เปรียบเทียบการหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยเทคนิคการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี

Comparative Determination of Iron in Vegetable Samples by Redox Titration and Spectrophotometry

อนงค์ ศรีโสภา

วท.ม. (เคมี)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

พ.ศ. 2545

โครงการวิจัยเรื่อง เปรียบเทียบการหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยเทคนิคการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี

ผู้ทำการวิจัย นางสาว อนงค์ ศรีโสภา

บทคัดย่อ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในผัก จังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ ผักปลังขาว ผักชีฝรั่ง ผักแขยง ย่านาง ชะพลู ยอ กระเพรา มะเขือพวง ผักหนาม และ ผักกูด ด้วยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และวิธียูวี–วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี โดยนำผักที่อบแห้งแล้วมาเผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แล้วนำไปย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรองสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปรับปริมาตรให้ถึงขีดด้วยน้ำกลั่น จากการทดลองพบว่า ผักที่นำมาวิเคราะห์มีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 2.82 – 54.32 และ 2.00 – 50.81 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ โดยผักกูดมีปริมาณเหล็กมากที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

Research Title : Comparative Determination of Iron in Vegetable Samples by Redox Titration and Spectrophotometry

Author name : Miss Anong Srisopa

Abstract

Iron in vegetable samples such as *Basella* alba, *Eryngium* foetidum, Limnophila *aromatica, Tiliacora* triandra, Piper sarmentosum, *Morinda citrifolia,* Ocimum sanctum, *Solanum torvum, Lasia spimosa,* and Diplazium esculentum from Phitsanulok were determined by redox titration and UV – VIS spectrophotometry. Dried samples were ashed at 500 °C, digested with concentrated hydrochloric acid, filtered and diluted to 250 cm^3 with distilled water. From the results, Iron in vegetable samples which determined by redox titration and UV–VIS spectrophotometry were in the ranges of 2.82 – 54.32 and 2.00 – 50.81 mg/100g sample, respectively. *Diplazium* esculentum had the most of Iron quantity. The results of two methods were not significant difference.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันราชภัฏพิบูลสงครามให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ขอบคุณโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิชาเคมี เจ้าหน้าที่เทคนิค ตลอดจนนักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมี ช่วยเตรียมสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เป็นผลทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนงค์ ศรีโสภา

มีนาคม 2545

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 ธาตุเหล็ก	3
2.1.2 หน้าที่ของเหล็ก	3
2.1.3 เมตาบอลิซึมของเหล็ก	4
2.1.4 การสูญเสียเหล็กของร่างกาย	5
2.1.5 ปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับ	5
2.1.6 แหล่งของเหล็กในอาหาร	6
2.1.7 ผลของการขาดเหล็ก	6
2.1.8 ผลของการได้รับเหล็กมากเกินไป	7
2.2 พฤกษศาสตร์ของผักที่นำมาวิเคราะห์	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์	18
2.4.1 การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์	18

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 หลักการทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการไทเทรต	19
2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	21
2.4.4 หลักการของอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	22
2.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	30
3.1 ตัวอย่างผักที่นำมาใช้ในการวิจัย	30
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	30
3.3 อุปกรณ์ เครื่องแก้ว	31
3.4 สารเคมี	32
3.5 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง	33
3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง	34
3.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	34
3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง ด้วยยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	35
3.7 การหาความแม่นยำ (accuracy) ของการวิเคราะห์	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	39
4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	39
4.1.2 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ (% recovery)	41
4.2 การทดลองโดยใช้วิธียูวี – วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี	42
4.2.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม (λ_{max}) โดยวิธีการสแกนสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 0.5 ppm	42

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 การทำกราฟมาตรฐาน(standard curve)ของสารละลายเหล็ก(II)	42
4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี	44
4.2.4 การวิเคราะห์หาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ในรูปของร้อยละการคืนกลับ	45
4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทั้งสองวิธี	46
4.4 การทดสอบความแตกต่างในเชิงสถิติของผลการวิเคราะห์สองวิธีโดยการทดสอบ Student t-test	46
4.5 การวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน	47
4.5.1 การทำกราฟมาตรฐาน(standard curve)ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก	47
4.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน	48
บทที่ 5 อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ	50
5.1 อภิปรายผลการทดลอง	50
5.1.1 การเตรียมตัวอย่าง	50
5.1.2 การหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	50
5.1.3 การหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	51
5.1.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และ ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	52
5.1.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และ ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี กับ วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี	52
5.2 สรุปผลการทดลอง	53
5.3 ข้อเสนอแนะ	53

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก ก	56
ภาคผนวก ข	59
ประวัติผู้วิจัย	63

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติทั่วไปของธาตุเหล็ก	3
2.2 แสดงปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวัน	6
2.3 พฤกษศาสตร์ของผักปลังขาว	7
2.4 พฤกษศาสตร์ของผักชีฝรั่ง	8
2.5 พฤกษศาสตร์ของผักแขยง	9
2.6 พฤกษศาสตร์ของย่านาง	10
2.7 พฤกษศาสตร์ของชะพลู	11
2.8 พฤกษศาสตร์ของยอ	12
2.9 พฤกษศาสตร์ของกระเพรา	13
2.10 พฤกษศาสตร์ของมะเขือพวง	14
2.11 พฤกษศาสตร์ของผักหนาม	15
2.12 พฤกษศาสตร์ของผักกูด	16
3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.2 แสดงรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	32
4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก	39
4.2 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ	41
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 511.0 nm ของสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้นต่าง ๆ	43
4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก	44
4.5 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ	45
4.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ วิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี	46
4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้นต่าง ๆ	47
4.8 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน	48
5.1 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักที่นำมาวิเคราะห์	53

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง	23
2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น	24
2.3 electronic energy level และ transitions	24
2.4 กราฟมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการหาปริมาณสาร	25
2.5 สเปกตรัมของสารตัวอย่าง	25
2.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	26
4.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐานเหล็ก 0.5 ppm	42
4.2 แสดงกราฟมาตรฐานเหล็ก(II) ที่ความยาวคลื่น 511.0 nm	43
4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก(II)	47

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

สัญลักษณ์และคำย่อ

g	=	กรัม
mg	=	มิลลิกรัม
cm^3	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
dm^3	=	ลูกบาศก์เดซิเมตร
ppm	=	มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
nm	=	นาโนเมตร
pH	=	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
M	=	โมล ต่อ ลิตร
λ_{max}	=	ค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่สารสามารถดูดกลืนได้
% RSD	=	เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
S^2	=	ค่าความแปรปรวน
mg%	=	มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม
Fe	=	เหล็ก
V	=	องศาอิสระ
Σ	=	ผลรวม
^oC	=	องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เหล็กเป็นสารอาหารประเภทแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นตัวนำออกซิเจนที่สำคัญของร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไซโตโครม (cytochrome) และเอนไซม์ (enzyme) หลายชนิดในร่างกายด้วย ร่างกายปกติจะมีเหล็กประมาณ 3-5 กรัม โดยประมาณ 70% อยู่ในเม็ดเลือดแดงในรูปของฮีโมโกลบิน ประมาณ 5% อยู่ในกล้ามเนื้อในรูปของไมโอโกลบิน ประมาณ 20% เก็บอยู่ในตับ ม้าม และไขกระดูก ในรูปของเฟอร์ริทิน (ferritin) และเฮโมซิเดอริน (hemosiderin) และในส่วนที่เหลือซึ่งมีเพียงเล็กน้อยจะอยู่ในพลาสมา ในเซลล์ และเนื้อเยื่อของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ถ้าร่างกายขาดธาตุเหล็กจะไม่สามารถสร้างฮีโมโกลบินได้ จึงทำให้ร่างกายขาดตัวนำออกซิเจนที่สำคัญ ถึงแม้ร่างกายจะได้รับธาตุเหล็กจากการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง (ซึ่งมีอายุประมาณ 120 วัน) ประมาณวันละ 20 มิลลิกรัม เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดงขึ้นมาใหม่ โดยไม่มีการขับเหล็กที่อยู่ในฮีโมโกลบินออกจากร่างกายเลยก็ตาม แต่ร่างกายก็สูญเสียเหล็กประมาณวันละ 0.5-1.0 มิลลิกรัม ซึ่งส่วนใหญ่ถูกขับออกมาทางลำไส้และยังมีการสูญเสียได้อีกหลายทาง เช่น ปนออกมากับเหงื่อไคล บาดแผล และการมีประจำเดือนของหญิงวัยเจริญพันธุ์ เป็นต้น จึงทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างจำนวนเหล็กที่ดูดซึมกับจำนวนเหล็กที่สูญเสียไป ทำให้เกิดการขาดเหล็กที่จะนำไปใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดงที่ไขกระดูก ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหารเพื่อนำไปทดแทนเหล็กส่วนที่สูญเสียไป

ผักใบเขียวเป็นอาหารที่มีธาตุเหล็กอยู่มากเช่นเดียวกับอาหารประเภทเนื้อและไข่ แต่มีราคาถูกกว่า และยังเป็นอาหารหลักของคนทั่ว ๆ ไปอีกด้วย การวิจัยครั้งนี้มีความสนใจที่จะวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในผักพื้นบ้านที่ใช้เป็นอาหารทั่วไป ภายในเขตจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้วิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ เปรียบเทียบกับวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี เนื่องจากวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง สามารถทำการวิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในผักที่ใช้เป็นอาหาร โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สองเทคนิคเปรียบเทียบกันคือการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และการใช้เทคนิคสเปกโตรโฟโทเมตรี
2) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กในผักชนิดต่าง ๆ และใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผักมาบริโภค

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1) วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก 10 ชนิด โดยใช้วิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และเทคนิคสเปกโตรโฟโทเมตรี
2) สุ่มเก็บตัวอย่างผักจากแหล่งจำหน่ายในเขตจังหวัดพิษณุโลก

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) ทำให้ทราบถึงปริมาณเหล็กในผักชนิดต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์
2) ทำให้ทราบวิธีการไทเทรตแบบริดอกซ์และวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโทเมตรี ให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกันหรือไม่
3) ทำให้ได้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อผักมาบริโภค

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ธาตุเหล็ก[1,10,12]

เหล็กเป็นแร่ธาตุประเภท trace minerals ซึ่งหมายถึงแร่ธาตุที่มีอยู่ในร่างกายในปริมาณเพียงเล็กน้อยและร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัม แต่มีความจำเป็นต่อการทำงานของร่างกาย ปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในร่างกายแต่ละคนนั้นแตกต่างกัน 3-5 กรัม ขึ้นอยู่กับอายุ เพศ ขนาดของร่างกาย ภาวะโภชนาการ และสุขภาพ เหล็กพบมากในเม็ดเลือดแดงในรูปของฮีโมโกลบิน ที่เหลือพบในตับ ม้าม ไขกระดูก ในกล้ามเนื้อ และในเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนเช่นไซโตโครม (Cytochome), เพอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และคะตาเลส(Catalase)

ตาราง 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของธาตุเหล็ก

รายการ	คุณสมบัติ
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	$[Ar]3d^2\ 4s^2$
ความหนาแน่น	7.86 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	3000 ^oC
เลขอะตอม	26
มวลอะตอม	55.85
เลขออกซิเดชัน	+2,+3,+4 และ +6

2.1.2 หน้าที่ของเหล็ก[3]

1) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ฮีโมโกลบินทำหน้าที่เป็นตัวพาออกซิเจนในเลือดจากปอดไปยังเซลล์อวัยวะต่าง ๆ ซึ่งต้องการออกซิเจนเพื่อที่จะได้ทำหน้าที่ได้ตามปกติ และเก็บเอาของเสีย คือ คาร์บอนไดออกไซด์มาคืนให้ปอดและกำจัดมันออกไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2) เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไมโอโกลบิน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงในกล้ามเนื้อ ไมโอโกลบินมีหน้าที่เป็นตัวส่งออกซิเจนให้แก่กล้ามเนื้อเซลล์สำหรับใช้ในปฏิกิริยาเคมีซึ่งมีผลในการหดของกล้ามเนื้อและในขณะเกียวกันก็รับเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

3) เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไซโตรโครมและ เอนไซม์หลายชนิดในร่างกาย เช่น คะตะเลส และเพอร์ออกซิเดส เป็นต้น

2.1.3 เมตาบอลิซึมของเหล็ก[3,10]

เมื่อร่างกายได้รับอาหารที่มีธาตุเหล็กซึ่งอยู่ในรูปของเกลือเฟอริค เช่น เฟอริค-ไฮดรอกไซด์หรือสารประกอบอินทรีย์ของเฟอริคเข้าสู่ร่างกายแล้ว เกลือเฟอริคจะไปสัมผัสกับกรดเกลือที่มีอยู่ในกระเพาะอาหารซึ่งจะช่วยทำให้มันสลายตัวแล้วออกจากอาหาร หลังจากนั้นเกลือเฟอริคจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นเกลือเฟอรัสซึ่งละลายน้ำได้ดีทำให้เกลือถูกดูดซึมเข้าร่างกายได้ง่าย การดูดซึมเหล็กจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนต้นของลำไส้เล็ก ตามปกติการดูดซึมเหล็กจะมีปริมาณร้อยละ 6-10 ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในร่างกาย หากปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในร่างกายมีมากการดูดซึมเหล็กก็จะลดลงและในทางตรงกันข้ามถ้าหากปริมาณเหล็กที่สะสมอยู่ในร่างกายมีน้อยการดูดซึมก็จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณเหล็กในอาหารตลอดจนวิธีการปรุงก็มีผลต่อปริมาณเหล็กที่ร่างกายได้รับเข้าไปด้วย ซึ่งเหล็กจากอาหารร้อยละ 2-4 จะถูกใช้ในร่างกายส่วนที่มากเกินพอร่างกายจะสะสมเก็บไว้ที่ตับ ม้าม ไขกระดูก และในเลือด ซึ่งผู้ชายมีเหล็กสะสมอยู่ในร่างกายมากกว่าผู้หญิงจึงทำให้ร่างกายดูดซึมได้น้อยกว่า ปริมาณเหล็กที่ถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) ความต้องการเหล็กของร่างกาย ในภาวะที่ร่างกายต้องการเหล็กเพิ่ม เช่น เด็กที่กำลังเจริญเติบโต หญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตร หรือในระยะที่เกิดสภาวะการขาดเหล็ก เป็นต้น ซึ่งสภาวะเหล่านี้จะทำให้อัตราการดูดซึมเหล็กสูงกว่าคนปกติ โดยที่ร่างกายจะดึงเอาธาตุเหล็กจากทรานส์เฟอริน (transferrin) ออกมาใช้ ทำให้ความอิ่มตัวของธาตุเหล็กในทรานส์เฟอรินลดลง ร่างกายจึงต้องการดูดซึมเอาธาตุเหล็กจากอาหารมากขึ้นเพื่อนำเอาไปทดแทนธาตุเหล็กเหล่านั้น

2) สภาวะที่เป็นอยู่ของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ในสภาวะที่เป็นกรดของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กตอนบน เหล็กในรูปของเกลือเฟอริคจะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือเฟอรัส ซึ่งเป็นรูปที่ละลายได้ง่ายและสามารถดูดซึมได้ทันที การผ่าตัดเอาส่วนใดส่วนหนึ่งของกระเพาะอาหารออก ซึ่งเป็นส่วนที่ผลิตกรดจะมีผลทำให้การดูดซึมเหล็กลดลงและปฏิกิริยาที่เป็นด่างของน้ำย่อยจากตับอ่อนก็จะไปลดการละลายของเหล็กลงด้วย จึงทำให้การดูดซึมเหล็กบริเวณตอนกลางและตอนปลายของลำไส้เล็กมีเพียงเล็กน้อย

3) ส่วนผสมของอาหารที่บริโภค ถ้าอาหารที่บริโภคเข้าไปมีวิตามินซีและโปรตีนผสมอยู่ด้วย จะทำให้การดูดซึมของเหล็กในลำไส้เล็กเพิ่มขึ้น เพราะวิตามินซีเป็นตัวรีดิวซิ่งเอเจนต์ซึ่งจะช่วยในการเปลี่ยนเหล็กให้อยู่ในรูปของเกลือเฟอรัส ส่วนโปรตีนสามารถเพิ่มการดูดซึมของเหล็กได้อาจเนื่องจากโปรตีนมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ -SH ซึ่งเป็นตัวรีดิวซิ่งเอเจนต์เช่นเดียวกัน หรือถ้าในอาหารมีสารพวกฟอสเฟตหรือกรดไฟติกผสมอยู่ก็จะทำให้เหล็กถูกดูดซึมได้น้อยลงเพราะสารเหล่านี้จะไปจับเหล็กเกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ

4) แกสโตรเฟอริน(gastroferrin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่จับกับเหล็กในน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร เมื่อมันจับกับเหล็กแล้วจะทำให้เหล็กไม่ถูกดูดซึม แต่สารเหล่านี้จะลดลงในคนที่เป็นโรคโลหิตจางเนื่องจากขาดธาตุเหล็ก

2.1.4 การสูญเสียเหล็กของร่างกาย[3]

ร่างกายมีการสูญเสียเหล็กประมาณวันละ 0.5-1.0 มิลลิกรัม ซึ่งส่วนใหญ่ถูกขับออกมาจากลำไส้เล็ก ส่วนที่เหลือมีการสูญเสียได้อีกหลายทาง ดังนี้

1) สูญเสียเมื่อมีบาดแผล โดยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของบาดแผลนั้น
2) สูญเสียโดยถูกขับออกมากับเหงื่อ น้ำดี และขี้ไคล ประมาณวันละ 1 มิลลิกรัม และอาจถูกขับออกมากับปัสสาวะบ้างเล็กน้อย ประมาณวันละ 52-138 ไมโครกรัม
3) สูญเสียเนื่องจากเป็นโรคบางชนิด เช่น โรคริดสีดวงทวาร โรคพยาธิปากขอและพยาธิแส้ม้า เป็นต้น
4) หญิงวัยเจริญพันธุ์มีการสูญเสียเลือดขณะการมีประจำเดือน สูญเสียเลือดขณะคลอดบุตรหรือเกิดการแท้งบุตร ทำให้ร่างกายสูญเสียเหล็กมาก

2.1.5 ปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับ[3]

เด็กทารกและวัยเจริญเติบโต ควรได้รับเหล็กมากกว่าผู้ใหญ่เพื่อเพิ่มปริมาณเลือดระหว่างการเจริญเติบโตและหญิงควรได้รับมากกว่าผู้ชาย โดยเฉพาะผู้หญิงวัยเจริญพันธุ์ ซึ่งปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวันมีดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

ตาราง 2.2 แสดงปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวัน

เพศ – วัย	ปริมาณเหล็กที่ควรได้รับต่อวัน
เด็กแรกเกิด – 1 ปี	6 มิลลิกรัม
เด็กผู้ชาย – หญิง	
อายุ 1 – 3 ปี	7 มิลลิกรัม
อายุ 3 – 7 ปี	8 มิลลิกรัม
อายุ 7 – 9 ปี	10 มิลลิกรัม
อายุ 9 – 12 ปี	13 มิลลิกรัม
อายุ 12 – 15 ปี	14 มิลลิกรัม
อายุ 15 – 18 ปี	15 มิลลิกรัม
ผู้ชาย	10 มิลลิกรัม
ผู้หญิง	
อายุ 18 – 55 ปี	12 มิลลิกรัม
อายุ 55 ปีขึ้นไป	10 มิลลิกรัม
หญิงมีครรภ์และหญิงให้นมบุตร	15 มิลลิกรัม

2.1.6 แหล่งของเหล็กในอาหาร[3]

เหล็กพบในอาหารหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน อาหารที่มีเหล็กมากได้แก่ ตับ น้ำมัน เลือด เนื้อสัตว์ ไข่แดง ถั่วเมล็ดแห้ง มันฝรั่ง มะเขือเทศ ผลไม้สีเหลือง และผักใบเขียว เป็นต้น

2.1.7 ผลของการขาดเหล็ก[3,10]

เมื่อร่างกายขาดเหล็กจะทำให้เกิดสภาวะโลหิตจาง คนที่เป็นสภาวะโลหิตจางเนื่องจากการขาดเหล็กจะมีจำนวนเม็ดเลือดแดงอยู่ในเลือดลดลง ทำให้ออกซิเจนถูกพาไปยังเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้น้อย ทำให้ร่างกายออกซิไดซ์สารอาหารให้เป็นพลังงานได้น้อยลง ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เหน็ดเหนื่อยง่าย ปวดและมึนศีรษะ เบื่ออาหาร จุกเสียด ใจสั่น หายใจอึดอัด เยื่อบุนัยน์ตาซีดขาว เล็บซีด ลิ้นซีด บวมตามข้อ เท้าและมือชา บางรายมีอาการแสบลิ้น มุมปากเปื่อย (คล้ายขาดวิตามินบีสอง) หรือกลืนอาหารลำบาก หญิงอาจมีอาการผิดปกติของประจำเดือน คือ มาไม่ตรงตามกำหนด มีมาจำนวนน้อย หรืออาจขาดไปเลย นอกจากนี้ยังพบว่าในเด็กที่ขาดเหล็กจะมีภูมิคุ้มกันโรค ความว่องไว ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ต่ำกว่าเด็กปกติทั่วไปด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ Rajabhat University

2.1.8 ผลของการได้รับเหล็กมากเกินไป[10]

ถ้าร่างกายมีการสะสมเหล็กมาก ๆ เนื่องจากความผิดปกติบางอย่าง เช่น ในพวกที่มีการทำลายเม็ดเลือดแดงที่ผิดปกติหรือผู้ที่ได้รับการให้เลือดหลาย ๆ ครั้ง เป็นระยะเวลานาน ซึ่งไม่มีความจำเป็นเหล็กจะสะสมอยู่ไว้ในรูปเฮโมซิเดอริน (Hernosiderin) เป็นผลึกที่ละลายได้ยาก ซึ่งในสภาวะที่ร่างกายเก็บเหล็กไว้ในรูปเฮโมซิเดอรินในปริมาณมาก เรียกว่า เฮโมซิเดอโรซีส(Hemosiderosis) อาการคือ มีการเกาะของเหล็กในแต่ละแห่งมาก โดยเฉพาะในตับและม้าม อาการตามมาคือ ตับแข็ง (Cirrosis) ทรานส์เฟอรินในระบบหมุนเวียนจะอิ่มตัวมากขึ้นและจะไม่สามารถรวมกับเหล็กที่ถูกดูดซึมได้

2.2 พฤกษศาสตร์ของผักที่นำมาวิเคราะห์ [9]

พฤกษศาสตร์ของผักต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์แสดงดังตาราง 2.3 –2.12

ตาราง 2.3 พฤกษศาสตร์ของผักปลังขาว

ชื่ออื่น	ผักปั๋ง(ภาคเหนือ), เหลาะขุ้ย(แต้จิ๋ว), ลั้วขุย(จีนกลาง)
ชื่อสามัญ	East Indian Spinach, Malabal Nightshade, Indian Spinach, Ceylon Spinach
ชื่อวิทยาศาสตร์	Basella alba Linn., Basella rubra Linn.
ชื่อวงศ์	BASELLACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	ต้น-เป็นไม้เลื้อยพันไม้ต้นอื่น ลำต้นอวบน้ำ สีเขียวอ่อน ผิวเรียบเป็นมัน ใบ-เป็นใบเดี่ยวเรียงสลับรูปหัวใจขอบใบเรียบ แผ่นใบเป็นมันวาวสีเขียวอ่อน ความกว้างและความยาวประมาณ 5-8 ซ.ม. อวบน้ำ ดอก-เป็นดอกช่อออกตามซอกใบมีดอกติดที่ก้าน ออกสีขาวหรือสีชมพูอ่อน ผล-ทรงกลมเขียวขนาด 0.3-0.5 ซ.ม. เมื่อสุกจะมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ ภายในผลมีเมล็ดทรงกลมมีสีน้ำตาล เปลือกแข็ง
การขยายพันธุ์	โดยการใช้เมล็ดหรือปักชำเถา
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ตลอดทั้งปี
สภาพแวดล้อมในการปลูก	ชอบที่ชื้น ระบายน้ำดี แสงแดดรำไร
การใช้ประโยชน์	**ทางอาหาร-ยอดและดอกอ่อน** นำไปต้มลวกหรือนึ่งให้สุก รับประทานเป็นผักจิ้มน้ำพริก แกงส้ม แกงแค ผัดกับแหนมหรือแกงใส่อ่อมหอย **ทางยา-ก้าน** แก้พิษฝี แก้ขัดเบา แก้พรรดึกแก้ท้องผูก ลดไข้ลดอาการแน่นท้อง **ใบ** ขับปัสสาวะ แก้อาการอักแสบ แก้กลาก บรรเทาอาการผื่นคัน น้ำคั้นจากใบเป็นเมือกใช้ทาช่อคลอดช่วยให้หญิงมีครรภ์คลอดง่ายขึ้น **men** ทาแก้กลากเกลื้อน **ราก** แก้มือเท้าด่าง แก้รังแค แก้พรรดึกใช้เป็นยาถูนวดให้ร้อน
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ตลอดปี

ตาราง 2.4 พฤกศาสตร์ของผักชีฝรั่ง

ชื่ออื่น	ผักชีดอย หอมป้อมกุลา(ภาคเหนือ), แมะและเด๊าะ(กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ผักจี(เชียงใหม่)
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Eryngium foetidurn Linn.
ชื่อวงศ์	UMBELLIFERAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้ล้มลุก สูง 15-51 ซ.ม. **ใบ-**มีลักษณะเป็นรูปไข่ **ขอบขนาน** ยาวรี ปลายแหลม ฐานใบเรียวแหลม ริมขอบใบหยักคล้ายฟันเลื่อยใบยาว 7-15 ซ.ม. กว้าง 1-2 ซ.ม. มีสีเขียว **ดอก-**ดอกมีสีเขียว แต่ละดอกมี 5 - 8 กลีบ ดอกยาว 1.5 - 2.5 ซ.ม. กว้าง 3 - 5 มิลลิเมตร ก้านดอกยาว **ผล-**มีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร
การขยายพันธุ์	ใช้ต้นอ่อนจากต้นแม่ที่งอกออกมาไปขยายพันธุ์
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ทุกฤดู
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	มักปลูกเป็นพืชผักสวนครัวทั่วไป
การใช้ประโยชน์	ทางอาหาร ใบอ่อนและใบ ของผักชีฝรั่งมีรสจืด รับประทานเป็นผักสดกับน้ำพริก ลาบ ยำ ก้อยหรือซอย ใส่ยำหมู ยำไก่ ยำผัก ใส่ต้มยำเนื้อ ต้มยำเครื่องในวัว ทางยา -
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ตลอดทั้งปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

ตาราง 2.5 พฤกศาสตร์ของผักแขยง

ชื่ออื่น	ผักกะแยง(อุดรธานี), ผักพา(ภาคเหนือ), มะออม(เขมร) แขยง(อุดรธานี, มุกดาหาร), ผักกะออม, ผักลืมผัว
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Limnoghila aromatica (Lamk.) Merr.
ชื่อวงศ์	SCROPHULARIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้ล้มลุก อายุปีเดียว ขนาดเล็กประมาณ 30-40 ซ.ม. ลำต้นสีเขียว กลวงเห็นชัดเจน ลำต้นทั้งต้นจะมีกลิ่นหอมหรือกลิ่นฉุนรุนแรง **ใบ-**เป็นใบเดี่ยวขนาดเล็ก ออกเป็นคู่ตรงข้ามกัน อาจมี 3 ใบ ออกอยู่รอบ ๆ ข้อ รูปใบรีหรือรูปขอบขนานหรือรูปหอก ใบยาว 1.5-5.0 ซ.ม. กว้าง 1-2 ซ.ม. ไม่มีก้านใบ ฐานใบจะหุ้มลำต้นเอาไว้ ขอบใบหยักเป็นรูปฟันเลื่อย ด้านบนของใบมีต่อมเล็ก ๆ มากมาย **ดอก-**เป็นดอกเดี่ยว ออกตรงซอกใบหรือออกเป็นช่อ กลีบเลี้ยง 5 กลีบ สีเขียว มีขน กลีบดอกมีสีแดง สีชมพูอ่อนหรือสีม่วง
การขยายพันธุ์	ใช้ต้นอ่อนหรือเพาะเมล็ด
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ฤดูฝน
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	พบขึ้นเองตามคันนา **นาข้าว** ตามบริเวณที่ชื้นแฉะและริมคูน้ำ
การใช้ประโยชน์	**ทางอาหาร** **ต้นและใบ** รับประทานเป็นผักสดจิ้มกับแจ่ว ส้มตำ ลาบ ก้อย และซุบหน่อไม้ เป็นเครื่องปรุงรสและกลิ่นสำหรับแกงอ่อม **ทางยา** **ทั้งต้น** ช่วยลดไข้ แก้คัน ฝี แก้อาการบวมหรือเป็นยาระบายอ่อน ๆ
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ฤดูฝน
ข้อควรระวัง	หญิงมีครรภ์ห้ามรับประทาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี Udonthani Rajabhat University

ตาราง 2.6 พฤกศาสตร์ของย่านาง

ชื่ออื่น	จ้อยนาง (เชียงใหม่) เถาย่านาง เถาวัลย์เขียว (ภาคกลาง)
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Tiliacora triandra Diels
ชื่อวงศ์	MENISPERMACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-เป็นพันธุ์ไม้เถา** ลักษณะของเถานั้นกลมๆ เป็นเถาขนาดเล็ก แต่เถานั้นจะยาวพันขึ้นไปตามต้นไม้หรือตาม กิ่งไม้ เป็นเถาสีเขียวเมื่อเถานั้นแก่จะเป็นสีคล้ำๆ **ใบ-มีความยาวประมาณ** 7.5-2.0 ซ.ม. และกว้างประมาณ 4-6 ซ.ม. ส่วนก้านใบนั้นมีความยาวประมาณ 1.5 ซ.ม. ลักษณะของใบจะเป็นสีเขียว รูปไข่ ค่อนข้างหนา ริมใบจะเรียบปลายใบจะแหลม ผิวใบจะเป็นคลื่นเล็กน้อย ดอก-ออกดอกเป็นพวงเล็กๆ สีเหลืองและมีขนาดโตกว่าเมล็ดงาเล็กน้อย **ผล-ผลโตเท่าผลมะแว้ง** สีเขียวกลม แต่ถ้าแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และผลจะออกเป็นบางเหมือนดอก
การขยายพันธุ์	โดยการปักชำยอดและใช้เมล็ด
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	
การใช้ประโยชน์	**ทางอาหาร** **ใบ** ใช้คั้นเป็นน้ำใส่แกงหน่อไม้ แกงอีสานต่างๆ **ทางยา** **sin** ใช้ต้มเป็นยาแก้อีสุกอีใส ตุ่มผื่น ต้มขับพิษต่างๆ ใช้ผสมกับรากหมาน้อย ต้มแก้ไข้มาลาเรีย
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	-
ข้อควรระวัง	ต้องทำให้สุก

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตาราง 2.7 พฤกศาสตร์ของชะพลู

ชื่ออื่น	ชะพลู, ช้าพลู(ภาคกลาง), พลูลิงนก(เชียงใหม่), พลูนก ผักปูนก(ภาคเหนือ), นบวา(ภาคใต้), ผักนางเลิก, ผักอีเลิด, ผักแค, ผักปูลิง (ภาคอีสาน)
ชื่อสามัญ	Wildetal leafbush
ชื่อวิทยาศาสตร์	Piper sarmentosum Roxb.ex Hunter
ชื่อวงศ์	PIPERACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้กอมีความสูงประมาณ 12 นิ้ว ลำต้นจะเป็นสีเขียว **ใบ-**เป็นสีเขียวคล้ายใบพลู และจะโตประมาณเท่าๆ กับใบพลู ก้านใบยาว **ดอก-**ดอกคล้ายดอกพลู ดอกจะเป็นสีขาว ดอกแก่เต็มที่จะเป็นสีเขียว **ผล-**ผลเป็นกลุ่ม
การขยายพันธุ์	โดยการปักชำ
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ตลอดทั้งปี
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	ชอบขึ้นตามที่ราบต่ำ ชื้นและหรือปลูกตามบริเวณบ้านและร่องสวน
การใช้ประโยชน์	ทางอาหาร **ใบอ่อนดิบ** ใช้ห่อเป็นเมี่ยงคำ แกงกะทิกับกุ้ง ปลา หอยบางชนิด **ใบอ่อนและยอดอ่อน** รับประทานสดหรือลวกเป็นผักจิ้มกับน้ำพริก ทางยา **ต้น** รักษาอุระเสมหะ **ใบ** ใช้เป็นยากระทำให้เสมหะงวดและช่วยเจริญอาหาร **sin** ใช้รักษามูกเสมหะ หรือปรุงเป็นยาธาตุ
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ตลอดปี
ข้อควรระวัง	ไม่ควรบริโภคเป็นประจำและควรปรุงร่วมกับเนื้อสัตว์ เนื่องจากใบชะพลูมีปริมาณสารออกซาเลทค่อนข้างสูงถ้าสะสมในร่างกาย ปริมาณมากจะทำให้เกิดโรคนิ่วในไต

