บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองอาจสรุปได้ดังนี้

4.1 ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด : แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ที่ผักตบชวาแต่ละกลุ่มสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิด : แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์คือ 0.50 ppm., 3.00 ppm. และมากกว่า 5.00 ppm. ตามลำดับนั้น แสดงว่าความเป็นพิษของโลหะหนักต่อผักตบชวาคือ แคดเมียม > ทองแดง > ตะกั่ว ซึ่งผลการทดลองนี้ตรงกับผลการทดลองของ Kay, Hallier และ Garrard (1983) ซึ่งรายงานผลการทดลองของ Kay, Hallier และ Garrard (1983) เกี่ยวกับผลของโลหะหนักที่มีต่อผักตบชวาได้สรุปว่า ไม่ปรากฏผลของตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาเมื่อใช้ความเข้มข้นของตะกั่ว 5.00 ppm. แต่ทั้งแคดเมียมและทองแดงจะเป็นพิษและเป็นสาเหตุให้ผักตบชวาไม่สามารถเจริญเติบโตและมีน้ำหนักลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่า 0.50 ppm. และมากกว่า 1.00-2.00 ppm. ตามลำดับในเวลา 3 สัปดาห์

สำหรับความเข้มข้นสูงสุดของทองแดงที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์คือ 3.00 ppm. ซึ่งตรงกับการทดลองของ Suttipong (1980) แต่ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ Kay, Hallier และ Garrard ที่ว่าความเข้มข้นสูงสุดของทองแดงที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์ คือ 1.00-2.00 ppm. ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยทางภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันรวมทั้งสภาวะการทดลองที่แตกต่างกันด้วย

4.2 เปรียบเทียบการกำจัดและอัตราการดูดซับปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิด : แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ระหว่างกลุ่มผักตบชวาโดยแต่ละกลุ่มมีความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) เท่ากัน

ผลการทดลองเลี้ยงผักตบชวาที่มีน้ำหนักเปียกต่อต้นต่างกันในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักแคดเมียม หรือทองแดง หรือตะกั่ว ดังตารางที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 คือ ผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากสามารถกำจัดโลหะหนักได้ดีโดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดและสามารถดูดซับโลหะหนักไว้ได้ดีกว่าผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยสถิติเพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักแคดเมียมดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแคดเมียมที่เหลือจากการถูกกำจัดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F	P
น้ำหนักผักตบชวา	0.063	3	0.021	31.81	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.008	12	0.00066		
ระยะเวลา	0.085	2	0.043	1.66	>0.05
น้ำหนักผักตบชวา × ระยะเวลา	0.092	6	0.0153	0.590	>0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.622	24	0.0259		
ผลรวมทั้งหมด	0.87	47			

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดแคดเมียมโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า แต่การกำจัดแคดเมียมโดยกลุ่มผักตบชวาแต่ละสัปดาห์จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะไม่มีอิทธิพลต่อกันสำหรับการกำจัดแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การตรวจสอบด้วยสถิติเพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักทองแดงแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณทองแดงที่เหลือจากการถูกกำจัดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F	P
น้ำหนักผักตบชวา	14.09	3	4.69	2808.38	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.02	12	0.00167		
ระยะเวลา	2.74	2	1.37	652.38	<0.05
น้ำหนักผักตบชวา x ระยะเวลา	0.33	6	0.055	26.19	<0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.05	24	0.0021		
ผลรวมทั้งหมด	17.23	47			

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดทองแดงโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนกต่อต้นน้อยกว่า และการกำจัดทองแดงโดยกลุ่มผักตบชวาในแต่ละสัปดาห์จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นั่นคือในอ่างทดลองที่มีสารละลายโลหะหนักทองแดง 3.00 ppm. และมีกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน 4 กลุ่มความแตกต่างในการกำจัดทองแดงของผักตบชวาแต่ละกลุ่ม ณ แต่ละสัปดาห์จะแตกต่างกัน

การตรวจสอบด้วยสถิติเพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณตะกั่วที่เหลือจากการถูกกำจัดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F	P
น้ำหนักผักตบชวา	46.56	3	15.52	3695.24	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.05	12	0.0042		
ระยะเวลา	9.58	2	4.79	459.69	<0.05
น้ำหนักผักตบชวา × ระยะเวลา	0.69	6	0.115	11.04	<0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.25	24	0.01042		
ผลรวมทั้งหมด	57.13	47			

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดตะกั่วโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงกว่า กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า และการกำจัดตะกั่วโดยกลุ่มผักตบชวาในแต่ละสัปดาห์จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์มีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดตะกั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นั่นคือ ในอ่างทดลองที่มีสารละลายโลหะหนักตะกั่ว 5.00 ppm. และมีกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน 4 กลุ่ม ความแตกต่างในการกำจัดตะกั่วของผักตบชวาแต่ละกลุ่ม ณ แต่ละสัปดาห์จะแตกต่างกัน

