

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

1. สายพันธุ์หญ้าแฝกกับการดูดซึมแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน

ผลของสายพันธุ์หญ้าแฝกต่อการดูดซึมแคดเมียมนั้นถึงแม้ว่าจะให้ผลแตกต่างได้ไม่ชัดเจนมากนักในการทดลองนี้ แต่ก็พอสรุปได้ว่าหญ้าแฝกกลุ่มและแฝกดอนทั้ง 5 สายพันธุ์มีการดูดซึมแคดเมียมจากดินไปที่รากและใบได้ต่างกัน หญ้าแฝกดอนสายพันธุ์เลยมีแนวโน้มดูดซึมแคดเมียมไปสะสมที่รากและใบมากกว่าหญ้าแฝกกลุ่มสายพันธุ์อินเดียพระราชทานและสายพันธุ์ศรีลังกา (16.9 และ 3.9 vs. 11.8 และ 2.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง, ตาราง 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paul Truong (1999) การที่หญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์ต่างๆ ดูดซึมแคดเมียมได้ต่างกันอย่างนี้อาจเนื่องมาจากสายพันธุ์หญ้าแฝกทั้ง 5 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นแฝกดอน 3 สายพันธุ์ คือ นครสวรรค์ เลย และประจวบคีรีขันธ์ และแฝกกลุ่ม 2 สายพันธุ์ คือ อินเดียพระราชทานและศรีลังกา มีลักษณะทาง ecotype ที่แตกต่างกัน เช่น ราก แฝกสายพันธุ์เลยนั้นมีมากกว่าสายพันธุ์อินเดียพระราชทาน ถึงแม้ว่าจะไม่ต่างกับสายพันธุ์ศรีลังกาก็ตาม (ตาราง 11) ทั้งนี้ก็เนื่องจากแฝกสายพันธุ์เลยนั้นเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนเหนียว (ชุดดินท่าเรือ) ซึ่งเป็นชุดดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ส่วนสายพันธุ์ศรีลังกานั้นจะเจริญเติบโตได้ดีในดินลูกรังและอากาศค่อนข้างหนาวเย็น ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณรากของแฝกทั้งสองสายพันธุ์ต่างกัน ส่งผลให้ดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่รากได้ต่างกันด้วย ส่วนแคดเมียมในใบนั้นถึงแม้ว่าสายพันธุ์หญ้าแฝกทั้ง 3 คือ เลย อินเดียพระราชทานและศรีลังกา จะมีน้ำหนักแห้งใบไม่ต่างกัน แต่แคดเมียมที่สะสมในใบที่ต่างกัน อาจเนื่องจากความสามารถในการส่งถ่ายแคดเมียม (translocation) จากรากไปสู่ใบของแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน สายพันธุ์เลยนี้น่าจะมีการส่งถ่ายแคดเมียมจากรากไปสู่ใบได้มากกว่าสายพันธุ์ทั้งสองที่เหลือ จึงทำให้พบแคดเมียมในใบของสายพันธุ์เลยมากกว่าอีกสองสายพันธุ์

เมื่อเปรียบเทียบการดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่รากและใบแล้วพบว่ามีความแตกต่างที่ใบประมาณ 5 เท่า แสดงให้เห็นถึงรากหญ้าแฝกนั้นดูดซึมแคดเมียมได้ดีมากกว่าใบ เช่นเดียวกับการศึกษาของธนียา เจติยานุกรกุล (2539) ที่พบว่าแคดเมียมจะถูกดูดไปไว้ในรากมากกว่าส่วนของต้นและใบ ตัวอย่างเช่น สายพันธุ์สุราษฎร์ธานีมีแคดเมียมในราก 4.18 mg/Kg แต่ในใบมีเพียง 3.84 mg/Kg เช่นเดียวกับสายพันธุ์ราชบุรี มีแคดเมียมในรากและใบ 5.62 และ 2.23 mg/Kg และสอดคล้องกับการศึกษาของ L. Marchiol (2004) ที่พบว่าทั้ง *B. napus* และ *R. sativus* ซึ่งเป็นพืชที่ใช้บำบัดโลหะหนักนั้นมีการดูดซึมแคดเมียมในส่วนของรากมากกว่าส่วนของใบ คือ 41.5 และ 15.5 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ในขณะที่ Paul Truong (1999) รายงานว่าการสะสม