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 2.8 พฤกศาสตร์ของยอ

ชื่ออื่น	มะตาเสือ(ภาคเหนือ) ยอ, ยอบ้าน(ภาคกลาง) แยใหญ่(กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Morinda Citrifolia Linn.
ชื่อวงศ์	RUBIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก แตกกิ่งก้านสาขาไม่มากนัก ผิวของลำต้นเป็นสีน้ำตาลเทาๆ เกลี้ยง ลำต้นสูงประมาณ 1-6 เมตร **ใบ-**เป็นใบเดี่ยวออกดอกเป็นคู่ๆ ไปตามข้อต้น ใบเป็นรูปมนรี ปลายและโคนแหลม ขอบใบเป็นคลื่น ผิวใบเป็นมันสีเขียว ขนาดใบกว้างประมาณ 2.5-7.0 นิ้ว ยาว 6-12 นิ้ว ก้านใบยาว 0.5 นิ้ว **ดอก-**ออกดอกเป็นช่อตามง่ามใบ ช่อดอกยาว 1.0 - 1.5 นิ้ว สีขาวขนาดเล็ก โคนกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปท่อ ปลายดอกแยกเป็น 5 กลีบ ยาว 4.5-5.0 มิลลิเมตร กลีบด้านนอกเรียบแต่ด้านในมีขนหนาแน่นเฉพาะส่วนบน **ผล-**เป็นรูปกลมหรือรูปรี ผิวเป็นตุ่มๆ รอบๆ ผล ผลอ่อนมีสีเขียวพอแก่มีสีขาวอมเขียวหรือออกเหลือง ภายในมี 1 เมล็ด
การขยายพันธุ์	ใช้เมล็ด
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ฤดูหนาว
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	เติบโตได้ดีในดินที่ร่วนซุยและมีความชื้นอยู่บ้าง
การใช้ประโยชน์	**ทางอาหาร** - ใบอ่อนนำมาต้มหรือลวกรับประทานเป็นผักจิ้มน้ำพริก นำมาแกงเผ็ด แกงอ่อม ใช้เป็นผักรองก้นกระทงห่อหมก **ผลห่ามหรือผลแก่จัด** มีสีเขียวนำมาทำส้มตำแทนมะละกอ **ทางยา - ต้น** ผสมกับสมุนไพรอื่นเป็นยารักษาวัณโรค **ใบ** คั้นเอาน้ำสระผมแก้โรคเหา ทาแก้โรคเก๊าท์ ปวดตามข้อเล็กๆ ตามนิ้วมือนิ้วเท้า **ดอก** ผสมกับสมุนไพรอื่นเป็นยาแก้วัณโรค **ผล** บำรุงธาตุ เจริญอาหาร ผสมยาแก้สะอึก อม แก้เหงือกเปื่อย ฟอกเลือด ขับน้ำคาวปลา แก้เสียวแหบแห้ง แก้กระษัย แก้อาเจียน บางคนนิยมนำมาจิ้มกับน้ำผึ้งทาง **ราก** เป็นยาระบาย
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ช่วงฤดูฝน
การใช้สอยอื่น	รากใช้เป็นสีย้อมผ้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 2.9 พฤกศาสตร์ของกระเพรา

ชื่ออื่น	กระเพราแดง กระเพราขาว (ภาคกลาง) กำก้อขาว กำก้อดำ กอมก้อขาว กอมก้อดำ (เชียงใหม่-ภาคเหนือ)
ชื่อสามัญ	Sacred Basil, Holy Basil
ชื่อวิทยาศาสตร์	Ocimum sanctum Linn.
ชื่อวงศ์	LABTATAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น**-เป็นต้นพุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 1-4 ฟุต โคนของลำต้นเนื้อไม้แข็ง มีขน มีกลิ่นหอม **ใบ**-ใบสีเขียว มีขน โดยเฉพาะส่วนที่เป็นยอด ใบมีกลิ่นหอม **ดอก**-ดอกออกเป็นช่อ ตั้งขึ้นไปเป็นชั้น ๆ คล้ายรูปฉัตร กลีบดอกสีขาว
การขยายพันธุ์	ใช้เมล็ดและลำต้น
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ตลอดปี
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	ปลูกได้ทั่วไปในเขตร้อน , ดินร่วนซุย
การใช้ประโยชน์	ทางอาหาร ใบสด ช่วยดับกลิ่นคาว ใส่แกงแค ผัดเผ็ดต่าง ๆ ทางยา ใบ บำรุงธาตุไฟ ขับลม แก้ปวดท้อง แก้ลมตาซาง แก้จุกเสียด แก้คลื่นเหียนอาเจียน
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ตลอดทั้งปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

ตาราง 2.10 พฤกศาสตร์ของมะเขือพวง

ชื่ออื่น	มะเขือพวง (ภาคเกลาง), มะเขือละคร, หมากแค้ง, รับจงกลม (ภาคอีสาน) ปอลอ, ปอลือ, มะแคว้งกูลัว (แม้ว), มะแคว้งกูลา (ภาคเหนือ), มะแว้ง มะแว้งช้าง, เขือข่อย, เขือพวง, ลูกแว้ง, แว้งช้าง, เขือเทศ (ภาคใต้) ตะโกงลา โน, จะเคาะค่ะ(มลายู-สงขลา)
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Solanum torvum Sw.
ชื่อวงศ์	SOLANACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้พุ่มเล็กยาวประมาณ 2 เมตร ลำต้นมีหนามสั้นขึ้นทั่วไป แตกกิ่งก้านสาขามาก **ใบ-ใบรูปรี** ปลายใบแหลมขอบใบหยักกว้างตื้น ใบยาวประมาณ 4-8 นิ้ว บนแผ่นใบมีขนสั้นๆ ปกคลุม ดอก-สีขาวเป็นพวงออกตามง่ามใบ และปลายกิ่ง ดอกสีขาวมีกลีบดอกและกลีบเลี้ยงอย่างละ 5 กลีบ ดอกสมบูรณ์เพศ **ผล-**ผลกลมเล็ก ๆ เป็นพวง สีเขียวทั้งผลมีกลีบเลี้ยงติดอยู่ ผลแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง **เมล็ด-**ขนาดเล็กกลมแบน หนึ่งผลมีเมล็ดจำนวนมาก
การขยายพันธุ์	ใช้เมล็ดและขุดต้นที่งอกตามรากไปปลูก
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ตลอดปี
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	เติบโตได้ทั่วไป กลางแจ้งหรือที่ร่มก็ได้
การใช้ประโยชน์	ทางอาหาร **ผลอ่อน** รับประทานเป็นผักสดหรือลวกแก้มกับน้ำพริก ใส่แกงเขียวหวาน แกงแผด น้ำพริกกะปิ ทางยา **ลำต้น** กินแก้เมาทำให้รสเหล้าจืดลง กินเรื่อย ๆ แก้โรคเบาหวาน ขับปัสสาวะ แก้ปวดพกช้ำ ทำให้เลือดลมหมุนเวียนดี **ใบสด** ต้มฟอกบริเวณแผล ห้ามเลือด แก้ฝีบวมเป็นหนอง **ผลสด** ต้มกินเป็นยาแก้ไอ ขับเสมหะ เมล็ดนำเอามาเผาไฟเอาควันสูดดมแก้ปวดฟันได้ **รากสด** ตำพอกเท้าที่แตกเป็นแผล
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ตลอดปี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 2.11 พฤกศาสตร์ของผักหนาม

ชื่ออื่น	กะลี(นราธิวาส)
ชื่อสามัญ	
ชื่อวิทยาศาสตร์	Lasia spimosa Thw.
ชื่อวงศ์	ARACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-**เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี ลำต้น ทอดเลื้อยไปตามผิวดินชูยอดขึ้นเป็นหนาม **ใบ-**เป็นใบเดียวเรียงสลับ รูปลูกศรหรือขอบใบหยักเว้าลึก มีหนาม บริเวณเส้นใบด้านล่าง ก้านใบยาวได้ถึง 1 เมตร มีหนาม **ดอก-**ดอกเป็นช่อ แทงออกมาจากใบ ก้านดอกยาวได้ถึง 75 ซ.ม. มีหนาม **ลักษณะคล้าย**ดอกหน้าวัว มีจานรองดอกสีม่วงแดง บิดเป็นเกลียว เมื่อแก่มีสีม่วงคล้ำ เกสรเป็นแท่งสีขาวอยู่ตรงกลาง ผล-ติดอยู่ที่โคนดอก ออกเป็นกระจุกคล้ายบุกเตียง ผลอ่อนมีสีเขียวพอสุกมีสีเหลืองแกมแดง
การขยายพันธุ์	ใช้เมล็ดในการแยกหน่อ
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ตลอดปี
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	ที่ชื้นแฉะมีน้ำขัง
การใช้ประโยชน์	ทางอาหาร กินยอดอ่อน ดอกอ่อน ทำให้สุกหรือดอง แล้วรับประทานเป็นผักจิ้ม **ทางยา** **เหง้า** แก้ไอ ขับเสมหะ แก้คันเนื่องจากพิษหัด เหือด สุกใส ดำแดงและถอนพิษ **รากและใบ** ขับเสมหะ **ก้านและใบ** **ตำรวมหมักเกลือให้วัวควายกิน** ทำให้วัว **naio** กินอาหารได้
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ฤดูฝน
ข้อควรระวัง	ใบและก้านสดมีสารไฮโดรไซยาไนด์ ซึ่งเป็นพิษควรทำให้สุกก่อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 2.12 พฤกศาสตร์ของผักกูด

ชื่ออื่น	ผักกูด(ภาคกลาง), ผักกูดขาว(เชียงใหม่)
ชื่อสามัญ	-
ชื่อวิทยาศาสตร์	Diplazium esculentum (Retz.) Swartz
ชื่อวงศ์	ATHYRIACEAE
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	**ต้น-เป็นไม้จำพวกเฟิร์น เป็นเหง้าตั้งตรง สูงมากกว่า 1 เมตร มีเกล็ดสีน้ำตาลเข้ม ขอบดำ ขอบเกล็ดหยักซี่ฟัน** **ใบ-เป็นใบประกอบแบบขนนกสองชั้น แผ่นใบมีขนาดต่างกัน มักยาวกว่า 1เมตร ก้านใบยาว 70 ซ.ม. กลุ่มใบย่อยคู่ล่างมักลดขนาดปลายเรียวแหลม โคนรูปกึ่ง หัวใจหรือรูปติ่งหู ขอบหยักเว้าลึกเป็นแฉกเกือบถึงเส้นกลาง ใบย่อยแฉกปลายมน ขอบหยักซี่ฟันแผ่นใบบาง กลุ่มอับสปอร์อยู่ตามความยาวของเส้นใบย่อย มักเชื่อมกับปกสุมอับสปอร์ที่อยู่ในแฉกติดกันซึ่งมีเส้นใบมาสวนกัน**
การขยายพันธุ์	ใช้สปอร์และเหง้า
ฤดูกาลเก็บส่วนขยายพันธุ์	ฤดูฝน
สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต	ขึ้นหนาแน่นตามชายป่าที่มีแดดส่องถึง ตามบริเวณลำธารหรือต้นน้ำ ปลูกได้ตามชายคลอง ห้วยหนอง ต้นจะแห้งเฉาในฤดูแล้งและจะแตกหน่อใหม่ในฤดูฝน ผักกูดชอบความชื้นสูง บริเวณดินแฉะ
การใช้ประโยชน์	**ทางอาหาร** **ยอดอ่อนและใบอ่อน** นำมาต้มหรือลวกลาดกะทิรับประทานรวมกับน้ำพริก ผัดกับไข่ นำมาแกงจืด แกงเลียง แกงส้มหรือยำผักกูด **ทางยา** **ใบ** แก้ไข้ตัวร้อน แก้พิษอักเสบ บำรุงสายตา บำรุงโลหิต แก้โลหิตจาง ป้องกันเลือดออกตามไรฟัน ขับปัสสาวะ
ฤดูกาลที่ใช้ประโยชน์	ฤดูฝน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จงรักษ์ ปลูกวงษ์ชื่น[2] ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในผักที่ใช้เป็นอาหาร โดยใช้ 1,10phenanthroline เป็นตัวทำให้เกิดสี และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ผักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี ผักบุ้ง คื่นฉ่าย คะน้า หัวผักกาด ถั่วฝักยาว กวางตุ้ง มะระ และพริก จากการทดลองพบว่าผักคื่นฉ่าย มีปริมาณเหล็ก(II) เป็นองค์ประกอบมากที่สุด

พรวิมล ลี้ทอง และ ธิติ จันทร์ภิรมย์[5] ทำการหาปริมาณเหล็กในผักบวยเล้ง กุยช่าย ผักขม ผักชีใหญ่ กวางตุ้ง และตำลึง โดยทำให้เป็นไอออนเชิงซ้อนของ $[Fe(SCN)_6]^{3-}$ และ $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ จากนั้นหาปริมาณเหล็กด้วยเทคนิค UV/ Visible Derivative Spectrophotometry จากการทดลองพบว่าการวิเคราะห์โดยการทำอนุพันธ์อันดับที่สองให้ผลการทดลองที่ละเอียดมากกว่าการทำอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และผักที่มีปริมาณเหล็กมากที่สุดคือ บวยเล้ง

Jorhem และ Engman[16] หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และเหล็ก ในอาหาร โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry ภายหลังการย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟซึ่งมีข้อดีคือ หากย่อยตัวอย่างภายใต้ระบบปิดจะทำให้ใช้ปริมาณรีเอเจนต์น้อย ลดการปนเปื้อนและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง

Olalla และคณะ[17] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำองุ่น ไวน์ และเครื่องดื่มผสมแอลกอฮอล์ โดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry หลังจากย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริกซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ไวน์มีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในช่วง 97.5-101.6%

Croot และ Hunter[18] หาปริมาณเหล็กในน้ำธรรมชาติและน้ำทะเลโดยมีการเพิ่มความเข้มข้นของเหล็ก(II) ด้วย C18 Sep-Paks จากนั้นให้เหล็กเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 3-(2-pyridyl)-5,6-diphenyl-1,2,4-triazine(PDT) วัดการดูดกลืนแสงที่ 555 นาโนเมตร เทคนิคนี้สามารถหาปริมาณเหล็กได้ในระดับนาโนโมล่าร์

Leblebici และ Volkan[15] ศึกษาการเตรียมตัวอย่างสำหรับหาปริมาณสารหนู ทองแดง เหล็ก และตะกั่วในน้ำตาลทรายขาวโดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry จากการทดลองพบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยเติม $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ แล้วนำไปเผาให้เป็นเถ้าจะให้ร้อยละการกลับคืนสูงกว่าการเติม H_2SO_4

Mahmoud[20]ทำการพัฒนา ion-selective electrode สำหรับหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างยา โดยวิธี potentiometry และ potentiotitrimetry

Canfranc[13]และคณะ ได้หาปริมาณเหล็กและโมลิบดินัมในตัวอย่างยาโดยเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 600°C และหาปริมาณโดยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry พบว่าขีดจำกัดการตรวจวัดเหล็กและโมลิบดินัมมีค่าเป็น 126 $\mu g\ g^{-1}$ และ 129 $\mu g\ g^{-1}$ ตามลำดับ

Hirata[19]และคณะ หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำธรรมชาติโดยเทคนิค Flow Injection Analysis ใช้คอลัมน์สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กเป็นแบบ chelating resin มีระบบการตรวจวัดแสงแบบ chemiluminescence

2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.1 การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ [7]

ในกรณีที่ต้องการหาธาตุที่มีอยู่ซึ่งอาจมีปริมาณน้อย ต้องสลายสารอินทรีย์ก่อนแล้วจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่ต้องการ โดยทั่วไปวิธีที่นิยมใช้สำหรับการสลายสารอินทรีย์มีอยู่ สองวิธี ได้แก่ วิธีการเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing) และวิธีเปียก (Wet digestion) สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการเผาให้เป็นเถ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ถ้านำสารตัวอย่างไปเผาในที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศของออกซิเจน สารอินทรีย์จะสลายตัวออกไป ทำโดยชั่งสารตัวอย่างไว้ในถ้วยกระเบื้องหรือถ้วยเพลตินัม ทางที่ดีทำให้แห้งเสียก่อนด้วย heat lamp (IP lamp) แล้วจึงค่อยนำไปเผาต่อที่เตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่าจนได้เป็นเถ้า ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วจึงนำไปสลายในกรด วิธีนี้อาจมีข้อเสีย คือ

