



รายงานโครงการวิจัย

การศึกษาติดตามตรวจสอบมลพิษทางดินและเทคโนโลยีบำบัดดิน  
ในพื้นที่ปนเปื้อน

Study of Soil Pollution Monitoring and Remediation  
Technology for Contaminated Site

วนิดา โนบรรเทา  
Wanida Nobuntou

พ.ศ. 2562



รายงานโครงการวิจัย

การศึกษาติดตามตรวจสอบมลพิษทางดินและเทคโนโลยีบำบัดดิน  
ในพื้นที่ปนเปื้อน

Study of Soil Pollution Monitoring and Remediation  
Technology for Contaminated Site

วนิดา โนบรรเทา  
Wanida Nobuntou

พ.ศ. 2562

## คำปรารภ

โครงการวิจัยการศึกษาติดตามตรวจสอบมลพิษทางดินและเทคโนโลยีบำบัดดินในพื้นที่ปนเปื้อน เริ่มดำเนินการตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2562 เป็นการศึกษาสำรวจ เก็บตัวอย่างดินและพืชในพื้นที่ปลูกมังคุดใน 3 จังหวัดภาคใต้ คือ จังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี และการศึกษาวิจัยถึงการแพร่กระจายของสารหนูในพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ ที่อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย จากผลงานการวิจัยดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและผลผลิตมังคุดตลอดจนในพื้นที่เกษตรกรรม อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย จากผลการศึกษาวิจัยที่ได้บ่งชี้ว่าพื้นที่ทำการเกษตรนั้น จุดใด มีปริมาณของโลหะหนักสูงผิดปกติ ย่อมแสดงว่าพื้นที่ทำการเกษตรนั้นอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาบริหารจัดการ และหาวิธีการจัดการ ควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของโลหะหนักไปสู่บริเวณใกล้เคียงอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อความปลอดภัยของการผลิตพืชอาหารของประเทศไทย ซึ่งการใส่ใจอย่างจริงจังในเรื่องความปลอดภัยของอาหารที่บริโภคภายในประเทศ นับเป็นปัจจัยสำคัญเบื้องต้น ซึ่งจะส่งผลต่อสุขอนามัยที่ดีของประชาชนผู้เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศที่แท้จริง นอกจากนี้โครงการวิจัยยังได้มีการศึกษาเทคโนโลยีเพื่อลดการสะสมแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม ที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวเกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติได้ในพื้นที่

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานโครงการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ และนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอด เพื่อนำไปสู่การผลิตที่ปลอดภัยและยั่งยืนต่อไป

## สารบัญ

	หน้า
คณะผู้วิจัย	1
บทนำ	2
บทคัดย่อ	4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	6
การทดลองที่ 1 การศึกษาการสะสมของแคดเมียม ตะกั่ว และไนเตรท จากการใช้ปุ๋ยจี้การ ผลิตทางการเกษตร ในพื้นที่ปลูกผักภาคกลางและภาคเหนือ	7
บทคัดย่อ	7
บทนำ	8
ระเบียบวิธีวิจัย	9
ผลการทดลอง	9
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	16
การทดลองที่ 2 การศึกษาการแพร่กระจายของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในพื้นที่ การเกษตร จังหวัดเลย	33
บทคัดย่อ	33
บทนำ	34
ระเบียบวิธีวิจัย	35
ผลการทดลอง	36
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
การทดลองที่ 3 การศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่ว ในพื้นที่สวนผลไม้และแนวทาง ลดการสะสมของโลหะหนักในพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน	50
บทคัดย่อ	50
บทนำ	51
ระเบียบวิธีวิจัย	52
ผลการทดลอง	53
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
การทดลองที่ 4 การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวในพื้นที่ การเกษตรที่ปนเปื้อนแคดเมียม	72
บทคัดย่อ	72
บทนำ	73
ระเบียบวิธีวิจัย	74
ผลการทดลอง	76
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	83

### คณะผู้วิจัย

นางสาววนิดา	โนบรرتها	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวชัชชนพร	เกื้อหนุน	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวแววตา	พลกุล	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวศราริน	กลินโพธิ์กลับ	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวสายน้ำ	อุดพ้วย	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร
นางสาวขวัญตา	มีกลิ่น	สำนักพัฒนาและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช
นางอรพิน	หนูทอง	สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7
นายอนันต์	ทองภู	กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร

## บทนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินของประเทศไทยส่วนใหญ่มักมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการทำเหมืองแร่ เช่น กรณีเกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในตะกอนดิน พีชฝัก สัตว์น้ำ และแหล่งน้ำบริเวณเขาบ่องาม อำเภอดงพิกุล จังหวัดกาญจนบุรี (Tanhana *et al.*, 2007) ส่งผลให้ประชากรในพื้นที่ใกล้เคียงหรือที่อาศัยอยู่ท้ายน้ำได้รับพิษจากตะกั่ว เนื่องจากระบบประสาทของมนุษย์มีความไวต่อพิษตะกั่ว จึงส่งผลโดยตรงต่อระดับสติปัญญา Pusapukdepob *et al.* (2007) โดยเด็กที่มีปริมาณตะกั่วสะสมในเลือด และในปัสสาวะ จะมีระดับสติปัญญาต่ำ เช่นเดียวกับพื้นที่ตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอดในจังหวัดตาก ที่พบปัญหาการปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสีสูง ซึ่งดินปลูกข้าวบริเวณใกล้เคียงเหมืองแร่สังกะสี มีการสะสมของสังกะสี 100 ถึง 8,036 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม 0.5 ถึง 284 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณแคดเมียมสะสมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 7.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินในข้าวของ Codex ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Simmons *et al.*, 2005) สารหนูเป็นธาตุพิษอีกชนิดหนึ่งที่พบการปนเปื้อนในประเทศไทย เช่น จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นแหล่งที่พบการปนเปื้อนของสารหนู เนื่องจากในอดีตมีการทำเหมืองแร่ดีบุก มีการตรวจพบสารหนูในตัวอย่างดินในช่อง 51 ถึง 1,860 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในแม่น้ำประมาณ 165 ถึง 985 (Francesconi *et al.*, 2002) จะเห็นได้ว่าหากสารพิษเหล่านี้แพร่กระจายจากเหมืองออกสู่พื้นที่เกษตรกรรม ย่อมส่งผลต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง

การแก้ไขหรือลดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและผลผลิตพืชที่ปลูก โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ลักษณะหรือสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่ปนเปื้อน สมบัติหรือลักษณะของดินที่ปนเปื้อน (พีเอช หรือสภาพรีดอกซ์ และชนิดหรือปริมาณของสารมลพิษในดินหรือตะกอน) ซึ่งจุดประสงค์หลักของการบำบัดในพื้นที่ส่วนใหญ่มักเป็นการเพิ่มความคงสภาพของสารมลพิษ หรืออาจเป็นเคลื่อนย้ายสิ่งปนเปื้อนโดยการใช้พืชบำบัด (Phytoremediation) ข้อดีของการบำบัดในพื้นที่คือ กระบวนการบำบัดที่ไม่ยุ่งยาก และมีต้นทุนในการบำบัดที่ค่อนข้างต่ำ แต่การบำบัดด้วยวิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่เนื่องจากเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายของสิ่งปนเปื้อนให้อยู่ในรูปที่มีการละลายต่ำและไม่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จึงไม่ได้เป็นการกำจัดสารมลพิษที่แท้จริงและอาจมีการปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมอีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมที่ถูกบำบัดถูกเปลี่ยนแปลงไป (Peng *et al.*, 2009) วิธีการบำบัดดินในพื้นที่ที่นิยม คือ การใช้วัสดุปรับปรุงดิน เพื่อลดการแพร่กระจายของโลหะหนัก โดยการบวนการลดการเคลื่อนย้าย (immobilization) กระบวนการดูดซับ (absorption) กระบวนการตกตะกอน (precipitation) หรือการเปลี่ยนสภาพเป็นรูปของแข็ง (solid-phase transformation) กับวัสดุปรับปรุงดินตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้โลหะหนักเหล่านั้นอยู่ในรูปที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ วัสดุปรับปรุงดินที่ใช้มีหลายชนิด เช่น วัสดุฟอสเฟต (Nzihou and Sharrock, 2010) ปูนขาว (Geeblen *et al.*, 2003; Gray *et al.*, 2006) อินทรียวตฤ (Park *et al.*, 2011) และแร่ซีโอไลต์ (Friesl *et al.*, 2003) ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่สูงนัก โดยการใช้วัสดุดังกล่าวเหล่านี้เพื่อปรับสภาพดินปนเปื้อน ซึ่งในปัจจุบันถือเป็นวิธีทางเลือกที่เป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ

นอกจากนี้ในปัจจุบันมาตรฐานด้านความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นที่ถูกหยิบยกขึ้นมากล่าวถึง ทั้งในแง่สุขภาพอนามัยโดยรวมของผู้บริโภค และในบริบทของการเป็นข้อต่อรองในระบบการค้าเสรี ประเทศไทยซึ่งได้มีการเคลื่อนไหวและปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อประเด็นนี้มาโดยตลอด แต่มักมุ่งเน้นไปที่กลุ่มอาหารส่งออกเป็นหลัก ส่วนมาตรฐานและการเฝ้าระวังด้านความปลอดภัยของอาหารเพื่อการบริโภคภายในประเทศนั้นพบว่า หลายหน่วยงานได้พยายามผลักดันให้มีมาตรฐานเช่นเดียวกับอาหารส่งออก แต่การนำไปปฏิบัติจริงยังไม่พบว่ามี ความเข้มแข็ง ครอบคลุม และต่อเนื่องเพียงพอ ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้ได้ฐานข้อมูลการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินใน

พื้นที่เกษตรกรรมของประเทศ ย่อมเป็นประโยชน์ต่อความปลอดภัยของการผลิตพืชอาหารของประเทศไทย ทั้งเพื่อการบริโภคภายในและการค้าขายกับต่างประเทศ นอกจากนี้หากผลการศึกษาข้างชี้ว่าพื้นที่ทำการเกษตรใด มีปริมาณของโลหะหนักสูงผิดปกติ ย่อมแสดงว่าพื้นที่ทำการเกษตรนั้นมีการปนเปื้อนของโลหะหนักเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการนำมาบริหารจัดการ และหาวิธีการจัดการ ควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของโลหะหนักไปสู่บริเวณใกล้เคียงอย่างมีประสิทธิภาพ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคุณภาพดินและค่าพื้นฐานของโลหะหนักที่สะสมในพื้นที่การเกษตรของประเทศตลอดจนพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการลดการดูดซึมของโลหะหนักในพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อให้ตรงตามเป้าประสงค์ของโครงการ วิธีการวิจัยจึงเป็นการศึกษาในหลายพื้นที่ประกอบด้วย การทดลอง 4 การทดลอง ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 แสดงความเชื่อมโยงระหว่างงานทดลองภายใต้โครงการวิจัย

## บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินของประเทศไทยส่วนใหญ่ เกิดจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ หากสารพิษเหล่านี้แพร่กระจายออกสู่พื้นที่เกษตรกรรม ย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่หรือบริเวณใกล้เคียง การแก้ไขปัญหาหรือลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและผลผลิตพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน โดยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้มาตรฐานด้านความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นที่ถูกหยิบยกขึ้นมากล่าวถึง ทั้งในแง่สุขอนามัยโดยรวมของผู้บริโภค และในบริบทของการเป็นข้อต่อรองในระบบการค้าเสรี ดังนั้นวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ปลูกผัก สวนมังคุด และพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ ตลอดจนพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน

ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างดินจำนวน 353 ตัวอย่าง (เก็บที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 และ 80-100 เซนติเมตร) ที่เก็บจากแปลงปลูกผักคะน้า มะเขือ พริก ผักกาดเขียวปลี และผักกาดขาวปลี ในจังหวัดกาญจนบุรีและเพชรบูรณ์ มีการสะสมของไนเตรท 412 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ ที่ระดับดินลึก 100 เซนติเมตร จากผิวดิน เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 8-178 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อฤดู ซึ่งการจัดการปุ๋ยดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำใต้ดินได้ ส่วนการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วในดิน พบในช่วง 0.01-0.81 และ 7-73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป เช่นเดียวกับแคดเมียมและตะกั่วในพื้นที่ปลูกมังคุดในจังหวัดชุมพร (อำเภอพะโต๊ะ และอำเภอหลังสวน) พบในช่วง 0.02-1.07 และ 5-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จังหวัดสุราษฎร์ธานี (อำเภอบ้านนาเดิม และอำเภอบ้านนาสาร) พบแคดเมียมในดิน 0.32-1.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว 9-35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนจังหวัดนครศรีธรรมราช (อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลา และอำเภอพรหมคีรี) พบในแคดเมียมในดิน nd.-0.63 และตะกั่ว 1-36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ตรวจพบในสามจังหวัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป (แคดเมียม 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ตรวจพบแคดเมียมปนเปื้อนในผลผลิตมังคุดสด (0.006-0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในบางพื้นที่มีค่าเกินมาตรฐานของประเทศจีนที่อนุญาตให้แคดเมียมปนเปื้อนในผลผลิตมังคุดสดได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการแพร่กระจายของสารหนูในพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ บริเวณใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า บ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านห้วยฝูก และบ้านกกสะทอน ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พบสารหนูปนเปื้อนทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง (2-71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รวมทั้งตะกอนท้องน้ำในเกือบทุกจุดเก็บตัวอย่างในระดับที่สูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย (3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ส่วนการศึกษาเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม หมู่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าการใช้แมกนีเซียมออกไซด์ในอัตรา 9-14 กิโลกรัม  $\text{MgO}$  ต่อไร่ ลดความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวได้ ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวดังกล่าวต่ำกว่ามาตรฐานของ Codex (0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)



### Abstracts

Heavy metal contamination in soil in Thailand mainly caused by mining activities. Thus, if these toxic metals spread to agricultural areas will directly affect the health of residents in the areas or nearby. Problem solving or remediation of heavy metal contamination in soil and plant products grown in contaminated areas by using the right technology it is necessary. In addition, food safety standards have been raised both in the overall hygiene of the consumer and in the context of being a bargain in a free trade system. Therefore, the objectives of this research project were to study the contamination of heavy metals in the mangosteen and vegetable growing areas, and agricultural areas affected by gold mining as well as develop appropriate technology to reduce cadmium (Cd) absorption by rice grown in contaminated areas.

The results showed that 353 soil samples (collected at 0-15, 15-30, 30-50, 50-80, and 80-100 cm. depths) collected from Chinese kale, Eggplant, Peppers, Chinese cabbage and Chinese cabbage growing areas in Kanchanaburi and Phetchabun provinces, there is an accumulation of  $412 \text{ kg NO}_3^- \text{ rai}^{-1}$  at 100 cm. deep from soil surface, due to the use of nitrogen fertilizer  $8-178 \text{ kg N rai}^{-1} \text{ season}^{-1}$ , such fertilizer management may cause nitrate contamination in groundwater. While contamination of cadmium (Cd) and lead (Pb) in soil ( $0.01-0.81 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  and  $7-73 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ ) was lower than standard allowed in agricultural soil of the European Union. As well as Cd and Pb in mangosteen growing areas in Chumphon province (Phato and Lang Suan districts) was found in the range of  $0.02-1.07 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  and  $5-18 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ . Surat Thani province. (Ban Na Doem and Ban Na San Districts) was found Cd content in soil  $0.32-1.82 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  and Pb  $9-35 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ . While Cd and Pb content in soil in Nakhon Si Thammarat Province (Tha Sala, Nophitam, Lan Saka and Phrom Khiri Districts) was found in the range of  $\text{nd.}-0.63 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  and  $1-36 \text{ mg Pb kg}^{-1}$ . However, Cd and Pb in soil in all detected areas were lower than standard allowed in agricultural soil of the European Union (Cd  $1-3 \text{ mg kg}^{-1}$  and Pb  $100-300 \text{ mg kg}^{-1}$ ), but was found Cd contaminated in fresh mangosteen products in some areas ( $0.006-0.09 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ) exceeded standards of China that allowed Cd not more than  $0.05 \text{ mg kg}^{-1}$  in fresh mangosteen products. For the study of arsenic (As) spreading in agricultural areas that affected by gold mining in the vicinity of Phu Thap Fah gold mine, Ban Na Nong Bong, Ban Phu Thap Phatthana, Ban Huai Phuek and Ban Kok Saton, Khao Luang Subdistrict, Wang Saphung District, Loei Province were found arsenic contaminated in both topsoil and subsoil ( $2-71 \text{ mg As kg}^{-1}$ ), including sediment samples at the level higher than standard for soil quality used for housing and agriculture in Thailand ( $3.9 \text{ mg As kg}^{-1}$ )

The study of remediation technology to reduce Cd absorption by rice grown in cadmium contaminated areas at Phra That Pha Daeng Subdistrict, Mae Sot District, Tak Province. It was found that use of magnesium oxide at the rate of  $9-14 \text{ kg MgO rai}^{-1}$  decreased Cd accumulation in rice grains and its lower than Codex standard ( $0.4 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ).

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. จากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกผักในจังหวัดกาญจนบุรี และเพชรบูรณ์ จำนวน 353 ตัวอย่าง ซึ่งปลูกผักคะน้า มะเขือ พริก ผักกาดเขียวปลี และผักกาดขาวปลี พื้นที่ปลูกผักดังกล่าวมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 8-178 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อฤดู ส่วนหน่อไม้ฝรั่ง ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 32-314 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อปี สูงเกินกว่าคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร ส่งผลให้ตรวจพบการสะสมของไนเตรทที่ระดับดินลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน สูงถึง 412 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ ซึ่งการจัดการปุ๋ยดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำใต้ดินได้ ส่วนปริมาณของแคดเมียมและตะกั่วในดินปลูกผักของทั้ง 2 จังหวัดพบต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป

2. พบการแพร่กระจายของสารหนูในพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า บริเวณบ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านห้วยฝูก และบ้านกกสะท้อน ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งมีการแพร่กระจายปนเปื้อนทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง รวมทั้งตะกอนท้องน้ำในเกือบทุกจุดเก็บตัวอย่างในระดับที่สูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย (3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่ตะกั่วและแคดเมียมพบปนเปื้อนในดินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกลุ่มสมาชิกยุโรป

3. ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ตรวจพบในพื้นที่ปลูกมังคุดในจังหวัดชุมพร (อำเภอพะโต๊ะ และอำเภอหลังสวน) จังหวัดสุราษฎร์ธานี (อำเภอบ้านนาเดิม และอำเภอบ้านนาสาร) และจังหวัดนครศรีธรรมราช (อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลา และอำเภอพรหมคีรี) มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (แคดเมียม 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในผลผลิตมังคุดในบางพื้นที่ของทั้ง 3 จังหวัดเกินมาตรฐานของประเทศจีนที่อนุญาตให้มีแคดเมียมปนเปื้อนในผลผลิตมังคุดสดได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นพื้นที่ปลูกมังคุดที่ตรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิตเกินเกณฑ์มาตรฐาน ควรมีการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันและลดการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิตมังคุด

4. การใช้แมกนีเซียมออกไซด์ในอัตรา 9-14 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม หมู่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ลดความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ Codex (0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่ทั้งนี้ผลการศึกษายังแสดงผลไม่ชัดเจน เพราะเป็นการทดลองเพียงฤดูเดียว ซึ่งการทดลองเพื่อลดการดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในพืช โดยการใช้สารปรับปรุงดินเพื่อลดการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน จำเป็นต้องทดลองในพื้นที่ซ้ำอย่างน้อย 2-3 ปีขึ้นไป เพื่อให้สารปรับปรุงดิน (แมกนีเซียมออกไซด์) ที่ใช้เกิดประสิทธิภาพและได้อัตราที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อม นอกจากนี้เกษตรกรควรมีการจัดการน้ำในนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว โดยไม่ควรปล่อยน้ำออกจากแปลงนา หรือไม่ให้แปลงนาแห้ง เพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมเข้าไปสะสมในเมล็ดข้าวช่วงก่อนดินเริ่มแห้ง ซึ่งวิธีการจัดการดินและการจัดการน้ำดังกล่าว เกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติในพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าต่อการลงทุน

5. จากแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงของการปนเปื้อนแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในแหล่งปลูกมังคุด และพื้นที่เกษตรกรรม อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ข้อมูลดังกล่าวเจ้าหน้าที่สามารถไปแจ้งเตือนและใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่เสี่ยง หรือในการตรวจรับรองแปลงปลูก (GAP) โดยการเชื่อมโยงฐานข้อมูลผ่านระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อความปลอดภัยในการผลิตพืชอาหาร ส่งเสริมให้เกิดความเชื่อมั่นทั้งผู้บริโภคภายในประเทศและการส่งออก

## การทดลองที่ 1

การศึกษาการสะสมของแคดเมียม ตะกั่ว และไนเตรท จากการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร  
ในพื้นที่ปลูกผักภาคกลางและภาคเหนือ

Studying on Cd Pb and Nitrate Accumulation on Vegetable Areas in the Central and the  
Northern of Thailand by Using Agricultural Production Factors

### ชื่อผู้วิจัย

ชัชชนพร เกื้อหนุน วนิดา โนบรรรเทา แวตตา พลกุล สายน้ำ อุดพั๋วย อนันต์ ทองภู

### คำสำคัญ (Key words)

ไนเตรท แคดเมียม ตะกั่ว โลหะหนัก พื้นที่ปลูกผัก

Nitrate, Cadmium, Lead, Heavy metals, Vegetable grown areas

### บทคัดย่อ

การผลิตผักในปัจจุบันไม่ได้มุ่งเน้นเพื่อการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น แต่ยังเพื่อการส่งออก การเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอกับความต้องการ จำเป็นต้องมีการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในปริมาณมาก ทำให้เกิดการสะสมของแคดเมียม ตะกั่ว และไนเตรทในดิน วัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการสะสมของแคดเมียม ตะกั่ว และไนเตรทจากการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ปลูกผักภาคกลางและภาคเหนือ โดยคัดเลือกแปลงผักคะน้า มะเขือและพริก ผักกาดเขียวปลี ผักกาดขาวปลี หน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดกาญจนบุรี 49 แปลง และจังหวัดเพชรบูรณ์ 20 แปลง รวม 69 แปลง โดยเก็บดินที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 และ 80-100 เมตร เก็บดิน 5 จุดต่อแปลง รวมเป็น 1 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 353 ตัวอย่าง

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในผักคะน้า ผักกาดเขียวปลี พริก-มะเขือ ผักกาดขาวปลี อยู่ในช่วง 8-58, 15-43, 20-178 และ 24-53 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อฤดู ตามลำดับ ส่วนหน่อไม้ฝรั่ง 32-314 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อปี ซึ่งสูงเกินกว่าคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตรคิดเป็นร้อยละ 85 ของทั้งหมด การสะสมของไนเตรทในดินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชผัก อัตราปุ๋ยที่ใส่ ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างดิน ความลึกดิน เป็นต้น ดินปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดกาญจนบุรีมีการสะสมของไนเตรทสูงกว่าดินปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยปริมาณการสะสมที่ระดับดินลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน มีค่าสูงถึง 412 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ การจัดการปุ๋ยแบบดังกล่าวนอกจากทำให้ไนเตรทและฟอสฟอรัสสะสมในดินสูง ยังอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทและฟอสเฟตในน้ำใต้ดินได้ ในด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน พบ ปริมาณตะกั่วในดินในพื้นที่ปลูกผัก จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าตั้งแต่ 7.1-72.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในจังหวัดเพชรบูรณ์ 0.48-3.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะแคดเมียมในดินในพื้นที่ปลูกผักในจังหวัดกาญจนบุรีและเพชรบูรณ์ พบในช่วง 0.01-0.81 และ nd-0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ตรวจพบในดินดังกล่าวมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (แคดเมียม 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

## Abstracts

Vegetable production not only domestic consumption but also for export, increasing yield to meet our needs have to use more agricultural production factors and cause Cd Pb and nitrate accumulation in soil. The research aimed to approach a studying on Cd Pb and nitrate accumulation on vegetable area in the central and the northern of Thailand from using agricultural production factors. The selected vegetables were Chinese kale eggplant-chili Chinese cabbage napa cabbage and asparagus in Kanchanaburi 49 farms and Petchabun province 20 farms with totally 69 farms. Soil samples were collected at each 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 and 80-100 cm depth and were taken at 5 holes to be one representative soil with totally 353 soil samples.

The result showed that nitrogen fertilizer application on Chinese kale Chinese cabbage eggplant-chili napa cabbage productions were 8-58, 15-43, 20-178 and 24-53 kg N/rai/crop respectively, while 32-314 kg N/rai/year on asparagus production. This amount of nitrogen fertilizer inputs was 85% higher than the DOA's fertilizer recommendation. Nitrate accumulation in the soil varied on types of vegetables, rate of nitrogen, time to collect soil sample and soil depth etc. The highest soil nitrate accumulation on asparagus production in Kanchanaburi province was 412 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/rai at 100 cm depth from soil surface and was higher than in Petchabun province. Fertilizer managements in these six vegetable productions not only highly increase accumulation of nitrate and phosphorus in soil but maybe cause nitrate and phosphate contamination in ground water. The contamination of heavy metals in the soil, it was found that Lead content in soil in vegetable grown areas Kanchanaburi province ranged from 7.1-72.7 mg Pb/kg and in Phetchabun province 0.48-3.80 mg Pb/kg. While cadmium in soil in vegetable grown areas in Kanchanaburi and Phetchabun were found in the range of 0.01-0.81 and nd-0.22 mg Cd/ kg, respectively. These data indicated that Cd and Pb content in soils were not exceeded the maximum allowable concentration for Cd (1-3 mg kg<sup>-1</sup>) and Pb (100-300 mg kg<sup>-1</sup>) in agricultural soil.

## บทนำ (Introduction)

ผักเป็นพืชส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งในปี 2559 มีปริมาณการส่งออกถึง 137,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3,700 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร, 2559) จะเห็นได้ว่าการเพาะปลูกในปัจจุบันไม่ได้มุ่งเน้นเพื่อการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น แต่ยังเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ การจะเพิ่มผลผลิตและรักษาคุณภาพของผลิตผลให้เพียงพอกับความต้องการของตลาด จำเป็นต้องมีการใช้ปัจจัยการผลิตหลายๆ อย่างในปริมาณมาก ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรสำคัญในปี พ.ศ. 2551-2555 ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 3.8, 3.8, 5.2, 5.6 และ 5.6 ล้านตัน ตามลำดับ และพบว่าพื้นที่ปลูกผักส่วนใหญ่ มีการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากเกินความต้องการของพืช และผักเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ทำให้เกิดการสะสมของไนเตรทในดินและแหล่งน้ำ

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่ปลูกผักกินใบในเขตอำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี พบว่า เกษตรกรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงถึง 33-52 กิโลกรัม Nต่อไร่ (ส่วนตัว) ในขณะที่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยสำหรับพืชผักกินใบ หากดินที่ปลูกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำให้ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 20 กิโลกรัม Nต่อไร่ เท่านั้น (กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, 2553) การใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในปริมาณมากเกินความต้องการของพืชต่อเนื่องระยะยาว ไนโตรเจนส่วนที่เหลืออาจ

สูญเสียไปในรูปไนโตรเจนออกไซด์ ระเหิดเป็นแก๊สแอมโมเนีย การชะล้างและสูญเสียไปในรูปปรุปรุไนเตรท โดยกระบวนการ denitrification จากผลการศึกษาพื้นที่ปลูกผักในเขตชลประทาน ไนโตรเจนที่ใส่แก่พืชจะสูญเสียโดยกระบวนการ denitrification 14-52 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียอยู่ในช่วง 95-233 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ต่อปี ปุ๋ยส่วนที่ตกค้างจะชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ นำมาซึ่งการปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน จึงพบว่าน้ำใต้ดินจากบ่อบาดาลที่อยู่ในบริเวณแปลงหนองไม้ฝรั่ง จังหวัดกาญจนบุรี ปนเปื้อนไนเตรทสูงเกินค่ามาตรฐานถึง 3 เท่า (มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร) ผลจากการที่เกษตรกรใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงถึง 7,000 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อปี (Tirado, 2007) สอดคล้องกับเกษตรกรที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง อำเภอหนองงูเหลือม จังหวัดนครปฐม มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูง 840 กิโลกรัม N ต่อเฮกตาร์ต่อปี ส่งผลให้เกิดการสะสมไนเตรทปริมาณสูงในระดับความลึกดินมากกว่า 1 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับดินแปลงอ้อยติดกัน (Phupaibul et al., 2004)

### ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

คัดเลือกแปลงผักในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกไม่น้อยกว่า 1 ไร่ ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกผักของเกษตรกรแต่ละราย โดยเก็บดินที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 และ 80-100 เมตร เก็บดิน 5 จุดต่อแปลง รวมเป็น 1 ตัวอย่าง บันทึกพิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างโดยใช้ Global Positioning System (GPS) พร้อมสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี วัสดุปรับปรุงดิน การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และประวัติการใช้ที่ดิน

วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เนื้อดิน ปริมาณไนเตรทและแอมโมเนียในตัวอย่างดินวิเคราะห์ตามวิธีของ Bremner (1960) ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน เช่น แคดเมียม ตะกั่ว วิเคราะห์ด้วยวิธี aqua regia ในหลอดย่อยตัวอย่างแบบเปิด (McGrath and Cunliffe, 1985) วัดปริมาณของโลหะหนักในดินและพืช เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

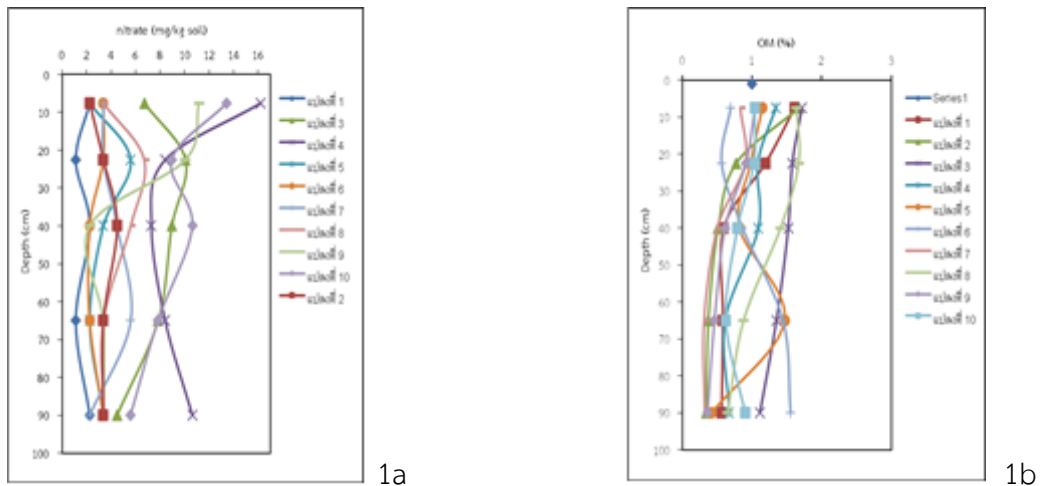
นำข้อมูลที่ได้การผลการวิเคราะห์มาประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน และไนเตรท โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินในดินเพื่อการเกษตร (Maximum Allowable Concentration, MAC) เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดขอบเขตและจัดทำพื้นที่ที่ระดับความเสี่ยง (ระดับต่ำ ปานกลางและสูง) โดยใช้แผนที่ดินเป็นแผนที่ฐาน และใช้ GIS ช่วยในการจัดทำขอบเขตพื้นที่เสี่ยง ซึ่งมาตราส่วนในการทำแผนที่จะขึ้นอยู่กับขอบเขตในการเก็บตัวอย่างในแต่ละจังหวัด (จำนวนจุดที่เก็บตัวอย่าง)

### ผลการวิจัย (Results)

#### 1. ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและปริมาณไนเตรทที่สะสมในดินในพื้นที่ปลูกผัก

จากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกผักในจังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 49 แปลง แยกเป็น หน่อไม้ฝรั่ง 21 แปลง คะน้า 10 แปลง พริก 1 แปลง มะเขือม่วง 3 แปลง ผักกาดเขียวปลี 6 แปลง ผักกาดขาวปลี 8 แปลง และจังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 20 แปลง แยกเป็น พริก 6 แปลง มะเขือ 2 แปลง หน่อไม้ฝรั่ง 12 แปลง จำนวนทั้งสิ้น 69 แปลง พบว่า การจัดการปุ๋ยแตกต่างกันออกไปตามสภาพพื้นที่และชนิดของพืชที่ปลูก โดยปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในผักคะน้า ผักกาดเขียวปลี พริก มะเขือ และผักกาดขาวปลี อยู่ในช่วง 8-58 15-43 20-178 และ 24-53 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อฤดู ตามลำดับ ส่วนหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูงถึง 32-314 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อปี (ตารางที่ 1 และ 2) ซึ่งปริมาณการใช้ปุ๋ยในพืชผักบางชนิดสูงกว่าคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร (กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา, 2553) และพบว่าปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในแปลงพืชผักที่สูงเกินกว่าคำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจของกรมวิชาการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 85 ของแปลงผักทั้งหมดที่สำรวจ

