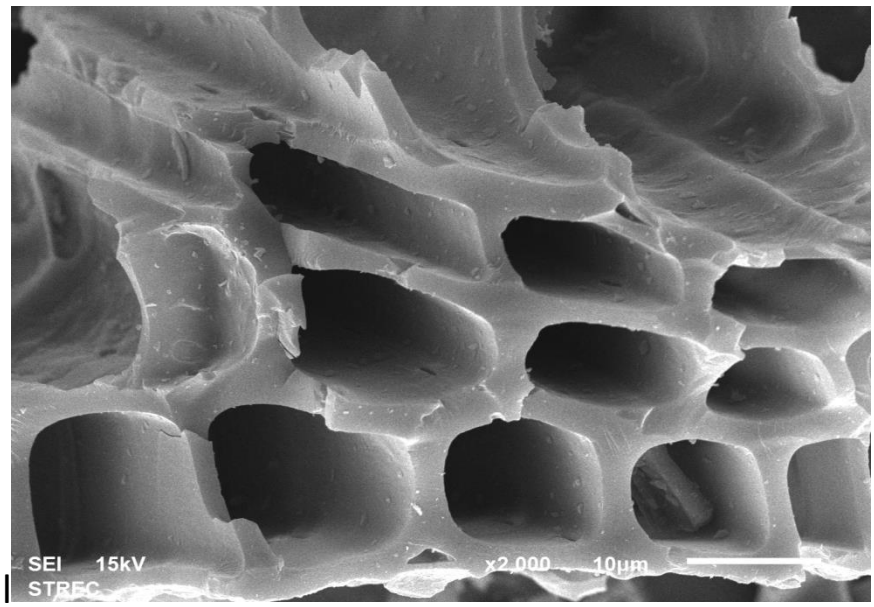
บทที่ 4
ผลการวิจัย

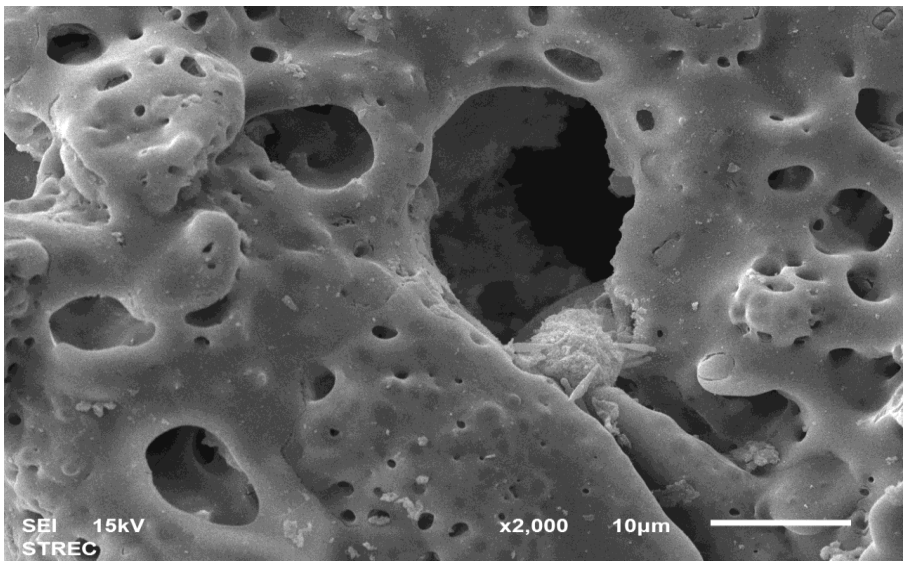
ศึกษาคุณลักษณะของไบโอชาร์และดินขาว

ไบโอชาร์ที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ เป็น เถ้าขี้เลื่อย (Sawdust fly ash, SDFA) เถ้าลอยชานอ้อย (Bagasse fly ash, BGFA) และเถ้าแกลบ (Rice husk fly ash, RHFA) การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยภาพถ่าย SEM (ภาพที่ 4.1) จากภาพจะพบว่า เถ้าแกลบจะมีผิวที่เรียบกว่าเถ้าลอยชานอ้อยและจากภาพสังเกตเห็นว่า เถ้าขี้เลื่อยมีจำนวนรูพรุนสูงกว่าเถ้าลอยชานอ้อยและเถ้าแกลบ ส่วนดินขาวแทบจะไม่เห็นรูพรุน ซึ่งสอดคล้องการการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET surface area) และปริมาตรของรูพรุนพบว่า เถ้าขี้เลื่อยมีพื้นที่ผิวสูงถึง 550.80 m^2/g ซึ่งสูงกว่าเถ้าลอยชานอ้อย (310.20 m^2/g) เถ้าแกลบ (136 m^2/g) และดินขาว (41.89 m^2/g)

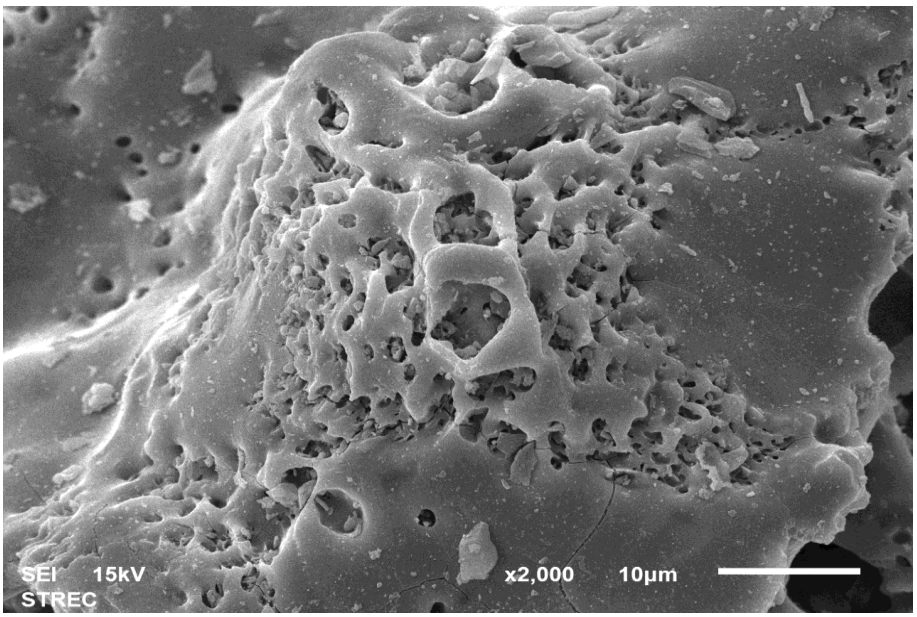


ก) เถ้าขี้เลื่อย (SDFA)

ภาพที่ 4.1 SEM images ของเถ้าขี้เลื่อย (ก) เถ้าลอยชานอ้อย (ข) เถ้าแกลบ (ค) ดินขาว (ง) กำลังขยาย 2000 เท่า



ข) เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA)



ค) เถ้าแกลบ (RHFA)

ภาพที่ 4.1 SEM images ของเถ้าขี้เลื่อย (ก) เถ้าลอยชานอ้อย (ข) เถ้าแกลบ (ค) ดินขาว (ง) กำลังขยาย 2000 เท่า (ต่อ)

ภาพที่ 4.1 SEM images ของเถ้าขี้เลื่อย (ก) เถ้าลอยชานอ้อย (ข) เถ้าแกลบ (ค) ดินขาว (ง) กำลังขยาย 2000 เท่า (ต่อ)

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวของไบโอชาร์และดินขาว

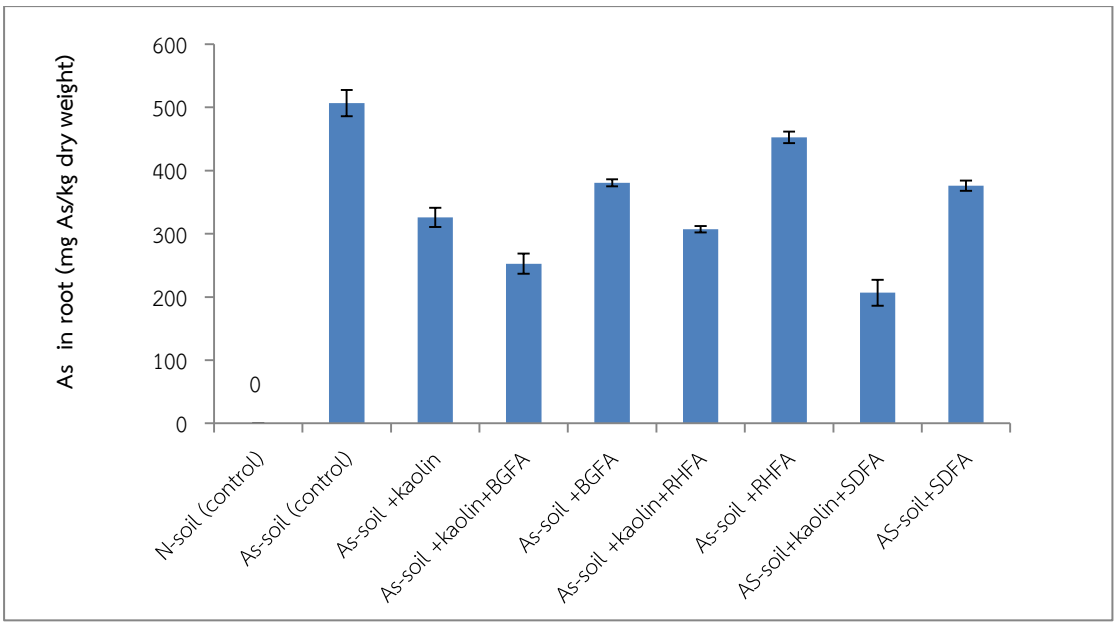
ไบโอชาร์	Surface area (m^2/g)	Total pore volume (cc/g)	Micropore volume (cc/g)	Mesopore volume (cc/g)	Pore Diameter (Angstrom)
เถ้าขี้เลื่อย (SDFA)	550.80	0.3830	0.2015	0.1815	42.97
เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA)	310.20	0.4540	0.1112	0.3428	23.13
เถ้าแกลบ (RHFA)	136.00	0.4560	0.0523	0.4037	42.33
ดินขาว (Kaolin)	41.89	0.2	0.15	0.05	190.9

ผลการใช้ไบโอชาร์และดินขาวในการลดการสะสมสารหนูในต้นพริกขี้หนู

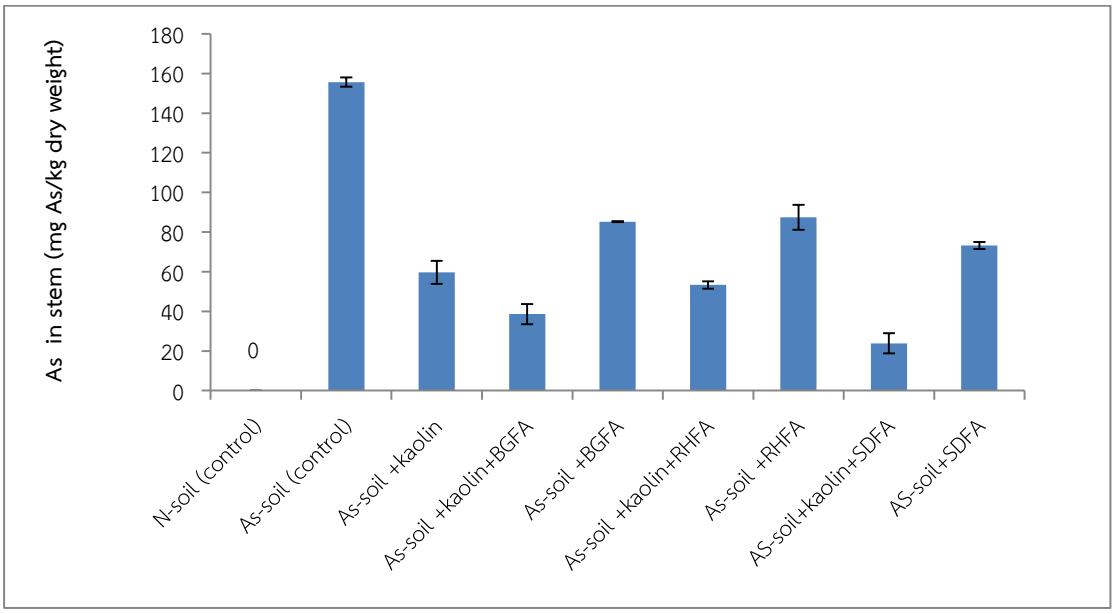
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นพริกขี้หนูในเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณสารหนู (mg As/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	0	0	0	0	0
As-soil (control)	506.66±20.81^{f}	155.66±2.30^{f}	67±1.73^{f}	36.06±2.30^{e}	18.06±1.09^{h}
As-soil+kaolin	326±15.09^{c}	59.66±5.77^{c}	19.76±1.09^{bc}	17.93±1.80^{a}	11.7±0.17^{d}
As-soil +kaolin +BGFA	252.66±16.16^{b}	38.63±5.05^{b}	18.96±0.75^{b}	16.26±1.30^{a}	3.87±0.50^{b}
As-soil +BGFA	380.66±5.77^{d}	85.23±0.20^{e}	31.9±2.25^{d}	26.26±2.38^{c}	15.43±0.21^{f}
As-soil+kaolin +RHFA	307.33±5.03^{c}	53.3±1.81^{c}	19.3±0.95^{b}	17.26±0.92^{a}	4.99±0.30^{c}
As-soil+RHFA	452.66±9.23^{e}	87.46±6.33^{e}	42.6±1.4^{e}	30.53±1.15^{d}	16.7±0.20^{g}
As-soil+kaolin +SDFA	206.6±20.63^{a}	23.86±5.12^{a}	15.3±0.60^{a}	14.60±0.32^{a}	1.70±0.20^{a}
As-soil+SDFA	376±8^{d}	73.26±1.77^{d}	22.06±1.06^{c}	22.6±2.22^{b}	13.66±0.21^{e}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จำแนกโดย Duncan multiple range test

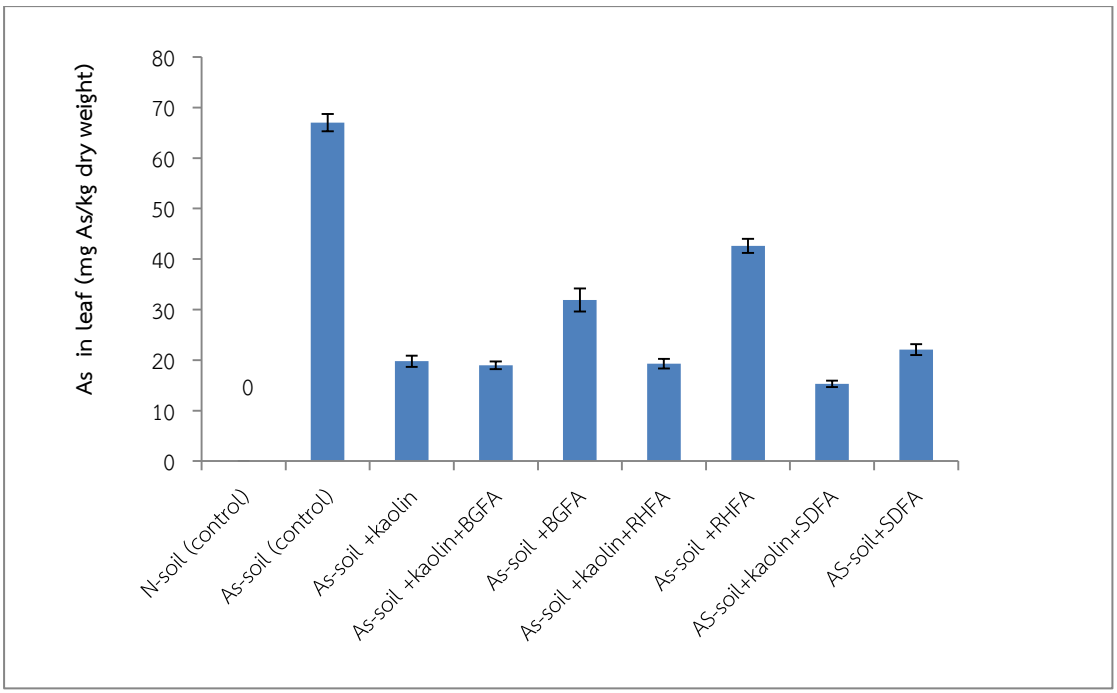


ก) ราก

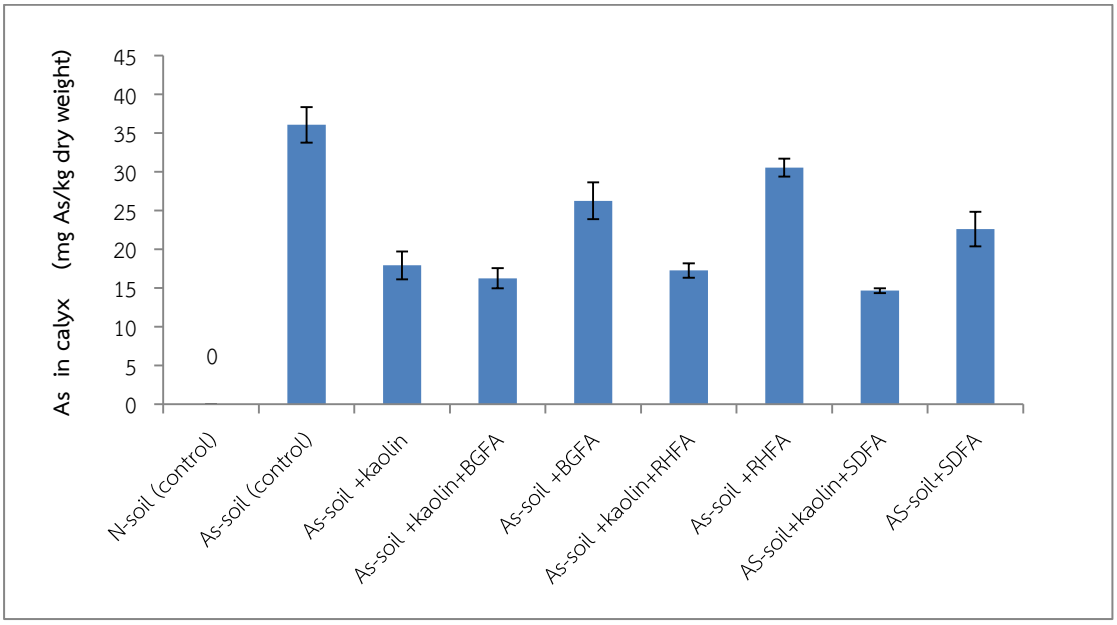


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูปลูกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

