# การพัฒนาวิธีการเฝ้าระวังทางชีวภาพโดยใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ

# DEVELOPMENT OF A BIOMONITORING METHOD USING GRASSES AS BIOINDICATOR FOR HEAVY METAL IN THE AIR

T028858

นางสาววันทนา สังข์ชุม

MISS WANTANA SANGCHOOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2540

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 28858
วัน, เดือน, ปี 27 พ.ย. 2540

ISBN 974 - 622 - 010 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# DEVELOPMENT OF A BIOMONITORING METHOD USING GRASSES AS BIOINDICATOR FOR HEAVY METAL IN THE AIR

WANTANA SANGCHOOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE IN APPLIED CHEMISTRY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

ISBN 974 - 622 - 101 - 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาการเฝ้าระวังทางชีวภาพโดยการใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ |
| นักศึกษา | นางสาววันทนา สังข์ชุม |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | ผศ. ดร. เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม | Dr. Jochen Amrehn |
| ระดับการศึกษา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์ |
| ภาควิชา | เคมี คณะวิทยาศาสตร์ |
| | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| พ.ศ. | 2540 |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพในการเฝ้าระวังทางชีวภาพนั้น ได้แก่ หญ้าท้องถิ่นของประเทศไทย 2 ชนิด คือ หญ้านวลน้อย (*Zeysia mattralla* Merr.) และหญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus* (Swartz) Beauv.) ในการศึกษาได้นำกระถางหญ้าไปวางไว้ในบริเวณถนนพระรามสี่ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศที่เกิดจากรถยนต์มาก และบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง ซึ่งมีปริมาณมลพิษที่เกิดจากรถยนต์น้อยกว่า เป็นเวลา 2 เดือน ตัดยอดหญ้าทุก ๆ 2 สัปดาห์ แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียม(Cd) โครเมียม(Cr) ทองแดง(Cu) ตะกั่ว(Pb) และ สังกะสี (Zn) พบว่า หญ้าทั้งสองชนิดที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ มีความเข้มข้นของโลหะหนัก โดยเฉพาะตะกั่ว มากกว่าหญ้าที่สุ่มจากเขตลาดกระบัง และมีปริมาณการสะสมของ Cd < Pb < Cr < Cu < Zn ตามลำดับ โดยหญ้านวลน้อยสามารถสะสม Pb, Cu และ Zn มากกว่าหญ้ามาเลเซีย และหญ้ามาเลเซียสะสม Cr และ Cd มากกว่าหญ้านวลน้อย และจากการเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักในหญ้านวลน้อย กับหญ้า Ryegrass (*Lolium multiflorum Lema*) ซึ่งเป็นดัชนีชีวภาพมาตรฐานทางทวีปยุโรป พบว่าหญ้า Ryegrass มีการสะสมโลหะหนักมากกว่าหญ้านวลน้อย ซึ่งมีปริมาณ Cr < Pb < Cu < Zn ตามลำดับ แต่อัตราการเจริญเติบโตในสภาพอากาศของเมืองไทยเป็นไปได้น้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Development of a Biomonitoring Method Using grasses as Bioindicator for Heavy Metal in the Air |
| Student | MissWantana Sangchoom |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Dr. Pachernchai Chaiyasith |
| Thesis Coadivsor | Dr. Jochen Amrehn |
| Level of Study | Master of Science in Applied Chemistry |
| Department | Chemistry Faculty of Science |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| Year | 1997 |


## ABSTRACT

Two local Thai grasses i.e. Ya Nuannoi *(Zeysia matrella Merr.)* and Ya Malasia (*Axonopus compressus* (Swartz) Beauv.) were examined for their suitability as indicator plants for active biomonitoring methods. Identical sets of samples were exposed on Rama IV Rd., at highly air polluted area from vihical and at the King Mongut's Institute of Technology Ladkrabang (Ladkrabang district), a lesser air polluted area from vihical for a period of 2 months. Every 2 weeks, the newly grown plant material was collected and analyzed for the concentration of the heavy metals Cd, Cr, Cu, Pb and Zn. It was found that the sample grass at Rama IV Rd. was higher sensitive and could accumulate more heavy metal than the samples in Ladkrabang especialy Pb, with the series of Cd < Pb < Cr < Cu < Zn respestively. The average concentration of Cu, Pb and Zn was found in Ya Nuannoi has higher value than in Ya malaysia, while the average concentration of Cd and Cr are opposite. On the comparision between Ya Nuannoi and Ryegrass (*Lolium multiflorum Lema*) , the European standard indicator grass, ryegrass shows the concentration of heavy metal was higher than Ya Nuannoi with the series of Cr < Pb < Cu < Zn respectively, but under the Thai climate it can not grow.




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เป็นผลมาจากการให้คำปรึกษา ให้แนวความคิด ข้อชี้แนะ และมุมมอง ในเชิงการเฝ้าระวังสารพิษในสิ่งแวดล้อมอันมีค่ายิ่ง ตลอดจนการดูแล และเอาใจใส่ แก้ปัญหาในระหว่างการทดลองจาก ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้เขียน และ Dr. Jochen Amrehn อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ซึ่งเสียสละเวลา ให้กำลังใจเป็นอย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาที่จัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงนุช เภตรานุวัฒน์ รองศาสตราจารย์ อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร พูนพิพัฒน์ ที่เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์ อาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนสนิทมิตรสหายทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วันทนา สังข์ชุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญภาพ | X |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ | 1 |
| แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 2 |
| ขอบเขตการทดลอง | 2 |
| 2 ทฤษฎีการเฝ้าระวังทางชีวภาพ | 5 |
| การเฝ้าระวังทางชีวภาพ | 5 |
| การใช้พืชเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ | 8 |
| แหล่งกำเนิดโลหะหนัก | 9 |
| การดูดซับโลหะหนักโดยพืช | 11 |
| การดูดซับโลหะหนักทางราก | 14 |
| การดูดซับโลหะหนักในอากาศ | 14 |
| สภาวะมาตรฐานของดัชนีชีวภาพ | 15 |
| การล้าง และทำให้แห้ง | 15 |
| การบด | 15 |
| การย่อย และการเผา | 16 |
| ความสัมพันธ์ของอายุ กับการดูดซับโลหะหนัก | 16 |
| 3 การทดลอง | 19 |
| การคัดเลือกพันธุ์หญ้า | 19 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | การเตรียมดิน | 19 |
| | ชุดสุ่มตัวอย่าง | 20 |
| | กระถางปลูกหญ้า | 21 |
| | จุดสุ่มตัวอย่าง | 22 |
| | การคัดเลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมืองสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพ | 24 |
| | การปลูกหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย | 24 |
| | การดูแลต้นอ่อน | 24 |
| | การสุ่มตัวอย่าง | 24 |
| | การเก็บตัวอย่าง | 24 |
| | การเตรียมตัวอย่าง | 25 |
| | การจัดเก็บตัวอย่าง | 25 |
| | การย่อย | 25 |
| | การวิเคราะห์โลหะหนัก | 26 |
| | การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass | 26 |
| | การปลูกหญ้านวลน้อย | 26 |
| | การปลูกหญ้า Ryegrass | 27 |
| | การเก็บตัวอย่าง | 27 |
| | การเตรียมตัวอย่าง | 27 |
| | การย่อย | 27 |
| | การวิเคราะห์โลหะหนัก | 28 |
| | การวิเคราะห์ข้อมูล | 28 |
| 4 | ผลการทดลอง | 29 |
| | การคัดเลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมืองสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพ | 29 |
| | การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักในหญ้านวลน้อยกับRyegrass | 42 |
| | ความสัมพันธ์ของอายุหญ้ากับการสะสมโลหะหนัก | 43 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | ความสัมพันธ์ของการล้างกับการสะสมโลหะหนัก | 56 |
| | ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งกับการสะสมโลหะหนัก | 58 |
| 5 | สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 64 |
| บรรณานุกรม | | 66 |
| ภาคผนวก | | 72 |
| | ภาคผนวก ก พันธุ์หญ้า | 73 |
| | ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ | 79 |
| ประวัติผู้เขียน | | 90 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงสมบัติต่าง ๆ ของดิน | 19 |
| 2 | แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักใน หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย | 26 |
| 3 | แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass | 28 |
| 4 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียม(Cd) ในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 30 |
| 5 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) ในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 32 |
| 6 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง (Cu) ในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 34 |
| 7 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว (Pb) ในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 36 |
| 8 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสี (Zn) ในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 38 |
| 9 | แสดงการสะสมโลหะหนักในใบและไหล (stolon) ของหญ้ามาเลเซีย | 41 |
| 10 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4 ,6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 44 |
| 11 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง (Cu) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4 ,6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 47 |
| 12 | แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว (Pb) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4 ,6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง | 50 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)


หน้า

13 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสี(Zn) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4 ,6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้าRyegrass อายุ 12สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 53

14 แสดงผลของการล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนัก ในหญ้านวลน้อย..... 56

15 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในดินก่อนและหลังการทดลอง..... 58

16 แสดงน้ำหนักแห้งของหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 59

17 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 พ.ย. 2538..... 79

18 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 พ.ย. 2538 ณจุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 80

19 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 ธ.ค. 2538 ณจุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 81

20 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 ธ.ค. 2538 ณจุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 82

21 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 19 ม.ค. 2538 ณจุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง..... 83




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# สารบัญตาราง (ต่อ)


หน้า

22 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 12 ก.พ. 2539 ..... 84

23 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 มี.ค. 2539 ..... 85

24 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 มี.ค. 2539 ..... 86

25 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 เม.ย. 2539 ..... 87

26 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 เม.ย. 2539 ..... 88

27 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่างโดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 พ.ค. 2539 ..... 89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงแผนภูมิการเฝ้าระวังทางชีวภาพและดัชนีชีวภาพชนิดต่าง ๆ..... | 8 |
| 2 | แสดงวัฏจักรและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในระบบนิเวศน์..... | 11 |
| 3 | แสดงการดูดซับโลหะหนักจากดินและอากาศของพืช ($M_{ext}$ = โลหะหนักจากอากาศและดิน และถูกดูดซับโดยพืช, $M_{int}$ = โลหะหนักในพืช)..... | 13 |
| 4 | แสดงวัฏจักรและการเคลื่อนย้ายที่ของโลหะหนักในสปีชีส์ต่าง ๆ ในดินและในรากพืช ($M^{2+}$ แทนอิออนของโลหะหนัก , $L_{ext}$ แทนลิแกนด์ที่อยู่ในดิน และ $L_{int}$ แทนลิแกนด์ที่อยู่ภายในรากพืช )..... | 14 |
| 5 | แสดงปฏิกิริยาของพืชที่ได้รับโลหะหนัก ในปริมาณน้อย ๆ พอดี และมากเกินไปที่เกิดขึ้นไปในขบวนการเมตาบอลิซึม..... | 18 |
| 6 | แสดงชุดสุ่มตัวอย่าง..... | 20 |
| 7 | แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระถางปลูกหญ้า..... | 21 |
| 8 | แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ ถนนพระรามสี่..... | 22 |
| 9 | แสดงชุดสุ่มตัวอย่าง ณ ถนนพระรามสี่..... | 22 |
| 10 | แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ..... | 23 |
| 11 | แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง..... | 23 |
| 12 | แสดงปริมาณแคดเมียมในหญ้าพื้นเมืองสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 พ.ย. 2538 ถึง 19 ม.ค. 2539 ..... | 31 |
| 13 | แสดงปริมาณโครเมียมในหญ้าพื้นเมืองสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 พ.ย. 2538 ถึง 19 ม.ค. 2539 ..... | 33 |
| 14 | แสดงปริมาณทองแดงในหญ้าพื้นเมืองสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 พ.ย. 2538 ถึง 19 ม.ค. 2539 ..... | 35 |
| 15 | แสดงปริมาณตะกั่วในหญ้าพื้นเมืองสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 พ.ย. 2538 ถึง 19 ม.ค. 2539 ..... | 37 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ )


| | | หน้า |
|---|---|---|
| 16 | แสดงปริมาณสังกะสีในหญ้าพื้นเมืองสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 พ.ย. 2538 ถึง 19 ม.ค. 2539 ..... | 39 |
| 17 | แสดงไหล(Stolon) และลักษณะใบของหญ้ามาเลเซีย..... | 41 |
| 18 | แสดงความเข้มข้นของโครเมียมในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากถนนพระรามสี่ ..... | 45 |
| 19 | แสดงความเข้มข้นของโครเมียมในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากเขตลาดกระบัง ..... | 46 |
| 20 | แสดงความเข้มข้นของทองแดงในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากถนนพระรามสี่ ..... | 47 |
| 21 | แสดงความเข้มข้นของทองแดงในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากเขตลาดกระบัง ..... | 49 |
| 22 | แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากถนนพระรามสี่ ..... | 51 |
| 23 | แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากเขตลาดกระบัง ..... | 52 |
| 24 | แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากถนนพระรามสี่ ..... | 54 |
| 25 | แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass อายุ 12 สัปดาห์ จากเขตลาดกระบัง ..... | 55 |
| 26 | แสดงการล้างหญ้านวลน้อยด้วยน้ำกลั่น..... | 57 |
| 27 | แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนัก ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุเริ่มต้น 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่..... | 62 |
| 28 | แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนัก ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุเริ่มต้น 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากลาดกระบัง ..... | 63 |
| 29 | แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนัก ในหญ้า Ryegrass ที่มีอายุเริ่มต้น 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่..... | |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ )


| | | หน้า |
|---|---|---|
| 30 | แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนัก ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุเริ่มต้น 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากลาดกระบัง ..... | |
| 31 | แสดงลักษณะหญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus*)..... | 76 |
| 32 | แสดงลักษณะหญ้า Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)..... | 77 |
| 33 | แสดงลักษณะหญ้านวลน้อย (*Zeysia matrella*)..... | 79 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมานับตั้งแต่รัฐบาลได้มีการส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม มีโรงงานประเภทต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างมากมายทั้งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการจัดการของเสียที่ไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหามลภาวะทางอากาศ ซึ่งกำลังเป็นปัญหาที่สำคัญและต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน มลพิษทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฝุ่นละออง และโลหะหนักซึ่งเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิด

โลหะหนักเมื่อกระจายจากแหล่งกำเนิดสู่สิ่งแวดล้อม จะตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานและสามารถสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร .ในปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ทั้งทางเคมี และทางการใช้เครื่องมือ เช่น การกรองอากาศ อิมพินจ์เมนต์ (Impingment, แบบแห้งและ เปียก) การตกตะกอน (Sedimentation) การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitation) เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้ในการศึกษาหาปริมาณและการกระจายของสารพิษในอากาศได้ แต่เครื่องมือเหล่านี้ไม่สามารถวัดระดับผลกระทบของสารพิษในอากาศที่มีต่อสิ่งมีชีวิตได้

การใช้สิ่งมีชีวิตเป็นดัชนีชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวังสารพิษในสิ่งแวดล้อม วิธีการนี้สามารถใช้ศึกษาการกระจาย การกักเก็บ และผลกระทบของสารพิษที่มีต่อสิ่งมีชีวิตได้ และให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าวิธีการใช้เครื่องมือ มลพิษในอากาศอาจจะส่งผลกระทบในระยะยาวต่อโครงสร้าง และระบบของสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่ที่มีปริมาณมลพิษสูง พืชที่มีความไวสูง (Sensitive) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ เช่น ใบเหี่ยว หรือ ขาด ส่วนพืชที่มีความทนทานจะสะสม (Accumulated) สารพิษไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ และอาจจะแสดงอาการการตอบสนองต่อสารพิษเหล่านั้น โดยอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตหรือมีผลกระทบต่อระบบการสืบพันธุ์ (Klumpp and Klumpp ,1994) ซึ่งสามารถใช้พืชชนิดหลังนี้เป็นดัชนีชีวภาพได้ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อเพื่อ ประเมินผลกระทบจากมลพิษเหล่านั้นด้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายของโลหะหนักและโรงงานที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักได้ โดยการทำแผนที่ ตัวอย่างเช่น พบว่า ไลเคน หรือพืชชั้นสูงบางชนิดที่อาศัยอยู่ในบริเวณโรงงานถลุงเหล็กมีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อมากกว่าพืชที่อยู่ไกลจากโรงงาน (Gonnzales at al., 1995)

ในการทดลองนี้จะศึกษาพืชที่มีอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครเพื่อใช้เป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ โดยการศึกษาการสะสมโลหะหนักในอากาศในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง 2 ชนิด โดยใช้วิธี Active biomonitoring และพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับหญ้าพันธุ์พื้นเมือง เพื่อให้ได้มาตรฐาน โดยการเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักของหญ้าพันธุ์พื้นเมืองกับหญ้า Ryegrass ซึ่งเป็นดัชนีชีวภาพที่ได้มาตรฐานและได้รับการยอมรับในยุโรป

## วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการสะสมโลหะหนักในอากาศของหญ้าพันธุ์พื้นเมือง 2 ชนิด คือ หญ้านวลน้อย และ หญ้ามาเลเซีย โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn) ในใบของหญ้าทั้ง 2 ชนิด

2. เพื่อเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักของหญ้าพันธุ์พื้นเมือง และหญ้า Ryegrass โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (Cr, Cu, Pb และ Zn) ในใบหญ้าทั้ง 2 ชนิด

3. เพื่อศึกษาการดูดซับโลหะหนักของหญ้าที่นำไปสุ่มตัวอย่างในบริเวณที่มีปริมาณมลพิษแตกต่างกัน

## ขอบเขตการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการเฝ้าระวังทางชีวภาพด้วยวิธี Active biomonitoring โดยการใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ โดยมุ่งเน้นที่การพัฒนาวิธีการเตรียมหญ้าพันธุ์พื้นเมืองให้เป็นดัชนีชีวภาพที่ได้มาตรฐานและได้เปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักของหญ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้คัดเลือกแล้วกับหญ้าRyegrass ซึ่งเป็นดัชนีชีวภาพที่ได้รับการปรับปรุงวิธีการเตรียมตัวอย่างจนได้มาตรฐาน และได้รับการยอมรับเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศในประเทศแถบทวีปยุโรป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ดังนี้

ในบทที่ 1 กล่าวถึงแนวคิด และปัญหาของมลภาวะอากาศ โดยเฉพาะที่เกิดจากโลหะหนักในอากาศ การแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการในเฝ้าระวังสิ่งแวดล้อมด้วยอุปกรณ์ วิธีการเฝ้าระวังทางชีวภาพ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีในการเฝ้าระวังทางชีวภาพ โดยประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- การเฝ้าระวังทางชีวภาพ ชนิดของดัชนีชีวภาพ
- การใช้พืชเป็นดัชนีชีวภาพ
- แหล่งกำเนิดของโลหะหนักในอากาศ การแพร่กระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม และการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต
- การดูดซับโลหะหนักโดยพืช วิธีการที่โลหะหนักเข้าสู่พืช การดูดซับโลหะหนักทางราก การดูดซับโลหะทางอากาศ
- สภาวะมาตรฐานของดัชนีชีวภาพ

ในบทที่ 3 จะกล่างถึงขั้นตอน และวิธีการเฝ้าระวังทางชีวภาพ โดยการใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพ การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การคัดเลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมือง เพื่อใช้เป็นดัชนีชีวภาพ
2. การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักในอากาศของหญ้าพันธุ์พื้นเมืองกับหญ้าRyegrass

ในแต่ละขั้นตอนจะประกอบด้วยการเตรียมกระถางสำหรับปลูกหญ้า การปลูกหญ้าชนิดต่าง ๆ การเตรียมดิน น้ำ ปุ๋ย สำหรับปลูกหญ้า การสุ่มตัวอย่าง การเก็บตัวอย่าง การย่อยด้วยกรด การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในบทที่ 4 แสดงผลการทดลองการใช้หญ้าพื้นเมืองเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ และการเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักในอากาศในหญ้าพันธุ์พื้นเมืองกับหญ้า Ryegrass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลการวิจัย ปัญหาที่พบในการวิจัย และข้อเสนอแนะในการใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีการเฝ้าระวังทางชีวภาพ

## การเฝ้าระวังทางชีวภาพ

ในขณะที่มีการพัฒนาทางอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เกิดขึ้นอย่างมากมาย ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษก็ได้เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อใช้ในการตรวจวัดระดับของสารพิษที่แพร่กระจายเข้าสู่ สิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีวิธีการวัดโดยการใช้เครื่องมือมีความไวสูงเป็นจำนวนมากและสามารถวัดความเข้มข้นของสารได้ละเอียดถึงหนึ่งส่วนต่อพันล้านส่วนก็ตาม แต่สารพิษเมื่อแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมแล้วอาจมีการเปลี่ยนรูปหรือมีการรวมกับสารอื่นเกิดเป็นสารที่มีพิษเพิ่มมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ ซึ่งผลการเสริมพิษ เหล่านี้เครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้ การใช้สิ่งมีชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาคุณภาพของสิ่งแวดล้อมจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ประกอบในการประเมินผลกระทบของสารพิษและใช้บอกคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้นๆได้ และเรียกสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นว่าตัวชี้บอก (Indicator)

สามารถแบ่งตัวชี้บอกออกได้เป็น 3 กลุ่ม( Ellenberg et al., 1991) มีดังนี้

1. **ตัวชี้บอก** (Indicator or pointer species) หมายถึง สิ่งมีชีวิตหรือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมขณะนั้น และมีการตอบสนองต่อปัจจัยในสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน สภาพภูมิอากาศหรือ การเพิ่มขึ้นของสารพิษ จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงของสิ่งมีชีวิต ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนั้น ๆ

2. **ดัชนีชีวภาพ** (Biomonitor) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสะสมสารพิษจากสิ่งแวดล้อมไว้ในเนื้อเยื่อ และสามารถใช้วัดระดับมลพิษได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ การเฝ้าระวังทางชีวภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 *Active monitoring* เป็นการใช้พืชในการตรวจวัดผลกระทบและการกระจายของสารพิษในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ภายใต้สภาวะมาตรฐาน โดยการปลูกพืชในดินชนิดเดียวกัน และไม่มีการปนเปื้อนของสารพิษ จากนั้นย้ายพืชมาปลูกในกระถางแล้วจึงย้ายไปสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่ต้องการทดสอบ

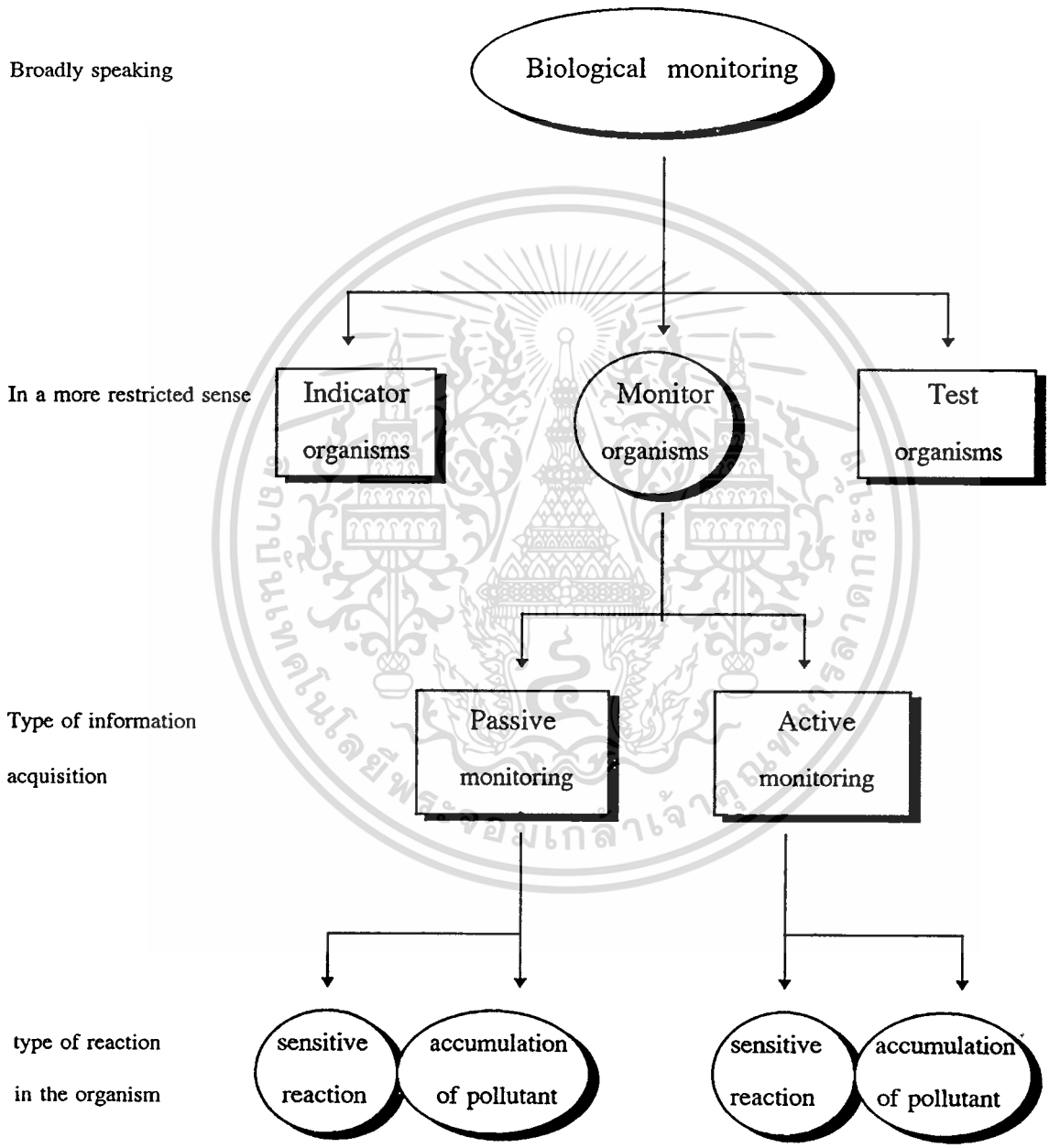
2.2 *Passive monitoring* เป็นการศึกษาโดยใช้พืชที่มีอยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา มักจะใช้วิธีนี้ในการทำแผนที่การกระจายของสารพิษโดยการนับจำนวนและชนิดของสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อสารพิษนั้นๆ

3. **ตัวตรวจสอบ** (Test Organisms) มักจะใช้ในการทดสอบความเป็นพิษของสาร เพื่อวัดระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีมาตรฐานสูง

การเฝ้าระวังทางชีวภาพ (Biomonitoring) มีประโยชน์ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessments, EIAs) เพื่อทำแผนที่การกระจายของสารพิษ หรือใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตรอบแหล่งกำเนิดและใช้เป็นตัวบอกถึงที่แหล่งกำเนิดของสารพิษ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ในการควบคุมโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 1




**แสดงระบบการเฝ้าระวังทางชีวภาพและดัชนีชีวภาพชนิดต่าง ๆ** (Ellenberg, 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้พืชเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ

เมื่อโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดฟุ้งกระจายเข้าสู่บรรยากาศ โดยการพัดพาของลม หลังจากนั้นจะตกลงสู่พื้น ซึ่งพืชจะเป็นแหล่งรองรับโลหะหนักในอากาศที่สำคัญมากแหล่งหนึ่ง การตกตะกอนของโลหะหนักจากอากาศไม่ได้เกิดจากแรงดึงดูดของโลก (gravity) เท่านั้น ยังเกิดจากผลของพื้นผิว (surface effects) ด้วย เช่น แรงไฟฟ้าสถิตย์ และ แรงวาลเดอวาลส์ ขบวนการเหล่านี้เรียกว่า การสกัดกั้น (interception) ซึ่งปริมาณการสกัดกั้นเหล่านี้ที่เกิดจากพืชเครื่องมือไม่สามารถวัดได้ ดังนั้น การใช้พืชเป็นดัชนีชีวภาพจะให้ผลการทดลองเป็นที่น่าเชื่อถือมากกว่าการใช้เครื่องมือ ในกรณีของโลหะหนักในอากาศพบว่า พืชส่วนใหญ่จะมีความทนทานและสามารถสะสมโลหะหนักไว้ในเนื่อเยื่อได้ในปริมาณสูง มีพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศได้ เช่น มอส (Onianwa and Ajayi, 1987) และไลเคน เนื่องจากพืชเหล่านี้เป็นพืชชั้นต่ำระบบรากยังไม่พัฒนาการ การได้รับอาหารอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนและการเกิดคีเลตกับอนุภาคในอากาศ ในพืชชั้นสูงซึ่งเป็นพืชส่วนใหญ่ที่เจริญอยู่บนผิวโลก พบว่า อวัยวะส่วนต่าง ๆ จะมีการสะสมสารในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และสามารถกักเก็บอนุภาคจากอากาศได้ดีที่บริเวณผิวใบทั้งด้านนอกและด้านใน ซึ่งมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นขนและสารเคลือบผิวที่ทำหน้าที่ในการกักเก็บ จากการศึกษาของ Grunhage et al. (1993) โดยใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ พบว่าหญ้ามีความรู้สึกไวต่อโลหะหนักในอากาศ และมีการสะสมของโลหะหนักในใบมากกว่าราก