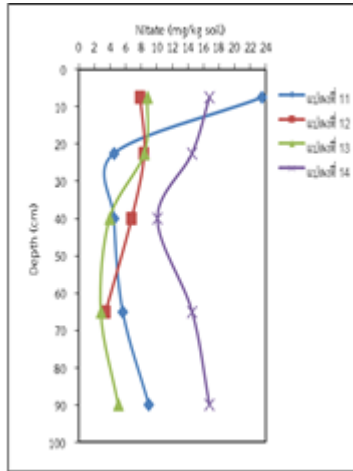
การปลูกคะน้า ไนเตรทที่สะสมในดินปลูกคะน้าไม่แตกต่างกันในแต่ละระดับชั้นความลึกดิน (ภาพที่ 1a) พบปริมาณสะสมต่ำสุดที่ 1.12 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม จนถึงสูงสุดที่ 16.24 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ปริมาณโดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละชั้นความลึกเท่ากับ 6.44 6.10 5.15 4.54 และ 4.20 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม (ตารางที่ 1) แปลงที่ 4 และ 10 พบไนเตรทสะสมสูงตลอดชั้นดิน ผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณปุ๋ยที่ใส่ (33-55 กิโลกรัม N ต่อไร่) แปลงที่ 3 และ 9 พบไนเตรทสะสมสูงที่ระดับ 0-80 และ 0-30 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณปุ๋ยที่ใส่ต่อฤดูสูง จะเห็นว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลงตามความลึกของดิน (ภาพที่ 1b) และมีรูปแบบเช่นเดียวกับปริมาณไนเตรทที่สะสมในดิน



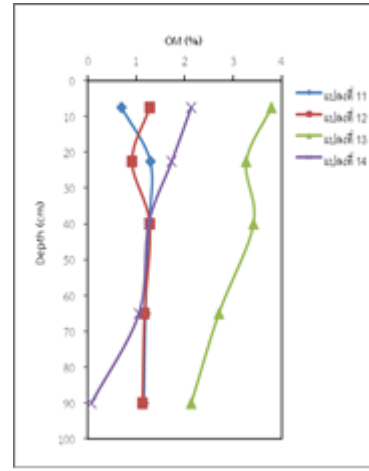
ภาพที่ 1 แสดงปริมาณไนเตรท (1a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (1b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกคะน้า จังหวัดกาญจนบุรี

การปลูกมะเขือและพริก เกษตรกรจะใส่ปุ๋ยทุกอาทิตย์ ทำให้มะเขือและพริกที่มีอายุมากมีปริมาณปุ๋ยที่ใส่ต่อฤดูสูง การสะสมของไนเตรทในดินจึงสูงตามไปด้วย โดยเฉพาะในดินบน ดังเช่นแปลงที่ 11 และ 13 (85 และ 178 กิโลกรัม N ต่อไร่ ตามลำดับ) ส่วนแปลงที่ 12 นั้นทำการเก็บตัวอย่างดิน 3 วันหลังจากใส่ปุ๋ย อาจเป็นสาเหตุทำให้พบไนเตรทสะสมสูงตลอดชั้นดิน อย่างไรก็ตาม ปริมาณสูงสุดและต่ำสุดที่พบเท่ากับ 23.52 และ 2.80 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ หรือ เฉลี่ยในแต่ละชั้นความลึกดิน 13.12 8.82 6.71 7.42 และ 8.54 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 2a) ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงตามความลึกของดิน (ภาพที่ 2b)

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมของไนเตรทจากการใช้ปุ๋ยสำหรับมะเขือและพริกของเกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์ พบค่าเฉลี่ยไนเตรทสะสมตลอดชั้นความลึกดิน 7.20 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 29.12 และ 1.12 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ การสะสมเฉลี่ยในแต่ละชั้นความลึกดิน 6.72 6.30 5.74 8.96 และ 8.80 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 3a) แปลงที่ 3 และ 8 เก็บตัวอย่างดินใกล้ระยะใส่ปุ๋ยทำให้พบการสะสมของไนเตรทสูงตลอดชั้นความลึกดิน ( 6.72-11.2 และ 11.2-22.40 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ) (ตารางที่ 2) สำหรับอินทรีย์วัตถุพบสูงสุดในชั้นดินบนและลดลงตามความลึกของดิน คือ 2.36 2.10 1.78 1.32 และ 1.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 3b)

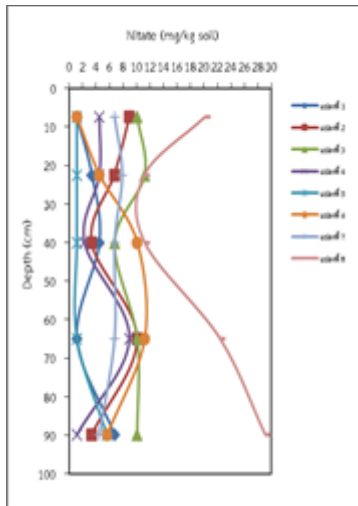


2a

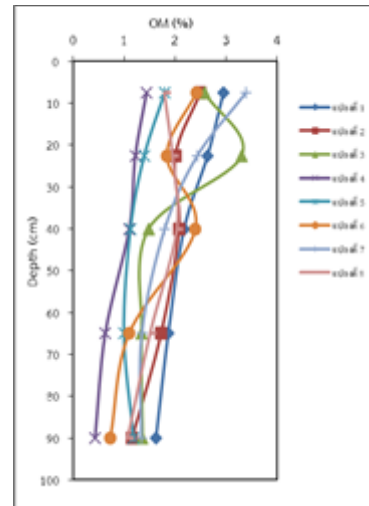


2b

ภาพที่ 2 แสดงปริมาณไนเตรท (2a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (2b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกมะเขือและพริก จังหวัดกาญจนบุรี



3a



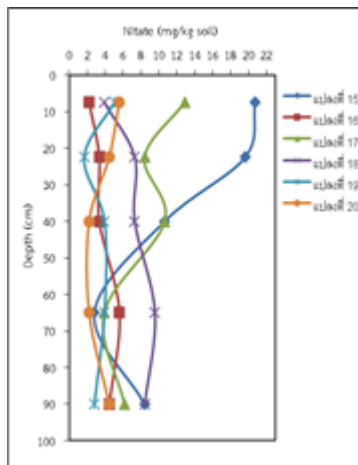
3b

ภาพที่ 3 แสดงปริมาณไนเตรท (3a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (3b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกมะเขือและพริก จังหวัดเพชรบูรณ์

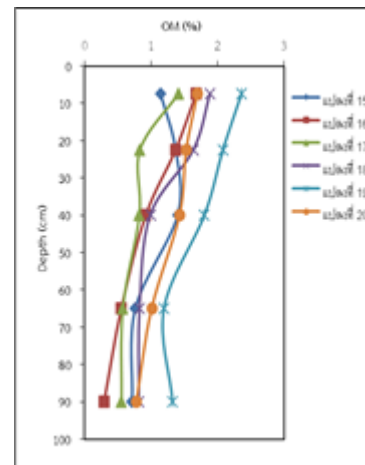
การปลูกผักกาดเขียวปลีทำให้มีไนเตรทสะสมในดินสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 20.72 และ 1.68 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ หรือเฉลี่ยจากทุกชั้นดิน 6.53 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ซึ่งไนเตรทที่สะสมในแต่ละชั้นความลึกโดยเฉลี่ย 8.40, 7.47, 6.35, 4.67 และ 5.79 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แปลงที่ 15 17 และ 18 เกษตรกรใส่ปุ๋ยก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตคอปกับทำการเก็บตัวอย่างดินใกล้ช่วงใส่ปุ๋ยจึงส่งผลให้ปริมาณไนเตรทสูงตลอดชั้นความลึก (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 4a) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยเฉลี่ยในแต่ละชั้นเท่ากับ 1.70, 1.42, 1.23, 0.82 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4b)

ค่าเฉลี่ยการสะสมของไนเตรทในดินปลูกผักกาดขาวปลีในแต่ละชั้นดิน (0-100 เซนติเมตร) เท่ากับ 7.07, 7.51, 5.39, 5.60 และ 6.58 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือโดยเฉลี่ยจากทั้งหมดเท่ากับ 6.43 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม บางแปลงมีไนเตรทสะสมตลอดชั้นดินใกล้เคียงกันและมีปริมาณสูงเพราะเกษตรกรได้ทำการใส่ปุ๋ยก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตนั่นเอง ดังเช่นแปลงที่ 22, 23, 25 และ 26 ส่วนแปลงที่ 27 และ 28 ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินใกล้

ระยะใส่ปุ๋ย ทำให้ดินชั้นบนสะสมไนเตรทสูง (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 5a) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละชั้นดิน 1.63, 1.48, 1.39, 1.04 และ 0.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 5b)

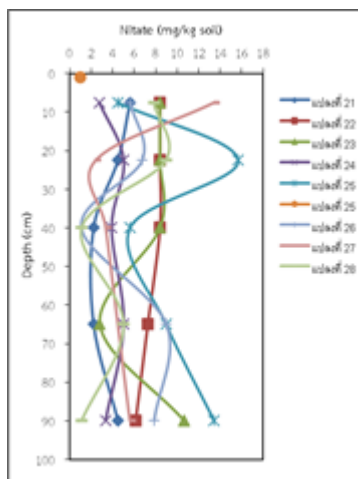


4a

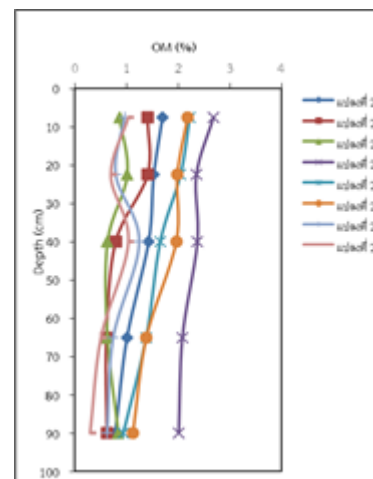


4b

ภาพที่ 4 แสดงปริมาณไนเตรท (4a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (4b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกผักกาดขาวปลี จังหวัดกาญจนบุรี



5a

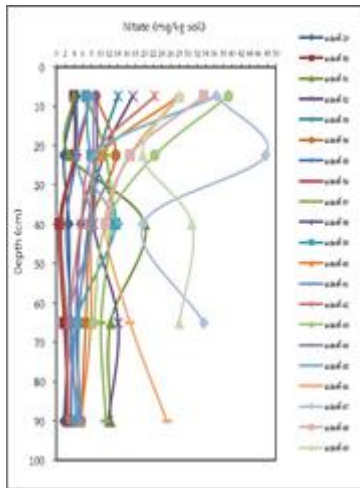


5b

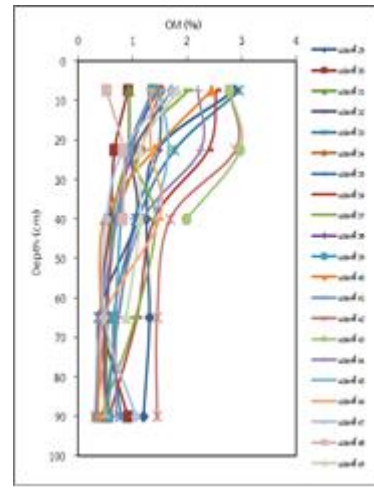
ภาพที่ 5 แสดงปริมาณไนเตรท (5a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (5b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกผักกาดขาวปลี จังหวัดกาญจนบุรี

การปลูกหน่อไม้ฝรั่งทำให้ไนเตรทสะสมในดินลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 และ 80-100 เซนติเมตร เท่ากับ 16.93, 11.52, 9.97, 9.05 และ 8.50 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือค่าเฉลี่ยทุกชั้นดิน 10.69 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม โดยชั้นดินบนมีปริมาณเฉลี่ยสะสมสูงสุดและลดลงตามความลึกของดิน ส่วนมากมีปริมาณสูงช่วงความลึก 0-50 เซนติเมตร สอดคล้องกับ Lopez-Bellido *et al.*, (2013) รายงานว่าไนเตรทสะสมสูงที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร แต่หากแปลงใดมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงจะพบว่าการสะสมของไนเตรทสูงตลอดชั้นดินเช่นกัน โดยปริมาณเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดของไนเตรทในดิน 47.6 และ 0.56 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม โดยแปลงดังกล่าวมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 314 และ 32 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อปี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนสูงมากเกินไปเป็นสาเหตุทำให้มีการตกค้างของไนเตรทในดินสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 1 และภาพที่ 6a) สำหรับอินทรีย์วัตถุพบสูงสุดในชั้นดินบนและลดลงตามความลึกของดิน (ภาพที่ 6b)





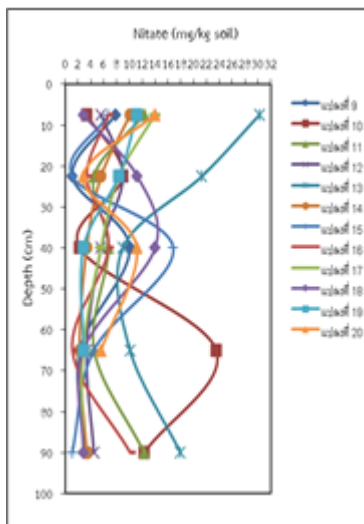
6a



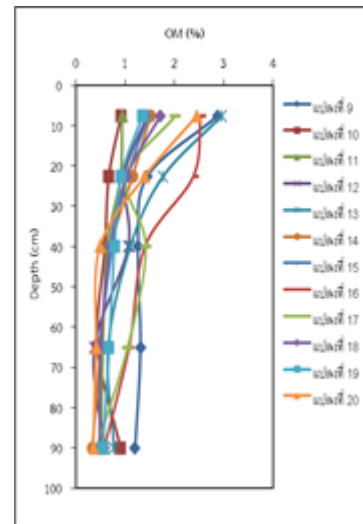
6b

ภาพที่ 6 แสดงปริมาณไนเตรท (6a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (6b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกผักหน่อไม้ฝรั่ง จังหวัดกาญจนบุรี

ส่วนแปลงปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ พบการสะสมของไนเตรทโดยเฉลี่ยสูงที่ระดับ 0-50 เซนติเมตร (10.41, 7.37 และ 8.31 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ) ซึ่งปริมาณสูงสุดและต่ำสุดที่สะสมเท่ากับ 30.24 และ 1.12 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แปลงที่ 10 และ 14 มีอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อปีสูง แต่ภาวน้ำท่วมซึ่งแปลงก่อนการเก็บตัวอย่างดิน อาจก่อให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในดินชั้นบน แปลงที่ 13 เกษตรกรใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลหมู อาจเป็นสาเหตุทำให้มีการสะสมไนเตรทในดินสูงตลอดชั้นดิน ส่วนแปลงที่ 17 ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจากใส่ปุ๋ยเคมีเพียง 1 วัน (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 7a) อย่างไรก็ตาม อินทรีย์วัตถุในดินมีปริมาณสูงและลดต่ำลงตามความลึกของดิน (1.87, 1.55, 1.37, 1.03 และ 0.87 เปอร์เซ็นต์) (ภาพที่ 7b)



7a



7b

ภาพที่ 7 แสดงปริมาณไนเตรท (7a) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (7b) ที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูกผักหน่อไม้ฝรั่ง จังหวัดกาญจนบุรี

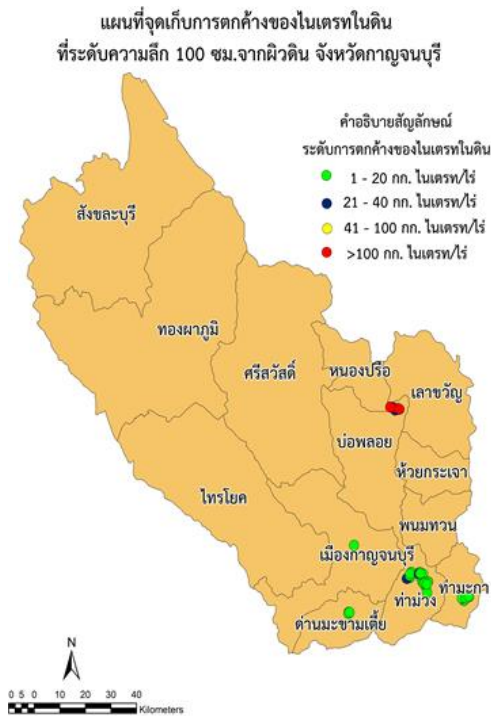
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมของไนเตรทกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน มีค่า  $R^2=0.8137$  มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งตามสมการ  $Y=4.2022x^2-7.4072x+9.4816$  (ตารางที่ 3) Meisinger and Delgado (2002) รายงานว่า การสูญเสียไนโตรเจนโดยการชะละลายในพื้นที่ทำการเกษตรแบบ conventional

agricultural production มีค่าต่ำกว่า 10-30% แต่หากระบบการผลิตทำในดินเนื้อหยาบอาจสูญเสียไนโตรเจนสูงถึง 30% (Sapek, 2004) โดยภาพรวมของการสะสมไนเตรทในดินปลูกพืชผักในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าการสะสมของไนเตรทในดินลดลงตามความลึกของดินและตามปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินที่ลดต่ำลง และยังพบว่าปริมาณของไนเตรทที่สะสมมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยมีค่า  $R^2=0.8986$  มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตามสมการ  $Y=3.2071x+3.1260$  (ตารางที่ 3) ขณะเดียวกัน ก็พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของไนเตรทที่สะสมกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่ปลูกผักจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีค่า  $R^2=0.7681$  แต่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งตามสมการ  $Y=3.8587x^2-10.605x+14.183$  (ตารางที่ 3) การสะสมของไนเตรทในดินยังขึ้นอยู่กับการจัดการปัจจัยการผลิตของเกษตรกร อาทิ ความลึกของดิน อัตราปุ๋ยที่ใส่ ช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างดิน เป็นต้น

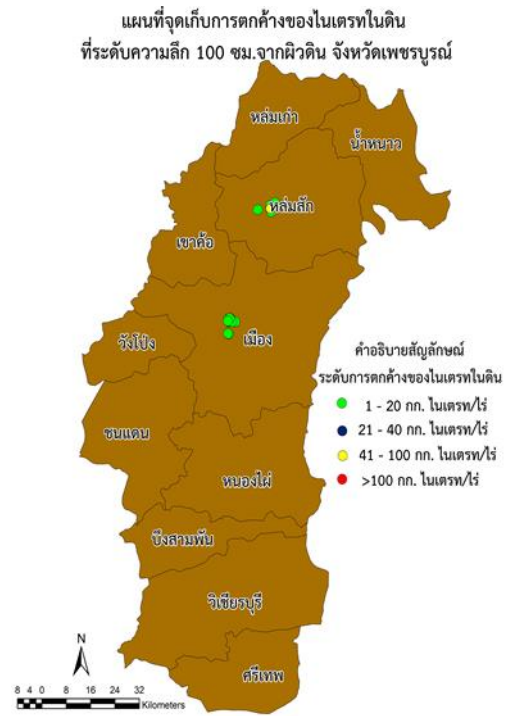
## 2. การตกค้างของไนเตรทที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน

หากพิจารณาการตกค้างของไนเตรทในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ปลูกผักคะน้า พริก มะเขือ ผักกาดเขียวปลี ผักกาดขาวปลี และ หน่อไม้ฝรั่ง ที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งถือว่าเป็นจุดเสี่ยงที่อาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำใต้ดินได้ หากมีการชะละลายลงลึกไปสู่ชั้นดังกล่าว ดังนั้นผลจากการสำรวจสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรจากการปลูกผักของเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว เนื่องจาก Walvoord *et al.*, (2003) รายงานว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของไนเตรทจะถูกชะลงดินในระดับลึกกว่า 1 เมตร โดยเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำเป็นแผนที่แสดงการตกค้างของไนเตรทสามารถแบ่งระดับของการตกค้างออกเป็น 4 ระดับ คือ 1 2 3 และ 4 ซึ่งมีไนเตรทอยู่ในช่วง 1-20, 21-40, 41-100 และ >100 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ ตามลำดับ (เนื่องจากไม่มีค่ามาตรฐานระดับการตกค้างของไนเตรทในดิน) โดยในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการตกค้างในระดับที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 75.5, 12.2, 2.0 และ 12.2 ของทั้งหมด ปริมาณไนเตรทที่ตกค้างสูงสุด คือ 43.01-412.16 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ พบในแปลงปลูกหน่อไม้ฝรั่งที่ระดับลึก 100 เซนติเมตร ยกเว้นแปลงที่ 45 และ 48 เก็บดินที่ระดับ 30-50 เซนติเมตร แปลงที่ 49 เก็บดินที่ระดับ 50-80 เซนติเมตร เพราะถัดจากชั้นเหล่านี้ลงไปเป็นชั้นกรวดหิน ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินได้ (ภาพที่ 8) จะเห็นว่าปริมาณไนเตรทที่ตกค้างสอดคล้องกับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (ตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยในพืชผักบางชนิดสูงกว่าอัตราการใส่ปุ๋ยเฉลี่ยของประเทศและ 5 เปอร์เซ็นต์ของปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ที่เหลือจะสูญเสียจากการชะล้างของดิน น้ำ และอากาศ (Phupaibul *et al.*, 2004) Donner and Kucharik (2003) รายงานว่า ไนโตรเจนสูญเสียโดยการชะละลายสูงถึง 53 เปอร์เซ็นต์ Kabala *et al.*, (2017) กล่าวว่า ปริมาณไนเตรทที่ระดับดินลึก 50-75 เซนติเมตร สูง (59.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) กว่าระดับดินลึก 25-50 เซนติเมตร (37.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อาจเพราะชั้นนี้มีการหยั่งรากพืชน้อยหรือไม่มี ทำให้พืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารไนโตรเจนไปใช้ได้

สำหรับดินปลูกผักในจังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถจัดได้เป็น 3 ระดับ ตามปริมาณของไนเตรทที่สะสมในดิน โดยระดับ 1 2 และ 3 คิดเป็น 85.0, 10.0 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด (ภาพที่ 9) โดยมีปริมาณต่ำสุด-สูงสุดอยู่ในช่วง 2.15- 55.91 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ การสะสมสูงสุดพบในแปลงปลูกมะเขือ รองลงมาเป็นหน่อไม้ฝรั่ง (ตารางที่ 5) การปลูกพืชผักเพื่อการค้าในจีนปริมาณไนเตรทที่ระดับดินลึก 0-400 เซนติเมตร มีค่าสูงสุดถึง 196 .8 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่ การชะละลายของไนเตรทในดินทรายสามารถได้ลึกถึง 200 เซนติเมตร แต่การชะละลายของ ไนเตรทในดินเหนียวได้ลึก 100 เซนติเมตร (Liu *et al.*, 1998) แต่ Zhang *et al.*, (2004) รายงานว่า พื้นที่ปลูกผักในประเทศจีนพบไนเตรทสะสมที่ระดับลึก 0-100 เซนติเมตร 68.8-129.1 กิโลกรัม N ต่อไร่ และ 217.4 กิโลกรัม N ต่อไร่ การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพสามารถลดการชะละลายของไนเตรทจากพื้นที่การเกษตรได้ (Wang and Li, 2003.)



ภาพที่ 8 แผนที่แสดงการตกค้างของไนเตรทในดิน  
ที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรจาก  
ผิวดินในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี



ภาพที่ 9 แผนที่แสดงการตกค้างของไนเตรทในดิน  
ที่ระดับความลึก 100 เซนติเมตรจาก  
ผิวดินในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์

### 3. ปริมาณโลหะหนักที่สะสมในดินในพื้นที่ปลูกผักที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตรจากผิวดิน

จากผลวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูกผักคะน้า มะเขือ ผักกาดเขียวปลีและหน่อไม้ฝรั่ง ในในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ เช่น แคดเมียม มีค่าตั้งแต่ 0.01-0.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 6) ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบดังกล่าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของแคดเมียม (1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป (CEC, 1993) แต่เมื่อเทียบกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Zarcinas *et al.*, 2004) พบว่า เกือบตัวอย่างดินที่สำรวจมีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานดังกล่าว (ตารางที่ 1 และ) ทั้งนี้ระดับเกณฑ์พื้นฐานเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนระยะแรก ซึ่งระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องนำมาตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของมนุษย์หรือไม่ หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่ สำหรับปริมาณตะกั่วในดิน พบในช่วง 7.1-72.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป จะเห็นว่าดินปลูกผักในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย (ตารางที่ 6)

ส่วนในพื้นที่ปลูกพริก มะเขือและหน่อไม้ฝรั่งในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ พบปริมาณแคดเมียมตั้งแต่ไม่สามารถตรวจพบถึง 0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคดเมียมในดินที่ตรวจพบดังกล่าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของแคดเมียม (1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป เช่นเดียวกับปริมาณตะกั่วในดิน ที่พบในช่วง 0-48-3.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณที่ตรวจพบในดินดังกล่าวกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของตะกั่วในดินของประเทศไทย (55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาตรฐานที่อนุญาต

ให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป จะเห็นว่าดินปลูกผักในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์อยู่ในเกณฑ์สะอาด

#### 4. ปริมาณธาตุอาหารในดินในพื้นที่ปลูกผัก

ดินปลูกพืชผักในจังหวัดกาญจนบุรีมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80, และ 80-100 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 4.5-8.4, 5.4-8.9, 5.9-8.6, 5.5-8.7 และ 6.3-8.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ส่วนดินปลูกพืชผักในจังหวัดเพชรบูรณ์มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในระดับดังกล่าวอยู่ในช่วง 5.9-8.5, 6.1-8.6, 5.2-8.6, 5.3-8.3 และ 5.7-8.2 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จะเห็นว่าดินชั้นบน (0-15 เซนติเมตร) มีค่าตั้งแต่กรดจัดถึงเป็นด่างปานกลางในช่วง 4.5-8.5 จึงจำเป็นต้องมีการปรับด้วยปูนขาวในระดับต่างๆอย่างเหมาะสม สำหรับดินต่างจำเป็นต้องเลือกใช้ชนิดของปุ๋ยให้ถูกต้อง การตกค้างของฟอสฟอรัสในดินพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ระดับความลึก 0-15, 15-30, 30-50, 50-80 และ 80-100 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 25-1,538, 16-1,078, 10-608, 5-297, 3-401 และ 17-459, 15-408, 3-477, 1-162, 1-243 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 10 และ 11) ขณะที่การตกค้างของโพแทสเซียมในแต่ละชั้นลึกดินเท่ากับ 141-825, 65-660, 45-304, 55-665, 45-428, และ 87-683, 82-492, 57-307, 52-237, 57-212 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 10 และ 11) จะเห็นว่า ฟอสฟอรัสที่ตกค้างในดินสูงมาก ดังนั้นควรมีการแนะนำการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกพืชผักทั้ง 5 ชนิดแก่เกษตรกรให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้ปุ๋ยได้ในปริมาณที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

#### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

1. ปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่ปลูกผักในจังหวัดกาญจนบุรี และเพชรบูรณ์ มีการปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียมในดินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป แต่พบว่าแคดเมียมในดินปลูกผักในจังหวัดกาญจนบุรี มีค่าเกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งระดับเกณฑ์พื้นฐานดังกล่าวเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนระยะแรก และระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่ยังคงจำเป็นต้องตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่
2. ปริมาณการสะสมของไนเตรทในดินแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชผักที่ปลูก และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ปุ๋ย ซึ่งการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง มีการใช้ปุ๋ยมากกว่าพืชผักชนิดอื่น จึงทำให้พื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดกาญจนบุรีมีการสะสมของไนเตรทสูงกว่าพื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยปริมาณการสะสมที่ระดับดินลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน สูงถึง 412 กิโลกรัม  $\text{NO}_3^-$  ต่อไร่
3. การจัดการปุ๋ยของเกษตรกรมีผลทำให้ฟอสฟอรัสสะสมในดินปลูกผักสูงมากและการสะสมมีปริมาณสูงในทุกชั้นดิน มีค่าตั้งแต่ 1-1,538 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของฟอสเฟตในน้ำใต้ดินได้

**ตารางที่ 1 ปริมาณไนเตรทและอินทรีย์วัตถุในดินปลูกคละน้ำ พริก-มะเขือ ผักกาดเขียวปลี ผักกาดขาวปลีและหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี**

แปลงที่	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก.N/ไร่)	ปริมาณไนเตรทสะสมในดิน (มก./ดิน 1 กก.)					ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)				
			0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	คละน้ำ	58	2.24 (L)	1.12 (L)	2.24 (L)	1.12 (L)	2.24 (L)	1.61	1.19	0.59	0.58	0.56
2	คละน้ำ	57	2.24 (SL)	3.36 (SL)	4.48 (L)	3.36 (L)	3.36 (L)	1.67	0.77	0.51	0.37	0.34
3	คละน้ำ	33	6.72 (L)	10.08 (L)	8.96 (L)	7.84 (L)	4.48 (L)	1.72	1.58	1.52	1.35	1.11
4	คละน้ำ	55	16.24 (SL)	8.40 (CL)	7.28 (L)	8.4 (CL)	10.64 (CL)	1.34	1.08	1.09	0.61	0.67
5	คละน้ำ	12	2.24 (L)	5.60 (L)	3.36 (L)	2.24 (CL)	3.36 (L)	1.15	0.98	0.82	1.47	0.42
6	คละน้ำ	8	3.36 (CL)	3.36 (CL)	2.24 (CL)	2.24 (L)	3.36 (CL)	0.69	0.56	0.86	3.44	1.55
7	คละน้ำ	39	3.36 (L)	3.36 (L)	4.48 (L)	5.60 (L)	2.24 (CL)	0.83	0.90	0.5	0.31	0.32
8	คละน้ำ	21	3.36 (L)	6.72 (CL)	5.6 (L)	3.36 (CL)	3.36 (CL)	1.64	1.67	1.41	0.88	0.65
9	คละน้ำ	43	11.2 (L)	10.08 (L)	2.24 (CL)	3.36 (L)	3.36 (CL)	1.04	0.91	0.61	0.46	0.36
10	คละน้ำ	45	13.44 (CL)	8.96 (L)	10.64 (L)	7.84 (L)	5.60 (CL)	1.04	1.03	0.79	0.62	0.90
11	มะเขือ	85	23.52 (L)	4.48 (CL)	4.48 (CL)	5.60 (CL)	8.96 (L)	0.70	1.29	1.27	1.19	1.16
12	มะเขือ	21	16.8 (CL)	14.56 (C)	10.08 (CL)	14.56 (C)	16.80 (C)	2.13	1.73	1.25	1.05	0.07
13	มะเขือ	178	8.80 (L)	8.40 (CL)	3.92 (CL)	2.80 (CL)	5.04 (CL)	3.79	3.27	3.42	2.70	2.13
14	พริก	20	3.36 (CL)	7.84 (SCL)	8.36 (CL)	6.72 (CL)	3.36 (C)	1.28	0.91	1.28	1.17	1.13
15	กาดเขียวปลี	38	20.72 (CL)	19.60 (C)	10.64 (C)	7.80 (L)	8.40 (SL)	1.14	1.37	1.40	0.76	0.71
16	กาดเขียวปลี	41	2.24 (SL)	3.36 (SL)	3.36 (SL)	5.60 (L)	4.48 (L)	1.68	1.37	0.92	0.55	0.29
17	กาดเขียวปลี	31	12.88 (L)	8.40 (L)	10.64 (L)	3.92 (CL)	6.16 (CL)	1.41	0.83	0.82	0.57	0.55
18	กาดเขียวปลี	29	3.92 (CL)	7.28 (L)	7.28 (C)	9.52 (C)	8.40 (CL)	1.89	1.64	0.99	0.83	0.82
19	กาดเขียวปลี	35	8.80 (SL)	9.52 (SL)	6.16 (L)	1.68 (L)	3.92 (L)	1.85	1.68	1.46	0.99	0.85
20	กาดเขียวปลี	43	5.04 (L)	1.68 (L)	3.92 (SCL)	3.92 (SCL)	2.80 (SCL)	2.36	2.08	1.80	1.19	1.32
21	กาดขาวปลี	15	5.60 (L)	4.48 (CL)	2.24 (CL)	2.24 (CL)	4.48 (CL)	1.70	1.53	1.43	1.01	0.78
22	กาดขาวปลี	24	8.40 (L)	8.40 (L)	8.40 (CL)	7.28 (CL)	6.16 (CL)	1.41	1.41	0.79	0.61	0.62
23	กาดขาวปลี	32	8.40 (SL)	8.40 (L)	8.40 (L)	9.80 (L)	10.64 (L)	0.86	1.01	0.63	0.63	0.84
24	กาดขาวปลี	31	2.80 (L)	5.04 (L)	3.92 (CL)	5.04 (CL)	3.36 (CL)	2.68	2.35	2.37	2.08	2.01
25	กาดขาวปลี	27	4.48 (L)	15.68 (L)	8.60 (L)	8.96 (L)	13.44 (L)	2.22	2.04	1.65	1.38	0.94
26	กาดขาวปลี	53	5.60 (CL)	6.72 (L)	10.08 (SCL)	8.96 (CL)	7.84 (CL)	2.18	1.98	1.96	1.38	1.12
27	กาดขาวปลี	32	13.44 (L)	2.40 (L)	3.36 (L)	4.48 (L)	5.60 (L)	0.96	0.79	1.25	0.74	0.62

หมายเหตุ: L= Loamy, SL-sandy loam, CL-Clay loam, SCL-sandy clay loam, C-clay,

ตารางที่ 1 (ต่อ)

