

การประยุกต์ใช้เทคนิค NAA เพื่อวิเคราะห์ธาตุในางจรกการเลี้ยงไหม
APPLICATION OF NAA TECHNIQUE FOR ELEMENTAL ANALYSIS IN
SERICULTURE

ศรินทิพย์ อักษรภักษ์
SARINTHIP AKSORNKLAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552

KMITL-2009-SC-M-012-023

การประยุกต์ใช้เทคนิค NAA เพื่อวิเคราะห์ธาตุในวงจรการเลี้ยงไหม

APPLICATION OF NAA TECHNIQUE FOR ELEMENTAL ANALYSIS IN
SERICULTURE



ศรินทิพย์ อักษรกลั่น

SARINTHIP AKSORNKLAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-SC-M-012-023

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105261
วันเดือนปี 17 พ.ย. 2552

b.....
i.....






**APPLICATION OF NAA TECHNIQUE FOR ELEMENTAL ANALYSIS IN
SERICULTURE**

SARINTHIP AKSORNKLAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL-2009-SC-M-012-023**

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เทคนิค NAA เพื่อวิเคราะห์ธาตุในวงจรการเลี้ยงไหม
Application of NAA Technique for Elemental Analysis in Sericulture
นักศึกษา นางสาวศรินทิพย์ อักษรกลิ่น
รหัสประจำตัว 47064309
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา เคมี (เคมีวิเคราะห์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวรรณ	ไชยสิทธิ์	
รศ.อรุณี	คงศักดิ์ไพศาล	
ดร.สิรินาฏ	เลาหะโรจนพันธ์	
ดร.วิบูลย์	ประดิษฐ์เวียงคำ	
ผศ.ดร.วินัย	นุตมากุล	

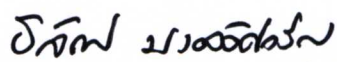
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 พฤษภาคม 2552 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 603

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....27.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ. 2552.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคนิค NAA เพื่อวิเคราะห์ธาตุในวงจรการเลี้ยงไหม
นักศึกษา	นางสาวศรินทิพย์ อักษรกลั่น
รหัสประจำตัว	47064309
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	เคมี(เคมีวิเคราะห์)
พ.ศ.	2552
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์โดยการอาบรังสีนิวตรอน ซึ่งทำการวิเคราะห์ธาตุทั้งหมด 11 ธาตุ คือ สารหนู ซีเรียม โคบอลต์ โครเมียม เหล็ก โพแทสเซียม แมงกานีส ฟลูออรีน สแกนเดียม ทอเรียม และสังกะสี ในตัวอย่างดิน ไบโหม่น และรังไหม ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบของธาตุเหล่านี้ในตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับ 0.54, 1.34, 0.25, 2.11, 128.20, 0.92, 3.63, 0.10, 0.07, 0.35 และ 17.92 ไมโครกรัม/กรัม ในไบโหม่นมีค่าเท่ากับ 0.32, 1.54, 0.06, 0.50, 30.08, 0.56, 1.67, 0.02, 0.06, 0.30 และ 3.58 ไมโครกรัม/กรัม และรังไหมมีค่าเท่ากับ 0.24, 0.33, 0.09, 0.35, 34.36, 0.30, 0.64, 0.03, 0.04, 0.26 และ 6.00 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ โดยทำการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ด้วยสารมาตรฐานอ้างอิง(NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 1566a = Oyster Tissue, ACSP DORM-1 = Dog fish Muscle, NIST 8704 = Buffalo River Sediment) จะให้ค่าที่ตรวจวัดได้ไม่แตกต่าง จากค่าอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ การคำนวณโดยใช้วิธีทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และตรวจสอบความเที่ยงตรงในการวิเคราะห์โดยใช้สมการของ Horwitz ได้ค่าอัตราส่วนน้อยกว่า 2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ AOAC ยกเว้นธาตุ เหล็ก และสังกะสี ที่มีค่ามากกว่า 2

ธาตุที่ตรวจพบในตัวอย่างดินมีทั้งหมดทั้ง 11 ธาตุ ในตัวอย่างไบโหม่นตรวจพบ 9 ธาตุ คือ สารหนู ซีเรียม โคบอลต์ โครเมียม เหล็ก โพแทสเซียม แมงกานีส ฟลูออรีน และ สังกะสี ส่วนในรังไหมตรวจพบ 7 ธาตุคือโคบอลต์ โครเมียม เหล็ก โพแทสเซียม แมงกานีส ฟลูออรีน และ สังกะสี ปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างดินมีค่าแตกต่างกันมากในแต่ละจังหวัด และในแต่ละจุดเก็บ ค่าความเข้มข้นของโคบอลต์ และโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างไบโหม่น และรังไหมจากจังหวัดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันรวมทั้งจาก 8 จังหวัดก็อยู่ในช่วงเดียวกัน ดังนั้น การสะสมของธาตุโคบอลต์และโครเมียม ในวงจรการเลี้ยงไหมมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าคุณภาพดินจะมีความแตกต่างกันก็ตาม

Thesis	Application of NAA technique for elemental analysis in sericulture
Student	Miss.Sarinthip Aksornklan
Student ID	47064309
Degree	Master of Science
Program	Chemistry (Analytical Chemistry)
Year	2552
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Arunee Kongsakphaisal
Thesis Co-asvisor	Dr.Sirinart Laoharajanaphand

ABSTRACT

This research studied the determination of As, Ce, Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb and Zn in soil, mulberry leaves and silk fiber by Neutron Activation Analysis (NAA). The detection limits of 11 element in soil were 0.54, 1.34, 0.25, 2.11, 128.20, 0.92, 3.63, 0.10, 0.07, 0.35 and 17.92 , in mulberry leaves were 0.32, 1.54, 0.06, 0.50, 30.08, 0.56, 1.67, 0.02, 0.06, 0.30 and 3.58 , in silk fiber 0.24, 0.33, 0.09, 0.35, 34.36, 0.30, 0.64, 0.03, 0.04, 0.26 and 6.00 $\mu\text{g/g}$, respectively. The accuracy of the analytical procedure by comparison of an experimental mean with known values of standard reference material(NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 1566a = Oyster Tissue, ACSP DORM-1 = Dog fish Muscle, NIST 8704 = Buffalo River Sediment). There were no difference significant between the observed and known values at 95 % confidence level. The precision of analytical procedure by Horwitz ratio(HORRAT) was less than 2, excepted Fe and Zn were greater than 2.

Eleven elements were detected in soil , nine elements in mulberry leaves were As, Ce, Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb and Zn , seven elements in silk fiber were Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb and Zn. The concentration of eleven elements in soil were difference depending on site location. Co and Cr concentration in mulberry leaves and silk fiber were not significant difference. Therefore, the deposition of Co and Cr in sericulture is similar even though the soil quality is significant difference.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ. อรุณี กงศักดิ์ไพศาล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร. สิรินาฏ เลาหะโรจนพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ในคำชี้แนะรวมทั้งช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำและ ผศ. ดร. วินัย นุตมากุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณอาภรณ์ บุญมงคล คุณรติรส ตรีภาส คุณบุญญา สุดาทิส และคุณวุฒิชัย จันทระโชติ และเจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนการทำวิจัยตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ทำการวิจัยที่สถาบัน

ขอขอบคุณ คุณภาคภูมิ ภูเทศ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง เจ้าหน้าที่ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ และเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และบัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้องของข้าพเจ้า ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นแรงกระตุ้นในยามที่ข้าพเจ้ารู้สึกเหนื่อยและท้อแท้ ทั้งยังให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ในที่สุด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศรินทิพย์ อักษรกลั่น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการอาบรังสีนิวตรอน.....	4
2.1.1 ทฤษฎีของเทคนิคการอาบรังสีนิวตรอน.....	4
2.1.2 ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อนิวเคลียส.....	5
2.1.3 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี.....	6
2.1.4 การหาครึ่งชีวิต (Half-life) ของธาตุกัมมันตรังสี.....	8
2.1.5 การเลือกใช้เวลาในการอาบรังสี.....	9
2.1.6 ปฏิกริยานิวเคลียส.....	10
2.1.7 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน.....	12
2.1.8 องค์ประกอบในการวิเคราะห์เทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน.....	13
2.1.9 การวิเคราะห์ผล.....	19
2.1.10 ข้อดีและข้อจำกัดในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA.....	20
2.1.11 การนำเทคนิคของ NAA ไปใช้ประโยชน์(Applications of NAA).....	22
2.2 คุณสมบัติของธาตุ.....	23
2.3 การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม.....	32
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	40

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	42
3.2.1 การศึกษาความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์.....	42
3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ.....	43
3.2.3 การหาปริมาณธาตุในตัวอย่าง.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	46
4.1 สภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	46
4.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์.....	47
4.2.1 การศึกษาความเที่ยง (Precision).....	47
4.2.2 การศึกษาความแม่นยำ (Accuracy).....	49
4.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (Detection Limit).....	50
4.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างดิน ไบโอมอน และรังไหม.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก. การแก้ค่า decay time.....	66
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาปริมาณธาตุ.....	75
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ(Detection Limit).....	74
ภาคผนวก ง. การคำนวณหาความแม่นยำ(Accuracy).....	76
ภาคผนวก จ. การคำนวณหาความเที่ยง(Precision).....	79
ภาคผนวก ฉ. สเปกตรัมของรังสีแกมมา.....	80
ภาคผนวก ช. การคำนวณค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ.....	82
ภาคผนวก ซ. มาตรฐานดิน.....	89
ภาคผนวก ฌ. มาตรฐานอาหารป่นเปื้อน.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	98

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	พลังงานรังสีแกมมา และครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีในแต่ละธาตุ.....	8
ตารางที่ 3.1	รายละเอียดบริเวณที่เก็บตัวอย่าง.....	42
ตารางที่ 3.2	ตารางแสดงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์.....	44
ตารางที่ 3.3	แสดงค่านิวตรอนฟลักซ์ของแต่ละตำแหน่งในเครื่องปรมาณูวิจัย (ปปว-1/1).....	45
ตารางที่ 4.1	แสดงสถานะที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าพลังงานของแต่ละไอโซโทปที่นำมาใช้วิเคราะห์.....	47
ตารางที่ 4.3	ผลการศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์.....	48
ตารางที่ 4.4	ผลการศึกษาความแม่นยำของธาตุที่วิเคราะห์.....	49
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ.....	50
ตารางที่ 4.6	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง.....	51
ตารางที่ 4.7	ปริมาณธาตุในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ.....	53
ตารางที่ 4.8	ปริมาณธาตุในตัวอย่างใบหม่อน ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ.....	56
ตารางที่ 4.9	ปริมาณธาตุในตัวอย่างรังไหม ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ.....	57
ตารางที่ ก.1	การหาปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างดิน.....	66
ตารางที่ ข.1	ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม.....	68
ตารางที่ ง.1	ผลการศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์แมงกานีส.....	77
ตารางที่ ง.2	แสดงค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ.....	78
ตารางที่ ช.1	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างดินภายในจังหวัดเดียวกัน.....	83
ตารางที่ ช.2	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างใบหม่อนภายในจังหวัดเดียวกัน.....	84
ตารางที่ ช.3	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างรังไหมภายในจังหวัดเดียวกัน.....	84
ตารางที่ ช.4	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Co จากตัวอย่างรังไหมแต่ละจังหวัด.....	85
ตารางที่ ช.5	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Cr จากตัวอย่างรังไหมแต่ละจังหวัด.....	86
ตารางที่ ช.6	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Co จากตัวอย่างใบหม่อนแต่ละจังหวัด.....	87
ตารางที่ ช.7	แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Cr จากตัวอย่างใบหม่อนแต่ละจังหวัด.....	88

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กระบวนการชนแบบดูดจับนิวตรอนโดยนิวเคลียส.....	5
รูปที่ 2.2	กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นจากการอาบรังสีและกัมมันตภาพรังสีที่ลดลง.....	10
	จากการทิ้งไว้ให้สลายตัวหลังจากการอาบรังสี	
รูปที่ 2.3	แสดงการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว.....	11
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนในเทคนิคของการวิเคราะห์ด้วย.....	12
รูปที่ 2.5	แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปพว.1/1) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.....	15
รูปที่ 2.6	ลักษณะภายในอาคารปฏิกรณ์ปรมาณู.....	16
รูปที่ 2.7	ลักษณะของไบหม่อน.....	33
รูปที่ 2.8	หนอนไหม.....	35
รูปที่ 2.9	วงจรชีวิตของไหม.....	36
รูปที่ 2.10	รังไหม.....	36
รูปที่ 3.1ก.	ภาชนะสำหรับอาบรังสี	41
รูปที่ 3.1ข.	ถุงภาชนะใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างและสารมาตรฐาน	41
รูปที่ 3.2	แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน.....	43
รูปที่ 4.1	เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ As ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ.....	54
รูปที่ 4.2	เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ Cr ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ.....	54
รูปที่ 4.3	เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ Mn ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ.....	55
รูปที่ 4.4	แสดงปริมาณ Co ในตัวอย่างดิน ไบหม่อน และรังไหม.....	58
รูปที่ 4.5	แสดงปริมาณ Cr ในตัวอย่างดิน ไบหม่อน และรังไหม.....	58
รูปที่ ค.1	แสดงการหาค่าสัญญาณความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ.....	74
รูปที่ จ.1	แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง NIST8704.....	80
	หลังอาบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 2 สัปดาห์	
	ใช้เวลาในการวัด 1 ชั่วโมง	
รูปที่ จ.2	แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง ACSP DORM-1.....	80
	หลังอาบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 3 วัน	
	ใช้เวลาในการวัด 30 นาที	
รูปที่ จ.3	แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704.....	81
	หลังอาบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 3 วัน	
	ใช้เวลาในการวัด 30 นาที	

รูปที่ จ.4 แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างไบหม่อน.....	81
หลังอาบรังสีด้วยที่ CA เป็นเวลา 10 นาที และปล่อยให้สลายตัว 3 ชั่วโมง	
ใช้เวลาในการวัด 100 วินาที	

ในแต่ละช่วงฤดูกาล และจัดทำเป็นฐานข้อมูล เพื่อการวางแผนทางป้องกัน และแก้ไข เพื่อลดและหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของโลหะหนักเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

จากงานวิจัยเหล่านี้ ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม ที่ปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาแนวโน้มการปนเปื้อนของโลหะหนักเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบอกถึงปริมาณธาตุที่ได้จากตัวอย่างแต่ละพื้นที่ ซึ่งคาดว่าข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการศึกษาถึงคุณลักษณะองค์ประกอบของธาตุที่เด่นชัดของตัวอย่างจากจังหวัดต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างดิน ใบหม่อน รังไหม จากจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น มหาสารคาม กำแพงเพชร ตาก ประจวบคีรีขันธ์ และ นครราชสีมา โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์ (Neutron Activation Analysis , NAA)
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ปริมาณธาตุที่ตรวจวัดได้บ่งบอกถึงคุณลักษณะองค์ประกอบที่เด่นชัดของดิน ใบหม่อน และรังไหมที่มาจากจังหวัดต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม จังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่นมหาสารคาม กำแพงเพชร ตาก ประจวบคีรีขันธ์ และ นครราชสีมา
2. การศึกษาการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน (NAA) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้
 - 2.1 การตรวจสอบความแม่นยำ (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์โดยทำการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน
 - 2.2 การตรวจสอบความเที่ยงตรงของวิธีการวิเคราะห์ (Precision)
 - 2.3 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (Detection limit)
 - 2.4 การตรวจวัดหาปริมาณธาตุ 11 ธาตุ คือ สารหนู แมงกานีส สแกนเดียม พลวงทอเรียม โครเมียม สังกะสี โคบอลต์ เหล็ก ซีเรียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้
 - 2.1.1 การบดตัวอย่าง
 - 2.1.2 การเตรียมตัวอย่าง
 - 2.1.3 การอบรังสีนิวตรอน
 - 2.1.4 การวัดรังสีและการคำนวณผล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้เทคนิค NAA สำหรับงานวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่างดิน ไบโหม่อน และ รังไหม และยังเป็น การเปิดแนวทางการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีเชิงนิวเคลียร์อีกสาขาหนึ่ง
2. ใช้ข้อมูลปริมาณธาตุที่ตรวจวัดได้บ่งบอกถึงคุณลักษณะองค์ประกอบที่เด่นชัดของดิน ไบโหม่อน และรังไหมในวงจรการเลี้ยงไหมที่มาจากจังหวัดต่าง ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

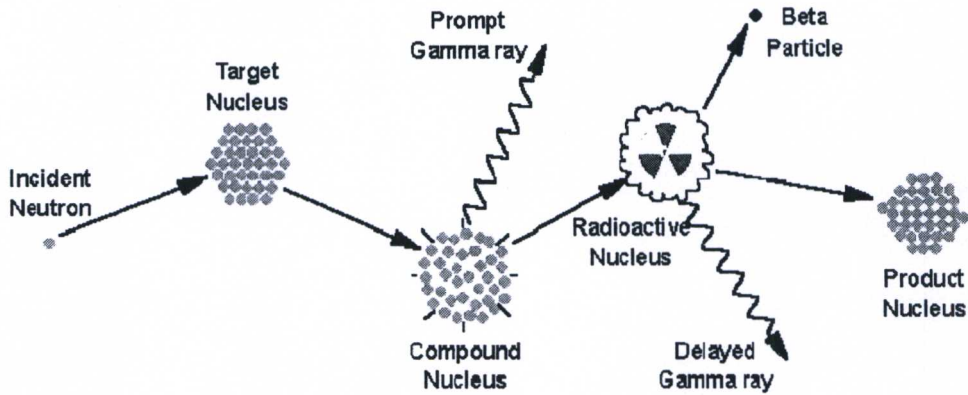
2.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการอาบรังสีนิวตรอน(Neutron Activation Analysis ,NAA)[2]

เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชันถูกค้นพบโดย Hevesy และ Levi ในปี ค.ศ.1936 ได้ใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุหายาก (rare earth) เพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส(nuclear transformation) ของอะตอมของธาตุนั้น ทำให้เกิดเป็นไอโซโทปรังสีขึ้น ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ ครึ่งชีวิต (half-life) ชนิดของรังสี และพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา เป็นผลทำให้ทราบได้ว่าเป็นไอโซโทปรังสีของธาตุใด และจากปริมาณรังสีที่วัดได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีของสารมาตรฐานของธาตุนั้นๆ ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนทำให้สามารถคำนวณปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้

2.1.1 ทฤษฎีของเทคนิคการอาบรังสีนิวตรอน

การวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุ และปริมาณธาตุในตัวอย่าง โดยการทำให้ไอโซโทปเสถียร กลายเป็นไอโซโทปรังสี ซึ่งจะสลายตัวกลับเป็นไอโซโทปเสถียร โดยการปลดปล่อยรังสีที่มีพลังงานจำเพาะของแต่ละไอโซโทปออกมา

ตัวอย่างที่อาบนิวตรอน (neutron irradiation) จะทำให้นิวเคลียสของธาตุในตัวอย่างดูดกลืนนิวตรอน แล้วกลายเป็นสารกัมมันตรังสี เรียกว่า นิวไคลด์รังสี (radionuclide) หรือไอโซโทปรังสี (radioisotope) ซึ่งมีการสลายตัว โดยปลดปล่อยรังสีอัลฟา รังสีบีตา หรือรังสีแกมมา ที่มีพลังงานของรังสี และครึ่งชีวิตของไอโซโทปที่เป็นค่าจำเพาะ

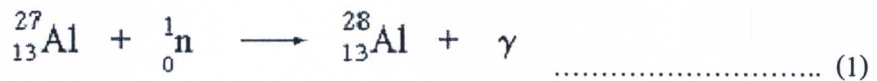


รูปที่ 2.1 กระบวนการชนแบบดูดจับนิวตรอนโดยนิวเคลียส [1]

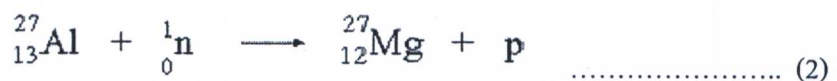
2.1.2 ปฏิกริยาของนิวตรอนต่อนิวเคลียส [5,10]

เมื่อนิวภาคนิวตรอนเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุแล้ว ปฏิกริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นมีหลายแบบคือ

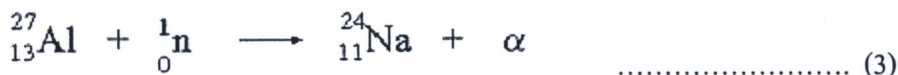
2.1.2.1 ปฏิกริยานิวตรอน-แกมมา (n,γ) เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจากการยิงอนุภาคนิวตรอน ที่มีพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) เรียกปฏิกริยาการจับนิวตรอน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งนิวเคลียสจะดูดกลืนนิวตรอน ทำให้อะตอมของธาตุเปลี่ยนไปเป็น ไอโซโทปรั้งสี่ ของธาตุเดิม พร้อมกับปล่อยรังสีแกมมาออกมา เช่น ปฏิกริยา Al-27 (n,γ) Al-28



2.1.2.2 ปฏิกริยานิวตรอน – โปรตรอน (n,p) เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจากการยิงอนุภาคนิวตรอน ที่มีพลังงานสูงหรือฟาสต์นิวตรอน (fast neutron) เข้าไปในนิวเคลียสของธาตุ เมื่อทำปฏิกริยาแล้ว นิวเคลียสจะปลดปล่อยอนุภาคโปรตรอนออกมา เช่น ปฏิกริยา Al-27(n,p)Mg-27



2.1.2.3 ปฏิกิริยานิวตรอน – แอลฟา (n, α) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการยิงอนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานสูงหรือฟาสต์นิวตรอน (fast neutron) เข้าไปในนิวเคลียสของธาตุนั้นๆ แล้วอะตอมของธาตุนั้นๆ จะเปลี่ยนไปเป็น ไอโซโทปรังสีของธาตุใหม่เกิดขึ้น พร้อมทั้งปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา เช่น ปฏิกิริยา $Al-27(n, \alpha)Na-24$



ปฏิกิริยา (n, γ) เหมาะสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของ NAA เพราะทำได้สะดวก ส่วนปฏิกิริยา (n, p) และปฏิกิริยา (n, α) นั้นเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตสารไอโซโทป เนื่องจาก สารไอโซโทปที่เกิดขึ้นนั้นเป็นของธาตุใหม่ ซึ่งจะเป็นคนละชนิดกับธาตุเดิม ทำให้สะดวกในการแยก สารไอโซโทป นั้นออกมาอย่างบริสุทธิ์

2.1.3 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)

เมื่อธาตุถูกยิงด้วยอนุภาคนิวตรอน โดยจะมีบางส่วนของอะตอมของธาตุนั้นเกิด เป็นสารไอโซโทปขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดสารไอโซโทปนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของนิวตรอนต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (neutron flux) ความสามารถในการจับนิวตรอน (neutron cross-section) ของธาตุที่นำเข้าไปอาบรังสี จำนวนอะตอมของธาตุที่ถูกยิงด้วยอนุภาคนิวตรอนรวมถึงสัดส่วนของปริมาณของธาตุนั้นที่มีอยู่ในธรรมชาติ ถ้ากำหนดให้กัมมันตรังสีของสารรังสีที่เกิดขึ้นแทนด้วย Activity(A) มีหน่วยเป็น Disintegrations per second (dps) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$A = \frac{-dN}{dt} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- เมื่อ
- A = Activity (กัมมันตรังสี)ของสารรังสีที่เกิดขึ้นหน่วยเป็น dps
 - N = จำนวนอะตอมของธาตุที่ทำปฏิกิริยากับนิวตรอนที่เวลา t
 - t = เวลา
 - λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

$$\int_{N=N_0}^{N=N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t=0}^{t=t} dt \quad \dots\dots\dots(5)$$

และ

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ

N_0 = จำนวนอะตอมของธาตุเริ่มต้น

เนื่องจาก Activity เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอม ดังนั้นจึงเขียนแทนด้วยสมการ

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ตารางที่ 2.1 พลังงานรังสีแกมมา และครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีในแต่ละธาตุ[6]

ธาตุ	ไอโซโทปรังสี	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (keV)
Sodium	Na-24	14.57 h	1368.6, 2754.0
Magnesium	Mg-27	9.46 min.	843.8, 1014.4
Aluminium	Al-28	2.24 min.	1779.0
Chlorine	Cl-38	37.2 min.	1642.1, 2167.7
Potassium	K-42	12.4 h	1524.6
Calcium	Ca-49	8.72 min.	3084.5
Vanadium	V-52	3.75 min.	1434.1
Chromium	Cr-51	27.70 d	320.1
Manganese	Mn-56	2.578 h	846.8, 1810.8, 2113.2
Iron	Fe-59	44.5 d	1099.3, 1291.6
Cobalt	Co-60	5.27 y	1173.2, 1332.5
Copper	Cu-64	12.70 h	1345.8
Arsenic	As-76	26.3 h	559.1, 657.1
Bromine	Br-82	35.3 h	616.9, 665.94
Silver	Ag-110m	250 d	657.8, 763.9, 884.7, 937.5, 1384.3
Lanthanum	La-140	40.3 h	328.8, 487.0, 815.8, 1596.4
Europium	Eu-152	13.3 y	121.8, 344.3, 1408.0
Tungsten	W-187	23.9 h	72.0, 134.2, 479.5, 551.5, 618.3, 685.7, 772.9
Iridium	Ir-192	73.8 d	296.0, 308.5, 316.5, 468.0, 588.6, 604.4, 612.5
Gold	Au-198	2.69 d	411.8, 657.9

2.1.4 การหาครึ่งชีวิต (Half-life) ของธาตุกัมมันตรังสี

ครึ่งชีวิตใช้อักษรย่อ $t_{1/2}$ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัวลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของจำนวนเริ่มต้น

ครึ่งชีวิตเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทป และสามารถเปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดได้

ถ้าเริ่มต้นมีจำนวนนิวเคลียส = N_0 ตัว

เมื่อเวลาผ่านไปครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) จะมีจำนวนนิวเคลียสเหลืออยู่ = $N_0 / 2$ ตัว

จาก $N = N_0 e^{-\lambda t}$

แทนค่า $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$

$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$

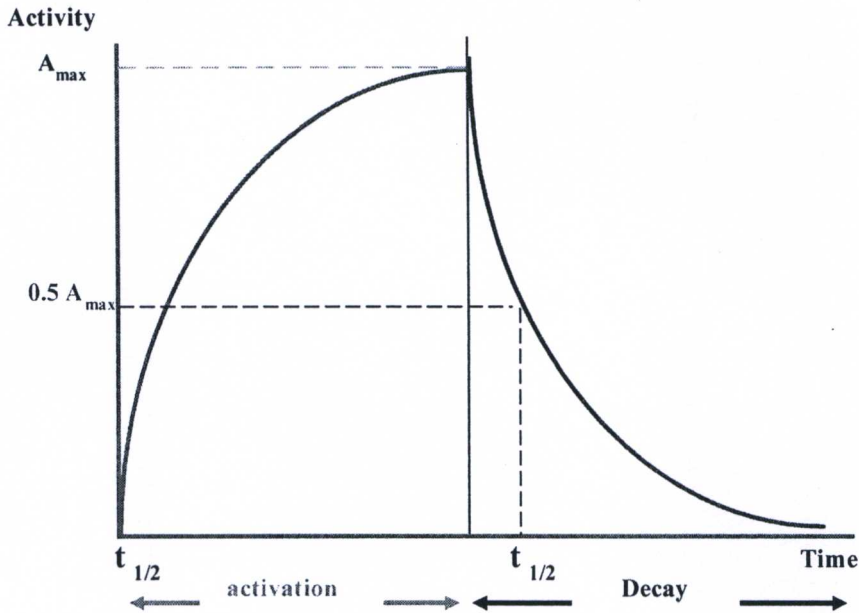
$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

แทนค่า $\ln 2 = 0.693$

$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \dots\dots\dots(10)$

2.1.5 การเลือกใช้เวลาในการอบรังสี

การเลือกใช้เวลาในการอบรังสีของสารตัวอย่างนั้นๆมีความสำคัญมาก ซึ่งในการพิจารณาว่าจะใช้เวลานานเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ คือกัมมันตภาพรังสีที่จะได้จากการอบรังสีนั้นขึ้นอยู่กับ saturation factor ($1-e^{-\lambda t}$) หรือ $t / t_{1/2}$ โดยจะต้องใช้เวลานานพอดีให้ได้กัมมันตภาพรังสีพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง ถ้าใช้เวลาอบรังสีนาน ปริมาณของกัมมันตภาพรังสีก็จะได้มากขึ้น ถ้าใช้เวลาในการอบรังสีนานเกินไปกัมมันตภาพรังสีอาจจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งทำให้เสียเวลาและนอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการแทรกสอด เพราะธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวๆ ก็จะเกิดกัมมันตภาพรังสีด้วย ซึ่งอาจไปเกิดการแทรกสอดในการวิเคราะห์ธาตุที่ต้องการหาได้นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายและยากแก่การดำเนินงานในการทำการวิเคราะห์จริงๆ อาจจะต้องใช้วิธีการอบรังสีหลายช่วงเวลา มีการอบรังสีเวลาสั้น หรือ นานขึ้นๆ ตามค่าครึ่งชีวิตของธาตุที่จะวัด ถ้าอบรังสีนานๆ อาจต้องทิ้งไว้สักกระยะหนึ่ง (cool) เพื่อให้พวกธาตุกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้นสลายตัวหมดไปเสียก่อนจึงทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาว เป็นต้น



