บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัยและวิจารณ์ผล

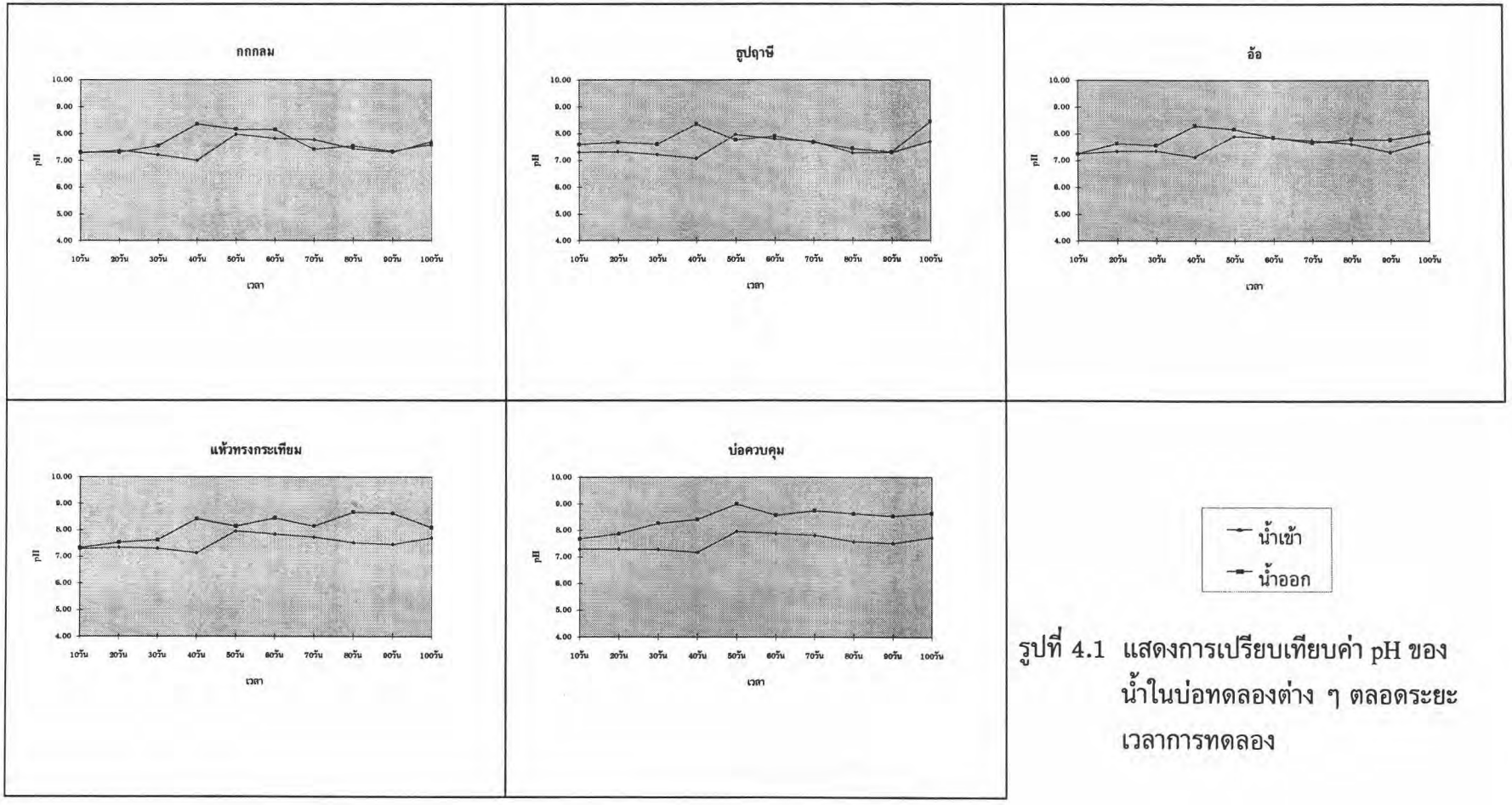
ความเป็นกรดด่าง (pH)

การตรวจวัดความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าและน้ำออกของบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชในช่วงของการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเข้าในบ่ออยู่ระหว่าง 7.00 ถึง 8.01 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 7.48, 7.47, 7.52, 7.53 และ 7.55 ในบ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียม และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแล้วนั้น จะมีค่าอยู่ในช่วง 7.24-8.99 บ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืชเป็นบ่อที่มีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ยสูงสุดคือ 8.43 ส่วนรองลงมาคือ บ่อทดลองแห้วทรงกระเทียมมีค่าเท่ากับ 8.10 ส่วนบ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี และอ้อมีค่าเท่ากับ 7.66, 7.77 และ 7.80 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่เข้าและออกจากบ่อต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยน้ำออกจะมีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย (รูปที่ 4.1)

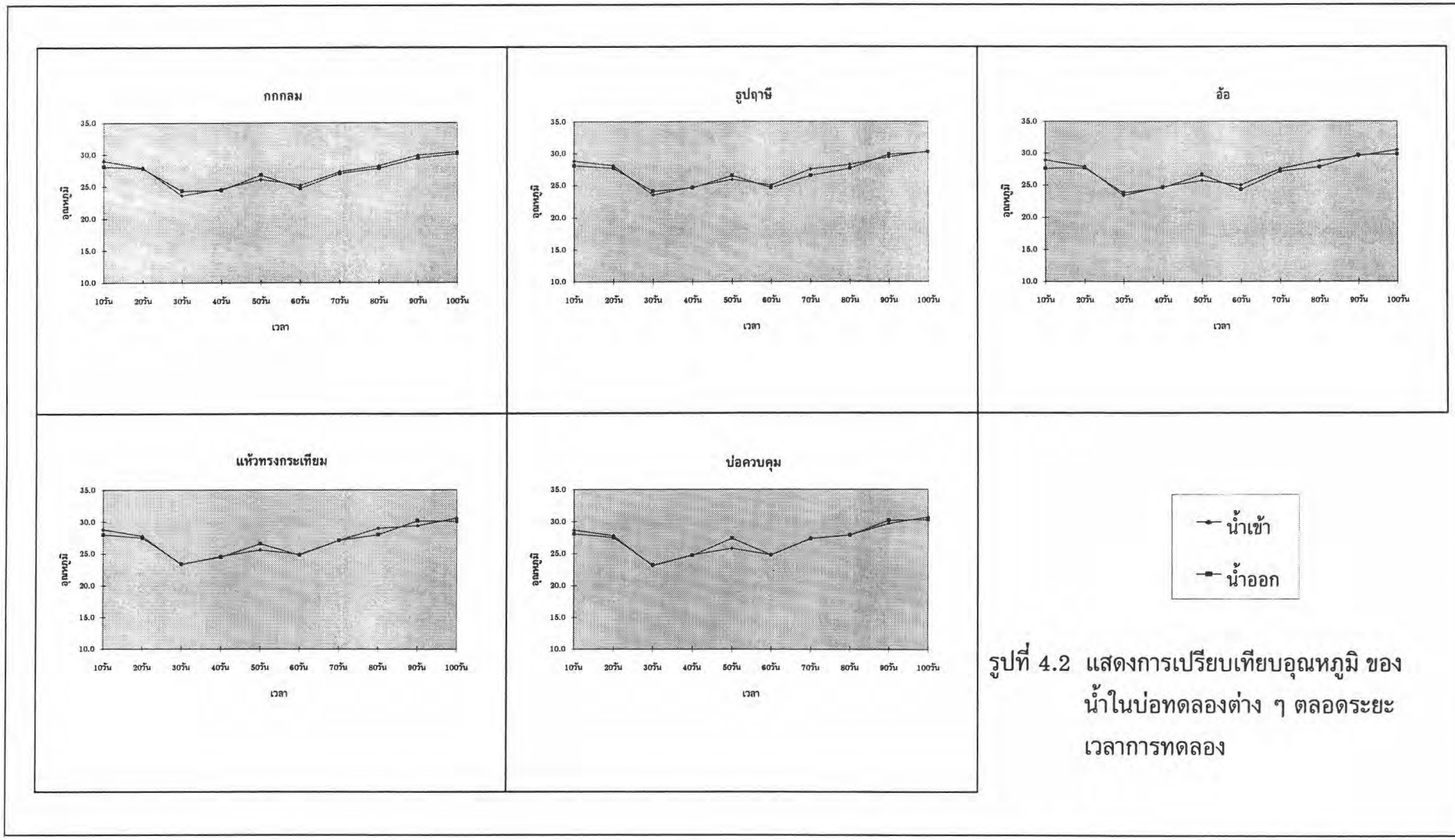
จากการศึกษาความเป็นกรดด่างของน้ำที่เข้าสู่บ่อต่าง ๆ จะพบว่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ซึ่งพืชทั้ง 4 ชนิด สามารถเจริญเติบโตได้ดี และเป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ กล่าวคือ มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป (Kadlec และ Knight, 1995) ส่วนค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่ออกจากบ่อทดลองต่าง ๆ นั้น เป็นค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั่วไป และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ

อุณหภูมิ (Temperature)

ในการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่บ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช พบว่าอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 23.1 ถึง 30.7 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเข้าเท่ากับ 27.1 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยที่ออกจากบ่อต่าง ๆ นั้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิน้ำเข้า คือมีค่าเท่ากับ 27.0, 27.0, 26.9, 27.0 และ 27.1 องศาเซลเซียส ใน



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของน้ำในบ่อทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ของน้ำในบ่อทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทดลอง

บ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียม และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากบ่อที่วัดได้นั้นไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (รูปที่ 4.2)

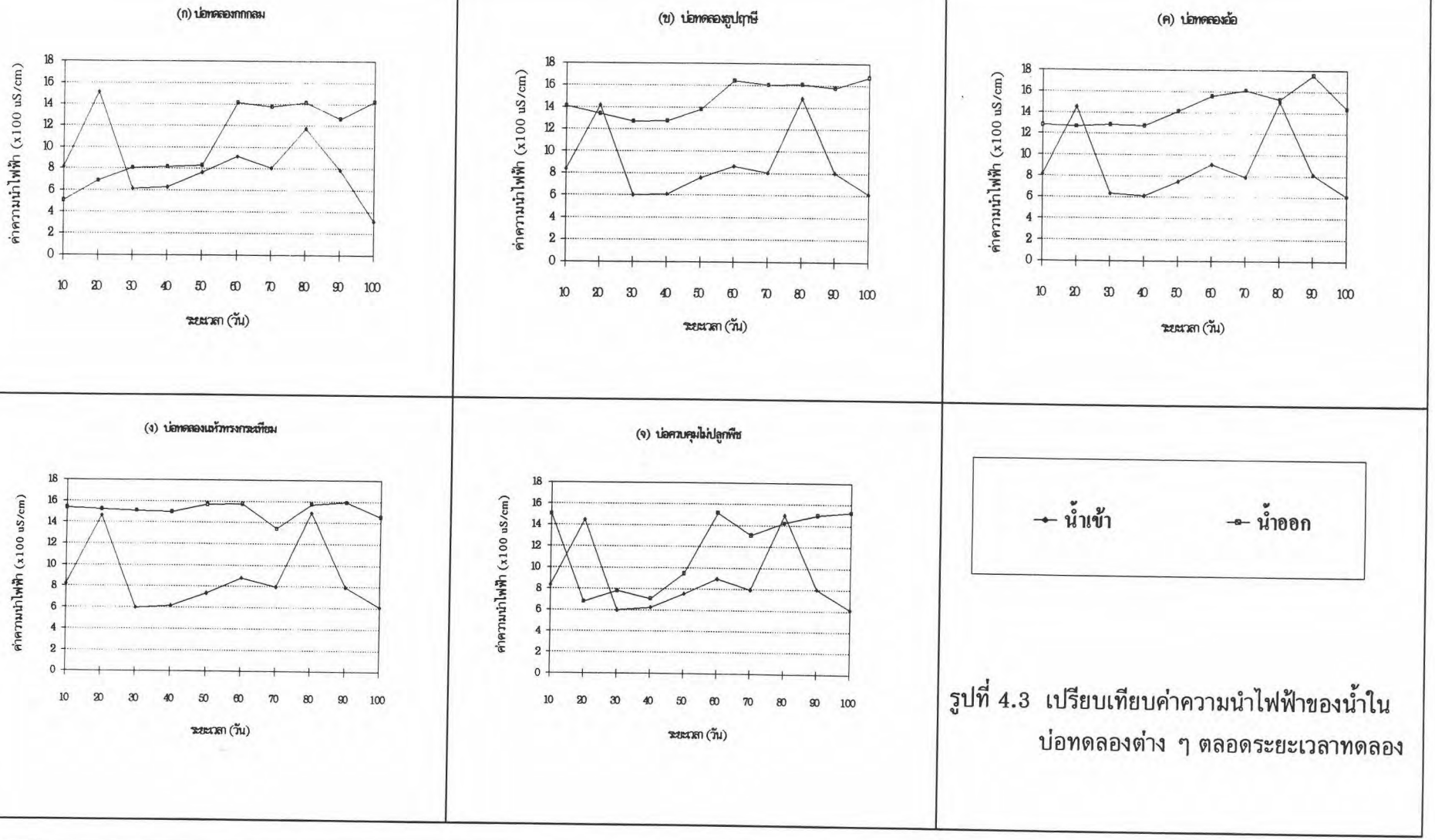
ความนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเข้าบ่อทดลองต่าง ๆ คือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียม และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 881, 874, 887, 881 และ 886 µS/cm ตามลำดับ และในน้ำออกของบ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1052, 1478, 1440 และ 1517 µS/cm ตามลำดับ ส่วนในบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าเท่ากับ 1188 µS/cm ซึ่งพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเข้าจะมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำออกทุกบ่อทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุม (รูปที่ 4.3)

