การตรึงโลหะหนักในป่าชายเลนด้วยต้นลำพู

HEAVY METAL IMMOBILIZATION BY *Sonneratia caseolaris*

นางสาวธนิดา กมุทชาติ
นางสาวศิริพร เชี่ยร์ประเสริฐ
นางสาวอริศรา บัญญาสุทธศักดิ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

การตรึงโลหะหนักในป่าชายเลนด้วยต้นลำพู

HEAVY METAL IMMOBILIZATION BY *Sonneratia caseolaris*

นางสาวธนิดา กมุทชาติ
นางสาวศิวิมล เชียร์ประเสริฐ
นางสาวอริศรา ปัญญายุทธศักดิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEAVY METAL IMMOBILIZATION BY *Sonneratia caseolaris*

MISS THANIDA GAMUTCHAT

MISS SIWIMON CHEERPRASERT

MISS ARISSARA PANYAYUTTASAK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTTAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การตรึงโลหะหนักในป่าชายเลนด้วยต้นลำพู
	HEAVY METAL IMMOBILIZATION BY *Sonneratia caseolaris*
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนิดา กมุทชาติ
	นางสาวศิวิมล เชียร์ประเสริฐ
	นางสาวอริศรา ปัญญายุทธศักดิ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรึงโลหะหนักในป่าชายเลนด้วยต้นลำพู
ชื่อนักศึกษา นางสาวธนิดา กมุทชาติ
นางสาวศิวิมล เชียร์ประเสริฐ
นางสาวอริศรา ปัญญายุทธศักดิ์
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2555
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการตรึงโลหะหนักในป่าชายเลน จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ณ บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชินี จังหวัดสมุทรปราการและศึกษาตัวอย่างดินตะกอนป่าชายเลน ส่วนต่างๆของต้นลำพู (ราก กิ่ง ใบล่าง และใบบน) ที่มีอายุการปลูก 1 ปี และน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินและต้นลำพู โดยทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมิถุนายน 2555 ทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer และทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี SPSS ที่ระดับนัยสำคัญ ($p = 0.05$) ผลการศึกษาในดินตะกอน พบว่า Cu > Cr > Zn > Cd ส่วนรากมี Cu > Zn > Cr > Cd กิ่ง Zn > Cu > Cd > Cr ใบล่าง Zn > Cd > Cu > Cr และใบบน Cd > Zn > Cu > Cr โดยในแต่ละตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีปริมาณ Cd อัตราส่วน น้ำ:ดินตะกอนป่าชายเลน: ราก: กิ่ง: ใบล่าง: ใบบน 1: 14: 3: 2: 9: 9, Cr 1: 39: 3: 0: 4: 1, Cu 1: 52: 5: 5: 5: 4 และ Zn 1: 26: 3: 9: 9: 6 โดยในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.05$) ดังนั้นจากผลการศึกษาที่ได้พบว่าต้นลำพูมีความสามารถในการตรึงโลหะหนักจากดินตะกอนและน้ำได้

คำสำคัญ: โลหะหนัก, ต้นลำพู, ป่าชายเลน, ดินตะกอนป่าชายเลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title HEAVYMETAL IMMOBILIZATION BY *Sonneratia caseolaris*

Students Thanida Gamutchat

Siwimon Cheerprasert

Arissara Panyayuttasak

Degree Bachelor of Science

Program Environmental Chemistry

Academic Year 2012

Project Advisor Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak

ABSTRACT

The immobilization of heavy metals in mangrove forest was studies, such as Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Copper (Cu) and Zinc (Zn) at Bangpu Nature Education Center Commemorate 72nd Anniversary of Her Majestry Queen Sirikit, Samut phakan. The sample of mangrove sediment, part of the *Sonneratia* root, limb, lower leaves (less than 50 cm. height) and the upper leaves (more than 50 cm. height) which growing old one year and water sampling, in June 2012. Analyzed for heavy metals by Atomic Absorption Spectrophotometer and statistics analysis by SPSS program at level of significance (p = 0.05) Results from the study showed in mangrove sediment Cu > Cr > Zn > Cd, root Cu > Zn > Cr > Cd, limb Zn > Cu > Cd > Cr, lower leaves Zn > Cd > Cu > Cr and the upper leaves Cd > Zn > Cu > Cr In each position, there were not significantly difference. The suitable ratio for Cadmium from the statistical analysis by SPSS program ratio water: mangrove sediment: root: limb: lower leaves: upper leaves 1: 14: 3: 2: 9: 9, Chromium 1: 39: 3: 0: 4: 1, Copper 1: 52: 5: 5: 5: 4 and Zinc 1: 26: 3: 9: 9: 6 were there significantly difference (p = 0.05). This result indicated that immobilization of heavy metals by *Sonneratia caseolaris* from mangrove sediment and water.

Keywords: heavy metal, *Sonneratia caseolaris* ,mangrove forest ,mangrove sediment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดโครงงานพิเศษนี้จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ และดูแลเอาใจใส่ตลอดจนตรวจสอบ ติชมผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอ.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางการแก้ไข รวมถึงตรวจสอบ ติชมผลงาน ทำให้โครงงานพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบิน กรุงเทพ จำกัด มหาชน (BAFS) ที่อำนวยความสะดวกในด้านการเดินทางไปเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียติ 72 พรรษามหาราชินี จ. สมุทรปราการ ที่อนุญาตให้คณะผู้วิจัยได้เดินทางเข้าไปเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณจ่าสิบเอกนิเวช ชูปาน และพี่ๆทหาร จาก กองสถานพักผ่อน กรมพลาธิการ ทหารบก ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียติ 72 พรรษามหาราชินี จ. สมุทรปราการ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี เจ้าหน้าที่ธุรการภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ร่วมมือ และอำนวยความสะดวกจนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือกันเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณกำลังใจจากบิดา มารดา ที่ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จ ตลอดจนบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงงานใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวธนิดา กมุทชาติ
นางสาวศิวิมล เชียร์ประเสริฐ
นางสาวอริศรา ปัญญายุทธศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ป่าชายเลน	3
2.2 ดิน	9
2.3 โลหะหนัก	11
2.4 สารมลพิษทางน้ำ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	20
3.3 แหล่งที่มาของวัสดุ	21
3.4 การเก็บตัวอย่าง	22
3.5 ศึกษาสมบัติทั่วไปของดินป่าชายเลน	24
3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติเบื้องต้นของดินตะกอนป่าชายเลน	27
4.2 ปริมาณโลหะหนัก	29
4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนัก	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	42
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	53
ภาคผนวก ค การคำนวณ	74
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินและน้ำ 15
ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักในเขตป่าชายเลน 19
ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ 24
ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่าง 26
ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของดิน 28
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักสะสมในแต่ละองค์ประกอบ 37
ตารางที่ ข.1 ความชื้นความเป็นกรด – เบส และค่าการนำไฟฟ้าของดินตะกอนป่าชายเลน 52
ตารางที่ ข.2 ลักษณะเนื้อดิน 53
ตารางที่ ข.3 อินทรียวัตถุ 53
ตารางที่ ข.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน 54
ตารางที่ ข.5 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน 55
ตารางที่ ข.6 ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 56
ตารางที่ ข.7 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 58
ตารางที่ ข.8 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลน 60
ตารางที่ ข.9 เปอร์เซนต์ความชื้นส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู 61
ตารางที่ ข.10 ปริมาณโลหะหนักในรากต้นลำพู 62
ตารางที่ ข.11 ปริมาณโลหะหนักในกิ่งต้นลำพู 64
ตารางที่ ข.12 ปริมาณโลหะหนักในใบล่างต้นลำพู 66
ตารางที่ ข.13 ปริมาณโลหะหนักในใบบนต้นลำพู 68
ตารางที่ ข.14 ความเป็นกรด – เบส และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง 70
ตารางที่ ข.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละตำแหน่ง 87
ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 88
ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 88
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลปริมาณทองแดงแต่ในแต่ละตำแหน่ง 89
ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 89
ตารางที่ ง.6 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 90
ตารางที่ ง.7 ข้อมูลปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่ง 91
ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 91
ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 92
ตารางที่ ง.10 ข้อมูลปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่ง 93
ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 93
ตารางที่ ง.12 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 94
ตารางที่ ง.13 ข้อมูลปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่ง 95
ตารางที่ ง.14 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 95
ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 96
ตารางที่ ง.16 ข้อมูลปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละตำแหน่ง 97
ตารางที่ ง.17 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA 97
ตารางที่ ง.18 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan 98
ตารางที่ ง.19 ข้อมูลปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบ 99
ตารางที่ ง.20 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA 99
ตารางที่ ง.21 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan 100
ตารางที่ ง.22 ข้อมูลปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบ 101
ตารางที่ ง.23 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA 101
ตารางที่ ง.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณแคดเมียม 102
ตารางที่ ง.25 ข้อมูลปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบ 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.26 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA 103
ตารางที่ ง.27 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan 104
ตารางที่ ง.28 ข้อมูลปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบ 105
ตารางที่ ง.29 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA 105
ตารางที่ ง.30 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เขตป่าชายเลนในประเทศไทย 5
รูปที่ 2.2 ส่วนต่างๆของต้นลำพู 8
รูปที่ 3.1 แผนที่การสุ่มตัวอย่าง 21
รูปที่ 3.2 วิธีการสุ่มตัวอย่าง 21
รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่าง 22
รูปที่ 3.4 ลักษณะและส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู 23
รูปที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 30
รูปที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในรากของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 31
รูปที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักในกิ่งของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 31
รูปที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักในใบล่างของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 32
รูปที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักในใบบนของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง 32
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของน้ำในแต่ละกลุ่มการทดลอง 34
รูปที่ 4.7 ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบ 35
รูปที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบ 36
รูปที่ 4.9 ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบ 36
รูปที่ 4.10 ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่ขึ้นอยู่ตามชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะบริเวณอ่าวและปากแม่น้ำในเขตร้อน (Tropical) และเขตกึ่งร้อน (Subtropical) ซึ่งเป็นดินเลนเกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาตามแม่น้ำลำธารหรือกระแสน้ำและเกิดการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเลกลายเป็นน้ำกร่อยที่มีสภาพความเค็มแตกต่างกัน อันเป็นปัจจัยแวดล้อมที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้ป่าชายเลน ปกติป่าชายเลนได้ทำหน้าที่เป็นป้อมปราการธรรมชาติที่คอยปกป้องชายฝั่งทะเลไม่ให้ถูกทำลายจากกระแสคลื่นซึ่งเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและคอยอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนเพื่อให้เจริญวัยสามารถอยู่อาศัยในทะเลลึก ขณะเดียวกันสัตว์บกสามารถเข้ามาอาศัยและแสวงหาอาหารที่มีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ แต่ในปัจจุบันเป็นที่น่าเสียดายว่าป่าชายเลนได้ถูกคุกคามโดยมนุษย์มาเป็นเวลานานโดยการตัดไม้มาใช้ประโยชน์ บุกรุกทำลายพื้นที่เพื่อเป็นที่อยู่อาศัย และประกอบอุตสาหกรรมต่างๆ ทำให้ป่าชายเลนเป็นจำนวนมากถูกเปลี่ยนสภาพไปจากเดิมโดยสิ้นเชิงบางพื้นที่ยากแก่การฟื้นฟูให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้

ทางสาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของป่าชายเลน จึงจัดกิจกรรมปลูกชายเลนขึ้นที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชินี จังหวัดสมุทรปราการ ประกอบกับในละแวกใกล้เคียง ได้แปรสภาพเป็นโรงงานอุตสาหกรรม บ้านจัดสรร ชุมชนขนาดใหญ่ ซึ่งสถานที่เหล่านั้นมีการปล่อยสารพิษและของเสียที่เป็นอันตรายจากกิจกรรมต่างๆ ส่งผลให้พื้นที่รอบๆบริเวณบางปู มีการปนเปื้อนของสารเคมี จากการได้ร่วมกิจกรรมการปลูกป่าชายเลนทำให้กลุ่มโครงงานพิเศษมีแนวคิดว่าดินตะกอนในบริเวณป่าชายเลนที่ได้ทำกิจกรรมอาจมีการปนเปื้อนของสารพิษหรือสารเคมีอันตรายจำพวกโลหะหนักปนเปื้อน นอกจากนี้ยังได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับสมบัติของต้นลำพูว่าสามารถช่วยลดการสะสมโลหะหนักหรือไม่ ดังนั้นกลุ่มโครงงานพิเศษจึงเลือกศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนและการตรึงโลหะขึ้นสู่ส่วนต่างๆของต้นลำพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสะสมโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลน และส่วนต่างๆ ของต้นลำพู บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียติ 72 พรรษามหาราชินี จ. สมุทรปราการ
2. เพื่อศึกษาการตรึงโลหะหนักไปสู่ส่วนต่างๆ ของต้นลำพู บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียติ 72 พรรษามหาราชินี จ. สมุทรปราการ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนและส่วนต่างๆของต้นลำพู

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) และสังกะสี (Zn)ในดินตะกอนป่าชายเลน
2. ศึกษาปริมาณของโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนตามวิธีมาตรฐาน US EPA, 1996. SW 846 Method 3050B
3. ศึกษาปริมาณของโลหะหนักในส่วนต่างๆของต้นลำพูตามวิธีย่อยแบบเปียกของ Singh and Agrawal, 2010
4. ศึกษาปริมาณของโลหะหนักในน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่างต้นลำพูตามวิธีมาตรฐานกรมพัฒนาที่ดิน,2547

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในดินตะกอนป่าชายเลน และส่วนต่างๆ ของต้นลำพู
2. ทราบถึงศักยภาพการตรึงโลหะหนักจากดินตะกอนป่าชายเลนสู่ส่วนต่างๆ ของต้นลำพู
3. สามารถนำต้นลำพูมาใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการตรึงปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ป่าชายเลน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2550)

ป่าชายเลน หรือป่าโกงกาง (Mangrove forest หรือ Intertidal forest) เป็นระบบนิเวศที่ประกอบด้วยพืชพรรณและสัตว์นานาชนิด ดำรงชีวิตร่วมกันในสภาพแวดล้อมบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นดินกับน้ำทะเล โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำลำคลอง เมื่อน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลรวมตัวกันกลายเป็นน้ำกร่อย หากบริเวณนั้นเป็นอ่าวคลื่นลมสงบตะกอนที่มากับแม่น้ำจะตกตะกอนลงสู่พื้นเกิดการสะสมรวมตัวกันจนมีลักษณะเป็นหาดเลนกว้าง

2.1.1. ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ป่าชายเลนอุดมสมบูรณ์

การเพิ่มและลดจำนวนของป่าชายเลน รวมทั้งความอุดมสมบูรณ์ มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางด้านเคมี ดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในบริเวณที่มีป่าชายเลนไม่ต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวพบว่าป่าชายเลนมีขึ้นอยู่น้อยและมีขนาดของต้นไม้เล็กกว่าป่าชายเลนที่อยู่ในเขตร้อน

2) ดิน (Soil)

โดยส่วนใหญ่ป่าชายเลนจะขึ้นอยู่ในที่ที่เป็นดินเลน ซึ่งพบทั่วไปในบริเวณที่มีตะกอนทับถมตามชายฝั่ง (Detaic coasts) ทะเลใน (Lagoons) และชายฝั่งตามปากแม่น้ำ (Estuarine shorelines) เป็นต้น

3) ความเค็มของน้ำทะเล (Salinity)

ปริมาณเกลือที่ละลายในน้ำรอบป่าชายเลนมีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของไม้ป่าชายเลน ดังนั้นถ้าในพื้นที่ป่าชายเลนมีเกลือน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตของไม้ป่าชายเลนเติบโตช้า ไม่สามารถแก่งแย่งการเจริญเติบโตกับพืชชนิดอื่นได้

4) ระยะการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range)

ช่วงน้ำขึ้นน้ำลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ในภูมิประเทศ ถ้าเป็นบริเวณที่มีความลาดชันต่ำช่วยทำให้มีน้ำท่วมมากจะส่งผลให้มีพื้นที่ป่าชายเลนมาก แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดชันมากสูงป่าชายเลนจะเป็นแนวแคบ และมีจำนวนพื้นที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ชายฝั่งทะเลตื้น (Shallow shores)

ป่าชายเลนไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่มีน้ำลึก เนื่องจากรากพืชมีขีดจำกัด ไม่สามารถยึดเหนี่ยวดินในบริเวณน้ำลึกได้ ดังนั้นถ้าพื้นที่ชายฝั่งทะเลยิ่งตื้นมากก็จะทำให้พื้นที่ป่าชายเลนขยายมากยิ่งขึ้น

2.1.2. ประโยชน์ของป่าชายเลน

ป่าชายเลนมีความสำคัญและสร้างประโยชน์มากมายแก่มนุษย์ เพราะป่าชายเลนเป็นที่รวมของพืช เป็นที่วางไข่ แหล่งอาหาร และแหล่งเจริญเติบโตของสัตว์น้ำนานาชนิด ซึ่งมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์หลายด้านดังต่อไปนี้ ด้านสิ่งแวดล้อม, ด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคมและการท่องเที่ยว

ด้านสิ่งแวดล้อม ป่าชายเลนไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันภัยธรรมชาติ แต่ยังเป็นเสมือนเกราะกำบังภัยธรรมชาติเพื่อป้องกันลมพายุที่พัดมาทำลายดินที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเลและยังเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์ รวมทั้งยังเป็นที่ขยายพันธุ์สัตว์น้ำวัยอ่อนและพืชนานาชนิดอีกด้วย

ด้านเศรษฐกิจ ป่าชายเลนเป็นแหล่งสร้างอาชีพที่สำคัญของชุมชนในพื้นที่ ทั้งในด้านป่าไม้การประมง เช่น ในด้านป่าไม้ พรรณไม้จากป่าชายเลน เป็นไม้ที่มีคุณภาพดี โดยเฉพาะไม้โกงกาง สามารถนำมาทำถ่านที่มีคุณภาพดี และไม้ป่าชายเลนอีกหลายชนิดสามารถนำไปทำเฟอร์นิเจอร์ ใช้เป็นไม้ฟืน ไม้เสาเข็ม ไม้ก่อสร้าง และอุปกรณ์ประมงประเภทต่างๆ

ด้านสังคมและการท่องเที่ยว ป่าชายเลนทำหน้าที่เป็นกำแพงธรรมชาติแล้ว ป่าชายเลนยังแหล่งท่องเที่ยวที่สวยงาม และเป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีความสำคัญทางธรรมชาติที่สุดอีกแห่งหนึ่งด้วย เนื่องจากมีความหลากหลายทางระบบนิเวศจึงเหมาะเป็นแหล่งศึกษาหาความรู้ แก่นักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไป

2.1.3. ป่าชายเลนของประเทศไทย (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

ป่าชายเลนของประเทศไทย นับว่าเป็นชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์มากแห่งหนึ่งของโลก ประกอบด้วยพรรณไม้ และสัตว์อีกนานาชนิด ซึ่งถ้าจะนำหลักการของ Snedaker และ Pool มาจำแนกป่าชายเลนของประเทศไทย โดยใช้ลักษณะพื้นที่และการท่วมถึงของน้ำทะเล 4 ชนิด คือ 1) Basin forest, 2) Riverine forest, 3) Fringe forest และ 4) Overwash forest ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

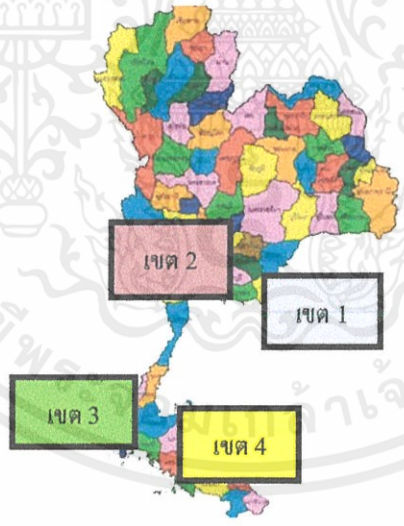
1) Basin forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นติดกับผืนแผ่นดินใหญ่ (Main land) หรือตามลำแม่น้ำเล็กๆ ซึ่งน้ำทะเลมีอิทธิพลต่อป่าชายเลนชนิดนี้น้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำจืด โดยลักษณะพรรณไม้ที่ขึ้นอยู่ภายในป่าชายเลนประเภทนี้จะมีลักษณะลำต้นเตี้ย มีเถาวัลย์ขึ้นอยู่มาก

2) Riverine forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งแม่น้ำใหญ่ๆที่อยู่ติดกับอ่าว ทะเลหรือทะเลสาบ ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากการท่วมถึงของน้ำทะเลอยู่เป็นประจำ โดยป่าชายเลนประเภทนี้ประกอบด้วยพรรณไม้ที่มีการเจริญเติบโตค่อนข้างสมบูรณ์ดี

3) Fringe forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นอยู่ตามชายฝั่งทะเลติดกับแผ่นดินใหญ่ หรือบริเวณชายฝั่งที่เป็นเกาะใหญ่ๆ ซึ่งป่าชายเลนชนิดนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล มีการท่วมถึงอยู่เป็นประจำ โดยพรรณไม้ของป่าชายเลนชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดี และเป็นป่าที่ค่อนข้างสมบูรณ์

4) Overwash forest เป็นป่าชายเลนที่ขึ้นอยู่บนเกาะเล็ก ๆ ป่าชายเลนบริเวณนี้จะถูกน้ำทะเลท่วมทั้งหมดได้รับอิทธิพลทั้งจากลมและน้ำทะเล นอกจากนี้สารอาหารจำพวกปุ๋ยจะถูกชะไปโดยกระแสน้ำ ทำให้การเจริญเติบโตของป่าชายเลนชนิดนี้ต่ำ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้การเจริญเติบโตของป่าชายเลนชนิดนี้ไม่ดีและจะมีลักษะเตี้ย

ป่าชายเลนในบริเวณชายฝั่งของประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 1,047,390 ไร่ ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่ป่าชายเลนตามสภาพทางภูมิประเทศออกเป็น 4 เขตใหญ่ดังนี้



รูปที่ 2.1 เขตป่าชายเลนในประเทศไทย

ที่มา http://www.google.co.th/imgres?q=แผนที่ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขต 1 บริเวณฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยจากจังหวัดตราดถึงชลบุรี