รูปที่ 2.2 กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นจากการอาบรังสีและกัมมันตภาพรังสีที่ลดลงจากการทิ้งไว้ให้สลายตัวหลังจากการอาบรังสี[7]

จากรูปเมื่อพิจารณาด้านซ้ายมือจะเห็นว่า specific activity (A/W) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าสูงสุด ซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีสูงสุดนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเราใช้เวลาในการอาบรังสีมากกว่า 10 เท่าของค่าครึ่งชีวิตส่วนทางด้านขวาของรูป แสดงถึงการสลายตัวของไอโซโทปรังสี ในช่วงเวลา t

2.1.6 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ [8,9]

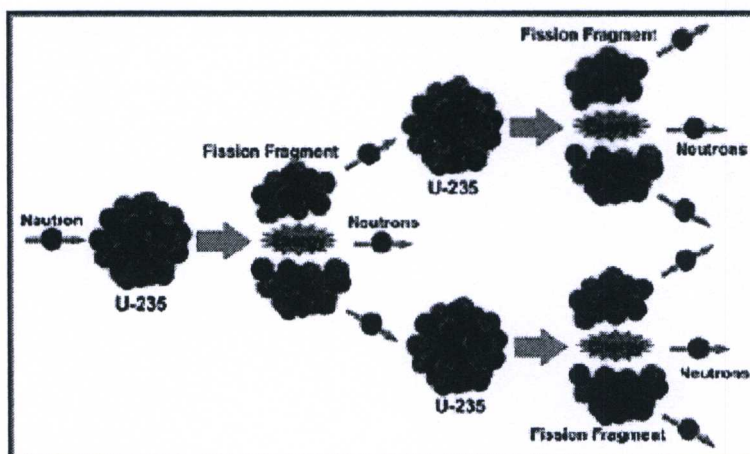
ปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอม แล้วได้นิวเคลียสของธาตุใหม่เกิดขึ้น และให้พลังงานจำนวนมหาศาล ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1.6.1 ปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission reaction) คือปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการยิงอนุภาคนิวตรอนเข้าไปยังนิวเคลียสของธาตุหนัก แล้วทำให้นิวเคลียสแตกออกเป็นนิวเคลียสที่เล็กลงสองส่วนกับให้อนุภาคนิวตรอน 2-3 อนุภาค และคายพลังงานมหาศาลออกมา

นิวตรอนที่เกิดขึ้น 2-3 ตัวซึ่งมีพลังงานสูงจะวิ่งไปชนนิวเคลียสของอะตอมที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเป็นลูกโซ่ ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งทำให้ได้พลังงานมหาศาล

ปฏิกิริยาลูกโซ่นี้ถ้าไม่มีการควบคุม จะเกิดปฏิกิริยารุนแรงที่เรียกว่า ระเบิดปรมาณู (Atomic bomb) เพื่อควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้เกิดรุนแรง นักวิทยาศาสตร์จึงได้สร้างเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาได้โดยการควบคุมปริมาณนิวตรอนที่เกิดขึ้นไม่ให้มากเกินไป และหน่วยงาน

เคลื่อนที่ของนิวตรอนให้ช้าลง ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้นำปฏิกิริยาฟิชชันแบบควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่มาใช้ประโยชน์ในทางสันติ เช่น ใช้ในการผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสีสำหรับการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม ส่วนพลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชชันที่ถูกควบคุมสามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว[9]

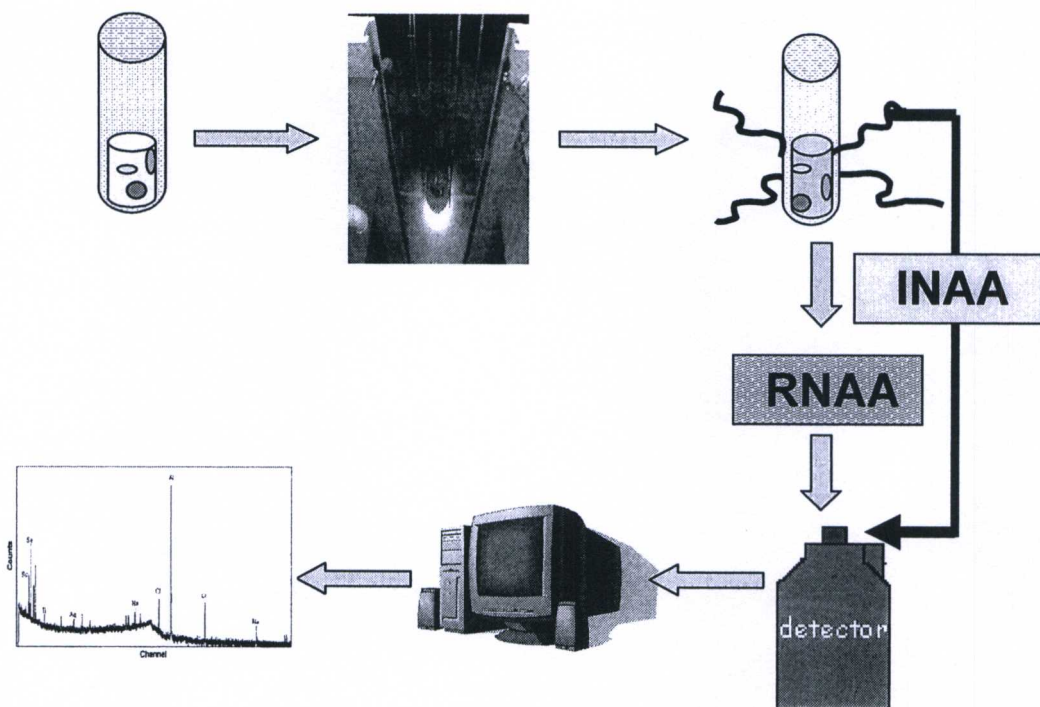
2.1.6.2 ปฏิกิริยาฟิวชัน (Fusion reaction) คือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่นิวเคลียสของธาตุเบาหลอมรวมกันเข้าเป็นนิวเคลียสที่หนักกว่า และมีการปล่อยพลังงานนิวเคลียร์ออกมา (พลังงานเกิดขึ้นจากมวลส่วนหนึ่งหายไป) พลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันมีค่ามากกว่าพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน เมื่อเปรียบเทียบจากมวลส่วนที่เข้าทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยาฟิวชันที่รู้จักกันในนาม ลูกระเบิดไฮโดรเจน (Hydrogen bomb) เชื่อกันว่าพลังงานจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันคือ นิวเคลียสของไฮโดรเจน 4 ตัวหลอมรวมกันได้นิวเคลียสของฮีเลียม อนุภาคโพสิตรอน มีมวลส่วนหนึ่งหายไป มวลส่วนที่หายไปเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจำนวนมาก ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันจะเกิดขึ้นได้ก็จะต้องใช้ความร้อนเริ่มต้นสูงมาก เพื่อเอาชนะแรงผลักระหว่างนิวเคลียสที่จะเข้าร่วมตัวกัน เช่น ระเบิดไฮโดรเจนจะต้องใช้ความร้อนจากระเบิดปรมาณูเป็นตัวจุดชนวน

2.1.7 เทคนิคของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน [7,10,11,15]

มี 2 แบบ คือ

2.1.7.1 การวิเคราะห์ด้วยการอาบรังสีนิวตรอนโดยใช้เครื่องมือนับรังสี (Instrumental Neutron Activation Analysis, INAA) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีก่อนหรือหลังการอาบรังสี การวัดปริมาณจำเป็นต้องใช้เครื่องมือนับรังสีที่สามารถแยกสเปกตรัม ของรังสีแกมมาตามขนาดพลังงานต่าง ๆ ได้

2.1.7.2 การวิเคราะห์ด้วยการอาบรังสีนิวตรอนโดยการผ่านกระบวนการทางเคมี (Radiochemical Neutron Activation Analysis, RNAA) เป็นการวิเคราะห์ที่ต้องนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อแยกชนิดของธาตุที่ต้องการก่อน หรือหลังจากการอาบรังสีนิวตรอนแล้ว จึงวัดความแรงรังสีเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งนอกจากนี้ยังสามารถนำกรรมวิธีทางเคมีที่อาจนำมาใช้ได้ เช่น การกลั่น การตกตะกอน การละลาย และการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนในเทคนิคของการวิเคราะห์ด้วย NAA [7]

2.1.8 องค์ประกอบในการวิเคราะห์เทคนิคนิวตรอนแอคทีเวชัน มีดังต่อไปนี้

2.1.8.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน (Neutron Sources)

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA จะต้องมีแหล่งผลิตนิวตรอนเพื่อนำไปใช้ในการอาบรังสีดังต่อไปนี้

ก. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์/เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (nuclear reactor/atomic reactor)

เป็นระบบอุปกรณ์และเครื่องมือกลซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันติดต่อกันไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และสามารถควบคุมปฏิกิริยาดังกล่าวได้ด้วย เครื่องปฏิกรณ์ฯ นี้สามารถให้พลังงานความร้อนและอนุภาครังสีต่างๆ ออกมาอย่างมากมาย ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ฯ มีดังนี้

- ต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source)
- เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (nuclear fuel)
- ตัวหน่วงความเร็วนิวตรอน (moderator)
- ตัวสะท้อนนิวตรอน (reflector)
- วัสดุทำให้เย็น หรือตัวระบายความร้อน (coolant)
- แท่งควบคุมปฏิกิริยา (control rod)
- วัสดุกำบังรังสี (shielding)

พลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าต่าง ๆ กันตั้งแต่ 1-10 MeV ซึ่งเป็นนิวตรอนพลังงานสูง แต่หลังจากผ่านตัวหน่วงความเร็ว (Moderator) ทำให้พลังงานของนิวตรอนลดลง จากนิวตรอนพลังงานสูงลงมา เป็นนิวตรอนพลังงานต่ำ โดยการชนแบบไม่ยืดหยุ่นกับน้ำ หรือ แกรไฟต์ อนุภาคนิวตรอนที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์นั้น มีพลังงานต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถจำแนกอนุภาคนิวตรอน ตามขนาดของพลังงานได้เป็น 2 ชนิด คือ

นิวตรอนพลังงานต่ำ (Thermal neutron) เป็นอนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ คือ 0.025 eV สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับธาตุได้แทบทุกชนิด เนื่องจากธาตุส่วนมากมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวตรอนพลังงานต่ำได้ดี คือมีค่า Thermal neutron cross-section สูง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาแบบ (n,γ)

นิวตรอนพลังงานปานกลาง (Epithermal neutron) เป็นอนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่านิวตรอนพลังงานต่ำ ส่วนนิวตรอนพลังงานสูงมีพลังงานสูงกว่า 0.1 MeV จะทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n, p) หรือ (n, α) สำหรับนิวตรอนที่มีพลังงานสูง ๆ เช่น มากกว่า 1 MeV ขึ้นไป ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่จะเกิดขึ้นมีได้หลายแบบ เช่น ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n, 2n) ซึ่งต้องการนิวตรอนพลังงาน ~ 10 MeV และปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบ (n, 3n) ต้องการนิวตรอนพลังงาน ~ 30 MeV เป็นต้น

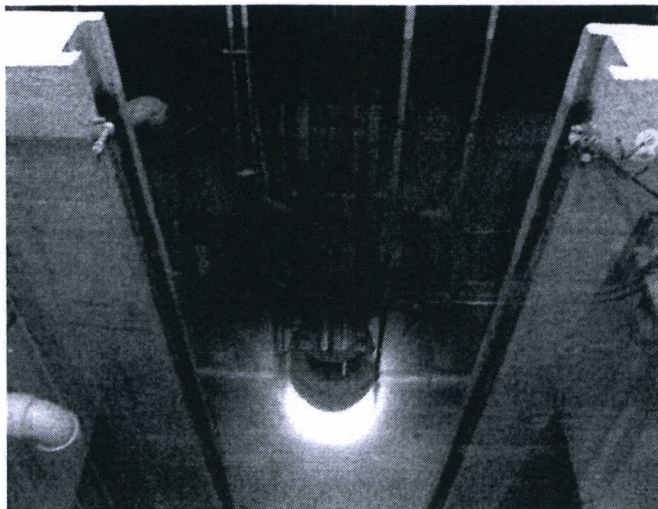
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์สามารถแบ่งได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้เกณฑ์อะไรเป็นหลัก ถ้าแบ่งตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานจะมีอยู่ 2 แบบดังนี้ [17]

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย (nuclear research reactor) ใช้ในการศึกษาค้นคว้าและทดลองเพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์และการผลิตไอโซโทปรังสี

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง (nuclear power reactor) มุ่งไปในการผลิตพลังงานความร้อนที่มีปริมาณสูงมาก และถ่ายเทความร้อนนั้นให้อยู่ในรูปของพลังงานกล เพื่อนำไปใช้ในการหมุนกังหันไอน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือหมุนใบพัดเพื่อขับเคลื่อนเรือดำน้ำและเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ เป็นต้น

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มมีเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อทำการวิจัยเป็นครั้งแรก โดยคณะรัฐมนตรีมีอนุมัติให้คณะกรรมการทำสัญญาว่าจ้างการก่อสร้างอาคารเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูใน.ศ.2503 การก่อสร้างอาคารและการติดตั้งเครื่องและอุปกรณ์ได้ดำเนินมาเป็นลำดับ จนกระทั่งแล้วเสร็จและเดินเครื่องเข้าสู่ภาวะวิกฤติเป็นครั้งแรกเมื่อเวลา 18.32 น. ของวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ.2505 โดยมีชื่อทางการว่า"เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1"หรือชื่อย่อว่า"ปปว.-1"ต่อมาเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2520 ได้ทำการเปลี่ยนแปลงแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ใหม่ จึงมีชื่อใหม่ว่า"เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่ 1" ชื่อย่อว่า"ปปว.-1/1"หรือชื่อสากลว่า"Thai Research Reactor-1/Modification 1" ชื่อย่อสากลว่าTRR-1/M1

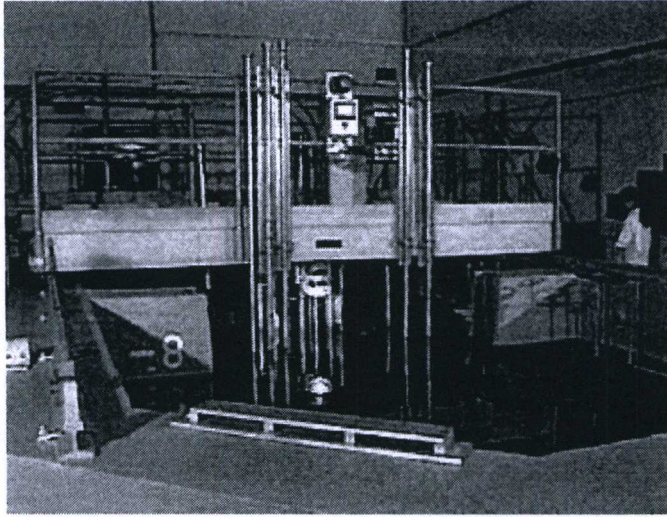


รูปที่ 2.5 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปปว.1/1) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ [17]

ปปว.-1/1 เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอนขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทยในปัจจุบัน ใช้สนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ให้กับหน่วยงานต่างๆ มากกว่า 30 ปี เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูฯ ทำงานเป็นระบบที่ประกอบขึ้นเพื่อควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) เช่น ระบบระบายความร้อน ระบบป้องกันอันตรายจากรังสี การผลิตนิวตรอนจากหลักการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ และการควบคุมปฏิกิริยานี้จึงเป็นที่มาของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (Nuclear Research Reactor)

ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของไทย

เครื่องปฏิกรณ์ฯ ของไทยในปัจจุบันเป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯ แบบวิจัยขนาดกำลังสม่ำเสมอ (Steady state) 2 เมกกะวัตต์ (ความร้อน) สามารถทำงานแบบทวิกำลัง (Pulsing) ได้ถึงประมาณ 2,000 เมกกะวัตต์ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 10.5 มิลลิวินาที (หนึ่งมิลลิวินาทีเท่ากับหนึ่งส่วนพันวินาที) ผู้สร้างคือบริษัท General Atomics แห่งประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ชื่อทางการค้าว่า TRIGA Mark III



รูปที่ 2.6 ลักษณะภายในอาคารปฏิกรณ์ปรมาณู [17]

ข. เครื่องผลิตนิวตรอน (Neutron Generators)

เครื่องผลิตนิวตรอนชนิดที่ใช้กันมากได้แก่ Cockcroft-Walton Neutron Generator ซึ่งได้จากการทำให้โมเลกุลของดิวเทอเรียม ไฮโดรเจน หรือฮีเลียม เกิดการไอออนไนซ์แล้วเร่งด้วยสนามไฟฟ้า (Electrostatic field) ไปชนกับเป้า ซึ่งเป็นทริเทียม หรือธาตุอื่น ๆ จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้โดยทั่วไปฟลักซ์ที่ได้ประมาณ 10^7 - 10^8 n/cm²-sec

ค. แหล่งผลิตนิวตรอนจากสารไอโซโทป (Isotropic Neutron Sources)

เป็นแหล่งผลิตนิวตรอนอีกชนิดหนึ่ง แต่ใช้กันไม่กว้างขวางนัก เพราะฟลักซ์ที่ได้ค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปมักจะนำมาใช้สำหรับการทดลองในห้องทดลอง ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดนิวตรอน คือธาตุกัมมันตรังสีหนักสลายตัวให้รังสีแอลฟา แล้วรังสีแอลฟาทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับ Be ได้นิวตรอน ดังสมการ ${}^9\text{Be} (\alpha, n) {}^{12}\text{C}$

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นพวกนิวตรอนพลังงานสูง และพลังงานปานกลาง ถ้าต้องการทำให้เป็นนิวตรอนพลังงานต่ำ สามารถทำได้โดยใช้พาราฟินหรือขี้ผึ้งเป็นตัวหน่วงความเร็ว

2.1.8.2 หัววัดรังสีแกมมา (Detector)

ดีเทคเตอร์ที่นิยมใช้ในเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

ก. ดีเทคเตอร์ที่บรรจุด้วยแก๊ส (Gas Filled หรือ Gas-Ionization Detector)

ดีเทคเตอร์ประเภทนี้อาศัยหลักการทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวไอออนไนซ์ โดยการใส่ประโยชน์จากการแตกตัวเป็นไอออนที่ผลิตขึ้นโดยรังสีที่พุ่งผ่านแก๊ส ซึ่งหัววัดต่างๆไปประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจะบรรจุด้วยแก๊ส รังสีที่พุ่งผ่าน

ช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจะจ่ายพลังงานบางส่วน หรือทั้งหมดให้กับแก๊สทำให้แก๊สเกิดการแตกตัวเป็น คู่ของไอออนลบและไอออนบวกขึ้น ซึ่งมีชื่อเรียกรวมกันว่า ไอออนคู่ (ion-pair) จำนวนไอออนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของรังสีที่ผ่าน ไอออนลบจะวิ่งเข้าไปที่เส้นลวด(ขั้ว-) ไอออนบวกวิ่งไปที่กระบอกทองแดง(ขั้ว +) ทำให้เกิดการไหลของกระแสขึ้นในวงจร เกิดสัญญาณ (pulse) ขึ้น ขนาดของสัญญาณ ส่งสัญญาณที่วิ่งผ่านเข้าเข้ามาในหัววัด ส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องนับ

แก๊สไอออนในเซชัน ดีเทคเตอร์ ประกอบด้วยกระบอกโลหะบรรจุแก๊สเฉื่อยไว้ตรงกลาง เป็นขั้วบวกทำด้วยเส้นลวด แก๊สที่ใช้บรรจุอาจเป็นแก๊สผสมของ Ar 90 % CH₄ 10 % หรืออาจใช้แก๊ส Ar ผ่านเข้าไปอย่างช้าๆ

ข. ซิลทิเลชัน ดีเทคเตอร์ (Scintillation Detectors)

เป็นหัววัดที่นิยมใช้กันมากในการค้นคว้าต่างๆทางนิวเคลียร์ ส่วนมากจะใช้วัดรังสีแกมมา และรังสีเอ็กซ์ รูปร่างลักษณะที่สำคัญของเครื่องมือประกอบด้วยสารเรืองแสง (Scintillator) ซึ่งสามารถปล่อยแสงออกมา เมื่อถูกรังสีพุ่งเข้าชนและประกอบด้วยหลอดทวีคูณ (photomultiplier tube) ซึ่งจะทำหน้าที่รับแสงและเพิ่มอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น

หลักการทํางาน คือเมื่อรังสีเกิดอันตรกิริยากับวัตถุแล้วเกิด ion-pairs ขึ้นและ อิเล็กตรอน นั้นทำให้เกิด secondary ionization อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นสามารถทำให้อะตอมเกิดสภาวะกระตุ้นได้ และเมื่อลดระดับของพลังงานลงสามารถให้แสง (light quanta) ออกมาได้สารที่มีลักษณะดังกล่าวที่เรียกว่า phosphors ซึ่งแสงที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืน ดังนั้น สารเหล่านี้จึงสามารถนำมาใช้สำหรับทำหัววัดได้ หัววัดประเภทนี้เรียกว่า ซิลทิเลชัน หัววัด ซึ่งซิลทิเลชัน หัววัดมีหลายชนิด ได้แก่ NaI(Tl), CsI(Tl), Stilbene , Anthracene, p-terphenyl และ Ag แต่ซิลทิเลชัน หัววัดที่นิยมใช้มากที่สุดคือ NaI(Tl)

ค. Solid State Detector หรือ Semiconductor Detector (SSD)

เป็นหัววัดที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากความก้าวหน้าในการประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำให้มีคุณสมบัติต่างๆตามต้องการ ซึ่งได้รับความนิยมสูงมาก เพราะเป็นหัววัดที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น lithium-drifted silicon detector, Si (Li) เหมาะแก่การใช้ตรวจวัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำ และอีกแบบหนึ่ง ได้แก่ lithium-drifted germanium detector, Ge (Li) เหมาะแก่การใช้วัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงๆ Ge detector มีอยู่ 2 แบบ คือ

- แบบธรรมดา (lithium-drifted germanium detector, Ge(Li)) หัววัดชนิดนี้ต้องทำงานและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวเท่านั้น

- แบบไฮเปอร์เพียว Hp(Ge) สามารถเก็บไว้ได้ที่อุณหภูมิห้อง

ลักษณะของ HpGe detector

ระบบการวัดรังสีแกมมา (Gamma Spectrometer)

ลักษณะของ Solid state detector ที่ใช้ควบคู่กับ multichannel analyzer นอกจากนี้ระบบการวัดรังสีแกมมา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดพลังงาน และจำนวนนับของรังสีแกมมาที่สลายตัวจากนิวไคลด์กัมมันตรังสี

หลักการทำงานของระบบการวัดรังสีแกมมา เมื่อรังสีวิ่งผ่านหัววัดรังสี จะคายพลังงานออกมาให้แก่หัววัดรังสีทำให้อะตอมของหัววัดเกิดการแตกตัว (ionization) ให้อิเล็กตรอนและโฮลปลายทั้งสองข้างของหัววัดมีขั้วไฟฟ้า ที่มีความต่างศักย์ต่างกัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังขั้วบวกทำให้เกิดประจุ โดยประจุที่เกิดขึ้นถูกรวบรวมประจุ(หรือกระแส) ที่เกิดจากหัววัดรังสีโดย Pre-amplifier เพื่อทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้มีขนาดพอเหมาะ ส่วนมากจะอยู่หลังหัววัดรังสี นอกจากนี้ขนาดของสัญญาณของหัววัดรังสีขึ้นอยู่กับไฟแรงสูง (High Voltage) ที่จ่ายให้กับหัววัดรังสี ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟสูงเป็นส่วนหนึ่งในเครื่องวัดรังสี สัญญาณที่ได้ถูกส่งไปยังวงจรขยายหลัก(Amplifier) ทำหน้าที่ปรับแต่งรูปร่างสัญญาณ (Pulse shaping) มีลักษณะเป็น Gaussian และทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณ (Amplification) จาก Pre-amplifier ให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้น และสัญญาณที่ได้ถูกส่งไปยัง เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer, MCA) ประกอบด้วย Analog to Digital Converter (ADC) มีหน้าที่ตรวจสอบความสูง (Amplitude) ของสัญญาณ สัญญาณที่ได้ถูกส่งไปยังเครื่องบันทึก(recordor) หรือเครื่องพิมพ์(printer)

2.1.8.3 ขั้นตอนของการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน

ก. การเก็บตัวอย่างและเตรียมสารมาตรฐาน (collection of sample and standard)

การเตรียมหรือเก็บตัวอย่างและสารมาตรฐานนั้นเป็นสิ่งสำคัญมากในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง คือต้องระวังไม่ให้เกิดการปนเปื้อน และการสูญเสียของตัวอย่าง เช่น การปนเปื้อนจากฝุ่นละอองซึ่งป้องกันได้โดยทำในกล่องปิดสนิท หรือทำในบริเวณที่กรองอากาศแล้ว ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่ควรบดให้ละเอียดก่อน

ข. การเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปอบรังสี (Pre-activation, treatment including containment)

ในการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปอบรังสีนั้น ก็เพื่อลดปริมาณรังสี เช่นทำให้แห้ง การทำให้เป็นขี้เถ้า หรือการใช้กรดทำละลายสารอินทรีย์ และการทำให้เข้มข้นขึ้น เป็นต้น

การทำให้แห้งหรือการแช่แข็ง ต้องระมัดระวัง เพราะบางครั้งจะทำให้เกิดการสูญหายของธาตุบางอย่างขณะที่ระเหยได้ เช่น ปรอท และสารประกอบทางเคมีบางรูปของ As, Br, Cl, I, N, Os, S, Se, และ Sn ดังนั้นจึงต้องเลือกวิธีอื่นแทน สำหรับการทำให้เข้มข้นขึ้น ส่วนใหญ่ใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลว เช่น น้ำทะเล ซึ่งมี Na และ Cl จะให้มีความแรงรังสีสูงมากหลังจากอบรังสี ดังนั้นจึงควร

แยกธาตุเหล่านี้ก่อน โดยนำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน หรือการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วจึงนำมาระเหยออกไป นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการตกตะกอน

ถ้าตัวอย่างเป็นฝุ่นละอองในอากาศ ก็ควรทำเบงค์เปรียบเทียบกับ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างบางชนิด เช่น กระจาดกรอง อาจทำจากสารซึ่งมีสิ่งเจือปนอยู่ด้วย

ภาษาที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วย NAA มี 3 ชนิด คือ

1. โพลีเอทิลีน ซึ่งมีความบริสุทธิ์ ทำความสะอาดได้ง่าย ใช้ความร้อน ปิดสนิทได้ ซึ่งใช้ได้ดีกับการอบรังสีในช่วงเวลาสั้นๆ แต่จะเปราะและแตกง่าย ถ้านำไปอบรังสีนิวตรอนที่มีค่าความเข้มข้นนิวตรอนมากกว่า $10^{21} \text{ nm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

2. กระจกอลูมิเนียม ซึ่งใช้ในการห่อตัวอย่าง แต่อาจจะดูคลิ่นปรอท จากตัวอย่าง ในขณะที่อบรังสี

3. หลอดแก้ว ใช้ได้ดีกับการอบรังสีเป็นเวลานานๆ และมีความบริสุทธิ์สูง ทำความสะอาดง่าย ไม่ดูคลิ่นปรอทในขณะที่อบรังสี แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการปิดปากหลอดให้สนิท

2.1.9 การวิเคราะห์ผล

2.1.9.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

การทำคุณภาพวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าสารตัวอย่างมีธาตุใดบ้างเป็นองค์ประกอบ ในการทำคุณภาพวิเคราะห์ เทคนิค NAA สามารถบอกได้โดยอาศัยลักษณะเฉพาะตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น คือ ครึ่งชีวิต (half-life) และพลังงานของรังสีที่ธาตุนั้นๆ สลายตัวออกมา สำหรับธาตุที่สลายตัวให้รังสีแกมมา ปัจจุบันมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงในการแยกพลังงานของรังสีแกมมาในสเปกตรัม เนื่องจากมี resolution สูงมาก เรียกว่า เครื่องแกมมา สเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้หัววัดเป็น HpGe เมื่อวัดสารตัวอย่างจะได้แกมมาสเปกตรัม ซึ่งแต่ละพีคสามารถบอกได้ว่ามีพลังงานเท่าใดได้ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออาจวิเคราะห์เองก็ได้ โดยอ่านจากกราฟมาตรฐานซึ่งสร้างขึ้นจากสารมาตรฐานที่ทราบพลังงานแน่นอนแล้วจากเครื่องเดียวกัน และปรับให้มีสถานะเหมือนกัน กราฟมาตรฐานที่เขียนขึ้นจากความสัมพันธ์ของพลังงานของแกมมากับจำนวนช่อง (channel number) ดังนั้นถ้าทราบพีคอยู่ที่ channel เท่าไรก็สามารถหาพลังงานได้โดยทันที

