

เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องย่อยอาหารสัตว์กับเตาไฟฟ้าในการวิเคราะห์ 167

แร่ธาตุในพืชอาหารสัตว์

ประพิศ คล้ายนิล

พิสิฏฐรัตน์ พลชัย

และนัตยา สินธุรัตน์

งานวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์

A Comparative Study on the Use of Block Digestor and Hot Plate
Techniques to Determine the Mineral Contents in Forages

NUALMANEE KANJANAPIBUL, PRAPIT KLAININ,

CHERAPATANA VONGPIPATANA, PILAIWAN POLPERCH

AND NATAYA SINTHURAT

Abstract

The study was to compare the efficiency of two techniques to determine the contents of nine mineral elements in five kinds of forage grasses, (*Hemachne pseudointerrupta* C. Muell., *Panicum repens* Linn., *Oryza rufipogon* Griff., *Brachiaria mutica* and *Saccharum officinarum* Linn.). A block digester and a hot plate were used to digest the samples by acid digestion method. The results have shown that, except for Cu, P and K, there were no statistical difference between the two techniques for determining Ca, Mg, Mn, Fe, S and Na. The average of Cu and P from the samples digested on the block digester were higher than the average of those digested on the hot plate by 0.03 and 3.16 mg/100g respectively. In the case of K, the value obtained by the hot plate technique was higher by 0.09 %. Acid digestion on the block digester was rapid, precise (except for K) and more convenient when compared to the digestion on the hot plate.

บทนำ

การวิเคราะห์หาแร่ธาตุในพืชอาหารสัตว์ที่กระทำกันอยู่ในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่จะต้องมีการย่อยสลายตัวอย่างพืช เพื่อเปลี่ยนสภาพแร่ธาตุในพืชจากสารประกอบอินทรีย์ให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ การย่อยสลายพืชนั้นมีหลายวิธี แต่ละวิธีมักจะเหมาะสมกับการหาปริมาณเฉพาะธาตุใดธาตุหนึ่งเท่านั้น ไม่อาจใช้กับธาตุอื่น ๆ ได้หรือได้บางแต่ไม่หมดทุกธาตุ ทั้งนี้เพราะบางธาตุอาจจะหายไปขณะทำการย่อย หลักในการเปลี่ยนสภาพของสารประกอบอินทรีย์ในพืชให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่เหมาะสม โดยไม่ให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้นขณะทำการย่อยสลายนั้น ทำได้ 2 วิธีคือ

1. Dry Ashing

2. Acid Digestion (Wet Digestion)

1. Dry Ashing เป็นการทำลายสารอินทรีย์โดยใช้ความร้อนเผา ($400-600^{\circ}\text{C}$) อุณหภูมิที่ใช้เผามีความสำคัญมาก อาจทำให้แร่ธาตุระเหยและสูญเสียไปได้ กรูทกุล (2512) พบว่าอุณหภูมิ $550-600^{\circ}\text{C}$ โปแตสเซียมจะสูญเสียไปเป็นปริมาณมาก แต่ถาอุณหภูมิสูงกว่า 600°C ทั้งโปแตสเซียมและฟอสฟอรัสจะสูญเสียไปเกือบหมด มีแต่พวกโลหะหนักเท่านั้นที่ยังเหลืออยู่ สำหรับฟอสฟอรัสอาจจะไม่สูญหายไปเลย ถ้าหากผสมแมกนีเซียมไนเตรต หรือแมกนีเซียมเอซิเตท หรือโซเดียมคาร์บอเนตกับตัวอย่างก่อนเผา ก็ทำให้ตัวอย่างเป็นค้างเสียก่อน การเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงในตัวอย่างก่อนเผา จะช่วยให้กำมะถันและคลอรีนยังเหลืออยู่โดยไม่มีการสูญเสียไปด้วย

