บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แคดเมียม

แคดเมียม มีเลขอะตอม 48 เป็นโลหะทรานซิชันที่มีสีขาว-ฟ้า เนื้อมันวาว เนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้และถูกตัดได้ง่ายด้วยมีด มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวด หรือเป็นผงเม็ดเล็กๆ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 12 จุดหลอมเลวที่อุณหภูมิ 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส แคดเมียมบางรูปละลายน้ำได้ โดยที่แคดเมียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อมแต่เปลี่ยนรูปได้ในดิน ในหิน และปุ๋ยจากแร่มีแคดเมียมอยู่บ้างในอากาศที่มีความชื้นแคดเมียมจะถูกออกซิไดซ์ช้าๆให้แคดเมียมออกไซด์ (ศราริน, 2549) แคดเมียมเป็นแร่ที่พบกระจายปนกับแร่ชนิดอื่น ไม่ได้เป็นแร่เอกเทศและมักปนอยู่กับสังกะสีในปริมาณ 0.1-55 ซึ่งปริมาณแคดเมียมมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีในแร่ สำหรับแร่สังกะสีในประเทศไทยที่ขุดได้ในจังหวัดตาก มีแคดเมียมประกอบอยู่ 0.23-0.38% (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) และแคดเมียมที่อยู่ในแร่มักอยู่ในรูปสารประกอบเช่น แคดเมียมออกไซด์ (CdO) แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) แคดเมียมซัลเฟต (CaSO4) แคดเมียมซัลไฟท์ เป็นต้น ซึ่งในการทำเหมืองแร่มักมีแคดเมียมเป็นผลพลอยได้ (ศราริน, 2549)

แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกและละลายใน Hydrochloric อย่างช้าๆ แคดเมียมละลายได้ในกรดอ่อน จากคุณสมบัติข้อนี้ ทำให้แคดเมียมเป็นอันตรายต่อคนแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไป แต่อย่างไรก็ตามสารประกอบแคดเมียม เช่น แคดเมียมคลอไรด์ ($CdCl_2$) แคดเมียมซัลเฟต (CaSO4) และแคดเมียมไนเตรต ($Cd(NO_3)_2$ นอกจากนี้แคดเมียมสามารถรวมกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

แคดเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้านดังนี้ (Shin *et al*, 2007 ; Sen and Sarzali, 2008; Al-Enber *et al*, 2008 ; กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

- ใช้ในการชุโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- ใช้ร่วมกับนิกเกิล เพื่อทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (rechargeable battery) โดย

- ใช้อุตสาหกรรมผลิตเม็ดสีในอุตสาหกรรม สารประกอบแคดเมียมที่ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอินาเมล (Enamels) เซรามิก ยาง แก้ว ผ้า เส้นใย หมึกพิมพ์ พลาสติก

- ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอย (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น alloy ของทองแดงที่มี แคดเมียม 1% (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขโทรศัพท์

- ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

1. ความเป็นพิษของแคดเมียม

การที่แคดเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ทำให้แคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศ และในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปส่วนใหญ่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจปะปน มากับ พืชผัก และผลไม้ แคดเมียมอาจจะละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีแคดเมียมฟุ้งอยู่ในบรรยากาศเข้าไป โดยเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปมากอาจจะทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต (Balkaya and Cesur, 2008) ซึ่งทำให้สายตามีอาการผิดปกติและปวดกระดูกตามน่อง ซี่โครง และกระดูกสันหลัง เป็นต้น และแคดเมียมที่สะสมอยู่ในร่างกายสามารถแบ่งความเป็นพิษเป็นพิษ ได้ดังนี้ (กรมควบคุมลพิษ, 2541)

1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

ก. ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารเป็นระบบแรกในร่างกายที่ได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นไส้อย่างรุนแรง ตามด้วยอาการอาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากจะมีอาการตามมาใน 2 ลักษณะ คืออาจจะเกิดอาการช็อคเนื่องจากสูญเสียน้ำมาก และอาจทำให้ตายได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรือ ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้ภายใน 7 หรือ 14 วัน นอกจากนี้อาจมีผลไปทำลายตับด้วย โดยตารางที่ 2.1 แสดงความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน

ตารางที่ 2.1 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ปริมาณแคดเมียม (mg)	อาการที่เกิด
3-90	เกิดอาการอาเจียน แต่ไม่มีผลทำให้ถึงตาย
15	เกิดอาการอาเจียน
10-326	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350-3,500	ปริมาณที่อาจทำให้ถึงตายได้
1,530-8,900	ปริมาณที่ทำให้ตายได้

ข. ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ

ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นในระบบหายใจเนื่องจากการสูดไอหรือควันของแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วย ความร้อนสูง แต่โดยทั่วไปในขณะที่สูดหายใจจะไม่ปรากฏอาการหรือมีอาการเพียงเล็กน้อย และไอที่เกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้าจะมีความเป็นพิษเป็น 2 เท่าของไอที่เกิดจากความร้อน อาการโดยรวมจะปรากฏหลังจากสูดไอเข้าไปแล้ว 2-3 ชั่วโมง คือเกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่น ๆ ด้วย เช่น ระคายเคืองที่จมูกและคอ ไอ ปวดศรีษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก นอกจากนี้อาจมีอาการอย่างอื่นปรากฏด้วย เช่น คลื่นเหียน อาเจียน และท้องร่วง

2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังที่มีต่อมนุษย์หลังจากที่ร่างกายมนุษย์ได้รับแคดเมียมในปริมาณปานกลางเข้าไปนานติดต่อกัน ความเป็นพิษมักจะไปปรากฏที่ปอดและไตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบอื่น ๆ ก็มีปรากฏอาการเช่นเดียวกัน เช่น ที่กระดูก เม็ดโลหิต ส่วนในสัตว์ทดลองจะพบอาการของความดันโลหิตสูง

กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ(adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุล หรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับหรือดูดติดอยู่บนผิวของของแข็ง การดูดซับหรือ การดูดติดผิวนี้จะเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass Transfer) ระหว่างสถานะต่างๆ ทั้ง 3 สถานะ คือของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็งและของเหลว-ของแข็ง

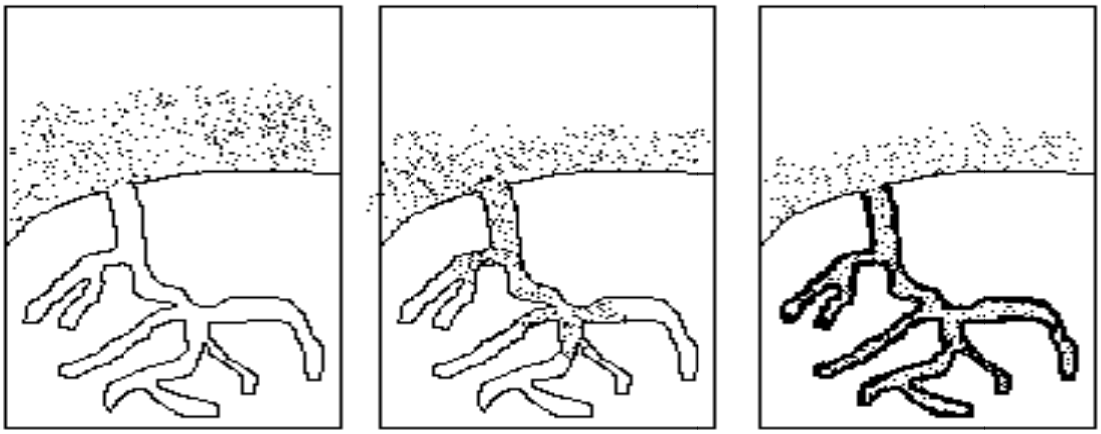
กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ (Noll *et al*., 1992):