ของโลหะหนักทั้ง สารหนู แคดเมียม ทองแดง ตะกั่วปรอท และสังกะสี จะพบในส่วนรากก็มากที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของThares Srisatit (2003) ที่พบว่า หนุ้าแฝกทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ และสายพันธุ์สุราษฎร์ธานี มีการดูดซึมสารหนูในส่วนรากมากกว่าส่วนของใบเช่นกัน การที่รากดูดซึมแคดเมียม/สะสมโลหะหนักได้มากกว่าส่วนอื่นๆ เช่น ใบหรือลำต้น อาจเนื่องจาก

1. หนุ้าแฝกมีปริมาณรากมาก โดยทั่วไปหนุ้าแฝกเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตของรากที่ดี มีปริมาณรากฝอยและรากขนอ่อนมากเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ คุณสมบัติดังกล่าวของหนุ้าแฝกช่วยส่งเสริมให้การดูดซึมน้ำและธาตุต่างๆ เข้าไปในรากเกิดได้ดี การทดลองนี้อาจมีปริมาณรากหนุ้าแฝกค่อนข้างน้อยเนื่องจากการปลูกในกระถาง รากมีข้อจำกัดในการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีรายงานที่พบว่ามักมีกลุ่มจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น mycorrhizae ค่อนข้างมากซึ่ง Khan., 200 รายงานว่า 80% ของรากหนุ้าแฝกโดยทั่วไป มี mycorrhizae อยู่บริเวณรอบๆ ราก (rhizosphere) ซึ่งเส้นใย (hyphae) ของ mycorrhizae ที่สร้างขึ้นมานี้จะแพร่ไปในดิน และทำให้รากพืชมีจุดสัมผัสผิวดินและโลหะหนักมากขึ้น ดังนั้นการดึงดูดธาตุอาหารหรือโลหะหนักของรากที่มี mycorrhizae มากๆ จะเกิดขึ้นในอัตราที่สูง (rhizoremediation) ตามไปด้วย

2. การเคลื่อนย้ายของแคดเมียม (translocation capacity) แคดเมียมเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนที่จากรากไปยังใบ (translocation) ได้ช้าเมื่อเทียบกับธาตุอื่น คุณสมบัติดังกล่าวทำให้มีอัตราส่วนของแคดเมียมในใบต่อรากน้อย เช่น Truong, 1999 รายงานว่าแคดเมียมมีอัตราส่วนการลดลง (จากรากไปสู่ใบ)มากที่สุดเมื่อเทียบกับการลดลง (รากไปที่ใบ) ของธาตุอื่นๆ ดังนี้ $Cd > B > Zn > Cu > Pb$ นอกจากนี้อัตราส่วนของแคดเมียมในใบ/ราก (การเคลื่อนที่จากรากไปใบ) ยังขึ้นอยู่กับอายุของหนุ้าแฝกด้วย หนุ้าแฝกที่มีอายุมาก (ปลูกนาน) จะมีการลำเลียงแคดเมียมจากรากไปสู่ใบได้มากขึ้น (Truong, 1999) การทดลองครั้งนี้ปลูกหนุ้าแฝกนานที่สุดเพียง 120 วัน หนุ้าแฝกยังมีอายุน้อย เมื่อเทียบกับหนุ้าแฝกที่ปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำโดยทั่วไป ที่ใช้เวลานานมากกว่า 1 ปี ดังนั้นความสามารถในการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากรากไปสู่ใบจึงเกิดขึ้นไม่มากนัก