เขต2 บริเวณฝั่งทะเลตอนใต้ของที่ราบเจ้าพระยาจากจังหวัดสมุทรปราการถึงสมุทรสงคราม

เขต 3 บริเวณฝั่งทะเลตะวันตกของอ่าวไทยจากจังหวดเพชรบุรีถึงนราธิวาส

เขต 4 บริเวณฝั่งทะเลด้านตะวันออกของทะเลอันดามันจากจังหวัดระยองถึงสตูล

สำหรับโครงงานนี้ทำการศึกษาบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียติ 72 พรรษามหาราชินีซึ่งอยู่ในบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ จัดอยู่ในเขตที่ 2 ซึ่งมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ดังนี้ปริมาณน้ำฝน ปริมาณฝนตกตลอดปีประมาณ 1,555.9 มิลลิเมตร โดยฝนตกมากที่สุดเดือนกันยายน (378.3 มิลลิเมตร) ต่ำสุดเดือนธันวาคม (6.1 มิลลิเมตร) มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีประมาณ 27.7 องศาเซลเซียส เดือนที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือเมษายนประมาณ 29.9 องศาเซลเซียส และต่ำสุดคือเดือนมกราคม 25.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยต่อปีประมาณ 76.1 เปอร์เซนต์ โดยมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม (81.4 เปอร์เซนต์) และค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม (70.0 เปอร์เซนต์)

พรรณไม้ป่าชายเลน (สนิท อักษรแก้ว, 2542)

เอกลักษณ์ของป่าชายเลนที่ทำให้เห็นแตกต่างจากป่าบกอย่างชัดเจนคือ การแพร่กระจายของพรรณพืชที่มีลักษณะจัดแบ่งออกเป็นแนวเขต (Zonation) โดยพรรณไม้แต่ละชนิดจะขึ้นเป็นเขตหรือเป็นโซนที่ค่อนข้างแน่นอน แต่การแบ่งเขตของพืชในพื้นที่แต่ละแห่งจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน ความเค็มของน้ำในดิน ความถี่ของการท่วมถึงของ น้ำทะเล ตลอดจนกระแสน้ำ การระบายน้ำ และความเปียกชื้นของดิน ซึ่งอาจเกี่ยวเนื่องกับลักษณะการออกรากและการเจริญเติบโตของลูกไม้ เช่น ที่อำเภอหงาว จังหวัดระยอง เขตแรกที่เป็นหาดดินเลนหรือดินปนทรายจะเป็นกลุ่มไม้แสม *(Avicennia)* ลำพู ลำแพน *(Sonneratia)* ถัดเข้าไปในบริเวณดินค่อนข้างแข็งคือไม้ตะบูน *(Xylocarpus)* ไม้โปรง *(Ceriops)* และไม้ฝาด *(Lumnitzera)* ส่วนแนวสุดท้ายที่เชื่อมต่อกับป่าบก คือไม้เสม็ด *(Melaleuca)* และอาจมีพวกไม้พื้นล่าง เช่น สำมะง่า *(Clerodendrum)* และเหงือกปลาหมอ *(Acanthus)* รวมทั้งเถาวัลย์ เช่น หวายลิง *(Flagellaria)* ขึ้นอยู่บ้าง

การแบ่งเขตหรือแนวของพรรณไม้ป่าชายเลนค่อนข้างเด่นชัด เนื่องจากมีความสัมพันธ์หรือได้รับอิทธิพลจากสภาพพื้นที่และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม พรรณไม้ที่จัดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้เบิกนำ (Pioneer species) ได้แก่ ไม้แสม *(Avicennia)* และไม้ลำพู *(Sonneratia)* สามารถขึ้นริมน้ำที่มีดินเลนปนทราย และมีน้ำทะเลท่วมถึงเป็นประจำ ไม้โกงกาง (*Rhizophora apiculata Blume)* เป็นพรรณไม้ที่พบในบริเวณที่มี ดินเลนมีความหนามาก สำหรับไม้ฝาด *(Lumnitzera)* และตะบูน *(Xylocarpus)*ขึ้นในที่ดินเลนแข็ง และพื้นที่ระดับค่อนข้างสูงเล็กน้อย ส่วนพวกที่ชอบขึ้นอยู่บนพื้นที่เลนแข็ง และมีน้ำทะเลท่วมถึงบางครั้งบางคราวในรอบเดือน ได้แก่ กลุ่มไม้ตาตุ่มทะเล *(Excoecaria)* กลุ่มไม้เสม็ด *(Melaleuca)* กลุ่มไม้เป้ง *(Phoenix)* สำหรับบริเวณป่าชายเลนที่ถูกถางและทำลาย จะพบพวกปรงทะเล *(Acrostichum)* ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น

ป่าชายเลนประกอบด้วยพืชหลายชนิดมีทั้งไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุกไปจนถึงสาหร่ายทะเล และแพลงค์ตอนพืช ไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่านี้จะมีลักษณะพิเศษผิดแผกกับต้นไม้ในป่าชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปคือสามารถขึ้นอยู่ได้ในดินเลนที่น้ำทะเลขึ้นท่วมถึงเป็นครั้งคราวหรือเป็นประจำทุกวัน ดังได้กล่าวแล้วว่าไม้ในป่าชนิดนี้ จัดอยู่ในจำพวกทนแล้ง เพราะไม่สามารถใช้น้ำเค็มให้เป็นประโยชน์ได้ จึงจำเป็นต้องปรับสภาพให้ทนต่อความแห้งแล้ง เช่น มีใบเป็นมัน และมีการระเหยน้ำออกทางใบน้อยกว่าต้นไม้ประเภทที่ไม่ผลัดใบอื่นๆ เป็นต้น

ป่าชายเลนเป็นแหล่งผลิตอาหารและพลังงานที่สำคัญยิ่งสำหรับมนุษย์และยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายจากซากพืช เช่น ใบที่ร่วงหล่นจะเป็นแหล่งอาหารของกุ้ง หอย ปู ซึ่งจะเป็นอาหารของปลาต่อไป นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำก็เป็นอาหารของจุลินทรีย์ตลอดจนแพลงค์ตอนพืชได้เช่นกัน พรรณไม้ในป่าชายเลนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในลักษณะต่างๆกัน ที่นิยมกันมากได้แก่ การนำมาเผาถ่าน ซึ่งถ่านจากไม้โกงกางนั้นถือเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี ให้ความร้อนสูง เมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่น นอกจากใช้เผาถ่านแล้ว ยังใช้ทำฟืนเพื่อหุงต้ม ทำเสาเข็ม และไม้ค้ำยัน ซึ่งใช้ในการปลูกพืชผลทางการเกษตร หรือค้ำยันรางแร่ แต่มักใช้อยู่ในวงจำกัด นอกจากนั้นยังอาจนำมาทำเป็นชิ้นไม้สับ (Wood-chips) ซึ่งนิยมทำแพร่หลายในประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย แต่ในประเทศไทยยังนำมาใช้ในลักษณะไม้สับปริมาณน้อยมาก

ต้นลำพู *Sonneratia caseolaris*

ลำพู (ชื่อสามัญ เรียกว่า Cork tree, Mangrove apple) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Sonneratia caseolaris* (L.) Engl. เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางในวงศ์ *Sonneratiaceae* พบทั่วไปตามดินเลนริมแม่น้ำหรือคลอง ที่มีระดับน้ำขึ้นน้ำลงท่วมถึง ขึ้นได้ทั้งในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย ลำพูมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นไม้ยืนต้น เรือนยอดเป็นทรงพุ่ม มีการเจริญติดต่อกันไป ลำต้นค่อนข้างกลม สูงประมาณ 10-25 เมตร กิ่งเกิดในแนวตั้ง เจริญทางด้านข้างมากกว่าทางยอด เมื่อลำต้นแตกหักจะสร้างกิ่งใหม่ขึ้นแทน เนื่องจากมีตาสำรองอยู่เป็นจำนวนมาก ลักษณะใบเป็นใบเดี่ยวขนาดเล็ก สีเขียว ขอบใบเรียบ ปลายแหลม รูปมนไข่ เนื้อหนาสีเขียวเป็นมัน ท้องใบสีอ่อน แตกใบตรงกันข้ามกันเป็นคู่ อย่างน้อย 5 คู่ กว้าง 0.4 - 0.6 เซนติเมตร ยาว 0.5 - 11 เซนติเมตร มีก้านใบสีชมพู ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกบริเวณปลายยอด กลีบรองดอกสีเขียวอ่อน กลีบดอกขาวลายสีม่วงแดงเข้ม ปลายแยกแหลมเป็น 6 กลีบ ลักษณะผลแก่มีเปลือกหนาสีเขียวอมเหลืองคล้ายลูกจันทร์ เนื้ออ่อนนุ่ม ภายในมีเมล็ดจำนวนมาก ประมาณ 1,000 ถึง 2,500 เมล็ด ผลลำพูแก่มีกลิ่นแรง สามารถขยายพันธุ์ได้โดยใช้เมล็ด ร่วงหล่นระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายน

ต้นลำพูไม่มีรากแก้ว เกิดรากแผ่กระจายไปด้านข้างขนานกับผิวดินตื้นๆ และมีรากเล็กๆ แตกแขนงทางด้านล่างทำหน้าที่ยึดเกาะ และมีรากฝอยอีกชั้นทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและสารอาหาร ลำพูยังมีรากพิเศษช่วยในการหายใจ ลักษณะรูปกรวยแหลมยาวแทงโผล่พื้นดินรอบโคนต้น มีความยาวประมาณ 10 - 50 เซนติเมตร ซึ่งจะมีใหญ่และยาวกว่าไม้ชนิดอื่น รากหายใจ (Pneumatophore) ของลำพูนี้เจริญได้รวดเร็ว และทนทานน้ำท่วมได้เป็นเวลานาน

รูปที่ 2.2 ส่วนต่างๆของต้นลำพู

ที่มา http://th.wikipedia.org/wiki/ลำพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ : ในอดีตพรรณไม้ลำพูใช้ทำจุกขวด ภาชนะปิดฝาโอ่ง ไห อีกทั้งพรรณไม้ลำพูยังสามารถป้องกันน้ำที่กัดเซาะพื้นตลิ่ง และช่วยดูดซึมน้ำเสียให้เป็นน้ำดี แต่ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้วัสดุอื่นแทน จึงทำให้พรรณไม้ลำพูลดความสำคัญและขาดการดูแลขยายพันธุ์ (http://th.wikipedia.org/wiki/ลำพู)

2.2 ดิน (ชัยสิทธิ์ ตระกูลศิริพาณิชย์, 2553)

ดิน (Soil) หมายถึง วัตถุ หรือ เทหวัตถุ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของหิน และแร่ (Rock & Inorganic matter) ผสมกับอินทรียวัตถุ หรือซากพืช ซากสัตว์ (Organic matter) ที่ย่อยสลายแล้วหรือกำลังถูกย่อยสลาย รวมกับน้ำและอากาศในสัดส่วนที่แตกต่างกัน หรืออีกนัยหนึ่ง ดิน หมายถึง ผลผลิตที่เกิดการกระทำของสภาพภูมิอากาศ สิ่งไม่มีชีวิต และสิ่งมีชีวิตต่อวัตถุต้นกำเนิดดินในสภาพแวดล้อมใดสภาพแวดล้อมหนึ่งหรือในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง

2.2.1. ลักษณะดิน

ดินสามารถแบ่งประเภทโดยดูจากลักษณะเนื้อดิน และศึกษาถึงสัดส่วนอนุภาคต่างๆของดิน เช่น อนุภาคทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) เป็นต้น ซึ่งแบ่งเป็นดังนี้

ดินเหนียว (Clay) คือ ดินที่มีอนุภาคดินเหนียว อย่างน้อยร้อยละ 40 มีอนุภาคขนาดทรายไม่เกินร้อยละ 45 และมีอนุภาคขนาดทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 40 ในสภาพเปียกชื้น จะยืดหยุ่นและเหนียวมาก สามารถทำให้เป็นแผ่นบางๆ ไม่แตกหักออกจากกัน

ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay) คือ ดินที่มีอนุภาคขนาดดินเหนียว อย่างน้อยร้อยละ 40 และมีอนุภาคขนาดทรายแป้ง อย่างน้อยร้อยละ 40 เมื่อดินแห้งจะแตกออกเป็นก้อนแข็ง เมื่อเปียกจะเหนียวจัด ทำให้เป็นแผ่นบางๆได้

ดินทราย (Sand) คือ ดินที่มีอนุภาคขนาดดินทรายมากกว่าร้อยละ 85 และมีร้อยละของอนุภาคขนาดทรายแป้งรวมกับ 1.5 เท่าของค่าร้อยละของอนุภาคขนาดดินเหนียว น้อยกว่า 15 อนุภาคดินจะไม่เกาะกัน จะเห็นเป็นเม็ดๆ เมื่อแห้ง

ความละเอียดเนื้อดิน แบ่งเป็น

ละเอียดมาก	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	< 1	มิลลิเมตร
ละเอียด	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	1 - 2	มิลลิเมตร
ละเอียดปานกลาง	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	2 - 5	มิลลิเมตร
หยาบ	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	5 - 10	มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาบมาก หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง > 10 มิลลิเมตร

2.2.2. แร่ธาตุในดินที่สำคัญ (ชัยสิทธิ์ ตระกูลศิริพาณิชย์, 2553)

1) คาร์บอน (Carbon, C)

เป็นธาตุที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างเซลล์ (Carbon skeletons) ของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ในรูปสารประกอบคาร์บอน ในพืชมักอยู่ในรูปของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยทั่วไปพืชจะได้รับธาตุคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศ เมื่อพืชเจริญเติบโตจะมีการสร้างเนื้อเยื่อและสะสมสารประกอบคาร์บอนในส่วนที่เป็นใบ ดอก กิ่ง ลำต้น หรือแม้แต่ในเมล็ด

2) ไนโตรเจน (Nitrogen, N)

ธาตุไนโตรเจนกำเนิดมาจากอากาศ ผ่านกระบวนการตรึงทางชีวภาพ (Biological N_2 fixing) และจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า เกิดจากการสะสมของไนโตรเจนในดินในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) ในรูปไนเตรท (NO_3^-) โดยทั่วไปพืชจะใช้ไนโตรเจนใน 2 รูปแบบนี้

3) ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)

ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออโทฟอสฟอริก รูปของแอนไอออนมีถึง 3 แบบ ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายดิน ที่ดินมี pH ต่ำกว่า 6.8 จะพบฟอสฟอรัสในรูปของ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่าย ดินที่มี pH ระหว่าง 6.8-7.2 จะพบฟอสฟอรัสในรูปของ HPO_4^{2-} ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้น้อยกว่ารูปแบบแรก และถ้าดินที่ pH สูงกว่า 7.2 จะพบฟอสฟอรัสในรูปของ PO_4^{3-} ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้น้อย โดยทั่วไปพืชต้องการฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.3 - 0.5 ของน้ำหนักแห้ง และถ้าพืชมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้งถือว่ามีความเป็นพิษ

4) โพแทสเซียม (Potassium, K)

ธาตุโพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินและแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ และเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation exchange) โดยพืชจะนำโพแทสเซียมในรูปของอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (Potassium ion, K^+) มาใช้ประโยชน์ อนุมูลโพแทสเซียมในดินจะอยู่ในรูปของน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ในดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว จึงมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าดินในกลุ่มที่มีเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินป่าชายเลนในจังหวัดสมุทรปราการ (ชัยสิทธิ์ ตระกูลศิริพาณิชย์, 2553)

ดินป่าชายเลนในจังหวัดสมุทรปราการ สามารถขุดหน้าดินได้ลึกถึงประมาณ 40 เซนติเมตร ดินเกือบทั้งหมดมีลักษณะเป็นดินเหนียว (ดินที่มีอนุภาคดินเหนียว อย่างน้อยร้อยละ 40 มีอนุภาคขนาดทรายไม่เกินร้อยละ 45 และมีอนุภาคขนาดทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 40 ในสภาพเปียกชื้น จะยืดหยุ่นและเหนียวมาก สามารถทำให้เป็นแผ่นบางๆ ไม่แตกหักออกจากกันอนุภาคดินมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร) ส่วนมากมีกลิ่นซากพืช ซากสัตว์ ดินส่วนใหญ่มีสีในกลุ่มสีน้ำตาล (7.5YR) และในกลุ่มสีเทาอมฟ้า (G2) ดินที่ความลึก 0 - 5 เซนติเมตร อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.0 – 31.0 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 29.0 องศาเซลเซียส) มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0 - 6.4 แต่ส่วนมากอยู่ในช่วงระหว่าง 5.60 – 6.09 จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความเป็นกรดปานกลาง ส่วนที่ความลึก 5 – 40 เซนติเมตร อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25.0 – 28.0 องศาเซลเซียส (เฉลี่ย 26.5 องศาเซลเซียส) มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.2 - 6.4 แต่ส่วนมากอยู่ในช่วงระหว่าง 6.10 – 6.59 จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความเป็นกรดเล็กน้อยปริมาคาร์บอนรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 1.78 – 3.67 โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.73 ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.23 – 0.41 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 ค่า C:N ratio ของดินโดยรวมของจังหวัดสมุทรปราการเท่ากับ 8.5:1 แสดงให้เห็นว่าดินเลนบริเวณนี้มีไนโตรเจนในปริมาณที่ค่อนข้างมากเกินไปเทียบกับปริมาณคาร์บอนในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.100-0.141 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.120

2.3 โลหะหนัก (สุวัจน์ ธัญรส, 2549)

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง กลุ่มโลหะที่มีความถ่วงจำเพาะ 4.0 ขึ้นไป ส่วนมากเป็นธาตุจำพวกโลหะทรานซิชัน (Transition metals) มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23-92 โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะแอลคาไลน์ (Alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaline earth) โลหะหนักเป็นสารคงตัว ไม่สลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติ บางส่วนมีสภาพเป็นสารแขวนลอย บางส่วนตกตะกอน มีความเป็นพิษสูง โลหะหนักเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆ เช่น ในด้านอุตสาหกรรม ใช้โลหะหนักในการผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย และเป็นต้นกำเนิดโลหะผสมอีกหลายชนิด สำหรับทางด้านการเกษตร โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช และปุ๋ย ขณะเดียวกันทางการแพทย์ใช้โลหะหนักเป็นส่วนผสมของยา อาหารเสริม อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตนี้ เป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักเข้าสู่ระบบนิเวศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1. แคดเมียม (Cd)

แคดเมียม (Cd) เป็นธาตุที่ 2 ในหมู่ IIB มีเลขอะตอม 48 มีน้ำหนักอะตอม 112.40 amu จุดหลอมเหลว 321.07 องศาเซลเซียส จุดเดือด (โดยประมาณ) 767 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 8.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) มีเลขออกซิเดชันเป็น + 2 แคดเมียม (Cd) เป็นโลหะทรานซิชัน มีสีขาวเงิน มันวาว ลักษณะนิ่ม สามารถดึงเป็นเส้นได้ มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Hexagonal มีสมบัติ Covalent bonding เป็นโลหะที่ว่องไวในปฏิกิริยาเคมี (Fairly reactive) ละลายได้ในกรดและเบส สามารถพบแคดเมียม (Cd) ได้ในแร่ธรรมชาติมีสมบัติทางเคมีคล้ายสังกะสี (Zn) และมักพบในแร่สังกะสี (Zn)

แคดเมียม (Cd) สามารถนำไปชุบโลหะ ทำสีย้อม ทำแบตเตอรี่ แคดเมียม-นิเกิล ชนิดประจุไฟได้ใหม่หรือใช้ในสารกึ่งตัวนำบางชนิด เช่น แคดเมียม-ซัลไฟด์ แคดเมียม-ซีลีไนด์ และแคดเมียม-เทลลูไรด์ ซึ่งสามารถใช้สำหรับการตรวจจับแสง หรือโซลาร์เซลล์ที่มีความไวต่ออินฟราเรด

อันตรายจากแคดมียม (Cd) อาจเกิดจากการรับประทานอาหารที่บรรจุกระป๋องที่เคลือบด้วยแคดเมียม การดื่มน้ำ หรือการรับประทานผัก ผลไม้ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม โดยการหายใจเอาฝุ่นละอองของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดการสะสมที่ปอดสามารถทำให้เกิดโรคถุงลมพองได้ ถ้าหากร่างกายมีการสะสมแคดเมียมมากกว่า 200 ppm จะทำให้เกิดไตพิการ และอาการทางประสาท

2.3.2. โครเมียม (Cr)

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุแรกของหมู่ VIB เลขอะตอม 24 มีน้ำหนักอะตอม 51.996 amu จุดหลอมเหลว 1,875 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,199 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 7.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +2,+3 และ+6 โครเมียม (Cr) เป็นธาตุประเภทโลหะ มีสีขาวปนน้ำเงิน แข็งแต่เปราะ สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊ส HCl และ HF ส่วนสารละลายไฮโดรเฮโลเจน และกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์ละลายโครเมียม (Cr)ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นของโครเมตหรือไอของกรดโครมิกเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ ระดับการทนได้ของฝุ่นของโครเมตในอากาศ คือ 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ

2.3.3. ทองแดง (Cu)

ทองแดง (Cu) เป็นธาตุแรกของหมู่ IB มีเลขอะตอม 29 มีน้ำหนักอะตอม 63.54 amu จุดหลอมเหลว 1083 องศาเซลเซียส จุดเดือด (โดยประมาณ) 2582 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 8.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +1, +2 ทองแดง (Cu) เป็นโลหะที่นิยมใช้ในรูปของโลหะอิสระมากที่สุด เพราะมีสมบัติหลายประการ เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนดีเยี่ยม ทนต่อการผุกร่อน แข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้

ทองแดง (Cu) สามารถนำมาทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ใช้ในการผลิตหม้อต้มน้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวดกาต้มน้ำร้อน ฯลฯหรือใช้เคลือบผิวของโลหะ ใช้ทำโลหะเจือ ทองเหลือง (Brass) ได้อีกด้วย

ทองแดง (Cu) เป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย (Trace element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัมต่อวัน และร่างกายของคนเรามีทองแดง (Cu) อยู่ 100 – 150 มิลลิกรัม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดง (Cu) ในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงจะให้โทษและเป็นพิษ

2.3.4. สังกะสี (Zn)

สังกะสี (Zn) เป็นธาตุแรกของหมู่ IIB เลขอะตอม 30 มีน้ำหนักอะตอม 65.37amu จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 7.133 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) และมีเลขออกซิเดชันสามัญ +2

สังกะสี (Zn) เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา เนื่องจากสังกะสีมีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 และขาดคุณสมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน จึงไม่จัดโลหะสังกะสีอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน แต่เรียกว่าเป็นธาตุหลังทรานซิชัน (Post transition element)

สังกะสี (Zn) ใช้ในอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบด ย่อยแร่ ส่วนประกอบรั้วบ้าน หลังคา และสามารถนำมาใช้เป็นสารประกอบที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น Zinc Dimethyl Dithiocarbamate (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่เกิดต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของสังกะสี (Zn) เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน สารประกอบหลายชนิดของสังกะสีอาจเป็นพิษซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขับออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็วและสังกะสีในรูปผงอาจติดไฟได้ด้วยตัวเองและอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้

2.4 สารมลพิษทางน้ำ

สารมลพิษทางน้ำ คือ สารเคมีที่มีอยู่ในน้ำ แล้วก่อให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำขึ้น ซึ่งสารมลพิษทางน้ำ มีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