1) ธาตุในสารตัวอย่างซึ่งมีน้อย ๆ อยู่แล้ว อาจสูญเสียไปกับการระเหย (volatilization) เช่น Hg และSe และบางสภาวะAs, B, Cd, Fe, Pb, P, V, Zn อาจมีส่วนที่หายไปได้ หรือสารอินทรีย์ที่เกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับโลหะอาจหายไปได้
2) ธาตุเหล่านี้อาจติดข้าง ๆ ภาชนะที่ใช้เผา ที่พบบ่อย ๆ ได้แก่ Co, Cu, Fe, Ag, Al และ Mn
3) ธาตุเหล่านี้อาจติดอยู่กับเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ซึ่งได้แก่ Al, Ca, Cu, Sn, Be, Fe, Nb และ Ta

เพื่อป้องกันการสูญเสียสารตัวอย่าง เนื่องจากสาเหตุเหล่านี้ อาจเติมสารบางชนิดเข้าไปช่วยเป็น ashing acid ได้แก่ MgO, $Mg(NO_3)_2$, HNO_3 และ H_2SO_4 โดยเติมก่อนหรือระหว่างเผาก็ได้

HNO_3 ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ทำให้ย่อยสารอินทรีย์ตัวอย่างได้รวดเร็วขึ้นและช่วยลดอุณหภูมิให้ต่ำลง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

H_2SO_4 ทำหน้าที่ช่วยเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบซัลเฟตที่ระเหยยากขึ้น

MgO ทำหน้าที่ช่วยทำให้สารตัวอย่างเจือจางและลดพื้นที่ในการสัมผัสของสารตัวอย่างกับผนังของภาชนะที่ใช้

$Mn(NO_3)_2$ ทำหน้าที่ได้ทุกอย่างในข้างต้น

2.4.2 หลักการทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการไทเทรต[6]

การไทเทรต (Titration) หมายถึง การที่เรานำสารที่เราต้องการนำมาวิเคราะห์ มาทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เติมลงไป ซึ่งเป็นสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว หรือที่เรียกว่า สารละลายมาตรฐาน โดยเติมลงมาจากบิวเรต (buret) สารละลายที่เติมลงมานี้เรียกว่า ไทแทรนต์ (titrant) เราจะต้องวัดปริมาตรของไทแทรนต์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากันพอดีกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์ให้ได้แน่นอน จากความเข้มข้นของไทแทรนต์และจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารที่เราต้องการวิเคราะห์กับไทแทรนต์ จะทำให้เราสามารถหาปริมารของสารที่เราต้องการวิเคราะห์ได้ สารที่นำมาทำการไทเทรตกันได้นั้นควรมีสมบัติดังนี้

1) สารที่เข้าทำปฏิกิริยากันนั้นจะต้องทำปฏิกิริยากันอย่างมีปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric)
2) ปฏิกิริยาจะต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
3) จะต้องไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงใด ๆ เกิดขึ้น
4) จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางอย่างของสารละลายหลังจากที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว
5) จุดที่เราเติมไทแทรนต์ลงไปจะต้องทำให้สารทำปฏิกิริยากันจนถึงจุดสมมูล
6) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องหาปริมาณของสารได้ด้วย

เราสามารถแบ่งวิธีการไทเทรตออกเป็น 4 หัวข้อคือ

1) การไทเทรตกรดและเบส (Acid-base titration)
2) การไทเทรตแบบตกตะกอน (Precipitate titration)
3) การไทเทรตแบบทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Compound titration)
4) การไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox titration)

แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังนี้

การไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการไทเทรตระหว่างสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์กับตัวรีดิวซ์ สารที่เป็นตัวออกซิไดซ์จะทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนส่วนตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

รีดิวซ์จะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนไปในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารทั้งสองตัวซึ่งสารทั้งสองตัวนี้จะต้องมีความสามารถในการออกซิไดซ์และรีดิวซ์ที่แตกต่างกันมากเพียงพอ เพื่อทำให้ปฏิกิริยาระหว่างสารทั้งสองตัวนี้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และเห็นจุดยุติได้ชัดเจน ดังนั้นสารตัวหนึ่งจะต้องเป็นตัวออกซิ-ไดซ์ที่แรงมาก (ชอบที่จะรับอิเล็กตรอนได้ดี) ส่วนอีกตัวหนึ่งจะต้องเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง (ชอบที่จะให้อิเล็กตรอนมาก) เราอาจใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวบอกจุดยุติหรืออาจใช้วิธีการวัดทางไฟฟ้าวิธีอื่น ๆ เพื่อหาจุดยุติของการไทเทรตนั้นได้

ตัวอย่างปฏิกิริยารีดอกซ์

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ \longrightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$$

จะเห็นว่า Fe^{2+} แต่ละตัว (เป็นตัวรีดิวซ์) จะเสีย 1 โมลอิเล็กตรอนและ MnO_4^- แต่ละตัว (เป็นตัวออกซิไดซ์) จะรับอิเล็กตรอนเพิ่มอีก 5 ตัว (5 โมลอิเล็กตรอน) และทำให้ Mn^{7+} ถูกรีดิวซ์เป็น Mn^{2+}

2.4.2.1 ไทเทอร์ (titer)

ไทเทอร์คือ น้ำหนักของสารที่เราต้องการ ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับไทแทรนต์ 1 cm^3 ตามปกติมักจะบอกเป็นมิลลิกรัม (mg)

ตัวอย่างเช่น ถ้าสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ มีไทเทอร์เท่ากับ 1.267 mg Fe แสดงว่า $K_2Cr_2O_7$ แต่ละมิลลิลิตรจะทำปฏิกิริยากับเหล็ก 1.267 mg และน้ำหนักของเหล็กที่ถูกไทเทรตหาได้โดยการคูณปริมาตรของไทเทรนต์ที่ใช้ไปด้วยไทเทอร์ หน่วยของไทเทอร์อาจบอกในหน่วยของสารที่ถูกไทเทรตที่อยู่ในรูปของสารประกอบใด ๆ ก็ได้

2.4.2.2 สารละลายมาตรฐาน (standard solution)

สารละลายมาตรฐานเตรียมขึ้นจากการละลายสารที่มีความบริสุทธิ์สูง ที่เรียกว่า สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) ซึ่งเราชั่งมาให้รู้น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว ทำการเจือจางสารละลายนั้นให้มีปริมาตรให้ได้ตามที่ต้องการในขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ถ้าสารที่เรานำมาเตรียมเป็นสารละลายนี้มีความบริสุทธิ์ไม่มากนักเราก็จะเตรียมสารละลายนั้นให้มีความเข้มข้นประมาณเท่าที่ต้องการ แล้วนำมาเปรียบเทียบมาตรฐาน (standardized) ด้วยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิปริมาตรหนึ่ง ที่เราทราบน้ำหนักที่แน่นอนของสารนั้นแล้ว ตัวอย่างเช่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Phranakhon Rajabhat University

สำนักวิทยบริการสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารที่มีความบริสุทธิ์ไม่มากเพียงพอที่เราจะทำเป็นสารละลายมาตรฐานได้โดยตรง เราจะต้องนำมันมาไทเทรตกับกรดมาตรฐานปฐมภูมิ เช่น โพแตสเซียมแอซิดพทาเลต (potassium acid phthalate, KHP) ซึ่งเป็นของแข็ง

สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิจะต้องมีสมบัติดังนี้

1) จะต้องมีความบริสุทธิ์ 100 %

2) เป็นสสารที่เสถียรและทำให้แห้งได้ที่อุณหภูมิที่ใช้ทำให้สารปราศจากความชื้นและมันจะต้องเป็นสารที่เสถียรในอุณหภูมิห้อง ปกติเราจะต้องทำสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิให้แห้งเสียก่อนที่จะนำไปชั่ง

3) จะต้องเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว

4) ควรจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงเพื่อว่าเวลาชั่งสารเราจะได้ชั่งมาเป็นปริมาณมากพอสมควร ทำให้ลดความผิดพลาดเนื่องจากการชั่งสารปริมาณน้อย ๆ ได้

สารที่นำมาใช้ในการไทเทรตควรจะต้องมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตและจุดสมมูลของปฏิกิริยาจะต้องค่อนข้างมาทางขวามือเพื่อว่าจะได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันเกิดขึ้นที่จุดยุติ

2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox titation)[8]

การวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยอาศัยวิธีรีดอกซ์ เป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่ง เพราะธาตุบางตัวสามารถมีเลขออกซิเดชันที่เสถียรได้มากกว่าหนึ่งค่า การอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์จะทำให้สามารถหาปริมาณธาตุเหล่านี้ได้

เหล็กเป็นธาตุหนึ่งที่มีเลขออกซิเดชันมากกว่าหนึ่งค่า ดังนั้นในการหาปริมาณเหล็กทั้งหมดโดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์จะต้องเปลี่ยนเหล็กให้มีเลขออกซิเดชันที่มีค่าต่ำเพียงค่าเดียวก่อน แล้วจึงให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$), โปแตสเซียมไดโครเมท (K_2CrO_4), และซีเซียม (IV)ซัลเฟต ($CeSO_4$)

โปแตสเซียมไดโครเมทเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงน้อยกว่าโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต แต่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า คือ สามารถทำให้บริสุทธิ์และทำให้จุดหลอมเหลวคงที่ได้ ดังนั้นจึงใช้ทำสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิได้ ถ้าต้องการเตรียมสารละลายความเข้มข้นเท่าใด ก็ชั่งน้ำหนักตามที่คำนวณได้ และละลายน้ำตามที่ปริมาตรที่กำหนด และเก็บในขวดที่สะอาด มีจุกปิดสนิท ความเข้มข้นของสารละลายนี้จะคงที่เป็นเวลานาน เพราะสารละลายที่ผสมน้ำ

วิ546.621 143397
ว162ป
ฉ.1

แล้วจะมีความเสถียรมาก สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตในสารละลายที่เป็นกรดจะถูกรีดิวซ์ได้ดีที่อุณหภูมิห้องกลายเป็นเกลือโครมิก (chromic salt) ที่มีสีเขียว โปแตสเซียมไดโครเมทที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อทำเป็นสารละลายแล้วก็อาจหาความเข้มข้นที่แน่นอนได้โดยการไทเทรตกับแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตหรือใช้ลวดเหล็กที่บริสุทธิ์แทนก็ได้ โดยใช้ไดฟีนิลลามีนซัลโฟเนทเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^{+} \longrightarrow 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$$

สารละลายโปแตสเซียมไดโครเมทที่ทราบความเข้มข้นแล้วสามารถนำไปใช้ในการหาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างเหล็กหรือแร่เหล็กได้โดยการนำเอาตัวอย่างหรือแร่เหล็กมาละลายในกรดไฮโดรคลอไรด์ แล้วรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric, Fe^{+3}) ไปเป็นเฟอร์รัส (Ferrous, Fe^{+2}) โดยใช้สแตนนัสคลอไรด์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$Sn^{+2} + 3Fe^{+3} \longrightarrow Sn^{+4} + 2Fe^{+2}$$

การเติม Sn^{+2} เพื่อรีดิวซ์เฟอร์ริกไปเป็นเฟอร์รัสนั้นจะต้องเติมให้มากเกินพอเล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่า Fe^{+3} ถูกรีดิวซ์ได้หมด สำหรับ Sn^{+2} ที่มากเกินพอเล็กน้อยนั้นสามารถกำจัดได้โดยใช้เมอร์คิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$) ดังสมการ

$$Sn^{+2} + 2HgCl_2 \longrightarrow Sn^{+4} + Hg_2Cl_2 \text{ (ตะกอน)} + 2Cl^{-}$$

แต่ถ้าเติม Sn^{2+} มากเกินไปจะพบว่า Hg_2Cl_2 อาจถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นเมอร์คิวรี (Mercuri, Hg^0) ซึ่งทำให้สารละลายมีสีเทาดำ ทำให้สังเกตจุดยุติไม่ได้และ Hg^0 ที่เกิดขึ้นยังสามารถรีดิวซ์ Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตได้ด้วย ดังนั้นเมื่อเติม $HgCl_2$ ลงไปจะไม่มีตะกอนสีขาวของ Hg_2Cl_2 เกิดขึ้น แสดงว่า Fe^{+3} ถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} ไม่หมด ต้องทำการทดลองใหม่ด้วยเช่นกัน

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างเหล็กอาจมีคลอไรด์ปนอยู่ควรเติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อทำให้สารปราศจากสีเหลืองของสารเชิงซ้อนคลอไรด์ (chlorocomplex) และเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เพื่อทำให้สารละลายมีความเป็นกรดเพียงพอ

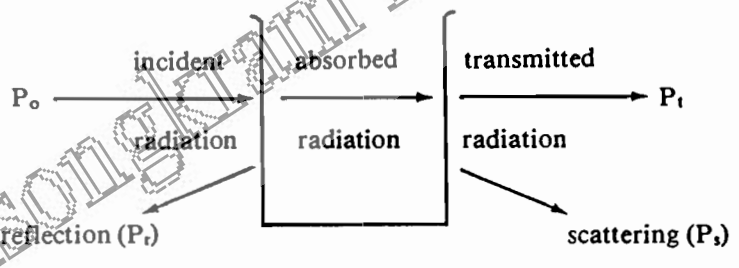
2.4.4 หลักการของอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ (organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสาร

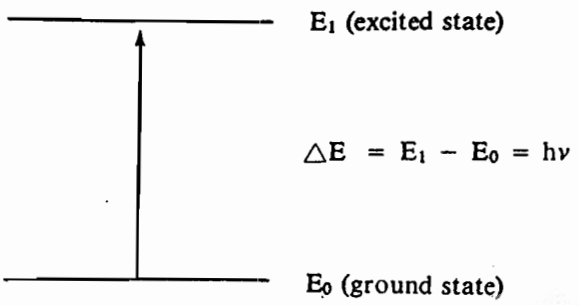
อนินทรีย์ (inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสีสมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องและแม่นยำดีและมีสภาพไว (sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่ในกรณีที่นำไปใช้ในการพิสูจน์ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารอะไร มีโครงสร้างอย่างไร อาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้าช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจ เช่น ใช้เทคนิคทาง IR หรือ NMR spectroscopy เป็นต้น

โดยทั่วไปเทคนิคการวิเคราะห์นี้บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิล อาจเรียกว่า คัลเลอริเมตรี (colorimetry)

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อนแสง การกระเจิง และบางส่วนทะลุผ่านออกไป ดังรูปที่ 2.1 ถ้าให้แสงที่ทะลุออกไปนั้นผ่านเครื่องกระจายแสง (เช่น เกรตติง หรือปริซึม) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่งส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า absorption spectrum พลังที่ดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น(ground state)ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ดังรูป 2.2



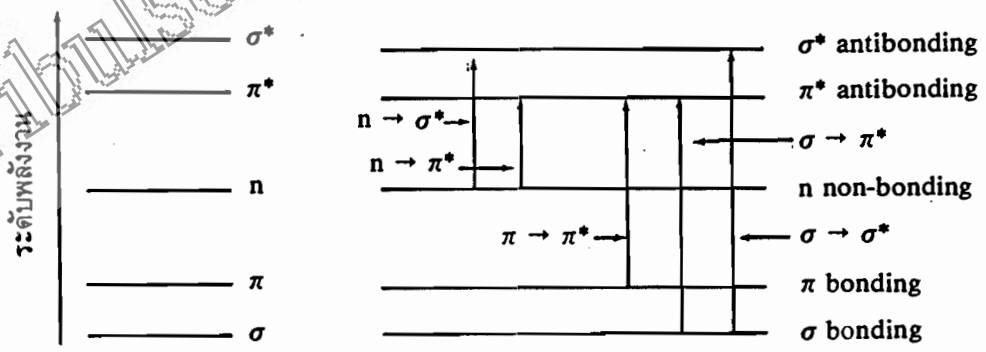
รูป 2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง



รูป 2.2 แสดงกระบวนการเกิดการการกระตุ้น

2.4.4.1 สาเหตุของการดูดกลืนแสงในช่วง ยูวี/วิสิเบิล (UV/VIS Absorption)

เมื่อแสงที่อยู่ในช่วงยูวี/วิสิเบิลผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสาร สารนั้นจะถูกดูดกลืนแสงเฉพาะบางช่วงทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic transition) ซึ่งโดยมากจะใช้พลังงานประมาณ 30-150 kcal/mole และอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้อง คือ อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกสุดหรืออิเล็กตรอนที่เกิดพันธะแล้ว หรืออิเล็กตรอนที่ยังไม่เกิดพันธะ (non-bonding electrons) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีพลังงานแตกต่างกันอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานสูงขึ้นเรียกว่า แอนติบอนดิง ออร์บิทัล (antibonding orbitals) ดังแสดงในรูป 2.3