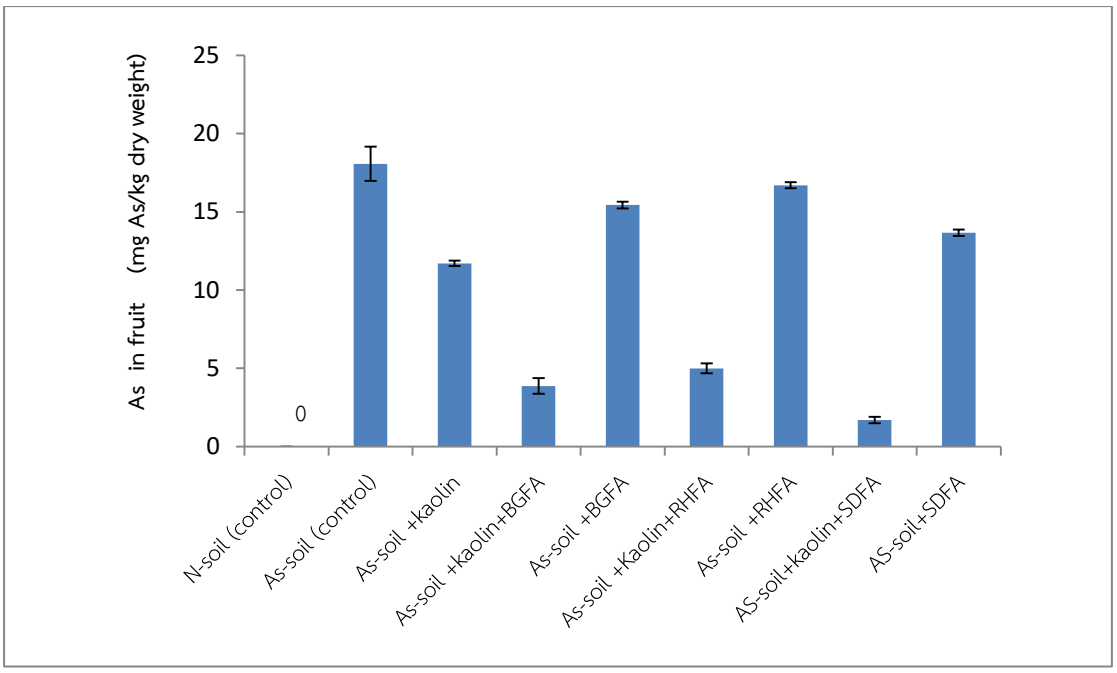


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูปลูกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)



จ) ผล

ภาพที่ 4.2 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูปลูกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 พบว่า เมื่อมีการใช้ เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) ปริมาณ 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w เติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนู พบว่า จะมีปริมาณสารหนูที่สะสมใน ราก ลำต้น ใบ ขั้ว และในผลของพริกขี้หนูต่ำสุดหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน รองลงมาได้แก่ การใช้เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, เถ้าแกลบ (RHFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, ดินขาว 1%w/w, เถ้าขี้เลื่อย 1%w/w, เถ้าลอยชานอ้อย 1%w/w และเถ้าแกลบ 1%w/w ตามลำดับ รวมถึงการปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As soil)โดยมีปริมาณสารหนูที่สะสมใน ราก ลำต้น ใบ ขั้วและผลพริกขี้หนูเท่ากับ 206.60±20.63, 23.86 ±5.12, 15.3±0.60, 14.60±0.32, 1.7±0.20 mg As/kg dry weight ตามลำดับ โดยปริมาณการสะสมสารหนูในผลพริกขี้หนูเมื่อใช้สารปรับปรุงดินด้วยเถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w จะมีค่าปริมาณสารหนูในผลพริกแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับเงื่อนไขอื่นๆ และจากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณการสะสมสารหนูในเมล็ดพริกขี้หนูเมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w ค่าเพียง 1.7±0.20 mg As/kg dry weight ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ของสารหนูในผักสูงสุดที่กำหนดไว้ ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขในประเทศไทย (2546) ที่กำหนดมาตรฐานปริมาณสารหนูไว้ในอาหารไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนการใช้สารปรับปรุงดินเงื่อนไขอื่นๆยังคงมีสารหนู

ปนเปื้อนในผลของเมล็ดพริกขี้หนูเกินมาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยมีปริมาณสารหนูสะสมในผลของเมล็ดพริกสูงถึง 3.87±0.50, 4.99±0.31, 11.7±0.17, 13.66±0.21, 15.43±0.21, 16.7±0.21 mg As/kg dry weight เมื่อใช้ถ้าลอยชานอ้อย (BGFA)+ดินขาว (kaolin), เถ้าแกลบ (RHFA)+ดินขาว (kaolin), ดินขาว, เถ้าขี้เลื่อย, เถ้าลอยชานอ้อยและเถ้าแกลบ เป็นสารปรับปรุงดินตามลำดับ ส่วนกรณีไม่ใช้สารปรับปรุงดิน (As-soil) จะมีปริมาณสารหนูสะสมในผลพริกขี้หนูสูงถึง 18.06±1.09 mg As/kg dry weight

การทดลองนี้จะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของสารหนูที่ปนเปื้อนในดินให้มีค่าที่สูง โดย การทดลองกำหนดให้มีค่าสูงถึง 203.66±1.52 mg As/ kg soil ทั้งนี้เพื่อให้ได้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของการใช้สารปรับปรุงดินที่แตกต่างกันว่าจะมีประสิทธิภาพการลดลงของสารหนูในผักสวนครัวแตกต่างกันอย่างไร

จากการทดลองจะเห็นว่าการใช้ดินขาวร่วมกับไบโอชาร์ เช่น เถ้าขี้เลื่อย เถ้าลอยชานอ้อย และเถ้าแกลบ สามารถลดปริมาณการสะสมสารหนูในพริกขี้หนูในราก ลำตัน ใบ ขั้ว และผลหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน ได้ในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อใช้ไบโอชาร์อย่างเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องจากในดินขาว (kaolin) นั้นมีองค์ประกอบของ Al_2O_3 26.0 % และ Fe_2O_3 0.7 % (Aung, Tertre,Suksabye, Worasith, & Thiravetyan, 2015) ซึ่งอลูมิเนียมและเหล็กมีศักยภาพในการดูดซับสารหนูได้ดี และการทดลองยังได้นำนำสารปรับปรุงดินอย่างละ 2 w/v เติมในน้ำปราศจากอิออน (DI) นำไปเข้าไปเขย่าในเครื่องเขย่า (shaker) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ดินขาว 2 % (w/v) มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมละลายออกมาในน้ำ DI สูงสุดโดยมีค่าแคลเซียมเท่ากับ 414.61±6.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าแมกนีเซียมเท่ากับ 13.97±0.041 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) รองลงมา ได้แก่ เถ้าขี้เลื่อย เถ้าลอยชานอ้อย และเถ้าแกลบ ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวจะสอดคล้องกับการทดลองในพื้นที่จริงในการปลูกข้าวในดินปนเปื้อนสารหนูที่มีการใส่สารปรับปรุงดิน สาเหตุที่ทำให้ในราก ลำต้น เปลือก ขั้ว และผลของพริกขี้หนูเมื่อมีการใช้ ดินขาว1 %w/w ร่วมกับไบโอชาร์จะมีประสิทธิภาพการลดสารหนูในต้นพริกขี้หนูได้ดี ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินขาวมีความสามารถในการละลายแคลเซียมและ แมกนีเซียมในน้ำออกมาสู่ดินสูงสุด ซึ่งในการทดลองจริงเมื่อมีการรดน้ำผักสวนครัวที่ปลูกด้วยน้ำประปาจะทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมละลายออกมาได้สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ทำให้อิออนของสารหนู (V) แย่งจับกับแคลเซียมอิออนและแมกนีเซียมอิออนเพื่อเข้าในเซลล์รากของพืช ดังนั้นปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในต้นพริกขี้หนูสูงจะช่วยทำให้ปริมาณสารหนูลดลง (Islam, Khan, & Irem, 2015) และเมื่อมีการใช้ดินขาวร่วมกับเถ้าขี้เลื่อยจึงมีศักยภาพในการลด การสะสมสารหนูในต้นพริกขี้หนูได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวของเถ้าขี้เลื่อย (550.80 m^2/g) สูงกว่าเถ้าลอยชานอ้อย (310.20 m^2/g) และเถ้าแกลบ (136 m^2/g) (ตารางที่ 4.1) จึงทำให้เถ้าขี้เลื่อยสามารถดูดซับสารหนูได้สูงกว่าเถ้าลอยชานอ้อยและเถ้าแกลบ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมจากตัวดูดซับที่แยกชะด้วยน้ำ DI

ตัวอย่าง	แคลเซียม (mg/l)	แมกนีเซียม (mg/l)
ดินขาว (kaolin) 2% (v/w)	414.61 ± 6.68	13.97 ± 0.041
เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 2% (v/w)	4.48 ± 0.09	1.86 ± 0.030
เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 2% (v/w)	3.71 ± 0.04	3.23 ± 0.11
เถ้าแกลบ (RHFA) 2% (v/w)	5.94 ± 0.11	7.53 ± 0.06

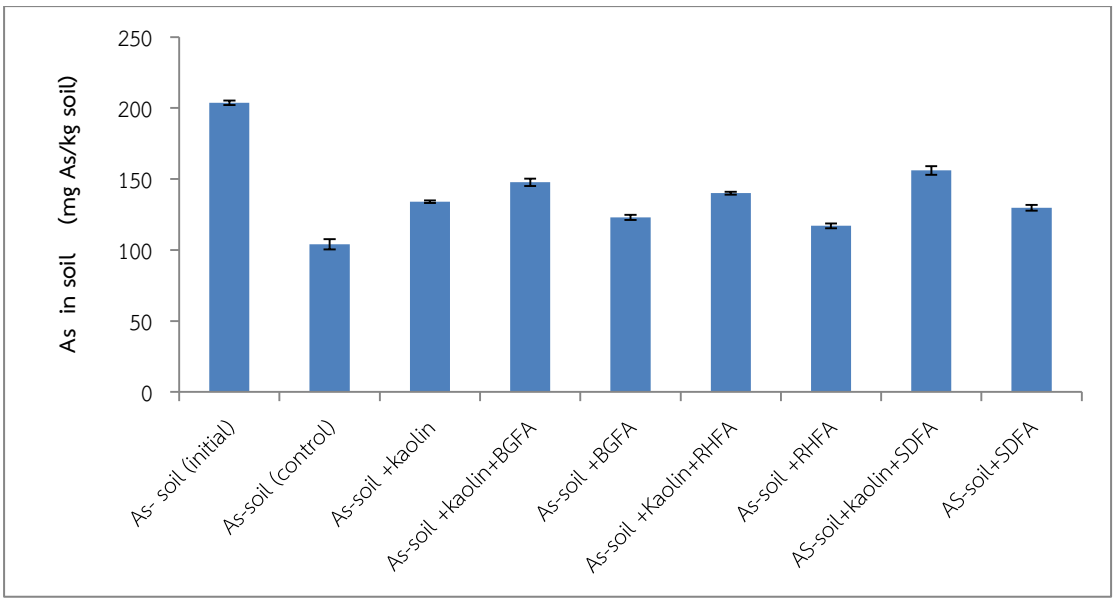
ปริมาณของสารหนูที่เหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยวต้นพริกขี้หนู

ปริมาณของสารหนูที่เหลืออยู่ในดิน หลังจากเติมสารปรับปรุงดินชนิดต่างๆ ในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนู แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในดิน หลังจากเก็บเกี่ยวต้นพริกขี้หนู 51 วัน

เงื่อนไขการทดลองต่างๆ	ปริมาณสารหนู (mg As/kg soil)
As- soil (initial)	203.66±1.52^{i}
As-soil (control)	104±3.60^{a}
As-soil+ kaolin	134±1.00^{e}
As-soil + kaolin+BGFA	147.66±2.51^{g}
As-soil + BGFA	123±1.73^{c}
As-soil + kaolin+RHFA	140±1.00^{f}
As-soil + RHFA	117±1.73^{b}
As-soil + kaolin+SDFA	156±3.00^{h}
As-soil + SDFA	129.66±2.08^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดยDuncan multiple range test



ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในดินภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังจากเก็บเกี่ยวต้นพริกขี้หนู 51 วัน

จากตารางที่ 4.4 และ ภาพผลการทดลองที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w เติมลงในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนูจะมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ เป็นสารปรับปรุงดิน ซึ่งการเติมสารปรับปรุงดินทุกเงื่อนไขจะมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินสูงกว่าเงื่อนไขการปลูกพริกขี้หนูในที่ดินปนเปื้อนสารหนูปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

โดยมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินเมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w มีค่าเท่ากับ 156±3.00 mg As/kg soil ตามลำดับ จากปริมาณสารหนูเริ่มต้น 203.66±1.52 mg As /kg soil แสดงให้เห็นว่าอิออนของสารหนูในดินจะถูกดูดซับด้วยเถ้าขี้เลื่อยร่วมกับดินขาวสูงกว่าการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ ดังนั้นอิออนของสารหนูจึงเคลื่อนย้ายจากดิน ไปสู่ ราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ (ดังตารางที่ 4.2)