ซึ่งจากผลการทดลองนี้พบว่า กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วได้สูงกว่า กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า ทั้งนี้คงเนื่องจากกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่ามีความสามารถทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า จึงมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักได้มากกว่า ดังรูปที่ 3.3, 3.6 และ 3.9

Boyd (1970) อธิบายว่า พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าจะสามารถดูดซับและสะสมเกลือแร่ได้มากกว่าพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า

นอกจากนี้กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีรากเป็นจำนวนมากซึ่งทำให้สามารถดูดซับและสะสมสารอาหารและเกลือแร่รวมทั้งโลหะหนักได้มาก

Kay, Hallier & Garrard (1983) พบว่า ผักตบชวาจะสะสมโลหะหนักไว้ที่ ราก > ลำต้น > ใบ และ Suttipong (1980) รายงานว่าในจำนวนผักตบชวาที่เท่ากันและความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากัน ผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะสามารถกำจัดโลหะหนักได้สูงกว่าผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า

สำหรับแคดเมียมเวลาไม่มีผลต่อการกำจัดแคดเมียมเมื่อใช้ผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกัน 4 กลุ่ม ทั้งนี้คงเนื่องมาจากแคดเมียมมีความเป็นพิษต่อผักตบชวาค่อนข้างมาก ซึ่งอาจจะต้องเพิ่มระยะเวลาในการทำการทดลองหรือเพิ่มจำนวนผักตบชวาอีกจึงจะเห็นความแตกต่าง

4.3 **เปรียบเทียบการกำจัดและอัตราการดูดซับปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิด :** แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ระหว่างกลุ่มผักตบชวาที่มีความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกัน

ผลการทดลองเลี้ยงผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกันในปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง หรือตะกั่ว การกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) 300 กรัม, 400 กรัม และ 500 กรัม ดังตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

กล่าวคือ กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง หรือตะกั่ว ได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) น้อยกว่า

ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยสถิติ เพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักแคดเมียมดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณแคดเมียมที่เหลือจากการถูกกำจัดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F	P
กลุ่มผักตบชวา	0.03	2	0.015	750.0	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.0002	9	0.00002		
ระยะเวลา	0.047	2	0.0235	32.64	<0.05
กลุ่มผักตบชวา × ระยะเวลา	0.018	4	0.0045	6.25	<0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.013	18	0.00072		
ผลรวมทั้งหมด	0.1082	35			

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดแคดเมียมโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass)ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า และการกำจัดแคดเมียมโดยกลุ่ม-ผักตบชวาในแต่ละสัปดาห์จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นั่นคือ ในอ่างทดลองที่มีสารละลายโลหะหนักแคดเมียม 0.50 ppm. และมีกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกัน 3 กลุ่ม ความแตกต่างในการกำจัดแคดเมียมของผักตบชวาแต่ละกลุ่ม ณ แต่ละสัปดาห์แตกต่างกัน

การตรวจสอบด้วยสถิติเพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักทองแดงได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณทองแดงที่เหลือจากการถูกกำจัดโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกัน

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Squase	F	P
กลุ่มผักตบชวา	0.07	2	0.035	7.95	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.04	9	0.0044		
ระยะเวลา	0.61	2	0.305	92.42	<0.05
กลุ่มผักตบชวา × ระยะเวลา	0.04	4	0.01	3.030	<0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.06	18	0.0033		
ผลรวมทั้งหมด	0.82	35			

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดทองแดงโดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า และการกำจัดทองแดงโดยกลุ่มผักตบชวาในแต่ละสัปดาห์จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดทองแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นั่นคือ ในอ่างทดลองที่มีสารละลายโลหะหนักทองแดง 3.00 ppm. และมีกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกัน 3 กลุ่ม ความแตกต่างในการกำจัดทองแดงของผักตบชวาแต่ละกลุ่ม ณ แต่ละสัปดาห์จะแตกต่างกัน

การตรวจสอบด้วยสถิติเพื่อยืนยันการกำจัดโลหะหนักตะกั่วได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของปริมาณตะกั่วที่เหลือจากการถูกกำจัด โดยกลุ่มผักตบชวาที่มีความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่

Source of Variation	Sum of Square	d.f.	Mean Square	F	P
กลุ่มผักตบชวา	0.78	2	0.39	7.36	<0.05
ค่าผิดพลาด (a)	0.48	9	0.053		
ระยะเวลา	9.56	2	4.78	177.03	<0.05
กลุ่มผักตบชวา × ระยะเวลา	0.46	4	0.115	4.26	<0.05
ค่าผิดพลาด (b)	0.49	18	0.027		
ผลรวมทั้งหมด	11.77	35			