สิ่งมีชีวิต (Biological agents) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่ทำให้น้ำเสียหรือเสื่อมคุณภาพ เช่น จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคจำพวก แบคทีเรีย โพรโตซัว ไวรัส และรา ในน้ำจะพบจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคอหิวาตกโรค โรคบิด ไทฟอยด์ โรคลำไส้อักเสบ ตับอักเสบ เป็นต้น สาหร่ายจะเจริญเติบโตในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก สาหร่ายจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการตายและการเน่าของสาหร่าย อันเป็นเหตุให้น้ำเน่าและแหล่งน้ำขาดออกซิเจน

พิษของสารเคมี (Chemical poison) จำพวกสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ สารอนินทรีย์ที่จัดเป็นสารมลพิษทางน้ำ ได้แก่ โลหะหนัก เช่น โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างช้า ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานในรูปตะกอน สิ่งมีชีวิตในน้ำจะได้รับโลหะหนักจากน้ำ พืชน้ำ สัตว์น้ำ จากการกินตามห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นจึงเกิดการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์ และเนื้อเยื่อพืช โดยสะสมสารมลพิษจะเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นการบริโภค โลหะหนักที่พบในแหล่งน้ำ ได้แก่ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) นิเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) เป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อภาวะมลพิษทางน้ำมากที่สุด คือ ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ถ้ามีมากเกินขีดจำกัดแล้วจะทำให้เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

แหล่งของโลหะหนักที่ปล่อยลงสู่ทะเล (สุวัจน์ ธัญรส,2549)

1) บรรยากาศ (Atmospheric Inputs)

เป็นแหล่งของธาตุโลหะปริมาณน้อยจากธรรมชาติที่สำคัญที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเล พวกโลหะที่ถูกปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศ ไม่ว่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ หรือภูเขาไฟระเบิด สามารถทำปฏิกิริยาหรือมีกระบวนการควบแน่นก่อนตกลงสู่ทะเล โดยอาจจะตกลงมาทั้งในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคเล็ก (Partical) หรือตกลงมาพร้อมกับฝน (Precipitation) นอกจากนี้โลหะบางชนิดที่ปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศในรูปแก๊ส (Gases) หรือละออง (Aerosols) เช่น ซีลีเนียม (Se) ปรอท (Hg) และโบรอน (B) ธาตุเหล่านี้จะใช้ระยะเวลาหนึ่งอยู่ในบรรยากาศก่อนที่จะตกลงสู่ทะเล ระยะเวลาขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เช่น ตะกั่ว (Pb) ใช้ระยะเวลาประมาณ 5 วัน

2) จากแม่น้ำลงสู่ทะเล (River Input)

การเคลื่อนย้ายธาตุโลหะลงสู่ทะเลจากกระบวนการชะล้างแล้วไหลลงแม่น้ำก่อนที่จะถูกกระแสน้ำพัดพาลงสู่ทะเล ปริมาณที่ถูกพัดพาออกสู่ทะเลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่แม่น้ำไหลผ่าน ในการเคลื่อนย้ายธาตุโลหะลงสู่ทะเลผ่านทางแม่น้ำส่วนหนึ่งของโลหะจะดูดซับกับอนุภาคของสารแขวนลอยและตกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ

3) จากแหล่งอื่นๆ (Other Sources)

อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือการนำเอาธาตุโลหะไปทิ้งในทะเลโดยตรง

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินและน้ำ

โลหะหนัก	ค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (mg/kg)	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล (mg/L)
แคดเมียม (Cd)	37	0.005
โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเลนท์ (Cr II)	300	0.050
ทองแดง (Cu)	45	0.008
แมงกานีส (Mn)	1,800	0.100
ตะกั่ว (Pb)	400	0.0001
ปรอททั้งหมด (Total Hg)	23	0.0001
สังกะสี (Zn)	70	0.050

ที่มา ดัดแปลงมาจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html#s2, 2555

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html#s1, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Marchand ,C. *et. al.* (2006)

ผู้วิจัยทำการศึกษาเพื่อใช้การสะสมของโลหะหนัก 9 ชนิด ในดินตะกอนเนื้อละเอียดจากชายฝั่งป่าชายเลนของฝรั่งเศส โดยทำการประเมินการเคลื่อนที่ของชายฝั่งเขตร้อนของอเมริกาใต้จากแม่น้ำ Amazon และ แม่น้ำ Orinoco พบว่าดินตะกอนป่าชายเลนเริ่มมีการสลับสับเปลี่ยนของวัฏภาค อันเนื่องมาจากการกัดกร่อนทะลาย และการทับถมกันไม่น้อยกว่า 10 ปี ความถี่ของการทับถมของดินตะกอนมีผลต่อกระบวนการกระจายตัวของโลหะหนักอย่างมาก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสะสมของดินตะกอน ได้แก่ ความแตกต่างของฤดูกาล , บริเวณน้ำท่วมขังมีความแตกต่างในลักษณะต่างๆ ปริมาณของการเกิดตะกอนของสารอินทรีย์, ระยะทางจากน้ำเค็มและน้ำจืด, ช่วงความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถวัดได้อย่างชัดเจน โลหะหนักที่ศึกษาพบว่ามีความเข้มข้นของ Cu (0.06 – 0.61 ไมโครโมลต่อกรัม), Co (0.32 – 0.76 ไมโครโมลต่อกรัม), Cr (0.61–1.40 ไมโครโมลต่อกรัม), Zn (1.25 – 5.94 ไมโครโมลต่อกรัม), Mn (4.36 – 45.4 ไมโครโมลต่อกรัม) และFe (441 – 1128 ไมโครโมลต่อกรัม) จากงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าโลหะหนักที่อยู่ในดินตะกอนป่าชายเลนบริเวณชายฝั่ง Guiana ประเทศฝรั่งเศส มีผลอย่างมากต่อการสลับสับเปลี่ยนของการสะสม และการเคลื่อนที่ของวัฏภาคที่เกิดขึ้นกับต้นน้ำของบริเวณลุ่มแม่น้ำ Amazon ซึ่งแหล่งที่มาของโลหะหนักนั้นจำแนกได้ยาก อย่างไรก็ตามเป็นที่รู้กันดีว่าเป็นการตกสะสมของชั้นดินโดย เกิดจากกัดเซาะบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ Amazon ที่อุดมไปด้วยสารปรอท เช่นเดียวกับการทำเหมืองทองจะเป็นแหล่งทำให้เกิดปรอทที่เป็นพิษ ซึ่งค่า Total Hg มีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 และ 2.57 นาโนโมลต่อกรัม และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.41 นาโนโมลต่อกรัม และมีความสัมพันธ์ชัดเจนกับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ยกเว้นค่าที่สูงผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านธรณีเคมีอย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นของโลหะหนักแปรค่าตามความลึก, สภาวะ Redox และกระบวนการการเน่าเปื่อย ซึ่งจะมีผลต่อสารอินทรีย์ที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีผลต่อการควบคุมความเข้มข้น และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก ซึ่งจากข้อมูลในเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักกับความลึกหรือในพื้นที่ป่าชายเลนเป็นผลมาจากกระบวนการ Diagenetic มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในชุมชนนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Buajan and Pumijumning (2010)

ผู้วิจัยทำการศึกษาตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนัก (แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และสังกะสี) ในตะกอนดิน ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จาก 11 สถานี ในบริเวณป่าชายเลน อำเภอบางหญ้าแพรก ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย พบโลหะหนักหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งเป็นดังนี้ แคดเมียม 0.035 - 0.070, ทองแดง 7.90 - 21.91, ตะกั่ว 11.91 - 25.74 และสังกะสี 55.99 - 75.05 ในฤดูแล้ง ช่วงเดือนเมษายน 2553 มีระดับความเข้มข้นของโลหะสูงกว่าฤดูฝนช่วงเดือนสิงหาคม 2553 โลหะหนักในพื้นที่ศึกษาที่ตรวจพบเรียงลำดับดังนี้ Zn > Pb > Cu > Cd ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักกับสมบัติของดินทั้งด้านกายภาพและเคมี มีนัยสำคัญในสัดส่วนความซับซ้อนของอินทรียวัตถุอาจมีบทบาทต่อรูปแบบการกระจายตัวของโลหะหนัก การวิเคราะห์โลหะหนัก ขนาดของตะกอนดิน พบว่าโลหะหนักมีความสัมพันธ์ในขนาดของตะกอนที่ละเอียดที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะแคดเมียมและสังกะสี

Zhang, Jia-En. *et. al.* (2010)

ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยและพบว่าป่าชายเลนเป็นส่วนสำคัญในการกำจัดสารอาหารต่างๆ รวมทั้งโลหะหนักจากน้ำที่ท่วมพื้นที่ ตลอดจนสารมลพิษประเภทอินทรีย์สารออกจากน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบนิเวศชายฝั่งทะเล ทั้งในสภาวะออกซิไดซ์ และสภาวะรีดิวซ์หรือทั้งในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลงด้วยแรงคลื่น มีอนุภาคเคลย์ และอินทรียวัตถุปริมาณสูง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) และโลหะหนักโดยจำลองพื้นที่ชุ่มน้ำและใช้ต้น *Sonneratia apetala Buch-Han* ในการทดลอง 8 ตำรับ แปรค่าความเข้มข้นของน้ำเสียได้ 3 ระดับ คือ ใช้ความเข้มข้นปกติ,ความเข้มข้นมากกว่า 5 เท่า และ 10 เท่าของความเข้มข้นปกติ และแบ่งเป็นการทดลองที่มีการปลูกพืชและไม่มีการปลูกพืชป่าชายเลนรวม 6 ตำรับ ส่วนอีก 2 ตำรับใช้เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ชีวมวลของพืชป่าชายเลนที่ตำหรับทดลองระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เท่า , 5 เท่า และระดับปกติมีชีวมวลสูง ตามลำดับ ส่วนโลหะหนักที่พบในชีวมวลพบมากเรียงลำดับดังนี้ Cu > Pb > Cd > Zn เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชีวมวลกับสารอาหาร พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดี ($R^2 = 0.997$ สำหรับไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) เช่น การสะสมของโลหะหนักในต้น *Sonneratia apetala Buch-Han* มีความเจาะจงในการดูดโลหะหนักขึ้นจากส่วนของน้ำเสียและดิน พบว่าในพืชมี Pb > Zn > Cu > Cd แม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) เริ่มต้นในน้ำเสียสูงถึง 81.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และในดินสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb)ในน้ำมีเพียง 39.87 มิลลิกัมต่อลิตร และในดินเพียง 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อตรวจปริมาณโลหะในพืชพบตะกั่ว (Pb) สูงถึง 223.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่พบสังกะสี (Zn) เพียง 1.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

พุทธวรรณ รัตนพันธ์ (2551)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปนเปื้อนและการสะสมของโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) โดยศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในบริเวณคลองตอนล่าง เขตบางขุนเทียน ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในตัวอย่าง น้ำ ดินตะกอน (ขนาด < 63 ไมโครเมตร) รากและใบแก่ของต้นโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) ในช่วงระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 ถึงเดือนเมษายน 2551

จากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าปริมาณโครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb)ในน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.004 - 0.32, 0.003 - 0.013, 0.003-0.187 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การสะสมในดินตะกอนพบว่าปริมาณเฉลี่ยของ Cr > Pb > Cd ตามลำดับ ส่วนการสะสมของโลหะหนักในต้นโกงกางพบว่า ในใบมีการสะสมสูง แสดงให้เห็นว่าใบของต้นโกงกางทำหน้าที่ในการเก็บกักโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้ดีกว่าราก โดยมีค่าเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb)ในใบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.261 - 6.790, 0.070 - 0.393, 0.021 - 2.169 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) ในรากมีค่าอยู่ระหว่าง 0.460 - 4.287, 0.060 - 0.270, 0.017 - 0.977 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ ดินตะกอน ใบและรากในพื้นที่ แต่พบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในแต่ละช่วงเวลา โดยปริมาณโลหะหนักจะพบปริมาณสูงในฤดูน้ำมาก (เดือน กรกฎาคม กันยายน พฤศจิกายน และธันวาคม) และลดลงในฤดูน้ำน้อย (มกราคม มีนาคม และเมษายน) และจากการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักของดินตะกอน ในบริเวณพื้นที่มีแนวโน้มของ แคดเมียม (Cd) เพิ่มขึ้น ขณะที่โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณโลหะหนักในเขตป่าชายเลน

งานวิจัย	ความเข้มข้นของโลหะหนัก			
	Cu	Cd	Zn	Cr
ดิน (mg/kg)				
-Marchand ,C. *et.al.* (2006)	3.81-38.76		81.76-388.53	31.72-72.79
-Buajan and pumijumning (2010)	7.90-21.91	0.035-0.070	55.99-75.05	
-Zhang, jia-En. *et.al.* (2010)			50.0	
พืช (mg/kg)				
-Zhang , jia-En. *et.al.* (2010)			1.55	
-พุทธวรรณ รัตนพันธ์ (2551)				
-ใบ		0.070-0.393		0.261-6.790
-ราก		0.060-0.270		0.460-4.287
น้ำ (mg/L)				
-Zhang, jia-En. *et.al.* (2010)			81.3	
-พุทธวรรณ รัตนพันธ์ (2551)		0.003-0.013		0.004-0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) บริษัท Carlo ERBA
2. สารละลายกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (Conc. $HClO_4$) บริษัท Carlo ERBA
3. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) บริษัท Carlo ERBA
4. สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cd) บริษัท Scharlau
5. สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cr) บริษัท Fisher Scientific
6. สารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Cu) บริษัท Scharlau
7. สารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 1000 ppm (1000 ppm Zn)บ ริษัท Carlo ERBA

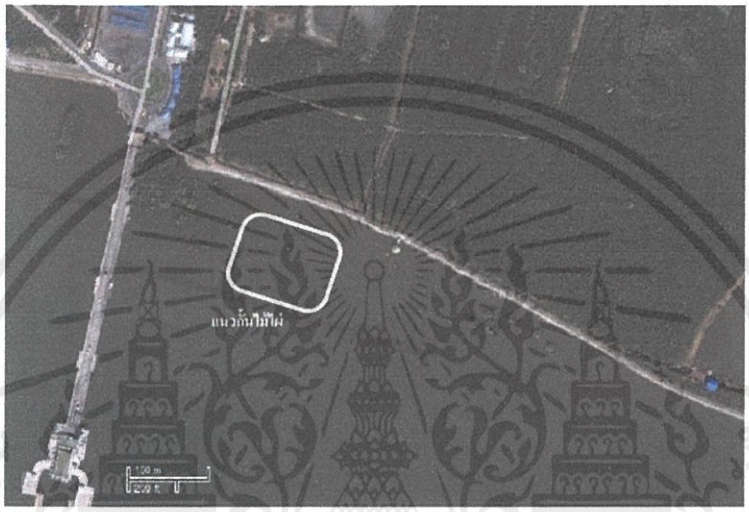
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น: AA-200
2. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น: GENESYS 10S UV-Vis
   ยี่ห้อ: Thermo scientific
3. เครื่องวัด pH รุ่น713ยี่ห้อ: Metrohm
4. เครื่องวัด Conductivity รุ่น:inolabcond level 2ยี่ห้อ: WTW
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งรุ่น: Aux 220ยี่ห้อ:Zhimadzu
6. เครื่องวัด Total Organic Carbon Analyzer (TOC) รุ่น TOC-VCPH ประเทศญี่ปุ่น
7. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
8. ตะแกรงร่อน ขนาด 10 mesh (2 มิลลิเมตร)
9. ตะแกรงร่อน ขนาด 60 mesh
10. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

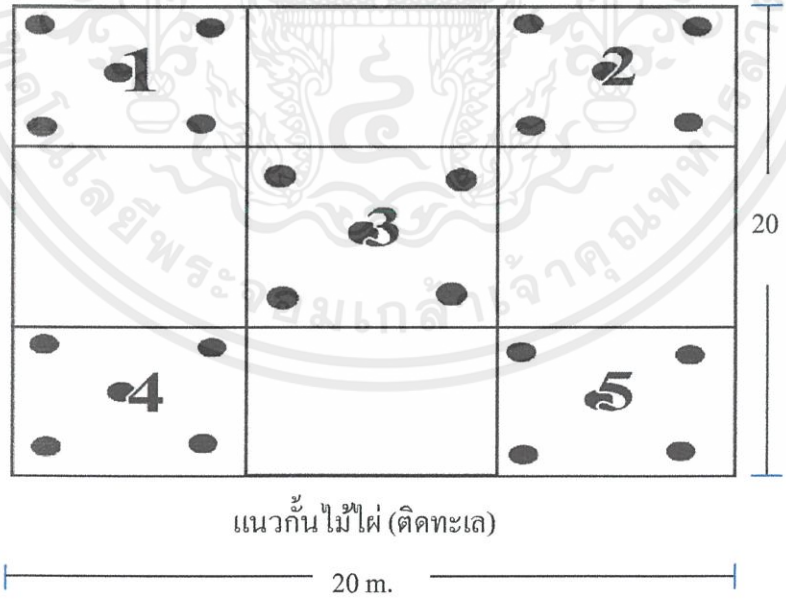
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แหล่งที่มาของวัสดุ

ดินตะกอนป่าชายเลน ต้นลำพู อายุการปลูก1 ปีและน้ำตัวอย่าง ที่ใช้ในการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างมาจากศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชินี จังหวัดสมุทรปราการ พิกัด 13 องศา 30'54"N 100 องศา 39'19"E โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2555 ทำการสุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ 20 × 20 เมตร ตามรูปที่ 3.1 โดยทำการสุ่มตัวอย่างแบบกากบาท แบ่งตัวอย่างเป็น 5 ตำแหน่งตามรูปที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 แผนที่การสุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 3.2 วิธีการสุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเก็บและการเตรียมตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ วัสดุที่นำมาศึกษาได้แก่ ดินตะกอนป่าชายเลน ราก กิ่ง ใบล่างที่ความสูงต่ำกว่า 50 เซนติเมตรใบบนที่ความสูงมากกว่า 50 เซนติเมตรของต้นลำพูมีอายุการปลูก 1 ปี และตัวอย่างน้ำบริเวณเดียวกัน (ขณะน้ำลง)

3.4.1 ดินตะกอนป่าชายเลน

การเก็บตัวอย่างดินตะกอนเก็บที่ความลึก 30 เซนติเมตร โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินตะกอนประมาณ1 กิโลกรัมในแต่ละจุดใส่ในถุงพลาสติก นำตัวอย่างดินมาผึ่งลม แล้วมาอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ให้แห้งสนิทโดยเก็บไว้ในเดสิกเคเตอร์ ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่ต้องนำไปอบจากนั้นนำไปบดด้วยโกร่งและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 10 meshนำตัวอย่างดินของแต่ละจุดของตำแหน่ง A มาผสมกัน ส่วนในตำแหน่งอื่น ๆ นำมาผสมเช่นเดียวกัน

3.4.2 ส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู

การเก็บตัวอย่างต้นลำพูเก็บบริเวณเดียวกับบริเวณที่เก็บตัวอย่างพืชโดยเก็บประมาณ 100 กรัม (ราก ลำต้น ใบบน และใบล่าง) เก็บตัวอย่างไว้ในถุงกระดาษชั่งหาน้ำหนักสด นำส่วนต่างๆของต้นลำพู (ราก กิ่ง ใบล่าง และใบบน) ล้าง แล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ให้แห้งสนิทโดยเก็บไว้ในเดสิกเคเตอร์บดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยาและร่อนผ่านตะแกรง 60 mesh นำตัวอย่างพืชมาผสมเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

3.4.3 น้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละจุดจะเก็บบริเวณเดียวกับบริเวณที่เก็บตัวอย่างดิน และพืชโดยตักแบบจ้วง (Grab Sample)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การเก็บตัวอย่าง

ราก

ใบ

กิ่ง

ลำต้น

รูปที่ 3.4 ลักษณะและส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ศึกษาสมบัติทั่วไปของดินป่าชายเลน

ตารางที่ 3.1การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือวิเคราะห์
ความชื้น (Moisture) - ดิน - ส่วนต่างๆของต้นลำพู	วิธีการชั่งน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) - ดิน (ใช้อัตราส่วน ดิน: น้ำ คือ 1:5) - น้ำ	เครื่องวัดพีเอช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
การวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) - ดิน (ใช้อัตราส่วน ดิน: น้ำ คือ 1:5) - น้ำ	เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ลักษณะเนื้อดินและขนาดอนุภาค (Soil Texture and particle size)	วิธี Hydrometer Method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
อินทรียวัตถุ (Organic Matter, OM)	Dry combustion
ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Cation-Exchange Capacity, C.E.C)	ทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมอะซิเทต (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (TotalKjeldahl Nitrogen, TKN)	Bremner,1965 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Nitrogen)	กลั่นด้วยไอน้ำSteam Distillation (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Phosphorus)	Bray IIและ Ascobic (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

หมายเหตุ : แต่ละพารามิเตอร์ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างในดินตะกอนป่าชายเลน ส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู และน้ำ ในบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชินี จังหวัดสมุทรปราการ เลือกทำการวิเคราะห์โลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม(Cd) โครเมียม (Cr)ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เนื่องจากบริเวณดังกล่าว มีโรงงานอุตสาหกรรม บ้านจัดสรร ชุมชนขนาดใหญ่ซึ่งเกิดการสะสมของโลหะประเภทนี้ได้ง่าย นอกจากนี้ ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ถ้ามีปริมาณที่เหมาะสมสามารถเป็นจุลธาตุอาหารในดินได้จากตารางที่ 2.1 Cd, Cr เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง (0.005 และ 0.05 mg/L) แต่ Cu, Zn มีความเป็นพิษต่ำ จึงมีการกำหนดมาตรฐานในน้ำเข้มข้นสูงกว่า (0.008 และ 0.005 mg/L)

3.6.1 ดินตะกอนป่าชายเลน

ชั่ง1 กรัมต่อสารย่อยสลายคือกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริกอัตราส่วน 1 : 1 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปย่อยด้วย US EPA, 1996. SW 846 Method 3050B จากนั้นนำไปวัดปริมาณแคดเมียม (Cd)โครเมียม(Cr) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ด้วยเครื่อง AAS

3.6.2 ต้นลำพู

ชั่งส่วนต่าง ๆของต้นลำพู 5 กรัมต่อสารย่อยสลายคือ กรดไนตริก: กรดซัลฟิวริก: กรดเปอร์คลอริกอัตราส่วน 5 : 1 : 1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตรนำไปย่อยด้วยวิธีย่อย แบบเปียก Wet digestion method, 2010 จากนั้นนำไปวัดปริมาณแคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ด้วยเครื่อง AAS

