บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและอภิปรายผล

1. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมของหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดง ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียมในระดับความเข้มข้นต่างๆโดยทดลองปลูกระยะเวลา 28 วัน โดยปลูกแบบไฮโดรพอนิกส์ในโรงเรือนสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.1 อัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมและระยะเวลาที่ปลูก ซึ่งหญ้าหนวดแมวสามารถเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียม 5, 10, และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรวมเวลา 28 วันต่อน้ำหนักแห้งรวม 14 วันเท่ากับ 1.600, 2.155 และ 1.428 ตามลำดับ ซึ่งหญ้าแดงเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อปลูกในสารละลายที่เติมแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรวมที่ 28 วันต่อน้ำหนักแห้งรวมที่ 14 วันเท่ากับ 2.075 ส่วนหญ้าข้าวนกเจริญเติบโตสูงสุดเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีอัตราส่วนน้ำหนัก น้ำหนักแห้งรวม 28 วันต่อน้ำหนักแห้ง 14 วันเท่ากับ 2.223

1.2 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างของสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียมเข้มข้นต่างๆ หลังจากปลูกหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดงเป็นระยะเวลา 28 วัน ความเป็นกรด – ด่างของสารละลายดังกล่าวลดลงจากค่าความเป็นกรด – ด่างตั้งต้นคือ 6 ลดถึง 4 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างพืชทั้งสามชนิด พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างของสารละลายธาตุอาหารพืชไม่แตกต่างกันโดยหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนกและหญ้าแดงมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6 -4.25, 6 -4.48 และ 6 – 4.18 ตามลำดับ

1.3 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในพืชที่ทำการทดลองทั้งสามชนิด สะสมในพืชลดลงเมื่อระยะเวลาในการปลูกเพิ่มขึ้น โดยหญ้าหนวดแมวสามารถสะสมแคดเมียมได้สูงสุดเมื่อเทียบกับหญ้าข้าวนกและหญ้าแดง เรียงลำดับการสะสมจากมากไปน้อยคือ หญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดงตามลำดับ ซึ่งแคดเมียมสะสมที่ส่วนรากของพืชสูงสุด

1.4 ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมวัดจากดัชนีการดูดซับของราก โดยหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนกและหญ้าแดงเมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียมเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตรดัชนีการดูดซับแคดเมียมของรากจะมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง

หญ้าทั้งสามชนิด หญ้าหนวดแมวมีดัชนีการดูดซับของรากสูงสุด โดยมีดัชนีการดูดซับของราก อยู่ในช่วง 18.481 – 26.857, 11.687 – 14.357 และ 10.634 – 13.066 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลา 28 วันที่ทำการทดลองดัชนีการดูดซับของรากเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมแคดเมียมของรากพืช

1.5 ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมของพืชทั้ง 3 ชนิดจากสารละลายธาตุอาหารพืช โดยวัดจากอัตราส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมในส่วนเหนือรากต่อราก โดยเติมแคดเมียมทั้ง 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของพืชเกิดความแตกต่างกันโดยประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมจากสารละลายธาตุอาหารพืชของหญ้าแดงน้อยกว่าหญ้าหนวดแมวและหญ้าข้าวนก

2. อภิปรายผลการทดลอง

ศึกษาประสิทธิภาพของพืชท้องถิ่นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำโดยใช้พืช 3 ชนิดคือ หญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนกและหญ้าแดง จากแหล่งที่อยู่ตามธรรมชาติ โดยคัดเลือกพืชในระยะกำลังเจริญเติบโตมาปลูกในสภาพแวดล้อมแบบไฮโดรพอนิกส์ โดยเติมแคดเมียมเข้มข้นระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 28 วัน ซึ่งแผนการทดลองได้ดัดแปลงมาจากผลงานวิจัยของ Ekkasit และ Pomsawan (2004) จากผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ชนิดพืช และประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมของพืชโดยพิจารณาได้จาก อัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 3 ชนิด ซึ่งวัดจากอัตราส่วนน้ำหนักแห้งเหนือรากต่อราก หลังจากปลูกเป็นระยะเวลา 14 ถึง 28 วัน พบว่าพืชในชุดที่ทำการควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการปลูกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบทียบการเจริญเติบโตของหญ้าทั้ง 3 ชนิดแล้ว พบว่าหญ้าหนวดแมวมีการเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันนั้นอาจเป็นผลมาจากธรรมชาติของพืชรวมถึงระบบรากและปัจจัยอื่นๆ ซึ่งพืชที่นำมาทดลองอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบหลังจากงอกออกมาจากเมล็ด โดยได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการซึ่งในการทดลองนี้ใช้สารละลายธาตุอาหารพืชจากสูตรของ Hoagland ส่วนในพืชชุดควบคุมที่เติมแคดเมียมเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่ปลูก ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตของพืชลดลงทุกชนิดเมื่อระยะเวลาปลูกเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต อาจเนื่องมาจากความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการคายน้ำ และการลดปริมาณคลอโรฟิลด์ของพืช (Peligrad, 1986) ส่งผลให้การ