ผลผลิตของพริกขี้หนูในรูปน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยว

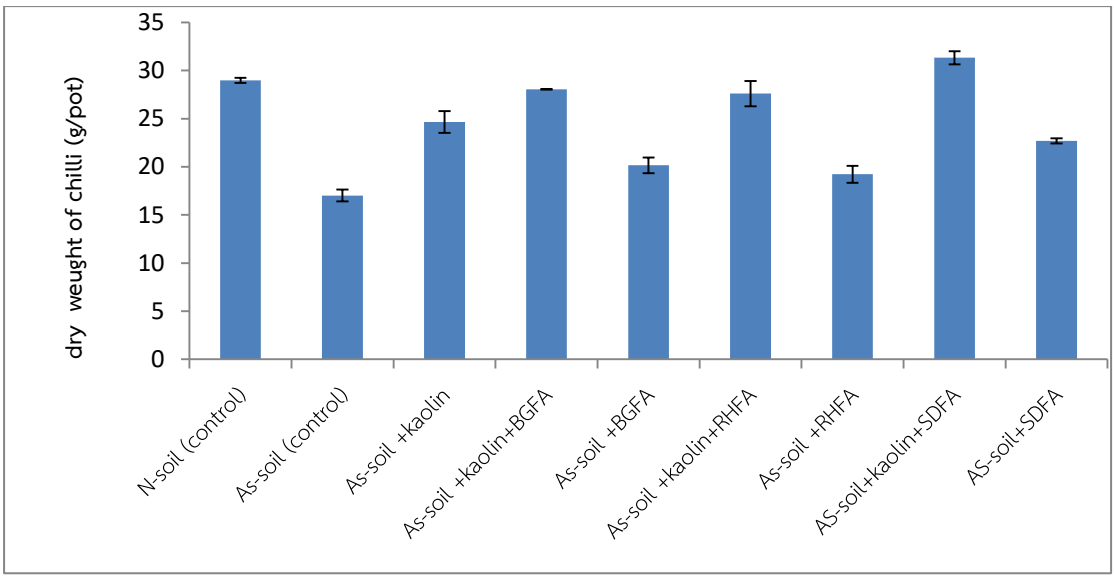
หลังเก็บเกี่ยวพริกขี้หนู 51 วัน การทดลองได้ ชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของพริกขี้หนูเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของพริกขี้หนูเมื่อใช้เงื่อนไขการทดลองต่างกันในการเติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนู ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 ซึ่งจากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.4 พบว่า น้ำหนักของต้นพริก (dry weight) เมื่อใช้ SDFA 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w เติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนูจะมีน้ำหนักแห้งสูงสุด โดยมีปริมาณ

เท่ากับ 30.02±0.47 กรัมต่อกระถาง ซึ่งปริมาณน้ำหนักแห้งดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ และจะเห็นว่าการ ใช้ SDFA 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w เติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนู มีปริมาณน้ำหนักแห้งสูงว่าการปลูกพริกขี้หนูที่ปราศจากการใส่สารปรับปรุงดิน (As-soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ($p< 0.05$) เช่นเดียวกันโดยน้ำหนักแห้งของต้นพริกขี้หนูที่ปราศจากการใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเพียง 17.02±0.61 กรัม/กระถาง

ตารางที่ 4.5 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นพริกขี้หนูหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

เงื่อนไขการทดลองต่างๆ	**น้ำหนักของต้นพริกขี้หนู (dry weight, g/pot)**
Normal soil (control)	28.98±0.26^{f}
As-soil (control)	17.02±0.61^{a}
As-soil + kaolin	24.66±1.13^{d}
As-soil + kaolin+ BGFA	28.05±0.35^{ef}
As-soil + BGFA	20.15±0.80^{b}
As-soil + Kaolin+RHFA	27.60±1.30^{e}
As-soil + RHFA	19.22±0.88^{b}
As-soil + Kaolin+SDFA	30.02±0.47^{g}
As-soil + SDFA	22.7±0.27^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test



ภาพที่ 4.4 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นพริกขี้หนูหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

ผลของแคลเซียมต่อปริมาณสารหนูที่สะสมในต้นพริกขี้หนู

แคลเซียมจัดเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืชและมีบทบาทที่สำคัญในพืช เช่น ช่วยในการสร้างเซลล์และโครงสร้างของเซลล์ของพืช ช่วยให้เซลล์ติดต่อกัน และจะช่วยเชื่อมผนังเซลล์ และให้เป็นรูปร่าง (Cho, Cho, & Kao, 2012) และเมื่อพืชขาดแคลเซียมแล้วใบจะบิดเบี้ยว งอ ใบเหลือง (Schmitz-Eiberger, Haefs, & Noga, 2002); Cho, Cho, & Kao, 2012) และถ้าพืชอยู่ในระยะออกดอก ติดผล ตาดอกและและกลีบดอกจะไม่พัฒนาดอกและผลจะร่วง

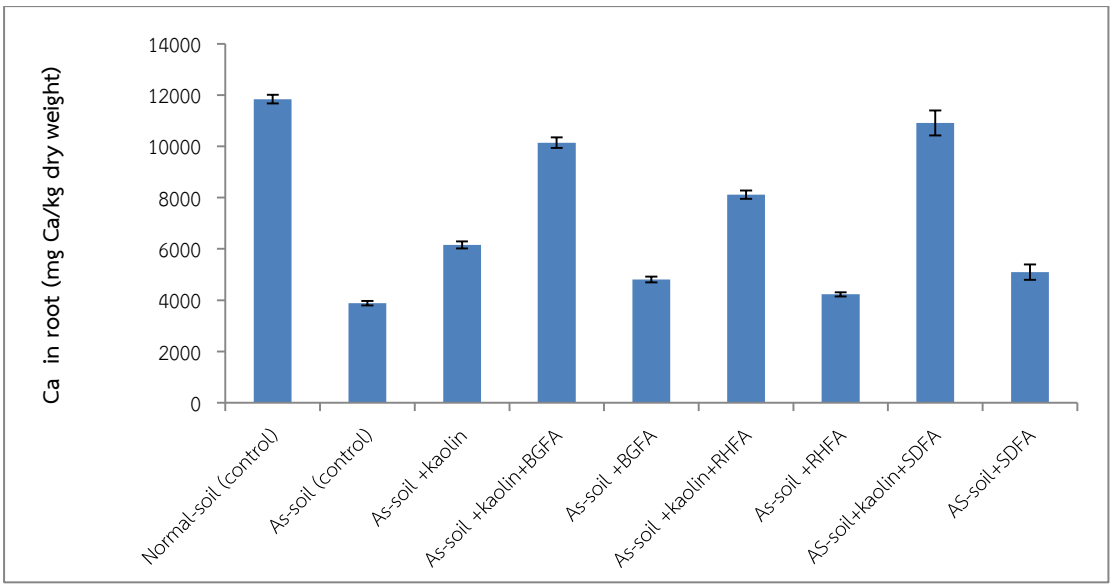
ผลของแคลเซียมที่สะสมในราก ลำต้น ใบ ขั้วและผล ของต้นพริก แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.5 จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมจะสูงขึ้นเมื่อใช้สารปรับปรุงดิน เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ SDFA 1 % (w/w)+ ดินขาว 1% (w/w) เป็นสารปรับปรุงดิน จะมีปริมาณแคลเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ โดยจะมีปริมาณแคลเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล โดยมีค่าเท่ากับ 10914.33±484.06, 6,257±169.55, 5439.66±189.95, 4842.33±121.88 และ1666.66±64.00 mg Ca/kg dry weight ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าปริมาณของสารหนูในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลของพริกขี้หนู เมื่อเติม SDFA 1%w/w+ดินขาว 1%w/w จะมีปริมาณสารหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพริกขี้หนูน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินอื่นๆ และปริมาณสารหนูในเมล็ดพริกมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (มาตรฐานของสถาบันอาหารกำหนดไม่เกิน 3 mg As/ kg dry weight) (ตารางที่ 4.2 ภาพที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆของต้นพริกขี้หนูจะแปรผกผันกับปริมาณสารหนูในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมน่าจะช่วย

ลดความเป็นพิษของสารหนูในพริกขี้หนู โดยปริมาณสารหนูจึงลดลงเมื่อมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นในต้นพริกขี้หนู อิออนสารหนูและแคลเซียมอิออนแย่งจับเข้าในเซลล์รากของพืช (Islam, Khan, & Irem, 2015; Li, Chen, Huang, Lei, & Liao, 2006)

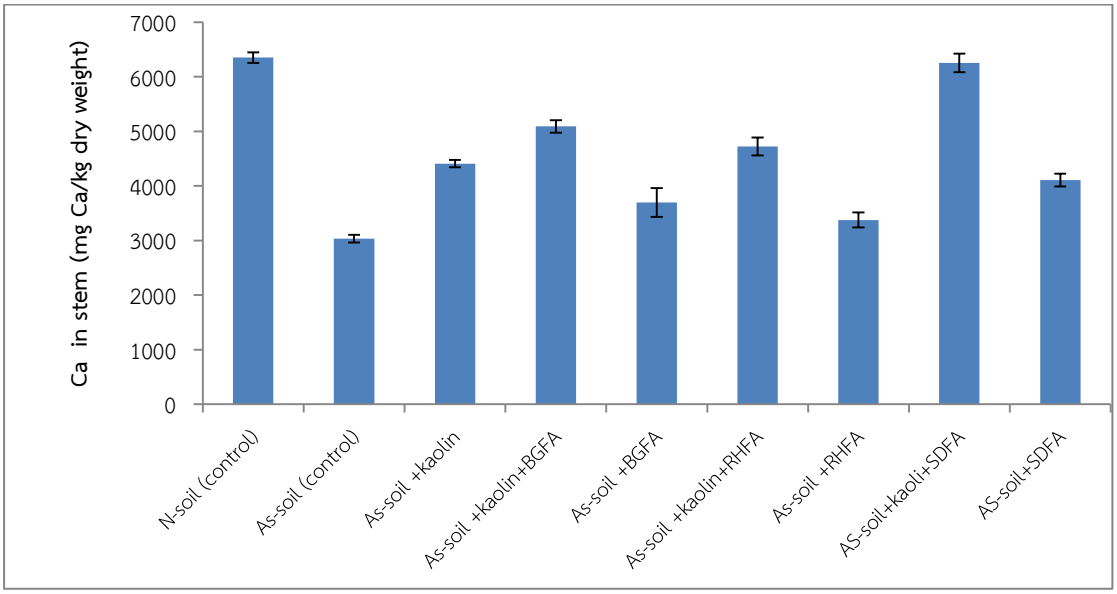
ตารางที่ 4.6 ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นพริกขี้หนูหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคลเซียมหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (mg Ca/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	11839± 168.43^{i}	6357± 97.01^{i}	5854.66± 68.06^{i}	4790.66±6 7.71^{i}	1748± 95.53^{i}
As-soil (control)	3883.33± 83.76^{a}	3036.33± 69.65^{a}	2091.66± 55.01^{a}	2038± 63.31^{a}	539± 18.24^{a}
As-soil+kaolin	6153.33± 137.48^{e}	4408.66± 67.98^{e}	3619.33± 93.60^{d}	3418.33± 72.39^{e}	980± 23.57^{e}
As-soil+kaolin +BGFA	10138.66± 205.57^{g}	5091.33± 113.85^{g}	4669.33± 165.63^{f}	4249± 111.63^{g}	1460.66± 43.01^{g}
As-soil+BGFA	4811± 114.68^{c}	3696.33± 264.77^{c}	3104.66± 89.89^{c}	3001.33± 56.08^{c}	759.66± 22.03^{c}
As-soil+kaolin +BGFA	8120.33± 162.17^{f}	472.33± 164.64^{f}	3962.66± 76.50^{e}	3915.33± 43.13^{f}	1222.66± 36.47^{f}
As-soil+BGFA	4230± 82.28^{b}	3376.33± 136.65^{b}	2874± 90.07	2558.66± 107.96^{b}	679.33± 4.61^{b}
As-soil+kaolin +SDFA	10914.23± 484.06^{h}	6257± 169.55^{h}	5439.66± 189.95^{g}	4842.33± 121.88^{h}	1666.66± 64^{h}
As-soil+SDFA	5098.33± 298.29^{d}	4107.33± 119.09^{d}	3467.33± 14.01^{d}	3191± 29.59^{d}	862.66± 11.71^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

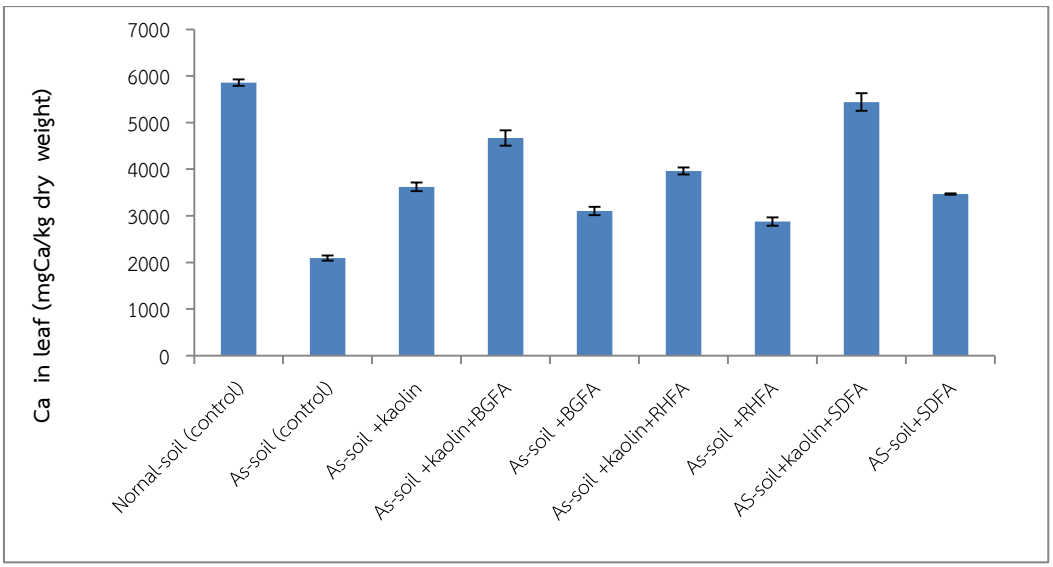


ก) ราก

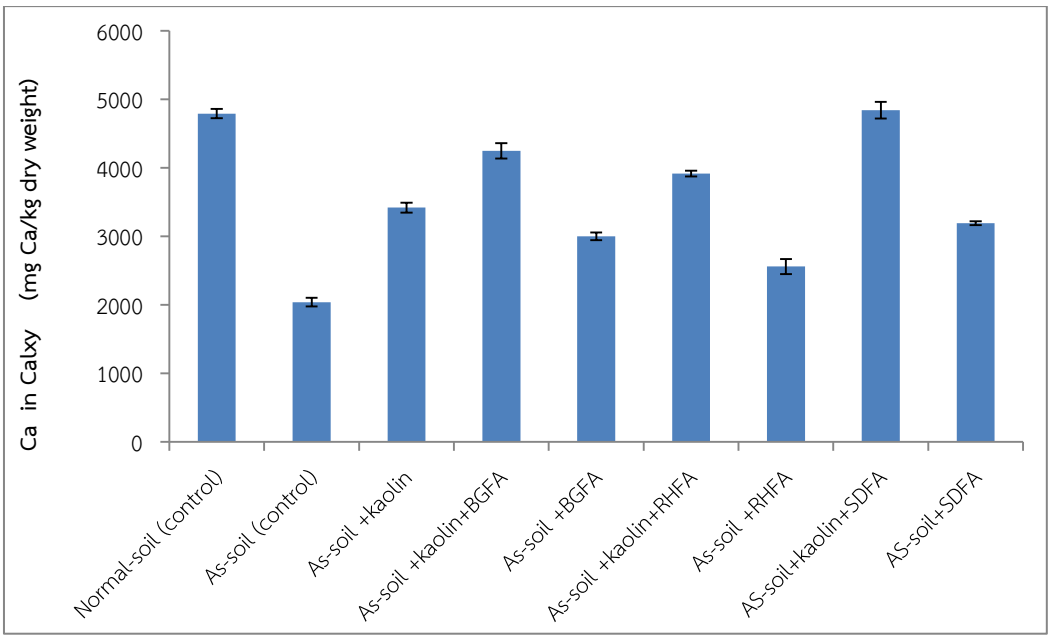


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.5 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

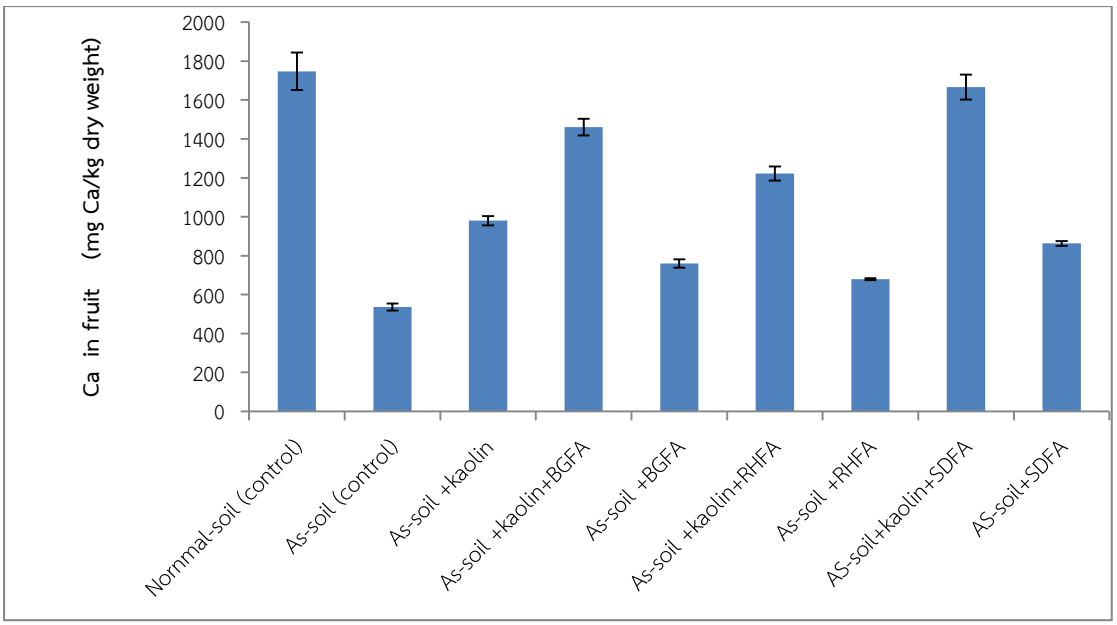


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.5 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)