Dr. M. Peech (อ้างตามกรูทกุล, 2512) แนะนำวิธีเผาตัวอย่างพืชโดยไม่สูญเสียธาตุใด ๆ เลย (ยกเว้นไนโตรเจน และคาร์บอน) คือลดอุณหภูมิที่เผาลงมาให้เหลือเพียง $400 \pm 10^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาหลาย ๆ ชั่วโมงหรือค้างคืน ทั้งตัวอย่างให้เย็นแล้วเติมกรดไนตริก 1 นอร์แมลงไป ระเหยให้แห้งบนเตาไฟฟ้า แล้วเอาเข้าเตาเผาที่ $400 \pm 10^{\circ}\text{C}$ นาน 10 นาที จะได้เถ้าขาวสะอาด ละลายด้วยกรดเกลือเจือจาง ใช้หาปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ได้ ยกเว้นไนโตรเจน คาร์บอน และคลอรีน

2. Acid Digestion เป็นการทำลายสารอินทรีย์ในพืชออกให้เหลือแต่แร่ธาตุ โดยการออกซิไดส์ตัวอย่างพืชด้วยกรดหนักเข้มข้น เช่นกรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริก หรือกรดผสม(ไนตริก-ซัลฟูริก เปอร์คลอริก) การย่อยตัวอย่างด้วยกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นดีกว่าวิธี Dry Ashing กล่าวคือ กรดเปอร์คลอริกจะช่วยให้โปแตสเซียมไม่ระเหยไป และยังได้สารละลาย (Solution) ที่ใส มีแร่ธาตุต่าง ๆ อยู่ครบ

มีซิลิกอนในรูปของตะกอนขุ่นขาวอยู่บ้าง แต่สามารถแยกออกได้โดยวิธีกรองหรือปั่น สารละลายที่กรองได้ใช้วิเคราะห์หาแร่ธาตุที่มีปริมาณมาก และปริมาณน้อยได้ (Jackson, 1958) แต่ก็มีข้อเสียที่ว่าเมื่อกรดเปอร์คลอริกรวมกับสารอินทรีย์แล้วทำให้ร้อน อาจมีการระเบิดเกิดขึ้นได้ การระเบิดนี้รุนแรงมากซึ่งอันตรายที่เกิดจากการระเบิดนี้สามารถป้องกันได้โดย (1) ย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริกเข้มข้นก่อน (Predigestion) (2) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปในการกรดไนตริก-เปอร์คลอริกเพื่อช่วยในการย่อย (3) กำจัดควันของเปอร์คลอริกโดยดูดควันผ่านน้ำเพื่อป้องกันการสะสมในตู้ควัน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นมาได้ (Allen 1974; American Public Health Association 1975; Everson 1975; Jackson 1958; Walsh 1971) การเติมกรดไนตริกและเปอร์คลอริกลงในตัวอย่างแล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืนก่อนจะนำไปย่อยบนเตาไฟฟ้า จะช่วยให้อันตรายอันจะเกิดจากการระเบิดของกรดเปอร์คลอริกลดน้อยลง (Suddendorf, 1984)

Jackson (1958) ได้ทดลองย่อยตัวอย่างพืชโดยใช้วิธีเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยให้ถึง 180-200°C อย่างรวดเร็ว พบว่าประสิทธิภาพในการออกซิไดส์ของกรดเปอร์คลอริกสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สูงกว่าอัตราการระเหย การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ผลดีขึ้นความร้อนจะทำให้กรดเปอร์คลอริก ที่รวมอยู่กับน้ำกลายเป็นกรดเปอร์คลอริกที่ปราศจากน้ำแล้วแตกตัวเป็นคลอรีนและคลอจีเจน ซึ่งทั้ง 2 ตัวนี้จะไปออกซิไดส์ทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว

การย่อยตัวอย่างด้วยกรดแก่เข้มข้น (Acid Digestion) นี้ เป็นที่นิยมหาแร่ธาตุในพืชและอาหารสัตว์มากกว่าวิธี Dry Ashing การย่อยแบบ Acid Digestion ที่ใช้ยูเรเนียมใช้ย่อยบนเตาไฟฟ้า (Hot Plate) ธรรมดา แต่ปัจจุบันมีเครื่องย่อยแบบ Block Digestor ซึ่งมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิสามารถปรับความร้อนที่ใช้ในการย่อยได้ จึงได้นำเครื่องย่อยนี้มาศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับเตาไฟฟ้าที่มียูเรเนียม โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของแร่ธาตุ 9 ชนิดในพืชอาหารสัตว์ ที่ย่อยตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือทั้ง 2 นี้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องย่อยอาหารสัตว์ (Block Digestor) - Technicon BD 20 และหลอดย่อย (Digestion Tubes) ขนาด 250 ซีซี
2. เตาไฟฟ้า (Hot Plate) - Thermolyne Type 2000

3. Atomic Absorption Spectrophotometer-Perkin Elmer Model

303 และ Model 5000

4. Spectrophotometer-Bausch & Lomb Spectronic 20

5. Flame Photometer-Coleman Model 21

6. Fume Hood

สารเคมีที่ใช้

1. กรดไนตริกเข้มข้น ชนิด เอ อาร์

2. กรดเปอร์คลอริก 70 % ชนิด เอ อาร์

ตัวอย่างที่ใช้

ใช้ตัวอย่างพืชอาหารสัตว์ที่ขึ้นในสภาพดินพรุ จังหวัดนราธิวาส มี 5 ชนิดคือ

1. หญ้าปล้อง (Hymenachne pseudointerrupta C.Muell.)

2. หญ้าชันกาด (Panicum repens Linn.)

3. หญ้าข้าวผี (Oryza rufipogon Griff.)

4. หญ้ามอริซัส (Brachiaria mutica)

5. อ้อย (Saccharum officinarum Linn.)

หญ้ามอริซัสและอ้อยเก็บจากแปลงทดลองในพื้นที่ดินพรุทุกแปลง ส่วนหญ้าปล้องหญ้าชันกาด และหญ้าข้าวผีนั้น เก็บจากทุ่งธรรมชาติบริเวณใกล้แปลงทดลอง โดยเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ระยะห่างกัน 1 เดือน ตัวอย่างที่เก็บแต่ละครั้งเก็บในวันเดียวกัน นำมาอบแห้งแล้วบดละเอียด ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองรวมทั้งสิ้น 30 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างนำมาทดลองเป็น 2 ชุด ทำชุดละ 2 ขี้

ชุดที่ 1 ทำตามวิธีของ Shaw โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ใน digestion tube ขนาด 250 ซีซี เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ซีซี กรดเปอร์คลอริก 70 % 4 ซีซี เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ข้างคืน ก่อนนำไปย่อยในเครื่องย่อยอาหารสัตว์ โดยปรับอุณหภูมิของเครื่องให้มียอดอุณหภูมิ 150°C ก่อน แล้วย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ต่อมาเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C แล้วย่อยต่ออีกครั้งครึ่งชั่วโมง สารละลายที่ได้จะใส มีปริมาตรเหลือประมาณ 3-5 ซีซี ยกกลงทิ้งให้เย็นเติมน้ำจนครบปริมาตร 50 ซีซี เขย่าให้เข้ากัน กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 สารละลายที่กรองได้ใช้หาแร่ธาตุต่าง ๆ

ชุดที่ 2 ซึ่งตัวอย่าง เติมกรดเหมือนชุดที่ 1 ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 125 ซีซี แล้วทิ้งไว้ค้างคืน นำไปย่อยบนเตาไฟฟ้าอุณหภูมิประมาณ 150 °C นานประมาณ 1 ชม. แล้วปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นถึงประมาณ 200 °C ย่อยต่อไปจนกระทั่งสารละลายที่อยู่ใน flask มีสีขาวใสปริมาณเหลือประมาณ 3-5 ซีซี จึงใช้เวลาประมาณ 3 ชม. ยกเลิกทิ้งให้เย็น ถ่ายใส่ volumetric flask ขนาด 50 ซีซี เติมน้ำแล้วกรองเหมือน ชุดที่ 1