รูป 2.3 electronic energy levels และ transitions

อิเล็กตรอนในออร์บิตัลที่อยู่ในสภาวะพื้น (ground state) ในโมเลกุลมี 3 แบบ คือ

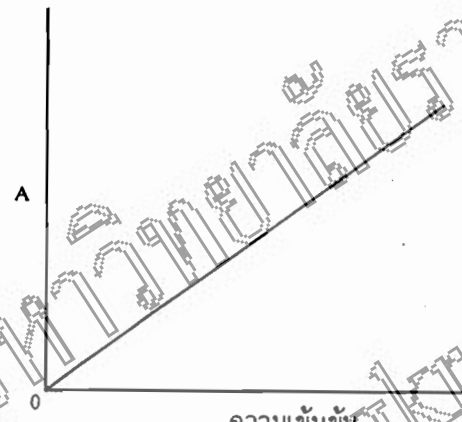
1) sigma molecular (σ bonding)

2) pi molecular orbital (π bonding)

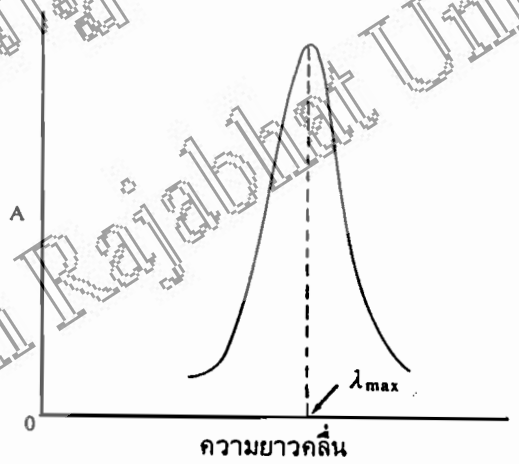
3) non-atomic orbital (n-bonding, non-bonding)

2.4.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยการใช้เทคนิค UV / VIS spectroscopy

ในกรณีที่สารตัวอย่างมีสารที่จะวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว อาจใช้วิธีการทำกราฟมาตรฐาน โดยเตรียมพร้อมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แล้วนำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ที่ λ_{max} โดยเทียบกับ blank นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าแอบซอร์แบนซ์กับความเข้มข้น จะได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.4 เมื่อหาค่าแอบซอร์พแบนซ์ของสารตัวอย่างได้ ก็จะหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ได้ โดยอ่านกราฟมาตรฐานและลักษณะของสเปกตรัม ดังรูป 2.5



รูป 2.4 กราฟมาตรฐานทั่วไปที่ใช้หาปริมาณสาร

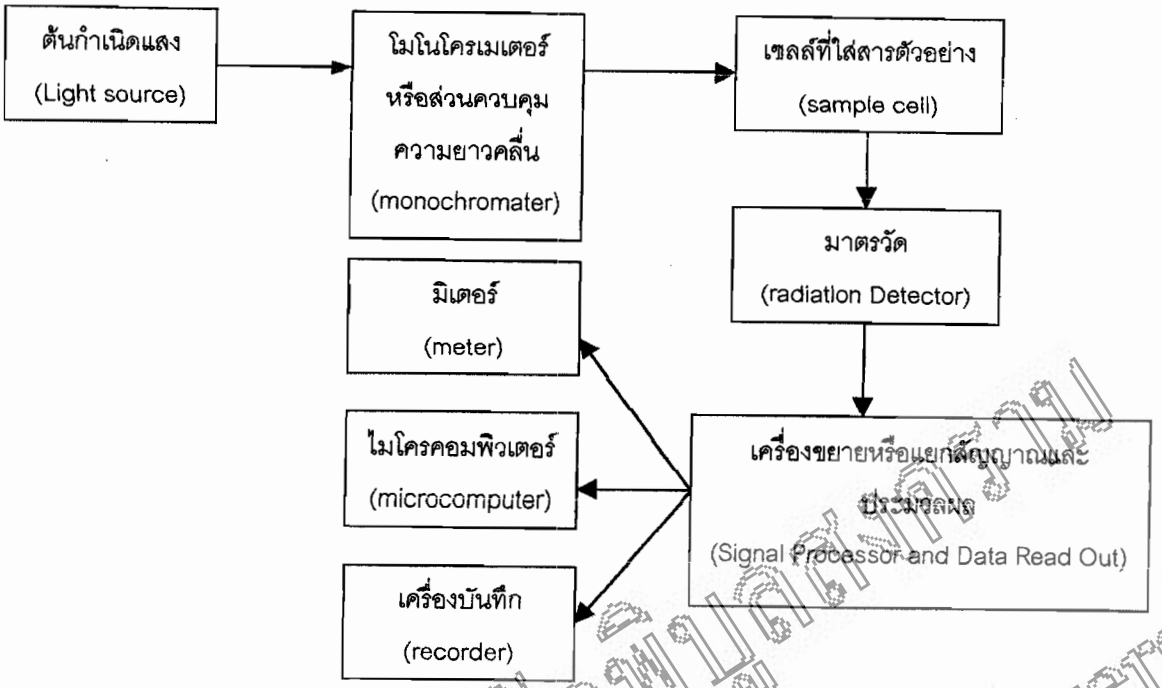


รูป 2.5 สเปกตรัมของสารตัวอย่าง

2.4.4.3 ส่วนประกอบของเครื่อง ยูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่อง spectrophotometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการดูดกลืนรังสีของสาร โดยเครื่องเป็นต้นกำเนิดรังสี อุปกรณ์แยกรังสีที่เป็น polychromatic ให้ออกมาเป็นรังสีที่มีช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ หรือนาโนโครมิเตอร์ และมี detector ที่สามารถวัดความเข้มของรังสี แล้วคำนวณออกมาเป็นค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เครื่อง spectrophotometer มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน ดังรูป 2.6

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University



รูป 2.6 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1) ต้นกำเนิดแสง (Light Sorce)

สำหรับเครื่อง UV/VIS spectrophotometer ต้นกำเนิดแสง Ultraviolet เป็นหลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือ หลอดดิวเทอเรียม (deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 nm ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจน หรือดิวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วย quartz หรือ silica แต่ถ้าใช้วัตถุอื่น เช่นแก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียมมีอายุใช้งานที่จำกัด แต่หลอดดิว-เทอเรียมซึ่งมีราคาแพงกว่าจะมีอายุใช้งานมากกว่า และมีความเข้มของแสงมากกว่าด้วย

2) โมโนโครมาเตอร์ (monochromater)

ส่วนประกอบนี้ถือเป็นหัวใจของเครื่อง spectrophotometer เพราะเป็นส่วนหนึ่งที่ใช่ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็น polychromatic (คือเป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ) ให้เป็นแสง monochromatic ซึ่งเป็นแถบแคบ ๆ ความจริง monochromater จะประกอบด้วย

2.1) ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า (entrance slit) เพื่อให้แสงที่จะเข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่างโดยคิดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิดจึงมีส่วนที่สำคัญ

2.2) กระจกและเลนส์ (mirror และ lens) เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่องบางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมตัวกัน ทั้งนี้เพื่อลดขนาดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้เล็กลง และและบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นละแสงขนาน

2.3) ส่วนที่ใช้ทำให้แสงกระจายออกเป็นคลื่นต่าง ๆ กัน เพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงแสงที่ต้องการ อุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบด้วย ฟิลเตอร์ (filters) ปริซึม (prism) ทรานสมิสชันเกตติง (transmission grating) รีเฟลกชันเกรตติง (reflection grating) เป็นต้น

2.4) ช่องแสงออก (exit compartment) เป็นส่วนที่จะปล่อยให้แสงผ่านสารตัวอย่างแล้วผ่านไปยังม่านวัดแสง ตลอดจนเป็นส่วนที่ช่วยตัดแสงที่รบกวน โดยทั่วไปแล้วช่องแสงเข้าและออกมักจะเปิดเท่ากัน หรือสามารถปรับให้ได้ตามต้องการ

3) ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด (cell comparrtment)

เซลล์ซึ่งบรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบแล้วนำไปใส่ที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิดเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกนำออกจากระบบอิเล็กทรอนิคและระบบแสง

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (sample cell) บางครั้งเรียกว่าคิวเวทท์ (cuvettes) มีด้วยกันหลายแบบรูปร่างต่าง ๆ กัน ที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้

เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

เซลล์ที่ทำด้วยซิลิก้า (silica) และควอรต์ (quartz) ที่ใช้ได้ทั้งในช่วงวิสิเบิลและยูวี และยังมีเซลล์ที่เป็นเกรดพิเศษเรียกว่า Special UV Grade โดยเขียนไว้เป็น “UV-Cells” ในการซื้อเซลล์มาใช้ในการวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี มักจะซื้อเป็นคู่เรียกว่า “Matched cell” เซลล์ดังกล่าวนี้เป็นเซลล์ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งขนาดและการดูดกลืนแสง

4) เครื่องวัดแสง (Radiation Detector)

เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงนั้นมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบนั้นอาจแตกต่างกันบ้างที่ความกว้างของช่องคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วในการตอบสนองของแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนระดับพลังงานแสง

(radiant energy) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) เครื่องวัดแสงที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีดังต่อไปนี้

- โฟโตโวลตาอิกเซลล์ หรือแบริเออร์-แลเยอร์เซลล์ (photovotaic or barrier-layer cells)
- หลอดรับแสง (phototube)
- หลอดโฟโตมัลติพลัยเออร์ (photomutiplier tube=PMT)
- เครื่องวัดแสงชนิดซิลิคอนไดโอด (silicon diode detector)

5) **เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล** (Signal Processors and Data Read Out)

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิก แล้วเสนอผลของการวิเคราะห์ออกมาหลายรูปแบบ โดยต่อเข้ากับ

5.1) มิเตอร์ (meter) มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale และ logarithm scale บอกค่า absorbance และ % transmitance

5.2) ดิจิตอลมิเตอร์ (digital meter) โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข บอกค่า absorbance หรือ % transmitance หรือ concentration

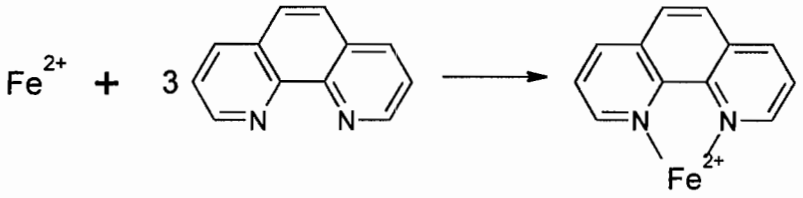
5.3) เครื่องบันทึก recorder หรือ printer ซึ่งสามารถเขียน spectrum พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟก็ได้

5.4) เครื่อง micro processors หรือ printer ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของเครื่อง spectrophotometer ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลองพิมพ์ข้อมูลและผลของการทดลองทั้งหมดได้ ตลอดจนชี้สาเหตุของการขัดข้องได้ด้วย

2.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างโดยวิธีสเปกโตโฟโตรเมตรี (spectrophotometry **Method**)[4,8]

เหล็ก(II)สามารถทำปฏิกิริยากับสารลิแกนด์ที่มีโครงสร้างใหญ่ เช่น 1,10-ฟีแนนโทรลีน ได้ และเกิดเป็นสารประกอบที่มีสีดังสมการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ Phetchabun Rajabhat University



1,10 phenanthroline tris(1,10 phenanthroline)iron(II)

สารเชิงซ้อนที่มีสีจะนำไปวัดความสามารถในการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานเหล็ก จะทำให้สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของเหล็ก(II) ในสารตัวอย่าง

โดยทั่วไปแล้วการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะกระทำในสารละลายที่มีค่าpH ระหว่าง 2 ถึง 9 แต่อย่างไรก็ดี เรามักจะทำที่ค่า pH ประมาณ 3.5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเกลือบางชนิดของเหล็ก เช่น เกลือฟอสเฟต ซึ่งการควบคุม pH ของสาละลายนี้ไม่จำเป็นต้องแน่นอน แต่ให้มีค่าประมาณ 3.5

ในการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับออร์โธฟีแนนโทรลีน เราจะต้องรีดิวส์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้ไปเป็นไอร์ออน(II) เสียก่อน โดยใช้ไฮโดรคิวโนน (hydroquinone) หรือไฮดรอกไซลามีน ไฮโดรคลอไรด์(hydroxylamine hydrochloride) ดังสมการ

$$4Fe^{3+} + 2NH_2OH \longrightarrow 4Fe^{2+} + N_2O + H_2O$$

hydroxylamine

แคทไอออนที่เป็นสารแทรกสอดในการหาปริมาณของเหล็ก โดยวิธีนี้จะต้องไม่มีในสารละลายรวมทั้งไอออนที่มีสี Ag^+ และ Zn^{2+} จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนกับรีเอเจนต์ที่ไม่มีสี ซึ่งจะทำให้สารละลายที่ได้มีสีจางลง Mo, W, Co, Ni, และSn อาจทำให้ผลการหาปริมาณเหล็กผิดพลาดไปได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวอย่างผักที่นำมาใช้ในการวิจัย

1) ผักปลังขาว
2) ผักชีฝรั่ง
3) ผักแขยง
4) ย่านาง
5) ชะพลู
6) ยอ
7) กระเพรา
8) มะเขือพวง
9) ผักหนาม
10) ผักกูด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้	รุ่น (Model)	ผลิตโดยบริษัท
1) เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer)	UV-1601	Shimadzu
2) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	AG 204	Bench Top
3) เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Balance analytical)	AG 204	Bench Top
4) เตาไฟฟ้า (Hot plate)	SH 4	BIBBY
5) เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven)	CW 22	Memmert
6) เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace)	CWF 1200	CABOLITE
7) เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	AA-6200	Shimadzu

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ Phetchabun Rajabhat University

3.3 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

1) บีกเกอร์ (Beaker)
2) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
3) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
4) เบ้าเตาตะกอน (Crucible)
5) ที่คีบเบ้าเผาตะกอน (Crucible tongs)
6) ปิเปต (Pipette)
7) ลูกยางดูดสาร (Rubber bulb)
8) หลอดหยดสาร (Dropper)
9) กรวยกรอง (Funnel)
10) กระดาษกรอง (Paper filter)
11) ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
12) บิวเรต (Buret)
13) ขาตั้ง (Stand)
14) มือจับบิวเรต (Buret clamp)
15) ช้อนตักสาร (Spatula)
16) แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

3.4 สารเคมี

ตาราง 3.2 แสดงรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อสารเคมีที่ใช้	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g/mol)	Assay	ผลิตโดย	
				บริษัท	ประเทศ
1) 1,10- ฟีแนนโทรลีน (1,10-phenanthroline)	$C_{12}H_8N_2.O$	198.24	99.5 %	MERCK	Germany
2) โบลโมฟีนอล บูล (Bromophenol blue) pH 3.0-4.6	$C_{19}H_{10}Br_4O_5S$	669.96	-	MERCK	Germany
3) ไตรโซเดียมซิเตรต ไดไฮเดรต (trisoduim citrate dihydrate)	$C_6H_5Na_3O_7.2H_2O$	294.10	99.0 %	MERCK	Germany
4) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	HCl	36.5	37.0 %	MERCK	Germany
5) แอมโมเนียมเฟอร์รัส ซัลเฟต เฮกซะไฮเดรท (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate)	$(NH_4)_2Fe(SO_2.6H_2O$	392.14	99.0-101.5%	MERCK	Germany
6) ไฮดรอกซีลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochrochoride)	$NH_2OH.HCl$	69.49	99.0 %	MERCK	Germany
7) กรดออร์โธรฟอสฟอริก (Ortphosphoric acid)	H_3PO_4	98.00	85 %	ASP	Australia
8) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)	H_2SO_4	98.08	95–97 %	MERCK	Germany
9) สแตนนัสคลอไรด์ ไดไฮเดรต (Stannous chloride dihydrate)	$SnCl_2.2H_2O$	225.63	>97.0 %	Fluka	Switzerland

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

ตาราง 3.2 แสดงรายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

ชื่อสารเคมีที่ใช้	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g/mol)	Assay	ผลิตโดย	
				บริษัท	ประเทศ
10) เมอร์คิวริก คลอไรด์ (Mercuric chloride)	$HgCl_2$	271.50	99.5 %	ASP	Australia
11) แมกนีเซียมไนเตรต เฮกซะไฮเดรต (Magnesiumnitrate hexahydrate)	$Mg(NO_3)_2$	256.41	>99.0 %	Fluka	Switzerland
12) โปแทสเซียมไดโครเมต (Potassiumdichromate)	$K_2Cr_2O_7$	294.19	>99.0 %	Fluka	Switzerland
13) ไดฟีนิลามีนซัลโฟเนต (Diphenylamine-4-sulfonate)	$C_{12}H_{10}NNaO_3S$	271.27	>97 %	Fluka	Switzerland