จ) ผล

ภาพที่ 4.5 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)

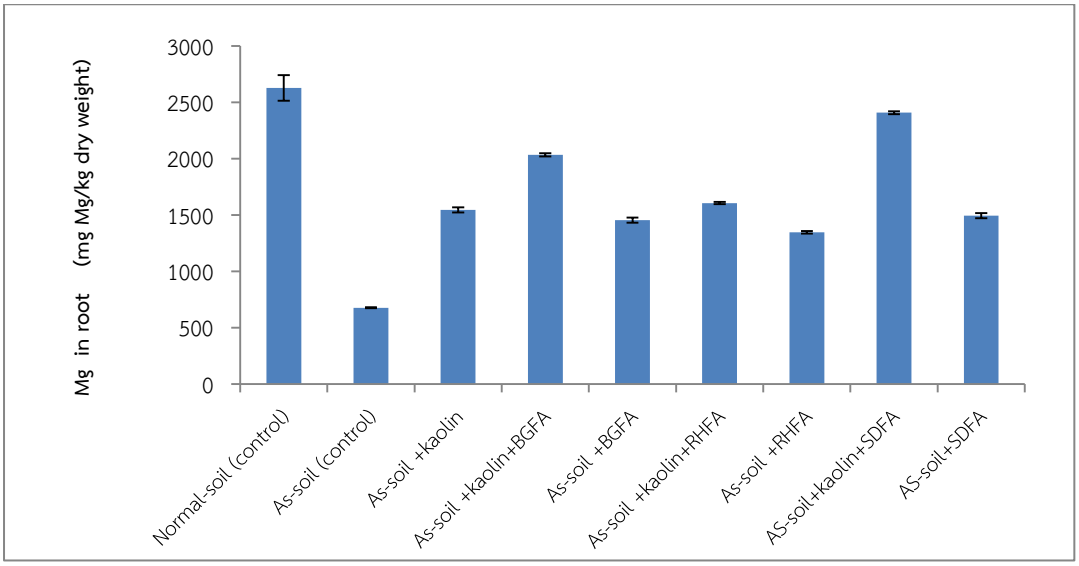
ผลของแมกนีเซียมต่อปริมาณสารหนูที่สะสมในต้นพริกขี้หนู

แมกนีเซียมมีความสำคัญกับพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นตัวเร่งและส่วนประกอบของเอนไซม์ในพืช ช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหารในพืชและเป็นตัวนำพาฟอสฟอรัสในการดูดซึมจากรากไปยังส่วนต่างๆ ของพืช (Chou, Cho, Huang, Hong, & Kao, 2011) ซึ่งผลของแมกนีเซียมต่อปริมาณสารหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นพริกขี้หนูแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.6

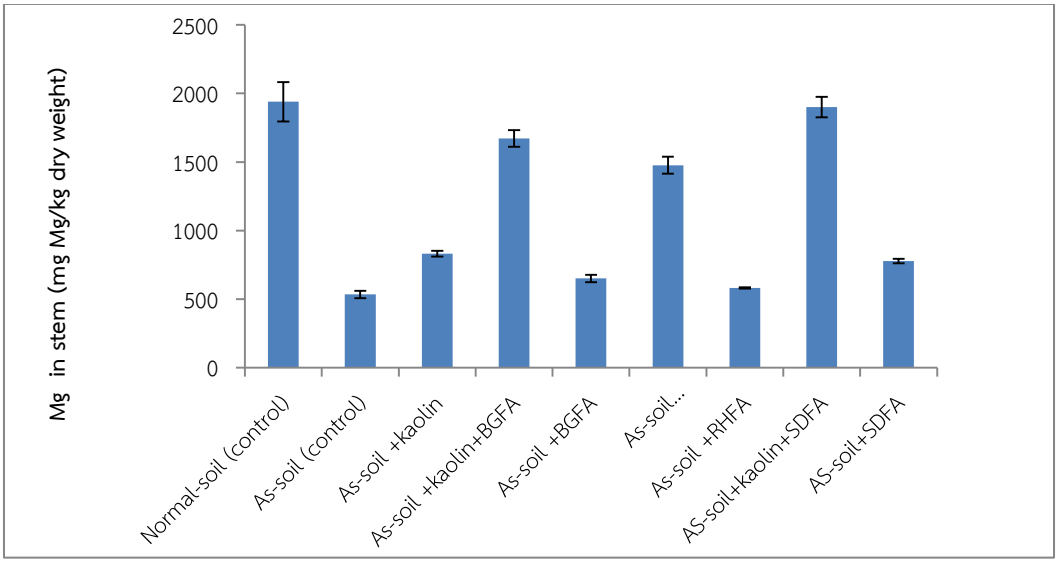
ตารางที่ 4.7 ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นพริกขี้หนูหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (mg Mg/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	2626± 114.33^{i}	1940± 143.51^{g}	1647± 43.92^{g}	1492± 7.78^{i}	750.00± 49.00^{i}
As-soil (control)	676± 4.00^{a}	534± 27.05^{a}	876.33± 30.36^{a}	570.33± 11.01^{a}	137.66± 3.05^{a}
As-soil +kaolin	1544± 23.57^{e}	830.66± 20.13^{c}	1354± 14.73^{d}	1068.33± 28.21^{e}	443.66± 2.08^{e}
As-soil +kaolin +BGFA	2032.66± 14.46^{g}	1672.66± 60.70^{e}	1473.66± 19.65^{e}	1314± 16.46^{g}	624.33± 2.88^{g}
As-soil +BGFA	1452± 22.71^{c}	650.66± 26.55^{b}	955.33± 29.36^{b}	782± 17.69^{c}	300± 3.00^{c}
As-soil +kaolin +BGFA	1605.33± 11.01^{f}	1476± 62.09^{d}	1453.66± 6.02^{e}	1276.33± 54.93^{f}	514.33± 7.57^{f}
As-soil +BGFA	1346.66± 11.37^{b}	581.33± 5.03^{ab}	895.66± 18.33^{a}	691.33± 16.07^{b}	203.00± 2.00^{b}
As-soil+kaolin +SDFA	2406.66± 13.31^{h}	1901.33± 75.08^{f}	1591± 12.28^{f}	1448.66± 15.94^{h}	714.00± 13.07^{h}
As-soil+SDFA	1494± 22.27^{d}	778± 16^{c}	1256± 43.55^{c}	865.33± 45.34^{d}	384.00± 24.24^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

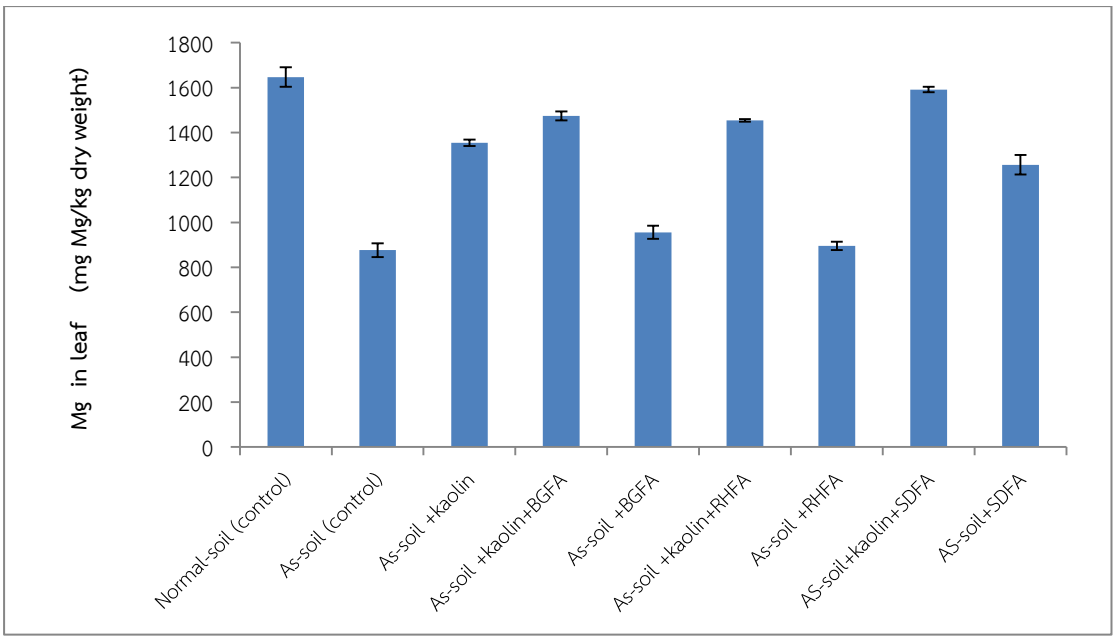


ก) ราก

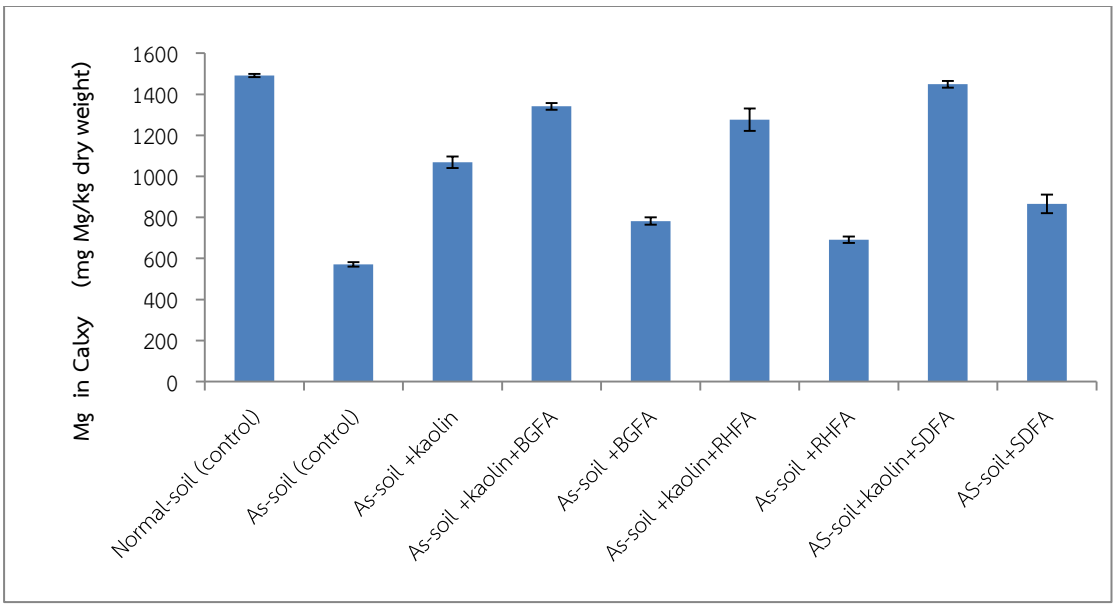


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน

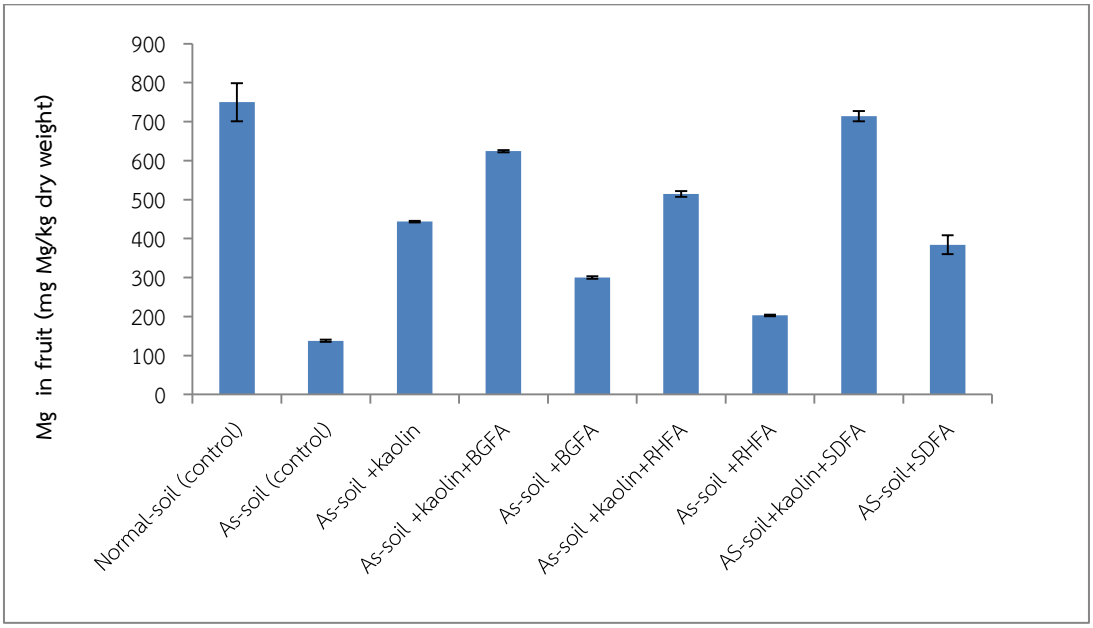


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)



จ) ผล

ภาพที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกพริกขี้หนูในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 51 วัน (ต่อ)

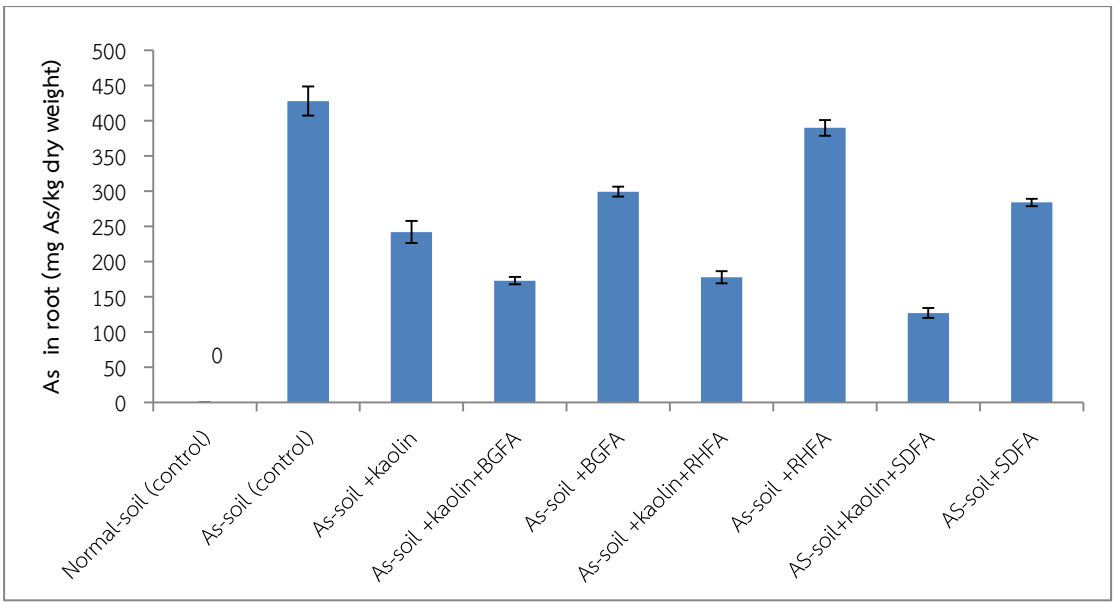
จากตารางที่ 4.7 และจากภาพที่ 4.6 พบว่า การใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1% w/w+ดินขาว 1% w/w ในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนู จะมีปริมาณแมกนีเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และ ผลสูงกว่าการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ ตลอดจนไม่มีการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) ขณะที่ปริมาณสารหนูที่สะสมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลเมื่อเติม เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1% w/w+ดินขาว1% w/w ในการปลูกพริกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเติมสารปรับปรุงดินเงื่อนไขอื่นๆ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) แสดงว่าแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจะลดปริมาณสารหนูในต้นพริก โดยแมกนีเซียมจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชเนื่องจากช่วยลดความเป็นพิษจากสารหนู โดยประจุ 2+ของสารหนูและแมกนีเซียมจะแย่งกันเพื่อเข้าจับกับเมนเบรนของพืช (Islam, Khan, & Irem, 2015)