3. การสังเคราะห์แสงของใบหนุ้าแฝกช่วยลดปริมาณแคดเมียมในใบ (photoremediation) กระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ของใบหนุ้าแฝก ช่วยลดแคดเมียมโดยแคดเมียมถูกตรึง/ดูดซึมโดยโปรตีนนำแคดเมียมไปเก็บไว้ที่ผนังของท่ออาหาร (phloem) ทำให้มีปริมาณแคดเมียมในใบน้อยลง

2. ชนิดดินที่ต่างกันต่อการดูดซึมและปลดปล่อยแคดเมียมให้กับหญ้าแฝก

ดินทั้งสองชนิดที่ใช้ปลูกหญ้าแฝกดูดซึมและปลดปล่อยแคดเมียมออกมาในสารละลายดินได้ต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณของแคดเมียมในรากและใบของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินชุดท่าเรือน้อยกว่าเมื่อปลูกในดินชุดอุบล คือ 1.67 vs. 4.19 mg kg^{-1} ในรากและ 10.69 vs. 21.44 mg kg^{-1} ในใบ เมื่อปลูกหญ้าแฝกได้ 120 วัน ถึงแม้ว่าค่าวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในดินทั้งสองชนิดจะไม่แตกต่างกันก็ตาม การที่ชุดดินท่าเรือดูดซึมแคดเมียมไว้ได้ดีและในขณะเดียวกันก็ปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายได้น้อยกว่าชุดดินอุบล ซึ่งส่งผลให้รากหญ้าแฝกดูดซึมแคดเมียมที่ดินปลดปล่อยออกมาเข้าสู่รากได้ต่างกันนั้น น่าจะมาจากสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินที่ต่างกัน สมบัติทางเคมี เช่น ชุดดินท่าเรือมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงถึง 24.6 $\text{cmole}_{(+)}/\text{kg}^{-1}$ ในขณะที่ชุดดินอุบลมีค่าเพียง 3.8 $\text{cmole}_{(+)}/\text{kg}^{-1}$ เนื่องจากดินชุดท่าเรือมีแร่ดินเหนียวพวก 2:1 และ 1:1 เช่น montmorillonite และ kaolinite มากกว่าชุดดินอุบล ที่เป็นดินทราย (aquic quartzsaments) นอกจากนี้ยังมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวมากกว่าชุดดินอุบลอีกด้วย ดังนั้นดินชุดท่าเรือจึงมีการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (ดูดซึม) กับแคดเมียมได้มากกว่าดินชุดอุบล และปลดปล่อยแคดเมียมออกมาสู่สารละลายดินได้น้อยกว่าชุดดินอุบลด้วย รากหญ้าแฝกจึงดูดซึมแคดเมียมเข้าไปได้น้อยตามไปด้วย

นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน เช่น เนื้อดิน โดยเฉพาะปริมาณของดินเหนียวในชุดดินท่าเรือที่มีมากกว่าชุดดินอุบลถึง 48.6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเนื้อดินมีความเกี่ยวข้องกับความชื้นของดิน การที่ดินมีเนื้อดินละเอียดโดยเฉพาะมีเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคแร่ดินเหนียวสูง จะทำให้มีการเคลื่อนที่ของไอออนในดิน เป็นไปได้อย่างช้าๆ และไอออนที่อยู่ในดินจะถูกดูดซึมไว้ด้วยอนุภาคแร่ดินเหนียวจะมีมากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ ดังนั้นดินทรายจะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมามากกว่า ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การปลดปล่อยแคดเมียมสู่สารละลายดินได้น้อยกว่า รากหญ้าแฝกจึงดูดซึมแคดเมียมได้น้อยตามไปด้วย ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง กล่าวคือดินชุดท่าเรือมีอินทรีย์วัตถุ 3.53 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุดดินอุบลมีเพียง 0.93 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะดูดซึมแคดเมียมไว้ตามผิวดินได้ดี โดยที่อินทรีย์วัตถุจะมี bonding energy กับแคดเมียมได้ดี ทำให้ปลดปล่อยแคดเมียมออกมาสู่สารละลายดินได้น้อยเช่นกัน นอกจากนี้ปริมาณของอินทรีย์วัตถุและปริมาณดินเหนียวในดินก็ยังทำให้ดินมี C.E.C สูงอีกด้วย อีกประการหนึ่งคือชุดดินอุบล เป็นดินทรายมีโครงสร้างชนิดจับกันเป็นก้อนซึ่งจะมีรูพรุนมาก มีช่องว่างที่จะให้อากาศ เข้าแทนที่ได้สูง ทำให้เนื้อดินมีความร่วนซุยดีจึงต่อการที่รากพืชจะไซซอนลงไปหาอาหารได้สะดวกกว่าดินชุดท่าเรือ ซึ่งเป็นดินเหนียวมีโครงสร้างแน่นทึบทำให้ความสามารถในการ