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ผลการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลการกำจัดตะกั่ว โดยกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกันจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)โดยกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า และการกำจัดตะกั่วโดยกลุ่มผักตบชวาในแต่ละสัปดาห์จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นอกจากนั้นกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลรวมกันต่อการกำจัดตะกั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) นั่นคือ ในอ่างทดลองที่มีสารละลายโลหะหนักตะกั่ว 5.00 ppm. และมีกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกัน 3 กลุ่ม ความแตกต่างในการกำจัดตะกั่วของผักตบ-ชวาแต่ละกลุ่ม ณ เวลาแต่ละสัปดาห์จะแตกต่างกัน

ซึ่งจากการวิเคราะห์วาเรียนซ์ของข้อมูลแสดงการกำจัดโลหะหนักโดยผักตบชวานี้สรุปได้ว่า กลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่า จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่ามีรากเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับ และสะสมอาหาร

และเกลือแร่ รวมทั้งโลหะหนักได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนักเหล่านี้ได้ จึงทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้มาก และเมื่อระยะเวลาผ่านไปกลุ่มผักตบชวาแต่ละกลุ่มสามารถ ปรับสภาพให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมได้จึงมีการเจริญเติบโตได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรากให้แก่ตัวเอง ดังนั้นผักตบชวากลุ่มที่เจริญเติบโตได้ดีมีรากเป็นจำนวนมากจะสามารถกำจัดโลหะหนักได้มากกว่ากลุ่มอื่น

จากผลการทดลองพบว่า กลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่า จะกำจัดโลหะหนักได้สูงกว่าแต่มีการสะสมโลหะหนักได้ต่ำกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นใกล้เคียงกันและเลี้ยงในสารละลายโลหะหนักที่มีปริมาณเท่ากันเมื่อเริ่มต้นการทดลอง แต่ผักตบชวาที่ใส่ลงไปมีจำนวน Biomass หรือจำนวนต้นต่างกัน เมื่อผักตบชวาดูดซับโลหะหนัก ปริมาณโลหะหนักจะกระจายเฉลี่ยกันไปในแต่ละต้นของผักตบชวา และเนื่องจากกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มน้ำหนักได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่า ดังนั้นปริมาณโลหะหนักจะกระจายกันไปในแต่ละต้นของผักตบชวาในกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าได้ต่ำกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่าเมื่อคิดเป็นมิลลิกรัมของโลหะหนักต่อกรัมน้ำหนักพืชแห้ง

และจากการทดลองพบว่า กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) 500 กรัม จะเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ ทั้งนี้คงเนื่องจากมีความสามารถทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้สูงกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งผักตบชวาที่มี Biomass 500 กรัม จะเจริญเติบโตทั้งในแนวตั้งและแนวนอนกล่าวคือ เมื่อผักตบชวาแพร่ขยายออกไปในแนวนอนจนเต็มอ่างทดลองแล้วมันจะเจริญเติบโตในแนวตั้ง โดยลำต้นของมันจะเล็กลงแต่ยาวขึ้นสำหรับกลุ่มผักตบชวาอื่นจะแพร่ขยายไปในแนวนอนเท่านั้น ซึ่งแสดงว่าผักตบชวามีความสามารถในการปรับสภาพได้ตามสภาวะแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ ดังนั้นผักตบชวาจึงมีอัตราการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนเป็นปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมในปัจจุบัน ซึ่ง Miner et al. (1970) กล่าวว่า ผักตบชวาจะเจริญแพร่พันธุ์รวดเร็วมากในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถแตกหน่อได้ 30 หน่อ ในเวลา 23 วัน และเพิ่มเป็น 1200 หน่อ ภายในเวลา 4 เดือน

4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดและการดูดซับปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิด : แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว เมื่อมีโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดอยู่รวมกัน

จากผลการทดลองเลี้ยงผักตบชวาในอ่างทดลองที่มีส่วนผสมของสารละลายโลหะหนักทั้งสามชนิดและเมื่อแปรผันความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดดังนี้