3.6.3 ตัวอย่างน้ำ

นำน้ำตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อสารย่อยสลายคือกรดไนตริกปริมาตร 5 มิลลิลิตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) แล้วนำไปย่อย จนได้สารละลายใส จากนั้นนำไปวัดปริมาณแคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการ/เครื่องมือวิเคราะห์
โลหะหนักในดินตะกอนป่าชาย - แคดเมียม (Cd) - โครเมียม (Cr) - ทองแดง (Cu) - สังกะสี (Zn)	US EPA, 1996. SW 846 Method 3050B
โลหะหนักในน้ำ - แคดเมียม (Cd) - โครเมียม (Cr) - ทองแดง (Cu) - สังกะสี (Zn)	กรมพัฒนาที่ดิน, 2547
โลหะหนักในพืช - แคดเมียม (Cd) - โครเมียม (Cr) - ทองแดง (Cu) - สังกะสี (Zn)	วิธีย่อยแบบเปียกของSingh and Agrawal, 2010

หมายเหตุ :วิเคราะห์ตัวอย่าง ตำแหน่งละ 3ซ้ำ รวมทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

1. ดิน 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง
2. น้ำ 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง
3. รากต้นลำพู 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง
4. กิ่งต้นลำพู 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง
5. ใบล่างต้นลำพู 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง
6. ใบบนต้นลำพู 5 ตำแหน่ง ๆ ละ 3 ซ้ำ เท่ากับ 15 ตัวอย่าง

วิธีการย่อย ย่อยตัวอย่างด้วยการให้ความร้อนโดยตรงจาก Hot plate ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใส ปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นกรองสารละลายตัวอย่างผ่าน Syringe filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บรักษาในขวดยาพลาสติกที่ผ่านการแช่กรดไนตริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปวัดโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 สมบัติเบื้องต้นของดินตะกอนป่าชายเลน

การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนนั้นจำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินก่อน ได้แก่ ขนาดของอนุภาคดิน ค่าพีเอช ค่าอินทรียวัตถุ ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้ทราบว่าดินตะกอนป่าชายเลนนั้นมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักไว้ในปริมาณใดและเพื่อทำให้ทราบถึงปริมาณที่ต้นลำพูสามารถตรึงไว้ยังส่วนต่างๆของลำต้น บริเวณที่ศึกษาต้นลำพูเป็นป่าปลูกที่มีอายุการปลูก 1 ปี โดยผลศึกษาสมบัติต่างๆของดินตะกอนป่าชายเลนเป็นดังนี้

4.1.1 สมบัติทั่วไป

จากผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน พบว่า ดินมีอนุภาคทรายขนาด 0.50 - 0.25 มิลลิเมตร ประมาณ 69.24 เปอร์เซนต์ อนุภาคทรายแป้งขนาด 0.05 - 0.002 มิลลิเมตร ประมาณ 6 เปอร์เซนต์และมีอนุภาคเคลย์ขนาดน้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตร ประมาณ 12.76 เปอร์เซนต์ ซึ่งจัดได้ว่าดินตะกอนป่าชายเลนเป็นดินร่วนเหนียว ค่าความชื้นของดินตะกอน ป่าชายเลนอยู่ที่ 4.5±0.40 และค่าความชื้นของราก กิ่ง ใบบนและใบล่างของต้นลำพูอยู่ที่ 306.16 ± 2.24, 107.13 ± 3.65, 206.39 ± 10.22 และ 214.26 ± 6.39 ตามลำดับ ค่าพีเอชของดินตะกอนป่าชายเลนอยู่ที่ 6.69 ± 0.22 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงพีเอชที่เป็นกลาง ซึ่งโดยปกติดินทั่วไปมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5 - 8 ค่าการนำไฟฟ้าของดินตะกอนป่าชายเลน อยู่ที่ 3.81 ± 0.79 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งถือว่าดินมีความเค็ม ค่าอินทรียวัตถุของดินตะกอนป่าชายเลนอยู่ที่ 2.64 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าอินทรียวัตถุอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (CEC) ของดินตะกอนป่าชายเลนอยู่ที่ 16.92 ± 0.09 เซนติโมลต่อกิโลกรัม พบว่าดินตะกอนป่าชายเลนมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยน แคตไอออนของดินอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูงซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่มีค่าอินทรียวัตถุสูง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N, P) พบว่าดินตะกอนป่าชายเลน มีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปแอมโมเนียม - ไนโตรเจน 90.72 ± 25.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในรูปไนเทรต-ไนโตรเจน 175.38 ± 52.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินตะกอนป่าชายเลนที่ 64.33 ± 7.10มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งพบว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์นั้นอยู่ในช่วงที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 4.1

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าดินตะกอนป่าชายเลนนี้ สมบัติทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากดินตะกอนป่าชายเลนมีความเค็ม แต่ในดินตะกอนป่าชายเลนนี้ มีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่ได้ทำการตรวจวัด ในอัตราส่วนที่เพียงพอ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นลำพูในบริเวณนี้มีความสมบูรณ์ และเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่

ตารางที่ 4.1 สมบัติทั่วไปของดิน (Mean ± S.D.)

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน*
ความชื้น (%)	4.5 ± 0.40	-
พีเอช	6.69 ± 0.22	5 - 8
การนำไฟฟ้า (mS/cm)	3.81 ± 0.79	4 - 8
อินทรียวัตถุ (%)	2.64 ± 0.06	1.5 - 2.5
ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (cmol/kg)	16.92 ± 0.09	10 - 15
ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)		
แอมโมเนียม-ไนโตรเจน	90.72 ± 25.99	
ไนเทรต-ไนโตรเจน	175.38 ± 52.27	150 - 1000
ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%)	0.02 ± 0.01	0.14
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	64.33 ± 7.10	11- 15

*ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน 2547

4.2 ปริมาณโลหะหนัก

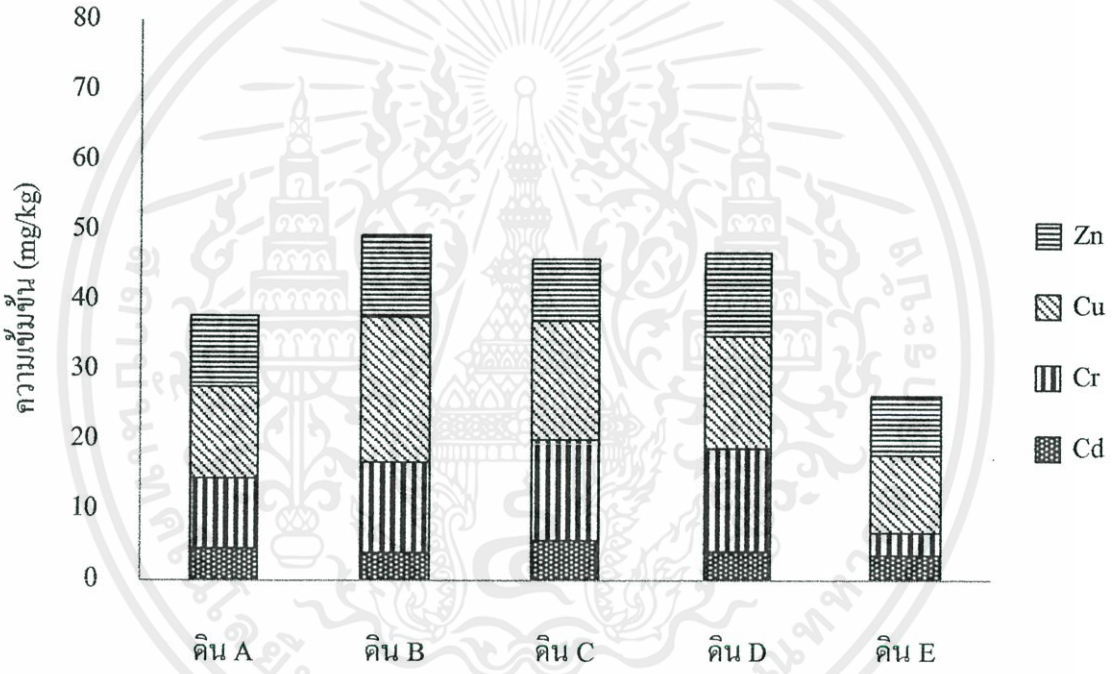
4.2.1 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลน

การ เลือกศึกษาโลหะหนักบริเวณ บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติกองทัพบก (บางปู) เฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษามหาราชินี จ. สมุทรปราการ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ในบริเวณเดียวกับนิคมอุตสาหกรรมบางปู ซึ่งอาจทำให้ป่าชายเลนเกิดการปนเปื้อน โลหะหนักจากการปล่อยของเสียจา กนิคมอุตสาหกรรมและเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอนป่าชายเลน ในการศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาดินตะกอนป่าชายเลนชั้นบน (ลึก 0 - 30 เซนติเมตร) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการจัดเก็บตัวอย่างดิน โดยโลหะหนักที่เลือกศึกษาทั้ง 4 ชนิดได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีของ US EPA, 1996. SW 846 Method 3050B พบว่าในดินตะกอนป่าชายเลน มีปริมาณของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดไม่เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ดังตารางที่ 2.1 พบว่า Cr > Zn > Cu > Cd ตามลำดับ โดยในรูปที่ 4.1 พบว่า Cu > Cr > Zn > Cd โดยในแต่ละตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.05) ดังผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง.1 - ง.3

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินตะกอนป่าชายเลน กับที่มีผู้ศึกษาไว้ (Buajan and Pumijumning , 2010) ในบริเวณป่าชายเลน อำเภอบางหญ้าแพรก ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรปราการพบว่ามีปริมาณ Zn > Cu > Cd ซึ่งปริมาณ Zn > Cd เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

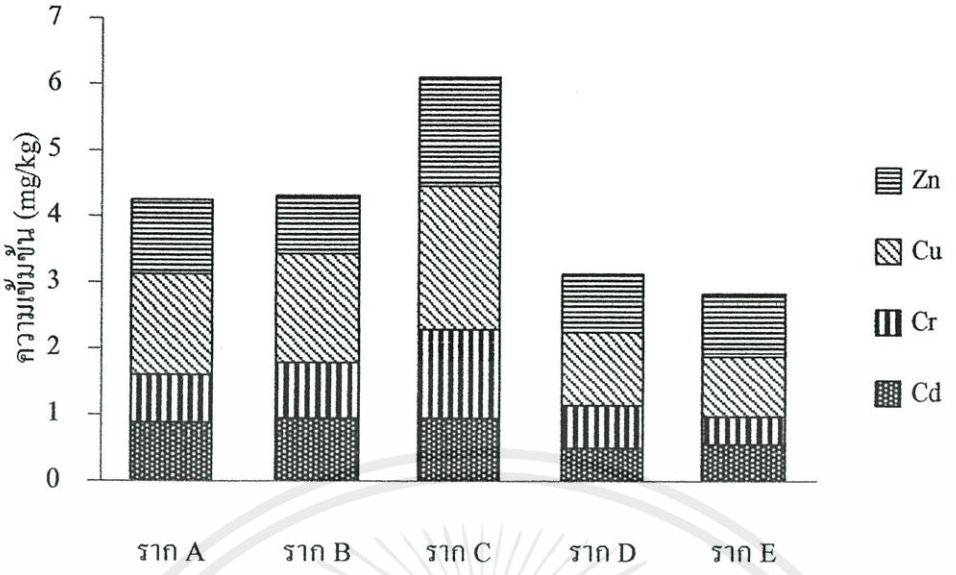


รูปที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

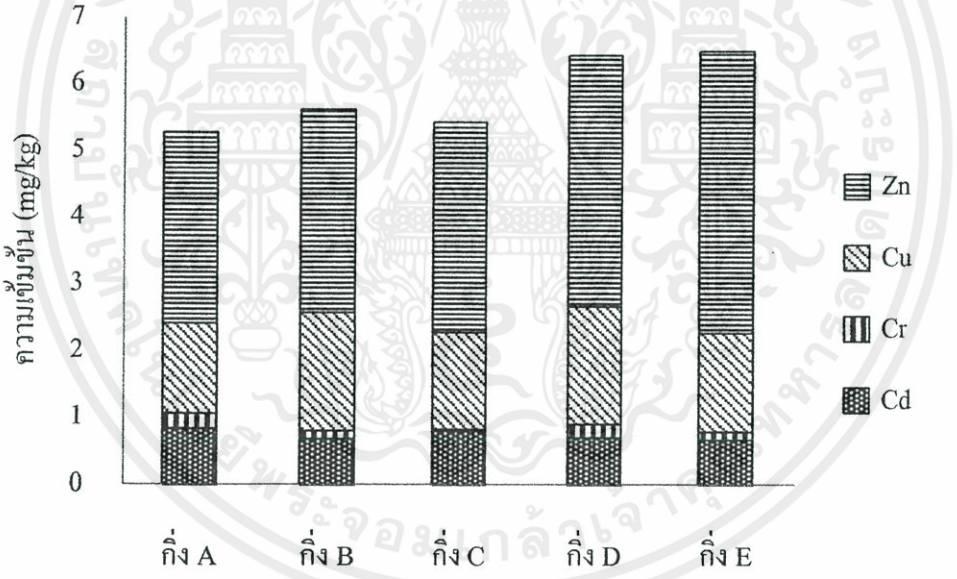
4.2.2 ปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆต้นลำพู

ในการศึกษาปริมาณโลหะหนักในต้นลำพูได้ทำการแบ่งการศึกษาออกเป็นส่วนต่างๆเพื่อจะสามารถนำค่ามาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในการการตรึงโลหะหนักว่าส่วนใดของต้นลำพูมีอัตราการตรึงโลหะหนักในปริมาณที่มากกว่า กัน โดยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ราก กิ่ง ใบล่าง ระดับความสูงไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากพื้นดิน และใบบน ส่วนที่สูงเกิน 50 เซนติเมตร จากพื้นดิน โดยจากการศึกษาพบปริมาณโลหะหนักดังรูปที่ 4.2 - 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

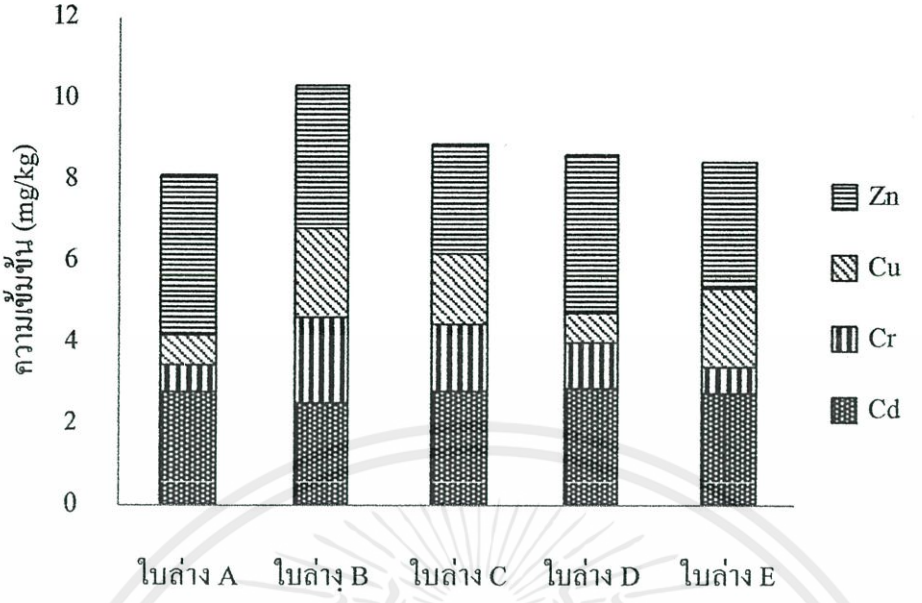


รูปที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในรากของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

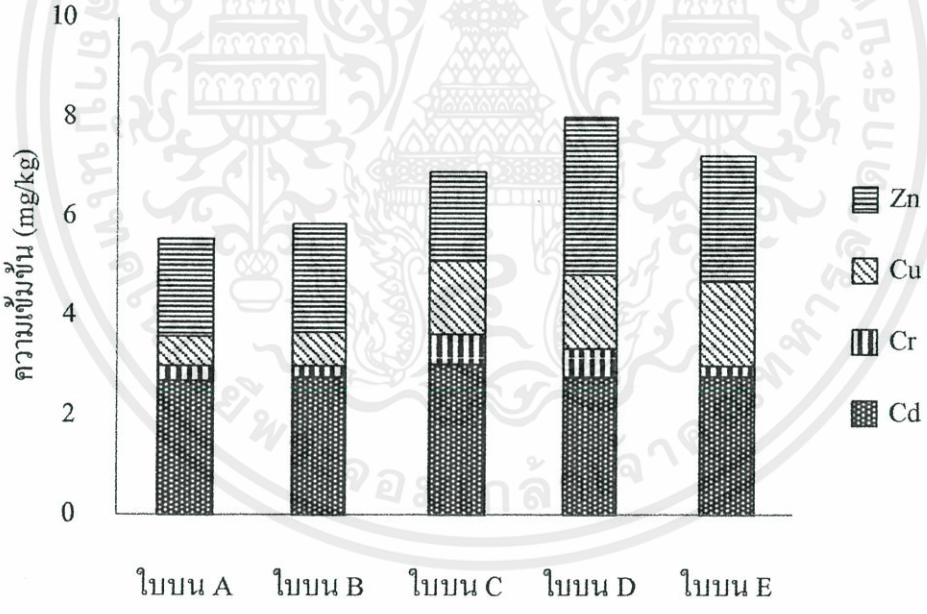


รูปที่ 4.3 ปริมาณโลหะหนักในกิ่งของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักในใบล่างของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักในใบบนของต้นลำพูในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาศักยภาพของต้นลำพูในการตรึงโลหะหนักออกจาก สิ่งแวดล้อมเข้าไปเก็บไว้ในต้นพืช ในกรณีที่น้ำทะเลท่วมถึงพบว่าการสะสมโลหะหนักในส่วนของรากและใบล่างอาจเกิดจากการดูดซึมแบบไม่ใช้พลังงาน (Passive assimilation) ได้เนื่องจากโลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังเข้าสู่ส่วนต่างๆของพืชโดยกระบวนการดูดซับแบบใช้พลังงาน (Active assimilation)

ก. ราก

รากที่ทำการศึกษานั้นเป็นรากหายใจ คือคอยรับออกซิเจนจากอากา ศโดยตรงเพื่อใช้ในกระบวนการ เมตะบอลิ ซัม (Metabolism) ทั้งนี้เนื่องจากใต้ดินมีอากาศไม่เพียงพอ ผลการศึกษาปริ มาณโลหะหนักในราก พบว่า ตำแหน่งราก C มีการตรึงโลหะหนักไว้ในปริมาณมากที่สุด ตำแหน่งราก A และ B มีการตรึงโลหะหนักไว้ในปริมาณที่น้อยลงมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และปริมาณโลหะหนักในตำแหน่ง D และ E มีการตรึงโลหะน้อยกว่าตำแหน่งอื่นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยปริมาณโลหะหนักที่พบคือ Cu > Zn > Cr > Cd ตามลำดับ โดยเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่มีผู้ศึกษาไว้ (พุทธวรรณ รัตนพันธ์, 2551) ในบริเวณคลองตอนล่าง เขตบางขุนเทียน คือมีปริมาณของ Cr > Cd

ข. กิ่ง

จากการศึกษาพบว่าปริมาณ โลหะหนักตำแหน่ง D และ E มีปริมาณมากกว่าตำแหน่ง A B และ C ที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน และพบว่ามี Zn > Cu > Cd > Cr ตามลำดับ

ค. ใบ

ในส่วนของใบจะมีต่อมขับเกลือ (Salt grands) มีหน้าที่สำคัญคือควบคุมระดับความเข้มข้นของเกลือในพืช โดยกระบวนการทางกลศาสตร์ที่จะขับเกลือออกจากส่วนของใบ และยังพบว่าเซลล์ผิวใบมีผนังหนา เป็นแผ่นมัน และใบมีลักษณะอวบน้ำ ซึ่งลักษณะนี้มีหน้าที่ช่วยเก็บรักษาปริมาณน้ำ

- ใบล่าง

บริเวณใบล่างตำแหน่งที่พบปริมาณโลหะหนักมากที่สุดคือตำแหน่ง B และพบว่าบริเวณตำแหน่ง A C D และ E มีการตรึงโลหะหนักโลหะหนักในปริมาณที่ใกล้เคี ยงกันมาก โดยพบว่ามีปริมาณของ Zn > Cd > Cu > Cr ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใบบน

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในใบล่างพบว่ามีการตรึงโลหะหนักในตำแหน่ง D ในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือตำแหน่ง C และ E ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และพบปริมาณโลหะหนักน้อยในตำแหน่ง A และ B และพบว่าปริมาณของ Cd > Zn > Cu > Cr ตามลำดับ

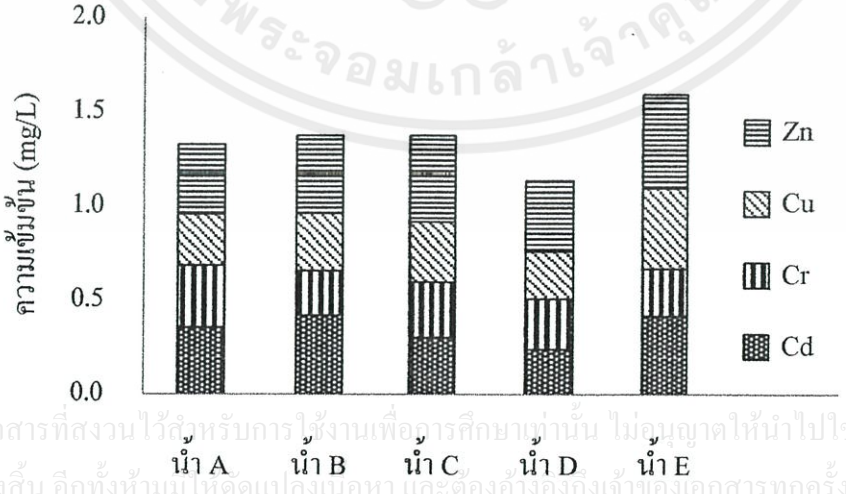
จากผลข้างต้นจะพบว่าปริมาณโลหะหนัก ในราก กิ่ง ใบล่างและใบบน โดยแต่ละตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.05) ดังผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง.5-ง.15 แสดงให้เห็นในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่างมีปริมาณโลหะหนักทุกชนิดในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

4.2.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

จากการทดลองได้ทำการแบ่งตัวอย่างน้ำออกเป็น 5 ส่วน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบริเวณที่ทำการเก็บตั วอย่างดินตะกอนป่าชายเลนและต้นลำพู โดยค่าพีเอชของน้ำและค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 5.82 ± 0.43 และ 28.81 ± 0.07 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ และจากการทดลองพบว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำมีปริมาณที่มากกว่าค่ามาตรฐาน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

