

## การใช้ดินเบาจากประเทศไทยเพื่อควบคุมด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งในเมล็ดข้าว

## Uses of Diatomaceous Earth of Thailand for Controlling Maize Weevil and Red Flour Beetle in Rice Grain

พัชรดนัย ใจคำ<sup>1</sup> วรวิมล วงศ์พาน์<sup>2</sup> สิริญา คัมภีโร<sup>1</sup> กรรวัฒน์ อรรถโสภาน<sup>1</sup> และ เยาวลักษณ์ จันทร์บาง<sup>1,2\*</sup>Patcharadanai Jaikhum<sup>1</sup>, Wornwimol Wangspa<sup>2</sup>, Siriya Kumpiro<sup>1</sup>, Korrawat Attasopa<sup>1</sup> and Yaowaluk Chanbang<sup>1,2\*</sup>

## Abstract

Maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) is the primary stored product insect pest of rice infested inside rice kernel and red flour beetle (*Tribolium castaneum* Herbst) infested on damaged grain. The damage from those 2 species caused quantity and quality losses. The objective of this experiment is to study the efficacy of diatomaceous earth (DE) from Nam Jo Subdistrict, Mae Tha District, Lampang Province to control those insects in organic paddy. The contact toxicity of DE (250 microns) on maize weevil was examined by mixing with paddy (14% mc) at the ratio of 250, 750 and 1,000 mg/1 kg. The experiment was done for 3 replications. Results showed that 100% mortality of maize weevil was found in the treatment of 750 and 1,000 mg/1 kg on day 7 compared with 0% mortality in untreated control. For contact toxicity on red flour beetle, DE (125 microns) was mixed with water at 0,10 and 20% (w/v) and then painted on filter paper. The test was done on 12-day-old larvae and pupae for 3 replications. The result showed that mortalities of 12-day-old larvae were 4.17±2.71, 9.17±1.54 and 10.83±2.39% , respectively whereas mortalities of pupae were 7.50±1.12, 16.67±4.21% and 26.67±4.01% , respectively. Then eggs, young larvae (6 days old), pupae and adults were tested again in the same pattern with 5 replications. The mortalities of young larvae were 0, 92.00±3.39 and 61.00±15.68% , respectively while mortalities of other stages were less than 20% after day 3. In conclusion, DE at 750 mg/kg was enough as the grain admixture for control maize weevil and DE at 10% (w/v) was appropriate for painting on the surface to control young larvae of red flour beetle.

**Keywords:** diatomaceous earth, seed mixed, contact toxicity, stored product insect

## บทคัดย่อ

ด้วงงวงข้าวโพด (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) เป็นแมลงศัตรูสำคัญที่เข้าทำลายภายในเมล็ดข้าวในโรงเก็บและมอดแป้ง (*Tribolium castaneum* Herbst) เป็นแมลงที่เข้าทำลายข้าว การทำลายของแมลงทั้งสองชนิดนี้ส่งผลให้เมล็ดข้าวสูญเสียเชิงปริมาณและคุณภาพ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของดินเบาจากพื้นที่ตำบลน้ำใจ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในการควบคุมด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้งในข้าวเปลือกอินทรีย์ และทดสอบพิษทางสัมผัสต่อด้วงงวงข้าวโพดโดยคลุกข้าวเปลือก (14% mc) ที่มีความชื้นเริ่มต้น 14% กับดินเบา ขนาด 250 ไมครอน อัตรา 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัม/ ข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ซ้ำต่อกรรมวิธี พบว่า กรรมวิธีใช้ดินเบาขนาด 750 และ 1,000 มิลลิกรัม/ ข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม พบการตายของด้วงงวงข้าวโพดเป็น 100% หลังได้สัมผัสดินเบาเป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่พบการตายของแมลง ส่วนการทดสอบพิษทางสัมผัสต่อมอดแป้ง โดยใช้ดินเบา ขนาด 125 ไมครอนผสมน้ำความเข้มข้น 0, 10 และ 20 % (w/v) ทาลบนกระดาษกรอง จำนวน 3 ซ้ำต่อกรรมวิธี กับหนอนอายุ 12 วันและดักแด้ พบว่า หนอนอายุ 12 วัน มีการตาย 4.17±2.71, 10.83±2.39 และ 9.17±1.54% ตามลำดับ ส่วนดักแด้มีอัตราการตาย 7.50±1.12, 16.67±4.21 และ 26.67±4.01% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบในทำนองเดียวกันกับ มอดแป้งระยะไข่ หนอนวัยอ่อน (อายุ 6 วัน) ดักแด้ และตัวเต็มวัย จำนวน 5 ซ้ำต่อกรรมวิธี พบว่า เฉพาะหนอนวัยอ่อนมีการตาย 0, 92.00±3.39 และ 61.00±15.68% ตามลำดับ หลังสัมผัสดินเบาเป็นเวลา 3 วัน ขณะที่มอดแป้งระยะอื่น ตายน้อยกว่า 20 % สรุปได้ว่า ดินเบาอัตรา 750 มิลลิกรัม/ กิโลกรัม เพียงพอในการคลุกเมล็ดป้องกันด้วงงวงข้าวโพด และดินเบาผสมน้ำความเข้มข้นตั้งแต่ 10% เหมาะสมในการทาพื้นผิวป้องกันหนอนวัยอ่อนมอดแป้ง