ขั้นตอนที่ 1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เข้าหาตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะเกิดการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของน้ำ (film diffusion) ซึ่งตามปกติตัวดูดซับจะมีฟิล์มของน้ำบางๆ ห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ และเกิดการแพร่เข้าสู่โพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวภายในโพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 1: ตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านพื้นผิวตัวดูดซับ	ขั้นตอนที่ 2 : ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับ	ขั้นตอนที่ 3 : เกิดการดูดซับของตัวดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ



ภาพที่ 2.1 กลไกการดูดซับ (ดัดแปลงจาก Mackey, 1996)

1.ประเภทของการดูดซับ

แบ่งประเภทการดูดซับเป็น 3 ประเภท (Faust and Aly, 1987 ; Noll *et al*, 1992) ได้แก่

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เกิดจากแรงดึงดูดอย่างอ่อนระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับโดยตัวที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีใด ๆ การดูดซับแบบนี้สามารถผันกลับได้ (reversible) การดูดซับทางกายภาพบางทีเรียกว่า การดูดซับด้วยแรงวัลเดอร์วาล (van der waal's adsorption)

2) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) จะเกี่ยวข้องกับพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตำแหน่งดูดซับ (adsorption site) ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีบางครั้งจะต้องการพลังงานเข้าร่วมด้วยเรียกว่า การดูดซับด้วยการกระตุ้น (activated adsorption) พันธะที่เกิดขึ้นแข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ ตำแหน่งที่เกิดการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของตัวดูดซับในลักษณะชั้นเดียว (monolayer) ซึ่งต่างจากการดูดซับทางกายภาพที่การดูดซับเกิดในลักษณะหลายชั้น (multilayer) และพบว่า ค่า ΔH ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40 to 1,000 $kJmol^{-1}$ (Maccash, 2001)

3) การดูดซับด้วยประจุ (Ionic adsorption) เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวด้วยแรงของประจุที่ตรงข้ามกัน (electrical attraction) ทำให้ไอออนของตัวถูกดูดซับติดอยู่ที่พื้นผิวตัวดูดซับในตำแหน่งที่มีประจุตรงข้ามกัน ไอออนที่มีประจุสูงจะถูกดูดติดได้ดีกว่าพวกที่มีประจุต่ำ และไอออนที่มีขนาดเล็ก

2.ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับขึ้นอยู่หลายปัจจัยได้แก่ (Said, 1993; Solmaz *et al*., 2000) ได้แก่

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาด และพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคืออัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

2) ค่าความเป็นกรด- ด่าง (พีเอช)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ ๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่นั้น ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ กล่าวคือ ในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวกและตัวดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่าพีเอชต่ำจะทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งกันที่จะถูกดูดซับของตัวถูกดูดซับที่มีประจุบวกกับไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ในสารละลาย แต่จะได้ผลในทางตรงกันข้ามกัน เมื่อการดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลงและปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น จึงลดผลในการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับ และในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบก็จะให้ผลตรงกันข้ามในทำนองเดียวกัน

3) อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้นและเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับของตัวดูดซับได้มากขึ้น

4) ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อน แล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างบนไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า ความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

5) ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ จะพบว่าถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวเทอริกได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อการละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลง จึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมากสารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนมักจะถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีอยู่น้อยเนื่องจากพื้นผิวภายนอกเป็นรูพรุน

วัสดุที่ใช้ในการดูดซับแคดเมียม

1. ซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมากได้จากกระบวนการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักข้าวโพด ส่วนใหญ่ นิยมนำฝักข้าวโพดนิยมนำมาบดเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ องค์ประกอบของซังข้าวโพด ส่วนใหญ่เป็นพวกลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบและปริมาณธาตุในซังข้าวโพด (Sun and Webley, 2010)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
Cellulose	36.3
Hemicellulose	42.8
Lignin	9.3
Ash	0.2
Element	
C	43.4
H	5.8
N	0.6
O (estimated by difference)	50.2

Garg *et al*. (2010) ศึกษาการใช้ซังข้าวโพดในการดูดซับแคดเมียม (II) จากการศึกษาพบว่าสภาวะการดูดซับที่เหมาะสมที่ทำให้มีการดูดซับสูงสุด เมื่อพีเอชเท่ากับ 6 เวลาในการดูดซับ 30 นาที และ ปริมาณของตัวดูดซับ 20 กรัม/ลิตร ทำให้ความจุของการดูดซับสูงถึง 105.6 มิลลิกรัม/กรัมตัว

ดูดซับ และจากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นของการดูดซับพบว่า หมู่ฟังก์ชั่น -OH จากหมู่ฟังก์ชั่นในเซลลูโลสและลิกนินในซังข้าวโพดจะจับกับแคดเมียม (II) ทำให้มีการดูดซับกันได้

จากการศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยซังข้าวโพด ของ Shen and Duvnjak (2005) พบว่า ซังข้าวโพดสามารถดูดซับแคดเมียมที่ความจุสูงสุด คือ 0.0772 mmol/g (8.67 มิลลิกรัม/กรัม) ที่สภาวะพีเอช 8.3 และ ใช้ปริมาณซังข้าวโพดเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร แสดงว่าซังข้าวโพดมีศักยภาพการการดูดซับแคดเมียมได้

Leyva-Ramos *et al*. (2005) ศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยซังข้าวโพดและซังข้าวโพดที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยกรดซิตริกและกรดไนตริก ผลการทดลองพบว่าที่สภาวะการดูดซับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซังข้าวโพดสามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงสุด 5.12 มิลลิกรัม/กรัม และ ซังข้าวโพดที่ถูกออกซิไดซ์ด้วย 0.6 โมล่า ของกรดซิตริก สามารถดูดซับแคดเมียมสูงสุด 55.2 มิลลิกรัม/กรัม และซังข้าวโพดที่ถูกออกซิไดซ์ด้วย 1 โมล่าร์ ของกรดไนตริก สามารถดูดซับแคดเมียมสูงสุด 19.3 มิลลิกรัม/กรัม พีเอชที่เหมาะสมของการดูดซับแคดเมียมอยู่ที่พีเอช 6-8

2. เปลือกส้ม

เปลือกส้มเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากหลังจากการนำส้มมารับประทาน และ ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มที่ใช้ผลิตภัณฑ์จากส้ม ซึ่งในเปลือกส้มส่วนใหญ่ จะมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูง เพคติน และคลอโรฟิลล์และหมู่ฟังชั่น ในเปลือกส้ม เช่นหมู่ hydroxyl และ Carboxyl นอกจากนี้จากการศึกษาของ Li *et al* (2008) พบว่า ปริมาณ ธาตุ (Element ที่พบในเปลือกส้มได้แก่ คาร์บอน 42.2 % ไฮโดรเจน 5.4 % ออกซิเจน 1% และไนโตรเจน 1% และพบว่าเปลือกส้มมีค่า พื้นที่ผิว (BET surface area) 128.7 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน เท่ากับ 30.5 Å

Li *et al* . (2008) ยังศึกษาพบว่าเปลือกส้มสามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงถึง 0.49 mol/kg และเมื่อปรับสภาพด้วย alkali saponnification (NaOH, NH4OH, $Ca(OH)_2$ และ acid oxidation ($C_6H_6O_7.H_2O$, $H_2C_2O_4$ และ H_3PO_4) เปลือกส้มมีความสามารถดูดซับแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 0.85 ถึง 1.13 mol/kg โดยเมื่อปรับสภาพด้วย $H_2C_2O_4$ บนเปลือกส้มจะทำให้มีความสามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงสุดเมื่อเปรียบกับการใช้สารเคมีชนิดอื่นปรับสภาพเปลือกส้ม (1.13 mol/kg) และพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมอยู่ในช่วงพีเอช 5-7 และปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 4.3 กรัม/ลิตร และจะเห็นว่ากลไกการดูดซับเป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนอิออน โดย Na^+ หรือ $NH4^+$ หรือ Ca^{2+} จะไปจับกับ –OH ของเซลลูโลสในเปลือกส้ม เป็น –ONa หรือ $-ONH_4$ ทำให้แคดเมียม (II) สามารถแทนที่ใน –ONa หรือ $-ONH_4$