การที่ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้า แสดงว่าปริมาณอิออนภายในน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการระเหยของน้ำทำให้น้ำมีความเข้มข้นของอิออนต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่ง Finlayson และ Chick (1983) ก็พบลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียโรงงานฆ่าสัตว์เมื่อผ่านพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 846 เป็น 1210 µS/cm ในแปลงธูปฤาษี และเพิ่มจาก 848 เป็น 1266 µS/cm ในแปลงปลูกอ้อ

ประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดโครเมียม

การศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำในการบำบัดโครเมียม โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะผ่านเข้าสู่บ่อทดลองทั้ง 5 บ่อซึ่งประกอบด้วยบ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียมและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช ปรากฏว่าในช่วงระยะเวลา 100 วันของการทดลอง ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงระหว่าง 2.824-20.926 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมตลอดการทดลองเท่ากับ 7.613 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยโครเมียมในน้ำเข้าบ่อกกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียมและบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืชเท่ากับ 7.655, 7.600, 7.661, 7.622 และ 7.527 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากผลการตรวจวัดปริมาณโครเมียมจะพบว่าปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าจะสูงสุดที่ช่วง 20 วันแรกคือจะสูงประมาณ 12.91-20.670 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าโครเมียมในน้ำออกที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.822-0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าโครเมียมเฉลี่ยแต่ละบ่อเท่ากับ 0.185, 0.481, 0.579, 0.372 และ 0.808 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อทดลองกกกลม ธูปฤาษี อ้อ แห้วทรงกระเทียม และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกในบ่อทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะการทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	กกกลม		ธูปฤาษี		อ้อ		แห้วทรงกระเทียม		ควบคุมไม่ปลูกพืช	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
10	20.668	0.906	20.420	2.507	20.926	2.822	20.438	1.578	20.626	2.654
20	13.150	0.315	12.859	1.079	13.400	1.538	13.261	0.857	12.910	1.113
30	5.471	0.102	5.360	0.249	5.030	0.293	5.541	0.157	5.159	0.901
40	3.234	0.099	3.350	0.097	2.824	0.160	2.856	0.136	3.140	0.502
50	9.560	0.248	10.374	0.496	10.664	0.481	10.367	0.190	10.311	0.768
60	4.394	0.010	4.368	0.068	4.346	0.040	4.487	0.152	4.467	0.321
70	5.084	0.034	4.771	0.115	4.975	0.105	5.136	0.139	4.571	0.368
80	5.393	0.060	5.396	0.078	5.195	0.164	5.324	0.243	5.226	0.522
90	4.699	0.015	4.552	0.041	4.714	0.039	4.406	0.150	4.357	0.362
100	4.901	0.060	4.548	0.079	4.535	0.152	4.405	0.120	4.506	0.480
ค่าเฉลี่ย	7.655	0.185	7.600	0.481	7.661	0.579	7.622	0.372	7.527	0.799
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	5.438	0.273	5.423	0.781	5.686	0.905	5.504	0.478	5.535	0.701

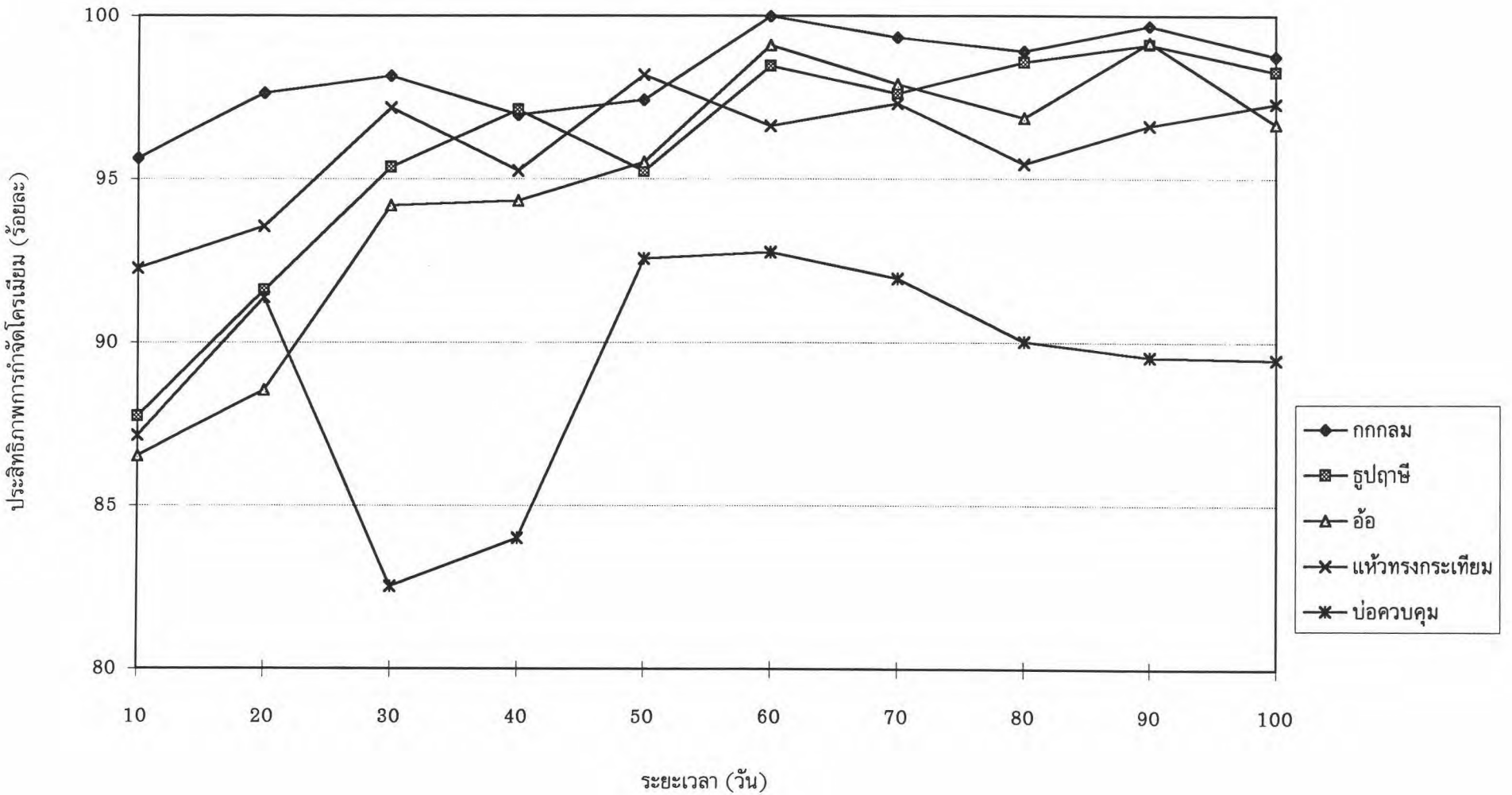
ในการหาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นโดยคำนวณจากปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกเป็นร้อยละ ค่าประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในบ่อทดลองกกกลมจะอยู่ในช่วงร้อยละ 95.62-99.98 บ่อธูปฤาษีอยู่ระหว่างร้อยละ 87.72-99.10 บ่อทดลองอ้ออยู่ในระหว่างร้อยละ 86.51-99.17 และบ่อทดลองแห้วทรงกระเทียม อยู่ในช่วงร้อยละ 92.28-98.17 ส่วนบ่อทดลองควบคุมไม่ปลูกพืชนั้นค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 82.54-92.75 (ตารางที่ 4.2) เมื่อพิจารณาข้อมูล ค่าประสิทธิภาพของพืชทั้ง 4 ชนิด จะพบว่าค่อนข้างต่ำในช่วง 20 วันแรกของการทดลอง โดยเฉพาะในบ่อธูปฤาษี และอ้อ กล่าวคือในช่วง 10 วันแรกข่อทดลองกกกลมมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 95.61 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับบ่อทดลองทุกบ่อ รวมทั้งบ่อทดลองควบคุมไม่ปลูกพืช รองลงมาคือบ่อทดลองแห้วทรงกระเทียมเท่ากับร้อยละ 92.28 บ่อทดลองธูปฤาษีและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าใกล้เคียงกัน คือเท่ากับร้อยละ 87.72 และ 87.11 ตามลำดับ ส่วนบ่อทดลองอ้อมีค่าต่ำสุด คือเท่ากับร้อยละ 86.51 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับบ่อทดลองกกกลมและแห้วทรงกระเทียม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับบ่อธูปฤาษี และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช ส่วนในช่วงหลังจากนั้นจนสิ้นสุดการทดลองประสิทธิภาพของบ่อทดลองธูปฤาษีและอ้อจะเพิ่มสูงขึ้นคืออยู่ในช่วงร้อยละ 90 ขึ้นไป และเพิ่มสูงมากกว่าร้อยละ 95 ในช่วงหลังของการทดลอง เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมมาคำนวณหาความแตกต่างของประสิทธิภาพพืชทั้ง 4 ชนิด และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชว่าบ่อใดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลอง พบว่าบ่อทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือบ่อทดลองกกกลม ส่วนบ่อที่มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช คือมีประสิทธิภาพเฉลี่ยแตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 9.10 โดยบ่อกกกลมมีประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอด 100 วัน เท่ากับร้อยละ 98.21 ซึ่งมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 กับบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช และบ่อทดลองอ้อ แต่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับบ่อทดลองธูปฤาษีและแห้วทรงกระเทียม รองลงมาคือบ่อแห้วทรงกระเทียม ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95.96 บ่อธูปฤาษีร้อยละ 95.90 บ่ออ้อร้อยละ 94.87 และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพต่ำสุดคือเท่ากับร้อยละ 89.13 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับทุกบ่อทดลองทั้งบ่อกกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม สำหรับบ่อทดลองอ้อ ธูปฤาษี และแห้วทรงกระเทียมนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลองพืชทุกบ่อสามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสียได้เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96.27 ใกล้เคียงกับการทดลองของ Thayalakumaran (1994) ซึ่งพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นสามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้สูงถึงร้อยละ 99 ในช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมของพืชโผล่พ้นน้ำทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการทดลองจะสูงกว่าการใช้ผักตบชวาซึ่งเป็นพืชลอยน้ำ (น้ำหนักเปียกมากกว่า 150 กรัม) ที่พบว่าสามารถกำจัดโครเมียมในความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้เพียงร้อยละ 71.25 เท่านั้น

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมของพืชทดลองทั้ง 4 ชนิดในบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช
(ระหว่างวันที่ 21 พ.ย. 2538 ถึง 28 ก.พ. 2539)

ชนิดพืช	ระยะเวลาทำการทดลอง (วัน)										ค่าเฉลี่ย
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
กกกลม	95.62^{c}	97.61^{d}	98.14^{c}	96.94^{c}	97.41^{c}	99.98^{e}	99.33^{d}	98.89^{d}	99.68^{d}	98.74^{e}	98.23^{c}
ธูปฤาษี	87.72^{a}	91.61^{b}	95.35^{bc}	97.10^{c}	95.22^{b}	98.44^{c}	97.59^{bc}	98.55^{d}	99.10^{c}	98.26^{d}	95.90^{bc}
อ้อ	86.51^{a}	88.52^{a}	94.18^{b}	94.33^{b}	95.49^{b}	99.08^{d}	97.89^{c}	96.84^{c}	99.17^{c}	96.65^{b}	94.87^{b}
แห้วทรงกระเทียม	92.28^{b}	93.54^{c}	97.17^{c}	95.24^{bc}	98.17^{d}	96.61^{b}	97.29^{b}	95.44^{b}	96.60^{b}	97.28^{c}	95.96^{bc}
บ่อควบคุม	87.13^{a}	91.38^{b}	82.54^{a}	84.01^{a}	92.56^{a}	92.75^{a}	91.95^{a}	90.01^{a}	89.53^{a}	89.46^{a}	89.13^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรมุมบนที่ต่างกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในแนวตั้ง
(โดยวิธีของ Duncan's multiple range test)