จากการศึกษาพบว่าในน้ำมีปริมาณของปริมาณโลหะหนักในตำแหน่ง E มีปริมาณมากกว่าตำแหน่งอื่นโดยตำแหน่ง A B และ C มีปริมาณโลหะหนักในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าปริมาณโลหะหนักในตำแหน่ง D มีปริมาณน้อยที่สุด โดยพบว่ามีปริมาณ Zn > Cd > Cu > Cr

โดยในแต่ละตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกันอย่ างมีนัยสำคัญ (p=0.05) ดังผลการทดสอบทางสถิติในภาคผนวก ง ดังตารางที่ ง.16-ง.18 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่างมีปริมาณโลหะหนักที่ไม่แตกต่างกัน



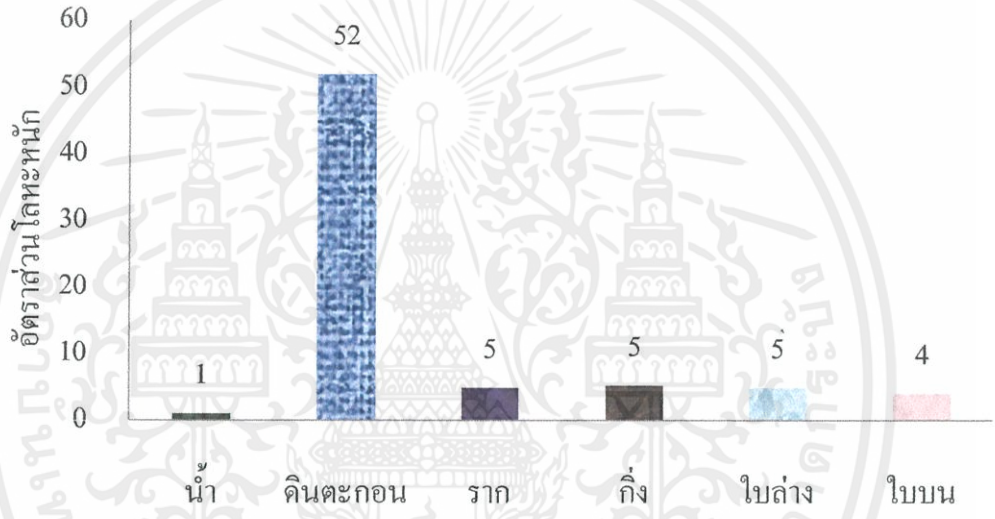
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของน้ำในแต่ละตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนัก

ก.ทองแดง (Cu)

จากการศึกษาปริมาณทองแดงพบว่าในดินตะกอนป่าชายเลนมีปริมาณทองแดงมากกว่าน้ำถึง 52 เท่า และในบริเวณส่วนต่างๆของต้นลำพูมีปริมาณทองแดงเป็น 4 เท่าของปริมาณทองแดงในน้ำยกเว้นบริเวณใบบนที่มีปริมาณทองแดงเป็น 4 เท่าของน้ำ (ดังรูปที่ 4.7) โดยในแต่ละองค์ประกอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามการคำนวณทางสถิติ พบว่าดินในดินมีปริมาณทองแดงเฉลี่ยแตกต่างจากในราก กิ่ง ใบล่างและใบบน

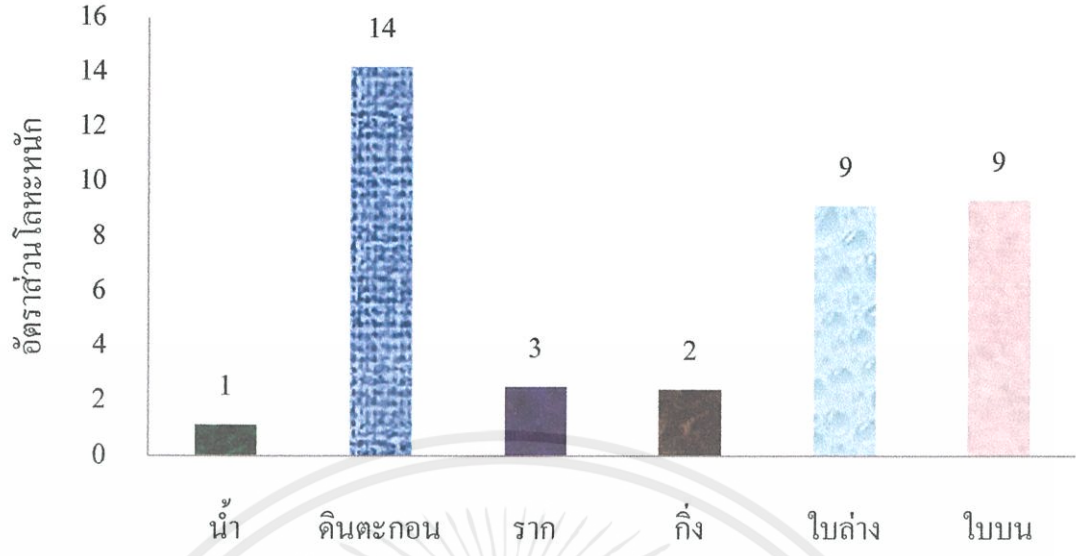


รูปที่ 4.7 ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบ

ข.แคดเมียม (Cd)

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมพบว่าปริมาณแคดเมียมในดินเป็น 14 เท่าของปริมาณแคดเมียมในน้ำ ปริมาณแคดเมียมบริเวณใบล่างและใบบนมีปริมาณเป็น 9 เท่าของน้ำ และบริเวณรากและกิ่งมีปริมาณเป็น 3 และ2 เท่าตามลำดับ จากผลข้างต้นสรุปได้ว่าปริมาณแคดเมียมที่ถูกตรึงด้วยต้นลำพูจะไปสะสมอยู่บริเวณใบมากกว่าบริเวณอื่นเพื่อรอการร่วงหล่น (ดังรูปที่ 4.8) โดยพบว่าปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

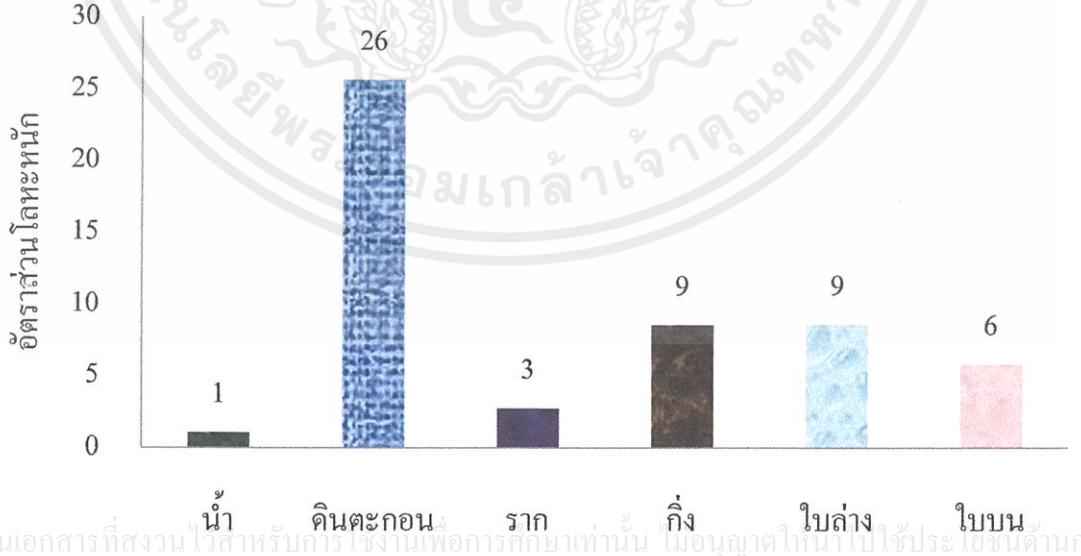
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบ

ค.สังกะสี (Zn)

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณปริมาณสังกะสีในดินตะกอนป่าชายเลนมีปริมาณที่มากกว่าในน้ำ 26 เท่า ในกิ่งและใบล่าง 9 เท่า ในใบบน 6 เท่า และมีปริมาณน้อยที่สุดในรากที่มีค่าเป็น 3 เท่าของน้ำ (ดังรูปที่ 4.9) เมื่อทดสอบปริมาณสังกะสีด้วยการคำนวณทางสถิติพบว่าปริมาณสังกะสีในแต่องค์ประกอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

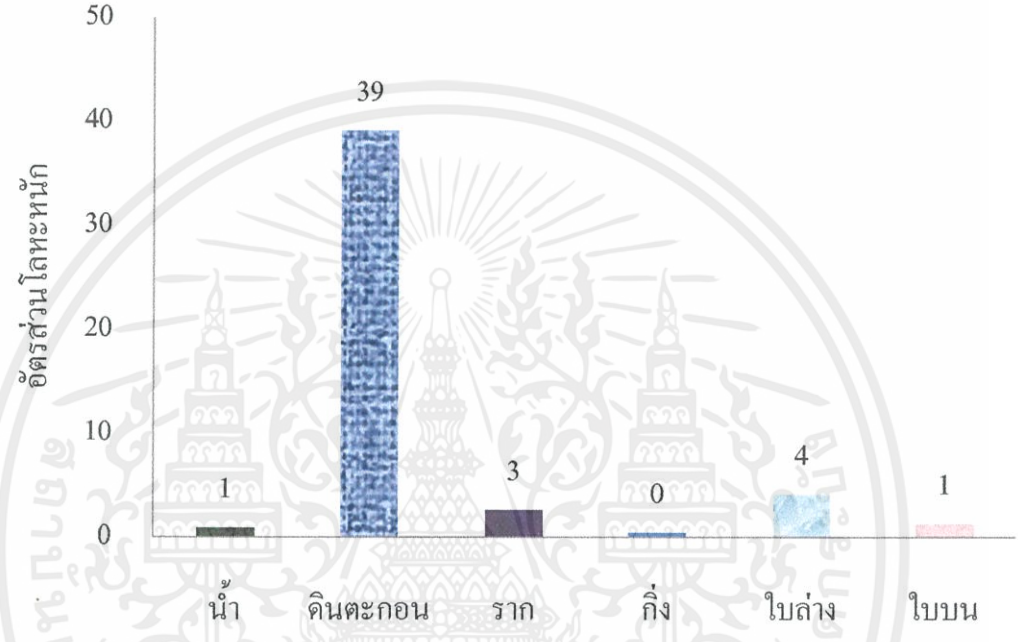


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบ

ง. โครเมียม (Cr)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมพบว่าในดินตะกอนป่าชายเลนป่าชายเลนมีปริมาณโครเมียมเป็น 39 เท่าของปริมาณโครเมียมในน้ำ ในใบล่าง ราก ใบบน มีค่าเป็น 43 และ 1 เท่าตามลำดับ แต่พบว่าปริมาณโครเมียมในกิ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณโครเมียมในน้ำ (ดังรูปที่ 4.10) โดยพบว่าปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.10 ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักสะสมในแต่ละองค์ประกอบ (Mean ± S.D.)

ส่วนต่างๆ	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)			
	Cu	Cd	Zn	Cr
ดินตะกอนป่าชายเลน	15.57 ± 3.73	4.26 ± 0.82	10.25 ± 1.60	11.73 ± 4.73
ราก	1.47 ± 0.50	0.76 ± 0.23	1.10 ± 0.32	0.79 ± 0.41
กิ่ง	1.56 ± 0.19	0.73 ± 0.07	3.42 ± 0.58	0.14 ± 0.08
ใบล่าง	1.46 ± 0.52	2.74 ± 0.14	3.44 ± 0.69	1.23 ± 0.63
ใบบน	1.19 ± 0.51	2.80 ± 0.13	2.33 ± 0.54	0.39 ± 0.19
น้ำ	0.31 ± 0.05	0.34 ± 0.06	0.43 ± 0.04	0.28 ± 0.04

จากการศึกษาพบว่าจะพบโลหะหนักเกือบทุกชนิดใน ดินตะกอนป่าชายเลน > ใบล่าง > ใบบน > กิ่ง > ราก > น้ำ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าดินมีการสะสมโลหะหนักจากน้ำไว้ได้ในปริมาณที่ค่อนข้างมากและต้นลำพูก็สามารถตรึงโลหะหนักจากดินได้โดยส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ในบริเวณใบล่างและใบบนไว้ในปริมาณที่มากกว่ารากและกิ่ง เนื่องจากบริเวณใบมีต่อมขับเกลือที่ควบคุมระดับความเข้มข้นของเกลือในพืชจึงทำให้มีปริมาณโลหะหนักบริเวณใบมากมากเพื่อรอการปลดปล่อยออกสู่ธรรมชาติพร้อมกระบวนการขับเกลือของต่อมขับเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาการตรึงโลหะหนักในป่าชายเลนด้วยต้นลำพู โดยทำการแบ่งออกเป็น 5 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและศึกษาจากโลหะหนัก 4 ชนิดคือ แคดเมียม โครเมียม ทองแดงและ สังกะสี ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 ปริมาณโลหะหนักในแต่ละองค์ประกอบ

จากการศึกษาการสะสมโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนพบว่าปริมาณโลหะหนักทุกชนิดที่สะสมอยู่ในดินตะกอนป่าชายเลนมีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน และพบว่าปริมาณ Cr > Cu > Zn > Cd ตามลำดับ ส่วนปริมาณโลหะหนักในส่วนต่างๆของต้นลำพู พบว่าปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่ในบริเวณใบล่างและใบบนปริมาณมากกว่าบริเวณรากและกิ่งของต้นลำพู โดยปริมาณโลหะหนักที่พบในแต่ละส่วนของต้นลำพูแตกต่างกัน โดยบริเวณรากจะพบการสะสมของ Cu > Zn > Cr > Cd บริเวณกิ่งพบว่า Zn > Cu > Cd > Cr บริเวณใบล่างมี Zn > Cd > Cu > Cr และบริเวณใบบนมีปริมาณ Cd > Zn > Cu > Cr ตามลำดับ ส่วนปริมาณโลหะหนักในน้ำมีปริมาณของ Zn > Cd > Cu > Cr เช่นเดียวกับบริเวณใบล่าง

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในแต่ละองค์ประกอบ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนกับส่วนต่างๆของพืชพบว่าปริมาณในน้ำ : ดินตะกอนป่าชายเลน: ราก : กิ่ง : ใบล่าง : ใบบน ของแคดเมียม 1 : 14 : 3 : 2 : 9 : 9 โครเมียม 1 : 39 : 3 : 0 : 4 : 1 ทองแดง 1 : 52 : 5 : 5 : 5 : 4 และสังกะสี 1 : 26 : 3 : 9 : 9 : 6 แสดงให้เห็นว่าดินตะกอนป่าชายเลนมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณที่มากและต้นลำพูสามารถช่วยตรึง โลหะหนักจากดินตะกอนป่าชายเลนมาสะสมไว้ในส่วนต่างๆได้ โดยส่วนที่มีการตรึงโลหะหนักได้มากที่สุดคือบริเวณใบทั้งในส่วนของใบล่างและใบบน

ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในพืชชนิดอื่นด้วยเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ

2.ควรทำการวิเคราะห์โดยแบ่งตามฤดูกาลเพื่อใช้เป็นการเปรียบเทียบ

3.ควรทำการศึกษาบริเวณป่าชายเลนธรรมชาติที่ไม่เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักเพื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ควรมีการศึกษาการหาปริมาณของโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลนที่ระดับความลึกแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 2.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.หน้า 65-73.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2553. **ป่าชายเลนและการกักเก็บมลพิษริมฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน.** กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกสรแห่งประเทศไทย จำกัด. สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2551. **พันธุ์ไม้ในป่าชายเลนของไทย.**กรุงเทพฯ: บริษัท จุดทอง จำกัด. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 74-90.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์. 2553.**เคมีสิ่งแวดล้อม 2.** ภาควิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชนกานต์ รักชาติ, รวินทรา เอี่ยมรัตน์ และวรัญญา ศิริเอก. 2554. **การใช้ประโยชน์จากถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วแบบอัลคาไลน์และแบบสังกะสี – คาร์บอน.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 7-18.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชณ์. 2525. **สารานุกรมธาตุ.** กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 80-151.

ชัยสิทธิ์ ตระกูลศิริพาณิชย์. 2553. **ดินป่าชายเลนในประเทศไทย.** สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน, กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. หน้า 1-16.

เทียมใจ คมกฤส. 2536. **โครงสร้างของไม้ป่าชายเลน.** คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 4-10.

ภาพตะวัน ชลาลัย, มยุรี ชัญพลา และอาริศรา วงค์ชัย. 2554. **การใช้ประโยชน์กากตะกอนจากโรงไฟฟ้า.** สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 16-22.

พุทธวรรณ รัตนพันธุ์. 2551. **การปนเปื้อนและการสะสมโครเมียม แคดเมียม และตะกั่วในคลองบริเวณเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ.** สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2552. **คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี.** ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 77-87.

สนิท อักษรแก้ว. 2542. **ป่าชายเลน...นิเวศวิทยาและการจัดการ.** ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาเกษตรศาสตร์. หน้า 57-66.

สุวัจน์ ธัญรส. 2549. **มลพิษทางทะเล.** กรุงเทพฯ.สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า 87-88.

อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. 2550. **ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 99-108.

กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จากhttp://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2555).

กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2555).

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://www.lamphun.doae.go.th/level_soil.DOC (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2555).

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/ลำพู (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 ตุลาคม 2555).

A.L.Page.1982. **Methods of soil analysis part 2 Chemical and microbiological properties second edition.** American society of agronomy, inc. soil science society of amerira, inc.publisher Madison, Wisconsin USA.

Marchand, C. *et. al.* 2006. **Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana.** Marine Chemistry. January 2006; 98(1) : 1-17.

Singh, R.P., Agrawal, M. 2010. **Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates.**Ecotoxicology and Environmental Safety 73 (2010): 632–641.

Supaporn Buajan and Nathsuda Pumijumnong. 2010. **Distribution of heavy metals in mangrove sediment at the Tha Chin estuary, Samut Sakhon province, Thailand.** Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University.

Zhang , Jia-En. *et. al.* 2010. **Removal of nutrients and heavy metals from wastewater with mangrove *Sonneratia apetala Buch-Ham*. Ecological Engineering.** 36 (2012) : 807-812.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

US EPA, 1996 Test Method for Evaluation Solid Waste, Physical and Chemical Methods: Method 3050B, SW846 Revision 2. [online]. Available at: http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/handbook3.pdf. Accessed June 5, 2012.

US EPA, 1996 Acid Digestion of Sediments, Sludge, and Soil. Methods: Method 3050B, SW846 Revision 2. [online]. Available at: http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf Accessed June 5, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช

ก.1 การวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน (Organic Matter ; OM)

อินทรีย์วัตถุในดิน คือ อินทรียวัตถุชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งได้จากซากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อาศัยอยู่ในดิน สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมถึงอินทรียสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา และที่ จุลินทรีย์สังเคราะห์ อินทรียวัตถุในดินประกอบด้วย สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส สารประกอบอินทรีย์กำมะถัน เป็นต้น และเมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวโดยจุลินทรีย์จนถึงขั้นสุดท้ายจะได้ฮิวมัส (Humus) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) 1 N

ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต อบที่ 105 องศาเซลเซียส 98.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 2 ลิตร

(2) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulphate) 0.5 N

ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 400 กรัม ละลายในน้ำกลั่นพอสมควร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 50 มิลลิลิตร ทำให้มีปริมาตร 2 ลิตร

(3) สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน อินดิเคเตอร์ 0.025 M

ชั่งเฟอร์รัสซัลเฟต 0.7 กรัม และออร์โทฟีแนนโทรลีน 1.48 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

(4) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc.H_2SO_4)

การวิเคราะห์อินทรีวัตถุของดิน (OM)

วิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC)

1.2 วิธีทำ

การทำ Calibration Curve

- สำหรับการหา Calibration Curve ของ TC จะใช้กลูโคสเป็นสารมาตรฐานโดยชั่งให้ได้ปริมาณ74.00 ,50.00 ,24.80 ,10.40 มิลลิกรัม ตามลำดับ ใส่ลงใน Boat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับกาหา Calibration Curve ของ IC จะใช้ $NaCO_3$ เป็นสารมาตรฐานโดยชั่งให้ได้ปริมาณ 202.40 ,102.10 ,50.20 ,25.30 มิลลิกรัม ตามลำดับใส่ลงใน Boat

(1) กดที่แถวแรกของ Sample Table เลือก Calibration Curve จากเมนู Insert

(2) เลือกไฟล์ที่ต้องการแล้วกด Open Calibration Curve จะถูกใส่ลงใน Sample Table

(3) เลือก Start จากเมนู Instrument หรือ กดไอคอน Start หน้าจอ TOC Measurement

(4) กดปุ่ม Start หน้าต่าง Enter Sample Amount

(5) ชั่งดิน 0.5 กรัม ลงในหน้าต่าง Enter Sample Amount

(6) เปิดฝาปิด Sample Boat และวาง Sample Boat ที่มี Standard อยู่ในช่อง Sample Boat

(7) ปิดฝา Sample Boat

(8) ตรวจสอบดูสถานะของเครื่องว่าเป็น Ready แล้วกดปุ่ม Start ข้อความ Push the sample boat to the measurement position

(9) ดัน Sample Boat เข้าไปในเตา

- การวัด TC : ดัน Sample Boat อย่างช้าๆ ไปที่ตำแหน่ง Measuring

- การวัด IC: ฉีดกรดลงใน Sample Boat ด้วย IC reaction solution injector แล้วดัน Sample boat อย่างช้าๆ ไปที่ตำแหน่ง Measuring

(10) กด Sample Window จากเมนู View หน้าต่าง Sample Window จะแสดงการวัดแบบ Real time

หลังจากทำการวัด

เมื่อการวัดสิ้นสุดลง สถานะจะถูกแสดงดังนี้

- การวัด TC: Pull the sample boat back to the COOLING position

- การวัด IC: Pull the sample boat back to the PREPARATION position ได้เลย

(1) เลื่อน sample boat back to the COOLING หลังจากนั้น 30 วินาทีจะมีข้อความ: Pull the sample boat back to the PREPARATION position

(2) เลื่อน Sample Boat มายังตำแหน่ง CHANGE

1.3 การคำนวณ

$$\% OM = \% OC \times 1.724$$

โดย % OM คือ เปอร์เซนต์อินทรียวัตถุ

% OC คือ เปอร์เซนต์อินทรียคาร์บอน

% IC คือ เปอร์เซนต์อนินทรียคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity; CEC)