Feng *et al*. (2011) ศึกษาการใช้เปลือกส้มในการดูดซับแคดเมียม และพบว่าความจุสูงสุด (maximum adsorption capacity) ของการดูดซับแคดเมียม เท่ากับ 63.35 มิลลิกรัม/กรัมตัวดูดซับ และเมื่อนำเปลือกส้มมากราฟต์โคโพลิเมอ์ไรเซชั่นด้วย methyl acrylate หลังจากนั้นนำไปดูดซับแคดเมียมผลการทดลองพบว่า สามารถดูดซับแคดเมียมได้สูงขึ้น เป็น 293.31 มิลลิกรัม/กรัมตัวดูด

ซับ และจากการศึกษายังพบว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับแคดเมียมที่พีเอช 8 และปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ เท่ากับ 1 กรัม/ 500 มิลลิลิตร

3. ขุยมะพร้าว

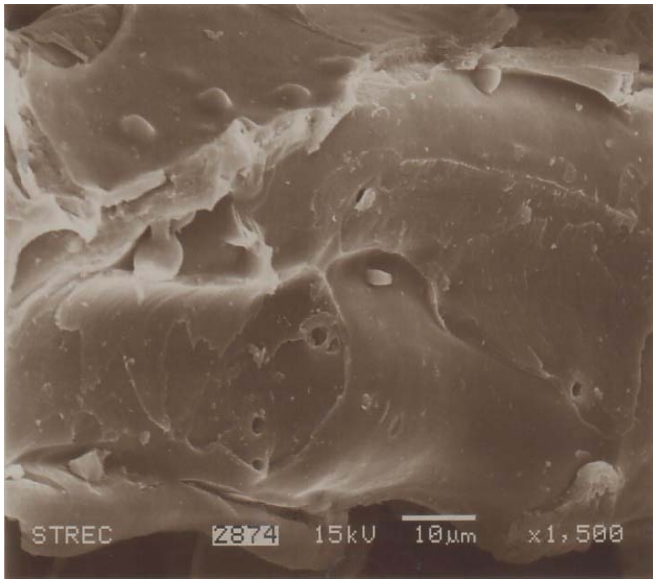
มะพร้าว เป็นพืชยืนต้น ผลประกอบด้วยเอพิคาร์ป (epicarp) คือเปลือกนอก ถัดไปข้างในจะเป็นมีโซคาร์ป (mesocarp) หรือใยมะพร้าว ถัดไปข้างในเป็นส่วนเอนโดคาร์ป (endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีคล้ำอยู่ 3 รู สำหรับงอก ถัดจากส่วนเอนโดคาร์ปเข้าไปจะเป็นส่วนเอนโดสเปิร์ม หรือที่เรียกว่าเนื้อมะพร้าว ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมดโดยมะพร้าวแก่ จะประกอบด้วยเนื้อมะพร้าว28% โดยน้ำหนัก กะลามะพร้าว 2% และกาบมะพร้าวประมาณ 35% โดยน้ำหนัก ซึ่งกาบมะพร้าวที่อยู่รอบๆ กะลามะพร้าวนั้น ประกอบด้วย 30% โดยน้ำหนักของใยมะพร้าวและ 70% โดยน้ำหนักของขุยมะพร้าว (Van Dam *et al*., 2004)

ขุยมะพร้าวในประเทศไทยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานทำเบาะ ที่นอน ส่วนใหญ่พบมากที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ขนาดเล็ก เบา และสีน้ำตาล มีขนาดประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร(ภาพที่ 2.2) ขุยมะพร้าวมีปริมาณลิกนินประมาณ 36% และเซลลูโลสประมาณ 43.8 % ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของขุยมะพร้าวแสดงดังตารางที่ 2.3

ภาพที่ 2.2 ขุยมะพร้าว
(http://www.iea-shc.org/task29/projects/coir_pith_drying_india.htm)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขุยมะพร้าว (Suksabye *et al*, 2007; Suksabye *et al*, 2009)

พารามิเตอร์	ค่า
Lignin (%)	36
Holoocellulose (%)	43.8
• α-cellulose	27.8
• β-cellulose	2.1
• γ-cellulose	13.9
Pentosan (%)	16.2
BET surface area (m^2 g^{-1})	7.42
Total pore volume (cm^3 g^{-1})	0.0143
Average pore diameter (Å)	76.83
Element (%)	
C	52.09
O	46.42
Cl	0.89
K	0.82



ภาพที่ 2.3 ลักษณะพื้นผิวของขุยมะพร้าว จากถ่ายภาพด้วย SEM (X 1500 of particle size <75 µm) (Suksabye, 2006)

จากการศึกษาของ Suksabye และคณะ (2007;2009) พบว่าพื้นที่ผิว (BET surface area) มีปริมาณค่อนข้างต่ำเพียง 7.42 ตารางเมตร/กรัม และสอดคล้องกับภาพถ่ายด้วย SEM (Scanning Electron Microscopy) ที่ลักษณะพื้นที่ผิวค่อนข้างเรียบแต่ปริมาณของลิกนินและโฮโลเซลลูโลสค่อนข้างสูง และจากการศึกษาของ Arunee (2008) พบว่าขุยมะพร้าวมีศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักที่มีวาเลนซี่ 2+ โดย Arunee (2008) ได้ใช้ขุยมะพร้าวในการดูดซับนิกเกิล โดยสามารถดูดซับนิกเกิลได้ 9.5 มิลลิกรัม/กรัม ตัวดูดซับ และเมื่อนำขุยมะพร้าวมาปรับสภาพด้วย 0.1 M NaOH จะทำให้สามารถดูดซับเพิ่มขึ้นได้ เป็น 38.9 มิลลิกรัม/กรัม โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ ในการดูดซับ ได้แก่ เวลา 10 นาที ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4-7.7 และใช้ปริมาณของขุยมะพร้าว เท่ากับ 5 % (w/v) ซึ่งจากผลการทดลองยังพบว่า นิกเกิลไม่ได้ดูดซับในขุยมะพร้าว ด้วยรูพรุน แต่เป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) โดยหมู่ฟังก์ชั่น –OH ของหมู่ไฮดรอกซิล, หมู่คาร์บอกซิลิกและ OCH_3 ของหมู่เมทอกซิล ถูกเปลี่ยนเป็น –ONa หลังจากปรับสภาพด้วยด่าง ทำให้นิกเกิล สามารถแทนที่ใน–ONa ได้

และนอกจากนี้ Parab *et al*. (2006) ยังพบว่าขุยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะหนักที่มีวาเลนซี่ 2+ และ 3+ เช่นกันโดยสามารถดูดซับ Co(II), Cr(III) และ Ni(II) โดย สภาวะของพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับมีค่าเท่ากับ 4.3, 3.3 และ 5.3 สำหรับ Co(II), Cr(III) และ Ni(II) ตามลำดับ โดยขุยมะพร้าวมะพร้าวสามารถดูดซับ Co(II), Cr(III) และ Ni(II) ได้สูงสุดที่ 12.82, 11.56 และ 15.95 มิลลิกรัม/กรัมตัวดูดซับ