ดูดไอออนหรือธาตุอาหารของรากพืชลดลงทำให้พืชเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Chaney (1982) ที่ชี้ว่าเมื่อปริมาณของแคดเมียมในส่วนเหนือรากของพืชอยู่ในช่วง 5 – 700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งแล้วจะทำให้เกิดความเป็นพิษในพืช นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด - ด่างของสารละลายธาตุอาหารพืชนั้นมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของพืชชุดควบคุมและชุดทดลอง เมื่อเริ่มการทดลองได้ปรับระดับความเป็นกรด – ด่างให้อยู่ระดับ 6 ปลูกพืช 28 วัน ค่าความเป็นกรด - ด่างลดลงอยู่ระดับ 4 ซึ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด – ด่างของหญ้าทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากพืชใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง และการหายใจเป็นกระบวนการเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งสารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลองสัมผัสกับบรรยากาศภายนอกได้จำกัด ประกอบกับพืชเมื่อมีการเจริญเติบโตรากของพืชจะปลดปล่อยสารคัดหลั่งประเภทกรด เป็นปัจจัยส่งเสริมให้สารละลายธาตุอาหารพืชเป็นกรดเพิ่มขึ้นโดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ekksit และ Pornsawan (2004) ซึ่งทำการทดลองปลูกต้นบอนและต้นพุทธรักษา ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมอาร์เซนิกส์ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากปลูก 28 วัน พบว่าสารละลายธาตุอาหารพืชที่ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิดมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเป็น – ด่าง ของสารละลายธาตุอาหารพืชของพืชทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกัน และจากผลการทดลองพบว่าหญ้าหนวดแมวเป็นพืชที่สะสมแคดเมียมมากสุดหลังจากปลูก 28 วัน โดยแคดเมียมสะสมส่วนรากเท่ากับ 1512.552 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนึ่งกรัม และสะสมในส่วนเหนือรากเท่ากับ 344.713 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืชหนึ่งกรัม ส่วนหญ้าข้าวนกและหญ้าแดงพบว่าแคดเมียมสะสมที่ส่วนรากเช่นกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Eva และ Maria (2001) ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักคือ อาร์เซนิกส์ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่วของพืชทั้ง 4 ชนิดโดยนำพืชมาจากเหมืองแร่เก่า มาปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ เมื่อนำพืชมาตรวจปริมาณโลหะหนักดังกล่าว พบว่าพืชสามารถสะสมแคดเมียมไว้ที่ส่วนรากมากกว่าส่วนเหนือรากเช่นกัน สำหรับเปอร์เซ็นต์การสะสมแคดมียมของหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดง ในส่วนรากและส่วนเหนือรากของพืชลดลงเมื่อระยะเวลาปลูกเพิ่มขึ้น และการสะสมแคดเมียมลดลงทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เติม อาจเป็นผลมาจากไอออนของแคดเมียมภายในเซลล์พืชมีปริมาณมากขึ้น จนก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช พืชจึงมีกลไกที่ลดการดูดซับแคดเมียม ซึ่งจากผลการศึกษาของ นิตย์ (2541) พบว่าพืชมีกลไกที่สามารถจำกัดการดูดแร่ธาตุให้อยู่ในระดับต่ำ