โดยทั่วไปอนุภาคของดินเหนียวและอินทรียวัตถุสามารถดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุต่าง ๆ ในดินได้ดี เนื่องจากมีประจุลบจึงดึงดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินซึ่งมีประจุบวกให้เข้ามาเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของตัวเองได้ ขณะที่ดินที่มีเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย ซึ่งไม่มีอนุภาคดินเหนียวหรือมีอยู่เพียงเล็กน้อย รวมทั้งดินที่ขาดอินทรียวัตถุจะไม่มีประจุ จึงไม่สามารถดูดซับธาตุอาหารต่าง ๆ ไว้ได้ ทำให้ธาตุอาหารเหล่านั้นถูกชะล้างออกไปจากดินโดยน้ำได้ง่าย ดังนั้น ดินที่ดีจึงควรมีค่า CEC สูง ซึ่งจะแสดงถึงความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารที่มีประจุบวกและยังช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชไปจากดินด้วย (http://www.scimath.org/index.php/socialnetwork/groups/)

2.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N pH 7

ตวงกรดอะซิติก 99.5% มา 114 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ลงไป 136 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 1,980 มิลลิลิตร วัด pH ของสารละลาย ปรับ pH ให้มี pH 7 ด้วยกรดอะซิติกหรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 2 ลิตร

(2) สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท [$(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$] 10%

ละลายแอมโมเนียมออกซาเลท 10 กรัม ในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตร 50%

(3) สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH), 1 N

ตวงแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

(4) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4OH) 1 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 53.5020 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

(5) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4OH) 0.25 N

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 13.3755 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับ pH ให้ได้ pH 7 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

(6) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) 0.1 N

ละลายซิลเวอร์ไนเตรท 16.9910 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร

(7) เอธิลแอกอฮอล์ 95%

(8) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 10%

ละลายโซเดียมคลอไรด์ 2,000 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.7 มิลลิลิตร เพื่อทำให้เป็นกรด แล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 20 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40%

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร

(10) สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) 3%

ละลายกรดบอริก 30 กรัม ในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร

(11) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 N

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร เทียบมาตรฐาน ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หาความเข้มข้นแน่นอนแล้ว

(12) อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)

ละลาย 0.22 กรัมของโบรโมครีซอลกรีน และ0.075 กรัม เมธิลเรด ใน 96 มิลลิลิตรของเอทธิลแอลกอฮอล์ 95% เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ลงไป 3.5 มิลลิลิตร

2.2 วิธีทำ

(1) ชั่งดิน 5.0 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต 1 N ลงไป ประมาณ 60 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งค้างคืนไว้

(2) กรองด้วยระบบสุญญากาศ

(3) ชะตัวอย่างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N จนกระทั่งไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบโดยนำสารละลายส่วนที่ล้างดินแล้วมา 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 2-3 หยด แอมโมเนียมออกซาเลท 10% และแอมโมเนียมไดออกไซด์ 50% ไปทำให้เดือด ถ้ามีแคลเซียมอยู่จะเกิดตะกอนหรือสารละลายจะขุ่น)

(4) นำสารละลายดินที่ได้จาก (3) มาใส่ขวดวัดปริมาตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำไปวัดปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 422 และ285 นาโนเมตร และวัดปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 383 และ 295 นาโนเมตร

(5) ชะตัวอย่างดินต่อ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ประมาณ 150-200 มิลลิลิตร จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่

(6) นำสารละลายในข้อ (5) ทิ้งไป และล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% จนได้สารละลายดินประมาณ 225 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) เทสารละลายดินที่กรองได้ใส่ขวดกลั่น

(8) นำสารละลายดินไปกลั่น โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ลงไป 25 มิลลิลิตร รองรับสารละลายด้วยสารละลายกรดบอริก 3% 50 มิลลิลิตร

(9) นำสารละลายที่กลั่นได้ มาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N โดยหยดอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

2.3 การคำนวณ

$$\text{CEC } \left(\text{cmol.kg}^{-1}\right) = \frac{\text{N(A-B)}\times 100}{\text{W}}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานไฮโดรคลอริก เท่ากับ 0.0997 N

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักแห้งของดินตัวอย่าง (กรัม)

ก.3 วิธีทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen ; N)

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน สามารถหารูปไนโตรเจนได้ยาก เนื่องจากไนโตรเจนในตัวอย่างหลายรูปเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะในดินที่ไม่ทราบรูป และมีปริมาณน้อย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า 0.02 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสามารถนำไปใช้หาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C:N Ratio) ในดินได้ ซึ่งค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 12 C:N Ratio (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

3.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)

(2) โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 % (NaOH solution)

(3) สารเร่งสำเร็จรูปอัดเม็ด

(4) กรดบอริก 4% (Boric acidnsolution)

(5) อินดิเคเตอร์ (Mixed indicator)

ละลาย 0.3 กรัมของโบรโมครีซอลกรีน และ0.2 กรัม เมธิลเรด ใน 400 มิลลิลิตรของเอทิลแอลกอฮอล์ 90%

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (0.1 N HCl)

ตวงกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 9 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3.2 วิธีทำ

(1) ชั่งดิน 1.0 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl tube

(2) เติมสารเร่งสำเร็จรูปอัดเม็ด (K_2SO_4 100 กรัม + $CuSO_4$ 10 กรัม + Silinium 1 กรัม) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร

(3) นำไปย่อยด้วยเตาย่อย (Digestion System) จนได้สารละลายสีขาวขุ่น

(4) นำตัวอย่างในข้อ (3) มาเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ NaOH 40 % 25 มิลลิลิตร กลั่นประมาณ 4 นาที

(5) เติมกรดบอริก 4% 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด Mixed indicator ประมาณ 6-7 หยด สารละลายจะมีสีม่วงแดงนำไปรองรับน้ำกลั่นจากข้อ (4) สารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีเขียว และรองรับจนได้สารละลายในขวดรูปชมพู่ ประมาณ 150 มิลลิลิตร

(6) ไทเทรตสารละลายที่ได้จากการกลั่นในข้อ (5) กับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนได้สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง

(7) กลั่น Blank และไทเทรต เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

3.3 การคำนวณ

$$TKN = N(A-B)$$

$$\% TKN = \frac{N(A-B)\times 100\times 0.014}{E}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวแบลงค์ (มิลลิลิตร)

E = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

ก.4 การวิเคราะห์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช Ammonium-N และ Nitrate-N โดยวิธี Steam Distillation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น

ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเทรต (NO_3^-) ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ โดยขบวนการต่างๆ เช่น Ammonification และ Nitrification โดยจุลินทรีย์ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเทรต

(NO_3^-)จะเป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรง แต่ปริมาณที่พบในดินจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยการสูญหายจากดินได้ง่ายเนื่องมาจากชะล้าง พืชดึงดูดไปใช้ ความชื้นและการถ่ายเทอากาศในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

4.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เข้มข้น 12 %

ชั่งแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 12 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน

(2) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCI) เข้มข้น 2 N

ละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCI) 149 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร

(3) เดวาดา แอลลอย

สารเดวาดา แอลลอย ชนิดละเอียดซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 300 mesh

(4) อินดิเคเตอร์ผสม

ชั่งโบรโมครีซอลกรีน 0.330 กรัม และชั่งเมธิลเรด 0.165 กรัม ละลายใน เอทานอล 500 มิลลิลิตร

(5) บอริกแอซิดอินดิเคเตอร์

ละลายกรดบอริก 40 กรัม ในน้ำร้อน 700 มิลลิลิตร รอจนสารละลายเย็น แล้วเทสารละลายลงในขวดรูปชมพู่ ซึ่งมี Ethanol 200 มิลลิลิตร และ Mixed indicator 20 มิลลิลิตร และเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นค่อยๆเติม 0.05 N NaOH จนพบว่าสารละลาย 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 1 มิลลิลิตร สารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูปนม่วงเป็นสีเขียว และปรับด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

(6) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCI) 0.05 N

4.2 วิธีทำ

(1) ชั่งดิน 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้น เติมโพแทสเซียมคลอไรด์ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรอง

(2) ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Distillation tube และเติม 12% MgO 5 มิลลิลิตร

(3) ทำการกลั่น โดยเก็บ NH_3 ที่กลั่นได้ลงขวดรูปชมพู่ ที่มีสารละลาย Boric acid ผสมอินดิเคเตอร์ผสม จำนวน 5 มิลลิลิตร ทำการกลั่นจนได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) เติมเดวาดา แอลลอย 0.2 กรัม ลงใน Distillation tube ทำการกลั่นต่อไป โดยเก็บ NH_3 ที่กลั่นได้ลงขวดรูปชมพู่ ที่มีสารละลาย boric acid ผสมอินดิเคเตอร์ผสม จำนวน 5 มิลลิลิตรกลั่นจนได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร

(5) ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วย 0.05 N กรดไฮโดรคลอริก สารละลายที่ได้ครั้งแรก คือ NH_4^+ - N และสารละลายที่ได้ครั้งที่สอง คือ NO_3^- - N

(6) ทำ blank โดยใช้ 2 N โพแทสเซียมคลอไรด์

4.3 การคำนวณ

$$NH_4^+\text{-N หรือ } NO_3^-\text{-N} = \frac{N(A-B)\times D\times 0.014\times 10^6}{C\times E} \text{ mg.kg}^{-1}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

A = ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของแบลงค์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของสารละลายที่ดูดจากสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

D = ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

E = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

ก.5 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (Available Phosphorus; Avail.P)โดยวิธี Bray II

ฟอสฟอรัสเป็นอาหารพืชธาตุหนึ่งที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก และจะมีอยู่ในดินต่ำมาก ซึ่งฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินอยู่ในรูปฟอสเฟต คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^- ซึ่งได้จากกระบวนการแปรสภาพของอินทรียวัตถุ และจากการละลายของสารประกอบฟอสเฟตต่างๆในดินออกมาอยู่ในสารละลายดิน (Soil solid) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของ soil solid จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชย ซึ่งอัตราการสลายตัวของฟอสเฟตออกมาอยู่สารละลายดินจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) น้ำยาสกัด Bray II (0.03 N NH_4F, 0.1 N HCl)

ละลายแอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) 11.10 กรัม ในน้ำกลั่น 8 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) ลงไป 86 มิลลิลิตร แล้วปรับให้มีปริมาตร 10 ลิตร ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.5 - 1.6

(2) Stock solution

ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$]) 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติม น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ละลายแอนติโมนีโพแทสเซยมตาร์เตรท ($KSbO.C_4H_4O_6$) 1.213 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เมื่อละลายเข้ากันดีแล้ว เทใสในบีกเกอร์ที่ใส่แอมโมเนียมโมลิบเดต คนให้เข้ากันอีกครั้ง ค่อยๆเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 700 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เทลงในขวด Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น เทเก็บไว้ในขวด pyrex สีน้ำตาล

(3) น้ำยา Develop สี (Working solution, Reagent B)

ละลาย Ascorbic acid 1.76 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 1,600 มิลลิลิตร เติม Stock solution 40 มิลลิลิตร ทำให้มีปริมาตร 2 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 2 ชั่วโมง จึงนำมาใช้ สารละลายนี้เก็บได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมงและต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

(4) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม P

อบโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 0.2195 กรัม ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นละลายด้วยน้ำกลั่นพอสมควร ปรับให้เป็นกรด ด้วยการเติมกรดซัลฟิวริก 1 - 2 หยด แล้วทำให้มีปริมาตร 1 ลิตร

(5) Standard set

นำสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 มก./กก. P ให้มีความเข้มข้น0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 15 มก./กก. P ด้วยน้ำยาสกัด

5.2 วิธีทำ

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 1.0 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ 50 มิลลิลิตร

(2) เติมน้ำยาสกัด Bray II 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง No.5

(3) ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในข้อ (2) อัตราส่วน 1 ส่วนต่อ Working solution 16 ส่วน ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 882 nm

(4) ทำ Blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน เช่นเดียวกับข้อ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การคำนวณ

$$\text{Available P (mg/kg)} = \frac{B \times df(\text{sample}) \times R}{A \times df(\text{standard})}$$

โดย A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = สารละลายสกัด (มิลลิลิตร)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนเจือจาง (dilution factor)

ก.6 การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน (Partical size analysis) โดย Hydrometer method

การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน หมายถึง การหาสัดส่วนโดยมวลของกลุ่มขนาดอนุภาคดินเหนียว (Clay) กลุ่มขนาดอนุภาคดินแป้ง (Silt) และกลุ่มขนาดอนุภาคดินทราย (Sand) ในดินที่มีขนาดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ที่เรียกว่า Fine earth ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดิน หรือบางครั้งเรียกว่าการหาลักษณะเนื้อดิน (Soil texture) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ความละเอียดเนื้อดิน แบ่งเป็น

ละเอียดมาก	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง < 1 มิลลิเมตร
ละเอียด	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 มิลลิเมตร
ละเอียดปานกลาง	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 มิลลิเมตร
หยาบ	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 มิลลิเมตร
หยาบมาก	หมายถึง เม็ดดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง >10 มิลลิเมตร

6.1 วิธีเตรียมสารละลาย

(1) Hydrogen peroxide (H_2O_2) 50%

(2) Sodiumhexametaphosphate

(3) Sodium Carbonate

(4) Dispersing agent (Calgon) 5%

ชั่ง Sodiumhexametaphosphate 35.7 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติม Sodium Carbonate 7.94 กรัม คนให้เข้ากัน ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วิธีทำ

(1) ชั่งตัวอย่างดิน 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร 2 ใบ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เติมสารละลาย 30% H_2O_2 ลงไปช้าๆครั้งละ 5-10 มิลลิลิตร ดินจะมีปฏิกิริยา (เกิดฟองแก๊ส) เติมจนดินสีจางลง และไม่แสดงปฏิกิริยาอีก นำไปให้ความร้อนเพื่อไล่ H_2O_2 ที่เหลือจนหมด

(2) นำตัวอย่างในบีกเกอร์ 1 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของดินที่ไล่อินทรียวัตถุออกหมดแล้ว

(3) นำตัวอย่างในบีกเกอร์ 2 เติมสารละลาย Calgon ลงไป 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

(4) กวนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งอนุภาคดินที่จับกันอยู่กระจายเป็นอนุภาคอิสระ แล้วถ่ายลงใน Bouyoucos Jar อีกใบ เติมน้ำ 100-200 มิลลิลิตร ค่อยๆหย่อน Hydrometer ลงไป เติมน้ำจนถึงขีด 1,130 มิลลิลิตร

(5) เติมสารละลาย 5% Calgon 100 มิลลิลิตร ลงใน Bouyoucos Jar อีกใบ เติมน้ำ 100-200 มิลลิลิตร ค่อยๆหย่อน Hydrometer ลงไป เติมน้ำจนถึงขีด 1,130 มิลลิลิตร ยก Hydrometer ออก

(6) กวนสารละลายตัวอย่างใน Bouyoucos Jar ประมาณ 20-25 ครั้ง เมื่อถึงเวลา 40 วินาที บันทึกค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer และวัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดิน

(7) ครบ 2 ชั่วโมง ให้วัดค่าของสารแขวนลอยดิน อุณหภูมิ และวัดค่าของสารละลาย Calgon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

ตารางที่ ข.1 ความชื้นความเป็นกรด – เบส และค่าการนำไฟฟ้าของดินตะกอนป่าชายเลน

ตัวอย่าง	เปอร์เซนต์ความชื้น			ความเป็นกรด-เบส			ค่าการนำไฟฟ้า(mS/cm)		
	ความชื้น (%)	เฉลี่ย	S.D.	pH	เฉลี่ย	S.D.	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	เฉลี่ย	S.D.
A_1	3.93	4.61	1.07	6.649	6.57	0.07	4.429	3.67	0.09
A_2	4.06			6.553			2.184		
A_3	5.85			6.506			2.168		
B_1	5.34	4.91	0.44	6.529	6.63	0.15	4.436	3.57	0.82
B_2	4.45			6.548			2.182		
B_3	4.94			6.803			2.267		
C_1	4.24	4.32	0.2	6.634	6.52	0.11	4.421	3.79	1.48
C_2	4.55			6.506			2.168		
C_3	4.18			6.425			2.141		
D_1	4.25	4.53	0.37	6.633	6.76	0.28	4.557	3.43	0.54
D_2	4.39			6.567			2.189		
D_3	4.95			7.082			2.36		
E_1	4.16	4.14	0.02	7.022	6.98	0.15	4.717	3.69	0.54
E_2	4.15			6.818			2.272		
E_3	4.11			7.104			2.368		
เฉลี่ยทั้งหมด		4.50	0.40		6.69	0.22		0.69	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ลักษณะเนื้อดิน

ครั้งที่	%clay	%sand	%silt
1	24.76	69.24	6
2	24.76	69.24	6
3	24.76	69.24	6
เฉลี่ย	24.76	69.24	6

จากการศึกษาพบว่าลักษณะเนื้อดินบริเวณดังกล่าว เป็นแบบ Sandy Clay Loam หรือ ดินร่วนเหนียวปนทราย

ตารางที่ ข.3 อินทรียวัตถุ

ครั้งที่	%TC	%IC	%OC	%O.M.	เฉลี่ย%O.M.	SD
1	1.543	0.01275	1.53025	2.6382	2.7260	0.0636
2	1.624	0.00348	1.62052	2.7938		
3	1.588	0.00385	1.58415	2.7311		
4	1.563	0.00244	1.56056	2.6904		
5	1.616	0.00546	1.61054	2.7766		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.0983 N

ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง	สเกลบนบิวเรต (mL)			CEC	ค่าเฉลี่ย	S.D.
		เริ่มต้น	จุดยุติ	ปริมาตรHCl ที่ใช้	(cmol/kg)		
Blank	0.00	0.00	0.10	0.10			
1.00	5.01	0.10	8.70	8.60	16.68		
2.00	5.01	8.70	17.30	8.60	16.68	16.62	0.09
3.00	5.00	17.30	25.80	8.50	16.51		
4.00	5.00	25.80	34.70	8.90	17.30		
5.00	5.02	34.70	43.40	8.70	16.74	16.98	0.29
6.00	5.00	0.00	8.70	8.70	16.91		
7.00	5.10	8.70	17.80	9.10	17.35		
8.00	5.00	17.80	26.80	9.00	17.50	17.45	0.09
9.00	5.00	26.80	35.80	9.00	17.50		
					เฉลี่ยทั้งหมด	17.02	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.0839 N

ครั้งที่	น.น.ดินเปียก (g)	ปริมาตร HCl (mL)	ปริมาณไนโตรเจน (N)	% ไนโตรเจน	เฉลี่ย % ไนโตรเจน	SD
Blank		0.10				
1	1.00	0.75	0.05	0.08		
2	1.00	0.35	0.02	0.03	0.03	0.03
3	1.00	0.25	0.01	0.02		
4	1.00	0.20	0.01	0.01		
5	1.00	0.25	0.01	0.02	0.01	0.01
6	1.00	0.30	0.02	0.02		
7	1.00	0.35	0.02	0.03		
8	1.00	0.30	0.02	0.02	0.02	0.00
9	1.00	0.35	0.02	0.03		
		เฉลี่ยทั้งหมด	0.02	0.03	0.02	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.0839 N

1) แอมโมเนียม – ไนโตรเจน

ตัวอย่าง	น.น.ดินเปียก (g)	ปริมาณสกัดได้(mL)	ปริมาตร HCl (mL)	Ammonium-N (mg/kg)	เฉลี่ย	S.D
Blank	0.00		0.10			
1	10.00	146.00	0.15	44.80	73.64	24.98
2	10.00	143.00	0.20	87.76		
3	10.00	144.00	0.20	88.37		
4	10.00	152.00	0.15	46.64	77.73	26.93
5	10.00	153.00	0.20	93.89		
6	10.00	151.00	0.20	92.67		
7	10.00	148.00	0.20	90.83	120.79	26.06
8	10.00	145.00	0.25	133.48		
9	10.00	150.00	0.25	138.08		
				เฉลี่ยทั้งหมด	90.72	25.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ไนเทรต – ไนโตรเจน

ตัวอย่าง	น.น.ดิน เปียก (g)	ปริมาณสกัด ได้(mL)	ปริมาตร HCl (mL)	Nitrate –N (mg/kg)	เฉลี่ย	S.D.
Blank	0		0.1			
1	10	150	0.25	138.08	169.28	54.03
2	10	150	0.25	138.08		
3	10	150	0.35	231.67		
4	10	151	0.35	237.80	187.28	49.02
5	10	155	0.30	184.11		
6	10	150	0.25	139.92		
7	10	152	0.35	231.67	169.58	53.77
8	10	151	0.25	138.08		
9	10	150	0.25	139.00		
				เฉลี่ยทั้งหมด	175.38	52.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ครั้งที่	น้ำหนักเปียก (กรัม)	ความเข้มข้นจากกราฟ(mg/L.)	ปริมาณ P (mg/kg/dry weight)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	1	7.80	81.50	72.73	8.39
2	1	6.20	64.79		
3	1	6.88	71.89		
4	1	6.15	64.26	66.77	17.48
5	1	8.17	85.37		
6	1	4.85	50.68		
7	1	5.50	57.47	53.50	3.50
8	1	4.99	52.14		
9	1	4.87	50.89		
			เฉลี่ยทั้งหมด	64.33	7.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลน

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Cd		ความเข้มข้น Cu	
		AAS(mg/L)	ดิน(mg/kg)	AAS (mg/L)	ดิน (mg/kg)
A_1	1.00	0.15	3.78	0.39	9.75
A_2	1.02	0.22	5.27	0.46	11.15
A_3	1.01	0.18	4.48	0.73	18.12
B_1	1.03	0.20	4.83	0.79	19.22
B_2	0.99	0.06	1.54	0.83	21.01
B_3	1.00	0.20	5.05	0.88	21.88
C_1	1.00	0.22	5.58	0.75	18.83
C_2	1.00	0.23	5.68	0.7	17.43
C_3	1.01	0.22	5.45	0.59	14.58
D_1	1.00	0.18	4.58	0.64	15.88
D_2	1.00	0.17	4.28	0.52	13.08
D_3	0.98	0.12	3.14	0.77	19.52
E_1	1.02	0.17	4.09	0.48	11.67
E_2	1.00	0.13	3.25	0.43	10.80
E_3	1.00	0.12	3.00	0.43	10.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนป่าชายเลน(ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Zn		ความเข้มข้น Cr	
		AAS (mg/L)	ดิน (mg/kg)	AAS (mg/L)	ดิน (mg/kg)
A_1	1.00	0.24	11.9	0.33	8.20
A_2	1.02	0.19	9.27	0.30	7.35
A_3	1.01	0.19	9.24	0.58	14.46
B_1	1.03	0.27	13.25	0.45	10.80
B_2	0.99	0.23	11.36	0.49	12.42
B_3	1.00	0.22	10.91	0.50	12.43
C_1	1.00	0.12	5.89	0.85	21.35
C_2	1.00	0.25	12.62	0.33	8.28
C_3	1.01	0.17	8.23	0.55	13.61
D_1	1.00	0.26	12.8	0.56	13.9
D_2	1.00	0.34	17.15	0.62	15.50
D_3	0.98	0.11	5.76	0.57	14.49
E_1	1.02	0.25	12.04	0.12	2.84
E_2	1.00	0.14	6.88	0.12	3.08
E_3	1.00	0.13	6.47	0.15	3.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 เปอร์เซนต์ความชื้นส่วนต่าง ๆ ของต้นลำพู