เมื่อเลี้ยงผักตบชวาในน้ำที่มีส่วนผสมของสารละลายชุดแรกที่มีความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักทั้งสามชนิด (ที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้เมื่อแยกเลี้ยง) คือ แคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 3.00 ppm.และตะกั่ว 5.00 ppm. ผลปรากฏว่า ผักตบชวาทุกกลุ่มตายทั้งหมดในเวลา 3 สัปดาห์ แต่พบว่าผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ในช่วงเวลา 3 สัปดาห์ เมื่อเลี้ยงในส่วนผสมของสารละลายที่ลดปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดลงไป กล่าวคือ ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ในเวลา 3 สัปดาห์ ทั้งหมดตามลำดับดังนี้คือ เมื่อเลี้ยงผักตบชวาในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สี่ ที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. จะเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักดีกว่าที่เลี้ยงในส่วนผสมชุดที่สามที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 3.00 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. ดีกว่าที่เลี้ยงในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สองที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. โดยให้ผลการทดลองตามที่คาดหมายดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 ซึ่งอาจสรุปได้ว่าผักตบชวาจะเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ดีที่สุดในกรณีที่มีโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดอยู่รวมกัน คือ เมื่อเลี้ยงในส่วนผสมของสารละลายที่มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมและทองแดงเพียงครึ่งของปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในขณะที่ตะกั่วมีปริมาณความเข้มข้นสูงสุด

ซึ่งแสดงว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายชุดแรกเป็นพิษต่อผักตบชวาจึงทำให้ผักตบชวาทุกกลุ่มตายหมดภายในเวลา 3 สัปดาห์ และเมื่อเรียงลำดับความเป็นพิษของสารละลายโลหะหนักทุกชนิดเมื่ออยู่รวมกันตามลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้

สารละลายชุดที่ 1 มีปริมาณแคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 3.00 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.
สารละลายชุดที่ 2 มีปริมาณแคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.
สารละลายชุดที่ 3 มีปริมาณแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 3.00 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.
สารละลายชุดที่ 4 มีปริมาณแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.

ดังนั้น ผักตบชวาที่เลี้ยงในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดน้อยกว่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้สูงกว่าที่เลี้ยงในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักมากกว่าเมื่อระยะเวลาเท่ากัน แสดงว่าปริมาณโลหะหนักที่เพิ่มขึ้นมีผลให้เกิดความเป็นพิษต่อผักตบชวา

Bazzaz et al, 1974 คาดว่า แคดเมียมที่มีปริมาณมากเกินไปจะมีผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการคายน้ำของพืช ซึ่งคงไปทำให้ปากใบปิด และ Lamoreause & Chaney (1978) เสนอว่า แคดเมียมที่มีปริมาณมากเกินไปจะยับยั้งการสังเคราะห์แสงของพืช โดยทำให้ใบมีการต้านทานต่อการแพร่กระจายหรือการเคลื่อนย้ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเพิ่มขึ้น

Tatsuyama et al., 1979 พบว่า ทองแดงที่มีปริมาณมากเกินความต้องการของพืชจะไปมีผลต่อระบบรากของพืช โดยจะขัดทางต่อการเจริญเติบโตและการงอกใหม่ของพืช หลังจากนั้นจะรบกวนระบบเมตาบอลิสมของพืช

สำหรับตะกั่วจากการทดลองปลูกพืชใน Sand Culture พบว่า พืชอาจสะสมตะกั่วเอาไว้ได้สูงถึง 2,000 ppm. ของน้ำหนักแห้งโดยไม่มีอาการผิดปกติเลย (Baumherdt & Welch, 1972)

จากตารางที่ 3.8 และรูปที่ 3.19 พบว่า ผักตบชวาสามารถกำจัดตะกั่วในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สี่ที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. ได้มากกว่าในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สองที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. ได้มากกว่าในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สามที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 3.00 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.

จากรูปที่ 3.21 ผักตบชวาสามารถกำจัดแคดเมียมในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สี่ที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. ได้มากกว่าในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สามที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 3.00 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.

จากรูปที่ 3.23 ผักตบชวาสามารถกำจัดทองแดงในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สี่ที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.25 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm. ได้มากกว่าในส่วนผสมของสารละลายชุดที่สองที่มีความเข้มข้นแคดเมียม 0.50 ppm. ทองแดง 1.50 ppm. ตะกั่ว 5.00 ppm.

ซึ่งจากการทดลองนี้แสดงว่าโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ร่วมกันในสารละลายจะมีผลต่อผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักชนิดที่ต้องการโดยสารละลายที่มีโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่ต่ำกว่าผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพกำจัดโลหะหนักชนิดที่ต้องการได้มากกว่าสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักในปริมาณต่ำมีผลให้เกิดความเป็นพิษต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผักตบชวาน้อยลง

Suttipong (1980) รายงานว่า ในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักร่วมกัน 3 ชนิด ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักแต่ละชนิดต่ำกว่าในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักอยู่ร่วมกัน 2 ชนิด เนื่องจากสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักอยู่ร่วมกัน 3 ชนิด มีผลให้เกิดความเป็นพิษต่อการดูดซับสารอาหารและโลหะหนักของผักตบชวามากขึ้น