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียที่มีโครเมียมของบ่อทดลองต่าง ๆ ตลอดการทดลอง

(Suttipong, 1980) ซึ่ง Srivastav (1994) ศึกษาถึงการใช้พืชลอยน้ำ 2 ชนิดคือ *Salvinia* และ *Spirodela* ในการกำจัดโครเมียมและนิเกิล พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 56-96 ในช่วง 2 วันแรก และลดลงเหลือเพียงร้อยละ 10-53 ในช่วง 2 สัปดาห์ของการทดลอง ดังนั้น การใช้พืชโผล่พ้นน้ำในการกำจัดโลหะหนักจึงน่ามีความเป็นไปได้และมีแนวโน้มที่ดีกว่าพืชลอยน้ำ เนื่องจากพืชโผล่พ้นน้ำมีรากหยั่งดินซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวและออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์และดินให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีขึ้น

การสะสมโครเมียมในดิน

ลักษณะเนื้อดิน

เนื้อดิน (soil texture) เป็นสิ่งที่บอกถึงปริมาณหรือสัดส่วนของกลุ่มอนุภาคดิน 3 ขนาดคือ อนุภาคทราย (sand) อนุภาคซิลท์ (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) จากการทดลองหาสัดส่วนอนุภาคของดินด้วยวิธี Hydrometer (Allen, 1989) ในดินทุกบ่อก่อนเริ่มการทดลอง พบว่าประเภทเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ทุกบ่อ ทั้งบ่อที่ทดลองและบ่อการควบคุมไม่ปลูกพืช กล่าวคือ มีส่วนประกอบของอนุภาคทรายสูงสุด คืออยู่ในช่วงร้อยละ 71.1-77.1 เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.97 อนุภาคซิลท์ร้อยละ 2.46 และอนุภาคดินเหนียวอยู่ในช่วงร้อยละ 22.9

การสะสมโครเมียมในดิน

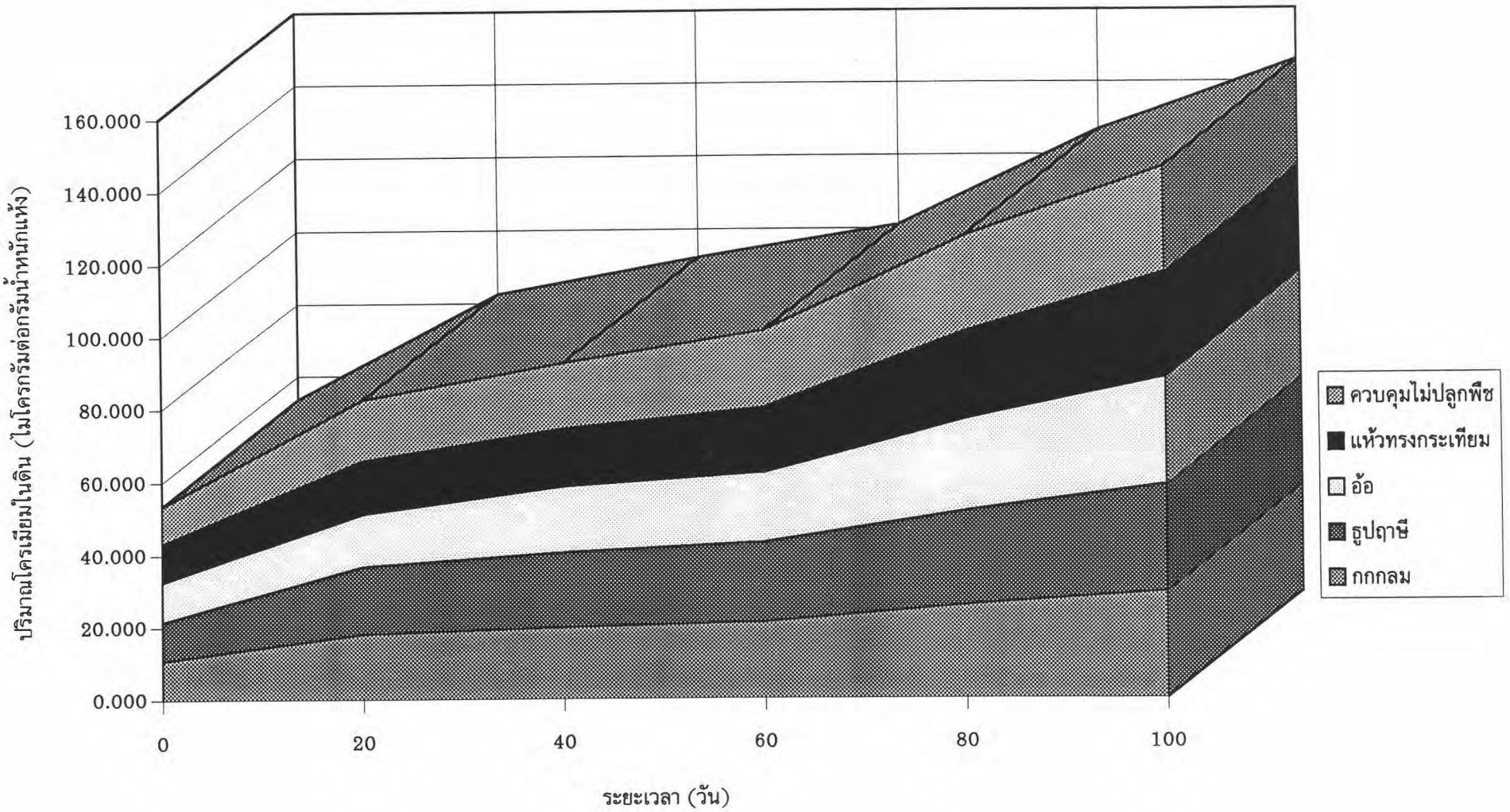
การศึกษาเพื่อหาปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในดินของบ่อทดลองที่ปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชทุกในตัวอย่างดินที่เก็บก่อนเริ่มมีการทดลอง และทุก ๆ 20 วันจนสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเมื่อตัวอย่างดินถูกทำการย่อยด้วยกรดผสมแล้วนั้น ตัวอย่างดินก่อนเริ่มการทดลองทุกบ่อมีปริมาณโครเมียมเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.7044 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อกกกลมเท่ากับ 10.606 บ่อธูปฤาษีเท่ากับ 10.853 บ่ออ้อเท่ากับ 10.961 บ่อแห้วทรงกระเทียม 10.653 และบ่อควบคุม 10.449 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับปริมาณโครเมียมในดินต่อน้ำหนักแห้งเป็นกรัมที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของการทดลองพบว่าอยู่ในช่วงมากกว่า 10.449 ถึง 29.301 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณโครเมียมในดินของบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงสุดที่ 100 วันทดลอง โดยพบปริมาณโครเมียมต่อน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองต่าง ๆ ดังนี้ บ่อกกกลม 29.285 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อธูปฤาษี 29.280 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่ออ้อ 29.301มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อแห้วทรงกระเทียม 29.058 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าปริมาณโครเมียมต่อน้ำหนักแห้งเป็นกรัมเท่ากับ 28.853 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟรูป 4.5 จะเห็นว่าปริมาณโครเมียมสะสมในดินจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มและมีแนวโน้มการเพิ่มไปในทิศทางเดียวกันทุกบ่อทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช

จากผลการทดลองดินในพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นแหล่งสะสมโครเมียมที่สำคัญเช่นเดียวกับการศึกษาในโลหะหนักชนิดอื่น ๆ Boto และ Patrick (1978) พบว่าปริมาณแคดเมียมประมาณร้อยละ 80 ของแคดเมียมทั้งหมด (15 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/ปี) ในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจะถูกสะสมอยู่ในดิน และการที่โครเมียมถูกสะสมอยู่ในดินก็เนื่องจากการเกิดกระบวนการต่าง ๆ (Forstner และ Whittmann, 1981) คือ การตกตะกอน (precipitation) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของโลหะที่อยู่ในสภาพสารละลายมาสู่รูปของแข็ง ซึ่งการตกตะกอนของโลหะหนักนั้นเป็นสมดุลไดนามิก การตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับปริมาณประจุลบ (anion) ของน้ำในดิน และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยจะตกตะกอนอยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะซัลไฟด์ โลหะคาร์บอเนตหรืออื่น ๆ การแลกเปลี่ยนประจุและการดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็นกลไกการจับกับสารอื่นที่ตำแหน่งที่มีประจุเป็นลบ เช่น หมู่ $SiOH^-$, $AlOH_2^-$ และ $AlOH^-$ ในอนุภาคดินเหนียว หมู่ไฮดรอกซิลในเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ หรือกับหมู่คาร์บอกซิลและฟินอลิกในสารอินทรีย์ และจากการทดลองของ Wilson, Schwarzer และ Etonyeaku (1986) พบว่าประจุบวกมีความสามารถจับกับอนุภาคดินเหนียวตามลำดับดังนี้ $M^{3+}>M^{2+}>M^{+}$ ดังนั้นโครเมียมซึ่งอยู่ในรูปโครเมียม(III) หรือ โครเมียม(VI) จึงสามารถจับกับอนุภาคดินเหนียวได้ดี

โครเมียมที่สะสมอยู่ในดินโดยส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของออกไซด์ (Cary และคณะ, 1994) เนื่องจากพวกเหล็กและแมงกานีสออกไซด์นั้นจะยึดด้วยพันธะที่แข็งแรงและเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าในรูปแบบอื่น ๆ และไม่ค่อยละลายน้ำ (Armienta และคณะ, 1995) โครเมียมในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป โครเมียม(III) กล่าวคือ โครเมียม(VI) จะถูกรีดิวซ์เป็น โครเมียม(III) ด้วยสารอินทรีย์ในดินซึ่ง โครเมียม(III) นั้นค่อนข้างจะคงรูปได้ดีกว่า แต่ในบางสภาวะ โครเมียม(III) ก็อาจถูกออกซิไดซ์กลับมาอยู่ในรูป โครเมียม(VI) ได้ (Cary และ Kubota, 1990)

นอกจากอนุภาคดินในพื้นที่ชุ่มน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย จุลินทรีย์ในดินก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญเช่น *Enterbacter cloacae* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ โครเมียม(VI) เป็น โครเมียม(III) พวก sulfate-reducing bacteria สามารถตกตะกอนโลหะหนักในรูปซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำ พวก Aspergillus ที่สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบโลหะที่ระเหยได้เป็นต้น (Bitton, 1994)