ตัวอย่าง	เปอร์เซนต์ความชื้น			
	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน
A_1	306.17	110.53	200.00	217.13
A_2	317.82	106.35	191.95	219.73
A_3	314.43	111.69	196.63	205.39
B_1	294.69	108.56	197.67	204.26
B_2	305.52	106.38	212.84	204.77
B_3	298.78	109.16	220.97	204.84
C_1	303.83	104.81	224.05	213.46
C_2	304.35	110.45	217.83	207.77
C_3	317.30	106.64	203.53	216.85
D_1	313.58	112.20	194.51	216.76
D_2	299.63	110.03	199.27	219.35
D_3	302.76	107.45	190.15	227.74
E_1	316.26	98.36	221.26	221.26
E_2	303.30	101.57	212.94	222.64
E_3	293.97	102.71	212.28	211.89
เฉลี่ยทั้งหมด	306.16	107.13	206.39	214.26
S.D.	2.24	3.65	10.22	6.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ปริมาณโลหะหนักในรากต้นลำพู

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Cd		ความเข้มข้น Cu	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.10	0.19	0.94	0.31	1.50
A_2	5.10	0.16	0.78	0.29	1.43
A_3	5.00	0.18	0.92	0.33	1.65
B_1	5.00	0.18	0.91	0.33	1.67
B_2	5.00	0.18	0.88	0.35	1.76
B_3	5.00	0.21	1.06	0.3	1.51
C_1	5.10	0.23	1.14	0.64	3.13
C_2	5.00	0.18	0.88	0.4	1.98
C_3	5.10	0.17	0.83	0.29	1.41
D_1	5.20	0.08	0.38	0.11	0.53
D_2	5.20	0.09	0.45	0.35	1.66
D_3	5.00	0.13	0.65	0.22	1.11
E_1	5.00	0.12	0.61	0.29	1.43
E_2	4.90	0.09	0.45	0.16	0.80
E_3	5.00	0.12	0.60	0.09	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ปริมาณโลหะหนักในรากต้นลำพู(ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Zn		ความเข้มข้น Cr	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.10	0.35	1.72	0.29	1.42
A_2	5.10	0.18	0.89	0.30	1.45
A_3	5.00	0.15	0.76	0.31	1.57
B_1	5.00	0.18	0.89	0.35	1.73
B_2	5.00	0.16	0.81	0.32	1.62
B_3	5.00	0.19	0.96	0.33	1.63
C_1	5.10	0.26	1.27	0.58	2.85
C_2	5.00	0.42	2.11	0.52	2.59
C_3	5.10	0.32	1.58	0.51	2.50
D_1	5.20	0.18	0.88	0.23	1.12
D_2	5.20	0.21	1.00	0.30	1.43
D_3	5.00	0.16	0.78	0.25	1.23
E_1	5.00	0.19	0.94	0.21	1.04
E_2	4.90	0.2	1.01	0.18	0.91
E_3	5.00	0.2	1.01	0.12	0.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ปริมาณโลหะหนักในกิ่งต้นลำพู

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Cd		ความเข้มข้น Cu	
		AAS(mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.18	0.88	0.18	0.89
A_2	5.10	0.17	0.81	0.30	1.47
A_3	4.90	0.16	0.80	0.34	1.71
B_1	5.00	0.15	0.76	0.34	1.70
B_2	5.20	0.13	0.64	0.37	1.77
B_3	5.10	0.13	0.64	0.37	1.83
C_1	5.10	0.16	0.76	0.29	1.41
C_2	4.90	0.16	0.81	0.31	1.56
C_3	5.00	0.16	0.79	0.28	1.42
D_1	5.20	0.16	0.77	0.29	1.41
D_2	5.00	0.15	0.76	0.35	1.74
D_3	5.10	0.12	0.57	0.43	2.12
E_1	5.00	0.17	0.86	0.37	1.86
E_2	5.10	0.09	0.42	0.18	0.89
E_3	5.00	0.15	0.73	0.33	1.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ปริมาณโลหะหนักในกิ่งต้นลำพู(ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Zn		ความเข้มข้น Cr	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.30	2.98	0.02	0.11
A_2	5.10	0.29	2.82	0.04	0.22
A_3	4.90	0.27	2.77	0.07	0.37
B_1	5.00	0.28	2.81	0.02	0.12
B_2	5.20	0.30	2.92	0.04	0.19
B_3	5.10	0.35	3.42	0.01	0.06
C_1	5.10	0.31	3.08	0.00	0.01
C_2	4.90	0.33	3.40	0.00	0.01
C_3	5.00	0.30	2.96	0.01	0.04
D_1	5.20	0.44	4.19	0.07	0.33
D_2	5.00	0.33	3.26	0.01	0.06
D_3	5.10	0.40	3.87	0.04	0.19
E_1	5.00	0.50	5.04	0.04	0.19
E_2	5.10	0.39	3.86	0.01	0.04
E_3	5.00	0.38	3.81	0.02	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ปริมาณโลหะหนักในใบล่างต้นลำพู

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Cd		ความเข้มข้น Cu	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.62	3.08	0.12	0.61
A_2	5.00	0.54	2.71	0.21	1.05
A_3	5.01	0.51	2.56	0.11	0.55
B_1	5.01	0.50	2.48	0.48	2.40
B_2	5.02	0.53	2.63	0.45	2.24
B_3	5.00	0.48	2.39	0.39	1.94
C_1	5.01	0.60	3.00	0.43	2.14
C_2	5.00	0.54	2.70	0.28	1.39
C_3	5.01	0.54	2.71	0.33	1.66
D_1	5.02	0.58	2.87	0.19	0.96
D_2	5.00	0.58	2.91	0.09	0.47
D_3	5.01	0.56	2.81	0.15	0.74
E_1	5.01	0.57	2.83	0.37	1.87
E_2	5.01	0.50	2.5	0.34	1.7
E_3	5.00	0.57	2.85	0.44	2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ปริมาณโลหะหนักในใบล่างต้นลำพู(ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Zn		ความเข้มข้น Cr	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.37	3.71	0.15	0.74
A_2	5.00	0.47	4.69	0.10	0.49
A_3	5.01	0.45	3.39	0.15	0.73
B_1	5.01	0.46	4.58	0.38	1.89
B_2	5.02	0.30	2.96	0.47	2.36
B_3	5.00	0.40	3.02	0.41	2.07
C_1	5.01	0.35	2.60	0.33	1.64
C_2	5.00	0.38	2.81	0.34	1.69
C_3	5.01	0.37	2.74	0.32	1.58
D_1	5.02	0.65	4.89	0.22	1.08
D_2	5.00	0.43	3.20	0.23	1.17
D_3	5.01	0.49	3.65	0.22	1.11
E_1	5.01	0.45	3.35	0.17	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ปริมาณโลหะหนักในใบบนต้นลำพู

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Cd		ความเข้มข้น Cu	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.58	2.91	0.12	0.59
A_2	5.00	0.47	2.34	0.09	0.46
A_3	5.01	0.56	2.80	0.15	0.75
B_1	5.01	0.54	2.69	0.08	0.41
B_2	5.02	0.53	2.63	0.22	1.09
B_3	5.00	0.59	2.95	0.11	0.56
C_1	5.01	0.56	2.79	0.09	0.47
C_2	5.00	0.62	3.08	0.59	2.95
C_3	5.01	0.64	3.18	0.20	0.99
D_1	5.02	0.52	2.58	0.40	2.00
D_2	5.00	0.60	2.99	0.23	1.13
D_3	5.01	0.54	2.70	0.27	1.37
E_1	5.01	0.55	2.76	0.26	1.30
E_2	5.01	0.55	2.72	0.37	1.84
E_3	5.00	0.57	2.86	0.39	1.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ปริมาณโลหะหนักในใบบนต้นลำพู (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ความเข้มข้น Zn		ความเข้มข้น Cr	
		AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)	AAS (mg/L)	พืช (mg/kg)
A_1	5.00	0.40	1.98	0.06	0.30
A_2	5.00	0.65	3.26	0.07	0.33
A_3	5.01	0.13	0.64	0.06	0.29
B_1	5.01	0.62	3.07	0.04	0.18
B_2	5.02	0.35	1.76	0.06	0.32
B_3	5.00	0.34	1.70	0.04	0.19
C_1	5.01	0.41	2.03	0.14	0.69
C_2	5.00	0.35	1.73	0.12	0.60
C_3	5.01	0.33	1.65	0.11	0.55
D_1	5.02	0.67	3.35	0.12	0.60
D_2	5.00	0.39	1.95	0.11	0.55
D_3	5.01	0.84	4.21	0.11	0.57
E_1	5.01	0.38	2.43	0.04	0.20
E_2	5.01	0.44	2.71	0.03	0.14
E_3	5.00	0.39	2.48	0.06	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ความเป็นกรด – เบส และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ความเป็นกรด-เบส			ค่าการนำไฟฟ้า(mS/cm)		
	pH	เฉลี่ย	S.D.	ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	เฉลี่ย	S.D.
A_1	6.59	6.23	1.00	22.34	26.47	0.12
A_2	6.59			22.54		
A_3	6.59			22.55		
B_1	6.70	6.14	1.11	23.33	27.47	0.23
B_2	6.69			23.34		
B_3	6.93			23.74		
C_1	6.32	5.93	1.22	25.32	28.80	0.05
C_2	6.32			25.34		
C_3	6.33			25.41		
D_1	6.40	5.74	1.50	30.12	30.52	0.15
D_2	6.41			30.42		
D_3	6.40			30.21		
E_1	6.28	5.07	2.08	30.80	30.79	0.11
E_2	6.27			30.67		
E_3	2.68			30.89		
	เฉลี่ยทั้งหมด	5.82	0.43		28.81	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

ปริมาณน้ำตัวอย่างครั้งละ 10.00 mL

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นจาก AAS (ppm)		ความเข้มข้น (mg/L)	
	Cd	Cu	Cd	Cu
Blank	0.050	0.030		
A_1	0.177	0.131	0.32	0.25
A_2	0.214	0.153	0.41	0.31
A_3	0.182	0.132	0.33	0.26
B_1	0.220	0.132	0.43	0.26
B_2	0.217	0.189	0.42	0.40
B_3	0.213	0.133	0.41	0.26
C_1	0.213	0.155	0.41	0.31
C_2	0.221	0.153	0.43	0.31
C_3	0.079	0.165	0.07	0.34
D_1	0.212	0.145	0.41	0.29
D_2	0.109	0.103	0.15	0.18
D_3	0.113	0.140	0.16	0.28
E_1	0.225	0.250	0.44	0.55
E_2	0.220	0.170	0.43	0.35
E_3	0.202	0.188	0.38	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง(ต่อ)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นจาก AAS (ppm)		ความเข้มข้น (mg/L)	
	Zn	Cr	Zn	Cr
Blank	0.071	0.007		
A_1	0.216	0.124	0.36	0.29
A_2	0.223	0.129	0.38	0.31
A_3	0.221	0.161	0.38	0.39
B_1	0.234	0.098	0.41	0.23
B_2	0.237	0.093	0.42	0.22
B_3	0.244	0.115	0.43	0.27
C_1	0.249	0.099	0.45	0.23
C_2	0.255	0.044	0.46	0.34
C_3	0.261	0.129	0.48	0.31
D_1	0.214	0.080	0.36	0.18
D_2	0.223	0.100	0.38	0.23
D_3	0.231	0.165	0.40	0.40
E_1	0.224	0.217	0.38	0.28
E_2	0.311	0.086	0.60	0.20
E_3	0.276	0.217	0.51	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค.1การคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ

1.1. เปอร์เซ็นต์ความชื้น วิธี การชั่งน้ำหนัก

$$\%M = \left(\frac{W\text{-}D}{D}\right) \times 100$$

โดย %M คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น

W คือ น้ำหนักเปียกของดิน (g)

D คือ น้ำหนักแห้งของดิน (g)

ตัวอย่างดินตะกอนป่าชายเลน A_1

น้ำหนักเปียกของดิน 100.49 g

น้ำหนักแห้งของดิน 96.69 g

$$\%M = \left(\frac{100.49 - 96.49}{96.49}\right) \times 100$$

$$= 3.93\ \%$$

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

1.2. อินทรียวัตถุวิธี Dry combustion

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

$$\%OM = \%OC \times 1.724$$

$$\%OC = \%TC - \%IC$$

โดย % OM คือ เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ

% OC คือ เปอร์เซ็นต์อินทรียคาร์บอน

% TC คือ เปอร์เซนต์คาร์บอนทั้งหมด

% IC คือ เปอร์เซ็นต์อนินทรียคาร์บอน

$$\%OC = 1.543 - 0.01275 = 2.6382$$

$$\%OM = 2.6382 \times 1.724$$

$$= 2.6382\ \%$$

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนวิธีทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนียมซิเทต

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

หาความเข้มข้นที่แน่นอนที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก

ก. สารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เข้มข้น 0.1 N

$$\frac{g}{M.W.} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{204.22} = \frac{0.1 \times 100 \text{ ml}}{1000}$$

$$g = 2.0409$$

∴ ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 2.0409 g. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 mL

ข. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N

การเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ปริมาตร 0.1 N KHP ใช้ครั้งละ 10 mL(โดยปิเปต)

หยดฟีนอล์ฟทาลีน(ØØ) 3 หยด จุดยุติ เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

ข้อมูลปริมาตรสารละลายNaOH จากบิวเรต

ครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)			หมายเหตุ
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้	
1.	0.00	10.20	10.20	
2.	10.20	20.20	10.00	
3.	20.20	30.30	10.10	
		เฉลี่ย	10.10	

$$C_{NaOH} = \frac{V_{KHP} \times C_{KHP}}{V_{NaOH}} = \frac{10 \text{ mL} \times 0.1N}{10.01} = 0.0990N$$

∴ สารละลาย NaOH มีความเข้มข้นที่แน่นอน 0.0990 N

ค. สารละลายไฮโดรคลอริก 0.01 N

การเทียบมาตรฐานสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl)

ปริมาตร ไฮโดรคลอริก (HCl) ใช้ครั้งละ 10 ml. (โดยปิเปต)

หยดฟีนอล์ฟทาลีน (ØØ) 3 หยด จุดยุติ เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปริมาตรสารละลาย NaOH จากบิวเรต

ครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)			หมายเหตุ
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้	
1.	0.00	9.80	9.80	
2.	9.80	19.80	10.00	
3.	19.80	29.80	10.00	
		เฉลี่ย	9.93	

$$C_{HCl} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH}}{V_{HCl}} = \frac{9.93\ mL \times 0.0990N}{10.00} = 0.0983N$$

∴ สารละลาย HCl มีความเข้มข้นที่แน่นอน 0.0983 N

หาปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (cmol/kg) จากสูตร

$$\mathbf{CEC\left(cmol.kg^{-1}\right) = \frac{N(A-B)\times 100}{W}}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานไฮโดรคลอริก เท่ากับ 0.0983 N

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

W = น้ำหนักแห้งของดินตัวอย่าง (กรัม)

ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้กับ แบลงค์ = 0.01 mL

ตัวอย่างดินครั้งที่ 1

$$CEC\left(cmol.kg^{-1}\right) = \frac{0.0983(8.60-0.10)\times 100}{5.01}$$

$$= 16.68\ cmol.kg^{-1}$$

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ไนโตรเจนทั้งหมดวิธี Bremner ,1965

ตัวอย่างการคำนวณ

หาความเข้มข้นที่แน่นอนที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก

ก. สารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เข้มข้น 0.1 N

$$\frac{g}{M.W.} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{204.22} = \frac{0.1 \times 100\ mL}{1000}$$

$$g = 2.0409$$

∴ ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 2.0409 g. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 mL

ข. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)

ปริมาตร 0.1 N KHP ใช้ครั้งละ 10 ml. (โดยปิเปต)

หยดฟีนอล์ฟทาลีน (ØØ) 3 หยด จุดยุติ เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

ข้อมูลปริมาตรสารละลาย NaOH จากบิวเรต

ครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)			หมายเหตุ
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้	
1.	0.00	12.25	12.25	
2.	12.25	24.25	12.00	ตัดข้อมูลทิ้ง
3.	0.00	12.25	12.25	
		เฉลี่ย	12.25	

$$\text{ปริมาตรเฉลี่ย} = \frac{10.25 + 12.25}{2} = 12.25\ mL$$

$$C_{NaOH} = \frac{V_{KHP} \times C_{KHP}}{V_{NaOH}} = \frac{10\ mL \times 0.100N}{12.25} = 0.0816\ N$$

∴ สารละลาย NaOH มีความเข้มข้นที่แน่นอน 0.0816 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารละลายไฮโดรคลอริก

การเทียบมาตรฐานสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl)

ปริมาตร ไฮโดรคลอริก (HCl) ใช้ครั้งละ 10 mL (โดยปิเปต)

หยดฟีนอล์ฟทาลีน (ØØ) 3 หยด จุดยุติ เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

ข้อมูลปริมาตรสารละลาย NaOH จากบิวเรต

ครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)			หมายเหตุ
	เริ่มต้น	จุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้	
1.	0.00	10.25	10.25	
2.	0.00	10.30	10.30	
3.	0.00	10.30	10.30	
		เฉลี่ย	10.28	

$$\text{ปริมาตรเฉลี่ย} = \frac{10.25 + 10.30 + 10.30}{3} = 10.28 \text{ mL}$$

$$C_{HCl} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH}}{V_{HCl}} = \frac{10.28 \text{ mL} \times 0.0816N}{10} = 0.0839 \text{ N}$$

∴ สารละลาย HCl มีความเข้มข้นที่แน่นอน 0.0839 N

หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen, TKN) ของดิน ตะกอนป่าชายเลน

จากสูตร

$$TKN = N(A - B)$$

$$\% \text{ TKN} = \frac{N(A - B) \times 100 \times 0.014}{E}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวแบลงค์ (mL)

E = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.0839N

ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้กับ Blank = 0.01 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างดินครั้งที่ 1

ดิน 1.00g. มีปริมาณไนโตรเจน $= 0.0839\ N\ (0.75mL - 0.10mL)$

$= 0.0545$ มิลลิกรัมสมมูล

ดิน 100 g.มีปริมาณไนโตรเจน $= \dfrac{0.0839\ N(0.75mL - 0.10mL)\times 100\times 0.014}{0.9570}$

$= \dfrac{1.4\times 0.0839\ N(0.75\ ml. - 0.10\ ml.)}{0.9570}$

$= 0.08$ เปอร์เซนต์

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

1.5. ไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชวิธี กลั่นด้วยไอน้ำ Stream distillation

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

หาปริมาณไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Ammonium - N และ Nitrate - N)

จากสูตร NH_4^+-N หรือ NO_3^--N $= \dfrac{N(A-B)\times D\times 0.014\times 10^6}{C\times E}$ $mg.kg^{-1}$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

A = ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl(mL)

B = ปริมาตรของแบลงค์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl(mL)

C = ปริมาตรของสารละลายที่ดูดจากสารละลายที่สกัดได้ (mL)

D = ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ (mL)

E = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (g)

คำนวณน้ำหนักแห้ง

ชั่งดิน 10 กรัม คิดเป็นน้ำหนักแห้ง จากสูตร $\text{น้ำหนักแห้ง(E)} = \dfrac{\text{น้ำหนักเปียก} \times 100}{100 + \%\ \text{ความชื้น}}$

$E = \dfrac{10\times 100}{100 + 4.50} = 9.57g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NH_4^+-N

ตัวอย่างดินครั้งที่ 1 ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้กับ Blank = 0.10 ml.

ปริมาตรไฮโดรคลอกริกที่ใช้ 0.15 ml.