แปลงที่	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก.N/ไร่)	ปริมาณไนโตรเจนสะสมในดิน (มก./ดิน 1 กก.)					ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)				
			0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
28	กาดขาวปลี	24	7.84 (L)	8.96 (L)	1.12 (CL)	5.04 (L)	1.12 (CL)	1.03	0.69	1.03	0.50	0.29
29	หน่อไม้ฝรั่ง	93	4.48 (L)	1.68 (L)	2.80 (L)	2.80 (CL)	1.68 (CL)	2.88	1.45	1.26	1.31	1.20
30	หน่อไม้ฝรั่ง	32	3.92 (SL)	3.92 (L)	0.56 (L)	1.68 (L)	2.80 (L)	0.92	0.67	0.59	0.44	0.91
31	หน่อไม้ฝรั่ง	81	3.92 (L)	2.80 (L)	20.16 (CL)	12.32 (L)	12.32 (CL)	0.94	0.91	0.63	0.54	0.50
32	หน่อไม้ฝรั่ง	220	17.36 (L)	10.64 (SL)	8.40 (L)	14.00 (L)	11.76 (CL)	1.45	0.98	1.06	0.37	0.57
33	หน่อไม้ฝรั่ง	252	14.00 (L)	9.52 (L)	7.28 (L)	5.04 (CL)	5.04 (CL)	2.96	1.77	1.10	0.65	0.77
34	หน่อไม้ฝรั่ง	188	8.96 (SL)	13.44 (SL)	7.84 (SL)	6.72 (SCL)	5.60 (SCL)	1.51	1.15	0.72	0.51	0.34
35	หน่อไม้ฝรั่ง	111	4.48 (SL)	4.48 (SL)	2.24 (L)	3.36 (L)	3.36 (L)	1.52	1.47	1.04	0.74	0.47
36	หน่อไม้ฝรั่ง	99	7.84 (L)	4.48 (L)	1.12 (CL)	2.24 (C)	2.24 (CL)	2.54	2.39	1.40	1.08	0.57
37	หน่อไม้ฝรั่ง	240	6.72 (CL)	11.20 (CL)	12.32 (CL)	10.08 (CL)	11.20 (CL)	2.02	1.02	1.42	1.05	0.41
38	หน่อไม้ฝรั่ง	164	8.96 (L)	8.96 (CL)	5.60 (CL)	4.48 (CL)	5.60 (CL)	1.71	1.03	0.68	0.50	0.48
39	หน่อไม้ฝรั่ง	112	6.72 (L)	7.84 (L)	13.44 (CL)	4.48 (CL)	4.48 (CL)	1.36	0.92	0.78	0.67	0.54
40	หน่อไม้ฝรั่ง	112	28.00 (SL)	10.08 (L)	7.84 (CL)	7.84 (L)	5.60 (L)	2.45	1.40	0.49	0.41	0.36
41	หน่อไม้ฝรั่ง	270	7.84 (CL)	4.48 (CL)	7.84 (CL)	4.48 (CL)	5.60 (CL)	1.39	0.95	0.72	0.41	0.32
42	หน่อไม้ฝรั่ง	80	22.40 (SCL)	8.40 (SCL)	5.60 (SCL)	2.00 (SCL)	2.80 (SCL)	2.78	2.89	1.69	1.45	1.46
43	หน่อไม้ฝรั่ง	80	39.20 (L)	22.40 (L)	11.20 (L)	8.40 (SCL)	ชั้นกรวด	2.78	2.97	1.99	1.50	ชั้นกรวด
44	หน่อไม้ฝรั่ง	256	8.40 (SL)	8.40 (SL)	8.40 (SCL)	2.80 (SCL)	5.60 (SCL)	2.20	2.25	1.20	0.73	0.70
45	หน่อไม้ฝรั่ง	272	36.93 (SL)	8.40 (SL)	14.0 (SL)	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	1.50	1.66	1.40	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
46	หน่อไม้ฝรั่ง	270	28.00 (SL)	16.8 (SCL)	11.2 (SCL)	16.80 (SCL)	25.2 (SCL)	1.34	1.33	1.49	0.47	0.49
47	หน่อไม้ฝรั่ง	314	36.40 (SL)	47.60 (SL)	19.60 (SL)	33.60 (SCL)	33.6 (SCL)	1.73	0.83	0.52	0.48	1.06
48	หน่อไม้ฝรั่ง	103	33.60 (L)	16.80 (L)	11.20 (CL)	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	0.52	0.82	0.82	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
49	หน่อไม้ฝรั่ง	160	28.00 (L)	19.60 (L)	30.80 (CL)	28.00 (CL)	ชั้นกรวด	1.82	1.14	1.14	0.88	ชั้นกรวด

หมายเหตุ: L= Loamy, SL-sandy loam, CL-Clay loam, SCL-sandy clay loam, C-clay,

ตารางที่ 2 ปริมาณไนเตรทและอินทรีย์วัตถุในดินปลูกพริก มะเขือ และหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์

แปลงที่	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ (กก.N/ไร่)	ปริมาณไนเตรทสะสมในดิน (มก./ดิน 1 กก.)					ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)				
			0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	พริกข่อ	30	1.12 (C)	3.36 (SiC)	4.48 (SiC)	1.12 (SiC)	6.72 (SiC)	2.95	2.64	2.18	1.87	1.63
2	พริกชี้ฟ้า	28	8.96 (C)	6.72 (C)	3.36 (C)	10.08 (C)	3.36 (C)	2.50	2.01	2.08	1.73	1.16
3	พริกข่อ	68	10.08 (C)	11.20 (C)	6.72 (C)	10.08 (C)	10.08 (C)	2.58	3.31	1.48	1.34	1.36
4	พริก	138	4.48 (L)	4.48 (CL)	2.24 (CL)	8.96 (CL)	1.12 (SCL)	1.44	1.22	1.10	0.63	0.43
5	พริก	26	1.12 (CL)	4.48 (CL)	10.08 (CL)	11.20 (CL)	5.60 (CL)	1.80	1.40	1.13	1.00	1.19
6	พริก	29	1.12 (C)	4.48 (C)	10.08 (C)	11.20 (C)	5.60 (C)	2.42	1.84	2.40	1.10	0.73
7	มะเขือ	76	6.72 (SiC)	7.84 (C)	6.72 (SiCL)	6.72 (SiCL)	4.48(SiC)	3.39	2.44	1.80	1.35	1.34
8	มะเขือ	69	20.16 (CL)	11.20 (C)	11.20 (SiCL)	22.40 (SiC)	29.12 (SiC)	1.79	1.96	2.04	1.51	1.07
9	หน่อไม้ฝรั่ง	34	7.84 (CL)	1.12 (CL)	10.08 (CL)	2.24 (CL)	3.36 (CL)	1.20	1.25	1.03	0.89	0.44
10	หน่อไม้ฝรั่ง	90	3.36 (SiCL)	8.96 (SiC)	2.24 (C)	23.52 (C)	12.32 (C)	0.91	1.68	1.24	1.18	0.95
11	หน่อไม้ฝรั่ง	80	12.32 (CL)	4.48 (CL)	6.72 (CL)	4.48 (CL)	3.36 (SCL)	1.95	0.51	0.75	0.63	0.39
12	หน่อไม้ฝรั่ง	84	5.60 (SiC)	8.96 (SiC)	5.60 (SiC)	3.36 (CL)	4.48 (CL)	2.15	2.35	1.77	1.35	1.18
13	หน่อไม้ฝรั่ง	124	30.24 (SL)	21.28 (L)	8.96 (SCL)	10.08 (SCL)	17.92 (SCL)	2.14	1.45	1.16	0.93	0.53
14	หน่อไม้ฝรั่ง	192	10.08 (SiCL)	5.60 (SiCL)	3.36 (CL)	2.24 (CL)	3.36 (CL)	2.72	2.06	1.43	1.22	1.04
15	หน่อไม้ฝรั่ง	86	6.72 (CL)	1.12 (CL)	16.80 (SCL)	4.48 (SCL)	1.12 (SCL)	2.07	1.31	1.17	1.22	1.10
16	หน่อไม้ฝรั่ง	86	6.72 (SCL)	3.36 (SCL)	6.72 (SCL)	1.12 (SCL)	10.08 (L)	0.74	0.65	0.74	0.60	0.72
17	หน่อไม้ฝรั่ง	190	14.00 (SiCL)	8.40 (CL)	5.60 (SiCL)	2.80 (SiCL)	2.80 (C)	2.31	2.45	3.46	1.79	1.05
18	หน่อไม้ฝรั่ง	136	2.80 (CL)	11.20 (C)	14.00 (C)	2.80 (C)	2.80 (C)	2.40	2.01	1.82	0.93	0.86
19	หน่อไม้ฝรั่ง	90	11.20 (C)	11.20 (SiCL)	8.40 (C)	2.80 (CL)	2.80 (CL)	2.16	1.80	1.31	1.02	1.29
20	หน่อไม้ฝรั่ง	96	14.00 (SCL)	2.20 (SCL)	11.20 (SC)	5.60 (C)	ชั้นกรวด	1.63	1.05	0.56	0.61	ชั้นกรวด

หมายเหตุ: C- clay, L= Loamy, SL-sandy loam, CL-Clay loam, SCL-sandy clay loam, C-clay, SiC-silt clay, SiCL-silty clay loam,

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนเตรทกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกพืชผักที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดเพชรบูรณ์

	จ.กาญจนบุรี					จ.เพชรบูรณ์	
	ไนเตรท (มก./กก. ดิน)					ไนเตรท (มก./กก. ดิน)	
	คะน้ำ	มะเขือ-พริก	ผักกาดเขียว ปลี	ผักกาดขาวปลี	หน่อไม้ฝรั่ง	มะเขือ-พริก	หน่อไม้ฝรั่ง
อินทรีย์วัตถุ (%)	$R^2=0.7066$ $Y=3.519x+1.4362$	$R^2=0.7204$ $Y=22.794x^2-$ $66.769x+54.991$	$R^2=0.5498$ $Y=5.3395x$	$R^2=0.3634$ $Y=7.51x^2-$ $17.688x+16.611$	$R^2=0.8947$ $Y=6.6531x+3.5962$	$R^2=0.5382$ $Y=2.607x^2+11.396+18.801$	$R^2=0.8137$ $Y=4.2022x^2+7.4072+9.4816$



ตารางที่ 4 ปริมาณไนเตรทที่สะสมในดินระดับความลึก 100 เซนติเมตร จากผิวดิน ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

แปลง ที่	พิกัด	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก./ไร่)	เนื้อดิน	ไนเตรท (กก./ไร่)	แปลงที่	พิกัด	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก./ไร่)	เนื้อดิน	ไนเตรท (กก./ไร่)
1	47P 0569200 1546333	คะน้า	58	L	4.30	30	47P 0541202 1533321	หน่อไม้ฝรั่ง	32	L	5.38
2	47P 0564867 1546014	คะน้า	57	L	6.45	31	47P 0586251 1538672	หน่อไม้ฝรั่ง	81	CL	23.65
3	47P 0569131 1546115	คะน้า	33	L	8.60	32	47P 0586237 1538607	หน่อไม้ฝรั่ง	220	CL	22.58
4	47P 0563654 1545672	คะน้า	55	CL	20.43	33	47P 0586432 1538718	หน่อไม้ฝรั่ง	252	CL	9.68
5	47P 0570264 1544041	คะน้า	12	L	6.45	34	47P 0587977 1539007	หน่อไม้ฝรั่ง	188	SCL	13.44
6	47P 0571114 1542672	คะน้า	8	CL	6.45	35	47P 0585537 1538329	หน่อไม้ฝรั่ง	111	L	6.45
7	47P 0565345 1547928	คะน้า	39	CL	4.30	36	47P 0586757 1538586	หน่อไม้ฝรั่ง	99	CL	4.30
8	47P 0564794 1546762	คะน้า	21	CL	6.45	37	47P 0587213 1539587	หน่อไม้ฝรั่ง	240	CL	21.50
9	47P 0565447 1548002	คะน้า	43	CL	6.45	38	47P 0587781 1539244	หน่อไม้ฝรั่ง	164	CL	10.75
10	47P 0564933 1547449	คะน้า	45	CL	10.75	39	47P 0585172 1538494	หน่อไม้ฝรั่ง	112	CL	8.60
11	47P 0540915 1533367	มะเขือ	85	L	17.20	40	47P 0586757 1538494	หน่อไม้ฝรั่ง	112	L	10.75
12	47P 0541145 1533219	มะเขือ	21	CL	32.26	41	47P 0587929 1539114	หน่อไม้ฝรั่ง	270	CL	10.75
13	47P 0540752 1532850	มะเขือ	178	CL	9.68	42	47P 0560182 1608154	หน่อไม้ฝรั่ง	80	SCL	9.86
14	47P 0542949 1557909	พริก	20	CL	6.45	43	47P 0560384 1607814	หน่อไม้ฝรั่ง	80	SCL	43.01
15	47P 0571910 1544503	ผักกาดเขียวปลี	38	SiL	16.13	44	47P 0559047 1607485	หน่อไม้ฝรั่ง	256	SCL	37.63
16	47P 0570045 1547338	ผักกาดเขียวปลี	41	L	8.60	45	47P 0558295 1608509	หน่อไม้ฝรั่ง	272	SiL	116.48
17	47P 0571560 1540477	ผักกาดเขียวปลี	31	L	11.85	46	47P 0557212 1608739	หน่อไม้ฝรั่ง	270	SCL	249.98
18	47P 0571548 1544126	ผักกาดเขียวปลี	29	CL	16.13	47	47P 0557147 1608663	หน่อไม้ฝรั่ง	314	SCL	387.07
19	47P 0569779 1544415	ผักกาดเขียวปลี	35	SCL	6.72	48	47P 0560746 1607852	หน่อไม้ฝรั่ง	103	CL	146.94
20	47P 0570169 1543952	ผักกาดเขียวปลี	43	CL	8.60	49	47P 0560646 1607995	หน่อไม้ฝรั่ง	160	CL	412.16
21	47P 0568656 1547994	ผักกาดขาวปลี	15	L	7.53						
22	47P 0571901 1544467	ผักกาดขาวปลี	24	CL	11.83						
23	47P 0568310 1547458	ผักกาดขาวปลี	32	L	20.43						
24	47P 0540745 1532809	ผักกาดขาวปลี	31	CL	6.45						
25	47P 0568951 1547560	ผักกาดขาวปลี	27	L	13.44						
26	47P 0570681 1544131	ผักกาดขาวปลี	53	CL	7.84						
27	47P 0571560 1540477	ผักกาดขาวปลี	32	CL	5.60						
28	47P 0571492 1543613	ผักกาดขาวปลี	24	CL	1.12						
29	47P 0585987 1537542	หน่อไม้ฝรั่ง	93	CL	3.23						

ตารางที่ 5 ปริมาณไนเตรทที่สะสมในดินระดับความลึก 100 เซนติเมตร จากผิวดิน ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์

แปลงที่	พิกัด	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก.N/ไร่)	เนื้อดิน	ไนเตรท (กก./ไร่)	แปลงที่	พิกัด	ชนิดพืช	ปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (กก.N/ไร่)	เนื้อดิน	ไนเตรท (กก./ไร่)
1	47Q 0737805 1850893	พริก	30	SiC	12.90						
2	47Q 0733809 1849642	พริก	28	CL	6.45						
3	47Q 0739534 1851736	พริก	68	CL	19.35						
4	47Q 0738271 1849879	พริก	138	SCL	2.15						
5	47Q 0738191 1848997	พริก	26	CL	10.75						
6	47Q 0737910 1850006	พริก	29	CL	10.75						
7	47Q 0738952 1850467	มะเขือ	76	SiC	8.60						
8	47Q 0737993 1850020	มะเขือ	69	SiC	55.91						
9	47Q 0724205 1811880	หน่อไม้ฝรั่ง	34	CL	6.45						
10	47Q 0724670 1816656	หน่อไม้ฝรั่ง	90	CL	23.65						
11	47Q 0726340 1815561	หน่อไม้ฝรั่ง	80	SCL	6.45						
12	47Q 0724840 1816047	หน่อไม้ฝรั่ง	84	CL	8.60						
13	47Q 0724375 1815595	หน่อไม้ฝรั่ง	124	SCL	34.41						
14	47Q 0724785 1816006	หน่อไม้ฝรั่ง	192	CL	6.45						
15	47Q 0724053 1816467	หน่อไม้ฝรั่ง	86	SCL	2.15						
16	47Q 0724330 1815680	หน่อไม้ฝรั่ง	86	L	19.35						
17	47Q 0724034 1812022	หน่อไม้ฝรั่ง	190	CL	5.38						
18	47Q 0725354 1815588	หน่อไม้ฝรั่ง	136	CL	5.38						
19	47Q 0724545 1816614	หน่อไม้ฝรั่ง	90	CL	5.38						
20	47Q 0723992 1815833	หน่อไม้ฝรั่ง	96	CL	10.75						

ตารางที่ 6 ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินในพื้นที่ปลูกผัก จังหวัดกาญจนบุรี

แปลงที่	สถานที่ (47P)		ชนิดผัก	ปริมาณตะกั่วในดิน (mg Pb/kg), ซม.						ปริมาณแคดเมียมในดิน (mg Cd/kg), ซม.					
	X	Y		0-15	15-30	30-50	50-80	80-100	เฉลี่ย	0-15	15-30	30-50	50-80	80-100	เฉลี่ย
1	569200	1546333	คะน้า	24.0	24.7	26.6	25.9	26.8	25.6±1.2	0.28	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31±0.01
2	564867	1546014	คะน้า	39.9	41.9	42.6	43.5	50.7	43.7±4.1	0.58	0.59	0.64	0.54	0.61	0.59±0.04
3	569131	1546115	คะน้า	25.9	14.9	17.0	17.1	16.5	18.3±4.4	0.58	0.57	0.62	0.65	0.67	0.61±0.04
4	563654	1545672	คะน้า	15.0	24.1	31.4	32.5	30.3	26.6±7.3	0.51	0.49	0.87	0.84	0.87	0.71±0.20
5	570264	1544041	คะน้า	20.6	21.9	22.9	25.7	25.0	23.2±2.1	0.59	0.56	0.60	0.67	0.69	0.62±0.05
6	571114	1542672	คะน้า	35.5	30.1	30.9	29.2	29.0	30.9±2.7	0.93	0.83	0.79	0.66	0.59	0.75±0.14
7	565345	1547928	คะน้า	19.6	19.8	20.5	21.9	22.1	20.7±1.2	0.65	0.63	0.68	0.78	0.70	0.68±0.06
8	564794	1546762	คะน้า	26.1	25.9	28.3	28.3	28.0	27.3±1.2	0.72	0.72	0.78	0.83	0.84	0.77±0.06
9	565447	1548002	คะน้า	18.6	20.5	19.4	22.2	21.6	20.4±1.5	0.50	0.55	0.58	0.61	0.63	0.57±0.05
10	564933	1547449	คะน้า	35.5	30.1	30.1	29.2	29.0	30.8±2.7	0.93	0.83	0.79	0.66	0.59	0.75±0.14
			เฉลี่ย	26.0	25.3	26.9	27.5	27.8		0.62	0.60	0.66	0.65	0.64	
11	540915	1533367	มะเขือ	21.6	21.9	23.7	26.0	26.2	23.8±2.2	0.31	0.35	0.39	0.50	0.48	0.40±0.08
12	541145	1533219	มะเขือ	17.8	17.2	19.9	23.3	25.1	20.6±3.4	0.23	0.25	0.30	0.46	0.43	0.33±0.11
13	540752	1532850	มะเขือ	23.2	21.5	27.6	27.4	20.6	24.0±3.3	0.72	0.59	0.64	0.62	0.55	0.62±0.06
			เฉลี่ย	20.8	20.1	23.7	25.5	24.0		0.41	0.39	0.44	0.52	0.48	
14	542949	1557909	พริก	23.3	23.4	25.4	26.9	25.3	24.8±1.5	0.30	0.36	0.40	0.41	0.44	0.38±0.05
15	571910	1544503	ผักกาดเขียวปลี	18.3	19.9	18.5	18.9	18.4	18.8±0.6	0.56	0.53	0.52	0.63	0.62	0.57±0.05
16	570045	1547338	ผักกาดเขียวปลี	26.7	26.1	29.2	30.3	29.5	28.3±1.9	0.38	0.40	0.41	0.40	0.39	0.39±0.01
17	571560	1540477	ผักกาดเขียวปลี	13.3	13.5	15.1	15.0	14.5	14.2±0.8	0.23	0.25	0.30	0.32	0.35	0.28±0.05
18	571548	1544126	ผักกาดเขียวปลี	23.2	24.3	24.1	20.3	18.3	22.0±2.6	0.63	0.61	0.60	0.56	0.67	0.61±0.04
19	569779	1544415	ผักกาดเขียวปลี	28.1	27.7	29.8	31.2	23.2	27.9±3.0	0.82	0.78	0.73	0.71	0.73	0.75±0.04
20	570169	1543952	ผักกาดเขียวปลี	25.9	26.1	30.1	28.1	28.4	27.7±1.7	0.61	0.65	0.65	0.69	0.73	0.66±0.05
21	568656	1547994	ผักกาดขาวปลี	22.0	22.8	23.8	25.2	24.1	23.5±1.2	0.35	0.36	0.40	0.41	0.42	0.38±0.03
22	571901	1544467	ผักกาดขาวปลี	20.2	19.7	21.7	22.1	18.5	20.4±1.5	0.47	0.47	0.53	0.62	0.55	0.52±0.06
23	571901	1544467	ผักกาดขาวปลี	9.2	9.2	11.3	10.8	11.9	10.5±1.2	0.34	0.35	0.41	0.37	0.45	0.38±0.05
24	568310	1547458	ผักกาดขาวปลี	19.6	20.1	21.8	23.5	23.3	21.6±1.8	0.55	0.51	0.66	0.67	0.65	0.61±0.07

ตารางที่ 6 (ต่อ)

แปลงที่	สถานที่ (47P)		ชนิดผัก	ปริมาณตะกั่วในดิน (mg Pb/kg), ซม.					เฉลี่ย	ปริมาณแคดเมียมในดิน (mg Cd/kg), ซม.					เฉลี่ย
	X	Y		0-15	15-30	30-50	50-80	80-100		0-15	15-30	30-50	50-80	80-100	
25	540745	1532809	ผักกาดขาวปลี	14.6	14.9	15.3	18.5	17.9	16.2±1.8	0.39	0.43	0.43	0.55	0.59	0.47±0.09
26	568951	1547560	ผักกาดขาวปลี	31.3	31.4	32.6	32.8	34.1	32.4±1.2	0.79	0.80	0.79	0.80	0.88	0.81±0.04
27	570681	1544131	ผักกาดขาวปลี	20.8	20.5	20.1	23.7	24.6	21.9±2.1	0.41	0.36	0.36	0.44	0.51	0.41±0.06
28	571560	1540477	ผักกาดขาวปลี	13.3	13.6	15.6	15.2	15.6	14.6±1.1	0.42	0.39	0.50	0.57	0.54	0.48±0.08
			เฉลี่ย	20.4	20.6	22.0	22.5	21.5		0.49	0.49	0.52	0.55	0.57	
29	571492	1543613	หน่อไม้ฝรั่ง	36.77	58.195	43.135	40.29	38.625	43.4±8.6	0.14	0.28	0.24	0.22	0.17	0.21±0.06
30	585987	1537542	หน่อไม้ฝรั่ง	14.42	18.305	20.56	20.275	19.76	18.6±2.5	0.01	0.04	0.07	0.10	0.09	0.06±0.04
31	541202	1533321	หน่อไม้ฝรั่ง	21.965	25.545	27.12	33.385	34.885	28.5±5.4	0.07	0.08	0.08	0.13	0.16	0.11±0.04
32	586251	1538672	หน่อไม้ฝรั่ง	11.3	13.63	19.24	21.84	22.14	17.6±4.9	0.17	0.22	0.29	0.36	0.36	0.28±0.08
33	586237	1538607	หน่อไม้ฝรั่ง	19.49	17.73	22.88	25.75	31.59	23.4±5.5	0.20	0.22	0.29	0.41	0.46	0.31±0.11
34	586432	1538718	หน่อไม้ฝรั่ง	12.84	13.46	14.68	13.86	15.58	14.1±1.1	0.22	0.22	0.24	0.24	0.36	0.25±0.06
35	587977	1539007	หน่อไม้ฝรั่ง	16.83	17.23	22.23	28.04	26.32	22.1±5.1	0.21	0.25	0.33	0.37	0.40	0.31±0.08
36	585537	1538329	หน่อไม้ฝรั่ง	26.65	27.42	38.79	39.57	34.99	33.4±6.1	0.53	0.54	0.55	0.62	0.46	0.54±0.05
37	586757	1538586	หน่อไม้ฝรั่ง	17.15	19.94	16.82	17.28	20.98	18.4±1.9	0.23	0.33	0.29	0.30	0.41	0.31±0.07
38	587213	1539587	หน่อไม้ฝรั่ง	15.95	17.42	18.55	20.6	21.58	18.8±2.3	0.33	0.30	0.34	0.42	0.51	0.37±0.08
39	587781	1539244	หน่อไม้ฝรั่ง	22.44	25.97	31.67	29.98	39.76	29.9±6.5	0.30	0.38	0.46	0.43	0.54	0.42±0.09
40	585172	1538494	หน่อไม้ฝรั่ง	15.66	19.2	23.51	22.7	25.4	21.2±3.9	0.21	0.31	0.38	0.39	0.34	0.32±0.07
41	586757	1538494	หน่อไม้ฝรั่ง	16.97	19.78	19.09	18.73	18.57	18.6±1.0	0.35	0.36	0.43	0.40	0.43	0.39±0.04
42	587929	1539114	หน่อไม้ฝรั่ง	25.81	25.12	27.77	30.62	ชั้นกรวด	27.3±2.5	0.40	0.27	0.54	0.40	ชั้นกรวด	0.40±0.11
43	560182	1608154	หน่อไม้ฝรั่ง	25.3	64.63	37.66	45.7	ชั้นกรวด	43.3±16.5	0.39	0.66	0.80	0.56	ชั้นกรวด	0.60±0.17
44	560384	1607814	หน่อไม้ฝรั่ง	57.19	18.97	24.2	22.98	22.65	29.2±15.8	0.60	0.33	0.38	0.44	0.44	0.43±0.10
45	559047	1607485	หน่อไม้ฝรั่ง	23.35	26.69	26.71	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	25.5±1.9	0.63	0.16	0.13	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	0.31±0.28
46	558295	1608509	หน่อไม้ฝรั่ง	27.34	69.75	55.98	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	51.0±21.6	0.16	0.69	0.56	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	0.46±0.28
47	557212	1608739	หน่อไม้ฝรั่ง	118.1	60.56	80.02	32.43	ชั้นกรวด	72.7±36.0	0.78	0.55	0.46	0.35	ชั้นกรวด	0.53±0.18
48	557147	1608663	หน่อไม้ฝรั่ง	77.19	41.56	31.77	42.95	27.57	44.2±19.5	0.66	0.43	0.35	0.74	0.45	0.52±0.17
49	560646	1607995	หน่อไม้ฝรั่ง	26.96	2.287	1.98	2.337	2.02	7.1±11.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01±0
			เฉลี่ย	29.9	28.7	28.7	24.2	19.2		0.31	0.31	0.34	0.32	0.26	

ตารางที่ 7 ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในดินในพื้นที่ปลูกผัก จังหวัดเพชรบูรณ์

แปลงที่	สถานที่ (47Q)		ชนิดผัก	ปริมาณตะกั่วในดิน (mg Pb/kg), ชม.					ปริมาณแคดเมียมในดิน (mg Cd/kg), ชม.						
	X	Y		0-15	15-30	30-50	50-80	80-100	เฉลี่ย	0-15	15-30	30-50	50-80	80-100	เฉลี่ย
1	737805	1850893	พริก	0.63	0.55	0.43	0.41	0.40	0.48±0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05±0.02
2	733809	1849642	พริก	1.99	2.12	1.47	1.47	1.38	1.68±0.34	0.17	0.22	0.19	0.09	0.05	0.14±0.07
3	739534	1851736	พริก	2.53	2.63	1.96	2.23	2.70	2.41±0.31	0.15	0.16	0.07	0.02	0.02	0.08±0.07
4	738271	1849879	พริก	1.50	1.64	1.28	1.36	1.17	1.38±0.19	0.12	0.14	0.11	0.08	0.08	0.11±0.03
5	738191	1848997	พริก	1.73	1.80	1.60	1.52	1.53	1.63±0.12	0.12	0.09	0.09	0.13	0.08	0.10±0.02
6	737910	1850006	พริก	1.40	1.05	1.63	0.99	1.11	1.23±0.27	0.12	0.05	0.18	0.05	0.05	0.08±0.06
			เฉลี่ย	1.63	1.63	1.39	0.61	1.38		0.12	0.12	0.11	0.06	0.05	
7	738952	1850467	มะเขือ	3.82	3.79	4.41	3.70	3.32	3.80±0.39	0.48	0.32	0.10	0.08	0.14	0.22±0.17
8	737993	1850020	มะเขือ	1.79	1.49	1.64	1.39	1.10	1.48±0.26	0.16	0.16	0.16	0.07	0.04	0.12±0.02
			เฉลี่ย	2.80	2.63	3.02	2.54	2.21		0.32	0.24	0.12	0.07	0.09	
9	724205	1811880	หน่อไม้ฝรั่ง	2.27	2.36	2.19	2.69	2.43	2.38±0.19	0.18	0.16	0.08	0.03	0.03	0.09±0.07
10	724670	1816656	หน่อไม้ฝรั่ง	1.70	1.60	1.66	1.72	1.65	1.66±0.05	0.19	0.19	0.14	0.10	0.08	0.13±0.05
11	726340	1815561	หน่อไม้ฝรั่ง	1.60	1.22	1.14	1.01	2.73	1.54±0.70	0.10	0.04	0.06	0.07	0.28	0.11±0.10
12	724840	1816047	หน่อไม้ฝรั่ง	2.72	2.23	2.06	1.89	1.35	2.05±0.50	0.27	0.28	0.22	0.20	0.16	0.22±0.05
13	724375	1815595	หน่อไม้ฝรั่ง	1.33	1.29	1.25	0.85	2.96	1.53±0.82	0.16	0.12	0.10	0.06	0.27	0.14±0.08
14	724785	1816006	หน่อไม้ฝรั่ง	2.91	1.88	2.01	1.69	0.41	1.78±0.90	0.26	0.24	0.20	0.18	0.08	0.19±0.07
15	724053	1816467	หน่อไม้ฝรั่ง	0.44	0.38	0.41	0.41	1.56	0.64±0.52	0.07	0.06	0.04	0.04	0.14	0.07±0.04
16	724330	1815680	หน่อไม้ฝรั่ง	1.85	1.82	1.53	1.48	2.87	1.91±0.56	0.13	0.18	0.14	0.13	0.20	0.16±0.03
17	724034	1812022	หน่อไม้ฝรั่ง	2.81	2.69	2.55	2.56	2.09	2.54±0.27	0.21	0.19	0.21	0.14	0.13	0.17±0.04
18	725354	1815588	หน่อไม้ฝรั่ง	2.17	2.25	1.29	1.38	1.19	1.65±0.51	0.13	0.10	0.06	0.04	0.15	0.09±0.05
19	724545	1816614	หน่อไม้ฝรั่ง	1.46	1.45	1.09	1.26	0.85	1.22±0.26	0.16	0.16	0.13	0.08	0.03	0.11±0.06
20	723992	1815833	หน่อไม้ฝรั่ง	1.01	1.33	1.20	nd	nd	1.18±0.16	nd	nd	nd	nd	nd	nd
			เฉลี่ย	1.93	1.74	1.56	1.54	1.82		0.16	0.15	0.12	0.09	0.14	

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินปลูกคะน้า พริก มะเขือ ผักกาดเขียวปลี ผักกาดขาวปลีและหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

แปลงที่	ชนิดพืช	พีเอช					แปลงที่	ชนิดพืช	พีเอช				
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.			0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	คะน้า	6.5	6.5	6.6	6.5	6.5	28	กาดขาวปลี	7.8	7.7	7.9	7.8	7.7
2	คะน้า	7.4	7.2	7.1	7.1	7.2	29	หน่อไม้ฝรั่ง	7.3	7.4	7.3	7.0	7.0
3	คะน้า	7.7	7.7	7.7	7.7	7.9	30	หน่อไม้ฝรั่ง	7.3	7.5	7.5	7.6	7.4
4	คะน้า	6.6	6.5	6.7	6.8	6.7	31	หน่อไม้ฝรั่ง	7.8	7.6	7.8	8.0	7.8
5	คะน้า	7.6	7.6	7.7	7.6	7.5	32	หน่อไม้ฝรั่ง	7.4	7.1	7.2	7.0	7.1
6	คะน้า	6.7	6.9	7.4	7.6	7.6	33	หน่อไม้ฝรั่ง	8.0	8.0	8.1	8.0	7.8
7	คะน้า	7.0	7.0	7.6	7.4	7.8	34	หน่อไม้ฝรั่ง	5.2	6.0	6.4	6.7	6.6
8	คะน้า	7.7	7.8	7.6	7.7	7.7	35	หน่อไม้ฝรั่ง	7.6	7.6	7.3	7.2	6.9
9	คะน้า	7.1	7.3	7.6	7.6	7.8	36	หน่อไม้ฝรั่ง	7.3	7.5	7.9	8.1	8.2
10	คะน้า	7.6	7.8	7.7	7.8	7.8	37	หน่อไม้ฝรั่ง	7.4	7.7	7.8	7.7	7.9
11	มะเขือ	6.8	7.0	7.4	7.7	7.6	38	หน่อไม้ฝรั่ง	6.0	6.8	6.9	7.0	7.2
12	มะเขือ	7.8	8.0	7.8	7.5	7.2	39	หน่อไม้ฝรั่ง	6.1	7.6	7.8	7.9	7.8
13	มะเขือ	7.4	7.5	7.5	7.8	7.9	40	หน่อไม้ฝรั่ง	4.5	5.4	6.7	6.9	7.9
14	พริก	7.7	7.8	7.1	6.6	6.4	41	หน่อไม้ฝรั่ง	7.5	7.8	7.4	7.4	7.9
15	กาดเขียวปลี	7.4	7.5	7.6	7.4	7.6	42	หน่อไม้ฝรั่ง	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9
16	กาดเขียวปลี	6.6	6.5	6.5	6.5	6.5	43	หน่อไม้ฝรั่ง	7.8	7.6	7.7	7.9	ชั้นกรวด
17	กาดเขียวปลี	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	44	หน่อไม้ฝรั่ง	7.6	7.7	7.0	6.4	6.3
18	กาดเขียวปลี	8.0	7.7	7.5	7.9	8.0	45	หน่อไม้ฝรั่ง	7.9	8.1	8.1	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
19	กาดเขียวปลี	7.4	7.5	7.1	6.9	6.8	46	หน่อไม้ฝรั่ง	8.2	8.1	8.3	8.1	8.1
20	กาดเขียวปลี	7.5	7.9	7.7	7.6	7.8	47	หน่อไม้ฝรั่ง	7.9	8.1	8.0	8.2	8.2
21	กาดขาวปลี	7.0	6.9	5.9	5.5	6.6	48	หน่อไม้ฝรั่ง	8.2	8.0	8.3	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
22	กาดขาวปลี	7.5	7.8	8.0	8.1	7.9	49	หน่อไม้ฝรั่ง	8.1	8.9	8.1	8.3	ชั้นกรวด
23	กาดขาวปลี	8.1	8.3	8.2	8.3	8.5							
24	กาดขาวปลี	7.7	7.8	7.9	7.9	8.0							
25	กาดขาวปลี	8.3	8.2	8.2	8.3	8.3							
26	กาดขาวปลี	7.4	7.8	7.5	7.2	7.2							
27	กาดขาวปลี	7.5	7.7	7.7	7.5	7.7							

