# ผลการทดลองและวิจารณ์

## 1. ข้อมูลพื้นฐานของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างดินจำนวน 20 ตัวอย่าง เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการทดลอง ปรากฏว่าได้ตัวอย่างดินที่มีค่า CEC ตามที่ต้องการจำนวน 11 ตัวอย่าง ข้อมูลพื้นฐานของตัวอย่างดิน 11 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ ค่าความเป็นกรดเบสของดิน (pH) และ CEC แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 pH และ CEC ของดิน11 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวอย่างที่ | ระดับ CEC ($cmol(+1)\ kg^{-1}$) | pH | CEC ($cmol(+1)\ kg^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0-5 | 6.6 | 2.5 |
| 2 | >5-10 | 6.5 | 8.8 |
| 3 | >10-15 | 6.6 | 12.8 |
| 4 | >15-20 | 6.6 | 19.5 |
| 5 | >20-25 | 6.4 | 23.9 |
| 6 | >25-30 | 6.6 | 27.3 |
| 7 | >30-35 | 6.4 | 31.7 |
| 8 | >35-40 | 6.3 | 38.4 |
| 9 | >40-45 | 6.6 | 44.9 |
| 10 | >45-50 | 6.5 | 49.0 |
| 11 | >50 | 6.4 | 52.4 |

**2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS) โดยเทคนิคเมทริกซ์แมทชิง (MM) และสแตนดาร์ดแอดดิชัน (SA)**

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ด้วย AAS โดยเทคนิค MM และ SA แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุต่างๆ ต่อ CEC ของดิน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 ปริมาณธาตุต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วย AAS หน่วยเป็น $mg\ kg^{-1}$

| ตัวอย่างที่ | CEC (cmol(+1) $kg^{-1}$) | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วย AAS ($mg\ kg^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ปริมาณCa | | ปริมาณ Mg | | ปริมาณ K | | ปริมาณ Na | |
| | | MM | SA | MM | SA | MM | SA | MM | SA |
| 1 | 2.5 | 195.0 | 194.8 | 11.7 | 13.6 | 172.8 | 178.1 | 32.1 | 32.3 |
| 2 | 8.8 | 1037.8 | 995.8 | 165.7 | 195.3 | 156.5 | 165.6 | 28.9 | 30.0 |
| 3 | 12.8 | 1919.3 | 1772.6 | 184.0 | 179.1 | 268.0 | 293.7 | 60.8 | 66.3 |
| 4 | 19.5 | 1551.8 | 1446.9 | 588.3 | 672.7 | 292.3 | 331.4 | 86.0 | 97.3 |
| 5 | 23.9 | 3927.0 | 4188.7 | 446.00 | 472.4 | 2082.4 | 2445.3 | 44.1 | 46.3 |
| 6 | 27.3 | 1870.3 | 1885.8 | 638.5 | 736.2 | 194.0 | 208.3 | 57.1 | 63.4 |
| 7 | 31.7 | 2824.9 | 2777.8 | 1752.2 | 2085.8 | 388.8 | 434.3 | 185.0 | 201.2 |
| 8 | 38.4 | 4647.4 | 4842.0 | 914.7 | 1035.9 | 271.7 | 289.9 | 28.8 | 29.6 |
| 9 | 44.9 | 5030.2 | 5136.6 | 1752.1 | 2051.3 | 153.0 | 166.0 | 32.1 | 32.1 |
| 10 | 49.0 | 5526.3 | 5323.0 | 2811.0 | 3284.0 | 383.2 | 439.5 | 36.3 | 38.0 |
| 11 | 52.4 | 6515.0 | 6760.1 | 3715.3 | 4411.7 | 647.0 | 614.7 | 36.5 | 35.8 |

