บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาระยะการทดลองขั้นต้น

4.1.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ (น้ำเข้า)

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองขั้นต้นเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ ซึ่งได้ทำการได้รับให้แก่ทุกชุดทดลอง 2 ครั้ง คือในวันที่ 1 และ ในวันที่ 60 โดยทำการได้รับครั้งละ 750 มิลลิลิตรต่อชุดทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียทั้ง 2 ครั้งพบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เติมให้แก่ชุดทดลองในการทดลองขั้นต้น (น้ำเข้า)

พารามิเตอร์	ครั้งที่	น้ำเสีย 100 %	น้ำเสีย 50 %	น้ำเสีย 25 %	น้ำประปา
pH	1	7.98	7.79	7.77	7.63
	2	7.30	7.28	7.25	6.87
Temperature	1	33.3	33.5	33.4	33.8
(°C)	2	30.0	30.0	30.3	30.1
Conductivity	1	1,407.8	1,426.2	1,357.6	1,364.1
(μs/cm)	2	1,425.3	1,524.4	1,421.7	1,352.8
Chromium	1	125.45	63.36	31.20	0.00
(ppm)	2	130.55	63.37	32.52	0.00

สมบัติของน้ำเสีย(น้ำเข้า)ครั้งที่ 1 ค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% น้ำเสียโครเมียม 25% และน้ำประปา พบว่ามีค่าเท่ากับ 7.98, 7.79, 7.77 และ 7.63 ตามลำดับ ค่าความนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 1,407.8, 1,426.2, 1,357.6 และ 1,364.1 μs/cm ตามลำดับ ปริมาณโครเมียม มีค่าเท่ากับ 125.45, 63.36, 31.20 และ 0.00 ppm ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และสมบัติของน้ำเสีย (น้ำเข้า) ครั้งที่ 2 ค่าความเป็นกรด – ด่างของ

น้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% น้ำเสียโครเมียม 25% และน้ำประปา พบว่ามีค่าเท่ากับ 7.30, 7.28, 7.25 และ 6.87 ตามลำดับ ค่าความนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 1,425.3, 1,524.4, 1,421.7 และ 1,352.8 μs/cm ตามลำดับ ปริมาณโครเมียม มีค่าเท่ากับ 130.55, 63.37, 32.52 และ 0.00 ppm ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 4.1

4.1.2 ลักษณะดินก่อนและหลังทำการทดลอง

ลักษณะสมบัติของดินก่อนการทดลองขั้นต้น พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.25 ค่าความพรุนเท่ากับ 0.33 ค่าสภาพนำน้ำอยู่ในช่วงระหว่าง 22.98 mm/hr มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ประกอบด้วยปริมาณทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ในสัดส่วนทรายเท่ากับ 67.8 % ทรายแป้งเท่ากับ 21.5 % ดินเหนียวเท่ากับ 10.7 % มีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 177.65 กรัม ค่าอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9199 % ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.2177 ppm ค่าซัลเฟตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.0919 ppm และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ยเท่ากับ 15.0 meq./100 กรัม ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ลักษณะสมบัติของดินหลังทำการทดลองขั้นต้นพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความพรุน สภาพเนื้อดิน และ ค่าความหนาแน่นรวมไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากสมบัติของดินก่อนการทดลองขั้นต้น ส่วนค่าสภาพนำน้ำพบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อยซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.91 mm/hr อาจเนื่องมาจากอนุภาคดินเกิดการกัดกร่อนระหว่างการทดลองทำให้ค่าสภาพนำน้ำลดลงเล็กน้อย ค่าอินทรีย์วัตถุในดินหลังทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8672 % ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.4376 ppm ค่าซัลเฟตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2370 ppm และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ยเท่ากับ 17.14 meq./100 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับสมบัติของดินก่อนการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองขั้นต้น

พารามิเตอร์	ระยะ	ผลการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	ก่อนทดลอง	7.25 ± 0.53
	หลังทดลอง	7.25 ± 0.53
ความพรุน	ก่อนทดลอง	0.33
	หลังทดลอง	0.33
สภาพนำน้ำ (hydraulic conductivity)	ก่อนทดลอง	22.98 ± 1.26
(mm/hr)	หลังทดลอง	22.91 ± 1.16
เนื้อดิน	ก่อนทดลอง	sandy loam
	หลังทดลอง	sandy loam
ปริมาณ sand %, silt %, clay%	ก่อนทดลอง	67.8%, 21.5%, 10.7%
	หลังทดลอง	67.8%, 21.5%, 10.7%
ความหนาแน่นรวม (g)	ก่อนทดลอง	177.67
	หลังทดลอง	177.67
อินทรีย์วัตถุในดิน (%)	ก่อนทดลอง	0.9199 ± 0.1019
	หลังทดลอง	0.8672 ± 0.2110
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	ก่อนทดลอง	13.2177 ± 2.8256
	หลังทดลอง	13.4376 ± 0.8764
ซัลเฟต (ppm)	ก่อนทดลอง	1.0919 ± 0.1718
	หลังทดลอง	1.2370 ± 0.3393
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ก่อนทดลอง	15.00 ± 0.02
(meq/100g)	หลังทดลอง	17.14 ± 0.04

4.1.3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียหลังผ่านชุดทดลอง (น้ำออก)

4.1.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ผ่านชุดทดลองขั้นต้น (น้ำออก) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.39 - 7.56 โดยน้ำเสียชุดทดลองควบคุมไม่ปลูกพืชซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยสูงสุดคือ 7.56 ส่วนชุดทดลองควบคุมไม่ปลูกพืชที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% และ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.46 และ 7.40 ตามลำดับ สำหรับชุดทดลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.39, 7.50 และ 7.43 ตามลำดับ

ส่วนชุดทดลองหญ้าแฝกมีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.42, 7.52 และ 7.46 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเข้าและออกจากชุดทดลองต่างๆ มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และจากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ได้รับให้แก่ทุกชุดทดลอง พบว่า อยู่ในช่วงที่เป็นกลางเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืชได้ดี กล่าวคือ ไม่เกินช่วง 6.5-8.4 (FAO, 1985) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ออกจากชุดทดลองต่างๆนั้น พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมทั่วไปและเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ รายละเอียดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำออกจากชุดทดลองต่างๆในการทดลองขั้นต้น

pH	หญ้าแฝกไม่ตัดใบ			หญ้าแฝกตัดใบ			ควบคุมไม่ปลูกพืช		
	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%
ค่าสูงสุด	8.01	8.25	7.90	8.07	8.15	8.12	7.02	8.02	8.02
ค่าต่ำสุด	7.01	7.02	7.05	7.05	7.02	7.05	8.02	7.02	7.08
ค่าเฉลี่ย	7.43±0.29	7.50±0.36	7.39±0.28	7.46±0.30	7.52±0.29	7.42±0.29	7.46±0.34	7.56±0.30	7.40±0.19

4.1.3.2 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านการทดลองขั้นต้น (น้ำออก) เมื่อทำการวิเคราะห์ พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียที่ผ่านจากทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำเสียทุกชุดการทดลองอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน จึงทำให้มีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.0 องศาเซลเซียส รายละเอียดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำออกจากชุดทดลองต่างๆในการทดลองขั้นต้น

temp. (°C)	หญ้าแฝกไม่ตัดใบ			หญ้าแฝกตัดใบ			ควบคุมไม่ปลูกพืช		
	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%
ค่าสูงสุด	30.4	30.5	30.5	30.4	30.4	30.6	30.4	30.4	30.2
ค่าต่ำสุด	29.5	29.6	29.5	29.5	29.5	29.6	29.6	29.5	29.4
ค่าเฉลี่ย	30.0±0.3	30.0±0.3	30.0±0.3	30.0±0.3	30.0±0.3	30.0 ±0.3	30.0±0.3	30.0±0.3	30.0±0.3

4.1.3.3 ค่าความนำไฟฟ้า (conductivity)

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียที่ผ่านการทดลองขั้นต้น (น้ำออก) พบว่า ชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,397.7 1,399.5 และ 1,427.7 µS/cm ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,398.6 1,407.9 และ 1,394.7 µS/cm ตามลำดับ ส่วนในชุดทดลองควบคุมที่ไม่ปลูกพืชซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,407.8 1,425.3 และ 1,508.0 µS/cm ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเข้าจะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับน้ำออกทุกชุดทดลอง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำออกจากชุดทดลองต่างๆในการทดลองขั้นต้น

conductivity (µs/cm)	หญ้าแฝกไม่ตัดใบ			หญ้าแฝกตัดใบ			ควบคุมไม่ปลูกพืช		
	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%	น้ำเสีย 100%	น้ำเสีย 50%	น้ำเสีย 25%
ค่าสูงสุด	1,544.4	1,557.4	1,485.9	1,500.2	1,557.4	1,469.0	1,508.0	1,565.2	1,502.8
ค่าต่ำสุด	1,302.6	1,331.2	1,313.0	1,332.5	1,314.3	1,332.5	1,313.0	1,302.6	1,329.9
ค่าเฉลี่ย	1,427.7	1,399.5	1,397.7	1,394.7	1,407.9	1,398.6	1,412.0	1,425.3	1,407.8
	±61.4	±57.3	±47.2	±51.6	±56.7	±42.5	±50.1	±71.0	±46.1

4.1.4 การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก

4.1.4.1 ลักษณะทั่วไปของหญ้าแฝก

การเจริญเติบโตของหญ้าแฝกในชุดทดลองทั้งที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบตลอดระยะเวลาการทดลองขั้นต้น 120 วันพบลักษณะการเจริญเติบโตทั่วไป ดังนี้ ในระยะเวลาการทดลอง 5 วันแรกของการทดลองหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตไม่ดี คือ มีลักษณะใบเหลืองแห้ง และมีการเพิ่มความสูงเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.3–1.0 เซนติเมตร โดยชุดทดลองหญ้าแฝกซึ่งไม่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีการเจริญเติบโตสูงสุด และชุดทดลองหญ้าแฝกซึ่งไม่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าการเจริญเติบโตต่ำสุด เมื่อทำการทดลองต่อเป็นเวลา 120 วัน พบว่า หญ้าแฝกมีการปรับตัวให้สามารถทนต่อสภาพการปนเปื้อนของโครเมียมได้ โดยมีลักษณะใบยาว มีสีเขียวเข้มขึ้น และเพิ่มความสูงมากขึ้นเป็นลำดับ มีระบบรากเป็นรากฝอย

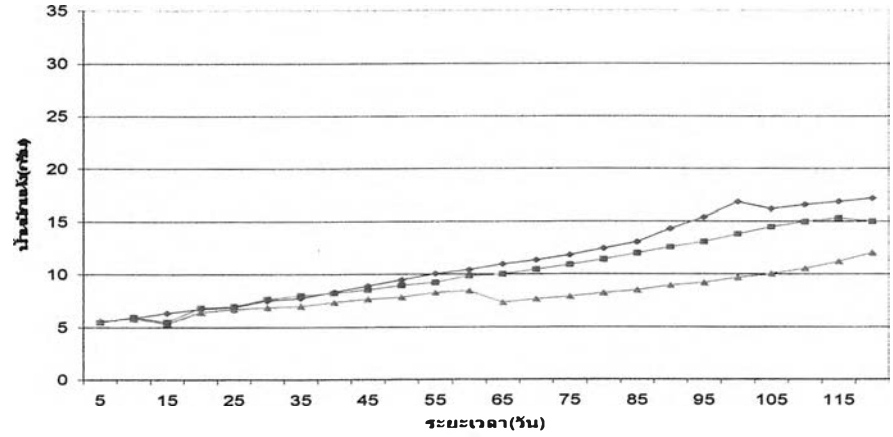
ขนาดเล็กแตกแขนงออกจากเส้นใหญ่ และเจริญขดแน่น โดยสามารถสังเกตุพบรากหญ้าแฝกหยั่งลึกลงสู่ก้นภาชนะได้ ณ วันที่ 10 ความสามารถในการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกทั้งที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบที่ปลูกในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นโครเมียมต่างๆ กัน พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองที่ 120 วัน หญ้าแฝกทุกชุดทดลองสามารถเจริญเติบโตได้แตกต่างกันทั้งในด้านน้ำหนักแห้ง และความสูง ดังต่อไปนี้

4.1.4.2 น้ำหนักแห้ง (dry weight)