ตารางที่ 9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินปลูกพริก มะเขือและหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์

แปลงที่	ชนิดพืช	พีเอช				
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	พริก	8.5	8.6	8.6	8.3	8.0
2	พริก	7.9	7.8	7.8	7.5	7.4
3	พริก	5.9	6.1	6.8	6.0	5.7
4	พริก	7.9	7.9	7.4	8.0	7.3
5	พริก	7.5	7.4	7.3	7.2	7.4
6	พริก	7.2	7.8	6.8	7.2	7.3
7	มะเขือ	6.2	7.2	7.3	7.9	7.3
8	มะเขือ	7.4	7.4	7.8	7.3	7.2
9	หน่อไม้ฝรั่ง	7.4	7.3	7.5	7.8	8.3
10	หน่อไม้ฝรั่ง	7.9	7.9	8.1	7.8	8.2
11	หน่อไม้ฝรั่ง	6.6	7.6	7.5	7.6	7.6
12	หน่อไม้ฝรั่ง	7.7	7.7	7.4	7.4	7.3
13	หน่อไม้ฝรั่ง	6.8	7.2	7.2	7.1	7.1
14	หน่อไม้ฝรั่ง	7.5	7.9	7.9	7.8	7.7
15	หน่อไม้ฝรั่ง	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5
16	หน่อไม้ฝรั่ง	7.5	7.9	7.4	7.2	7.1
17	หน่อไม้ฝรั่ง	6.8	7.1	7.2	7.4	7.3
18	หน่อไม้ฝรั่ง	8.0	8.2	8.2	8.1	8.1
19	หน่อไม้ฝรั่ง	8.2	7.8	7.8	8.1	8.2
20	หน่อไม้ฝรั่ง	7.2	6.5	5.2	5.3	ชั้นกรวด

ตารางที่ 10 ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินปลูกคหน้า พริก มะเขือ ผักกาดเขียวปลี ผักกาดขาวปลีและหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี

แปลงที่	ชนิดพืช	ฟอสฟอรัส (มก./กก.)					โพแทสเซียม (มก./กก.)				
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	คหน้า	208	208	316	297	401	201	162	183	201	143
2	คหน้า	413	110	47	20	46	303	253	223	149	123
3	คหน้า	122	67	100	40	35	231	210	160	218	166
4	คหน้า	356	262	133	66	213	363	408	441	428	322
5	คหน้า	218	450	72	54	53	351	246	227	221	201
6	คหน้า	88	66	33	248	91	207	175	160	232	217
7	คหน้า	665	1078	353	92	76	646	470	387	286	259
8	คหน้า	468	373	102	180	198	522	435	357	391	416
9	คหน้า	390	320	107	74	91	471	314	222	168	150
10	คหน้า	760	555	353	141	180	825	572	504	370	410
11	มะเขือ	395	414	296	122	125	386	361	329	242	226
12	มะเขือ	82	43	52	44	28	254	185	198	145	158
13	มะเขือ	259	185	119	107	47	308	166	199	151	145
14	พริก	140	161	14	21	22	409	264	225	164	183
15	กาดเขียวปลี	202	101	19	8	3	529	142	146	143	175
16	กาดเขียวปลี	435	228	121	7	50	559	404	235	212	94
17	กาดเขียวปลี	426	347	182	119	80	326	232	369	213	189
18	กาดเขียวปลี	315	397	28	29	28	491	348	333	235	215
19	กาดเขียวปลี	263	220	101	38	47	328	314	184	184	139
20	กาดเขียวปลี	308	253	115	40	63	213	190	223	217	200
21	กาดขาวปลี	25	16	10	6	6	141	65	46	84	70
22	กาดขาวปลี	207	157	110	95	83	388	272	201	200	188
23	กาดขาวปลี	140	56	63	125	116	216	186	224	250	191
24	กาดขาวปลี	240	230	120	67	54	324	301	230	208	227
25	กาดขาวปลี	135	124	119	90	85	210	324	203	249	220
26	กาดขาวปลี	503	523	134	69	35	813	420	375	291	269
27	กาดขาวปลี	267	185	233	183	192	143	149	138	188	148
28	กาดขาวปลี	530	425	608	75	77	544	271	230	202	215



ตารางที่ 10 (ต่อ)

แปลงที่	ชนิดพืช	ฟอสฟอรัส (มก./กก.)					โพแทสเซียม (มก./กก.)				
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
29	หน่อไม้ฝรั่ง	391	323	67	58	57	479	365	304	254	296
30	หน่อไม้ฝรั่ง	121	86	52	102	105	315	153	150	115	112
31	หน่อไม้ฝรั่ง	212	175	138	126	142	186	175	176	193	186
32	หน่อไม้ฝรั่ง	635	323	98	31	39	337	214	193	134	159
33	หน่อไม้ฝรั่ง	853	375	280	108	79	781	390	212	288	249
34	หน่อไม้ฝรั่ง	470	95	52	56	55	369	310	180	137	149
35	หน่อไม้ฝรั่ง	460	568	330	106	50	571	222	170	147	428
36	หน่อไม้ฝรั่ง	985	795	245	5	3	460	280	169	211	144
37	หน่อไม้ฝรั่ง	325	75	129	54	22	488	155	101	163	120
38	หน่อไม้ฝรั่ง	605	134	18	20	19	617	240	129	134	103
39	หน่อไม้ฝรั่ง	452	195	106	82	58	279	125	114	441	103
40	หน่อไม้ฝรั่ง	1,538	199	102	85	26	539	453	241	125	99
41	หน่อไม้ฝรั่ง	156	84	84	57	56	320	145	125	121	99
42	หน่อไม้ฝรั่ง	127	45	10	5	4	383	213	139	218	348
43	หน่อไม้ฝรั่ง	83	47	18	6	ชั้นกรวด	328	253	194	139	ชั้นกรวด
44	หน่อไม้ฝรั่ง	102	17	8	2	218	298	189	99	99	94
45	หน่อไม้ฝรั่ง	213	50	21	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	896	227	120	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
46	หน่อไม้ฝรั่ง	35	24	7	2	3	315	60	45	55	45
47	หน่อไม้ฝรั่ง	144	41	33	4	3	300	125	70	665	60
48	หน่อไม้ฝรั่ง	207	50	21	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด	960	660	274	ชั้นกรวด	ชั้นกรวด
49	หน่อไม้ฝรั่ง	90	35	11	4	ชั้นกรวด	876	318	233	129	ชั้นกรวด

ตารางที่ 11 ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินปลูกพริก มะเขือ และหน่อไม้ฝรั่ง ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์

แปลงที่	ชนิดพืช	ฟอสฟอรัส (มก./กก.)					โพแทสเซียม (มก./กก.)				
		0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.	0-15 ซม.	15-30 ซม.	30-50 ซม.	50-80 ซม.	80-100 ซม.
1	พริกขี้หนู	96	77	46	31	20	232	157	57	57	57
2	พริกขี้หนู	219	163	60	36	18	187	102	107	107	82
3	พริกขี้หนู	17	22	12	1	1	157	112	82	67	77
4	พริก	30	322	84	50	69	162	112	82	77	72
5	พริก	59	174	12	32	18	107	82	132	62	62
6	พริก	59	26	85	9	8	157	87	212	72	72
7	มะเขือ	73	38	8	5	8	157	107	62	52	72
8	มะเขือ	128	83	67	34	16	207	142	97	97	92
9	หน่อไม้ฝรั่ง	20	159	13	8	37	177	87	67	67	67
10	หน่อไม้ฝรั่ง	61	64	139	162	98	137	102	87	127	127
11	หน่อไม้ฝรั่ง	10	25	3	18	23	482	267	127	92	67
12	หน่อไม้ฝรั่ง	85	15	20	39	29	422	182	102	102	102
13	หน่อไม้ฝรั่ง	459	184	111	94	99	683	492	307	237	172
14	หน่อไม้ฝรั่ง	84	408	477	108	243	252	97	122	97	122
15	หน่อไม้ฝรั่ง	148	94	77	88	87	282	167	82	97	87
16	หน่อไม้ฝรั่ง	134	84	56	2	1	352	247	197	197	212
17	หน่อไม้ฝรั่ง	28	23	10	9	9	87	112	82	77	82
18	หน่อไม้ฝรั่ง	37	27	10	5	3	197	152	112	97	107
19	หน่อไม้ฝรั่ง	136	37	29	39	89	247	102	82	87	82
20	หน่อไม้ฝรั่ง	387	31	5	2	ชั้นกรวด	357	202	77	52	ชั้นกรวด

### เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมวิชาการเกษตร, 2559. ข้อมูลการส่งออกผักสดไปต่างประเทศ ปี 2559  
 ที่มา: [www.doa.go.th/ard/FileUpload/export/5.4.2/Vegetable59.pdf](http://www.doa.go.th/ard/FileUpload/export/5.4.2/Vegetable59.pdf) วันที่ 14 เมษายน 2561
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 122 หน้า
- Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agricultural Science.*, 55: 11-33
- Donner, S.D.; Kucharik, J.A. 2003. Evaluating the impacts of land management and climate variability on crop production and nitrate export across the Upper Mississippi Basin. *Global Biogeo-chem. Cycle.* 17
- Liu, D. Q., Tong, Y. A., Sun, B. H. and Emteryd, O. 1998. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environmental pollution. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 4: 8-15
- Luis López-Bellido, V. Muñoz-Romero and R. J. López-Bellido. 2013. Nitrate accumulation in the soil profile: Long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean Vertisol. *Soil and Tillage Research* V.130 p 18-23.
- Meisinger, J. J., and Delgado, J. A. 2002. Principles for managing nitrogen leaching. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57 (6), 485–498.
- Phupaibul, P., C. Chitbuntanorn, N. Chinoim, P. Kangyawongha, and T. Match. 2004. Phosphorus accumulation in soils and nitrate contamination in underground water under export-oriented asparagus farming in Nong Ngu Lauem village, Nakhon Pathom province, Thailand. *Soil Science and Plant Nutrition* 50:385-393.
- Sapek, A. 2004. Agricultural activities as a source of nitrates in groundwater. *In* L. Razowska-Jaworek & A. Sadurski (Eds.), *Nitrates in groundwater: IAH selected papers on hydrogeology* (pp. 3–14). Leiden: Balkema Publ.
- Tirado, R. 2007. Nitrates in drinking water in the Philippines and Thailand. Green research laboratory technical note 10/2007. Available from:  
[http://www.greenpeace.to/publications/nitrate\\_philippines\\_thailand.pdf](http://www.greenpeace.to/publications/nitrate_philippines_thailand.pdf)
- Wang, Z. H. and Li, S. X. 2003. Effects of N forms and rates on vegetable growth and nitrate accumulation. *Pedosphere* 13: 309-316
- Walvoord, M. A. 2003. A reservoir of nitrate beneath desert soils. *Science* 302, 1021–1024.
- Zhang, G. Y., Wang, L. Y., Wang, L., Geng, N., Sun, S. Y. and Ru, S. H. 2004. NO<sub>3</sub> -N content and distribution of soil under protective vegetable culture. *J. Hebei Agric. Sci.* 8: 22-25
- Kabala, C, A. Karczewska, B. Gałka, M. Cuske and J. Sowiński. 2017. Seasonal dynamics of nitrate and ammonium ion concentrations in soil solutions collected using MacroRhizon suction cups. *Environ Monit Assess* 189: 304
- Yang, S. M., Li, F. M., Malhi, S. S., Wang, P., Suo, D. R. and Wang, J. G. 2004. Long-term fertilization effects on crop yield and nitrate nitrogen accumulation in soil in Northwestern China. *Agron. J.* 96: 1039-1049

El-Garawany, M. M. , M. A. Al-Eed and F. N. Assubaie. 2005. Determination of Nitrate and Nitrite levels in Soil and Groundwater in Al Hassa Area, Saudi Arabia. Scientific Journal of King Faisal University. V6 No. 2

## การทดลองที่ 2

การศึกษาการแพร่กระจายของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในพื้นที่การเกษตร จังหวัดเลย  
Study of Cadmium, Lead and Arsenic Distribution in Agricultural Areas in Loei Province

### ชื่อผู้วิจัย

ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ วนิดา โนบรรเทา แวตตา พลกุล สายน้ำ อุดพั้ว อนันต์ ทองภู

### คำสำคัญ (Key words)

แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู การแพร่กระจาย จังหวัดเลย  
Cadmium, Lead, Arsenic, Distribution, Loei Province

### บทคัดย่อ

ศึกษาการแพร่กระจายของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในพื้นที่การเกษตรจังหวัดเลยและทดสอบเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมสารหนูของข้าวในพื้นที่การเกษตรที่ปนเปื้อนสารหนู โดยดำเนินการสำรวจการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้าจำนวน 4 หมู่บ้าน ได้แก่ บ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านห้วยผุก และบ้านกกสะทอน ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรมตลอดแนวลำน้ำฮวย ห้วยผุกและห้วยเหล็ก จำนวน 256 จุด แต่ละจุดแบ่งเป็นดินชั้นบนและดินชั้นล่าง (ที่ระดับต่ำกว่าดินบนลงไปจนถึง 60 เซนติเมตร) พบการปนเปื้อนของสารหนูทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่างและตะกอนท้องน้ำในเกือบทุกจุดเก็บตัวอย่างในระดับที่สูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย ที่ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตะกั่วและแคดเมียมนั้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป ที่กำหนดไว้ 100 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่างตลอดลำน้ำ เมื่อทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองโดยการเก็บตัวอย่างดินนาข้าวที่ปนเปื้อนสารหนู 65.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นำมาทดลองในกระถางและปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพืชทดสอบ โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 7 กรรมวิธี คือ 1) ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน 2) ใส่ (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 2 mole ต่อ 1 mole As 3) ใส่ (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 4 mole ต่อ 1 mole As 4) ใส่ (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 6 mole ต่อ 1 mole As 5) ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กิโลกรัมต่อไร่ 6) ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ และ 7) ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลอง พบว่าการใส่เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 6 mole : 1 mole As ในดินที่มีปริมาณสารหนู 65.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลทำให้สารหนูสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของข้าวน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ โดยพบการสะสมของสารหนูในรากและฟางข้าวที่ระดับ 28.75 และ 3.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบปริมาณสารหนูสะสมสูงสุดในส่วนราก รองลงมาคือส่วนฟางข้าวกลับตามลำดับ

## Abstracts

Study of cadmium, lead and arsenic distribution in agricultural areas in Loei Province was conducted for determination of soil remediation technology to reduce arsenic absorption of rice crop in arsenic contaminated agricultural area. The study site covered agricultural areas in four villages, including Ban Na Nong Bong, Ban Phu Thap Fah Pattana, Ban Hui Puk and Ban Kok Sathon near Phu Thap Fah gold mine, Wang Saphung district, Loei province. Soil samples were collected from agricultural lands located along both banks of Huy Rivers, Hui Puk and Hui Lek. Two hundred fifty-six soil samples were collected from two layers, top soil and subsoil (60 cm.). Results showed almost all soil samples contained As in the amount exceeding the quality standard for habitable and agricultural sites in Thailand, which is  $3.9 \text{ mg kg}^{-1}$  while both Pb and Cd concentrations were far below amounts issued by the European Economic Community standard which are 100 and  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectively. Then, the glasshouse experiment for soil remediation technology to reduce arsenic absorption of rice crop was carried out by collecting soil samples from highly arsenic contaminated areas ( $65.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) in Wang Saphung district, Loei province and cultivated Khao Dawk Mali 105 rice varieties as a testing plant. The experimental designed was arranged in RCB with 3 replications and 7 treatments including: 1) control 2)  $\text{FeSO}_4$  2 mole : 1 mole As 3)  $\text{FeSO}_4$  4 mole : 1 mole As 4)  $\text{FeSO}_4$  6 mole : 1 mole As 5) Zeolite rate  $250 \text{ kg rai}^{-1}$  6) Zeolite rate  $500 \text{ kg rai}^{-1}$  and 7) Zeolite rate  $1,000 \text{ kg rai}^{-1}$ . It was found that Ferrous sulfate ( $\text{FeSO}_4$ ) rate 6 mole : 1 mole As contained low arsenic in the range of 28.75 and  $3.66 \text{ mg kg}^{-1}$  in root and straw, respectively and found that As had the highest accumulation in the root followed by the straw and rice husk respectively.

## บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน เนื่องจากมีกิจกรรมหลายประเภทที่นำโลหะหนักมาใช้กันมาก ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง การใช้วัสดุและสารเคมีทางการเกษตร น้ำทิ้ง ของเสียเหลือใช้ เป็นต้น โลหะหนักส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนในดิน เช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu)ปรอท (Hg) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) สามารถถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตโดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม เมื่อมนุษย์ได้รับจะเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อทำให้เกิดอันตรายอาจพิการหรือเสียชีวิตได้ พื้นที่ทำการเกษตรที่ปนเปื้อนโลหะหนักในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมของเหมืองแร่ การบด การทิ้งหางแร่ การจัดการที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรกรรมได้ พืชผักที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนหรือน้ำที่เจือปนด้วยโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียมและสารหนู เมื่อรับประทานหรือดื่มเข้าไปจะเกิดโรคที่สำคัญ ๆ ได้แก่ โรคไต-อัมพาตจากการบริโภคข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียม (Hagino, 1958; Yoshioka, 1964) โรคไตดำหรือมะเร็งผิวหนังจากพิษสารหนูเรื้อรัง หรือโรคที่เกิดจากความเป็นพิษของตะกั่ว มีอาการถ่ายท้อง ปวดท้อง ปวดศีรษะ กระดูก ซา บวมตามแขนขา หากเป็นในเด็กทำให้มีสภาพผิดปกติและมีพัฒนาการทางสมองช้า (WHO, 2000) ด้วยเหตุนี้ จึงควรมีการศึกษาเพื่อหาวิธีที่ถูกต้องในการจัดการปัญหาโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินอย่างถูกต้องเหมาะสม จำเป็นจะต้องมีการวิจัยและพัฒนาหาข้อมูลในด้านการประเมินคุณภาพดินและการจัดการดินที่มีการ

ปนเปื้อนของสารเคมีและโลหะหนักในประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้กำหนดมาตรการเฝ้าระวัง ป้องกันและแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

การบำบัดหรือฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อนโลหะหนัก แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ 1) การบำบัดในพื้นที่ (In situ) มีข้อดีคือกระบวนการบำบัดไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อเสียเนื่องจากเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายของสิ่งปนเปื้อนให้อยู่ในรูปที่มีการละลายต่ำและไม่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และอาจมีการปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมอีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป 2) การบำบัดภายนอกพื้นที่ (Ex situ) เป็นการสกัดหรือแยกสารมลพิษออกด้วยวิธีทางเคมี ทางกายภาพหรือทางชีวภาพ โดยมีข้อดีคือสามารถกำจัดโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายออกเกือบทั้งหมด แต่มีข้อเสียคือเรื่องค่าใช้จ่าย การใช้วัสดุปรับปรุงดินโดยส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องการลดการแพร่กระจายของโลหะหนักโดยการลดการเคลื่อนย้าย (immobilization) โดยกระบวนการดูดซับ (absorption) กระบวนการตกตะกอน (precipitation) หรือการเปลี่ยนสภาพเป็นรูปของแข็ง (solid-phase transformation) กับวัสดุปรับปรุงดินตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ วัสดุปรับปรุงดินที่ใช้มีหลายชนิด เช่น อะพาไทต์ หินฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริก (Nzihou and Sharrock, 2010) ปูนขาว (Gray et al., 2006) อินทรียัตถุ (Park et al., 2011) และแร่ซีโอไลต์ (Friesl et al., 2003) ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูงมากนัก โดยการใช้วัสดุดังกล่าวเหล่านี้เพื่อปรับปรุงสภาพดินปนเปื้อนถือเป็นวิธีทางเลือกที่เป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ

### ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การศึกษาการแพร่กระจายของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในพื้นที่การเกษตร จังหวัดเลย ดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือ 1) สำรวจพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ เพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักสูง และ 2) นำดินในพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักสูงมาทดลองบำบัดดินในเรือนทดลอง โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนดังนี้

#### 1. การสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ

สุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมด้านฝั่งตะวันออก เหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ริมลำน้ำฮวย บ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านห้วยผุก และบ้านกกสะทอน ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ โดยเก็บตัวอย่างดิน มีระยะห่างในแต่ละจุด 40 เมตร โดยมีจุดอ้างอิงจากลำห้วยออกไปทั้ง 2 ฝั่ง แต่ละจุดเก็บตัวอย่างดิน 2 ระดับความลึก คือ ดินชั้นบนและดินชั้นล่าง (ที่ระดับต่ำกว่าดินบนลงไปจนถึง 60 เซนติเมตร) และเก็บตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำบริเวณกลางน้ำ พร้อมบันทึกพิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างโดยใช้ Global Positioning System (GPS)

นำตัวอย่างดินและตะกอนท้องน้ำมาตากแห้งในที่ร่ม บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานทางเคมีของดินและตะกอนท้องน้ำ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินและตะกอนท้องน้ำ ด้วยวิธี aqua regia (3:1 HCl : HNO<sub>3</sub>) ในหลอดย่อยตัวอย่างแบบเปิด และโลหะหนักในดินในรูปที่พืชดูดซึมได้ (availability forms) วัดปริมาณของโลหะหนักที่สกัดได้ในดินเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 5300 DV)

ประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมักมีในดินเพื่อการเกษตร (Maximum Allowable Concentration, MAC) จัดทำแผนที่แสดงปริมาณของโลหะหนักในพื้นที่และหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินในพื้นที่ปนเปื้อน

## 2. การทดลองบำบัดดินในสภาพเรือนทดลอง

ดำเนินการทดลองในสภาพเรือนทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินในการลดการดูดซึมสารหนูเข้าไปสะสมในเมล็ดข้าว วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 7 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ได้แก่

1. ไม่ใส่สาร
2. ใส่  $\text{FeSO}_4$  2 mole : 1 mole As
3. ใส่  $\text{FeSO}_4$  4 mole : 1 mole As
4. ใส่  $\text{FeSO}_4$  6 mole : 1 mole As
5. ใส่วัสดุปรับปรุงดินซีโอไลท์ อัตรา 250 กก./ไร่
6. ใส่วัสดุปรับปรุงดินซีโอไลท์ อัตรา 500 กก./ไร่
7. ใส่วัสดุปรับปรุงดินซีโอไลท์ อัตรา 1,000 กก./ไร่

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 1- 60 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่พบมีการปนเปื้อนของสารหนูสูง (ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1) ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ อยู่ด้านฝั่งตะวันออกของเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ ริมลำน้ำฮวย ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พิกัดที่ตั้ง 47Q 784057<sup>E</sup> 1920696<sup>N</sup> มาฝังดินให้แห้งในที่ร่ม บดย่อยดิน ชั่งดิน 10 กิโลกรัมต่อกระถาง ผสมคลุกเคล้าด้วย  $\text{FeSO}_4$  และซีโอไลท์ตามกรรมวิธีทดลองใส่ในกระถางทดลอง ทิ้งไว้ก่อนปลูกข้าว 1 เดือน รักษาให้ดินมีความชื้นอยู่เสมอ

เพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อายุกล้าข้าว 1 เดือน ย้ายกล้าปักดำลงในกระถางๆ ละ 4 ต้น หลังปักดำ 7 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมการข้าว สูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยยูเรีย ในช่วงข้าวตั้งท้อง อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รักษาระดับน้ำให้สูงจากดินประมาณ 5 เซนติเมตร

เก็บเกี่ยวข้าว โดยแยกเป็นส่วนของเมล็ด ต้นข้าว และราก และเก็บตัวอย่างดินในกระถาง สำหรับปริมาณแคดเมียมในดินและในส่วนต่างๆของข้าว เพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของสารและอัตราที่เหมาะสมในการลดการดูดซึมแคดเมียมของข้าว

*สมบัติทั่วไปของดินก่อนและหลังการทดลอง:* วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี Hydrometer ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) วัดโดยเครื่อง pH meter อินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดดินด้วยน้ำยา Bray II (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544)

*การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินและส่วนต่างๆของข้าว* ย่อยตัวอย่างดินและตัวอย่างข้าว ด้วยวิธี aqua regia (3:1 HCl :  $\text{HNO}_3$ ) ในหลอดย่อยตัวอย่างแบบเปิด (McGrath and Cunliffe, 1985) วัดปริมาณของแคดเมียมในดินและข้าว เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

## ผลการวิจัย (Results)

### 1. ผลการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำ

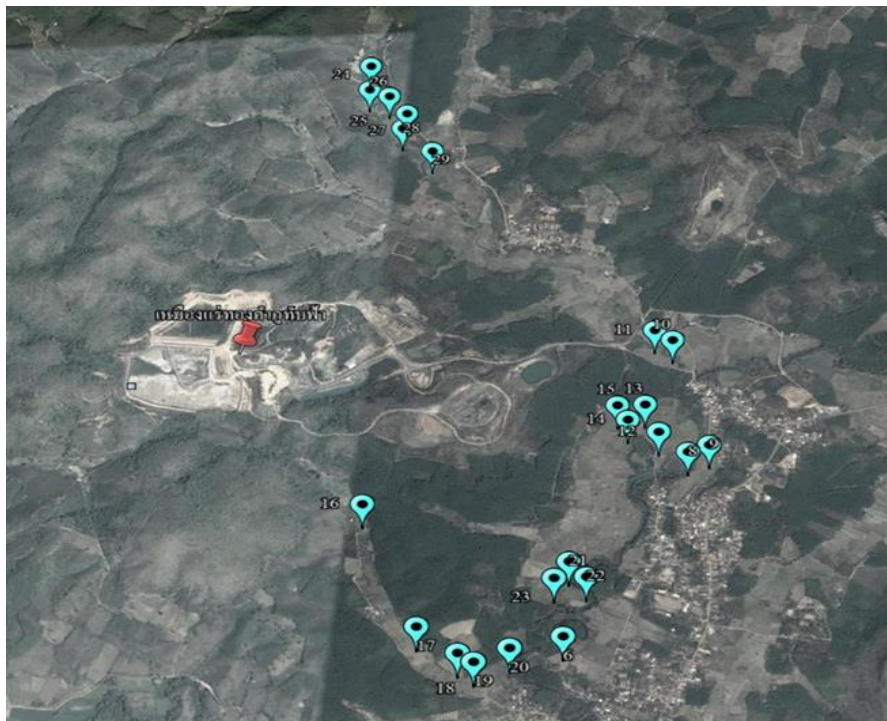
#### 1.1 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินพื้นที่เกษตรกรรมจากการสำรวจเบื้องต้น

ในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน 2559 ซึ่งเป็นฤดูน้ำหลาก ได้สำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำบริเวณหน้าเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านกกสะทอน และบ้านนาหนองบง ตลอดจนบริเวณบ้านลำและบ้านเขาหลวง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ (พื้นที่อ้างอิง) จำนวน 105 ตัวอย่าง และตะกอนท้องน้ำ 20 ตัวอย่าง (ภาพที่ 10) เพื่อประเมินเบื้องต้น



ว่าพื้นที่ไหนมีปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักสูง เพื่อที่จะได้นำไปกำหนดขอบเขตการสำรวจให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นในลำดับต่อไป

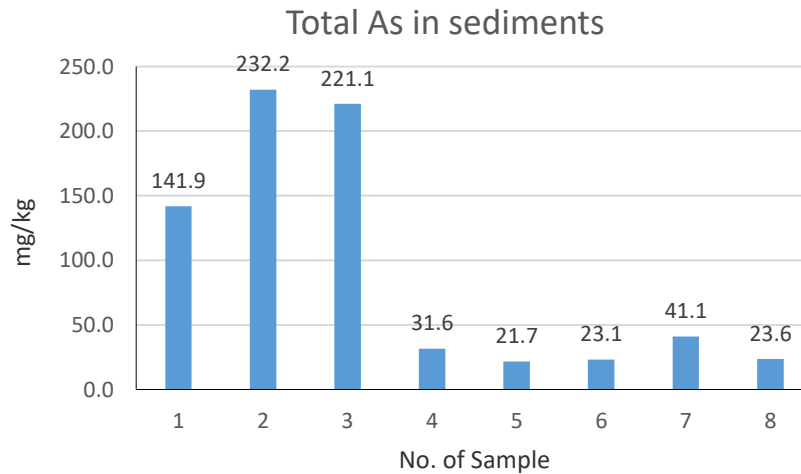
จากผลวิเคราะห์ดิน พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน (Total heavy metals) สะสมมากที่สุดที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร (ตารางที่ 12) โดยบริเวณหน้าเหมืองทองคำภูทับฟ้า พบสารหนู ตะกั่วและแคดเมียม สะสมในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เฉลี่ย  $9.0 \pm 2.4$   $18.4 \pm 2.5$  และ  $0.57 \pm 0.28$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บ้านภูทับฟ้าพัฒนา พบสารหนูสะสมในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร เฉลี่ย  $5.2 \pm 4.0$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วและแคดเมียม เฉลี่ย  $10.8 \pm 3.2$  และ  $0.25 \pm 0.13$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม บริเวณบ้านกกสะท้อน พบสารหนูและแคดเมียมสะสมในดิน เฉลี่ย  $46.1 \pm 34.9$  และ  $1.69 \pm 1.27$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่าตัวอย่างที่เก็บจากบ้านกกสะท้อน มีแคดเมียมและสารหนูสะสมในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืงมีในดินทำการเกษตร ส่วนบ้านเล่าและบ้านเขาลวง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่นอกเขตเหมืองและไม่ได้ใช้น้ำจากลำน้ำฮวยในการทำเกษตรกรรม พบค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินในปริมาณที่ต่ำ (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 10 แสดงตำแหน่งสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า

## 1.2 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน

จากการเก็บตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำ (sediments) จากลำห้วยสาธารณะ ตำบลเขาลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยเก็บตัวอย่างที่ห้วยเหล็ก ซึ่งไหลผ่านด้านข้างของเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้าและอยู่บริเวณใกล้เคียงกับบ่อดักตะกอน จำนวน 4 ตัวอย่าง (จุดที่ 1-4) และห้วยผุก 4 ตัวอย่าง (จุดที่ 5-8) พบปริมาณสารหนูทั้งหมดในตะกอนดินสูงเกินเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศของกรมควบคุมมลพิษ ปีพ.ศ. 2561 ที่กำหนดไว้ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบสารหนูในตะกอนดินจากลำห้วยเหล็กที่ระดับ 31.6-232.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูในตะกอนดินจากลำห้วยผุก 21.7-41.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 11) โดยลำห้วยทั้งสองสายนี้ไหลลงไปสู่ชุมชนด้านล่างก่อนไปรวมกับลำน้ำฮวยซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลักที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์ทั้งเพื่อการอุปโภคและบริโภค



ภาพที่ 11 ปริมาณสารหนู (As) ทั้งหมดในตะกอนดินจากลำห้วยเหล็ก บ้านกสะทอน และลำห้วยผูก บ้านนาหนองบง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

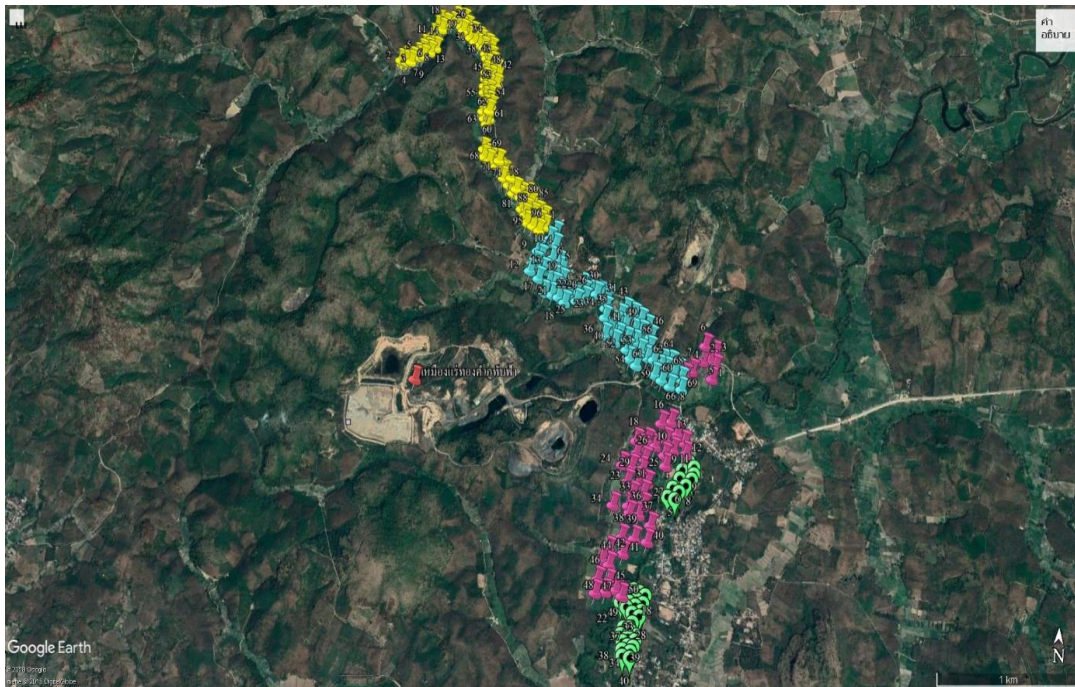
ตารางที่ 12 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) และปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดิน บริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำ ภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