4.5 ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการประยุกต์สำหรับกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากผลการทดลองข้อ 3.5 พบว่า ผักตบชวาตายภายใน 1 สัปดาห์ เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% และ 75% และตายใน 2 สัปดาห์ ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 50% ทั้งนี้คงเนื่องมาจากความเป็นพิษของโลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่มีต่อผักตบชวาและความเป็นพิษจากไซยาไนด์ซึ่งมีถึง 1.05 ppm. (ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100%) และ 0.41 ppm. (ในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 50%)

ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์ เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 25% ดังแสดงในตารางที่ 3.9 ทั้งนี้คงเนื่องจาก ความเป็นพิษของโลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำทิ้งที่มีต่อผักตบชวามีน้อยลง และความเป็นพิษจากไซยาไนด์ ก็น้อยลงด้วย คือ มีไซยาไนด์เพียง 0.18 ppm. จากตารางที่ 3.9 จะเห็นว่า ผักตบชวามีอัตรา การเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ค่อนข้างต่ำคือ เมื่อครบระยะเวลา 3 สัปดาห์ ผักตบชวา มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนัก 8.86 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ผักตบชวาสามารถกำจัดแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์ได้ 42.44, 44.27 และ 48.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการที่ผักตบชวากำจัดโลหะหนักจากน้ำทิ้ง โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำกว่าที่ได้ ทำการทดลองแล้ว ในขั้นตอนการทดลองที่ 4 นั้น อาจเนื่องมาจากในน้ำทิ้งมีสารมลพิษอื่นที่เป็นพิษ ต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวาซึ่งเท่าที่ตรวจพบคือ ไซยาไนด์และโลหะหนักชนิดอื่น ๆ (Suttipong,198 สรุปแล้วมีความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวาใช้สำหรับกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมใน อนาคต แต่ควรจะทำการกำจัดไซยาไนด์และทำการเจือจางปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งให้เพียงพอที่ผักตบชวา จะสามารถทนอยู่ได้ก่อน กล่าวคือ ควรทำการเจือจางปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งให้ใกล้เคียงกับผลการ ทดลอง ดังขั้นตอนการทดลองที่ 4

ในการทดลองครั้งนี้มีข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาหลายประการคือ

1. <u>การไหลเวียนของน้ำ</u> เนื่องจากสารละลายในอ่างทดลองไม่มีการไหล เวียนตามธรรมชาติจะเป็นลักษณะน้ำขังนิ่ง ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า เหตุผลเนื่องจากการ ที่รากพืชต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ดูดแร่ธาตุต่าง ๆ และในที่ ๆ มีการระบายน้อยหรือที่ไม่มีการเพิ่ม อากาศให้กับสารละลายจะมีคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากในรูปของอนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ทำให้สารละลายเป็นพิษต่อรากพืชซึ่งจะไปรบกวนการหายใจและการดูดอิออนต่าง ๆ ของรากพืช นอกจากนั้นการที่น้ำนิ่งไม่ไหลจะเป็นสาเหตุให้การสะสมโลหะหนักในผักตบชวาน้อยกว่า สภาพ ความเป็นจริงซึ่งเป็นสภาพที่มีการไหลเวียนของน้ำเมื่อมีความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากัน เนื่องจาก การที่โลหะหนักมีแนวโน้มจะตกตะกอน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว สรุปผลได้ดังนี้

1. ระหว่างโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว พบว่า ระดับความเป็นพิษต่อผักตบชวาเรียงจากมากไปน้อย คือ แคดเมียม > ทองแดง > ตะกั่ว ปริมาณความเข้มข้นมากที่สุดที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์ คือ แคดเมียม 0.50 ppm.,ทองแดง 3.00 ppm. และตะกั่วมากกว่า 5.00 ppm.

2. จากการทดลองพบว่า ในปริมาณความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) เท่ากัน และระยะเวลาเท่ากัน กลุ่มผักตบชวาที่มีความน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่วได้สูงกว่า กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเวลามีผล ต่อการกำจัด ทองแดง และตะกั่ว ซึ่งจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการกำจัดแคดเมียม และกลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดทองแดงและตะกั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

นอกจากนี้กลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มน้ำหนักและสะสมโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มีน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่าในเวลา 3 สัปดาห์