รังสีแกมมาแต่ละพลังงานที่วัดได้ เรียกว่า โฟโตพีค (Photopeak) ค่าที่นับวัดบนพื้นที่ของโฟโตพีค มีค่าแปรผันตามกัมมันตภาพรังสี

$$\begin{aligned} \text{กัมมันตภาพรังสี} &= \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ}}{\text{ประสิทธิภาพของระบบวัด}} \\ \text{Activity} &= \frac{\text{Peak Area}}{\text{Efficiency}} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

2.1.9.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quatitative Analysis)

การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุทั้ง INAA และ RNAA ในทางปฏิบัติจะใช้วิธีวิเคราะห์แบบ comparison method โดยทั้งสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องทำให้อยู่ที่สภาวะเดียวกัน แล้วจึงจะเปรียบเทียบกันได้ ดังสมการ

$$M_1 = \frac{(A_1 \times W_2)}{(A_2 \times W_1)} \times M_2$$

..... (12)

เมื่อ	เมื่อ	W1 =	น้ำหนักของตัวอย่าง
		W2 =	น้ำหนักของสารมาตรฐานอ้างอิง
		A1 =	ความแรงรังสี (Peak area) ของธาตุในตัวอย่าง
		A2 =	ความแรงรังสี (Peak area) ของธาตุในสารมาตรฐาน
		M1 =	ความเข้มข้นของธาตุในตัวอย่าง
		M2 =	ความเข้มข้นของธาตุในสารมาตรฐาน

2.1.10 ข้อดีและข้อจำกัดในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA

2.1.10.1 ข้อดีของเทคนิค NAA

ก. ความไวของการวิเคราะห์สูง (sensitivity) ความไวในที่นี้หมายถึง ความสามารถในการวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่งได้ต่ำสุดเท่าใด ภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งความไวขึ้นกับ ความเข้มข้นของอนุภาคนิวตรอน (ϕ) ความสามารถในการจับนิวตรอน (σ) สัดส่วนการมีอยู่ตามธรรมชาติของไอโซโทปที่เสถียร ถ้าสิ่งเหล่านี้มีมากจะทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่างมีความไวสูง สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุในตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้

ข. เป็นวิธีที่ไม่ต้องกังวลเรื่องความผิดพลาดที่จะเกิดจากการปนเปื้อนในระหว่างการปฏิบัติงานหลังจากการอาบรังสีแล้ว เนื่องจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้กลายเป็นไอโซโทปรังสี ซึ่งแตกต่างจากสิ่งเจือปนอื่น ๆ ซึ่งเป็นไอโซโทปที่ไม่มีรังสี

ค. การวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน เป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยได้ดี เพราะเทคนิคนี้คำนึงถึงเฉพาะปริมาณรังสีที่จะเกิดขึ้น แม้ว่าจำเป็นต้องอาศัยกรรมวิธีทางเคมีเข้าช่วยก็ยังสามารถเติมไอโซโทปที่เสถียร ของธาตุนั้นเป็นตัวพา เพื่อป้องกันการสูญหายของไอโซโทปรังสีของธาตุที่จะวิเคราะห์ได้ ทำให้สามารถปฏิบัติงานได้เหมือนวิธีวิเคราะห์ทางเคมีธรรมดา เนื่องจากมีธาตุนั้นมากพอ

- ง. เป็นวิธีวิเคราะห์ที่วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ
- จ. เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องแยกธาตุที่วิเคราะห์ให้ออกมาอย่างสมบูรณ์ เพียงแยกออกมาให้บริสุทธิ์ และมากพอที่จะวัดปริมาณรังสีได้เท่านั้น
- ฉ. เป็นวิธีที่ใช้กับตัวอย่างของแข็งและของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ในกรณีที่ใช้ช่วงเวลาในอาบสั้น ๆ (แต่ถ้าอาบรังสีนาน ๆ และใส่ภาชนะที่ปิดสนิท อาจเกิดก๊าซ และระเบิดได้)

2.1.10.2. ข้อเสียของเทคนิค NAA

- ก. ต้นกำเนิดนิวตรอน และเครื่องมือนับรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์มีราคาสูง
- ข. วิเคราะห์ได้เฉพาะธาตุที่เกิดปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วให้อิโซโทปรังสี
- ค. ให้ผลการวิเคราะห์แสดงเป็นปริมาณธาตุ ไม่สามารถแสดงโครงสร้างของสารประกอบ
- ง. ตัวอย่างที่อาบนิวตรอนแล้วมีกัมมันตภาพรังสี ทำให้ผู้วิเคราะห์ได้รับรังสี ขณะทำการทดลอง และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการกากกัมมันตรังสีกับตัวอย่างที่วิเคราะห์แล้ว
- จ. เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ช้า เมื่อเทียบกับเทคนิคทางเคมีบางชนิด เนื่องจากช่วงเวลาในการอาบรังสีบางครั้งต้องใช้เวลาหลายวัน และต้องใช้เวลาให้สลายตัวหลายวัน จึงจะนำมานับรังสีได้

2.1.10.3 ข้อผิดพลาดของเทคนิค NAA

- ก. การสุ่มตัวอย่าง (sampling) เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี NAA มีความไวของการวิเคราะห์สูง จึงใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย ดังนั้นสารตัวอย่างมีเนื้อสารแตกต่างกัน หรือการคลุกเคล้าไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้
- ข. การเตรียมสารตัวอย่าง (sample preparation) ในกรณีสารตัวอย่างทางชีววิทยาที่ต้องการวิเคราะห์ ต้องมีการเผาหรือทำให้แห้งก่อนการอาบรังสี อาจทำให้มีการสูญเสียธาตุที่ระเหยเป็นไอได้ หรือบางครั้งต้องผ่านการบดให้ละเอียด คลุกเคล้าให้เข้ากันดี จึงอาจมีการปนเปื้อนจากภาชนะที่ใส่ได้
- ค. ความเข้มของนิวตรอนไม่คงที่ (flux inhomogeneity) เนื่องจากความเข้มของนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ที่ตำแหน่งต่างกันมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นถ้านำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเข้าอาบรังสีในตำแหน่งต่างกัน หรือใช้เวลาต่างกัน ปริมาณไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นจากสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน จะนำมาเปรียบเทียบกันไม่ได้
- ง. การกำบังตนเองขณะอาบรังสี (self-shielding) ข้อผิดพลาดนี้เกิดจากธาตุบางชนิดในตัวอย่างมีความสามารถในการจับอนุภาคนิวตรอนได้ดีกว่าธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ถ้าสารตัวอย่างมีธาตุเหล่านี้มาก อนุภาคนิวตรอนจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับธาตุเหล่านี้ ทำให้ไอโซโทปรังสีของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์เกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ ทำให้วิเคราะห์ผิดพลาดได้
- จ. ข้อผิดพลาดจากการนับรังสี (Counting errors) มีดังนี้

- ข้อผิดพลาดทางสถิติ (statistical errors) เกิดขึ้นเมื่อค่าพื้นที่ใต้พีคที่ได้มีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานับให้นานพอสมควร
- ข้อผิดพลาดจากตำแหน่งที่วางตัวอย่าง (geometrical errors) เกิดขึ้นเมื่อ สารตัวอย่าง และสารมาตรฐานมีรูปร่างและขนาดต่างกัน คือในการวัดตัวอย่างและสารมาตรฐาน ควรวางห่างจาก หัววัดเท่า ๆ กัน
- ข้อผิดพลาดจากเวลาที่ใช้วัดรังสี (timing errors) จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการนับของสาร ไอโซโทปรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ๆ
- ข้อผิดพลาดจากความแรงรังสีของตัวอย่าง ซึ่งเกิดขึ้นใน INAA ในกรณีที่ตัวอย่างมีความแรงรังสีสูง และนำมาวางใกล้หัววัดมาก ๆ ซึ่งสามารถลดความแรงรังสีได้โดยใช้เวลาหลายตัวให้นานขึ้น หรือวางให้ห่างจากหัววัดมากขึ้น

2.1.11 การนำเทคนิคของ NAA ไปใช้ประโยชน์ (Applications of NAA) [16]

2.1.11.1 ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย ๆ ในสารบริสุทธิ์ (Application to semiconductors and pure materials)

เทคนิค NAA ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย ๆ ในสารบริสุทธิ์ได้ ในกรณีที่สารบริสุทธิ์นั้น ไม่ให้รังสีออกมาแรงมากหลังจากการอาบรังสีแล้ว ตัวอย่างเช่น silicon ที่ใช้ทำ semiconductors นั้น มักมีความบริสุทธิ์สูง และพบว่าใน silicon ที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.999 % นั้น สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 40-50 ธาตุ โดยใช้เทคนิค INAA และ RNAA

2.1.11.2 ศึกษาด้านธรณีวิทยา (Application in earth sciences)

สามารถช่วยในการศึกษาหาแหล่งแร่ได้ โดยการเก็บตัวอย่างพวก แร่ หิน หรือดิน จากแหล่งต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ได้

2.1.11.3 ศึกษาทางด้านชีววิทยา (Application in the life science)

ใช้วิเคราะห์ธาตุในเนื้อเยื่อพืช เช่น วิเคราะห์ N จากปฏิกิริยา $^{14}\text{N} \quad (n,2n) \quad ^{13}\text{N}$ เป็นต้น ส่วนในสัตว์ก็ได้มีการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ เพื่อศึกษาระบบทางเดินอาหาร

2.1.11.4 ศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม (Application in environmental science)

ใช้วิเคราะห์ธาตุที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ ดิน และตะกอนเพื่อศึกษาถึงมลพิษต่าง ๆ

2.1.11.5 ด้านการพิสูจน์หลักฐาน (Application in forensic sciences)

ใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ในสะเก็ดของสี เศษแก้ว เขม่าป็น และวิเคราะห์หามลพิษที่สะสมในซากศพของคน

2.1.11.6 ด้านโบราณวัตถุ (Application in archaeology)

วิเคราะห์ธาตุในเครื่องปั้นดินเผา เครื่องลายคราม แท่งหิน เหริยธู และภาพเขียน เป็นต้นเพื่อศึกษาว่าตัวอย่างดังกล่าวมาจากแหล่งเดียวกันหรือไม่

2.2 คุณสมบัติของธาตุ [12,27,30]

โคบอลต์ (Cobalt ; Co)

โคบอลต์มีน้ำหนักโมเลกุล 59 โดยทั่วไปมักจะอยู่ในรูปของแข็ง มีสีชาวจน ภายนอกคล้ายนิกเกิล และเหล็ก มีความแวววาว อยู่ระหว่างกลางระหว่างเหล็กและนิกเกิล มีเลขออกซิเดชัน คือ +2 และ +3 มักไม่พบในรูปของธาตุอิสระ และปริมาณในโลกมีประมาณ 0.0023 เปอร์เซ็นต์ แร่ของโคบอลต์ที่พบ โดยทั่วไปมีความเข้มข้นไม่สูง โคบอลต์เกือบทั้งหมดที่ได้มาจึงเป็นผลพลอยได้จากการทำเหมือง ทองแดงและนิกเกิล ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของโคบอลต์ ทั้งหมดใช้ในการผลิตโลหะเจือ และที่สำคัญ ได้แก่การผลิตแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กอ่อน ปกติโคบอลต์ในปริมาณน้อย ไม่เป็นพิษต่อคนและสัตว์ แต่โคบอลต์ในรูปผงสามารถติดไฟได้

โคบอลต์จัดเป็นเกลือแร่ในร่างกาย และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของวิตามิน บี 12 หรือ COBALAMIN วิตามินบี 12 เป็นส่วนใหญ่ เกลือแร่โคบอลต์ในร่างกายจะใช้เพียงเล็กน้อย และเมื่อร่างกายได้ใช้งานแล้วจะ ปลดปล่อยออกจากร่างกายทางปัสสาวะ โคบอลต์ในร่างกายจะพบมากในเลือด น้ำเหลือง ดับและม้าม ร่างกายไม่สามารถจะผลิตเองได้ และได้มาจากอาหารเท่านั้น

ประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ มีส่วนช่วยในการปฏิบัติงานของน้ำย่อยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีความสำคัญต่อการปฏิบัติงาน และรักษาสุขภาพของเม็ดโลหิตแดง และเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย ช่วยร่างกายในการผลิตโคลีน ช่วยร่างกายเติบโตอย่างปกติ รักษาความเยาว์วัยให้คงนาน ช่วยการทำงานของ เซลล์ปลายประสาทที่รับความรู้สึกจากภายนอก ร่างกาย รักษาเยื่อหุ้มเส้นใยประสาทให้อยู่ในสภาพที่ดี อยู่ และล้างพิษหรือละลายพิษจากอาหาร และอื่น ๆ เช่น บุหรี่ คาเฟอีน และมีผลต่อการขยายของหลอดเลือด ดังนั้นจึงช่วยในการลดความดันสูง

อาหารที่เป็นแหล่งที่ดีที่สุดคือ เนื้อ โดยเฉพาะตับและไต หอยนางรม นม โคบอลต์จะพบมากจาก อาหารที่ได้จากทะเลและพืชทะเลมากกว่าพืชผักที่ปลูกบนพื้นดิน ดังนั้น ผู้ที่รับประทานมังสวิรัต้มักจะ ขาดเกลือแร่ชนิดนี้อยู่บ่อย ๆ โคบอลต์จะเก็บที่เม็ดเลือดแดง พลาสมา และบางส่วนจะเก็บไว้ที่ตับ ไต ตับอ่อน

ปริมาณที่รับได้ยังไม่มีความมาตรฐานกำหนด ในรายที่จำเป็นต้องเสริมเกลือแร่โคบอลต์ ร่างกายไม่สามารถรับโคบอลต์ได้โดยตรงได้จึงต้องรับประทานวิตามินบี 12 ในปริมาณที่มีโคบอลต์ 5-8 ไมโครกรัมต่อวัน สำหรับผู้ใหญ่ ส่วนเด็กมักจะไม่มีพบการขาดเกลือแร่ชนิดนี้ ยกเว้นในถิ่นที่ขาดอาหาร ประเภทเนื้อสัตว์ ผู้ใหญ่ที่รับประทานมังสวิรัตติดต่อกันเป็นระยะเวลา 3-6 ปี จะทำให้เกิดการขาด โคบอลต์

การขาดโคบอลต์ ทำให้เกิดเป็นโรคโลหิตจางชนิดเม็ดเลือดแดงโตกว่าปกติ และอายุไม่สมบูรณ์ (pernicious anemia) ถึงแม้ว่าโรคโลหิตจางชนิดนี้จะเกิดจากการขาดโคบอลต์ แต่จะรักษาโดยให้ผู้ป่วย รับประทานโคบอลต์โดยตรงไม่ได้ ต้องรักษาโดยการฉีด หรือรับประทานวิตามินบี 12

และถ้าขาดโคบอลต์ยังทำให้เกิดภาวะอัตรการเจริญเติบโตจะช้า ถ้าขาดโคบอลต์นั้นไม่ได้รับการรักษา จะทำให้เกิดความผิดปกติทางประสาทอย่างถาวร

ประมาณร้อยละ 70-80 ของโคบอลต์ที่กินเข้าไปจะถูกดูดซึมได้ที่ลำไส้เล็ก และส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 65 จะถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ ส่วนน้อยที่ขับออกทางอุจจาระ โดยถูกขับออกมาในน้ำดี โคบอลต์จะถูกเก็บไว้ในเม็ดเลือดและพลาสมา บางส่วนจะถูกเก็บไว้ในตับ ไต ตับอ่อน และม้าม อาหารหรือสารเสริมฤทธิ์ ได้แก่ ทองแดง เหล็ก และสังกะสี

โครเมียม (Chromium ; Cr)

โครเมียมเป็นธาตุที่ไม่พบในธรรมชาติในรูปของธาตุบริสุทธิ์ พบมากในรูปของสินแร่ chromite($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) พบในปริมาณน้อยในหินอัคนี ในปริมาณมากกว่าหินดำนก้านิค ในแหล่งน้ำจืดหรือแหล่งน้ำทั่วไป จะมีโครเมียมละลายอยู่น้อยกว่า 0.01 ppm

โครเมียมนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบของโลหะผสมทำให้แข็ง มีความเหนียวและทนทาน ป้องกันโลหะไม่ให้เป็นสนิม คงทนต่อการผุกร่อน ใช้ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ใช้ในการทำสี ทำพรมน้ำมัน วัตถุระเบิด เซรามิก กระดาษ ปูน สารเคมีกำจัดศัตรูพืช การถ่ายรูปโครเมียมแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม โดยการผุกร่อนพังทลายของวัตถุต้นกำเนิด เปลือกโลกและการกระทำของมนุษย์ การนำโครเมียมมาใช้ในอุตสาหกรรม การทำเหมือง ทำให้โครเมียมแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำ โครเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหาร การหายใจ และทางผิวหนัง

โครเมียมเป็นเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการปริมาณน้อย และในร่างกายมีโครเมียมอยู่น้อยกว่า 6 มิลลิกรัม และจะลดลงเมื่ออายุมากขึ้น โดยเฉพาะผู้สูงอายุ จะทำงานร่วมกับอินซูลินในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือดได้ด้วยป้องกันหลอดเลือดแข็ง เป็นตัวที่มีบทบาทร่วมกับ RNA ในการสังเคราะห์โปรตีน ช่วยนำอาหารที่ย่อยแล้วจำพวกอะมิโนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ป้องกันพิษที่เกิดจากตะกั่ว

อาหารที่มีโครเมียมสูง คือ ยีสต์ ข้าวชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวกล้อง รวมทั้ง ดับ ขมิ้นแดง หอย เนยแข็ง เห็ด กากน้ำตาล น้ำมันข้าวโพด ผักและผลไม้จะมีอยู่ปริมาณเล็กน้อย

การขาดโครเมียมทำให้เกิดการสะสมไกลโคเจนที่สะสมไว้ที่ตับลดลง การเผาผลาญอะมิโนผิดปกติ คอเลสเตอรอลในเลือดสูง ผนังเส้นเลือดเสื่อม การทำงานของอินซูลินไม่สมบูรณ์ ลดการเจริญเติบโต เกิดอาการคล้ายเบาหวานที่เกิดจากการขาดโครเมียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหญิงตั้งครรภ์และผู้สูงอายุ

การได้รับมากเกินไปจะทำให้เกิดมะเร็งปอดถ้ามีการสะสมเป็นเวลานาน เกิดบาดแผลที่คล้ายถูกเจาะด้วยตะปู คัน ผิวหนังอักเสบ เชื้อก้นจุมกทะเลได้ ในกรณีสุดคมเป็นจำนวนมาก

อัตราการดูดซึมในอาหารแต่ละอย่างจะแตกต่างกันออกไป แต่ทั้งหมดจะมีการดูดซึมไม่เกินร้อยละ 3 ของโครเมียมทั้งหมดที่รับประทาน จะถูกขับออกทางปัสสาวะ และมีส่วนน้อยถูกขับออกทางอุจจาระ สารหรืออาหารเสริมฤทธิ์ ได้แก่ โครเมียม คาโบเนต ยีสต์

ซีเรียม (Cerium ; Ce)

เป็นธาตุแรกของหมู่ธาตุแลนทานอยด์ (lanthanoid) ชื่อ lanthanoids เป็นชื่อที่รับรองของ IUPAC อาจเรียกธาตุในหมู่นี้ว่าธาตุหายาก ซีเรียมเป็นโลหะแลนทานอยด์ ที่มีปริมาณมากที่สุดและมีมากเป็นอันดับที่ 28 ของบรรดาธาตุทั้งหมดที่พบในธรรมชาติ ประมาณการว่าเปลือกโลกประกอบด้วยธาตุซีเรียม 46.1 กรัมต่อเมตริกตัน

แร่ที่มีซีเรียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ allanite (เรียกว่า orthite ด้วย) bastnasite, cerite และ monazite แร่ allanite เป็นแร่ชนิดหนึ่งของธาตุหายาก (rare earths) อลูมินัม แคลเซียม และเหล็ก มีมากในภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา และในเยอรมัน กรีนแลนด์ สหภาพโซเวียต และสแกนดิเนเวีย แร่ bastnasite เป็น fluorocarbonate ของธาตุหายาก เป็นแหล่งซีเรียมและแร่ธาตุหายาก ที่มีความสำคัญเป็นอันดับสอง มีมากในภาคใต้ของแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วน monazite ซึ่งเป็นแร่ฟอสเฟตของโลหะของธาตุหายาก โดยมีซีเรียมเป็นองค์ประกอบหลักและเป็นแหล่งของซีเรียมที่สำคัญที่สุดมีพบกระจายทั่วไป เช่น ในรัฐโอคาโฮ ฟลอริดา และมอนทาน่า ในสหรัฐอเมริกา อินเดีย บราซิล แอฟริกาใต้ และในประเทศไทยด้วย

การใช้ประโยชน์ในเชิงการค้า ซีเรียมในรูปซีริกออกไซด์ มีความสำคัญที่สุดใช้ในการขัดกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระจกจำพวก precision optical glasses นอกจากนี้ยังใช้เคลือบผิว เป็น refractory ออกไซด์ (ออกไซด์ที่ใช้งาน ณ อุณหภูมิสูง) ทำคาโทด capacitors กิ่งตัวนำ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบางชนิด

ความสามารถในการดูดกลืนซีเรียมโดยร่างกายจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซีเรียมและสารประกอบของซีเรียมจึงเป็นพิษกับร่างกายในเกณฑ์ต่ำ นอกเสียจากว่าไอออนลบของสารประกอบซีเรียมจะเป็นพิษ ซีเรียมอยู่ในรูปผงสามารถติดไฟได้ในอากาศ การใช้ซีเรียมจึงต้องมีความระมัดระวังสูง

ทอเรียม (Thorium ; Th)

ทอเรียมมีเลขอะตอม 90 เป็นธาตุที่ 2 ของหมู่แอกทิโนออยด์ (actinoids) ทอเรียมบริสุทธิ์ เป็นโลหะสีขาวเงิน มีความมันวาวค่อนข้างอ่อน ไม่ค่อยว่องไวต่อปฏิกิริยาทางเคมี สามารถละลายน้ำได้ช้า ละลายได้น้อยในกรดอนินทรีย์ ยกเว้นกรดไฮโดรคลอริก และไม่ละลายสารละลายเบส บนโลกมีทอเรียมประมาณ 0.0015 เปอร์เซ็นต์ และมักพบอยู่ในรูปของธาตุหายากต่าง ๆ และแร่ของยูเรเนียมที่กระจายอยู่ทั่วไป และแหล่งแร่สำคัญที่สุดของทอเรียม คือแร่โมนาไซต์ (monazite)

การใช้ประโยชน์ที่สำคัญของทอเรียมพอสรุปได้ดังนี้ เป็นแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ที่สำคัญ ทอเรียมที่ใช้จะอยู่ในรูปของโลหะอิสระ ออกไซด์ สารประกอบหรือโลหะเจือ นำมาใช้เตรียม Wel sbach mantle ซึ่งใช้เป็น gas lights, Mantis ประเภทนี้ประกอบด้วยทอเรียมออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบอื่น ๆ จะเรืองแสงเมื่อได้รับความร้อนจากเปลวไฟแก๊ส ใช้ผสมกับ

แมงกานีส ใช้สำหรับใช้ในอุปกรณ์เครื่องไฟฟ้า

ทอเรียมมีความเป็นพิษต่ำ อย่างไรก็ตามก็ยังคงต้องใช้ความระมัดระวังสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ทอเรียมในปริมาณมาก ๆ นอกจากนี้แล้วทอเรียมในรูปผงยังสามารถติดไฟโดยตนเองได้ในอากาศ

แมงกานีส (Manganese ; Mn)

แมงกานีสเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 25 เลขมวล 54.9380 ในธรรมชาติพบอยู่ในรูปของ ออกไซด์ ซิลิเกต และคาร์บอเนต เปลือกโลกจะมีธาตุแมงกานีสเป็นส่วนประกอบคิดเป็นค่าเฉลี่ย 100 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งความเข้มข้นของแมงกานีสแตกต่างกันไปในหินและแร่แต่ละชนิด หินอัคนี เช่น ferrohortonilite, ferrogabbro ประกอบด้วยแมงกานีส 1,620 ไมโครกรัมต่อกรัม แต่หินพวก acid granophyre มีแมงกานีส 80 ไมโครกรัมต่อกรัม[30]

ปริมาณแมงกานีสในดินแตกต่างกันมากตั้งแต่ร้อยละ 20 ไมโครกรัมต่อกรัม จนถึงมากกว่า 6,000 ไมโครกรัมต่อกรัม แต่ปริมาณแมงกานีสในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mn) ปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 10-100 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนรูปของแมงกานีสที่สำคัญในดินได้แก่ Mn^{2+} และแมงกานีสออกไซด์ที่อยู่ในสภาพที่มีประจุบวกสามและประจุบวกสี่ (Mn oxide; Mn^{3+} และ Mn^{4+}) ทั้งนี้ Mn^{2+} เป็นรูปที่พืชดูดดึงขึ้นไปได้ง่ายซึ่งอาจถูกดูดซับอยู่กับผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวหรืออินทรีย์วัตถุ และอยู่ในสภาพของไอออนในสารละลาย

กระบวนการการดูดซับ (adsorption process) แมงกานีสในดินถูกควบคุมโดยความเข้มข้นของแมงกานีสในสารละลายดิน จากการศึกษาพบว่า แมงกานีสเมื่ออยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน มีประโยชน์ น้อยกว่าที่อยู่ในรูปของสารประกอบแมงกานีสออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ

แมงกานีสนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมเหล็กกล้า การผลิตโลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็ก ได้แก่ manganese bronz แมงกานีสผสมทองแดงหรือนิกเกิล ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า ใช้ทำถ่านไฟฉาย แมงกานีสยังใช้เป็นตัวออกซิไดส์ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การผลิตเภสัชภัณฑ์ อุตสาหกรรมการย้อมผ้า สี เครื่องแก้ว เครื่องเคลือบดินเผา.