พื้นที่สำรวจ	ระดับความลึก (ซม.)	pH (1:1)	ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (มก./กก.)		
			สารหนู	ตะกั่ว	แคดเมียม
หน้าเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า (2 จุดสำรวจ)	0-15	6.1±0.4	9.0±2.4	18.4±2.5	0.57±0.28
	15-30	6.8±0.1	8.6±2.9	19.6±4.3	0.63±0.36
	30-50	6.5±0.4	8.5±2.7	21.4±4.5	0.50±0.04
	50-70	6.5±0.5	9.5±2.2	22.3±3.9	0.54±0.04
บ้านภูทับฟ้าพัฒนา (8 จุดสำรวจ)	0-15	6.2±0.5	5.2±4.0	10.8±3.2	0.25±0.13
	15-30	6.8±0.5	5.2±4.0	13.6±4.7	0.34±0.29
	30-50	6.9±0.4	4.8±3.6	13.6±5.7	0.26±0.17
	50-70	6.7±0.6	5.1±3.9	14.5±5.5	0.24±0.18
บ้านกสะทอน (4 จุดสำรวจ)	0-15	5.7±0.1	46.1±34.9	18.7±3.7	1.69±1.27
	15-30	5.8±0.6	41.5±21.7	20.2±4.1	1.56±0.74
	30-50	5.8±0.6	35.2±4.6	21.7±2.4	1.30±0.23
	50-70	6.4±0.3	39.7±5.3	23.6±2.6	1.40±0.22
บ้านนาหนองบง (6 จุดสำรวจ)	0-15	5.8±0.3	12.6±2.7	19.7±5.4	0.49±0.13
	15-30	6.1±0.4	12.5±2.7	19.3±7.5	0.52±0.21
	30-50	5.7±0.3	10.7±1.4	19.8±8.2	0.50±0.19
	50-70	5.7±0.3	10.6±1.0	21.8±7.2	0.50±0.16
บ้านเล่าและบ้านเขาหลวง (3 จุดสำรวจ)	0-15	-	nd-1.08	8.0-13.6	0.01-0.08
	15-30	-	nd-1.26	9.0-12.8	0.02-0.04
พื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ	30-50	-	nd-0.24	8.1-12.6	0.01-0.04
จากการทำเหมือง	50-70	-	0.03-0.31	6.8-13.3	0.03-0.12
เกณฑ์มาตรฐาน		-	3.9	100-300	1-3

หมายเหตุ nd = not detected

### 1.3 ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรกรรมจากการสำรวจแบบละเอียด

เมื่อพิจารณาปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม (ตารางที่ 12) จะเห็นบ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา และบ้านกกสะทอน มีปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดปนเปื้อนในดินในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายได้ จึงได้ทำการกำหนดพื้นที่ที่สำรวจเก็บตัวอย่างดินแบบละเอียด โดยใช้วิธี grid sampling แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 พื้นที่ ตามแนวลำน้ำฮวย คือ 1) บ้านนาหนองบง 2) บ้านภูทับฟ้าพัฒนา 3) บ้านกกสะทอน และ 4) บ้านห้วยผุก (ภาพที่ 12) โดยในช่วงวันที่ 2-6 มีนาคม 2560 ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 97 จุดในพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณบ้านนาหนองบง ตั้งอยู่เหนือเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้าและมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ด้านข้างเหมือง วันที่ 18-21 เมษายน 2560 เก็บตัวอย่างดินจำนวน 69 จุด ในพื้นที่เกษตรกรรมบ้านภูทับฟ้าพัฒนา ตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า มีห้วยผุกและลำน้ำฮวยไหลผ่าน วันที่ 29-31 พฤษภาคม 2560 ทำการเก็บตัวอย่างดินจำนวน 50 จุด ในพื้นที่เกษตรกรรมบ้านห้วยผุก ที่มีลำน้ำฮวยไหลผ่าน และวันที่ 9-10 มกราคม 2561 เก็บตัวอย่างดินจำนวน 40 จุด ในพื้นที่เกษตรกรรมบ้านกกสะทอน ซึ่งมีลำน้ำฮวยไหลผ่าน รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 หมู่บ้าน จำนวน 256 จุดเก็บตัวอย่าง

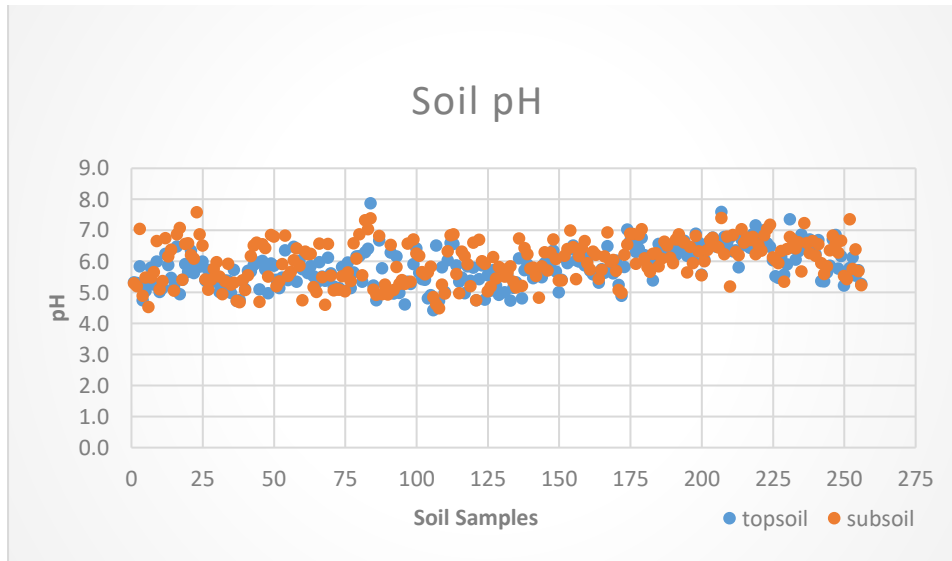


ภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบละเอียดบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณบ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านกกสะทอน และ บ้านห้วยผุก ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

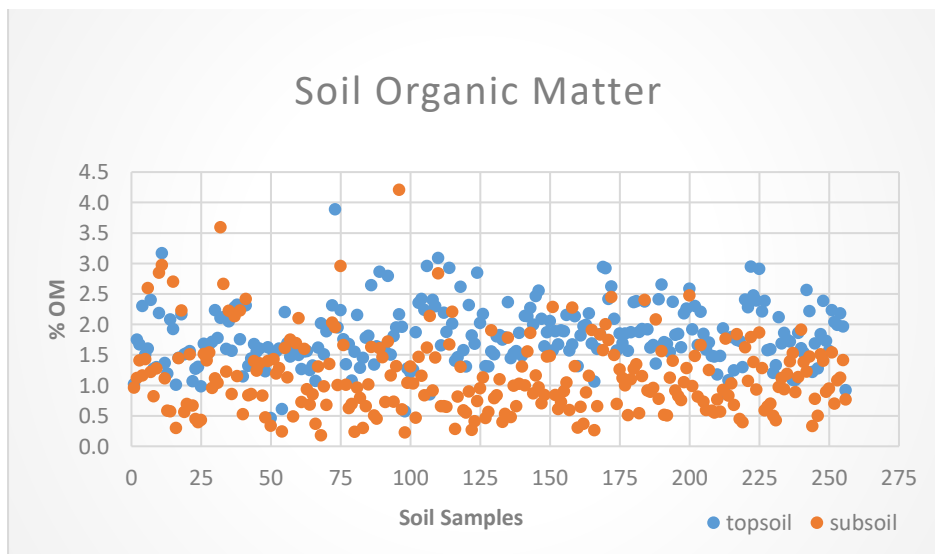
#### 1.3.1 สมบัติทั่วไปของดิน

จากผลวิเคราะห์สมบัติดิน พบว่า ดินส่วนใหญ่มีเนื้อเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ปฏิกริยาดิน (pH) เป็นกรดจัด ถึงด่างอ่อน โดยดินชั้นบนมีค่า pH 4.6-7.6 ดินล่างมีค่า pH 4.5-7.8 (ภาพที่ 13) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินพบตั้งแต่ระดับต่ำมากไปจนถึงระดับสูง โดยดินชั้นบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 0.46-3.89 % และดินล่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 0.18-3.62 % (ภาพที่ 14) และเมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Available P) พบว่า มีค่าตั้งแต่ระดับต่ำไปจนถึงสูง โดยดินบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระหว่าง 1.4-19.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ดินล่างพบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์ระหว่าง 1.4-52.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจะพบว่าดินล่างมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินบน



ภาพที่ 13 ความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย



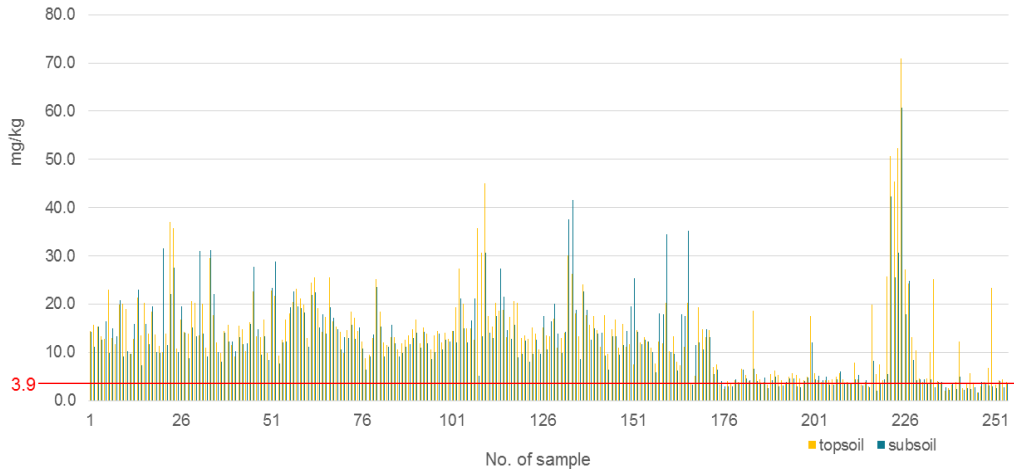
ภาพที่ 14 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

### 1.3.2 ปริมาณการปนเปื้อนของสารหนู (As) ในดิน

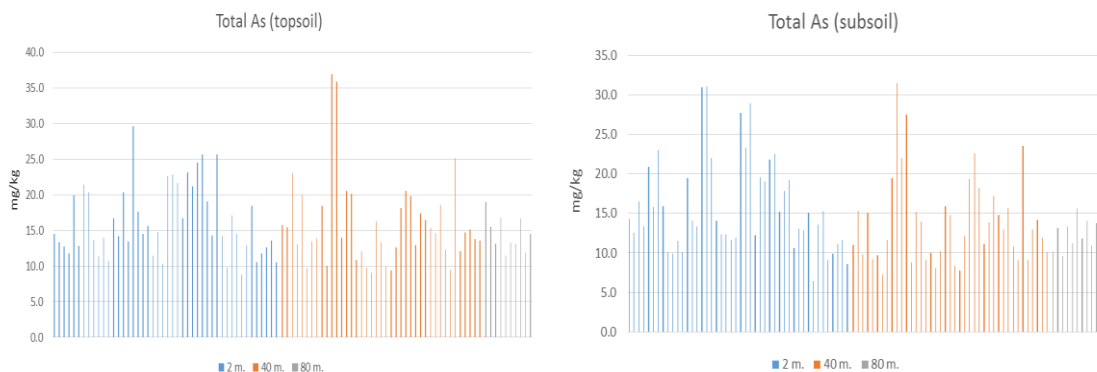
จากผลวิเคราะห์ปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างดินพบว่า ชั้นดินบนมีค่าระหว่าง 2-71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าระหว่าง 1-61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าเกือบทุกตัวอย่างดินทั้งดินบนและดินล่างมีค่าสารหนูเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย ที่ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 15) เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ As ที่ระยะห่างจากริมฝั่งน้ำ 2 40 และ 80 เมตร (ภาพที่ 16) พบความเข้มข้นของ As ที่ระยะใกล้ฝั่งในระดับสูงและค่อยๆ ลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ชัดเจนใน

ดินชั้นล่างมากกว่าดินชั้นบน ซึ่งจากข้อมูลนี้สามารถบอกได้ว่า As นั้นไม่ได้มีการสะสมอยู่ในเฉพาะดินบนเท่านั้น แต่มีการชะล้างลงไปสะสมในดินชั้นล่างด้วยเช่นกันตามคุณสมบัติของธาตุกึ่งโลหะ (metalloid)

## Total As in Soil



ภาพที่ 15 ปริมาณสารหนู (As) ทั้งหมดในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

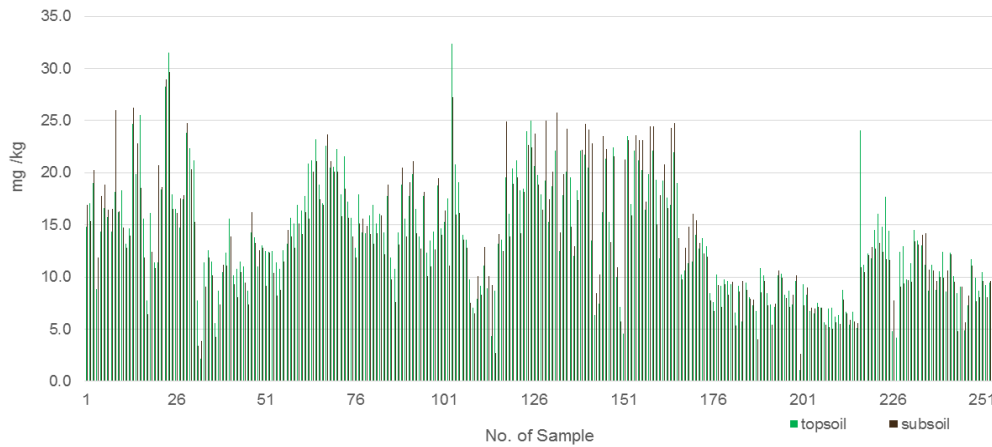


ภาพที่ 16 ปริมาณสารหนู (As) ทั้งหมดในดินชั้นบนและชั้นล่างที่สุ่มเก็บที่ระยะห่างจากริมฝั่งน้ำ 2, 40 และ 80 เมตร

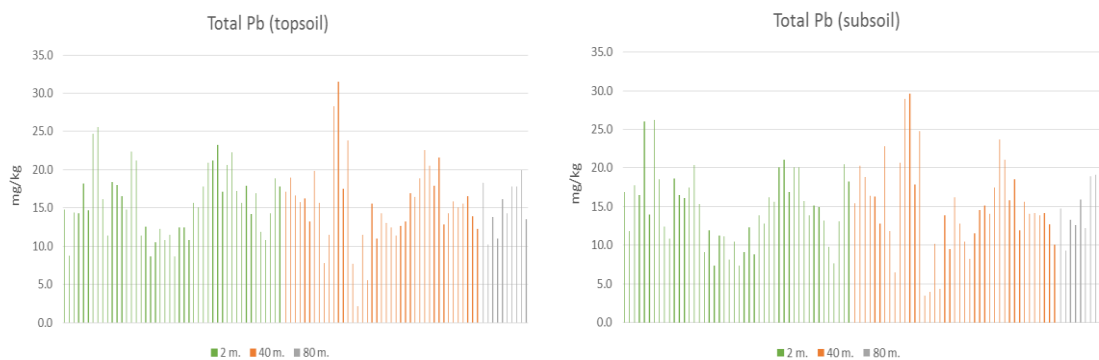
### 1.3.3 ปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่ว (Pb) ในดิน

ปริมาณตะกั่ว (Pb) ทั้งหมดในตัวอย่างดิน พบว่า ชั้นดินบนมีค่าระหว่าง 4-32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าระหว่าง 2-29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าในทุกตัวอย่างดินทั้งดินบนและดินล่างมีค่าตะกั่วต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ European Economic Community (EEC) ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 17) ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Pb ที่ระยะห่างจากริมฝั่งน้ำ 2, 40 และ 80 เมตร (ภาพที่ 18) ไม่พบความแตกต่างของเข้มข้นของ Pb ในแต่ละระยะที่ชัดเจนทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง ซึ่งในกรณีของ Pb นี้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในดินชั้นล่างจะต่ำกว่าดินชั้นบนเล็กน้อย

## Total Pb in Soil



ภาพที่ 17 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ทั้งหมดในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

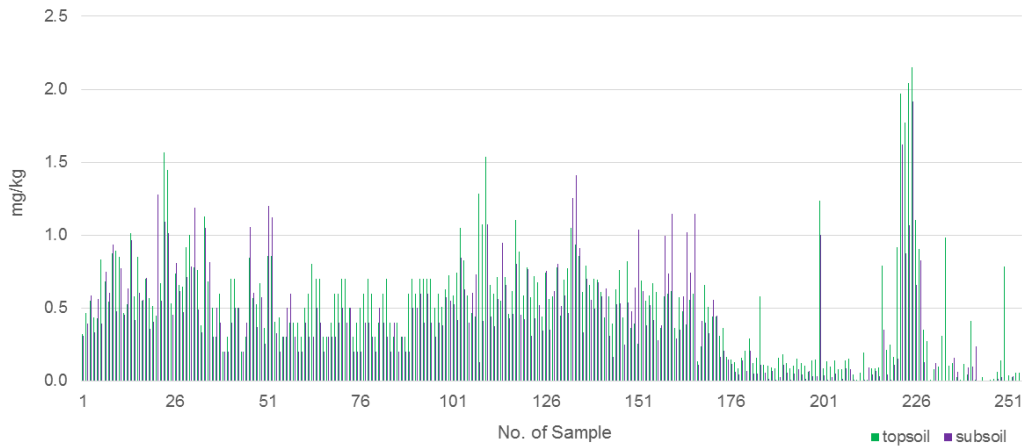


ภาพที่ 18 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ทั้งหมดในดินชั้นบนและชั้นล่างที่สุ่มเก็บที่ระยะห่างจากริมฝั่งน้ำ 2, 40 และ 80 เมตร

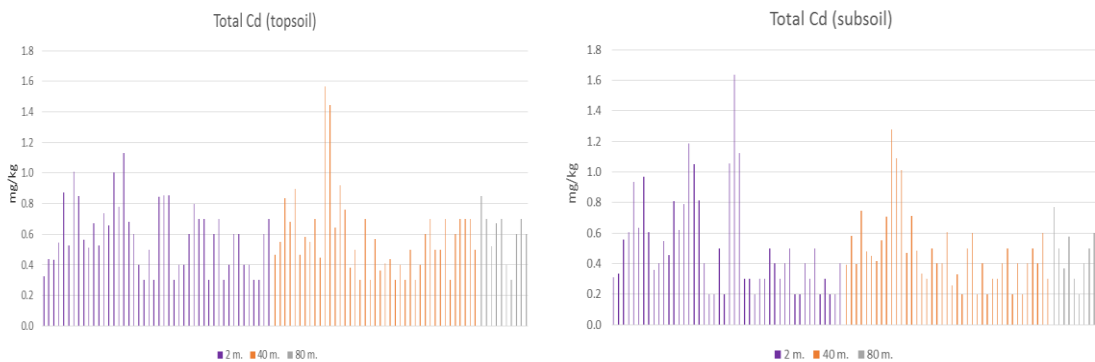
### 1.3.4 ปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียม (Cd) ในดิน

ปริมาณแคดเมียม (Cd) ทั้งหมดในตัวอย่างดินพบว่าชั้นดินบนมีค่าระหว่าง 0-2.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชั้นดินล่างมีค่าระหว่าง 0-1.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าในทุกตัวอย่างดินทั้งดินบนและดินล่างมีค่าแคดเมียมต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ European Economic Community (EEC) ที่ 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 19) แคดเมียมมีการสะสมในดินชั้นบนสูงกว่าดินชั้นล่าง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบน ซึ่งมีมากกว่าชั้นล่าง และไม่พบความแตกต่างของเข้มข้นของ Cd ในแต่ละระยะที่ชัดเจนทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง (ภาพที่ 20)

## Total Cd in Soil



ภาพที่ 19 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ทั้งหมดในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

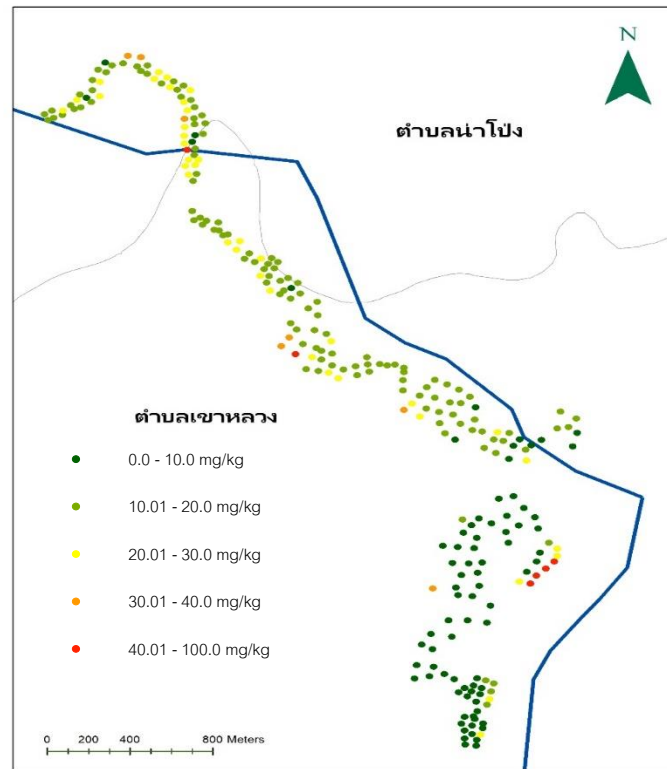


ภาพที่ 20 ปริมาณแคดเมียม (Cd) ทั้งหมดในดินชั้นบนและชั้นล่างที่สุ่มเก็บที่ระยะห่างจากริมฝั่งน้ำ 2, 40 และ 80 เมตร

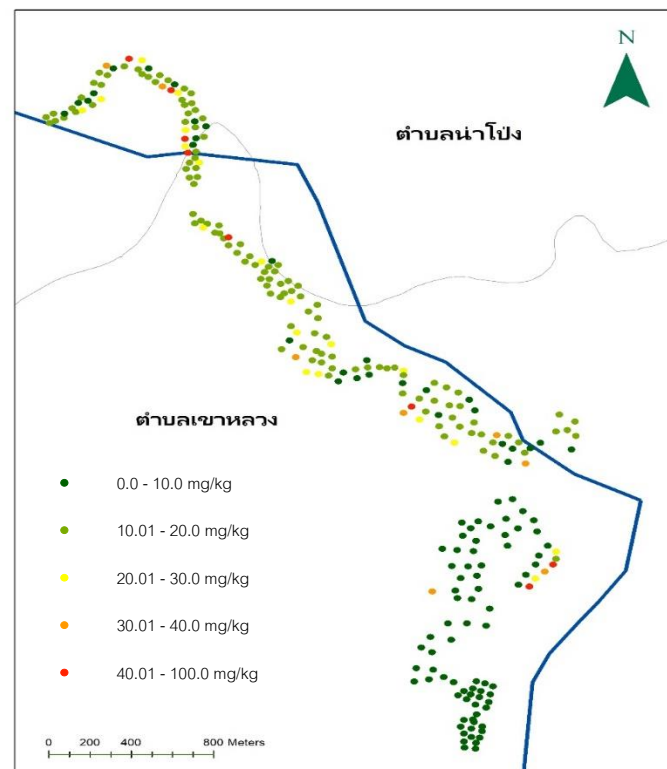
### 1.3.5 สรุปผลจากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรม

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในพื้นที่เกษตรกรรมทั้ง 4 หมู่บ้าน คือ บ้านนาหนองบง บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านกกสะทอน และบ้านห้วยผุก ซึ่งตั้งอยู่เหนือเหมืองแร่ทองคำภูทับฟ้าและมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติด้านข้างเหมือง พบการปนเปื้อนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ สารหนู ตะกั่วและแคดเมียม ซึ่งสารหนูมีค่าการปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย ที่กำหนดไว้ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตะกั่วและแคดเมียมตรวจพบต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกลุ่มสมาชิกยุโรป ซึ่งกำหนดตะกั่วไว้ที่ 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียม 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

โดยปริมาณสารหนูพบปนเปื้อนในดินชั้นบน และพบว่าทางด้านทิศเหนือของเหมืองแร่ทองคำตลอดจนบางส่วนของพื้นที่ทิศตะวันออกติดชุมชนเมืองที่ตั้งอยู่ต่ำกว่าฝั่งตรงข้ามของลำน้ำ มีค่าความเข้มข้นของสารหนูอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน ในขณะที่ทางทิศใต้มีค่าการปนเปื้อนในระดับที่ต่ำกว่า (ภาพที่ 21) ส่วนปริมาณสารหนูในดินชั้นล่างมีผลในแบบเดียวกันกับดินชั้นบน (ภาพที่ 22) ดังนั้นจึงการคัดเลือกพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารหนูในระดับสูง และทำการเก็บตัวอย่างดินมาทดลองบำบัดดินในสภาพเรือนทดลองต่อไป



ภาพที่ 21 แผนที่แสดงระดับการปนเปื้อนของสารหนูในดินชั้นบนบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย



ภาพที่ 22 แผนที่แสดงระดับการปนเปื้อนของสารหนูในดินชั้นล่างบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย



## 2. ผลการทดลองบำบัดดินในสภาพเรือนทดลอง

### 2.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง

จากผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกข้าว พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินเป็นกรดอ่อน (pH 6.08) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) อยู่ในระดับต่ำ (2.39%) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำที่ 4.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีสารหนูสะสมในดิน 65.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13) ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย ที่ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

**ตารางที่ 13** สมบัติดินก่อนปลูกข้าวในเรือนทดลอง

สารหนูทั้งหมด (มก./กก.)	pH <sup>1/</sup> (1:1)	OM <sup>2/</sup> (%)	Avai. P <sup>3/</sup> (mg/kg)	Sand %	Silt %	Clay %	เนื้อดิน <sup>4/</sup>
65.5	6.08	2.39	4.51	55.38	18.22	26.41	ร่วนเหนียวปนทราย

<sup>1/</sup>Peech (1965), <sup>2/</sup>Walkley and Black method (Nelson and Sommer, 1982), <sup>3/</sup>Bray II method (Bray and Kurtz, 1945), <sup>4/</sup>Hydrometer method (Bouyoucos, 1962)

### 2.2 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

การใส่วัสดุปรับปรุงดินมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่สาร โดยความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 156-161.3 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการแตกกอของข้าวมีจำนวนต้นตอกเฉลี่ยอยู่ในช่วง 17-22 ต้นตอก จำนวนรวงต่อกอเฉลี่ย 16-21 รวงต่อกอ ผลผลิตเฉลี่ย 85.7-116 กรัม (ตารางที่ 14) ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน การใส่วัสดุปรับปรุงดินในแต่ละอัตราไม่ทำให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยมีค่าต่างกันมากนัก เมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่สาร โดยกรรมวิธีที่ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วนสูงสุดคือ 366.3 กรัม รองลงมาคือการใส่ FeSO<sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วน 365.8 กรัม (ตารางที่ 15)

**ตารางที่ 14** ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ความสูงระยะเก็บเกี่ยว (ซม.)	จำนวน ต้น/กอ	จำนวน รวง/กอ	น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก กรัม/กระถาง
1. ไม่ใส่สาร	156.0	17.7	16	85.7
2. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 2 mole : 1 mole As	157.7	19.7	18	88.0
3. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 4 mole : 1 mole As	161.3	22.0	20	100.7
4. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As	161.3	22.0	21	115.3
5. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กก./ไร่	160.0	20.0	19	107.3
6. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กก./ไร่	158.3	19.3	19	112.3
7. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กก./ไร่	162.0	20.3	20	116.0
เฉลี่ย	159.5	20.1	19	103.6
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.%	1.7	10.4	11.4	17.8

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 15 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม)				
	เมล็ด	ราก	แกลบ	ฟาง	รวมทั้งหมด
1. ไม่ใส่สาร	78.5	53.4	40.5	175.1	347.5
2. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 2 mole : 1 mole As	86.7	51.1	40.2	158.0	336.0
3. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 4 mole : 1 mole As	98.7	50.7	43.2	161.0	353.6
4. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As	113.0	50.3	44.8	157.7	365.8
5. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กก./ไร่	103.8	47.4	42.3	147.7	341.2
6. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กก./ไร่	110.5	50.8	43.3	161.7	366.3
7. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กก./ไร่	113.5	49.5	44.3	157.9	365.2

2.3 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อความเข้มข้นของหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าว พบว่าการใส่สารปรับปรุงดินในทุกกรรมวิธีมีผลต่อปริมาณสารหนูในส่วนต่างๆ ของข้าวทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในเมล็ดข้าวที่ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูได้ โดยพบการสะสมของสารหนูในส่วนของรากมากที่สุด รองลงมาคือส่วนฟางข้าว และแกลบตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการสะสมของสารหนูในรากและฟางข้าวพบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ FeSO<sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As นั้นมีผลทำให้สารหนูสะสมอยู่น้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ โดยพบการสะสมของสารหนูในรากและฟางข้าวที่ระดับ 28.75 และ 3.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีความแตกต่างจากกรรมวิธีที่ไม่ใส่สารอย่างชัดเจน (ตารางที่ 16)

2.4 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

สมบัติทางเคมีของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวพบว่า การใส่สารปรับปรุงดินมีอิทธิพลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ทำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความอยู่ในช่วง 4.58-5.65 (กรดแก่ถึงกรดปานกลาง) ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้นไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติในทุกกรรมวิธี โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.87-2.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก่อนทดลองเล็กน้อย ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.09-3.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าดินก่อนทดลองเล็กน้อยเช่นกัน (ตารางที่ 17)

ปริมาณสารหนูทั้งหมดในดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.20-12.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ก็มีปริมาณสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย ที่ 3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่สารหนูในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.023-0.157 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ใส่ FeSO<sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As มีผลทำให้มีสารหนูในรูปที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุดในขณะที่กรรมวิธีที่ไม่ใส่สารนั้นทำให้สารหนูในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าต่ำที่สุด และสารหนูในรูปที่พืชดูดซึมได้เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.31-1.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 16 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อปริมาณการสะสมของสารหนูในส่วนต่างๆของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ปริมาณสารหนูทั้งหมด (มก./กก.)			
	เมล็ด	ราก	แกลบ	ฟาง
1. ไม่ใส่สาร	nd	59.91 a	1.66 a	8.11 ab
2. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 2 mole : 1 mole As	nd	41.14 b	0.63 c	4.04 d
3. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 4 mole : 1 mole As	nd	47.59 b	0.55 c	5.00 cd
4. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As	nd	28.75 c	0.64 c	3.66 d
5. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กก./ไร่	nd	58.24 a	1.31 b	6.63 bc
6. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กก./ไร่	nd	44.06 b	1.37 ab	9.22 a
7. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กก./ไร่	nd	62.62 a	1.15 b	8.49 ab
เฉลี่ย	-	92.62	1.05	6.45
F-test	-	**	**	**
C.V. (%)	-	13.2	16.6	16.2

หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

\*\* แตกต่างกันทางสถิติที่, nd = not detected

ตารางที่ 17 ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	pH (1:1)	OM (%)	Available P (mg/kg)
1. ไม่ใส่สาร	5.65 a	1.87	3.15
2. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 2 mole : 1 mole As	5.09 bc	2.00	3.56
3. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 4 mole : 1 mole As	4.86 cd	1.91	3.37
4. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As	4.58 d	1.87	3.93
5. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กก./ไร่	5.54 a	1.99	3.26
6. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กก./ไร่	5.34 ab	1.96	3.50
7. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กก./ไร่	5.07 bc	1.88	3.09
เฉลี่ย	5.16	1.92	3.41
F-test	**	ns	ns
C.V. (%)	3.9	5.6	10.7

หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

\*\* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 18** ผลของเฟอร์รัสซัลเฟตและซีโอไลต์ต่อการเปลี่ยนแปลงแคดเมียมรูปต่างๆ ในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	สารหนูทั้งหมด (มก./กก.)	สารหนูรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	สารหนูรูปที่พืชดูดซึมได้ (มก./กก.)
1. ไม่ใส่สาร	9.69	0.023 d	1.51
2. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 2 mole : 1 mole As	10.64	0.054 cd	1.45
3. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 4 mole : 1 mole As	10.05	0.057 cd	1.51
4. ใส่ FeSO <sub>4</sub> 6 mole : 1 mole As	10.39	0.157 a	1.40
5. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 250 กก./ไร่	9.20	0.081 bc	1.31
6. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 500 กก./ไร่	12.35	0.074 bc	1.46
7. ใส่ซีโอไลต์ อัตรา 1,000 กก./ไร่	9.93	0.107 b	1.49
เฉลี่ย	10.32	0.079	1.45
F-test	ns	**	ns
C.V. (%)	3.9	5.6	10.7