หรือทำให้แร่ธาตุที่ถูกดูดซับเข้าไปในเซลล์ไม่เคลื่อนย้ายไปที่อื่น แต่ยังคงสะสมไว้ที่รากเป็นวิธีลดผลกระทบของสารพิษที่มีต่อพืช สำหรับค่าดัชนีการดูดซับของราก อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในรากพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายธาตุอาหารพืช (มิลลิกรัมต่อลิตร) คือค่าที่แสดงการดูดซับแคดเมียมจากสารละลายธาตุอาหารพืชไปสู่รากพืช จากผลการศึกษาค่าดัชนีการดูดซับของรากพืช จะมีค่ามากเมื่อปลูกหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดง ในสารละลายธาตุอาหารพืชที่เติมแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีดัชนีการดูดซับแคดเมียมของรากหลังจากปลูก 14 วันเท่ากับ 53.494, 45.560, 46.377 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับของรากหลังจากปลูก 28 วันเท่ากับ 79.840, 58.222 และ 57.927 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าหลังจากปลูก 14 วัน ค่าดัชนีการดูดซับของรากของหญ้าแต่ละชนิดไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากปลูก 28 วัน พบว่าหญ้าหนวดแมวมีดัชนีการดูดซับของรากสูงสุด แตกต่างจากหญ้าข้าวนกและหญ้าแดง อาจเนื่องมาจากหญ้าหนวดแมวดูดซึมไอออนของแคดเมียมที่อยู่ในสารละลายไปสู่รากดีกว่าหญ้าข้าวนกและหญ้าแดง ซึ่งในการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารรวมทั้งแคดเมียม แร่ธาตุต่างๆ ต้องอยู่ในรูปที่เป็นไอออนอิสระ ซึ่ง เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ 1) พาสซีฟแทรนสปอร์ต เป็นกระบวนการดูดน้ำและแร่ธาตุโดยพลังงานจลน์ 2) แอคทีฟทราสปอต์ (Active Transport) เป็นการดูดธาตุอาหารจากกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ จากการศึกษาของ Hoagland และ Devis (1929) พบว่าไอออนภายนอกเซลล์ที่เข้าไปสะสมในเซลล์ของสาหร่าย ถูกดูดเข้าไปไม่ใช่เป็นการแพร่ธรรมดาแต่เป็นการแพร่จากกระบวนการเมตาบอลิซึม เรียกว่าอัตราส่วนของการสะสม (accumulation) จากผลการทดลอง หญ้าหนวดแมวสะสมไอออนของแคดเมียมสูงสุด และค่าดัชนีการดูดซับแคดเมียมของรากสูงสุดด้วย ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแอคทีฟทรานสปอตร์ที่เกี่ยวกับการดูดซับแคดเมียมของรากพืชคือ 1) สารพิษบางอย่างมีผลทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ผิดปกติทำให้การดูดไอออนหรือแร่ธาตุของพืชหยุดชะงักหรือดูดซับได้น้อยลง จะสังเกตได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นค่าดัชนีการดูดซับของรากพืชทั้ง 3 ชนิดลดลง ดังแสดงในตาราง 13 2) ความเป็นกรด – ด่างในสารละลาย มีผลต่อการดูดไอออนของแร่ธาตุอาหารจากสารละลาย ซึ่ง Mok และ Wai (1990) รายงานว่าที่ระดับความเป็นกรดน้อยกว่า 4 สามารถทำให้อาร์เซนิกส์ที่ละลายน้ำเคลื่อนที่ได้สะดวก ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดทำให้พืชดูดอาร์เซนิกส์ได้ดียิ่งขึ้น 3) ความสัมพันธ์ระหว่างไอออนต่างชนิดกัน มีผลต่ออัตราการดูดไอออนหรือแร่ธาตุของรากพืช Hoagland และ Devis (1929) ได้ทำการศึกษาการดูดธาตุอาหารของข้าวบาร์เล่ย์พบว่า การเติมแอมโมเนียมไอออน

ลงในสารละลายจะช่วยทำให้อัตราการดูดฟอตเฟตไอออนได้ดี การดูดไนเตรทไอออนจะถูกกระตุ้นด้วยซัลเฟตไอออนหรือฟอสเฟตไอออน ในขณะที่การดูดโพแทสเซียมไอออนจะลดลงถ้ามีแอมโมเนียมไอออนอยู่ในสารละลาย เช่นเดียวกับการดูดโซเดียมไอออนจะลดลง ถ้ามีโพแทสเซียมในสารละลาย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Carbonell – Barrachina et al. (1998) รายงานว่าการดูดซับ อาร์เซนิกส์ของ *Spartina alterniflora* มีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสในสารละลายธาตุอาหารพืช โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าพืชจะเลือกดูดฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชมากกว่าอาร์เซนิกส์ที่ผสมอยู่ในสารละลายซึ่งอาร์เซนิกส์ก็มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน และจากผลการทดลองค่าดัชนีการดูดซับของรากจะน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้นนั่นหมายถึงปริมาณไนเทรตในสารละลายธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นด้วยนั่นเอง อาจกล่าวได้ว่าพืชเลือกดูดธาตุอาหารหลักมากกว่าแคดเมียมนั่นเองทางด้านชนิดของพืชด้วยเช่นกัน

3. ข้อเสนอแนะ

การดูดซับแคดเมียมของหญ้าหนวดแมว หญ้าข้าวนก และหญ้าแดงสามารถกำจัดปริมาณแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำที่ได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ปนเปื้อนจริงและจากผลการวิจัยสามารถนำไปสู่การศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไปดังนี้

1. ผลการทดลองพบว่าหญ้าหนวดแมวมีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมสูงสุดสามารถกำจัดแคดเมียมในแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนได้

2. แหล่งน้ำที่สามารถใช้หญ้าหนวดแมวกำจัดแคดเมียมควรมีความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ระหว่าง 5- 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. หากนำหญ้าหนวดแมวกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำควรผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการต่างๆ มาแล้วซึ่งความเข้มข้นเจือจางลงตามมาตรฐานน้ำทิ้งไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. ในการศึกษาต่อไปควรทดลองปลูกพืชในสภาพธรรมชาติจริงเพราะจากการทดลองเป็นการปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืช

5. ควรทำการศึกษาต่อโดยเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแคดเมียมอื่นๆ เช่น ความเป็นกรด – ด่าง อุณหภูมิ ฯลฯ

6. ควรทำการศึกษาระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เป็นพิษต่อพืชทั้ง 3 ชนิดต่อไป