ผลการใช้ไบโอชาร์และดินขาวในการลดการสะสมสารหนูในต้นมะเขือเปราะ

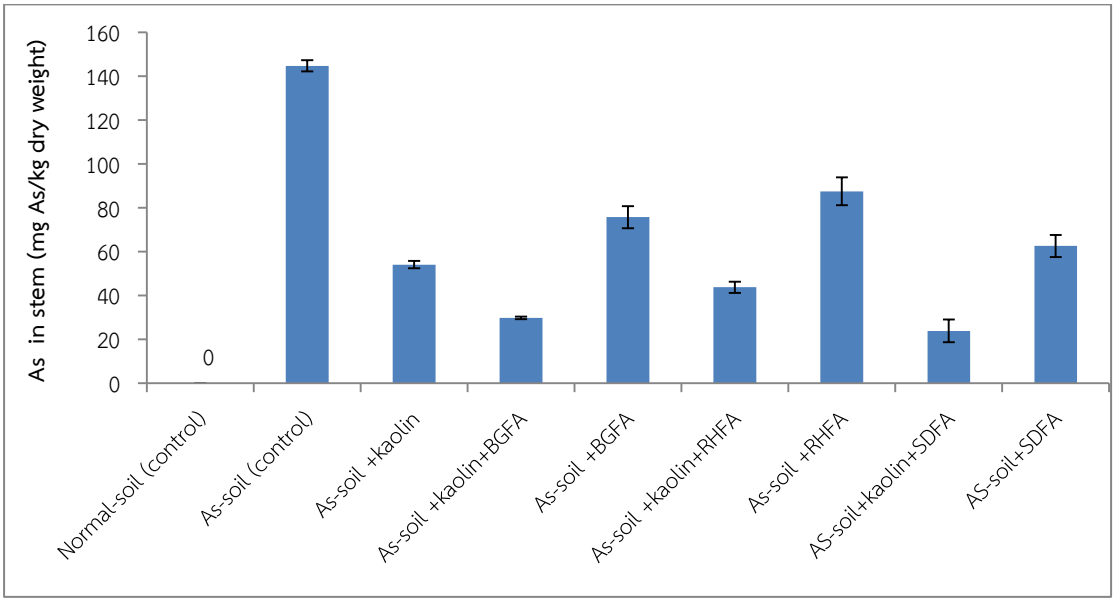
ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นมะเขือเปราะในเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณสารหนูหลังเก็บเกี่ยวที่ 75 วัน (mg As/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	0	0	0	0	0
As-soil (control)	428±20.78^{f}	144.66±2.51^{g}	75.56±4.21^{e}	35.53±0.57^{e}	9.50±0.32^{h}
As-soil+kaolin	242±20.78^{c}	54.06±1.62^{c}	19.43±0.63^{b}	19±1.03^{c}	6.25±0.12^{d}
As-soil+kaolin +BGFA	173±5.19^{b}	29.8±0.60^{a}	15.36±0.40^{a}	15±1.03^{ab}	3.95±0.49^{b}
As-soil +BGFA	299.33±7.02^{d}	75.7±5.02^{d}	37.93±1.84^{d}	27.46±0.41^{d}	7.54±0.39^{f}
As-soil +kaolin +RHFA	177.86±8.54^{b}	43.76±2.54^{c}	16.6±1.03^{ab}	16.4±0.72^{b}	5.16±0.13^{c}
As-soil+RHFA	390±11.13^{e}	87.46±6.33^{e}	40.33±1.5^{d}	28.53±0.80^{d}	8.20±0.10^{g}
As-soil+kaolin +SDFA	127±6.97^{a}	23.90±5.12^{a}	13.43±0.58^{a}	14.27±1.15^{a}	1.46±0.30^{a}
As-soil+SDFA	284±5.29^{d}	62.56±5.08^{d}	24.13±2.19^{c}	20.34±1.77^{c}	6.74±0.52^{e}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จำแนกโดย Duncan multiple range test

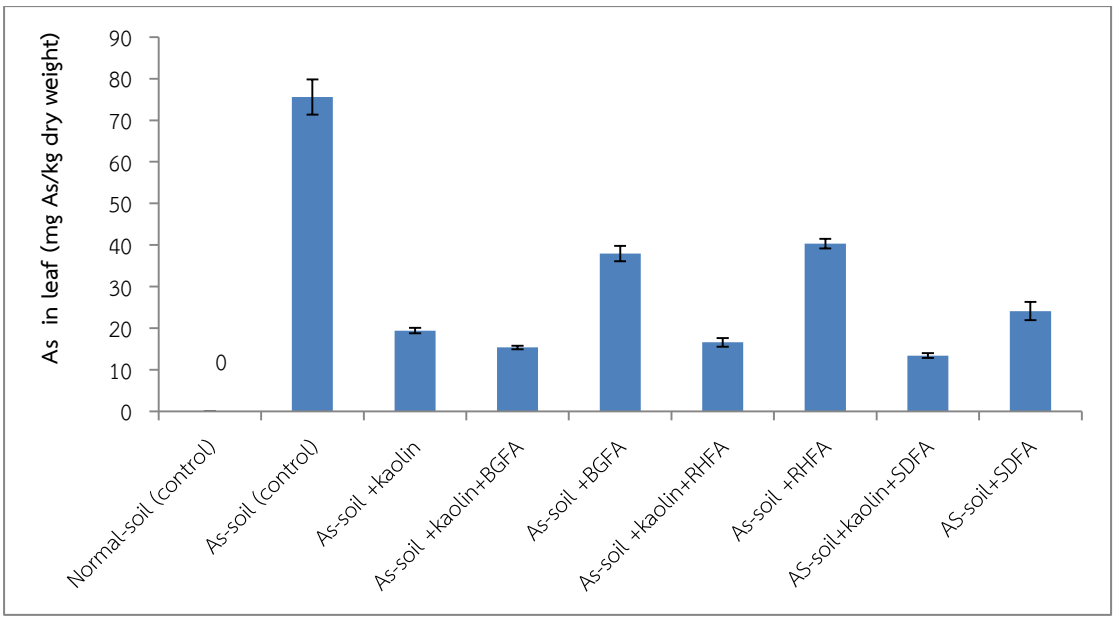


ก) ราก

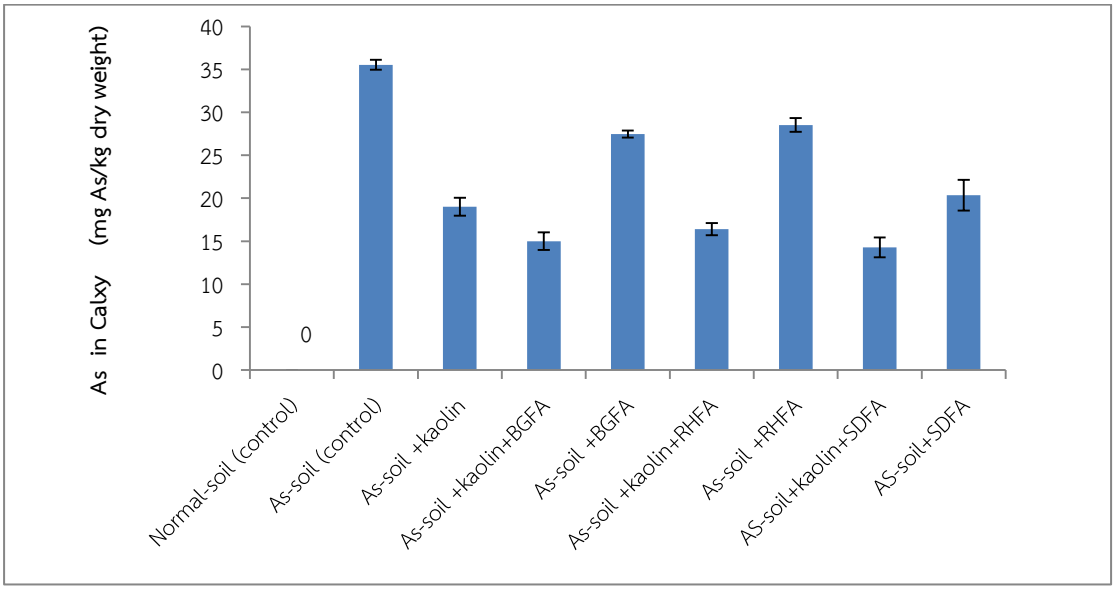


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.7 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

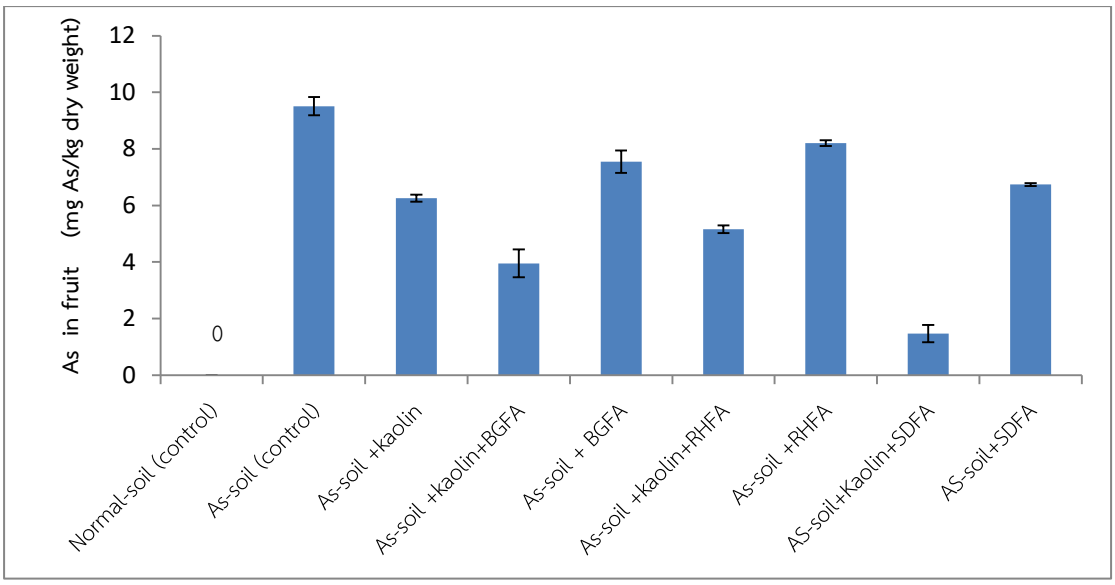


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.7 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)



จ) ผล

ภาพที่ 4.7 ปริมาณสารหนูในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.7 พบว่า เมื่อมีการใช้ เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) ปริมาณ 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w เติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกมะเขือเปราะพันธุ์ super hot 2 พบว่า จะมีปริมาณสารหนูที่สะสมใน ราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลของมะเขือเปราะต่ำสุดหลังเก็บเกี่ยว 51 วัน โดยมีค่าปริมาณสารหนูที่สะสมใน ราก ลำต้น ใบ ขั้วและผลของมะเขือเปราะ เท่ากับ 127.00±6.97, 23.90±5.12, 13.43±0.58, 14.27±1.15 และ 1.46±0.30 mg As/kg dry weight ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การใช้เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, เถ้าแกลบ (RHFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, ดินขาว 1%w/w, เถ้าขี้เลื่อย 1%w/w, เถ้าลอยชานอ้อย 1%w/w และเถ้าแกลบ 1%w/w ตามลำดับ ส่วนเงื่อนไขการปราศการเติมสารปรับปรุงดิน (As soil ,control) นั้นมีปริมาณสารหนูที่สะสมในราก ลำต้น ใบ ขั้วและผลของมะเขือเปราะในปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อมีการใช้สารปรับปรุงดินและมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) กับการใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1%w/w+ดินขาว 1%w/w และเงื่อนไขอื่นๆ นอกจากนั้นจะเห็นว่าปริมาณสารหนูที่สะสมในผลของมะเขือเปราะเมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1% w/w มีค่าเพียง 1.46±0.30 mg As/kg dry weight ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ของสารหนูในผักสูงสุดที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย (2546) ที่กำหนดมาตรฐานปริมาณสารหนูในอาหารได้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนปริมาณสารหนูสะสมในผลของมะเขือเปราะสูงถึง 3.95±0.49 5.16±0.13, 4.99±0.31, 6.25±0.12, 6.74±0.52, 7.54±0.39, 8.20±0.10 และ 9.50±0.32 mg As/kg dry weight เมื่อใช้เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, เถ้าแกลบ (RHFA)

1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, ดินขาว 1%w/w, เถ้าขี้เลื่อย 1%w/w, เถ้าลอยชานอ้อย 1%w/w เถ้าแกลบ1%w/w และปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองการปลูกพริกขี้หนูเมื่อใช้สารปรับปรุงดินในเงื่อนไขเดียวกัน

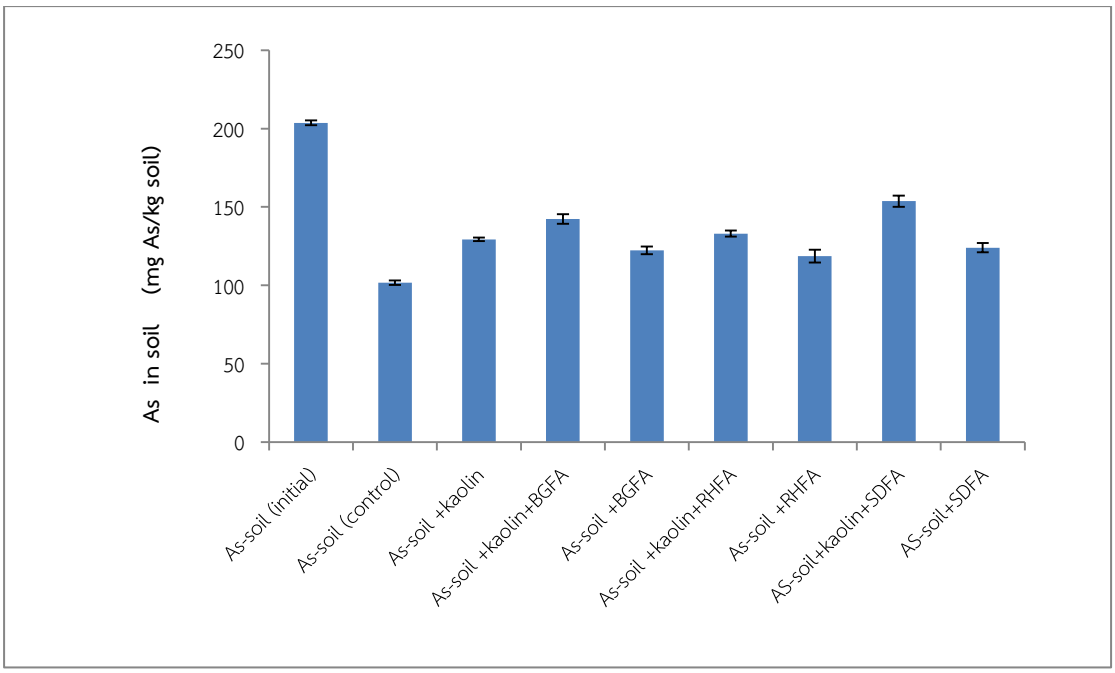
ปริมาณของสารหนูที่เหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยวต้นมะเขือเปราะ

ปริมาณของสารหนูที่เหลืออยู่ในดิน หลังจากเติมสารปรับปรุงดินชนิดต่างๆ ในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกมะเขือเปราะ แสดงดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในดิน หลังจากเก็บเกี่ยวต้นมะเขือเปราะ 75 วัน

เงื่อนไขการทดลองต่างๆ	ปริมาณสารหนู (mg As/kg soil)
As- soil (initial)	203.66±1.52[h]
As-soil (control)	101.66±1.52[a]
As-soil+ kaolin	129.33±1.15[e]
As-soil + kaolin+BGFA	142.33±3.05
As-soil + BGFA	122.33±2.51[c]
As-soil + kaolin+RHFA	133.00±2.00[f]
As-soil + RHFA	118.66±4.04[b]
As-soil + kaolin+SDFA	153.66±3.51[g]
As-soil + SDFA	124.00±3.00[d]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test