ดูดซึมแคดเมียมในดินได้น้อยด้วย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) จากเหตุผลดังกล่าวจึงพอที่จะกล่าวได้ว่าการดูดซึมแคดเมียมของรากหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ต่างกันจะแตกต่างกัน

3. ผลของแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าแฝก

ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ระดับ 10 และ 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ที่ใส่ให้กับดินทั้งสองชุดดินไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตในที่เป็น vegetative คือ ความสูง และ yield คือ ใบและรากของหญ้าแฝกแตกต่างไปจากการปลูกหญ้าแฝกในที่ไม่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม (0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของนวลฉวี รุ่งธนาเกียรติ (2543) ที่พบว่าระดับความเข้มข้นของหางแร่ตะกั่วในดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝก แต่แตกต่างจากผลการศึกษาของอนุรักษ์ บรรณศักดิ์ (2544) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของหางแร่มีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก โดยความเข้มข้นหางแร่ที่สูงทำให้หญ้าแฝกเจริญเติบโตน้อยกว่าการปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อน การที่หญ้าแฝกทั้งสองสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ยังมีการเจริญเติบโตด้านความสูง น้ำหนักแห้งใบและรากอยู่ในระดับปกตินั้น อาจเนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่สะสมในรากและใบหญ้าแฝกยังไม่มากพอที่จะเป็นอันตรายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกได้ จากการศึกษาพบว่ามีความเข้มข้นแคดเมียมในรากเพียง 15 mg kg^{-1} และในใบ $2-3 \text{ mg kg}^{-1}$ ซึ่งยังไม่มากพอที่จะเป็นทำให้การเจริญเติบโตทาง vegetative และ yield ของหญ้าแฝกผิดปกติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Truong, 1999 ที่พบว่าหญ้าแฝกยังเจริญเติบโตได้ตามปกติในดินที่มีความเข้มข้นของแคดเมียม $5 - 20 \text{ mg kg}^{-1}$ และมีความทนทานต่อความเป็นพิษของแคดเมียมได้ดี (Truong and Claridge, 1996) การที่หญ้าแฝกยังเจริญเติบโตได้ดีและทนทานต่อสภาพความเป็นพิษของแคดเมียม เนื่องมาจากคุณสมบัติพิเศษของหญ้าแฝกเองซึ่งเป็นพืชที่สลายความเป็นพิษของโลหะหนักได้ดีจากกระบวนการ phytoremediation ที่มาจากการสังเคราะห์แสงของพวกเขา ชีวมวล (biomass) ของหญ้าแฝก ซึ่งปกติจะเป็นพืชที่มีชีวมวลสูงมากเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ระบบรากของหญ้าแฝกที่ส่งเสริมการเพิ่มจุลินทรีย์พวก เอ็นโดไมคอร์ไรซา ซึ่งจะงอกเส้นใยเข้าสู่เซลล์รากพืชและช่วยในการสลายแคดเมียมผ่านทางกระบวนการ rhizosphere ซึ่งเป็นการสลายตัวของสารปนเปื้อนในดินผ่านการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบรากพืช (Khan, 1999)