การใช้พืชเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศมีข้อดีหลายประการคือ เป็นเครื่องมือราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง ไม่ใช้ไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ปฏิกิริยาการตอบสนองของพืชจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตมากกว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือ และแสดง ผลของสภาวะเสริม (synergistic effects) หรือ สภาวะปฏิปักษ์ (antagonistic effects) ของโลหะหนักที่แตกต่างกันได้ซึ่งเครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้

การเฝ้าระวังทางชีวภาพยังมีข้อเสียคือ การใช้สิ่งมีชีวิตมีความแน่นอนน้อยกว่าการใช้เครื่องมือ ซึ่งปฏิกิริยาของสิ่งมีชีวิตไม่มีความเฉพาะเจาะจง ปฏิกิริยาการตอบสนองของพืช (sensitive หรือ accumulative) จะไม่ขึ้นกับปริมาณของสารพิษที่ต้องการตรวจวัดแต่จะขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ จากพืช เช่น อายุ ความสมบูรณ์ของพืช เป็นต้น และพารามิเตอร์จากสิ่งแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน ความชื้น อาหาร การตกลงสู่พื้นของโลหะหนัก สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีการทำให้ดัชนีชีวภาพได้มาตรฐาน (standardization) ก่อนจึงจะทำให้การทดลองมีคุณภาพสูงเทียบเท่าการเฝ้าระวังด้วยเครื่องมือ

## แหล่งกำเนิดของโลหะหนักในอากาศ

โลหะหนักหมายถึงธาตุที่มีความหนาแน่น มากกว่า 4.5 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธาตุในกลุ่มธาตุทรานซิชั่น ในธรรมชาติมักปรากฏอยู่ในรูปของหินแร่ ผลึก หรือสารอนินทรีย์ในหิน ส่วนใหญ่อยู่ในรูปออกไซด์ หรือ ซัลไฟด์ เช่น ฮีมาไทต์ ($Fe_2O_3$), แคสสิเตอไรต์ ($SnO_2$) และ สฟาเรอไรต์ (ZnS) โลหะหนักในรูปเหล่านี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้จนกว่าจะผ่านกระบวนการกัดกร่อน สารโลหะหนักที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่จะเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การแปรรูปหินแร่ อุตสาหกรรมเหล็กกล้า และ การหลอมโลหะ (รูปที่ 2) นอกจากนี้รถยนต์ยังเป็นแหล่งกำเนิดตะกั่วในบรรยากาศที่ใหญ่ที่สุด ทั้งนี้เพราะรถยนต์เหล่านี้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของตะกั่วเพื่อป้องกันการน็อคของเครื่องยนต์ โลหะหนักเมื่อถูกปล่อยจากกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของออกไซด์ บางส่วนจะอยู่ในรูปของธาตุ ตกลงสู่พื้นเป็นอนุภาคฝุ่น ส่วนสารตะกั่วที่ถูกปล่อยออกจากท่อไอเสียระยะแรกจะอยู่ในรูปของก๊าซ ต่อมาจะกลั่นตัวเป็นอนุภาคของ $PbCl_2$, PbClBr และ $PbBr_2$ (Pacyna et al., 1991)

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนักกับลิแกนด์จะเกิดขึ้นคล้ายการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสของลิวอิส ดังสมการต่อไปนี้ (Markert, 1993)

$$M + :L \rightleftarrows M:L$$

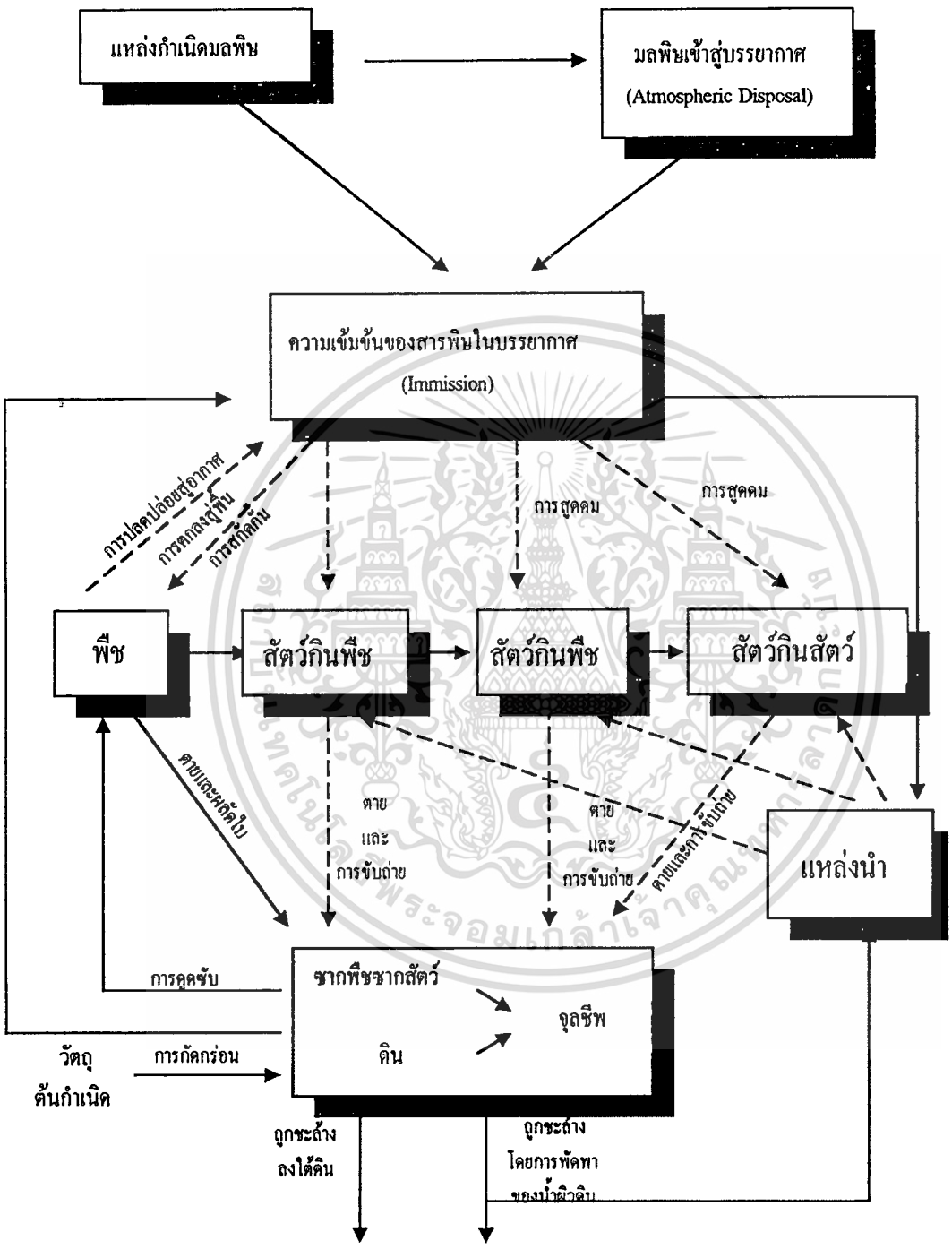
เมื่อ M แทนโลหะหนัก (Lewis acid)

:L แทนลิแกนด์ในสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีอิเลกตรอนคู่โดดเดี่ยว ที่สามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับโลหะได้ (Lewis base)

ลิแกนด์ที่มีอยู่ในดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุ N, O และ S เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดซิตริก และกรดอะมิโน การตกลงสู่พื้นของกรดในบรรยากาศ จะทำให้ความเป็นกรด-เบสของดินเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดผลกระทบต่อดิน และพืช กรดเหล่านี้จะเพิ่มค่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 2




แสดงวัฏจักรและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในระบบนิเวศน์ (Markert, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายของโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซับได้มากขึ้นจนเกิดความเป็นพิษต่อเนื่อเยื่อและรากพืช (Smith, 1994)

ปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนักกับลิแกนด์ จะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะของความเป็นกรดเบสและสมบัติต่าง ๆ ของดิน ซึ่งจะทำให้ธาตุส่วนใหญ่มีรูปที่แตกต่างกันและต่างจากรูปของโลหะหนักในห้องปฏิบัติการ

การเกิดปฏิกิริยาในดิน น้ำในดินจะทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งโลหะหนักและตัวถูกละลายอื่น ๆ แหล่งน้ำบนผิวดินจะไหลผ่านชั้นดินลงไปยังแหล่งน้ำใต้ดินทำให้ตัวถูกละลายต่าง ๆ ถูกชะล้างไปจากผิวดิน และถูกแทนที่โดยสารอื่นที่เกิดจากขบวนการกัดกร่อน จากอากาศ หรือดูดซับสารอื่น ๆ จากน้ำ ซึ่งรูปต่าง ๆ ของธาตุในสารละลายในดินในขณะนั้นจะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของธาตุ และสภาวะต่าง ๆ ของสิ่งแวดล้อม

## การดูดซับโลหะหนักโดยพืช

ปัญหาโลหะหนักทางอากาศในเขตเมืองส่วนใหญ่เกิดจากรถยนต์ ระดับของโลหะหนักในอากาศจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ชนิดของพืช ระยะทางของพืชจากถนน ความหนาแน่นของรถ ฝน และทิศทางลม การดูดซับโลหะหนักของพืชเกิดขึ้นได้ 2 ทาง (Paterson et al, 1994) คือ

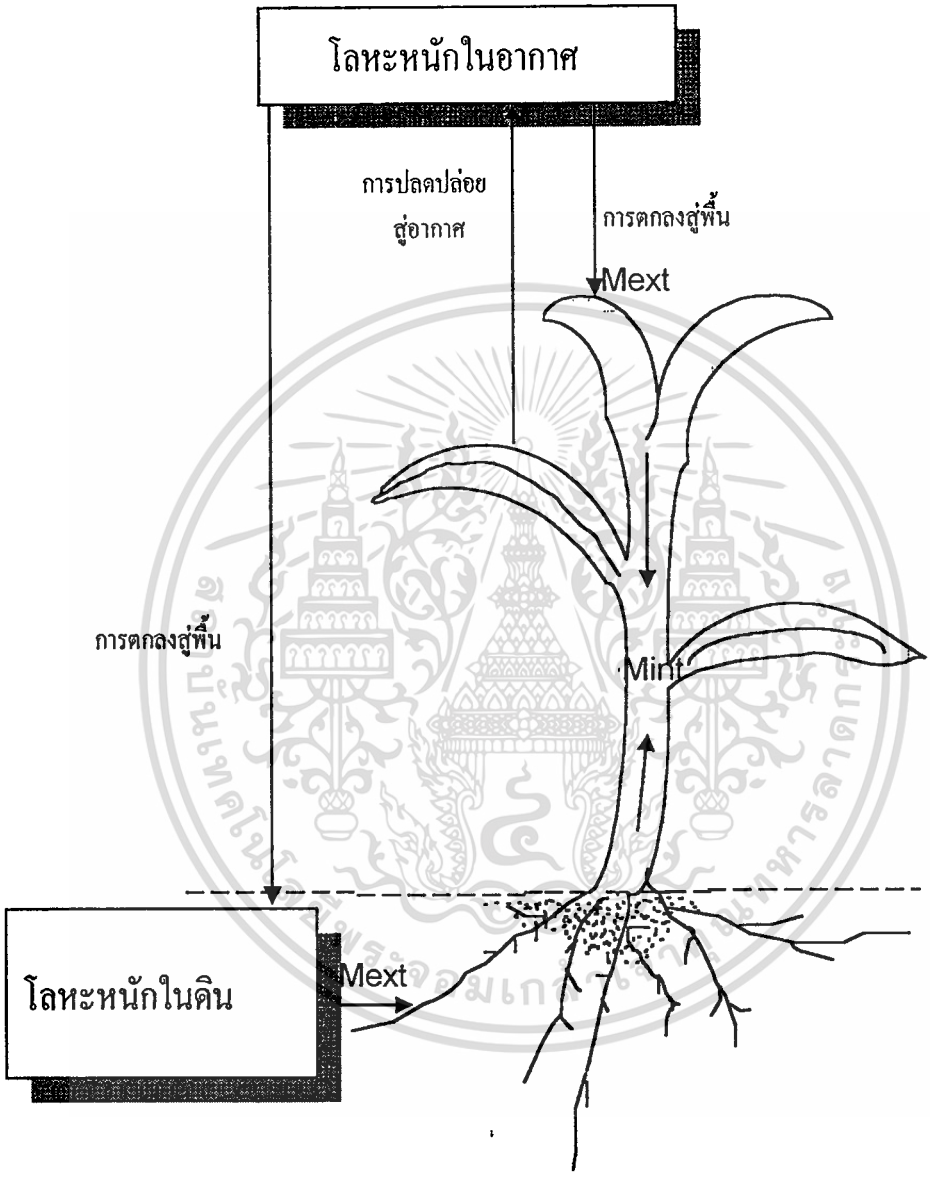
- การดูดซับโลหะหนักจากดิน (ทางราก)
- การดูดซับโลหะหนักจากอากาศ (ทางใบและลำต้น)

จากรายงานของ Ozturk and Turkan (1993) พบว่า ในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชจะมีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าในพื้นที่ที่ไม่พืชปกคลุมอยู่ถึง 4 เท่า และ 90 เปอร์เซ็นต์ของโลหะหนักในอากาศจะถูกจับอยู่บนพืช และอีก 10 เปอร์เซ็นต์ จะตกลงสู่พื้นดิน

โลหะหนักในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนและถูกดูดซับโดยรากพืชโดยการแพร่ น้ำในช่องว่างของเม็ดดินจะทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งอิออน การเคลื่อนที่ของอิออนในสารละลายในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเป็นกรดด่างของดิน ความอิ่มน้ำ สารอินทรีย์ในดิน และปริมาณดินเหนียว ซึ่ง 2 อย่างหลังจะปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนจากกรด คาร์บอกซิลิก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

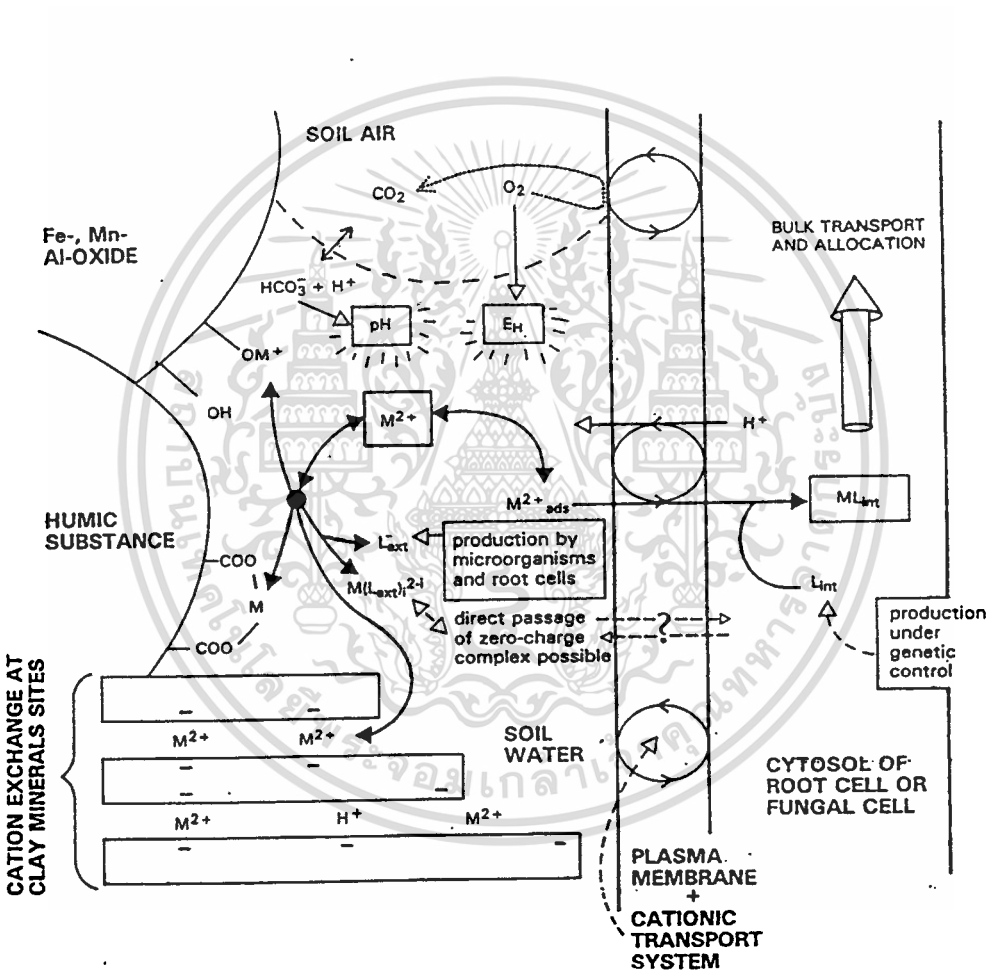
**รูปที่ 3**




**แสดงการดูดซับโลหะหนักจากดินและอากาศของพืช ( Mext = โลหะหนักจากอากาศ และดิน และถูกดูดซับโดยพืช, Mint = โลหะหนักในพืช : Markert, 1993)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4**




แสดงการวัฏจักรและการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในสปีชีส์ต่างในดินและรากพืช ( $[M^{2+}]$ แทนอิออนของโลหะหนัก $[L_{ext}]$ แทนลิแกนด์ที่อยู่ในดิน และ $[L_{int}]$ แทนลิแกนด์ที่อยู่ภายในรากพืช : Markert, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปริมาณดินเหนียว ซึ่ง 2 อย่างหลังจะปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออนจากกรด คาร์บอกซิลิก และสารหมู่ฟีนอลลิก ในสภาวะที่เป็นกรด (Smith, 1994) เมื่อพีเอชของดินเพิ่มขึ้นโลหะหนักจะเกิดการตกตะกอนอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ หรือ คาร์บอเนต ซึ่งไม่ละลายน้ำ หรือถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของดินเหนียวและสารอินทรีย์ในดิน (Khan et al., 1991) ซึ่งจะลดการดูดซับโลหะหนักโดยพืช นอกจากนี้ บนผิวของ hydrous oxide และ aluminium silicate จะทำหน้าที่เหมือนสารอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาโดออร์ดิเนตได้ ซึ่งสารเหล่านี้จะรวมถึง ≡MOH, ≡ROH, R-COOH ด้วย

*1. การดูดซับโลหะหนักทางราก*

ไอออนต่าง ๆ และโลหะหนักจะถูกดูดซับโดยรากซึ่งอาจจะเกิดจากการเคลื่อนที่ไปพร้อมกับน้ำ (bulk transport) หรืออาจเข้าสู่เซลล์โดยการแพร่ (diffusion) เมื่อน้ำและไอออนต่าง ๆ เข้าสู่ราก จากนั้นจะถูกเคลื่อนย้ายโดยผ่านทางท่อลำเลียงน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ ของลำต้น ในขณะเดียวกันจะมีการเคลื่อนย้ายผลิตผลที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงโดยท่อลำเลียงอาหาร ในทิศทางตรงกันข้ามกับการลำเลียงน้ำ นั้นคือจากใบ ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ รวมทั้งรากด้วย

การดูดซับโลหะหนักโดยรากจะขึ้นอยู่กับโลหะที่พิจารณา โลหะบางชนิดจะถูกดูดซับโดยเซลล์ขนของราก บางชนิดจะถูกดูดซับเข้าทางผิวใบ เมื่อมีโลหะหนักในดินเป็นจำนวนมาก แต่ธาตุอาหารน้อยลง การดูดซับโลหะหนักจะลดลง โดยรากจะจำกัดการแพร่ผ่านของโลหะหนัก ทำให้โลหะหนักสัมผัสกับผิวรากได้น้อยลง นอกจากนี้เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตที่ไม่ต่อเนื่องจะทำให้รากสัมผัสดินได้น้อยลงด้วย ฉะนั้นการดูดซับโลหะหนักจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับโลหะหนักและลักษณะการเจริญเติบโตของราก

*2. การดูดซับโลหะหนักในอากาศ*

การดูดซับโลหะหนักในอากาศจะเกิดโดยบริเวณเซลล์ผิวทั้งในส่วนของใบและลำต้น โดยอนุภาคฝุ่นและโลหะหนักอาจแพร่ผ่านทางปากใบหรือเกาะติดอยู่บนสารเคลือบผิว (cuticle) ซึ่งสารเคลือบนี้ประกอบด้วยชั้นนอกเป็นชั้นไข (wax) ชั้นกลางมีลักษณะเป็นชั้นหนาประกอบด้วยสารคิวติน (cutin) และชั้นล่างจะยึดติดกับผนังเซลล์มีส่วนประกอบของเพคติน และเซลลูโลส นอกจากนี้โลหะหนักในอากาศยังแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ได้โดยตรง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สภาวะมาตรฐานของดัชนีชีวภาพ

เพื่อให้ได้ผลการทดลองเป็นที่น่าเชื่อถือและสามารถเปรียบเทียบกันได้โดยทั่วไปแล้ว การเตรียมดัชนีชีวภาพให้ได้มาตรฐานนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และเนื่องจากมีปัจจัยต่าง ๆ เป็นจำนวนมากที่มีความซับซ้อนและควบคุมได้ยาก ฉะนั้นการเตรียมดัชนีชีวภาพ ในวิธีการเฝ้าระวังทางชีวภาพแบบกัมมันต์ (active) นั้น จะต้องมีการเตรียมตัวอย่างและระมัดระวังการปนเปื้อนของโลหะหนักที่อาจเกิดขึ้นก่อนการทดลองได้ จากสาเหตุดังต่อไปนี้

### *1. การล้างและทำให้แห้ง*

การล้างตัวอย่างพืชจะกระทำก่อนนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ในกรณีที่ศึกษาถึงผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหารจะต้องวิเคราะห์หาปริมาณรวมของสารพิษ ที่จะเข้าสู่สัตว์ ซึ่งสารต่าง ๆ ไม่ได้มีการล้างออกไปก่อนที่สัตว์จะกิน แต่ในทางตรงกันข้าม การล้างก่อนจะใช้สำหรับการวิเคราะห์หาอัตราการเคลื่อนย้ายของสารจากดินไปสู่พืช นอกจากนี้การล้างยังแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณฝุ่น ก๊าซ หรือสารพิษ อยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาด้วย

การทำให้ตัวอย่างแห้ง จะช่วยรักษาสารตัวอย่างจากจุลชีพต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา และการวิเคราะห์โลหะหนักจากน้ำหนักแห้งจะให้ความสัมพันธ์ที่แน่นอนกว่าการใช้น้ำหนักสด

### *2. การบด*

การบดเป็นการทำให้สารตัวอย่างมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและมีการกระจายของธาตุต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามการบดสารตัวอย่างก็มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะจากเครื่องบด จึงควรใช้เครื่องมือที่ทำจากวัสดุที่เกิดการกัดกร่อนได้ยาก เช่น เหล็กกล้า เซอร์โคเนียม ทังสเตนคาร์ไบด์ หรือไทเทเนียม ในกรณีที่เป็นสารบดยาก อาจใช้ไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ตัวอย่างเปราะและบดได้ง่ายขึ้น หลังจากบดเรียบร้อยแล้วควรเก็บสารตัวอย่างไว้ในภาชนะพลาสติกวางไว้ในที่ที่ไม่มีแสง ณ อุหภูมิห้อง ซึ่งจะรักษาสภาพของสารตัวอย่างไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีก่อนนำมาทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*3. การย่อยและการเผา*

ในการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อใช้หาสารที่มีปริมาณน้อย ๆ สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีโดยตรง และวิธีการย่อย

วิธีการตรงเป็นการวิเคราะห์สารตัวอย่างนั้นโดยตรงเช่นการใส่สารตัวอย่างลงไปในเตาเผาในเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่นแบบของแข็งแล้ววิเคราะห์หาปริมาณของสาร

ในกรณีของการย่อย จะมีการเตรียมการทดลองทางเคมีหลายขั้นตอน การย่อยจะเป็นการเปลี่ยนสารตัวอย่างให้เป็นของเหลว ซึ่งแต่ละขั้นตอนอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้

การเผาตัวอย่างให้สมบูรณ์ใช้การเผาแบบความดันสูง โดยใช้อุณหภูมิ 320 $^{\circ}$ C ความดัน 130 บาร์ และกรดไนตริก ในภาชนะที่ทำจากควอทซ์เป็นเวลา 1-2 ชม.

