

1.1 คำนำ

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของมนุษย์ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลทำให้การขยายตัวทางอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลวงเพื่อให้เห็นต่อความต้องการ ของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะนี้ ผลจากการขยายตัวที่รวดเร็วเกินไปโดยปราศจากการควบคุมอย่างเป็นระบบได้นำปัญหาอันใหญ่หลวงมาสู่มนุษย์ นั่นก็คือ ภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ (pollution) เช่น มลพิษของอากาศ (air pollution) มลพิษของน้ำ (water pollution) พิษของสารเคมีพวกโลหะหนัก (heavy metal) สิ่งเป็นพิษเหล่านี้ นอกจากจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์จากการได้รับโดยตรงแล้ว มนุษย์ยังอาจได้รับโดยทางอ้อมโดยผ่านการสะสมในลูกโซ่อาหาร

มีผู้สนใจศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างต่าง ๆ ที่ได้จากสิ่งแวดล้อมเช่น จากอากาศ น้ำ และพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อต้องการรวบรวมข้อมูลนำมาใช้ทางสถิติศึกษาถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามจะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณโลหะเหล่านี้กับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสภาวะแวดล้อม รวมถึงสิ่งมีชีวิตด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในผักซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับเป็นแนวทางการควบคุม ผลิตหรือป้องกันภาวะมลพิษจากโลหะหนักต่าง ๆ เหล่านี้

โลหะหนักที่สะสมในผักมาจากแหล่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (1, 2)

1. ดิน มลพิษของดินเกิดขึ้น เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตการไถพรวนแอมมอนด์ เป็นสารเคมีที่ใช้กำจัดแมลงซึ่งอาจจะเป็นชนิดของเหลวหรือก๊าซหรือของแข็งที่อันตรายต่อแมลงถึงชีวิต และเกิดจากสารเคมีจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ กากสารเคมี กากของโลหะเหลือทิ้งจากโรงงาน

2. น้ำทิ้ง ซึ่งมาจากอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยน้ำเสียสู่แม่น้ำ ลำคลอง การปล่อยสารเคมีต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำโดยใช้ยาฆ่าแมลง ฟูย การรั่วของน้ำมันขณะขนส่ง การปล่อยน้ำจากโรงงานกัมมันตภาพรังสี การเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตภายในแหล่งน้ำ

3. จากอากาศ มลพิษอากาศที่สำคัญมาจากการคมนาคม การเผาไหม้กระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะเป็นแก๊ซอินทรีย์ แก๊ซอินทรีย์ particulate และอื่น ๆ

โลหะต่าง ๆ ที่สะสมในผิวก้นน้ำส่วนใหญ่มาจากการใช้พวกสารเคมีที่เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลง ยากำจัดโรคพืช ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น (3, 4) โดยพืชจะสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ราก, ลำต้น, ใบ, เมล็ดด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน ตัวอย่างสารป้องกันและกำจัดราได้แก่ เฮกซิลเมทิลวารีคอลลอยด์ เมทิลเมทิลวารีออกซิน เป็นต้น

จากการรายงานการวิจัยของอรุวรรณ ศิริรัตนศิริ (5) วิเคราะห์โลหะหนัก (ตะกั่ว สังกะสี แคลเซียม ทองแดง โครเมียม และปรอท) ในพืชเศรษฐกิจพบว่า

	ช่วง (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
ปริมาณตะกั่วในพืช	9.5 - 47.4	20.6
ปริมาณสังกะสีในพืช	24.7 - 192.6	61.1
ปริมาณแคลเซียมในพืช	0.31 - 13.60	1.34
ปริมาณทองแดงในพืช	0.12 - 42.50	7.61
ปริมาณโครเมียมในพืช	0 - 16.8	-
ปริมาณปรอทในพืช	0 - 0.02	-

เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่าเมื่อโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกายจะถูกสะสมในร่างกายเมื่อถึงปริมาณค่าหนึ่งซึ่งร่างกายไม่สามารถจะทนได้ก็จะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ได้ โลหะหนักบางตัวที่พบในพืชเมื่อเข้าสู่ร่างกายก็จะสะสมในร่างกายได้เช่นเดียวกัน ซึ่งโลหะหนักดังกล่าวจะมีในพืชในปริมาณที่แตกต่างกันดังตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณของโลหะหนักที่มีอยู่ในพืช (6)

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่พบ ($\mu\text{g/g}$)
ตะกั่ว	0.05-3
ปรอท	0.005-1
แคดเมียม	0.01-0.03
สังกะสี	15-100
ทองแดง	2.5-25

โลหะหนักเหล่านี้จะแสดงความเป็นพิษเมื่อร่างกายได้รับเข้าไปมากเกินไปเกินกว่าที่จะทนได้ ปริมาณดังกล่าวแสดงในตาราง 2 (7)

ตาราง 2 ปริมาณโลหะหนักในระกิมที่ร่างกายทนได้โดยไม่เกินอันตราย

โลหะ	ระกิมที่ร่างกายทนทานได้ (mg/70 kg)
ตะกั่ว	120
ปรอท	trace
แคดเมียม	30
สังกะสี	2,300
ทองแดง	100
แมงกานีส	20

1.2 พิษของตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสเมื่อเข้าสู่ร่างกาย

พิษของตะกั่ว (8, 10)

ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางปาก จมูก และผิวหนัง จะก่อให้เกิดอันตรายแบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้

1. อาการแพ้แบบฉับพลัน มีอาการทางประสาทคือ หงุดหงิด นอนไม่หลับ ความวิตกกังวล เชื้อซึม อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อ

2. อาการเรื้อรัง มีอาการทางประสาท และทางเดินอาหารคือ นอนไม่หลับ เหนื่อยง่าย ทาพร่าเกิดภาพหลอน ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร น้ำหนักลด

โรคที่เกิดจากตะกั่ว ทำให้เกิดโรคโลหิตจางเพราะตะกั่ว เข้าไป
ขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง

พิษของปรอท (9)

ปรอทที่สะสมอยู่ในร่างกายก่อให้เกิดผลเสียหายต่อระบบการทำงานของ
ของสิ่งมีชีวิตหลายระบบคือ

1. ระบบประสาท ปรอทสามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มสมองเข้าสู่
ระบบประสาทส่วนกลางได้โดยส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ที่สมองส่วนเซเรเบลลัม และ
เซเรบรัมคอร์เท็กซ์ ทำให้มีอาการผิดปกติเกี่ยวกับประสาทและการมองเห็น

2. ระบบเอนไซม์ จะมีผลขัดขวางหรือยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ประเภทที่มีกลุ่มซัลไฟไฮไดรล ผลที่เกิดขึ้นตามมาจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ
กับหน้าที่ของเอนไซม์ชนิดนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นการขัดขวางการทำงานของ
เอนไซม์ 2,3-diphosphoglycerol dehydrogenase ก็จะทำให้ฮีโมโกลบิน
ลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ได้น้อยลง

3. ระบบอวัยวะอื่น ๆ ได้แก่ ทำลายเนื้อเยื่อเยื่อหุ้ม ไฟเบอร์ของกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดไต กระเพาะ และลำไส้เล็กโอคินัม อันตรายต่อเนื้อเยื่อเยื่อปอดเป็นต้น
แล้วนอกจากนี้ปรอทยังมีผลทำให้โครโมโซมผิดปกติได้อีกด้วย

พิษของแคดเมียม (10)

แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย ทำความเสียหายต่อระบบต่าง ๆ ภายใน
ร่างกายสิ่งมีชีวิตหลายระบบคือ

1. เอนไซม์ แคดเมียมไปแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิดในร่างกาย
กาย หรือแคดเมียมรวมตัวกับหมู่ซัลไฟไฮไดรลในเอนไซม์ เป็นต้น

2. ไท แคลเมียมจะรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ภายในไตที่มีกลุ่มซัลโฟไคริลทำให้หลุดไต่ทำหน้าที่ผิดปกติ

3. กระตุก ทำให้กระตุกเปราะ

4. ปอก, คับ, หัวใจและอวัยวะอื่น ๆ เช่น ทำให้ปอกบวม

พิษของสังกะสี (10)

จะเกิดโรค Founder agau เกิดจากการหายใจเอาไอของสังกะสี (ZnO) เข้าไปจะรู้สึกเหม็น อ่อนเพลีย กระจายน้ำ ปวดขา มึนงง คอแห้ง ในกรณีที่ได้รับปริมาณมาก ๆ จะหนาวสั่นมากมีอุณหภูมิสูงถึง 40°C มีอาการเจ็บปวดมากตามแขนขา ปวดศีรษะ หูอื้อ คลื่นเหียน อาเจียร บางรายมีอาการชักคั่นชักงอ โรคนี้จะไม่มีอาการแบบเรื้อรังแต่จะมีอาการฉับพลัน

พิษของทองแดง (11, 12)

ทองแดงเข้าสู่ร่างกาย แล้วร่างกายจะถูกขับเท่าที่จำเป็น ซึ่งผู้ใหญ่ต้องการทองแดงวันละ 2 mg/day และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100-150 mg ทองแดงที่มากเกินไปจะถูกขับออกมา หลังจากถูกขับแล้วทองแดงจะเข้าสู่กระแสโลหิตรวมตัวกับอัลบูมิน และที่ตับก็จะเกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงทองแดง ถ้าหากในร่างกายมีปริมาณทองแดงมากเกินไปจะทำให้เกิดโรคได้เช่น โรควิลสัน (Wilson's disease) เป็นโรคทางประสาทชนิดหนึ่ง

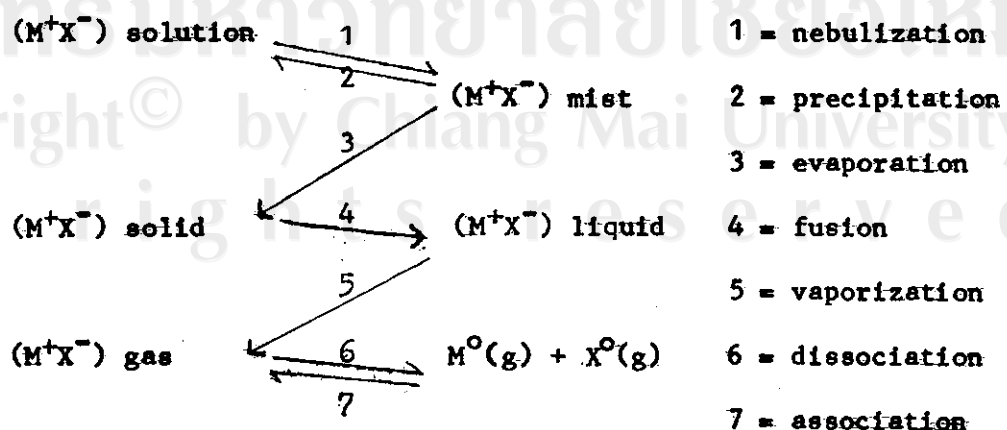
พิษของแมงกานีส (7)

ถ้าได้รับมากจะเกิดการสะสมที่ปอด คับ ม้าม และสมอง จะทำให้สมองบวม มีอาการปวดหัว ง่วงนอน ชีพช้า ค้านทานโรคลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าแมงกานีสเป็นทั้ง mutagen และ carcinogen

1.3 หลักการของ Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) (13, 14)

เป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสงของสารในลักษณะที่เป็นอะตอมอิสระ โดยปกติมักนิยมใช้วิเคราะห์โลหะ ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ มีความถูกต้อง และแม่นยำสูง โดยอาศัยหลักการวัดความเข้มของ resonance radiation จาก light source ที่ลดลงเนื่องจากถูก absorbed โดยอะตอมของโลหะที่ ground state ซึ่งแต่ละธาตุจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน ขั้นตอนในการเกิดอะตอมจำเป็นต้องใช้ความร้อนมาก เรียกว่า เกิด atomization อาจจะใช้ flame เรียกว่า flame atomization หรืออาจไม่ใช้ flame ก็ได้เรียกว่า flameless หรือ non-flame atomization

ในการเกิดอะตอมโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟนั้น สารตัวอย่างที่อยู่ในสถานะของเหลว หรือสารละลายจะถูกดูดขึ้นไป แล้วปั่นเป็นฝอยเล็ก ๆ อยู่ในห้องผสม (mixing chamber) และจะไปรวมกับเชื้อเพลิงและตัวออกซิไคส์ จากนั้นส่วนผสมทั้งหมดก็จะถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟที่ burner เขียนเป็นขั้นตอนของขบวนการเกิดอะตอมได้ดังนี้



รูป 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนที่เกิดในเปลวไฟ

เมื่อตกตัวเป็นอะตอมจะถูกคลื่นคลื่นแสง เมื่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมผ่านออกไปจากอะตอมแล้วจะมีความเข้มลดลง ขนาดของการดูดกลืนความเข้มแสงจะแปรตามความเข้มข้นของอะตอมที่มีอยู่ในสาร เราอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยใช้ Beer-Lambert's law

$$\log \frac{P_o}{P_t} = \text{Absorbance (A)} = \epsilon bc$$

$$C \propto N_o$$

โดยที่ P_o = ความเข้มของคลื่นแสงที่ตกกระทบอะตอม

P_t = ความเข้มของคลื่นแสงที่เหลือออกมา หลังจากถูกดูดกลืนโดยอะตอม

ϵ = molar absorptivity เป็นคุณสมบัติเฉพาะของอะตอม

b = ความยาวของ absorption path ที่มีอะตอมอยู่ (ในที่นี้หมายถึงความยาว slot ของ burner)

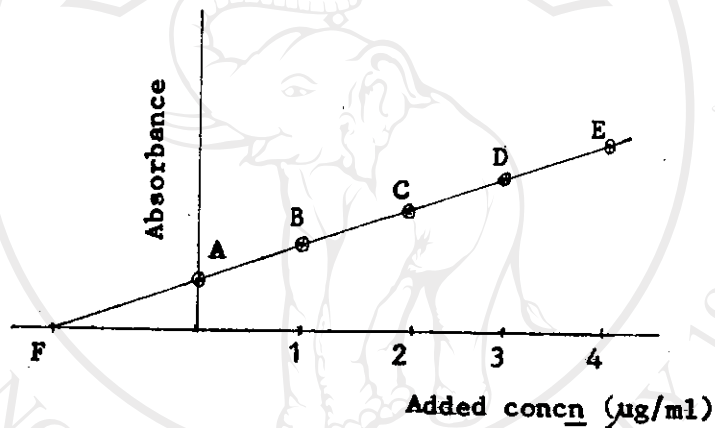
c = ความเข้มข้นของอะตอมที่มีอยู่ในสาร (mole/l)

N_o = จำนวนอะตอมที่อยู่ใน ground state

เราอาจใช้ Beer-Lambert's law คำนวณหาความเข้มข้นของสารได้ แต่เป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องและไม่นิยม ในทางปฏิบัติเราอาจหาปริมาณสารโดยใช้ calibration graph ทั้งนี้โดยวัด absorbance ของสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนหลาย ๆ สารละลาย จากนั้นวัดค่า absorbance ของสารตัวอย่างแล้วนำมาเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่แสดงใน calibration graph อ่านค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ ในกรณีที่สารปริมาณน้อย ๆ และไม่ทราบองค์ประกอบของสารตัวอย่างควรใช้วิธี standard addition เพื่อลด matrix effect

วิธี standard addition ทำได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นต่าง ๆ ของธาตุที่จะวิเคราะห์ลงในสารละลายตัวอย่างที่แยกกัน และ signal ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป plot ค่า absorbance ที่อ่านได้กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป จะได้เป็น

เส้นตรง ถ้าลากไปตัดแกนความเข้มข้นจุด intercept จะเป็นความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

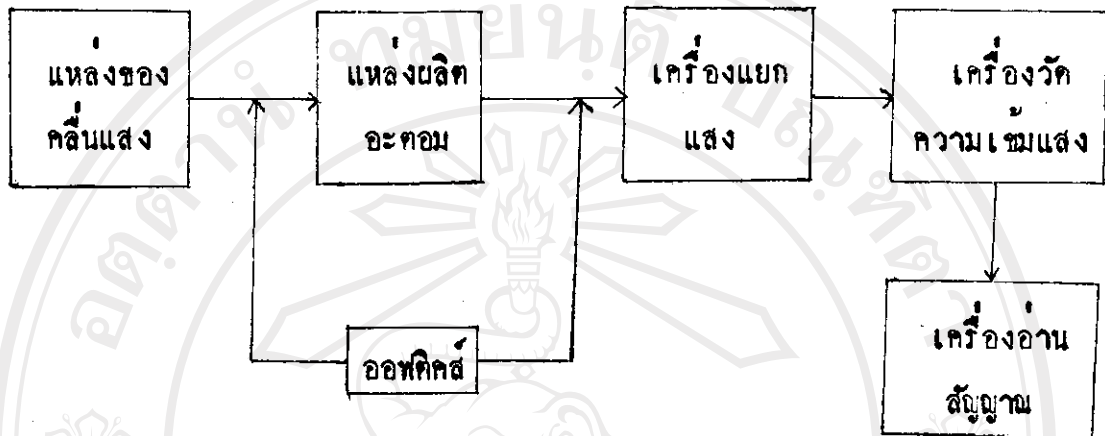


A = Sample signal

F = Sample concentration

รูป 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง absorbance และ concentration ของวิธี standard addition

เครื่องมืออะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญทั้งแสดงในรูป 3



รูป 3 block diagramของเครื่องมืออะตอมมิคแบบซอพชั่นอย่างง่าย

ส่วนการวิเคราะห์หาปรอทใช้เทคนิค Mercury cold vapour techniques (15) เป็น flameless atomic absorption ซึ่งใช้วิเคราะห์ปรอทได้ผลดีที่สุด สามารถวิเคราะห์ปรอทได้ถึงระดับนาโนกรัม เนื่องจากปรอทมีความดันไอสูงไม่ต้องใช้เปลวไฟในการทำให้มันเกิดอะตอม วิธีทำโดยเอาสารละลายตัวอย่างที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบมาทำปฏิกิริยากับ oxidizing acid เพื่อเปลี่ยนให้เกลือที่อยู่ในรูปของสารประกอบอื่นให้อยู่ในรูปไอออนของปรอทคือ Hg^{2+} ซึ่ง ละลายน้ำแล้วเติมสารละลาย SnCl_2 ในสารละลายกรดลงไปเพื่อทำให้ Hg^{2+} เป็น Hg^0 ตามสมการ



วิธีการวิเคราะห์โดยใช้ Cold vapour techniques มี 2 แบบ

คือ (15)

1. Open ended system

วิธีนี้ หลังจากที Hg^{2+} กลายเป็น Hg^0 ใน reaction vessel

และคนสารละลายเป็นเวลา 90 วินาทีแล้ว ผ่านอากาศจาก pump เข้าไปเพื่อไล่อะไอปรอทเข้าสู่ absorption cell เพื่อวัดการดูดกลืนแสงในขณะนั้น จึงปล่อยไอปรอททิ้งไว้ในตู้ควีน วิธีนี้ sensitivity และ accuracy ไม่ดีสำหรับปรอทปริมาณน้อย ๆ เพราะไอปรอทอยู่ใน absorption cell ได้ไม่นานพอ การดูดกลืนแสงโดยอะตอมปรอทไม่เต็มที่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ flow rate ของก๊าซ และ total dilution factor อีกด้วย

2. Recirculating system (closed system)

เป็นวิธีที่เมื่อ Hg^{2+} กลายเป็น Hg^0 ใน reaction vessel และคนเป็นเวลา 90 วินาที แล้วผ่านอากาศจาก pump เข้าไปเพื่อไล่อะไอปรอทให้เข้าสู่ absorption cell แล้วให้ไอปรอทหมุนเวียนอยู่ใน system จนกระทั่งได้ความเข้มข้นสูงสุด ซึ่งดูจากค่า absorbance สูงสุดและคงที่ วิธีนี้มี sensitivity และ accuracy ดีกว่าวิธีแรก เหมาะกับการวิเคราะห์ปรอทปริมาณน้อย ๆ ในสารตัวอย่าง

ตามหลักการของ AAS แล้วอะตอมของธาตุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน และธาตุหนึ่ง ๆ สามารถดูดกลืนแสงได้หลายความยาวคลื่น ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้เราจำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นที่มี sensitivity ที่ที่สุด (มีค่าต่ำสุด) ค่าความยาวคลื่น sensitivity และ optimum level แสดงในตาราง 3

ลิขสิทธิ์ © by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

รูป 4 Cold vapour atomic absorption spectrophotometer รุ่น AA-275
 ของบริษัท Varian Techtron PTY Ltd., Australia

ตาราง 3 sensitivity และ optimum level ของธาตุโลหะหนักบางตัว (16)

Metal	Line (nm)	Sensitivity (µg/ml)	Optimum level (µg/ml)
Pb	217.0	0.3	6-60
	283.3	0.5	10-100
	261.4	50	1,000-10,000
Hg	253.7	10	20-2,000
Cd	228.8	0.03	0.5-5
	326.1	20	400-4,000
Zn	213.9	0.03	0.5-5
	307.6	150	2,000-20,000
Cu	324.8	0.1	2-20
	327.4	0.2	4-40
	217.9	0.4	8-80
	216.5	0.7	15-150
	218.2	0.9	20-200
	222.6	2	40-400
	202.4	4	80-800
	249.2	9	200-2,000
	224.4	22	400-4,000
	244.2	55	1,000-10,000
Mn	279.5	0.06	2-20
	279.8	0.08	2.5-25
	280.1	0.12	4-40
	403.1	0.8	20-200

1.4 ตัวอย่างรายงานการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิดด้วย oxidant ชนิดต่าง ๆ

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้เทคนิค AAS จำเป็นต้องทำให้สารตัวอย่างอยู่ในรูปของสารละลายเพื่อเพิ่ม sensitivity ถ้าสารตัวอย่างมีองค์ประกอบอื่น ๆ ผสมอยู่อาจเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ จำเป็นต้องทำละลายสารเหล่านี้ด้วยวิธีที่เหมาะสม สำหรับการวิเคราะห์หาอนุพันธ์ที่มีปริมาณน้อย ๆ จำเป็นต้องทำละลายสารอินทรีย์ที่เป็น matrix ให้หมดไปเสียก่อน สารที่ละลายยากอาจทำให้เป็นสารละลายด้วยการย่อยสลาย (digest) ทั้งนี้เพื่อ (14)

1. เพิ่ม sensitivity
2. สามารถเจือจางได้ง่าย
3. กำจัด interference
4. ปรับสภาวะให้เหมาะสมได้ง่าย
5. สะดวกในการใช้ flame AAS

ดังนั้น ขบวนการ digest ถือว่าเป็นขบวนการที่สำคัญก่อนนำไปวัด มีรายงานการวิเคราะห์โลหะบางชนิดซึ่งมีวิธีการย่อยสลายด้วย oxidant ดังนี้

1.4.1 วิเคราะห์ปรอท

ใน plant material ใช้ 0.5 M-KOH และเติม 0.3 M KMnO_4 แล้วรีดิวซ์ด้วย oxalic acid (17)

ในผักโขมย่อยสลายด้วย H_2SO_4 เข้มข้นแล้วปล่อยให้เย็นใน water bath 2-3 นาที แล้วเติมสารละลาย KMnO_4 ปล่อยให้เย็นแล้วรีดิวซ์ สารละลาย KMnO_4 ที่มากเกินไปจะเกิดกับสารละลาย hydroxylamine hydrochloride จนได้สารละลายใส (18)

ใน biological material ใช้ $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3$ ย่อยสลายที่ 97°C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง บน water bath สำหรับสารตัวอย่าง 0.5 g (19)

ใน marine organism ย่อยสลายด้วย $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ หรือ $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ (20)

ใน seafood โดยใช้ non-flame AAS ใช้ HgO ผสมรวมกับ Sample ทำการ pretreat ที่ 110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเติม V_2O_5 ในความร้อนที่ 800°C ใน silica tube ที่มีกระแสออกซิเจน แล้ว Hg จะถูกจับด้วย 25 mM-iodine แล้วจึงทำการ treat ด้วย NaOH 10 % และสารละลายของ dihydroxymaleic acid ใน ethanol เพื่อรีดิวซ์ Hg^{2+} เป็น Hg^0 (21)

ในสารตัวอย่างทางพฤกษศาสตร์ย่อยสลายด้วย HF-HNO_3 ตามด้วยสารละลาย KMnO_4 หรือย่อยสลายด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ ตามด้วยสารละลาย KMnO_4 (22)

1.4.2 วิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส

ในเมล็ดกาแฟในการวิเคราะห์ตะกั่วย่อยสลายด้วย HNO_3 (23)

ใน food stuff ย่อยสลายด้วย $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ (3:1) ทำให้อุ่น แล้วเติม H_2O_2 เล็กน้อย (24)

ในอาหารกระป๋องวิเคราะห์ตะกั่วโดยย่อยสลายด้วย $\text{HCl-H}_2\text{O}_2$ หรือ HNO_3 เติมซัน (25)

ใน Plant material ย่อยสลายด้วย 3 ml HNO_3 และ 1.5 ml HClO_4 ในการวิเคราะห์โลหะหนักปริมาณน้อย ๆ (26)

ใน Plant material วิเคราะห์แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว, สังกะสี และแมงกานีสในผักโดยใช้ Flame AAS ย่อยสลายด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ (1:3:3 ml) ตามลำดับ ท่อหนึ่งกรัมของสารตัวอย่างแห้ง ทำการ reflux เป็นเวลา 10 นาที (27)

ใน food stuff หาปริมาณทองแดง, แมงกานีส และสังกะสี ใช้ 3-5 % H_2SO_4 ในการย่อยสลาย (28)

ในการหาปริมาณแมงกานีสในสารตัวอย่างน้อย ๆ ของ biological tissue โดย flameless AAS ใช้ $H_2SO_4-HNO_3$ ในการย่อยสลาย (29)

ในการหาทองแดงในผักใช้ย่อยสลายด้วย $HCl-HNO_3$ (1:1) (30)

การย่อยสลายสารตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์โลหะอินทรีย์อะตอมมิคแอมซอพทินสเปกโตรโฟโตเมตรีเพื่อกำจัดองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่นิยมใช้มีสองวิธีคือ wet oxidation และ dry ashing ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี wet oxidation ในการย่อยสลายผักตัวอย่างต่าง ๆ ก่อนที่จะวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และปรอท สารเคมีที่เป็น oxidant สำหรับใช้ย่อยสลายเนื้อเยื่อพืชที่พบตามรายงานในวารสารมีหลายชนิด (17-31) จะเลือกใช้ oxidant ชนิดใดนั้นขึ้นกับชนิดของธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์ ฤศล หอมระรื่น (31) ได้ศึกษาหาสารเคมีที่เป็น oxidants สำหรับย่อยสลายใบ และหน่อกล้วยเพื่อหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี พบว่าสารละลายผสมระหว่างกรดไนตริกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตรเป็น oxidant ที่เหมาะสมสำหรับย่อยสลาย ใบและหน่อกล้วยก่อนที่จะวิเคราะห์ธาตุทั้งสามดังกล่าว ทอมาบุญกล้า พรหมบุรี (32) ได้พบว่า oxidant นี้สามารถใช้ในการย่อยสลายข้าวสารตัวอย่างก่อนที่จะวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารผสมระหว่างกรดไนตริกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการย่อยสลายผักตัวอย่างก่อนที่จะวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส โดยมีการ

ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ oxidants ทั้งสองเป็น 1:1, 1:2, 1:3 และ 2:1 โดยปริมาตร สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณปรอทได้ใช้ oxidant ในการย่อยสลายตัวอย่างที่ต่างจากการวิเคราะห์ธาตุอื่นๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี cold vapour AAS ซึ่งจะได้นำเสนอต่อไป

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมและรวดเร็วในการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ในผักโขมด้วยวิธี AAS
2. เพื่อหาปริมาณตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ในผัก

1.6 ขั้นตอนของการวิจัย

1. ทำความสะอาดห้องเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์
2. ชุ่มตัวอย่างผักที่จะวิเคราะห์
3. ทำการย่อยสลายด้วย oxidant ที่เหมาะสมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม
4. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโดย AAS ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

1.7 ความสำคัญของงานวิจัย

1. จะทราบปริมาณของโลหะหนักบางชนิดในผัก บอกถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม
2. เพื่อเป็นประโยชน์ในการหามาตรการป้องกันและความคุม