3.5 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง [2,7]

1) นำผักตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาล้างให้สะอาด แล้วทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นเด็ดหรือหั่นเอาเฉพาะส่วนที่กินได้ใส่ในถาดชนะประมาณ 100-200 g

2) นำผักในข้อ 1) ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C ประมาณ 4-5 ชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำหนักที่คงที่

3) ปั่นตัวอย่างผักที่อบให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหาร

4) ชั่งตัวอย่างผักที่ปั่นละเอียดแล้วประมาณ 5 g ใส่ในครูซิเบิล (crucible) ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด

5) เติมสารละลาย 50% $Mg(NO_3)_2$ [11] ปริมาตร 1 cm^3 ลงในตัวอย่างผักที่ชั่งแล้ว จากนั้นนำไปตั้งบนอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่จนแห้ง แล้วให้ความร้อนต่อด้วยเตาไฟฟ้า (Hot plate) จนหมดควัน นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

6) ค่อย ๆ เทเถ้าที่เผาได้ลงในบีกเกอร์ 100 cm^3 แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น(HCl conc.) ลงไป 25 cm^3

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา Rajabhat University

7) นำไปย่อยโดยตั้งไว้บนเตาไฟฟ้า (Hot plate) ประมาณ 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

8) กรองสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 cm^3

9) ล้างกระดาษกรองด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่เจือจาง หลายๆ ครั้งโดยใช้ปริมาตรครั้งละ 10 cm^3 จนกระดาษกรองไม่มีสีเหลืองติดอยู่ และให้สารละลายที่ผ่านกระดาษกรองลงสู่ขวดวัดปริมาตรด้วย

10) เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร เขย่าจนสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

11) ทำสารละลายแบลงค์ (blank) โดยทำตามข้อ 5) จนถึงข้อ 10) แต่ไม่ใส่ตัวอย่างผัก

3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง

3.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ [8]

3.6.1.1 รีเอเจนต์ (Reagent)

1) สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ เข้มข้น 6 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 6.00 g ของ $SnCl_2.2H_2O$ ใน 50 cm^3 ของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (นำไปอุ่นถ้าจำเป็น) แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 cm^3 (สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่และใช้ทันที)

2) สารละลายเมอคิวริคคลอไรด์ เข้มข้น 5 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 5.00 g ของ $HgCl_2$ ในน้ำกลั่น 100 cm^3

3) สารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไดโครเมท เข้มข้น $4.8088x10^{-5}$ M

: ละลาย 0.3536 g ของ $K_2Cr_2O_7$ (ที่อบที่อุณหภูมิ 110 ℃ 2 ชั่วโมงแล้ว) ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 250 cm^3 จะได้สารละลายเข้มข้น $4.8088x10^{-3}$ M จากนั้นทำการเจือจางให้มีความเข้มข้น $4.8088x10^{-5}$ M

4) สารละลายไดฟีนิลามีนซัลโฟเนท เข้มข้น 0.2 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 0.20 g ของ ไดเฟนิลามีนซัลโฟเนทในน้ำกลั่น 100 cm^3

5) กรดฟอสฟอริก 85 %

6) กรดซัลฟิวริก เข้มข้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

3.6.1.2 วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์

1) ปิเปตสารละลายตัวอย่างผักที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 10 ชนิด มาชนิดละ 50 cm^3 แยกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 cm^3 จำนวน 10 ใบ

2) นำไปอุ่นบนเตาไฟฟ้า (Hot plate) ในขณะที่สารละลายกำลังอุ่นอยู่ให้ค่อย ๆ หยดสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ ลงไปช้าๆ ทีละหยด จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายหมดไป (สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนมากๆ จนถึงใส ไม่มีสี) แล้วหยดให้มากเกินพออีก 1-2 หยด

3) ทำสารละลายให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ลงไปทันที 10 cm^3 พร้อมทั้งเขย่าแรงๆ ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที จะเกิดตะกอนสีขาวขึ้น (ถ้าไม่เกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าเติมสารละลายสแตนนัสคลอไรด์น้อยเกินไป ต้องทำการทดลองใหม่)

4) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ลงไป 5 cm^3 และกรดฟอสฟอริก 85% อีก 5 cm^3 เติมสารละลายไดเฟนิลามีนซัลโฟเนท ลงไป 10 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์

5) นำสารละลายในข้อ 4)ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้นที่ 4.8088×10^{-5} M บันทึกปริมาตรที่ใช้ เพื่อนำไปหาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างผัก

3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างด้วยยูวี- วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี[17]

3.6.2.1 รีเอเจนต์ (reagent)

1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก 100 ppm

: ละลาย 0.702 g ของ $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$ ชนิดรีเอเจนต์เกรด ในน้ำกลั่น 50 cm^3 แล้วเติม I cm^3 ของ H_2SO_4 เข้มข้น ทำสารละลายที่ได้ให้มีปริมาตรเป็น 1 dm^3 (สารละลายนี้ 1 cm^3 จะประกอบด้วยเหล็กหนัก 0.1 mg)

2) สารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 25 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 250 .00 g ของโซเดียมซิเตรตในน้ำกลั่น 1 dm^3

3) สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 10 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 10.00 g ของไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH.HCl$) ในน้ำกลั่น 100 cm^3

4) สารละลายออร์โธฟีแนนโธรลีน เข้มข้น 0.5 g do 100 cm^3

: ละลาย 1,10-phenanthroline 0.50 g ในน้ำกลั่น 100 cm^3 เก็บไว้ใน

ขวดสีชา ถ้าสารละลายมีสีเกิดขึ้นให้ทิ้งแล้วเตรียมใหม่

5) สารละลายบรอมฟีนอลบูล (pH 3.0-4.9) เข้มข้น 0.1 g ต่อ 100 cm^3

: ละลาย 0.10 g ของ Bromphenol blue (pH 3.0-4.9) ในน้ำกลั่น 100 cm^3

6) สารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 M

3.6.2.2 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก 100 ppm มาให้มีปริมาณเหล็ก 0.04, 0.10, 0.20, 0.50 1.00 และ 2.50 mg ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm^3 จำนวน 6 ใบ ตามลำดับ

2) เติมสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ 1 ลบ.ซม. และสารละลาย1,10-ฟีแนนโทรลีน 2 cm^3 แล้วนำไปปรับค่า pH ให้มีค่าประมาณ 3.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรตหรือสารละลาย 0.05 M H_2SO_4

3) ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 15 - 20 นาทีจนสารละลายมีสีคงที่ จากนั้นถ่ายสารละลายจากบีกเกอร์ลงสู่ขวดปริมาตรขนาด 100 cm^3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 100 cm^3 เขย่าให้สารละลายผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายมาตรฐานเชิงซ้อนระหว่างเหล็กกับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่มีเหล็กเข้มข้น 0.04, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.50 ppm ตามลำดับ

4) ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1)-3) แต่ใช้น้ำกลั่น 50 cm^3 แทนสารละลายมาตรฐานเหล็ก แล้วเก็บไว้เป็นสารละลายแบลงค์

5) นำสารละลายมาตรฐานเชิงซ้อนระหว่างเหล็กกับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน ในข้อ 3) ที่มีความเข้มข้น 0.5 ppm ไปสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงคู่ (Double beam) โดยเลือกความเร็วในการสแกนเป็นแบบ Medium และ ใช้สารละลายในข้อ 4) เป็นแบลงค์

6) นำสารละลายมาตรฐานเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก 1,10-ฟีแนนโทรลีนความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้ความยาวคลื่นที่สแกนได้ในข้อ 5) (ในการวิจัยครั้งนี้สแกนได้ความยาวคลื่นที่เหมาะสมเท่ากับ 511.0 nm)

7) พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเชิงซ้อนกับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

3.6.2.3 การหาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างผักด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

1) สุ่มสารละลายตัวอย่างผักที่เตรียมไว้มาหนึ่งชนิด แล้วปิเปตมา 10 cm^3 ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm^3 ควบคุมสารละลายให้มี pH ประมาณ 3.5 โดยเติมสารละลายบรอมฟีนอลบูล ลงไป 1 หยด แล้วเติมสารละลายโซเดียมซิเตรตลงไป จนสารละลายในบีกเกอร์เปลี่ยนเป็นสีเขียวใบไม้ (สีระหว่างเหลืองกับน้ำเงิน) บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมซิเตรตที่ใช้ไป ส่วนสารละลายในบีกเกอร์นั้นทิ้งไป

2) ปิเปตสารละลายตัวอย่างผักที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 10 ชนิดที่เตรียมไว้มาชนิดละ 10cm^3 แล้วแยกใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100cm^3 จำนวน 10 ใบแล้วเติมสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ลงไป 1 cm^3 สารละลาย 1,10-ฟีแนนโทรลีน 2cm^3และสารละลายโซเดียมซิเตรตปริมาตรเท่ากับปริมาตรที่ใช้ในข้อ 1) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 15-20 นาที จนสารละลายมีสีคงที่ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 cm^3

3) ทำสารละลายแบลงค์ของสารตัวอย่าง โดยปิเปตสารละลายในข้อ 11) ของขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่างในหัวข้อ 3.5 มา 10 cm^3 แล้วทำตามวิธีในข้อ 2)

4) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานเหล็กที่เตรียมไว้แล้วคำนวนปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่าง

5) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.7 การหาความแม่นยำ (accuracy) ของการวิเคราะห์

การหาความแม่นยำ (accuracy) ของการวิเคราะห์ ในรูปของ % recovery ทำได้โดยการเติมสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ทราบปริมาณเหล็กที่แน่นอนลงไปในสารตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ได้คืนมา เทียบกับปริมาณเหล็กที่เติมลงไป คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ มีวิธีดังนี้

1) ชั่งยอที่อบและบดแล้วใส่ลงในครูซิเบิล (crucible) จำนวน 3 ใบๆละประมาณ 5.00 g บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้

2) เติมสารละลายมาตรฐานเหล็ก 100 ppm ลงใน crucible ใบที่ 2 และ 3 ปริมาตร 5 .00 และ 10 .00 cm^3 ตามลำดับ

3) ทำตามขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่างในหัวข้อ 3.5 ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5) ถึงขั้นตอนที่ 11)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

4) วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ได้คืนกลับมา โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และวิธีสเปกโทรโฟโตเมเตรี

5) ทำการทดลองซ้ำดังข้างต้นอีก 2 ครั้ง

6) นำปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์จากทั้งสองวิธีไปหารด้วยปริมาณเหล็กที่เติมลงไป คูณด้วย 100 ก็จะได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์

4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์

นำผักชนิดต่าง ๆ ที่ผ่านการอบเพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนแล้ว มาผ่าและย่อยให้เป็นสารละลาย จากนั้นรีดิวซ์เหล็ก (III) ให้เป็นเหล็ก (II) แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต นำปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตที่ใช้ไปคำนวณหาปริมาณเหล็กได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก(อบ) (g)	ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ 4.8088×10^{-3} M ที่ใช้ * (cm^3)	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ ** (mg/100g Sample)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย (mg/100g Sample)
ผักปลังขาว	1	5.0095	12.66	20.33	
	2	5.0002	12.08	19.44	19.05
	3	5.0092	10.83	17.39	
ผักชีฝรั่ง	1	5.0020	17.70	28.47	
	2	5.0044	17.50	28.13	29.07
	3	5.0010	19.02	30.60	
ผักแขยง	1	5.0040	21.46	34.50	
	2	5.0043	20.93	33.65	36.65
	3	5.0040	26.00	41.80	
ย่านาง	1	5.0060	9.60	15.43	
	2	5.0043	10.80	17.36	17.76
	3	5.0068	12.75	20.49	
ชะพลู	1	5.0080	15.99	25.69	
	2	5.0088	15.83	25.42	25.28
	3	5.0087	15.40	24.74	

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี Rambhaiphanni Rajabhat University

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก (ต่อ)

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก (อบ) (g)	ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ 4.8088×10^{-3} M ที่ใช้ * (cm^3)	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ ** (mg/100g Sample)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย (mg/100g Sample)
ยอ	1	5.0282	15.63	25.01	
	2	5.0114	15.40	24.72	24.88
	3	5.0041	15.50	24.92	
กระเพรา	1	5.0030	9.76	15.69	
	2	5.0095	9.60	15.42	15.54
	3	5.0062	9.65	15.51	
มะเขือพวง	1	5.0054	1.66	2.67	
	2	5.0047	1.86	2.99	2.82
	3	5.0053	1.75	2.81	
ผักหนาม	1	5.0160	11.10	17.80	
	2	5.0173	10.80	17.31	17.36
	3	5.0015	10.55	16.97	
ผักกูด	1	5.0058	31.65	50.87	
	2	5.0043	35.90	57.71	54.32
	3	5.0072	33.85	54.39	

* ค่าเฉลี่ยของการไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละการทดลอง

** ไทเทอร์ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8088×10^{-5}M ปริมาตร 1 ml เท่ากับ 1.609×10^{-2}mg ของเหล็ก [6]

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Phetchaburi Rajabhat University

4.1.2 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ (% recovery)

ทำการตรวจสอบความแม่นยำ (accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ โดยเติมสารมาตรฐานเหล็กลงในตัวอย่างผัก ปริมาณต่าง ๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตามปกติเพื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณเหล็กที่เติมลงไปในตัวอย่าง คำนวณผลเป็นร้อยละของการคืนกลับดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ (%recovery)

ปริมาณเหล็กที่เติมลงในตัวอย่างผัก (mg)	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่างผัก (g)	ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ 4.8088 x10^{-5} M * (cm^3)	ปริมาณเหล็ก (mg) ที่วิเคราะห์ได้ **	ปริมาณเหล็ก (mg) เฉลี่ย	ปริมาณเหล็ก (mg) ที่ได้คืน	recovery (%)
0.00	1	4.9991	13.70	1.10	1.21	-	-
	2	5.0037	16.60	1.25			
	3	5.0020	14.60	1.20			
0.50	1	5.0036	19.25	1.55	1.67	0.46	92
	2	5.0055	22.70	1.83			
	3	5.0046	20.15	1.62			
1.00	1	5.0093	24.60	1.98	1.95	0.74	74
	2	5.0072	24.53	1.97			
	3	5.0037	23.58	1.90			
						เฉลี่ย	83

* ปริมาตรเฉลี่ยจากการไทเทรตซ้ำ 3 ครั้ง

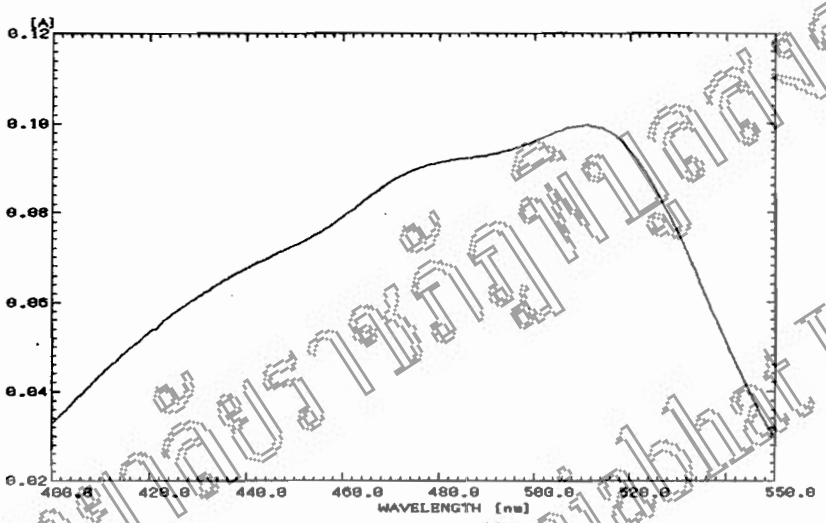
** ไทเทอร์ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8088 x10^{-5}M ปริมาตร 1 ml เท่ากับ 1.609 x 10^{-2}mg ของเหล็ก [6]

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต Rajabhat University

4.2 การทดลองโดยใช้วิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

4.2.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม (λ_{max}) โดยวิธีการสแกน(scan) สารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 0.5 ppm

ทำการรีดิวซ์เหล็กในสารละลายตัวอย่างด้วย ไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ แล้วเติม 1,10 ฟีแนนโทรลีน เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดง จากนั้นหาความยาวคลื่นที่ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนนี้ดูดกลืนคลื่นแสงได้มากที่สุด ได้ผลดังรูป 4.1