สำหรับการทดลองที่ 2 การปลูกหญ้าแฝกสายพันธุ์เลย 90 วัน ในดินกากแร่หลังบำบัดที่มีแคดเมียมเข้มข้น 152 mg kg^{-1} หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ย 44 cm ซึ่งน้อยกว่าความสูงของการปลูกในกระถางของการทดลองที่ 1 (49 cm) ในขณะที่น้ำหนักแห้งใบของหญ้า

แฝกสายพันธุ์เลย 60 วัน (ปลูกในกระถาง) มีค่าเฉลี่ย 4.48 กรัม และน้ำหนักแห้งราก 1.03 กรัม ซึ่งมากกว่าการปลูกในกากแร่หลังบำบัด มีน้ำหนักแห้งใบและรากเพียง 1.35 และ 0.23 กรัม การที่หญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตทางด้าน yield ลดลงนี้ก็อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของแคดเมียมที่มากเกินไปในดินกากแร่นั้นเอง โดยพบว่ามีการสะสมอยู่ในใบและรากเท่ากับ 50 และ 62 mg kg⁻¹ ซึ่งสูงมากกว่าค่า toxic thresholds ของหญ้าแฝกมาก ดังนั้นการที่หญ้าแฝกที่ปลูกในการทดลองที่ 2 มีการเจริญเติบโตทางด้าน vegetative และ yield ลดลงอย่างมาก (ซึ่งไม่ปรากฏในการทดลองที่ 1) ก็เนื่องจากความเข้มข้นของแคดเมียมในดินกากแร่เริ่มต้นสูงมากนั่นเอง (152 mg kg⁻¹) เมื่อถูกดูดซึมเข้าไปสะสมในใบและรากมากๆ จึงเป็นอันตราย/ยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกได้ อย่างไรก็ตามหญ้าแฝกที่ปลูกในการทดลองนี้ก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้อยู่ ถึงแม้ว่าจะไม่สมบูรณ์มากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้สูงมากนั่นเอง เช่นเดียวกับที่อนุรักษ์ บรรณศักดิ์ (2544) พบว่าหญ้าแฝกสายพันธุ์สุราษฎร์ธานีอายุ 120 วัน ปลูกในดินหางแร่ 50% มีสังกะสีในส่วนของต้นและส่วนของรากถึง 315 และ 1499 mg kg⁻¹ ส่วนในดินหางแร่ 100% มีสังกะสีในส่วนของต้นและรากถึง 882 และ 2566 mg kg⁻¹

ส่วนการที่หญ้าแฝกลดการเจริญเติบโตลงเมื่อความเข้มข้นแคดเมียมมากกว่า 20 mg kg⁻¹ นั้นได้ผลเหมือนกับ Troung, 1999 มุจรายงานว่าหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตทาง vegetative และ yield ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดินปลูกมีค่ามากกว่า 20 mg kg⁻¹ โดยความเข้มข้น 60 และ 120 mg kg⁻¹ ทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกที่คิดเป็นค่า relative yield ลดลงจาก 76 เหลือเพียง 28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการปลูกที่มีความเข้มข้น 20 mg kg⁻¹ และยังสามารถสรุปว่าหญ้าแฝกมีความเหมาะสมสำหรับบำบัดการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนประมาณ 3 - 20 mg kg⁻¹

4. แคดเมียมที่เหลือจากการดูดซับในดินและแคดเมียมในหญ้าแฝก

เมื่อใส่แคดเมียมในดิน 10 และ 20 mg kg⁻¹ หลังจากถูกดูดซับโดยหญ้าแฝกแล้วมีแคดเมียมเหลืออยู่ 6 และ 9 mg kg⁻¹ (ลดลง 39 และ 55%) ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในดินดังกล่าวยังเกินระดับที่ยอมให้มีได้ในดินโดยทั่วไป ซึ่งมีค่า 0.1 - 2 mg kg⁻¹ และเข้าสู่วิกฤตต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ที่ 3 mg kg⁻¹ หรือมากกว่า (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งก็ถือว่าเป็นระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ยอมรับได้ในพื้นที่การเกษตรของประเทศแคนาดา คือ 3 mg kg⁻¹ (Alloway, 1997) และมีค่าเท่ากับกับของประเทศออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์