**หมายเหตุ** ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT

\*\* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์, ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

1. จากผลวิเคราะห์ดินที่เก็บจากพื้นที่เกษตรกรรมที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองแร่ทองคำบริเวณหน้าเหมืองแร่ทองคำทับฟ้า บ้านภูทับฟ้าพัฒนา บ้านกกสะทอน และบ้านนาหนองบง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พบโลหะหนักปนเปื้อนและสะสมในดินมากที่สุดที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยสารหนูเป็นโลหะหนักที่มีปริมาณปนเปื้อนในดิน เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและเกษตรกรรมของประเทศไทย (3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนแคดเมียมและตะกั่ว มีการปนเปื้อนในดินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (1-3 มิลลิกรัม Cd ต่อกิโลกรัม และ 100-300 มิลลิกรัม Pb ต่อกิโลกรัม) ดังนั้นสารหนูที่ปนเปื้อนในดินอาจเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของพื้นที่นี้ เนื่องจากชาวบ้านในชุมชนมีการบริโภคผลผลิตที่ได้จากการเพาะปลูกในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของคนในชุมชน

2. ผลวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำ (sediments) จากลำห้วยสาธารณะห้วยเหล็ก และห้วยผุก ในตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งไหลผ่านด้านข้างของเหมืองแร่ทองคำทับฟ้าและอยู่ใกล้เคียงกับบ่อดักตะกอนของเหมืองแร่ทองคำ พบปริมาณสารหนูทั้งหมดในตะกอนดินจากลำห้วยเหล็กที่ระดับ 31.6-232.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูในตะกอนดินจากลำห้วยผุก 21.7-41.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบดังกล่าวสูงเกินเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศของกรมควบคุมมลพิษ ปีพ.ศ. 2561 (10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยลำห้วยทั้งสองสายไหลลงไปสู่ชุมชนด้านล่างก่อนไปรวมกับลำน้ำฮวย ซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลักที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์ทั้งเพื่อการอุปโภคและบริโภค

3. จากปัญหาที่ตรวจพบสารหนูปนเปื้อนในพื้นที่เกษตรกรรมดังกล่าวสูง จึงทดลองบำบัดดินเพื่อลดการสะสมสารหนูในข้าวในสภาพเรือนทดลอง ซึ่งการใส่เฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 6 mole : 1 mole As ในดินที่มีปริมาณสารหนู 65.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลทำให้สารหนูสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของข้าวน้อยกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ส่วนในเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นส่วนที่มนุษย์นำมาบริโภค ตรวจไม่พบสารหนูสะสมในเมล็ด แสดงว่าเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO<sub>4</sub>) อัตรา 6 mole : 1 mole As อาจมีส่วนช่วยในการดูดซับสารหนูไว้ในดิน ส่งผลให้พืชดูดดึงสารหนูเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ได้น้อยลง แต่ทั้งนี้ผลการศึกษายังแสดงผลไม่ชัดเจน จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

เนื่องจากการศึกษาเพื่อลดการดูดซึมสารหนูหรือแม่แต่โลหะหนักชนิดอื่น ต้องใช้เวลาศึกษาอย่างน้อย 2-3 ปี เพื่อให้สารปรับปรุงดินที่ใช้เกิดประสิทธิภาพและได้อัตราที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อม

### เอกสารอ้างอิง (References)

- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. เอกสารวิชาการ กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- Francesconi, K., Visoottiviseth, P., Sridokchan, W., and Goessler, W. 2002. Arsenic species in an arsenic hyperaccumulating fern, *Pityrogramma calomelanos*: a potential phytoremediator of arsenic-contaminated soils. *Science of The Total Environment*, 284: 27–35.
- Friesl, W., E. Lombi, O. Horak, and W. Wenzel. 2003. Immobilization of heavy metals in soils using inorganic amendments in a greenhouse study. *Journal of Plant nutrition and soil Science* 166: 191-196.
- Geebelen, W., Adriano, D.C., van der Lelie, D., Mench, M., Carleer, R., Clijsters, H., and Vangronsveld, J. 2003. Selected bioavailability assays to test the efficacy of amendment-induced immobilization of lead in soil. *Plant and Soil*, 249: 217–228.
- Gray, C.W., S.J. Dunham, P.G. Dennis, F.J. Zhao, and S.P. McGrath. 2006. Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud. *Environmental Pollution* 142: 530-539.
- Hagino, N. 1958. Study of Itai-itai disease, 13<sup>th</sup> Annu. Meet. Toyama Med. Soc.(J) Cited in Kitagishi, K. and Yamane, I., Eds., *Heavy metal pollution in soils of Japan*, Japan Science Society Press, Tokyo.
- Nelson, D. W. and Sommer, L. E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. pp 539-579. In *Method of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiology Properties*. Agronomy Monograph 9 (2 nd) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Nzihou, A., and P. Sharrock. 2010. Role of phosphate in the remediation and reuse of heavy metal polluted wastes and sites. *Waste Biomass* 1: 163-174.
- Park, J.H., D. Lamb, P. Paneerselvam, G. Choppala, N. Bolan, and J.W. Chung. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 185: 549-574.
- Peech, M. 1965. Soil pH by glass electrode pH meter, pp 914-925. In C.A. Black, D.D. Evans, R.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clack, and R.C. Dinsuer (eds). *Method of soil analysis part 2: Physical and Menerological Properties, Inching Statistics of Measurement and Sampling* American Society of Agronomy Inc., Publisher Madison, USA.
- WHO. 2000. Regional Office for Europe, *Air Quality Guidelines*, chapter 6.7, Lead, Copenhagen, Denmark, 2nd edition.
- Yoshioka, K., 1964. Epidemiological study on the relationship between Itai-itai disease and mining nuisance, *Yamaguchi Med. J.*, 13, 146-170.

### การทดลองที่ 3

การศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่ว ในพื้นที่สวนผลไม้และแนวทางลดการสะสมของโลหะหนัก  
ในพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน

A Study of Cadmium and Lead Contamination in the Orchard Areas and Mechanism to Reduce  
the Accumulation of Heavy Metals in Plants Grown in Contaminated Area

#### ชื่อผู้วิจัย

วนิดา โนบรรเทา แวตตา พลกุล ขวัญตา มีกลิ่น อรพิน หนูทอง  
ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ อนันต์ ทองภู

#### คำสำคัญ (Key words)

พื้นที่ปนเปื้อน โลหะหนัก แคดเมียม ตะกั่ว มังคุด

Contaminated area, Heavy metals, Cadmium, Lead, Mangoseteen

#### บทคัดย่อ

การศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่ว ในพื้นที่สวนผลไม้ ดำเนินการในปี 2560-2562 โดยสำรวจเก็บตัวอย่างดินและมังคุด ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และชุมพร มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดิน และผลผลิตมังคุดสด ตลอดจนสมบัติพื้นฐานต่างๆของดิน พบ ปริมาณตะกั่วในดินปลูกมังคุดในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่าตั้งแต่ 1-36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและชุมพร พบในช่วง 9-35 และ 3.4-32.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ปริมาณแคดเมียมในดินปลูกมังคุดในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และชุมพร พบในช่วง nd-0.6, 0.3-1.8 และ 0.02-1.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมและตะกั่วที่ตรวจพบในดินดังกล่าวมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินeralในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (แคดเมียม 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่ว 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงไม่ได้ดำเนินการศึกษาถึงแนวทางลดการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในมังคุดที่ปลูกในพื้นที่ที่พบการปนเปื้อน

สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วในผลผลิตมังคุด ทั้ง 3 จังหวัด พบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน เฉลี่ยมีความเข้มข้น <math><0.002</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นสูงสุดที่อนุญาตให้พืชมินeralในอาหารของ Codex ที่กำหนดไว้ที่ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในตัวอย่างมังคุดที่เก็บจากจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และชุมพร พบในช่วง 0.007-0.09, 0.03-0.06 และ 0.006-0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมในผลผลิตมังคุดในบางพื้นที่ของทั้ง 3 จังหวัดเกินมาตรฐานของประเทศจีนที่อนุญาตให้มีแคดเมียมปนเปื้อนในผลผลิตมังคุดสดได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นพื้นที่ปลูกมังคุดที่ตรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิตเกินเกณฑ์มาตรฐาน ควรมีการติดตามตรวจสอบและเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันและลดการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิตมังคุด

## Abstracts

Study of cadmium and lead contamination in the orchard areas was conducted in 2017-2019 by randomly sampling soil and mangosteen samples in Nakhon Si Thammarat, Surat Thani and Chumphon provinces to analyze the amount of heavy metals in the soil and mangosteen products as well as various basic soil properties. The results shown that, the amount of lead (Pb) in mangosteen planted areas in Nakhon Si Thammarat province ranged from 1 to 36 mg kg<sup>-1</sup>. Whereas in Surat Thani and Chumphon provinces, it was found in the range of 9-35 and 3.4-32.6 mg kg<sup>-1</sup>. While the amount of cadmium (Cd) in mangosteen planted areas in Nakhon Si Thammarat, Surat Thani and Chumphon provinces were found in nd-0.6, 0.3-1.8 and 0.02-1.07 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. These data indicated that Cd and Pb content in soils were not exceeded the maximum allowable concentration for Cd (1-3 mg kg<sup>-1</sup>) and Pb (100-300 mg kg<sup>-1</sup>) in agricultural soil. Therefore, this study does not conduct a study to reduce the accumulation of Cd and Pb in mangosteen grown in contaminated areas.

The concentration of Pb in mangosteen products in 3 provinces was found in the amount not different, average concentration <0.002 mg Pb kg<sup>-1</sup> fresh weight. This illustrated that Pb concentration in mangosteen products not exceeded the maximum allowable in food of Codex (0.1 mg Pb kg<sup>-1</sup>). While the concentration of Cd in mangosteen products collected from Nakhon Si Thammarat, Surat Thani and Chumphon provinces were in the range of 0.007-0.09, 0.03-0.06 and 0.006-0.06 mg Cd kg<sup>-1</sup> fresh weight, indicated that Cd concentration in mangosteen products at some areas were exceeded maximum allowable standard Cd concentration in food of China (0.05 mg Cd kg<sup>-1</sup>). Therefore, the mangosteen planted area that detected Cd contamination in the product exceeded the standard, ongoing monitoring and surveillance should be taken to prevent and reduce Cd contamination in mangosteen products.

## บทนำ (Introduction)

มาตรฐานด้านความปลอดภัยของอาหารเป็นประเด็นที่ถูกหยิบยกขึ้นมาถกเถียงบ่อยครั้ง ทั้งในแง่สุขอนามัยโดยรวมของผู้บริโภค และในบริบทของการเป็นข้อต่อรองในระบบเปิดเสรีการค้าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ประเทศไทยซึ่งได้มีการเคลื่อนไหวและปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อประเด็นนี้มาโดยตลอด แต่มักมุ่งเน้นไปที่กลุ่มอาหารส่งออกเป็นหลัก เนื่องจากสามารถ ส่งผลกระทบต่อ การส่งออกสินค้าอาหารของไทย ส่วนมาตรฐานและการเฝ้าระวังด้านความปลอดภัยของอาหารเพื่อการบริโภคภายในประเทศนั้นพบว่า หลายหน่วยงานได้พยายามผลักดันให้มาตรฐานอาหารที่คนไทยบริโภคมีมาตรฐานเช่นเดียวกับอาหารส่งออก แต่การนำไปปฏิบัติจริงยังไม่พบว่ามี ความเข้มแข็ง คลอบคลุม และต่อเนื่องเพียงพอ ซึ่งการใส่ใจอย่างจริงจังในเรื่องความปลอดภัยของอาหารที่บริโภคภายในประเทศ นับเป็นปัจจัยสำคัญเบื้องต้น ซึ่งจะส่งผลต่อสุขอนามัยที่ดีของประชาชนผู้เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศไทยที่แท้จริง

ดังนั้นดินที่ใช้ทำการเกษตร และใช้ปลูกพืชเพื่อบริโภคเป็นอาหาร ควรสะอาดและปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุพิษในกลุ่มของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ปรอท สารหนู และ ตะกั่ว อย่างไรก็ตาม การใช้ที่ดินเพื่อเพาะปลูกอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องใช้วัสดุปรับปรุงบำรุงดิน รวมทั้งปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และ ยาปราบศัตรูพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอ มีคุณภาพตรงกับความต้องการของ

ตลาด ผลจากการใช้ที่ดินในรูปแบบดังกล่าว สารพิษจำพวกโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับปัจจัยการผลิต จะทยอยสะสมรวมเข้ากับเนื้อดิน และยากต่อการย่อยสลาย หากสะสมจนเกินความสามารถของดินจะดูดซับไว้ได้ โลหะหนักบางส่วนจะละลายปนออกมากับธาตุอาหารอื่นๆที่พืชดูดใช้ การสะสมของโลหะหนักดังกล่าวจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อพืช และผู้บริโภค สาเหตุหนึ่งของการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่การเกษตร คือ เกิดจากกระบวนการแยกและถลุงแร่โลหะ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าพื้นที่การเกษตรในประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกิจกรรมดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น การปนเปื้อนของโลหะหนักไม่ว่าจะโดยธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ล้วนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ในระยะยาว โดยมนุษย์สามารถรับพิษโลหะหนักได้โดยตรงและผ่านทางสารสะสมของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร (Mchale and Mchale, 1994) ทำให้เกิดโรคที่เกิดจากการสะสมของโลหะหนักในร่างกายมนุษย์ เช่น โรคมินามาตะ (minamata) จากปรอท และโรคอิไต-อิไต (itai-itai) จากแคดเมียม (Laws, 1993) จากรายงานในอเมริกา พบว่าความเป็นพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของสมองเด็ก ทำให้เด็กสมองพิการ ระบบประสาทล้มเหลว (Abrahams, 2002; Rieuwert *et al.*, 2000) และคนที่บริโภคผักที่ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่ว ในประเทศตุรกี มีอายุสั้นลงกว่าคนปกติ 9-10 ปี (Türkdoğan *et al.*, 2002) นอกจากนี้ในต่างประเทศยังรายงาน ว่า ผักที่รับประทาน ราก หัว และใบ เป็นพืชที่มีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนแคดเมียม หากปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักและธาตุกึ่งโลหะในประเทศไทย ที่พบว่าแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี เป็นธาตุที่สะสมอยู่ในดินและผลผลิตของพืชค่อนข้างสูงจนอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและคุณภาพของผลผลิตพืชที่เป็นอาหาร (พิชิตและสุรสิทธิ์, 2542) สำหรับในพื้นที่สวนผลไม้ ได้มีการรายงานการตรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน ในเขตอำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี อยู่ในช่วง 5.4-6.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในเขตอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ยังพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินในบางพื้นที่ เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตร (>3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้เนื่องจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดนครศรีธรรมราช ในอดีตมีการทำเหมืองแร่ดีบุก พลวง ทังสแตน เฟลด์สปาร์ ฟลูออไรด์ และ ยิปซัม จึงอาจมีการแพร่กระจายของโลหะหนักสู่พื้นที่บริเวณใกล้เคียง (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7, 2556)

ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้ได้ฐานข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศ ย่อมเป็นประโยชน์ต่อความปลอดภัยของการผลิตพืชอาหารของประเทศไทย ทั้งเพื่อการบริโภคภายในและการค้าขายกับต่างประเทศ นอกจากนี้หากผลการศึกษาบ่งชี้ว่าพื้นที่ทำการเกษตรใด มีปริมาณของโลหะหนักสูงผิดปกติ ย่อมแสดงว่าพื้นที่ทำการเกษตรนั้นอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักเกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาบริหารจัดการ และหาวิธีการจัดการ ควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของโลหะหนักไปสู่บริเวณใกล้เคียงอย่างมีประสิทธิภาพ

### ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

ดำเนินการสำรวจเก็บตัวอย่างดินและมังคุดในพื้นที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในสวนมังคุดของเกษตรกรแต่ละรายพร้อมเก็บตัวอย่างผลผลิตมังคุด เก็บดินที่ระดับความลึก 0-20 และ 20-50 เซนติเมตร ต้นละ 4 จุด (6-8 ต้น/แปลง) ตามแนว 4 ทิศหลัก รวบรวมดินที่เก็บตามระดับความลึก รวมเป็น 2 ตัวอย่าง/แปลง บันทึกพิกัดตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างโดยใช้ Global Positioning System (GPS)

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน 1) pH: ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Rayment and Higginson, 1992) คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที และ วัด pH ด้วยเครื่อง pH meter แบบ Glass electrode 2) อินทรีย์วัตถุในดิน: โดยวิธี walkley and black (Nelson and Sommers, 1982) ย่อยดินด้วยกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น และ  $1N K_2Cr_2O_7$  ไตเตรทด้วยสารละลาย  $0.5 N$  ammonium ferrous sulfate



3) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์: สกัดดินด้วยน้ำยา Bray II (0.03N  $\text{NH}_4\text{F} + 0.1\text{N HCl}$ ) วัดปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ โดยทำให้เกิดสีตามวิธี molybdenum blue (Watanabe and Olsen, 1965) วัดความเข้มข้นของสีเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง UV spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร 4) โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , pH 7 ส่วนทองแดง สังกะสี เหล็กและแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ในดิน สกัดดินด้วยน้ำยา DTPA pH 7.3 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) และวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี เหล็กและแมงกานีสที่สกัดได้ เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

การวิเคราะห์โลหะหนักในดินและเนื้อมั่งคุดสด โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสม  $\text{HCl} : \text{HNO}_3$  (McGrath and Cunliffe, 1985; Zarcinas and Cartwright, 1983) โดยชั่งตัวอย่าง 0.5xxx กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส วัดความเข้มข้นของโลหะหนัก เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

การประเมินระดับการปนเปื้อนในดินและพืช นำข้อมูลจากผลวิเคราะห์มาประเมินระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและพืช โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมียอดในดินเพื่อการเกษตรและในพืช (Maximum Allowable Concentration, MAC) เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดขอบเขตและจัดทำพื้นที่ระดับความเสี่ยง (ระดับต่ำ ปานกลางและสูง) โดยใช้แผนที่ดินเป็นแผนที่ฐาน และใช้ GIS ช่วยในการจัดทำขอบเขตพื้นที่เสี่ยง ซึ่งมาตราส่วนในการทำแผนที่จะขึ้นอยู่กับขอบเขตในการเก็บตัวอย่างในแต่ละจังหวัด (จำนวนจุดที่เก็บตัวอย่าง)

## ผลการวิจัย (Results)

โดยทั่วไปโลหะหนักในดินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) โลหะหนักกลุ่มที่เป็นธาตุอาหารพืช (Plant nutrient metals group) จำเป็นต่อการเจริญเติบโตแต่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี โดยธรรมชาติธาตุเหล็กและแมงกานีสในดินมีปริมาณสูงและมีการกระจายตัวกว้างมาก จึงไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานในดินไว้ ส่วนทองแดง และสังกะสีในดินกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป (CEC, 1993) กำหนดค่ามาตรฐานไว้ที่ 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

2) โลหะหนักกลุ่มที่เป็นธาตุพิษ (Toxic metals group) เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สารหนู โปรท โคโรเนียม และนิเกิล เป็นต้น เป็นธาตุที่มีอยู่แล้วในดิน ดังนั้นพืชจะดูดขึ้นไปสะสมในต้นมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณที่ละลายได้ในดิน ถ้าพืชดูดขึ้นไปสะสมในส่วนของผลผลิตสูง จะทำให้ผลผลิตของพืชนั้นไม่เป็นที่ต้องการของตลาด โดยกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป กำหนดค่ามาตรฐานของ แคดเมียม และตะกั่ว ในดินไว้ที่ คือ 1-3 และ 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (CEC, 1993)

### 1. ปริมาณโลหะหนักในดินปลูกมั่งคุด

#### 1.1 จังหวัดนครศรีธรรมราช

จากผลวิเคราะห์ดินในพื้นที่ปลูกมั่งคุดในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลา และอำเภอรพรมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าปริมาณโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ เช่น แคดเมียม พบ มีค่าตั้งแต่ไม่สามารถตรวจพบจนถึง 0.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 19) ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบดังกล่าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของแคดเมียม (1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ที่อนุญาตให้พืชมียอดในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป (CEC, 1993) แต่เมื่อเทียบกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Zarcinas et al., 2004) พบว่า 46 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดินที่สำรวจมีค่าการปนเปื้อน

ของแคดเมียมสูงกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานดังกล่าว (ตารางที่ 19 และภาพที่ 23) ทั้งนี้ระดับเกณฑ์พื้นฐานเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนระยะแรก ซึ่งระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นระดับความเข้มข้นที่ต้องนำมาตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของมนุษย์หรือไม่ หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่

ส่วนปริมาณตะกั่วในดิน พบในช่วง 1-36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณที่ตรวจพบในดินดังกล่าวกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของตะกั่วในดินของประเทศไทย (55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินeralในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป จะเห็นว่าดินปลูกมังคุดในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย (ตารางที่ 19 และภาพที่ 24)

สำหรับปริมาณโลหะหนักในกลุ่มที่เป็นธาตุอาหารพืช เช่น ทองแดงและสังกะสีทั้งหมดในดินปลูกมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช พบอยู่ระหว่าง 0.3-61 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 8-52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณทองแดงและสังกะสีที่พบในดินดังกล่าวต่ำกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของทองแดงและสังกะสีในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 45 และ 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของทองแดงและสังกะสีอนุญาตให้พืชมินeralในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (ตารางที่ 19)



ภาพที่ 23 แผนที่แสดงปริมาณแคดเมียมในดินปลูกมังคุดในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอทับปดอำเภอลานสลา และอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 24 แผนที่แสดงปริมาณตะกั่วในดินปลูกมังคุดในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลา และอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

## 1.2 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

จากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินปลูกมังคุดในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและบ้านนาสาร จังหวัด สุราษฎร์ธานี พบว่า ดินที่ปลูกมังคุดในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณแคดเมียมในดินตั้งแต่ 0.32-1.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20) ซึ่ง 36 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดินที่สำรวจมีค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่าค่ามาตรฐานเกณฑ์ต่ำของแคดเมียมอนุญาตให้พืชมี่ในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (CEC, 1993) และพบว่าทุกตัวอย่างดินที่สำรวจมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดินสูงกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 20 และภาพที่ 25)

ปริมาณตะกั่วในดิน พบในช่วง 9-35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณที่ตรวจพบในดินดังกล่าวกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของตะกั่วในดินของประเทศไทย (55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมี่ในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป จะเห็นว่าดินปลูกมังคุดในพื้นที่ที่สำรวจในจังหวัดนครศรีธรรมราชอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย (ตารางที่ 20 และภาพที่ 26)

ส่วนปริมาณทองแดงและสังกะสีทั้งหมดในดินปลูกมังคุดในอำเภอบ้านนาเดิมและบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบระหว่าง 1.6-10.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 12-65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณทองแดงและสังกะสีที่พบในดินดังกล่าวต่ำกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของทองแดงและสังกะสีในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 45 และ 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของทองแดงและสังกะสีอนุญาตให้พืชมี่ในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป (ตารางที่ 20)



ภาพที่ 25 แผนที่แสดงปริมาณแคดเมียมในดินปลูกมังคุด ในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี



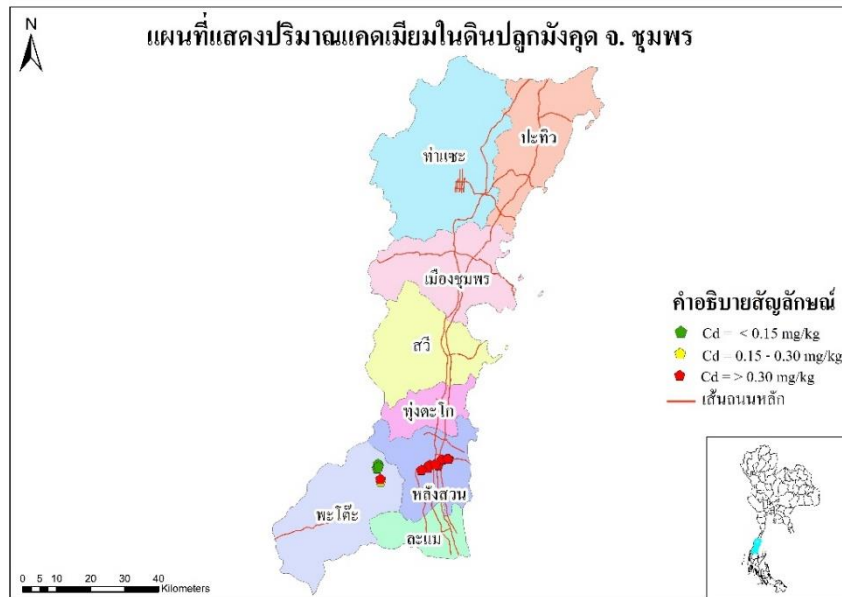
ภาพที่ 26 แผนที่แสดงปริมาณตะกั่วในดินปลูกมังคุด ในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี

### 1.3 จังหวัดชุมพร

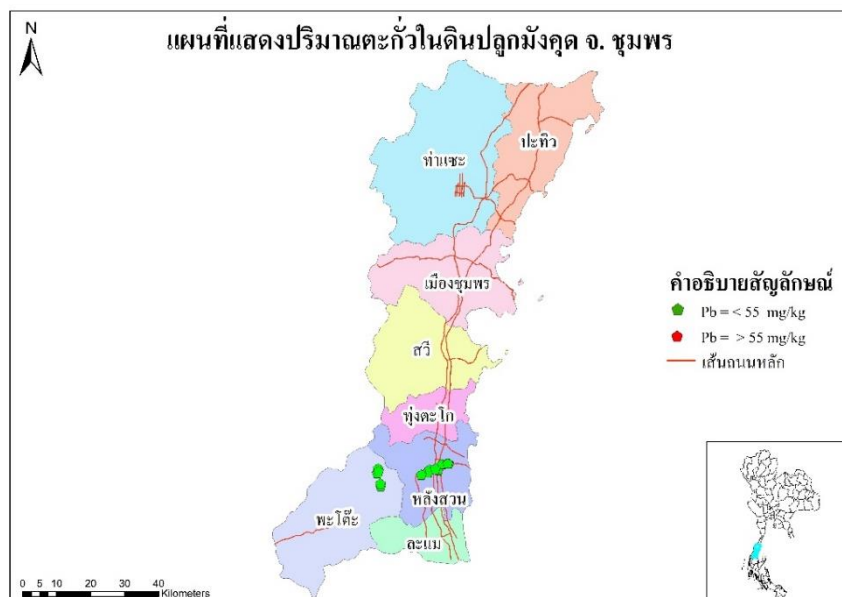
ปริมาณของแคดเมียมในดินปลูกมังคุดในเขตอำเภอพะโต๊ะและหลังสวน จังหวัดชุมพร พบอยู่ระหว่าง 0.02-1.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 21) ซึ่ง 73 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนตัวอย่างที่สำรวจมีค่าสูงกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 27) เนื่องจากแคดเมียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายจากดินไปสะสมที่ผลิตผลพืชได้มากกว่าธาตุโลหะหนักอื่นๆ ดังนั้นจึงควรมีการติดตามตรวจสอบพื้นที่ดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ส่วนปริมาณตะกั่วในดินพบในช่วง 5-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 21) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบในดินดังกล่าวกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของตะกั่วในดินของประเทศไทย

และมาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป จะเห็นว่าดินในเขตจังหวัดที่อำเภออยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของตะกั่ว (ภาพที่ 28)

ปริมาณทองแดงและสังกะสีทั้งหมดในดินปลูกมังคุดในเขตอำเภอพะโต๊ะและหลังสวน จังหวัดชุมพร พบอยู่ระหว่าง 2-13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 13.5-60.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณทองแดงและสังกะสีที่พบในดินดังกล่าวต่ำกว่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของทองแดงและสังกะสีในดินของประเทศไทยที่กำหนดไว้ที่ 45 และ 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของทองแดงและสังกะสีอนุญาตให้พืชมินิในดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาพันธ์ยุโรป (ตารางที่ 21)



ภาพที่ 27 แผนที่แสดงปริมาณแคดเมียมในดินปลูกมังคุด ในพื้นที่อำเภอพะโต๊ะและอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร



ภาพที่ 28 แผนที่แสดงปริมาณตะกั่วในดินปลูกมังคุด ในพื้นที่อำเภอพะโต๊ะและอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

## 2. ความเข้มข้นของโลหะหนักในผลผลิตมันฝรั่ง

### 2.1 จังหวัดนครศรีธรรมราช

จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างมันฝรั่งในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลาและอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช พบมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อมันฝรั่งสด ระหว่าง 0.008-0.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 22 และภาพที่ 29) และเกินมาตรฐานที่กำหนดของกลุ่มสมาชิกยุโรป (0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) 1 ตัวอย่าง ส่วนตะกั่วพบปนเปื้อนในเนื้อมันฝรั่ง < 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 22 และภาพที่ 30) ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดของ Codex ที่ยอมให้ตะกั่วปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (CCCF, 2006)

### 2.2 จังหวัดสุราษฎร์ธานี

จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างมันฝรั่งในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อมันฝรั่งสด ระหว่าง 0.03-0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 23 และภาพที่ 31) ซึ่งมีร้อยละ 30 ของจำนวนตัวอย่างที่สำรวจมีแคดเมียมปนเปื้อนเกินมาตรฐานที่กำหนดของกลุ่มสมาชิกยุโรป (0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนตะกั่วพบปนเปื้อนในเนื้อมันฝรั่ง < 0.002 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 23 และภาพที่ 32) ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดของ Codex ที่ยอมให้ตะกั่วปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (CCCF, 2006)



ภาพที่ 29 แผนที่แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อมันฝรั่งสด ในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอนบพิตำ อำเภอลานสลาและอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 30 แผนที่แสดงความเข้มข้นตะกั่วในเนื้อมั่งคุดสด ในพื้นที่อำเภอท่าศาลา อำเภอหนองปีเต้า อำเภอลานสลาและอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 31 แผนที่แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมในเนื้อมั่งคุดสดในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี



ภาพที่ 32 แผนที่แสดงความเข้มข้นตะกั่วในเนื้อมังคุดสด ในพื้นที่อำเภอบ้านนาเดิมและอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี

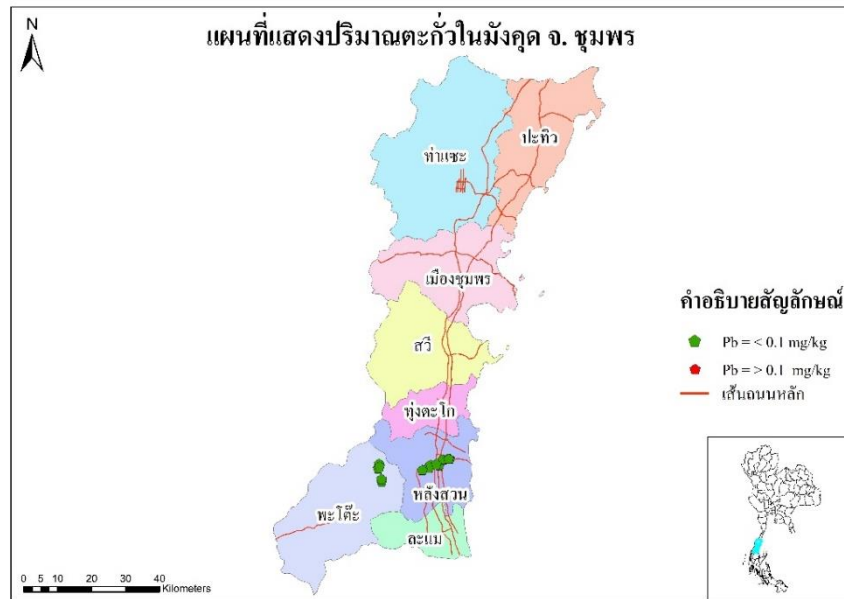
### 2.3 จังหวัดชุมพร

จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างมังคุดในพื้นที่อำเภอพะโต๊ะและอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร พบมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในเนื้อมังคุดสด <math>< 0.006</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง <math>0.06</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 24 และภาพที่ 33) ซึ่งมีจำนวน 1 ตัวอย่างที่สำรวจจะมีแคดเมียมปนเปื้อนเกินมาตรฐานที่กำหนดของกลุ่มสมาชิกยุโรป (<math>0.05</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนตะกั่วพบปนเปื้อนในเนื้อมังคุด <math>< 0.002</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 24 และภาพที่ 34) ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดของ Codex ที่ยอมให้ตะกั่วปนเปื้อนในอาหารได้ไม่เกิน <math>0.1</math> มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (CCCF, 2006)



ภาพที่ 33 แผนที่แสดงความเข้มข้นแคดเมียมในเนื้อมังคุดสดในพื้นที่อำเภอพะโต๊ะและอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร





ภาพที่ 34 แผนที่แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในเนื้อมังกุดสด ในพื้นที่อำเภอพะโต๊ะและอำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