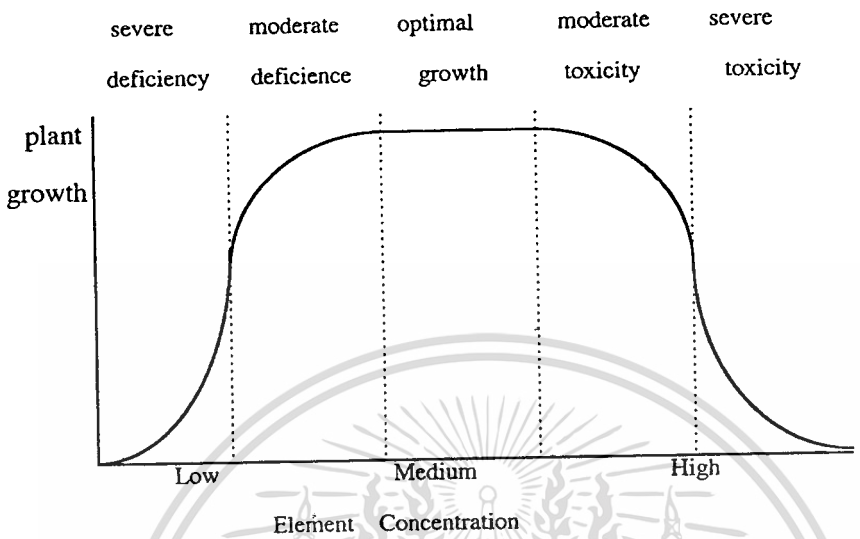
*4. ความสัมพันธ์ของอายุกับการดูดซับโลหะหนัก*

ขณะที่พืชมีการเจริญเติบโต พืชจะดูดซับสารอาหาร และธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตเข้าสู่เนื้อเยื่อภายในเซลล์ และเกิดปฏิกิริยาภายในเมตาบอลิซึม ระดับของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ภายในเซลล์ ซึ่งอาจมีการแทนที่ หรือถูกรบกวนในขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาด้วยธาตุอื่น ๆ หรือโลหะหนัก (รูปที่ 5) ภายในเมตาบอลิซึมของพืชที่ไม่ได้ถูกรบกวนด้วยโลหะหนักจะมีอาการ ปกติและเติบโตดีที่สุด และมีอัตราคงที่ เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มมากขึ้น ปริมาณโลหะหนักที่เกินมาเหล่านี้จะไปรบกวนขบวนการเมตาบอลิซึมของพืช ซึ่งอาจแสดงอาการที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเปลี่ยนสีของใบ ลำต้นแคระเกร็น เมื่อพิจารณาในระดับประชากร อาจมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนประชากร หรือมีการเปลี่ยนแปลงของยีโนไทป์ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืช รวมทั้งปรากฏสิ่งมีชีวิตที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกสภาพของสิ่งแวดล้อม

การใช้พืชเป็นดัชนี สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักได้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ใบ เปลือก ราก หรือ ผล เป็นต้น ส่วนใหญ่มักจะใช้ใบในการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถทำมีมาตรฐานได้ง่าย และ Little (1973) ยังพบว่า ใบเป็นส่วนสำคัญในการกักเก็บโลหะหนักในอากาศ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5




แสดงปฏิกิริยาของพืชที่ได้รับโลหะหนักในปริมาณน้อย พอดี และมากเกินไป ที่เกิดขึ้นในขบวนการเมตาบอลิซึม (Markert, 1993)

ตลอดฤดูกาลที่พืชเจริญเติบโต พืชจะสร้างใบใหม่ตลอดฤดูกาล ในพืชที่มีใบแบบ rosette ใบที่อยู่นอกสุดจะมีอายุมากที่สุด และมีปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่มากที่สุด แต่ในใบที่เป็น non- rosette ใบที่อยู่ต่ำสุดจะมีอายุมากที่สุด และส่วนบนสุดจะมีอายุน้อยที่สุด โดยทั่วไปใบที่มีอายุมากที่สุดมักจะร่วงหรือถูกทำลายไปเสียก่อน ดังนั้นในการสุ่มตัวอย่างใบ ควรเลือกในที่มีอายุน้อยกว่าและไม่ควรเลือกใบที่อ่อนจนเกินไป การเตรียมตัวอย่างและการทำให้ดัชนีชีวภาพได้มาตรฐานสรุปได้ดังต่อไปนี้

| | |
|---|---|
| * อายุของหญ้า | อายุของหญ้าที่ใช้เป็นดัชนีชีวภาพต้องไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากใบที่มีอายุต่างกันจะมีการสะสมโลหะในปริมาณที่แตกต่างกันด้วย |
| * ความสูงในการสุ่มตัวอย่าง | สุ่มตัวอย่างที่ความสูงจากพื้น 1.5 เมตร ซึ่งเป็นความสูงมาตรฐานในการสุ่มตัวอย่างอากาศ |
| * การล้างด้วยน้ำกลั่น | ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 นาที เพื่อล้างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่เกาะอยู่บนใบหญ้าและปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ส่วนใหญ่เป็นปริมาณที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืช |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| * การตัดใบ | ตัดใบหญ้าที่ระดับความสูง 4 ซม.จากระดับดินในกระถาง ซึ่งตัวอย่างส่วนใหญ่ที่ตัดได้จะเป็นใบและไม่มีเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ ปะปนเนื่องจากเนื้อเยื่อคนละชนิดจะมีการสะสมโลหะต่างกัน |
| * พื้นที่สุ่มตัวอย่าง | พื้นที่ที่วางกระถางหญ้าต้องเป็นที่โล่งและไม่มีสิ่งก่อสร้างหรือต้นไม้สูงใกล้ ๆซึ่งจะกำบังลม และกรองฝุ่น |
| * การป้องกันการปนเปื้อนจากการเก็บตัวอย่าง | ใบหญ้าหลังจากตัดต้องบรรจุในถุงที่สะอาด และคัดเลือกใบที่ตายออกก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# การทดลอง

## การคัดเลือกพันธุ์หญ้า

หญ้าพันธุ์พื้นเมืองคัดเลือกจากหญ้าหลายชนิดของไทย โดยพิจารณาจากลักษณะของลำต้น ที่มีใบยาว ข้อสั้น และเจริญเติบโตเร็ว พันธุ์หญ้าที่คัดเลือกคือ

- หญ้านวลน้อย (*Zeysia matrella* Merr.)
- หญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus* (Swartz) Beauv.)
- หญ้า Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) ซึ่งนิยมใช้เป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศในยุโรปและอเมริกา

หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียเป็นหญ้าพันธุ์พื้นเมืองของไทย ซึ่งหญ้าทั้งสองชนิดนี้จะใช้ในขั้นตอนการศึกษาการสะสมโลหะหนักในอากาศเพื่อคัดเลือกพันธุ์ที่มีความไวต่อโลหะหนักในอากาศ และเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักของหญ้าพันธุ์ พื้นเมือง กับ หญ้า Ryegrass

## การเตรียมดิน

ดินที่ใช้เป็นดินร่วนสีดำเป็นดินเชิงเขาซึ่งมีการซับน้ำดีสมบัติต่างๆของดินแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

แสดงสมบัติต่าง ๆ ของดิน

| Type | pH | OM % | CEC (meq/100g) | Cd (ppm) | Cr (ppm) | Cu (ppm) | Pb (ppm) | Zn (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tacliserie | 6.1 | 2.18 | 6.6 | 0.90 | 20.17 | 28.71 | 5.77 | 24.60 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

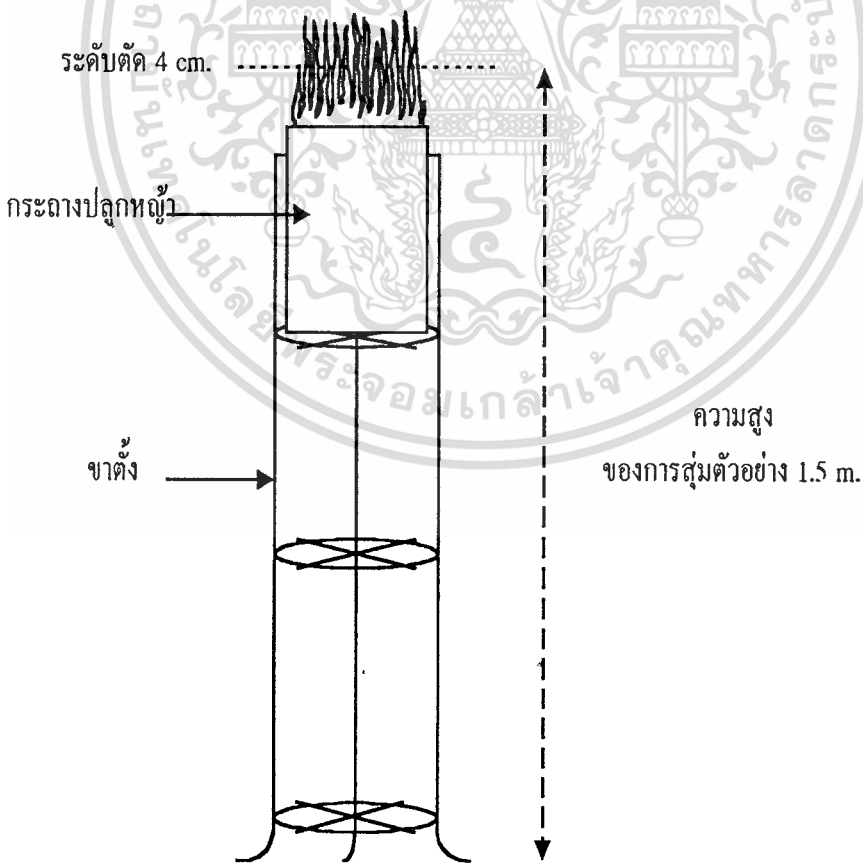
OM : อินทรียวัตถุในดิน (Organic matter)

CEC : ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity)

## ชุดสุ่มตัวอย่าง

ชุดสุ่มตัวอย่างของหญ้าได้พัฒนามาจาก The Standardized Grass Exposure Method (VDI 3792, 1991) ประกอบด้วยกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ซม. 2 ใบ และถังใบใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. 1 ใบ แยกบรรจุดินและน้ำลงในกระถางขนาดเล็กทั้ง 2 ใบ แล้วนำมาวางซ้อนกันในถังพลาสติกใบใหญ่ ดังรูปที่ 5 จากนั้นนำชุดตัวอย่างนี้ไปวาง ณ จุดสุ่มตัวอย่างบนขาตั้งซึ่งมีความสูง 1.5 เมตร จากพื้น

รูปที่ 6




แสดงชุดสุ่มตัวอย่าง

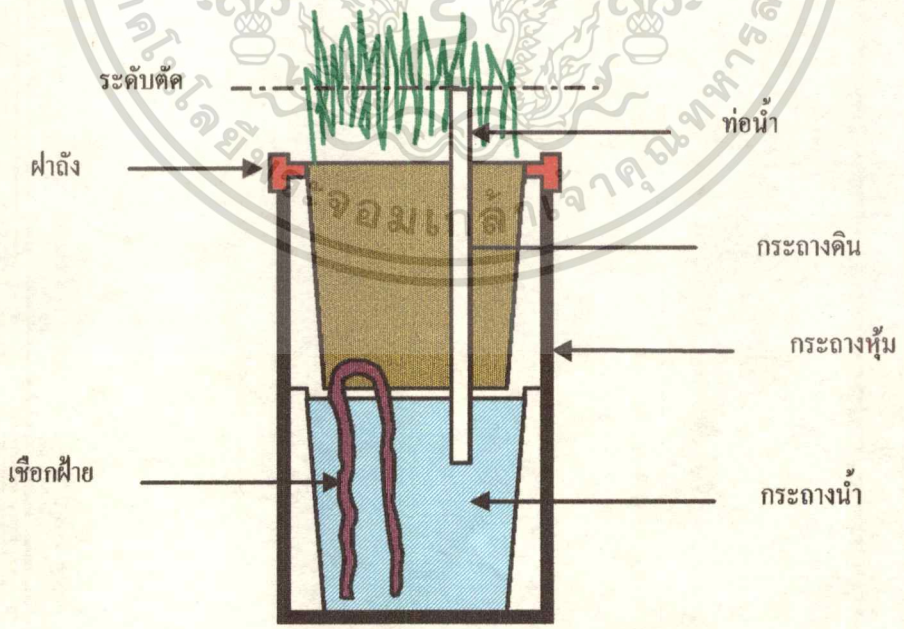
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กระถางปลูกหญ้า

ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) กระถางดิน สำหรับปลูกหญ้าจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ซม. สูง 21 ซม. ก้นกระถางจะเจาะรูขนาด 0.8 ซม. จำนวน 16 รู ใช้สำหรับสอดเชือกฝ้าย
2) กระถางน้ำมีขนาดเดียวกับกระถางดินเจาะรูบริเวณขอบบนของกระถางเพื่อใช้ระบายน้ำล้น
3) ถังหุ้มมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม.สูง40 ซม.พร้อมฝาปิดเจาะรูที่ก้นถัง1รูเพื่อใช้ระบายน้ำล้น ส่วนฝาปิดให้ตัดตรงกลางของฝาให้มีขนาดพอดีที่กระถางดินลอดได้
4) ท่อน้ำ เป็นท่อพีวีซี มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 30 ซม. ใช้สำหรับเติมน้ำลงในกระถางน้ำ
5) เชือกฝ้าย ยาวประมาณ 40 ซม.ใช้สำหรับดูดซับน้ำจากกระถางน้ำสู่กระถางดิน

รูปที่ 7



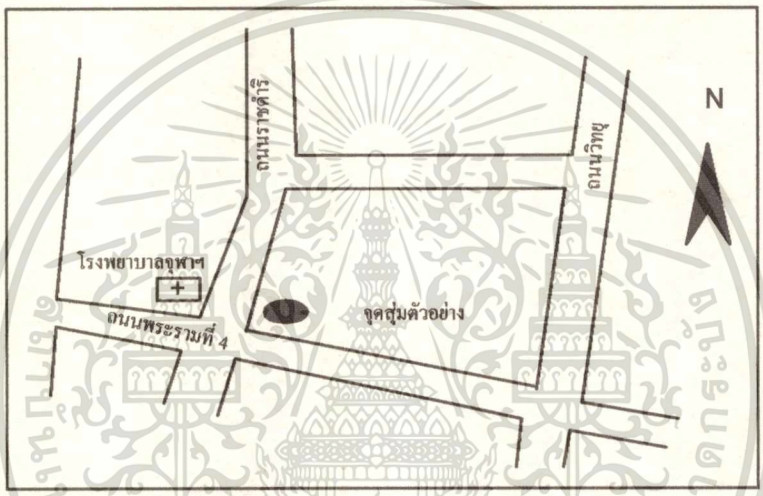

**แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของกระถางปลูกหญ้า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จุดสุ่มตัวอย่าง

ชุดสุ่มตัวอย่างจะถูกนำไปวาง ณ จุดสุ่มตัวอย่างริมถนนพระรามสี่ และจุดสุ่มตัวอย่างคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง ซึ่งที่จุดสุ่มตัวอย่างมีปริมาณมลพิษในอากาศแตกต่างกัน โดยเฉพาะมลพิษที่เกิดจากรถยนต์

แผนที่ 8



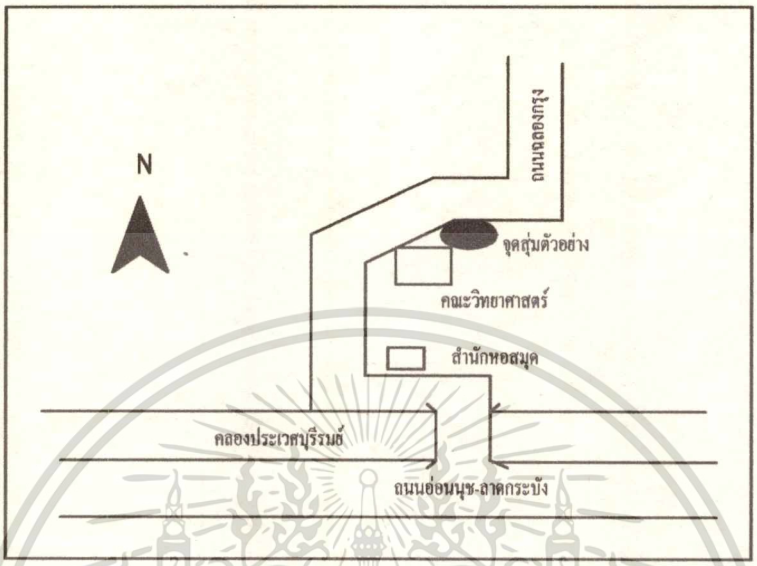

แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ ถนนพระรามสี่

ภาพที่ 9

แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ ถนนพระรามสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนที่ 10




แสดงจุดสุ่มตัวอย่าง ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ภาพที่ 11

แสดงชุดสุ่มตัวอย่าง ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การคัดเลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมืองสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพ**

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของหญ้าพันธุ์พื้นเมือง 2 ชนิด คือ หญ้ามาเลเซีย และ หญ้านวลน้อย เพื่อคัดเลือกหญ้าที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

*1. การปลูกหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย*

การปลูกหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย จะปลูกในกระถางดิน ซึ่งมีปุ๋ยสูตร 20:10:15 จำนวน 150 กรัมต่อกระถาง อย่างละ 4 กระถางโดยใช้ลำต้นใต้ดินซึ่งมีลักษณะคล้ายราก มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว จำนวน 40 ต้นต่อกระถางแล้วนำไปวางในเรือนกระจก

*2. การดูแลต้นอ่อน*

ในขั้นตอนการดูแลต้นอ่อนนี้จะเป็นการเตรียมหญ้าก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยจะใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 3 เดือน ในช่วง 5-10 วันแรก ลำต้นใต้ดินจะแตกใบอ่อน และเมื่อหญ้าโตประมาณ 1 เดือนจะทำการตัดใบหญ้าเพื่อกระตุ้นให้มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้นอีก ประมาณ 10 สัปดาห์ ต่อมาเมื่อหญ้าจะเจริญเติบโตจนเต็มกระถางแล้วจะย้ายกระถางหญ้าออกจากเรือนกระจก นำไปวางไว้ในที่โล่งเพื่อให้หญ้าปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศประมาณ 7-10 วันก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง ตลอดการทดลองนี้จะใช้เฉพาะน้ำดีไอออนไนซ์เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนโลหะหนัก และต้องระมัดระวังน้ำในกระถางไม่ให้แห้ง

*3. การสุ่มตัวอย่าง*

หลังจากปลูกหญ้าเสร็จแล้ว เคลื่อนย้ายกระถางหญ้าไปวางที่จุดสุ่มตัวอย่างโดยวางกระถางหญ้าแต่ละชนิดจุดละ 2 กระถาง

*4. การเก็บตัวอย่าง*

การเก็บตัวอย่างจะกระทำทุก ๆ 14 วัน เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน โดยตัดใบหญ้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรไกรสเตนเลส ที่ความสูง 4 ซม. จากระดับดินในกระถาง เก็บใบที่ตัดเรียบร้อยแล้วในถุงที่สะอาด (ตัวอย่างหญ้าจะต้องนำไปทดลองในขั้นต่อไปทันที หรือภายในวันที่เก็บตัวอย่าง) หลังจากตัดหญ้าเสร็จให้เติมปุ๋ยแก่ดิน โดยใช้ปุ๋ยน้ำ 250 มล. เติมลงในทุกกระถางเพื่อชดเชยสารอาหารที่เสียไป ปุ๋ยน้ำจะประกอบด้วยสารดังต่อไปนี้ (ต่อน้ำ 10 ลิตร)

$KH_2PO_4$ 14.9 กรัม

$KNO_3$ 17.4 กรัม

$NH_4NO_3$ 67.6 กรัม

สารละลาย AZ-solution 0.5 มล.

*5. การเตรียมตัวอย่าง*

นำตัวอย่างหญ้าที่ตัดเรียบร้อยแล้วมาคัดเลือกเอาส่วนที่แห้งออก จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 นาที นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 85 $^{\circ}$C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งแล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด หลังจากบดหญ้าต้องทำความสะอาดเครื่องบดทุกครั้งด้วยแปรงหรือ เครื่องอัดลม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนกับตัวอย่างอื่น

*6. การจัดเก็บตัวอย่าง*

ในกรณีที่ยังไม่ได้ทำการทดลองต่อทันที ให้เก็บตัวอย่างหญ้าที่บดแล้วในขวดพลาสติก ที่อุณหภูมิห้อง และไม่ให้โดนแสงแดด เมื่อต้องการทดลองในขั้นต่อไปให้อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 85 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนเสมอ ส่วนกรณีที่ตัวอย่างเป็นสารละลายให้เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 $^{\circ}$C

*7. การย่อย*

ชั่งหญ้าแห้งที่บดละเอียด 1 กรัมใส่ลงในบิกเกอร์ teflon เติมกรดไนตริกเข้มข้น 15 มล. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 $^{\circ}$C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เติมกรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) 8 มล. และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 2 มล. แล้วให้ความร้อนอีกครั้งจนกระทั่งได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มล. จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 25 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*8. การวิเคราะห์โลหะหนัก*

นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) แคดเมียม( Cd) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่นสเปคโตสโคปี (AAS , Shimadsu 680) พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย

| พารามิเตอร์ | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
|---|---|---|---|---|---|
| ความยาวคลื่น(nm) | 228.8 | 357.9 | 324.8 | 217.0 | 213.9 |
| กระแสไฟฟ้า(mA) | 4 | 5 | 3 | 7 | 4 |
| เปลวไฟ (flame) | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ |
| ขีดจำกัดการวัด(ppm) | 0.03 - 3.0 | 0.5 - 20.0 | 0.1 - 15.0 | 0.3 - 25.0 | 0.01 - 1.5 |
| โหมด | B.G.C | B.G.C | B.G.C | B.G.C | B.G.C |

**การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักระหว่างหญ้านวลน้อย กับ หญ้า Ryegrass**

หลังจากที่เลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมืองได้แล้ว นำมาศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเปรียบเทียบกับRyegrass ดังขั้นตอนต่อไปนี้

*1. การปลูกหญ้านวลน้อย*

การปลูกหญ้านวลน้อยจะทำการปลูกเหมือนดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการคัดเลือกหญ้าพันธ์พื้นเมือง โดยปลูกทั้งหมดจำนวน 4 กระถาง จากนั้นนำไปวางไว้ในเรือนกระจก ทุก ๆ 2 สัปดาห์ จะปลูกหญ้านวลน้อยด้วยวิธีเดิมอีก 4 กระถาง ทั้งนี้เพื่อให้หญ้านวลน้อยที่มีอายุต่างกัน 5 ชุด คือ อายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*2. การปลูกหญ้า Ryegrass*

ปลูกโดยโรยเมล็ดลงในกระถางดินให้มีระยะห่างระหว่างเมล็ดสม่ำเสมอเป็นจำนวน 1.5 กรัมต่อกระถาง เป็นจำนวน 4 กระถาง จากนั้นนำกระถางวางไว้ในเรือนกระจกจนกระทั่งหญ้ามีอายุประมาณ 3 เดือน

*3. การเก็บตัวอย่าง*

การเก็บตัวอย่างหญ้าจะเก็บทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลาประมาณ 3 เดือน โดยตัดใบหญ้าด้วยกรรไกรสเตนเลส ที่ความสูง 4 ซม. จากระดับดินในกระถาง เก็บใบที่ตัดเรียบร้อยแล้วในถุงที่สะอาด หลังจากตัดหญ้าเสร็จให้เติมปุ๋ยน้ำ 250 มล. เติมลงในทุกกระถางเพื่อชดเชยสารอาหารที่เสียไป

*4. การเตรียมตัวอย่าง*

นำตัวอย่างหญ้าที่ตัดเรียบร้อยแล้วมาคัดเลือกเอาส่วนที่ตายออก จากนั้นนำมาล้างด้วยใบล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 1 นาทีเพื่อล้างอนุภาคฝุ่นที่ติดอยู่บนใบออกไป นำไปอบที่อุณหภูมิ 85 $^{0}$C. เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่ง แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด หลังจากบดหญ้าต้องทำความสะอาดเครื่องบดทุกครั้งด้วยแปรง หรือ เครื่องอัดอากาศ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของตัวอย่างอื่น

*5. การย่อย*

ชั่งหญ้าแห้งที่บดละเอียด 1 กรัมใส่ลงในบิกเกอร์ teflon เติมกรดไนตริกเข้มข้น ($HNO_3$) 15 มล. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 $^{0}$C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ($HClO_4$) 8 มล. และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 2 มล. ให้ความร้อนอีกครั้งจนกระทั่งได้สารละลายใส ทิ้งไว้จนเย็น เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มล. จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*6. การวิเคราะห์โลหะหนัก*

นำสารละลายที่เตรียมไว้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 4 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 3 ด้วยเครื่อง Flame Atomic Absorption (Shimadsu 680)

ตารางที่ 3

แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass

| พารามิเตอร์ | Cr | Cu | Pb | Zn |
|---|---|---|---|---|
| ความยาวคลื่น(nm) | 357.9 | 324.8 | 217.0 | 213.9 |
| กระแสไฟฟ้า(mA) | 5 | 3 | 7 | 4 |
| เปลวไฟ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ | air - $C_2H_2$ |
| ขีดจำกัดการวัด(ppm) | 0.5 - 20.0 | 0.1 - 15.0 | 0.3 - 25.0 | 0.01 - 1.5 |
| โหมด | B.G.C | B.G.C | B.G.C | B.G.C |

## การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง โดยการหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย F-test เพื่อสรุปถึง

- ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้า ที่สุ่มตัวอย่างจากพื้นที่ต่างกัน
- ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง
- ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

ในการทดลองการพัฒนาการเฝ้าระวังทางชีวภาพ โดยการใช้หญ้าเป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ จะประกอบด้วยการทดลอง 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ซึ่งเป็นหญ้าพันธุ์พื้นเมืองของไทย และเป็นหญ้าที่เจริญได้ดีในเขตร้อน เพื่อศึกษาความไวในการสะสมโลหะหนักในหญ้าทั้งสองชนิด

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทอลองเพื่อเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้คัดเลือกจากขั้นตอนที่ 1 นำไปเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนัก กับ หญ้า Ryegrass ซึ่งเป็นดัชนีชีวภาพที่ได้รับการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างจนได้มาตรฐาน

## การคัดเลือกหญ้าพันธุ์พื้นเมืองสำหรับใช้เป็นดัชนีชีวภาพ

เนื่องจากหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียเป็นหญ้าในเขตร้อน และไม่เคยมีการนำหญ้าทั้งสองชนิดนี้มาศึกษาการสะสมโลหะหนักในอากาศมาก่อน จึงต้องมีการศึกษาความไวในการสะสมโลหะหนัก และการเตรียมตัวอย่างในหญ้าทั้งสองชนิดนี้ เพื่อนำมาใช้เป็นดัชนีชีวภาพสำหรับโลหะหนักในอากาศ การศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้าทั้งสองชนิด และเปรียบเทียบตัวอย่างที่นำไปสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศที่แตกต่างกัน

โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด คือ Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn ในหญ้าทั้งสองชนิด ก่อนและหลังการนำไปสุ่มตัวอย่างในถนนพระรามสี่กับเขตลาดกระบัง การสุ่มตัวอย่างในแต่ละเขตใช้หญ้าชนิดละ 2 กระถาง แต่ละกระถางทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และมีช่วงเวลาการตัดตัวอย่าง ห่างกันทุก ๆ 2 สัปดาห์ จนครบ 2 เดือน (15 พ.ย. 2538 - 19 ม.ค. 2538) พบว่า ได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 - 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียม (Cd) ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

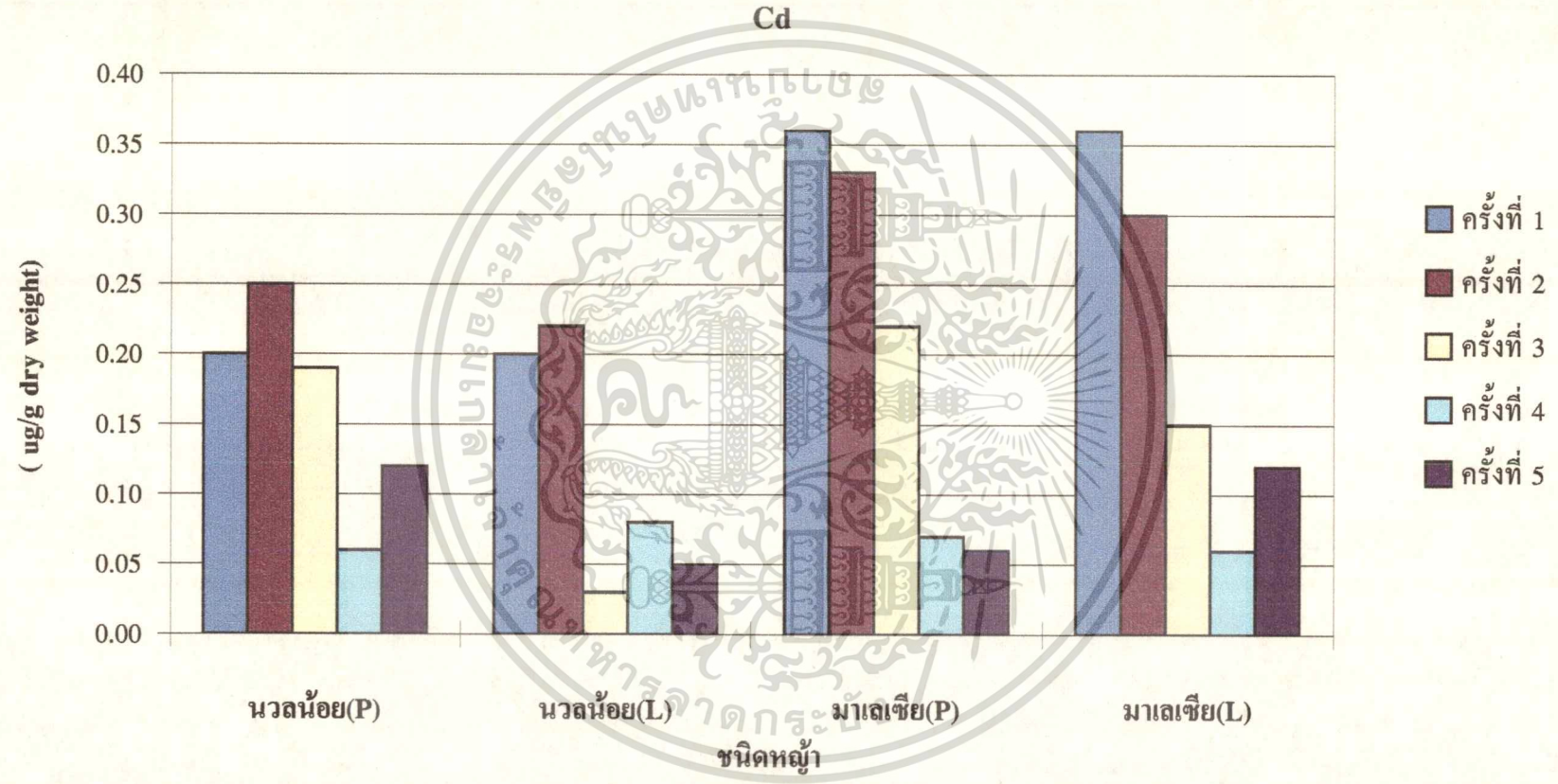
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก[a] (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | หญ้านวลน้อย | หญ้ามาเลเซีย |
| ถนนพระรามสี่ | 15 พ.ย. 2538 | 0.20 | 0.30 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 0.25 | 0.33 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 0.16 | 0.22 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 0.09 | 0.07 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 0.12 | 0.12 |
| เขตลาดกระบัง | 15 พ.ย. 2538 | 0.20 | 0.30 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 0.19 | 0.30 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 0.03 | 0.15 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 0.05 | 0.06 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 0.05 | 0.06 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 4 แสดงความเข้มข้นของแคดเมียมในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง พบว่า หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีความเข้มข้นของแคดเมียมมากกว่าหญ้าทั้งสองที่สุ่มตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง และหญ้ามาเลเซียมีการดูดซับแคดเมียมมากกว่าหญ้านวลน้อย โดยหญ้านวลน้อยจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับแคดเมียมต่ำสุด และสูงสุดเป็น 0.9, 0.25 ppm. และ 0.03, 0.20 ppm. ตามลำดับ และหญ้ามาเลเซียจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับแคดเมียมต่ำสุด และสูงสุดเป็น 0.07, 0.33 ppm. และ 0.06, 0.30 ppm. ตามลำดับ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมที่ 12




