或許日後可供作後續排水輻射量調查及後續整治使用⁽¹⁰⁾。

因農業機械被負責用來去除農田表土輻射污染，為避免二次污染，農業機械使用完畢應立即進行清洗作業，以避免二次污染。為防止雜草、泥土藉由農機具蔓延未受污染田地，應清除農機具上之雜草和土壤，盡可能將受污染土壤去除於污染田區上，清洗的方式以乾洗擦拭為主。若整治受輻射污染之農田，須增加檢查機具表面上之輻射量，盡量避免使用清潔水洗滌，以減少水受輻射污染後，衍生出其他污染，而擦拭工具勿重覆使用，防止交叉感染。清洗完畢後亦須進行潤滑油及防鏽處理等保養作業。原則上注意受輻射污染的土壤及水等，再次污染其他地方，使用過的器具、工具或衣物等，確實清潔、丟棄或檢查輻射量，避免交叉污染。

結 語

受汙染之農田經整治後，仍舊無法完全移除輻射汙染，僅能降低，核能能為生活帶來便利性，但若遭遇不可避免的事故，亦可能帶來毀滅。而日本經歷此次複合式災難後，研發項目係依循著政策方針迅速改變，研究單位快速轉換研究項目，以符合環境的需要，值得參考。整個研發過程亦是循序漸進，逐步改良，精益求精，使研發成果能真正落實應用。

參考文獻

1. 翁寶山 2003 臺灣輻射防護史話 p.1-8 行政院原子能委員會。
2. 劉志青 2011 輻射及操作安全-輻射與健康 國家同步輻射研究中心第 77 期簡訊 p.12-16。
3. 行本修 2012 農地土壤等における放射性物質除去技術の開発 農業機械學會誌 74(2): 94-98。
4. 長坂善禎、小林恭 2012 農地表面土壤の除去による除染技術の開発 独立行政法人農業食品産業技術総合研究機構。
5. 長坂善禎、小林恭 2012 農地の放射性物質の除去技術-農業機械を利用した手法 新農林社 機械化農業 2012(2): 7-11。
6. 長坂善禎、小林恭 2012 農業機械を利用した表土除去技術 農林水産技術研究ジャーナル 35(3): 52-54。
7. 後藤隆志 2012 反転耕による表層土の埋没 新農林社 機械化農業 2012(2): 12-15。
8. 後藤隆志、落合良治、小林研 2012 放射性物質の除染作業におけるはつ土板プラウの耕深と表層土埋没深さとの關係 農業機械學會誌 74(6): 465-474。
9. 若杉晃介、原口暢朗、中達雄 2012 土壤固化剤を用いた表土剥ぎ取り技術の開発 新農林社 機械化農業 2012(2): 16-19。
10. 農林水産省 2012 農地土壤の放射性物質除去技術(除染技術)作業の手引き 第 1 版 p.1-75 農林水産技術会議事務局研究開発官(食料戦略)室 農林水産省。