ตารางที่ 2.2 ปริมาณธาตุต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วย AAS หน่วยเป็น cmol(+1) $kg^{-1}$

| ตัวอย่างที่ | CEC (cmol(+1) $kg^{-1}$) | ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วย AAS (cmol(+1) $kg^{-1}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ปริมาณCa | | ปริมาณ Mg | | ปริมาณ K | | ปริมาณ Na | |
| | | MM | SA | MM | SA | MM | SA | MM | SA |
| 1 | 2.5 | 0.98 | 0.97 | 0.10 | 0.11 | 0.44 | 0.46 | 0.14 | 0.14 |
| 2 | 8.8 | 5.19 | 4.98 | 1.38 | 1.63 | 0.40 | 0.42 | 0.13 | 0.13 |
| 3 | 12.8 | 9.60 | 8.86 | 1.53 | 1.49 | 0.69 | 0.75 | 0.26 | 0.29 |
| 4 | 19.5 | 7.76 | 7.23 | 4.90 | 5.61 | 0.75 | 0.85 | 0.37 | 0.42 |
| 5 | 23.9 | 19.64 | 20.94 | 3.72 | 3.94 | 5.34 | 6.27 | 0.19 | 0.20 |
| 6 | 27.3 | 9.35 | 9.43 | 5.32 | 6.13 | 0.50 | 0.53 | 0.25 | 0.28 |
| 7 | 31.7 | 14.12 | 13.89 | 14.60 | 17.38 | 1.00 | 1.11 | 0.80 | 0.87 |
| 8 | 38.4 | 23.24 | 24.21 | 7.62 | 8.63 | 0.70 | 0.74 | 0.13 | 0.13 |
| 9 | 44.9 | 25.15 | 25.68 | 14.60 | 17.09 | 0.39 | 0.43 | 0.14 | 0.14 |
| 10 | 49.0 | 27.63 | 26.62 | 23.43 | 27.37 | 0.98 | 1.13 | 0.16 | 0.17 |
| 11 | 52.4 | 32.58 | 33.80 | 30.96 | 36.76 | 1.66 | 1.58 | 0.16 | 0.16 |

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์ของธาตุต่างๆ ต่อ CEC ของดิน

| ตัวอย่างที่ | CEC (cmol(+1) $kg^{-1}$) | % (cation/CEC) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ปริมาณCa | | ปริมาณ Mg | | ปริมาณ K | | ปริมาณ Na | |
| | | MM | SA | MM | SA | MM | SA | MM | SA |
| 1 | 2.5 | 39.0 | 39.0 | 3.9 | 4.5 | 17.7 | 18.3 | 5.6 | 5.6 |
| 2 | 8.8 | 59.0 | 56.6 | 15.7 | 18.5 | 4.6 | 4.8 | 1.4 | 1.5 |
| 3 | 12.8 | 75.0 | 69.2 | 12.0 | 11.7 | 5.4 | 5.9 | 2.1 | 2.3 |
| 4 | 19.5 | 39.8 | 37.1 | 25.1 | 28.7 | 3.8 | 4.4 | 1.9 | 2.2 |
| 5 | 23.9 | 82.2 | 87.6 | 15.6 | 16.5 | 22.3 | 26.2 | 0.8 | 0.8 |
| 6 | 27.3 | 34.3 | 34.5 | 19.5 | 22.5 | 1.8 | 2.0 | 0.9 | 1.0 |
| 7 | 31.7 | 44.6 | 43.8 | 46.1 | 54.8 | 3.1 | 3.5 | 2.5 | 2.8 |
| 8 | 38.4 | 60.0 | 62.6 | 19.7 | 22.3 | 1.8 | 1.9 | 0.3 | 0.3 |
| 9 | 44.9 | 56.0 | 57.2 | 32.5 | 38.1 | 0.9 | 0.9 | 0.3 | 0.3 |
| 10 | 49.0 | 56.4 | 54.3 | 47.8 | 55.9 | 2.0 | 2.3 | 0.3 | 0.3 |
| 11 | 52.4 | 62.2 | 64.5 | 59.1 | 70.2 | 3.2 | 3.0 | 0.3 | 0.3 |