แสดงปริมาณแคดเมียม(Cd) ในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง ( P : จุดสุ่มตัวอย่างพระรามสี่, L : จุดสุ่มตัวอย่างลาดกระบัง)

โดยหญ้านวลน้อยมีการดูดซับแคดเมียมน้อยกว่าหญ้ามาเลเซีย และตัวอย่างที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีแคดเมียมมากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
This document is provided by Kasetsart University Library

ตารางที่ 5

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

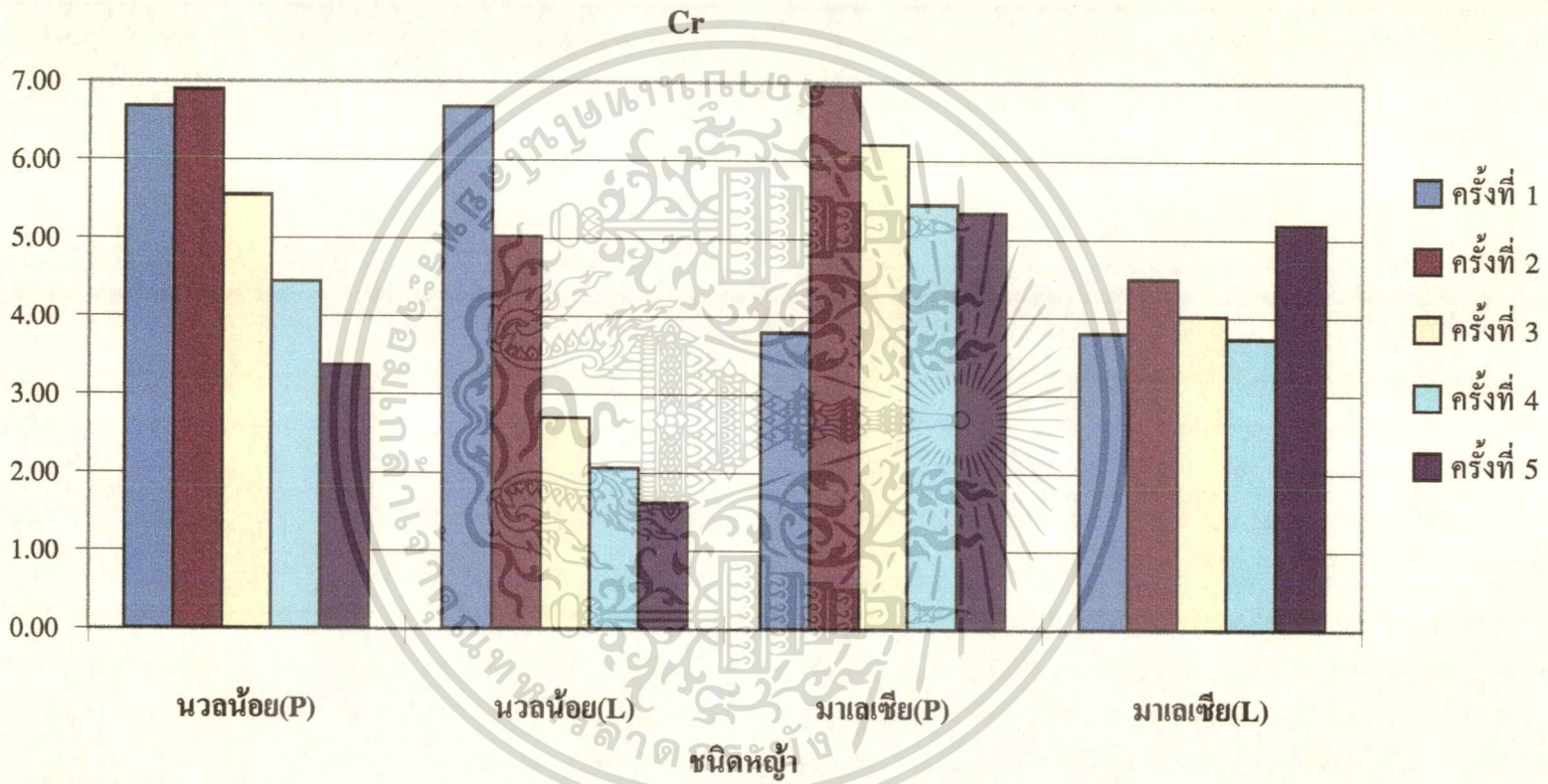
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก[a] (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | หญ้านวลน้อย | หญ้ามาเลเซีย |
| ถนนพระรามสี่ | 15 พ.ย. 2538 | 6.68 | 3.79 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 6.89 | 6.95 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 5.55 | 6.21 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 4.44 | 5.44 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 3.30 | 5.33 |
| เขตลาดกระบัง | 15 พ.ย. 2538 | 6.68 | 3.79 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 4.76 | 4.49 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 2.71 | 4.02 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 2.07 | 3.73 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 1.62 | 5.19 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 5 แสดงความเข้มข้นของโครเมียมในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง พบว่า หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีความเข้มข้นของโครเมียมมากกว่าหญ้าทั้งสองที่สุ่มตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง และหญ้ามาเลเซียมีการดูดซับโครเมียมมากกว่าหญ้านวลน้อย โดยหญ้านวลน้อยจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับโครเมียมต่ำสุด และสูงสุดเป็น 3.30, 6.89 ppm. และ 1.62, 6.68 ppm. ตามลำดับ และหญ้ามาเลเซียจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับโครเมียมต่ำสุดและสูงสุดเป็น 3.79, 6.95 ppm. และ 3.73, 5.19 ppm. ($p<0.05$) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 13




แสดงปริมาณโครเมียมในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง (P : จุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่, L : จุดสุ่มตัวอย่างลาดกระบัง)
โดยหญ้านวลน้อยมีการดูดซับโครเมียมน้อยกว่าหญ้ามาเลเซีย และตัวอย่างที่เก็บจากถนนพระรามสี่มีโครเมียมมากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง (Cu) ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

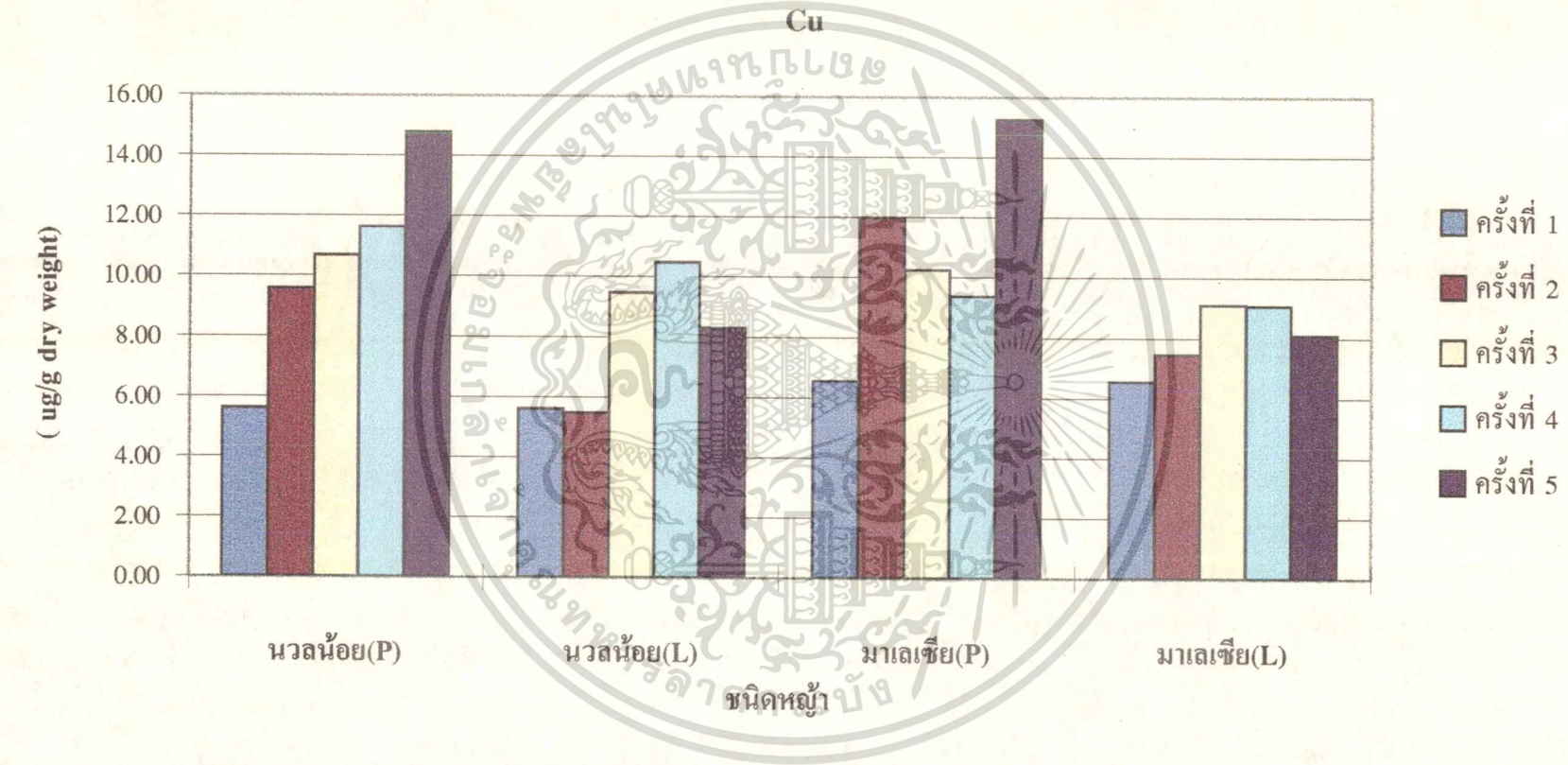
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก[a] (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | หญ้านวลน้อย | หญ้ามาเลเซีย |
| ถนนพระรามสี่ | 15 พ.ย. 2538 | 5.61 | 6.89 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 9.59 | 11.98 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 10.67 | 10.26 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 11.64 | 9.38 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 15.09 | 15.25 |
| เขตลาดกระบัง | 15 พ.ย. 2538 | 5.61 | 6.89 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 5.49 | 7.46 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 9.47 | 9.11 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 10.47 | 9.20 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 8.29 | 8.10 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 6 แสดงความเข้มข้นของทองแดงในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง พบว่า หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าหญ้าทั้งสองที่สุ่มตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง และหญ้านวลน้อยมีการดูดซับทองแดงมากกว่าหญ้ามาเลเซีย โดยหญ้านวลน้อยจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับทองแดงต่ำสุดและสูงสุดเป็น 5.61 ,15.09 ppm. และ 5.49, 10.47 ppm. ตามลำดับ และหญ้ามาเลเซียจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับทองแดงต่ำสุด และสูงสุดเป็น 6.89, 15.25 ppm. และ 6.89, 9.20 ppm. ตามลำดับ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 14




แสดงปริมาณทองแดง(Cu) ในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง(P : จุดสุ่มตัวอย่างพระรามสี่, L : จุดสุ่มตัวอย่างลาดกระบัง)
โดยหญ้านวลน้อยมีการดูดซับทองแดงมากกว่าหญ้ามาเลเซีย และตัวอย่างที่เก็บจากถนนพระรามสี่มีทองแดงมากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ...

ตารางที่ 7

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว (Pb) ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจาก ถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

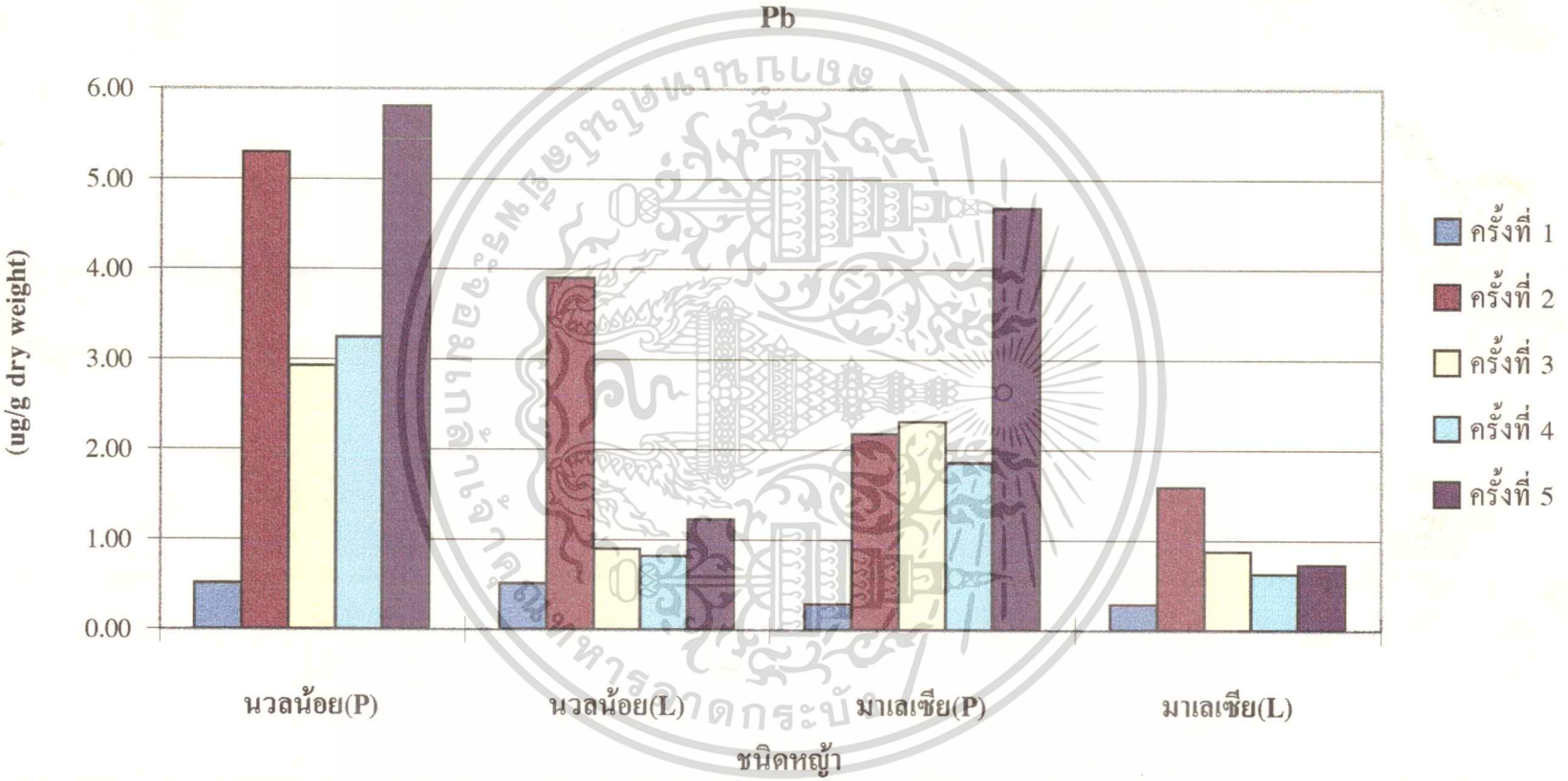
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก[a] (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | หญ้านวลน้อย | หญ้ามาเลเซีย |
| ถนนพระรามสี่ | 15 พ.ย. 2538 | 0.56 | 0.42 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 5.30 | 3.90 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 2.95 | 2.34 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 3.24 | 1.86 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 6.12 | 4.68 |
| เขตลาดกระบัง | 15 พ.ย. 2538 | 0.56 | 0.42 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 2.18 | 1.59 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 0.90 | 0.83 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 0.82 | 0.63 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 1.23 | 0.73 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 7 แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง พบว่า หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีความเข้มข้นของตะกั่วมากกว่าหญ้าทั้งสองที่สุ่ม ตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง และหญ้านวลน้อยมีการดูดซับตะกั่วมากกว่าหญ้ามาเลเซีย โดยหญ้านวลน้อยจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับตะกั่วต่ำสุด และสูงสุดเป็น 0.56 ,6.12 ppm. และ 0.56, 2.18 ppm. ตามลำดับ และหญ้ามาเลเซียจวกถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับตะกั่วต่ำสุด และสูงสุดเป็น 0.42, 4.68 ppm. และ 0.42, 1.59 ppm. ตามลำดับ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 15




แสดงปริมาณตะกั่ว(Pb) ในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง (P : จุดสุ่มตัวอย่างพระรามสี่, L : จุดสุ่มตัวอย่างลาดกระบัง)
โดยหญ้านวลน้อยมีการดูดซับตะกั่วมากกว่าหญ้ามาเลเซีย และตัวอย่างที่เก็บจากถนนพระรามสี่มีตะกั่วมากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปฝากไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของบุคคลอื่น เพื่อการดังกล่าวข้างต้นด้วย

ตารางที่ 8

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสี (Zn) ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย ที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

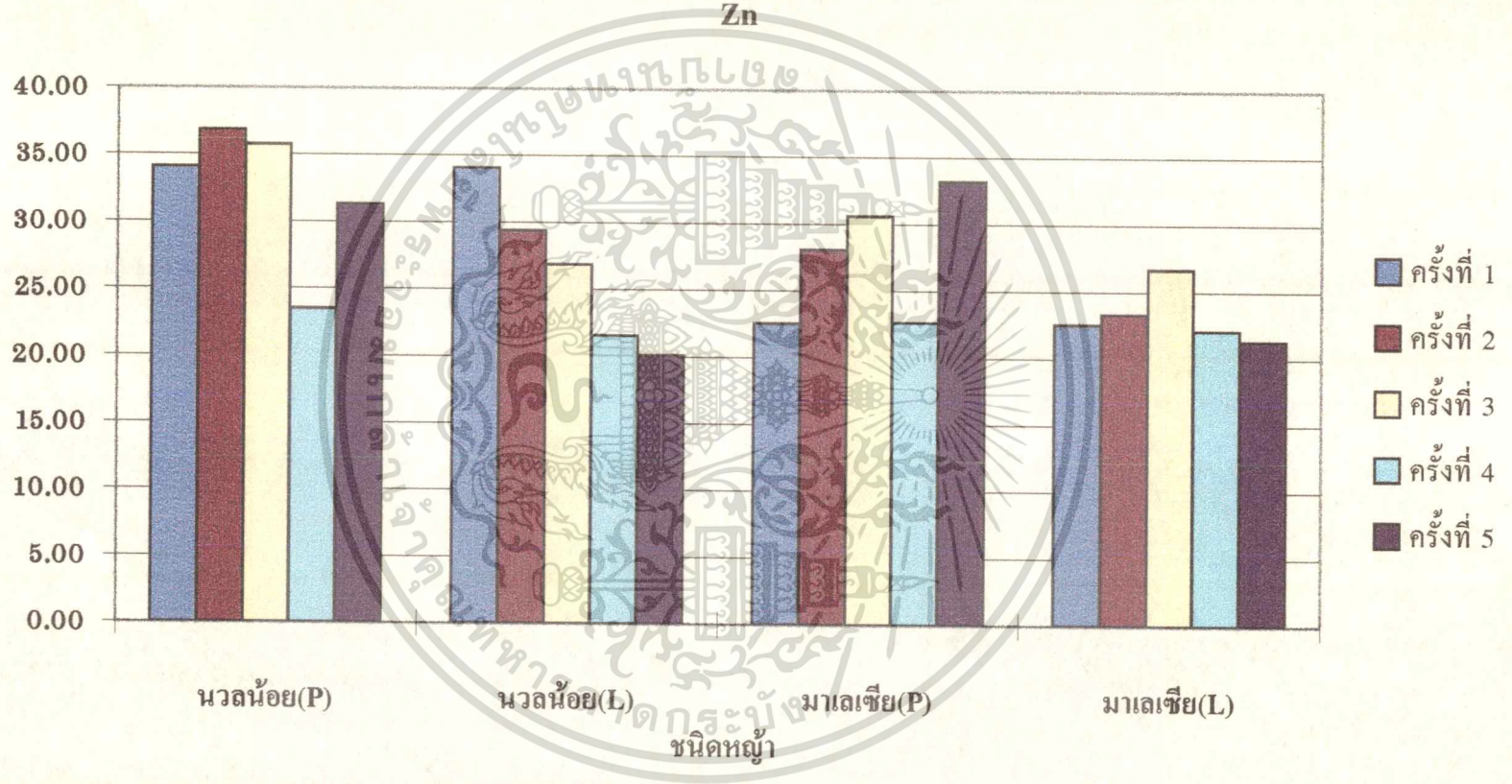
| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก[a] (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | หญ้านวลน้อย | หญ้ามาเลเซีย |
| ถนนพระรามสี่ | 15 พ.ย. 2538 | 34.11 | 22.55 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 36.87 | 28.06 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 35.76 | 30.61 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 23.47 | 22.60 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 31.35 | 33.21 |
| เขตลาดกระบัง | 15 พ.ย. 2538 | 34.11 | 22.55 |
| | 30 พ.ย. 2538 | 29.36 | 23.37 |
| | 15 ธ.ค. 2538 | 26.90 | 24.71 |
| | 30 ธ.ค. 2538 | 21.60 | 22.13 |
| | 19 ม.ค. 2539 | 20.09 | 21.36 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 8 แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง พบว่า หญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซียที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่มีความเข้มข้นของสังกะสีมากกว่าหญ้าทั้งสองที่สุ่มตัวอย่างมาจากเขตลาดกระบัง และหญ้านวลน้อยมีการดูดซับสังกะสีมากกว่าหญ้ามาเลเซีย โดยหญ้านวลน้อยจากถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบังมีการดูดซับสังกะสีต่ำสุด และสูงสุดเป็น 23.47, 36.87 ppm. และ 20.09, 34.11 ppm. ตามลำดับ และหญ้ามาเลเซียจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบังมีการดูดซับตะกั่วต่ำสุดและสูงสุดเป็น 22.55, 33.21 ppm. และ 21.36, 24.71 ppm. ตามลำดับ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 16




แสดงปริมาณสังกะสี(Zn) ในหญ้าพันธุ์พื้นเมือง (P : จุดสุ่มตัวอย่างพระรามสี่, L : จุดสุ่มตัวอย่างลาดกระบัง)

โดยหญ้านวลน้อยมีการดูดซับสังกะสีมากกว่าหญ้ามาเลเซีย และตัวอย่างที่เก็บจากถนนพระรามสี่มีตะกั่วมากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Copyright© by Kasetsart University
All rights reserved

จากตารางที่ 4-8 แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก 5 ชนิด คือ Cd, Cr, Cu, Pb และ Zn ในหญ้านวลน้อย และหญ้ามาเลเซีย พบว่า หญ้าทั้ง 2 ชนิดมีการสะสมของ Cd < Pb < Cr < Cu < Zn ตามลำดับ และในตัวอย่างที่สุ่มจากริมถนนพระรามสี่มีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าตัวอย่างที่สุ่มจากลาดกระบัง แสดงให้เห็นว่า หญ้าที่อยู่ในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงจะมีความไวและการดูดซับโลหะหนักมากกว่าหญ้าที่อยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณมลพิษต่ำกว่า โดยเฉพาะในตัวอย่างจากถนนพระรามสี่จะมีปริมาณ Pb ที่เกิดจากรถยนต์มากกว่าตัวอย่างจากเขตลาดกระบังถึง 2-3 เท่า ในขณะที่ปริมาณโลหะหนักชนิดอื่นที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบังมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักระหว่างหญ้าทั้ง 2 ชนิด พบว่า หญ้านวลน้อยมีการสะสมโลหะหนักมากกว่าหญ้ามาเลเซีย โดยหญ้านวลน้อยที่สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ และลาดกระบังมีการสะสม Cd, Pb, Cu และ Zn มีค่าสูงสุดเป็น 0.25, 6.12, 6.89, 15.09 และ 36.87 ppm. มละ 0.20, 2.18, 6.68, 10.47 และ 2.18 ppm. ($p<0.05$) ตามลำดับ

จากการศึกษาของ Wagner (1993) พบว่า ลักษณะโครงสร้างของใบเป็นกลไกสำคัญในการสะสมโลหะหนักในอากาศ โดยใบที่มีลักษณะหยาบและมีขนมากจะสามารถกักเก็บโลหะหนักหรือฝุ่นจากอากาศได้ดีกว่าใบที่เรียบและเป็นมัน เมื่อพิจารณาลักษณะใบของหญ้าทั้ง 2 ชนิด พบว่า ลักษณะใบของหญ้านวลน้อยมีขนมากกว่าหญ้ามาเลเซีย ซึ่งมีลักษณะเรียบและเป็นมัน ทำให้โลหะหนักส่วนใหญ่ถูกจับอยู่บนใบของหญ้านวลน้อยมากว่าหญ้ามาเลเซีย

นอกจากนี้ หญ้ามาเลเซียมีไหล (stolon) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการสืบพันธุ์ ขณะที่ทำการทดลองไหลนี้ได้เจริญเติบโตในแนวราบมากกว่าแนวตั้ง ซึ่งอาจทำให้หญ้ามาเลเซียมีการกักเก็บโลหะหนักได้น้อยลง และทำให้การเก็บตัวอย่างเป็นไปได้ยากเนื่องจากต้องตัดใบที่ความสูง 4 ซม. ซึ่งการวัดใบหญ้ามาเลเซียที่เจริญเติบโตในแนวนอนอาจทำให้การวัดผิดพลาดได้ และการใช้เนื้อเยื่อต่างชนิดกันจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาดได้ เนื่องจากหญ้าจะสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ อาจไม่เท่ากัน โดยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในไหลและใบของหญ้ามาเลเซีย ดังแสดงในตารางที่ 9

จากตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณโลหะหนักในไหลมีความแตกต่างกันโดยการสะสมของโลหะหนัก Cr, Cu, Pb และ Zn ในใบมากกว่าในไหล และมีการปริมาณ Pb < Cr < Cu < Zn ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ ซึ่งในการทดลองควรจะต้องใช้เนื้อเยื่อชนิดเดียวกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล และมีความผิดพลาดน้อยลง

ตารางที่ 9

แสดงการสะสมของโลหะหนักในใบและไหล(stolon) ของหญ้ามาเลเซีย

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (μg/g dry weight)[a] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| จุดสุ่ม | เนื้อเยื่อ | [Cr] | [Cu] | [Pb] | [Zn] |
| พระรามสี่ | ไหล | 4.62 | 6.56 | 1.42 | 20.31 |
| | ใบ | 6.21 | 10.26 | 2.93 | 30.61 |
| ลาดกระบัง | ไหล | 3.33 | 5.62 | 0.66 | 17.99 |
| | ใบ | 4.02 | 9.11 | 0.83 | 24.71 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

ภาพที่ 17

แสดงไหล (stolon) และลักษณะใบของหญ้ามาเลเซีย

จากข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบว่า หญ้านวลน้อยจะมีความเหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการเฝ้าระวังแบบกัมมันต์มากกว่าหญ้ามาเลเซียซึ่งสามารถทำให้ได้มาตรฐานได้ง่ายกว่าและมีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าหญ้ามาเลเซีย โดยเฉพาะ Pb ซึ่งเป็นมลพิษในอากาศที่สำคัญในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักระหว่างหญ้านวลน้อยกับหญ้า หญ้า Ryegrass**

ในขั้นตอนนี้หญ้าพันธุ์พื้นเมืองที่ได้คัดเลือกมาจากขั้นตอนที่ 1 นำไปเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักกับหญ้า Ryegrass ซึ่งเป็นหญ้าในเขตหนาว และ เป็นดัชนีชีวภาพที่ได้มาตรฐาน ศึกษาการสะสมโลหะหนักในหญ้าทั้งสองชนิด เพื่อหาความไวในการได้รับโลหะหนัก และสมกับสภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้านวลน้อยที่มีอายุต่างกัน

ในขั้นตอนนี้จะปลูกหญ้านวลน้อยให้มีอายุแตกต่างกันเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เมื่อนำไปสุ่มที่จุดสุ่มตัวอย่าง ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุ และการสะสมโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และเปรียบเทียบกับหญ้า Ryegrass ที่มีอายุเท่ากัน

- ศึกษาผลของการล้างกับการสะสมโลหะหนักในอากาศ

หญ้าได้รับโลหะหนักจาก ทางราก และทางใบ ซึ่งปริมาณโลหะหนักในอากาศส่วนใหญ่จะถูกดูดซับอยู่บนใบ การศึกษาใบที่ล้าง และเปรียบเทียบกับใบที่ไม่ได้ล้าง เพื่อหาความสัมพันธ์ของการดูดซับโลหะหนักในอากาศบนใบ

- การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตกับการสะสมโลหะหนัก

ศึกษาจากน้ำหนักแห้งซึ่งเป็นผลผลิตในระหว่างการเจริญเติบโต และปริมาณการสะสมของโลหะหนัก

จากการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของหญ้านวลน้อยและหญ้า Ryegrass ซึ่งหญ้านวลน้อยมีอายุต่างกัน คือ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในหญ้าทั้ง 2 ชนิด ก่อนและหลังการนำไปสุ่มตัวอย่างในถนนพระรามสี่กับเขตลาดกระบัง การสุ่มตัวอย่างในแต่ละเขตใช้หญ้าชนิดละ 2 กระถาง แต่ละกระถางทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และมีช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ห่างกันทุก ๆ 2 สัปดาห์ จนครบ 3 เดือน (12 ก.พ. 2539 - 15 พ.ค. 2539) จะได้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 10 - 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*1. ความสัมพันธ์ของอายุของหญ้ากับการสะสมโลหะหนัก*

จากกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโลหะหนัก กับ ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างของหญ้าที่มีอายุต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 18 - 25 ความเข้มข้นของโลหะหนักก่อนสุ่มตัวอย่าง(ครั้งที่ 1) มีการสะสมโลหะหนักในปริมาณมาก หลังจากสุ่มตัวอย่างอากาศ พบว่าปริมาณโลหะหนักไม่มีความแตกต่างจากเริ่มต้นเท่าใดนัก และมีแนวโน้วของปริมาณโลหะหนักคงที่ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในหญ้านวลน้อย กับ หญ้า Ryegrass ที่มีอายุเท่ากัน พิจารณาความเข้มข้นของโลหะหนักก่อนสุ่มตัวอย่าง พบว่า หญ้านวลน้อย มีปริมาณโลหะหนักมากกว่าหญ้า Ryegrass

การที่หญ้านวลน้อยมีการสะสมโลหะหนักไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องมาจากการปลูกหญ้านวลน้อยโดยการใช้ลำต้นใต้ดิน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของลำต้นที่มีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์แล้วความต้องการอาหาร หรือ การสะสมโลหะหนักจึงเป็นไปอย่างคงที่ แต่หญ้า Ryegrass ซึ่งปลูกด้วยเมล็ด มีการพัฒนาของระบบรากและลำต้นขึ้นมาใหม่ ขณะที่เป็นต้นอ่อนการสะสมโลหะหนักมีน้อยและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีระดับคงที่

จากการทดลองยัง พบว่า หญ้าที่สุ่มตัวอย่างในเขตที่มีมลพิษทางอากาศสูงจะมีความไวมากกว่าหญ้าที่สุ่มตัวอย่างในเขตที่มีมลพิษทางอากาศน้อยกว่า โดยหญ้านวลน้อยที่สุ่มตัวอย่างจากพระรามสี่มีปริมาณ Cr ลดลงเล็กน้อยและเพิ่มขึ้นหลังจากสุ่มตัวอย่าง (ครั้งที่ 3) และมีปริมาณ Cu, Pb และ Zn เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากนั้นจึงค่อยลดลง แล้วคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างจากเขตลาดกระบังมีปริมาณ Cr, Cu และ Zn ลดลง แล้วจึงคงที่ มีเพียงPb ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาโลหะหนักในหญ้า Ryegrass ก่อนสุ่มตัวอย่างมีปริมาณ Cr เริ่มต้นน้อยกว่าหญ้านวลน้อยมาก และปริมาณ Cu, Pb และ Zn ใกล้เคียงกันกับหญ้านวลน้อย หลังจากสุ่มตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างจากพระรามสี่มีปริมาณ Cr, Cu, Pb และ Zn เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าหญ้านวลน้อย 2 -3 เท่า และตัวอย่างจากลาดกระบังมีปริมาณ Cr, Pb และ Zn เพิ่มขึ้นประมาณ 1 เท่า และมีความเข้มข้นน้อยกว่าตัวอย่างจากพระรามสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียม (Cr) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในหญ้า (μg/g dry weight)[a] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | นวลน้อย | | | | | Ryegrass |
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | 4 (สัปดาห์) | 6 (สัปดาห์) | 8 (สัปดาห์) | 10 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) |
| ถนนพระรามสี่ | 12 ก.พ. 2539 | 4.82 | 1.93 | 2.96 | 4.16 | 3.28 | 1.04 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 4.35 | 3.08 | 3.17 | 3.75 | 2.43 | 6.32 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 4.67 | 2.66 | 3.74 | 2.37 | 2.42 | 7.45 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 4.53 | 4.46 | 3.92 | 3.79 | 3.05 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 5.17 | 4.80 | 5.90 | 4.70 | 3.94 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 3.98 | 3.70 | 3.76 | 2.27 | 2.66 | - |
| เขตลาดกระบัง | 12 ก.พ. 2539 | 4.82 | 1.93 | 2.96 | 4.16 | 3.28 | 1.04 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 3.79 | 2.92 | 3.54 | 2.52 | 1.78 | 2.78 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 1.64 | 2.66 | 2.49 | 2.16 | 1.25 | 2.67 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 4.37 | 2.10 | 2.74 | 2.55 | 2.88 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 4.29 | 3.50 | 3.50 | 3.33 | 2.50 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 3.03 | 2.66 | 2.80 | 1.93 | 1.91 | - |

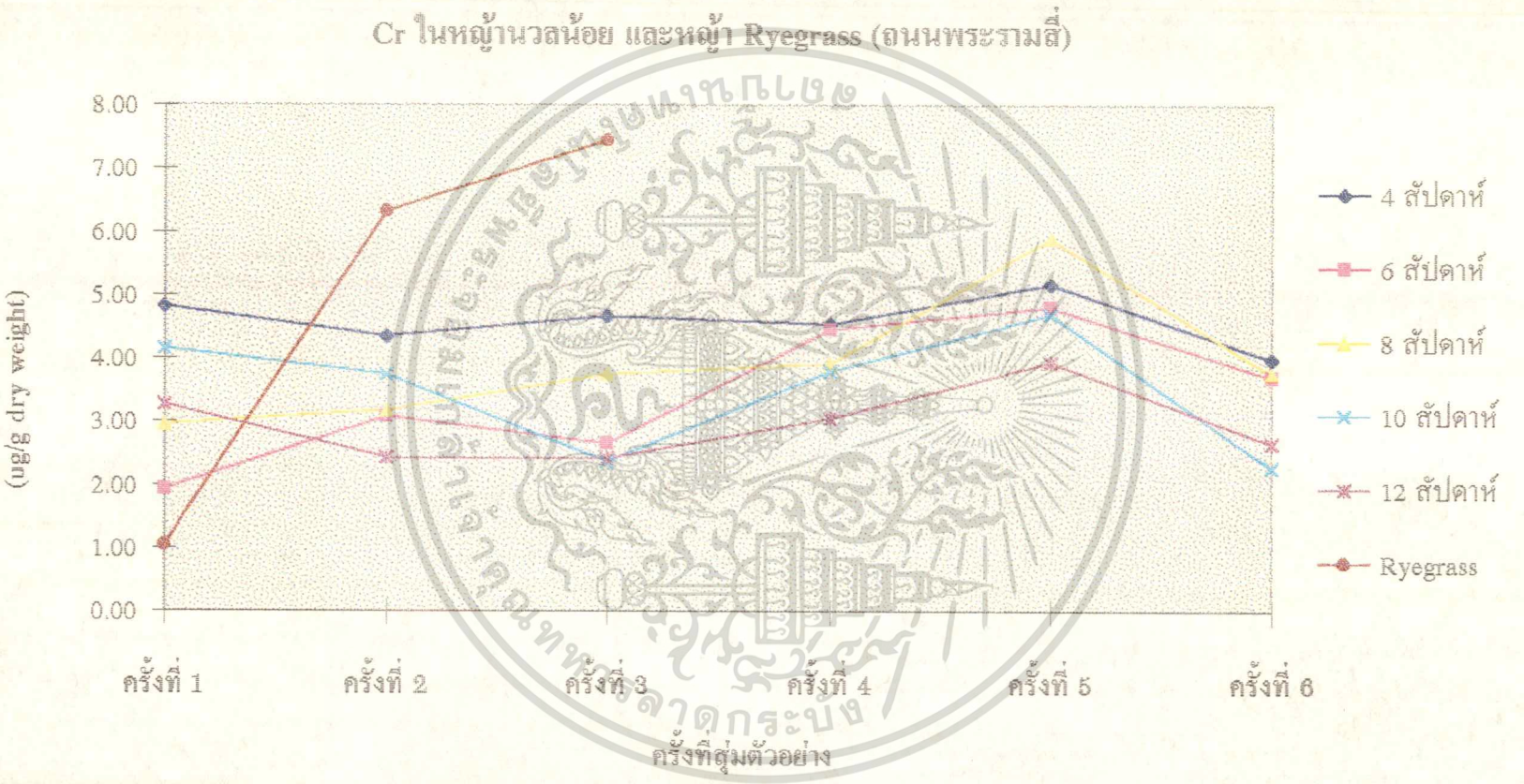
[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 6$ , $p < 0.05$

- *ถนนพระรามสี่* หญ้าที่มีอายุ 4 สัปดาห์มีการดูดซับโครเมียมมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุด 3.98 ppm และสูงสุดเป็น 5.17 ppm. หญ้าที่มีอายุ 12 สัปดาห์มีการดูดซับโครเมียมน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุด 2.42 ppm. และสูงสุดเป็น 3.94 ppm. ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 1.04 และ 7.45 ppm. ($p<0.05$)

- *เขตลาดกระบัง* หญ้าที่มีอายุ 4 สัปดาห์ และ 12 มีการดูดซับโครเมียมมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 1.64 และ 4.82 ppm ตามลำดับ หญ้าที่มีอายุ 12 สัปดาห์มีการดูดซับโครเมียมน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 1.25 และ3.28 ppm ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 1.04 และ 2.67 ppm. ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 18



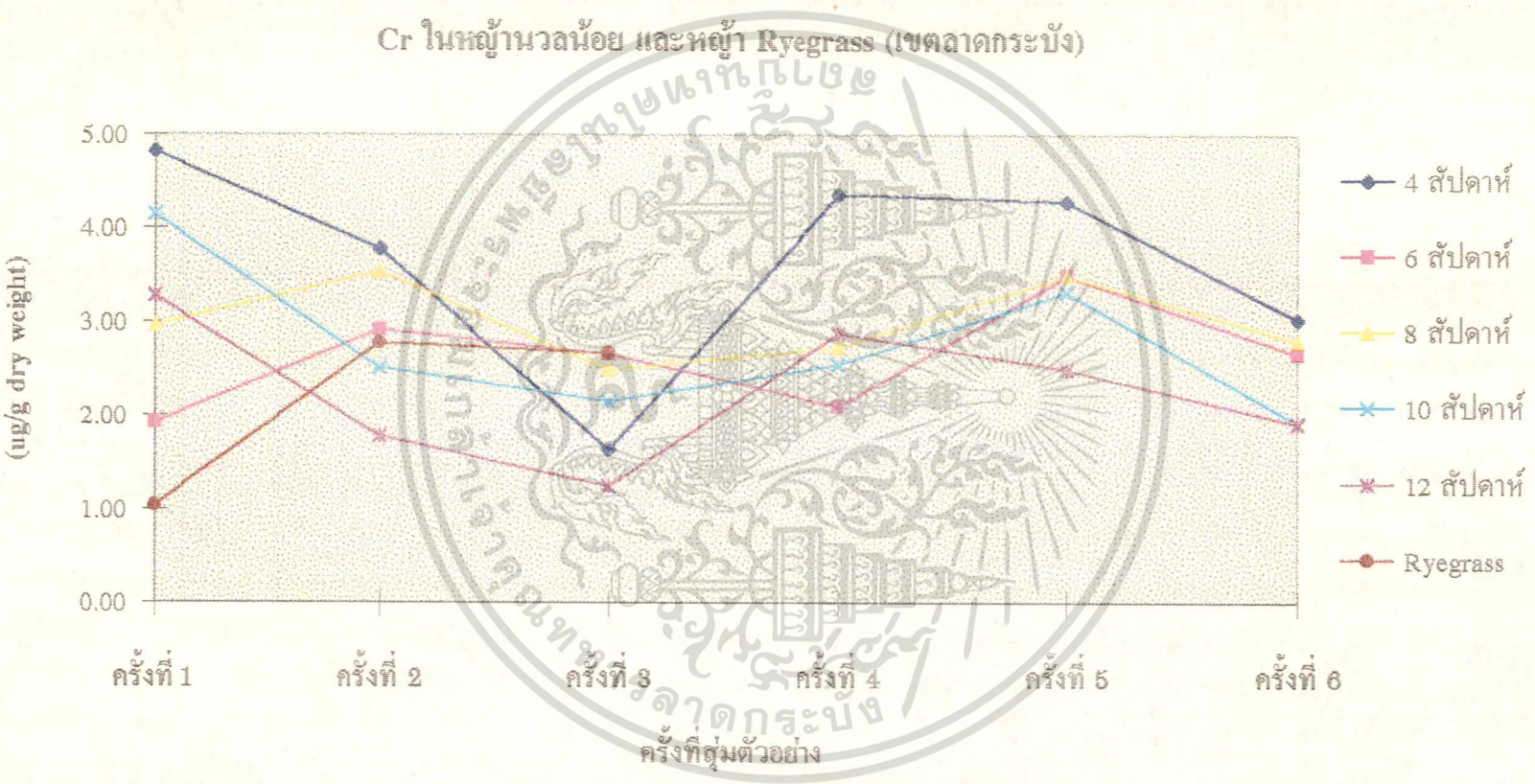

แสดงความเข้มข้นของโครเมียมในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่

การสะสมโครเมียมในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ และการสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 19




แสดงความเข้มข้นของโครเมียมในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง การสะสมโครเมียมในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ และการสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น



ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 11

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง (Cu) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในหญ้า (μg/g dry weight)[a] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | นวลน้อย | | | | | Ryegrass |
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | 4 (สัปดาห์) | 6 (สัปดาห์) | 8 (สัปดาห์) | 10 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) |
| ถนนพระรามสี่ | 12 ก.พ. 2539 | 9.83 | 12.59 | 10.14 | 9.87 | 9.58 | 12.88 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 15.62 | 12.76 | 13.11 | 12.58 | 12.94 | 25.12 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 13.14 | 11.99 | 11.71 | 12.91 | 11.17 | 31.15 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 8.85 | 7.95 | 7.50 | 10.31 | 9.23 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 10.29 | 7.98 | 8.40 | 9.47 | 7.82 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 8.34 | 7.88 | 7.43 | 8.00 | 7.91 | - |
| เขตลาดกระบัง | 12 ก.พ. 2539 | 9.83 | 12.59 | 10.14 | 9.87 | 9.58 | 12.88 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 5.55 | 9.23 | 6.76 | 7.96 | 7.60 | 8.25 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 5.47 | 7.57 | 7.49 | 5.89 | 6.07 | 9.10 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 8.65 | 7.35 | 7.38 | 8.25 | 7.72 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 7.42 | 7.24 | 5.91 | 7.64 | 7.80 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 6.69 | 6.31 | 6.72 | 7.29 | 7.06 | - |

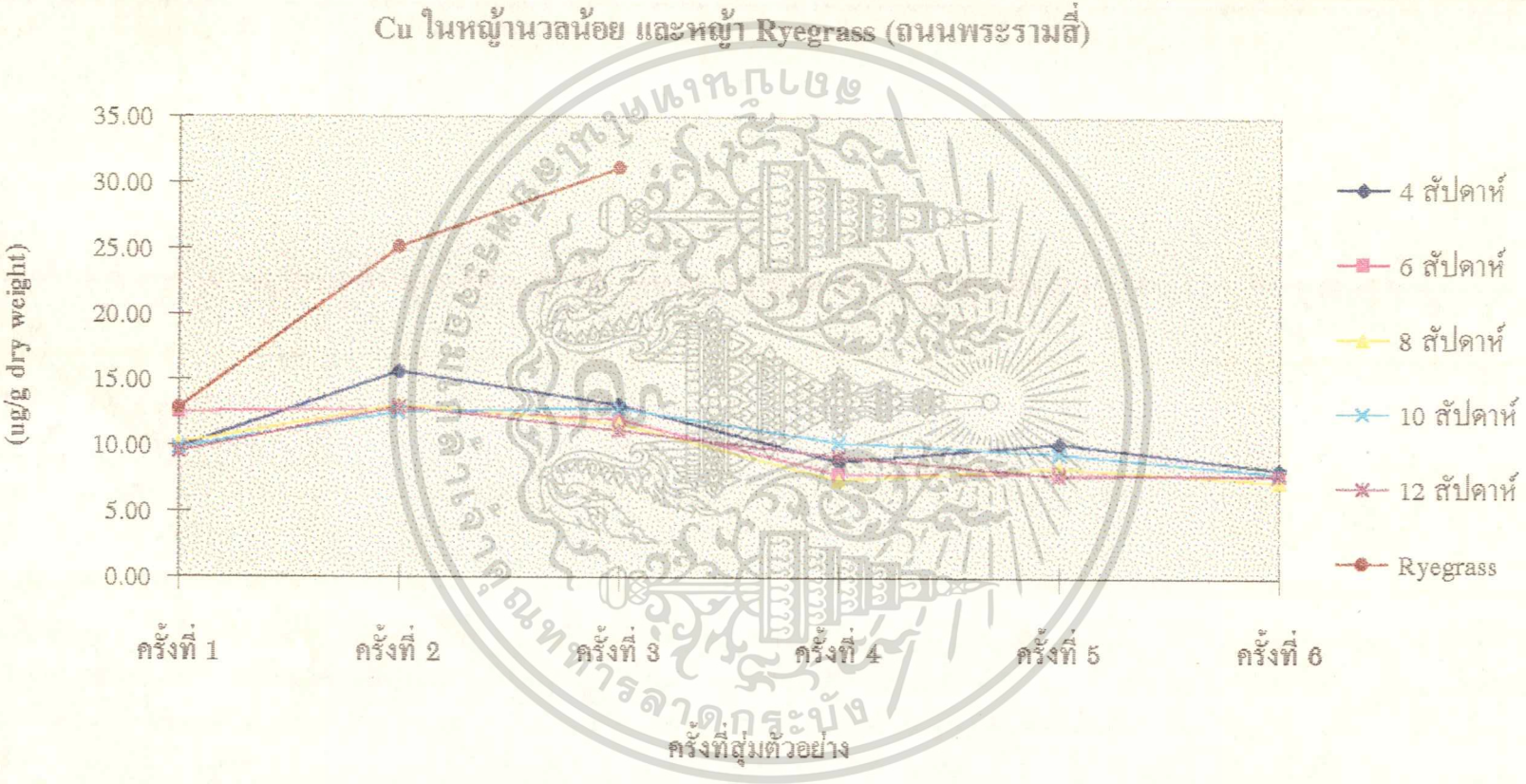
[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย n = 6 , $p < 0.05$

- *ถนนพระรามสี่* หญ้าที่มีอายุ 10 สัปดาห์มีการดูดซับทองแดงมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 8.00 และ 12.91 ตามลำดับ หญ้าที่มีอายุ 8 สัปดาห์มีการดูดซับทองแดงน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 7.43 และ 13.11 ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 12.88 และ 31.15 ppm. ($p<0.05$)

- *เขตลาดกระบัง* หญ้าที่มีอายุ 10 สัปดาห์มีการดูดซับทองแดงมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 5.89 และ 9.87 ตามลำดับ หญ้าที่มีอายุ 4 สัปดาห์มีการดูดซับทองแดงน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 5.47 และ 9.83 ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 8.25 และ 9.10 ppm. ($p<0.05$)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

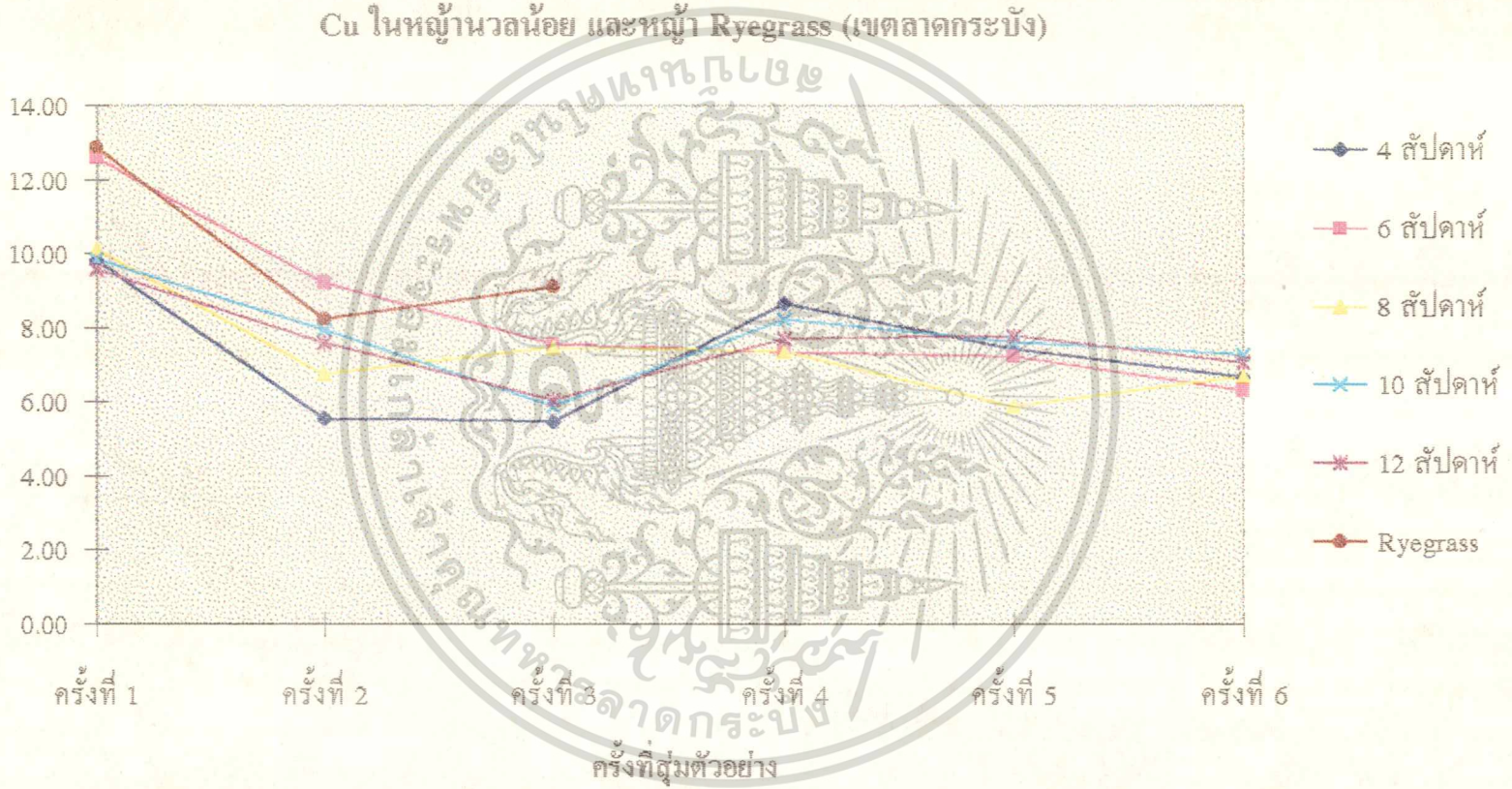
รูปที่ 20




แสดงความเข้มข้นของทองแดงในหญ้านวลน้อย ที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้าRyegrass อายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่

การสะสมของทองแดงในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ แต่การสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 21




แสดงความเข้มข้นของทองแดงในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์และหญ้าRyegrass อายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง

การสะสมของทองแดงในหญ้านวลน้อยมีค่าลดลง แล้วจึงคงที่ แต่การสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าลดลง

ตารางที่ 12

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่ว (Pb) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในหญ้า (μg/g dry weight)[a] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | นวลน้อย | | | | | Ryegrass |
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | 4 (สัปดาห์) | 6 (สัปดาห์) | 8 (สัปดาห์) | 10 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) |
| ถนนพระรามสี่ | 12 ก.พ. 2539 | 0.38 | 0.37 | 0.30 | 0.35 | 1.00 | 0.33 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 5.68 | 4.14 | 3.54 | 4.00 | 5.32 | 11.78 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 2.13 | 2.33 | 3.04 | 3.45 | 2.54 | 16.13 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 1.36 | 1.41 | 1.42 | 1.25 | 1.53 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 1.51 | 1.55 | 1.94 | 1.73 | 0.90 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 1.73 | 2.00 | 1.67 | 1.61 | 1.94 | - |
| เขตลาดกระบัง | 12 ก.พ. 2539 | 0.38 | 0.37 | 0.30 | 0.35 | 1.00 | 0.33 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 0.81 | 1.54 | 1.11 | 2.06 | 2.25 | 1.49 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 0.85 | 0.57 | 0.56 | 1.84 | 1.31 | 2.55 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 0.73 | 0.64 | 0.66 | 0.76 | 0.63 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 0.56 | 0.67 | 0.48 | 0.76 | 0.41 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 0.75 | 0.28 | 0.59 | 0.90 | 0.62 | - |

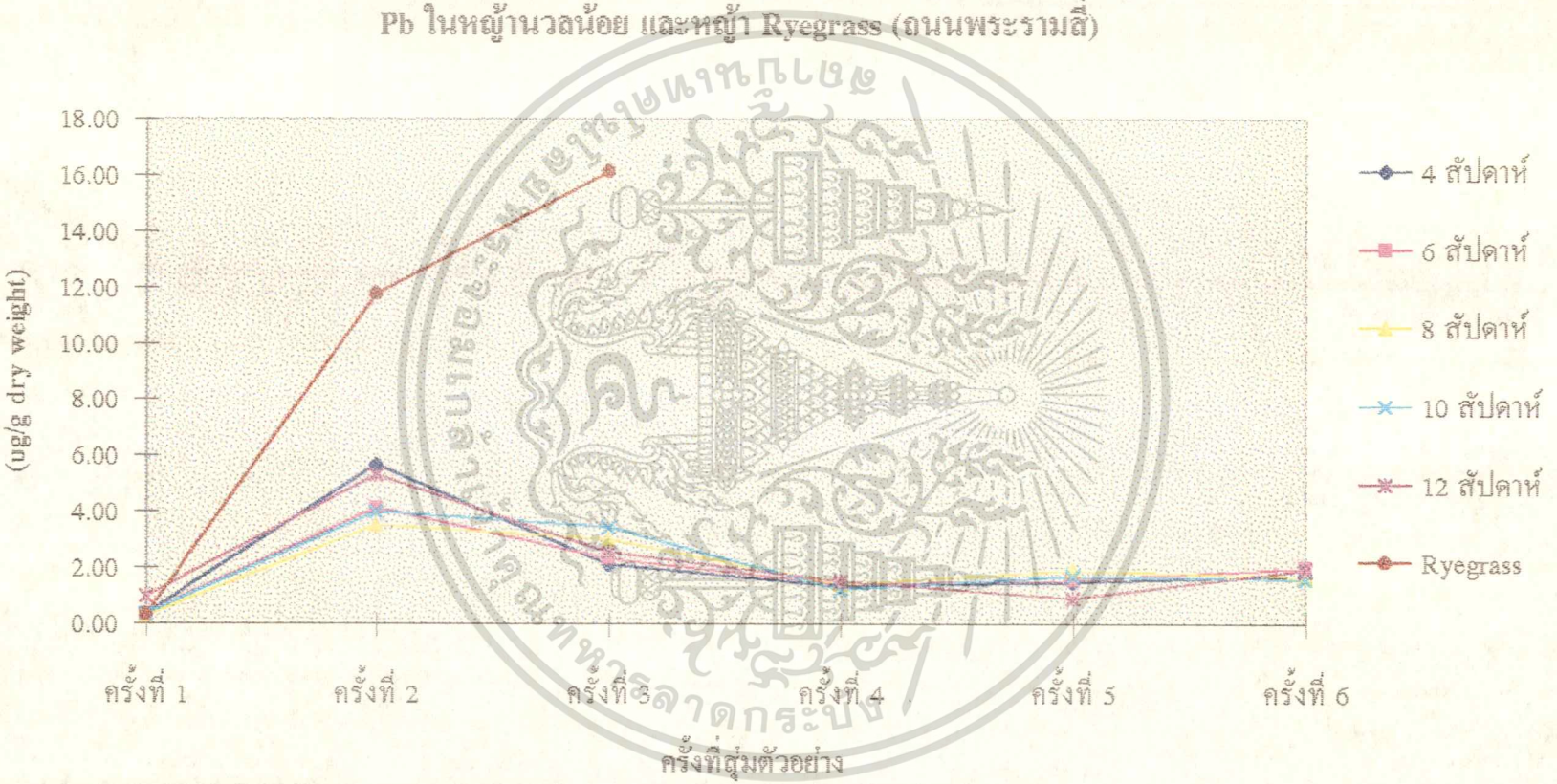
[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 6$ , $p < 0.05$