นำสารละลายที่กรองได้ทั้ง 2 ชุด มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุดังนี้

วิเคราะห์ แร่ธาตุ แคดเมียม แมกนีเซียม และแมงกานีส ตามวิธีในคู่มือ Atomic Absorption Spectrophotometer Perkin-Elmer Model 303

วิเคราะห์ แร่ธาตุ ทองแดง และเหล็ก ตามวิธีในคู่มือ Atomic Absorption Spectrophotometer Perkin-Elmer Model 5000

วิเคราะห์ แร่ธาตุ ฟอสฟอรัสโดย Vanado-Molybdate Colorimetric Method และวิเคราะห์แร่ธาตุกำมะถันโดย Turbidimetric Method อ่านค่าเปรียบเทียบกับน้ำยามาตรฐาน โดยเครื่อง Spectrophotometer

วิเคราะห์ แร่ธาตุ โซเดียมและโปแตสเซียมโดย Flame Photometric Method

สถานที่และระยะเวลาทดลอง

ทำการทดลองที่งานวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ ระยะเวลาทดลอง ระหว่างเดือน กรกฎาคม-ตุลาคม 2528

ผลการทดลองและวิจารณ์

เนื่องจากหน้าที่ใช้ทดลองเป็นหน้าที่คนละชนิดและระยะเวลาตัดไม้เท่ากัน ผลการวิเคราะห์แร่ธาตุ 9 อย่างในหน้าที่แต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป (ตารางที่ 1) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดย Analysis of Variance, F-test และ Duncan's New Multiple Range Test (เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมสถิติ) แล้วพบว่าชนิดของหน้าที่และระยะเวลาก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ทั้งชนิดของหน้าที่และระยะเวลาก็ไม่มีผลกระทบต่่วิธี (Method) ที่ใช้ในการทดลอง ฉะนั้นจึงสามารถนำผลวิเคราะห์แร่ธาตุที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 วิธี มาเปรียบเทียบกับ Paired Comparison และ t-test Method (เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมสถิติ) ได้โดยตรง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของแร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก และ โซเดียม ที่ได้จากเครื่องย่อยและเตาไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปทดสอบทางสถิติแล้ว ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนแร่ธาตุกำมะถันนั้นถึงแม้จะมีค่าแตกต่างจากวิธีวิเคราะห์เกิดขึ้นหลายทางด้วยกัน เช่น (1) เกิดจากสารเคมี ที่ใช้มีแร่ธาตุกำมะถันปนอยู่ด้วย (2) เกิดจากฝุ่นละอองที่อาจเกาะอยู่ตามเครื่องมือเครื่องใช้ (3) เกิดจาก เครื่องใช้ที่มีกำมะถันปนอยู่ด้วย (เช่น จุกยาง) หรือ (4) เกิดจากวิธีวิเคราะห์เอง ระยะเวลาที่ใช้ในการ ทดสอบแร่ธาตุกำมะถันและระยะเวลาที่ใช้ในการวัดความชื้นแต่ละตัวอย่างนั้นต้องเท่า ๆ กัน เมื่อวิเคราะห์ ไปนาน ๆ ตะกอนแบเรียมซัลเฟตจะเกาะหลอดที่ใช้วัดความชื้น ทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้ จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของแร่ธาตุกำมะถันที่ได้จากเครื่องย่อยและเตาไฟฟ้าต่างกันถึง $14.30 \text{ mg}/100\text{g}$ ($384.60-370.30$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ (ตารางที่ 2) แล้วปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างกัน