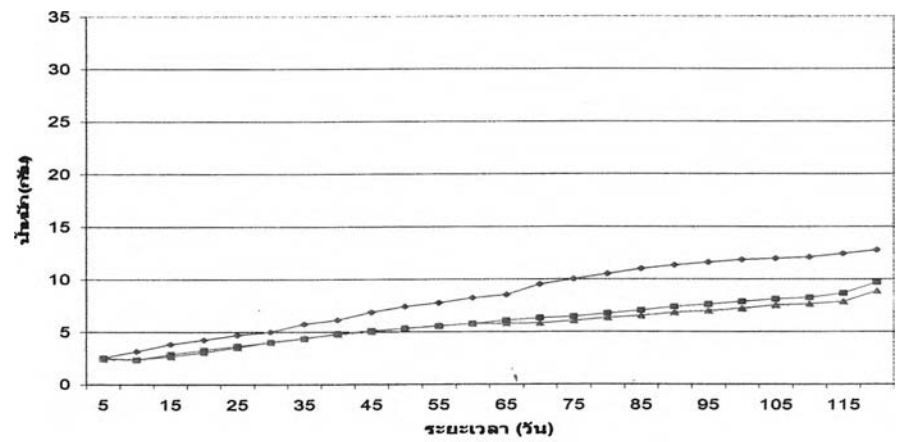
น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทำการศึกษาโดยการชั่งน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้งส่วนใบ และส่วนราก พบว่า เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งทั้งต้นของหญ้าแฝกในชุดทดลองที่ไม่มีการตัดใบ ส่วนใหญ่มีการเพิ่มน้ำหนักแห้งตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเริ่มต้นที่ระยะเวลา 5 วันแรกของการทดลองในชุดทดลองต่างๆ ได้แก่ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเท่ากับ 8.07, 7.98 และ 8.07 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลาการทดลอง 120 วัน ในชุดการทดลองต่างๆ ได้แก่ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเท่ากับ 20.93, 24.71 และ 29.95 กรัม ตามลำดับ โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของ ณ วันที่ 120 เท่ากับ 29.95 กรัม และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าน้ำหนักแห้งต่ำสุดของ ณ วันที่ 5 เท่ากับ 7.98 กรัม และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติ พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ กันมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกทางด้านน้ำหนักแห้ง ทำให้น้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) น้ำหนักแห้งรวม และ น้ำหนักรากของหญ้าแฝกกลุ่มชุดทดลองที่ไม่ตัดใบและได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 100% มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) กับชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% ส่วนน้ำหนักแห้งของใบของหญ้าแฝกพบว่าชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีน้ำหนักแห้งใบเฉลี่ยน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) กับชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% และ น้ำเสียโครเมียม 50%

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งรวมของหญ้าแฝกในชุดทดลองที่มีการตัดใบ ณ วันที่ 60 ส่วนใหญ่มีการเพิ่มน้ำหนักแห้งตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งเริ่มต้นที่ระยะเวลา 5 วันแรกของการทดลองในชุดทดลองต่างๆ ได้แก่ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% พบว่า มีค่าเท่ากับ 7.77, 7.52 และ 7.78 กรัม ตามลำดับ และน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลาการทดลอง

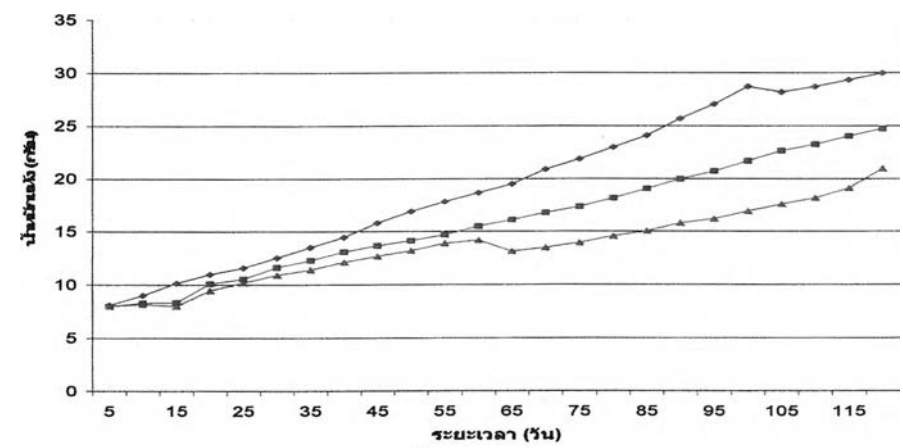
120 วัน ในชุดทดลองต่างๆได้แก่ ชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าเท่ากับ 29.14, 24.68 และ 20.24 กรัม ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2



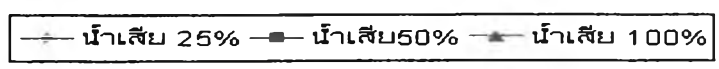
(ก) น้ำหนักต้น



(ข) น้ำหนักราก



(ค) น้ำหนักรวม

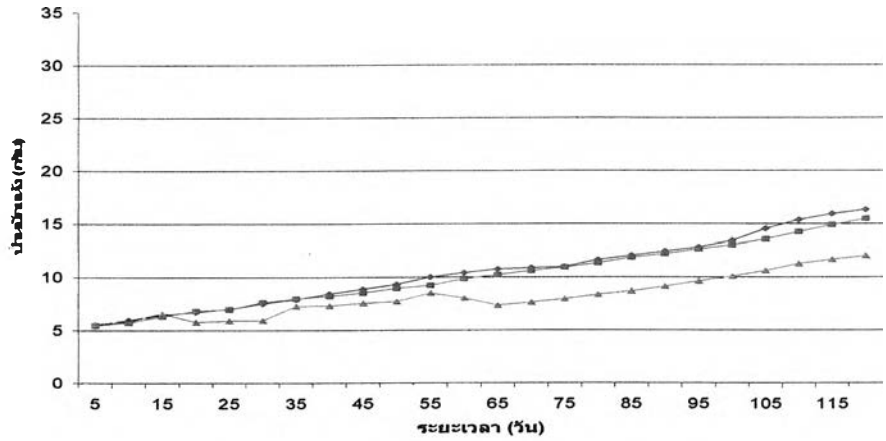


รูปที่ 4.1 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกซึ่งไม่มีการดัดใบที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างๆตลอดระยะเวลาการทดลอง

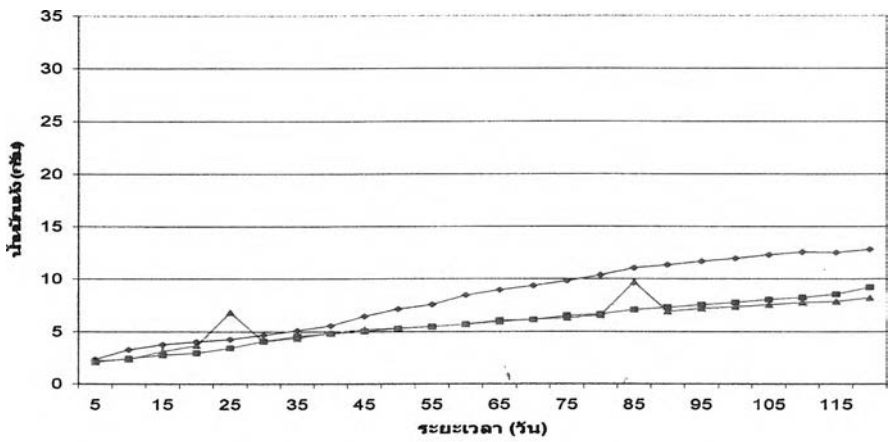
จากน้ำหนักแห้งระยะเวลาการทดลอง 120 วัน พบว่า ชุดทดลองน้ำเสียโครเมียม 25% มีการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกสูงสุด โดยชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของ ณ วันที่ 120 มีค่าเท่ากับ 29.14 กรัม และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าน้ำหนักแห้งต่ำสุดของ ณ วันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 7.52 กรัม จากผลการศึกษาสามารถเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งระหว่างส่วนใบและส่วนรากของหญ้าแฝกซึ่งมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 พบว่า ตลอดระยะเวลาการทดลองน้ำหนักแห้งของส่วนใบมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของส่วนรากที่ทุกระดับความเข้มข้นน้ำเสีย ซึ่งน้ำหนักแห้งของทั้ง 2 ส่วนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้นเช่นเดียวกับแนวโน้มของหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ และยังพบอีกว่าความเข้มข้นของน้ำเสียต่างๆ กันมีผลต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกทางด้านน้ำหนักแห้ง ทำให้น้ำหนักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) ดังรูปที่ 4.2

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งของต้นและน้ำหนักแห้งของรากของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในระยะ 5 วันแรกของการทดลองไปจนถึงวันที่ 60 กล่าวคือ น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบมีค่าใกล้เคียงกันทุกส่วนไม่ว่าจะเป็นส่วนต้น ส่วนต้นหรือส่วนราก แต่หลังจากวันที่ 65 ไปจนถึงวันที่ 120 แนวโน้มน้ำหนักแห้งของส่วนต้นและส่วนรากเริ่มมีแนวโน้มในทิศทางที่ต่างกัน กล่าวคือ แนวโน้มน้ำหนักแห้งรวมของหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบ ซึ่งตรงข้ามกับแนวโน้มของส่วนต้น ที่มีแนวโน้มน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกไม่ตัดใบ และในส่วนของรากนั้น พบว่า น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.3

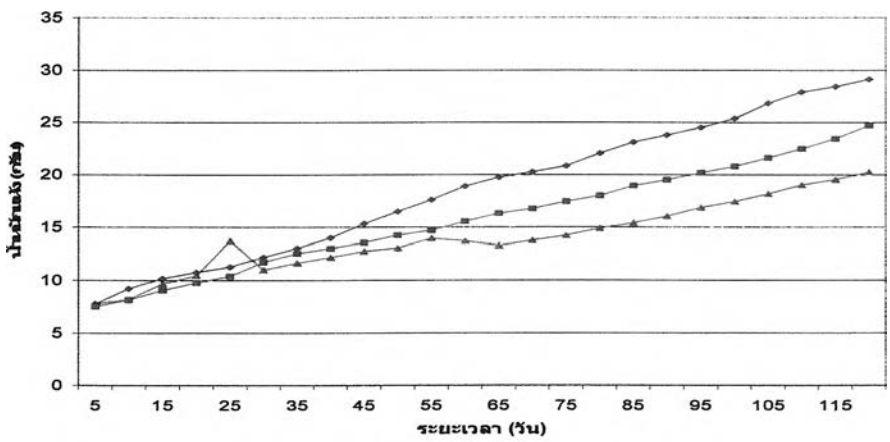
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งของต้นและน้ำหนักแห้งของรากของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% พบว่า น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้ง 3 ส่วนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน กล่าวคือ น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจากวันที่ 65 ไปจนถึงวันที่ 120 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.4



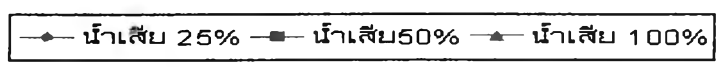
(ก) น้ำหนักต้น



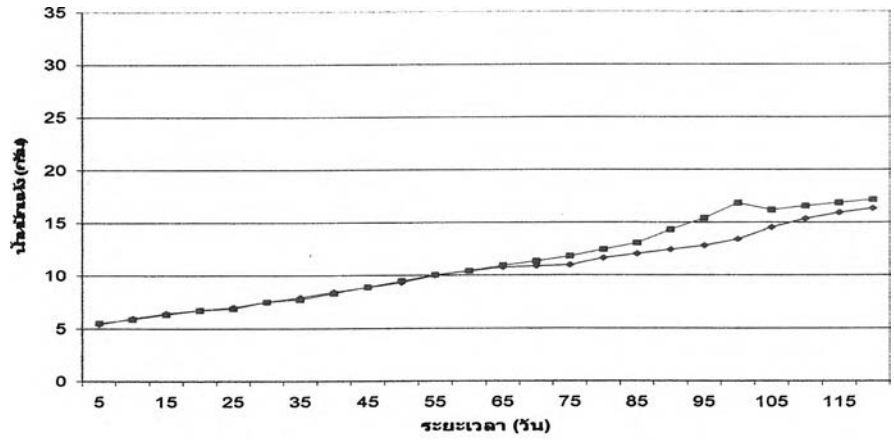
(ข) น้ำหนักราก



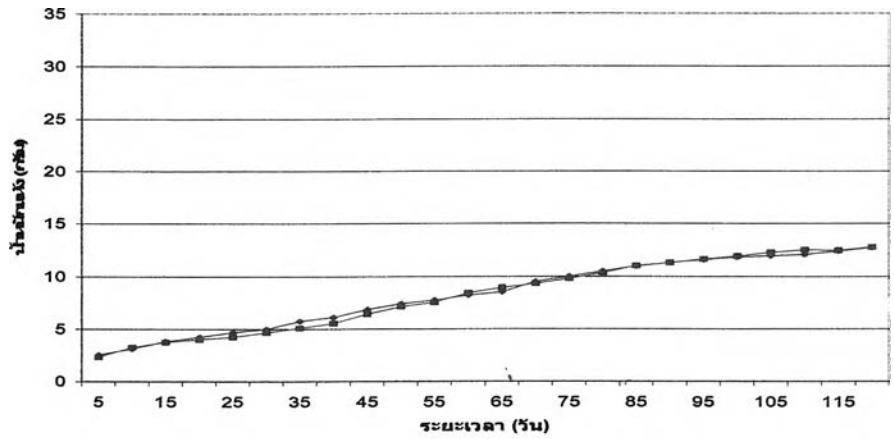
(ค) น้ำหนักรวม



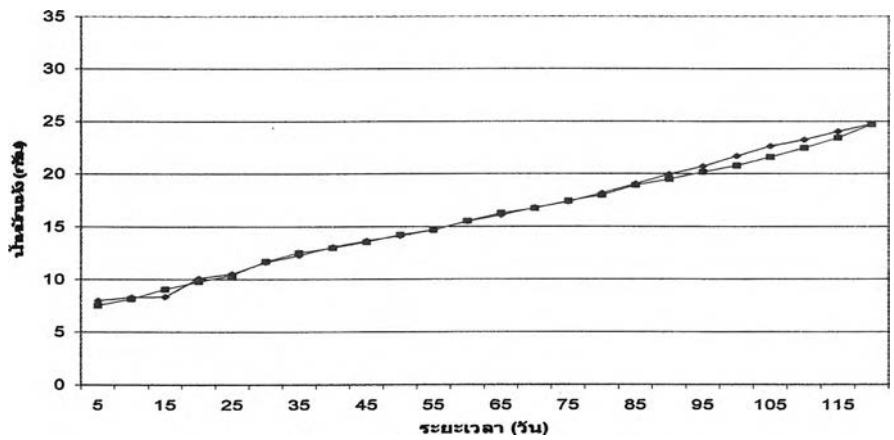
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแห้งรวม น้ำหนักแห้งของต้น และน้ำหนักแห้งของรากของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% พบว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้ง 3 ส่วนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน กล่าวคือ น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงวันที่ 85 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบมีค่าสูงกว่าน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำเสียโครเมียม 100 % น้ำเสียโครเมียม50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีผลต่อความสามารถในการเจริญเติบโตของหญ้าแฝก ซึ่งทำให้เมื่อทดลองตัดใบ ณ วันที่ 60 ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบหลังระยะเวลาการทดลองดังกล่าวมีค่าน้ำหนักแห้งลดลงกว่าชุดทดลองที่ไม่ตัดใบ ดังรูปที่ 4.5