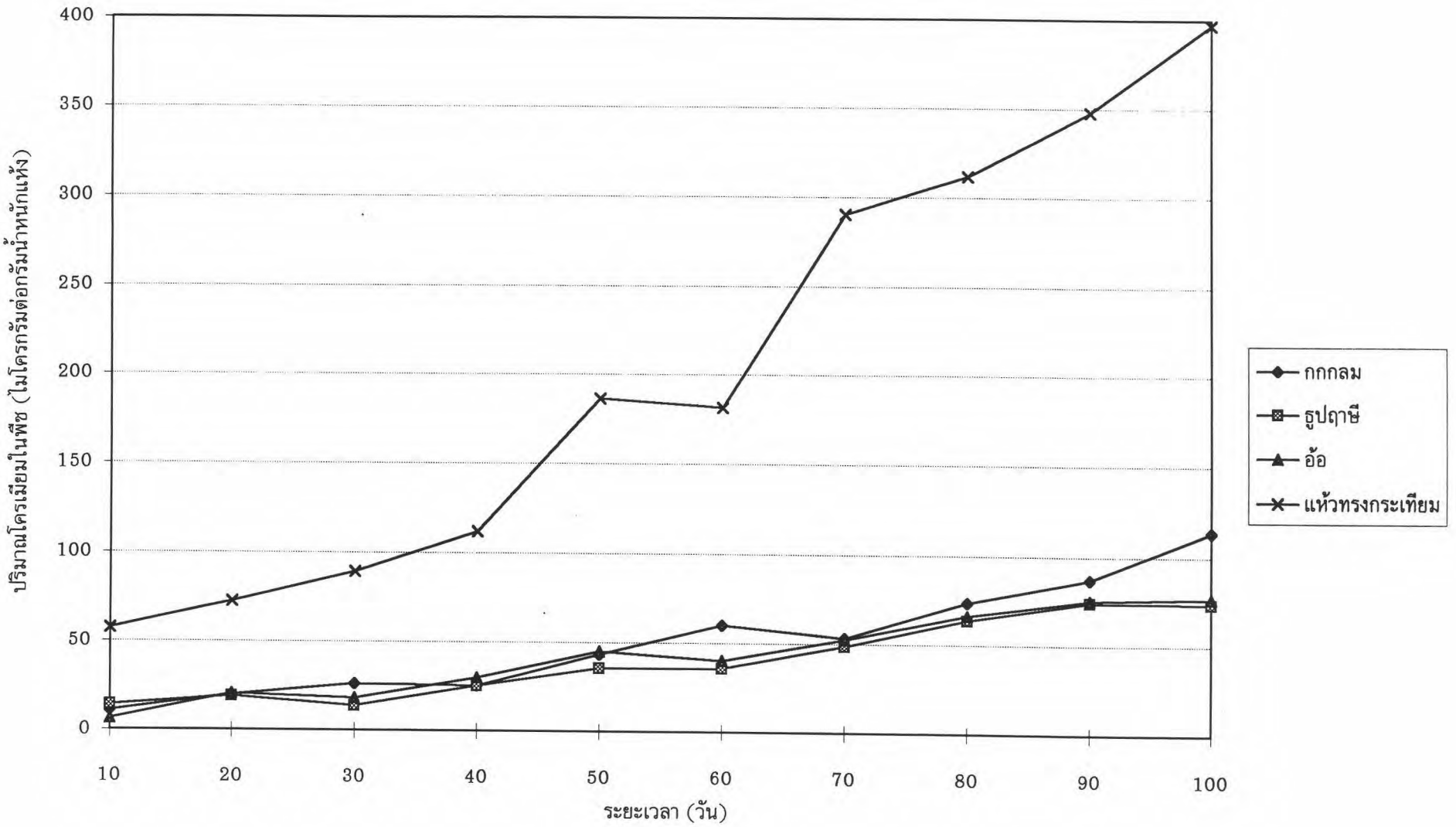


รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณการสะสมโครเมียมในดินของบ่อทดลองและบ่อควบคุมตลอดระยะเวลาทดลอง

การสะสมโครเมียมในพืช

จากการทดลองพบว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะค่อนข้างสูงคือ สูงกว่าร้อยละ 94 ซึ่งนับว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก พืชน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังนั้นการหาความสามารถของพืชในการสะสมโครเมียมโดยการหาปริมาณโครเมียมที่พืชชนิดต่างๆ สะสมอยู่ ตามช่วงระยะเวลาทดลอง 100 วัน จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา สำหรับการหาระดับหรือปริมาณโครเมียมที่สะสมในพืชทั้ง 4 ชนิด ทุกๆ 10 วัน ตลอดการทดลอง ปรากฏผลดังกราฟรูปที่ 4.6 ในช่วง 10 วันจนถึงสิ้นสุดการทดลอง กกกลมมีการสะสมโครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 10.782 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 113.609 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง ธูปฤาษี การสะสมโครเมียมอยู่ในช่วง 13.980-73.495 มิลลิกรัมต่อลิตร อ้อ 6.206-76.555 มิลลิกรัมต่อลิตร และแห้วทรงกระเทียม 57.200-397.150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นหน่วยต่อน้ำหนักแห้ง เมื่อพิจารณาจากกราฟ ปริมาณโครเมียมในพืชทั้ง 4 ชนิดจะมีค่าขึ้นๆ ลงๆ แต่มีแนวโน้มไปในทางที่มีปริมาณการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแห้วทรงกระเทียมมีค่าปริมาณโครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสูงที่สุด คือสูงกว่าพืชอีก 3 ชนิด แต่เมื่อเปรียบเทียบเป็นน้ำหนักต่อแปลงพืชที่มีการสะสมโครเมียมสูงสุดคือ กกกลม และจากการศึกษาแม้ว่าพืชทั้ง 4 ชนิดจะมีปริมาณโครเมียมสูงกว่าที่พบทั่วไปตามธรรมชาติ แต่ก็มิได้ปรากฏอาการของโรค ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าไม่สูงมาก

ปริมาณโครเมียมสะสมในพืชจากการทดลองพบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่บางช่วงมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการแยกวิเคราะห์โครเมียมสะสมในต้นพืชเป็นส่วน ๆ เพราะโดยทั่วไปแล้วปริมาณโครเมียมที่พืชชนิดต่าง ๆ ดูดเข้าไปจะถูกสะสมในรากเป็นส่วนใหญ่ เช่นงานของ Thayalakumaran (1994) ซึ่งศึกษาในต้นธูปฤาษี Myattenaeere และ Mousny (1974) ศึกษาในต้นข้าว และการศึกษาในพืชน้ำ 4 ชนิดคือ *Eriocaulon septangulare*, *Nuphar variegatum*, *Nymphea odoata* และ *Pontederia cordata* ของ Riemer และ Duthie (1993) การที่โครเมียมและโลหะอื่น ๆ สะสมอยู่มากในบริเวณรากเนื่องจากรากของพืชมีระดับของกรดอินทรีย์และกรดอะมิโนสูง ซึ่งกรดเหล่านี้สามารถจับกับพวกโลหะได้ นอกจากนี้โครเมียมยังเป็นโลหะที่เคลื่อนย้ายในพืชได้น้อย แม้ว่าจะเป็นโครเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้ (Cary และคณะ, 1980) กล่าวคือประมาณร้อยละ 98 ของโครเมียมทั้งหมดในธัญพืช 9 ชนิดจะสะสมอยู่ที่ราก (Alloway, 1993) และส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ โครเมียม (VI) ส่วน โครเมียม (III) เคลื่อนที่ช้าจึงพบในปริมาณที่น้อย การศึกษาของ Meiorin(1989) อัตราส่วนการสะสมโลหะหนัก แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส นิเกิล และสังกะสี ในต้นธูปฤาษี และกกพบว่า ความเข้มข้นของโลหะในใบและเมล็ดจะประมาณ 1/2-1/4 เท่าของปริมาณในราก



รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณโครเมียมสะสมในพืชตลอดระยะการทดลอง

โครเมียมเข้าสู่รากได้เนื่องจากที่รากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลอยู่จึงเกิดการเคลื่อนย้ายอิออนจากภายนอกเข้าสู่พืชโดยผ่านทางราก โครเมียมที่พบสะสมในพืชนั้นจะถูกสะสมอยู่ในบริเวณผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งตรงกับการศึกษาของKovac (1992) ที่พบว่ามากกว่าร้อยละ 90 ของโลหะหนักจับกับหมู่คาร์บอกซิลของผนังเซลล์โดยเฉพาะพวกปรอท โครเมียม และตะกั่ว Myttenaere และ Mousny (1974) ทดสอบการแพร่กระจายโครเมียมในพืชพวกข้าว พบว่าโครเมียมในปริมาณที่ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสะสมอยู่ในโปรโตพลาสมา ส่วนในปริมาณตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปจะสะสมอยู่บริเวณผนังเซลล์

สมดุลมวล (Mass Balance)

สมดุลมวล คือปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ และออกจากระบบ ผลต่างของปริมาณทั้งสองคือค่าโครเมียมที่สะสมอยู่ในระบบ หรือปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัด ซึ่งการคำนวณหาปริมาณ โครเมียมทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ คำนวณจากปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) อัตราไหล (ลิตรต่อวัน) และระยะเวลาการกักเก็บ (วัน) โดยปริมาณที่เหลือในระบบจะแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วนที่สำคัญคือดินและพืช สำหรับปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

จากตารางจะพบว่าปริมาณโครเมียมถูกสะสมในดินสูงกว่าในพืชมาก โดยค่าดังกล่าวได้จาก การปรับค่าด้วยปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ภายในดินของบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชจากร้อยละให้เป็นร้อยละ 100 เนื่องจากถือว่าในบ่อโครเมียมที่อยู่ในระบบถูกสะสมอยู่ในดินเท่านั้น ดังนั้นค่าปริมาณโครเมียมที่เหลือจะพิจารณาเป็นค่าปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ในพืชโดยเฉลี่ย ซึ่งจากการทำสมดุลมวลพบว่าปริมาณโครเมียมสะสมในพืชตลอดการทดลองในกกกลมเท่ากับร้อยละ 1958.20 มิลลิกรัม ธูปฤาษี เท่ากับ 1880.80 มิลลิกรัม อ้อ เท่ากับ 1335.80 มิลลิกรัม และ แห้วทรงกระเทียม เท่ากับ 2310.64 มิลลิกรัม แต่ปริมาณโครเมียมที่พบจากการทดลองในกกกลมเท่ากับ 1839.56 มิลลิกรัม ธูปฤาษีเท่ากับ 1755.85 มิลลิกรัม อ้อเท่ากับ 1140.68 มิลลิกรัมและ แห้วทรงกระเทียมเท่ากับ 1494.79 มิลลิกรัม ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.7

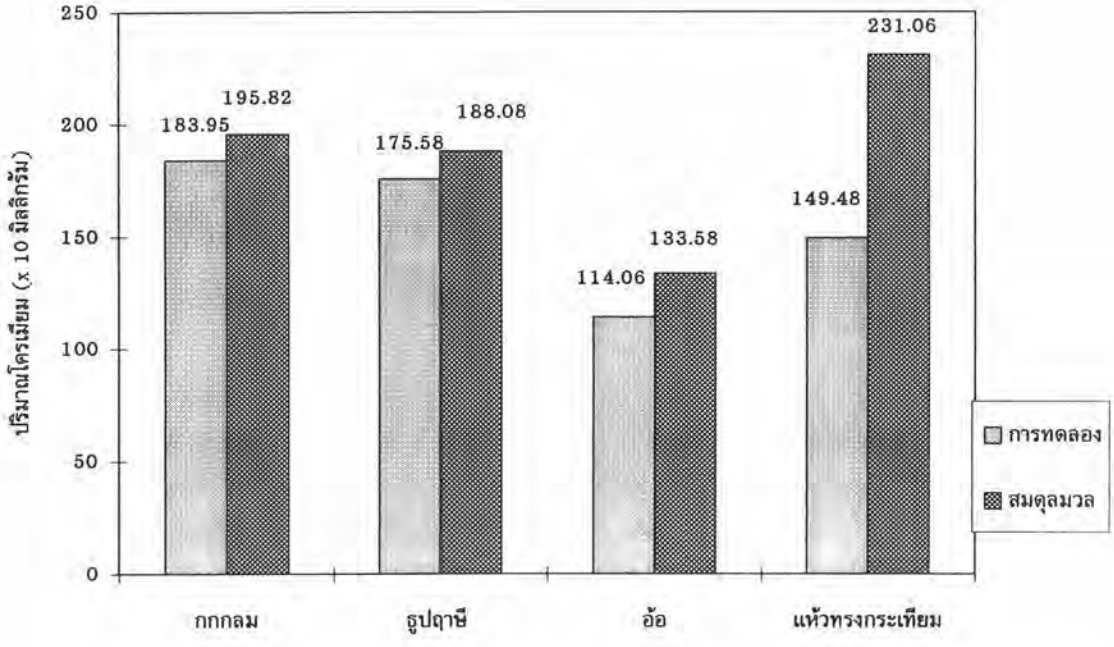
ช่วงความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณโครเมียมในการทดลองกับปริมาณโครเมียมในสมดุลมวล เป็นช่วงความคลาดเคลื่อนของปริมาณโครเมียมที่พบในพืชทั้ง 4 ชนิด ที่เกิดจากการทดลอง จะเห็นได้ว่า ปริมาณโครเมียมส่วนหนึ่งหายไป จากการทำสมดุลมวล อาจเป็นเพราะตัวอย่างพืชที่นำมาย่อยด้วยกรดเพื่อหาปริมาณโครเมียมทำการผสมกันไม่ดีพอทำให้ส่วนที่

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณมวลรวมของโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกตลอดระยะเวลาการทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	มวลรวมของโครเมียม (mg)									
	กกกลม		ธูปฤาษี		อ้อ		แห้วทรงกระเทียม		บ่อควบคุม	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
10	62004.00	2204.30	61260.00	6099.53	62778.00	6865.93	61314.00	3839.27	61878.00	6457.18
20	39450.00	801.99	38577.00	2747.13	40200.00	3915.75	39783.00	2181.92	38730.00	2833.70
30	16413.00	261.22	16080.00	637.69	15090.00	750.37	16623.00	402.08	15477.00	2307.46
40	9702.00	235.52	10050.00	230.76	8472.00	380.64	8568.00	323.54	9420.00	1194.26
50	28680.00	632.90	31122.00	1265.79	31992.00	1227.51	31101.00	484.88	30933.00	1959.94
60	13182.00	26.06	13104.00	177.19	13038.00	104.23	13461.00	396.08	13401.00	836.46
70	15252.00	80.14	14313.00	271.06	14925.00	247.49	15408.00	327.62	13713.00	867.38
80	16179.00	140.46	16188.00	182.60	15585.00	383.92	15972.00	568.86	15678.00	1222.00
90	14097.00	36.50	13656.00	99.75	14142.00	94.89	13218.00	364.95	13071.00	880.75
100	14703.00	162.25	13644.00	206.74	13605.00	397.78	13215.00	314.04	13518.00	1151.48
ค่าเฉลี่ย	22966.20	458.13	22799.40	1191.83	22982.70	1436.85	22850.17	920.32	22581.90	1696.13