(Truong, 1999) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในดินตามค่า C.E.C ดินแล้ว จะพบว่าในดินชุดท่าเรือระดับความลึก 10 และ 20 cm มีแคดเมียม 5.9 และ 6.2 mg kg^{-1} ส่วนในดินชุดอุบลมี 5.7 และ 6.1 mg kg^{-1} แต่เนื่องจากดินชุดท่าเรือมี C.E.C สูงกว่า คือ 24 mg kg^{-1} เมื่อใช้เกณฑ์ของ USEPA, 1980 ที่อนุญาตให้มีการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน โดยคำนึงถึงขีดความสามารถของดินในการแลกเปลี่ยนแคดไอออนต่างๆเป็นหลัก (C.E.C) ได้กำหนดค่ามาตรฐานความปลอดภัยของโลหะหนัก (แคดเมียม) เมื่อดินมีค่า C.E.C > 15 $\text{me}/100 \text{ g soil}$ ได้ไม่เกิน 17.8 mg kg^{-1} ดังนั้นการปนเปื้อนในชุดดินชุดท่าเรือในกรทดลองนี้ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (6 vs. 17.8 mg kg^{-1}) ในขณะที่ดินชุดอุบลซึ่งมีค่า C.E.C ต่ำ เพียง 1.8 $\text{me}/100 \text{ g soil}$ ซึ่ง USEPA, 1980 กำหนดไว้ว่าในดินที่มีค่า C.E.C ระหว่าง 0 - 5 $\text{me}/100 \text{ g soil}$ อนุญาตให้มีแคดเมียมปนเปื้อนได้ไม่เกิน 4.4 mg kg^{-1} ดังนั้นในดินชุดอุบล จึงมีแคดเมียมปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐานของ USEPA, 1980 (5.9 vs. 4.4 mg kg^{-1}) (วารสารดินและน้ำ, 2541) ส่วนแคดเมียมที่ตกค้างในดินกากแฉะนั้นยังมีค่ามากกว่าระดับที่ยอมให้ปนเปื้อนในดินโดยทั่วไป การทดลองนี้ที่พบว่ามีการปนเปื้อนแคดเมียมในใบหญ้าแฝกประมาณ 3 mg kg^{-1} น้ำหนักแห้งใบ ยิ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ใบหญ้าแฝกทนทานได้ ทั้งนี้เพราะหญ้าแฝกสามารถทนทานต่อความเป็นพิษของแคดเมียมได้สูงถึง 48 mg kg^{-1} และส่วนใหญ่ยังพบแคดเมียมในพืชทั่วไปในช่วง 0.03 - 1.25 mg kg^{-1} (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ทั้งนี้เนื่องจากแคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่เคลื่อนที่ได้ดีในดินนั่นเอง (รพีพร, 2539) ดังนั้นปริมาณการสะสมแคดเมียมของใบหญ้าแฝกยังไม่เกินระดับที่เป็นพิษ

5. การนำหญ้าแฝกที่ไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดแคดเมียมในพื้นที่จริง