จากตารางที่ 2.2 เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณผลรวมของไอออนบวกทั้งหมด (แคลเซียม + แมกนีเซียม + โพแทสเซียม + โซเดียม) ในดินที่มี CEC สูง คือ ตัวอย่างดินที่ 9, 10 และ 11 มีค่าเกิน CEC ของดิน สาเหตุอาจเนื่องมาจากดินเหล่านี้มีแร่ดินเหนียวฟิลโลซิลิเกต (phyllosilicate clay mineral) ประเภท 2 : 1 อยู่มาก โอกาสที่จะเกิดการตรึงแอมโมเนียม (ammonium fixation) จะมีอยู่สูง การหา CEC โดยวิธีที่ใช้จะได้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากไม่สามารถที่จะไล่แอมโมเนียมที่ถูกตรึงออกมาได้ (Chapman, 1965; Sumner and Miller, 1996)

### 3. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA

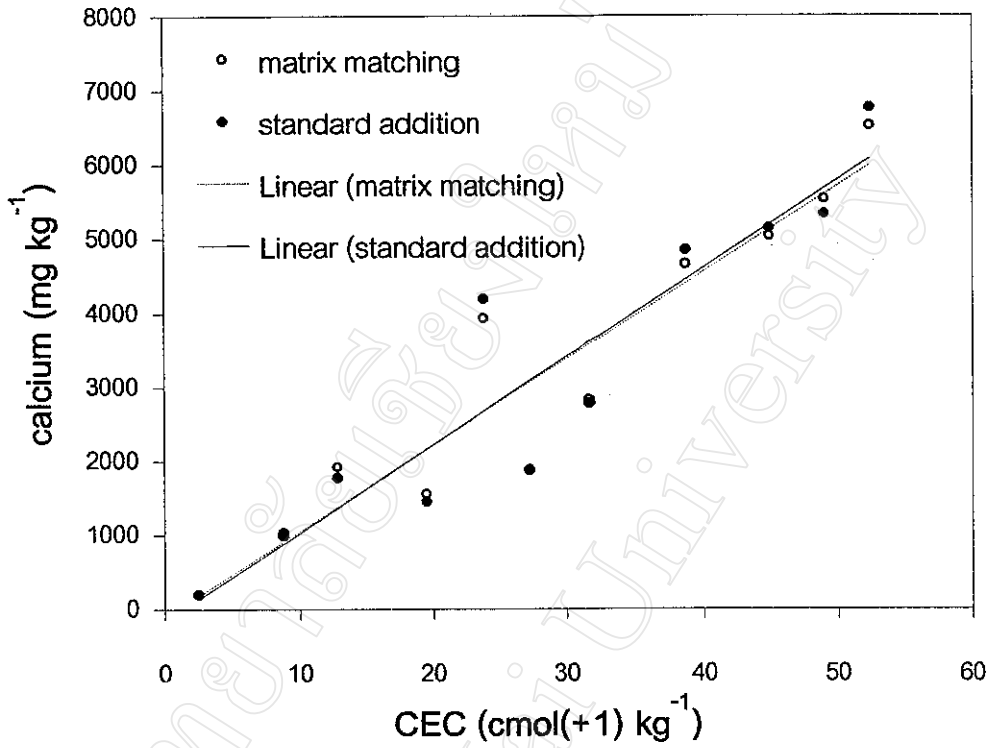
ปริมาณธาตุแคลเซียมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค MM และ SA เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของเทคนิคทั้งสอง ผลปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

| SOV | Df | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| CEC | 10 | 263190000 | 26319000 | 2150.43* |
| Method | 1 | 10627 | 10627 | 0.87 |
| CECxMethod | 10 | 373060 | 37306 | 3.05* |
| Error | 44 | 538510 | 12239 | |