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณโครเมียมเฉลี่ยของระบบต่อ 10 วันตลอดการทดลอง 100 วัน

ชนิดของพืช ในบ่อทดลอง	ปริมาณโครเมียม (mg)			
	ระบบ	ดิน (%)	ที่เหลือ (%)	คงเหลือสุทธิ (%)
กกกลม	22508.07	20199.47 (89.74)	2308.64 (10.26)	195.82 (0.87)
ธูปฤาษี	21607.57	19389.50 (89.74)	2218.07 (10.26)	188.08 (0.87)
อ้อ	21545.85	19388.34 (89.99)	2157.51 (10.01)	133.58 (0.62)
แห้วทรงกระเทียม	21929.85	19632.41 (89.56)	2297.44 (10.44)	231.064 (1.05)
ควบคุม	20885.77	18924.99 (90.61)	1960.78 (9.39)	0 (0)



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมที่สะสมในพืชจากการทดลองเทียบกับสมดุลมวลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

นำมาย่อยเป็นต้นมากกว่าราก หรือเกิดจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในบริเวณบ่อ เช่น การดูดซับโลหะของปูนซีเมนต์ ที่บริเวณข้างบ่อ เป็นต้น

เมื่อพิจารณามวลโครเมียมที่สะสมในดินและพืชพบว่า เมื่อคิดเทียบเป็นค่าน้ำหนักแห้งเป็นกรัม ปริมาณการสะสมโครเมียมในพืชจะสูงกว่าดินมาก โดยในพืชมีปริมาณสูงสุดเฉลี่ยทั้ง 4 ชนิดเท่ากับ 165.202 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ดินมีค่าเฉลี่ยเพียง 29.156 ไมโครกรัมต่อกรัมเท่านั้น แต่เมื่อคิดรวมมวลทั้งบ่อทดลอง ดินมีค่าปริมาณการสะสมโครเมียมสูงกว่าพืชมาก ทั้งนี้เนื่องจากดินมีน้ำหนักต่อบ่อมากกว่าพืช จึงมีผลทำให้ปริมาณโครเมียมในระบบถูกสะสมอยู่ในดินสูงมากกว่าร้อยละ 90

การเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม ในบ่อทดลองเป็นระยะเวลา 100 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. น้ำหนักสด (Fresh weight)

บ่อทดลองกกกลม มีน้ำหนักสดที่ 10 วันแรกเฉลี่ยเท่ากับ 54.17 กรัม และมีน้ำหนักสูงสุดที่ 100 วันของการทดลองคือ เท่ากับ 159.37 กรัม โดยกกกลมมีน้ำหนักเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ทดลอง จนถึงที่ระยะเวลา 60 วันของการทดลอง น้ำหนักสดของกกกลมลดลงจาก 108.33 เหลือ 60.00 กรัม ทั้งนี้เนื่องมาจากกกกลมเกิดโรคราดำ ซึ่งทำให้ยอดแห้งช่อดอกไม่เติบโต แต่หลังจากการฉีดยาเพื่อป้องกันและกำจัดราดำแล้วปรากฏว่า น้ำหนักสดของกกกลมก็ได้เพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดที่ 100 วันของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

การเปรียบเทียบน้ำหนักสดต้นกกกลมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุมที่ระยะต่าง ๆ ตารางที่ 4.6) พบว่าที่ระยะ 10 วัน มีค่าเท่ากับ 54.17 กรัม และ 52.00 กรัม ในบ่อทดลองและบ่อควบคุมส่วนที่เวลา 50 วันมีค่าเท่ากับ 108.33 กรัม กับ 77.88 กรัม และ ณ วันที่ 100 ของการทดลองค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดเท่ากับ 159.37 กรัม กับ 142.83 กรัม ซึ่งเมื่อทดสอบด้วยค่าทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ช่วงเวลาที่เลือกมาทดสอบนั้น น้ำหนักสดของต้นกกกลมทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

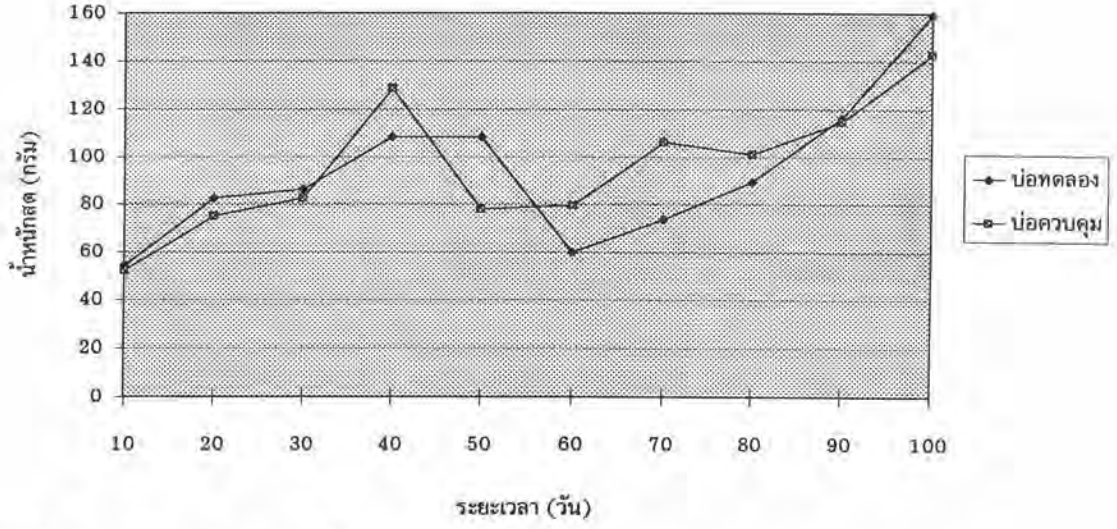
บ่อทดลองธูปฤาษี สำหรับบ่อทดลองธูปฤาษีนั้นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดกับระยะเวลาของการทดลอง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 พบว่าน้ำหนักสดของธูปฤาษีที่ 10

ตารางที่ 4.5 แสดงการเติบโตของต้นกกกลม โดยศึกษาจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองหลังจากเริ่มการทดลองจนสิ้นสุด

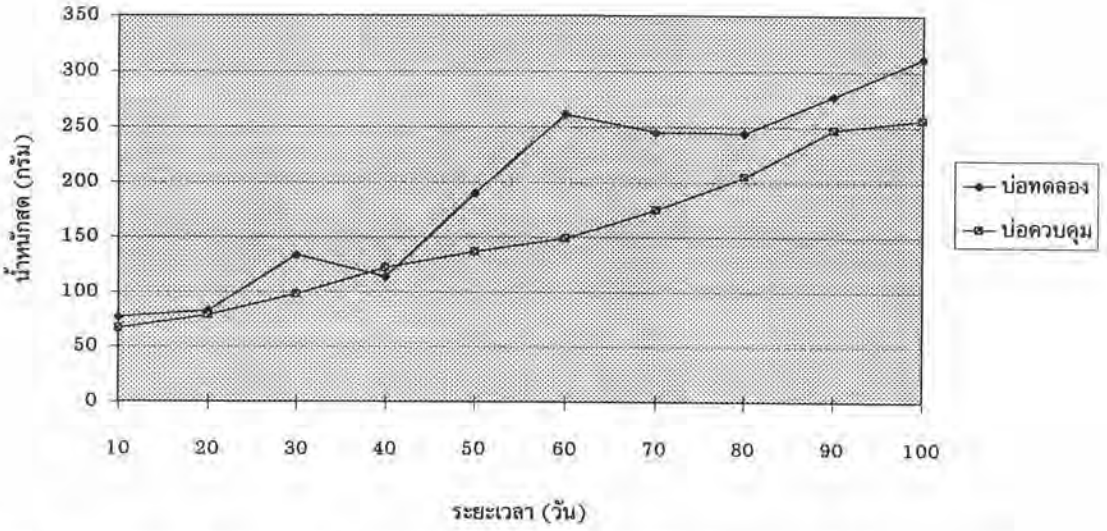
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	54.17 ± 16.76	8.34 ± 1.21
20	82.87 ± 19.08	12.00 ± 3.18
30	86.33 ± 21.93	13.51 ± 4.12
40	108.17 ± 31.02	15.95 ± 3.25
50	108.33 ± 22.17	17.50 ± 3.27
60	60.00 ± 20.93	11.47 ± 4.63
70	73.69 ± 35.16	12.09 ± 4.47
80	85.55 ± 15.02	17.06 ± 5.19
90	116.32 ± 41.64	22.73 ± 7.97
100	159.37 ± 43.33	31.38 ± 7.77

ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของกกกลมในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	54.17 ± 16.76	52.00 ± 4.24	8.34 ± 1.21	8.26 ± 0.49
50	108.33 ± 22.17	77.88 ± 15.03	17.50 ± 3.27	11.97 ± 3.62
100	159.37 ± 43.33	142.83 ± 9.02	31.38 ± 7.77	27.05 ± 4.25



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักสดระหว่างต้นกกกลมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักสดระหว่างต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

วัน เท่ากับ 76.83 กรัม จะเพิ่มเป็น 311.60 กรัมที่ 100 วันของการทดลอง โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 60 วันแรกของการทดลอง และหลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากต้นธูปฤาษีเติบโตเต็มที่และเริ่มมีดอก ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง จนกระทั่งช่วง 90 วัน และ 100 วันของการทดลอง การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดได้เพิ่มมากขึ้นอีก เนื่องจากเริ่มมีการแตกต้นใหม่ออกจากส่วนที่คล้ายราก (rhizome) ซึ่งมีผลทำให้น้ำหนักสดเพิ่มขึ้น

การศึกษาความแตกต่างของน้ำหนักสดธูปฤาษีในบ่อทดลองเทียบกับบ่อควบคุมที่ช่วงเวลา 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน พบว่ามีค่าดังตารางที่ 4.8 ซึ่งค่าที่ช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบด้วยสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดบ 0.05

บ่อทดลองอ้อ จากการทดลอง 100 วันพบว่าอ้อมีน้ำหนักสดที่ 10 วันของการทดลองเท่ากับ 24.33 กรัม และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทดลอง โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 103.25 กรัม ที่ 90 วันของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งในช่วงของการทดลองไม่พบว่าอ้อมีการเจริญเติบโตสูงสุดจนถึงช่วงที่มีการสืบพันธุ์ด้วยดอกไม่เหมือนพืชชนิดอื่น ๆ

สำหรับต้นอ้อเมื่อทำการศึกษาน้ำหนักสดของบ่อทดลองเทียบกับบ่อควบคุมพบว่าที่ระยะเวลา 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน มีค่าน้ำหนักสดในบ่อทดลอง 24.33 กรัม 45.25 กรัม และ 97.95 กรัม ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 25.00 กรัม 43.50 กรัม และ 89.29 กรัม ตามลำดับในบ่อควบคุม (ตารางที่ 4.10) ซึ่งค่าน้ำหนักสดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นไม่มีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองแห้วทรงกระเทียม แห้วทรงกระเทียมมีน้ำหนักสดเฉลี่ยที่ 10 วันเท่ากับ 33.67 กรัม และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 80 วันของการทดลองคือเท่ากับ 75.41 กรัม และมีค่าน้ำหนักสดเฉลี่ยที่ 100 วันของการทดลองเท่ากับ 66.82 กรัม ดังแสดงในตาราง 4.11 ซึ่งเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดจะพบว่าน้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้นในช่วงของการทดลองมีค่าต่ำสุดในพืชทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักสดระหว่างต้นแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุมไม่ปลูกพืช และเมื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าน้ำหนักสดของต้นแห้วทรงกระเทียม ที่ช่วงเวลา 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน มี 33.67 กรัม 45.33 กรัม และ 66.82 กรัมในบ่อทดลองตามลำดับ และในบ่อควบคุมมีค่าเท่ากับ 21.50 กรัม 40.00 กรัม และ 62.50 กรัมตามลำดับซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4.7 แสดงการเติบโตของต้นธูปฤาษี โดยศึกษาจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองหลังจากเริ่มการทดลองจนสิ้นสุด