### 3. สมบัติทั่วไปของดินในพื้นที่ปลูกมังกุด

#### 3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินปลูกมังกุด

จากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกมังกุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และชุมพร พบว่า ดินที่ปลูกมังกุดส่วนใหญ่มีความเป็นกรด (ตารางที่ 25 26 และ 27) โดยดินในพื้นที่ปลูกมังกุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช มี pH อยู่ในช่วง 4.1-5.0 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำมาก (0.5 เปอร์เซ็นต์) ถึงปานกลาง (1.8 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากดินในพื้นที่ปลูกมังกุดดังกล่าวส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนเหนียวปนทราย (ตารางที่ 25) ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำโดยธรรมชาติ สำหรับดินในพื้นที่ปลูกมังกุดในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.0-4.6 พบอินทรีย์วัตถุในดินต่ำในช่วง 0.8-1.7 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงร่วนเหนียวปนทราย (ตารางที่ 26) ส่วนดินในพื้นที่ปลูกมังกุดในจังหวัดชุมพร มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.2-4.7 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ 0.8-1.5 เปอร์เซ็นต์ เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนเหนียว (ตารางที่ 27)

#### 3.2 ความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกมังกุด

สถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกมังกุด ใช้เกณฑ์การประเมินจากค่าวิเคราะห์ 3 รายการ คือ ร้อยละปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งแปรผลจากค่าวิเคราะห์ดิน โดยให้เกณฑ์การประเมินเป็น ค่าสูง ปานกลาง และ ต่ำ ในการกำหนดคะแนน เมื่อรวมผลคะแนนจากค่าวิเคราะห์ดินทั้ง 3 รายการ จึงนำมาจัดระดับสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังตารางที่ 28 สำหรับระดับจุลธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดิน เช่น สังกะสี และ ทองแดง ใช้วิธีประเมินเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามวิธีของ Viet and Lindsay (1973) ซึ่งจากข้อมูลการประเมินสามารถนำมาวินิจฉัยยวาระดับจุลธาตุในดินอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความต้องการของพืชหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 29

จากการนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ดินมาประเมินคุณภาพระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านธาตุอาหารหลักและประเมินปริมาณความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชในดิน (ตารางที่ 25 26 และ 27) พบว่า ดินในพื้นที่ปลูกมังกุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานีและชุมพร มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในด้านจุลธาตุอาหาร

พบว่าในพื้นที่ปลูกมังคุดทั้ง 3 พื้นที่จังหวัดที่สำรวจมีปริมาณทองแดงที่เป็นประโยชน์ในดิน พอเพียงกับความต้องการของพืช ส่วนสังกะสีที่เป็นประโยชน์ ทั้งในจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานีและชุมพร มีปริมาณไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช ซึ่ง 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนตัวอย่างดินที่เก็บจากสวนมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช รองลงมาคือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 6175 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนตัวอย่างดิน และชุมพร 44 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนตัวอย่างดิน ซึ่งหากพืชที่ปลูกมีความไวต่อการขาดธาตุเหล็ก ทองแดง และสังกะสี จะแสดงอาการขาดธาตุดังกล่าวได้

#### 4. แนวทางลดการสะสมของโลหะหนักในพืชที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อน

จากผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่ปลูกมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานีและชุมพร (ตารางที่ 19 20 และ 21) พบปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมและตะกั่วในดินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรป ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงไม่ได้ดำเนินการศึกษาถึงแนวทางการสะสมของแคดเมียมและตะกั่วในมังคุดที่ปลูกในพื้นที่ที่พบการปนเปื้อน เนื่องจากปริมาณตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนในดินระดับต่ำ ส่วนในบางแปลงที่ตรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิต โดยเฉพาะมังคุดที่เก็บจากอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเนื่องมาจากดินที่ปลูกมังคุดในพื้นที่ดังกล่าวมีปฏิกิริยาดินเป็นกรด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ จึงเป็นปัจจัยส่งเสริมการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน ทำให้พืชดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนที่บริโภคได้ ดังนั้นในการแก้ไขเบื้องต้นควรใช้ปูนขาวหรือโดโลไมต์ เพื่อยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้น และลดการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน

#### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

ปริมาณโลหะหนักในดินในพื้นที่ปลูกมังคุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานีและชุมพร พบการปนเปื้อนของตะกั่วในดินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรปและระดับเกณฑ์พื้นฐานของตะกั่วในดินของประเทศไทย ส่วนแคดเมียมในดินพบในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมินดินทำการเกษตรของกลุ่มสมาชิกยุโรปเช่นกัน แต่เมื่อเทียบกับระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทย (0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่าแคดเมียมในดินปลูกมังคุดในบางสวนของทั้ง 3 จังหวัดที่สำรวจ มีค่าเกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของแคดเมียมในดินของประเทศไทย ซึ่งระดับเกณฑ์พื้นฐานดังกล่าวเป็นระดับความเข้มข้นที่นำมาใช้เพื่อประเมินการปนเปื้อนระยะแรก และระดับเหล่านี้ไม่ได้บ่งชี้ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แต่ยังคงจำเป็นต้องตรวจสอบต่อไปว่า การปนเปื้อนที่เกิดจากความเข้มข้นระดับนั้น เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆของมนุษย์หรือไม่ หรือทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในสภาพแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์หรือไม่

นอกจากนี้ยังพบว่าในบางแปลงตรวจพบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผลผลิตสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด โดยเฉพาะมังคุดที่เก็บจากอำเภอบ้านนาสาร จังหวัดนครศรีธรรมราช อาจเนื่องมาจากดินที่ปลูกมังคุดในพื้นที่ดังกล่าวมีปฏิกิริยาดินเป็นกรด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ จึงเป็นปัจจัยส่งเสริมการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน ทำให้พืชดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนที่บริโภคได้ ดังนั้นในการแก้ไขเบื้องต้นควรใช้ปูนขาวหรือโดโลไมต์ เพื่อยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้น และลดการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน และควรมีการคัดแยกผลผลิตมังคุดในสวนที่ตรวจพบว่ามีปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมก่อนส่งเข้าสู่ตลาด หรือสุ่มตรวจผลผลิตมังคุดในพื้นที่ดังกล่าวทุกครั้งก่อนที่ขายผลผลิตสู่ท้องตลาด

ตารางที่ 19 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ  
จังหวัดนครศรีธรรมราช

No.	Location (47P)		Toxic metals in soil (mg/kg)			Plant nutrient metals in soil (mg/kg)	
	X	Y	Cd	Pb	As	Cu	Zn
1	599168	969883	0.52±0.08	11.5±0.2	16.1±2.7	4.6±0.5	28±5
2	590879	965206	0.38±0.05	9.0±0.6	13.2±1.9	2.9±0.5	20±3
3	591039	965334	0.37±0.05	8.6±0.6	12.6±1.9	2.9±0.2	19±3
4	591022	964282	0.26±0.04	7.5±0.4	9.9±1.5	2.1±0.4	19±4
5	589154	960850	0.14±0.01	6.5±0.4	7.2±0.7	1.4±0.1	13±2
6	588966	961175	0.16±0.03	6.9±0.4	7.5±0.9	2.3±0.8	14±1
7	589115	960507	0.12±0.11	6.7±1.2	7.8±2.7	2.1±0.7	19±2
8	589074	960331	0.11±0.03	7.2±0.4	7.8±0.8	2.5±0.2	24±4
9	588896	960100	0.08±0.02	6.8±0.2	7.6±0.6	2.4±0.5	49±4
10	587166	959209	0.01±0.02	3.8±0.4	5.8±0.7	0.9±0.3	18±3
11	590389	922998	0.44±0.06	8.9±0.3	16.6±1.9	1.9±0.5	24±2
12	592208	924386	0.42±0.18	10.7±1.9	18.1±3.3	2.6±1.4	21±3
13	588603	928604	0.07±0.10	5.5±2.4	8.8±2.5	4.7±1.2	44±11
14	586909	931595	0.05±0.02	3.2±0.3	8.7±0.7	2.8±0.6	35±3
15	587652	930516	0.04±0.04	4.4±0.6	6.3±0.9	3.2±0.4	39±7
16	576538	972353	0.20±0.04	5.2±1.9	9.3±0.9	0.8±0.5	19±4
17	576573	972072	0.63±0.14	36.7±16.6	19.9±4.9	16.1±8.9	35±10
18	576122	971189	0.02±0.02	6.6±1.3	3.7±0.5	1.7±1.4	17±3
19	588075	952017	0.02±0.03	1.0±0.4	1.7±0.5	0.3±0.1	1.1±1
20	593635	937542	0.09±0.09	5.0±0.9	5.9±2.8	3.0±1.1	8±2
21	592586	938775	0.23±0.06	3.7±0.3	9.8±1.7	5.1±0.8	14±2
22	592239	938910	0.10±0.06	1.4±0.3	5.4±1.6	1.1±0.4	3.1±1
23	589856	939345	0.17±0.09	3.9±0.9	8.6±3.3	3.7±1.6	17±7
24	591698	939352	0.52±0.10	12.5±0.5	16.3±2.4	5.0±0.6	34±3
25	598824	969662	0.5±0.10	12.4±1.5	16.8±3.3	4.6±0.7	31±6
26	598747	969669	nd	3.2±1.5	3.6±1.4	3.1±1.0	43±8
27	584795	928752	nd	4.4±0.7	4.1±0.4	2.0±0.7	35±4
28	585866	928472	0.02±0.02	5.1±1.0	6.6±1.2	3.7±2.8	52±12
		Min.	nd	1.0	1.7	0.3	8.0
		Max.	0.63	36.7	19.9	16.1	52.0
		EU standard <sup>A</sup>	1-3	100-300	-	100	300
		Thai background <sup>B</sup>	0.15	55	30	45	70

แหล่งที่มา : <sup>A</sup> Commission of the European Communities (CEC, 1993)

<sup>B</sup> Zarcinas *et al.* (2004)

ตารางที่ 20 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ  
จังหวัดสุราษฎร์ธานี

No.	Location (47P)		Toxic metals in soil (mg/kg)			Plant nutrient metals in soil (mg/kg)	
	X	Y	Cd	Pb	As	Cu	Zn
1	544795	987084	0.82±0.34	13.0±2.8	19.6±5.5	1.6±0.4	12±2.3
2	546387	985969	0.84±0.10	17.9±2.2	20.9±2.6	2.7±0.4	16±0.9
3	541524	972498	0.79±0.15	12.7±0.9	19.9±3.2	7.9±4.3	30±4.8
4	541189	972212	0.86±0.26	14.5±0.8	21.6±2	9.5±5.2	30±1.5
5	543758	974329	0.32±0.12	12.6±2.5	8.7±3.0	5.8±3.5	21±3.2
6	536418	983296	1.23±0.07	14.4±0.8	32.3±1.7	6.5±1.5	45±4.9
7	535904	983205	1.48±0.11	15.9±1.1	39.0±2.5	6.2±1.0	46±1.6
8	544795	986912	2.44±0.22	35.1±8.1	66.5±6.3	6.5±2.0	37±9.1
9	541576	972663	0.43±0.15	11.8±1.4	16.5±4.0	9.1±5.8	29±2.9
10	545339	981402	0.70±0.20	9.3±0.7	24.0±3.4	3.4±0.7	26±3.0
11	536785	982984	1.82±0.29	18.8±3.2	48.3±4.3	10.2±3.6	65±11
12	536340	983156	1.47±0.12	17.6±1.1	39.9±3.5	6.8±0.3	54±3.6
13	535524	984308	0.94±0.11	13.3±1.0	27.0±2.9	7.3±1.8	43±6.3
		Min.	0.32	9.3	8.7	1.6	12
		Max.	1.82	35.1	66.5	10.2	65
		EU standard <sup>A</sup>	1-3	100-300	-	100	300
		Thai background <sup>B</sup>	0.15	55	30	45	70

แหล่งที่มา : <sup>A</sup> Commission of the European Communities (CEC, 1993)

<sup>B</sup> Zarcinas *et al.* (2004)

ตารางที่ 21 ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ  
จังหวัดชุมพร

No.	Location (47P)		Toxic metals in soil (mg/kg)			Plant nutrient metals in soil (mg/kg)	
	X	Y	Cd	Pb	As	Cu	Zn
1	509302	1100822	0.38±0.07	13.3±0.4	14.6±2.3	6.9±0.6	30.1±3.1
2	510732	1100982	0.76±0.02	18.2±0.9	25.1±0.8	13.1±0.6	60.5±0.6
3	505123	1098302	0.31±0.08	9.9±1.4	11.6±2.9	4.7±0.4	26.1±0.3
4	505140	1098584	0.40±0.08	15.2±2.5	14.6±2.5	5.6±0.4	31.6±2.4
5	505664	1099228	0.45±0.08	12.6±0.4	15.6±2.3	6.8±1.0	34.8±2.9
6	508185	1099133	0.41±0.07	13.6±0.3	14.8±2.2	8.5±1.7	47.3±10.4
7	490210	1098159	0.02±0.01	5.0±0.7	3.4±0.2	2.1±0.7	14.2±2.8
8	490500	1099567	0.07±0.04	15.9±0.6	6.2±0.8	7.3±2.1	31.0±4.1
9	490600	1098782	0.05±0.03	8.2±1.5	4.6±0.9	3.0±1.4	13.5±3.8
10	491249	1094365	0.22±0.03	12.3±0.9	10.0±1.4	9.0±2.1	26.2±4.7
11	491194	1095078	1.07±0.68	14.8±4.4	32.6±7.5	12.1±4.3	32.0±6.9
12	509207	1100813	0.61±0.08	15.9±1.2	21.3±2.0	12.0±0.5	52.7±1.9
13	511245	1100996	0.42±0.13	12.3±2.4	15.9±3.6	9.2±2.2	41.1±8.8
14	510949	1101012	0.38±0.14	11.7±2.5	15.2±3.7	8.4±2.0	39.1±9.2
15	507292	1099452	0.59±0.19	15.7±1.7	20.8±5.0	12.0±1.3	49.9±5.2
16	503170	1097717	0.59±0.10	13.5±0.8	20.3±2.7	9.0±0.8	37.7±2.6
		Min.	0.02	5.0	3.4	2.1	13.5
		Max.	1.07	18.2	32.6	13.1	60.5
		EU standard <sup>A</sup>	1-3	100-300	-	100	300
		Thai background <sup>B</sup>	0.15	55	30	45	70

แหล่งที่มา : <sup>A</sup> Commission of the European Communities (CEC, 1993)

<sup>B</sup> Zarcinas *et al.* (2004)

ตารางที่ 22 ความเข้มข้นโลหะหนักในเนื้อมังคุดสด ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดนครศรีธรรมราช

No.	Location (47P)		Toxic metals (mg/kg)		
	X	Y	Pb	Cd	As
1	599168	969883	< 0.006	0.02	0.05
2	590879	965206	< 0.006	0.02	< 0.02
3	591039	965334	< 0.006	0.02	< 0.005
4	591022	964282	< 0.006	0.02	< 0.02
5	589154	960850	< 0.006	0.03	0.03
6	588966	961175	< 0.006	0.02	< 0.02
7	589115	960507	< 0.002	0.05	0.02
8	589074	960331	< 0.006	0.03	< 0.005
9	588896	960100	0.007	0.04	0.04
10	587166	959209	< 0.006	0.02	< 0.005
11	590389	922998	< 0.002	0.03	< 0.02
12	592208	924386	< 0.006	0.02	0.05
13	588603	928604	< 0.006	0.09	< 0.02
14	586909	931595	< 0.002	0.02	< 0.005
15	587652	930516	< 0.002	0.03	< 0.005
16	576538	972353	< 0.002	0.007	< 0.005
17	576573	972072	< 0.002	0.01	< 0.005
18	576122	971189	< 0.006	0.05	0.04
19	588075	952017	< 0.002	0.01	< 0.02
20	593635	937542	< 0.002	0.01	0.05
21	592586	938775	< 0.002	0.009	0.05
22	592239	938910	< 0.002	0.008	0.03
23	589856	939345	< 0.002	0.008	< 0.02
24	591698	939352	< 0.002	0.01	< 0.02
	Standard	Codex	0.1		-
		EU	-	0.05	-

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นโลหะหนักในเนื้อมังคุดสด ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

No.	Location (47P)		Toxic metals (mg/kg)		
	X	Y	Pb	Cd	As
1	544795	987084	< 0.002	0.03	< 0.02
2	546387	985969	< 0.002	0.06	0.02
3	541524	972498	< 0.002	0.06	0.02
4	541189	972212	< 0.002	0.04	0.03
5	543758	974329	< 0.002	0.04	0.05
6	536418	983296	< 0.002	0.04	0.04
7	535904	983205	< 0.002	0.04	< 0.02
8	544795	986912	< 0.002	0.03	0.02
9	541576	972663	< 0.002	0.06	0.03
10	545339	981402	< 0.002	0.06	0.05
11	536785	982984	< 0.002	0.04	0.04
12	536340	983156	< 0.002	0.03	< 0.02
13	535524	984308	< 0.002	0.04	0.03
	Standard	Codex	0.1		-
		EU	-	0.05	-

ตารางที่ 24 ความเข้มข้นโลหะหนักในเนื้อมังคุดสด ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดชุมพร

No.	Location (47P)		Toxic metals (mg/kg)		
	X	Y	Pb	Cd	As
1	509302	1100822	< 0.006	0.02	< 0.02
2	510732	1100982	< 0.002	0.06	0.04
3	505123	1098302	< 0.006	0.03	< 0.005
4	505140	1098584	< 0.002	0.02	< 0.005
5	505664	1099228	< 0.006	0.01	0.06
6	508185	1099133	< 0.002	0.02	0.05
7	490210	1098159	< 0.002	0.02	< 0.005
8	490500	1099567	< 0.006	0.01	< 0.005
9	490600	1098782	< 0.006	0.01	< 0.005
10	491249	1094365	< 0.002	0.02	< 0.005
11	491194	1095078	< 0.002	0.006	< 0.005
12	509207	1100813	< 0.002	<0.006	< 0.02
13	511245	1100996	< 0.002	0.02	< 0.005
14	510949	1101012	< 0.002	0.03	< 0.02
15	507292	1099452	< 0.002	0.007	0.04
16	503170	1097717	< 0.002	0.02	0.04
	Standard	Codex	0.1		-
		EU	-	0.05	-

ตารางที่ 25 สมบัติทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดนครศรีธรรมราช

No.	Location (47P)		Texture	pH (1:1)	OM (%)	Avai. P <sup>1</sup> mg/kg	K <sup>2</sup> mg/kg	Ca <sup>2</sup> mg/kg	Mg <sup>2</sup> mg/kg	Cu <sup>3</sup> mg/kg	Zn <sup>3</sup> mg/kg
	X	Y									
1	599168	969883	Clay loam	4.3±0.2	1.1±0.6	121±105	102±17	157±27	26±1	0.51±0.38	0.79±0.55
2	590879	965206	Loam	4.3±0.1	1.0±0.5	11±10	18±4	13±8	10±6	0.61±0.67	0.32±0.32
3	591039	965334	Sandy loam	4.4±0.2	0.8±0.5	12±10	21±4	49±24	18±5	0.21±0.11	0.28±0.19
4	591022	964282	Loam	4.4±0.1	0.9±0.6	6±5	24±12	12±9	10±7	0.15±0.04	0.21±0.10
5	589154	960850	Loam	4.5±0.1	0.9±0.6	5±2	20±5	49±28	25±11	0.12±0.01	0.22±0.16
6	588966	961175	Sandy clay loam	4.5±0.1	0.9±0.5	44±15	30±16	92±43	13±12	0.35±0.27	0.75±0.78
7	589115	960507	Sandy clay loam	4.5±0.1	1.2±0.4	11±7	25±12	69±28	25±10	0.17±0.07	0.36±0.27
8	589074	960331	Sandy clay loam	4.4±0.1	1.3±0.7	7±3	27±8	100±31	42±29	0.24±0.12	0.53±0.38
9	588896	960100	Clay loam	4.1±0.1	1.1±0.5	14±11	34±8	101±27	30±8	0.28±0.19	1.11±0.51
10	587166	959209	Clay loam	4.2±0.2	1.3±0.6	13±12	32±6	89±10	24±11	0.15±0.10	0.54±0.43
11	590389	922998	Sandy clay loam	4.7±0.3	1.2±0.5	17±23	45±18	81±35	21±13	0.17±0.12	0.28±0.18
12	592208	924386	Clay loam	4.5±0.1	1.2±0.5	12±7	29±5	45±57	15±9	0.28±0.22	0.55±0.33
13	588603	928604	Sandy clay loam	4.7±0.3	1.4±0.7	96±48	99±68	362±	51±38	0.71±0.53	0.89±0.91
14	586909	931595	Sandy clay loam	4.7±0.2	1.5±0.2	28±20	55±12	189±37	30±11	0.22±0.07	0.40±0.17
15	587652	930516	Loamy sand	5.1±0.3	0.5±0.3	60±20	32±16	156±39	25±6	0.24±0.08	0.23±0.09
16	576538	972353	Sandy clay loam	4.5±0.2	1.8±0.8	14±3	18±8	28±6	8±6	0.11±0.06	0.42±0.39
17	576573	972072	Sandy loam	4.8±0.2	1.2±0.6	2±1	28±14	83±49	44±12	0.76±0.39	0.49±0.23
18	576122	971189	Silty clay	4.6±0.1	0.9±0.4	101±70	46±12	95±18	15±8	0.42±0.08	1.28±0.88
19	588075	952017	Sandy clay loam	4.3±0.3	1.1±0.8	7±2	8±6	10±4	7±5	0.06±0.02	0.29±0.14
20	593635	937542	Sandy loam	4.2±0.3	1.0±1.2	5±3	15±5	16±10	8±5	0.32±0.12	0.35±0.19
21	592586	938775	Silty clay loam	4.3±0.3	1.4±0.7	75±23	14±5	25±19	9±6	0.65±0.44	0.54±0.33
22	592239	938910	Clay loam	4.4±0.5	0.7±0.6	6±5	7±3	11±5	5±3	0.06±0.03	0.42±0.34
23	589856	939345	Sandy loam	4.4±0.6	1.3±0.9	10±9	19±11	128±22	46±24	0.31±0.19	0.42±0.28
24	591698	939352	Loam	4.8±0.3	1.0±0.4	72±28	115±98	209±50	40±26	0.60±0.47	3.84±0.65
25	598824	969662	Clay loam	5.0±0.2	0.8±0.3	12±9	38±18	58±46	33±13	0.36±0.08	1.11±0.83
26	598747	969669	Loam	4.4±0.3	1.2±0.5	69±26	85±35	193±37	35±18	0.64±0.51	1.83±1.00
27	584795	928752	Clay loam	4.5±0.2	1.0±0.4	103±27	105±81	165±51	33±21	0.50±0.16	1.47±0.78
28	585866	928472	Sandy loam	5.0±0.6	0.6±0.3	12±9	30±11	408±46	31±21	1.19±1.28	1.17±0.88
			Min.	4.1	0.5	2	7	10	5	0.06	0.21
			Max.	5.0	1.8	121	115	408	51	1.19	3.84

Note: <sup>1</sup> Bray II method, <sup>2</sup> 1N NH<sub>4</sub>OAc. extraction method, <sup>3</sup> DTPA extraction method



ตารางที่ 26 สมบัติทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

No.	Location (47P)		Texture	pH (1:1)	OM (%)	Avai. P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
	X	Y									
1	544795	987084	Sandy clay loam	4.0±0.1	1.4±0.6	6±4	29±24	19±13	8.6±4	0.17±0.06	0.33±0.28
2	546387	985969	Sandy loam	4.2±0.1	0.8±0.2	9±4	22±6	27±12	7.7±4	0.30±0.09	0.26±0.13
3	541524	972498	Sandy clay loam	4.0±0.2	1.4±0.5	126±86	53±35	133±11	12±6	1.23±0.87	1.16±0.82
4	541189	972212	Loam	4.1±0.1	1.1±1.0	47±10	38±19	115±57	27±14	1.56±0.98	0.62±0.32
5	543758	974329	Clay loam	4.3±0.2	1.0±0.9	14±6	45±28	187±26	41±23	1.14±0.81	1.07±0.70
6	536418	983296	Clay loam	4.1±0.1	1.7±0.2	31±24	52±22	164±16	55±25	0.75±0.36	1.33±0.55
7	535904	983205	Clay	4.2±0.2	1.5±0.2	13±4	62±12	204±21	54±22	0.62±0.36	1.06±0.83
8	544795	986912	Clay	4.2±0.4	1.4±0.5	4±2	37±10	145±59	18±4	0.42±0.36	0.77±0.53
9	541576	972663	Sandy clay loam	4.4±0.1	0.9±0.5	97±45	34±16	64±25	10±4	1.73±1.57	0.38±0.11
10	545339	981402	Sandy clay loam	4.3±0.2	1.1±0.3	17±16	47±11	71±59	22±14	0.20±0.16	0.32±0.13
11	536785	982984	Clay loam	4.4±0.2	1.4±0.7	101±21	236±25	397±34	96±57	0.71±0.66	1.31±1.11
12	536340	983156	Clay loam	4.1±0.2	1.2±0.5	9±4	90±66	75±56	24±9	0.31±0.15	0.71±0.30
13	535524	984308	Clay loam	4.6±0.2	1.0±0.5	24±20	60±28	218±94	46±26	0.75±0.43	1.30±0.94
			Min.	4.0	0.8	4	22	19	7.7	0.17	0.26
			Max.	4.6	1.7	126	236	397	96	1.73	1.33

ตารางที่ 27 สมบัติทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกมังคุด ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ในพื้นที่สำรวจ จังหวัดชุมพร

No.	Location (47P)		Texture	pH (1:1)	OM (%)	Avai. P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
	X	Y									
1	509302	1100822	Clay loam	4.3±0.30	1.5±0.9	78±25	85±49	146±35	39±13	0.4±0.3	0.9±0.5
2	510732	1100982	Silty clay loam	4.7±0.05	1.4±0.5	7±6	19±11	173±39	125±5	1.2±0.2	1.9±0.2
3	505123	1098302	Loam	4.7±0.16	1.1±0.3	120±33	49±3	147±37	48±26	0.5±0.3	2.9±3.5
4	505140	1098584	Clay loam	4.3±0.03	1.2±0.8	49±16	79±39	171±60	69±24	0.5±0.1	1.2±0.3
5	505664	1099228	Clay loam	4.6±0.41	1.5±1.1	72±62	84±39	295±41	92±62	0.8±0.6	2.9±2.6
6	508185	1099133	Clay loam	4.8±0.58	1.3±0.8	159±28	132±37	326±71	104±34	1.2±0.04	10.1±0.5
7	490210	1098159	Loam	4.4±0.02	1.1±0.6	16±8	21±1	16±7	12±5	0.2±0.05	0.4±0.2
8	490500	1099567	Clay loam	4.7±0.14	1.3±0.7	3±3	28±14	119±35	51±11	0.7±0.05	0.6±0.4
9	490600	1098782	Sandy clay loam	4.2±0.26	0.8±0.5	38±29	34±6	21±8	8.5±3	0.2±0.02	0.3±0.1
10	491249	1094365	Clay loam	4.5±0.02	1.3±0.5	6±5	25±6	38±15	46±7	0.7±0.04	0.8±0.4
11	491194	1095078	Clay loam	4.5±0.41	1.4±0.6	24±17	65±27	179±21	73±37	1.1±1.03	1.5±1.7
12	509207	1100813	Clay	4.7±0.32	1.3±0.5	17±18	47±16	213±84	104±11	0.7±0.32	0.9±0.8
13	511245	1100996	Clay loam	4.5±0.21	0.9±0.5	10±9	27±20	50±43	60±12	0.7±0.2	0.9±0.4
14	510949	1101012	Clay loam	4.2±0.24	0.8±0.5	22±14	32±15	54±45	40±20	0.6±0.1	1.0±0.5
15	507292	1099452	Clay loam	4.6±0.35	0.9±0.5	34±46	90±46	237±75	158±64	1.2±0.8	2.4±1.7
16	503170	1097717	Silty clay loam	4.6±0.38	1.1±0.6	61±38	90±47	224±94	51±17	0.7±0.3	1.3±0.8
			Min.	4.2	0.8	3	19	16	9	0.2	0.3
			Max.	4.7	1.5	159	132	326	158	1.2	10.1

ตารางที่ 28 เกณฑ์การประเมินคุณภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน

รายการ	ระดับความอุดมสมบูรณ์		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
OM (%)	<1.5 (1 คะแนน)	1.5-3.5 (2 คะแนน)	>3.5 (3 คะแนน)
Avai. P (mg/kg)	<10 (1 คะแนน)	10-25 (2 คะแนน)	>25 (3 คะแนน)
Avai. K (mg/kg)	<60 (1 คะแนน)	60-90 (2 คะแนน)	>90 (3 คะแนน)

ที่มา: [ดัดแปลงจากกองสำรวจดิน \(2523\)](#)

หมายเหตุ: วิธีการคิดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้วิธีการให้คะแนน

ผลรวมคะแนนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 1-3	ดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับต่ำ
ผลรวมคะแนนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 4-7	ดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับปานกลาง
ผลรวมคะแนนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8-9	ดินมีความอุดมสมบูรณ์ในระดับสูง

ตารางที่ 29 เกณฑ์การประเมินระดับจุลธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งเทียบกับค่าวิกฤติของระดับ Fe Mn Cu และ Zn ในดินที่สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA สำหรับพืชที่ไวต่อการขาดจุลธาตุที่ 4 ธาตุ

ธาตุ (mg/kg)	ระดับ		
	ขาดแคลน	เกือบขาดแคลน	พอเพียง
Fe	<2.5	2.5-4.5	>4.5
Mn	<1.0	----	>1.0
Cu	<0.2	----	>0.2
Zn	<0.5	0.5-1.0	>1.0

ที่มา: [Viet and Lindsay \(1973\)](#)

### เอกสารอ้างอิง (References)

- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. เอกสารวิชาการ กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า
- กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28 กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินความปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. วารสาร ดินและปุ๋ย 21:71-82.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7. 2556. การสำรวจการแพร่กระจายของธาตุโลหะหนัก (แคดเมียม) ในสวนผลไม้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช. รายงานความก้าวหน้างานวิจัย ปี 2556. กรมวิชาการเกษตร.

Abrahams, P.W. 2002. Soils: their implications to human health. Sci. Total. Environ.,

- 291, 1-32.
- CCCF. 2006. Twenty-ninth Session, Geneva, Switzerland, 3-7 July 2006: Codex Committee on Contaminants in Foods Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Alinorm 06/29/12, 2006. <http://www.codexalimentarius.net/web/archives.jsp?year=06>
- CEC. 1993. Withdrawal of certain proposal and drafts from the Commission to the Council (93/C 228/04) Commission of the European Communities. Office Journal of the European Communities No. C 228/13.
- Laws, E.A. 1993. Metals in aquatic pollution: An introductory text. U.S.A.: John Wiley & Sons.
- Mchale, A.P. and Mchale, S. 1994. Microbial biosorption of metals: potential in the treatment of metal pollution. *Biotech Adv*, 12:647-652.
- McGrath, S.P. and C.H. Cunliffe. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludge. *J. Sci. Food & Agri*. 36:794-798.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. pp 539-579. In *Method of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiology Properties*. Agronomy Monograph 9 (2<sup>nd</sup>) ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Inkarta Press, Melbourne, Australia.
- Rieuwert, J.S., M.E. Farago, M. Cikrt, and V. Bencko. 2000. Differences in lead bioavailability between a smelting and a mining area. *Water, Air and Soil Pollution.*, 122, 203-229.
- Türkdoğan, M.K., F. Kilicel, K. Kara, I. Tuncer, and I. Uygan. 2002. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environ. Toxicol. Phaemacol.*, 13, 175-179.
- Watanabe, F.S., and S.R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts. *Soil Sci. Am. Proc.* 29:677-678.
- Viet, F.G. and W.L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. pp 153-172. *In* L.M. Walsh and I.D. Beaton (eds). *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison Wisconsin.
- Zarcinas, B.A. and B. Carwright. 1983. Analysis of plant material by inductively couple plasma-optical emission spectrometry. *CSIRO Aus. Div. Tec. Paper*. 5:1-36.
- Zarcinas, B.A., P. Pongsakul, M.J. McLaughlin, and G. Cozens. 2004. Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. 2. Thailand. *Environmental Geochemistry and Health*, 26, 359-371.