3. จากการทดลองพบว่า ในปริมาณความหนาแน่นในรูปน้ำหนักต่อพื้นที่ (Biomass) ต่างกันและระยะเวลาเท่ากัน กลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่วได้สูงกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเวลามีผลต่อการกำจัดแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และกลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass ต่างกันกับระยะเวลาแต่ละสัปดาห์จะมีอิทธิพลร่วมกันต่อการกำจัดแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. <u>การควบคุมสาหร่าย</u> (Algae) ในการทดลองครั้งนี้ไม่มีการควบคุม เพราะทำการทดลองในภาชนะที่ค่อนข้างใหญ่ แต่ละอ่างใช้สารละลายถึง 56 ลิตร อ่างทดลองตั้งอยู่ในบริเวณที่แสงแดดส่องถึงจึงเกิดปัญหาสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Algae Bloom) และเน่าตาย โดยเฉพาะอ่างที่ใส่ตะกั่ว แคดเมียม จะมีมากส่วนอ่างที่ใส่ทองแดงจะมีสาหร่ายค่อนข้างน้อย เนื่องจากทองแดงเป็นพิษต่อสาหร่าย มีรายงานอยู่แล้วว่า ทองแดงเป็นพิษต่อสาหร่าย เขาใช้ $CuSo_4$ ฆ่าสาหร่ายในบ่อปลาได้ สาหร่ายเหล่านี้ทำให้ พี.เอช. (pH) ในสารละลายในอ่างทดลองเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าปกติมาก ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายเจริญได้เร็วมันจึงมีการใช้คาร์บอน-ไดออกไซด์ (CO_2)มาก และคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้มาจากอนุมูลคาร์บอเนต (HCO_3^-) ที่อยู่ในสารละลายอาหารทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (OH^-) เป็นสาเหตุให้ พี.เอช. (pH) สูงขึ้น ดังสมการ

$$2\ HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{-2} + H_2O + CO_2$$

$$CO_3^{-2} + H_2O \rightleftharpoons 2\ OH^- + CO_2$$

จึงต้องมีการวัด พี.เอช. ทุกวัน ซึ่ง พี.เอช. ของตัวกลางมีผลกระทบกระเทือนต่อการดูดซับแร่ธาตุของพืชหลายประการ เช่น ถ้ามี พี.เอช.ต่ำ ไฮโดรเจนอิออน (H^+) ทำให้รากพืชดูดธาตุพวกแคทอิออน (Cation)ได้ช้า แต่ดูดธาตุพวกแอนอิออน (Anion) ได้เร็ว เพราะไฮโดรเจนอิออน (H^+)จะไปแย่งที่ของแคทอิออนเสียก่อน และในที่ที่มี พี.เอช. สูงอนุมูลไฮดรอกซิล (OH^-)หรืออนุมูลไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ไปแย่งที่ของแอนอิออน เช่น พวกอนุมูลไนเตรท(NO_3^-)คลอไรด์ (Cl^-) และฟอสเฟต (PO_4^{-3}) พืชที่ขึ้นในที่ที่มี พี.เอช. สูงจะเจริญเติบโตได้น้อยกว่าพืชที่ขึ้นในที่ที่มี พี.เอช.ต่ำ เนื่องจากอัตราการดูดซับสารฟอสเฟตถูกจำกัด นอกจากนั้นในแหล่งที่มี พี.เอช.สูงพืชไม่สามารถนำธาตุเหล็กและสารอาหารที่พืชต้องการน้อย (Micronutrient) ไปใช้ได้จึงทำให้พืชเจริญเติบโตช้า (ธงชัย ภูวธีรานนท์, 2526)

การทดลองนี้ได้พยายามนำสาหร่ายออกทุกวันเนื่องจากสาหร่ายเจริญเติบโตได้รวดเร็วมาก

3. ฤดูกาลอาจมีผลต่อการทดลอง การวิจัยที่ใช้สิ่งมีชีวิตเป็นองค์ประกอบในการศึกษาควรคำนึงถึงฤดูกาลด้วย สำหรับการทดลองครั้งนี้ ขณะที่ทำการทดลองเลี้ยงผักตบชวาในอ่างทดลองเป็นช่วง ตั้งแต่ฤดูฝนจนถึงฤดูหนาว (เดือนพฤษภาคม 2529 ถึง เดือนมกราคม 2530) อุณหภูมิในช่วงที่ทำการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา และจากการประเมินผลทั่วไปพบว่า ผักตบชวาชุดควบคุมที่เลี้ยงในช่วงฤดูฝนจะมีลักษณะที่บ่งบอกถึงอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าผักตบชวาที่เลี้ยงในช่วงฤดูหนาว ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันตามฤดูกาลนี้ อาจให้ผลการทดลองที่ต่างกันหากการทดลองไม่ได้ครอบคลุมทุกฤดูกาล ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้ก็ได้ครอบคลุมฤดูฝนและฤดูหนาว