สำหรับแร่ธาตุทองแดงและฟอสฟอรัสนั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ (ตารางที่ 2) พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของแร่ธาตุทองแดง และฟอสฟอรัสที่ได้จากเครื่องย่อยสูงกว่าที่ได้จากเตาไฟฟ้า 0.03 และ $3.16 \text{ mg}/100\text{g}$ ตามลำดับ แสดงว่า แร่ธาตุทองแดงและฟอสฟอรัสที่ได้จากเครื่องย่อยมีการสูญเสียอย่างน้อยกว่าที่ได้จากเตาไฟฟ้า ส่วนแร่ธาตุโปแตสเซียม เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ (ตารางที่ 2) แล้วพบว่ามี ความแตกต่างกันที่ระดับ $P < 0.05$ ค่าเฉลี่ยที่ได้จาก เครื่องย่อย (1.52%) น้อยกว่าที่ได้จากเตาไฟฟ้า (1.61%) 0.09% ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากว่า แร่ธาตุโปแตสเซียมมีความไวต่ออุณหภูมิที่ใช้อยู่ อุณหภูมิที่ใช้ยิ่งสูงการสูญเสียของแร่ธาตุโปแตสเซียมยิ่งมีมากขึ้น ความร้อนของเครื่องย่อย และเตาไฟฟ้า เมื่อถึง 200°C เท่า ๆ กันแล้ว ความร้อนของเตาไฟฟ้าจะร้อน น้อยกว่า เพราะความร้อนจากเตาไฟฟ้ามีโอกาสสูญหายไปกับอากาศรอบข้างได้มากกว่า การสูญเสียของแร่ธาตุ โปแตสเซียมจึงมีน้อยกว่าเครื่องย่อย

การย่อยตัวอย่างบนเตาไฟฟ้านั้นเสียเวลามาก ต้องใช้เวลาประมาณ 5 ชม. ที่เป็นดังนี้เพราะ ความร้อนสูญเสียไปในบรรยากาศรอบข้าง จึงต้องใช้เวลาย่อยนาน และเตาไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป บริเวณกลางเตา จะร้อนมากกว่าริมเตา ต้องคอยสับเปลี่ยนย้าย erlenmeyer flask เพื่อให้ได้รับความร้อนทั่วถึงกันทุก ๆ ใบ หลังจากนั้นต้องถ่ายใส่ใน volumetric flask เพื่อปรับปริมาตรให้ได้ตามที่ต้องการ ส่วนการย่อย ตัวอย่างบนเครื่องย่อยอาหารสัตว์นั้น เนื่องจากแผ่นความร้อนของเครื่องย่อยมีลักษณะเป็นร่องกลมลึก เมื่อนำ หลอดย่อย (Digestion tube) ใส่ลงไปแล้ว ยังมีแผ่นปิดกั้นกันความร้อนสูญหาย ความร้อนของเครื่องย่อย จึงร้อนสม่ำเสมอและร้อนทั่วทั้งหมด การย่อยจึงเสร็จสิ้นเร็วใช้เวลาประมาณ $1\frac{1}{2}$ ชม. เท่านั้น และสามารถ เติมน้ำตามที่ต้องการได้ทันที เพราะมีขีดปรับปริมาตรที่หลอดย่อยอยู่แล้ว ขั้นตอนและความผิดพลาดในการทำงาน จึงลดน้อยลงด้วย