แมงกานีสเป็นธาตุที่พืชชั้นสูงส่วนใหญ่ต้องการในปริมาณน้อย และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณน้อย อาการพิษร้ายแรงที่สุดเกิดจากการสูดฝุ่นแมงกานีสเข้าไปในปริมาณมากและเป็นระยะเวลายาวนาน คือทำลายระบบประสาทส่วนกลาง และถ้าสัมผัสกับแมงกานีสและเปอร์แมงกานีสทำให้เกิดอาการคัน แสบและมีผื่นแดงได้

แมงกานีส เป็นเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการน้อย แต่มีความสำคัญต่อชีวิตมาก ร่างกายจะขาดไม่ได้ จะพบมากที่สุดที่ในโครงกระดูก ตับ ตับอ่อน หัวใจและต่อมพิทูอิทารี มีคุณสมบัติเป็นต่าง แมงกานีสส่วน

ใหญ่จะสูญเสียไประหว่างกระบวนการปรุงอาหาร และส่วนเกินจะออกผ่านทางน้ำดีแล้วจะออกทางอุจจาระ

แมงกานีส ช่วยควบคุมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด มีส่วนช่วยร่างกายในการใช้ ไปโอติน วิตามินบีและวิตามินซี เพื่อเผาผลาญโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันให้เกิดผลมากขึ้น ช่วยในการสังเคราะห์ กรดไขมัน และคอเลสเตอรอล ช่วยในการสร้างเม็ดโลหิตแดง และกระดูก พร้อมทั้งรักษาให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโต รวมทั้งการสืบพันธุ์ให้ทำงานตามปกติ ช่วยขับฮอร์โมนเพศด้วย ควบคุมสุขภาพ การทำงานของสมองระบบประสาท และระบบกล้ามเนื้อ ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมีความสัมพันธ์กัน ช่วยการทำงานของอินซูลิน เพราะอินซูลินจะทำงานได้ดีต้องอาศัยแมงกานีส เป็นธาตุสำคัญที่ช่วยในการ กระตุ้นให้ตับเก็บน้ำตาลในรูปของ Glycogen ที่ร่างกายจะนำออกมาใช้ในรูปของ กลูโคสเมื่อจำเป็น ช่วยในการใช้โคลีน มีความสำคัญในการผลิตน้ำมัน และการสร้างยูเรียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัสสาวะ

พบแมงกานีสในอาหารทะเล หอยนางรม ตับสัตว์ ไข่แดง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวไรน์ ข้าวเจ้า แห้ว แครอท หัวปลี ถั่วลิสง เมล็ดอัลมอนด์ เมล็ดทานตะวัน มะพร้าว กระเทียม กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี ถั่วลิสง ถั่วปรง มะกอก ส้ม แอปเปิ้ล อะโวคาโด แอปริคอต และผลไม้เปลือกแข็ง เช่น มะขาม มะขวิด กระเจี๊ยบ เป็นต้น อาหารเหล่านี้เป็นแหล่งที่ดีของแมงกานีส แต่ปริมาณที่มีอยู่อาจจะต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุแมงกานีสที่มีอยู่ในดิน

การขาดจะมีผลเกี่ยวกับการต้านทานกลูโคส (Glucose Tolerance) คือร่างกายไม่สามารถนำน้ำตาลที่มากเกินไปออกจากร่างกายโดยการออกซิเดชัน หรือนำไปเก็บที่อื่นได้ และการที่กล้ามเนื้อทำงานไม่พร้อมกัน (Staxia) เกี่ยวพันกับการบริโภคมแมงกานีสไม่เพียงพอ นอกจากนี้การขาดแมงกานีส จะนำไปสู่อาการอัมพาต ตาบอด หูหนวก และชักในทารก สำหรับผู้ใหญ่จะปรากฏอาการเวียนศีรษะ และไม่สามารถได้ยินเสียง ทำให้เกิดอาการดังนี้ ได้แก่การเจริญเติบโตช้า แคระแกร็น การเผาผลาญน้ำตาลตลอดถึงการเก็บไม่ดี ทำให้เป็นเบาหวานได้ ระบบการย่อยไม่ปกติ กล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กับประสาท ไม่แข็งแรง อัมพาต ชัก ตาบอด และอาจทำให้เด็กหูหนวกได้ เวียนศีรษะ มีเสียงในหู และหูหนวกในผู้ใหญ่

สแกนเดียม (Scandium ; Sc)

เป็นธาตุแรกที่มีการป้องกันอิเล็กตรอนเข้ายังออร์บิทัล 3d เคยจัดเป็นโลหะทรานซิชันแต่นิยามใหม่ไม่จัดธาตุนี้เป็นธาตุทรานซิชัน เนื่องจากขาดสมบัติต่าง ๆ ที่เป็นสมบัติเฉพาะของโลหะทรานซิชัน เช่น มีเลขออกซิเดชันได้เพียงค่าเดียว คือ +3 และไม่เกิดสารเชิงซ้อน เป็นต้น

เปลือกโลกมีสแกนเดียมประมาณ 5 ไมโครกรัมต่อกรัม (พอ ๆ กับ Be และธาตุ rare earths บางธาตุ) และพบกระจายทั่วไปในแร่ธาตุหลายชนิด แต่ทั่วไปมีความเข้มข้นต่ำ ในปี ค.ศ. 1911 Schetalin ได้พบแร่ใหม่คือ thortveitite ในนอร์เวย์ ซึ่งประกอบด้วย Sc_2O_3 สูงถึง 30-40% ต่อมาแร่นี้ยังพบในมาดากัสกาด้วย แร่อื่น ๆ ที่มีสแกนเดียม ได้แก่ wolframite, wiikite และ cassiterite นอกจากนี้ยังพบในกากจาก

กระบวนการถลุงแร่ยูเรเนียมด้วย แต่ก็มีความเข้มข้นต่ำเช่นกัน แต่ของ rare earths ทั่วไปไม่พบ สแกนเดียม

ในปัจจุบันยังไม่มี การนำ สแกนเดียม ไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ความสนใจในธาตุนี้จึงจำกัด เฉพาะในวงการศึกษาศึกษาและค้นคว้าวิจัย

สแกนเดียมไม่ปรากฏความเป็นพิษ

สังกะสี (Zinc ; Zn)

สังกะสีเป็นธาตุหมู่ 2B มีเลขอะตอม 30 เลขมวล 65.38 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 มีไอโซโทปที่เสถียร 5 ไอโซโทป มีสีขามแกมเทา มีความถ่วงจำเพาะ 7.14 จุดหลอมเหลว 419 องศาเซลเซียส จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส มีความแข็งแต่เปราะ ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในกรดเจือจาง เช่น กรดซัลฟูริกและ กรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้ก๊าซไฮโดรเจน ปกติไม่พบสังกะสีในรูปอิสระ ในธรรมชาติพบในรูปแร่ หรือสารประกอบ สามารถรวมตัวกับสารอินทรีย์ ดังนั้นบริเวณที่มีสารอินทรีย์จะพบสังกะสีอยู่ด้วย [30]

สังกะสีอยู่ในธรรมชาติ ทั้งที่เป็นซิงค์ซัลไฟด์ และซิงค์คาร์บอเนต สามารถถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ได้ นอกจากนี้มีการนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ทำโลหะผสม ทำถ่านไฟฉาย ท่อน้ำ เครื่องใช้ต่าง ๆ และใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรม เกี่ยวกับยาง สี เครื่องสำอาง ผ้ กระดาษ กลั่นน้ำมัน การทำเส้นใยสังเคราะห์ และยาปราบศัตรูพืช จึงทำให้สังกะสีกระจายสู่สิ่งแวดล้อม และแหล่งน้ำได้

สังกะสีในรูปสารประกอบเป็นพิษมากกว่าในรูปธาตุหรือ ไอออนอิสระ ความเป็นพิษของสังกะสีไม่สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยหมู่ซัลไฮดริล (-SH) เหมือนโลหะชนิดอื่น การได้รับสังกะสีเข้าไปในร่างกายจะไปสะสมที่ตับและไตในปริมาณมาก สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่ร่างกายต้องการใน ปริมาณน้อยมาก สังกะสีมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของกระดูก สหรัฐอเมริกาอนุญาต ให้นมที่ใช้เลี้ยงทารกมีสังกะสีผสมอยู่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พิษของสังกะสีเกิดเนื่องจากอิทธิพลของโลหะ อื่นที่มีอยู่ด้วย เช่น แคดเมียม ตะกั่ว แอนติโมนี และสารหนู สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการ ปนเปื้อนในอาหารที่รับประทานและหายใจ ถ้าร่างกายได้รับสังกะสีในปริมาณมากจะมีอาการผิดปกติ เช่น ปวดท้อง อาเจียน คลื่นไส้ ช็อค ความต้านทานโรคต่ำกว่าปกติ บาดแผลเปื่อย และอาจถึงตายได้ สังกะสีออกไซด์ที่เป็นควันและผงฝุ่นละอองทำให้เป็นไข้ที่เรียกว่า metal fume fever ปริมาณสังกะสีใน ร่างกายมีผลต่อการดูดซึมของแคดเมียมด้วย

ในแหล่งน้ำธรรมชาติความเข้มข้นของสังกะสีขึ้นอยู่กับสารประกอบและพันธะเคมีของสังกะสี ขณะนั้น สังกะสีและออกไซด์ของสังกะสีละลายน้ำได้เล็กน้อย สังกะสีคลอไรด์ละลายน้ำได้ดี ไอออน ของสังกะสีในน้ำถูกดูดซึมโดยดินตะกอน ถ้าน้ำมีค่าพีเอชต่ำ ความเข้มข้นของสังกะสีอาจสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปกติน้ำผิวดินมีสังกะสีน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เช่น สหรัยแดง สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่ความเข้มข้นของสังกะสี 1.16 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้ามี

แคลเซียมและแมกนีเซียมจะมีผลต่อการดูดซึมสังกะสีของสาหร่ายแดง การสะสมสังกะสีในปริมาณมาก สังกะสีละลายได้ดีกว่าตะกั่ว ทำให้พบสังกะสีมากในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในดินตะกอนที่มีทรายละเอียดและดินเหนียวมาก

สำหรับการแพร่กระจายของสังกะสี สังกะสีสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมทั้งโดยกระบวนการธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ ผลการชะล้างของน้ำฝนจากบ้านที่มุงหลังคาด้วยโลหะมีสังกะสีเคลือบ การทิ้งขยะของเสียต่าง ๆ ลงในแหล่งน้ำล้วนแต่ทำให้สังกะสีมีโอกาสปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำได้ สังกะสีในปริมาณมากเป็นพิษต่อพืช สัตว์ และสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้

อาเซนิก (Arsenic ; As)

อาเซนิกเป็นที่สนใจในประเทศเมื่อเกิดเหตุการณ์โรคไขดำขึ้นที่อำเภอรัตนบุรี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อบ่อน้ำดื่มมีอาเซนิกปนเปื้อนอยู่ โรคไขดำนี้เคยเกิดที่ประเทศญี่ปุ่นมาก่อนปีพ.ศ. 2498 เรียกว่าโรคจากนมผงโมรินาจะ เกิดขึ้นเนื่องจากนมผงดังกล่าว มีอาเซนิกปนเปื้อนในปริมาณสูง ทำให้เด็กเสียชีวิตไป 133 คน และมีผู้ป่วยอีกกว่าหมื่นคน อาการของโรคเริ่มจากมีไข้สูง ท้องเดิน ท้องบวมเพราะตับโต มีอาการไอ อาเจียน เบื่ออาหาร และมีจุดดำขึ้นตามตัว เด็กที่รอดชีวิตเจริญเติบโตช้า โดยพบสภาวะมีโปรตีนในปัสสาวะมากกว่าปกติ สมอบางส่วนถูกพิษ มีการได้ยินผิดปกติ และมีไอกิวต้า

แร่ธาตุของอาเซนิกส่วนใหญ่อยู่ในรูปอาเซนเนต และสารประกอบของอาเซนิกส่วนใหญ่ละลายได้ง่าย แต่การเคลื่อนที่ในดินค่อนข้างจำกัด เนื่องจากถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียว ไฮดรอกไซด์ และอินทรีย์วัตถุในดิน

อาเซนิกอยู่ในรูปไอออนลบหลายรูปเช่น AsO_2^- , AsO_4^{3-} , $HAsO_4^{2-}$ และ $H_2AsO_4^-$ สารเหล่านี้ถูกตรึงในดินในช่วง ความเป็นกรด-ด่าง 7 ถึง 9 โดยที่สารหนู AsO_2^- มีลักษณะสมบัติคล้ายกับฟอสเฟต ซึ่งอาจถูกตรึงได้โดยแร่ดินเหนียว ฮิวมัส แคลเซียม และออกไซด์ของเหล็ก และอลูมินัม

อาเซนิกที่ถูกตรึงและจะถูกปลดปล่อยได้ยากในดินสภาพเป็นกรดจะพบอาเซนิกในรูปอาเซนเนตของเหล็กและอลูมินัมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปัจจัยควบคุมการตรึงอาเซนิกได้แก่ ปริมาณออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม ศักย์รีดอกซ์ และพีเอชของดิน

อาเซนิกมีปริมาณต่ำสุดในดินทราย และมีปริมาณสูงในกลุ่มดินตะกอนน้ำพา (alluvial soil) ปริมาณที่พบมีตั้งแต่ น้อยกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม ถึง 30 ไมโครกรัมต่อกรัม เช่นในประเทศไทย มีปริมาณ 2.4 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยเฉลี่ยในดินเนื้อหยาบ และ 12.8 ไมโครกรัมต่อกรัมในดินเนื้อละเอียด อาเซนิกที่ปนเปื้อนในดินอาจมีปริมาณสูงถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามปริมาณอาเซนิกในเหมืองดีบุกเก่าของไทยมีค่าต่ำมาก มีปริมาณเพียง 0.22- 0.27 ไมโครกรัมต่อกรัม นอกจากกิจกรรมในการทำเหมืองและอุตสาหกรรมแล้ว สารฆ่าศัตรูพืชก็ทำให้เกิดการปนเปื้อนของอาเซนิกในดินได้มาก ในนาข้าวประเทศญี่ปุ่น อาเซนิกที่ละลายมากับน้ำชลประทานทำให้เกิดการปนเปื้อนได้มาก อาเซนิกจากสารฆ่า

ศัตรูพืชที่สะสมในตะกอนดินได้แหล่งน้ำถูกไล่ที่ด้วยไอออนลบของฟอสฟอรัสที่ปนมากับน้ำอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่มากเกินไปน้ำชลประทานจึงมีอาเซนิกในปริมาณสูง เมื่อนำไปใช้ในการชลประทาน จึงเป็นการเพิ่มปริมาณอาเซนิกให้แก่ดินที่ได้รับน้ำดังกล่าว

แหล่งปนเปื้อนที่สำคัญได้แก่ อุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมโลหะ หรือ โรงงานเคมีที่ใช้แร่ของกำมะถันและฟอสฟอรัส การเผาไหม้ถ่านหิน สารฆ่าศัตรูพืช อาเซนิกที่ใช้ฉีดพ่นในสวนผลไม้ น้ำชลประทานที่ปนเปื้อนสารหนู

สภาพเคลื่อนที่ได้ของอาเซนิกเป็นปฏิภาคผกผันกับระยะเวลาที่ถูกตรึง และปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมในดิน ระดับความเป็นพิษของอาเซนิกขึ้นกับความเข้มข้นที่ละลายได้ โดยที่สารฆ่าวัชพืชโซเดียมอะเซเนตและอาเซนิกไตรออกไซด์เป็นพิษสูงสุด ระดับความเป็นพิษของสารหนูต่อพืชขึ้นกับชนิดของดิน ค่าสูงสุดของอาเซนิกที่ยอมให้มีได้ในดินนาคือ 15 ไมโครกรัมต่อกรัม

อาเซนิกและปรอทเป็นธาตุที่นิยมใช้ทำเป็นสารเคมีฆ่าศัตรูพืช ซึ่งการปนเปื้อนลงสู่สภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ก็เนื่องมาจากการใช้สารดังกล่าว โดยทั่วไปอาเซนิกปนอยู่ในดินน้อยมาก ประมาณ 5-10 ไมโครกรัมต่อกรัม เท่านั้น การใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่มีอาเซนิก ทำให้อาเซนิกปนเปื้อนในพืชและคงอยู่ในดินได้นาน ในสวนไม้ผล ไร่อ้อยและไร่น้ำตาล จะมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่พบอาเซนิกเป็นจำนวนมาก จึงอาจพบเห็นอาการเป็นพิษของพืชจากสารหนูได้ และเนื่องจากไวยาสูบมีปริมาณอาเซนิกสูง มะเร็งปอดจึงอาจเป็นผลข้างเคียงของอาเซนิกก็เป็นได้ แม้อาเซนิกจะสามารถเคลื่อนที่ในดินได้บ้าง และไปสะสมในดินชั้นล่างได้ก็ตาม พิษของอาเซนิกก็ยังคงอยู่ในดินบนได้นาน

เหล็ก (Iron ; Fe)

เหล็กมีเลขอะตอม 26 จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชันมีมากเป็นอันดับ 4 ของธาตุบนโลกมีลักษณะสีขาวเงิน ลักษณะภายนอกคล้าย แพลทินัมมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเหล็กเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดในปัจจุบัน เหล็กเกือบทั้งหมดที่ถูกล่าไ้ใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะและโลหะเจือ

เหล็กไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากนั้นยังเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยเป็นโลหะจำเป็นสำหรับระบบย่อยอาหาร เป็นองค์ประกอบของเม็ดเลือดแดงของคนและสัตว์ ทำหน้าที่นำออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย

ธาตุเหล็กมีความสำคัญในปฏิกิริยาเคมีในร่างกายหลายชนิด เหล็กในร่างกายอยู่ในเม็ดเลือดแดงโดยเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) และเป็นส่วนประกอบของ เอนไซม์ต่างๆ โดยที่เหล็กจะรวมอยู่ในสารประกอบที่สำคัญคือ Porphyrin และ Heme ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีนที่ทำหน้าที่สำคัญหลาย ๆ ชนิด รวมถึงฮีโมโกลบินในเลือด ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ในกล้ามเนื้อ เหล็กยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อื่นอีก เช่น Catalase peroxidase ซึ่งทำหน้าที่ขจัดหรือแลกเปลี่ยนออกซิเจนในร่างกาย ทำให้มีชีวิตอยู่ได้

เหล็กมีความจำเป็นในการผลิต ฮีโมโกลบิน ซึ่งจะพบเฉพาะในกล้ามเนื้อเท่านั้น ช่วยกำจัดสาร แคลเซียม ออกจากร่างกาย มีหน้าที่สำคัญในการนำวิตามินบีทุกชนิดไปใช้ให้ถูกต้อง รักษาและป้องกัน โลหิตจางที่เกิดจากการขาดธาตุเหล็ก ช่วยให้ม่มีกำลัง กระฉับกระเฉงว่องไวเพิ่มภูมิคุ้มกันโรค

ปริมาณเหล็กในอาหารที่ได้จากพืชเป็นชนิดที่ไม่อยู่ในรูปของฮีมซึ่งดูดซึมได้ยาก โดยจะอยู่ในรูป ของเหล็กเฟอร์ริก โยอาหาร อาหารที่มีโยอาหารมาก จะมีปริมาณเหล็กที่ดูดซึมได้น้อย กว่าอาหารที่มีโย อาหารน้อยและชนิดของโยอาหารที่ต่างกันก็มีผลด้วย แทนนิน มีมากในใบเมี่ยง ใบชะพลู ใบชา จะลด การดูดซึมธาตุเหล็กในอาหาร ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการดื่มชา ไฟเตต มีมากในธัญพืช พืชตระกูลถั่ว และ พืชผักทั่วไป เกลือไฟเตตจะไม่สูญเสียไปเมื่อแช่น้ำหรือต้มให้สุก

อาการของการขาดธาตุเหล็กจะแสดงอาการออกซ้่า ๆ ทีละเล็กน้อย อาการที่เกิดขึ้นจะเป็นอาการ ของเลือดจางเรื้อรัง โดยจะมีอาการเหน็ดเหนื่อย อ่อนเพลียง่าย ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร บ้างกินมากเป็น พัก ๆ จุกเสียดยอดอก ใจสั่น หายใจลำบาก เยื่อบุเยื่อตาซีดขาว เล็บซีด ลิ้นซีด บวมตามข้อ เท้าและมือ ชา รู้สึกเสียวตามมือตามเท้า หากขาดธาตุเหล็กไปมาก ๆ เลือดจางมากขึ้น อาการก็จะมีมากขึ้น เล็บแบน และงอนขึ้น มีอาการซีดมากขึ้น เม็ดเลือดแดงมีสีซีดกว่าปกติ ในการรักษาโรคเลือดจางจากการขาดธาตุ เหล็กนี้ก็ขึ้นอยู่กับอาการที่จะต้องชี้สาเหตุของการขาดธาตุเหล็กนั้นและรักษาต้นเหตุเป็นสำคัญ

2.3 การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม [13,14,29]

2.3.1 การปลูกหม่อน

2.3.1.1 ประวัติ

ได้กล่าวกันว่า การเลี้ยงไหมเริ่มมาตั้งแต่ 4,000 กว่าปีมาแล้ว แต่เข้าใจว่าในระยะแรกนั้น การเลี้ยงไหมได้ใช้ใบหม่อนที่ขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ที่ปลูกหม่อนเพื่อใช้เลี้ยงไหมกันนั้น เริ่มมีมาตั้งแต่ 30,000 ปีมาแล้ว แต่การทำสวนหม่อนกันจริง ๆ จัง ๆ นั้น เล่มมีมาตั้งแต่ 1,500 ปี สำหรับประเทศไทยนั้น ได้ทำการเลี้ยงไหมกันหลายร้อยปีแล้ว และเข้าใจว่าในระยะเริ่มแรกนั้น ผู้เลี้ยง ก็คงเก็บใบหม่อนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ถ้ามีปลูกก็มักจะปลูกตามบริเวณคอกวัว และใกล้ ๆ ครั้วเรือน ซึ่งเป็นจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับพันธุ์หม่อนในประเทศไทยนอกจากบางพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย บางพันธุ์อาจจะได้จากการนำพันธุ์จากประเทศญี่ปุ่น และต่างประเทศอื่น ๆ เข้ามาปลูกก็เป็นได้

2.3.1.2 ลักษณะใบหม่อน

หม่อนเป็นพืชไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม (Tree, Shrubs) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Morus Sp.* ชื่อ Common name คือ “**Mulberry**” เป็นพืชใน Family Moraceae สกุล *Morus* ขึ้นได้ทั้งเขตร้อนเขตกึ่งร้อน และเขตหนาว

ลักษณะสำคัญของหม่อนคือ มียาง มีขน(บางพันธุ์อาจไม่มี) มีเส้นใย เป็นไม้ยืนต้นจำพวกไม้พุ่ม ใบมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะมีแฉกเช่น หม่อนส้มหรือหม่อนไผ่ หรือไม่มีแฉกเช่น หม่อนน้อย หรือมีทั้งใบแฉกและใบไม่มีแฉกอยู่ในต้นเดียวกัน ดอกพันธุ์พื้นเมืองจะมีดอกแยกคนละเพศ ส่วนใหญ่ในแต่ละพันธุ์จะมีเพศเดียวกันเช่น หม่อนน้อย หม่อนสร้อย หม่อนดาดำ แต่ดอกตัวผู้ไม่มีดอกตัวเมียจึงไม่มีผล ส่วนหม่อนไผ่ หม่อนส้ม หม่อนพวกนี้จึงมีผล ลักษณะเป็นผลรวม เช่นเดียวกันน้อยหน้าหรือขนุน

คุณภาพของใบหม่อนเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการเลี้ยงไหม เช่น ธาตุอาหารและความสดของใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำในใบหม่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการเขตที่ปลูก ภูมิอากาศ ระยะการเจริญเติบโต ความหนาของใบ ตำแหน่งของใบ ปริมาณน้ำในใบที่ทำให้ใบไม่เหี่ยวซึ่งอยู่ในช่วง 65-83 % และจะลดลงเมื่อใบมีอายุมากขึ้น นอกจากนี้ความหนาของใบจะเป็นตัวกำหนดเวลาในการเหี่ยวของใบ ในขณะที่นำมาเลี้ยงไหม ใบหม่อนที่หนาจะเหี่ยวช้ากว่าใบหม่อนที่บาง



รูปที่ 2.7 ลักษณะของใบหม่อน [14]

2.3.1.3 การปลูกหม่อน

โดยปกติการปลูกหม่อนในเมืองไทยจะใช้วิธีการปลูกด้วยกิ่งชำเป็นส่วนใหญ่ จึงไม่มีรากแก้ว แต่จะมีรากใหญ่และรากแขนงอยู่มาก รากอาจจะลงได้ลึกมากกว่า 2 เมตร หม่อนเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในฤดูฝน และการเจริญเติบโตนี้จะค่อยลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ จนเข้าฤดูแล้ง หม่อนบางพันธุ์มีผลมีเมล็ด แต่ไม่นิยมใช้เมล็ดในการขยายพันธุ์เพราะทำกันยากและที่สำคัญที่สุดคือทำให้ลักษณะพันธุ์หรือคุณภาพเปลี่ยนไปจากเดิม จึงมักปักกิ่งปลูกโดยตรง หรือปักชำก่อนหรือต่อกิ่งหรือติดตา

เนื่องจากใบหม่อนเป็นส่วนสำคัญในการปรุงอาหาร ไปเลี้ยงต้นให้เจริญเติบโต ถ้าเก็บไม่ถูกวิธี จะทำให้ต้นหม่อนโทรมเร็ว จึงต้องมีวิธีการเก็บเกี่ยวที่ง่าย เร็ว และไม่ทำให้กระทบกระเทือนต่อต้นมากนัก การเก็บเกี่ยวจะแยกเก็บใบให้เหมาะสมกับวัยของไหมด้วย คือไหมวัยอ่อนก็ใช้ใบอ่อนเลี้ยงต่างกับไหมวัยแก่ ดังนั้นจึงควรแยกแปลงไหมออกเป็นแปลงสำหรับเลี้ยงไหมวัยอ่อนและแปลงสำหรับเลี้ยงไหมวัยแก่

- หม่อนสำหรับไหมวัยอ่อน

ใช้ใบอ่อนนุ่มที่อยู่ใกล้ปลายกิ่งเลี้ยงไหมวัยอ่อน ในกิ่งหนึ่ง ๆ จะเอาไปใช้เลี้ยงไหมวัยอ่อนได้ 3-5 ใบเท่านั้น โดยนับจากยอดสุดมาประมาณใบที่ 3-4 หรือจะดูโดยการใช้มือรวบกิ่งขึ้นไปทางยอดใบที่ขาวที่สุด และใบถัดลงมาอีก 1 ใบ คือใบที่นำเลี้ยงไหมวัยหนึ่ง ส่วนวัยที่สองเก็บต่ำลงมาอีก 2 ใบ วัยที่สามเก็บต่ำจากวัยที่สองลงไปอีก ดังนั้นจึงต้องมีแปลงหม่อนวัยอ่อนเพื่อจะได้มีต้นที่เติบโตมีแขนงมาก

- หม่อนสำหรับวัยแก่

สำหรับไหมวัยแก่นั้นสามารถกินใบหม่อนได้ทุกใบที่โตเต็มที่ ยกเว้นใบที่แก่จนเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลและใบที่เป็นโรค ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการเตรียม แต่ต้องมีการเก็บที่ถูกต้องเพื่อไม่ให้ต้นหม่อนกระทบกระเทือนมากเกินไป ซึ่งสามารถแบ่งวิธีเก็บได้ดังนี้

ก. วิธีเก็บใบ (Leaf picking) จะเก็บใบส่วนล่างกิ่งไปใช้โดยให้เหลือส่วนบนของกิ่งไว้ประมาณ 40 เซนติเมตรเดือนต่อไปกิ่งจะยาวขึ้นอีก ก็เก็บใบส่วนล่างไปใช้อีกเหลือใบส่วนบนไว้ 40 เซนติเมตร วิธีนี้เก็บได้ทุกเดือน เก็บได้บ่อย แต่เสียเวลาและแรงงานมากไม่เหมาะกับการเลี้ยงไหมจำนวนมาก

ข. วิธีตัดให้บาง (Thinning) ทำการตัดกิ่งที่ไม่สมบูรณ์ออกให้เหลือกิ่งที่สมบูรณ์ไว้ต่อละ 2-5 กิ่ง และนำกิ่งที่ตัดออกไปเลี้ยงไหม

ค. วิธีตัดครึ่งต้น (Middle Cut) เมื่อต้นหม่อนมีกิ่งยาว 1.5 เมตรขึ้นไปเก็บเกี่ยวโดยการตัดกลางทุกกิ่ง โดยให้เหลือไว้สูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร ใบที่เหลือติดกับกิ่งปล่อยให้ไหมบ่มต้น การเก็บเกี่ยวแบบนี้ได้ผลมาก สะดวกรวดเร็ว แต่หลังจากตัดค้ำแล้วเราจะเก็บเกี่ยววิธีนี้ได้ครั้งเดียวเท่านั้น

ง. วิธีตัดแขนง (Shoot Cut) หลังจากตัดกลางแล้ว 2-3 เดือน แขนงที่แตกออกมาใหม่จะยาวประมาณ 1-1.5 เมตร ก็เก็บแขนงเหล่านี้ไปใช้เลี้ยงไหมได้ แต่ควรเหลือกิ่งเล็ก ๆ ที่ไม่มีใบมากนักไว้บ้างเพื่อบ่มต้น

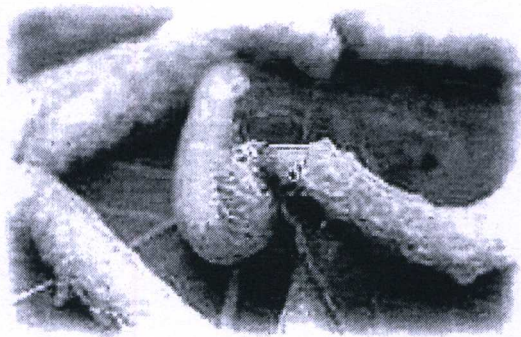
2.3.2 การเลี้ยงไหม

2.3.2.1 ชีวิตวิทยาของไหม

ไหมเป็นสัตว์อยู่ใน Phylum Arthropoda มีการเจริญเติบโตเป็นไปในแบบ complete metamorphosis คือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแต่ละขั้นตอนของการเจริญเติบโต แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bombyx mori* Linn.