4. การรายงานผลการตรวจโลหะหนักในพืชเป็นค่าเฉลี่ย เนื่องจากการทดลองนี้ทำการตรวจหาโลหะหนักในพืช โดยการย่อยผักตบชวาทั้งส่วนราก ลำต้น และใบรวมกันทั้งหมด แล้วสุ่มมาเพียง 1 กรัมน้ำหนักแห้ง ไม่ได้ตรวจวิเคราะห์โดยแยกส่วนราก ลำต้นหรือใบ ดังนั้นปริมาณโลหะหนักในพืชที่รายงานไว้จึงเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักที่สะสมในพืชโดยส่วนรวม

นอกจากนี้กลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass มากกว่าจะมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มน้ำหนักได้สูงกว่า แต่มีอัตราการสะสมโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่วได้ต่ำกว่ากลุ่มผักตบชวาที่มี Biomass น้อยกว่าในเวลา 3 สัปดาห์

4. เมื่อเลี้ยงผักตบชวาในส่วนผสมของสารละลายที่มีปริมาณความเข้มข้นมากที่สุดของโลหะหนักคือ 0.50 ppm.Cd + 3.00 ppm. Cu + 5.00 ppm.Pb ผักตบชวาจะตายหมดภายในสัปดาห์ที่ 2 แต่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้เมื่อครบเวลา 3 สัปดาห์ เมื่อผักตบชวาถูกเลี้ยงในส่วนผสมของสารละลายที่มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก 0.25 ppm.Cd+ 1.50 ppm.Cu+ 5.00 ppm.Pb, 0.25 ppm.Cd+ 3.00 ppm.Cu +5.00 ppm.Pb และ 0.50 ppm.Cd+ 1.50 ppm.Cu+5.00 ppm.Pb ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักของผักตบชวาพบว่า ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ที่อยู่รวมกันจะมีผลต่อผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักชนิดที่ต้องการ

5. ผักตบชวาที่เลี้ยงในสารละลายที่มีปริมาณโลหะหนักหลายชนิดรวมกันจะมีอัตราการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้น้อยกว่าเมื่อเลี้ยงในสารละลายที่มีโลหะหนักแต่ละชนิด รวมทั้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักลดลงกว่าเมื่อเลี้ยงในสารละลายที่มีโลหะหนักชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีต่อผักตบชวา และพบว่าผักตบชวาจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้สูงมากในสัปดาห์แรกของการทดลอง

6. จากการทดลองเลี้ยงผักตบชวาในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบสังกะสีและทองเหลืองพบว่าต้องใช้น้ำเจือจางมาก ผักตบชวาจึงจะสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ทั้งนี้คงเนื่องจากความเป็นพิษจากโลหะหนักต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง และความเป็นพิษจากไซยาไนด์ (CN^-) ดังนั้นรูปแบบการทดลองในอนาคตจึงควรจะมีการกำจัดไซยาไนด์ และทำการเจือจางปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งเสียก่อนจึงใช้ผักตบชวากำจัดโลหะหนักในขั้นต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก : แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว พบว่า ผักตบชวาสามารถกำจัดโลหะหนักได้สูงมากและมีความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวาไปใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการทดลองต่อไปมีดังนี้

1. ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักอื่น ๆ

2. ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักในบ่อทดลองที่มีสภาพน้ำไหลเวียน

3. เนื่องจากการทดลองนี้ทำในอ่างทดลองจึงควรหารูปแบบนำผักตบชวาไปใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการเลี้ยงผักตบชวาในบ่อสำหรับกำจัดโลหะหนักโดยผักตบชวาจริง ๆ ซึ่งถ้ามีการนำผักตบชวาไปเลี้ยงในบ่อน้ำทิ้งของโรงงาน ควรมีการเลี้ยงผักตบชวาในหลาย ๆ บ่อ เพื่อทำการระบายน้ำไปยังบ่อต่าง ๆ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการลดโลหะหนักในน้ำทิ้ง