- *ถนนพระรามสี่* หญ้าอายุ 4 สัปดาห์มีการดูดซับตะกั่วมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.38 และ 5.68 ppm ตามลำดับ หญ้าอายุ 12 สัปดาห์มีการดูดซับตะกั่วน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.90 และ 5.32 ppm ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.33 และ 16.13 ppm. ($p<0.05$)

- *เขตลาดกระบัง* หญ้าอายุ 10 สัปดาห์มีการดูดซับตะกั่วมากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.35 และ 2.06 ppm. ตามลำดับ หญ้าอายุ 6 สัปดาห์มีการดูดซับตะกั่วน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.37 และ 0.85 ppm. ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 0.33 และ 2.55 ppm. ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 22




แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และหญ้าRyegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่
การสะสมของตะกั่วในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ และการสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 23

แสดงความเข้มข้นของตะกั่วในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และหญ้าRyegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง
การสะสมของตะกั่วในหญ้านวลน้อยมีค่าเพิ่มขึ้นจากนั้นจึงลดลงแล้วคงที่ แต่การสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13

แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสี (Zn) ในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในหญ้า (μg/g dry weight)[a] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | นวลน้อย | | | | | Ryegrass |
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | 4 (สัปดาห์) | 6 (สัปดาห์) | 8 (สัปดาห์) | 10 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) |
| ถนนพระรามสี่ | 12 ก.พ. 2539 | 16.53 | 25.50 | 25.82 | 21.33 | 24.72 | 22.59 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 34.24 | 26.96 | 28.75 | 29.76 | 28.60 | 58.55 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 37.86 | 33.14 | 37.52 | 33.76 | 33.57 | 84.65 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 23.16 | 22.49 | 25.34 | 23.09 | 22.67 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 27.79 | 21.52 | 24.59 | 23.45 | 19.59 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 20.92 | 19.10 | 20.98 | 24.23 | 21.03 | - |
| เขตลาดกระบัง | 12 ก.พ. 2539 | 16.53 | 25.50 | 25.82 | 21.33 | 24.72 | 22.59 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 16.35 | 21.33 | 20.98 | 18.07 | 16.44 | 19.11 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 20.04 | 17.50 | 21.51 | 15.72 | 18.17 | 42.59 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 22.21 | 22.68 | 21.55 | 21.29 | 18.33 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 16.08 | 19.21 | 17.57 | 21.35 | 17.96 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 18.37 | 19.12 | 19.10 | 21.29 | 18.73 | - |

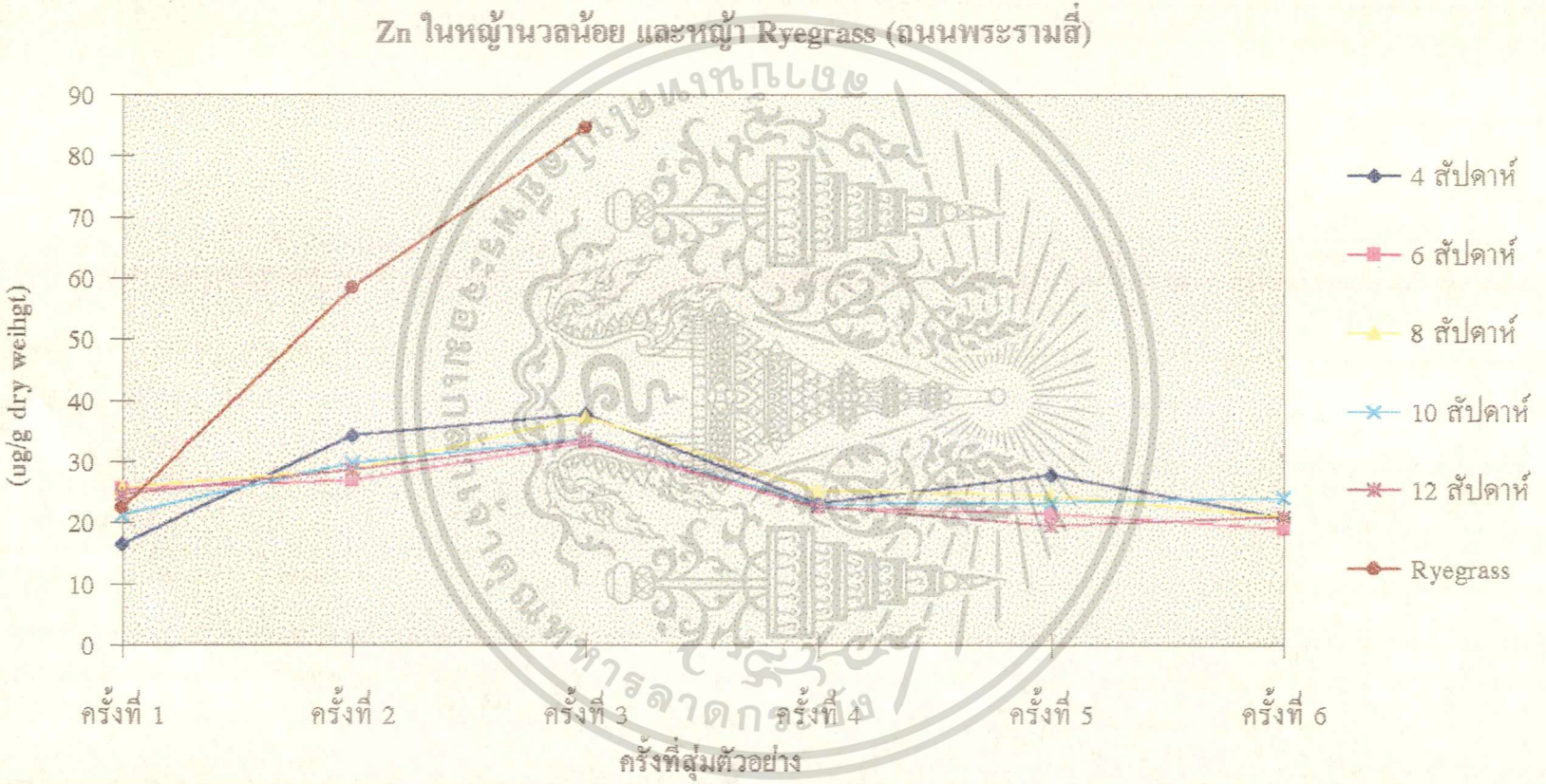
[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 6$ , $p < 0.05$

- *ถนนพระรามสี่* หญ้าอายุ 6 สัปดาห์มีการดูดซับสังกะสี มากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 19.10 และ 33.14 ppm. ตามลำดับ หญ้าอายุ 4 สัปดาห์มีการดูดซับสังกะสีน้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 16.53 และ 37.86 ppm. ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 22.59 และ 84.65 ppm. ($p<0.05$)

- *เขตลาดกระบัง* หญ้าอายุ 8 สัปดาห์มีการดูดซับสังกะสี มากที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 17.57 และ 25.82 ppm. ตามลำดับ หญ้าอายุ 4 สัปดาห์มีการดูดซับสังกะสี น้อยที่สุด โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดเป็น 16.35 และ 22.21 ppm. ตามลำดับ ในหญ้า Ryegrass มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น 19.11 และ 42.59 ppm. ($p<0.05$)

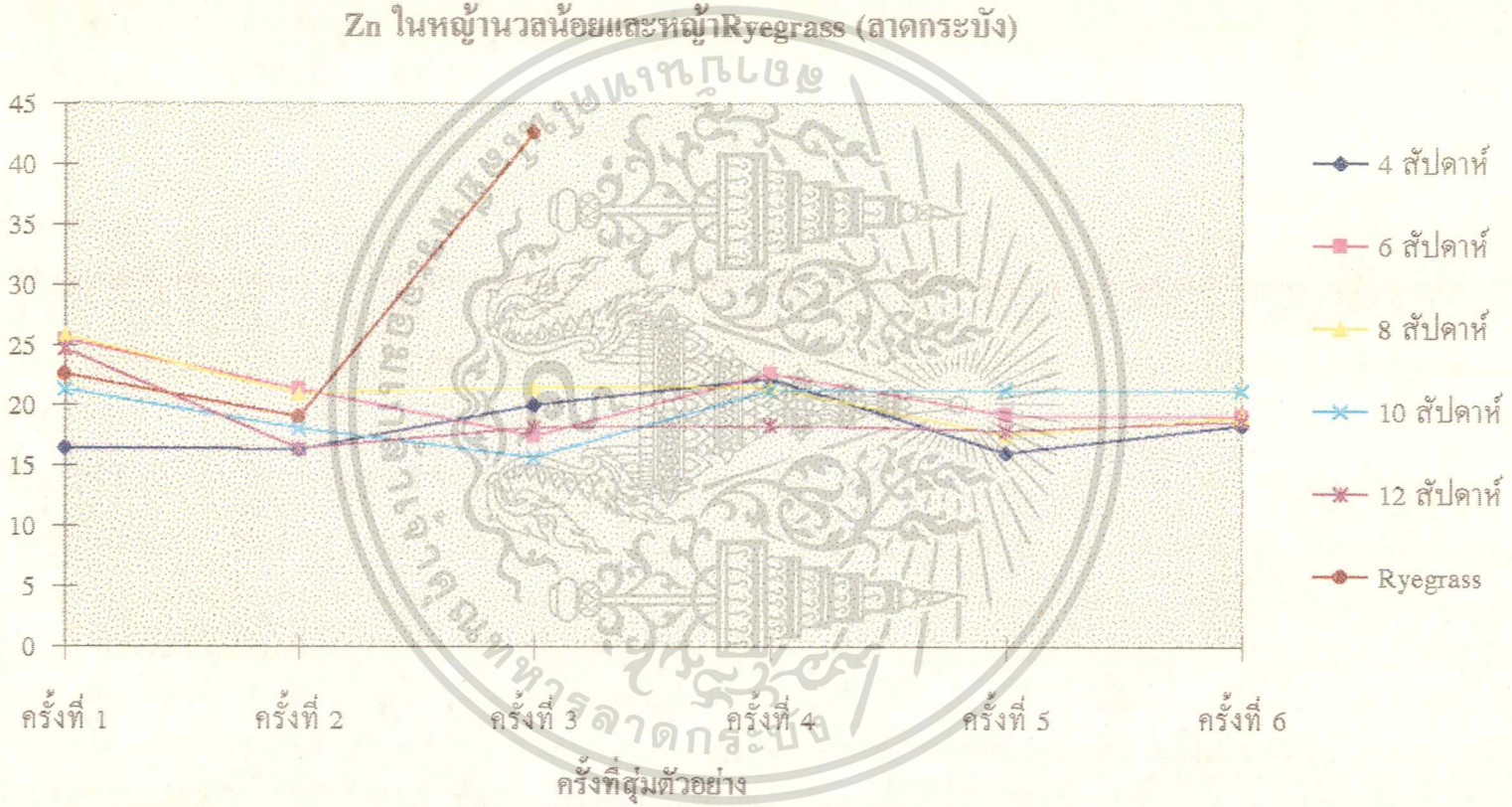
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 24




แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้าRyegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่ การสะสมของสังกะสีในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ แต่การสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น

รูปที่ 25




แสดงความเข้มข้นของสังกะสีในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ และหญ้าRyegrass อายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง การสะสมของสังกะสีในหญ้านวลน้อยมีค่าคงที่ แต่การสะสมในหญ้า Ryegrass มีค่าเพิ่มขึ้น

*2. ความสัมพันธ์ของการล้างกับการสะสมโลหะหนัก*

การศึกษาความสัมพันธ์ของการล้างต่อการสะสมของโลหะหนักในอากาศบนใบของหญ้าสามารถใช้วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากดินไปสู่หญ้าและยังแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณฝุ่นอยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาด้วย จากตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างหญ้าที่แยกนำไปล้างและไม่ล้างด้วยน้ำกลั่น พบว่า ในหญ้าที่ไม่ล้างจากถนนพระรามสี่มีการสะสมโลหะหนักมากกว่าหญ้าจากเขตลาดกระบัง เมื่อนำตัวอย่างเดียวกันนี้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก พบว่าประมาณโลหะหนักในหญ้าจากถนนพระรามสี่มีจำนวนลดลงมากกว่าหญ้าจากเขตลาดกระบัง โดยความเข้มข้นของ Cr, Cu, Pb และ Zn ในหญ้าจากถนนพระรามสี่ลดลง 39.43, 28.10, 56.75 และ 33.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของ Cr, Cu, Pb และ Zn ในหญ้าจากเขตลาดกระบังลดลงเพียง 8.63, 8.37, 25.52 และ 8.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 14

แสดงผลของการล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นที่มีต่อความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (μg/g dry weight )[a] | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| จุดสุ่ม | การล้าง | [Cr] | [Cu] | [Pb] | [Zn] |
| พระรามสี่ | ไม่ล้าง | 8.80 | 21.21 | 10.82 | 49.99 |
| | ล้าง | 5.33 | 15.25 | 4.68 | 33.21 |
| | % การล้าง | 39.43 | 28.10 | 56.75 | 33.57 |
| ลาดกระบัง | ไม่ล้าง | 5.68 | 8.84 | 0.98 | 23.28 |
| | ล้าง | 5.19 | 8.10 | 0.73 | 21.36 |
| | % การล้าง | 8.63 | 8.37 | 25.52 | 8.25 |

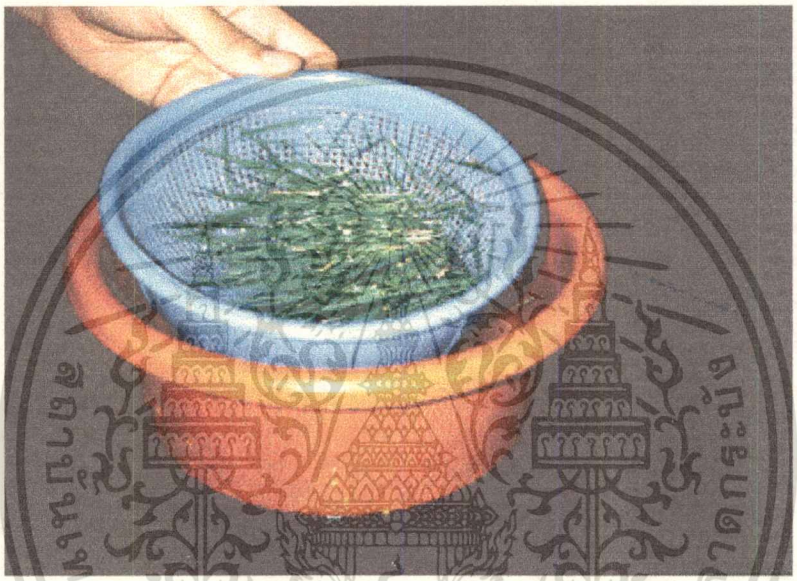
[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักในอากาศในถนนพระรามสี่มีมากกว่าในเขตลาดกระบัง และส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่น ซึ่งเกาะอยู่บนใบหญ้าซึ่งสามารถล้างออกด้วยน้ำกลั่น นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า ปริมาณโลหะหนักในหญ้าที่สุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 เขตมีปริมาณ Pb ลดลงมากที่สุด ในขณะที่โลหะหนักชนิดอื่นมีปริมาณลดลงใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณ Pb ในหญ้าจากถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระรามสี่มีปริมาณลดลงมากกว่าหญ้าจากเขตลาดกระบัง แสดงให้เห็นว่า ถนนพระรามสี่มีปริมาณ Pb ในอากาศมากกว่าเขตลาดกระบัง ซึ่ง Pb เหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดจากรถยนต์ และผลจากการล้างด้วยน้ำกลั่นยังแสดงให้เห็นว่าโลหะหนักในหญ้าส่วนใหญ่ได้มากจากดิน

รูปที่ 26



แสดงการล้างหญ้านวลน้อยในน้ำกลั่น

จากการวิเคราะห์โลหะหนักในหญ้าก่อนสุ่มตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณโลหะหนักในหญ้าทั้ง 2 ชนิดค่อนข้างสูง อาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีโลหะหนักปะปนอยู่ เมื่อนำดินมาปลูกหญ้า ทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในหญ้าก่อนการทดลอง ประการที่สอง ในการทดลองนี้ใช้ลำต้นใต้ดินในการปลูกหญ้า ซึ่งเนื้อเยื่อเหล่านี้มีโลหะหนักสะสมอยู่ก่อนแล้ว เมื่อหญ้าเจริญเติบโตขึ้นหญ้าจะได้รับโลหะหนักจากเนื้อเยื่อนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในดินก่อนและหลังการทดลอง

| | | ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก (μg/g dry weight )[a] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | พื้นที่ | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
| ก่อนการทดลอง | - | 0.90 | 20.17 | 28.71 | 5.77 | 24.60 |
| หลังการทดลอง | พระรามสี่ | 0.32 | 24.42 | 39.41 | 9.02 | 36.36 |
| | ลาดกระบัง | 0.20 | 21.23 | 37.06 | 7.29 | 32.76 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

จากตารางที่ 15 พบว่า หลังการทดลองปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดในดินมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ดินได้รับจากอากาศ เมื่อพิจารณาการสะสมโลหะหนักในหญ้านวลน้อย พบว่า หญ้านวลน้อยสามารถตอบสนองต่อปริมาณโลหะหนักในอากาศได้ดี โดยแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของพื้นที่ที่มีระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในอากาศสูงและความเข้มข้นของโลหะหนักในอากาศได้อย่างชัดเจน

*3. ความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้งกับการสะสมโลหะหนัก*

นอกจากกากสะสมของโลหะหนักในหญ้า จะขึ้นอยู่กับอายุและปริมาณโลหะหนักในอากาศแล้ว ยังสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของหญ้าด้วย โดยในการทดลองนี้จะได้ ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นผลิตผลที่ได้จากการเจริญเติบโต กับการสะสมโลหะหนักในระหว่างที่ได้นำไปสุ่มตัวอย่างอากาศ

ในขั้นตอนนี้จะใช้การเปรียบเทียบหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบหาปริมาณโลหะหนักในหญ้าทั้งสองชนิด แสดงในตารางที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 16

แสดงน้ำหนักแห้งของหญ้านวลน้อยที่มีอายุ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ 12 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง

| | | น้ำหนักแห้ง(กรัม/กระถาง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | หญ้านวลน้อย | | | | | Ryegrass |
| จุดสุ่มตัวอย่าง | วันที่สุ่มตัวอย่าง | 4 (สัปดาห์) | 6 (สัปดาห์) | 8 (สัปดาห์) | 10 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) | 12 (สัปดาห์) |
| ถนนพระรามสี่ | 12 ก.พ. 2539 | 6.85 | 1.14 | 2.71 | 3.41 | 4.52 | 8.56 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 0.88 | 0.79 | 1.23 | 0.64 | 0.98 | 1.825 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 1.32 | 1.44 | 1.91 | 0.81 | 1.04 | 0.69 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 4.38 | 6.05 | 4.30 | 4.82 | 5.68 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 5.48 | 4.33 | 5.90 | 4.18 | 4.76 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 7.24 | 3.28 | 4.11 | 2.32 | 2.92 | - |
| เขตลาดกระบัง | 12 ก.พ. 2539 | 3.60 | 2.76 | 3.10 | 4.93 | 3.54 | 8.46 |
| | 15 มี.ค. 2539 | 2.47 | 1.14 | 2.18 | 1.77 | 1.24 | 1.62 |
| | 30 มี.ค. 2539 | 1.41 | 1.23 | 1.84 | 0.92 | 0.72 | 0.52 |
| | 15 เม.ย. 2539 | 2.64 | 5.40 | 2.27 | 2.76 | 3.28 | - |
| | 30 เม.ย. 2539 | 8.85 | 10.79 | 7.50 | 7.85 | 6.24 | - |
| | 15 พ.ค. 2539 | 5.30 | 5.36 | 4.64 | 5.53 | 6.28 | - |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ย $n = 4$ , $p < 0.05$

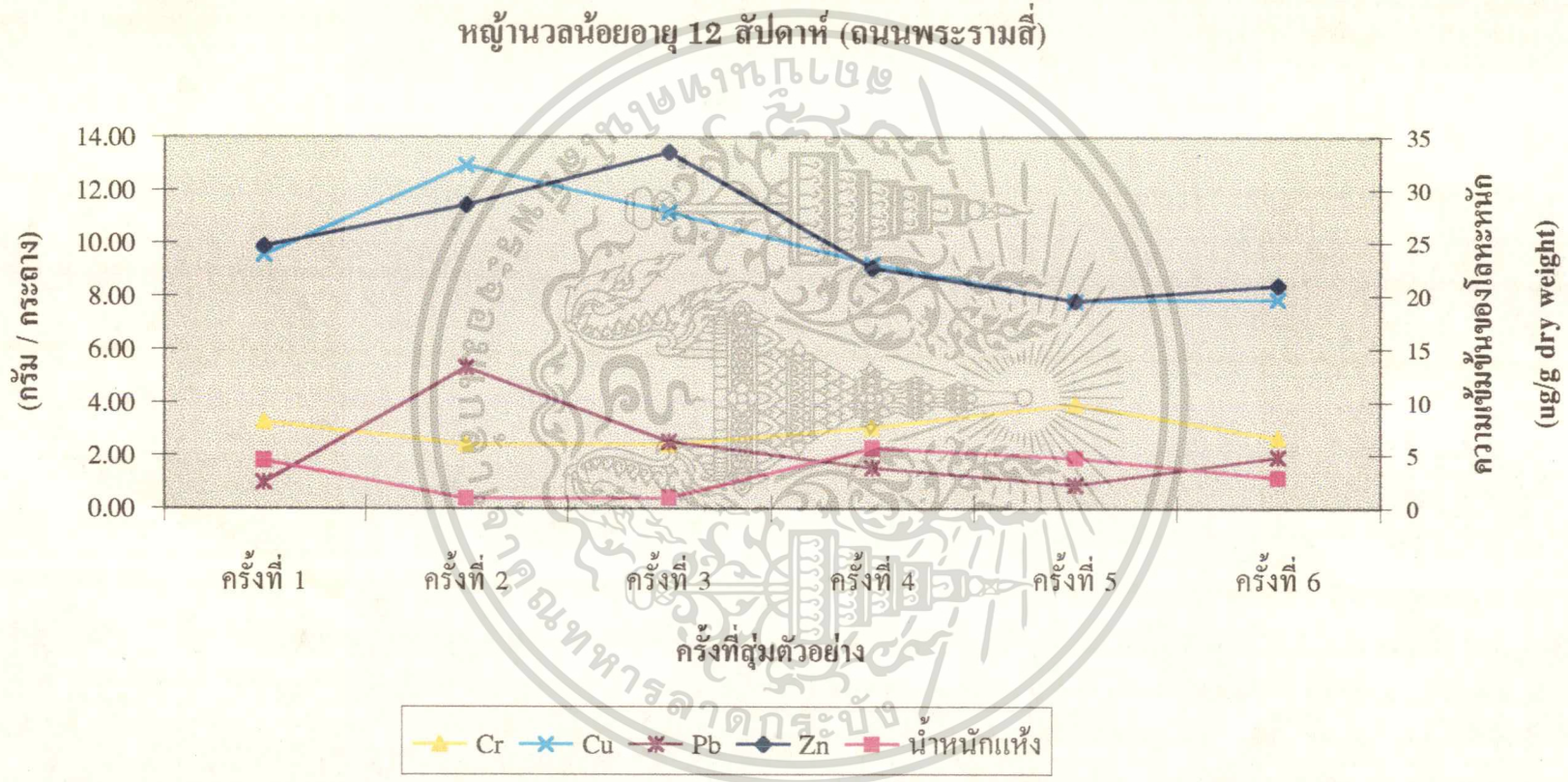
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับปริมาณโลหะหนักในหญ้าจากถนนพระรามสี่และเขตลาดกระบัง ดังแสดงในรูปที่ 26 - 27 พบว่า

* โครเมียม (Cr)

หญ้านวลน้อยที่มีอายุต่างกันที่สุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 เขต มีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับปริมาณโลหะหนักแบบแปรผัน คือ เมื่อสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 12 ก.พ. 2539 จนถึงวันที่ 30 มี.ค.2539 หญ้าน้ำหนักแห้งลดลงจะมีความเข้มข้นของโลหะหนักลดลง และน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นหลังจากสุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 15 เม.ย. 2539 ทำให้ปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 27




แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยที่มีอายุ ณ วันที่สุ่มตัวอย่าง 12 สัปดาห์ จากถนนพระรามสี่ พบว่า ความเข้มข้นของ Cu, Pb และ Zn เพิ่มขึ้นแต่ Cr ลดลง เมื่อน้ำหนักแห้งลดลง



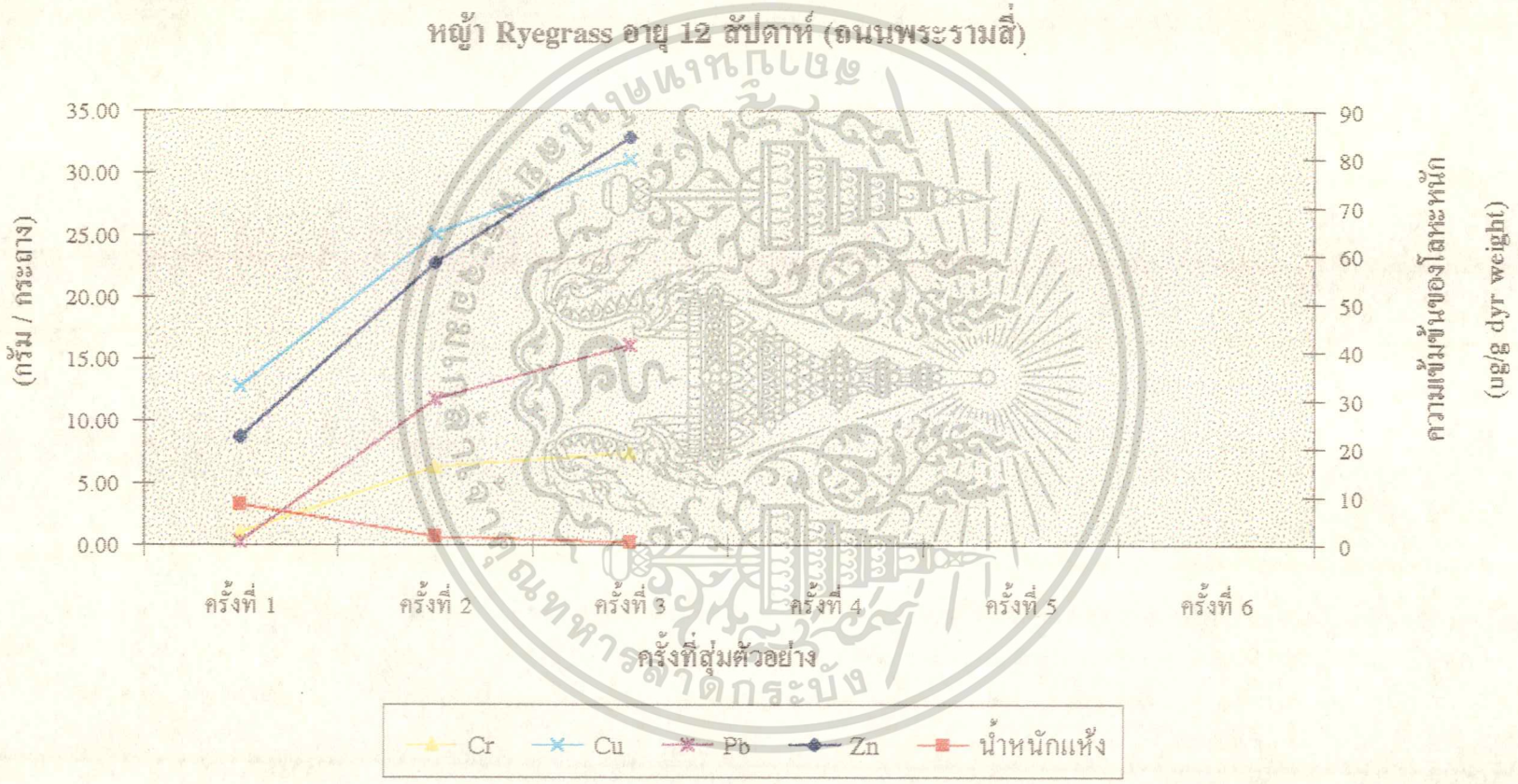
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รูปที่ 28 หญ้าแฝกห้วยขมิ้น 12 สัปดาห์ (เมษายน-กรกฎาคม ๒๕๔๖)

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้าแฝกห้วยขมิ้น ณ วันที่สุ่มตัวอย่าง 12 สัปดาห์ จากจุดสุ่มตัวอย่างตะกอนดินระดับ
พบว่า ความเข้มข้นของ Zn, Cr และ Cu ลดลง แต่ Pb เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักแห้งลดลง