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	76.83 ± 26.63	8.16 ± 3.02
20	83.17 ± 30.26	8.44 ± 3.35
30	134.00 ± 44.61	14.17 ± 4.40
40	113.85 ± 40.37	11.68 ± 2.96
50	189.83 ± 70.00	23.86 ± 11.49
60	261.33 ± 61.64	33.30 ± 10.47
70	245.27 ± 60.93	31.62 ± 7.41
80	244.59 ± 18.27	35.50 ± 8.62
90	277.67 ± 61.33	40.50 ± 14.32
100	311.60 ± 46.48	16.30 ± 8.16

ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของธูปฤาษี ในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

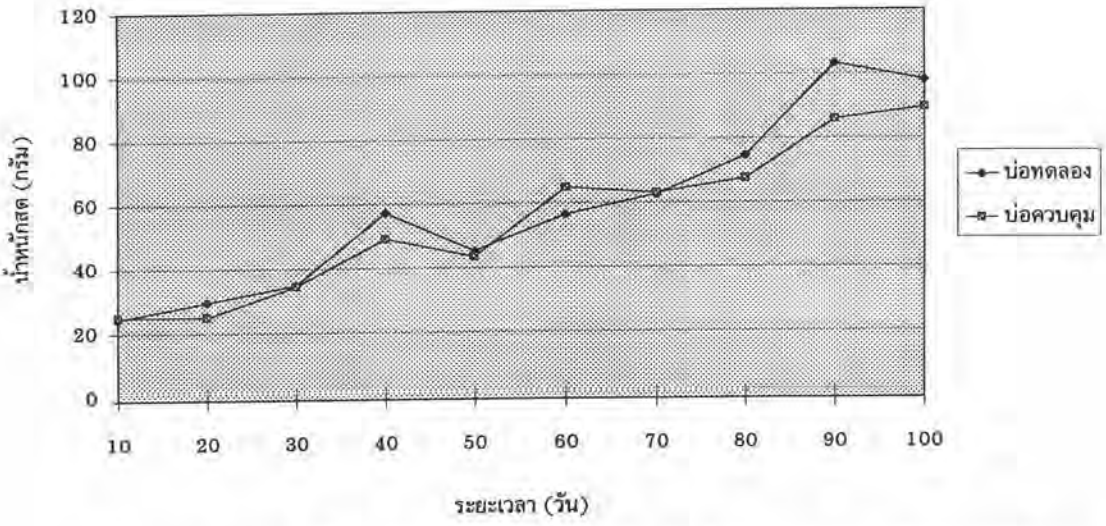
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	76.83 ± 26.63	66.75 ± 9.55	8.16 ± 3.02	8.32 ± 0.70
50	189.83 ± 70.00	136.50 ± 6.36	23.86 ± 11.49	15.13 ± 0.04
100	311.60 ± 46.48	256.34 ± 22.19	46.30 ± 8.16	40.89 ± 6.47

ตารางที่ 4.9 แสดงการเติบโตของต้นอ้อ โดยศึกษาจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองหลังจากเริ่มการทดลองจนสิ้นสุด

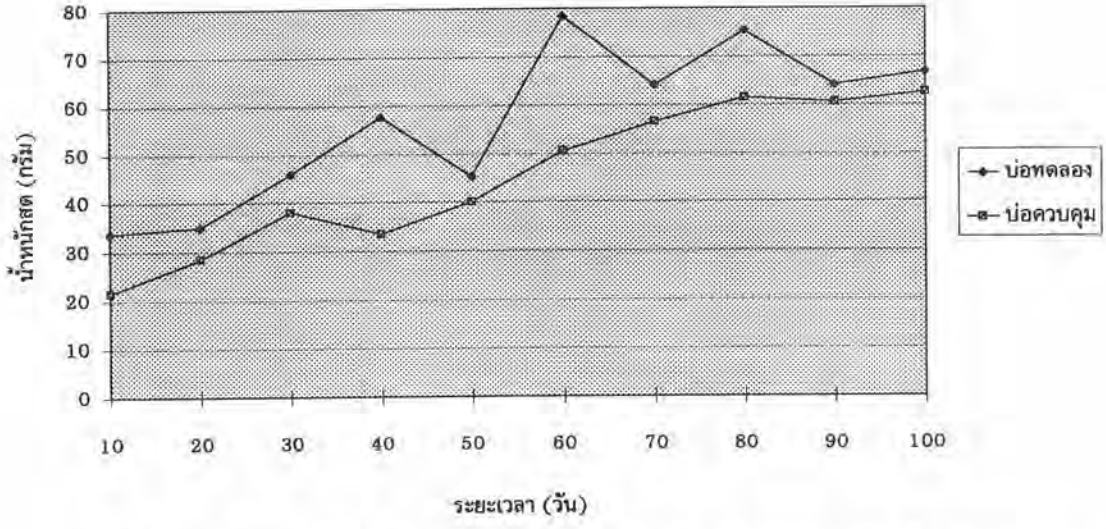
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	24.33 ± 5.96	5.94 ± 1.12
20	29.67 ± 15.24	8.55 ± 4.67
30	34.83 ± 12.58	10.68 ± 4.49
40	57.33 ± 14.75	15.96 ± 2.72
50	45.25 ± 13.70	14.59 ± 3.97
60	56.50 ± 20.21	14.38 ± 6.29
70	62.61 ± 13.96	17.97 ± 4.22
80	74.54 ± 29.69	21.86 ± 8.44
90	103.25 ± 9.36	29.47 ± 2.99
100	97.95 ± 24.65	28.76 ± 8.37

ตารางที่ 4.10 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของอ้อในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	24.33 ± 5.96	25.00 ± 7.07	5.94 ± 1.12	7.46 ± 2.09
50	45.25 ± 13.70	43.50 ± 4.95	14.59 ± 3.97	13.51 ± 2.08
100	97.95 ± 24.65	89.29 ± 28.17	28.76 ± 8.37	24.76 ± 9.48



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักสดระหว่างต้นอ้อในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักสดระหว่างต้นแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

ตารางที่ 4.11 แสดงการเติบโตของต้นแห้วทรงกระเทียมโดยศึกษาจากน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองหลังจากเริ่มการทดลองจนสิ้นสุด

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	33.67 ± 17.50	2.63 ± 1.67
20	34.92 ± 15.34	3.46 ± 1.36
30	45.83 ± 18.65	4.51 ± 2.29
40	57.67 ± 18.45	5.29 ± 2.81
50	45.33 ± 17.48	3.80 ± 1.57
60	48.50 ± 21.34	3.72 ± 1.24
70	64.19 ± 26.55	5.92 ± 2.37
80	75.41 ± 23.10	7.08 ± 3.08
90	64.14 ± 7.10	7.23 ± 2.03
100	66.82 ± 14.83	7.38 ± 1.59

ตารางที่ 4.12 แสดงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของแห้วทรงกระเทียม ในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสด (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้ง (กรัม) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	33.67 ± 17.50	21.50 ± 4.95	2.63 ± 1.67	1.81 ± 0.57
50	45.33 ± 17.48	40.00 ± 40.00	3.80 ± 1.57	4.13 ± 0.40
100	66.82 ± 14.83	62.50 ± 2.12	7.38 ± 1.59	7.52 ± 1.92

จากการศึกษาน้ำหนักสดเฉลี่ยของพืชทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบกันที่ 10 วัน และ 100 วัน ซึ่งเป็นวันสิ้นสุดการทดลอง พบว่าพืชที่มีอัตราเพิ่มของน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดคือ ธูปฤาษี รองลงมาคือ กกกลม อ้อ และแห้วทรงกระเทียม ตามลำดับ

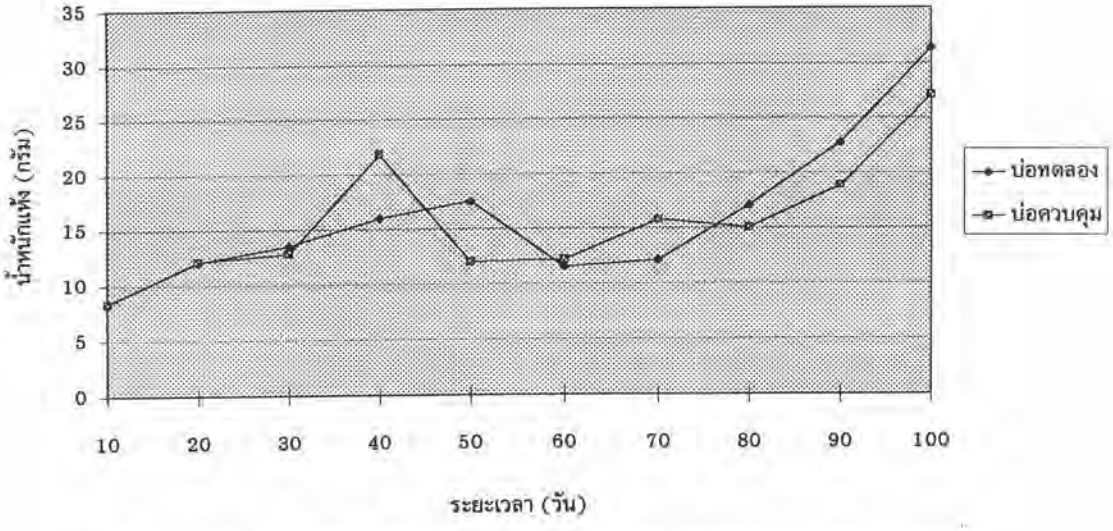
2. **น้ำหนักแห้ง** (Dry weight)

บ่อทดลองกกกลม มีค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยที่ 10 วันแรกของการทดลองเท่ากับ 8.31 กรัม และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 100 วัน คือเท่ากับ 31.38 และเนื่องจากแนวโน้มของน้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดมีความสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 4.5) ดังนั้น ลักษณะการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งในช่วง 50 วันแรกของการทดลอง การทดลองในช่วง 60 วัน และการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งหลังจากช่วง 60 วันที่พืชได้รับการฉีดยาเพื่อป้องกันราดำแล้ว เหมือนกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดเฉลี่ยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

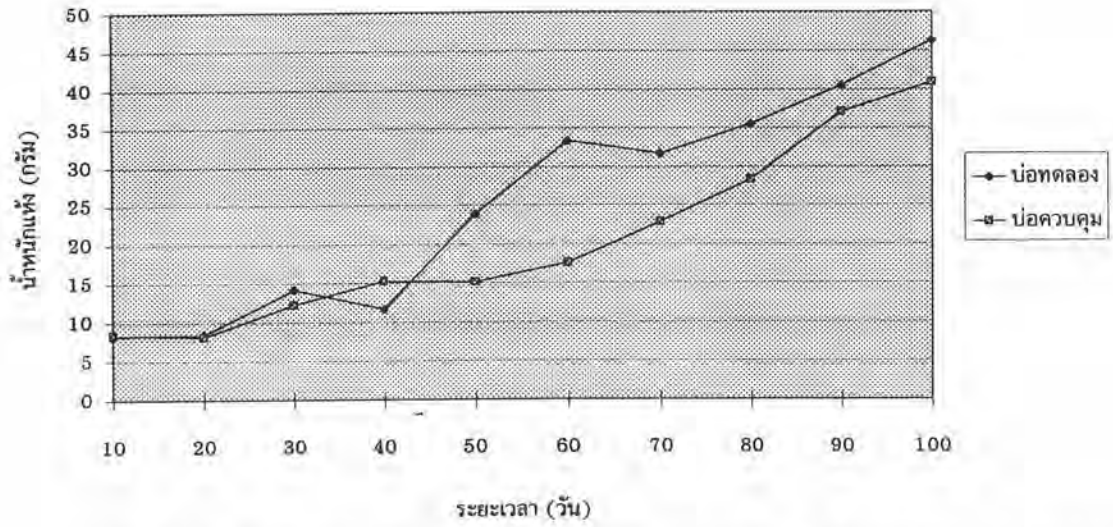
การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของกกกลมในบ่อทดลองและบ่อควบคุมพืชที่ระยะเวลา 10 วัน 50 วัน และ 100 วันของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) พบว่าที่ระยะเวลา 10 วัน น้ำหนักแห้งของบ่อควบคุม และบ่อทดลองมีค่าใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 8.26 และ 8.34 กรัมตามลำดับ สำหรับในระยะเวลา 50 วันและ 100 วันของการทดลองนั้น ค่าน้ำหนักแห้งในบ่อทดลองกกกลมมีค่าเท่ากับ 17.50 และ 31.38 กรัมตามลำดับ ส่วนในบ่อควบคุมพืชมีค่าเท่ากับ 11.97 และ 27.05 กรัมตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยที่ 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองธูปฤาษี เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของบ่อทดลองธูปฤาษี พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา การทดลองที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.7) กล่าวคือ น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของบ่อทดลองธูปฤาษี มีค่า 8.16 กรัมที่ 10 วันแรกของการทดลอง และมีค่าสูงสุดที่ 100 วันของการทดลองคือเท่ากับ 46.30 กรัม ซึ่งจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับน้ำหนักสดเฉลี่ยของพืชดังกล่าว และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของบ่อทดลองธูปฤาษี และบ่อควบคุมธูปฤาษี พบว่าที่ระยะเวลา 10 วัน มีค่าเท่ากับ 8.16 และ 8.32 กรัม ตามลำดับ ค่าที่ 50 วันการทดลองเท่ากับ 23.86 และ 15.13 กรัม และค่าที่ 100 วันการทดลองเท่ากับ 46.30 และ 40.89 กรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.8) แต่ค่าความแตกต่างดังกล่าวเมื่อทำการทดสอบด้วยสถิติแล้วไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองอ้อ ค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 5.94 และ 28.76 กรัมที่ระยะเวลา 10 วัน และ 100 วันของการทดลองตามลำดับ จะเห็นว่าค่าน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และเพื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของอ้อ ที่