ผีเสื้ออยู่ในวงศ์ Bombycidae นี้มีลักษณะพิเศษประจำวงศ์ที่สำคัญคือ ตัวหนอน (Larvae) จะพ่นเส้นใยเพื่อใช้ในการทำรังห่อหุ้มตัวของมันเอง แล้วลอกคราบกลายเป็นดักแด้ (Pupae) อยู่ภายในรังนั้น



รูปที่ 2.8 หนอนไหม [18]

2.3.2.2 ชีพจักรและการเจริญเติบโต

วงจรชีวิตไหม เริ่มต้นที่ไข่ของไหมเมื่อฟักออกมาเป็นตัวหนอนแล้ว หนอนไหมจะเติบโต แต่ละขั้นตอนด้วยการลอกคราบ รวม 4 ครั้ง ก่อนเข้าดักแด้ อาจแบ่งระยะเติบโตของวงจรชีวิตไหมได้ดังนี้

ระยะเป็นไข่ 10 - 12 วัน

ระยะเป็นตัวหนอนวัยที่ 1, 3 - 4 วัน

ระยะเป็นตัวหนอนวัยที่ 2, 2 - 3 วัน

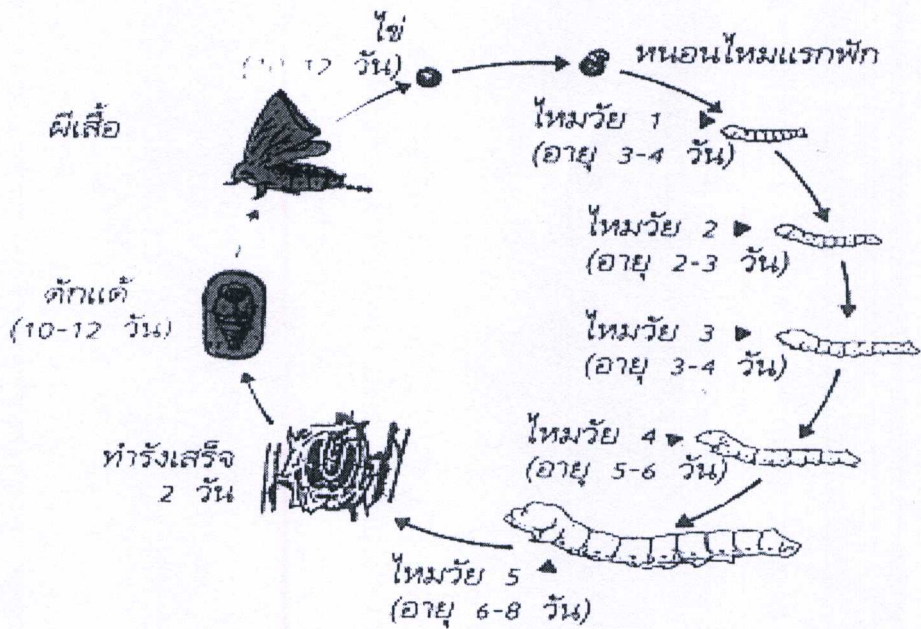
ระยะเป็นตัวหนอนวัยที่ 3, 3 - 4 วัน

ระยะเป็นตัวหนอนวัยที่ 4, 5 - 6 วัน

ระยะเป็นตัวหนอนวัยที่ 5, 7 - 8 วัน จากนั้นจะเริ่มพันเส้นไหมออกคลุมตัว

ระยะทำรัง 2 - 3 วัน

ระยะเข้าดักแด้ 10 - 12 วัน จากนั้นจึงเป็นผีเสื้อ ไปผสมพันธุ์และวางไข่เริ่มต้นระยะเป็นไข่



รูปที่ 2.9 วงจรชีวิตของไหม [24]



รูปที่ 2.10 รังไหม [19]

การสาวไหม หมายถึง การสาวเส้นไหมออกจากรังไหม รังไหม ถ้าเก็บไว้เกิน 10 วัน ผีเสื้อจะเจาะรังออกมา ทำให้ใยขาดควรนำรังไหมมาสาวภายใน 10 วัน ถ้าต้องการเก็บรังไหมไว้ครอบหรือตากรังไหมก่อน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W. Wimolwattanapun., et. al. [3] ได้พัฒนาเทคนิคการอบนิวตรอนสำหรับงานวิเคราะห์ปริมาณโลหะในผ้าไหมไทย จากจังหวัด สุรินทร์ ร้อยเอ็ด และบุรีรัมย์ ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งโลหะและธาตุปริมาณน้อย ๆ ธาตุที่วิเคราะห์พบในผ้าไหมมีทั้งหมด 12 ธาตุ คือ Ag, As, Au, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Pb, Sb และ Zn จากการเปรียบเทียบปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่ได้จากแต่ละจังหวัดอยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งหากได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม อาจสามารถศึกษาถึงคุณลักษณะองค์ประกอบที่เด่นชัดของผ้าไหมจากจังหวัดต่าง ๆ ได้

W. Chantarachot., et. al. [4] ทำการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในดักแด้ไหม โดยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน และ ไอ ซี พี-เอ อี เอส ข้อมูลที่ได้เพื่อใช้ตรวจสอบความปลอดภัยสำหรับการบริโภคดักแด้ไหม ธาตุที่ตรวจสอบได้แก่ Al, As, Br, Ca, Cd, Cl, Cu, Hg, I, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Se และ Zn จากการทดลองค่าที่ตรวจพบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดที่ยอมรับได้ในอาหาร

สุดชาย [30] ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน ดินตะกอน และหญ้าน้ำ (*Brachiaria mutica*) บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าความสามารถในการดูดกินโลหะหนักของหญ้าน้ำ บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าความสามารถในการดูดกินโลหะหนักของหญ้าน้ำ บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนกลาง เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในดิน หญ้าน้ำสามารถดูดกิน สังกะสี แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม และโครเมียม เท่ากับ 59.89, 26.40, 30.55, 313.86, 139.56, 1,506.17, และ 3.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีค่าเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน

ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติตาก [31] การวิเคราะห์คุณค่าอาหารของใบหม่อน เมื่อนำใบหม่อนที่ไม่ใช้ปุ๋ยและใช้ปุ๋ยไปเลี้ยงไหมพบว่า ใบหม่อนที่ใช้ปุ๋ยมีปริมาณไนโตรเจน โปแทสเซียม สูงกว่าใบหม่อนที่ไม่ใช้ปุ๋ยและส่งผลให้ผลผลิตรังไหมมีน้ำหนักรังสด น้ำหนักเปลือกรัง เปอร์เซ็นต์รังดี น้ำหนักผลผลิตรังดีต่อกล่อง ความยาวเส้นไหม ขนาดเส้นไหม เปอร์เซ็นต์การสาวง่าย เปอร์เซ็นต์เส้นใย ความเรียบ ความสะอาด ความเหนียว และเปอร์เซ็นต์การยึดตัว สูงกว่าการเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนที่ไม่ใช้ปุ๋ย

K. Kandyliis., et. al. [32] ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในใบหม่อนที่ใช้สำหรับเป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงแกะ ซึ่งค่าที่ตรวจพบในใบหม่อนในหน่วย กรัม/กิโลกรัม ของน้ำหนักแห้ง มีดังนี้ 163 ash, 201 crude protein, 120 crude fibre, 37 ether extracts, 479 nitrogen-free extracts, 268 neutral detergent fibre, 148 acid detergent fibre, 41 acid detergent lignin, 121 cellulose และ 107 hemicellulose.

April Kinghorn., et. al. [33] ทำการวิเคราะห์ Se ในพินของปลาฉลาม beluga (*Delphinapterus leucas*) เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพถึงการสะสมของสาร Se ในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลที่เลี้ยงลูกด้วยนม จากการศึกษาจะใช้เทคนิค Hydride Generation Atomic Fluorescence Spectrometry (HG-AFS) ในการวิเคราะห์ Se ในพินและในเนื้อเยื่อคือ ตับ ตับอ่อน เนื้อเยื่อค่าSeที่ตรวจพบในพินอยู่ในช่วง 108-245 นาโนกรัม/กรัม

ส่วนในต้น ใต้ กล้ามเนื้อจะสูงขึ้นตามลำดับ จากการทดลองนี้สามารถใช้ค่าความเข้มข้นของ Se ในพื้นเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของสาร Se ที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของต้นและกล้ามเนื้อได้

A. El-Taher., et. al. [34] ทำการวิเคราะห์ธาตุ rare-earth ในหินอัคนีในประเทศอียิปต์ โดยเทคนิค INAA โดยธาตุที่ตรวจวิเคราะห์คือ La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb และ Lu.

A.M.G. Pacheco., et. al. [35] ทำการวิเคราะห์ธาตุในผักโดยใช้เทคนิค K0-INAA โดยทำการวิเคราะห์ธาตุ As, Br, Ca, Co, Cr, Fe, K, Mo, Na, Rb, Sb, Sr และ Zn ในตัวอย่างผักกาดหอม มะเขือเทศ แครอท และกะหล่ำปลี ที่เก็บจากทั้งสองตลาดคือ Coimbra และ Evora ใช้การวัดเทียบกับสารมาตรฐาน IAEA-359 (cabbage material) และ BCR-679 (Bowen's kale) ซึ่งพบว่าธาตุที่เป็นอันตรายคือ As, Br, และ Sb ตรวจพบในทุกตัวอย่าง และในผักกาดหอมตรวจพบสูงกว่าผักชนิดอื่นนั้น แสดงว่าใบผักมีการสะสมธาตุได้ดีกว่าผักประเภทหัว และในตลาดทั้งสองค่าที่ได้แตกต่างกันหากวิเคราะห์ถึงแหล่งที่ปลูกผักเหล่านี้ อาจจะนำช่วงความเข้มข้นของธาตุที่วิเคราะห์ได้มาเป็นข้อมูลของผักที่มาจากแหล่งปลูกต่าง ๆ ได้

S.D. Kulkarni., et. Al. [36] การตรวจวัดความเข้มข้นของธาตุในต้นอ่อนของข้าวสาลี โดยทำการศึกษาที่ 3 สภาวะคือ สภาวะที่ให้น้ำประปา น้ำประปาที่มีแร่ธาตุอาหาร และสภาวะที่มีดินและน้ำประปา ทำการวิเคราะห์ 15 ธาตุ ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์โดยใช้สารมาตรฐาน SRM 1573a(Tomato leaves) และ ICHTJ-CTA-vtl-2(Tobacco leaves) ค่าที่ตรวจวัดได้พบว่า ธาตุ K, Na, Ca และ Mg เพิ่มขึ้นในทุกช่วงของการเจริญเติบโต และธาตุ Zn, Mn และ Fe จะคงที่เมื่อต้นไม่เจริญเติบโตหลังจาก 8 วันไปแล้ว อย่างไรก็ตามธาตุ K, Na, Ca, Mg และ Cl มีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงและ ธาตุ Zn, Fe, Mn และ Al มีค่าลดลง ตลอดช่วงการเติบโต

A.El-Taher.[37] ศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ rare-earth ด้วยเทคนิค NAA เพื่อใช้เป็นตัวติดตามการกักเซาะของลำธาร โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากลำธารที่ความลาดชันต่าง ๆ กันคือ 10.5% 26.8% และ 21.2% นำตัวอย่างที่ได้มาทำให้แห้งและใช้ตัวอย่าง 50 มิลลิกรัมมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NAA ค่าที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างดินที่มีการกักเซาะที่ระดับความลาดชันต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินที่ความลาดชันต่าง ๆ ที่เกิดจากการกักเซาะของลำธาร จากการทดลองได้ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

Marcia G.Ventura., et. Al. [38] ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Se ในตัวอย่างผักและผลไม้ในประเทศโปรตุเกส โดยใช้เทคนิค Hydeide Generation Atomic Fluorescence Spectrometry (HG-AFS) และเทคนิค Radiochemical Nuclear Activation Analysis (RNAA) ซึ่งทำการตรวจวัดขีดจำกัดของการวิเคราะห์เทคนิค HG-AFS มีค่าเท่ากับ 3 ไมโครกรัม/กิโลกรัม และ 8 ไมโครกรัม/กิโลกรัม(ทำการย่อยสลายตัวอย่าง) และเทคนิค RNAA มีค่าเท่ากับ 10 ไมโครกรัม/กรัม ค่าความถูกต้องที่ได้จากทั้งสองวิธีให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่วิธี HG-AFS เครื่องมือมีราคาสูงกว่าและการใช้งานง่ายกว่าทำการทดลองในตัวอย่างผักและผลไม้ 9 ชนิด คือ มันฝรั่ง มะเขือเทศ แครอท บร็อคโคลี่ กะหล่ำดอก

กะหล่ำปลี ผักกาดหอม ส้ม และแอปเปิล เทคนิค HG-AFS ได้ค่าอยู่ในช่วง 0.03-3.1 มิลลิกรัม/100 กรัม
น้ำหนักสดในตัวอย่างมะเขือเทศ และกะหล่ำปลีตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1 DORM-1, (Dog Fish Muscle and Liver Reference Materials for Trace Metals , National Research Council Canada)

3.1.1.2 Soil 7 (Soil, International Atomic Energy Agency: IAEA)

3.1.1.3 NIST 8704, Buffalo River sediment (National Institute of Standards and Technology)

3.1.1.4 NIST 1566a, Oyster Tissue (National Institute of Standards and Technology)

3.1.1.5 NIST 1573a, Tomato Leaves (National Institute of Standards and Technology)

3.1.1.6 น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 เครื่องปฏิบัติการปริมาณวิจัย-1 (ปปว-1/1) สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3.1.2.2 เครื่องวัดรังสีแกมมาชนิด 4096 ช่อง พร้อมด้วยหัววัดรังสีชนิดไฮเปอร์เพียวเจอร์เมเนียม ของบริษัท Canberra Industry Model GCW 2018 ผลิตที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

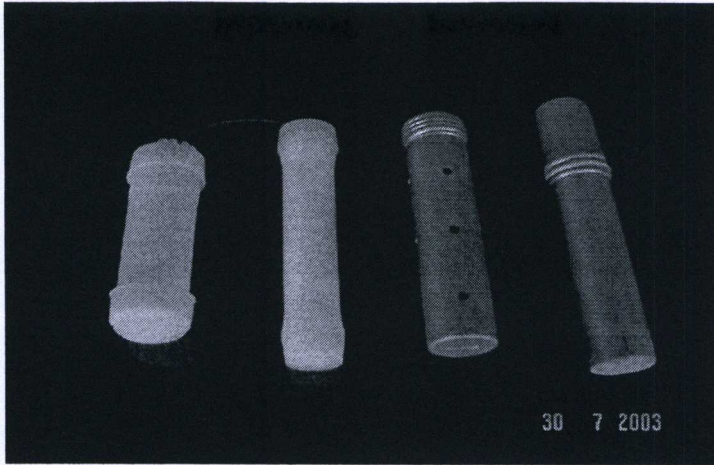
3.1.2.3. กระบอกอะลูมิเนียม (Aluminium) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร สูง 11.0 เซนติเมตร ทำด้วยอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.1 ก. และถุงภาชนะ โพลีเอทิลีน ดังรูปที่ 3.1ข. ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่าง เพื่อนำไปใช้ในการอบรังสีนิวตรอน

3.1.2.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER รุ่น AT 210

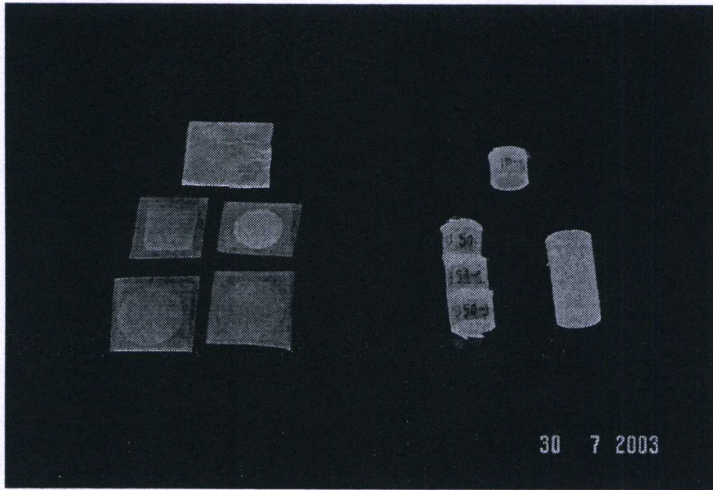
3.1.2.5 Hot Plate ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น Cimarac RC 3

3.1.2.6 Microwave Digestion Unit ยี่ห้อ Milestone รุ่น mls 1200 mega

3.1.2.7 Hot Air Oven ยี่ห้อ Heraeus



รูปที่3.1ก. ภาชนะสำหรับอบรังสี



รูปที่3.1ข. ถังภาชนะใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างและสารมาตรฐาน

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การศึกษาค่าความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของการวิเคราะห์ เป็นความสอดคล้องกันระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่าที่แท้จริง โดยทำการวิเคราะห์จากสารมาตรฐานอ้างอิง DORM-1 Soil 7 NIST 8704, Buffalo River sediment NIST 1573a, Tomato Leaves และ NIST 1566a, Oyster Tissue นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาคำนวณหาความแม่นยำและความเที่ยงโดยใช้สมการ t-test และ Horwitz ตามลำดับเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ [3]

ตำแหน่งท่ออบรังสี	เวลาที่ใช้ในการอบรังสี	เวลาในการสลายตัว	เวลาที่ใช้ในการวัดรังสี	ธาตุที่วิเคราะห์
CA	10 m	3 h	100 s	Mn
LS	3 d	3 d	30 min	As, K, Sb
		2 wk	1 h	Th ,Ce, Co, Cr, Fe, Sc, Zn

s = วินาที

m = นาที

h = ชั่วโมง

d = วัน

wk = สัปดาห์

การวิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิต ที่ต่างกัน คือ ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น (short half life) ได้แก่ Mn ซึ่งสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704, Buffalo River sediment และ NIST 1573a, Tomato Leaves 50± 0.5 มิลลิกรัม ใส่ถุงพลาสติก พร้อมทั้งปิดผนึกให้สนิทเพื่อป้องกันการกระจาย นำไปอบรังสีนิวตรอนที่เครื่องปรมาณูวิจัย (ปปว-1/1) ที่ท่อ CA ซึ่งมีค่านิวตรอนฟลักซ์ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เป็นเวลา 10 นาที แล้วปล่อยให้สลายตัวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปตรวจนับรังสีด้วยชุดตรวจวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 100 วินาที

ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตช่วงกลาง (medium half life) ได้แก่ As Sb และ K ซึ่งสารมาตรฐานอ้างอิง Soil 7 NIST 8704, Buffalo River sediment NIST 1573a, Tomato Leaves NIST 1566a, Oyster Tissue และ DORM-1 50± 0.5 มิลลิกรัม ใส่ถุงพลาสติก พร้อมทั้งปิดผนึกและนำไปอบรังสีนิวตรอนที่เครื่องปรมาณูวิจัยที่ท่อ Lazy Susan เป็นเวลา 3 วัน และทิ้งให้สลายตัว 3 วัน นำมาตรวจนับรังสีแกมมาเป็นเวลา 30 นาที

ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว (long half life) ได้แก่ Ce Th Cr Fe Zn Sc และ Co ทำการขังสารมาตรฐานดังในกลุ่มครึ่งชีวิตช่วงกลาง และนำไปอบรังสีนิวตรอนที่เครื่องปรมาณูวิจัยที่ห้อง Lazy Susan เป็นเวลา 3 วัน และทิ้งให้สลายตัว 2 สัปดาห์ นำมาตรวจนับรังสีแกมมาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.2 แสดงค่านิวตรอนฟลักซ์

Irradiation facility	Neutron flux (n/cm ² .sec)
Out-core irradiation (CA2)	1.8×10^9 (Epithermal Neutron)
Lazy Susan (LS11-LS41)	$3.4 \times 10^{11} - 5.6 \times 10^{11}$

3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (Detection limit)

การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบนั้น เป็นการคำนวณที่ทำการทดสอบถึงสภาวะที่เหมาะสมของสารที่ทำการวิเคราะห์ โดยทำการคำนวณสัญญาณที่ได้ตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่าง

3.2.3.1 การเตรียมตัวอย่าง[12,25,26]

การเก็บตัวอย่าง

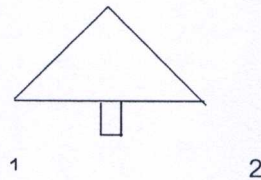
การเก็บตัวอย่าง ดิน ใบหม่อน และรังไหม ทำการเก็บตัวอย่างจาก 8 จังหวัด โดยสุ่มเก็บจังหวัดละ 1 อำเภอ โดยมีจุดเก็บอำเภอละ 2 จุด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดบริเวณที่เก็บตัวอย่าง

จังหวัด	อำเภอ	หมู่บ้าน
สุพรรณบุรี	หนองหญ้าไซร์	เลขที่ 730 หมู่ 10 ต.หนองขาม
	หนองหญ้าไซร์	เลขที่ 689 หมู่ 9 ต.หนองขาม
กาญจนบุรี	เลาขวัญ	บ.หนองปลิง ต.หนองปลิง
	เลาขวัญ	13/1 ม.7 บ.หนองหัววัว ต.หนองปลิง
นครราชสีมา	เสิงสาง	โครงการหมู่บ้านเสิงสางใหม่ บ้านหนองเข้-พุนทรัพย์พัฒนา เลขที่ 28 หมู่ 11 ต.สุขไพบุลย์
	เสิงสาง	โครงการหมู่บ้านเสิงสางใหม่ บ้านหนองเข้-บ้านหนองไผ่ เลขที่ 118 หมู่ 6 ต.เสิงสาง

ขอนแก่น	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ(หน้าศูนย์)
	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ(หลังศูนย์)
มหาสารคาม	เมือง	63/1 ม. 13 ต.ท่าสองคอน
	เมือง	93 หมู่ 20 บ้านหนองนาเชือก ต.ท่าสองคอน
ตาก	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ(หน้าศูนย์)
	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ(หลังศูนย์)
กำแพงเพชร	ปางศิลาทอง	280 ม.1 บ้านหินดาด ต.หินดาด
	ปางศิลาทอง	72 ม. 14 บ้านรุ่งเรืองทรัพย์ ต.หินดาด
ประจวบคีรีขันธ์	หัวหิน	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ ต.หินเหล็กไฟ
	หัวหิน	224 ม.1 หมู่บ้านเฉลิมพระเกียรติต.ห้วยสัตว์ใหญ่

การเก็บตัวอย่างดินตัวอย่างดิน เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกของดิน 0- 30 เซนติเมตร ห่างจากโคนต้นหม่อนตามระยะของพุ่มใบ เก็บ 2 ด้าน ตามรูป 3.2 และนำตัวอย่างดินทั้งสองด้านมารวมกันเป็นตัวอย่างรวม ต่อ 1 ตำแหน่ง ใช้ตัวอย่างดินประมาณ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างใบหม่อน ใช้ใบหม่อนบริเวณเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บใบแก่ จำนวนประมาณ 20 ใบ การเก็บรักษาทำโดยการตากแห้ง

การเก็บตัวอย่างรังไหม ใช้รังไหมชนิด รังตัด จำนวนประมาณ 50 รัง

การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินมา คัดเอาเศษหญ้า ฟางข้าว และอื่น ๆ ออกให้หมด คลุกเคล้าให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำดินไปตากแดดจนแห้งสนิท นำดินคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง และสุ่มตัวอย่างดิน โดยการทำเป็นรูปกรวยและแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน เลือก 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมากลุกเคล้าให้เข้ากันและทำเป็นรูปกรวยใหม่ ทำอย่างนี้ต่อไป จนกระทั่งได้ดินที่น้ำหนักประมาณ 25-50 กรัม

และนำดินที่สุ่มได้มาบดให้ละเอียด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บใส่ภาชนะและนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

การเตรียมตัวอย่างใบหม่อน

นำใบหม่อนมาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซ้ำมคิน นำใบหม่อนที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซ้ำมคินอีกครั้งหนึ่ง เก็บใส่ภาชนะปิดฝาสนิทเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อเตรียมพร้อมใช้งาน

การเตรียมตัวอย่างรังไหม

นำรังไหมที่ตัดตัวอ่อนออกแล้วมาข่อยสลายด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย รังไหมจะถูกข่อยสลายเป็นสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไประเหยจนเกือบแห้งบน Hot Plate โดยใช้ความร้อนประมาณ 60 องศาเซลเซียส นำรังไหมที่ระเหยจนเกือบแห้งแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง นำมาบดให้ละเอียด แล้วอบที่อุณหภูมิเดิมจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นจึงเก็บในภาชนะมีฝาปิดเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเตรียมพร้อมใช้งาน

3.2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคทีเวชัน

ตัวอย่าง ดิน ใบหม่อน และรังไหม จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิต ที่ต่างกัน คือ

ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น (short half life) ซึ่งตัวอย่าง ดิน 50 ± 0.5 มิลลิกรัม ใบหม่อนและรังไหม 150 ± 5 มิลลิกรัม และสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704, Buffalo River sediment NIST 1573a, Tomato Leaves และ DORM-1 50 ± 0.5 มิลลิกรัม ใส่ถุงพลาสติก พร้อมทั้งปิดผนึกให้สนิทเพื่อป้องกันการกระจายของตัวอย่าง ใช้สภาวะในการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1

ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตช่วงกลาง (medium half life) และธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตยาว (long half life) ทำการชั่งตัวอย่างดังในกลุ่มครึ่งชีวิตสั้น และสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704, Buffalo River sediment NIST 1573a, Tomato Leaves NIST 1566a, Oyster Tissue และ DORM-1 50 ± 0.5 มิลลิกรัม ใช้สภาวะในการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1 [3]

ตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ตำแหน่งท่อ อาบรังสี	เวลาที่ใช้ใน การอาบรังสี	เวลาในการ สลายตัว	เวลาที่ใช้ใน การวัดรังสี	ธาตุที่วิเคราะห์
CA	10 m	3 h	100 s	Mn
LS	3 d	3 d	30 min	As, K, Sb
		2 wk	1 h	Th ,Ce, Co, Cr, Fe, Sc, Zn

s = วินาที
m = นาที
h = ชั่วโมง
d = วัน
wk = สัปดาห์

ธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชัน มีทั้งหมด 11 ธาตุ ได้แก่ สารหนู (As) แมงกานีส (Mn) สแกนเดียม (Sc) พลวง (Sb) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) ซีเรียม (Ce) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม (K) สภาวะที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 และนำสเปกตรัมที่ได้จากการวัดรังสีแกมมา มาวิเคราะห์ธาตุแต่ละชนิดที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานของแต่ละไอโซโทปที่นำมาใช้วิเคราะห์

ธาตุ	ไอโซโทปรังสี	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (keV)
Manganese	Mn-56	2.578 h	846.8, 1810.8, 2113.2
Arsenic	As-76	26.3 h	559.1, 657.1
Potassium	K-42	12.4 h	1524.6
Antimony	Sb-122	2.7d	564.37
Chromium	Cr-51	27.70 d	320.1
Iron	Fe-59	44.5 d	1099.3, 1291.6
Cobalt	Co-60	5.27 y	1173.2, 1332.5
Cerium	Ce-141	32.5 d	145.44
Scandium	Sc-46	83.81 d	1120.5
Zinc	Zn-65	243.9 d	1115.5
Thorium	Th(Pa-233)	27 d	312

4.2 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์

4.2.1 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

จากการศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจสอบความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์โดยทำการวิเคราะห์กับสารมาตรฐานอ้างอิง ผลการทดลองที่ได้นำมาหาค่า HORRAT (Horwitz's Ratio) ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์ (n=13)

ธาตุ	สารมาตรฐาน อ้างอิง	ค่าเฉลี่ย \pm SD	RSD (ทศลง)	RSDr (คำนวณ)	HORRAT (≤ 2)
As	ACSP DORM-1	18.40 \pm 1.65 ppm	8.95	6.85	1.31
Ce	NIST 8704	65.66 \pm 1.63 ppm	2.48	5.61	0.44
Co	NIST 8704	13.31 \pm 0.55 ppm	4.11	7.13	0.58
Cr	NIST 1573a	2.04 \pm 0.26 ppm	12.90	10.10	1.28
Fe	NIST 1573a	363 \pm 0.004 ppm	10.99	4.34	2.53
K	NIST 1566a	0.67 \pm 0.03 %	4.16	2.82	1.48
Mn	NIST 1573a	244 \pm 6.40 ppm	2.62	4.61	0.57
Sb	NIST 8704	3.07 \pm 0.22 ppm	7.01	8.92	0.79
Sc	NIST 8704	10.95 \pm 0.63 ppm	5.72	7.33	0.78
Th	NIST 8704	9.16 \pm 0.82 ppm	8.91	7.58	1.18
Zn	NIST 1573a	32.10 \pm 4.45 ppm	13.85	6.30	2.20

(มาตรฐาน AOAC ยอมรับ HORRAT ≤ 2)

(สารมาตรฐานอ้างอิง : NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 1566a = Oyster Tissue, ACSP DORM-1 = Dogfish , NIST 8704 = Buffalo River Sediment)

จากการทดลองศึกษาความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 2.48 – 13.85 และจากการคำนวณค่า HORRAT โดยใช้สมการของ Horwitz ค่าที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน AOAC ยอมรับค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 จึงยอมรับได้ในการวิเคราะห์ ยกเว้นธาตุ Fe และ Zn ที่มีค่าสูงกว่าที่กำหนด นั่นคือการวิเคราะห์ธาตุทั้งสอง ด้วยเทคนิค NAA นั้นให้ค่าความใกล้เคียงของผลวิเคราะห์กับผลวิเคราะห์อื่น ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำไม่บ่อยครั้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำขึ้นควรทำการวิเคราะห์หลาย ๆ ซ้ำเพื่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ ส่วนธาตุอื่น ๆ ให้ค่าน้อยกว่า 2 นั่นคือการวิเคราะห์ธาตุนั้นมีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.2.2 การศึกษาความแม่นยำ (Accuracy)

จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์โดยใช้สารมาตรฐานอ้างอิงผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความแม่นยำของธาตุที่วิเคราะห์($n=13$)