ถึงแม้ว่ายังไม่มีงานวิจัยที่ใช้ ขุยมะพร้าวดูดซับแคดเมียม แต่จากการศึกษาของ Arunee (2008) และ Parab *et al*. (2006) พบว่าขุยมะพร้าวสามารถดูดซับโลหะหนักที่มีวาเลนซี่ 2+ และ 3+ ได้ดีซึ่งแคดเมียมก็มีวาเลนซี่ 2+ เช่นกัน ดังนั้นขุยมะพร้าวน่าจะมีศักยภาพในการดูดซับแคดเมียมได้ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจนำขุยมะพร้าวเป็นวัสดุดูดซับของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมเพื่อลดปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในข้าว

ข้าว

เป็นพืชตระกูลหญ้าอยู่ใน Family Gramineae Oryza ซึ่งเจริญเติบโตทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ปัจจุบันพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารนั้น ส่วนมากมีเพียง 2 Species คือ Oryza sativa ที่มีปลูกกันโดยทั่วไปกับ Oryza glaberrima ที่ปลูกเฉพาะในแอฟริกาเท่านั้น โดยที่ Oryza sativa มีจำนวนพันธุ์และความแตกต่างในลักษณะของพันธุ์มากกว่า Oryza glaberrima จึงใช้เป็นพันธุ์ปลูกในประเทศต่างๆ ทั่วไปทั้งในเอเชีย แอฟริกา ยุโรป และออสเตรเลีย (เพื่อนจิต , 2548)

1. การเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ ดังนี้ (วิไล, 2548)

1) การเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth phase)

เริ่มตั้งแต่ข้าวงอกออกจากเมล็ดไปจนถึงข้าวเริ่มมีการสร้างรวงอ่อนหรือช่อดอก การเจริญเติบโตระยะนี้ต้นข้าวจะมีการสร้างใบ ลำต้น แตกกอ การขยายตัวของปล้องทำให้ต้นข้าวสูงขึ้น ขณะเดียวกันใต้ผิวดินก็จะมีการสร้างระบบรากให้สมบูรณ์ สะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์ต่อไป

2) การเจริญเติบโตระยะสืบพันธุ์หรือสร้างช่ออกหรือรวง (Reproductive growth phase)

เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธงกินเวลาประมาณ 30-40 วัน ในระยะนี้เมื่อเริ่มแรกภาษาชาวนาเรียกว่า ข้าวแต่งตัว จนกระทั่งการสร้างรวงผ่านไประยะหนึ่ง รวงอ่อนมีขนาดใหญ่อยู่พอสมควรทำให้ต้นข้าวมีลักษณะกลมและป่องออก ระยะนี้เรียกข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้นเรียกว่า ข้าวโพล่ง ภายในระยะเวลา 30-40 วัน ต้นข้าวจะมีการสร้างและพัฒนาส่วนต่างๆ ของรวงและดอก เช่น กลีบดอกส่วนต่างๆ ของเพศผู้และเพศเมีย เพื่อเตรียมไว้สำหรับการผสมพันธุ์ต่อไป

ภายหลังการเจริญเติบโต ระยะสืบพันธุ์ข้าวก็จะเริ่มผสมพันธุ์และสร้างเมล็ด ระยะนี้เรียกว่าระยะสร้างเมล็ดและระยะข้าวสุกแก่ (grain formation and ripening stage) โดยจะเริ่มหลังจากการผสมเกสร ไปจนถึงเวลาที่เมล็ดข้าวแก่จัด หลังจากผสมเกสรประมาณ 7-10 วัน ข้าวก็จะเริ่มมีเมล็ดลักษณะเป็นแป้งน้ำเหมือนน้ำนม ระยะนี้จึงเรียกว่า ระยะน้ำนม ทั้งนี้ต้นข้าวใช้เวลาในการสร้างเมล็ดตั้งแต่การผสมเกสรจนถึงแก่จัดประมาณ 30 วัน

1. เมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวหมายถึงส่วนรวมที่เป็นแป้งที่เรียกว่า endosperm และส่วนที่ เป็น embryo ซึ่งถูกห่อหุ้มไว้โดยเปลือกนอกที่ เรียกว่า lemma และ palea แป้ง endosperm เป็นแป้งที่เราบริโภค embryo เป็นส่วนที่มีชีวิตและงอกออกมาเป็นต้นข้าวเมื่อเอาไปเพาะ การที่ละอองเกสรตัวผู้ตกลงบนที่รับละอองเกสรของเกสรตัวเมียนั้น เรียกว่า การผสมเกสร (pollination) หลังจากการผสมเกสรเล็กน้อย ละอองเกสรตัวผู้ก็จะงอกลงไปในก้านของเกสรตัวเมีย เพื่อนำนิวเคลียสจากละอองเกสรตัวผู้ลง ไปผสมเพื่อรวมตัวกับไข่และนิวเคลียสอื่น ๆ ในรังไข่นิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับไข่ก็จะเจริญเติบโตเป็น embryo ส่วนนิวเคลียสที่ได้รวมตัวกับนิวเคลียสอื่น ๆ (polarnuclei) ก็จะเจริญเติบโตเป็นแป้งที่เรียกว่า endosperm หลังจากการผสมเกสรประมาณ ๓๐ วัน เมล็ดข้าวก็จะแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ เมื่อได้แกะเปลือกที่เป็น lemma และ palea ของเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาก็จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง หรือ brown rice เมล็ดข้าวกล้องมักจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ และเมื่อได้ผ่าตัดเมล็ดข้าวกล้องออกตามความยาวและศึกษาลักษณะของมันอย่างละเอียดก็พบว่าเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วย เยื่อชั้นนอกบาง ๆ เรียกว่า pericarp layers จำนวน ๒ ชั้น เยื่อชั้นกลางหนึ่งชั้นเรียกว่า tegmen และเยื่อชั้นในบาง ๆ อีกหนึ่งชั้นเรียกว่า aleurone layer ถ้า pericarp layers เป็นสีแดง เมล็ดข้าวกล้องก็จะเป็นสีแดงส่วนภายในที่เป็น endosperm จะมีลักษณะเป็นแป้งสีขาวหรือใส เป็นจำนวนน้อยมากที่มี endosperm เป็นสีแดงข้าวเหนียวจะมี endosperm เป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามี endosperm ใสกว่า อย่างไรก็ตาม endosperm ของเมล็ดข้าวเจ้าอาจมีสีขาวขุ่นเกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือตรงกลางของเมล็ดก็ได้ ซึ่งเรียกว่า ท้องไข่ หรือท้องปลาซิว (chalkiness)

เมล็ดข้าวจะประกอบด้วย เยื่อหุ้มชั้นใน จมูกข้าว และส่วนที่เป็นแป้งอยู่ภายใน ซึ่งเรียกข้าวในลักษณะนี้ว่าข้าวกล้อง ข้าวกล้อง มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนที่เป็นรำข้าวจะประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นในซึ่งมีเส้นใยสูงและมีเกลือแร่อยู่บ้าง จมูกข้าวจะเป็นส่วนของเมล็ดข้าวที่คุ้มงอ ห่อหุ้มบริเวณคัพพะ (embryo หรือ germ) ซึ่งเป็นส่วนที่จะงอกเป็นลำต้นของต้นข้าวเอาไว้ ดังนั้นจมูกข้าวจึงเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่สมบูรณ์ที่สุดของเมล็ดข้าว มีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย คือ วิตะมินเอและวิตะมินบีอีกหลายชนิดคือ บี 1 บี 2 บี 5 บี 9 บี 12