(ก) น้ำหนักต้น



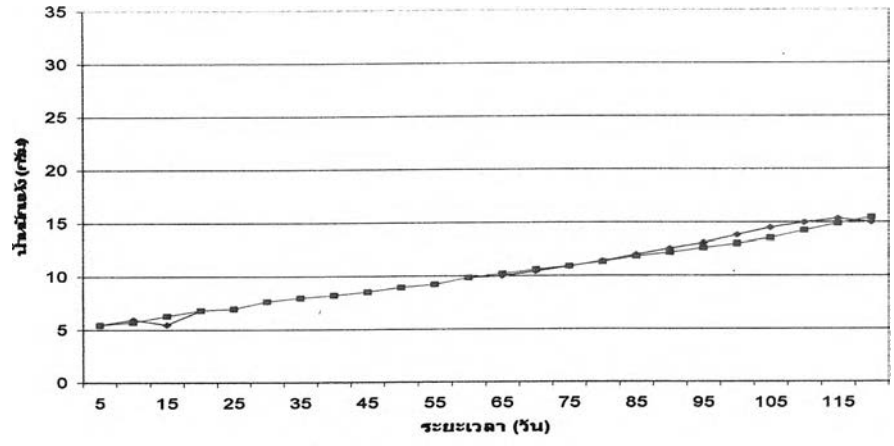
(ข) น้ำหนักราก



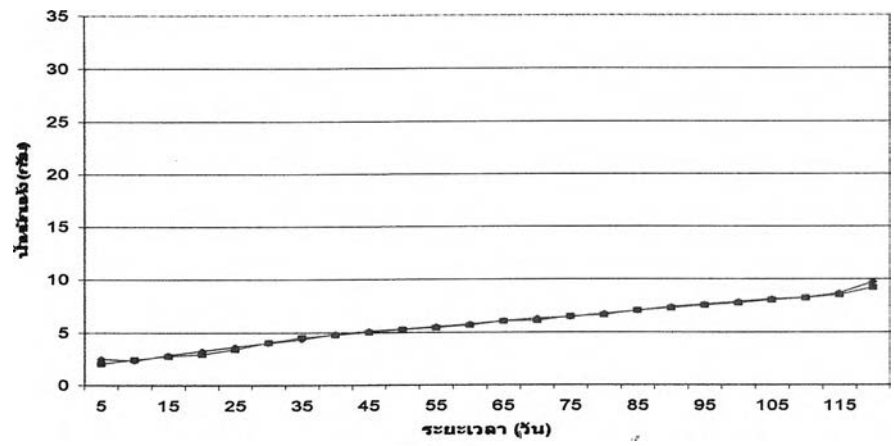
(ค) น้ำหนักรวม

รูปที่ 4.3 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 25%

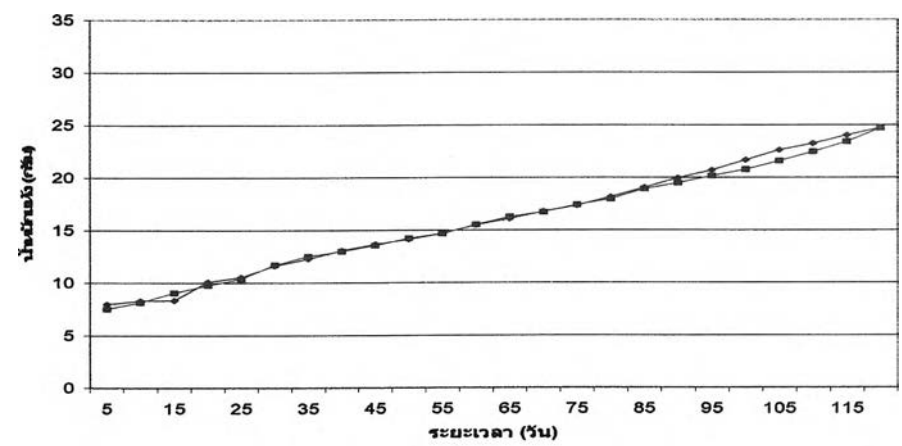
I22208215



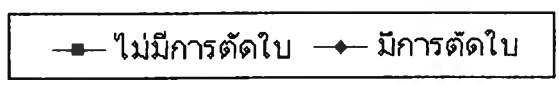
(ก) น้ำหนักต้น



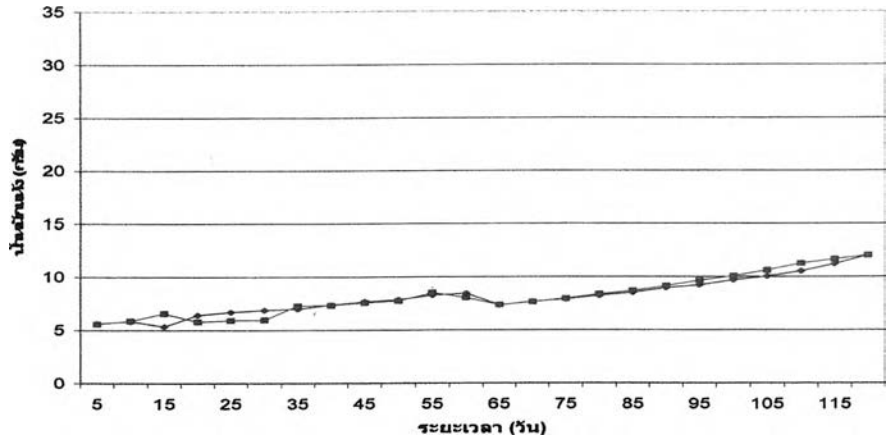
(ข) น้ำหนักราก



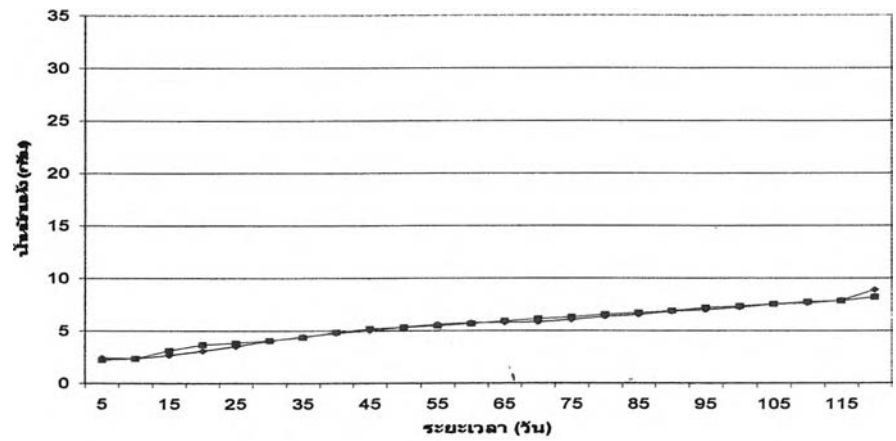
(ค) น้ำหนักรวม



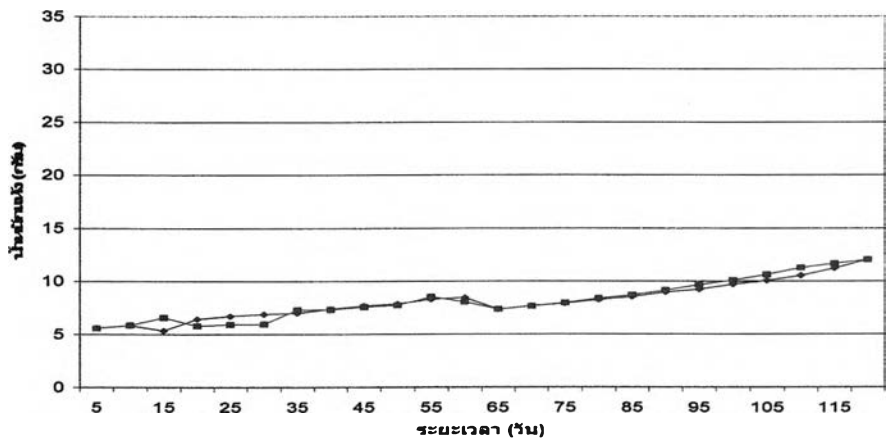
รูปที่ 4.4 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 50%



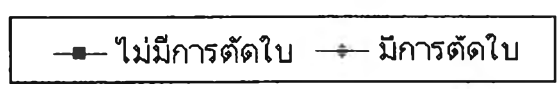
(ก) น้ำหนักต้น



(ข) น้ำหนักราก



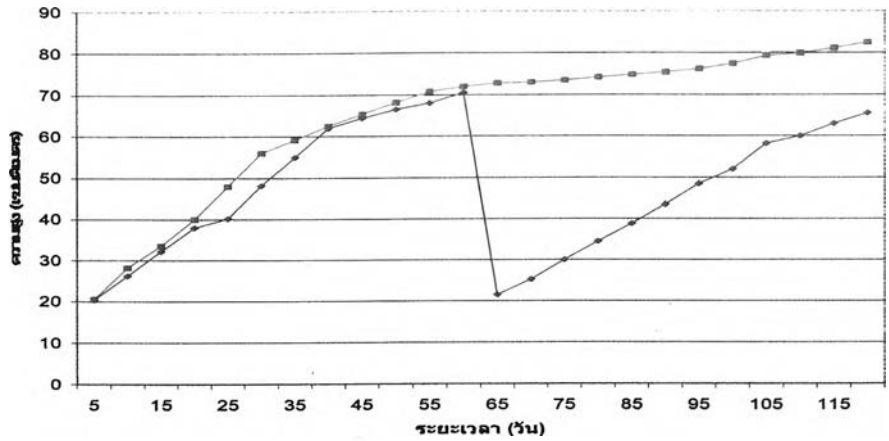
(ค) น้ำหนักรวม



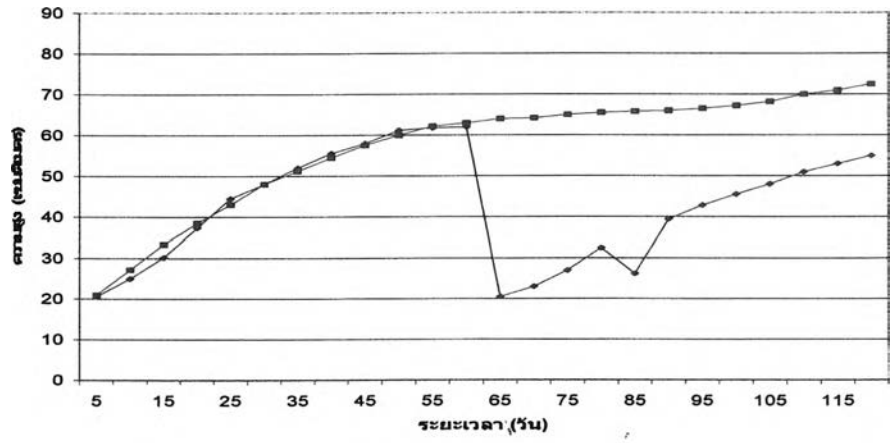
รูปที่ 4.5 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100%

4.1.4.3 ความสูง

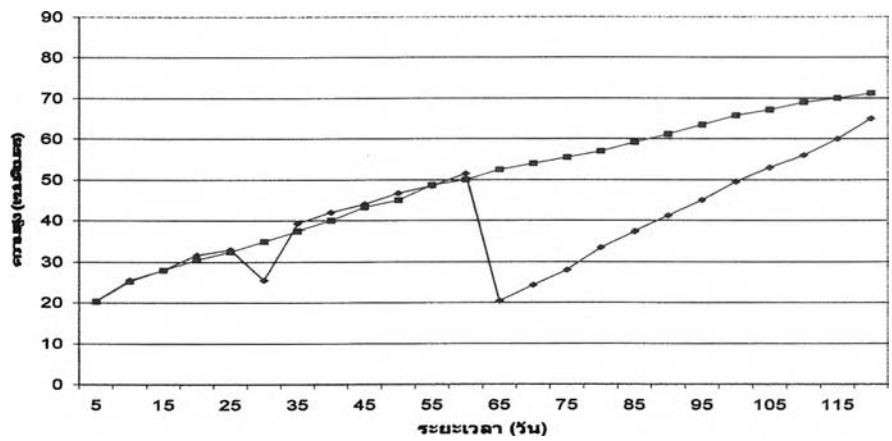
การวัดความสูงเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างๆ พบว่า หญ้าแฝกมีการเพิ่มความสูงตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มความสูงค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของความสูงเริ่มต้นที่ระยะเวลา 5 วันแรกของการทดลองในชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25 % มีความสูงเท่ากับ 20.5, 21.0 และ 20.3 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในชุดทดลองหญ้าแฝกที่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความสูงเท่ากับ 20.4, 20.6 และ 20.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า ในชุดทดลองหญ้าแฝกที่ตัดใบ และไม่ตัดใบมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วง 60 วันแรกใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากในระยะ 60 วันแรกยังไม่มีการตัดใบ ส่วนความสูงของหญ้าแฝก ณ วันที่ 60 พบว่า หญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความสูงเท่ากับ 72.0, 63.0 และ 50.0 เซนติเมตร ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความสูงเท่ากับ 70.5, 62.0 และ 51.5 เซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการศึกษา พบว่า น้ำเสียโครเมียมความเข้มข้นต่างๆ ส่งผลต่อความสูงของหญ้าแฝกอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าความสูงในช่วง 60 วันแรกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 72.0 เซนติเมตร ส่วนชุดทดลองหญ้าแฝกที่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% และชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าความสูงในช่วง 60 วันแรกต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.4 เซนติเมตร นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความสูงระหว่างหญ้าแฝกที่ตัดใบและหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียในระดับความเข้มข้นเดียวกันจะมีค่าความสูงใกล้เคียงกัน แต่หากเป็นน้ำเสียในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน พบว่า หญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบจะมีความสูงที่แตกต่างกันด้วย โดยที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียโครเมียม 100% มีความสูงมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียโครเมียม 50% และที่ระดับน้ำเสียโครเมียม 25% ตามลำดับ เนื่องจากหญ้าแฝกทั้งที่ไม่ตัดใบและตัดใบในชุดทดลองน้ำเสียโครเมียม 100% มีจำนวนหน่อต่อหน่วยทดลองน้อยที่สุด ส่งผลให้ความสูงหญ้าแฝกในแต่ละชุดทดลองเพิ่มความสูงได้รวดเร็วกว่า ชุดทดลองน้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% ที่มีจำนวนหน่อมากกว่า แต่ความสูงหญ้าแฝกในแต่ละชุดทดลองต่ำกว่า ตามลำดับดังรูปที่ 4.6