ภาพที่ 4.8 ปริมาณสารหนูที่เหลืออยู่ในดินภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังจากเก็บเกี่ยวต้นมะเขือเปราะ 75 วัน

จากตารางที่ 4.9 และภาพผลการทดลองที่ 4.8 พบว่า เมื่อใช้ เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1% w/w ดินขาว 1%w/w เติมลงในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกมะเขือเปราะจะมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ เป็นสารปรับปรุงดิน ซึ่งการเติมสารปรับปรุงดินทุกเงื่อนไขจะมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินสูงกว่าเงื่อนไขการปลูกมะเขือเปราะในที่ดินปนเปื้อนสารหนูปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

โดยมีปริมาณสารหนูที่เหลือในดินเมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w มีค่าเท่ากับ 153.66±3.51 mg As/kg soil จากปริมาณสารหนูเริ่มต้น 203.66±1.52 mg As /kg soil แสดงให้เห็นว่าอิออนของสารหนูในดินจะถูกดูดซับด้วยเถ้าขี้เลื่อย ร่วมกับดินขาวสูงกว่าการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ ดังนั้นอิออนของสารหนูจึงเคลื่อนย้ายจากดิน ไปสู่ ราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ (ดังตารางที่ 4.2) ส่วนการใช้เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, เถ้าแกลบ (RHFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1% w/w, ดินขาว 1%w/w, เถ้าขี้เลื่อย1%w/w, เถ้าลอยชานอ้อย 1%w/w เถ้าแกลบ1%w/w และปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil, control) ซึ่งจะมีปริมาณสารหนูในดินมีค่าเท่ากับ 142.33±3.05, 133.00±2.00, 129.33±1.15, 122.33±2.51, 118.66±4.04, 124.00±3.00 และ 101.66±1.52 mg As/kg soil ตามลำดับ

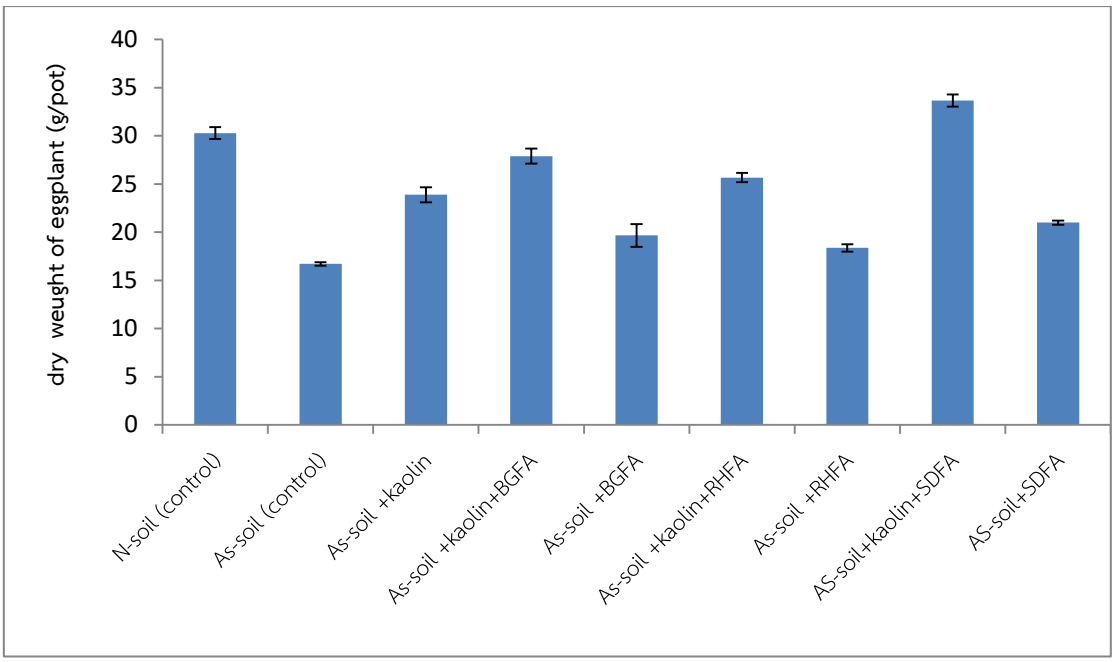
ผลผลิตของต้นมะเขือเปราะในรูปน้ำหนักแห้งหลังเก็บเกี่ยว

หลังเก็บเกี่ยวมะเขือเปราะ 75 วัน ได้ชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของมะเขือเปราะ เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเปราะเมื่อใช้เงื่อนไขการทดลองต่างๆกัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.9 ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักของต้นพริก เมื่อใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w เติมในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกพริกขี้หนูจะมีน้ำหนักแห้งสูงสุดโดยมีปริมาณสูงสุดมีค่าเท่ากับ 33.66±0.63 กรัมต่อกระถาง รองลงมา ได้แก่ ปลูกในดินธรรมดาไม่มีการปนเปื้อนสารหนู (Normal-soil) การใช้เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) 1%w/w+ดินขาว (kaolin) 1%w/w, เถ้าแกลบ (RHFA) 1%w/w +ดินขาว (kaolin) 1%w/w, ดินขาว 1%w/w, เถ้าขี้เลื่อย 1%w/w, เถ้าลอยชานอ้อย 1%w/w, เถ้าแกลบ1%w/w และการปลูกต้นมะเขือเปราะโดยปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำหนักแห้งเมื่อมีการใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w เป็นสารปรับปรุงดินจะมีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ

ตารางที่ 4.10 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นมะเขือเปราะหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

เงื่อนไขการทดลองต่างๆ	**น้ำหนักของต้นมะเขือเปราะ (dry weight, g/pot)**
Normal soil (control)	30.29±0.61^{h}
As-soil (control)	16.71±0.18^{a}
As-soil + kaolin	23.88±0.77^{e}
As-soil + kaolin+ BGFA	27.89±0.77^{g}
As-soil + BGFA	19.66±1.18^{c}
As-soil + Kaolin+RHFA	25.66±0.47^{f}
As-soil + RHFA	18.37±0.39^{b}
As-soil + Kaolin+SDFA	33.66±0.63^{g}
As-soil + SDFA	20.99±0.22^{d}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test



ภาพที่ 4.9 น้ำหนักแห้ง (dry weight) ของต้นมะเขือเปราะหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

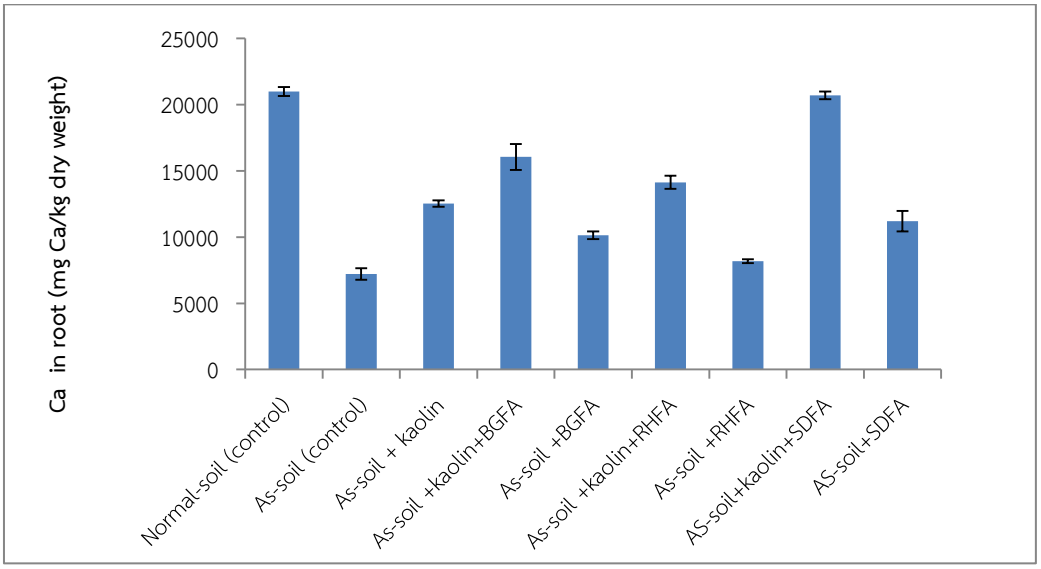
ผลของแคลเซียมต่อปริมาณสารหนูที่สะสมในต้นมะเขือเปราะ

ผลของแคลเซียมที่สะสมในราก ลำต้น ใบ ขั้วและ ผล ของมะเขือเปราะ แสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.10 จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมจะสูงขึ้นเมื่อใช้สารปรับปรุงดิน เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกต้นมะเขือเปราะในดินที่ปราศจากการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ SDFA 1 %w/w+ ดินขาว 1%w/w เป็นสารปรับปรุงดินจะมีปริมาณแคลเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ โดยจะมีปริมาณแคลเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล มีค่าเท่ากับ 20703.33±290.05, 5807.33±177.36, 5063±206.11, 4693.66±92.14 และ 4409.00±174.43 mg Ca/kg dry weight ตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าปริมาณของสารหนูในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลของมะเขือเปราะ เมื่อเติม SDFA 1 %w/w+ดินขาว 1%w/w จะมีปริมาณสารหนูที่สะสมในส่วนต่างๆ ของมะเขือเปราะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารปรับปรุงดินอื่นๆ (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆของมะเขือเปราะจะแปรผกผันกับปริมาณสารหนูในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผล แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมน่าจะช่วยลดความเป็นพิษของสารหนูในมะเขือเปราะ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา Li, Chen, Huang, Lei, & Liao (2006) และ Islam, Khan, & Irem (2015) ที่พบว่าปริมาณแคลเซียมจะช่วยลดปริมาณโลหะหนักที่สะสมในลำต้นของพืช

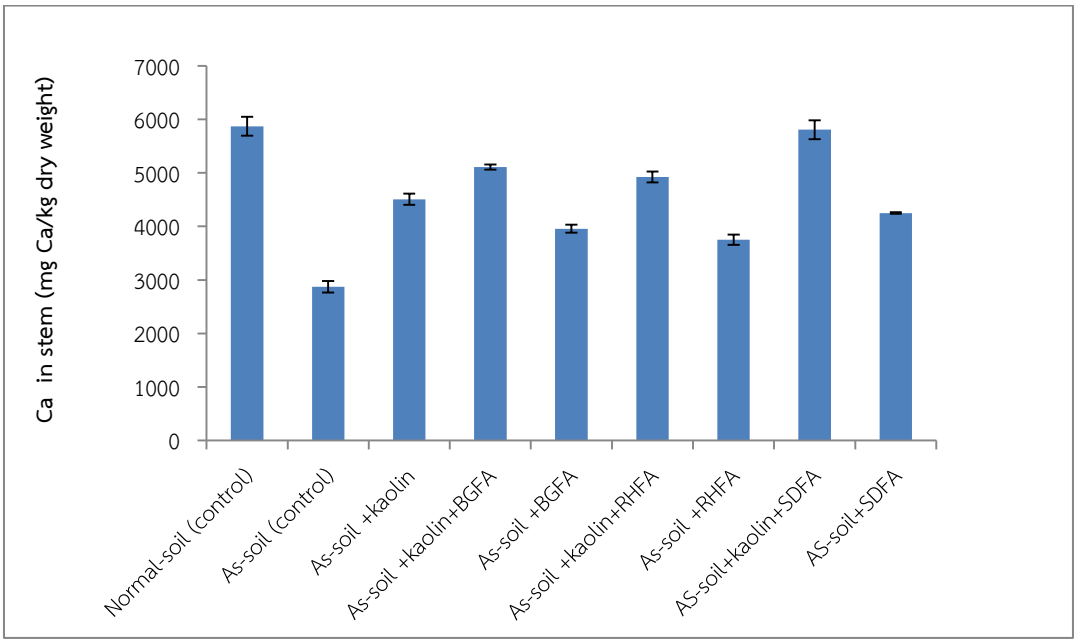
ตารางที่ 4.11 ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นมะเขือเปราะหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแคลเซียมหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (mg Ca/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	20986± 339.11^{i}	5871.66± 179.11^{i}	5122.66± 195.43^{f}	4847.66± 124.18^{i}	4535± 157.12^{h}
As-soil (control)	7204.66± 435.43^{a}	2872.66± 108.56^{a}	3214± 114.56^{a}	1728± 36.04	1414.66± 40.41^{a}
As-soil +kaolin	1253.33± 248.06^{e}	4507.33± 104.70^{e}	4266± 21.16^{c}	3280.66± 45.08^{e}	3096.33± 54.27^{e}
As-soil +kaolin +BGFA	16050± 983.55^{g}	5108.66± 47.34^{g}	4856.66± 38.81^{de}	4260.66± 270.93^{g}	3739.66± 125.38^{f}
As-soil +BGFA	10134.66± 293.20^{c}	3959.66± 76.63^{c}	3925.66± 108.55^{bc}	2609.33± 106.49^{c}	2446.66± 25.32^{c}
As-soil +kaolin +BGFA	14128± 494.73^{f}	4925.33± 103.01^{f}	4792.66± 247.97^{d}	3781.66± 77.57^{f}	3175.66± 66.07^{e}
As-soil +BGFA	8176.66± 139.89^{b}	3750.33± 96.55^{b}	3612.33± 30.2^{b}	2420± 20.78^{b}	2246.33± 32.72^{b}
As-soil+kaolin +SDFA	20703.33± 290.05^{h}	5807.33± 177.36^{h}	5063± 206.11^{e}	4693.66± 92.14^{h}	4409± 174.43^{g}
As-soil+SDFA	11199.33± 766.22^{d}	4249.66± 16.16^{d}	4208.33± 49.16^{c}	2917± 88.84^{d}	2708± 96.26^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

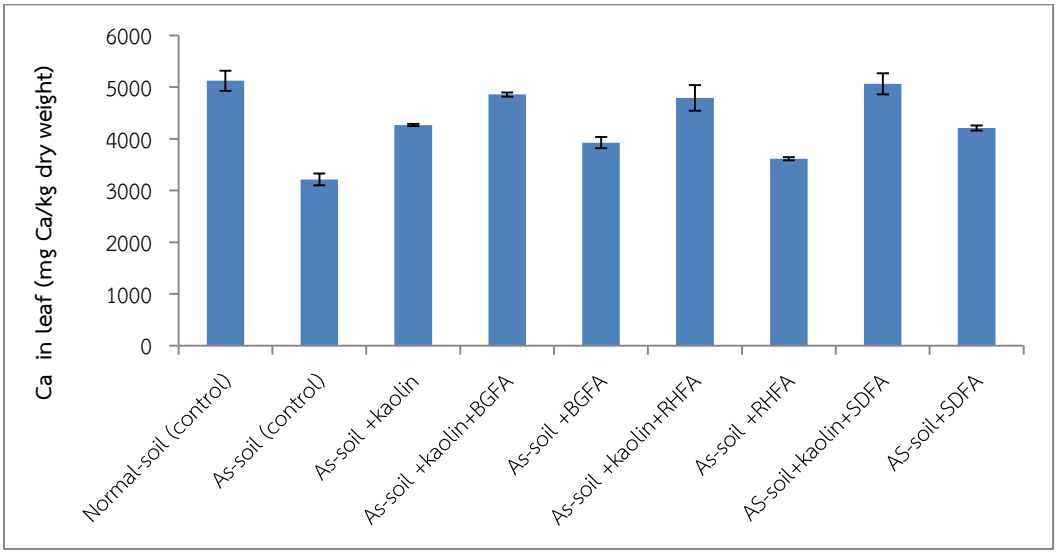


ก) ราก

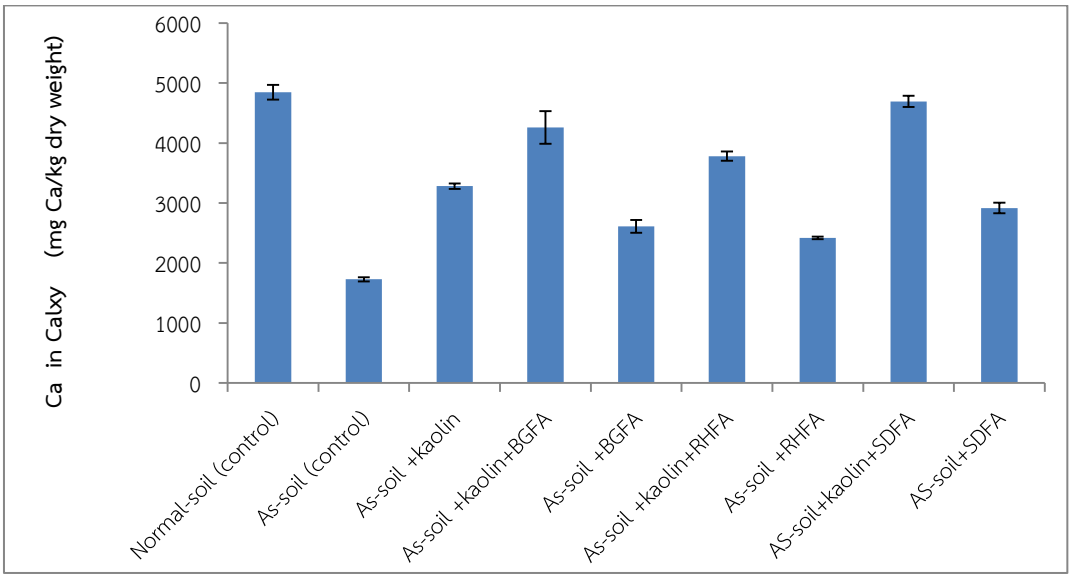


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.10 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