3. การปนเปื้อนแคดเมียมในข้าว

จมูกข้าวของเมล็ดข้าวเป็นแหล่งสะสมอาหารและแร่ธาตุต่างๆ จำนวนมาก จึงทำให้แคดเมียมสามารถสะสมในส่วนของจมูกข้าวและเนื้อเยื่อชั้นในมีเส้นใยสูงแต่มีการสะสมของสารอาหารและแร่ธาตุน้อยมีเพียงเกลือแร่อยู่บ้างเล็กน้อย แต่จมูกข้าวมักจะหลุดออกมาในระหว่างขัดสีในขบวนการผลิตข้าวขาว เนื่องจากจมูกข้าวเป็นส่วนประกอบของข้าวที่ยังไม่ได้ทำการขัดสี หรือที่เรียกกันว่า ข้าวกล้อง เมื่อทำการขัดสีแล้วทำให้จมูกข้าวหลุดออกไปรวมทั้งเนื้อเยื่อชั้นนอกของข้าวด้วย แคดเมียมที่สะสมอยู่ในจมูกข้าวและเนื้อเยื่อชั้นนอกจึงติดออกไปกับส่วนดังกล่าว แต่ยังคงมีแคดเมียมสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อชั้นในของเมล็ดข้าว

แคดเมียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ดีกว่าธาตุโลหะอื่นๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว ข้าวสามารถดูดแคดเมียมซึ่งมีวาเลนซี่ +2 หรืออยู่ในสภาพ Cd^{+2} เข้าไปในเนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว ถ้าความเป็นกรดหรือด่าง (pH) เหมาะสม เช่นในข้าว ดินที่มีสภาพเป็นกรดรุนแรง (pH 4.8-5.5) ข้าวจะสะสมแคดเมียมได้มากกว่าดินที่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.4-7.8) ทั้งนี้เพราะที่ pH สูงกว่า 7.25 จะเกิดเกลือแคดเมียมคาร์บอเนต ($CdCO_3$)

4. มาตรฐานของแคดเมียมในข้าว

ค่ามาตรฐานของแคดเมียมในเมล็ดข้าวที่กำหนด ในมาตรฐานของ Codex Committee on Food Additives and Contaminant (CCFAC) กำหนดไว้ว่าปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

5. สถานการณ์การปนเปื้อนแคดเมียมในข้าวในประเทศไทย

การปนเปื้อนแคดเมียมในดินและในข้าวของประเทศไทยถูกพบเป็นมากและมีค่าเกินมาตรฐานในพื้นที่ บริเวณห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวมีอุตสาหกรรมผลิตเหมืองแร่สังกะสีอยู่ และแคดเมียมมักพบปะปนกับสังกะสีเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อมีการเปิดหน้าดินในการทำเหมืองแร่จะทำให้แคดเมียมปะปนออกมาจากการชะล้างของน้ำฝน และไหลลงสู่ห้วยแม่ตาว ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนท้องน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงเกษตร ทำให้เกิดการแพร่กระจายแคดเมียมเข้าสู่นาข้าว

Simmons และคณะ (2005) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยได้ทำการตรวจวัดระดับแคดเมียมในดินและข้าวบริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยการศึกษาแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก เดือน มิถุนายน 2000–พฤศจิกายน 2000 ศึกษาแปลง

นาบริเวณบ้านพะเต๊ะ ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งอยู่บริเวณแหล่งแร่สังกะสี (Zinc mineralized area) มากที่สุด พบว่า ปริมาณแคดเมียมในดิน (จำนวน 154 ตัวอย่าง) อยู่ในช่วง 3.4-284 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนในเมล็ดข้าวมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ 0.1-4.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่า 95% ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตัวอย่าง มีค่าแคดเมียมอยู่ในเมล็ดข้าวเกินมาตรฐานของ Codex Committee on Food Additives and Contaminant (CCFAC) ที่ได้กำหนดไว้ที่ 0.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนในช่วงที่สองทำการศึกษาระหว่างปี 20001-2002 ทำการศึกษาบริเวณท้ายน้ำของลำห้วยแม่ตาว ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่ามีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนในดิน อยู่ในช่วง 0.5-218 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (จำนวน 334 ตัวอย่าง) และมีปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวสูงถึง 0.05-7.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (จำนวน 432 ตัวอย่าง) ซึ่งพบว่า 85% ของเมล็ดข้าวที่สุ่มตัวอย่างมีค่าแคดเมียมเกินค่ามาตรฐาน

ปัญหาของการปนเปื้อนของแคดเมียมในข้าวบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากมีการนำข้าวที่ปลูกไปใช้บริโภคเป็นอาหาร และยังส่งผลกระทบต่อประชาชนทั่วไปที่มีการซื้อข้าวบริเวณแหล่งปลูกดังกล่าวไปใช้บริโภค ประชาชนมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคผิดปกติจากไต เพราะพิษของแคดเมียมที่สะสมในร่างกายมีผลทำให้เกิดภาวะไตวาย หรือป่วยเป็นโรคอิไต-อิไต รวมทั้งส่งผลต่อเลือดและตับได้ ดังนั้นการหาแนวทางในการแก้ปัญหาในการลดการปนเปื้อนของแคดเมียมในข้าวเป็นวิธีที่จะมีประโยชน์มากสำหรับเกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว

การดูดดึงโลหะหนักของพืช

1. รูปของแคดเมียมในดิน

แคดเมียมในหินอัคนี (Magmatic rocks) และหินตะกอน จะมีปริมาณไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในการสลายตัวของดิน แคดเมียมจะอยู่ในสภาพละลายน้ำได้ง่าย และอยู่ในรูปแคดเมียมไอออน ($Cd2^{+}$) และสามารถอยู่ในรูปไอออนแคดเมียมเชิงซ้อน (Complex Ions) อื่นด้วย เช่น $CdCl^{+}$, $Cd\ OH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$, $CdCl_2^{0}$, $CdCl_{3-}$, $CdCl_4^{2-}$, $CdOH_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$ ยกตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของคลอไรด์ ไอออนสูง ทำให้การดูดดึงแคดเมียมในพืชมีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในดินทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในพืชเพิ่มขึ้น การดูดดึงแคดเมียมในพืชดังกล่าวเป็นผลมาจากเกลือของคลอไรด์ (Cl^{-}salinity) อย่างไรก็ตามวาเลนซี่ที่สำคัญที่สุดของแคดเมียมคือ +2 และปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแคดเมียมไอออนคือ พีเอช และออกซิเดชัน (Oxidation potential) ภายใต้สภาวะที่เกิดออกซิเดชันอย่างแรง แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบ เช่น แคดเมียมออกไซด์ (CdO) แคดเมียมคาร์บอเนต ($CdCO_3$) หรืออาจจะอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน (วราภรณ์, 2550)

2. กลไกการดูดซับแคดเมียมของพืช

กลไกการดูดแคดเมียมจากดินของพืช ประกอบด้วย 1) การดูดดึงแคดเมียมจากสารละลายที่บริเวณผิวของราก 2) การดูดซึม (Absorption) และการลำเลียง (Transport) ของแคดเมียมไอออน (Cd2+) ไปตามเยื่อหุ้มเซล (Cell plasma membranes) ของเซลล์รากโดยถูกควบคุมโดยความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical potential) ของกิจกรรมแคดเมียมไอออน (Cd^{2+}) ระหว่างไซโตพลาสซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลพืช และเป็นที่เก็บสะสมของวัตถุสำหรับเซลล์ และอะโพพลาสซึม (Apoplasms) ของราก ซึ่งกระบวนการดูดซึมธาตุโลหะโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ ที่เรียกว่า Passive Adsorption ทำให้แคดเมียมถูกดูดผ่านในรากพืชทางช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free space) นอกจากนี้ โลหะหนักที่ความเข้มข้นสูง สามารถเคลื่อนที่ผ่านอย่างรวดเร็วด้วย โดยมีการเคลื่อนที่ผ่านทางเอนโดเดอร์มิส (Endodermis) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านนอกของเนื้อเยื่อลำเลียงของรากเพื่อเข้าสู่ท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) หากแต่สารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic) ส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายทางท่ออาหาร (Phloem) 3) การเคลื่อนที่ภายในระหว่างเซลแคดเมียม และ 4) ระยะการเคลื่อนย้ายและการสะสม (Deposition) ของแคดเมียมในส่วนของพืช เป็นต้น นอกจากนี้กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบริเวณราก ซึ่งแคดเมียมสามารถละลายเพิ่มได้ ในบริเวณนี้เรียก ไรโซสเฟียร์ (Rhizoshere) นั้นอาจมีผลทำให้ปริมาณแคดเมียม มีความสามารถในการแพร่กระจายออกไปยังผิวของรากด้วยเช่นกัน (McLaughlin and Singh, 1999)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแคดเมียมในดินและการดูดดึงของพืช