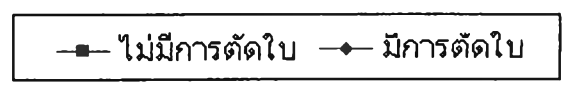
(ก) น้ำเสียโครเมียม 100%



(ข) น้ำเสียโครเมียม 50%



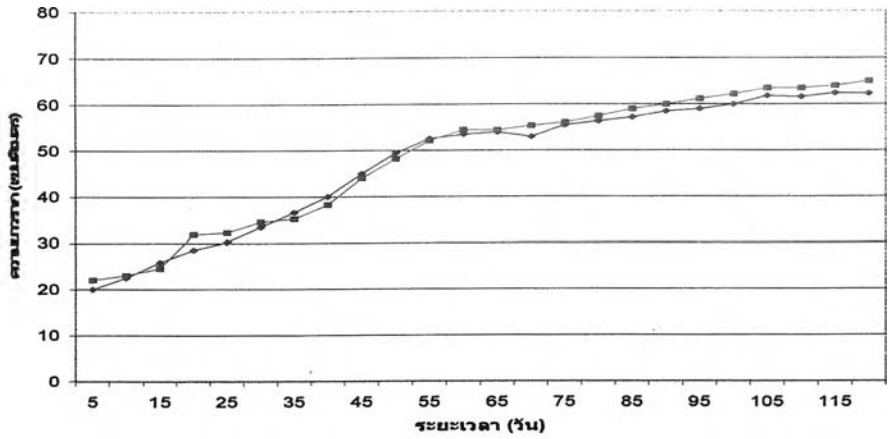
(ค) น้ำเสียโครเมียม 25%



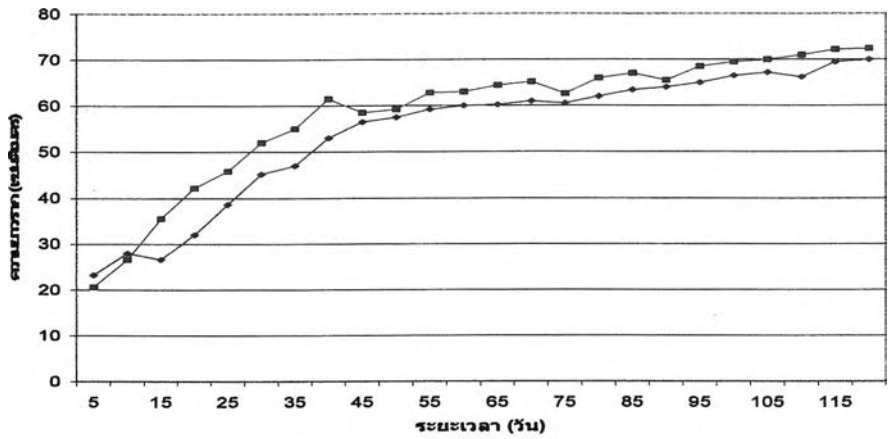
รูปที่ 4.6 ความสูงของหญ้าแฝกที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียอัตราส่วนต่างๆ

4.1.4.4 ความยาวราก

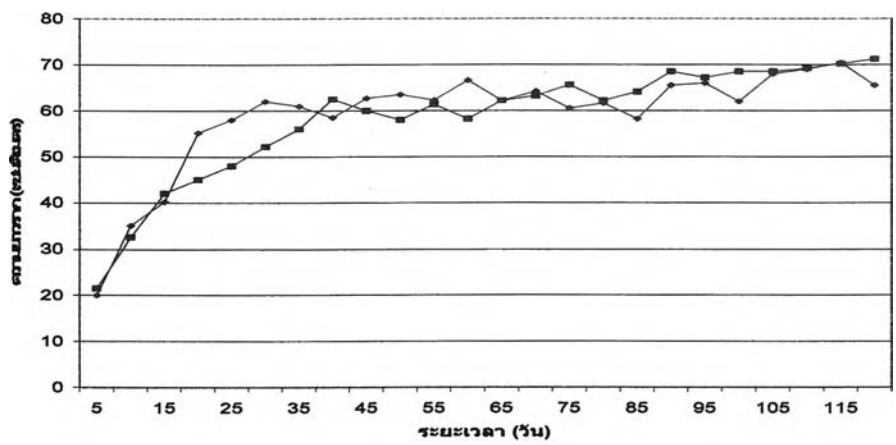
การวัดความยาวรากเปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลองที่ได้รับน้ำเสียความเข้มข้นต่างๆ พบว่า หญ้าแฝกมีการเพิ่มความยาวรากตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มความยาวรากค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทดลอง 120 วัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของความยาวรากเริ่มต้นที่ระยะเวลา 5 วันแรกของการทดลองในชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 22.0, 20.6 และ 20.0 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนในชุดทดลองหญ้าแฝกที่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 20.0, 23.2 และ 21.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวรากของหญ้าแฝก ณ วันที่ 60 พบว่าหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50 % และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 54.5, 63.0 และ 66.6 เซนติเมตร ตามลำดับ และหญ้าแฝกที่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 53.5, 60.0 และ 58.2 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าความยาวรากในช่วง 60 วันแรกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 66.6 เซนติเมตร ส่วนชุดทดลองหญ้าแฝกที่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าความยาวรากในช่วง 60 วันแรกต่ำสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 53.5 เซนติเมตร นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความยาวรากระหว่างหญ้าแฝกที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียในระดับความเข้มข้นเดียวกันจะมีค่าความยาวรากใกล้เคียงกัน และเมื่อระยะเวลาทดลอง 120 วัน ความยาวรากของหญ้าแฝกที่ไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50 % และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 65.0, 72.4 และ 65.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวรากของหญ้าแฝกที่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50 % และน้ำเสียโครเมียม 25% มีความยาวรากเท่ากับ 6.23, 70.0 และ 71.2 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่4.7



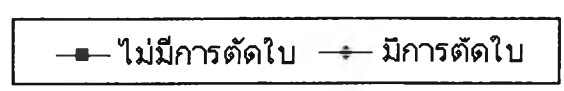
(ก) น้ำเสียโครเมียม 100%



(ข) น้ำเสียโครเมียม 50%



(ค) น้ำเสียโครเมียม 25%



รูปที่ 4.7 ความยาวรากของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียอัตราส่วนต่างๆ

4.1.4.5 ขนาดกอ

ชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% มีขนาดกอเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 8.6 ± 0.2, 9.0 ± 0.8 และ 12.4 ± 0.6 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ชุดทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% มีขนาดกอเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 8.0 ± 0.4, 8.1 ± 0.3 และ 12 .4 ± 0.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าขนาดกอของหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีขนาดกอเล็กกว่าหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% ตามลำดับ

4.1.4.6 จำนวนหน่อ

ชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% มีจำนวนหน่อเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 4.6 ± 0.4, 6.0 ± 0.2 และ 8.4 ± 0.2 หน่อจากตามลำดับ ชุดทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% น้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% มีจำนวนหน่อเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 5.4 ± 0.4, 6.4 ± 0.2 และ 8.4 ± 0.4 หน่อตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า หญ้าแฝกที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีจำนวนหน่อน้อยกว่าหญ้าแฝกที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% และ น้ำเสียโครเมียม 25% ตามลำดับ

4.1.5 ค่าสมการอันดับหนึ่ง (first order)

4.1.5.1 ค่าการสะสมโครเมียมในใบหญ้าแฝก

ปริมาณโครเมียมที่สะสมในใบของหญ้าแฝกทั้งที่ตัดใบและไม่ตัดใบ พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.6

สำหรับชุดการทดลองที่ใส่น้ำเสียโครเมียม 100% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในใบของหญ้าแฝก มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งในประเภทที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบ กล่าวคือ ในประเภทที่ไม่มีการตัดใบ โดยในวันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 2.45 ppm และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกทุก 5 วัน จนถึงวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลอง โครเมียมที่พบในใบหญ้าแฝกมีค่า 3.50 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% ปริมาณโครเมียมในใบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น ปริมาณโครเมียมในใบ ณ วันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 4.03 ppm

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโครเมียมที่สะสมในใบหญ้าแฝกในการทดลองขั้นต้น

จำนวนวัน (วัน)	ปริมาณโครเมียมในใบ (ppm)					
	หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ			หญ้าแฝกที่มีการตัดใบ		
	น้ำเสียโครเมียม 25%	น้ำเสียโครเมียม 50%	น้ำเสีย 100 %	น้ำเสียโครเมียม 25%	น้ำเสียโครเมียม 50%	น้ำเสีย 100 %
5	1.53	0.55	2.45	1.45	0.45	2.65
10	1.66	1.63	2.62	1.65	1.62	2.53
15	1.42	1.41	2.48	1.48	1.48	2.44
20	2.47	2.48	2.64	2.54	2.64	2.38
25	2.35	2.25	2.47	2.37	2.47	2.35
30	2.62	2.72	2.92	2.32	2.92	2.82
35	2.68	2.88	2.85	2.65	2.85	2.98
40	2.56	2.26	3.50	2.80	2.56	3.26
45	2.86	2.36	3.50	3.20	2.55	3.46
50	2.65	2.68	3.51	3.13	2.58	3.58
55	2.50	2.56	3.62	3.42	2.61	3.53
60	3.33	2.83	3.50	3.52	2.53	3.93
65	2.96	2.91	3.79	3.84	2.79	3.11
70	3.45	3.46	3.06	3.03	2.06	3.36
75	3.52	3.85	3.16	3.18	2.16	3.75
80	3.64	3.65	3.04	3.05	2.04	3.55
85	3.30	3.11	3.43	3.48	2.43	3.17
90	3.35	3.25	3.56	3.57	3.56	3.15
95	3.55	3.65	3.76	3.78	3.76	3.55
100	3.65	3.75	3.13	3.19	3.13	3.65
105	3.51	3.31	3.26	3.30	3.26	3.32
110	3.32	3.12	3.48	3.58	2.48	3.44
115	3.55	3.65	3.67	3.64	3.67	3.56
120	3.65	3.95	4.03	4.22	3.03	2.85

สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% พบว่า มีแนวโน้วไปในทางเดียวกันกับชุดทดลองไม่ตัดใบ กล่าวคือ ปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในวันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 2.65 ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 หลังเริ่มทดลองมีปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกมีค่า 3.93 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 61 หลังจากเริ่มทดลอง และได้รับน้ำเสียโครเมียม 100 ครั้งที่ 2 ปริมาณโครเมียมในใบ

ยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น จนถึงวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง โดยมีปริมาณโครเมียมในใบเท่ากับ 2.85 ppm

สำหรับชุดการทดลองที่ใส่น้ำเสียโครเมียม 50% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในใบของหญ้าแฝก มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับน้ำเสียโครเมียม 100% โดยในช่วงวันที่ 1 ถึง วันที่ 60 โดยในประเภทที่ไม่มีการตัดใบ โดยในวันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 0.55 ppm และเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในใบหญ้าแฝกมีค่า 2.83 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% ครั้งที่ 2 ปริมาณโครเมียมในใบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในใบ 2.91 ppm และ ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบในวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 3.95 ppm

ในทำนองเดียวกัน ประเภทที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% พบว่า มีแนวโน้วไปในทางเดียวกัน โดยในวันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 0.45 ppm และเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในใบหญ้าแฝกมีค่า 2.53 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลองและได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% ครั้งที่ 2 พบว่า ปริมาณโครเมียมในใบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 2.79 ppm และวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 3.03 ppm

ในชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในใบของหญ้าแฝกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในใบ มีค่า 1.53 ppm และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกมีค่า 3.33 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% ครั้งที่ 2 พบว่าปริมาณโครเมียมในใบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในใบมีค่า 2.96 ppm และ ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบในวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 3.65 ppm

สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่า มีแนวโน้วไปในทางเดียวกันกับชุดทดลองไม่ตัดใบ ปริมาณโครเมียมมีแนวโน้มสะสมในใบเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลองปริมาณโครเมียมในใบมีค่า 1.45 ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในใบหญ้าแฝกมีค่า 3.52 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลอง และได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่าปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบปริมาณโครเมียมยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในใบ 3.84 ppm และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 4.22 ppm