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าการวิเคราะห์แคลเซียมโดยเทคนิค MM และ SA ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกระดับของ CEC ทั้งนี้อาจด้วยเหตุผลที่ว่า แคลเซียมเป็นปริมาณหลักของเมทริกซ์เสียเอง (34.3 - 82.8% ของ CEC จากตารางที่ 2.3) ในทุกตัวอย่างดิน จึงทำให้เทคนิค MM นั้นสามารถทำให้เมทริกซ์ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานคล้ายกันมากที่สุด (เหมือนกัน) ค่าที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิค MM นี้ จึงให้ค่าสอดคล้องกับค่าที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิค SA ตั้งแต่ CEC ต่ำสุด (2.5 cmol(+1) $kg^{-1}$) จนถึงสูงสุด (52.4 cmol(+1) $kg^{-1}$)




รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมและ CEC ของดิน

จากรูปที่ 6 ยืนยันคำอภิปรายข้างต้นที่ว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมหรือธาตุใดๆ ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเมทริกซ์ (34.3 - 82.8% ของ CEC) แล้ว การวิเคราะห์หาธาตุนั้นก็สามารถใช้เทคนิค MM ได้โดยตลอด เพราะว่าทั้ง 2 เทคนิคจะให้ค่า(เกือบ)เท่ากัน

**4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแมกนีเซียมที่วิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA**

ปริมาณแมกนีเซียมที่วิเคราะห์ด้วย AAS โดยเทคนิค MM และ SA เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของเทคนิคทั้งสอง มีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียม

| SOV | Df | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| CEC | 10 | 103370000 | 10337000 | 8629.87* |
| Method | 1 | 635380 | 635380 | 530.45* |
| CECxMethod | 10 | 778310 | 77831 | 64.98* |
| Error | 44 | 52704 | 1197.8 | |

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

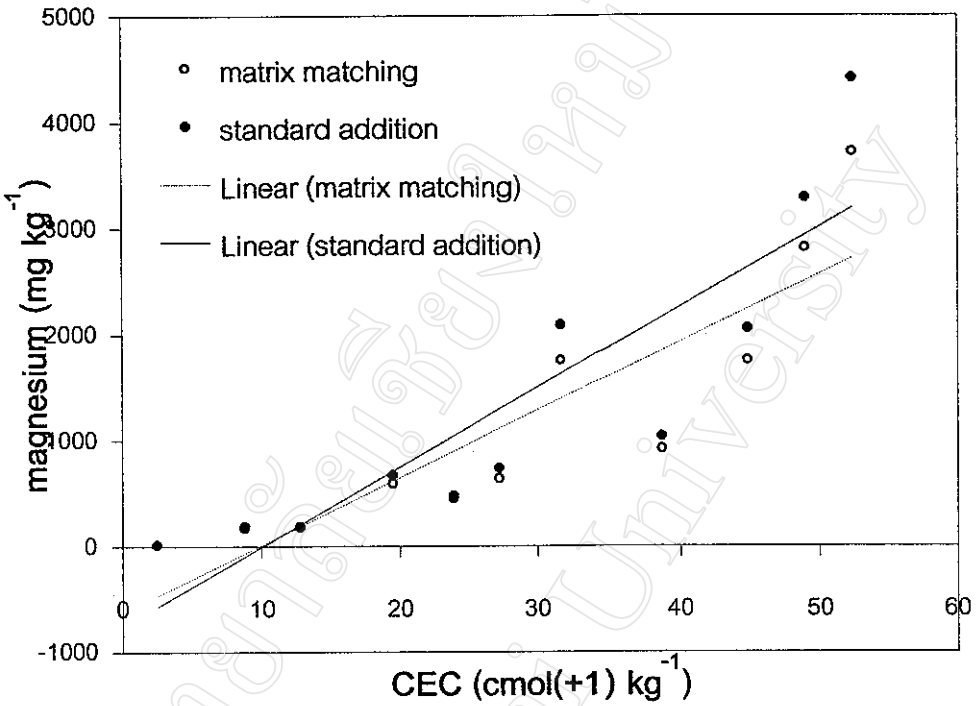
จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมโดยเทคนิค MM และ SA แตกต่างกันทางสถิติ ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับ CEC ต่ำๆ ค่าที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 2 เทคนิคจะไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อระดับ CEC สูง ๆ จะให้ค่าการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิค SA จะถูกต้อง ส่วนค่าที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิค MM ไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SA