பட்டியல் 1 கனத்திலுள்ள பருத்தி 9 விதம்

பருத்தி விதம்	பருத்தி எண்	Ca mg/100g		Mg mg/100g		K ₂ O mg/100g		Cu mg/100g		Fe mg/100g		P mg/100g		S mg/100g		Na mg/100g		K ₂	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.
பருத்தி விதம் (<i>Persea indica pseudostarcus</i> C. Neill.)	1	230	234	439	523	46	48	1.23	1.09	12	10	135	134	514	719	61	58	2.36	2.33
	2	221	210	424	420	39	41	1.13	1.00	10	10	126	125	553	682	61	58	2.31	2.11
	3	204	209	401	378	38	36	1.06	1.04	12	13	141	136	476	649	61	57	2.34	2.19
பருத்தி விதம் (<i>Panicum repens</i> Linn.)	1	214	227	482	470	35	34	0.60	0.60	13	11	121	118	725	546	60	72	2.12	2.06
	2	226	187	476	452	33	32	0.69	0.54	12	10	112	104	685	566	62	47	2.06	2.00
	3	238	209	516	516	34	34	0.65	0.57	11	12	121	108	387	551	24	47	1.81	1.88
பருத்தி விதம் (<i>Oriza sativum</i> Oriz.)	1	151	142	170	148	17	16	0.55	0.47	10	8	75	71	312	203	396	362	1.16	1.07
	2	131	135	147	149	14	14	0.56	0.50	10	8	90	93	254	190	486	484	1.24	1.22
	3	122	127	157	156	13	13	0.49	0.44	10	7	89	90	268	180	441	439	1.21	1.19
பருத்தி விதம் (<i>Oriza sativum</i> Oriz.)	1	161	153	214	203	23	22	0.47	0.43	12	12	75	72	161	198	504	460	0.95	1.13
	2	127	128	163	166	20	20	0.49	0.44	12	12	71	73	132	186	502	458	0.93	1.12
	3	138	139	214	205	24	24	0.51	0.49	14	11	75	71	297	217	502	462	0.96	1.05
பருத்தி விதம் (<i>Oriza sativum</i> Oriz.)	1	284	298	327	271	66	61	0.49	0.47	30	24	88	81	404	488	148	124	1.75	1.64
	2	270	302	319	310	58	63	0.52	0.53	25	22	87	85	488	435	129	123	1.56	1.59
	3	283	316	305	303	67	66	0.37	0.45	27	26	77	78	542	409	148	132	1.64	1.64
பருத்தி விதம் (<i>Oriza sativum</i> Oriz.)	1	281	281	299	267	56	56	0.76	0.69	22	23	95	85	470	319	49	48	1.87	2.10
	2	299	288	307	300	68	66	0.77	0.70	22	23	85	87	566	380	71	89	1.69	2.06
	3	367	393	295	284	71	73	0.66	0.62	22	23	115	107	455	366	36	35	1.48	1.87

TABLE 1 (NO)

No. of samples	Type of soil	Ca mg/100g		Mg mg/100g		Mn mg/100g		Cu mg/100g		Fe mg/100g		P mg/100g		S mg/100g		Na mg/100g		K %	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Bracharia (millet)	1	172	168	222	219	10	10	0.73	0.81	7	7	165	162	360	368	440	423	2.07	2.09
	2	168	168	217	215	11	11	0.69	0.78	9	8	121	118	445	340	505	494	1.39	1.45
	3	128	123	212	217	10	9	0.95	1.04	7	7	195	167	470	336	401	377	2.33	2.42
2. Bracharia (millet)	1	193	202	240	277	26	26	0.81	0.82	16	12	46	57	510	442	319	316	1.35	1.85
	2	200	208	263	268	26	27	0.81	0.68	17	16	50	43	409	410	367	495	1.33	1.81
	3	206	196	238	229	27	25	0.75	0.68	16	19	47	42	394	432	279	306	1.35	1.80
3. Bracharia (millet)	1	175	177	234	221	17	17	0.15	0.22	13	15	63	60	266	293	12	12	1.12	1.03
	2	165	170	221	186	15	13	0.20	0.25	10	12	91	91	242	195	12	12	0.99	0.95
	3	192	173	251	214	21	20	0.17	0.16	14	14	65	56	324	320	12	23	0.99	0.91
4. Bracharia (millet)	1	167	176	196	202	15	14	0.37	0.26	6	8	106	87	121	201	12	48	1.13	1.28
	2	121	107	212	264	21	21	0.27	0.28	7	7	98	96	153	236	1000	0	1.08	1.25
	3	105	174	268	257	18	16	0.44	0.46	7	8	107	105	175	236	1000	0	1.08	1.31
5. Bracharia (millet)	1	6121	6140	8511	8310	939	926	18.34	17.44	417	399	2932	2637	11538	11109	6100	6061	45.57	46.40
	2	204.03	201.67	283.70	277.00	31.30	30.93	0.61	0.58	13.90	13.30	97.73	94.57	384.60	370.30	217.86	216.46	1.52	1.61
	3	204.03	201.67	283.70	277.00	31.30	30.93	0.61	0.58	13.90	13.30	97.73	94.57	384.60	370.30	217.86	216.46	1.52	1.61