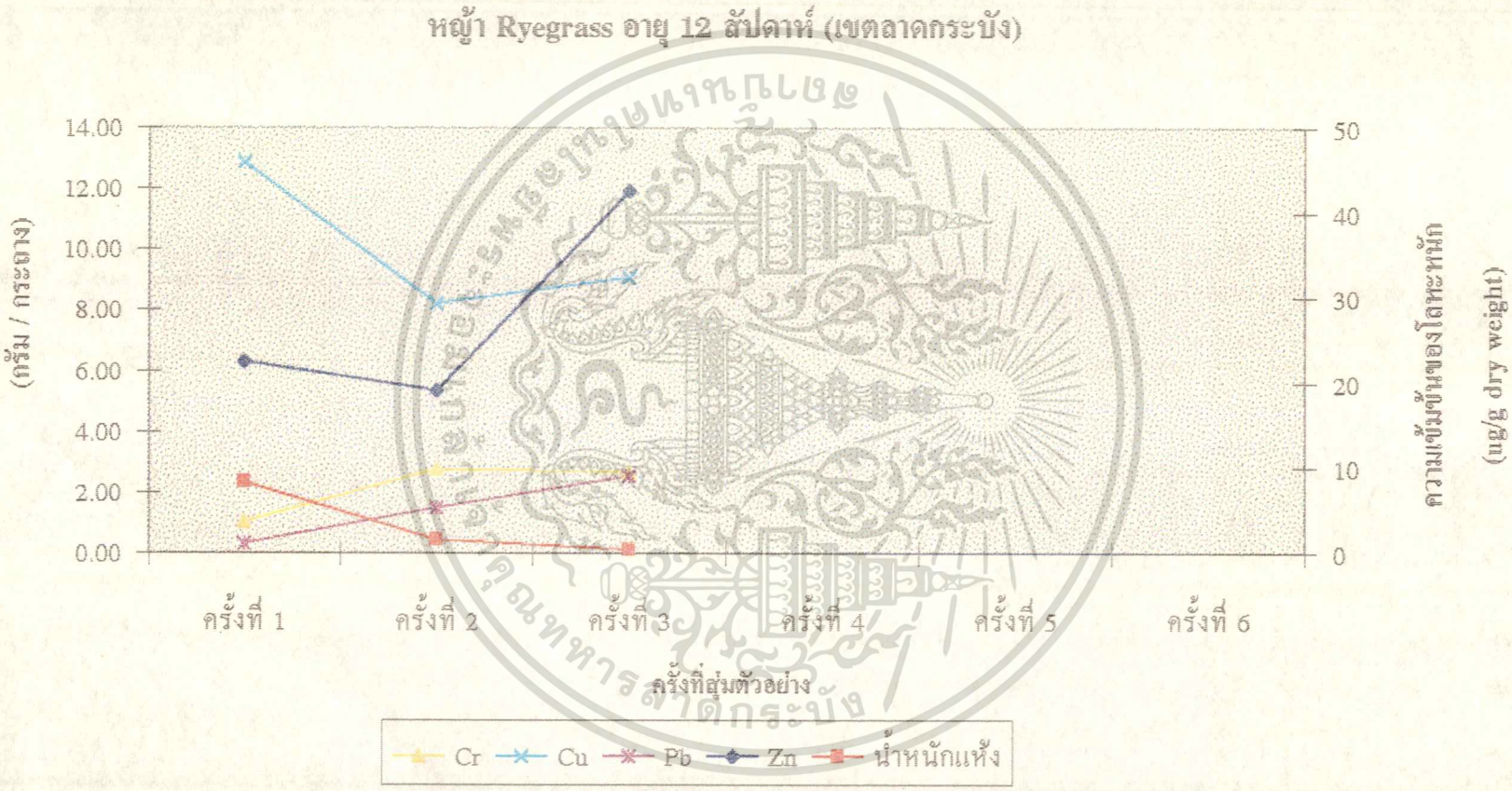
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 29




แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ ณ วันที่สุ่มตัวอย่าง 12 สัปดาห์ จากจุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ พบว่า ความเข้มข้นของ Cr, Cu, Pb และ Zn เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักแห้งลดลง

รูปที่ 30




แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้า Ryegrass ที่มีอายุ ณ วันที่สุ่มตัวอย่าง 12 สัปดาห์ จากจุดสุ่มตัวอย่างเขตลาดกระบัง พบว่า ความเข้มข้นของ Cr, Pb และ Zn เพิ่มขึ้น แต่ Cu ลดลง เมื่อน้ำหนักแห้งลดลง

ว่า ปริมาณโครเมียมในหญ้าขึ้นอยู่กับสภาวะของหญ้าไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณโลหะหนักในอากาศ คือปริมาณโครเมียมในหญ้าส่วนใหญ่หญ้าได้รับจากดิน ซึ่งเมื่อหญ้าเจริญเติบโตได้น้อยความสามารถในการดูดซับโลหะหนักก็จะลดลงด้วย และเพิ่มขึ้นเมื่อหญ้าเจริญเติบโตได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำหนัก

* ตะกั่ว (Pb)

หญ้านวลน้อยที่มีอายุต่างกันที่สุ่มตัวอย่างจากทั้ง 2 เขต มีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับปริมาณโลหะหนักแบบแปรผกผัน คือ หลังจากสุ่มตัวอย่างน้ำหนักแห้งของหญ้าลดลงแต่ความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น และหลังจากวันที่ 30 มี.ค. 2539 น้ำหนักแห้งค่อยๆเพิ่มขึ้น ปริมาณตะกั่วในหญ้าก็เพิ่มขึ้นด้วย อาจเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก ปริมาณตะกั่วในหญ้านวลน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณโลหะในอากาศคือเมื่อน้ำหนักแห้งลดลงหญ้าเจริญเติบโตได้น้อย และปริมาณการดูดซับตะกั่วจากดินก็น้อย แต่ปริมาณตะกั่วที่ได้รับจากอากาศทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่หญ้าได้รับต่อน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการสะสมตะกั่วในหญ้าเพิ่มขึ้น และเมื่อน้ำหนักแห้งของหญ้าเพิ่มขึ้นนั่นหมายถึงหญ้าเจริญเติบโตได้มากกว่าในระยะเวลาที่สุ่มตัวอย่างเท่ากันทำให้อัตราการสะสมโลหะหนักในหญ้าลดลง สาเหตุประการที่ 2 เกิดจากความเป็นพิษของตะกั่ว เมื่อหญ้าสะสมตะกั่วเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับความเป็นพิษทำให้หญ้าเกิดการตอบสนองต่อตะกั่วโดยมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยลงโดยดูได้จากน้ำหนักแห้งลดลง และเมื่อหญ้าสะสมตะกั่วน้อยลงจนไม่ถึงระดับความเป็นพิษทำให้หญ้ามีอัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น

* ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn)

หญ้านวลน้อยมีการดูดซับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดแตกต่างจากโครเมียมและตะกั่ว โดยหญ้าที่สุ่มจากถนนพระรามสี่มีการดูดซับโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดแบบแปรผกผัน คือ ตั้งแต่วันที่ 12 ก.พ. 2539 ถึงวันที่ 30 มี.ค. 2539 หญ้ามีน้ำหนักแห้งลดลงแต่ปริมาณโลหะหนักเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณโลหะหนักลดลง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้ที่สุ่มตัวอย่างมาจากถนนพระรามสี่ซึ่งเป็นแหล่งที่มีมลพิษในอากาศสูงกว่าเขตลาดกระบัง ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกับตะกั่ว ส่วนหญ้าที่สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบังจะขึ้นอยู่กับสภาวะของหญ้าที่ได้รับจากดิน โดยปริมาณโลหะหนักในอากาศมีน้อยมากโดยไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้าที่สุ่มจากเขตลาดกระบัง ซึ่งเกิดเหมือนกับโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่น่าสังเกตว่า จากการสุ่มตัวอย่างหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ที่ตั้งแต่วันที่ 12 ก.พ. 2539 ถึง 30 มี.ค. 2539 หญ้าทั้ง 2 ชนิดมีน้ำหนักแห้งต่อกระถางลดลง โดยเฉพาะหญ้า Ryegrass ตายหลังจากสุ่มตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 มี.ค. 2539 แต่หลังจากนั้นได้สุ่มตัวอย่างหญ้านวลน้อยต่อไป ปรากฏว่าหญ้านวลน้อยมีการเจริญเติบโตดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะหญ้า Ryegrass เป็นหญ้าในเขตหนาวซึ่งโดยปกติจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าในเขตร้อน ฉะนั้น เมื่อนำมาปลูกในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นช่วงหน้าร้อน หญ้า Ryegrass ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมและตายหลังจากสุ่มตัวอย่างได้เพียง 1 เดือน ซึ่งจากการศึกษาของ Deu และ Kreeb (1993) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสะสมโลหะหนักในพืชจะเกิดจากทั้ง ปัจจัยภายในและภายนอก ปัจจัยภายในได้แก่อัตราการเจริญเติบโตของพืช ในระหว่างที่พืชมีการเจริญเติบโตพืชจะได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณที่แน่นอน เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจะมีปริมาณน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นและส่งผลให้โลหะหนักเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพืชเจริญเติบโตช้าลง ปริมาณโลหะจะลดลงอย่างรวดเร็ว เช่น Cu และ Zn ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช และปริมาณส่วนเกินที่พืชได้รับจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ความเข้มข้นของโลหะหนักในอากาศ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะเป็นทำให้ปริมาณโลหะหนักบนใบมีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้าพื้นเมือง พบว่าหญ้านวลน้อยมีการสะสมทองแดง(Cu) ตะกั่ว(Pb) และสังกะสี(Zn) ได้ดีเหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีสำหรับโลหะหนักทั้งสามชนิดนี้ ส่วนหญ้ามาเลเซียเหมาะสมที่จะใช้เป็นดัชนีสำหรับ แคดเมียม(Cd) และโครเมียม (Cr) และยังพบว่า หญ้านวลน้อยสามารถใช้เป็นดัชนีสำหรับการเฝ้าระวังทางชีวภาพด้วยวิธี แบบกัมมันต์ (Active biomonitoring) ได้ดีกว่าหญ้ามาเลเซีย ทั้งนี้เนื่องจากหญ้ามาเลเซียมีลักษณะทางกายภาพของลำต้นที่เป็นอุปสรรคต่อการเก็บตัวอย่างและการทำให้มีมาตรฐาน นอกจากนี้ หญ้านวลน้อยยังสามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในอากาศ และในใบที่พืชได้รับตลอดการทดลองได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะปริมาณตะกั่วซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากรถยนต์

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยที่มีอายุต่างกัน คือ 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ไม่สามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า หญ้าที่มีอายุแตกต่างกันมีแนวโน้มในการดูดซับโลหะหนักแบบคงที่ นั่นคือมีความเข้มข้นของโลหะหนักและรูปแบบการดูดซับโลหะหนักไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ที่มีอายุเท่ากัน จะเห็นว่าหญ้า Ryegrass ที่ปลูกด้วยเมล็ดมีการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อก่อนการทดลองน้อยกว่าหญ้านวลน้อย เมื่อให้ระยะเวลาในการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้น Ryegrass มีการดูดซับโลหะหนักเพิ่มมากขึ้นด้วย เห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักในหญ้านวลน้อยกับหญ้า Ryegrass ยังพบว่า หญ้า Ryegrasมีความไวในการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าหญ้านวลน้อย แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตลอดการทดลอง อาจเนื่องมาจากหญ้า Ryegrass เป็นหญ้าในเขตหนาวไม่ทนต่อสภาพภูมิอากาศเขตร้อน แต่หญ้านวลน้อยซึ่งเป็นหญ้าในเขตร้อนทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ดีกว่า

จากการสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศต่างกันโดยเฉพาะความแตกต่างของปริมาณมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ พบว่า หญ้าที่วางในบริเวณถนนพระรามสี่มีปริมาณโลหะหนักทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าหญ้าที่สุ่มตัวอย่างจากเขตลาดกระบัง และหญ้าทั้งสองชนิดสามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในอากาศของพื้นที่ที่สุ่มตัวอย่างทั้งสอง และยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะหนักในอากาศกับการสะสมในหญ้าได้เป็นอย่างดี

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้ในการศึกษาการกระจายของมลพิษในอากาศ โดยการทำแผนที่การกระจายของมลพิษที่สนใจรอบ ๆ แหล่งกำเนิดได้ ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับการศึกษาในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ได้ เพราะเสียค่าใช้จ่ายในการศึกษาต่ำ

## ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโลหะหนักในอากาศกับอายุของหญ้าได้ ซึ่งอาจเป็นเพราะการใช้ลำต้นใต้ดินในการปลูกแทนเมล็ด และดินที่ใช้ในการทดลองก็ไม่ใช่ดินมาตรฐาน ยังมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น หากไม่สามารถหาดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักก่อนการทดลองได้ควรใช้สารชนิดอื่นที่มีธาตุอาหารแก่พืชในเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแทน และควรปลูกหญ้าด้วยเมล็ด

นอกจากนี้ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น การล้าง การย่อยหญ้า ซึ่งในการทดลองใช้การย่อยแบบเปียกด้วยกรด และเป็นระบบเปิด อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการปนเปื้อนโลหะหนักจากตัวอย่างอื่น ๆ ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


1. Ainworth, N. & J. A. Cook, "Distribution of antimony in contaminated grassland : I - Vegetation and soils." Environmental pollution 65 (1990) 65-77.
2. Ainworth, N. & J. A. Cook, "Distribution of antimony in contaminated grassland : II - Small mamals and Invertibrates." Environmental pollution 65 (1990) 79-87.
3. Baldocchi, D. D., Bruce B. Hicks & Tilden P. Meyers., "Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods." Ecology 69 (5) (1988) 1331-1340.
4. Balsberg Pahlsson, A. - M., "Toxicity og heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. " Water, Air and Soil pollution 47 (1989) 287-319.
5. Bergkvist, B., Lennart Folkeson & Dan Berggren, "Fluxs of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni temperate forest ecosystems."Water, Air and Soil pollution 47 (1989) 217-289.
6. Berny, P. J., L. Marie Cote, & William B. Buck, "Relationship between soil lead, dust lead and blood concentrations in pets and their owners : Evaluation of soil lead threshold values. " Environmental Research 67 (1994) 84-97.
7. Bevan, R. J. & G. N. Greenhalgh, "Rhytisma acerinum as biological indicator of pollution." Environmental pollution 10 (1976) 271-285.
8. Bogle, M. A., Ralph R. Turner & Charles F. Baes III, "Lead in vegetation, forest floor and soils of the great smoky mountains national park." Environment International 13 (1987) 235-246.
9. Broman, D., "Spatial and seasonal variation of major and trace elements in settling particulate matter in an estuarine-like archipelago area in the northern Baltic proper." Environmental pollution 85 (1994) 243-257.
10. Brown, S. L., Rufus L. Chaney, J. Scott Angle & Alan J. M. Baker, "Zinc and cadmium uptake by Hyperaccumulalator *Thlaspi caerulescens* and metal tolerant *Silene vulgaris* grown on sludge-amended soils." Environ. Sci. Technol. 29 (1995) 1581-1586.
11. Bruteig, I. E., " The epiphytic lichen hypogymnia physodes as biomonitor of atmospheric nitrogen and sulphur deposition in Norway." Environmental Monitoring and assessment 26 (1993) 27-47.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Clapperton, M. J. & David M. Reid, "Effects of sulfur dioxide ($SO_2$) on growth and flowering of $SO_2$-tolerant and non-tolerant genotypes of *Phleum pretense*." Environmental pollution 86 (1994) 251-258.

13. Crop, N. & A. J. Morgan, " Accumulation of heavy metals from polluted soils by the earthworm, *Lumbricus rubellus* : Can laboratory exposure of 'control' worms reduce biomonitoring problems?" Environmental pollution 74 (1991) 39-52.

14. Dämmgen, U., Lüdger Grünhage, Alwin Küster & Hans-Jürgen Jäger, "Response of grassland ecosystem to air pollutants : II - The chemical climate : Fluxes of sedimenting airborne matter."

15. Dedolph, R., Gary Ter Harr, Richard Holtzman and Henry lucas, Jr., "Sources of lead in Perenial Ryegrass and Radishs." Environ. Sci Technol. 4 (1970) 217-223.

16. Deu M. And Karl Heinz Kreebs, "Seasonal variation of foliar metal content in three fruit tree species." In : Markert, B., Plant as Biomonitor, VCH, Weinheim, 1993.

17. Djingova, R. And I. Kuleff, "Monitoring of heavy metal pollution by Taraxacum officinale" in : Markert, B., Plant as Biomonitor, VCH, Weinheim, 1993.

18. Dmuchowski, W. & Andrzej Bytnerowicz, "Monitoring environmental pollution in Poland by chemical anlysis of scots pine (Pinuu sylvestris L.) needes." Environmental pollution 87 (1995) 87-104.

19. Ellenberg, H.,et al., Biological Monitoring : Signals from the environment. Deutsche, Eschborn, 1991.

20. Fatoki, O. S., "Colorimetric determination of lead in tree leaves as indicators of atmosheric pollution." Environment International 13 (1987) 369-373.

21. Fischer, R.. G., Spyridon rapsonmanikis & Meinrat O. Andreae. "Bioaccumulation of Methylmercury and transformation of inorganic mercury by microfungi." Environ. Sci. Technol. 29 (1995) 993-999.

22. Gingell, S. M., R. Campbell & M. H. Martin, "The effect of zinc, lead and cadmium pollution on the leaf surface microflora." Environmental pollution 11 (1976) 25-37.

23. Gonzalez, C. M., Silvia S. Casanovas & Maria L. Pignata, "Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing Ramalina ecklonii (spreng.) Mey. And flot. In Cordoba, Argentina." Environmental pollution 91 No. 3 (1996) 269-277.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. Goodman, G. T. & T. M. Roberts, "Plants and soil as indicator of metals in the air." Environment International 231 (1971) 287-292.

25. Grünhage, L., Ulrich Dämmgen, Hans-Dieter haenel & hans-Jürgen Jäger, "Response of grassland ecosystem to air pollutants : III - The chemical climate : Vertical flux densities of gaseous species in the atmosphere near ground." Environmental pollution 81 (1993) 163-171.

26. Harr, G. T., "Air as a source of lead in edible crops." Environ. Sci. Technol. 4 (1970) 226-229.

27. Harrison, R. M., Duncan P. H. Laxan & Simon J. Wilson, "Chemical associations of lead, cadmium, copper and zinc in street dusts and roadside soils." Environ. Sci. Thecnol. 15 No. 11 (1981) 1378-1383.

28. Hewitt, C. N. & G. B. B. Candy, " Soil and dust heavy metal concentrations in and around Cuence, Ecuador." Environmental pollution 63 (1990) 129-136.

29. Janssen, M. P. & Rene F. Hogervorst, "Metal accumulation in soil arthropods in relation to micro-nutrients." Environmental pollution 79 (1993) 181-189.

30. Kakulu, S. E., "Biological monitoring of atmospheric trace metal deposition in north-eastern Nigeria." Environ. Sci. Technol 28 (1993) 137-143.

31. Keller, Th., R. Matyssek & M. S. Gunthardt-goerg, " Beech folige as a biomonitor of pollution near a waste incinerator." Environmental pollution 85 (1994) 185-189.

32. Khan, S., Nazar Khan & Nusrat Iqbal, "Studies on the effectsof some organic pollutants on the heavy metals transport in an Indian soil." Environmental pollution 70 (1991) 109-115.

33. Kim, N. D. & Jeck E. Fergusson, " Seasonal variations in the concentration of cadmium, copper, lead and zinc in leaves of the horse chesnut (*Aesculus hippocastanum* L.)" Environmental pollution 86 (1994) 89-97.

34. Klumpp, A. & Gabriele Klumpp, "Plant as bioindicators of air pollution at the serra do mar near the industrial complex of cubatao, Brazil." Environmental pollution 85 (1994) 109-116.

35. Lieth, H. & B. Markert, Element concentration cadasters in ecosystems : Method of assessment and evaluation. VCH, Weinheim, 1990.

36. Little, P. & M. H. Martin, "Biological monitoring of heavy metal pollution." Environmental pollution 6 (1974) 1-19.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37. Little, P., "A study of heavy metal concentration of leaf surfaces." Environmental pollution 5 (1973) 159-172.

38. Liu, D., Wusheng Jiang, Fengmei Zhao & Cheng Lu, "Effects of lead on root growth, cell division and nucleolus of *Allium cepa*." Environmental pollution 86 (1994) 1-4.

39. Luo, Y. & David L. Rimmer, "Zinc-copper interaction affecting plant growth on a metals-concentrated soil." Environmental pollution 88 (1995) 79-83.

40. Mansfield, T. A., Effects of air pollutants on plants. Cambridge, London, 1976.

41. Markert, B., Plants as biomonitors : Indicatorfor heavy metals in the terrestrial environment, VCH, Weinheim, 1993.

42. Miller, E. K. & Andrew J. Friedland, "Lead migration in forest soils : Response to changing atmospheric inputs." Environ. Sci. Technol. 28 No.4 (1994) 662-669.

43. Motto, H. L., Robert H. Daines, Daniel M. Chilko, Carlotto K. Motto, "Lead in soil and plants : Its relationship to traffic volume and proximity to highways." Environ. Sci. Technol 4 (1970) 231-237.

44. Onianwa P. C. & S. O. Ajayi, "Heavy metal contents of epiphytic acrocarpoys mosses within inhabited sites in southwast Nigeria." Environmental International 13 (1987) 191-196.

45. Otte, M. L. & A. H. B. M. Wijte, "Environmental variation between habitats and uptake of heavy metals by *Urtica dioica*." Environ. Sci. Technol 28 (1993) 293-275.

46. Otztürk, M. A. And I. Türkan. "Heavy metal accumulation by plants growing along side the motor roads : A case study from Turkey." In : Markert, B., Plant as Biomonitor VCH, Weinheim, 1993.

47. Pacyna, J. M., J. Munch and F. Axanfeld, "European inventory of trace metal emissions to the atmosphere." In : Vernet, J. - P. Heavy metal in the environment, Elsevier, Amsterdam, 1991.

48. Panda, K. K., Maheswar Lenka & Brahma B. Panda, "Monitoring and assessment of mercury pollution in vicinity of a chloralkali plant. II - plant-availability, tissue-concentration and genotoxicity of mercury from agricultural soil contaminated with solid waste assessed in barley (Hordeum vulgare L.)." Environmental pollution 76 (1992) 33-42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49. Paterson, S., Donald Mcckey & Cralg McFarlane, "A model of organic chemical uptake by plants from soil and the atmosphere." Environ. Sci. Technol 28 (1994) 2259-2266.

50. Peichl, L. & D. Reiml. "Biological effect-test systems for early recognition of unexpected environmental changes." Monitorimg and assessment 15 (1990) 1-12.

51. Smith, S. R., "Effect of pH on avilabily to crops of metals in sewage sludge-treated soils. II- Cadmium uptake by crops and implications for human dietary intake."Environmental pollution 85 (1994) 321-327.

52. Smith, S. R. "Effect of pH on availabily to crops of metals in sewage sludge-treated soils. I- Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass." Environmental pollution 85 (1994) 321-327.

53. Steubing, L. & H. - J. Jager, Monitoring of pollutants by plants method and problems. Dr W. Junk, Netherlands,1982.

54. Stevens, J. B. "Disposition of toxic metals in the agricultural food chain. II - Steady-state bovine tissue biotrasfer factors." Environ. Sci. Technol 26 No.10 (1992) 1915-1921.

55. VDI 3792 Bl. 3 Measurement of the response dose of ambient lead in plants with standardized grass cultures. 1991.

56. VDI 3792 Bl. 5 Standardization of sampling of leaves and from trees at their nature site. 1991.

57. Wagner, G., "Large-scale screening of heavy metal burdens in higher plants." In : Markert, B., Plan as biomonitor, VCH, Weinheim, 1993.

58. Wixson, B. G. & Brain E. Davies, "Guidelines for lead in soil." Environ. Sci. Technol 28 No.1 (1994) 26A-31A.

59. Zimmerling, R., Ulrich Dämmgen, Ludger Grünhage, Alwin Küster & Hans-Jürgen Jäger, "Response of grassland ecosystem to air pollutanta : IV - The chemical climate : concentration of relevant non-criteria pollutants (trace gases and aerosols)." Environmental pollution 91 No. (1996) 139-174.

60. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. Weed, Plantation Crops in Southern Thailand. หาดใหญ่. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# พันธุ์หญ้า

**1. หญ้ามาเลเซีย** (Axzonopus compressus.)

ชื่ออื่น ๆ : Broad-leave carpet grass, savannah grass, หญ้าเห็บ

หญ้ามาเลเซียสามารถขึ้นอยู่ทั่วทุกภาคของไทย มีลักษณะใบมีสีเขียวเข้ม แบนกว้างประมาณ 2-10 มม. ระบบรากตื้น ช่อดอกยาว (ประมาณ 20-60 ซม.) การเจริญเติบโตจะเลื้อยไปตามดิน สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วด้วยไหล (Stolon) เติบโตได้ดีในพื้นที่แบบ humid และ sub-humid ในดินที่ร่วนหรือดินทรายที่อุ้มน้ำอยู่มาก และในพื้นที่มีร่มเงาแต่จะเจริญเติบโตช้าในพื้นที่ที่มีแสงแดดมาก ไม่ทนต่อสภาพแห้งแล้ง ดินเค็มและอุณหภูมิต่ำ สภาพความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากที่สุดในช่วง 4.5-5.5 มีอัตราการเจริญเติบโตในแนวดิ่งค่อนข้างช้า ใช้เลี้ยงสัตว์ได้ดี หรือป้องกันการพังทลายของหญ้าดิน และเป็นที่นิยมใช้ในการประดับตกแต่งสวน ปูสนาม หรือถนน

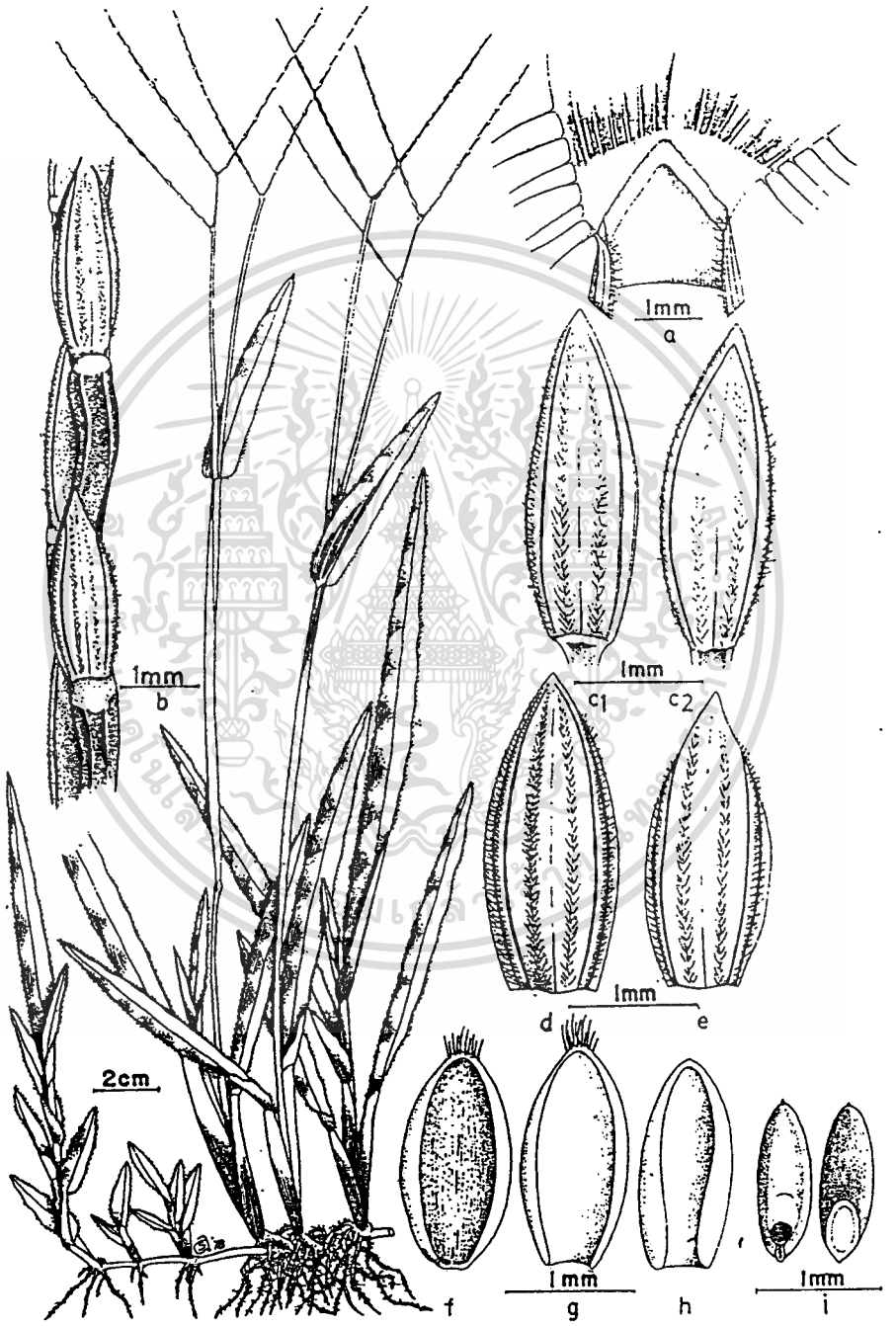
**2. Italian ryegrass** (*Lolium multiflorum* Lem.)