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA

| ตัวอย่างที่ | CEC ($cmol(+1)\ kg^{-1}$) | ปริมาณ Mg วิเคราะห์โดยเทคนิค MM ($mg\ kg^{-1}$) | ปริมาณ Mg วิเคราะห์โดยเทคนิค SA ($mg\ kg^{-1}$) | ค่าความแตกต่างระหว่าง 2 เทคนิค |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.5 | 11.7 | 13.6 | 1.9 |
| 2 | 8.8 | 165.7 | 195.3 | 29.6 |
| 3 | 12.8 | 184.0 | 179.1 | -4.9 |
| 4 | 19.5 | 588.3 | 672.7 | 84.4* |
| 5 | 23.9 | 446.0 | 472.4 | 26.4 |
| 6 | 27.3 | 638.5 | 736.2 | 97.7* |
| 7 | 31.7 | 1752.2 | 2085.8 | 333.7* |
| 8 | 38.4 | 914.7 | 1035.9 | 121.3* |
| 9 | 44.9 | 1752.1 | 2051.3 | 299.3* |
| 10 | 49.0 | 2811.0 | 3284.0 | 473.0* |
| 11 | 52.4 | 3715.3 | 4411.7 | 696.3* |

$LSD_{0.05} = 57.1$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %




รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมและ CEC ของดิน

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่าแมกนีเซียมที่วิเคราะห์จากเทคนิคทั้งสองเป็นเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค MM ใช้แทนค่าที่วิเคราะห์โดยเทคนิค SA ได้เมื่อ CEC น้อยกว่า 12.8 cmol(+1) $kg^{-1}$ ซึ่งยืนยันได้จากตารางที่ 4.2

แต่ถ้าหากว่า CEC สูงจาก 12.8 cmol(+1) $kg^{-1}$ แล้วค่าแมกนีเซียมที่วิเคราะห์จากเทคนิค MM จะให้ค่าไม่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะว่าเมทริกซ์ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานไม่เหมือนกัน จึงต้องใช้เทคนิค SA ในการวิเคราะห์เท่านั้น ดังรูปที่ 7 และตารางที่ 4.2

**5. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมที่วิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA**

การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียม โดยเทคนิค MM และ SA ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)ของการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม

| SOV | df | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| CEC | 10 | 22182000 | 2218200 | 3311.07* |
| Method | 1 | 42307 | 42307 | 63.15* |
| CECxMethod | 10 | 169190 | 16919 | 25.26* |
| Error | 44 | 29477 | 669.93 | |