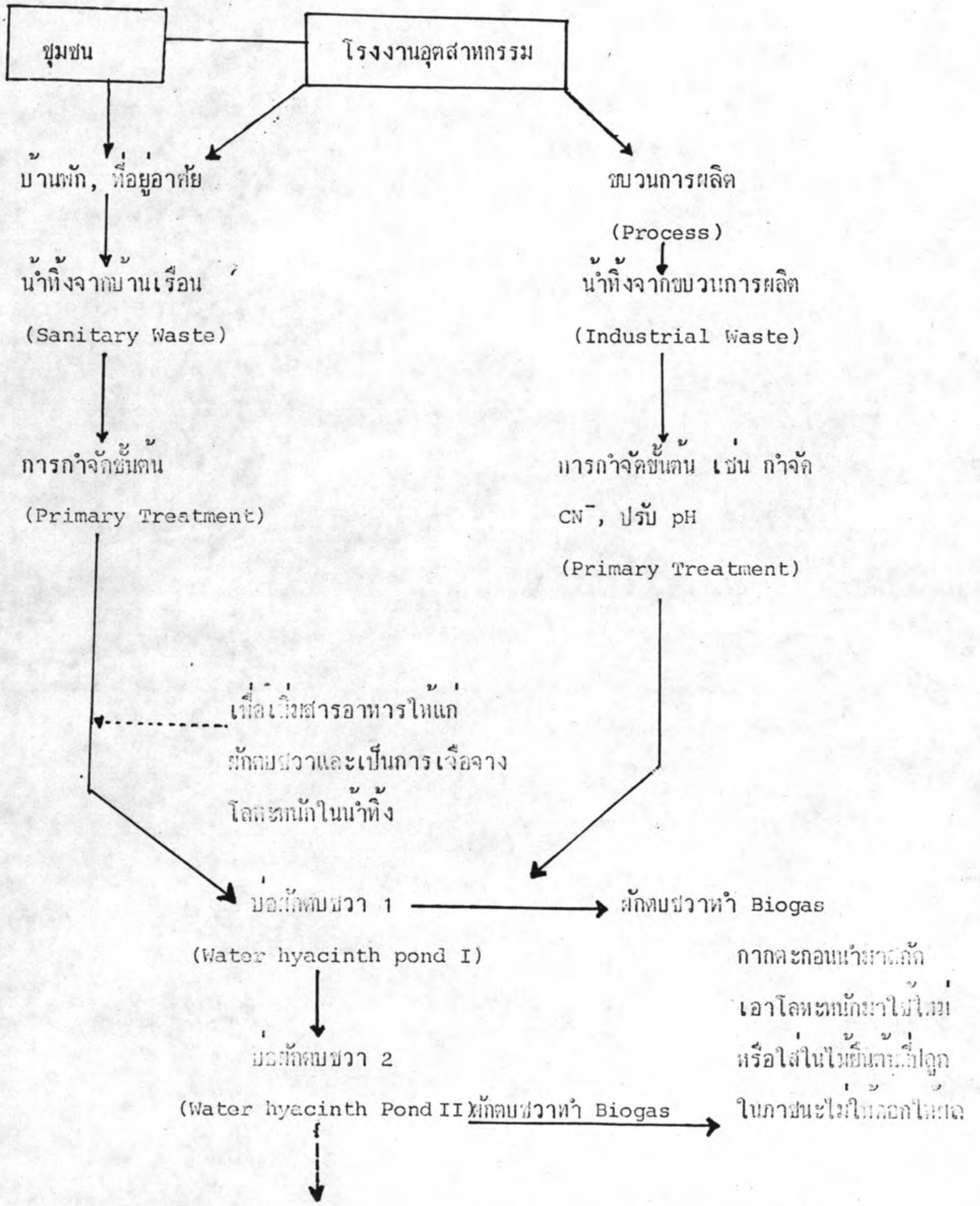
4. จากการทดลองพบว่า น้ำในบ่อทดลองมีการระเหยในปริมาณสูงมาก ซึ่งควรจะมีการทดลองหาอัตราการระเหยน้ำเมื่อมีผักตบชวาปกคลุมเทียบกับบ่อที่ไม่มีผักตบชวา เพื่อลดปริมาณน้ำทิ้งที่กำจัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

5. ศึกษาหารูปแบบในการนำผักตบชวาหลังจากกำจัดโลหะหนักแล้วใช้ประโยชน์ต่อไป

6. สำหรับการกำจัดแคดเมียมโดยใช้ผักตบชวานั้นควรใช้ระยะเวลามากกว่า 3 สัปดาห์ เนื่องจากแคดเมียมมีความเป็นพิษต่อผักตบชวามาก ผักตบชวาต้องใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพ

7. ผักตบชวาหลังจากกำจัดโลหะหนักแล้วคาดว่าอาจจะนำมาหมักทำ Biogas ได้ ส่วนตะกอนที่ได้จากการหมักนั้น ต้องทำการวิเคราะห์ดูว่ามีความเข้มข้นของโลหะหนักมากน้อยเท่าใด มีความเป็นไปได้หรือไม่ในการที่จะนำตะกอนที่ได้จากการหมักไปใช้ทำปุ๋ยหมักใส่ในพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกโค่นถางแล้ว และมีน้ำใต้ดินต่ำ หรือนำไปใส่ในไม้ยืนต้นที่ปลูกในภาชนะประเภทไม่ให้ดอกให้ผล

8. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในการใช้ผักตบชวากำจัดโลหะหนักในอนาคต แสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 รูปแบบการเสนอแนะในการนำผักตบชวากำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง
จากโรงงานอุตสาหกรรมในอนาคต