ธาตุ	สารมาตรฐาน อ้างอิง	ค่าจากการทดลอง	ค่ารับรอง	T-test	
		ค่าเฉลี่ย \pm SD		t (คำนวณ)	t ($\alpha=0.05$)
As	ACSP DORM-1	18.40 \pm 1.65 ppm	17.7 \pm 2.1	1.52	2.18
Ce	NIST 8704	65.66 \pm 1.63 ppm	66.5 \pm 2	1.86	2.18
Co	NIST 8704	13.31 \pm 0.55 ppm	13.57 \pm 0.43	1.71	2.18
Cr	NIST 1573a	2.04 \pm 0.26 ppm	1.99 \pm 0.06	0.69	2.18
Fe	NIST 1573a	363 \pm 0.004 ppm	368 \pm 7	0.43	2.18
K	NIST 1566a	0.67 \pm 0.03 %	0.652 \pm 0.009	1.89	2.18
Mn	NIST 1573a	244 \pm 6.40 ppm	246 \pm 8	1.28	2.18
Sb	NIST 8704	3.07 \pm 0.22 ppm	3.07 \pm 0.32	0.02	2.18
Sc	NIST 8704	10.95 \pm 0.63 ppm	11.26 \pm 0.19	1.78	2.18
Th	NIST 8704	9.16 \pm 0.82 ppm	9.07 \pm 0.16	0.04	2.18
Zn	NIST 1573a	32.10 \pm 4.45 ppm	30.9 \pm 0.7	0.98	2.18

(NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 1566a = Oyster Tissue, ACSP DORM-1 = Dogfish ,
NIST 8704 = Buffalo River Sediment)

ผลการศึกษาความแม่นยำของธาตุที่วิเคราะห์ โดยใช้สารมาตรฐานอ้างอิงในสภาวะที่เหมาะสมของธาตุแต่ละชนิดนั้นพบว่า ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง และทำการคำนวณค่าความแม่นยำของค่าที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีทางสถิติ T-test พบว่าค่าที่ t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่า t ในตารางที่ความเชื่อมั่น 95 % นั่นคือค่าที่ตรวจวัดได้กับค่าอ้างอิงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองนี้ให้ค่าความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (Detection Limit)

การทดสอบและการคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ ทำการทดลองจากสถานะที่เหมาะสมของธาตุแต่ละชนิด โดยคำนวณตามวิธีของ International Union of Pure and Applied Chemistry(IUPAC) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ

ธาตุ	ค่าต่ำสุดของการตรวจวัด(ไมโครกรัม/กรัม)		
	ดิน	ใบหม่อน	รังไหม
As	0.54	0.32	0.24
Ce	1.34	1.54	0.33
Co	0.25	0.06	0.09
Cr	2.11	0.50	0.35
Fe	128.20	30.08	34.36
K	0.92	0.56	0.30
Mn	3.63	1.67	0.64
Sb	0.10	0.02	0.03
Sc	0.07	0.06	0.04
Th	0.35	0.30	0.26
Zn	17.92	3.58	6.00

จากค่าที่ได้จะพบว่าธาตุ Fe และ Zn มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบค่อนข้างสูงกว่าธาตุอื่นๆ มากเนื่องจากข้อจำกัดของเทคนิค NAA ที่ไม่ไวต่อการวิเคราะห์ธาตุทั้ง 2 จึงทำให้การวิเคราะห์อาจตรวจไม่พบ Fe และ Zn ในตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยๆ ได้

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตัวอย่าง ดิน ไบโหม่อน และรังไหม

ธาตุที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอคทีเวชัน มีทั้งหมด 11 ธาตุ ได้แก่ สารหนู (As) แมงกานีส (Mn) สแกนเดียม (Sc) พลวง (Sb) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) ซีเรียม (Ce) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม(K) โดยเก็บตัวอย่างดิน ไบโหม่อน และรังไหม จาก 8 จังหวัด คือ สุพรรณบุรี กาญจนบุรี นครราชสีมา ขอนแก่น มหาสารคาม ตาก กำแพงเพชร และประจวบคีรีขันธ์ รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง

จังหวัด	อำเภอ	หมู่บ้าน	ชนิดตัวอย่าง	รหัส ตัวอย่าง
สุพรรณบุรี	หนองหญ้าไซร์	เลขที่ 730 หมู่ 10 ต.หนองขาม	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S1 G1 L1
	หนองหญ้าไซร์	เลขที่ 689 หมู่ 9 ต.หนองขาม	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S2 G2 L2
กาญจนบุรี	เลาขวัญ	บ.หนองปลิง ต.หนองปลิง	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S3 G3 L3
	เลาขวัญ	13/1 ม.7 บ.หนองหัววัว ต.หนองปลิง	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S4 G4 L4
นครราชสีมา	เสิงสาง	โครงการหมู่บ้านเลี้ยงไหม บ้านหนองเข้-พูนทรัพย์พัฒนา เลขที่ 28 หมู่ 11 ต.สุขไพบูลย์	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S5 G5 L5
	เสิงสาง	โครงการหมู่บ้านเลี้ยงไหม บ้านหนองเข้-บ้านหนองไผ่ เลขที่ 118 หมู่ 6 ต.เสิงสาง	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S6 G6 L6
ขอนแก่น	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ (หน้าศูนย์)	ดิน ไบโหม่อน รังไหม	S7 G7 L7

	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ (หลังศูนย์)	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S8 G8 L8
มหาสารคาม	เมือง	63/1 ม. 13 ต.ท่าสองคอน	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S9 G9 L9
	เมือง	93 หมู่ 20 บ้านหนองนาเชือก ต.ท่าสองคอน	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S10 G10 L10
ตาก	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ (หน้าศูนย์)	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S11 G11 L11
	เมือง	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ (หลังศูนย์)	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S12 G12 L12
กำแพงเพชร	ปางศิลาทอง	280 ม.1 บ้านหินดาด ต.หินดาด	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S13 G13 L13
	ปางศิลาทอง	72 ม. 14 บ้านรุ่งเรืองทรัพย์ ต.หินดาด	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S14 G14 L14
ประจวบคีรี ขันธ์	หัวหิน	ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ ต.หินเหล็กไฟ	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S15 G15 L15
	หัวหิน	224 ม.1 หมู่บ้านเฉลิมพระเกียรติ ต.ห้วยสัตว์ใหญ่	ดิน ไบหม่อน รังไหม	S16 G16 L16

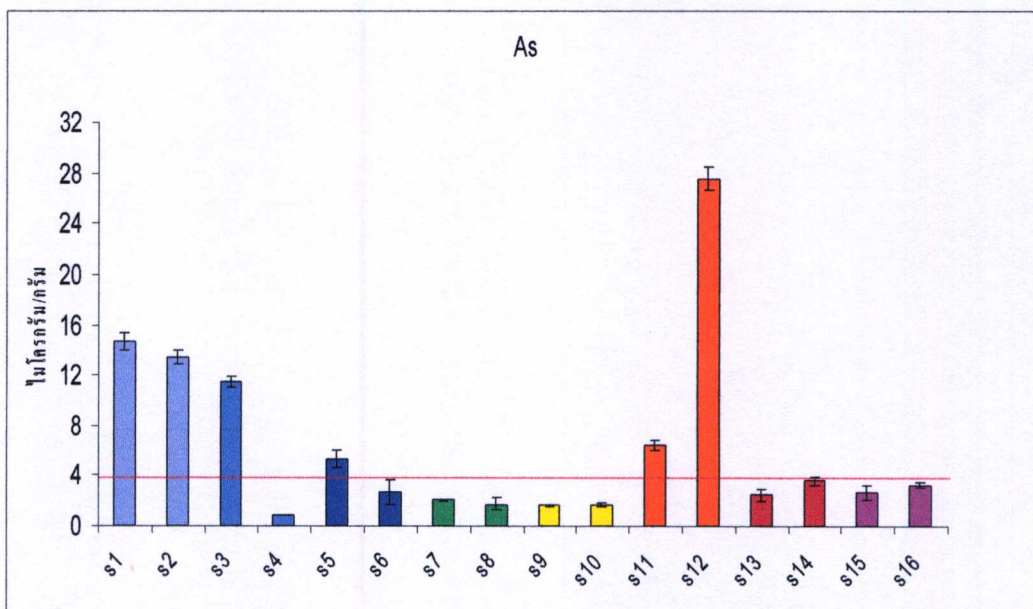
ผลการวิเคราะห์ธาตุสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7-4.9

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ

โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm)(n=3)							
	สุพรรณบุรี		กาญจนบุรี		นครราชสีมา		ขอนแก่น	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
As	15	13	12	0.81	5	3	2	2
Ce	101	81	53	18	48	45	21	21
Co	8	7	1	0.75	29	44	4	5
Cr	40	32	25	14	306	347	28	33
Fe	13533	11164	10977	2079	49861	58589	5975	7332
K	25177	22971	23688	2358	834	1553	995	993
Mn	716	589	345	55	1147	1073	455	484
Sb	1	4	5	1	0.84	0.21	0.60	0.49
Sc	7	4	5	1	23	26	3	3
Th	26	19	13	6	10	13	4	5
Zn	59	35	<17.92	<17.92	123	89	45	65

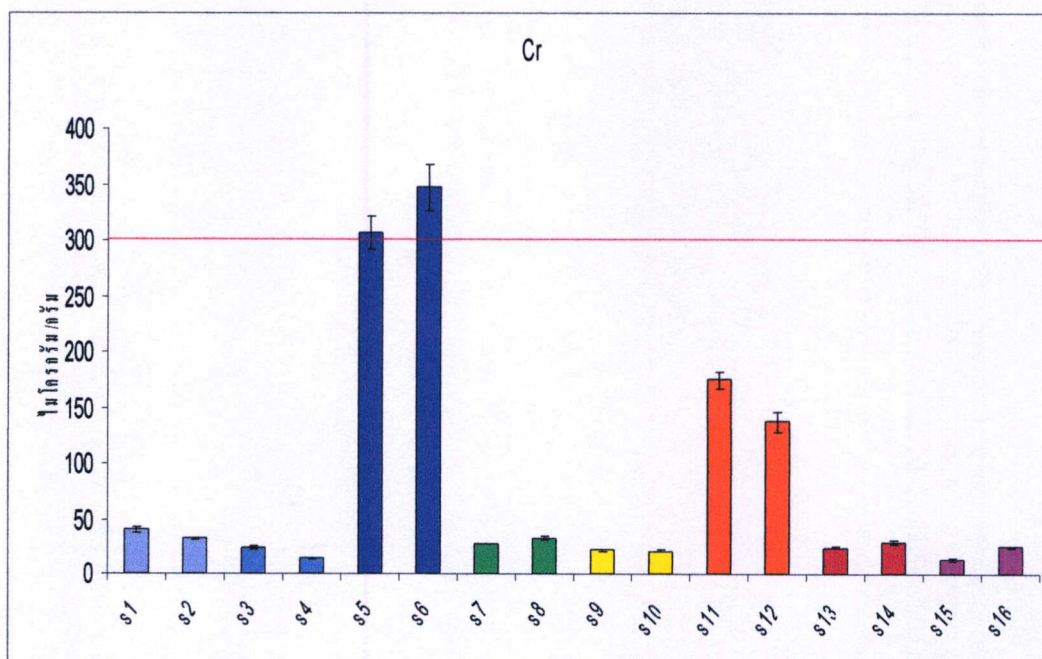
ตารางที่ 4.7(ต่อ) ปริมาณธาตุในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ

โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm) (n=3)							
	มหาสารคาม		ตาก		กำแพงเพชร		ประจวบคีรีขันธ์	
	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
As	2	2	6	28	2	4	3	3
Ce	5	10	43	46	157	155	108	32
Co	2	3	34	61	5	6	3	6
Cr	23	22	175	137	25	29	13	26
Fe	3467	6490	64670	51900	10729	12458	6060	6145
K	680	662	5108	3237	51640	49815	44011	2184
Mn	240	180	1521	1761	273	322	202	98
Sb	0.35	0.48	0.34	0.61	0.25	0.23	0.24	0.77
Sc	1	1	24	19	5	6	2	2
Th	3	3	6	5	47	48	45	6
Zn	<17.92	144	89	137	26	36	<17.92	<17.92

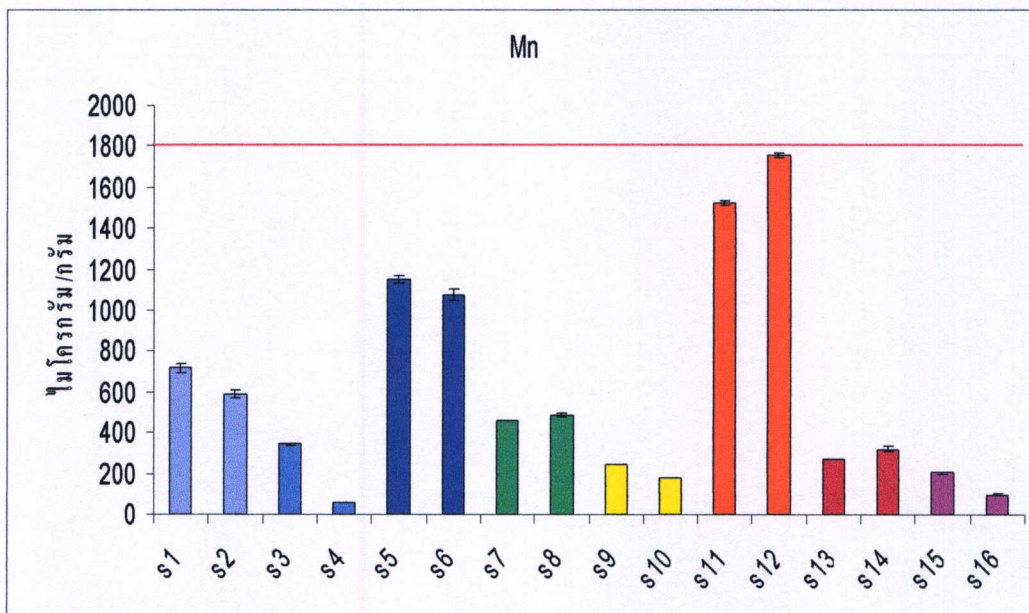


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ As ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ

[สุพรรณบุรี ■ กาญจนบุรี ■ นครราชสีมา ■ ขอนแก่น ■ มหาสารคาม ■ ตาก ■ กำแพงเพชร ■ ประจวบคีรีขันธ์ — เส้นมาตรฐาน]



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ Cr ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ Mn ในตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ

จากข้อมูลที่ได้จะพบว่าปริมาณธาตุในตัวอย่างดินในจังหวัดเดียวกันโดยส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันมีเพียงบางธาตุในบางจังหวัดที่ไม่แตกต่างกัน(ภาคผนวก ช.) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน ธาตุที่ตรวจพบในดินได้แก่ As, Ce, Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb, Sc, Th และ Zn ความเข้มข้นเท่ากับ 0.81-28, 5-157, 0.75-61, 13-347, 2079-64670, 662-51640, 55-1761, 0.21-5, 1-26, 3-48 และ 26-144 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ปริมาณ As ต้องไม่เกิน 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม Cr(Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Mn ต้องไม่เกิน 1,800 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ค่า As ในจังหวัด สุพรรณบุรี กาญจนบุรี นครราชสีมา ดาก และ กำแพงเพชร มีค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด ค่า Cr ในจังหวัด นครราชสีมา มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน แต่ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์ในรูปของ Cr ทั้งหมด เมื่อดูจากค่า คือ 306 และ 347 ไมโครกรัม/กรัม แล้วหากทำการแยกวิเคราะห์ในรูป Hexavalent แล้วค่าที่ได้อาจจะต่ำกว่านี้ และค่า Mn ที่ตรวจพบจากทั้ง 8 จังหวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.8 ปริมาณธาตุในตัวอย่างไบหม่อน ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ

โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm) (n=3)							
	สุพรรณบุรี		กาญจนบุรี		นครราชสีมา		ขอนแก่น	
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
As	<0.32	0.58	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
Ce	4	<1.54	<1.54	<1.54	2	2	<1.54	<1.54
Co	0.19	0.18	0.12	0.14	<0.06	0.27	0.10	0.11
Cr	0.53	0.93	1	<0.50	2	0.63	2	2
Fe	149	123	658	79	508	136	84	98
K	25098	24686	14448	19884	23059	33227	995	16207
Mn	93	122	141	123	73	58	53	45
Sb	0.09	0.53	0.20	0.12	0.15	0.15	0.03	0.04
Sc	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Th	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Zn	23	48	17	30	60	60	43	43

ตารางที่ 4.8(ต่อ) ปริมาณธาตุในตัวอย่างไบหม่อน ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่างๆ(ต่อ)

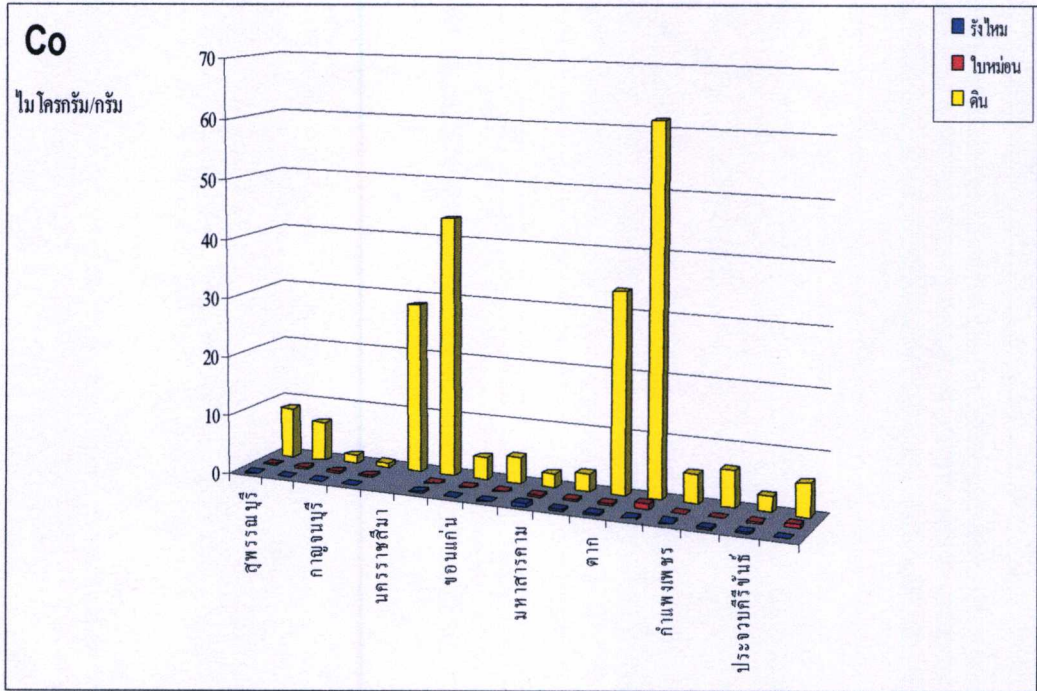
โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm) (n=3)							
	มหาสารคาม		ตาก		กำแพงเพชร		ประจวบคีรีขันธ์	
	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16
As	<0.32	<0.32	<0.32	0.37	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
Ce	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54
Co	0.18	0.14	0.19	0.94	0.12	0.14	0.21	0.54
Cr	2	2	0.78	0.80	<0.50	<0.50	0.61	<0.50
Fe	90	162	131	436	107	85	145	116
K	19811	20722	17694	17703	19316	37636	27121	30219
Mn	63	45	28	55	53	47	64	45
Sb	0.07	0.09	0.07	0.09	0.05	<0.02	0.04	0.04
Sc	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Th	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Zn	41	66	47	109	20	22	33	33

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุในตัวอย่างรังไหม ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่าง ๆ

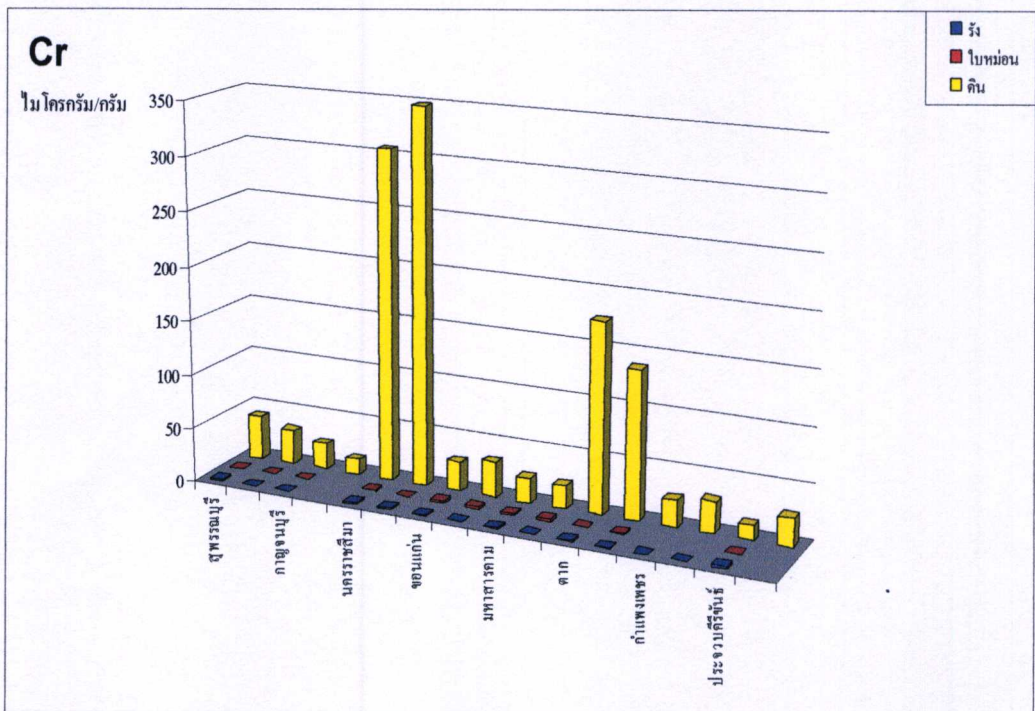
โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm)							
	สุพรรณบุรี		กาญจนบุรี		นครราชสีมา		ขอนแก่น	
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
As	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
Ce	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54
Co	0.18	0.18	0.22	0.14	<0.092	0.27	0.13	0.12
Cr	2	0.68	0.79	<0.352	0.86	1	0.48	0.52
Fe	42	84	<34.356	37	<34.356	91	<34.356	<34.356
K	199	6698	3828	2553	508	3398	1641	2379
Mn	2	15	4	5	6	8	7	7
Sb	0.12	0.44	0.08	0.07	0.152	<0.033	0.11	0.11
Sc	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Th	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Zn	52	<5.998	7	8	76	94	9	6

ตารางที่ 4.9(ต่อ) ปริมาณธาตุในตัวอย่างรังไหม ที่วิเคราะห์ได้จากจังหวัดต่างๆ(ต่อ)

โลหะ	ปริมาณความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัม/กรัม (ppm)							
	มหาสารคาม		ตาก		กำแพงเพชร		ประจวบคีรีขันธ์	
	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16
As	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32	<0.32
Ce	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54	<1.54
Co	0.46	0.22	0.21	0.23	0.29	0.18	0.25	0.16
Cr	0.46	0.72	1	0.41	0.64	0.53	2	<0.352
Fe	<34.356	35	59	<34.356	37	<34.356	307	<34.356
K	2915	2900	2348	2212	6208	2491	4737	7441
Mn	12	8	7	8	6	3	7	6
Sb	0.09	0.12	0.06	0.04	0.07	0.04	0.08	0.05
Sc	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Th	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Zn	12	9	15	26	9	7	17	11



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณ Co ในตัวอย่างดิน โบห์มอน และรังไหม



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณ Cr ในตัวอย่างดิน โบห์มอน และรังไหม

สำหรับผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างใบหม่อนพบ 9 ธาตุจากทั้งหมด 11 ธาตุ ได้แก่ As, Ce, Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb และ Zn ความเข้มข้นเท่ากับ 0.37-0.58, 2 – 4, 0.10-0.94, 0.61-2, 79-658, 995- 37636, 28-141, 0.03- 0.53 และ 17 - 109 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ

ค่าความเข้มข้นของธาตุ As , และ Zn ที่ตรวจวัดได้ เมื่อเทียบกับมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98(พ.ศ. 2529) กำหนดค่า As และ Zn ต้องน้อยกว่า 2 และ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่า As ที่ตรวจวัดได้อยู่ในเกณฑ์ ส่วนค่า Zn ในจังหวัดตาก 1 จุดสูงกว่ามาตรฐาน จุดอื่น ๆ ต่ำกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากดินบริเวณจังหวัดตาก มีการปนเปื้อนของ Zn ค่อนข้างสูง จึงทำให้ส่งผลถึงดินหม่อนที่ปลูกในบริเวณดังกล่าว

สำหรับการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างรังไหมพบ 7 ธาตุจากทั้งหมด 11 ธาตุ ได้แก่ Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb และ Zn ความเข้มข้นเท่ากับ 0.12-0.46, 0.41-2, 35 -307, 199-7441, 0.04-0.44 และ 6-94 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ

จากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่า ค่า As และ Zn ในตัวอย่างรังไหมแต่ละจังหวัด ค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานอาหารปนเปื้อนของกระทรวงสาธารณสุข

จากค่าความเข้มข้นของ Co และ Cr ที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างใบหม่อนและรังไหม พบว่าไม่ว่าค่าของธาตุทั้งสองในตัวอย่างดินที่จังหวัดต่าง ๆ จะแตกต่างกัน แต่ค่าที่ได้ของ Co และ Cr ในตัวอย่างใบหม่อนและรังไหมจากแต่ละจังหวัดไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ค่าเปรียบเทียบทางสถิติของธาตุทั้งสองในจังหวัดเดียวกันและต่างจังหวัดกัน[ภาคผนวก ข] โดยส่วนใหญ่ ค่าของ Co และ Cr ที่วิเคราะห์ได้ในใบหม่อนและรังไหมมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือการสะสมของธาตุทั้งสอง ในวงจรการเลี้ยงไหมมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้คุณภาพดินจะแตกต่างกันก็ตาม

นอกจากนี้ ธาตุ Co และ Cr ยังเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย[12,27] อาจนำใบหม่อนและรังไหมมาแปรรูปเป็น ชาเขียว และผงไหม ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเป็นแหล่งของอาหารที่เพิ่มธาตุ Co และ Cr ให้กับร่างกายได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในตัวอย่างดิน ไบหม่อน และรังไหม ด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน เพื่อหาปริมาณธาตุ สารหนู (As) แมงกานีส (Mn) สแกนเดียม (Sc) พลวง (Sb) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) ซีเรียม (Ce) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม (K) สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อบรังสีที่ท่อนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้สลายตัว 3 ชั่วโมงและนับรังสี 100 วินาที สำหรับการวิเคราะห์ Mn อบรังสีที่ท่อในแกนเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 3 วัน ทิ้งให้สลายตัว 3 วัน และนับรังสี 30 นาที สำหรับการวิเคราะห์ As, K, Sb อบรังสีที่ท่อในแกนเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 3 วัน ทิ้งให้สลายตัว 2 สัปดาห์และนับรังสี 1 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบของธาตุ As, Ce, Co, Cr, Fe, K, Mn, Sb, Sc, Th และ Zn ในตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับ 0.54, 1.34, 0.25, 2.11, 128.20, 0.92, 3.63, 0.10, 0.07, 0.35 และ 17.92 ไมโครกรัม/กรัม ในไบหม่อนมีค่าเท่ากับ 0.32, 1.54, 0.06, 0.50, 30.08, 0.56, 1.67, 0.02, 0.06, 0.30 และ 3.58 ไมโครกรัม/กรัม และรังไหมมีค่าเท่ากับ 0.24, 0.33, 0.09, 0.35, 34.36, 0.30, 0.64, 0.03, 0.04, 0.26 และ 6.00 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ การศึกษาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์โดยใช้การคำนวณค่าทางสถิติ t-test พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างจากค่าอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์ คำนวณค่าทางสถิติตามสมการของ Horwitz พบว่าธาตุ Fe และ Zn มีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AOAC (Horwitz ratio; HR < 2) นั่นคือการวิเคราะห์ธาตุ Fe และ Zn มีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างสูง ควรมีการทำซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ ส่วนธาตุอื่น ๆ ค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

จากผลการทดลองค่า As ในตัวอย่างดินจากจังหวัด สุพรรณบุรี กาญจนบุรี นครราชสีมา ดาก และ กำแพงเพชร มีค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนดคุณภาพดิน ของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ส่วนค่า Cr ในจังหวัด นครราชสีมา มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน แต่ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์ในรูปของ Cr ทั้งหมด แล้วหากทำการแยกวิเคราะห์ในรูป Hexavalent แล้วค่าที่ได้อาจจะต่ำกว่านี้ และค่า Mn ที่ตรวจพบจากทั้ง 8 จังหวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในตัวอย่างไบหม่อนค่า As ที่ตรวจวัดได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารปนเปื้อน ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ส่วนค่า Zn ในจังหวัดดาก 1 จุดสูงกว่ามาตรฐาน จุดอื่น ๆ ต่ำกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากดินบริเวณจังหวัดดาก มีการปนเปื้อนของ Zn ค่อนข้างสูง จึงทำให้ส่งผลถึงดินหม่อนที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวได้ ส่วนในรังไหมค่า As และ Zn ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าของ Co และ Cr ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างไบหม่อนและรังไหมจากจังหวัดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันและจากทั้ง 8 จังหวัดก็อยู่ในช่วงเดียวกัน นั่นคือการสะสมของธาตุทั้งสอง ในวงจรการเลี้ยงไหมมีค่าใกล้เคียงกันถึงแม้คุณภาพดินจะแตกต่างกันก็ตาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเก็บตัวอย่างไบหม่อนและรังไหมมาทำการวิเคราะห์เพิ่ม ให้ได้ข้อมูลมากพอที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุที่ได้จากแต่ละ
2. ควรทำการศึกษาวิเคราะห์ชนิดของธาตุในตัวอย่างเพิ่มเติม อาจมีธาตุอื่นที่สามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณลักษณะองค์ประกอบที่เด่นชัดของตัวอย่างที่มาจากจังหวัดต่าง ๆ ได้
3. การวิเคราะห์ Fe และ Zn ด้วยเทคนิค NAA นั้นจากการวิเคราะห์ค่าความเที่ยง ข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวมากกว่าเกณฑ์กำหนด ในการวิเคราะห์อาจต้องทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญญา สุคาทิต ให้อัมภาษณ์, 4 พฤษภาคม 2551. ศรีนทิพย์ อักษรกลั่น ผู้สัมภาษณ์. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนิวเคลียร์เพิ่มมูลค่าของอุตสาหกรรมหม่อนไหมไทย. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์
- [2] Michael D. Glascock. "An Overview of Neutron Activation Analysis." [Online]. Available : <http://ecow.engr.wisc.edu/cgi-bin/get/ne/427/edwards/naaoverview.pdf>. 2009
- [3] W. Wimolwattanapun, O. Leelanupat, W. Chantarachot, S. Tedthong. 2007. "Determination of Metals in Thai Silk by Neutron Activation Analysis." Bangkok : Thailand Institute of Nuclear Technology.
- [4] W. Chantaracho, S. Meekhantong, S. Tedthong, W. Wimolwattanapun, S. Laoharajanaphand. "Analysis of Trace elements in silk cocoon." 2007. Bangkok : Thailand Institute of Nuclear Technology.
- [5] Montira Parengam. "Study of Nutrients and Toxic Minerals in Rice and Legume by Instrumental Neutron Activation Analysis(INAA) and Atomic Absorption Spectrophotometry(AAS)" M.Sc. Food and Nutrition Toxicology. Mahidol University. 2008.
- [6] Nuclear Society of Thailand Articles. "Neutron Activation Analysis." [Online]. Available : <http://www.nst.or.th/article/article5001/article5001i.htm>. 2009.
- [7] แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์. 2534.
- [8] H.J. Arnikar. **Essentials of Nuclear Chemistry**. 4th ed. India : Wiley Eastern Limited. 1995.
- [9] ปรียา อนุพงษ์อ้อจาง. "ปฏิกิริยาฟิชชันและฟิวชัน" [Online]. Available : http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/102/1/nuclear1/nuclear_19.htm. 2009.
- [10] William D. Ehmann, Diane E. Vance. **Radiochemistry and Nuclear Method of Analysis**. United States of America : John Wiley & Sons,Inc. 1991.
- [11] Zeev B. Alfassi. **Activation Analysis Volume II**. Boca Raton Florida : CRC Press, Inc. 1990.
- [12] วุฒิชัย จันทร์โชติ, อารณณ์ บุญมงคล, สุนทรี ขุนทอง, รติรส เกรียงาส และสิรินาฏ เลหาะโรจนพันธ์. "การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินตามลำน้ำแม่ตาจ้งหวัดตาก โดยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์." การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. ตุลาคม 2548.
- [13] Hisao Aruga. **Principles of Sericulture**. Japanese : A.A. Belkema/Rotterdam. 1994.