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งระหว่างต้นกกกลมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งระหว่างต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

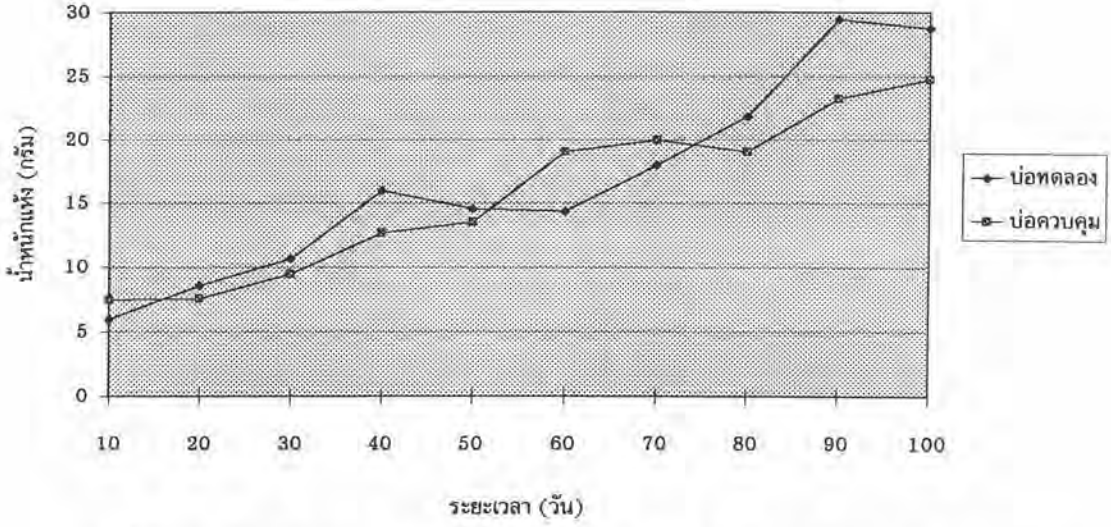
10 วันของการทดลอง พบว่าบ่อทดลองมีค่าเท่ากับ 5.94 กรัม และบ่อควบคุมพืชเท่ากับ 7.46 กรัม แต่ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าน้ำหนักแห้งเฉลี่ยในระยะเวลา 50 วัน และ 100 วันของการทดลองของบ่อทดลองเท่ากับ 14.59 และ 28.76 กรัม บ่อควบคุมพืชเท่ากับ 13.51 และ 24.76 กรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าความแตกต่างของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของพืชในบ่อทดลองและบ่อควบคุมพืชที่เวลา 50 วัน และ 100 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองแห้วทรงกระเทียม ที่ระยะเวลา 10 วันของการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.63 กรัมและ เพิ่มสูงสุดที่ 100 วันของการทดลองคือเท่ากับ 7.38 กรัม โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าพืชชนิดอื่น ๆที่ใช้ในการทดลอง การเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของบ่อทดลอง และบ่อควบคุมแห้วทรงกระเทียมที่ระยะเวลา 10 วัน 50 วัน และ 100 วันของการทดลอง (รูปที่ 4.15) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 2.63, 3.80 และ7.38 กรัมในบ่อทดลอง และมีค่าเท่ากับ 1.81, 4.13 และ 7.52 กรัมในบ่อควบคุมพืช (ตาราง 4.11)

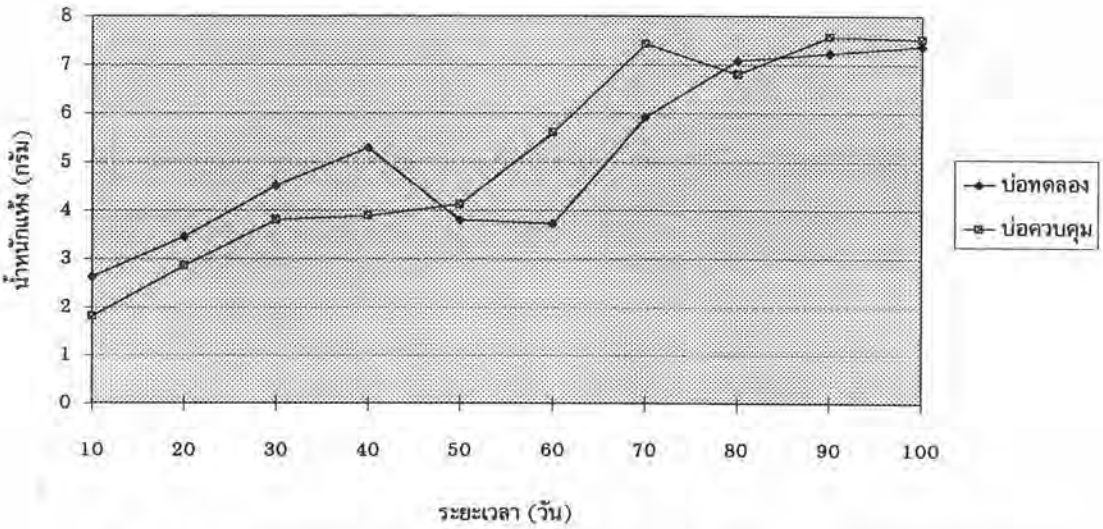
3. ความสูง (Height)

บ่อทดลองกกกลม ความสูงของกกกลมในบ่อทดลองที่ระยะ 10 วันแรกของการทดลองเท่ากับ 111.75 เซนติเมตร และเพิ่มสูงขึ้นถึง 161.50 เซนติเมตร ที่ 100 วันของการทดลอง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของส่วนสูงของกกกลมก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของกกกลมที่เพิ่มขึ้นตามเวลาในระยะ 50 วันแรกของการทดลอง จนมีความสูงเฉลี่ยถึง 125.75 เซนติเมตร และลดลงเหลือ 91.50 เซนติเมตร ในวันที่ 60 ของการทดลอง เนื่องจากมีโรคราดำทำลายยอดทำให้ยอดแห้งเหี่ยว หลังจากนั้นเมื่อฉีดป้องกันโรคราดำแล้ว ความสูงก็เริ่มเพิ่มขึ้นใหม่อีกครั้ง จนมีค่าสูงสุดที่ 161.50 เซนติเมตร ดังกล่าวมาแล้ว (ตารางที่ 4.14)

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความสูงของบ่อกกกลมที่ใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียกับบ่อควบคุมกกกลม เมื่อพิจารณารวมตลอดทั้งการทดลอง 100 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อแยกพิจารณาเป็นช่วง ๆคือ 10 วัน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 111.75 และ 126.50 เซนติเมตร ในบ่อทดลอง และบ่อควบคุม ซึ่งเมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ในช่วงระยะเวลา 50 วันและ100 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 125.75 และ 161.50 เซนติเมตร ในบ่อทดลอง และมีค่าเท่ากับ 129.50 และ 165.75 เซนติเมตร ในบ่อควบคุมนั้น เมื่อทำการทดสอบทางสถิติปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งระหว่างต้นอ้อในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



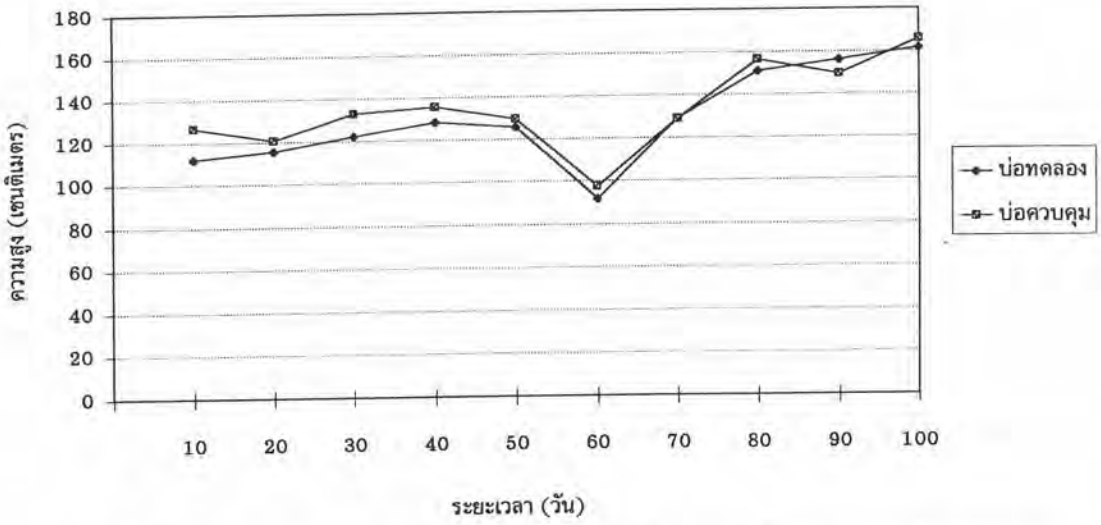
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งระหว่างต้นแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

ตารางที่ 4.13 แสดงการเติบโตของกกกลมโดยศึกษาจากความสูงในบ่อทดลองตลอดระยะการทดลอง

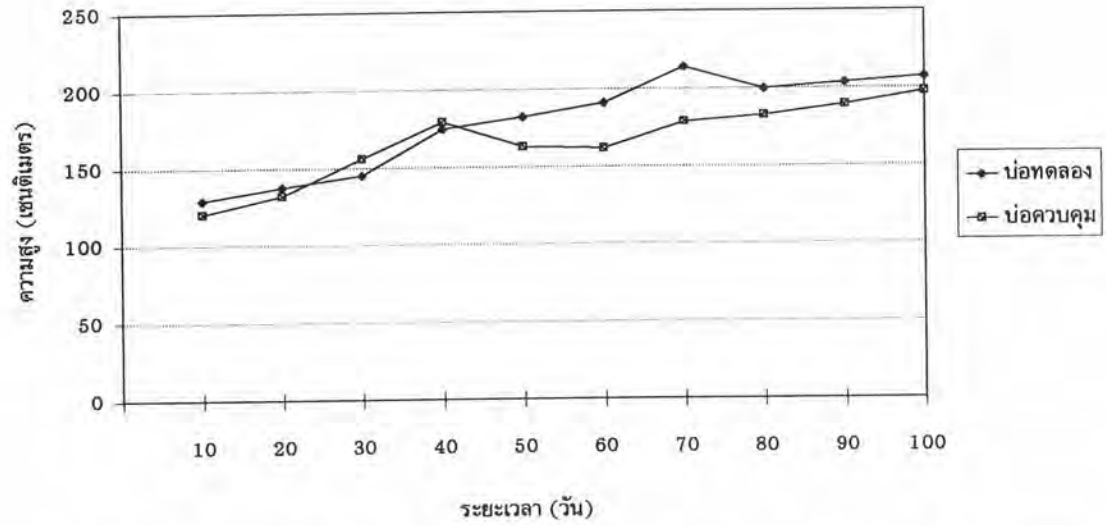
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	111.75 ± 4.10
20	115.33 ± 11.39
30	122.00 ± 10.12
40	128.25 ± 7.13
50	125.75 ± 5.84
60	91.50 ± 8.75
70	129.00 ± 6.72
80	150.92 ± 14.82
90	156.00 ± 8.73
100	161.50 ± 7.48

ตารางที่ 4.14 แสดงการเติบโตด้านความสูงของกกกลมในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	111.75 ± 4.10	126.50 ± 4.95
50	125.75 ± 5.84	129.50 ± 2.83
100	161.50 ± 7.48	165.75 ± 13.08