## การทดลองที่ 4

การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าว  
ในพื้นที่การเกษตรที่ปนเปื้อนแคดเมียม

Study of Soil Remediation Technology to Reduce Cadmium Absorption of Rice  
in Cadmium Contaminated Agricultural Areas

### ชื่อผู้วิจัย

แหวตทา พลกุล วนิดา โนบรรเทา ศราริน กลิ่นโพธิ์กลับ อนันต์ ทองภู

### คำสำคัญ (Key words)

พื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียม แคดเมียม ข้าว ลดการดูดซึม การบำบัดดิน

Cadmium contaminated areas, Cadmium, Rice, Reduce absorption, Remediation

### บทคัดย่อ

ศึกษาเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวในพื้นที่การเกษตรที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยดำเนินการเก็บตัวอย่างดินนาข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่มีปริมาณแคดเมียม 13.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมักได้ในดินทำการเกษตร (3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) นำมาทดลองในกระถางและปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพืชทดลอง โดยใส่สารแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อัตรา 3 6 9 และ 12 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการทดลอง พบว่า การใส่สารแมกนีเซียมออกไซด์สามารถลดการดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในเมล็ดลงได้ โดยมีปริมาณแคดเมียมสะสมในเมล็ดข้าวเฉลี่ย 0.35-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานของ Codex ที่ยอมให้ปนเปื้อนในเมล็ดข้าวไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่สารแมกนีเซียมออกไซด์ให้ผลผลิตข้าวสูงสุดคือ 21.3 กรัมต่อกระถาง รองลงมาคือการใส่สารแมกนีเซียมออกไซด์ 3 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 20.4 กรัมต่อกระถาง และได้เลือกอัตราของแมกนีเซียมออกไซด์ไปดำเนินการทดลองในแปลงที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 4 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ โดยใส่แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 9 12 และ 14 กิโลกรัมต่อไร่ และไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ พบว่า การใส่แมกนีเซียมออกไซด์ทุกอัตราและไม่ใส่ เมล็ดข้าวมีปริมาณแคดเมียมที่ต่ำ อยู่ในช่วง 0.062-0.089 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน Codex และพบว่าปริมาณแคดเมียมมีการสะสมสูงสุดในส่วนราก รองลงมาคือส่วนฟาง ส่วนเมล็ดและส่วนแกลบ ตามลำดับ

## Abstracts

Study of soil remediation technology to reduce cadmium absorption of rice crop in cadmium contaminated agricultural area. The experiment was carried out by collecting cadmium contaminated soil samples in Mae Sot district, Tak province with the cadmium content of 13.2 mg/kg which exceeds the standard allowed in agricultural soil (3 mg kg<sup>-1</sup>). The experiment was carried out in pots and cultivated in Khao Dawk Mali 105 rice varieties using MgO at the rate of 3, 6, 9 and 12 kg rai<sup>-1</sup>. The results showed that adding MgO can reduce the absorption of Cd accumulate in the seeds. The Cd content in rice grains was an average of 0.35-0.42 3 mg kg<sup>-1</sup> which was lower than acceptable level of cadmium in rice grains of Codex (0.4 3 mg kg<sup>-1</sup>). For the rice yield, method that did not add MgO gave the yield at 21.3 g pot<sup>-1</sup>, followed by adding MgO at 3 kg rai<sup>-1</sup> gave yielding 20.4 g pot<sup>-1</sup>. And selected MgO rates for field trials in Mae Sot District, Tak Province, arranged in RCB with 4 replicates 5 treatments by adding MgO at the rate of 0, 9, 12 and 14 kg rai<sup>-1</sup>. It was found that with and without MgO application, rice grain contained low cadmium in the range of 0.062-0.089 3 mg kg<sup>-1</sup> which was lower than the Codex standard and found that Cd had highest accumulation in roots, followed by straw, grain and rice husk, respectively.

## บทนำ (Introduction)

พื้นที่ทำการเกษตรที่ปนเปื้อนแคดเมียมในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ จากการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในประเทศไทย พบว่าแคดเมียมเป็นหนึ่งในธาตุที่สะสมอยู่ในดินและผลผลิตของพืชค่อนข้างสูงจนอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและคุณภาพของผลผลิตพืชที่เป็นอาหาร (พิชิตและสุรสิทธิ์, 2542) และจากการเก็บตัวอย่างดินและเมล็ดข้าวในพื้นที่ปลูกข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียมสูง เป็นพื้นที่เฉพาะแห่งที่มีการสลายตัวของสังกะสี พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในตัวอย่างดินอยู่ในช่วง 3.77-284.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณสะสมในเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 0.05- 4.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พิชิตและคณะ, 2546) ซึ่งแคดเมียมในตัวอย่างดินเกินเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมักมีได้ในดินทำการเกษตรคือ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ปริดาและคณะ, 2541) และปริมาณแคดเมียมในข้าวสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ Codex ที่ยอมให้ปนเปื้อนในเมล็ดข้าวไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การบริโภคข้าวที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ อาจทำให้เป็นโรคเรื้อรังหรือเฉียบพลัน เช่น โรคอิไต-อิไต (Hagino, 1958; Yoshioka, 1964)

แนวทางหลักสำหรับการบำบัดหรือฟื้นฟูพื้นที่ที่ปนเปื้อน แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การบำบัดในพื้นที่ (In situ) และการบำบัดภายนอกพื้นที่ (Ex situ) (Peng et al., 2009) การบำบัดดินในพื้นที่ปนเปื้อนมีจุดประสงค์ในการเพิ่มความคงสภาพของสารมลพิษ มีข้อดีคือ กระบวนการบำบัดไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อเสียเนื่องจากการเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายของสิ่งปนเปื้อนให้อยู่ในรูปที่มีการละลายต่ำ และไม่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จึงไม่ได้เป็นการกำจัดอย่างแท้จริง และอาจมีการปลดปล่อยสู่สภาพแวดล้อมอีกครั้งเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการนำดินออกไปบำบัดนอกพื้นที่ปนเปื้อน เป็นการสกัดหรือแยกสารมลพิษออกด้วยวิธีทางเคมี ทางกายภาพหรือทางชีวภาพ โดยมีข้อดีคือ สามารถกำจัดโลหะหนักที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายออกเกือบทั้งหมด แต่มีข้อเสียคือ เรื่องต้นทุนที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับพื้นที่ปนเปื้อนที่มีพื้นที่บริเวณกว้าง การใช้วัสดุปรับปรุงดินโดยส่วนใหญ่จะเน้นเรื่องการลดการแพร่กระจายของแคดเมียมโดยการลดการเคลื่อนย้าย (immobilization) โดยกระบวนการดูดซับ (absorption) กระบวนการตกตะกอน (precipitation) หรือการ

เปลี่ยนสภาพเป็นรูปของแข็ง (solid-phase transformation) กับวัสดุปรับปรุงดินตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้แคดเมียมอยู่ในรูปที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ วัสดุปรับปรุงดินที่ใช้มีหลายชนิด เช่น วัสดุฟอสฟอต (อะพาไทต์ หินฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริก) (Nzihou and Sharrock, 2010) ปูนขาว (Gray *et al.*, 2006) อินทรีย์วัตถุ (Park *et al.*, 2011) และแร่ซีโอไลต์ (Friesl *et al.*, 2003) ซึ่งสามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูงมากนัก โดยการใช้วัสดุดังกล่าวเหล่านี้เพื่อปรับปรุงสภาพดินปนเปื้อนถือเป็นวิธีทางเลือกที่เป็นไปได้ในเชิงปฏิบัติ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวในพื้นที่ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินและข้าว สร้างความปลอดภัยให้แก่ชาวบ้าน ผู้บริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนดังกล่าว

### ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดดินเพื่อลดการดูดซึมธาตุแคดเมียมของข้าวในพื้นที่การเกษตรที่ปนเปื้อนแคดเมียม ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียม ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ เก็บดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมมาทดลองในเรือนทดลองและการทดลองในสภาพแปลง โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. การทดลองในเรือนทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCB) มี 5 กรรมวิธีๆ ละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 2 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 3 กก. /ไร่
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 4 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 6 กก. /ไร่
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 9 กก. /ไร่
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 8 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 12 กก. /ไร่
5. ไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์

ก่อนการทดลองในกระถางได้ไปสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกข้าว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่มีประวัติการปนเปื้อนของแคดเมียมในเมล็ดข้าวสูง มาวิเคราะห์สมบัติทั่วไปของดินและปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน เพื่อคัดเลือกแปลงที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมสูง สำหรับนำดินมาทดลองปลูกข้าวในกระถาง ก่อนการไปทดลองในสภาพแปลง ได้แปลงนาข้าวของเกษตรกรจาก หมู่ที่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทำการเก็บดินจากแปลงดังกล่าวมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บดย่อยดิน และชั่งดิน 10 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าสารแมกนีเซียมออกไซด์อัตราตามกรรมวิธีที่กำหนด นำดินใส่กระถาง รดน้ำและบ่มดินไว้ก่อนปลูกข้าว 1 เดือน รักษาให้ดินมีความชื้นอยู่เสมอ

เพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อายุกล้าข้าว 1 เดือน ย้ายกล้าปักดำลงในกระถางๆ ละ 4 ต้น หลังปักดำ 7 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมการข้าว สูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ปุ๋ยยูเรีย ในช่วงข้าวตั้งท้อง อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ รักษาระดับน้ำให้สูงจากดินประมาณ 5 เซนติเมตร

เก็บเกี่ยวข้าว โดยแยกเป็นส่วนของเมล็ด ต้นข้าว และราก และเก็บตัวอย่างดินในกระถาง สำหรับปริมาณแคดเมียมในดินและในส่วนต่างๆของข้าว เพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของสารและอัตราที่เหมาะสมในการลดการดูดซึมแคดเมียมของข้าว

## 2. การทดลองในสภาพแปลง

คัดเลือกอัตราของแมกนีเซียมออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพจากการทดลองในเรือนทดลอง ไปทดลองในสภาพแปลงซึ่งเป็นแปลงนาข้าวของเกษตรกรที่ป็นเขื่อนแควน้อย หมู่ที่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พิกัดที่ตั้งแปลง 47Q 458161<sup>E</sup> 1843045<sup>N</sup> วางแผนการทดลองแบบ RCB มี 4 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย

1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 9 กก. /ไร่
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 8 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 12 กก. /ไร่
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 10 mole : 1 mole Cd เท่ากับใส่ MgO อัตรา 14 กก. /ไร่
4. ไม่ใส่สารแมกนีเซียมออกไซด์

เตรียมแปลงขนาด 4x5 เมตร หว่านแมกนีเซียมออกไซด์อัตราต่างๆ ตามกรรมวิธีทดลอง ย่ำแมกนีเซียมออกไซด์ผสมกับดินและทิ้งไว้ก่อนปักดำข้าว 1 เดือน เตรียมแปลงเพาะกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อต้นกล้าข้าวอายุได้ 1 เดือน ทำการปักดำข้าวในแปลงทดลองที่เตรียมไว้ ระยะปักดำ 25 x 25 เซนติเมตร อัตราปลูก 3 ต้นต่อกอ หลังปักดำ 7 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมการข้าว สูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และในช่วงข้าวตั้งท้อง ใส่ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2561 โดยแยกเป็นส่วนของเมล็ด ต้นข้าว และราก และเก็บตัวอย่างดินหลังเก็บเกี่ยวสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในดินและในส่วนต่างๆของต้นข้าว

โดยแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองทั้งในเรือนทดลองและในสภาพแปลง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 11.4 ค่าการนำไฟฟ้า 228 เดซิซีเมนต่อเมตร ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด 0.056 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดสูงถึง 320,467 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 30

**ตารางที่ 30** สมบัติทางเคมีของแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติทางเคมี	ค่าวิเคราะห์
pH (1:2)	11.4
EC (1:5, dS/m)	228
Total Cd (mg/kg)	0.056
Total K (mg/kg)	139
Total Mg (mg/kg)	320,467

*สมบัติทั่วไปของดินก่อนและหลังการทดลอง:* วิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธี Hydrometer ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965) วัดโดยเครื่อง pH meter ค่าการนำไฟฟ้า ใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 อินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1982) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สกัดดินด้วยน้ำยา Bray II โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สกัดดินด้วย 1N NH<sub>4</sub>OAc, pH 7 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) และวัดปริมาณโพแทสเซียมเทียบกับสารละลายมาตรฐานทราบความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

*การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินและส่วนต่างๆของข้าว* ย่อยตัวอย่างดินและตัวอย่างข้าว ด้วยวิธี aqua regia (3:1 HCl : HNO<sub>3</sub>) ในหลอดย่อยตัวอย่างแบบเปิด (McGrath and Cunliffe, 1985) โลหะหนักในรูปที่พืชดูดซึมได้ (availability forms) สกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA pH 7.3 และแคดเมียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยน้ำยาสกัด 1N NH<sub>4</sub>OAc, pH 7 วัดปริมาณของแคดเมียมในดินและข้าว เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบ

ความเข้มข้นแน่นอนด้วยเครื่อง Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 5300 DV

## ผลการวิจัย (Results)

### 1. ผลการทดลองในเรือนทดลอง

#### 1.1 สมบัติดินก่อนปลูกข้าวในเรือนทดลอง

จากผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูก ที่เก็บจากแปลงนาของเกษตรกร หมู่ที่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พิกัดที่ตั้งแปลง 47Q 458161<sup>E</sup> 1843045<sup>N</sup> ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (Clay loam) ดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.7) มีค่าการนำไฟฟ้า 0.18 เดซิซีเมนต่อเมตร อยู่ในระดับไม่เค็ม ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ในระดับปานกลาง (2.8%) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในระดับสูง (26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับสูง (165 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีแคดเมียมสะสมในดินบนสูงถึง 13.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 31) เกินเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พื้งมีในดินทำการเกษตร ซึ่งกำหนดไว้ที่ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ปริดาและคณะ, 2541) นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมของแคดเมียมในดินมีปริมาณลดลงตามลำดับชั้นความลึก (ตารางที่ 32) ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่ได้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากน้ำเสียหรือจากอากาศ การสะสมของโลหะหนักดังกล่าวมักจะสะสมอยู่ในดินที่ระดับความลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตรจากผิวดิน

#### ตารางที่ 31 สมบัติดินก่อนปลูกข้าวในเรือนทดลอง

แคดเมียมทั้งหมด (มก./กก.)	pH <sup>1/</sup> (1:1)	OM <sup>2/</sup> (%)	EC (1:5, dS/m)	Avai. P <sup>3/</sup> (mg/kg)	Exch. K <sup>4/</sup> (mg/kg)	Sand %	Silt %	Clay %	เนื้อดิน <sup>5/</sup> ร่วนเหนียว
13.2	7.7	2.8	0.18	26	165	25.1	40.2	34.7	ร่วนเหนียว

<sup>1/</sup>Peech (1965), <sup>2/</sup>Walkley and Black method (Nelson and Sommer, 1982), <sup>3/</sup>Bray II method (Bray and Kurtz, 1945), <sup>4/</sup>1N NH<sub>4</sub>OAc. Method (Thomas, 1992), <sup>5/</sup>Hydrometer method (Bouyoucos, 1962)

#### ตารางที่ 32 สมบัติของดินในแปลงนาเกษตรกรหมู่ที่ 4 ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่เก็บตามชั้นความลึกดิน

ชั้นความลึกดิน (ซม.)	pH (1:1)	CEC cmol/kg	OM (%)	แคดเดียมทั้งหมด (มก./กก.)
0-15	7.7	17.4	2.80	13.2
15-30	8.0	24.3	1.68	8.1
30-50	7.9	16.2	0.81	3.2
50-70	7.9	25.4	0.58	1.2

#### 1.2 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

การใส่แมกนีเซียมออกไซด์ในอัตราที่สูงมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวระยะเก็บเกี่ยวลดลง โดยมีความสูงเฉลี่ย 146-153 เซนติเมตร การแตกกอของข้าวมีจำนวนต้นต่อกอเฉลี่ย 11-12 ต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอเฉลี่ย 9-10 รวงต่อกอ ผลผลิตเฉลี่ย 17.9-20.4 กรัมต่อกอ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 21.3 กรัมต่อกอ (ตารางที่ 33) เมื่อพิจารณาด้านน้ำหนัก



แห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วน (เมล็ด กลีบ ฟาง และราก) พบว่ากรรมวิธีไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วนสูงสุด 67.51 กรัมต่อกอ ส่วนการใส่แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 6 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ข้าวให้หนักแห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วน 64.71 กรัมต่อกอ ซึ่งดีกว่าการใช้แมกนีเซียมออกไซด์อัตราอื่นๆ (ตารางที่ 34)

**ตารางที่ 33** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ความสูงระยะเก็บเกี่ยว (ซม.)	จำนวน ต้น/กอ	จำนวน รวง/กอ	น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก <sup>1/</sup>
				กรัม/กอ
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	147	12	10	20.4 a
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	153	12	9	20.3 a
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	146	12	10	20.3 a
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	153	12	9	17.9 a
5. ไม่ใส่สาร	150	11	9	21.3 a
เฉลี่ย	150	12	9	20.0
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V.%	1.7	11.6	10.4	10.2

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, <sup>1/</sup> ความชื้นของเมล็ดข้าว 14%

**ตารางที่ 34** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กรัม/กอ)				
	เมล็ด	ราก	กลีบ	ฟาง	รวมทั้งหมด
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	20.41	2.42	9.39	33.24	65.46
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	20.30	3.50	7.16	33.75	64.71
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	20.29	2.85	8.26	29.88	61.28
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	17.93	3.20	7.74	35.49	64.36
5. ไม่ใส่สาร	21.29	3.15	7.84	35.23	67.51

1.3 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

จากผลวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าว พบว่า การใส่แมกนีเซียมออกไซด์ในอัตรา 3-12 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ส่งผลทำให้การสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าวแตกต่างกันทางสถิติและไม่แตกต่างจากการไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ โดยในเมล็ดข้าวมีความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.35-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมาตรฐาน Codex ยอมให้ปนเปื้อนในเมล็ดข้าวไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Simmons *et al.*, 2005) คิดเป็นปริมาณการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปสะสมในเมล็ดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0068-0.0084 มิลลิกรัมต่อกอ โดยกรรมวิธีที่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 12 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวดูดดึงแคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนของเมล็ดน้อยที่สุด (0.0068 มิลลิกรัมต่อกอ) แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 36) นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมของแคดเมียมส่วนใหญ่สะสมในส่วนของรากมากที่สุด รองลงมาคือส่วนของฟางและกลีบ ตามลำดับ (ตารางที่ 35) ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมอยู่ในส่วนของใบและต้นข้าวค่อนข้างสูง บ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อความเป็นพิษของแคดเมียมต่อข้าว และอาจมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (Ito and Iimura, 1976; Koshino, 1973)

**ตารางที่ 35** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อปริมาณการสะสมของแคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (มก./กก.)			
	เมล็ด	ราก	แกลบ	ฟาง
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	0.39	26.38	0.19	1.51
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	0.35	31.31	0.16	1.26
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	0.42	25.57	0.21	1.40
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	0.39	35.93	0.17	1.32
5. ไม่ใส่สาร	0.46	34.26	0.18	1.59
เฉลี่ย	0.40	30.69	0.18	1.42
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	32.9	36.4	43.3	23.2

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 36** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อปริมาณการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	เมล็ด	ราก	แกลบ	ฟาง
	(มก./กก)	(มก./กก)	(มก./กก)	(มก./กก)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	0.0082	0.0666	0.0017	0.0499
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	0.0072	0.1125	0.0012	0.0442
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	0.0084	0.0744	0.0018	0.0414
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	0.0068	0.1170	0.0013	0.0476
5. ไม่ใส่สาร	0.0097	0.1362	0.0014	0.0557
เฉลี่ย	0.0080	0.1013	0.0015	0.0478
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	32.1	87.8	40.7	32.8

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

#### 1.4 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

จากผลวิเคราะห์สมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าว พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.18-8.06 ปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.47-3.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก่อนทดลอง (ตารางที่ 31) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.149-0.163 เดซิซีเมนต่อเมตร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.4-23.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าอยู่ในช่วง 109-130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 37) การใส่แมกนีเซียมออกไซด์อัตราต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของแคดเมียมในดิน โดยพบปริมาณแคดเมียมทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.5-12.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.32-1.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแคดเมียมรูปที่พืชดูดซึมได้เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.19-4.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 38)

**ตารางที่ 37** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	pH (1:1)	OM (%)	EC (1:5, dS/m)	Avai. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	7.98	3.59	0.158	23.0	123 ab
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	7.99	3.61	0.163	22.7	109 a
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	7.99	3.47	0.149	22.5	122 ab
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	8.06	3.61	0.160	23.3	123 ab
5. ไม่ใส่สาร	8.06	3.83	0.152	21.4	130 b
เฉลี่ย	8.01	3.62	0.156	22.6	122
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.1	11.5	8.7	6.6	8.9

**หมายเหตุ** ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยวิธี DMRT  
ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 38** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงแคตเมียมรูปแบบต่างๆ ในดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูกในเรือนทดลอง

กรรมวิธี	แคตเมียมทั้งหมด (มก./กก.)	รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	รูปที่พืชดูดซึมได้ (มก./กก.)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 3 กก./ไร่	11.5	1.32	4.27
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 6 กก./ไร่	11.6	1.39	4.19
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	12.4	1.36	4.42
4. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	11.5	1.33	4.21
5. ไม่ใส่สาร	11.9	1.37	4.33
เฉลี่ย	11.8	1.35	4.28
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	5.5	5.4	3.4

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

## 2. ผลการทดลองในสภาพแปลงทดลอง

### 2.1 สมบัติดินก่อนการทดลอง

จากผลวิเคราะห์สมบัติดินก่อนปลูกซึ่งเก็บที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร พบว่า ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ย 8.12-8.21 เป็นด่างปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.105-0.111 เดซิซีเมนต่อเมตร อยู่ในระดับไม่เค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.17-3.31 เปอร์เซนต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.12-9.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำอยู่ในช่วง 23.7-25.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 39) มีปริมาณแคตเมียมทั้งหมด 12.2-12.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมักมีในดินทำการเกษตรคือ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ปริดาและคณะ, 2541) ส่วนปริมาณแคตเมียมในรูปที่พืชดูดซึมได้ พบในปริมาณที่สูง เฉลี่ย 4.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 40) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่อนุญาตให้พืชมักมีได้ในดินทำการเกษตร บ่งบอกถึงหากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการละลายออกสู่สารละลายดินจะทำให้ข้าวดูดดึงเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ได้สูง เช่นกัน

**ตารางที่ 39** สมบัติของดินก่อนปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	pH (1:1)	OM (%)	EC (1:5, dS/m)	Available P (mg/kg)	Exchangeable. K (mg/kg)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	8.14	3.31	0.108	9.24	23.7
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	8.21	3.17	0.105	9.35	24.1
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	8.20	3.24	0.111	9.18	24.2
4. ไม่ใส่สาร	8.12	3.23	0.107	9.12	25.5
เฉลี่ย	8.17	3.24	0.108	9.22	24.4
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.2	6.7	5.5	9.1	12.0

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 40** แคดเมียมรูปแบบต่างๆ ในดินก่อนปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	แคดเมียมทั้งหมดในดิน (มก./กก.)	แคดเมียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)	แคดเมียมที่พืชดูดซึมได้ (มก./กก.)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	12.2 a	0.36	3.99
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	12.3 ab	0.367	4.11
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	12.7 b	0.38	4.22
4. ไม่ใส่สาร	12.6 ab	0.38	4.26
เฉลี่ย	12.4	0.37	4.14
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	2.3	7.9	4.7

**หมายเหตุ** ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT  
ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.2 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

การใส่แมกนีเซียมออกไซด์ไม่ทำให้การเจริญเติบโตของข้าวแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ โดยที่ระยะเก็บเกี่ยวข้าว การใส่แมกนีเซียมออกไซด์ อัตรา 9-14 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ข้าวมีความสูงเฉลี่ย 151-153 เซนติเมตร มีจำนวนต้นเฉลี่ย 11-12 ต้นต่อกอ จำนวนรวงเฉลี่ย 10-11 รวงต่อกอ และการให้ผลผลิตของข้าวเฉลี่ย 831-864 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 41) ซึ่งไม่แตกต่างกับกรรมวิธีไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ที่ข้าวให้ผลผลิต 881 กิโลกรัมต่อไร่ เช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งเฉลี่ย ที่พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ให้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยรวมทุกส่วนสูงสุด 2,182 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 42)

**ตารางที่ 41** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	ความสูงระยะเก็บเกี่ยว (ซม.)	จำนวนต้น/กอ	จำนวนรวง/กอ	ผลผลิต กก./ไร่ (ความชื้น 14%)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	153	11	10	831
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	153	12	11	864
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	151	12	10	834
4. ไม่ใส่สาร	154	12	11	881
เฉลี่ย	153	12	11	853
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	2.5	8.5	10.0	6.2

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 42** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	น้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)				
	เมล็ด	ราก	กลีบ	ฟาง	รวมทั้งหมด
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	583	49	163	1,092	1,887
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	704	53	210	1,210	2,178
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	612	59	183	1,136	1,989
4. ไม่ใส่สาร	699	70	208	1,204	2,182

2.3 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง

จากผลวิเคราะห์แคดเมียมในส่วนต่างๆ ของข้าว (ตารางที่ 43 และ 44) พบว่า กรรมวิธีที่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ มีแคดเมียมสะสมในเมล็ดต่ำกว่ารวมถึงกรรมวิธีที่ไม่ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดอยู่ในช่วง 0.062-0.089 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ Codex ที่ยอมให้ปนเปื้อนในเมล็ดข้าวกล้องได้ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าเป็นผลมาจากแมกนีเซียมออกไซด์ ที่ไปลดการดูดซับแคดเมียมเข้าไปสะสมในเมล็ด เนื่องจากการทดลองเพียงฤดูเดียวเท่านั้น เพราะการทดลองโดยใช้สารลดการละลายของแคดเมียมเพื่อลดการดูดซับเข้าไปสะสมในพืช จำเป็นต้องมีการใส่สารในพื้นที่หลายครั้งและทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลอย่างน้อย 2-3 ปีขึ้นไป

**ตารางที่ 43** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	แคดเมียม	แคดเมียม	แคดเมียม	แคดเมียม
	ทั้งหมดในเมล็ด (มก./กก.)	ทั้งหมดในแกลบ (มก./กก.)	ทั้งหมดในฟาง (มก./กก.)	ทั้งหมดในราก (มก./กก.)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	0.076	0.053	0.348	7.37
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	0.062	0.039	0.267	8.02
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	0.083	0.053	0.326	7.25
4. ไม่ใส่สาร	0.089	0.070	0.288	7.13
เฉลี่ย	0.077	0.054	0.307	7.45
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	45.0	53.3	41.5	10.4

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 44** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	เมล็ด	ราก	แกลบ	ฟาง
	(กรัม/ไร่)	(กรัม/ไร่)	(กรัม/ไร่)	(กรัม/ไร่)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	0.2050	0.3585	0.0083	0.0997
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	0.1872	0.4503	0.0080	0.0751
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	0.1942	0.4209	0.0090	0.0937
4. ไม่ใส่สาร	0.1980	0.4957	0.0149	0.1073
เฉลี่ย	0.1961	0.4313	0.01	0.0939
F-test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	38.1	17.5	63.8	42.5

**หมายเหตุ** ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2.4 ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินหลังเก็บเกี่ยวข้าวที่ปลูก ในสภาพแปลงทดลอง การใส่แมกนีเซียมออกไซด์อัตรา 9-14 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ส่งผลให้สมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 45) รวมถึงแคดเมียมรูปต่างๆในดิน (ตารางที่ 46) เมื่อเทียบกับสมบัติดินก่อนการทดลองใส่แมกนีเซียมออกไซด์ (ตารางที่ 40) ทั้งนี้เนื่องจากอัตราแมกนีเซียมออกไซด์ที่ใช้ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ผลการศึกษายังแสดงผลไม่ชัดเจน อีกทั้งยังเป็นการทดลองเพียงฤดูเดียว ซึ่งการทดลองเพื่อลดการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปสะสมในพืช โดยการใส่สารปรับปรุงดินเพื่อลดการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน จำเป็นต้องทดลองในพื้นที่ซ้ำอย่างน้อย 2-3 ปีขึ้นไป เพื่อให้สารปรับปรุงดินที่ใช้เกิดประสิทธิภาพและได้อัตราที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อม

**ตารางที่ 45** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินหลังเก็บเกี่ยวข้าว ในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มก./กก.)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	8.11	0.141	2.98	8.83	24.48
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	8.12	0.137	2.92	9.15	23.76
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	8.12	0.142	3.07	8.69	24.50
4. ไม่ใส่สาร	8.13	0.145	3.0	9.25	25.19
เฉลี่ย	8.12	0.141	2.99	8.98	24.48
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	1.1	5.6	7.8	6.2	10.4

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางที่ 46** ผลของแมกนีเซียมออกไซด์ต่อการเปลี่ยนแปลงของแคดเมียมรูปต่างๆ ในดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ในสภาพแปลงทดลอง ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กรรมวิธี	แคดเมียมทั้งหมดในดิน (มก./กก.)	แคดเมียมที่พืชดูดซึมได้ (มก./กก.)	แคดเมียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มก./กก.)
1. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 9 กก./ไร่	12.55 a	4.226 a	0.358
2. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 12 กก./ไร่	12.72 a	3.849 a	0.359
3. ใส่แมกนีเซียมออกไซด์ 14 กก./ไร่	12.98 a	4.014 a	0.380
4. ไม่ใส่สาร	12.80 a	4.053 a	0.362
เฉลี่ย	12.76	4.035	0.365
F-test	ns	ns	ns
C.V. (%)	4.5	8.4	5.9

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

1. การทดลองปลูกข้าวในเรือนทดลอง โดยการใส่แมกนีเซียมออกไซด์ อัตรา 3-12 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินที่มีปริมาณแคดเมียม 13.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถลดการดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในเมล็ดข้าวได้ โดยมีความเข้มข้นของแคดเมียมสะสมในเมล็ดระหว่าง 0.35-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่อนุญาตให้มีแคดเมียมปนเปื้อนในเมล็ดข้าวกล้องได้ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมส่วนใหญ่มีการสะสมสูงสุดในส่วนราก รองลงมาคือในส่วนฟาง เมล็ดและแกลบ ตามลำดับ

2. การทดลองปลูกข้าวในสภาพแปลง โดยการใส่แมกนีเซียมออกไซด์ อัตรา 9-14 กิโลกรัมต่อไร่ ในแปลงนาข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียม (12.2-12.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้มีแคดเมียมสะสมในเมล็ดข้าวในช่วง 0.062-0.089 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่อนุญาตให้มีแคดเมียมปนเปื้อนในเมล็ดข้าวกล้องของ Codex จะเห็นว่าแคดเมียมที่สะสมในเมล็ดข้าวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาก แต่ทั้งนี้ผลการศึกษายังแสดงผลไม่ชัดเจน เพราะเป็นการทดลองเพียงฤดูเดียว ซึ่งการทดลองเพื่อลดการดูดซึมแคดเมียมเข้าไปสะสมในพืช โดยการใส่สารปรับปรุงดินเพื่อลดการละลายของแคดเมียมออกสู่สารละลายดิน จำเป็นต้องทดลองในพื้นที่ซ้ำอย่างน้อย 2-3 ปีขึ้นไป เพื่อให้สารปรับปรุงดินที่ใช้เกิดประสิทธิภาพและได้อัตราที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อม

### เอกสารอ้างอิง (References)

- กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. เอกสารวิชาการ กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ. 164 หน้า.
- ปรีดา พากเพียร อภิลิทธิ เอี่ยมหน่อ ไสอนซ์ เอ็กการต์ท และธวัชชัย ณ นคร. 2541. โลหะหนัก: แหล่งที่มา ค่ามาตรฐาน และการทำปฏิกิริยากับดิน. วารสารดินและปุ๋ย. 20: 41-49.
- พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินความปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. วารสารดินและปุ๋ย. 21: 71-82.
- พิชิต พงษ์สกุล Robert Simmons วนิดา โนบรรเทา และสุรทิน แก้วโรจน์. 2546. ความเข้มข้นของสังกะสี เหล็กและแคดเมียมในข้าวและถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่มีสังกะสีและแคดเมียมสูง. วารสารดินและปุ๋ย. 25: 86-102.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Friessl, W., E. Lombi, O. Horak, and W. Wenzel. 2003. Immobilization of heavy metals in soils using inorganic amendments in a greenhouse study. *Journal of Plant nutrition and soil Science* 166: 191-196.
- Gray, C.W., S.J. Dunham, P.G. Dennis, F.J. Zhao, and S.P. McGrath. 2006. Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud. *Environmental Pollution* 142: 530-539.
- Hagino, N. 1958. Study of Itai-itai disease, 13<sup>th</sup> Annu. Meet. Toyama Med. Soc.(J) Cited in Kitagishi, K. and Yamane, I., Eds., Heavy metal pollution in soils of Japan, Japan Science Society Press, Tokyo.
- Ito, H. and K., Iimura, 1976. The absorption and translocation of cadmium in rice plants and its influence on their growth in comparison with zinc. *Bull. Hokuriku Natl. Agric. Exp. Stn.*, 19:71-139 ZJ, e)
- Koshino, M., 1973. Cadmium uptake by rice plant and wheat as affected by the application of phosphate and several metal elements. *Bull. Natl. Inst. Agric. Sci., Ser. B*, 24:1-51.
- Nelson, D. W. and Sommer, L. E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic matter. pp 539-579. In *Method of soil analysis, part 2. Chemical and Microbiology Properties. Agronomy Monograph 9 (2<sup>nd</sup>)* ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Nzihou, A., and P. Sharrock. 2010. Role of phosphate in the remediation and reuse of heavy metal polluted wastes and sites. *Waste Biomass* 1: 163-174.
- Park, J.H., D. Lamb, P. Paneerselvam, G. Choppala, N. Bolan, and J.W. Chung. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 185: 549-574.
- Peech, M. 1965. Soil pH by glass electrode pH meter, pp 914-925. In C.A. Black, D.D. Evans, R.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clack, and R.C. Dinsuer (eds). *Method of soil analysis part 2: Physical and Menerological Properties, Inching Statistics of Measurement and Sampling American Society of Agronomy Inc., Publisher Madison, USA.*



- Peng, J.F., Y. Song, P. Yuan, X Cui, and G. Qie. 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials* 161: 633-640.
- Pusapakdepop, J., Sawangwong, P., Pulket, C., Satraphat, D., Saowakontha, S., and Panutrakul, S. 2007. Health risk assessment of villagers who live near a lead mining area: A case study of Klity village, Kanchanaburi province, Thailand. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 38: 168-177.
- Simmons, R.W, Pongsakul, P., Saiyasitpanich, D., and Klinphoklap, S. 2005. Elevated levels of Cd and zinc in paddy soils and elevated levels of Cd in rice grain downstream of a zinc mineralized area in Thailand: Implications for public health. *Environ. Geochem. Health*, 27: 501-511.
- Tanhana, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., and Chaiyarat, R. 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson]. *Chemosphere*, 68: 323-329.
- Yoshioka, K., 1964. Epidemiological study on the relationship between Itai-itai disease and mining nuisance, *Yamaguchi Med. J.*, 13, 146-170.