จากผลการทดลอง พบว่า ในทุกชุดการทดลองปริมาณโครเมียมที่พบในใบหญ้าแฝกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณโครเมียมในใบจะไม่สูงมากนัก เนื่องจาก การเคลื่อนตัวของโลหะหนักจากรากสู่ต้นหรือใบจะต้องผ่านชั้น epidermis ซึ่ง

จะทำหน้าที่เป็นเหมือนกำแพงกั้นขัดขวางการเคลื่อนตัวของโลหะหนักจากรากสู่ต้น จึงพบว่ามีปริมาณโลหะหนักสะสมในใบได้น้อย (นิตย์ สกุนรักษ์, 2541; เทียมใจ คมกฤส,2541; สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2535)

4.1.5.2 ค่าการสะสมโครเมียมในรากหญ้าแฝก

ปริมาณโครเมียมที่สะสมในราก ในทุกชุดการทดลอง ทั้งประเภทที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบ พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณโครเมียมที่พบในรากมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยในช่วงวันที่ 5 ถึงวันที่ 15 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 60 ทั้งนี้ เมื่อได้รับน้ำเสียในความเข้มข้นเท่าเดิม ในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลอง พบว่า ปริมาณโครเมียมที่พบในรากยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมจนครบ 120 วัน ดังตารางที่ 4.7

ในชุดการทดลองที่ใส่น้ำเสียโครเมียม 100% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในรากของหญ้าแฝกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งในประเภทที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบ กล่าวคือ ในประเภทที่ไม่มีการตัดใบ ณ วันที่ 5 ปริมาณโครเมียมในราก มีค่า 2.65 ppm และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในรากหญ้าแฝกทุก 5 วัน จนถึงวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณ โครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 49.22 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% ครั้งที่ 2 พบว่า ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 55.49 ppm และเมื่อทำการตรวจวัดจนครบ 120 วัน ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบในวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 60.83 ppm

สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทางเดียวกัน โดย ณ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในราก มีค่า 2.65 ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณ โครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 49.48 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลองและได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 58.58 ppm และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง

ในทำนองเดียวกัน ชุดการทดลองที่ใส่น้ำเสียโครเมียม 50% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในรากของหญ้าแฝก มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ ณ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในราก มีค่า 2.91 ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 22.48 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% ครั้งที่ 2 พบว่าปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 22.58 ppm และเมื่อทำการตรวจวัดจนครบ 120 วัน ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบในวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 30.83 ppm

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโครเมียมที่สะสมในรากหญ้าแฝกในการทดลองขั้นต้น

จำนวนวัน (วัน)	ปริมาณโครเมียมในราก (ppm)					
	หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ			หญ้าแฝกที่มีการตัดใบ		
	น้ำเสียโครเมียม 25%	น้ำเสียโครเมียม 50%	น้ำเสียโครเมียม 100 %	น้ำเสียโครเมียม 25%	น้ำเสียโครเมียม 50%	น้ำเสียโครเมียม 100 %
5	2.82	2.91	2.65	2.65	2.65	2.91
10	6.15	6.25	15.75	6.75	6.75	16.25
15	10.50	10.00	23.74	10.74	10.74	24.00
20	10.62	15.62	25.36	10.36	15.36	25.62
25	12.50	17.53	29.25	12.25	17.25	29.53
30	12.84	18.85	31.66	11.66	18.66	31.85
35	13.03	18.08	33.82	12.82	18.82	34.08
40	13.66	19.66	35.40	13.40	19.40	35.66
45	13.72	20.71	40.65	13.65	19.65	40.71
50	13.81	19.18	43.92	13.92	20.92	44.18
55	13.95	21.93	44.65	14.65	21.65	44.93
60	14.46	22.48	49.22	13.22	21.22	49.48
65	14.58	22.58	55.49	14.49	22.49	58.58
70	14.35	24.35	54.95	14.95	24.95	59.35
75	13.97	23.96	57.16	15.16	25.16	54.96
80	15.55	25.25	59.45	15.45	25.45	57.25
85	16.06	26.04	66.84	18.84	28.84	75.04
90	16.56	26.56	65.66	19.66	29.66	57.56
95	17.58	27.50	64.80	20.80	30.80	69.50
100	18.02	28.02	62.92	21.92	25.04	55.02
105	18.22	28.24	57.04	21.04	34.48	49.24
110	19.88	29.48	61.48	19.48	33.78	68.48
115	18.34	30.28	57.78	20.78	34.83	56.28
120	19.73	30.83	60.83	20.83	35.10	56.83

สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทางเดียวกัน โดยหญ้าแฝก ณ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง ปริมาณโครเมียมในราก มีค่า 2.65 ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 21.22 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลองและได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% ครั้งที่ 2 พบว่า ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 22.49 ppm และวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 35.10 ppm

ในชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่า ปริมาณโครเมียมที่สะสมในรากของหญ้าแฝกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ ณ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลอง มีปริมาณโครเมียมในราก 2.82 ppm จนกระทั่ง วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 14.46 ppm เมื่อได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% ครั้งที่ 2 ปริมาณโครเมียมในรากยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 14.58 ppm และเมื่อทำการตรวจวัดจนครบ 120 วัน ปริมาณโครเมียมในรากในวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่า 19.73 ppm

สำหรับหญ้าแฝกที่มีการตัดใบ ในชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% พบว่า มีแนวโน้วไปในทางเดียวกัน โดย ณ วันที่ 5 หลังจากเริ่มทดลองปริมาณโครเมียมในราก มีค่า 2.65 ,ppm จนกระทั่ง ณ วันที่ 60 ปริมาณโครเมียมที่พบในรากหญ้าแฝกมีค่า 13.22 ppm เมื่อตัดใบออกในวันที่ 60 หลังจากเริ่มทดลองและได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% ครั้งที่ 2 พบว่า ปริมาณโครเมียมที่ตรวจพบยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในวันที่ 65 หลังจากเริ่มทดลอง พบปริมาณโครเมียมในราก 14.49 ppm และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงวันที่ 120 หลังจากเริ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 20.83 ppm

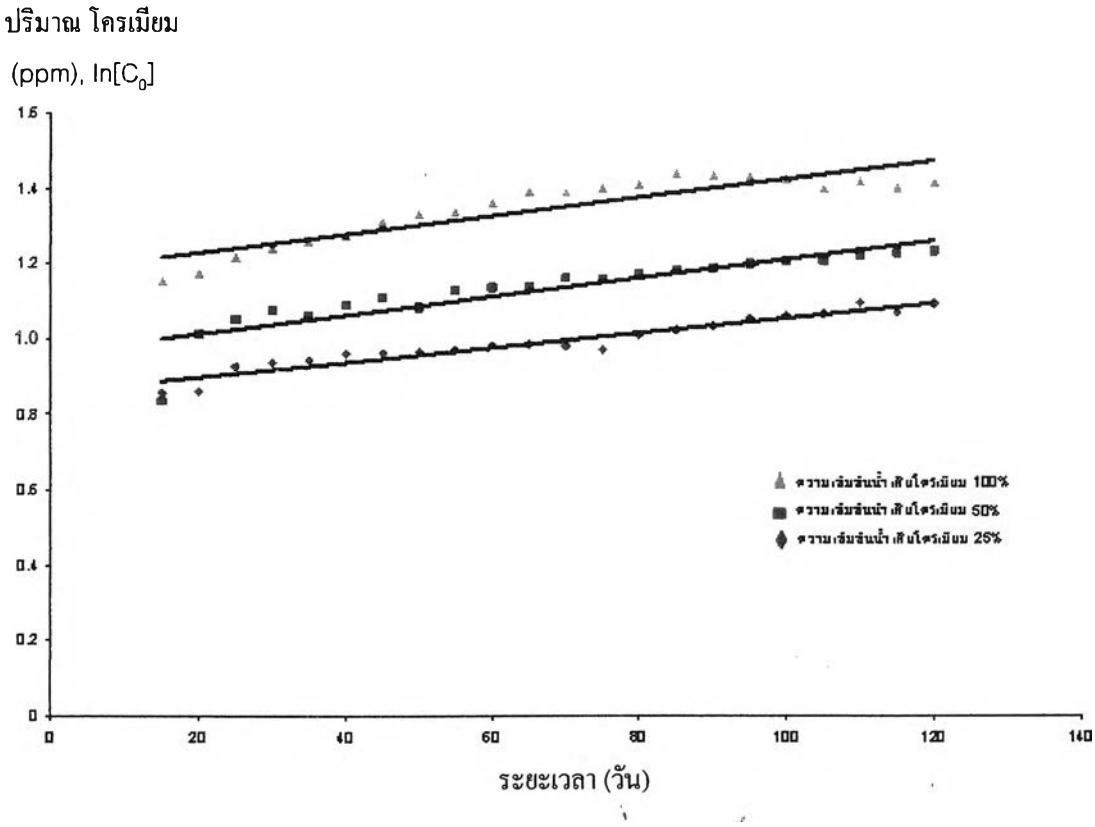
จากทุกชุดการทดลองสามารถสรุปได้ว่า หญ้าแฝกสามารถสะสมปริมาณโครเมียมในรากได้เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยในช่วงแรกของการปลูกจะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณโครเมียมสูงกว่าในช่วงหลัง ไม่ว่าความเข้มข้นของปริมาณน้ำเสียโครเมียมจะมีอัตราส่วนต่างกัน ซึ่งกระบวนการดูดซับโลหะหนักของพืช จะมีลักษณะคล้ายกับการดูดซับธาตุอาหารที่จะเป็นของพืชทั่ว ๆ ไป กล่าวคือ น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านไปตามผนังเซลล์จากเซลหนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่ง โดยผ่านช่องที่เชื่อมระหว่างเซลล์ที่เรียกว่า apoplast โดยจะเคลื่อนไปจนถึงชั้น endodermis แล้วจึงเคลื่อนที่ผ่านต่อไปยังท่อลำเลียงน้ำต่อไป (นิตย์ สกุนรักษ์, 2541)

4.1.5.3 การวิเคราะห์สมการลำดับที่หนึ่ง (first order)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าคงที่ของการเปลี่ยนแปลงการสะสมสารเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วยเวลา ได้แก่ สมการลำดับที่หนึ่ง ทั้งนี้ค่าคงที่ (k) ที่ได้จากการคำนวณจะบ่งชี้ปริมาณการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียของหญ้าแฝกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย

หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ เมื่อนำค่าปริมาณโครเมียมที่พบในใบมาคำนวณหาค่าคงที่ (k) ในสมการลำดับที่หนึ่ง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเวลากับปริมาณโครเมียมในใบ เห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.8) และเมื่อคำนวณหาค่าคงที่ (k) ของชุด การทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0024 ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0025 และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ

0.0020 (ตารางที่ 4.8) สรุปได้ว่าหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียง 0.002 ซึ่งหมายถึง หญ้าแฝกสามารถสะสมโครเมียมในใบได้ ในอัตรา 0.002 หน่วย เมื่อเวลาผ่านไป 1 หน่วย



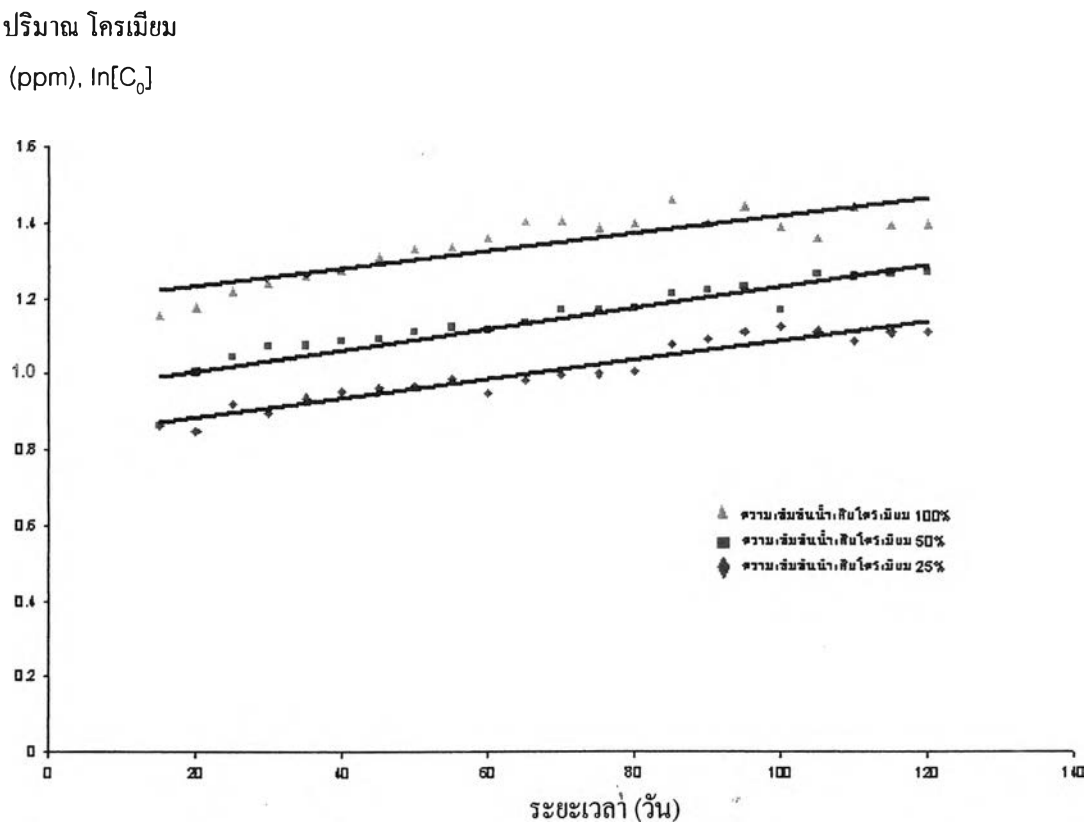
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบกับจำนวนวัน