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความสูงระหว่างต้นกกกลมในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความสูงระหว่างต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม

บ่อทดลองธูปฤาษี จากการศึกษาพบว่าค่าความสูงเฉลี่ยของธูปฤาษีที่ 10 วันแรก เท่ากับ 129.00 เซนติเมตร และเท่ากับ 207.20 เซนติเมตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุดที่ 70 วัน คือเท่ากับ 213.63 เซนติเมตร จะเห็นว่าค่าความสูงเฉลี่ยของต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองช่วงหลังการทดลองผ่านไป 60 วัน จะมีค่าเฉลี่ยความสูงที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าช่วง 60 วันแรกของการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากต้นธูปฤาษีเจริญเติบโตถึงความสูงสูงสุดที่สามารถเจริญเติบโตได้ สังเกตจากการเริ่มออกดอก การเจริญเติบโตด้านความสูงลดลงเปลี่ยนมาเพิ่มทางด้านความกว้างมากขึ้น หรือมีการเกิดต้นใหม่ (new shoot) ขึ้นมาข้าง ๆบริเวณส่วนคล้ายราก (rhizome) ของต้นเดิม

เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบความสูงของต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองเทียบกับบ่อควบคุมที่ระยะเวลาทดลอง 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยของความสูงเท่ากับ 129 เซนติเมตร 182.08 เซนติเมตร และ 207.20 เซนติเมตร ในบ่อทดลอง และในบ่อควบคุมเท่ากับ 120 เซนติเมตร 163 เซนติเมตร และ 197.50 เซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยความสูงของธูปฤาษีในบ่อทั้งสอง เมื่อนำมาทดสอบด้วยสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองอ้อ ในการทดลองเพื่อศึกษาความสูงของอ้อในบ่อทดลองเป็นระยะเวลา 100 วัน (ตารางที่ 4.17) พบว่าต้นอ้อมีค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุดที่ 100 วันคือเท่ากับ 127.08 เซนติเมตร โดยความสูงที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองนั้นจะน้อยกว่ากกกลมและธูปฤาษี เนื่องจากต้นอ้อมีการแตกกิ่งออกมาจากตาแต่พืชอื่น ๆ ในการทดลองไม่มี และเมื่อเปรียบเทียบการเติบโตของต้นอ้อระหว่างบ่อทดลอง และบ่อควบคุมที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ 10 วัน 50 วันและ 100 วันพบว่า ค่าความสูงเฉลี่ยที่ 3 ช่วงเวลาดังกล่าว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บ่อทดลองแห้วทรงกระเทียม การศึกษาการเติบโตด้านความสูงของต้นแห้วทรงกระเทียม พบว่า มีค่าต่ำสุดที่ 10 วันของการทดลองคือเท่ากับ 62.83 เซนติเมตร และวัดได้สูงสุดที่ระยะ 60 วันของการทดลองคือเท่ากับ 96.08 เซนติเมตร และค่าที่วัดได้ ณ วันสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 76.23 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบการเติบโตทางด้านความสูงของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่า แห้วทรงกระเทียมมีการเติบโตทางด้านความสูงน้อยที่สุดในบรรดาพืชทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

การทดสอบค่าเฉลี่ยความสูงของแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลองเทียบกับบ่อควบคุมที่ระยะเวลา 10 วัน และ 100 วันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนที่ระยะ 50 วันของการทดลองพบว่ามีความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทาง

ตารางที่ 4.15 แสดงการเติบโตของธูปฤาษี โดยศึกษาจากความสูง ในบ่อทดลองตลอดระยะการทดลอง

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	129.00 ± 4.99
20	137.33 ± 21.82
30	145.00 ± 11.00
40	174.67 ± 15.60
50	182.08 ± 17.97
60	190.67 ± 8.45
70	213.83 ± 21.91
80	199.42 ± 2.94
90	203.33 ± 7.60
100	207.20 ± 11.31

ตารางที่ 4.16 แสดงการเติบโตด้านความสูงของธูปฤาษี ในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

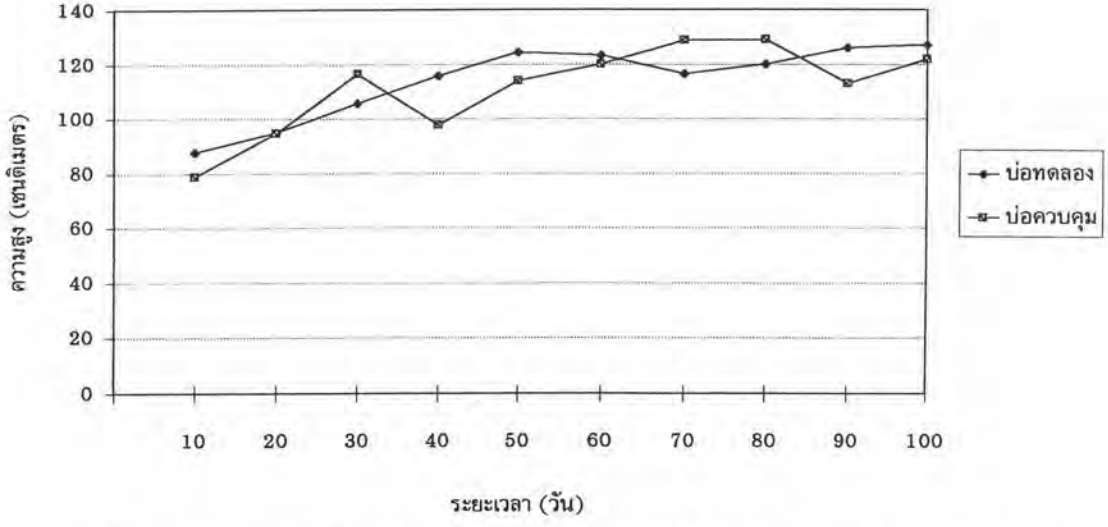
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	129.00 ± 4.99	120.00 ± 15.56
50	182.08 ± 17.97	163.00 ± 24.04
100	207.20 ± 11.31	197.50 ± 6.36

ตารางที่ 4.17 แสดงการเติบโตของอ้อ โดยศึกษาจากความสูง ในบ่อทดลองตลอดระยะการทดลอง

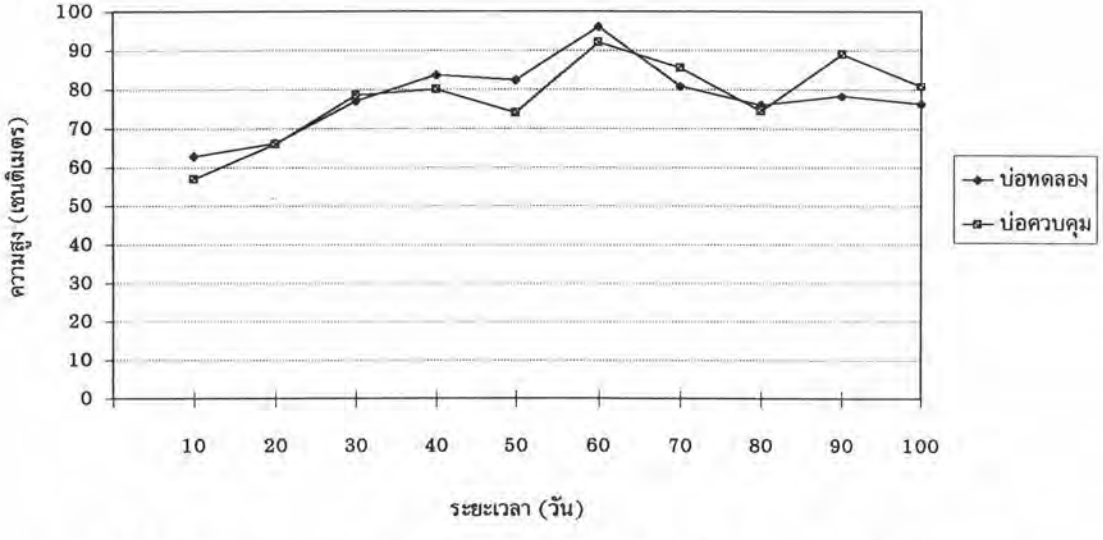
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	87.67 ± 2.96
20	94.83 ± 7.15
30	105.75 ± 12.58
40	115.83 ± 4.86
50	124.33 ± 10.47
60	123.25 ± 19.28
70	116.42 ± 15.69
80	119.92 ± 10.13
90	126.00 ± 9.32
100	127.08 ± 13.33

ตารางที่ 4.18 แสดงการเติบโตด้านความสูงของอ้อในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	87.67 ± 2.96	78.57 ± 14.50
50	124.33 ± 10.47	113.75 ± 2.47
100	127.08 ± 13.33	121.75 ± 11.67



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความสูงระหว่างต้นอ้อในบ่อทดลองกับบ่อควบคุม



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความสูงระหว่างต้นแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลอง กับบ่อควบคุม

ตารางที่ 4.19 แสดงการเติบโตของแห้วทรงกระเทียม โดยศึกษาจากความสูง ในบ่อทดลอง ตลอดระยะการทดลอง

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
10	62.83 ± 2.04
20	66.17 ± 8.14
30	77.00 ± 6.16
40	83.75 ± 10.07
50	82.29 ± 13.25
60	96.08 ± 4.69
70	80.75 ± 4.26
80	76.00 ± 4.47
90	78.25 ± 2.44
100	76.23 ± 4.26

ตารางที่ 4.20 แสดงการเติบโตด้านความสูงของแห้วทรงกระเทียม ในบ่อทดลอง เปรียบเทียบกับบ่อควบคุม

ระยะเวลาทดลอง (วัน)	ค่าเฉลี่ยความสูง (ซม.) /ต้น (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
10	62.83 ± 2.040	57.00 ± 2.83
50	82.29 ± 13.25	74.00 ± 1.41
100	76.23 ± 4.26	80.75 ± 8.13

สถิติ ที่ระดับ 0.05 คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.29 เซนติเมตรในบ่อทดลอง และ 74.00 เซนติเมตรในบ่อควบคุมพืช

จากการศึกษาการเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด คือ กกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียม โดยดูจากน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความสูง พบว่า พืชทั้ง 4 ชนิดสามารถเติบโตได้ในน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่ในช่วง 2.824-20.926 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพื่อทำการเปรียบเทียบการเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิดในบ่อทดลอง กับบ่อควบคุม พบว่า ค่าน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความสูงตลอดระยะเวลา 100 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาเป็นช่วง ๆ กล่าวคือ ที่ 10 วัน 50 วัน และ 100 วัน พบว่าค่าส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นค่าความสูงของกกกลม และของแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลอง และบ่อควบคุมที่ระยะ 50 วันของการทดลองที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การศึกษาการเจริญเติบโตของกกกลม ธูปฤาษี อ้อ และแห้วทรงกระเทียมในบ่อทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กับบ่อควบคุมพืช สอดคล้องกับการศึกษาของ Thayalakumaran (1994) ในการทดลองบำบัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะปนกับน้ำเสียชุมชนโดยใช้ธูปฤาษี ซึ่งพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นธูปฤาษีในบ่อทดลองและบ่อควบคุมหลังจากการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนการเติบโตของพืชน้ำที่ทดลองใช้ในการบำบัดโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Muramoto และ Oki (1983) และ Sinha และ Chandra (1990)

อัตราการอยู่รอด

เนื่องจากในการศึกษาทดลองเมื่อเริ่มต้นพืชทุกบ่อเริ่มต้นด้วยพืชจำนวน 570 ต้นต่อบ่อทดลอง และตัวอย่างพืชที่เก็บในแต่ละครั้งจนสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 100 วัน พืชทุกต้นมีชีวิตและเติบโตได้ ไม่พบพืชที่ตายเนื่องจากน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนเลยดังนั้นอัตราการอยู่รอดของพืชจึงเป็นร้อยละ 100

นอกจากนั้นพืชในบ่อทดลองทุกบ่อไม่ได้แสดงอาการใบชีดและหงิกงอ เนื่องจากพิษของโครเมียม มีเพียงต้นธูปฤาษีที่ปลายใบเหี่ยวแห้ง แต่เป็นลักษณะปกติที่เกิดขึ้นกับต้นธูปฤาษีทั่ว ๆ ไป ซึ่งลักษณะเช่นเดียวกันนี้ก็พบในบ่อควบคุมธูปฤาษี ส่วนบ่อกกกลมนั้นแม้จะเกิดโรคราดำทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุม แต่อาการที่เกิดขึ้นเป็นเพียงเฉพาะส่วนปลายยอดและช่อดอกที่แห้งเหี่ยวเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ทำให้กกกลมตาย