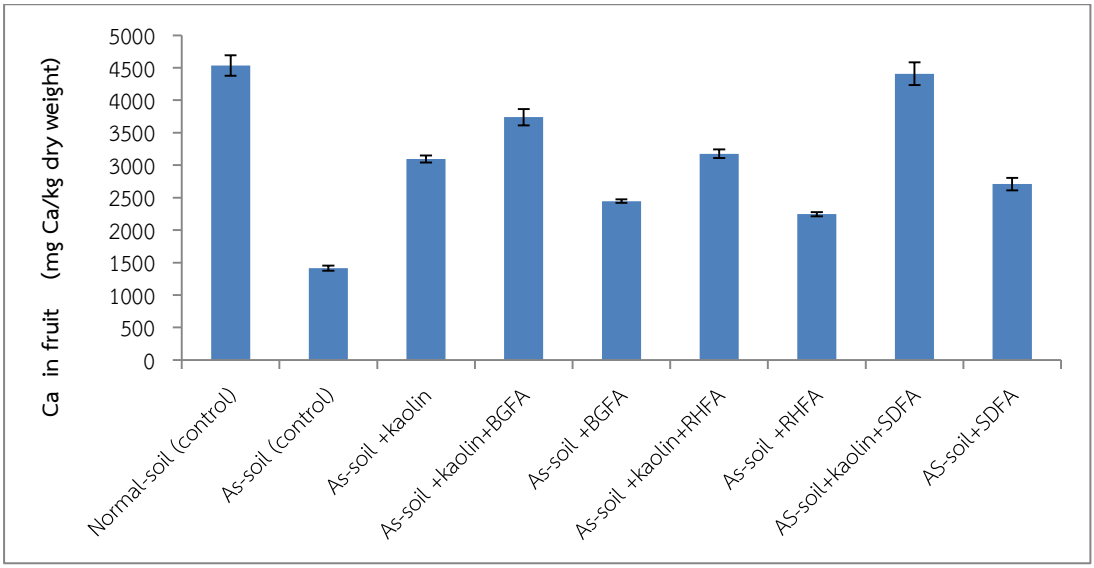


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.10 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)



จ) ผล

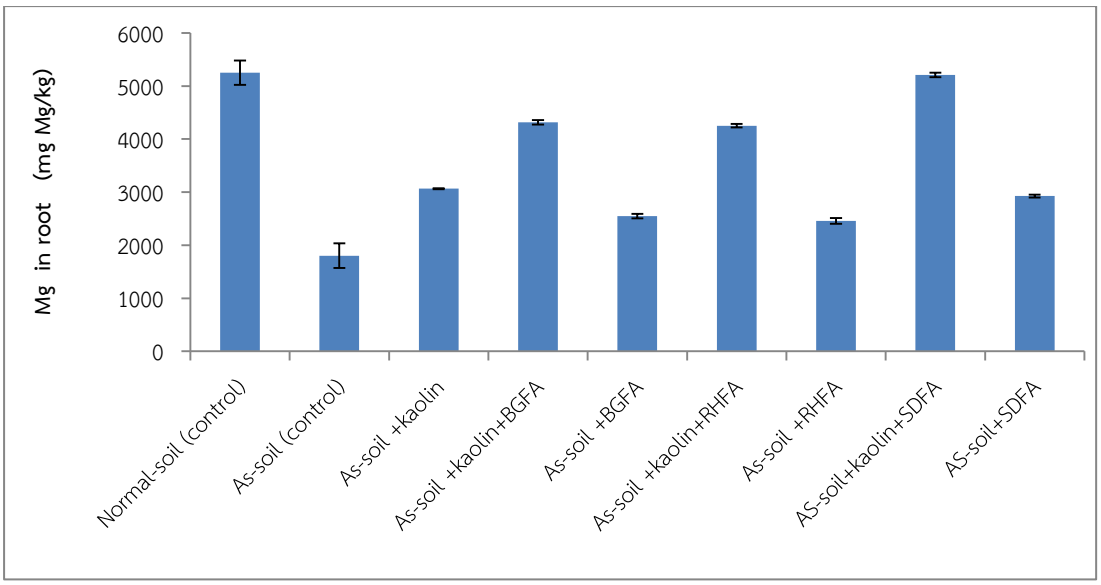
ภาพที่ 4.10 ปริมาณแคลเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)

ผลของแมกนีเซียมต่อปริมาณสารหนูที่สะสมในต้นมะเขือเปราะ

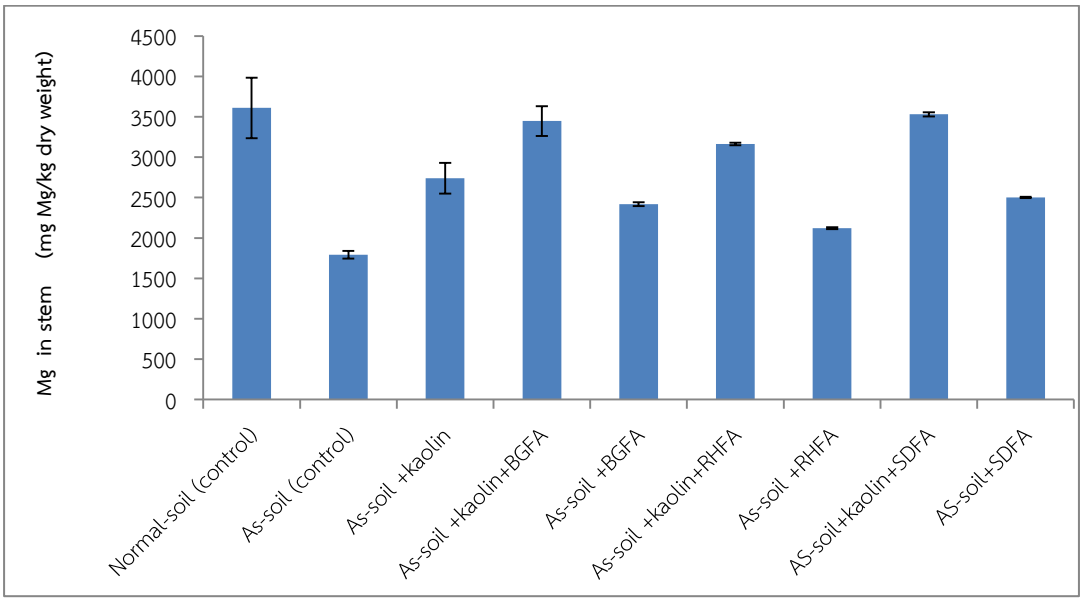
ตารางที่ 4.12 ปริมาณแมกนีเซียมที่สะสมในส่วนต่างๆของต้นมะเขือเปราะหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

เงื่อนไขการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมหลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (mg Mg/kg dry weight)				
	ราก	ลำต้น	ใบ	ขั้ว	ผล
Normal-soil (control)	5250.66± 230.74^{f}	3610± 373.32^{g}	3570.66± 277^{g}	894.66± 13.65^{i}	515± 37.02^{g}
As-soil (control)	1801.66± 230.46^{a}	1793.33± 47.93^{a}	1120± 47.03^{a}	347.33± 1.52^{a}	167± 7.81^{a}
As-soil +kaolin	3063.66± 11.59^{c}	2738.66± 190.88^{d}	2094.66± 27.15^{d}	580.33± 11.01^{e}	326.66± 1.15^{d}
As-soil +kaolin +BGFA	4315± 40.63^{d}	3447.33± 185.91^{f}	2983.33± 116.69^{e}	713± 5.29^{g}	431± 3.60^{e}
As-soil +BGFA	2548.66± 42.59^{b}	2419.33± 23.18^{c}	1641.33± 28.02^{c}	450.33± 3.21^{c}	248± 3.46^{c}
As-soil +kaolin +BGFA	4252± 36.09^{d}	3163.33± 16.65^{e}	2172.66± 53.30^{d}	616.66± 14.64^{f}	422.66± 2.51^{e}
As-soil +BGFA	2458± 53.32^{b}	2121.33± 12.85^{b}	1348.66± 48.67^{b}	395.66± 14.15^{b}	184± 20.42^{b}
As-soil+kaolin +SDFA	5207.33± 43.73^{e}	3531.33± 25.16^{f}	3455.33± 221.43^{f}	878± 15.71^{h}	489.66± 10.06^{f}
As-soil+SDFA	2926.33± 27.06^{c}	2501.33± 9.45^{c}	1799.33± 33.30^{c}	483± 12.12^{d}	258.33± 4.5^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำแนกโดย Duncan multiple range test

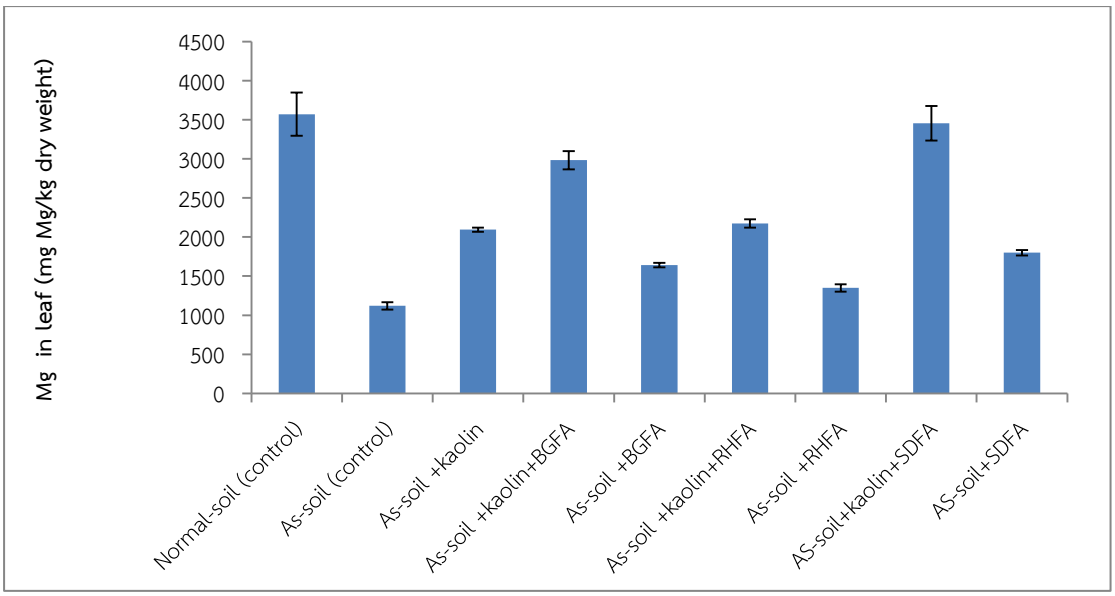


ก) ราก

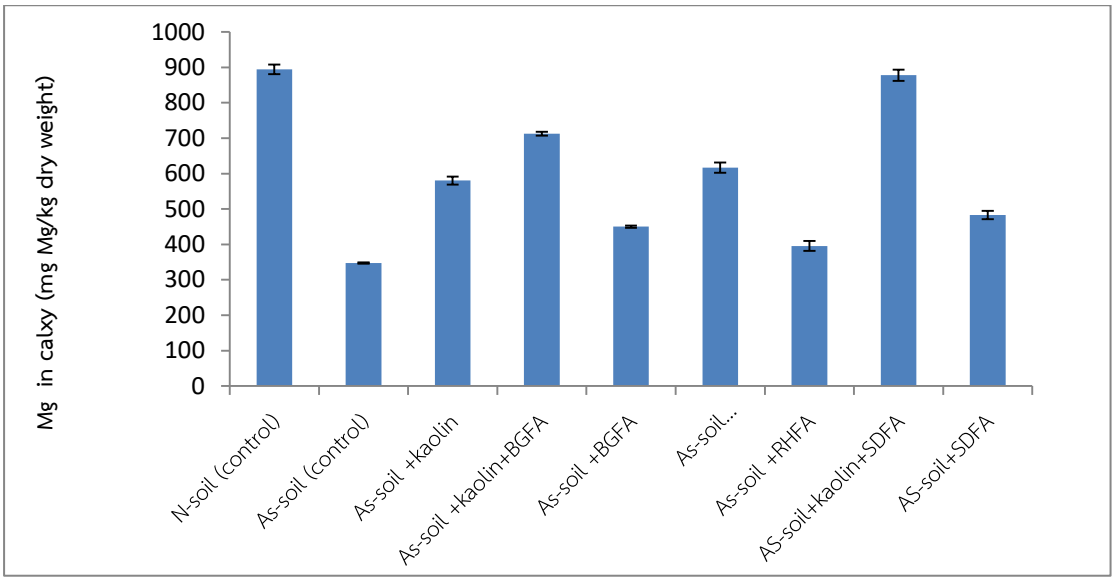


ข) ลำต้น

ภาพที่ 4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน

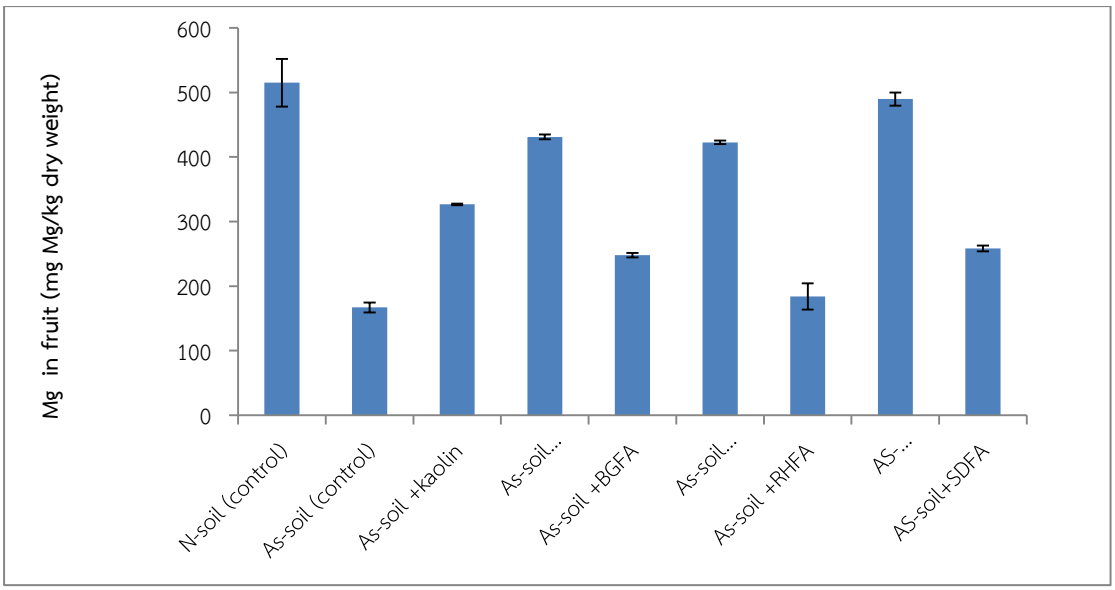


ค) ใบ



ง) ขั้ว

ภาพที่ 4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)



จ) ผล

ภาพที่ 4.11 ปริมาณแมกนีเซียมในราก (ก) ลำต้น (ข) ใบ (ค) ขั้ว (ง) และผล (จ) เมื่อปลูกมะเขือเปราะในดินที่ปนเปื้อนสารหนูภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ หลังเก็บเกี่ยว 75 วัน (ต่อ)