ตารางที่ 4.8 สมการลำดับที่หนึ่งและค่าสถิติของปริมาณโครเมียมในใบ หญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ

ชุดการทดลอง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	สมการลำดับหนึ่ง	ค่าคงที่ (k)
น้ำเสียโครเมียม 100%	0.8130	$C = 1.18e^{0.0024t}$	0.0024
น้ำเสียโครเมียม 50%	0.7890	$C = 0.96e^{0.0025t}$	0.0025
น้ำเสียโครเมียม 25%	0.9257	$C = 0.86e^{0.0020t}$	0.0020

ในทุกชุดการทดลอง สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ เมื่อนำค่าปริมาณโครเมียมที่พบในใบมาคำนวณหาค่าคงที่ (k) ในสมการลำดับที่หนึ่ง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเวลากับปริมาณโครเมียมในใบ เห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.9) และเมื่อคำนวณหาค่าคงที่ (k) ของชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0023 ชุดการทดลองที่

ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0028 และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0026 (ตารางที่ 4.9) สรุปได้ว่าหญ้าแฝกที่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียง 0.003 กล่าวคือ หญ้าแฝกสามารถสะสมโครเมียมในใบได้ ในอัตรา 0.003 หน่วย เมื่อเวลาผ่านไป 1 หน่วย



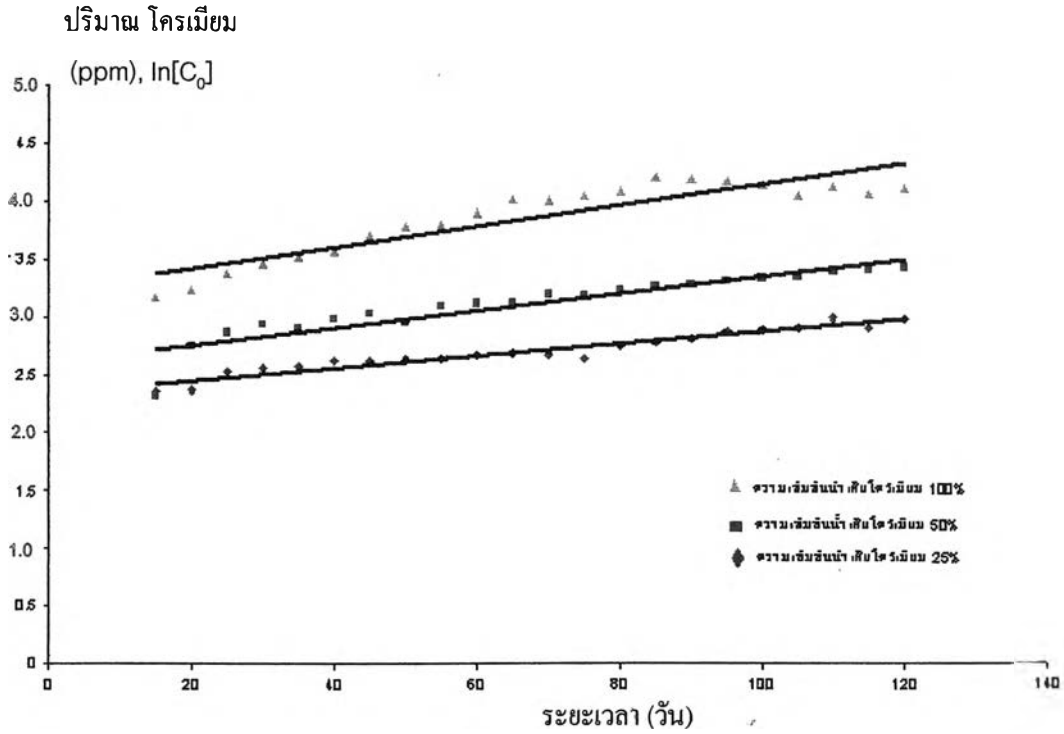
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในใบกับจำนวนวัน ประเภทที่มีการตัดใบ

ตารางที่ 4.9 สมการลำดับที่หนึ่งและค่าสถิติของปริมาณโครเมียมในใบ ประเภทที่มีการตัดใบ

ชุดการทดลอง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	สมการลำดับหนึ่ง	ค่าคงที่ (k)
น้ำเสียโครเมียม 100%	0.7347	$C = 1.19e^{0.0023t}$	0.0023
น้ำเสียโครเมียม 50%	0.8680	$C = 0.95e^{0.0028t}$	0.0028
น้ำเสียโครเมียม 25%	0.9209	$C = 0.83e^{0.0026t}$	0.0026

ในทุกชุดการทดลอง สำหรับประเภทที่ไม่มีการตัดใบ เมื่อนำค่าปริมาณโครเมียมที่พบในรากมาคำนวณหาค่าคงที่ (k) ในสมการลำดับที่หนึ่ง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเวลากับปริมาณโครเมียมในราก เห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (แสดงในรูปที่ 4.10) และเมื่อ

คำนวณหาค่าคงที่ (k) ของ ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0053 ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0074 และชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0091 (แสดงในตามตารางที่ 4.10) สรุปได้ว่าหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียง 0.007 ซึ่งหมายถึงหญ้าแฝกสามารถสะสมโครเมียมในรากได้ ในอัตรา 0.007 หน่วย เมื่อเวลาผ่านไป 1 หน่วย



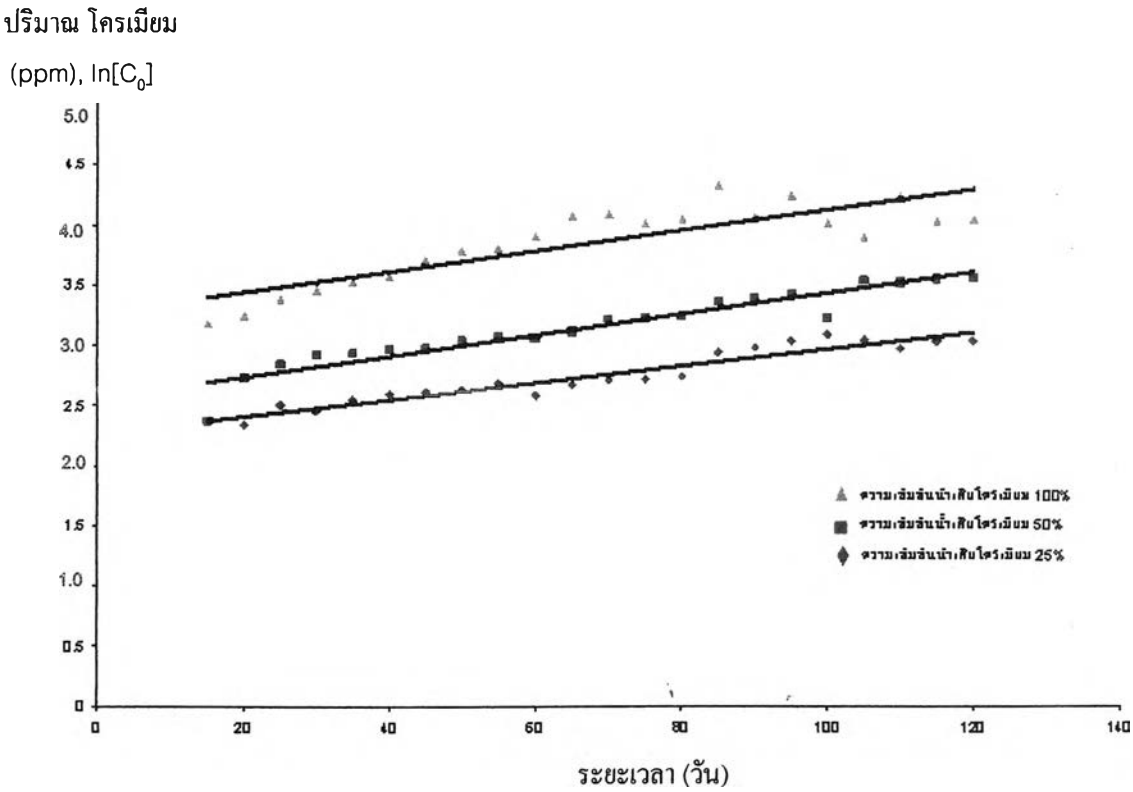
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในรากกับจำนวนวัน ประเภทที่ไม่มีการตัดใบ

ตารางที่ 4.10 สมการลำดับที่หนึ่งและค่าสถิติของปริมาณโครเมียมในราก ประเภทที่ไม่มีการตัดใบ

ชุดการทดลอง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	สมการลำดับหนึ่ง	ค่าคงที่ (k)
น้ำเสียโครเมียม 100%	0.8227	$C = 3.23e^{0.0091t}$	0.0091
น้ำเสียโครเมียม 50%	0.8413	$C = 2.60e^{0.0074t}$	0.0074
น้ำเสียโครเมียม 25%	0.9320	$C = 2.34e^{0.0053t}$	0.0053

ในทุกชุดการทดลอง สำหรับประเภทที่มีการตัดใบ เมื่อนำค่าปริมาณโครเมียมที่พบในรากมาคำนวณหาค่าคงที่ (k) ในสมการลำดับที่หนึ่ง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเวลากับปริมาณโครเมียมในราก เห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (แสดงในรูปที่ 4.11) และเมื่อคำนวณหา

ค่าคงที่ (k) ของชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 100% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0053 ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 50% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0074 และ ชุดการทดลองที่ได้รับน้ำเสียโครเมียม 25% มีค่าคงที่ (k) เท่ากับ 0.0091 (แสดงในตามตารางที่ 4.11) สรุปได้ว่าหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบซึ่งได้รับน้ำเสียทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียง 0.008 ซึ่งหมายถึง หญ้าแฝกสามารถสะสมโครเมียมในรากได้ ในอัตรา 0.008 หน่วย เมื่อเวลาผ่านไป 1 หน่วย



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมในรากกับจำนวนวัน ประเภทที่มีการตัดใบ

ตารางที่ 4.11 สมการลำดับที่หนึ่งและค่าสถิติของปริมาณโครเมียมในราก ประเภทที่มีการตัดใบ

ชุดการทดลอง	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	สมการลำดับหนึ่ง	ค่าคงที่ (k)
น้ำเสียโครเมียม 100%	0.7338	$C = 3.27e^{0.0086t}$	0.0086
น้ำเสียโครเมียม 50%	0.8984	$C = 2.56e^{0.0087t}$	0.0087
น้ำเสียโครเมียม 25%	0.9189	$C = 2.27e^{0.0070t}$	0.0070

จากการคำนวณปริมาณโครเมียมในส่วนต่าง ๆ ของหญ้าแฝกในทุกชุดการทดลอง มีค่าคงที่ (k) ของหญ้าแฝก ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ความสามารถดูดซับโครเมียมได้ในอัตราคงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเสีย

4.2 การทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

4.2.1 สมบัติของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดจำลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง (บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน)เป็นน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะซึ่งเจือจางน้ำประปาให้มีความเข้มข้น 25 % โดยปริมาตร เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสีย พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าใกล้เคียงกันกับน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดจำลอง สามารถแจกแจงได้ดังนี้

4.2.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.62และน้ำออกจากระบบทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบมีค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.58 ระบบทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 พบว่ามีค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.59 และระบบควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า มีค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.50 จากการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างที่ผ่านระบบบำบัดจำลองมีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมากจาก การละลายของแร่ธาตุต่างๆที่อยู่ในดิน ก็อาจมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำเข้าและน้ำออกจากการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

pH	น้ำเข้า	น้ำออก		
		หญ้าแฝกไม่ตัดใบ	หญ้าแฝกตัดใบ	ควบคุมไม่ปลูกพืช
ค่าสูงสุด	7.70	7.63	7.64	7.63
ค่าต่ำสุด	7.54	7.53	7.54	5.57
ค่าเฉลี่ย	7.62±0.02	7.58±0.021	7.59±0.024	7.50±0.41

4.2.1.2 อุณหภูมิ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลองมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 33.1 องศาเซลเซียส และน้ำออกจากระบบทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบและมีการตัดใบ และระบบควบคุมมีอุณหภูมิเท่ากันทุกระบบซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.1 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่4.13 ค่าอุณหภูมิในน้ำเข้าและน้ำออกในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

Temp. (°C)	น้ำเข้า	น้ำออก		
		หญ้าแฝกไม่ตัดใบ	หญ้าแฝกตัดใบ	ควบคุมไม่ปลูกพืช
ค่าสูงสุด	33.3	31.4	31.4	31.3
ค่าต่ำสุด	32.9	30.0	30.0	30.8
ค่าเฉลี่ย	33.1±0.1	31.1±0.3	31.1 ±0.3	31.1 ±0.1

4.2.1.3 ค่าความนำไฟฟ้า

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองระบบบำบัดจำลองมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1410.6 µs/cm และ น้ำออกจากระบบทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1394.7 µs/cm ระบบทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 พบว่าค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1397.0 µs/cm และระบบควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า มีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1399.4 µs/cm จากการทดลองพบว่าค่าความนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบำบัดจำลอง

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำออกต่ำกว่าน้ำเข้า แสดงว่าปริมาณ ไอออน (ion) ภายในน้ำมีค่าต่ำลง ทั้งนี้ค่าความนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารละลายในน้ำ ค่าความเป็นกรด – ด่าง และอุณหภูมิ เนื่องจากปัจจัยต่างๆข้างต้น มีผลต่อการแตกตัวของสารประกอบอนินทรีย์ต่างๆ ถ้าค่าความเป็นกรด – ด่าง อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความนำไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำเข้าและน้ำออกในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