1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4.5-5.5 ซึ่งมีสภาพละลายได้ (Solubility) ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมและปริมาณอินทรีวัตถุในดิน ในขณะที่ดินเป็นด่าง แคดเมียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ดังนั้นการใส่ปูน เพื่อลดความเป็นกรดจะสามารถลดการละลายได้ ทำให้ลดการดูดดึงแคดเมียมของพืชได้เช่นกัน (ศุภมาศ, 2545) สอดคล้องกับ Lehoczky *et al*. (1997) ที่ได้กล่าวว่า ดินมีค่าพีเอชสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของดินจะเพิ่มขึ้น การที่ดินมีความสามารถดูดซับแคดเมียมได้มากจะทำให้พืชสามารถดูดดึงแคดเมียมได้น้อยลง นอกจากนี้ Escrig และ Morell (1998) รายงานว่าการเติมเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ลงไปในดินทำให้ความสามารถของการดูดซับแคดเมียมลดลง 3 เท่า เมื่อเติมเกลือในปริมาณ 10 เท่า เนื่องจาก Ca^{2+} สามารถแทนที่ Cd^{2+} ได้

2) อิทธิพลของโลหะหนักและธาตุอื่นๆ

ลักษณะของปฏิกิริยาร่วมระหว่างโลหะหนักด้วยกันมี 2 อย่างคือการแก่งแย่ง (Antagonism) และการดูดยึดด้วยกัน (Synergism) ปฏิกิริยาการแก่งแย่ง หรือการดูดยึดด้วยกันของโลหะและธาตุอื่นๆ มีอิทธิพลต่อการละลายในดิน การดูดดึงและการเคลื่อนย้ายแคดเมียมของพืช เช่น เมื่อมีการใส่

กำมะถันในดินที่มีการปนเปื้อน ทำให้พืชดูดดึงแคดเมียมได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ แคลเซียมและสังกะสีที่มีอยู่ในดินจะลดลง (Yanshan *et al* , 2004)

3) ความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity)

ดินมีประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากอนุภาคของดินเหนียว (Clay mineral) และอินทรียวัตถุ (Organic mater) ทำให้สามารถดูดยึดไว้ในดินหรือคอลลอยด์ดิน (Soil colloid) ซึ่งค่า CEC ขึ้นอยู่กับชนิดของคอลลอยด์ดิน ปริมาณของดินเหนียวที่อยู่ในดิน และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน แร่ดินเหนียวต่างชนิดกัน จะมีค่า CEC ต่างกัน เช่น ดินที่มีค่าอิวมัสมากจะมีค่า CEC สูง เช่นเดียวกับดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูง แคตไอออนจะถูกดูดยึดที่ผิวของแร่ดินเหนียว ดังนั้นการชะละลายของพวกแคตไอออน จึงไม่สามารถทำได้ง่าย และจากการศึกษาของ ศิริลักษณ์ และธนูชัย (2548) ได้ศึกษาการใช้หญ้าแฝกกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยทำการศึกษาค่า CEC ซึ่งพบว่าค่า CEC ของชุดดินท่าเรือเท่ากับ 24.6 และ 1.8 cmole/kg ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ชุดดินที่มีค่า CEC สามารถดูดดึงแคดเมียมได้ดี และมีการปล่อยแคดเมียมได้ยากกว่าชุดดินที่มีค่า CEC ต่ำ ทำให้หญ้าแฝกที่ปลูกในชุดดินอุบลดูดดึงแคดเมียมได้มากกว่าชุดดินท่าเรือ

4) เนื้อดินและโครงสร้างของดิน

โครงสร้างของดินเกิดจากการเกาะยึดของอนุภาคดิน และตัวเชื่อมทั้งสารอินทรีย์และไอออนต่างๆ ทำให้ความเสถียรของรูปทรง ลักษณะเนื้อดินและโครงสร้างของดินมีอิทธิพลต่อความพรุนของดินแต่ละชนิดย่อมมีผลต่อการดูดซับของโลหะหนักด้วย โดยเนื้อดินที่มีผิวรวมของอนุภาคมากกว่าจะดูดซับไอออนซึ่งเป็นธาตุอาหารได้มากกว่าด้วย ลักษณะของดินที่พืชต้องการคือ ไม่ขัดขวางการเจริญเติบโตของราก มีการถ่ายอากาศและระบายน้ำในดินได้ดี สามารถอุ้มน้ำให้กับพืชได้ มีลักษณะเอื้อประโยชน์ต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เป็นที่ยึดเกาะของรากได้ดี Bell *et al*. (2001) พบว่า ดินทราย ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียวและอินทรีวัตถุต่ำ พบว่า พืชส่วนใหญ่สามารถดูดดึงแคดเมียมไปใช้ได้สูงกว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียว

5) ปริมาณอินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุมีประจุลบ (Net negatively charge) อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถในการดูดยึดประจุบวกสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ประมาณ 2-30 เท่า จึงทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความต้านทางการเปลี่ยนแปลง พีเอชได้ดี

6) สารคีเลต (Chelate agent)

สารคีเลตมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) โดยเป็น Chelate metal ion ที่สามารถรวมกับโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน สารคีเลตที่มีการใช้เช่น Ethylene diaminetetraacetic Acid (EDTA) Diethylene triaminepentaacetic Acid (DTPA) Citric Acid (CA) และ Ethylene diaminedisuccunic Acid (EDDS) เป็นต้น สารคีเลตช่วยให้พืชดูดดึงแคดเมียมได้สูงขึ้น (วราภรณ์, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ของชิดชนก (2550) ซึ่งได้ศึกษา

ผลของตัวคีเลตต่อการสะสมแคดเมียมของทานตะวัน โดยการเติมสารละลายไนเตรต ($Cd(NO_3)2.4H_2O$) ควมเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม หลังจากปลูกพืชเป็นเวลา 35 วัน ทำการเติมคีเลต 3 ชนิด คือ EDTA EDDS และ CA ผลการศึกษาพบว่า การเติม EDTA ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จำนวน 1 ครั้ง มีผลให้มีการสะสมแคดเมียมทั้งต้นมากที่สุด คือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) และพบว่า EDTA สลายตัวได้ช้ากว่า EDDA และ CA จึงสามารถปลดปล่อยแคดเมียมให้อยู่ในสารละลายได้มากกว่า EDDS และ CA

7) ชนิดและส่วนต่างๆ ของพืช

ปริมาณโลหะหนักในพืชจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช ส่วนของพืชและอายุพืช พืชแต่ละชนิดจะสะสมโลหะหนักชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน Pepper *et al*.(1983) รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในข้าวโพดจะมีปริมาณลดหลั่นกันไปดังนี้ ใบ > ต้น > ฝัก