1 = first

2 = second

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแร่ธาตุ 9 ชนิด

ชนิดของ แร่ธาตุ	Degree of Freedom	ค่าเฉลี่ย(mg/100 g)		ผลต่าง ระหว่าง ค่าเฉลี่ย	t-test	t.05 จากตาราง	t.01 จากตาราง
		เครื่องย่อย	เตาไฟฟ้า				
Ca	29	204.03	204.67	-0.64	-0.210	2.048	2.763
Mg	29	283.70	277.00	6.70	1.534	2.048	2.763
Mn	29	31.30	30.93	0.37	1.160	2.048	2.763
Cu	29	0.61	0.58	0.03	2.224	2.048	2.763
Fe	29	13.90	13.30	0.60	1.663	2.048	2.763
P	29	97.73	94.57	3.13	3.053	2.048	2.763
S	29	364.60	370.30	14.30	0.723	2.048	2.763
Na	27	217.86	216.46	1.40	0.226	2.052	2.771
K	29	1.52%	1.61%	-0.09	-2.655	2.048	2.763

สรุป

ผลการทดลองย่อยตัวอย่างพืชอาหารสัตว์ควายกรดในตริกเคมีและกรดเปอร์คลอริก 70% โดยใช้เครื่องย่อยอาหารสัตว์เปรียบเทียบกับเตาไฟฟ้าพบว่าเครื่องย่อยอาหารสัตว์ใช้งานได้ดีกว่า ขั้นตอนการทำงานลดลงจึงทำงานได้สะดวกรวดเร็ว และการสูญเสียของแร่ธาตุก็ลดลงด้วย (ยกเว้นแร่ธาตุโปแตสเซียม) ในจำนวนแร่ธาตุที่นำมาเปรียบเทียบ 9 ชนิด แร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก กำมะถัน และโบเดียมของทั้ง 2 วิธี ไม่ต่างกัน แต่แร่ธาตุทองแดง และโปแตสเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ และแร่ธาตุฟอสฟอรัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองแผนงานและวิชาการ กรมวิชาการเกษตรและคุณสง่า ดวงรัตน์ หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวเลขทางสถิติโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ และขอบคุณสัตวแพทย์หญิง ยวนตา พุกษราช ผู้อำนวยการกองควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ ที่ได้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือหาแร่ธาตุ และขอบคุณ คุณมนวิภา จารุตามระ ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์แร่ธาตุทองแดง และเหล็ก

เอกสารอ้างอิง

เอกสารประกอบคำบรรยายการฝึกอบรมสถิติ หลักสูตรการวางแผนงานทดลอง กรมวิชาการเกษตร
หน้า 9-56

ถวิล ทรัพย์กุล 2512 คู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
หน้า 118-119

Allen, S.E. 1974. Chemical analysis of ecological materials.
Blackwell Scientific Publications, Osney Mead, Oxford. pp 86-39

American Public Health Association, American Water Work
Associations, Water Pollution Control Federation. 1975 Standard method
for the examination of water and waste water. 14th ed. American Public Health
Association, Washington, DC. pp 169-170.

Everson, R.J. 1975. A modification in the official methods for
the determination of metals in feeds and fertilizers by atomic absorption
spectrophotometry. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 58:158-159

Jackson, M.L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall of India
Private Limited, New Delhi. pp 331-334

Shaw, A. เอกสารแสดงการใช้ Block Digestor ของ Tecator เรื่อง Trace
metal in meat products บริษัทลิททิงเจอร์แอสโซซิเอต

Suddendorf, R.F. and Kathleen K.C. 1984. Inductively coupled
plasma emission spectroscopic determination of nine elements in infant
formula: collaborative study. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 67:985

Walsh, L.M. 1971. Instrumental methods for analysis of soils and
plant tissue. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin
U.S.A. pp 29-32.