ความนำไฟฟ้า (µs/cm)	น้ำเข้า	น้ำออก		
		หญ้าแฝกไม่ตัดใบ	หญ้าแฝกตัดใบ	ควบคุมไม่ปลูกพืช
ค่าสูงสุด	1461.2	1447.8	1460.4	1460.4
ค่าต่ำสุด	1339.0	1324.6	1323.3	1324.6
ค่าเฉลี่ย	1410.6 ± 44.5	1394.7 ± 44.4	1397.0 ± 45.2	1399.4 ± 46.3

4.2.2 สมบัติดินก่อนและหลังการทดลอง

ลักษณะสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลองในระยะระบบบำบัดจำลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ในชุดตัวอย่างเดียวกับการทดลองขั้นต้น จึงพบว่า มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ประกอบด้วยปริมาณ ทราย ทรายแป้ง และ ดินเหนียว ในสัดส่วนทราย 67.8% ทรายแป้ง 22.0% ดินเหนียว 10.2% และมีความหนาแน่นรวมเท่ากับ 178.35 กรัม มีความพรุนเท่ากับ 0.33 และมีสภาพนำน้ำเท่ากับ 22.98 mm/hr ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับดินหลังทดลอง ดังตารางที่ 4.15

สมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.25 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงร้อยละ 0.8957-1.0180 ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในช่วง 12.6440 - 11.4317 ppm ค่าซัลเฟตอยู่ในช่วง 0.9080 - 0.9916 ppm ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 16.7 – 19.0 meq./100กรัม ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.15 ส่วนสมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.33 – 7.37 ค่าอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงร้อยละ0.7653-0.9645 ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในช่วง 11.1223 – 12.5432 ppm ค่าซัลเฟตอยู่ในช่วง 0.9021 – 1.0633 ppm ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 16.7 – 18.5 meq./100กรัม ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ลักษณะของดินทางเคมีที่ใช้ในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลองก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	ระยะการทดลอง	ผลการวิเคราะห์		
		ระบบหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ	ระบบหญ้าแฝกตัดใบ	ระบบควบคุม
ค่าความเป็นกรด – ด่าง	ก่อนทดลอง	7.25 ± 0.53	7.25 ± 0.53	7.25 ± 0.53
	หลังทดลอง	7.37 ± 0.15	7.34 ± 0.02	7.33 ± 0.10
ความพรุน	ก่อนทดลอง	0.33		
	หลังทดลอง	0.33		
สภาพนำน้ำ (hydraulic conductivity) (mm/hr)	ก่อนทดลอง	22.98 ± 1.26		
	หลังทดลอง	22.93 ± 1.13		
เนื้อดิน	ก่อนทดลอง	sandy loam		
	หลังทดลอง	sandy loam		
ปริมาณ sand %, silt %, clay%	ก่อนทดลอง	67.8%, 22.0%, 10.2%		
	หลังทดลอง	67.8%, 22.0%, 10.2%		
ความหนาแน่นรวม (g)	ก่อนทดลอง	178.35		
	หลังทดลอง	178.35		
อินทรีย์วัตถุในดิน (%)	ก่อนทดลอง	0.9193 ± 0.0415	0.8957 ± 0.0349	1.0180 ± 0.0225
	หลังทดลอง	0.9056 ± 0.0312	0.7653 ± 0.0296	0.9645 ± 0.0345
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	ก่อนทดลอง	12.6440± 1.6387	12.4297± 1.7710	11.4317 ± 1.6556
	หลังทดลอง	12.5432± 1.5210	12.4326± 1.8544	11.1223 ± 1.2135
ซัลเฟต (ppm)	ก่อนทดลอง	0.9161 ± 0.0138	0.9080± 0.0406	0.9916 ± 0.1131
	หลังทดลอง	1.0633 ± 0.0428	0.9021± 0.3236	0.9132 ± 0.8521
C.E.C (meq/100g)	ก่อนทดลอง	19.0±0.8	16.7±0.5	18.4 ±0.2
	หลังทดลอง	18.5±0.7	16.7±0.6	18.5 ±0.1

4.2.3 การเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบ ในระบบทดลองเป็นระยะเวลา 120 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) น้ำหนักแห้ง (dry weight)

ระบบทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ มีน้ำหนักแห้งที่วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ และหญ้าแฝกมีการตัดใบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.99 , 13.32 และ 18.01 กรัม จากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบ ตามลำดับ มีน้ำหนักแห้งที่วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกมีการตัดใบ และหญ้าแฝกมีการตัดใบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.20 , 13.76 และ 18.12 กรัม จากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบ ตามลำดับ และมีน้ำหนักสูงสุดที่ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบที่บริเวณปลายระบบทดลองคือ เท่ากับ 18.12 กรัม และหญ้าแฝกที่มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยน้อยสุดได้แก่ ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบบริเวณต้นระบบทดลอง เท่ากับ 11.20 กรัมดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 น้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกในระยะการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

บริเวณเก็บตัวอย่าง	หญ้าแฝกไม่ตัดใบ			หญ้าแฝกที่ตัดใบ		
	น้ำหนักต้น (g)	น้ำหนักราก (g)	น้ำหนักรวม (g)	น้ำหนักต้น (g)	น้ำหนักราก (g)	น้ำหนักรวม (g)
ต้นระบบ	4.57	5.76	10.33	4.72	6.73	11.45
	6.43	6.30	12.73	4.39	5.11	9.50
	5.21	6.15	11.36	4.49	6.12	10.61
	6.64	5.36	12.00	6.10	6.32	12.42
	7.31	6.21	13.52	5.91	6.12	12.03
ค่าเฉลี่ย	6.03±1.12	5.96±0.39	11.99±1.23	5.12±0.82	6.08±0.60	11.20±1.17
กลางระบบ	6.46	6.67	13.13	6.41	7.92	14.33
	6.33	6.32	12.65	7.98	6.83	14.81
	6.51	6.73	13.24	6.91	6 51	13.42
	7.30	6.92	14.22	7.25	6.42	13.67
	6.61	6.76	13.37	6.35	6.20	12.55
ค่าเฉลี่ย	6.64±0.38	6.68±0.22	13.32±0.57	6.98±o.67	6.78±0.68	13.76±0.87
ท้ายระบบ	10.30	9.35	19.65	8.00	8.46	16.46
	7.50	8.82	16.32	9.37	9.36	18.73
	9.00	9.12	18.12	9.49	8.20	17.69
	8.95	8.25	17.20	10.65	8.25	18.90
	9.46	9.30	18.76	1o.45	8.36	18.81
ค่าเฉลี่ย	9.04±1.01	8.97±0.45	18.01±1.30	9.59±1.05	8.53±0.48	18.12±1.05

2) ความยาวราก

ระบบทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ มีความยาวรากที่วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ เท่ากับ 13.2 , 17.3 และ 18.2 เซนติเมตรจากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกมีการตัดมีความยาวรากเฉลี่ยเท่ากับ 10.0 , 14.7 และ 19.0 เซนติเมตรจากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ พบว่าความยาวรากของชุดทดลองที่ไม่มีการตัดใบมีความยาวรากมากกว่าชุดทดลองที่มีการตัดใบเล็กน้อย

3) ขนาดกอ

ระบบทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ มีขนาดกอที่วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.4 , 6.3 และ 11.0 เซนติเมตร จากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ ที่วันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกมีการตัดใบ และหญ้าแฝกมีการตัดใบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.6 , 5.6 และ 12.0 เซนติเมตรจากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ และขนาดกอที่ใหญ่ที่สุดคือชุดการทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบที่บริเวณปลายระบบทดลองคือ เท่ากับ 12.0 เซนติเมตร และหญ้าแฝกที่มีขนาดกอเฉลี่ยน้อยสุดได้แก่ ชุดการทดลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบบริเวณต้นระบบทดลอง เท่ากับ 3.4 เซนติเมตร

4) จำนวนหน่อ

ระบบทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ มีจำนวนหน่อเฉลี่ยวันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 , 2.4 และ 4.6 หน่อจากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ ส่วนวันสุดท้ายของการทดลองชุดทดลองหญ้าแฝกมีการตัดใบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 , 2.6 และ 4.8 หน่อจากบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบตามลำดับ

4.2.4 ปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกในการทดลองระยะระบบบำบัดจำลอง

น้ำเสียโครเมียม 25% ที่เข้าสู่ระบบบำบัดจำลอง มีปริมาณโครเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 32.69 ppm โดยได้ทำการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบทุกวัน วันละ 40 ลิตร ตลอดการทดลอง 120 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ปริมาตรและความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบำบัดจำลอง

วันที่	น้ำเข้า		น้ำออก					
			หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ		หญ้าแฝกมีการตัดใบ		ควบคุมไม่ปลูกพืช	
	โครเมียม (ppm)	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (ppm)	ปริมาณ (ml)	ความเข้มข้น (ppm)	ปริมาณ (ml)	ความเข้มข้น (ppm)	ปริมาณ (ml)
5	30.42	40,000	0.24	174.4	0.10	176.3	0.71	286.5
10	29.35	40,000	0.46	212.5	0.50	202.3	0.92	315.2
15	33.13	40,000	0.95	195.3	0.70	201.4	0.54	315.3
20	32.65	40,000	1.28	205.4	0.90	199.5	1.18	316.3
25	33.24	40,000	1.15	214.1	1.25	206.7	1.33	325.4
30	35.22	40,000	2.46	206.6	1.52	196..5	3.64	316.4
35	40.53	40,000	3.79	227.3	2.42	212.3	4.41	327.2
40	32.45	40,000	4.56	209.0	2.95	209.5	5.12	329.3
45	33.72	40,000	4.85	184.0	3.52	185.3	6.53	315.3
50	31.37	40,000	5.15	183.2	4.56	186.2	10.32	316.3
55	29.29	40,000	7.38	185.0	5.11	194.1	11.02	324.6
60	33.43	40,000	9.65	194.5	7.31	184.1	11.56	314.3
65	29.68	40,000	10.44	187.4	9.15	196.2	12.42	326.5
70	30.82	40,000	12.69	176.3	10.88	175.3	12.82	295.6
75	33.11	40,000	12.54	177.1	13.58	174.5	13.45	297.5
80	32.35	40,000	13.45	195.3	12.53	187.0	15.13	297.3
85	36.09	40,000	14.65	197.0	12.46	181.0	16.45	305.6
90	37.40	40,000	15.48	190.5	13.52	188.0	18.53	318.7
95	30.05	40,000	16.22	187.0	14.25	187.0	20.46	317.3
100	31.33	40,000	17.16	179.3	16.53	182.5	23.81	306.5
105	32.21	40,000	22.84	167.1	18.33	186.3	25.71	306.6
110	31.27	40,000	21.52	179.2	22.46	195.1	26.55	315.6
115	30.56	40,000	25.44	196.2	24.33	195.2	28.33	315.5
120	34.99	40,000	24.65	187.2	25.75	196.2	29.61	316.0
ค่าสูงสุด	40.53	40,000	25.44	227.3	25.75	212.3	29.61	329.3
ค่าต่ำสุด	29.29	40,000	0.24	167.1	0.1	174.5	0.54	286.5
ค่าเฉลี่ย	32.69 ± 2.70	40,000 ± 0.00	10.38 ± 8.13	192.12 ± 14.58	9.36 ± 8.03	191.39 ± 10.70	12.52 ± 9.50	313.37 ± 10.81

น้ำที่ผ่านระบบบำบัดจำลอง พบว่า มีปริมาณโครเมียมลดลง โดยพบว่า ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ น้ำที่ออกจากระบบมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.24–25.44 ppm โดยค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่มากที่สุด ณ วันที่ 115 มีความเข้มข้นเท่ากับ 25.44 ppm และค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่น้อยที่สุดได้แก่ ณ วันที่ 5 มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.24 ppm ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 พบว่า มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1 – 25.75 ppm โดยค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่มากที่สุด ณ วันที่ 120 มีความเข้มข้นเท่ากับ 25.75 ppm และค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่น้อยที่สุดได้แก่ ณ วันที่ 5 มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 ppm และระบบควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืช พบว่า มีค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบอยู่ในช่วง 0.54 - 29.61 โดยค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่มากที่สุด ณ วันที่ 120 มีความเข้มข้นเท่ากับ 29.61 ppm และค่าความเข้มข้นของน้ำออกจากระบบที่น้อยที่สุดได้แก่ ณ วันที่ 15 มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.54 ppm หากพิจารณาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำออกจากระบบในชุดทดลองต่างๆจะพบว่าชุดทดลองควบคุมไม่ปลูกพืชมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำออกสูงสุด เท่ากับ 12.52 ppm และรองมาคือชุดทดลองที่ไม่มีการตัดใบ และชุดทดลองที่มีการตัดใบเท่ากับ 10.38 ppm และ 9.36 ppm ซึ่งหมายความว่าชุดทดลองที่มีการตัดใบหญ้าแฝกมีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำเสียมากที่สุด