8) สภาพแวดล้อมต่างๆ

สภาพแวดล้อมเช่น ลักษณะภูมิอากาศและฤดูกาล ก็มีอิทธิพลในการส่งผ่านโลหะหนัก จากรากไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ถ้าอุณหภูมิของ สภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นพืชจะสามารถดูดดึงแคดเมียม แมงกานีสและสังกะสีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Siriratpiriya *et al*., 1985)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศราริน (2549) ได้ศึกษาผลของสารปรับปรุงดินที่มีต่อการดึงดูดแคดเมียมของถั่วเหลืองปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียม ทำการทดลอง ประกอบด้วย 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือดินปนเปื้อนแคดเมียม 4 ระดับ ได้แก่ ดินปนเปื้อนแคดเมียม 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินปนเปื้อนแคดเมียม 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดินปนเปื้อนแคดเมียม 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปัจจัยที่ 2 คือ สารปรับปรงดิน 6 ชนิด ได้แก่ซีโอไลต์ เบนทอไนต์ ปูนมาร์ล ฟางข้าว แกลบเผา และไม่ใส่สารปรับปรุงดิน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณการดึงดูดแคดเมียมและสังกะสีในเมล็ดและในลำต้นและใบถั่วเหลืองที่ปลูกดินที่ใส่ฟางข้าวมีปริมาณต่ำว่าถั่วเหลืองที่ปลูกในดินที่ใสสารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ และระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่สูงขึ้น มีผลทำให้ถั่วเหลืองดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีได้สูงขึ้นอีกด้วย และพบว่าถั่วเหลืองสะสมแคดเมียมในดินที่สูงขึ้นมีผลทำให้ถั่วเหลืองดูดดึงแคดเมียมและสังกะสีได้สูงขึ้นอีกด้วยและพบว่าถั่วเหลืองสะสมแคดเมียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสในลำต้นและใบมากกว่าเมล็ด แต่อย่างไรก็ตามการใส่สารปรับปรุงดินทุกชนิดมีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดมีค่าลดลง แต่ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

วราภรณ์ (2550) ศึกษาการดึงแคดเมียมโดยอ้อยที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน ผลการทดลองพบว่า อ้อยที่ปลูกในพื้นที่จริงมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูงสุดที่ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 9 เดือน โดยมีค่าเท่ากับ 4.33, 4.86 และ 6.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ระดับความเข้มข้นแคดเมียม <3 , 3-20 และ <20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับเรือทดลองที่มีปริมาณการสะสมแคดเมียมในทุกๆ ส่วนของอ้อย เท่ากับ 8.66, 15.65, 17.47 และ 28.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามระดับความเข้มข้นที่ควบคุมคือ 10 , 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

Chen และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของฟอสเฟตที่มีต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดินสู่พืช โดยพืชที่ใช้ในการทดลองคือ Chinese rape (*Brassica campetris L.*) โดยฟอสเฟตที่ใช้ปรับปรุงดินมี 3 แบบด้วยกันได้แก่ Natural hydroxyapatite, Phosphate rock, Triple-superphosphate และ Diammonium phosphate โดยการทดลอง เงื่อนไขที่ 1 ไม่มี Cd Pb และ Zn ในสารปรับปรุงดิน เงื่อนไขที่ 2 มีปริมาณ Cd 0.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Pb 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 100 มิลลิกรัม /กิโลกรัม เงื่อนไขที่ 3 มีปริมาณ Cd 1.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Zn 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนปริมาณของฟอสเฟตในดินที่มีในสารปรับสภาพด้วยฟอสเฟต เท่ากับ 2500 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อกิโลกรัมของดิน จากผลการทดลองพบว่า ฟอสเฟตชนิด Natural hydroxyapatite สามารถลดปริมาณ Cd Zn และ Pb ในรากได้มากกว่าฟอสเฟตชนิดอื่นๆ โดยการทดลองพบว่าสามารถลด Cd ได้ 39.1-42.4% Zn ลดได้ 31.2-47.3 % และ Pb ได้ 34.6-53.3 % เมื่อเทียบกับดินควบคุม และการทดลองยังพบว่าเมื่อใช้ฟอสเฟตปรับปรุงดินต่างกันจะสามารถลด Cd Zn และ Pb ในพืช เมื่อใช้ฟอสเฟตปรับปรุงดินเรียงตามลำดับดังนี้ Natural hydroxyapatite > Phosphate rock> Diammonium phosphate> Triple-superphosphate

Ping และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลของการใช้สารปรับปรุงดิน 7 ชนิด ต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการดึงดูดแคดเมียมและทองแดงเมื่อดินที่ปลูกเป็นดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและทองแดง โดยสารปรับปรุงดิน 7 ชนิด ได้แก่ หินปูน แคลเซียม-แมกนีเซียม-ฟอสเฟต แคลเซียมซิลิเกต Chinese milk vetch มูลสุกร ถ่านหิน ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) ผลการทดลองพบว่าการประยุกต์ใช้ หินปูนเป็นสารปรับปรุงดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและทองแดงดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ ผลผลิตของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น 12.5-16.5 หน่วย (g/pot) และสามารถลดปริมาณแคดเมียมและทองแดงในเมล็ดข้าวได้ 23-50.4 % ส่วนการใช้แคลเซียม-แมกนีเซียม-ฟอสเฟต แคลเซียมซิลิเกต มูลสุกร และถ่านหิน ก็สามารถทำให้ผลผลิตของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น 0.3-15.3 หน่วย (g/pot) และสามารถทำให้แคดเมียมและทองแดงในเมล็ดข้าวลดลง ส่วน Chinese milk vetch ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) สามารถลดปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวได้เล็กน้อย และปริมาณของทองแดงและแคดเมียมที่ดึงดูดเข้ามาในเมล็ดและซังข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณแคดเมียมและทองแดงในดิน และยังขึ้นอยู่กับพีเอชของดินด้วย