- [14] กรมวิชาการเกษตร. เอกสารวิชาการหม่อน-ไหม. กรุงเทพฯ : บริษัทารวุฒิกการพิมพ์.
- [15] International Atomic Energy Agency. **Analytical Applications of Nuclear Techniques.** Vienna. 2004.
- [16] “Neutron Activation Analysis.” [Online]. Available :
<http://www.me.wpi.edu/Nuclear/Reactor/Labs/R-naa.html#app>. 2009.
- [17] กองปฏิบัติการปฏิบัติ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2544. **เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา.
- [18] “วงจรชีวิตไหม.” [Online]. Available : <Http://www.doae.go.th/plant/mhon.htm>. 2008.
- [19] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. “การผลิตไหม” [Online]. Available :
<http://www.moac.go.th/builder/mu/index.php?page=415&clicksub=415&sub=127>. 2009.
- [20] Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods, Including Detection and Quantification Capabilities (IUPAC Recommendation 1995). **Pure & appl.Chem.** 67:1699-1723.
- [21] J.C.Miller and J.B.Miller. **Statistics for Analytical Chemistry.** 3rd edition. Great Britain : Ellis Horwood Limited. 1993.
- [22] สำนักพัฒนาศกษาภาพห้องปฏิบัติการ. 2547. **วิธีตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์.** กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- [23] Somenath Mitra. **Sample Perparation Techniques in Analytical Chemistry.** United States of America : John Wiley & Sons, Inc. 2003.
- [24] “การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม” [Online]. Available : <http://web.ku.ac.th/agri/silk2/Silk17.htm>. 2009
- [25] International Atomic Energy Agency. **Measurement of Radionuclides in Food and The Environment.** Austria : IAEA. 1989.
- [26] เกษมศรี ชับซ้อน. **คู่มือการวิเคราะห์ดิน พีช ปุ๋ย และน้ำ.** กรุงเทพฯ : สำนักงานก.ค. กระทรวงศึกษาธิการ.
- [27] สูดชาย กำเนิดมณี. “การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน น้ำ ดินตะกอน และหญ้าขน(Brachiaria mutica) บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง”. วิทยาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2540.
- [28] Alloway,B.J. **Heavy Metals in Solis.** New York : John Wiley & Sons, Inc. 1990.
- [29] มะลิวัลย์ กอสกุล. “ความแปรผันของสัณฐานวิทยา กายวิภาควิทยาและรูปแบบดีเอ็นเอของหม่อน”. วิทยาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

- [30] University of California. "Elements" [Online]. Available :
<http://periodic.lanl.gov/elements/30.html>. 2009.
- [31] ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติตาก. "การวิเคราะห์คุณค่าอาหารของใบหม่อน" [Online].
 Available : <http://www.taksilk.com>. 2009.
- http://www.taksilk.com/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=51&PHPSESSID=4afdc20be1600911a17a077dad71a7b1[32] K. Kandyli, I. Hadjigeorgiou and P. Harizanis. "The nutritive value of mulberry leaves (*Morus alba*) as a feed supplement for sheep" **J. Tropical Animal Health and Production**. Vol.41, Number 1/January, 2009. pp.17-24.
- [33] April Kinghorn, Murray M., Humphries Peter Oureidge, Hing Man Chan. "Teeth as Biomonitoring of Selenium Concentrations in Tissues of Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*)" **J. Science of The Total Environment**. 402, 2008. pp.43-50.
- [34] A. El-Taher. "Rare-Earth Elements in Egyptian Granite by Instrumental Neutron Activation Analysis" **J. Applied Radiation and Isotopes**. 65, 2007. pp.458-464.
- [35] A.M.G. Pacheco, M.C. Freitas, M.G. Ventura, I. Dionisio and E. Ernakova. "Chemical Element in Common Vegetable Components of Portuguese Diets, Determined by k_0 -INAA" **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A : Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**. Vol 564, Issue 2, 2006. pp.721-728.
- [36] S.D. Kulkarni, R.Acharya, A.G.C. Nair, N.S. Rajurkar and A.V.R. Reddy. "Determination of Element Concentration Profiles in Tender Wheatgrass (*Triticum aestivum L.*) Using Instrumental Neutron Activation Analysis" **J. Food Chemistry**. Vol.95, Issue 4, 2006. pp.699-707.
- [37] A. El-Taher. "Rare-earth elements in Egyptian granite by instrumental neutron activation analysis" **J. Applied Radiation and Isotopes**. Vol 65, 2007. pp.458-464.
- [38] Marcia G. Ventura, Vekoslava Stibilj, Maria do Carmo Freitas, Adriano M.G. Pacheco. "Determination of ultratrace levels of selenium in fruit and vegetable samples grown and consumed in Portugal" **J. Food Chemistry**. Vol.115, 2009. pp.200-206.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การแก้ค่า decay time

แก้ค่า decay time ใช้ในกรณีที่วิเคราะห์ไอโซโทปที่มีการอาบรังสีพร้อมกัน ตำแหน่งเดียวกัน ระยะเวลาในการอาบรังสีและวัดรังสีเท่ากัน แต่เริ่มวัดไม่พร้อมกันเพราะเครื่องวัดรังสีสามารถวัดได้ครั้งละ 1 ตัวอย่างเท่านั้น จึงต้องมีการแก้ค่าพื้นที่ได้พิค โดยใช้สูตรดังนี้

$$A_0 = Ae^{-\lambda t} \quad (ก.1)$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่ได้พิคเริ่มต้น (t_0)
 A = พื้นที่ได้พิควัดได้ที่เวลา t
 $\lambda = 0.693/t_{1/2}$
 t = ระยะเวลาที่เริ่มวัดตัวอย่างที่ 2, 3...

ตารางที่ก.1 การหาปริมาณแอมกานีสในตัวอย่างดิน ได้ผลการทดลองดังนี้

ตัวอย่าง	เวลาวัด	น้ำหนัก(กรัม)	พื้นที่ได้พิค
NIST 8704	0.00	0.0507	423
S3	22.20	0.0480	225

เมื่อ

ความเข้มข้นของแอมกานีสในสารมาตรฐาน NIST 8704 คือ 544 ไมโครกรัม/กรัม
ค่าครึ่งชีวิตของแอมกานีส คือ 154.68 นาที

$$\begin{aligned} \lambda &= -0.693/154.68 \\ A &= 225 \times e^{(0.693/154.68) \times 22.20} \\ &= 249 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาปริมาณธาตุ

การคำนวณหาปริมาณธาตุในตัวอย่างใช้สูตรดังนี้

$$M_1 = \frac{(A_1 \times W_2)}{(A_2 \times W_1)} \times M_2 \quad (\text{ข.1})$$

- เมื่อ W1 = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
W2 = น้ำหนักของสารมาตรฐานอ้างอิง (กรัม)
A1 = ความแรงรังสี (Peak area) ของธาตุในตัวอย่าง
A2 = ความแรงรังสี (Peak area) ของธาตุในสารมาตรฐาน
M1 = ความเข้มข้นของธาตุในตัวอย่าง (ไมโครกรัม)
M2 = ความเข้มข้นของธาตุในสารมาตรฐาน (ไมโครกรัม)

คำนวณปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างดินดังตารางผนวกที่ 1 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} M1 &= [(249 \times 0.0507) / (423 \times 0.0480)] \times 544 \\ &= 338.44 \end{aligned}$$

ดังนั้นความเข้มข้นของแมงกานีสในตัวอย่างดิน คือ 338.44 ไมโครกรัม/กรัม

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ As (ไมโครกรัม/กรัม, n=3)			ผลการวิเคราะห์ Ce (ไมโครกรัม/กรัม, n=3)		
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ใบหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ใบหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	15 ± 0.72	<0.32	<0.24	101 ± 6.18	4.35 ± 0.23	<0.33
	2	13 ± 0.58	0.58 ± 0.05	<0.24	81 ± 1.03	<1.54	<0.33
กาญจนบุรี	3	12 ± 0.42	<0.32	<0.24	53 ± 0.99	<1.54	<0.33
	4	0.18 ± 0.01	<0.32	<0.24	18 ± 0.17	<1.54	<0.33
นครราชสีมา	5	5 ± 0.70	<0.32	<0.24	48 ± 0.41	1.76 ± 0.02	<0.33
	6	3 ± 0.99	<0.32	<0.24	45 ± 0.32	2.10 ± 0.05	<0.33
ขอนแก่น	7	2 ± 0.11	<0.32	<0.24	21 ± 5.00	<1.54	<0.33
	8	2 ± 0.48	<0.32	<0.24	21 ± 2.50	<1.54	<0.33
มหาสารคาม	9	2 ± 0.08	<0.32	<0.24	5 ± 1.18	<1.54	<0.33
	10	2 ± 0.13	<0.32	<0.24	10 ± 1.80	<1.54	<0.33
ตาก	11	6 ± 0.36	<0.32	<0.24	43 ± 1.00	<1.54	<0.33
	12	28 ± 0.91	0.37 ± 0.05	<0.24	46 ± 0.99	<1.54	<0.33
กำแพงเพชร	13	2 ± 0.49	<0.32	<0.24	157 ± 10.70	<1.54	<0.33
	14	4 ± 0.36	<0.32	<0.24	155 ± 8.23	<1.54	<0.33
ประจวบคีรีขันธ์	15	3 ± 0.55	<0.32	<0.24	108 ± 2.31	<1.54	<0.33
	16	3 ± 0.25	<0.32	<0.24	32 ± 1.85	<1.54	<0.33

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ไบโหมอน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ Co(ไมโครกรัม/กรัม, n=3)			ผลการวิเคราะห์ Cr(ไมโครกรัม/กรัม, n=3)		
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหมอน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหมอน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	8 ± 0.82	0.19 ± 0.04	0.18 ± 0.03	40 ± 3.14	0.53 ± 0.04	2 ± 0.09
	2	7 ± 0.11	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	32 ± 1.32	0.93 ± 0.12	0.68 ± 0.05
	3	1 ± 0.03	0.11 ± 0.001	0.22 ± 0.07	25 ± 1.52	1 ± 0.13	0.79 ± 0.004
	4	1 ± 0.02	0.13 ± 0.03	0.14 ± 0.005	14 ± 1.02	<0.50	<0.35
นครราชสีมา	5	29 ± 1.94	<0.06	<0.09	306 ± 14.49	2 ± 0.12	0.86 ± 0.10
	6	44 ± 0.15	0.27 ± 0.005	0.27 ± 0.01	347 ± 20.39	0.63 ± 0.31	1.46 ± 0.15
ขอนแก่น	7	4 ± 0.32	0.10 ± 0.004	0.13 ± 0.004	28 ± 0.23	2 ± 0.14	0.48 ± 0.03
	8	5 ± 0.30	0.11 ± 0.004	0.12 ± 0.003	33 ± 0.91	2 ± 0.15	0.52 ± 0.01
มหาสารคาม	9	2 ± 0.14	0.18 ± 0.004	0.46 ± 0.03	23 ± 0.85	2 ± 0.05	0.46 ± 0.04
	10	3 ± 0.41	0.14 ± 0.002	0.22 ± 0.02	22 ± 1.18	2 ± 0.14	0.72 ± 0.09
ตาก	11	34 ± 0.68	0.19 ± 0.04	0.20 ± 0.03	175 ± 7.51	0.78 ± 0.06	1 ± 0.02
	12	61 ± 2.08	0.94 ± 0.02	0.23 ± 0.01	137 ± 9.56	0.80 ± 0.03	0.41 ± 0.05
กำแพงเพชร	13	5 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.29 ± 0.05	25 ± 0.57	<0.50	0.64 ± 0.04
	14	6 ± 0.04	0.14 ± 0.05	0.18 ± 0.02	30 ± 1.12	<0.50	0.53 ± 0.004
ประจวบคีรีขันธ์	15	3 ± 0.07	0.21 ± 0.06	0.25 ± 0.06	13 ± 1.05	0.61 ± 0.05	2 ± 0.27
	16	6 ± 0.33	0.53 ± 0.12	0.16 ± 0.02	26 ± 0.58	<0.50	0.17 ± 0.15

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ใบหม่อน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ Fe(ไมโครกรัม/กรัม, n=3)			ผลการวิเคราะห์ K(ไมโครกรัม/กรัม, n=3)		
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ใบหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ใบหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	13534 ± 0.04	149 ± 0.001	42 ± 0.001	25177 ± 0.06	25098 ± 0.32	199 ± 0.01
	2	11164 ± 0.06	123 ± 0.0003	84 ± 0.002	22971 ± 0.32	24686 ± 0.16	6698 ± 0.06
	3	10977 ± 0.07	658 ± 0.002	<34.36	23688 ± 0.11	14448 ± 0.05	3828 ± 0.02
	4	2079 ± 0.01	79 ± 0.001	36 ± 0.001	2358 ± 0.02	19884 ± 0.15	2553 ± 0.01
นครราชสีมา	5	49861 ± 0.56	508 ± 0.01	<34.36	834 ± 0.01	23059 ± 0.05	508 ± 0.005
	6	58589 ± 0.30	136 ± 0.001	91 ± 0.002	1553 ± 0.03	33227 ± 0.09	3398 ± 0.06
ขอนแก่น	7	5975 ± 0.03	84 ± 0.0002	<34.36	995 ± 0.01	995 ± 0.01	1641 ± 0.01
	8	7332 ± 0.02	98 ± 0.0001	<34.36	993 ± 0.02	16207 ± 0.11	2379 ± 0.002
มหาสารคาม	9	3467 ± 0.01	90 ± 0.0004	<34.36	680 ± 0.01	19811 ± 0.20	2915 ± 0.01
	10	6490 ± 0.03	162 ± 0.0003	35 ± 0.001	662 ± 0.01	20722 ± 0.26	2900 ± 0.02
ตาก	11	64670 ± 1.08	131 ± 0.003	59 ± 0.001	5108 ± 0.05	17694 ± 0.23	2348 ± 0.01
	12	51900 ± 0.38	436 ± 0.004	<34.36	3237 ± 0.004	17703 ± 0.10	2212 ± 0.01
กำแพงเพชร	13	10729 ± 0.02	107 ± 0.0004	37 ± 0.001	51640 ± 0.65	19316 ± 0.12	6208 ± 0.02
	14	12458 ± 0.0004	85 ± 0.001	<34.36	49815 ± 0.26	37636 ± 0.63	2491 ± 0.01
ประจวบคีรีขันธ์	15	6060 ± 0.08	145 ± 0.001	307 ± 0.002	44011 ± 0.44	27121 ± 0.18	4737 ± 0.07
	16	6145 ± 0.09	116 ± 0.002	<34.36	2184 ± 0.03	30219 ± 0.08	7441 ± 0.06

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ไบโหม่อน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ Mn (ไมโครกรัม/กรัม, n=3)				ผลการวิเคราะห์ Sb (ไมโครกรัม/กรัม, n=3)				
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	716 ± 26.58	93 ± 15.08	2 ± 0.44	1 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.12 ± 0.03			
	2	589 ± 19.30	122 ± 10.43	15 ± 0.62	4 ± 0.44	0.53 ± 0.02	0.44 ± 0.01			
	3	345 ± 4.96	141 ± 0.93	4 ± 0.30	5 ± 0.12	0.20 ± 0.01	0.08 ± 0.004			
	4	55 ± 0.28	123 ± 0.62	4 ± 0.29	1 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.07 ± 0.02			
นครราชสีมา	5	1147 ± 18.64	73 ± 0.59	6 ± 0.26	0.84 ± 0.17	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.02			
	6	1073 ± 25.50	58 ± 5.08	8 ± 0.70	0.21 ± 0.02	0.15 ± 0.04	<0.03			
ขอนแก่น	7	455 ± 0.91	53 ± 0.88	7 ± 0.31	0.60 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.11 ± 0.01			
	8	484 ± 7.12	45 ± 0.72	7 ± 0.53	0.49 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.11 ± 0.01			
มหาสารคาม	9	240 ± 1.10	63 ± 0.98	12 ± 0.71	0.35 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01			
	10	180 ± 0.14	45 ± 0.62	8 ± 0.41	0.48 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.12 ± 0.01			
ตาก	11	1521 ± 9.73	28 ± 1.99	7 ± 0.20	0.34 ± 0.06	0.07 ± 0.01	0.06 ± 0.01			
	12	1761 ± 9.85	55 ± 6.40	8 ± 0.87	0.61 ± 0.05	0.09 ± 0.003	0.04 ± 0.003			
กำแพงเพชร	13	273 ± 1.77	53 ± 0.79	6 ± 0.29	0.25 ± 0.07	0.05 ± 0.03	0.07 ± 0.01			
	14	322 ± 12.15	47 ± 0.72	3 ± 0.02	0.23 ± 0.08	<0.02	0.04 ± 0.001			
ประจวบคีรีขันธ์	15	202 ± 1.21	64 ± 0.61	7 ± 0.49	0.24 ± 0.08	0.04 ± 0.004	0.08 ± 0.01			
	16	98 ± 0.80	47 ± 1.50	6 ± 0.43	0.77 ± 0.09	0.04 ± 0.003	0.05 ± 0.03			

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ไบโหม่อน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ Sc (ไบโโครแกรม/กรัม, n=3)				ผลการวิเคราะห์ Th (ไบโโครแกรม/กรัม, n=3)				
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)	ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหม่อน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	7 ± 0.36	<0.06	<0.04	26 ± 3.84	<0.30	<0.26	26 ± 3.84	<0.30	<0.26
	2	4 ± 0.15	<0.06	<0.04	19 ± 1.28	<0.30	<0.26	19 ± 1.28	<0.30	<0.26
กาญจนบุรี	3	5 ± 0.21	<0.06	<0.04	13 ± 0.26	<0.30	<0.26	13 ± 0.26	<0.30	<0.26
	4	1 ± 0.07	<0.06	<0.04	6 ± 0.23	<0.30	<0.26	6 ± 0.23	<0.30	<0.26
นครราชสีมา	5	23 ± 0.85	<0.06	<0.04	10 ± 1.10	<0.30	<0.26	10 ± 1.10	<0.30	<0.26
	6	26 ± 0.23	<0.06	<0.04	13 ± 1.12	<0.30	<0.26	13 ± 1.12	<0.30	<0.26
ขอนแก่น	7	3 ± 0.05	<0.06	<0.04	4 ± 0.18	<0.30	<0.26	4 ± 0.18	<0.30	<0.26
	8	3 ± 0.07	<0.06	<0.04	5 ± 0.21	<0.30	<0.26	5 ± 0.21	<0.30	<0.26
มหาสารคาม	9	1 ± 0.08	<0.06	<0.04	3 ± 0.13	<0.30	<0.26	3 ± 0.13	<0.30	<0.26
	10	2 ± 0.01	<0.06	<0.04	3 ± 0.05	<0.30	<0.26	3 ± 0.05	<0.30	<0.26
ตาก	11	24 ± 1.00	<0.06	<0.04	6 ± 0.79	<0.30	<0.26	6 ± 0.79	<0.30	<0.26
	12	19 ± 0.98	<0.06	<0.04	5 ± 0.70	<0.30	<0.26	5 ± 0.70	<0.30	<0.26
กำแพงเพชร	13	5 ± 0.18	<0.06	<0.04	47 ± 0.14	<0.30	<0.26	47 ± 0.14	<0.30	<0.26
	14	6 ± 0.10	<0.06	<0.04	48 ± 1.74	<0.30	<0.26	48 ± 1.74	<0.30	<0.26
ประจวบคีรีขันธ์	15	2 ± 0.13	<0.06	<0.04	45 ± 2.14	<0.30	<0.26	45 ± 2.14	<0.30	<0.26
	16	2 ± 0.17	<0.06	<0.04	6 ± 0.41	<0.30	<0.26	6 ± 0.41	<0.30	<0.26

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่างดิน ไบโหมอน และรังไหม

จังหวัด	ลำดับ ตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์ Zn (ไมโครกรัม/กรัม, n=3)		
		ดิน (ค่าเฉลี่ย±SD)	ไบโหมอน (ค่าเฉลี่ย±SD)	รังไหม (ค่าเฉลี่ย±SD)
สุพรรณบุรี	1	59 ± 2.14	23 ± 1.72	52 ± 10.65
	2	35 ± 3.02	48 ± 0.57	<6.00
กาญจนบุรี	3	<17.92	17 ± 1.17	7 ± 1.25
	4	<17.92	30 ± 1.41	8 ± 1.75
นครราชสีมา	5	123 ± 1.56	60 ± 0.90	76 ± 1.26
	6	89 ± 5.26	60 ± 10.86	94 ± 0.67
ขอนแก่น	7	45 ± 0.15	43 ± 1.51	9 ± 0.05
	8	65 ± 3.67	43 ± 1.05	6 ± 0.07
มหาสารคาม	9	<17.92	41 ± 1.73	12 ± 1.02
	10	144 ± 2.95	66 ± 0.93	9 ± 0.90
ตาก	11	89 ± 9.19	47 ± 2.78	15 ± 1.09
	12	137 ± 3.83	109 ± 5.96	26 ± 0.22
กำแพงเพชร	13	26 ± 0.49	20 ± 0.84	9 ± 2.49
	14	36 ± 2.19	22 ± 3.11	7 ± 0.49
ประจวบคีรีขันธ์	15	<17.92	33 ± 2.70	17 ± 2.12
	16	<17.92	33 ± 2.86	11 ± 0.42

ภาคผนวก ก.

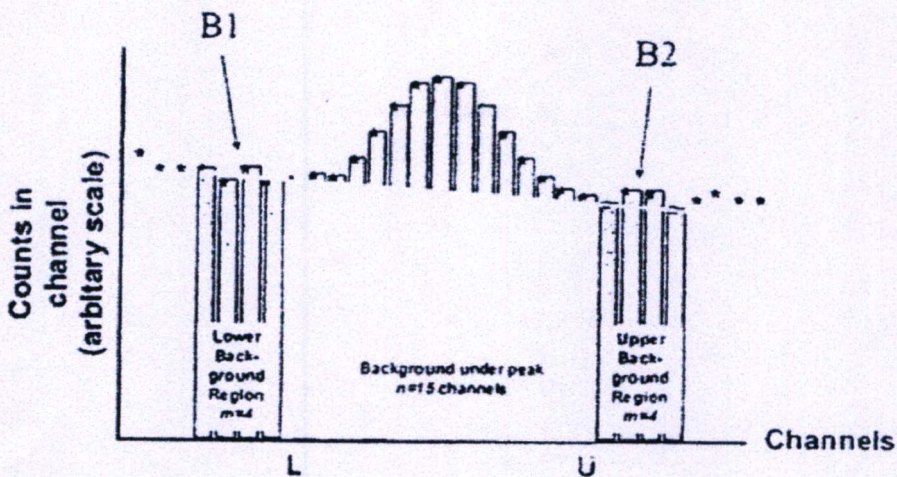
การคำนวณหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (Detection Limit)

ในการทดสอบและคำนวณหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบนั้น ทำการทดลองที่สภาวะที่เหมาะสมของธาตุแต่ละชนิดในตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน (NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 1566a = Oyster Tissue, ACSP DORM-1 = Dogfish, NIST 8704 = Buffalo River Sediment) โดยทำการคำนวณค่าสัญญาณที่ได้จากตัวอย่างตามวิธี International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [20]

$$L_d = 2.71 + 3.29 \sqrt{B(1 + n/2m)} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ $B = (B_1 + B_2) n/2m$

ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการหาสัญญาณจากพีคเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ

การคำนวณความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ โดยนำค่าสัญญาณที่คำนวณได้จากสารตัวอย่างมาเทียบกับค่าสัญญาณที่ได้ของสารมาตรฐาน เช่น การคำนวณความเข้มข้นต่ำสุดของ แอมกานีสในตัวอย่างดินซึ่ง ตัวอย่างดินหนัก 0.0526 กรัม และสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704 มีความเข้มข้นของแอมกานีส 544 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนัก 0.0521 กรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกับตัวอย่างได้ค่าสัญญาณเป็น 2536 จากค่าสัญญาณของตัวอย่างดิน จะได้

$$B1 = 5$$

$$n = 9$$

ดังนั้น

$$B2 = 3$$

$$m = 4$$

$$B = [(5+3) \times 9] / 2(4)$$

$$= 9$$

$$L_D = 2.71 + 3.29 \sqrt{9(1+9/8)}$$

$$= 17.0979$$

ค่าสัญญาณของสารมาตรฐานคือ 2536 มีเนื้อสารอยู่ 544 X 0.0521 ไมโครกรัม/กรัม

ถ้าค่าสัญญาณของแอมกานีส 17.0979 มีเนื้อสารอยู่ (28.3424 x 17.0979) / 2536

$$= 0.191 \text{ ไมโครกรัม}$$

ตัวอย่างดินหนัก 0.0526 กรัม มีเนื้อสารอยู่ 0.191 ไมโครกรัม

ถ้าตัวอย่างดินหนัก 1 กรัม มีเนื้อสารอยู่ 0.191/0.0526

$$= 3.63 \text{ ไมโครกรัม/กรัม}$$

ภาคผนวก ง.