หากพิจารณาปริมาณน้ำที่ออกจากระบบ พบว่า ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกทั้งที่มีการตัดใบและไม่มีการตัดใบมีแนวโน้มปริมาณน้ำออกน้อยกว่าระบบควบคุม โดยระบบที่ปลูกหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ พบว่า มีปริมาณน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 192.12 มิลลิลิตร ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกที่มีการตัดใบ พบว่า มีปริมาณน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 191.39 มิลลิลิตร และ ระบบควบคุมที่ไม่มีการปลูกพืชมีปริมาณน้ำออกจากระบบเฉลี่ย 313.37 มิลลิลิตร นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณน้ำออกจากระบบสูงสุดในระบบที่ปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 และระบบควบคุม เท่ากับ 227.3, 212.3 และ 329.3 มิลลิลิตร ตามลำดับ และปริมาณน้ำออกจากระบบน้อยสุดในระบบที่ปลูกหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ ระบบที่ปลูกหญ้าแฝกมีการตัดใบ ณ วันที่ 60 และระบบควบคุม เท่ากับ 167.1, 174.5และ 286.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่าปริมาณน้ำมีความแตกต่างกัน ชุดทดลองที่มีการปลูกหญ้าแฝกจะมีปริมาณน้ำออกจากระบบบำบัดจำลองน้อยกว่าระบบควบคุมไม่ปลูกพืช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำบางส่วนถูกใช้ในการสังเคราะห์ของพืชนั้นเอง

4.2.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมของระบบบำบัดจำลอง

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของโครเมียมในน้ำเสียที่เข้าสู่ชุดทดลองตลอดระยะเวลา 120 วันของการทดลองมีค่า 32.69 ppm ขณะที่น้ำออกจากระบบระบบบำบัดจำลองที่ปลูกหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบมีค่าเฉลี่ย 10.38 ppm น้ำออกจากระบบระบบบำบัดจำลองที่ปลูก

หญ้าแฝกที่มีการตัดใบในวันที่ 60 และ 90 มีค่าเฉลี่ย 9.36 ppm และน้ำออกจากระบบควบคุมที่ไม่ปลูกหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมา คือมีค่าเฉลี่ย 12.52 ppm

ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมในระบบบำบัดจำลองหญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ จะมีค่าเท่ากับ 99.837 % และระบบบำบัดจำลองหญ้าแฝกที่มีการตัดใบ มีค่าเท่ากับ 99.698% ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งผลการทดลองใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Thayalakumaran (1994) ซึ่งพบว่า พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นสามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้สูงถึงร้อยละ 99 ในช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2.6 การสะสมโครเมียมในระบบบำบัดจำลอง

4.2.6.1 การสะสมโครเมียมในดิน

ปริมาณโครเมียมในดินก่อนเริ่มการทดลองเท่ากับ 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าดินในระบบบำบัดจำลองมีปริมาณโครเมียมสูงขึ้น อยู่ในช่วงมากกว่า 45.32 – 19.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน โดยระบบที่ปลูกหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบมีปริมาณโครเมียมในดินเฉลี่ย 30.17 ppm ส่วนระบบที่ปลูกหญ้าแฝกที่มีการตัดใบมีปริมาณโครเมียมในดินเฉลี่ย 34.60 ppm และ ระบบควบคุมไม่มีการปลูกพืชมีปริมาณโครเมียมในดินเฉลี่ย 33.29 ppm ดังตารางที่ 4.19

จากผลการทดลองดินในพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นแหล่งสะสมโครเมียมที่สำคัญเช่นเดียวกับการศึกษาในโลหะหนักชนิดอื่นๆ และการที่โครเมียมถูกสะสมอยู่ในดินก็เนื่องจากการเกิดกระบวนการต่างๆ คือการตกตะกอน (precipitation) เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของโลหะที่อยู่ในสภาพสารละลายมาสู่รูปของแข็ง ซึ่งการตกตะกอนของโลหะหนักนั้นเป็นสมดุลไดนามิก การตกตะกอนจึงขึ้นอยู่กับปริมาณประจุลบ (anion) ของน้ำในดิน และค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยจะตกตะกอนอยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะซัลไฟด์ โลหะคาร์บอเนตหรืออื่นๆ การแลกเปลี่ยนประจุและการดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็นกลไกการจับกับสารอื่นที่ตำแหน่งที่มีประจุเป็นลบ เช่น หมู่ $SiOH^-$, $AlOH_2^-$ และ $AlOH^-$ ในอนุภาคดินเหนียว หมู่ไฮดรอกซิลในเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ หรือกับหมู่คาร์บอกซิล และฟินอลิกในสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.18 ความเข้มข้นโครเมียมและประสิทธิภาพในการบำบัดในน้ำเข้าและน้ำออกในระยะการทดลองในระบบบำบัดจำลอง

วันที่	น้ำเข้า (mg)	น้ำออก					
		หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ		หญ้าแฝกมีการตัดใบ		ควบคุมไม่ปลูกพืช	
		โครเมียม (mg)	ประสิทธิภาพ (%)	โครเมียม (mg)	ประสิทธิภาพ (%)	โครเมียม (mg)	ประสิทธิภาพ (%)
5	1216.80	0.04	99.997	0.02	99.999	0.20	99.983
10	1174.00	0.10	99.992	0.10	99.991	0.29	99.975
15	1325.20	0.19	99.986	0.14	99.989	0.17	99.987
20	1306.00	0.26	99.980	0.18	99.986	0.37	99.971
25	1329.60	0.25	99.981	0.26	99.981	0.43	99.967
30	1408.80	0.51	99.964	0.30	99.979	1.15	99.918
35	1621.20	0.86	99.947	0.51	99.968	1.44	99.911
40	1298.00	0.95	99.927	0.62	99.952	1.69	99.870
45	1348.80	0.89	99.934	0.65	99.952	2.06	99.847
50	1254.80	0.94	99.925	0.85	99.932	3.26	99.740
55	1171.60	1.37	99.883	0.99	99.915	3.58	99.695
60	1337.20	1.88	99.860	1.35	99.899	3.63	99.728
65	1187.20	1.96	99.835	1.80	99.849	4.06	99.658
70	1232.80	2.24	99.819	1.91	99.845	3.79	99.693
75	1324.40	2.22	99.832	2.37	99.821	4.00	99.698
80	1294.00	2.63	99.797	2.34	99.819	4.50	99.652
85	1443.60	2.89	99.800	2.26	99.844	5.03	99.652
90	1496.00	2.95	99.803	2.54	99.830	5.91	99.605
95	1202.00	3.03	99.748	2.66	99.778	6.49	99.460
100	1253.20	3.08	99.754	3.02	99.759	7.30	99.418
105	1288.40	3.82	99.704	3.41	99.735	7.88	99.388
110	1250.80	8.16	99.348	4.38	99.650	8.38	99.330
115	1222.40	4.99	99.592	4.75	99.611	8.94	99.269
120	1399.60	4.61	99.670	5.05	99.639	9.36	99.331
ค่าเฉลี่ย	1307.77 ± 107.82	2.12 ± 1.93	99.837 ± 0.152	1.77 ± 1.54	99.864 ± 0.119	3.91 ±2.97	99.698 ± 0.232
ผลรวม	31386.4	50.81	-	42.46	-	93.91	-

4.2.6.2 การสะสมโครเมียมในพืช

ผลการศึกษานี้พบว่า ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดินที่ใช้มีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียมในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะค่อนข้างสูงคือ สูงกว่าร้อยละ 99 โดยที่พืชเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญในพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังนั้นการหาความสามารถของพืชในการสะสมโครเมียม โดยการหาปริมาณโครเมียมที่พืชสะสมอยู่ สำหรับการหาระดับหรือปริมาณโครเมียมที่สะสมในหญ้าแฝกทำการศึกษาก่อนและหลังการทดลอง ปรากฏว่าหญ้าแฝกก่อนทำการทดลองมีการสะสมโครเมียม 0.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และหากพิจารณาปริมาณโครเมียมในรากหญ้าแฝกซึ่งมีปริมาณมากกว่าปริมาณโครเมียมในใบหญ้าแฝกมาก พบว่าหลังจากทดลองค่าโครเมียมในราก หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบ เท่ากับ 54.43 , 42.51 และ 19.56 ppm ในวันสิ้นสุดการทดลองค่าโครเมียมในรากของหญ้าแฝกที่มีการตัดใบบริเวณต้นระบบ กลางระบบ และปลายระบบ เท่ากับ 46.59, 38.10 และ 29.56 ppm เมื่อพิจารณา ปริมาณโครเมียมในพืชจะมีแนวโน้มที่จะสะสมมากในช่วงต้นระบบสูงกว่าช่วงกลางและปลายระบบ และพบว่าการสะสมโครเมียมในชุดทดลองสูงสุด คือ ชุดทดลองหญ้าแฝกที่ไม่มีการตัดใบ ในส่วนราก โดยมีค่าเท่ากับ 54.43 ppm โดยจะพบว่าหญ้าแฝกมีการเจริญเติบโตช้าและมีการแห้งของใบ ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมของหญ้าแฝก และดินในระยะระบบบำบัดจำลอง

บริเวณพื้นที่ในระบบ	ปริมาณโครเมียมหลังสิ้นสุดการทดลอง (ppm)							
	หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ			หญ้าแฝกมีการตัดใบ				ควบคุม
	ดิน	ราก	ใบ	ดิน	ราก	ใบ	ใบที่ตัด	ดิน
บริเวณต้นระบบ	37.27 ±18.21	54.43 ±7.18	3.33 ±0.27	45.32 ±7.36	46.59 ±8.68	3.39 ±0.11	3.23 ± 0.44	49.56 ±1.17
บริเวณกลางระบบ	33.42 ±2.17	42.51 ±7.90	3.00 ±0.29	36.52 ±1.73	38.10 ±3.85	3.01 ±0.29	3.35 ± 0.18	30.65 ±1.07
บริเวณปลายระบบ	19.83 ±0.95	19.56 ±4.91	2.52 ±0.06	21.95 ±1.96	29.56 ±5.39	2.50 ±0.10	3.44 ± 0.22	19.66 ±0.70
ค่าเฉลี่ย	30.17 ±9.16	38.83 ±17.72	2.95 ±0.41	34.60 ±11.80	38.08 ±8.52	2.97 ±0.45	3.34 ±0.11	33.29 ±15.12

ปริมาณโครเมียมสะสมในพืชจากการทดลองพบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เป็นส่วนๆ เพราะโดยทั่วไปแล้วปริมาณโครเมียมที่พืชชนิดต่างๆ ดูดเข้าไปจะถูกสะสมในรากเป็นส่วนใหญ่ โครเมียมเข้าสู่รากได้เนื่องจากที่รากมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง เนื่องจาก

มีหมู่คาร์บอกซิลอยู่จึงเกิดการเคลื่อนย้ายอิออนจากภายนอกเข้าสู่พืชโดยผ่านทางราก และมักถูกสะสมอยู่ในบริเวณผนังเซลล์ (cell wall) โดย Kovac (1992) พบว่า โลหะหนักมากกว่าร้อยละ 90 จับกับหมู่คาร์บอกซิลของผนังเซลล์

4.2.6.3 สมดุลมวล (mass balance)

สมดุลมวล คือปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ และออกจากระบบ ผลต่างของปริมาณทั้งสองคือค่าโครเมียมที่สะสมอยู่ในระบบ หรือปริมาณโครเมียมที่ถูกบำบัด ซึ่งการคำนวณหาปริมาณ โครเมียมทั้งหมดในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบบึงประดิษฐ์ คำนวณจากปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร) อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตรต่อวัน) และระยะเวลาการกักเก็บ (วัน) โดยปริมาณที่เหลือในระบบจะแบ่งพิจารณาเป็นสองส่วนที่สำคัญคือ ดินและพืช สำหรับปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าและน้ำออกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การสะสมของโครเมียมในส่วนต่างๆของระบบบำบัดจำลอง

ส่วนต่างๆ ในระบบ	หญ้าแฝกไม่มีการตัดใบ		หญ้าแฝกมีการตัดใบ		ชุดควบคุมไม่ปลูกพืช	
	ปริมาณ (mg)	ร้อยละ	ปริมาณ (mg)	ร้อยละ	ปริมาณ (mg)	ร้อยละ
น้ำเข้า	31386.40	100	31386.40	100	31386.4	100
น้ำออก	2.12	0.01	1.77	0.01	3.91	0.01
ดิน	29961.00	95.46	27153.00	86.51	31140.00	99.21
ใบและรากของหญ้าแฝก	54.00	0.17	52.56	0.17	-	-
ใบหญ้าแฝกส่วนที่ตัดออก	-	-	2.18	0.01	-	-
อื่นๆ	1369.28	4.36	4179.07	13.30	242.49	0.77

ปริมาณโครเมียมที่ถูกสะสมในดินสูงกว่าในหญ้าแฝกมาก โดยค่าดังกล่าวได้จาก การปรับค่าด้วยปริมาณโครเมียมที่สะสมอยู่ภายในดินของระบบทดลองและระบบควบคุมไม่ปลูกพืชจากปริมาณโครเมียมในน้ำเข้าให้เป็นร้อยละ 100 จากการทำสมดุลมวลพบว่าปริมาณโครเมียมสะสมในหญ้าแฝกตลอดการทดลองในหญ้าแฝกราว 52.56 – 54.00 mg คิดเป็นค่าเพียง 0.17 % ดังแสดงการเปรียบเทียบในตาราง 4.20

ช่วงความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณโครเมียมสะสมในระบบกับปริมาณโครเมียมเข้าและออกจากระบบ เป็นความคลาดเคลื่อนของปริมาณโครเมียมที่เกิดจากการทดลอง จะเห็นได้ว่า ปริมาณโครเมียมส่วนหนึ่งหายไป จากการทำสมดุลมวล อาจเป็นเพราะตัวอย่างพืช

หรือดินที่นำมาย่อยด้วยกรดเพื่อหาปริมาณโครเมียมทำการผสมกันไม่ดีพอ หรือเกิดจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมในบริเวณระบบ เช่น การดูดซับโลหะของปูนซีเมนต์ที่บริเวณข้างระบบ เป็นต้น