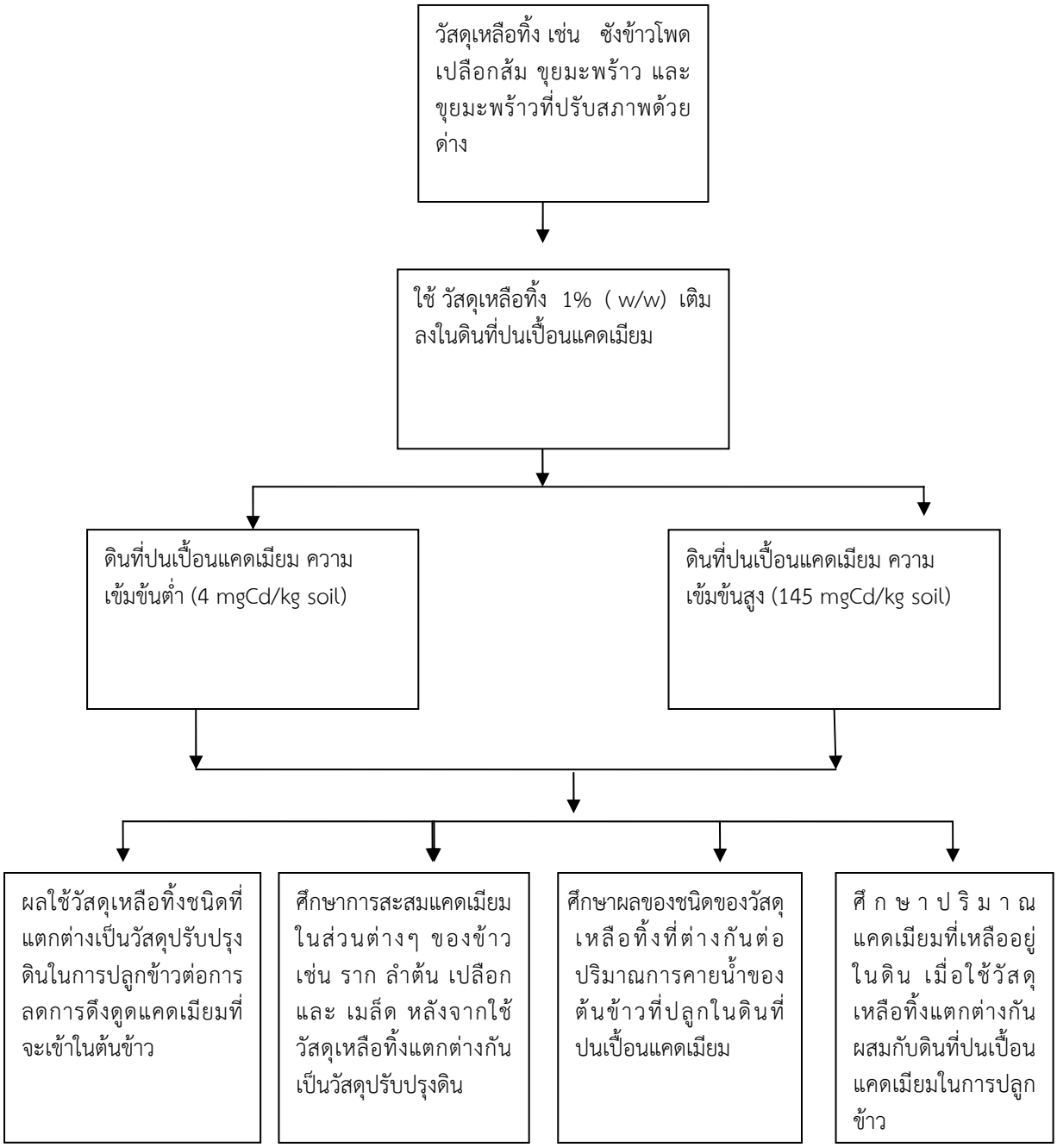
Wang-da และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลของปริมาณแคดเมียมในดินต่อการสะสม Cd K P Mg Cu Pb Fe และ Mn ในเมล็ดข้าวพันธ์ Xiushi 63 และ พันธ์ Xiushi 217 โดยปริมาณแคดเมียมที่เติมในดิน ตั้งแต่ 0.5 2.5 และ 12.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ ไม่เติมแคดเมียมในดิน ผลการทดลองพบว่าชนิดของพันธุ์ข้าวมีผลต่อการสะสม K แต่ไม่มีผลแบบมีนัยสำคัญสำหรับ P Mg Zn Cu Pb Fe และ Mn และผลการทดลองยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคดเมียมในดิน มีผลต่อปริมาณ P Mg และ Zn ในเมล็ดข้าว ขณะที่ไม่มีผลต่อ K Cu Pb Fe และ Mn นอกจากนี้พบว่า ข้าวพันธุ์ Xiushui 27 มีการสะสมปริมาณแคดเมียมในเมล็ดข้าวน้อยกว่าพันธุ์ Xiushui 63 และ การสะสมแคดเมียมในปริมาณต่ำของพันธุ์ข้าว Xiushui 27 จะทำให้ปริมาณของ K Mg และ Mn สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ พันธุ์ข้าว Xiushui 63 ที่มีการสะสมแคดเมียมอยู่ในเมล็ดข้าวสูงกว่า จะทำให้ปริมาณของ Zn Pb และ Fe สูงขึ้นด้วย

Sato และ คณะ (2010) ได้ศึกษาการลดการดึงดูดแคดเมียมเข้าไปในผักขมด้วยดินที่ปรับปรุงด้วยปุ๋ยคอก ซึ่งได้แก่มูลวัว มูลสุกร และมูลสัตว์ปีก โดยระยะการปรับปรุงดิน 4 ปี ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในใบของผักขมเมื่อปรับปรุงดินด้วยมูลสัตว์ทั้งสาม จะทำให้ปริมาณแคดเมียมลดลง อยู่ในช่วง 34-38% เมื่อเปรียบเทียบกับแคดเมียมในใบผักขมที่ใช้สารปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยเคมี แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารปรับปรุงดินด้วยมูลสุกรและมูลสัตว์ปีกจะทำให้เกิดการสะสมของฟอสฟอรัสที่สะสมในดินสูงเมื่อเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินเป็นมูลวัว ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ควรเลือกใช้สารปรับปรุงดินด้วยมูลวัว จะทำให้เกิดการสะสมฟอสฟอรัสในดินต่ำ และมีคุณสมบัติในการลดการดึงดูดแคดเมียมในผักขมด้วย

Yu และคณะ (2009) ศึกษาการเติมไบโอชาร์ (biochar) 2 อย่างลงในดินเพื่อลดการดูดซึมยาฆ่าแมลง (คลอไพริฟอสและคาร์โบฟูราน) ในต้นหอม ไบโอชาร์เตรียมจากการไพโรไลซิสเศษไม้ของต้นยูคาลิปตัสที่ 450 และ 850 องศาเซลเซียส แล้วนำมาผสมกับดินที่ร้อยละ 0, 0.1, 0.5 และ 1 โดยน้ำหนัก ปลูกต้นหอมเป็นเวลา 5 สัปดาห์ในดินที่ปรับปรุงด้วยไบโอชาร์ที่มียาฆ่าแมลงแต่ละชนิด 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไบโอชาร์จะช่วยลดการสูญสลายและลดการแยกยาฆ่าแมลงออกจากดินอย่างมีนัยสำคัญคือในดินที่ปรับด้วยไบโอชาร์จะมียาฆ่าแมลงหลงเหลืออยู่ในดินมากกว่าดินควบคุม เมื่อทำการทดลองเป็นเวลามากกว่า 35 วันพบว่ายาฆ่าแมลงร้อยละ 86-88 หายไปจากดินควบคุม ในขณะที่ดินที่ปรับด้วยไบโอชาร์ที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักมีคาร์โบฟูรานหลงเหลืออยู่ร้อยละ 51 และมีคลอไพริฟอสหลงเหลืออยู่ร้อยละ 44 นอกจากนี้ดินที่ปรับด้วยไบโอชาร์ที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักมีคลอไพริฟอสและคาร์โบฟูรานหลงเหลือในพืชทั้งหมดลดร้อยละ 10 และ 25 ของดินควบคุมตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์ในดินช่วยให้พืชดูดซึมยาฆ่าแมลงลดลงเนื่องจากไบโอชาร์มีความจำเพาะสูงสำหรับยาฆ่าแมลงและมีความสามารถในการแยกยาฆ่าแมลงที่ออกจากดิน

กรอบแนวความคิดการวิจัย

ข้าวจัดเป็นอาหารหลักสำหรับคนไทย มนุษย์สามารถรับสารแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายโดยการบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากข้าวจะสามารถดูดดึง (uptake) แคดเมียมเข้าไปสะสมยังเมล็ดข้าว ดังนั้นเมื่อมนุษย์บริโภคข้าวเข้าไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ วิธีการที่จะทำให้ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในข้าวลดลง ทำได้โดยการใช้วัสดุเหลือทิ้ง (ซังข้าวโพด เปลือกส้ม และ ขุยมะพร้าว) มาเติมผสมในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับแคดเมียมในพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากต้องให้แคดเมียมถูกดูดซับด้วยวัสดุเหลือทิ้ง โดยมีสมมุติฐานว่าแคดเมียมสามารถถูกดูดซับด้วยวัสดุเหลือทิ้งเนื่องจากวัสดุทั้งสามประกอบด้วยลิกนินและเซลลูโลส โดยหมู่ฟังก์ชั่นในลิกนินและเซลลูโลสเป็นตัวดูดซับทางเคมีกับแคดเมียม ซึ่งเป็นการดูดซับที่ค่อนข้างเสถียรทำให้แคดเมียมไม่มีการเคลื่อนที่จากดินสู่ต้นข้าวได้ ดังนั้นการดูดดึงแคดเมียมเข้าไปในต้นข้าวจึงลดลงไปด้วย ซึ่งทำให้ปริมาณแคดเมียมที่ถูกปนเปื้อนในเมล็ดข้าว น่าจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่เลย ประชาชนสามารถนำข้าวดังกล่าวไปบริโภคได้และไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยกรอบแนวคิดแสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย