



รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2537

เรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชโดยวิธี sulphuric-peroxide
กับวิธีอื่นๆ ที่ใช้กันแพร่หลาย

**A Comparison between the Sulphuric-peroxide Digestion Method and
Alternative Digestion Procedures for Plant Analysis**

โดย

นางสาวนุจรีย์ บุญเปล่ง

รศ.ดร.ศุภมิตร ภู่วโรดม

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|----------------------|------|
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| วิธีการ | 4 |
| ผลการทดลองและวิจารณ์ | 6 |
| สรุปผลการทดลอง | 14 |
| อ้างอิง | 15 |



T100776



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 1 | แสดงค่าวิเคราะห์ Ca Mg K และ Na ที่ได้จากการย่อยสลาย 3 วิธี | 9 |
| 2 | แสดงค่าวิเคราะห์ Zn Mn และ Fe ที่ได้จากการย่อยสลาย 3 วิธี | 12 |



คำนำ

การวิเคราะห์พืชทางเคมีเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การวิเคราะห์พืชทำให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดไปใช้ (uptake) ซึ่งถูกควบคุมโดยระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการดิน นอกจากนี้ การวิเคราะห์พืชยังมีประโยชน์ดังนี้ 1) ใช้วินิจฉัยหรือยืนยันสิ่งที่มองด้วยตาเปล่า 2) ใช้เป็นเครื่องชี้บ่งปัญหาที่มองไม่เห็น 3) เป็นตัวบ่งบอกการขาดธาตุอาหารในระยะเริ่มแรก และ 4) เป็นเครื่องบ่งปฏิกริยา interactions หรือ antagonism ระหว่างธาตุอาหาร ดังนั้น การวิเคราะห์พืชจึงได้รับความสนใจจากนักวิชาการและนักวิจัยทางด้านธาตุอาหารพืชและความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างกว้างขวาง

วิธีวิเคราะห์พืชที่แม่นยำและรวดเร็วเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้ประโยชน์จากค่าวิเคราะห์ได้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว ในงานวิจัยแต่ละครั้งมีตัวอย่างพืชที่ต้องวิเคราะห์มากมาย ส่วนการวิเคราะห์เพื่อให้บริการแก่เกษตรกรก็จำเป็นที่จะต้องทราบผลในเวลาอันรวดเร็ว จึงสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ได้ทันเวลา

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการย่อยสลาย (digestion) และ 2) ขั้นตอนการวิเคราะห์ธาตุที่ได้จากการย่อยสลาย ในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ธาตุในสารละลายที่ได้จากการย่อยสลายแล้วส่วนใหญ่จะใช้วิธีใกล้เคียงกัน กล่าวคือ วิเคราะห์ N โดยการกลั่นและไตเตรทหาแอมโมเนียในสารละลาย วิเคราะห์ P โดยวิธี colorimetric ส่วนธาตุ K, Ca, Mg รวมทั้งจุลธาตุต่างๆ (เช่น Fe, Mn, Zn, Cu) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer สำหรับขั้นตอนการย่อยสลายมักแตกต่างกันดังนี้ การวิเคราะห์ N ใช้วิธี Kjeldahl ซึ่งเป็นการย่อยสลายแบบ wet oxidation โดยใช้กรด H_2SO_4 และมี selenium mixture เป็น catalyst ในขณะที่ทำการวิเคราะห์ P, K, Ca และ Mg รวมทั้งจุลธาตุต่างๆ นิยมใช้ทั้ง wet และ dry ashing วิธี wet ashing มักใช้ acid mixture ซึ่งมีส่วนผสมของ $HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$ หรือ HNO_3-HClO_4 เป็นตัวย่อยสลาย ส่วนวิธี dry ashing เป็นการเผาตัวอย่างในเตาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ $400-600^{\circ}C$ หลังจากนั้นนำเถ้า (ash) ที่ได้ไปละลายในกรดเจือจาง

จากวิธีการย่อยสลายดังกล่าวข้างต้นจะพบว่า หากต้องการวิเคราะห์ธาตุ N, P, K, Ca, Mg และจุลธาตุในพืชแล้วจะต้องทำการย่อยสลายพืช 2 ครั้ง ทำให้สิ้นเปลืองเวลาสารเคมี และต้องใช้เครื่องแก้วในปริมาณมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ดัดแปลงวิธี Kjeldahl โดยใช้ H_2O_2 เป็นตัว oxidant เพื่อให้สารละลายที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการย่อยสลายเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอื่นๆ ด้วย (Lindner and Harley, 1942; Miller and Miller, 1948; Thomas และคณะ, 1967) อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวไม่ค่อยได้รับความนิยมแพร่หลายนัก เนื่องจากต้องเติม H_2O_2 หลายครั้ง และจะต้องปล่อยให้สารละลายเย็นลงก่อนจึงเติม H_2O_2 จนกระทั่ง Allen (1974) ได้ปรับปรุงวิธี sulphuric-peroxide ($H_2SO_4-H_2O_2$) โดยเติม Li_2SO_4 และ selenium ลงไปในสารละลายด้วย ทำให้ขั้นตอนการย่อยสลายสะดวกขึ้น วิธีนี้จึงได้รับความนิยมมากขึ้น สำหรับประเทศไทย สุมิตร (2534) ได้เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ N และ P โดยใช้ sulphuric-peroxide กับวิธี Kjeldahl และวิธี acid mixture พบว่าค่า N และ P ที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธี sulphuric-peroxide สามารถใช้ในการย่อยสลายพืชเพื่อวิเคราะห์หา N และ P ได้ สำหรับการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชอื่นๆ เช่น K, Ca และ Mg รวมทั้งจุลธาตุต่างๆ ยังไม่มีรายงานการศึกษาในประเทศไทย

ได้มีการศึกษาเพื่อใช้ $H_2SO_4-H_2O_2$ ในการย่อยสลายพืชสำหรับวิเคราะห์ธาตุต่างๆ มา นานแล้ว (Lindner, 1944) และได้มีความพยายามในการดัดแปลง (modify) วิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ ตลอดมา จนกระทั่ง Allen (1974) ใช้ Li_2SO_4 และ Se powder ร่วมในการ digest ซึ่งทำให้ขั้นตอนการวิเคราะห์ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม รายงานการวิจัยต่างๆ ยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่ เช่น Thomas et al. (1967) ได้เปรียบเทียบการวิเคราะห์ธาตุ N, P และ K ในตัวอย่างพืช 10 ชนิด ที่มีความเข้มข้นของธาตุในระดับต่างกันพบว่า ค่าที่ได้จากการย่อยสลายด้วยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ มีค่าใกล้เคียงกับวิธี Kjeldahl สำหรับ N และวิธี dry ashing (อุณหภูมิ $450^{\circ}C$) สำหรับ P และ K ต่อมา Adrian (1973) เปรียบเทียบวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ กับวิธี dry ashing (อุณหภูมิ $550^{\circ}C$) และ wet ashing ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$ หรือ HNO_3-HClO_4) ในการวิเคราะห์ big sage (*Artemisia tridentata*) พบว่า วิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ ให้ค่าความเข้มข้นของธาตุ Ca, Cu, Fe และ Zn ต่ำกว่า แต่ให้ค่า Mg ใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ ในขณะที่ Van Lierop (1976) พบว่าค่า K, Ca และ Mg ที่ย่อยสลายด้วยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ หรือ $H_2SO_4-HClO_4-H_2O_2$ มีค่าสูงกว่าวิธี dry ashing (อุณหภูมิ $550^{\circ}C$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทำนองเดียวกัน Smith (1979) รายงานว่าวิธี acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$) ให้ค่า Ca และ Mg สูงกว่าวิธี $H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$ และวิธี dry ashing แต่ค่า K ที่ได้จากวิธี wet ashing ทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า Na มีค่าผันแปรกับชนิดของพืชและค่าความแม่นยำค่อนข้างต่ำ จากรายงานที่ขัดแย้งกันข้างต้น ทำให้ Haynes (1980) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช 6 ชนิด ปรากฏว่าค่าความเข้มข้นของ P, K, Ca และ Mg ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี $H_2SO_4-Na_2SO_4$,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-Se}$, $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ และวิธี dry ashing มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ทั้ง 4 วิธีมีความแม่นยำ (precision) ใกล้เคียงกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ธาตุ K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn และ Zn โดยใช้วิธี sulphuric-peroxide กับวิธี acid mixture และวิธี Dry ashing



วิธีการ

การเตรียมตัวอย่างพืชใช้ทั้งส่วนใบและเมล็ดของพืช จำนวน 10 ชนิด ล้างทำความสะอาดแล้วผึ่งไว้ให้แห้ง และอบที่อุณหภูมิ 70°C จนกระทั่งน้ำหนักของพืชไม่เปลี่ยนแปลง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. เก็บไว้ในภาชนะที่กันความชื้นได้ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ตามวิธีการย่อยสลายแบบต่างๆ จำนวนตัวอย่างละ 5 ซ้ำ แล้วนำสารละลายที่ย่อยสลายแล้วไปทำการวิเคราะห์ธาตุ โดย K และ Na ใช้ Flame spectrophotometry ส่วน Ca, Mg, Fe, Mn, Zn และ Cu ใช้ Atomic absorption spectrophotometry

1. วิธี sulphuric-peroxide (peroxidation)

การเตรียม sulphuric-peroxide : ใช้สารเคมีดังนี้

| | |
|-----------------------|---------|
| H_2SO_4 | 420 ml. |
| H_2O_2 | 350 ml. |
| $Li_2SO_4 \cdot H_2O$ | 14 g. |
| Se | 0.42 g |

ในการเตรียมจะเตรียมในน้ำเย็นหรือน้ำแข็ง (เนื่องจากสารละลายที่ได้จะร้อนมาก) โดยใช้ flask 1 ลิตร ใส่ H_2O_2 , $Li_2SO_4 \cdot H_2O$ และ Se ก่อน แล้วจึงนำไปใส่ H_2SO_4 ในตู้ดูดควัน การใส่ H_2SO_4 ต้องใส่ช้าๆ ปล่อยให้ปฏิกิริยาของสารละลายหมด เก็บไว้ในที่เย็นที่อุณหภูมิ 2°C สามารถเก็บไว้ได้ไม่เกิน 3-4 สัปดาห์

ชั่งตัวอย่างพืชที่อบแห้งแล้วประมาณ 0.2-0.3 กรัม ลงในหลอดสำหรับ digest ขนาด 75 มิลลิลิตร เติมสารละลาย $H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$ จำนวน 4.4 มิลลิลิตร ทำ predigest ไว้ 1 คืน แล้วนำไป digest ใน digestion block ในระยะแรกของการย่อยสลายใช้อุณหภูมิต่ำ หลังจากนั้นค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึง 350°C จนกระทั่งสารละลายมีสีใส แล้ว digest ต่อไปอีกประมาณ 1 ชั่วโมง ยกหลอดทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายที่ได้ในภาชนะปิดเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

2. วิธี Acid mixture ($\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$)

เตรียมสารละลายสำหรับการย่อยสลายในอัตราส่วน $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4 = 10:1:2$

ซึ่งตัวอย่างพืชที่อบให้แห้งแล้วจำนวน 0.2 - 0.3 กรัม ใส่ใน Kjeldahl digestion tube เติม acid mixture จำนวน 4 มิลลิลิตร ทำ predigest ไว้ 1 คืน แล้วนำไปย่อยสลายใน digestion block ด้วยอุณหภูมิต่ำ จนกระทั่งควันสีน้ำตาลหมด จึงค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงจนถึงประมาณ 220-230°ซ จนสารละลายใส แล้ว digest ต่อไปอีก 1 ชั่วโมง แล้วยกทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บไว้เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

3. วิธี dry ashing

ซึ่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้วประมาณ 0.3 - 0.4 กรัม ใส่ crucible ขนาด 40 มิลลิลิตร ปิด crucible ด้วย foil นำไปเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 450 - 500° ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น เติม HCl 1:1 จำนวน 10 มิลลิลิตร HCl ระเหยจนแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำ 20 มิลลิลิตร และ HCl 1:1 จำนวน 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด ยกทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในภาชนะปิดเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

วิธีวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ Ca และ Mg โดยใช้ Atomic absorption spectrophotometry โดยนำตัวอย่างที่ทำการย่อยสลายแล้วมาเติม Lanthanum oxide solution 5% ในปริมาณ 20% ของ final volume เขย่าให้เข้ากัน
2. การวิเคราะห์ K และ Na โดยใช้ Flame Emission Spectrophotometry
3. การวิเคราะห์หา Mn, Fe, Zn และ Cu โดยใช้ Atomic absorption spectrophotometry

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์หา Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn และ Cu ในตัวอย่างพืช จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยการใช้วิธีการย่อยสลายแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) Sulphuric-peroxide ($H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$) 2) Acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$) และ 3) Dry ashing จากผลการทดลองพบว่า

1. แคลเซียม และแมกนีเซียม

ความเข้มข้นของ Ca และ Mg ที่ได้จากการวิเคราะห์พืชทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกัน คือค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Ca ที่ได้จากการวิเคราะห์พืชทั้ง 10 ชนิด โดยการใช้วิธีการด้วยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และวิธี Acid mixture มีความใกล้เคียงกัน คือ 0.109 และ 0.106 %ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธี Dry ashing ให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว คือให้ค่าเฉลี่ย 0.461% เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Acid mixture ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน พบว่ามีพืชเพียง 5 จาก 10 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งขัดแย้งกับ Smith (1979) ที่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการย่อยสลายพืช 3 แบบ คือ $H_2SO_4-H_2O_2$, Acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$) และ Dry ashing โดยใช้พืชทดลอง 3 ชนิด พบว่า วิธีการย่อยสลายโดย Acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$) ให้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์หา Ca และ Mg ที่สูงกว่าการย่อยสลายโดยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Dry ashing ส่วน $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Dry ashing จะให้ผลในการวิเคราะห์ Ca ที่ใกล้เคียงกันยกเว้นในพืชวิเคราะห์ส่วนที่เป็นใบ ที่วิธีการย่อยสลายโดย $H_2SO_4-H_2O_2$ ให้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์สูงกว่า เช่นเดียวกับ Adrian (1973) ที่รายงานว่า ธาตุ Ca ที่ได้จากการย่อยสลายโดย $H_2SO_4-H_2O_2$ จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าการย่อยสลายแบบ Acid mixture และ Dry ashing ในขณะที่ Haynes (1980) ได้ทำการทดลองและพบว่า วิธี peroxidation ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างไปจากวิธีการย่อยสลายแบบ HNO_3-HClO_4 , $H_2SO_4-Na_2SO_4$ และ Dry ashing เพราะค่าที่ได้ถึงแม้ว่ามีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ K, Ca และ Mg แต่ก็มีแนวโน้มของความแตกต่างที่ไม่ชัดเจนทั้งในส่วน of วิธี (method) ธาตุ (element) และชนิดของพืช

Jones และคณะ (1991) กล่าวว่า การใช้กรด H_2SO_4 มักไม่ได้รับการแนะนำให้ใช้กับพืชที่มี Ca สูง เนื่องจากอาจทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็น $CaSO_4$ ซึ่งมีผลทำให้การวิเคราะห์หา Ca ในสารละลายลดลงและการตกตะกอนนี้มีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุอื่นลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าการวิเคราะห์ Mg พบว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Acid mixture มีค่าเท่ากันคือ 0.131% โดยมีค่าวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจำนวน 9 จาก 10 ตัวอย่าง ส่วนวิธี Dry ashing ให้ค่าต่ำกว่าเล็กน้อย คือ 0.115 % สำหรับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละพืชพบว่ามีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ วิธี wet oxidation ทั้ง 2 วิธี ซึ่งตรงกับการทดลองของ Smith (1979) ที่พบว่าความเข้มข้นของ Mg ที่ได้จากการย่อยสลายแบบ Dry ashing จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีย่อยสลายแบบ Acid mixture ในทำนองเดียวกัน Van Lierop (1976) ทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการย่อยสลายตัวอย่างพืชเพื่อจะทำการวิเคราะห์หา NH_4 , P, K, Ca และ Mg โดยวิธีอัตโนมัติ พบว่าวิธีการย่อยสลายแบบ wet ashing ได้แก่ $H_2SO_4-H_2O_2$ และ $H_2O_2-HClO_4-H_2SO_4$ ให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ K, Ca และ Mg สูงกว่าการย่อยสลายแบบ Dry ashing อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. โปแทสเซียมและโซเดียม

ค่า K ที่ได้จากการย่อยสลายโดยวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$, Acid mixture และ Dry ashing มีค่าเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 0.669, 0.642 และ 0.533% (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาพืชแต่ละตัวอย่างพบว่า มี 6 จาก 10 ตัวอย่างที่ให้ค่าวิเคราะห์ว่าวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Acid mixture ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนตัวอย่างที่เหลือ วิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ ให้ค่าสูงกว่า สำหรับวิธี Dry ashing ให้ค่าต่ำกว่าวิธี wet oxidation ทั้ง 2 มาก ผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Smith (1979) ที่พบว่า การย่อยสลายโดยวิธี wet digestion ทั้ง 2 วิธี คือ $H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$ และ $HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$ จะให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ K เหมือนกัน และมีค่าสูงกว่าอย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับการย่อยสลายแบบ Dry ashing Smith (1976) รายงานว่า ธาตุ K ในตัวอย่างพืชจะเกิดการสูญหาย (loss) เมื่อมีการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า $450^{\circ}C$ แตกต่างจากผลการทดลองของ Haynes (1980) ที่ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างพืช 6 ชนิด และวิธีการย่อยสลาย 4 วิธีคือ $H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$, $HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$, $H_2SO_4-Na_2SO_4$ และวิธี Dry ashing พบว่าถึงแม้มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ K, Ca และ Mg แต่ความแตกต่างก็มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนระหว่างวิธี ธาตุ หรือชนิดของเนื้อเยื่อ นอกจากนั้นยังพบอีกว่าทั้ง 4 วิธี มีความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน และไม่พบการสูญหายของ K ระหว่างทำการย่อยสลายโดยวิธี Dry ashing ที่อุณหภูมิ $490^{\circ}C$ เวลา 5 ชั่วโมง ส่วนการทดลองของ Thomas และคณะ (1967) พบว่าความเข้มข้นของ K ใน

สารละลายที่ทำการย่อยสลาย โดยวิธี Dry ashing และวิธี $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ ให้ค่าเฉลี่ย ความเข้มข้นที่ไม่แตกต่างกัน

สำหรับการวิเคราะห์ Na พบว่า ทั้ง 3 วิธีให้ค่าเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 0.090, 0.072 และ 0.070 % สำหรับวิธี Acid mixture และ วิธี Dry ashing ถึงแม้จะมีค่าเฉลี่ย ใกล้เคียงกัน แต่มีเพียง 7 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนวิธี $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ นั้นโดยทั่วไปจะให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าทั้งวิธี Acid mixture และ Dry ashing

ตารางที่ 1 แสดงค่าวิเคราะห์ Ca Mg K และ Na ที่ได้จากการย่อยสลาย 3 วิธี

| No. | Method | Ca (%) | | Mg (%) | | K (%) | | Na (%) | |
|-----|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | x | SD | x | SD | x | SD | x | SD |
| 1 | 1 | 0.257 | 0.010 | 0.188 | 0.005 | 1.239 | 0.022 | 0.199 | 0.007 |
| | 2 | 0.238 | 0.007 | 0.189 | 0.003 | 1.227 | 0.024 | 0.191 | 0.007 |
| | 3 | 0.976 | 0.016 | 0.162 | 0.003 | 0.971 | 0.011 | 0.156 | 0.006 |
| 2 | 1 | 0.203 | 0.005 | 0.112 | 0.007 | 0.808 | 0.026 | 0.048 | 0.012 |
| | 2 | 0.179 | 0.004 | 0.106 | 0.003 | 0.786 | 0.009 | 0.036 | 0.014 |
| | 3 | 0.751 | 0.030 | 0.100 | 0.004 | 0.646 | 0.011 | 0.025 | 0.008 |
| 3 | 1 | 0.056 | 0.002 | 0.173 | 0.009 | 0.666 | 0.024 | 0.143 | 0.004 |
| | 2 | 0.040 | 0.005 | 0.165 | 0.006 | 0.534 | 0.009 | 0.065 | 0.011 |
| | 3 | 0.229 | 0.009 | 0.148 | 0.003 | 0.485 | 0.026 | 0.097 | 0.027 |
| 4 | 1 | 0.035 | 0.001 | 0.097 | 0.002 | 0.606 | 0.020 | 0.057 | 0.020 |
| | 2 | 0.042 | 0.007 | 0.105 | 0.005 | 0.610 | 0.014 | 0.034 | 0.009 |
| | 3 | 0.200 | 0.004 | 0.091 | 0.002 | 0.501 | 0.010 | 0.039 | 0.007 |
| 5 | 1 | 0.001 | 0.001 | 0.069 | 0.003 | 0.140 | 0.005 | 0.037 | 0.012 |
| | 2 | 0.005 | 0.001 | 0.069 | 0.005 | 0.137 | 0.019 | 0.036 | 0.014 |
| | 3 | 0.046 | 0.009 | 0.066 | 0.004 | 0.134 | 0.008 | 0.069 | 0.029 |
| 6 | 1 | 0.061 | 0.002 | 0.084 | 0.001 | 0.714 | 0.015 | 0.108 | 0.004 |
| | 2 | 0.053 | 0.003 | 0.085 | 0.003 | 0.712 | 0.007 | 0.087 | 0.011 |
| | 3 | 0.288 | 0.006 | 0.081 | 0.003 | 0.584 | 0.013 | 0.078 | 0.004 |
| 7 | 1 | 0.001 | 0.001 | 0.039 | 0.004 | 0.052 | 0.008 | 0.043 | 0.008 |
| | 2 | 0.001 | 0.001 | 0.037 | 0.006 | 0.039 | 0.016 | 0.031 | 0.011 |
| | 3 | 0.026 | 0.026 | 0.036 | 0.001 | 0.050 | 0.007 | 0.030 | 0.014 |
| 8 | 1 | 0.151 | 0.002 | 0.123 | 0.005 | 0.736 | 0.021 | 0.048 | 0.02 |
| | 2 | 0.151 | 0.003 | 0.120 | 0.004 | 0.707 | 0.008 | 0.035 | 0.011 |
| | 3 | 0.649 | 0.004 | 0.110 | 0.001 | 0.585 | 0.006 | 0.041 | 0.032 |
| 9 | 1 | 0.191 | 0.004 | 0.262 | 0.003 | 0.905 | 0.013 | 0.099 | 0.008 |
| | 2 | 0.205 | 0.004 | 0.264 | 0.003 | 0.882 | 0.018 | 0.107 | 0.028 |
| | 3 | 0.817 | 0.011 | 0.201 | 0.001 | 0.723 | 0.009 | 0.075 | 0.007 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

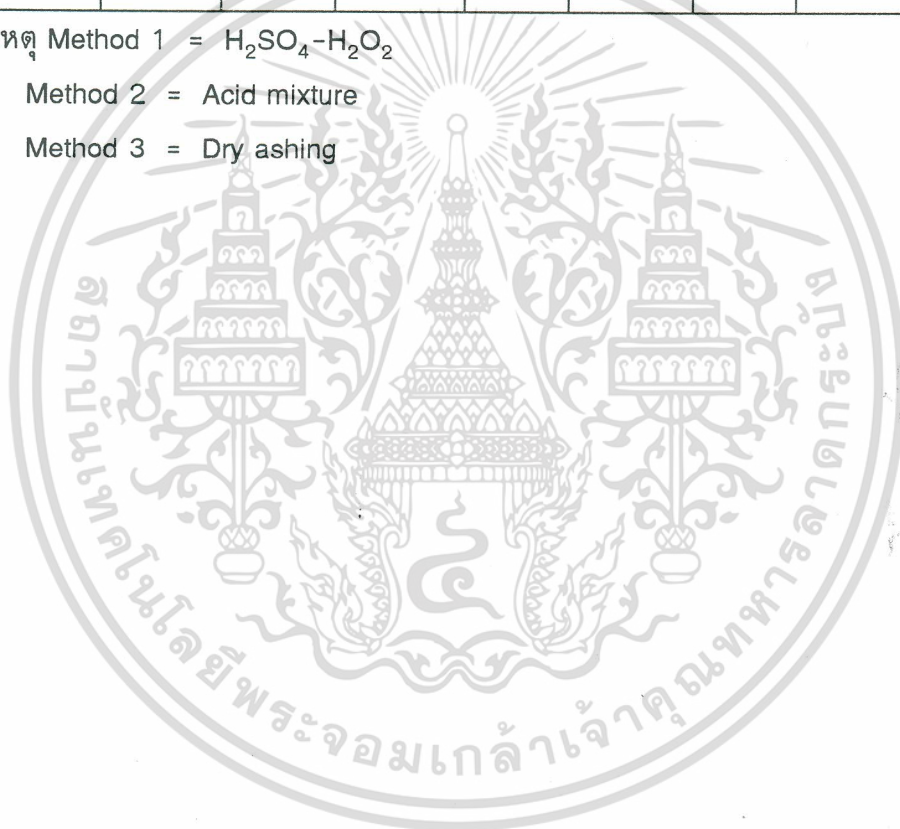
ตารางที่ 1 (ต่อ)

| No. | Method | Ca (%) | | Mg (%) | | K (%) | | Na (%) | |
|-----|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | x | SD | x | SD | x | SD | x | SD |
| 10 | 1 | 0.136 | 0.008 | 0.170 | 0.008 | 0.823 | 0.038 | 0.108 | 0.004 |
| | 2 | 0.144 | 0.006 | 0.169 | 0.006 | 0.785 | 0.022 | 0.097 | 0.018 |
| | 3 | 0.624 | 0.014 | 0.154 | 0.004 | 0.652 | 0.011 | 0.085 | 0.006 |
| | 1 | 0.109 | | 0.131 | | 0.669 | | 0.090 | |
| | 2 | 0.106 | | 0.131 | | 0.642 | | 0.072 | |
| | 3 | 0.461 | | 0.115 | | 0.533 | | 0.070 | |

หมายเหตุ Method 1 = $H_2SO_4-H_2O_2$

Method 2 = Acid mixture

Method 3 = Dry ashing



3. จุลธาตุ

ค่าการวิเคราะห์จุลธาตุ โดยเฉพาะ Zn พบว่าทั้งวิธี $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ และ Acid mixture มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ จำนวน 9 ตัวอย่าง มีเพียง 1 ตัวอย่างเท่านั้นที่วิธี $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ ให้ค่าสูงกว่า ส่วนวิธี Dry ashing ให้ค่าต่ำกว่าเล็กน้อย (ตารางที่ 2)

สำหรับ Mn นั้น ค่าวิเคราะห์เฉลี่ยทั้ง 3 วิธีมีค่า 92.75, 82.93 และ 73.59 ppm โดยมีตัวอย่างจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างวิธีที่ 1 และ 2

ค่า Fe ที่วิเคราะห์จากทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก มีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการย่อยสลาย

ตารางที่ 2 แสดงค่าวิเคราะห์ Zn Mn และ Fe ที่ได้จากการย่อยสลาย 3 วิธี

| No. | Method | Zn | | Mn | | Fe (%) | |
|-----|--------|--------|-------|--------|------|--------|-------|
| | | x | SD | x | SD | x | SD |
| 1 | 1 | 172.19 | 3.87 | 160.84 | 4.56 | 0.116 | 0.003 |
| | 2 | 166.55 | 7.58 | 154.80 | 6.95 | 0.159 | 0.002 |
| | 3 | 152.96 | 3.82 | 135.87 | 4.28 | 0.150 | 0.004 |
| 2 | 1 | 56.46 | 11.94 | 73.68 | 3.77 | 0.129 | 0.003 |
| | 2 | 50.71 | 2.84 | 67.32 | 1.73 | 0.177 | 0.003 |
| | 3 | 43.87 | 1.42 | 30.55 | 2.46 | 0.158 | 0.003 |
| 3 | 1 | 56.81 | 3.46 | 164.02 | 6.04 | 0.145 | 0.009 |
| | 2 | 40.63 | 3.2 | 102.84 | 5.49 | 0.196 | 0.008 |
| | 3 | 43.12 | 4.61 | 103.68 | 12.1 | 0.176 | 0.007 |
| 4 | 1 | 34.76 | 2.12 | 53.86 | 1.96 | 0.157 | 0.005 |
| | 2 | 35.78 | 2.17 | 52.45 | 2.71 | 0.210 | 0.005 |
| | 3 | 33.39 | 1.46 | 45.29 | 1.56 | 0.182 | 0.004 |
| 5 | 1 | 33.76 | 3.31 | 11.25 | 1.33 | 0.143 | 0.003 |
| | 2 | 34.08 | 3.01 | 11.68 | 1.98 | 0.195 | 0.007 |
| | 3 | 36.69 | 3.23 | 15.54 | 1.91 | 0.168 | 0.004 |
| 6 | 1 | 34.52 | 0.17 | 329.37 | 7.68 | 0.175 | 0.008 |
| | 2 | 36.72 | 1.53 | 312.41 | 6.28 | 0.231 | 0.007 |
| | 3 | 34.05 | 3.02 | 249.93 | 6.91 | 0.241 | 0.008 |
| 7 | 1 | 22.56 | 1.05 | 32.38 | 2.23 | 0.162 | 0.003 |
| | 2 | 26.97 | 4.99 | 30.39 | 3.27 | 0.210 | 0.007 |
| | 3 | 21.70 | 1.37 | 30.58 | 1.52 | 0.172 | 0.003 |
| 8 | 1 | 37.79 | 5.23 | 35.35 | 2.24 | 0.181 | 0.006 |
| | 2 | 34.11 | 1.55 | 35.08 | 1.95 | 0.238 | 0.005 |
| | 3 | 30.62 | 1.59 | 34.24 | 0.65 | 0.194 | 0.005 |
| 9 | 1 | 38.52 | 3.43 | 37.02 | 1.66 | 0.198 | 0.009 |
| | 2 | 38.88 | 3.06 | 34.46 | 1.66 | 0.251 | 0.006 |
| | 3 | 31.97 | 0.89 | 31.31 | 0.16 | 0.204 | 0.005 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| No. | Method | Zn | | Mn | | Fe (%) | |
|-----|--------|-------|------|-------|------|--------|-------|
| | | x | SD | x | SD | x | SD |
| 10 | 1 | 28.28 | 3.66 | 29.76 | 2.23 | 0.223 | 0.005 |
| | 2 | 31.83 | 4.54 | 27.91 | 1.41 | 0.271 | 0.003 |
| | 3 | 21.37 | 1.66 | 28.93 | 0.81 | 0.219 | 0.002 |
| | 1 | 51.56 | | 92.75 | | 0.159 | |
| | 2 | 49.63 | | 82.93 | | 0.210 | |
| | 3 | 44.97 | | 73.59 | | 0.179 | |

หมายเหตุ Method 1 = $H_2SO_4-H_2O_2$

Method 2 = Acid mixture

Method 3 = Dry ashing

สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์หา Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn และ Cu ในตัวอย่างพืชจำนวน 10 ตัวอย่าง โดยการใช้วิธีการย่อยสลายแตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) Sulphuric-peroxide ($H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4-Se$) 2) Acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$) และ 3) Dry ashing จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของ Ca ที่ทำการย่อยสลายโดยวิธี Dry ashing จะให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Ca สูงกว่าวิธี wet oxidation ทั้ง 2 วิธี ส่วนวิธี wet oxidation ทั้ง 2 วิธีให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Acid mixture เท่ากับ 0.109 และ 0.106% ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ Mg ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการย่อยสลายโดยวิธี wet oxidation มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.131% ซึ่งสูงกว่าวิธี Dry ashing สำหรับค่าความเข้มข้นของ K วิธีย่อยสลายแบบ wet oxidation ทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติและให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงกว่าวิธี Dry ashing ส่วนการวิเคราะห์ Na วิธีการย่อยสลายวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ ให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าวิธี Acid mixture และ Dry ashing ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน.

สำหรับค่าการวิเคราะห์จุลธาตุ ค่าความเข้มข้นของ Zn ในวิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ และ Acid mixture ให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนวิธี Dry ashing ให้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่า ส่วนค่า Mn วิธี $H_2SO_4-H_2O_2$ ให้ค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนวิธี Dry ashing ให้ค่าต่ำสุด สำหรับค่าวิเคราะห์ Fe ทั้ง 3 วิธีมีความแตกต่างกันมาก

เอกสารอ้างอิง

- สุมิตรา ภู่วโรตม. 2534. การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในพืชโดยใช้ sulphuric-peroxide กับวิธี Kjeldahl หรือ acid mixture. วารสารดินและปุ๋ย 13:142-147.
- Adrian, W.J. 1973. A comparison of a wet pressure digestion method with other commonly used wet and dry-ashing methods. *Analyst* 98:213-216.
- Allen, S.E. (ed.). 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. John Wiley and Sons, New York.
- Haynes, R.J. 1980. A comparison of the two modified Kjeldahl digestion techniques for multi-element plant analysis with conventional wet and dry ashing methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11:459-467.
- Jones, Jr.J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc., USA.
- Linder, R.C. and C.P. Harley. 1942. A rapid method for determination of nitrogen in plant tissue. *Science* 96:565-566.
- Lindner, R.C. 1944. Rapid analytical methods for some of the more common inorganic constituents of plant tissue. *Plant Physiol.* 19:76-89.
- Miller, G.L. and E.S. Miller. 1984. Determination of nitrogen in biological materials. *Anal. Chem.* 20:481-488.
- Smith, V.R. 1926. The nutrient statuses of Marion Island plant and soils. Unpublished M.Sc. thesis, University of the Orange Free State, Republic of South Africa.
- Smith, V.R. 1979. A comparison between the $H_2SO_4-H_2O_2-Li_2SO_4$ -Se oxidation method and alternative digestion procedures for plant nutrient analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10:1067-1077.
- Thomas, R.L., R.W. Sheard and J.R. Moyer. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 59:240-243.

Van Lierop, W.M. 1976. Digestion procedures for simultaneous automated determination of NH_4 , P, K, Ca and Mg in plant material. *Can. J. Soil Sci.* 56:425-432.