รูป 4.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม (λ_{max}) โดยใช้สารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 0.5 ppm

จากผลการทดลองพบว่าความยาวคลื่นที่สารละลายเหล็กดูดกลืนแสงได้มากที่สุดคือที่ 511.0 นาโนเมตร

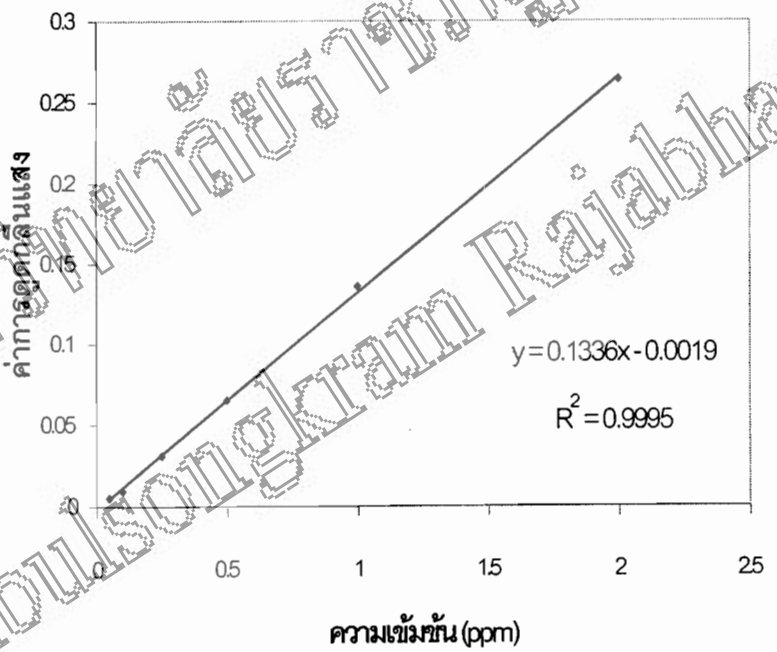
4.2.2 การทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารละลายเหล็ก (II)

เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 1,10 ฟีแนนโทรลีน นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ดังตาราง 4.3 ไปสร้างกราฟมาตรฐานดังรูป 4.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา Rajabhat University

ตาราง 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 511.0 nm ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

ลำดับที่	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 511 nm
1	0.04	0.007
2	0.10	0.020
3	0.20	0.041
4	0.50	0.099
5	1.00	0.199
6	2.50	0.497



รูป 4.2 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก (II) ที่ความยาวคลื่น 511.0 nm

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

เมื่อได้กราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็กแล้ว ทำการหาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างผักโดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ 1,10 ฟีแนนโทรลีน นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเหล็กได้ ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก (อบ) (g)	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง *	ความเข้มข้นของเหล็ก (II) (ppm)	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ (mg/100g Sample)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย (mg/100gSample)
ผักปลังขาว	1	5.0095	0.096	0.48	23.95	
	2	5.0002	0.089	0.45	22.40	21.77
	3	5.0092	0.075	0.38	18.96	
ผักชีฝรั่ง	1	5.0020	0.115	0.58	28.99	
	2	5.0044	0.133	0.67	33.57	31.65
	3	5.0010	0.129	0.65	32.39	
ผักแขยง	1	5.0040	0.121	0.61	30.38	
	2	5.0043	0.149	0.75	37.57	38.64
	3	5.0040	0.190	0.96	47.96	
ย่านาง	1	5.0060	0.040	0.20	10.00	
	2	5.0043	0.071	0.36	17.98	16.52
	3	5.0068	0.085	0.43	21.57	
ชะพลู	1	5.0080	0.093	0.47	23.56	
	2	5.0088	0.114	0.57	28.35	29.95
	3	5.0087	0.152	0.76	37.93	
ยอ	1	5.0282	0.073	0.37	18.30	
	2	5.0114	0.095	0.48	23.94	21.27
	3	5.0041	0.085	0.43	21.58	
กระเพรา	1	5.0030	0.050	0.25	12.39	
	2	5.0095	0.055	0.28	13.97	13.45
	3	5.0062	0.056	0.28	13.98	

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผัก(ต่อ)

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก (อบ) (g)	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง *	ความเข้มข้นของเหล็ก (II) (ppm)	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ (mg/100g Sample)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย (mg/100g Sample)
มะเขือพวง	1	5.0054	0.011	0.06	3.00	
	2	5.0047	0.009	0.04	2.00	2.00
	3	5.0053	0.005	0.02	1.00	
ผักหนาม	1	5.0160	0.058	0.29	14.35	
	2	5.0173	0.070	0.35	17.54	17.43
	3	5.0015	0.082	0.41	20.39	
ผักกูด	1	5.0058	0.160	0.80	39.95	
	2	5.0043	0.234	1.18	58.95	50.81
	3	5.0072	0.212	1.07	53.52	

* ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

4.2.4 การวิเคราะห์หาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ในรูปของร้อยละการคืนกลับ

ตาราง 4.5 การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ในรูปร้อยละการคืนกลับ (%recovery)

ปริมาณเหล็กที่เติมในผัก (mg)	ครั้งที่	น้ำหนักผัก (g)	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง*	ความเข้มข้นของเหล็ก (II) (ppm)	ปริมาณเหล็ก (mg)			recovery (%)
					ที่วิเคราะห์ได้	เฉลี่ย	ที่ได้คืนกลับ	
0.00	1	4.9991	0.087	0.44	1.10			
	2	5.0037	0.099	0.50	1.25	1.17	-	-
	3	5.0020	0.095	0.48	1.20			
0.50	1	5.0036	0.123	0.62	1.55			
	2	5.0055	0.134	0.67	1.68	1.62	0.45	90
	3	5.0046	0.129	0.65	1.62			
1.00	1	5.0093	0.171	0.86	2.15			
	2	5.0072	0.166	0.84	2.10	2.11	0.94	94
	3	5.0037	0.165	0.83	2.08			
							เฉลี่ย	92

* ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทั้งสองวิธี

นำปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักที่วิเคราะห์ได้จากวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี มาเปรียบเทียบกันดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ วิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

ชนิดของผักที่นำมาวิเคราะห์	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ (mg/100g Sample)	
	วิธีการไทเทรต แบบปฏิกิริยารีดอกซ์	วิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี
ผักปลังขาว	19.05	21.77
ผักชีฝรั่ง	29.07	31.65
ผักแขยง	36.65	38.64
ย่านาง	17.76	16.52
ชะพลู	25.28	29.95
ยอ	24.88	21.27
กระเพรา	15.54	13.45
ขะเยื่อพวง	2.82	2.00
ผักหนาม	17.36	17.43
ผักกูด	54.32	50.81

4.4 การทดสอบความแตกต่างในเชิงสถิติของผลการวิเคราะห์สองวิธี โดยการทดสอบ Student t-test[14]

จากการคำนวณหาค่า t เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในเชิงสถิติของผลการวิธีเคราะห์จากทั้งสองวิธี โดยใช้สูตร $t = \frac{\overline{D}\sqrt{N}}{Sd}$ โดย $Sd = \sqrt{\frac{\sum (Di-D)^2}{N-1}}$

ได้ค่า t = -0.085 ซึ่งน้อยกว่าค่า t ในตาราง II ของภาคผนวก ก ซึ่งมีค่า t = 2.26 เมื่อ $\nu_1 = 9$ และ $\nu_2 = 9$

∴ ผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย Loei Rajabhat University

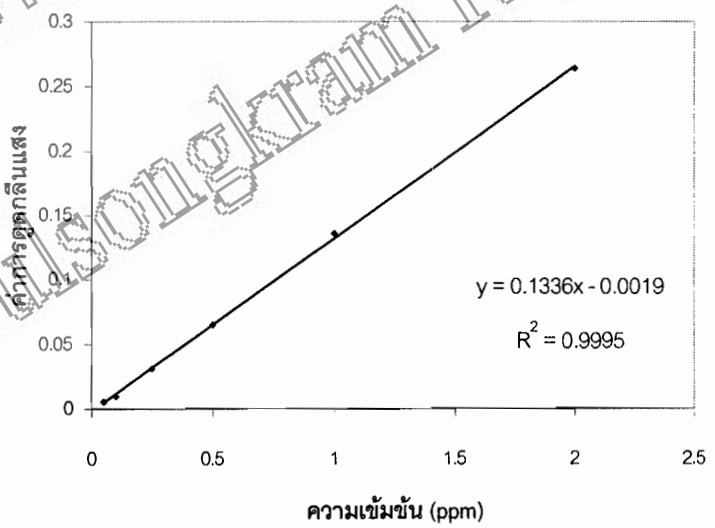
4.5 การวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

ทำการหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ที่ได้ เนื่องจากวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นวิธีที่มีความถูกต้อง เที่ยงตรงสูง โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้นต่าง ๆ วัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐานดังตาราง 4.7 และรูป 4.3

4.5.1 การทำกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก

ตาราง 4.7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II)ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.05	0.0053
0.10	0.0095
0.25	0.0308
0.50	0.0650
1.00	0.1357
2.00	0.2636



รูป 4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก(II)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

4.5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

นำค่าการดูดกลืนแสงของเหล็กที่วัดได้จากสารละลายตัวอย่างผักชนิดต่าง ๆ เทียบกับกราฟมาตรฐาน คำนวณปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักได้ผลดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก (อบ) (g)	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง *	ความเข้มข้นของเหล็ก (II) (ppm)	ปริมาณเหล็ก (mg/100g Sample)	
					ที่วิเคราะห์	เฉลี่ย
ผักปลังขาว	1	5.0095	0.00498	0.39	19.46	17.48
	2	5.0002	0.0484	0.38	19.00	
	3	5.0092	0.0351	0.28	13.97	
ผักชีฝรั่ง	1	5.0020	0.0730	0.56	28.00	24.26
	2	5.0044	0.0850	0.45	22.38	
	3	5.0010	0.0582	0.45	22.40	
ผักแขยง	1	5.0040	0.0863	0.66	32.97	30.44
	2	5.0043	0.0693	0.53	26.38	
	3	5.0040	0.0839	0.64	31.97	
ย่านาง	1	5.0060	0.0289	0.23	11.59	13.19
	2	5.0043	0.0354	0.23	11.59	
	3	5.0068	0.0421	0.33	16.38	
ชะพลู	1	5.0080	0.0539	0.42	21.00	21.51
	2	5.0088	0.0512	0.40	19.96	
	3	5.0087	0.0611	0.47	23.56	
ยอ	1	5.0282	0.0515	0.40	19.86	17.96
	2	5.0114	0.0446	0.35	17.60	
	3	5.0041	0.0423	0.33	16.39	
กระเพรา	1	5.0030	0.0329	0.26	13.00	12.65
	2	5.0095	0.0308	0.24	11.98	
	3	5.0062	0.0322	0.26	12.98	

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี Rajabhat University

ตาราง 4.8 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (ต่อ)

ชนิดของผัก	ครั้งที่	น้ำหนักของผัก (อบ) (g)	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง *	ความเข้มข้นของเหล็ก (II) (ppm)	ปริมาณเหล็ก (mg/100g Sample)	
					ที่วิเคราะห์	เฉลี่ย
มะเขือพวง	1	5.0054	0.0096	0.09	4.40	4.13
	2	5.0047	0.0097	0.09	4.40	
	3	5.0053	0.0068	0.07	3.60	
ผักหนาม	1	5.0160	0.0335	0.27	13.56	14.04
	2	5.0173	0.0344	0.27	13.55	
	3	5.0015	0.0382	0.30	15.00	
ผักกูด	1	5.0058	0.1007	0.77	38.36	37.89
	2	5.0043	0.0958	0.73	36.37	
	3	5.0072	0.1032	0.78	38.94	

* ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ Phetchabun Rajabhat University

บทที่ 5
อภิปราย สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

5.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์และวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักนั้นอาจมีน้อย ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างจึงต้องสลายสารอินทรีย์ซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ก่อน วิธีที่นิยมใช้สำหรับการสลายสารอินทรีย์มีอยู่ สองวิธี ได้แก่ วิธีการเผาให้เป็นเถ้า (Dry ashing) และวิธีย่อยเปียก (Wet digestion) สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการเผาให้เป็นเถ้าซึ่งทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าวิธีย่อยเปียก โดยก่อนเผาได้เติม $Mn(NO_3)_2$ เพื่อช่วยให้ย่อยสารอินทรีย์ได้รวดเร็วขึ้น และช่วยป้องกันการสูญเสียสารไปกับการระเหยหรือติดข้างภาชนะที่ใช้เผา

5.1.2 การหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์

เนื่องจากการวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างผักครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ในรูปของเฟอร์รัส (ferous, Fe^{2+}) ฉะนั้นจึงต้องมีการรีดิวซ์เฟอร์ริค (ferric, Fe^{3+}) ที่อาจปะปนอยู่ในตัวอย่างให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ทั้งหมดก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในการรีดิวซ์สำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์นี้ คือ สแตนนัสคลอไรด์ (stannus chloride, $SnCl_2$) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$2Fe^{3+} + Sn^{2+} \longrightarrow 2Fe^{2+} + Sn^{4+}$$

จากการทดลองพบว่าการรีดิวซ์ Fe^{3+} ให้เป็น Fe^{2+} ด้วย $SnCl_2$ นั้นค่อนข้างจะยุ่งยากมาก และอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลการทดลองเกิดความผิดพลาดได้เพราะก่อนที่จะทำการรีดิวซ์ต้องนำสารละลายตัวอย่างไปอุ่นให้ร้อน แล้วจึงค่อยๆ หยดสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ ลงช้า ๆ ทีละหยดจนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายหมดไป และหยดให้มากเกินพออีก 1-2 หยด เพื่อให้แน่ใจว่า Fe^{3+} ถูกรีดิวซ์ได้หมด ส่วนสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ที่มากเกินพอเล็กน้อยนั้นกำจัดได้โดยใช้เมอร์คิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$) ดังสมการ

$$Sn^{+2} + 2HgCl_2 \longrightarrow Sn^{+4} + Hg_2Cl_2 + 2Cl^-$$

(ตะกอนขาว)

แต่ถ้าเติม Sn^{2+} มากเกินไปจะพบว่า Hg_2Cl_2 อาจถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นเมอร์คิวรี (Mercuri, Hg^0) ซึ่งทำให้สารละลายมีสีเทาดำ จนสังเกตจุดยุติไม่ได้ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ซึ่งจะมีตะกอนขาวของ Hg_2Cl_2 ปนอยู่ไปไทเทรตกับสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมท โดยมี ฟีนิลลามีนซัลโฟเนทเป็นอินดิเคเตอร์ดังสมการ

$$\underset{\text{สีเหลือง}}{Cr_2O_7^{2-}} + 6Fe^{2+} + 14H^+ \longrightarrow \underset{\text{สีเขียว}}{2Cr^{3+}} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$$

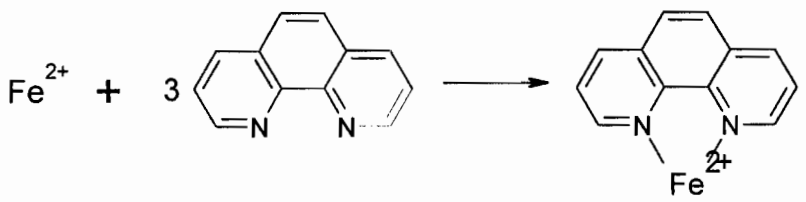
เนื่องจากโครเมียมเป็นโลหะทรานสิชันที่มีเลขออกซิเดชันหลายค่าทำให้สีของสารละลายโครเมียมเปลี่ยนแปลงไปได้ขึ้นกับเลขออกซิเดชันของมัน ดังนั้นปฏิกิริยานี้สารละลายจะเปลี่ยนสีจากเหลืองอ่อนของ Cr^{6+} เป็นสีเขียวอ่อนของ Cr^{3+} โดยที่จุดยุติสารละลายจะมีสีม่วงซึ่งเกิดจาก Cr^{6+} ที่เกินพอทำปฏิกิริยากับอินดิเคเตอร์ ปริมาตรของสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมทและปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้แสดงในตาราง 4.1 จากตารางพบว่าผักกูดมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ตาราง 4.2 แสดงค่าความแม่นยำ (accuracy) ของวิธีวิเคราะห์ในรูปร้อยละการกลับคืน (% recovery) พบว่าการหาปริมาณเหล็กโดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์นี้มีค่าการกลับคืนเฉลี่ยเป็น 83 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 การหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในการรีดิวซ์เหล็กสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี คือ ไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride, $NH_2OH.HCl$) ปฏิกิริยาที่เกิดดังสมการ

$$4Fe^{3+} + 2NH_2OH \longrightarrow 4Fe^{2+} + N_2O + 4H^+ + H_2O$$

การรีดิวซ์ด้วย $NH_2OH.HCl$ ทำได้ง่ายกว่าและสะดวกกว่าการใช้สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ โดยการเติมสารละลายของ $NH_2OH.HCl$ ลงไปในสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จากนั้นทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดงโดยเติม 1,10 phenanthroline และควบคุม pH ประมาณ 3.5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเกลือบางชนิด ปฏิกิริยาที่เกิดดังสมการ



1,10 phenanthroline tris(1,10 phenanthroline)iron(II)

5.1.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

จากการวิเคราะห์พบว่า วิธีการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีให้ผลที่สอดคล้องกัน และไม่มีความแตกต่างกันในเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพบว่าผักกูดมีปริมาณเหล็กมากกว่าผักชนิดอื่นที่นำมาวิเคราะห์ ดังนั้น ผักกูดจึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเหล็กมากกว่าคนปกติ เช่น เด็กวัยเจริญเติบโต หญิงวัยเจริญพันธุ์ เป็นต้น

เนื่องจากเหล็กในอาหารประเภทผักถูกดูดซึมได้ยากกว่าอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ดังนั้นจึงควรบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์ควบคู่ไปด้วยเพื่อช่วยในการดูดซึมเหล็กให้ดีขึ้น

5.1.5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี กับ วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี

ได้ทำการยืนยันผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในผักวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ และ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี กับ วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมตรีซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำสูง จากการวิเคราะห์พบว่าทั้งสามวิธีให้ผลไม่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาปริมาณเหล็กในผักพื้นบ้านจำนวน 10 ชนิด โดยวิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox titration) และวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี (UV-visible spectrophotometry) พบว่าผักที่นำมาวิเคราะห์มีเหล็กเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยผักกูดมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันในเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ตาราง 5.1 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักที่นำมาวิเคราะห์

ชนิดของผักที่นำมาวิเคราะห์	ปริมาณเหล็กที่วิเคราะห์ได้ * (mg/100g Sample)	
	วิธีการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์	วิธี ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี
1. ผักปลังขาว	19.05	21.77
2. ผักชีฝรั่ง	29.07	31.65
3. ผักแขยง	36.65	38.64
4. ย่านาง	17.76	16.52
5. ชะพลู	25.28	29.95
6. ยอ	24.88	21.27
7. กระเพรา	15.54	13.45
8. มะเขือพวง	2.82	2.00
9. ผักหนาม	17.36	17.43
10. ผักกูด	54.32	50.81

* ปริมาณเหล็กเฉลี่ยจากการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในห้องปฏิบัติการขนาดเล็กที่ไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง สามารถหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างผักโดยวิธีไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างจากวิธีที่ใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
2. ตัวอย่างที่ใช้อาจเปลี่ยนเป็นน้ำผัก ผลไม้กระป๋องหรืออาหารอบแห้ง
3. ก่อนที่จะนำครูซิเบิล(crucible) ไปใส่ตัวอย่าง ควรนำไปแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นก่อนประมาณ 30 นาที แล้วนำไปล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น เพื่อกำจัดสารปนเปื้อน
4. ในการไทเทรตอาจใช้แมกเนติก สเตอเรอร์ (Magnetic stirrer) และอินดิเคเตอร์ที่ใช้อาจเตรียมให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น 2-3 เท่า เพื่อลดจำนวนหยดของอินดิเคเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

บรรณานุกรม

1. คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี, ***เคมี เล่ม 2***, อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ, 2535
2. จงรักษ์ ปลูกวงษ์ชื่น, ***การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ใช้เป็นอาหาร***, โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก, 2541
3. นิธิยา รัตนาปนนท์, ***โภชนศาสตร์เบื้องต้น***, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2537
4. พรพิมล ม่วงไทย, ***คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์***, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, กรุงเทพฯ, 2541
5. พรวิมล ลี้ทอง และ ธิติ จันทร์ภิรมย์, ***การหาปริมาณเหล็กในผักใบเขียวด้วยเทคนิค UV/Visible derivative spectrophotometry***, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2540
6. มุกดา จิรภูมินทร์, ***เคมีวิเคราะห์ปริมาณ เล่ม 1***, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2534
7. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, ***หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์ทางเครื่องมือ***, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2541
8. ศุภชัย ใช้เพียมงงศ์, ***ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์***, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2534
9. สถาบันการแพทย์แผนไทย, ***ผักพื้นบ้านภาคกลาง***, องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ, 2542
10. สิริพันธ์ จุลกรังคะ, ***โภชนศาสตร์เบื้องต้น***, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2541
11. สุวรรณี ธีรภาพธรรมกุล, ***วิธีการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม เหล็ก และโซเดียม ในอาหาร โดยใช้ Flame Atomic Absorption Spectrophotometer***, เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ โปรแกรมวิชาเคมี สภาบันราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก, 2542
12. เสาวนีย์ จักรพิทักษ์, ***หลักโภชนการปัจจุบัน***, ไทยวัฒนาพาณิช, กรุงเทพฯ, 2541
13. E.Canfranc, A.Abarca, I.Sierra and M.L.Marina, ***Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis***, **25**(2001)103.
14. J.C.Miller and J.N.Miller, ***Statistic for Analytical Chemistry***, 3 rd Ed., Ellis Horwood PTR Prentice Hall, New York, 1994.
15. J.Leblebici and M.Volkan, ***J.Agric.Food.Chem.***, **46**(1998)173.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

16. L.Jorhem and J.Engman, ***J.AOAC Int.***, **83**(2000)1189.

17. M.Olalla, M.C.Gonzalez, C.Cabrera, and M.C.Lopez, ***J.AOAC Int.***, **83**(2000)189.

18. P.L.Croot and K.A.Hunter, ***Anal.Chim.Acta.***, **406**(2000)289.

19. S.Hirata, H.Yoshihara and M.Aihara, ***Talanta***, **49**(1999)1059.

20. W.H.Mahmoud, ***Anal. Chim. Acta.***, **436**(2001)199.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University

ภาคผนวก ก

ค่าสถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลและการรายงานผลข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{X}$)

เป็นค่าที่ได้จากการหารผลบวกของเลขทุก ๆ จำนวนด้วยจำนวนครั้งของการทดลองเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\Sigma Xi}{N}$$

เมื่อ Xi = ผลที่ได้จากการทดลองแต่ละค่า

N = จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S)

เป็นค่าทางสถิติที่นิยมนำมาใช้กันมากเพื่อบอกความเที่ยงตรงของการวัด และถือว่าเป็นวิธีการวัดที่น่าเชื่อถือวิธีหนึ่ง นิยมใช้กับการทดลองชุดที่มีตัวเลขที่จะต้องนำมาพิจารณาหลาย ๆ จำนวน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองชุดหนึ่ง ๆ หาได้ดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{N-1}}$$

3. เปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percent relative standard deviation, %RSD)

$$\%RSD = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

มุกดา จิรภูมิมินทร์, ***เคมีวิเคราะห์ปริมาณ เล่ม 1*** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2533

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์, ***ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์***., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2534

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

4. การทดสอบวิธีวิเคราะห์สองวิธีว่าให้ผลแตกต่างกันหรือไม่

การทดสอบมี 2 แบบ คือ แบบเอฟ (F-test) และแบบที (T-test) สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบแบบที (T-test) และเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีหลายชนิด สูตรที่ใช้ในการคำนวณจึงเป็น

$$t = \frac{\overline{D}\sqrt{N}}{Sd}$$

โดย

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Di-D)^2}{N-1}}$$

Di = ผลต่างของผลการวิเคราะห์สองวิธี (คิดเครื่องหมาย)

D = ค่าเฉลี่ยของ Di (คิดเครื่องหมาย)

N = จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์

ค่า t ที่ได้จากการคำนวณ ให้นำมาเปรียบเทียบกับค่า t ในตาราง ถ้าค่าคงที่ที่คำนวณได้มากกว่าค่าในตาราง ผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่มากกว่าค่าในตาราง แสดงว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม Pibulsongkram Rajabhat University

ตาราง ค่าของ t ที่ลิมิตความเชื่อมั่นต่าง ๆ

ระดับขั้นความเสรี (N-1)	ค่า t สำหรับลิมิตความเชื่อมั่น (%)			
	80 %	90 %	95 %	99 %
1	3.08	6.31	12.7	63.7
2	1.89	2.92	4.30	9.92
3	1.64	2.35	3.18	5.84
4	1.53	2.13	2.78	4.60
5	1.48	2.02	2.57	4.03
6	1.44	1.94	2.45	3.70
7	1.42	1.90	2.36	3.50
8	1.40	1.86	2.31	3.36
9	1.38	1.83	2.26	3.25
10	1.37	1.81	2.23	3.17
12	1.36	1.78	2.18	3.06
15	1.34	1.75	2.13	2.95
∞	1.29	1.64	1.96	2.58

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี Rajabhat University

J.C.Miller and J.N.Miller, ***Statistic for Analytical Chemistry***, 3 rd Edn., Ellis Horwood PTR Prentice Hall, New York, 1994.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์, ***ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์***., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2534

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณไทเทอร์ (titer) ของสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต 4.8008 x 10^{-5} M

การทดลองหาไทเทอร์ของสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 4.8008 x 10^{-5} M โดยไทเทรตสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 4.8008 x 10^{-3} M กับ แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต ได้ผลดังตาราง

ตาราง ผลการไทเทรตแอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต ด้วย สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8088 x10^{-3} M

ครั้งที่	น้ำหนักของ $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$ (g)	ปริมาตรของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8008 x 10^{-3} (cm^3)	ความเข้มข้นของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่คำนวณได้ (M)
1	0.3068	27.00	4.8295x10^{-3}
2	0.3070	27.20	4.7971x10^{-3}
3	0.2989	26.60	4.7759x10^{-3}
เฉลี่ย	0.3042	26.93	4.8008x10^{-3}

จากการไทเทรตพบว่า

สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8008 x 10^{-3} M 26.93 cm^3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe = $0.304 \times \frac{55.85}{392.14}$ g

= 43.33 x10^{-3} g

= 43.33 mg

สารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8008 x 10^{-3} M 1.00 cm^3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe = $\frac{43.33 \times 1}{26.93}$ mg

= 1.609 mg

ดังนั้น ไทเทอร์ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.8008 x 10^{-3} M เท่ากับ 1.609 mg ของ Fe

แต่เนื่องจากสารละลาย 4.8008 x 10^{-5} M $K_2Cr_2O_7$ เตรียมจากการเจือจางสารละลาย 4.8008 x 10^{-3} M $K_2Cr_2O_7$ ลง 100 เท่า ดังนั้น ไทเทอร์ของสารละลาย 4.8008 x 10^{-5} M $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 1.609 x10^{-2} mg ของ Fe

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ Chiang Mai Rajabhat University

2. การคำนวณหาปริมาณเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างผัก

ตัวอย่างการหาปริมาณเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างผักปลังขาว ของการทดลองครั้งที่ 1 ซึ่งใช้ปริมาตรของสารละลาย 4.8008×10^{-5} M $K_2Cr_2O_7$ ในการไทเทรต เท่ากับ 12.66 cm^3

สารละลาย 4.8008×10^{-5} M $K_2Cr_2O_7$ 1.00 cm^3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe = 1.609×10^{-2} mg

สารละลาย 4.8008×10^{-5} M $K_2Cr_2O_7$ 12.66 cm^3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Fe = $(1.609 \times 10^{-2})(12.66)$

= 0.204 mg

เนื่องจากการไทเทรตแต่ละครั้งใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง เท่ากับ 50 cm^3 แสดงว่า

ในสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 50 cm^3 มีปริมาณ Fe = 0.204 mg

∴ ในสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 250 cm^3 มีปริมาณ Fe = $0.204 \times \frac{250}{50}$ mg

= 1.02 mg

เนื่องจากสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 250 cm^3 เตรียมจากตัวอย่างผักปลังขาวอบ 5.0095 g

แสดงว่า ในตัวอย่างผักปลังขาวอบ 5.0095 g มีปริมาณ Fe = 1.02 mg

∴ ในตัวอย่างผักปลังขาวอบ 100 g มีปริมาณ Fe = $\frac{1.02 \times 100}{5.0095}$ mg

= 20.33 mg

ดังนั้น ตัวอย่างผักปลังขาวอบ 100 g มีปริมาณ Fe = 20.33 mg

3. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (% recovery)

จาก % recovery = $100 \times \frac{(a-b)}{c}$

เมื่อ a คือ ปริมาณเหล็กที่ตรวจพบในตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน หน่วยเป็น mg

b คือ ปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในตัวอย่าง หน่วยเป็น mg

c คือ ปริมาณเหล็กที่เติมลงในตัวอย่าง หน่วยเป็น mg

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Chiangrai Rajabhat University

∴ ตัวอย่างผักที่เติมสารมาตรฐานเหล็กลงไป 0.50 mg

จะได้ % recovery = $\frac{(1.67-1.21)\times 100}{0.50}$

= $\frac{0.46 \times 100}{0.50}$

= 92 %

∴ ตัวอย่างผักที่เติมสารมาตรฐานเหล็กลงไป 1.00 mg

จะได้ % recovery = $\frac{(1.95-1.21)\times 100}{1.00}$

= $\frac{0.74 \times 100}{1.00}$

= 74 %

4. การคำนวณเกี่ยวกับวิธียูวี – วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

4.1 คำนวณหาความเข้มข้นของเหล็ก(II)ในสารละลายตัวอย่างผักโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่างการหาความเข้มข้นของ เหล็ก(II) ในสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว

จากการทดลองครั้งที่ 1 สารละลายตัวอย่างผักปลังขาวดูดกลืนแสง(เฉลี่ย)ได้ เท่ากับ 0.096 และจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเหล็ก : $y = 0.1988x + 0.00002$

เมื่อ y เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

x เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ppm

ฉะนั้น เมื่อแทนค่า $y = 0.096$ ในสมการเส้นตรง

จะได้ $0.096 = 0.1988x + 0.00002$

$x = \frac{0.096 - 0.00002}{0.1988}$

$= 0.48$

ดังนั้น สารละลายตัวอย่างผักปลังขาว มีความเข้มข้นของ เหล็ก (II) เท่ากับ 0.48 ppm

4.2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างผักปลัง

ในการทดลองครั้งที่ 1 ความเข้มข้นของเหล็ก(II)ในสารละลายผักปลังขาวที่ได้จากการเทียบกับกราฟมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 0.48 ppm เนื่องจากปริมาตรสุดท้ายของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กที่นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ 100 cm^3 แสดงว่าในสารละลาย 100 cm^3 มีปริมาณ Fe (II) เท่ากับ 0.48 ppm คิดเป็น mg ได้ดังนี้

ในสารละลายมี Fe (II) อยู่ 0.48 ppm หมายความว่า

ในสารละลาย 1000 cm^3 มีปริมาณ Fe (II) = 0.48 mg

ในสารละลาย 100 cm^3 มีปริมาณ Fe (II) = $\frac{0.48 \times 100}{1.00}$ mg

= 4.8×10^{-2} mg

แต่เนื่องจาก สารละลาย 100 cm^3 มีสารละลายตัวอย่างผักปลังขาวอยู่ 10 cm^3

แสดงว่า ในสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 10 cm^3 มี Fe = 4.8×10^{-2} mg

∴ ในสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 250 cm^3 มี Fe = $\frac{(4.8 \times 10^{-2}) \times 250}{1.0}$ mg

= 1.20 mg

เนื่องจากสารละลายตัวอย่างผักปลังขาว 250 cm^3 เตรียมจากผักปลังขาวอบ 5.0095 g

แสดงว่า ในตัวอย่างผักปลังขาวอบ 5.0095 g มี Fe = 1.20 mg

∴ ในตัวอย่างผักปลังขาวอบ 100 g มี Fe = $\frac{1.20 \times 100}{5.0095}$ mg

= 23.95 mg

ดังนั้น ตัวอย่างผักปลังขาวอบ 100 g มีปริมาณเหล็กอยู่ เท่ากับ 23.95 mg

---

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์, *หฤษัติกรรมคมีวิเคราะห์*., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2534

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี Phranakhon Rajabhat University

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ นางสาวอนงค์ ศรีโสภา

2. ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลพิษณุโลก จ.พิษณุโลก
มัธยมศึกษา	โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี จ.พิษณุโลก
ปริญญาตรี (เคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
ปริญญาโท (เคมี)	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

3. ประวัติการทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 4 ประจำโปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
Pibulsongkram Rajabhat University