ปริมาณของสารละลายที่สกัดได้ 146 ml.

$$NH_4^+\text{-N} = \frac{0.0839\ (0.15\text{-}0.10)\times 146\times 0.014\times 10^6}{20\times 9.57} = 44.80\ \text{mg kg}^{-1}$$

NO_3^--N

ตัวอย่างดินครั้งที่ 1 ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้กับ Blank = 0.10 mL

ปริมาตรไฮโดรคลอกริกที่ใช้ 0.28 mL

ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ 150 mL

$$NO_3^-\text{-N} = \frac{0.0839(0.25\text{-}0.10)\times 150\times 0.014\times 10^6}{20\times 9.57} = 138.08\ \text{mg kg}^{-1}$$

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

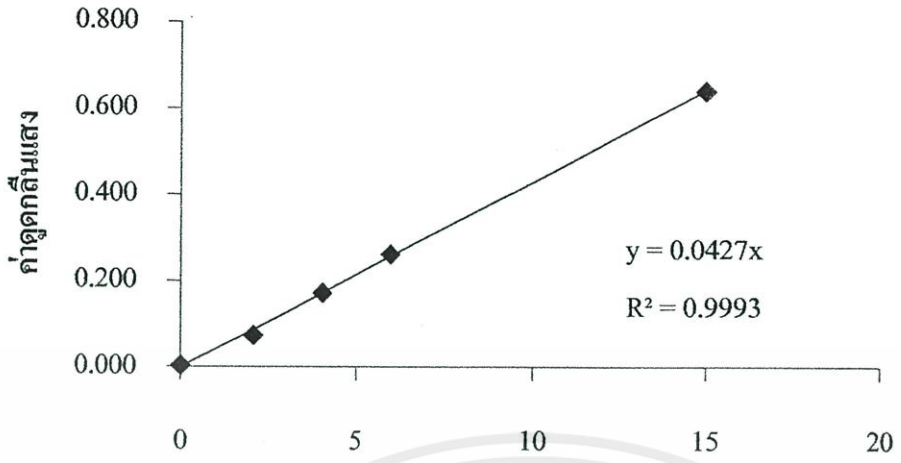
1.6. ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชวิธี Bray II และ Ascobic

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

1. การสร้างกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัส (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0	0.004
2	0.074
4	0.172
6	0.262
15	0.640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2. หาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

จากกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส ได้สมการดังนี้

$$Y = 0.0427x$$

แทนค่า Y ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของดินตัวอย่าง A ครั้งที่ 1 เท่ากับ 0.333

$$0.333 = 0.0427x$$

จะได้

$$x = 7.80$$

เพราะฉะนั้น ดินตัวอย่างครั้งที่ 1มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส เท่ากับ 7.80 ppm

3. หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)ครั้งที่1 จากสูตร

$$\text{Available P (mg/kg)} = \frac{B \times df(\text{sample}) \times R}{A \times df(\text{standard})}$$

โดย A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

B = สารละลายสกัด (mL)

R = ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set

df = อัตราส่วนเจือจาง (dilution factor)

$$\text{Available P (mg/kg)} = \frac{10 \times (1) 7.80}{0.9570}$$

$$\text{Available P} = 81.50 \text{ mg/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

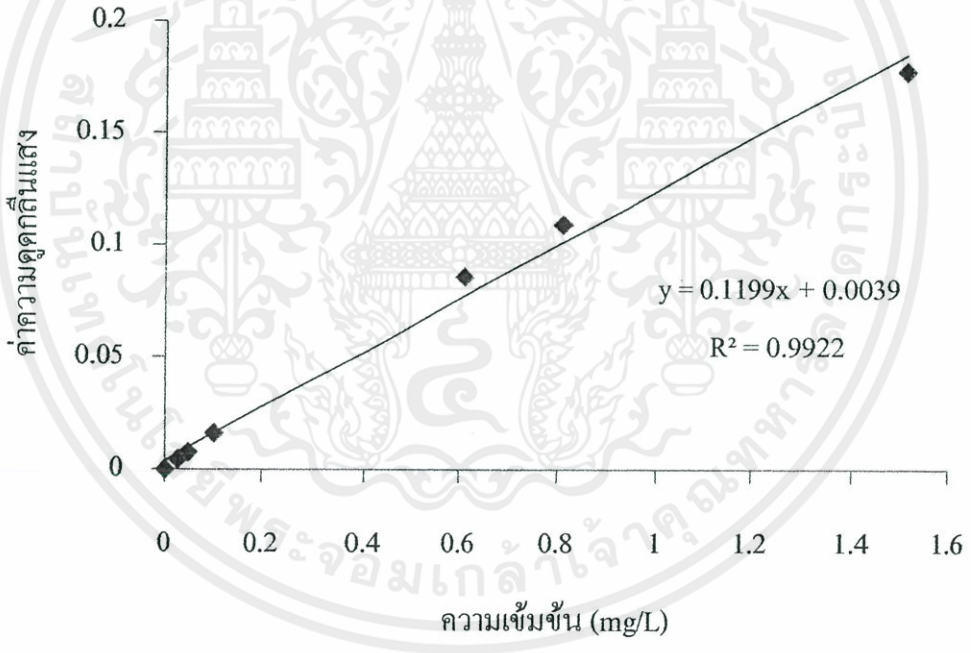
** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

ค.2 การคำนวณปริมาณโลหะหนักต่าง ๆ

2.1. กราฟมาตรฐาน

1. การสร้างกราฟมาตรฐานทองแดง

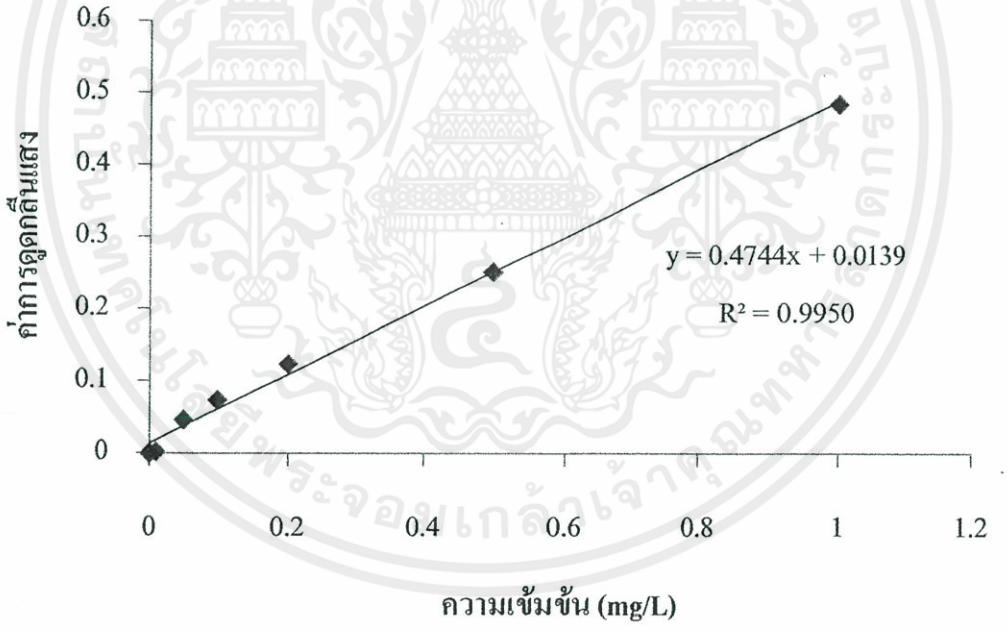
ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.03	0.004
0.05	0.008
0.10	0.016
0.50	0.086
1.00	0.109
1.50	0.178



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสร้างกราฟมาตรฐานแคดเมียม

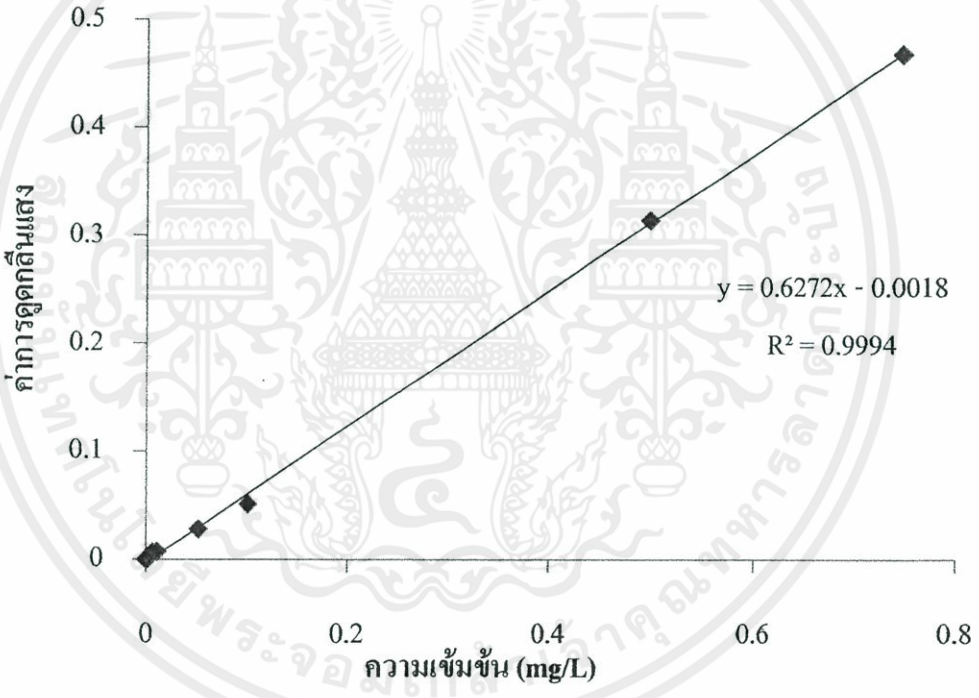
ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.01	0.002
0.05	0.046
0.1	0.0735
0.2	0.123
0.5	0.251
1	0.484



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้างกราฟมาตรฐานสังกะสี

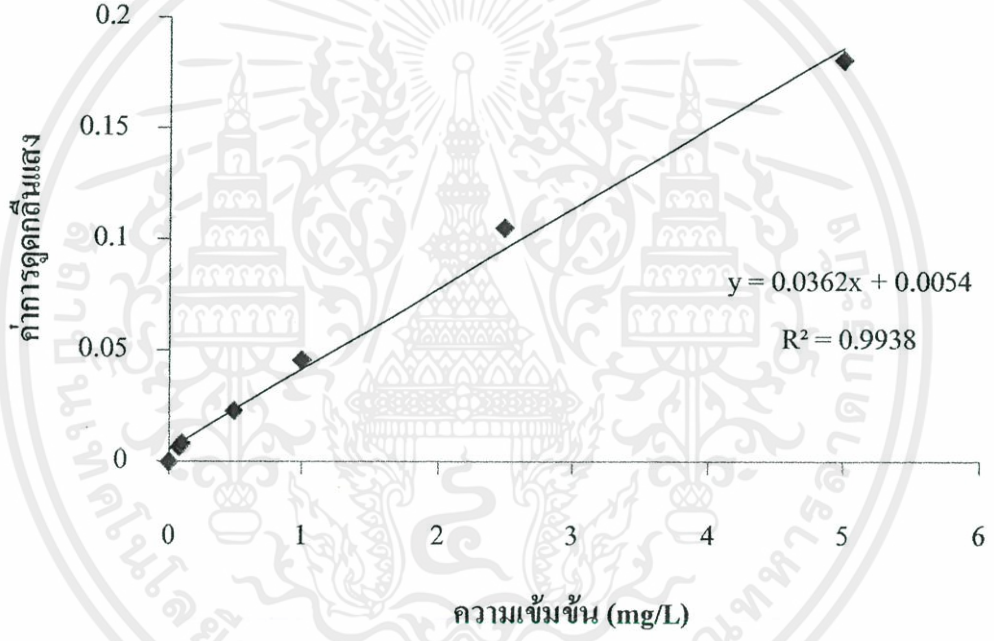
ความเข้มข้นของสารละลายสังกะสี (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.006	0.0066
0.01	0.0073
0.05	0.0282
0.10	0.0511
0.50	0.3142
0.75	0.4684



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม

ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง
0.08	0.0068
0.10	0.0083
0.50	0.0229
1.00	0.0456
2.50	0.1052
5.00	0.1807



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

1. หาปริมาณทองแดงในน้ำ

จากข้างต้น น้ำ A_1มีความเข้มข้นของทองแดง 0.13 ppm

Blank มีความเข้มข้นของทองแดง 0.030 ppm

เพราะฉะนั้น A_1มีความเข้มข้นของทองแดง 0.131 - 0.030 = 0.101 ppm หมายความว่า

ในสารละลาย 1000 ml มีทองแดงอยู่ 0.101 mg

ในสารละลาย 25 ml มีทองแดงอยู่ $\frac{0.101 \times 25}{1000} = 0.0025$ mg

แต่น้ำA_1ที่นำมา เท่ากับ 10 mlดังนั้น

ในน้ำ 10 ml มีทองแดงอยู่ 0.0025 mg

ถ้าในน้ำ 1000 ml มีทองแดงอยู่ $\frac{0.0025 \times 1000}{10} = 0.25$ mg

ดังนั้นในน้ำ A_1มีทองแดงอยู่ 0.25 mg/L

จากการคำนวณข้างต้นสามารถสรุปได้เป็น

$$\textbf{ความเข้มข้น (mg/L)} = \frac{[AAS - AAS_B] \times Vf}{Vs}$$

เมื่อ [AAS] = ความเข้มข้นที่วัดได้จาก AAS (ppm)

$[AAS_B]$ = ความเข้มข้นของแบลงค์ที่วัดได้จาก AAS (ppm)

Vs= ปริมาตรเริ่มต้น (mL)

Vf= ปริมาตรสุดท้าย(mL)

2. หาปริมาณทองแดงในดินตะกอนป่าชายเลนใน A_1

จากข้างต้นดินตะกอนป่าชายเลนA_1 มีความเข้มข้นของทองแดง 0.42 ppm

Blank มีความเข้มข้นของทองแดง 0.030 ppm

เพราะฉะนั้น A_1มีความเข้มข้นของทองแดง 0.42 - 0.030 = 0.39 ppm หมายความว่า

ในสารละลาย 1000 ml มีทองแดงอยู่ 0.39 mg

ถ้าสารละลาย 25 ml มีทองแดงอยู่ $\frac{0.39 \times 25}{1000} = 0.00975$ mg

แต่น้ำหนักดินตะกอนป่าชายเลน A_1ที่ชั่งมา เท่ากับ 1 g ดังนั้น

ในดินตะกอนป่าชายเลน 1 g มีทองแดงอยู่ 0.00975mg

ถ้าในดินตะกอนป่าชายเลน 1000 g มีทองแดงอยู่ $\frac{0.00975 \times 1000}{1} = 9.75$ mg

ดังนั้นในดินตะกอนป่าชายเลนA_1มีทองแดงอยู่ 9.75 mg/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาปริมาณทองแดงในต้นลำพู (ราก กิ่ง ใบล่าง และใบบน)ในราก A_1

จากข้างต้นราก A_1มีความเข้มข้นของทองแดง 0.34 ppm

Blank มีความเข้มข้นของทองแดง 0.030 ppm

เพราะฉะนั้น A_1มีความเข้มข้นของทองแดง 0.34 - 0.030 = 0.31 ppm หมายความว่า

ในสารละลาย 1000 ml มีทองแดงอยู่ 0.31 mg

ถ้าสารละลาย 25 ml มีทองแดงอยู่ $\frac{0.31 \times 25}{1000} = 0.0075$ mg

แต่น้ำหนักราก A_1ที่ชั่งมา เท่ากับ 5 g ดังนั้น

ในราก 5 g มีทองแดงอยู่ 0.00775 mg

ถ้าราก 1000 g มีแคดเมียมอยู่ $\frac{0.00775 \times 1000}{5.00} = 1.55$ mg

ดังนั้นรากA_1มีทองแดงอยู่ 1.55 mg/kg

จากการคำนวณข้างต้นสามารถสรุปได้เป็น

$$\textbf{ความเข้มข้น (mg/L)} = \frac{[\text{AAS}] \times Vf}{W}$$

เมื่อ [AAS] = ความเข้มข้นที่วัดได้จาก AAS (ppm)

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง (g)

Vf = ปริมาตรสุดท้าย (mL)

** ส่วนตัวอย่างอื่นๆ คำนวณในลักษณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ทางสถิติ

1.การวิเคราะห์ความแปรปรวนในแต่ละตำแหน่ง

1.1 ดิน

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละตำแหน่ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (mg/kg)			
	Cd	Cr	Cu	Zn
ดิน A	4.51	10.00	13.01	10.14
ดิน B	3.81	12.88	20.70	11.84
ดิน C	5.57	14.41	16.94	8.91
ดิน D	4.00	14.63	16.16	11.90
ดิน E	3.45	3.24	11.03	8.47

H_0 : ปริมาณโลหะหนักในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณโลหะหนักในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.2 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.519 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในดินแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	88.464	4	22.116	.844	.519
Within Groups	393.093	15	26.206		
Total	481.557	19			

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.3 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณทองแดงเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05
		1
E	4	6.5475
A	4	9.4150
C	4	11.4575
D	4	11.6725
B	4	12.3075
Sig.		.170

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.ต้นลำพู

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลปริมาณทองแดงแต่ในแต่ละตำแหน่ง

ชุดการทดลอง	ตัวอย่าง (mg/kg)			
	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน
ชุด A	1.53	1.35	0.74	0.60
ชุด B	1.64	1.77	2.19	0.69
ชุด C	2.17	1.46	1.73	1.47
ชุด D	1.10	1.76	0.72	1.50
ชุด E	0.90	1.47	1.93	1.70

H_0 : ปริมาณทองแดงในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณทองแดงในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.5 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.397 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณทองแดงแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.934	4	.233	1.090	.397
Within Groups	3.213	15	.214		
Total	4.147	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.6 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณทองแดงเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.6 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05
		1
A	4	1.1050
D	4	1.2700
E	4	1.5000
B	4	1.5725
C	4	1.7075
Sig.		.115

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่ง

ชุดการทดลอง	ตัวอย่าง (mg/kg)			
	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน
ชุด A	0.88	0.83	2.78	2.68
ชุด B	0.95	0.68	2.50	2.76
ชุด C	0.95	0.79	2.80	3.01
ชุด D	0.49	0.70	3.86	2.76
ชุด E	0.55	0.67	3.73	2.78

H_0 : ปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.8 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.999 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณแคดเมียมในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.153	4	.038	.022	.999
Within Groups	26.538	15	1.769		
Total	26.690	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.9 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05
		1
B	4	1.7225
A	4	1.7925
C	4	1.8900
E	4	1.9325
D	4	1.9525
Sig.		.827

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ข้อมูลปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่ง

ชุดการทดลอง	ตัวอย่าง (mg/kg)			
	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน
ชุด A	1.12	2.86	3.93	1.96
ชุด B	0.88	3.05	3.52	2.18
ชุด C	1.65	3.15	2.72	1.80
ชุด D	0.89	3.77	3.91	3.17
ชุด E	0.99	4.24	3.49	2.54

H_0 : ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.11 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.936 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.142	4	.286	.197	.936
Within Groups	21.747	15	1.450		
Total	22.889	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.12 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.12 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
A	4	1.0550
E	4	1.5000
C	4	1.7075
D	4	2.2450
B	4	2.6500
Sig.		.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 ข้อมูลปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่ง

ชุดการทดลอง	ตัวอย่าง (mg/kg)			
	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน
ชุด A	1.48	0.23	0.65	0.30
ชุด B	1.66	0.12	2.11	0.23
ชุด C	2.65	0.02	1.63	0.61
ชุด D	1.26	0.19	1.12	0.57
ชุด E	0.84	0.11	0.66	0.21

H_0 : ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.14 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.666 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.14 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.471	4	.368	.603	.666
Within Groups	9.151	15	.610		
Total	10.622	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.15 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณโครเมียมเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

treatment	N	Subset for alpha = 0.05
		1
5	4	.4550
1	4	.6650
4	4	.7850
2	4	1.0300
3	4	1.2275
Sig.		.224

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.น้ำ

ตารางที่ ง.16 ข้อมูลปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละตำแหน่ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (mg/kg)			
	Cd	Cr	Cu	Zn
น้ำ A	0.35	0.33	0.27	0.37
น้ำ B	0.42	0.24	0.30	0.42
น้ำ C	0.30	0.29	0.32	0.46
น้ำ D	0.24	0.27	0.25	0.38
น้ำ E	0.41	0.25	0.43	0.50

H_0 : ปริมาณโลหะหนักในแต่น้ำแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณโลหะหนักในน้ำแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.17 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.427 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

สรุปว่าปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำแต่ละตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.17 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำแต่ละตำแหน่งด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.026	4	.006	1.023	.427
Within Groups	.095	15	.006		
Total	.121	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.18 พบว่า

- ตำแหน่ง A B C D และE ให้ปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ง.18 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05
		1
4	4	.2850
1	4	.3300
3	4	.3425
2	4	.3450
5	4	.3975
Sig.		.089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ปริมาณโลหะหนักในแต่ละองค์ประกอบ

ตารางที่ ง.19 ข้อมูลปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบ

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)					
	ดิน	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน	น้ำ
ชุด A	13.01	1.53	1.35	0.74	0.60	0.27
ชุด B	20.70	1.64	1.77	2.19	0.69	0.30
ชุด C	16.94	2.17	1.46	1.73	1.47	0.32
ชุด D	16.16	1.10	1.76	0.72	1.50	0.25
ชุด E	11.03	0.90	1.47	1.93	1.70	0.43

H_0 : ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.20 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าปริมาณทองแดงในแต่ส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.20 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	865.495	5	173.099	69.491	.000
Within Groups	59.783	24	2.491		
Total	925.278	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.21 พบว่า

- ในดินให้ปริมาณทองแดงเฉลี่ยแตกต่างกับ กิ่ง ราก ใบล่าง ใบบน และน้ำ

ตารางที่ ง.21 การวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
น้ำ	5	.3140	
ใบบน	5	1.1920	
ใบล่าง	5	1.4620	
ราก	5	1.4680	
กิ่ง	5	1.5620	
ดิน	5		15.5680
Sig.		.274	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.22 ข้อมูลปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบ

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)					
	ดิน	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน	น้ำ
ชุด A	4.51	0.88	0.83	2.78	2.68	0.35
ชุด B	3.81	0.95	0.68	2.50	2.76	0.42
ชุด C	5.57	0.95	0.79	2.80	3.01	0.30
ชุด D	4.00	0.49	0.70	3.86	2.76	0.24
ชุด E	3.45	0.55	0.67	3.73	2.78	0.41

H_0 : ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.23 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าปริมาณแคดเมียมในแต่ส่วนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.23 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	64.695	5	12.939	68.481	.000
Within Groups	4.535	24	.189		
Total	69.230	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.24 พบว่า

- ใน ดินมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยแตกต่างจาก น้ำ กิ่งและราก
- ใน ดินมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยแตกต่างจากใบล่างและใบบน

ตารางที่ ง.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณแคดเมียม

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
น้ำ	5	.3440		
กิ่ง	5	.7340		
ราก	5	.7640		
ใบบน	5		2.7980	
ใบล่าง	5		3.1340	
ดิน	5			4.2680
Sig.		.161	.233	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 ข้อมูลปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบ

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)					
	ดิน	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน	น้ำ
ชุด A	10.14	1.12	2.86	3.93	2.68	0.37
ชุด B	11.84	0.88	3.05	3.52	2.76	0.42
ชุด C	8.91	1.65	3.15	2.72	3.01	0.46
ชุด D	11.90	0.89	3.77	3.91	2.76	0.38
ชุด E	8.47	0.99	4.24	3.49	2.78	0.50

H_0 : ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.26 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.26 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	306.136	5	61.227	113.148	.000
Within Groups	12.987	24	.541		
Total	319.123	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.27 พบว่า

- ในดินมีปริมาณสังกะสีเฉลี่ยแตกต่างกับ น้ำและราก
- ในดินมีปริมาณสังกะสีเฉลี่ยแตกต่างกับ กิ่ง ใบล่างและใบบน

ตารางที่ ง.27 การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
น้ำ	5	.4260		
ราก	5	1.1060		
ใบบน	5		2.7980	
กิ่ง	5		3.4140	
ใบล่าง	5		3.5140	
ดิน	5			10.2520
Sig.		.157	.158	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.28 ข้อมูลปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบ

ชุดการทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก(mg/kg)					
	ดิน	ราก	กิ่ง	ใบล่าง	ใบบน	น้ำ
ชุด A	10.00	1.48	0.23	0.65	0.30	0.33
ชุด B	12.88	1.66	0.12	2.11	0.23	0.24
ชุด C	14.41	2.65	0.02	1.63	0.61	0.29
ชุด D	14.63	1.26	0.19	1.12	0.57	0.27
ชุด E	3.24	0.84	0.11	0.66	0.21	0.25

H_0 : ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบแตกต่างกัน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ แตกต่างกัน

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่า

จากตารางที่ ง.29 พบว่าค่า Significant เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0

สรุปว่าปริมาณโครเมียมในแต่องค์ประกอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.29 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วย ANOVA

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	451.238	5	90.248	23.252	.000
Within Groups	93.149	24	3.881		
Total	544.387	29			

บทคัดย่อและเอกสารที่อยู่ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของดันแคนส์

จากตารางที่ ง.30 พบว่า

- ในดินมีปริมาณโครเมียมเฉลี่ยแตกต่างกับ ราก กิ่ง ใบล่าง ใบบนและน้ำ

ตารางที่ ง.30 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในแต่ละองค์ประกอบด้วยวิธี Duncan

Duncan

group	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
กิ่ง	5	.1340	
น้ำ	5	.2760	
ใบบน	5	.3840	
ใบล่าง	5	1.2340	
ราก	5	1.5780	
ดิน	5		11.0320
Sig.		.310	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้