หญ้าแฝกสายพันธุ์เลยที่ปลูกในชุดดินอุบลซึ่งมีลักษณะเป็นดินทรายมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก(แคดเมียม)ได้ดีทั้งในส่วนของใบและราก โดยพบในส่วนของรากมากที่สุด และในทำนองเดียวกัน หญ้าแฝกสายพันธุ์นครสวรรค์ สามารถดูดซับโลหะหนัก(แคดเมียม)ได้ดีในชุดดินท่าเรือซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียว ซึ่งสามารถนำหญ้าแฝกสายพันธุ์นี้ไปปลูกยังพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก โดยเลือกหญ้าแฝกให้เหมาะสมกับลักษณะเนื้อดินของพื้นที่นั้นๆ สนับสนุนให้มีการนำหญ้าแฝกมาใช้ประโยชน์โดยปรับปรุงพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมจริงได้ เช่น พื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในพืชผลทางการเกษตร และในดินนาข้าวบริเวณตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งนำหญ้าแฝกไปปลูกเพื่อช่วยลดปริมาณมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ระดับหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paul Truong (1999) ซึ่งศึกษาการสะสมของโลหะหนักทั้ง สารหนู แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ปปรอท และสังกะสี มีการแนะนำให้เลือกใช้หญ้าแฝกในการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของThares Srisatit (2003) ที่พบว่า

หญ้าแฝก 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์สุราษฎร์ธานี และหญ้าแฝกสายพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ มีการเคลื่อนย้ายสารหนูเพิ่มมากขึ้นในหญ้าแฝก ผันแปรตามระยะเวลาการปลูก ซึ่งมีการแนะนำให้ใช้หญ้าแฝกมาบำบัดดินที่มีการปนเปื้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัจจิมา มีพริ้ง (2546) ที่พบว่าหญ้าแฝกแต่ละกลุ่มพันธุ์มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ และปริมาณการสะสมของโลหะหนักจะอยู่ในส่วนราก ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกให้หญ้าแฝกมาบำบัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่ที่มีปัญหาได้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ L. Marchiol (2004) ที่พบว่าทั้ง *B. napus* และ *R. sativus* มีการเจริญเติบโตได้ในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งสามารถนำพืช 2 ชนิดมาบำบัดในพื้นที่การเกษตร หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนของงานวิจัยของ อนุรักษ์ บรรณศักดิ์ (2544) ได้กล่าวว่า ในการนำแฝกไปบำบัดดินทางแร่สังกะสี ควรทำการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ และควรเลี่ยงการใส่ปุ๋ยเคมี เพราะในปุ๋ยเคมีมีสังกะสีเป็นส่วนประกอบ แต่ปริมาณความเข้มข้นทางแร่สังกะสีที่สูงเกินไปอาจส่งผลลบต่อแฝกได้ ดังนั้นในการนำหญ้าแฝกไปบำบัดในดินกากแร่หลังบำบัดจากโรงงานถลุงแร่สังกะสี หรือ การฟื้นฟูสภาพเหมืองแร่สังกะสี อาจไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากหญ้าแฝกที่ทดลองปลูกในดินกากแร่ที่มีปริมาณแคดเมียมที่สูง 152 mg kg^{-1} มีผลทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกด้าน vegetative และ yield ลดลง เทียบกับหญ้าแฝกที่ปลูกในชุดดินท่าเรือและชุดดินอุบลที่ไม่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม อาจต้องมีการลดความเข้มข้นของดินการแร่หลังบำบัด ในบริเวณพื้นที่โรงงานถลุงแร่สังกะสี โดยการกลบผิวหน้าดินกากแร่หลังบำบัดด้วยดินชนิดอื่นก่อนการปลูกหญ้าแฝก โดยพิจารณาในด้านความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