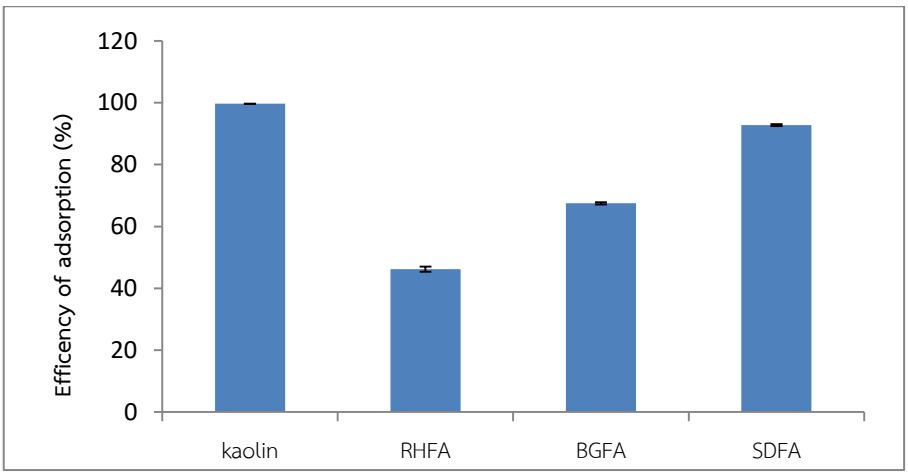
จากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.11 พบว่า การใช้เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) 1% w/w+ ดินขาว 1% w/w ในดินที่ปนเปื้อนสารหนูในการปลูกมะเขือเปราะจะมีปริมาณแมกนีเซียมในราก ลำต้น ใบ ขั้ว และผลสูงกว่าการใช้สารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ ตลอดจนไม่มีการเติมสารปรับปรุงดิน (As-soil) ขณะที่ปริมาณสารหนูที่สะสมในราก ลำต้น ใบ และเมล็ดเมื่อเติมเถ้าขี้เลื่อย (SDFA) ปริมาณ 1% w/w+ดินขาว 1% w/w ในการปลูกมะเขือในดินที่ปนเปื้อนสานหนูมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเติมสารปรับปรุงดินเงื่อนไขอื่นๆ (ตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.7) แสดงว่าแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นจะลดปริมาณสารหนูในต้นพริก (Islam, Khan, & Irem, 2015)

การดูดซับสารละลายสารหนูด้วยไบโอชาร์และดินขาว

เป็นการทดลองศึกษาการดูดซับในสารละลายสารหนู ของ ไบโอชาร์ และดินขาว โดยสารละลายสารหนูสกัดจากดินที่ปนเปื้อนสารหนู โดยสารละลายหนูเริ่มต้นที่สกัดได้มีปริมาณเท่ากับ 154.61 mg/l (รายละเอียดวิธีการทดลองในบทที่ 3) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 และในภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.13 การดูดซับสารละลายสารหนูด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ตัวดูดซับ	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)
เถ้าแกลบ (RHFA) (2% w/v)	46.19±0.82
เถ้าลอยชานอ้อย (BGFA) (2% w/v)	67.50±0.36
เถ้าขี้เลื่อย (SDFA) (2% w/v)	92.77±0.28
ดินขาว (Kaolin) (2% w/v)	99.67±0.82



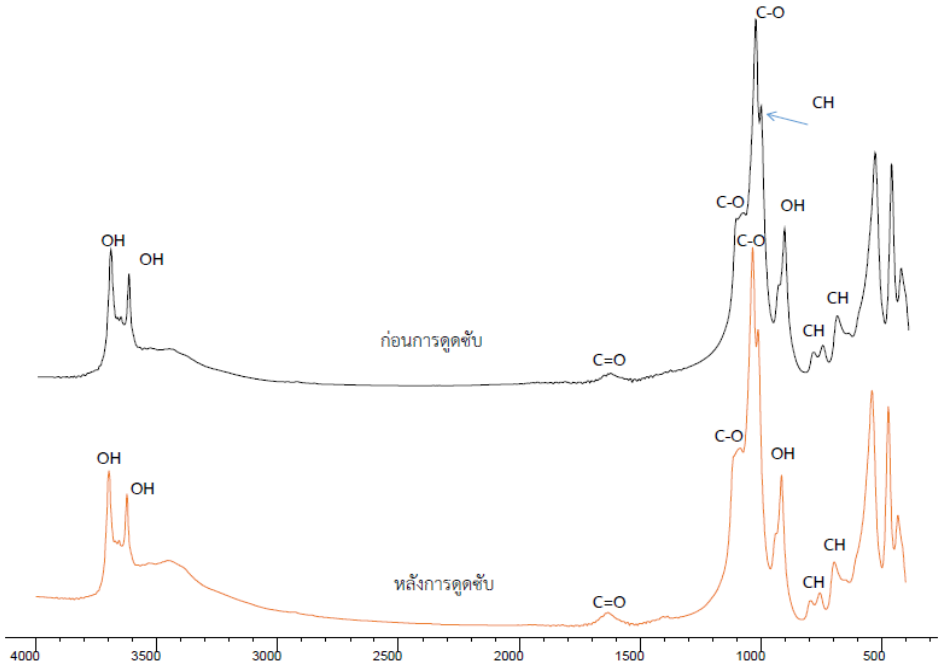
ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสารหนูด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.12 จะเห็นว่าการใช้ดินขาว (2% w/v) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายสารหนูสูงสุด 96.67±0.09 % โดยรองลงมา ได้แก่ เถ้าขี้เลื่อย (92.77±0.09 %) เถ้าลอยชานอ้อย (67.50±0.36 %) และเถ้าแกลบ (46.19 ±0.82 %) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องการทดลองในการปลูกพริกขี้หนูและมะเขือเปราะในกระถางที่มีการปลูกในดินที่ปนเปื้อนสารหนูโดยใช้สารปรุงปรุงดินชนิดต่างๆ ซึ่งผลการทดลอง ตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลการสะสมปริมาณสารหนูหลังเก็บเกี่ยวในต้นพริก และตารางที่ 4.8 เป็นผลการสะสมปริมาณสารหนูในต้นมะเขือเปราะหลังเก็บเกี่ยวพบว่าเมื่อใช้ดินขาว 1%w/w ร่วมกับเถ้าขี้เลื่อย 1%w/w จะสามารถลด

ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในพริกและมะเขือสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจาก ดินขาวและเถ้าขี้เลื่อยมีประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสารหนูค่อนข้างสูง มากกว่า 90 % ดังนั้นถ้าใช้ดินขาวร่วมกับเถ้าขี้เลื่อยประสิทธิภาพการลดปริมาณสารหนูในพริกและมะเขือจึงมีประสิทธิภาพสูง

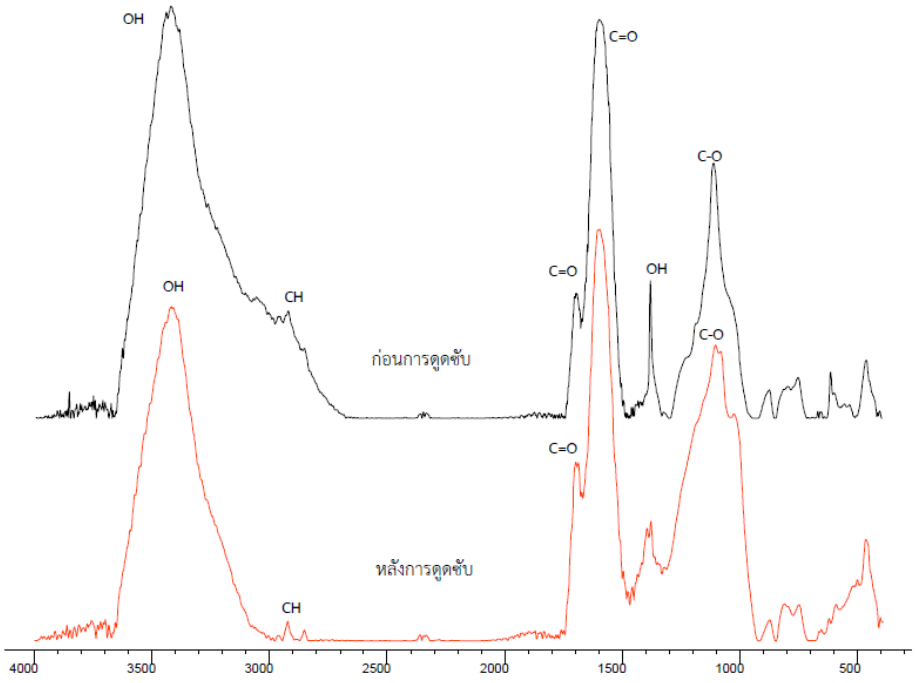
การศึกษาหมู่ฟังก์ชั่น (functional group) ของตัวดูดซับด้วย FTIR

การศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นของดินขาว ทั้งก่อนและหลังการดูดซับสารสารหนูด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ผลแสดงดังภาพที่ 4.13–ภาพที่ 4.16



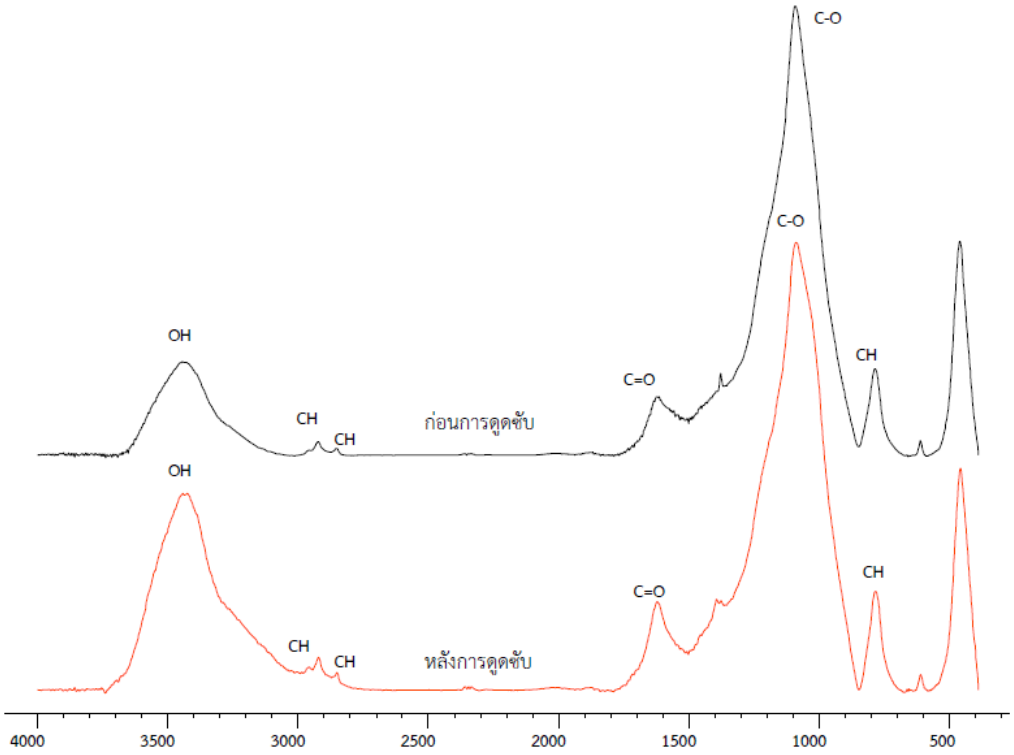
ภาพที่ 4.13 หมู่ฟังก์ชั่นของดินขาวก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารหนู

จากภาพที่ 4.13 พบว่า หมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นดินขาวก่อนดูดซับสารหนู ประกอบด้วย ได้แก่ หมู่ OH ซึ่งที่อยู่ใน (ตำแหน่งพีคที่ 3688, 3619, 910 ต่อเซนติเมตร) หมู่ C=O ตำแหน่งพีคที่ 1646 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ตำแหน่งพีคที่ 1090 และ 1029 ต่อเซนติเมตร หมู่ CH (ตำแหน่งพีคที่ 1017, 779 ต่อเซนติเมตร) และหมู่ Si-O stretching ตำแหน่งพีคที่ 547 ต่อเซนติเมตร และหลังการดูดซับสารหนูพบว่า ตำแหน่งพีคของหมู่ฟังก์ชั่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง



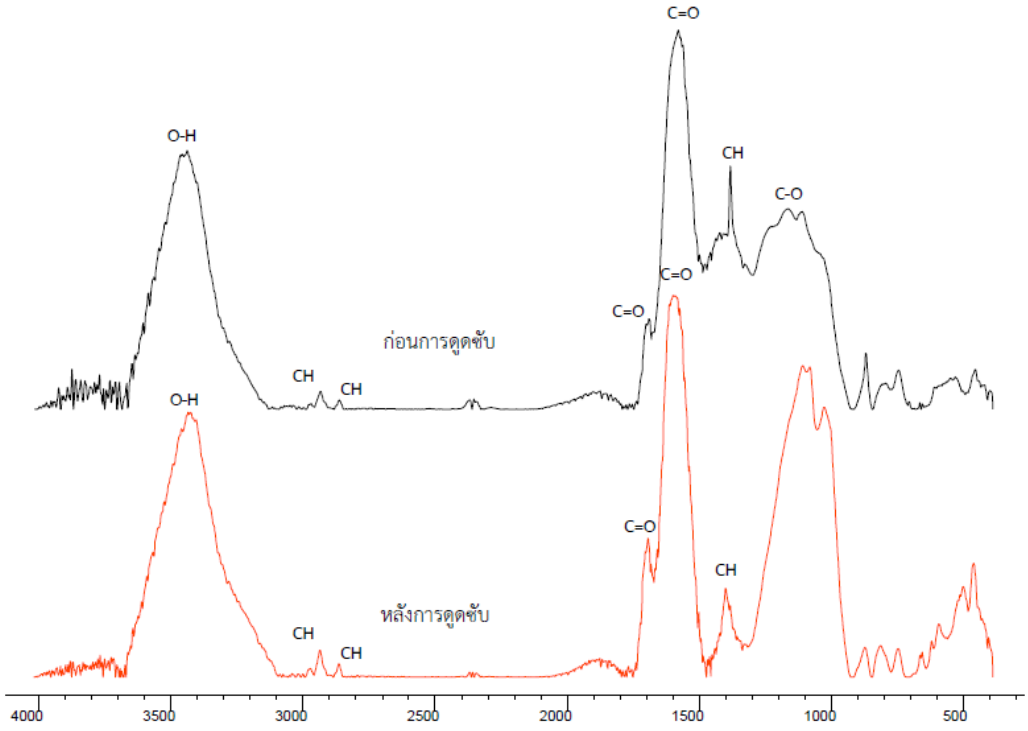
ภาพที่ 4.14 หมู่ฟังก์ชั่นเถ้าลอยชานอ้อยก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารหนู

จากภาพที่ 4.14 พบว่า หมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวเถ้าลอยชานอ้อยก่อนการดูดซับสารหนู ได้แก่ หมู่ OH ซึ่งที่อยู่ในตำแหน่งพีคที่ 3424, 1385 ต่อเซนติเมตร หมู่ CH ตำแหน่งพีคที่ 2845 ต่อเซนติเมตร หมู่ C=O ตำแหน่งพีคที่ 1702 และ 1657 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ตำแหน่งพีคที่ 1120 ต่อเซนติเมตร และหลังการดูดซับสารหนู พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชั่น



ภาพที่ 4.15 หมู่ฟังก์ชั่นของเถ้าแกลบก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารหนู

จากภาพที่ 4.15 พบว่า หมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวเถ้าแกลบก่อน ได้แก่ หมู่ OH ซึ่งเป้นหมู่ที่อยู่ในตำแหน่งพีคที่ 3453 ต่อเซนติเมตร หมู่ CH ตำแหน่งพีคที่ 2929, 2857, 845 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ตำแหน่งพีคที่ 1720 ต่อเซนติเมตร และหลังการดูดซับสารหนูพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชั่น



ภาพที่ 4.16 หมู่ฟังก์ชั่นของเถ้าขี้เลื้อยก่อนดูดซับและหลังดูดซับสารหนู

จากภาพที่ 4.16 พบว่า หมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวเถ้าขี้เลื้อยก่อนดูดซับสารหนู ได้แก่ หมู่ O-H ซึ่งที่อยู่ใน ตำแหน่งพีคที่ 3435 ต่อเซนติเมตร C-H ตำแหน่งพีคที่ 2935, 2851, 1387 ต่อเซนติเมตร หมู่ C=O ตำแหน่งพีคที่ 1684 และ 1595 ต่อเซนติเมตร หมู่ C-O ตำแหน่งพีคที่ 1142 ต่อเซนติเมตร และหลังการดูดซับสารหนู พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชั่น