ชื่ออื่น ๆ : Westerwolds ryegrass

หญ้า Ryegrass ลักษณะใบมีสีเขียวเข้ม มีขน ใบแบน ผิวด้านล่างเรียบ และมันวาว ใบอาจจะยาวถึง 4 ซม. กว้าง 5-12 ซม. ใบอ่อนจะม้วนตัว มีเส้นกลางในตลอดความยาวใบ หญ้า Ryegrass มักใช้เลี้ยงสัตว์ เจริญได้ดีในเขตอบอุ่น และสภาพอากาศที่มีฝนตกมาก เช่นทางแถบตอนใต้ของออสเตรเลีย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีฝนตกหนัก และเป็นเขตที่มีการชลประทาน แต่การเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ทั้งในฤดูฝน ฤดูหนาว หรือในฤดูในไม้ผลิ และพื้นที่ที่มีอาหารอุดมสมบูรณ ส่วนในฤดูร้อนมีการเจริญเติบโตได้น้อยมาก ขยายพันธุ์ได้ง่ายด้วยเมล็ด หญ้า Ryegrass เป็นหญ้าพื้นเมืองในประเทศแถบยุโรป แอฟริกาเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 31




แสดงลักษณะหญ้ามาเลเซีย (*Axonopus compressus.*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 32

แสดงลักษณะ หญ้า Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. หญ้านวลน้อย** (Zeysia matrella)

ชื่ออื่น : Manilagrass

พันธุ์หญ้าในสกุล Zeysia ทั้งหมดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชีย หญ้าในกลุ่มนี้จะมีลักษณะการเจริญเติบโตเลื้อยไปตามพื้นดิน มีไหลและเหง้า ช่อดอกสั้น การติดเมล็ดค่อนข้างน้อย โดยทั่วไปนิยมขยายพันธุ์ด้วยการใช้ส่วนของลำต้น เช่น การใช้ลำต้นเดี่ยว ๆ การใช้แผนหญ้า ซึ่งจะเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นภายในเวลา 2 ปี หญ้านวลน้อยมีความสามารถในการปรับตัวและเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ มีความทนต่อการเหยียบย่ำ โดยไม่ตายหรือถูกทำลายไป แต่จะมีความไวต่ออากาศเย็น หญ้านวลน้อยมักจะเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีอากาศร้อน หญ้าชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียด อุดมสมบูรณ์ ระบายน้ำได้ดี และมีสภาพความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 6-7 หญ้านวลน้อยไม่ทนต่อสภาพดินที่มีน้ำท่วมขัง แต่สามารถทนต่อสภาพดินเค็มได้ดี หญ้านวลน้อยมีการขยายพันธุ์ได้ค่อนข้างช้า ซึ่งทำให้การควบคุมวัชพืชยากกว่าหญ้าพันธุ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่** 33

**แสดงลักษณะหญ้านวลน้อย** (*Zeysia matrella*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ 17

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 พ.ย. 2538

| | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (μg/g dry weight) | |
|---|---|---|---|
| พันธุ์หญ้า | โลหะหนัก | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | Cd | 0.07 - 0.32 | 0.20 ± 0.10 |
| | Cr | 4.89 - 9.47 | 6.68 ± 1.97 |
| | Cu | 5.08 - 5.90 | 5.61 ± 0.38 |
| | Pb | 0.33 - 0.90 | 0.56 ± 0.26 |
| | Zn | 29.41 - 39.18 | 34.11 ± 4.25 |
| มาเลเซีย | Cd | 0.20 - 0.38 | 0.30 ± 0.08 |
| | Cr | 2.41 - 5.08 | 3.79 ± 1.20 |
| | Cu | 5.15 - 9.53 | 6.89 ± 2.08 |
| | Pb | 0.18 - 0.69 | 0.42 ± 0.22 |
| | Zn | 21.17 - 23.69 | 22.55 ± 1.04 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 พ.ย. 2538 ณ จุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

| | | ถนนพระรามสี่ | | ลาดกระบัง | |
|---|---|---|---|---|---|
| พันธุ์หญ้า | โลหะหนัก | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | Cd | 0.15 - 0.35 | 0.25 ± 0.09 | 0.05 - 0.30 | 0.19 ± 0.13 |
| | Cr | 6.15 - 7.58 | 6.89 ± 0.59 | 4.55 - 5.10 | 4.76 ± 0.24 |
| | Cu | 8.79 - 10.50 | 9.59 ± 0.70 | 4.30 - 6.75 | 5.49 ± 1.17 |
| | Pb | 3.77 - 6.45 | 5.30 ± 1.21 | 1.50 - 2.45 | 2.18 ± 0.45 |
| | Zn | 32.59 - 40.98 | 36.87 ± 4.61 | 26.96 - 31.74 | 29.36 ± 2.55 |
| มาเลเซีย | Cd | 0.25 - 0.45 | 0.33 ± 0.10 | 0.15 - 0.45 | 0.30 ± 0.13 |
| | Cr | 5.45 - 8.20 | 6.95 ± 1.36 | 4.05 - 4.95 | 4.49 ± 0.42 |
| | Cu | 11.55 - 12.86 | 11.98 ± 0.61 | 5.99 - 8.93 | 7.46 ± 1.56 |
| | Pb | 3.10 - 4.40 | 3.90 ± 0.63 | 1.45 - 1.70 | 1.59 ± 0.13 |
| | Zn | 26.05 - 30.23 | 28.06 ± 2.19 | 22.13 - 24.41 | 23.37 ± 1.05 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 ธ.ค. 2538 ณ จุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

| | | ถนนพระรามสี่ | | ลาดกระบัง | |
|---|---|---|---|---|---|
| พันธุ์หญ้า | โลหะหนัก | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | Cd | 0.05 - 0.23 | 0.16 ± 0.08 | 0.02 - 0.05 | 0.03 ± 0.01 |
| | Cr | 4.55 - 6.43 | 5.55 ± 0.85 | 2.12 - 3.17 | 2.71 ± 0.48 |
| | Cu | 9.95 - 11.48 | 10.67 ± 0.74 | 9.16 - 9.78 | 9.47 ± 0.32 |
| | Pb | 2.03 - 3.68 | 2.95 ± 0.80 | 0.62 - 1.27 | 0.90 ± 0.28 |
| | Zn | 35.20 - 36.39 | 35.76 ± 0.57 | 25.54 - 28.43 | 26.90 ± 1.47 |
| มาเลเซีย | Cd | 0.20 - 0.30 | 0.22 ± 0.05 | 0.10 - 0.20 | 0.15 ± 0.05 |
| | Cr | 6.02 - 6.30 | 6.21 ± 0.12 | 3.63 - 4.51 | 4.02 ± 0.37 |
| | Cu | 9.96 - 10.40 | 10.26 ± 0.20 | 8.83 - 9.37 | 9.11 ± 0.24 |
| | Pb | 2.10 - 2.51 | 2.34 ± 0.18 | 0.58 - 1.15 | 0.83 ± 0.24 |
| | Zn | 29.91 - 32.51 | 30.61 ± 1.27 | 23.78 - 25.86 | 24.71 ± 1.02 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 ธ1.ค. 2538 ณ จุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

| | | ถนนพระรามสี่ | | ลาดกระบัง | |
|---|---|---|---|---|---|
| พันธุ์หญ้า | โลหะหนัก | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | Cd | 0.07 - 0.10 | 0.09 ± 0.01 | 0.03 - 0.06 | 0.05 ± 0.02 |
| | Cr | 3.38 - 5.54 | 4.44 ± 1.20 | 1.85 - 2.27 | 2.07 ± 0.18 |
| | Cu | 11.56 - 11.76 | 11.64 ± 0.09 | 9.92 - 11.10 | 10.47 ± 0.56 |
| | Pb | 2.95 - 3.66 | 3.24 ± 0.30 | 0.52 - 1.23 | 0.82 ± 0.31 |
| | Zn | 22.31 - 24.37 | 23.47 ± 0.94 | 21.03 - 22.78 | 21.60 ± 0.81 |
| มาเลเซีย | Cd | 0.05 - 0.10 | 0.07 ± 0.02 | 0.05 - 0.08 | 0.06 ± 0.01 |
| | Cr | 5.26 - 5.58 | 5.44 ± 0.13 | 3.45 - 4.06 | 3.73 ± 0.28 |
| | Cu | 9.29 - 9.47 | 9.38 ± 0.10 | 9.06 - 9.47 | 9.20 ± 0.19 |
| | Pb | 1.67 - 2.02 | 1.86 ± 0.15 | 0.52 - 0.73 | 0.63 ± 0.09 |
| | Zn | 20.95 - 24.12 | 22.60 ± 1.68 | 21.88 - 22.48 | 22.13 ± 0.27 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อยและหญ้ามาเลเซีย หลังนำไปสุ่มตัวอย่าง เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 19 ม.ค. 2539 ณ จุดสุ่มตัวอย่างถนนพระรามสี่ และเขตลาดกระบัง

| | | ถนนพระรามสี่ | | ลาดกระบัง | |
|---|---|---|---|---|---|
| พันธุ์หญ้า | โลหะหนัก | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | Cd | 0.10 - 0.14 | 0.12 ± 0.03 | 0.02 - 0.07 | 0.05 ± 0.02 |
| | Cr | 3.28 - 3.31 | 3.30 ± 0.02 | 1.12 - 2.28 | 1.62 ± 0.56 |
| | Cu | 14.93 - 15.26 | 15.09 ± 0.24 | 7.11 - 9.48 | 8.29 ± 1.33 |
| | Pb | 6.01 - 6.22 | 6.12 ± 0.15 | 0.39 - 2.01 | 1.23 ± 0.88 |
| | Zn | 31.25 - 31.45 | 31.35 ± 0.14 | 17.75 - 22.50 | 20.09 ± 2.70 |
| มาเลเซีย | Cd | 0.10 - 0.13 | 0.12 ± 0.01 | 0.04 - 0.10 | 0.06 ± 0.03 |
| | Cr | 4.46 - 6.18 | 5.33 ± 0.93 | 4.48 - 6.03 | 5.19 ± 0.73 |
| | Cu | 13.52 - 17.55 | 15.25 ± 2.04 | 7.71 - 8.50 | 8.10 ± 0.44 |
| | Pb | 3.50 - 5.64 | 4.68 ± 1.09 | 0.49 - 0.89 | 0.73 ± 0.17 |
| | Zn | 30.98 - 35.06 | 33.21 ± 2.12 | 18.07 - 24.81 | 21.36 ± 3.67 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 22

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 12 ก.พ. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (μg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | - | 4 | 4.44 - 5.17 | 4.82 ± 0.28 | 8.35 - 11.29 | 9.83 ± 1.03 | 0.16 - 0.77 | 0.38 ± 0.18 | 15.01 - 17.46 | 16.53 ± 1.00 |
| | | 6 | 1.78 - 2.13 | 1.93 ± 0.11 | 12.10 - 13.26 | 12.59 ± 0.32 | 0.27 - 0.60 | 0.37 ± 0.10 | 22.81 - 28.05 | 25.50 ± 2.29 |
| | | 8 | 2.54 - 3.27 | 2.96 ± 0.28 | 8.94 - 10.75 | 10.14 ± 0.71 | 0.13 - 0.46 | 0.30 ± 0.09 | 23.53 - 28.10 | 25.82 ± 1.55 |
| | | 10 | 3.27 - 4.98 | 4.16 ± 0.60 | 7.61 - 11.63 | 9.87 ± 1.48 | 0.22 - 0.50 | 0.35 ± 0.09 | 17.67 - 25.83 | 21.33 ± 3.31 |
| | | 12 | 2.47 - 4.18 | 3.28 ± 0.57 | 8.37 - 10.84 | 9.58 ± 0.90 | 0.64 - 1.27 | 1.00 ± 0.22 | 17.59 - 30.05 | 24.72 ± 4.64 |
| Ryegrass | - | 12 | 0.55 - 1.44 | 1.04 ± 0.25 | 10.09 - 13.82 | 12.88 ± 1.10 | 0.20 - 0.46 | 0.33 ± 0.07 | 19.45 - 27.91 | 22.59 ± 3.06 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

ตารางที่ 23

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass หลังสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 มี.ค. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (μg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | ถนนพระรามสี่ | 4 | 4.13 - 4.63 | 4.35 ± 0.21 | 14.64 - 16.37 | 15.62 ± 0.74 | 4.43 - 6.24 | 5.68 ± 0.65 | 33.50 - 35.01 | 34.24 ± 0.72 |
| | | 6 | 2.48 - 3.58 | 3.08 ± 0.45 | 11.81 - 13.69 | 12.76 ± 0.97 | 3.67 - 4.62 | 4.14 ± 0.45 | 26.61 - 27.87 | 26.96 ± 0.73 |
| | | 8 | 2.29 - 3.80 | 3.17 ± 0.65 | 12.97 - 13.30 | 13.11 ± 0.13 | 3.44 - 3.68 | 3.54 ± 0.10 | 27.01 - 30.68 | 28.75 ± 1.84 |
| | | 10 | 3.46 - 3.87 | 3.75 ± 0.15 | 12.05 - 13.12 | 12.58 ± 0.48 | 3.17 - 4.17 | 4.00 ± 0.20 | 27.85 - 31.77 | 29.76 ± 2.08 |
| | | 12 | 1.22 - 3.59 | 2.43 ± 0.98 | 11.93 - 13.89 | 12.94 ± 0.89 | 5.10 - 5.55 | 5.32 ± 0.19 | 27.95 - 28.96 | 28.60 ± 0.36 |
| | เขตลาดกระบัง | 4 | 2.96 - 4.64 | 3.79 ± 0.75 | 4.39 - 6.76 | 5.55 ± 1.23 | 0.34 - 1.04 | 0.81 ± 0.26 | 16.27 - 16.48 | 16.35 ± 0.08 |
| | | 6 | 2.62 - 3.19 | 2.92 ± 0.22 | 8.65 - 9.84 | 9.23 ± 0.56 | 1.14 - 1.93 | 1.54 ± 0.41 | 20.80 - 21.60 | 21.33 ± 0.31 |
| | | 8 | 2.99 - 3.97 | 3.54 ± 0.39 | 5.40 - 8.14 | 6.76 ± 1.37 | 1.04 - 1.17 | 1.11 ± 0.05 | 17.64 - 24.28 | 20.98 ± 3.49 |
| | | 10 | 2.37 - 2.68 | 2.52 ± 0.12 | 7.62 - 8.34 | 7.96 ± 0.35 | 1.97 - 2.20 | 2.06 ± 0.09 | 17.66 - 18.44 | 18.07 ± 0.39 |
| | | 12 | 1.33 - 2.22 | 1.78 ± 0.46 | 7.17 - 8.05 | 7.60 ± 0.46 | 1.89 - 2.60 | 2.25 ± 0.38 | 14.73 - 18.14 | 16.44 ± 1.82 |
| Ryegrass | ถนนพระรามสี่ | 12 | 5.60 - 6.91 | 6.32 ± 0.62 | 21.77 - 28.76 | 25.12 ± 3.64 | 10.53 - 13.06 | 11.78 ± 1.11 | 51.99 - 65.25 | 58.55 ± 6.95 |
| | เขตลาดกระบัง | 12 | 2.25 - 3.29 | 2.78 ± 0.45 | 7.76 - 8.64 | 8.25 ± 0.39 | 0.99 - 2.04 | 1.49 ± 0.42 | 18.63 - 19.59 | 19.11 ± 0.42 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

ตารางที่ 24

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 มี.ค. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (µg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | พระรามสี่ | 4 | 4.29 - 4.84 | 4.67 ± 0.19 | 13.02 - 13.25 | 13.14 ± 0.09 | 1.39 - 2.85 | 2.13 ± 0.64 | 33.68 - 38.87 | 37.86 ± 5.16 |
| | | 6 | 2.51 - 2.83 | 2.66 ± 0.12 | 11.60 - 12.38 | 11.99 ± 0.35 | 2.10 - 2.96 | 2.33 ± 0.32 | 31.67 - 34.68 | 33.14 ± 1.46 |
| | | 8 | 2.26 - 5.17 | 3.74 ± 1.46 | 9.90 - 13.50 | 11.71 ± 1.94 | 1.68 - 4.27 | 3.04 ± 1.23 | 29.61 - 45.66 | 37.52 ± 8.31 |
| | | 10 | 1.89 - 2.88 | 2.37 ± 0.44 | 12.26 - 13.60 | 12.91 ± 0.68 | 2.86 - 4.16 | 3.45 ± 0.50 | 30.51 - 36.78 | 33.76 ± 2.87 |
| | | 12 | 2.03 - 2.71 | 2.42 ± 0.26 | 9.83 - 12.57 | 11.17 ± 1.44 | 1.64 - 3.61 | 2.54 ± 0.75 | 28.01 - 39.31 | 33.57 ± 5.92 |
| | ลาดกระบัง | 4 | 1.04 - 2.23 | 1.64 ± 0.59 | 5.36 - 5.63 | 5.47 ± 0.11 | 0.61 - 1.11 | 0.85 ± 0.21 | 15.85 - 28.05- | 22.04 ± 0.43 |
| | | 6 | 2.42 - 2.88 | 2.66 ± 0.17 | 7.11 - 8.06 | 7.57 ± 0.49 | 0.18 - 0.87 | 0.57 ± 0.31 | 16.09 - 19.02 | 17.50 ± 1.50 |
| | | 8 | 1.66 - 3.29 | 2.49 ± 0.78 | 6.90 - 8.15 | 7.49 ± 0.59 | 0.30 - 1.03 | 0.56 ± 0.29 | 18.87 - 24.16 | 21.51 ± 2.77 |
| | | 10 | 2.03 - 2.24 | 2.16 ± 0.07 | 4.75 - 7.03 | 5.89 ± 1.15 | 1.40 - 2.07 | 1.84 ± 0.25 | 13.83 - 17.36 | 15.72 ± 1.65 |
| | | 12 | 1.13 - 1.36 | 1.25 ± 0.08 | 5.73 - 6.46 | 6.07 ± 0.34 | 0.81 - 1.61 | 1.31 ± 0.27 | 15.95 - 20.33 | 18.17 ± 1.36 |
| Ryegrass | ถนนพระรามสี่ | 12 | 7.10 - 7.71 | 7.45 ± 0.25 | 30.62 - 31.54 | 31.15 ± 0.34 | 15.20 - 17.87 | 16.13 ± 1.09 | 80.18 - 89.76 | 84.65 ± 4.35 |
| | เขตลาดกระบัง | 12 | 2.35 - 2.99 | 2.67 ± 0.24 | 8.24 - 9.98 | 9.10 ± 0.89 | 1.90 - 3.15 | 2.55 ± 0.51 | 34.57 - 52.25 | 42.59 ± 8.44 |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

ตารางที่ 25

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 เม.ย. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (μg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | พระรามสี่ | 4 | 3.66 - 5.24 | 4.53 ± 0.71 | 7.78 - 9.97 | 8.85 ± 1.08 | 1.04 - 1.93 | 1.36 ± 0.34 | 21.26 - 25.07 | 23.16 ± 1.99 |
| | | 6 | 3.31 - 5.57 | 4.46 ± 1.12 | 6.96 - 9.02 | 7.95 ± 1.05 | 1.21 - 1.54 | 1.41 ± 0.15 | 20.66 - 24.36 | 22.49 ± 1.92 |
| | | 8 | 3.59 - 4.25 | 3.92 ± 0.29 | 7.39 - 7.69 | 7.50 ± 0.11 | 1.10 - 1.98 | 1.42 ± 0.15 | 23.62 - 27.09 | 25.34 ± 1.70 |
| | | 10 | 3.19 - 4.38 | 3.79 ± 0.48 | 9.92 - 10.65 | 10.31 ± 0.33 | 1.10 - 1.41 | 1.25 ± 0.12 | 22.65 - 23.55 | 23.09 ± 0.33 |
| | | 12 | 2.74 - 3.21 | 3.05 ± 0.18 | 8.97 - 9.66 | 9.23 ± 0.25 | 1.09 - 1.77 | 1.53 ± 0.28 | 21.42 - 24.03 | 22.67 ± 1.13 |
| | ลาดกระบัง | 4 | 3.65 - 5.11 | 4.37 ± 0.64 | 7.69 - 9.96 | 8.65 ± 0.92 | 0.47 - 1.24 | 0.73 ± 0.36 | 21.52 - 22.70 | 22.21 ± 0.49 |
| | | 6 | 1.40 - 2.83 | 2.10 ± 0.71 | 6.83 - 7.88 | 7.35 ± 0.56 | 0.47 - 0.84 | 0.64 ± 0.16 | 22.30 - 22.97 | 22.68 ± 0.26 |
| | | 8 | 2.69 - 2.81 | 2.74 ± 0.06 | 7.03 - 7.90 | 7.38 ± 0.38 | 0.32 - 0.86 | 0.66 ± 0.23 | 20.13 - 23.03 | 21.55 ± 1.46 |
| | | 10 | 2.27 - 2.86 | 2.55 ± 0.25 | 8.13 - 8.36 | 8.25 ± 0.08 | 0.64 - 0.95 | 0.76 ± 0.12 | 21.00 - 21.52 | 21.29 ± 0.17 |
| | | 12 | 2.52 - 3.23 | 2.88 ± 0.31 | 7.38 - 7.91 | 7.72 ± 0.21 | 0.50 - 0.95 | 0.63 ± 0.17 | 17.83 - 18.81 | 18.33 ± 0.47 |
| Ryegrass | พระรามสี่ | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | ลาดกระบัง | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

ตารางที่ 26

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 30 เม.ย. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (µg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] | ช่วง | ค่าเฉลี่ย[a] |
| นวลน้อย | พระรามสี่ | 4 | 5.05 - 5.28 | 5.17 ± 0.08 | 9.20 - 11.39 | 10.29 ± 1.09 | 0.87 - 2.16 | 1.51 ± 0.60 | 26.53 - 28.85 | 27.79 ± 0.89 |
| | | 6 | 3.59 - 5.92 | 4.80 ± 1.03 | 7.52 - 8.45 | 7.98 ± 0.41 | 0.74 - 2.50 | 1.55 ± 0.71 | 20.24 - 22.70 | 21.52 ± 1.10 |
| | | 8 | 4.38 - 7.70 | 5.90 ± 1.64 | 8.31 - 8.55 | 8.40 ± 0.08 | 1.43 - 2.87 | 1.94 ± 0.53 | 20.73 - 28.48 | 24.59 ± 3.81 |
| | | 10 | 4.46 - 5.14 | 4.70 ± 0.29 | 9.02 - 9.91 | 9.47 ± 0.45 | 1.28 - 2.10 | 1.73 ± 0.28 | 22.80 - 24.31 | 23.45 ± 0.66 |
| | | 12 | 3.37 - 4.54 | 3.94 ± 0.56 | 7.27 - 8.32 | 7.82 ± 0.55 | 0.54 - 1.65 | 0.90 ± 0.40 | 18.28 - 20.56 | 19.59 ± 0.91 |
| | ลาดกระบัง | 4 | 3.94 - 4.44 | 4.29 ± 0.20 | 6.92 - 7.87 | 7.42 ± 0.45 | 0.38 - 0.87 | 0.56 ± 0.19 | 14.43 - 17.64 | 16.08 ± 1.57 |
| | | 6 | 2.99 - 4.16 | 3.50 ± 0.54 | 7.07 - 7.39 | 7.24 ± 0.13 | 0.18 - 1.01 | 0.67 ± 0.28 | 16.59 - 21.67 | 19.21 ± 2.57 |
| | | 8 | 2.22 - 4.96 | 3.50 ± 1.29 | 5.44 - 6.33 | 5.91 ± 0.45 | 0.23 - 0.76 | 0.48 ± 0.20 | 16.54 - 18.43 | 17.57 ± 0.90 |
| | | 10 | 2.90 - 3.79 | 3.33 ± 0.42 | 6.85 - 8.47 | 7.64 ± 0.85 | 0.54 - 1.03 | 0.76 ± 0.17 | 19.23 - 23.79 | 21.35 ± 2.23 |
| | | 12 | 2.16 - 2.85 | 2.50 ± 0.33 | 7.48 - 8.08 | 7.80 ± 0.24 | 0.16 - 0.68 | 0.41 ± 0.18 | 17.40 - 18.65 | 17.96 ± 0.51 |
| Ryegrass | พระรามสี่ | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | ลาดกระบัง | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |

[a] : ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

ตารางที่ 27

แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักในหญ้านวลน้อย และหญ้า Ryegrass ก่อนนำไปสุ่มตัวอย่าง โดยหญ้านวลน้อยมีอายุแตกต่างกัน เป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 15 พ.ค. 2539

| | | | ความเข้มข้นของโลหะหนัก (µg/gdry weight) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cr | | Cu | | Pb | | Zn | |
| พันธุ์หญ้า | พื้นที่ | อายุ | ช่วง | ค่าเฉลี่ย* | ช่วง | ค่าเฉลี่ย* | ช่วง | ค่าเฉลี่ย* | ช่วง | ค่าเฉลี่ย* |
| นวลน้อย | พระรามสี่ | 4 | 3.05 - 5.03 | 3.98 ± 0.71 | 7.61 - 8.85 | 8.34 ± 0.57 | 1.55 - 1.88 | 1.73 ± 0.14 | 20.40 - 21.29 | 20.92 ± 0.33 |
| | | 6 | 3.33 - 4.06 | 3.70 + 0.31 | 7.69 - 8.04 | 7.88 + 0.13 | 1.84 - 2.08 | 2.00 + 0.09 | 18.66 - 19.41 | 19.10 + 0.29 |
| | | 8 | 3.31 - 4.21 | 3.76 ± 0.36 | 7.02 - 7.89 | 7.43 ± 0.39 | 0.77 - 2.57 | 1.67 ± 0.75 | 19.71 - 21.76 | 20.98 ± 0.79 |
| | | 10 | 1.98 - 2.62 | 2.27 ± 0.27 | 6.85 - 9.02 | 8.00 ± 1.05 | 1.20 - 1.99 | 1.61 ± 0.38 | 23.54 - 24.59 | 24.23 ± 0.38 |
| | | 12 | 2.40 - 3.00 | 2.66 ± 0.20 | 7.64 - 8.20 | 7.91 ± 0.22 | 1.54 - 2.29 | 1.94 ± 0.24 | 19.57 - 22.26 | 21.03 ± 1.16 |
| | ลาดกระบัง | 4 | 2.10 - 3.98 | 3.03 ± 0.80 | 6.32 - 7.13 | 6.69 ± 0.35 | 0.62 - 0.88 | 0.75 ± 0.09 | 17.66 - 19.13 | 18.37 ± 0.60 |
| | | 6 | 2.50 - 2.93 | 2.66 ± 0.16 | 6.07 - 6.62 | 6.31 ± 0.25 | 0.20 - 0.36 | 0.28 ± 0.06 | 18.48 - 19.32 | 19.12 ± 0.32 |
| | | 8 | 3.31 - 4.21 | 2.80 ± 0.26 | 6.58 - 6.80 | 6.72 ± 0.08 | 0.29 - 0.86 | 0.59 ± 0.23 | 18.71 - 19.40 | 19.10 ± 0.26 |
| | | 10 | 1.98 - 2.62 | 1.93 ± 0.18 | 6.72 - 7.80 | 7.29 ± 0.53 | 0.70 - 1.11 | 0.90 ± 0.14 | 20.74 - 21.85 | 21.29 ± 0.38 |
| | | 12 | 2.40 - 3.00 | 1.91 ± 0.10 | 6.95 - 7.15 | 7.06 ± 0.07 | 0.41 - 0.98 | 0.62 ± 0.21 | 16.67 - 20.46 | 18.73 ± 1.46 |
| Ryegrass | พระรามสี่ | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | ลาดกระบัง | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - |

*: ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก ± s.d., n=6

# ประวัติผู้เขียน

นางสาววันทนา สังข์ชุม เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) สาขาเคมี-ชีวะ จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปี 2535 และได้เข้าศึกษาต่อวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2536




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้