1. หญ้าแฝกสายพันธุ์เลย ดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่ใบได้มากกว่าสายพันธุ์อินเดียพระราชทาน และศรีลังกา แต่ไม่แตกต่างจากสายพันธุ์นครสวรรค์และประจวบคีรีขันธ์ ส่วนการดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่รากนั้นไม่แตกต่างกันทุกสายพันธุ์
2. หญ้าแฝกสายพันธุ์นครสวรรค์มีปฏิริยาสัมพันธ์กับชุดดินท่าเรือโดยพบว่าดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่รากได้ดีที่สุดในชุดดินท่าเรือ ส่วนหญ้าแฝกสายพันธุ์เลยมีปฏิริยาสัมพันธ์กับชุดดินอุบลโดยพบว่าดูดซึมแคดเมียมไปไว้ที่รากได้ดีเช่นกัน
3. ดินชุดท่าเรือ ซึ่งมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง เท่ากับ $24 \text{ cmole}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ ดูดซึมแคดเมียมได้มากกว่าและปลดปล่อยแคดเมียมสู่สารละลายดินได้น้อยกว่าดินชุดอุบล ซึ่งมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ เท่ากับ $3.8 \text{ cmole}_{(+)}\text{kg}^{-1}$

4. ความเข้มข้นแคดเมียม 10 และ 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้าน vegetative และ yield ของหญ้าแฝก ส่วนความเข้มข้นแคดเมียมในดินกากแร่ที่สูงถึง 152 mg kg⁻¹ มีผลทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกด้าน vegetative และ yield ลดลง

5. แคดเมียมที่เหลือในดิน (ดินชุดท่าเรือ ชุดอุบลและดินกากแร่) หลังปลูกหญ้าแฝก 4 เดือน ยังมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3 mg kg⁻¹

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า หญ้าแฝกแต่ละกลุ่มพันธุ์มีความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักได้ และปริมาณการสะสมของโลหะหนักจะอยู่ในส่วนราก เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปใช้ ควรจะต้องศึกษาเพิ่มเติมในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักของหญ้าแฝก เช่น ชุดดินอื่นในการวิจัย เพิ่มระยะเวลาการปลูกหญ้าแฝก จนปริมาณแคดเมียมในดินหลังทดลองอยู่ในระดับค่ามาตรฐานในดินไม่ควรมีค่าเกิน 3.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินของหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์อื่น หรือ พืชชนิดอื่น เช่น พืชตระกูลหญ้า (หญ้าขน หญ้ารูซี่)

3. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมโลหะหนักของหญ้าแฝก เช่น สภาพะดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมหลายๆ ระดับความเข้มข้น เพื่อดูความสามารถหญ้าแฝกในการดูดซึมโลหะหนักได้ในระดับที่สูงสุด ซึ่งหญ้าแฝกสามารถทนต่อสภาพโลหะหนักที่มีอยู่และเจริญเติบโตได้ดี

จากงานศึกษาวิจัยนี้ สามารถเสนอแนะแนวทางการนำหญ้าแฝกไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดแคดเมียมในพื้นที่จริงดังนี้

1. ควรมีแนวทางในการนำหญ้าแฝกที่บำบัดแล้วในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน มาใช้ประโยชน์ โดยไม่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น ทำวัสดุถมหลังคา เครื่องประดับ กระเป๋า

2. ควรมีการเสนอแนะแนวทางการนำหญ้าแฝกไปใช้ประโยชน์เพื่อป้องกัน แก้ไข และปรับปรุงสภาพพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยการส่งเสริมและแนะนำให้ใช้หญ้าแฝกในการบำบัดหรือปรับปรุงพื้นที่ที่มีปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน เช่น พื้นที่บริเวณเหมืองแร่ พื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้สารเคมี พื้นที่อุตสาหกรรมหรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก

3. ส่งเสริมให้มีการปรับปรุงสายพันธุ์หญ้าแฝกให้มีความทนทานต่อสภาพพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในปริมาณที่สูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมแคดเมียมได้มากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำหญ้าแฝกที่ปรับปรุงพันธุ์แล้วมาบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมจริงได้ เช่น พื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในพื้นที่ผลทางการเกษตรและในดินนาข้าว บริเวณตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

4. ควรใช้วิธีผสมผสานร่วมกับใช้หญ้าแฝก เช่น ปรับ pH, ปุ๋ย และ ระบายอากาศ ฯลฯ เป็นวิธีที่ช่วยทำให้ลดแคดเมียมได้เร็วขึ้น