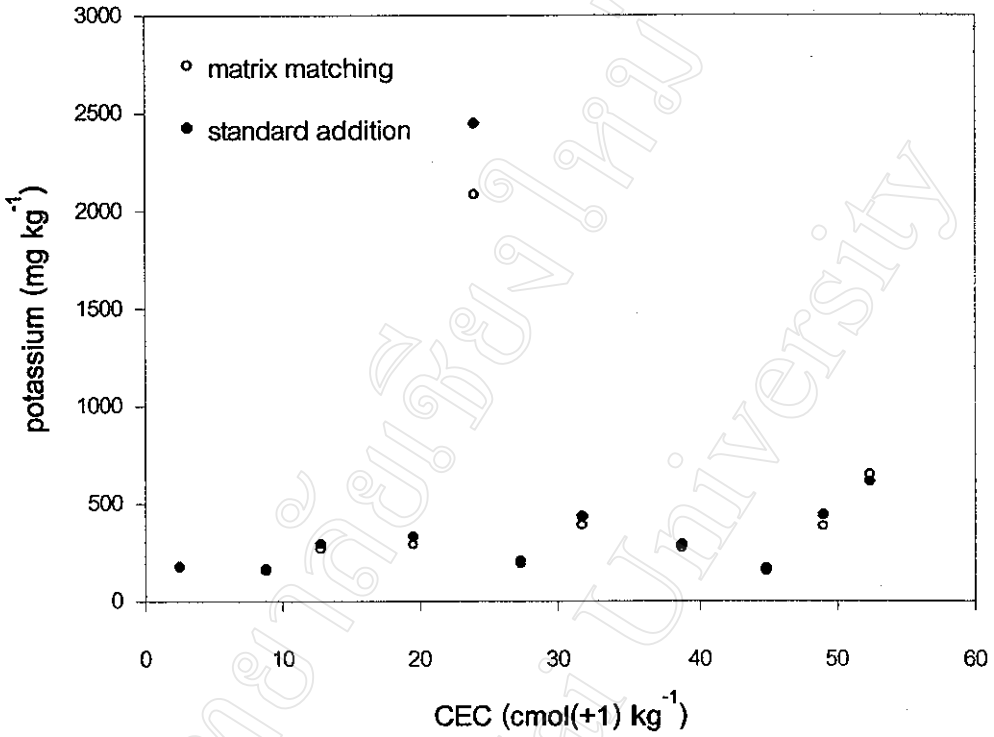
* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)ของการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม

| SOV | df | SS | MS | F |
|---|---|---|---|---|
| CEC | 10 | 140800 | 10480 | 2046.32* |
| Method | 1 | 273.08 | 273.08 | 39.69* |
| CECxMethod | 10 | 434.43 | 43.443 | 6.31* |
| Error | 44 | 302.75 | 6.8807 | |

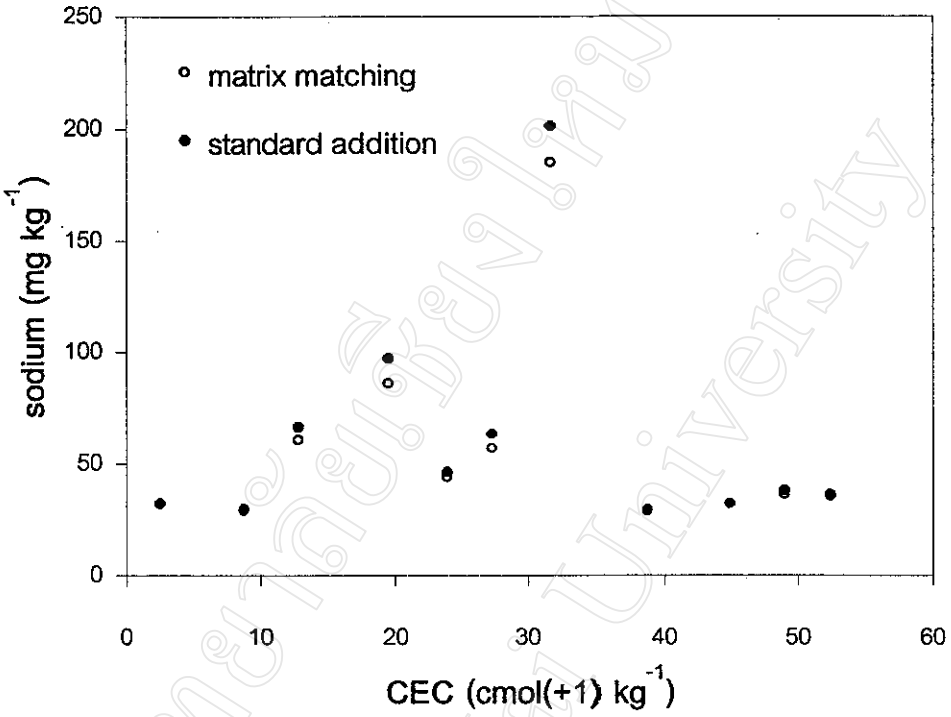
* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมที่วิเคราะห์โดยเทคนิค MMและ SA ในตัวอย่างดินทั้ง 11 ตัวอย่างแสดงไว้ดังรูปที่ 8 และ 9 และตารางที่ 5.3 และ 5.4




รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพแทสเซียมกับ CEC ดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University




รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมและ CEC ของดิน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA

| ตัวอย่างที่ | CEC (cmol(+1) $kg^{-1}$) | ปริมาณ K วิเคราะห์โดยเทคนิค MM (mg $kg^{-1}$) | ปริมาณ K วิเคราะห์โดยเทคนิค SA (mg $kg^{-1}$) | ค่าความแตกต่างระหว่าง 2 เทคนิค |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.5 | 172.8 | 178.1 | 5.3 |
| 2 | 8.8 | 156.5 | 165.6 | 9.1 |
| 3 | 12.8 | 268.0 | 293.7 | 25.7 |
| 4 | 19.5 | 292.3 | 331.4 | 39.2 |
| 5 | 23.9 | 2082.4 | 2445.3 | 362.9* |
| 6 | 27.3 | 194.0 | 208.3 | 14.3 |
| 7 | 31.7 | 388.8 | 434.3 | 45.4* |
| 8 | 38.4 | 271.7 | 289.9 | 18.3 |
| 9 | 44.9 | 153.0 | 166.0 | 13.0 |
| 10 | 49.0 | 383.2 | 439.5 | 56.3* |
| 11 | 52.4 | 647.0 | 614.7 | -32.3 |

$LSD_{0.05} = 42.7$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค MM และ SA

| ตัวอย่างที่ | CEC (cmol(+1) $kg^{-1}$) | ปริมาณ Na วิเคราะห์โดยเทคนิค MM (mg $kg^{-1}$) | ปริมาณ Na วิเคราะห์โดยเทคนิค SA (mg $kg^{-1}$) | ค่าความแตกต่างระหว่าง 2 เทคนิค |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.5 | 32.1 | 32.3 | 0.2 |
| 2 | 8.8 | 28.9 | 30.0 | 1.1 |
| 3 | 12.8 | 60.8 | 66.3 | 5.6* |
| 4 | 19.5 | 86.0 | 97.3 | 11.3* |
| 5 | 23.9 | 44.1 | 46.3 | 2.3 |
| 6 | 27.3 | 57.1 | 63.4 | 6.3* |
| 7 | 31.7 | 185.0 | 201.2 | 16.2* |
| 8 | 38.4 | 28.8 | 29.6 | 0.8 |
| 9 | 44.9 | 32.1 | 32.1 | 0.0 |
| 10 | 49.0 | 36.3 | 38.0 | 1.8 |
| 11 | 52.4 | 36.5 | 35.8 | -0.8 |

$LSD_{0.05} = 4.3$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากรูปที่ 8 และ 9 และตารางที่ 5.3 และ 5.4 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค MM และ SA ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมที่วิเคราะห์จากเทคนิคทั้งสองแตกต่างกันในบางตัวอย่างดินเท่านั้น คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้จาก 2 เทคนิคมีความแตกต่างกันในตัวอย่างดินที่ 5, 7 และ 10 ซึ่งมี CEC 23.9, 31.7 และ 49.0 cmol(+1) $kg^{-1}$ ส่วนปริมาณโซเดียมที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันในตัวอย่างดินที่ 3, 4, 6 และ 7 ซึ่งมี CEC 12.8, 19.5, 27.3 และ 31.7 cmol(+1) $kg^{-1}$ ตามลำดับ พบว่าความแตกต่างของปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้จากสองเทคนิคนี้ไม่สอดคล้องกับสมมุติฐานของการวิจัย คือ ค่าที่วิเคราะห์ได้โดยเทคนิค MM และ SA จะมีความแตกต่างกัน เมื่อเมทริกซ์ของสาร

ต่างกันมาก หรือที่ระดับ CEC สูงขึ้น จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าที่ CEC ของดินระดับใดควรจะใช้เทคนิค MM หรือ SA ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุดังกล่าว

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University