การคำนวณหาความแม่นยำ (Accuracy)

การคำนวณหาความแม่นยำของการวิเคราะห์ในการทดลองนี้ใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐานอ้างอิง ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ (t-test)[21]

จากสูตร

$$t = (X - \mu) / (s/n^{1/2})$$

(ง.1)

Degree of freedom = n-1

เมื่อ

X	=	ค่าเฉลี่ยของการตรวจวัด
μ	=	ค่าที่กำหนด
S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
n	=	จำนวนตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณหาความแม่นยำของการวิเคราะห์แมงกานีส ใช้สารมาตรฐาน NIST 1573a=Tomato Leaves, NIST 8704 = Buffalo River Sediment ได้ผลการทดลองตามตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 ผลการศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์แมงกานีส

ธาตุ	ค่าที่วัดได้(ไมโครกรัม/กรัม) (n=13)
แมงกานีส	246.1605
	234.0794
	247.4483
	254.8039
	232.6267
	245.2406
	242.4726
	236.1243
	241.8626
	246.8751
	248.5175
	249.4815
	242.7655
ค่าเฉลี่ย	243.7276
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6.40
ค่าอ้างอิง	246 ± 8

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad t &= [243.7276 - 246] / (6.40 / 13^{1/2}) \\ &= 1.28 \end{aligned}$$

ค่า t จากตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ degree of freedom = 13-1 = 12

$$t = 2.18$$

นั่นคือ t คำนวณ < t ตาราง

แสดงว่าที่ตรวจวัดได้ไม่แตกต่างจากค่าอ้างอิงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.2 แสดงค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ

Degree of freedom V	t value for confidence level, %				
	80	90	95	99	99.9
1	3.08	6.31	12.7	63.7	637
2	1.89	2.92	4.30	9.92	31.6
3	1.64	2.35	3.18	5.84	12.9
4	1.53	2.13	2.78	4.60	8.60
5	1.48	2.02	2.57	4.03	6.86
6	1.44	1.94	2.45	3.71	5.96
7	1.42	1.90	2.36	3.50	5.40
8	1.40	1.86	2.31	3.36	5.04
9	1.38	1.83	2.26	3.25	4.78
10	1.37	1.81	2.23	3.17	4.56
11	1.36	1.80	2.20	3.11	4.44
12	1.36	1.78	2.18	3.06	4.32
13	1.35	1.77	2.16	3.01	4.22
14	1.34	1.76	2.14	2.98	4.14
∞	1.29	1.64	1.96	2.58	3.29

ภาคผนวก จ
การคำนวณหาความเที่ยง (Precision)

การคำนวณค่าความเที่ยงของการวิเคราะห์ใช้สมการของ Horwitz [22,23] ดังนี้
Predicted Horwitz RSDr (For repeatability)

$$\text{RSDr} = 0.66 \times 2C^{(-0.1505)} \dots\dots\dots(\text{จ.1})$$

เมื่อ C = อัตราส่วนของความเข้มข้น เช่น 1%; C = 1/100 = 10⁻²
1 ppm ; C = 10⁻⁶

Horwitz's Ratio HORRAT; HR = Experimental RSD/ Predicted RSD

.....(จ.2)

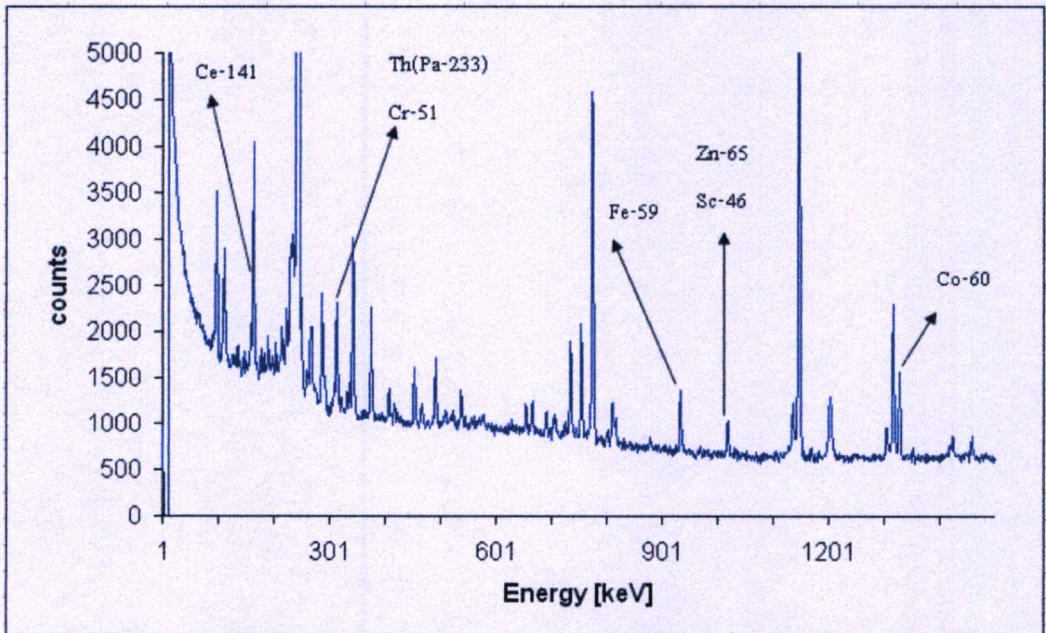
มาตรฐาน AOAC ขอรับค่า HR ≤ 2

การคำนวณความเที่ยงของการวิเคราะห์แมงกานีส

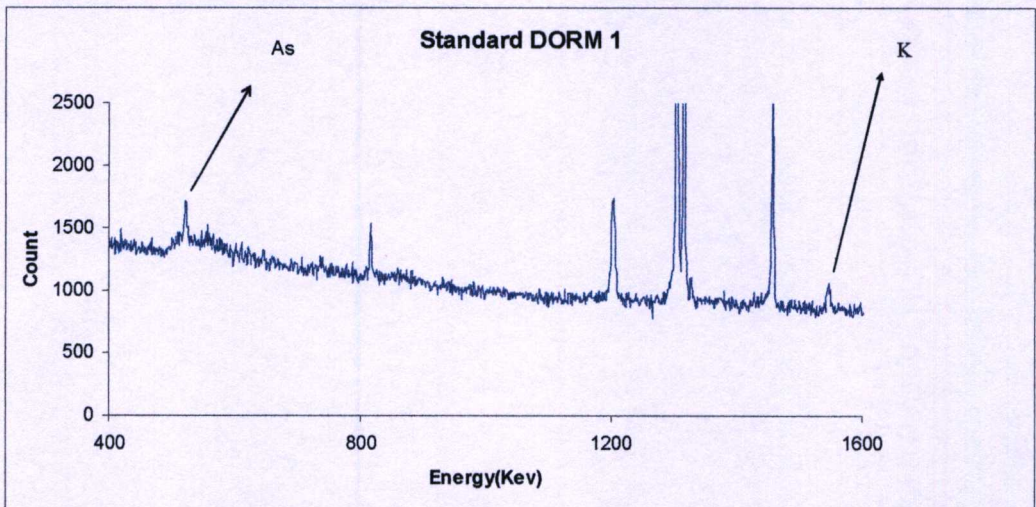
Predicted RSD;	RSDr	=	0.66 X 2(246 X 10 ⁻⁶) ^(-0.1505)
		=	4.61
Experimental RSD ;	%RSD	=	(S / \bar{X}) * 100
		=	(6.40/244)*100
		=	2.62
	HR	=	2.62/4.61
		=	0.57

แสดงว่าการทดลองให้ค่าความเที่ยงของแมงกานีสอยู่ในเกณฑ์ที่ขอรับได้

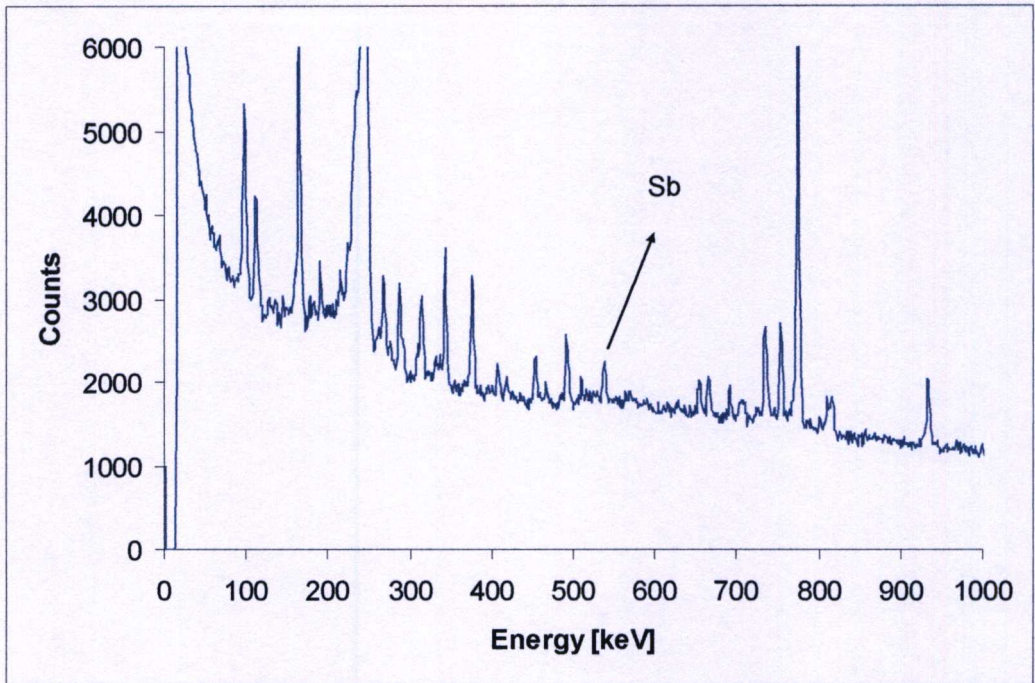
ภาคผนวก ฉ
สเปกตรัมของรังสีแกมมา



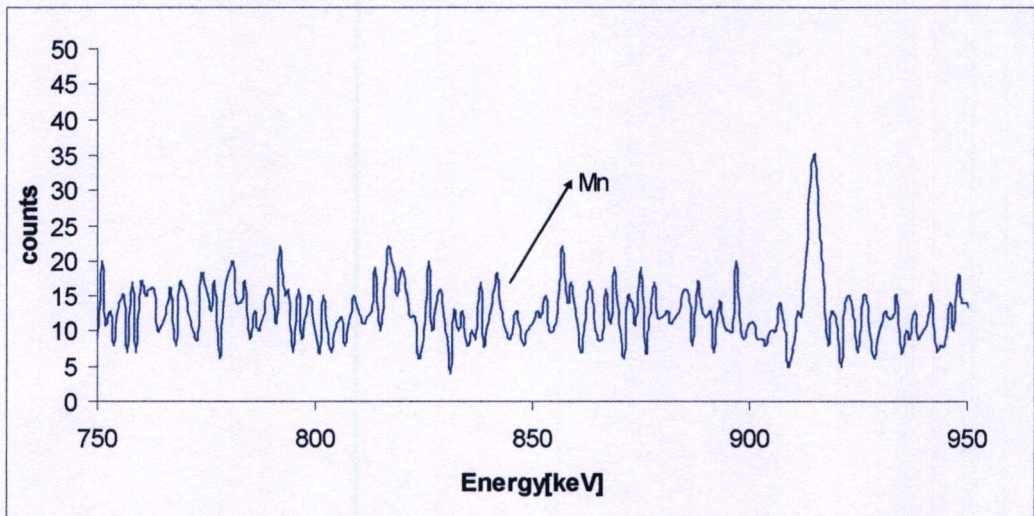
รูปที่ จ.1 แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง NIST8704 หลังอบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 2 สัปดาห์ ใช้เวลาในการวัด 1 ชั่วโมง



รูปที่ จ.2 แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง ACSP DORM-1 หลังอบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 3 วัน ใช้เวลาในการวัด 30 นาที



รูปที่ ๑.๓ แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานอ้างอิง NIST 8704 หลังอบรังสีด้วยท่อ LS เป็นเวลา 3 วันและปล่อยให้สลายตัว 3 วัน ใช้เวลาในการวัด 30 นาที



รูปที่ ๑.๔ แสดงสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างไบหมอน หลังอบรังสีด้วยที่ CA เป็นเวลา 10 นาที และปล่อยให้สลายตัว 3 ชั่วโมง ใช้เวลาในการวัด 100 วินาที

ภาคผนวก (ข)

การคำนวณค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ

การคำนวณ[21]

การทดสอบความแปรปรวนด้วย F-test

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \dots\dots\dots(ข.1)$$

เมื่อ

$$S_1^2 = \text{ค่าแปรปรวนของ ข้อมูลกลุ่มที่ 1}$$

$$S_2^2 = \text{ค่าแปรปรวนของ ข้อมูลกลุ่มที่ 2}$$

$$\text{Degree of freedom} = n-1$$

ค่า F จากการคำนวณได้เปรียบเทียบกับค่า F จากตาราง (F_c) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้า F จากการคำนวณน้อยกว่าค่า F จากตาราง แสดงว่าค่าแปรปรวนทั้งสองไม่แตกต่างกัน

การทดสอบค่าเฉลี่ยด้วย t-test

1. สำหรับข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกันและมีค่าแปรปรวนไม่แตกต่างกันใช้สูตร

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \dots\dots\dots(ข.2)$$

โดย S ได้จาก

$$S^2 = \frac{[(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2]}{(n_1 + n_2 - 2)} \dots\dots\dots(ข.3)$$

ค่า degree of freedom

$$Df = n_1 + n_2 - 2 \dots\dots\dots(ข.4)$$

จากการคำนวณใช้ค่า t ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า t จากตาราง ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ ถ้า ค่า t ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยทั้งสองไม่แตกต่างกัน

2 สำหรับข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกันและมีค่าแปรปรวนแตกต่างกัน

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \dots\dots\dots (ข.5)$$

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}\right)} \dots\dots\dots (ข.6)$$

จากการคำนวณใช้ค่า t ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า t จากตาราง ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าค่า t จากตาราง แสดงว่า ค่าเฉลี่ยทั้งสองไม่แตกต่างกัน

นำข้อมูลที่มีอยู่ทั้งในจังหวัดเดียวกัน และต่างจังหวัดกัน มาคำนวณค่าความแตกต่างของข้อมูลได้ผลการคำนวณดังแสดงในตาราง

ตารางที่ข.1 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างดินภายในจังหวัดเดียวกัน

ธาตุ	As	Ce	Co	Cr	Fe	K	Mn	Sb	Sc	Th	Zn
สุพรรณบุรี	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
กาญจนบุรี	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
นครราชสีมา	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ขอนแก่น	/	/	X	X	X	X	X	X	X	X	X
มหาสารคาม	/	X	X	/	X	X	X	X	/	/	X
ตาก	X	X	X	X	X	X	X	X	X	/	X
กำแพงเพชร	X	/	X	X	X	X	X	/	X	X	X
ประจวบคีรีขันธ์	/	X	X	X	X	X	X	X	/	X	-

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน

/ = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างไบหม่อนภายในจังหวัดเดียวกัน

ธาตุ	Co	Cr	Fe	K	Mn	Sb	Zn
สุพรรณบุรี	/	/	X	X	X	X	X
กาญจนบุรี	/	/	X	X	X	X	X
นครราชสีมา	X	X	X	X	X	/	/
ขอนแก่น	/	/	X	X	X	/	/
มหาสารคาม	X	X	X	X	X	/	X
ตาก	X	/	X	X	X	/	X
กำแพงเพชร	/	-	X	X	X	-	X
ประจวบคีรีขันธ์	X	-	X	X	X	/	X

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน

/ = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูลจากตัวอย่างรังไหมภายในจังหวัดเดียวกัน

ธาตุ	Co	Cr	Fe	K	Mn	Sb	Zn
สุพรรณบุรี	/	X	X	X	X	X	-
กาญจนบุรี	/	-	-	X	/	/	/
นครราชสีมา	-	X	-	X	X	-	X
ขอนแก่น	/	/	-	X	/	/	X
มหาสารคาม	X	X	-	X	X	/	X
ตาก	/	X	-	X	/	X	X
กำแพงเพชร	/	X	-	X	X	X	/
ประจวบคีรีขันธ์	/	-	-	X	X	/	X

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน

/ = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Co จากตัวอย่างรังไหมแต่ละจังหวัด

จังหวัด	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	นครราชสีมา	ขอนแก่น	มหาสารคาม	ตาก	กำแพงเพชร	ประจวบคีรีขันธ์
สุพรรณบุรี	-	/	/	X	/	/	/	/
กาญจนบุรี	/	-	/	/	/	/	/	/
นครราชสีมา	/	/	-	/	/	/	/	/
ขอนแก่น	X	/	/	-	/	X	/	/
มหาสารคาม	/	/	/	/	-	/	/	/
ตาก	/	/	/	X	/	-	/	/
กำแพงเพชร	/	/	/	/	/	/	-	/
ประจวบคีรีขันธ์	/	/	/	/	/	/	/	-

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน / = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ข.5 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Cr จากตัวอย่างรังไหมแต่ละจังหวัด

จังหวัด	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	นครราชสีมา	ขอนแก่น	มหาสารคาม	ตาก	กำแพงเพชร	ประจวบคีรีขันธ์
สุพรรณบุรี	-	/	/	/	/	/	/	/
กาญจนบุรี	/	-	/	/	/	/	/	X
นครราชสีมา	/	/	-	/	/	/	/	/
ขอนแก่น	/	/	/	-	/	/	/	/
มหาสารคาม	/	/	/	/	-	/	/	X
ตาก	/	/	/	/	/	-	/	/
กำแพงเพชร	/	/	/	/	/	/	-	/
ประจวบคีรีขันธ์	/	X	/	/	X	/	X	-

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน / = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๖ แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Co จากตัวอย่างใบหม่อนแต่ละจังหวัด

จังหวัด	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	นครราชสีมา	ขอนแก่น	มหาสารคาม	ตาก	กำแพงเพชร	ประจวบคีรีขันธ์
สุพรรณบุรี	-	X	/	X	/	/	/	/
กาญจนบุรี	X	-	/	X	/	/	/	/
นครราชสีมา	/	/	-	/	/	/	/	/
ขอนแก่น	X	X	/	-	/	/	/	/
มหาสารคาม	/	/	/	/	-	/	/	/
ตาก	/	/	/	/	/	-	/	/
กำแพงเพชร	/	/	/	/	/	/	-	/
ประจวบคีรีขันธ์	/	/	/	/	/	/	/	-

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน / = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 7 แสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล Cr จากตัวอย่างใบหม่อนแต่ละจังหวัด

จังหวัด	สุพรรณบุรี	กาญจนบุรี	นครราชสีมา	ขอนแก่น	มหาสารคาม	ตาก	กำแพงเพชร	ประจวบคีรีขันธ์
สุพรรณบุรี	-	/	/	X	X	/	-	/
กาญจนบุรี	/	-	/	/	/	/	-	/
นครราชสีมา	/	/	-	/	/	/	-	/
ขอนแก่น	X	/	/	-	/	X	-	/
มหาสารคาม	X	/	/	/	-	/	-	/
ตาก	/	/	/	X	/	-	-	/
กำแพงเพชร	-	-	-	-	-	-	-	-
ประจวบคีรีขันธ์	/	/	/	/	/	/	-	-

X = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกัน / = ข้อมูลทั้งสองกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานดิน

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ฉบับที่ ๒๕ (พ.ศ. ๒๕๔๗)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๒ (๖) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

"ดิน" หมายความว่า วัสดุธรรมชาติซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวโลก ประกอบด้วยแร่ธาตุและอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ และให้หมายความรวมถึงหิน กรวด และทรายด้วย

"มาตรฐานคุณภาพดิน" หมายความว่า มาตรฐานการปนเปื้อนของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในดินโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่สัมผัสดินทั้งทางตรงและทางอ้อม

ข้อ ๒ มาตรฐานคุณภาพดินจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ในที่ดินเป็น ๒ ประเภท คือ

(๑) มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

(๒) มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจาก (๑)

ข้อ ๓ มาตรฐานคุณภาพดินตามข้อ ๒ (๑) ต้องเป็นไปดังนี้

๓.๑ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

(๑) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน ๖.๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๒) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน ๒.๕

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ก) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) ต้องไม่เกิน ๓.๕
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ข) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๐.๕
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ค) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๔๓
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ง) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๖๓ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- กิโลกรัม
- (ฉ) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน ๘๙ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ช) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ต้องไม่เกิน ๒๓๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ฅ) สไตรีน (Styrene) ต้องไม่เกิน ๑,๗๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (ฉ) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน ๕๗
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๑) โทลูอีน (Toluene) ต้องไม่เกิน ๕๒๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ต่อกิโลกรัม
- (๑๒) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๒๘ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๓) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน ๖๓๐
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๔) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน ๘.๔
- มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๕) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes) ต้องไม่เกิน ๒๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ๓.๒ โลหะหนัก (Heavy Metals)
- (๑) สารหนู (Arsenic) ต้องไม่เกิน ๓.๙ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๒) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds) ต้องไม่เกิน ๓๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ๓๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๓) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน ๓๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๔) ตะกั่ว (Lead) ต้องไม่เกิน ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๕) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds) ต้องไม่เกิน ๑,๘๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๖) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds)

ต้องไม่เกิน ๒๓ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๗) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts) ต้อง

ไม่เกิน ๑.๖๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๘) ซีลีเนียม (Selenium) ต้องไม่เกิน ๓๙๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๓.๓ สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)

(๑) อะทราซีน (Atrazine) ต้องไม่เกิน ๒๒ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๒) คลอเดน (Chlordane) ต้องไม่เกิน ๑๖ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๓) 2,4-ดี (2,4-D) ต้องไม่เกิน ๖๙๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๔) ดีดีที (DDT) ต้องไม่เกิน ๑๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๕) ดีลด์ริน (Dieldrin) ต้องไม่เกิน ๐.๓ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๖) เฮปตาคลออร์ (Heptachlor) ต้องไม่เกิน ๑.๑ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๗) เฮปตาคลออร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide) ต้องไม่เกิน ๐.๕

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๘) ลินเดน (Lindane) ต้องไม่เกิน ๔.๔ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๙) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ต้องไม่เกิน ๓๐

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๓.๔ สารพิษอื่น ๆ

(๑) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene) ต้องไม่เกิน ๐.๖ มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม

(๒) ไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide and compounds)

ต้องไม่เกิน ๑๑ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๓) พีซีบี (PCBs) ต้องไม่เกิน ๒.๒ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๔) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน ๑.๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ข้อ ๔ มาตรฐานคุณภาพดินตามข้อ ๒ (๒) ต้องเป็นไปดังนี้

๔.๑ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

(๑) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน ๑.๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๒) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน

๕.๓ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๓) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane) ต้องไม่เกิน ๗.๖

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๔) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๑.๒

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- (๕) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอเททิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๑๕๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๖) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอเททิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๒๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๗) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน ๒๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๘) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ต้องไม่เกิน ๒๓๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๙) สไตรีน (Styrene) ต้องไม่เกิน ๑,๗๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๐) เตตระคลอโรเอเททิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน ๑๗๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๑) โทลูอีน (Toluene) ต้องไม่เกิน ๕๒๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๒) ไตรคลอโรเอเททิลีน (Trichloroethylene) ต้องไม่เกิน ๖๑ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๓) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน ๑,๔๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๔) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane) ต้องไม่เกิน ๑๙ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๑๕) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes) ต้องไม่เกิน ๒๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ๔.๒ โลหะหนัก (Heavy Metals)
- (๑) สารหนู (Arsenic) ต้องไม่เกิน ๒๗ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๒) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds) ต้องไม่เกิน ๘๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๓) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน ๖๔๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๔) ตะกั่ว (Lead) ต้องไม่เกิน ๗๕๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๕) แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส (Manganese and compounds) ต้องไม่เกิน ๓๒,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- (๖) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) ต้องไม่เกิน ๖๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๗) นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ (Nickel, soluble salts) ต้องไม่เกิน ๔๑.๐๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๘) ซีลีเนียม (Selenium) ต้องไม่เกิน ๑๐.๐๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๔.๓ สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)

(๑) อะทราซีน (Atrazine) ต้องไม่เกิน ๑๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๒) คลอเดน (Chlordane) ต้องไม่เกิน ๑๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๓) 2,4-ดี (2,4-D) ต้องไม่เกิน ๑๒.๐๐๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๔) ดีดีที (DDT) ต้องไม่เกิน ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๕) ดีลด์ริน (Dieldrin) ต้องไม่เกิน ๑.๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๖) เฮปตาคลออร์ (Heptachlor) ต้องไม่เกิน ๕.๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๗) เฮปตาคลออร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide) ต้องไม่เกิน ๒.๗

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๘) ลินเดน (Lindane) ต้องไม่เกิน ๒๙ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๙) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ต้องไม่เกิน ๑๑๐

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

๔.๔ สารพิษอื่น ๆ

(๑) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene) ต้องไม่เกิน ๒.๙ มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม

(๒) ไซยาไนด์และสารประกอบไซยาไนด์ (Cyanide and compounds)

ต้องไม่เกิน ๓๕ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๓) พีซีบี (PCBs) ต้องไม่เกิน ๑๐ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(๔) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride) ต้องไม่เกิน ๘.๓ มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม

ข้อ ๕ การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓ และข้อ ๔ ให้ใช้วิธี Test Methods of Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-846) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency) ดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๑ (๑) - (๑๕) และข้อ ๔.๑ (๑) - (๑๕)

ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๒) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๑) และข้อ ๔.๒ (๑) ให้ใช้วิธี

Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled

Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic

Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride

Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๓) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๒) และข้อ ๔.๒ (๒) ให้ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๔) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๓) และข้อ ๔.๒ (๓) ให้ใช้วิธี Coprecipitation หรือวิธี Colorimetric หรือวิธี Chelation/Extraction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๕) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๔) – (๕) และข้อ ๔.๒ (๔) – (๕) ให้ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๖) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๖) และข้อ ๔.๒ (๖) ให้ใช้วิธี Cold-Vapor Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๗) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๗) และข้อ ๔.๒ (๗) ให้ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Direct Aspiration หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๘) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๒ (๘) และข้อ ๔.๒ (๘) ให้ใช้วิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry หรือวิธี Atomic Absorption, Furnace Technique หรือวิธี Atomic Absorption, Gaseous Hydride หรือวิธี Atomic Absorption, Borohydride Reduction หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๙) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๓ (๑) และข้อ ๔.๓ (๑) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๐) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๓ (๒) และข้อ ๔.๓ (๒) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๑) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๓ (๓) และข้อ ๔.๓ (๓) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี High Performance Liquid Chromatography/Thermal Extraction/Gas Chromatography/Mass Spectrometry (TE/GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๒) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๓ (๔) - (๘) และข้อ ๔.๓ (๔) - (๘) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๓) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๓ (๙) และข้อ ๔.๓ (๙) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธี Gas Chromatography/Fourier Transform Infrared (GC/FT-IR) Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๔) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๔ (๑) และข้อ ๔.๔ (๑) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธี Thermal Extraction/Gas Chromatography/Mass Spectrometry (TE/GC/MS) หรือวิธี Gas Chromatography/Fourier Transform Infrared (GC/FT-IR) Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๕) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๔ (๒) และข้อ ๔.๔ (๒) ให้ใช้วิธี Total and Amenable Cyanide: Distillation หรือวิธี Total Amenable Cyanide (Automated Colorimetric, with off-line Distillation) หรือวิธี Cyanide Extraction Procedure for Solids and Oils หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๖) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๔ (๓) และข้อ ๔.๔ (๓) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(๑๗) การตรวจสอบคุณภาพดินตามข้อ ๓.๔ (๔) และข้อ ๔.๔ (๔) ให้ใช้วิธี Gas Chromatography หรือวิธี Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ข้อ ๖ วิธีเก็บและรักษาตัวอย่างดินให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในภาคผนวกท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๙ กันยายน พ.ศ. ๒๕๔๗

(นายจาตุรนต์ ฉายแสง)

รองนายกรัฐมนตรี

ปฏิบัติหน้าที่ประธานกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม ๑๒๑ ตอนพิเศษ ๑๑๙ ง วันที่ ๒๐ ตุลาคม ๒๕๔๗

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานอาหารปนเปื้อน

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529)

เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ.2527) เรื่อง กำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ลงวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2527

ข้อ 2 ให้อาหารที่มีสารปนเปื้อนที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เป็นอาหารที่กำหนดมาตรฐาน

ข้อ 3 สารปนเปื้อน หมายความว่า สารที่ปนเปื้อนกับอาหารซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต กรรมวิธีการผลิต โรงงานหรือสถานที่ผลิต การดูแลรักษา การบรรจุ การขนส่งหรือการเก็บรักษา หรือ เกิดเนื่องจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม

ข้อ 4 อาหารที่มีสารปนเปื้อนต้องมีมาตรฐาน โดยตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกิน ข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

(1) โลหะ

(ก) ดีบุก 250 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ข) สังกะสี 100 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ค) ทองแดง 20 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ง) ตะกั่ว 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เว้นแต่อาหารที่มี

สารตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูง ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(จ) สารหนู 2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ฉ) ปรอท 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหาร

ทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

(2) อฟลาทอกซิน 20 ไมโครกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(3) สารปนเปื้อนอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการ

อาหารและยา

ข้อ 5 ประกาศฉบับนี้ มิให้ใช้บังคับแก่อาหารที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย ที่ได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ หรืออาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน และในประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณของสารปนเปื้อนไว้โดยเฉพาะหรือกำหนดไว้เป็นอย่างอื่นแล้ว

ประกาศฉบับนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ.2529

มารุต บุญนาค

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2529)

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ นางสาวศรินทิพย์ อักษรกลิ่น
วันเกิด 21 มิถุนายน 2521 , กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 8/425 หมู่ 1 ต. บางบัวทอง อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110
การศึกษา 2545 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

ประสบการณ์ทำงาน

2542-2545 บริษัท ปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด
2545-2550 บริษัท ยูนิเวอร์แซล ยูทิลิตี้ส์ จำกัด