**คำสำคัญ:** ดินเบา คลุกเมล็ด พิษทางสัมผัส แมลงศัตรูผลิตผลในโรงเก็บ

<sup>1</sup> ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

<sup>2</sup> Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

<sup>2</sup> Postharvest Technology Research Center, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200

\*Corresponding author: lukksu@hotmail.com

## คำนำ

การเก็บรักษาเมล็ดข้าวหลังการเก็บเกี่ยวมักประสบปัญหาการเข้าทำลายของแมลงศัตรูโรงเก็บโดยเฉพาะ ตัววงวงข้าวโพด (maize weevil: *Sitophilus zeamais* Motschulsky) กัดกินเมล็ด และตัวอ่อนกัดกินอาศัยอยู่ในเมล็ด และมอดแป้ง (red flour beetle: *Tribolium castaneum* (Herbst)) ที่ระยะหนอนและตัวเต็มวัยมักเข้าทำลายซ้ำในผลผลิตที่ตัววงวงข้าวโพดทำลายมาก่อน แมลงดังกล่าวส่งผลให้ข้าวเกิดความเสียหายทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ สำหรับมอดแป้งเป็นแมลงที่เข้าทำลายหลังจากที่แมลงอื่นทำลายเมล็ดพืชเป็นรู หรือรอยแตกแล้ว ทำให้ผลผลิตที่อาศัยอยู่มักกลิ่นเหม็น (พรทิพย์และคณะ, 2548) การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บส่วนใหญ่มักใช้สารรมหรือสารเคมีคลุกเมล็ด ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และสามารถทำให้แมลงสร้างความต้านทานต่อสารเคมีได้ หากมีการใช้ในระยะเวลาอันยาวนาน การใช้ดินเบาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีการใช้ควบคุมแมลงศัตรูโรงเก็บร่วมกับวิธีการอื่น โดยส่วนใหญ่มักใช้ในการคลุกเมล็ดและผสมน้ำทาผาผนังและพื้นผิวโรงเก็บ (Stathers *et al.*, 2004) ดินเบาเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยซิลิกา 60-93% ความชื้นประมาณ 2-6% ไม่ติดไฟ มีความปลอดภัยต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีการนำมาใช้เพื่อการกำจัดแมลงทางการเกษตร (Losic and Korunic, 2018) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราที่เหมาะสมต่อรูปแบบการใช้ดินเบาป้องกันกำจัดตัววงวงข้าวโพด และมอดแป้งศัตรูของข้าวระหว่างการเก็บรักษา

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมดินเบา

นำก้อนดินเบาที่ได้รับจากตำบลน้ำใจ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง บดเป็นผงละเอียด จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนแยกขนาด 250 และ 125 ไมโครเมตร เพื่อใช้ในการทดลอง

### การเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณตัววงวงข้าวโพดและมอดแป้ง

ตัววงวงข้าวโพดและมอดแป้งที่ใช้ในการทดลองได้จากห้องปฏิบัติการแมลงศัตรูในโรงเก็บ ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เลี้ยงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 28 – 33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์เลี้ยงตัววงวงข้าวโพดโดยใช้ข้าวเปลือกเลี้ยงเป็นอาหาร จนเป็นตัวเต็มวัยอายุไม่เกิน 2 สัปดาห์ ส่วนมอดแป้งเพาะเลี้ยงด้วยข้าวกล้องบดละเอียด หลังจากนั้นร่อนแยกระยะไข่ (อายุ 3-5 วันหลังวางไข่) หนอน (อายุ 6 วัน และ 12 วัน) ระยะดักแด้ และตัวเต็มวัย (ไม่เกิน 2 สัปดาห์) ร่อนแยกมอดแป้งในระยะต่าง ๆ ได้กึ่งหลอดจลทรรศน์สเตอริโอ ทำการเขียนตัวอย่างแมลงระยะต่าง ๆ ด้วยฟู่กันเพื่อแยกออกมาใช้ในการทดลอง

### ประสิทธิภาพของดินเบาในการกำจัดตัววงวงข้าวโพด

วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยมีกรรมวิธีคืออัตราดินเบาที่ใช้คลุกกับตัวอย่างข้าวจำนวน 5 กรรมวิธี โดยการนำข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาปรับความชื้นของเมล็ดให้อยู่ที่ประมาณ 14% ซึ่งข้าวเปลือกปริมาตร 200 กรัม จำนวน 15 กระบอก เพื่อคลุกกับดินเบาที่มีอนุภาคขนาด 250 ไมโครเมตร อัตรา 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อ ข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม นำตัวเต็มวัยตัววงวงข้าวโพดอายุไม่เกิน 1 สัปดาห์ ซ้ำละ 40 ตัว ปล่อยลงในข้าวเปลือกที่คลุกดินเบาที่บรรจุในกระบอกพลาสติกแล้ว นำตัวอย่างวางไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 28 – 33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำการตรวจนับการตายของตัวเต็มวัยตัววงวงข้าวโพดที่ระยะเวลา 1 และ 7 วัน หากพบการตายในชุดควบคุมทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายด้วย Abbott's formula (Abbott, 1925) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการตายด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

### ประสิทธิภาพของดินเบาในการกำจัดมอดแป้ง

นำดินเบาที่มีอนุภาคขนาด 125 ไมโครเมตร ทำเป็นสารแขวนลอยดินเบาที่ความเข้มข้น 3 กรัมต่อน้ำ 30 มิลลิลิตร (10%) และ 6 กรัมต่อน้ำ 30 มิลลิลิตร (20%) ทาลงบนกระดาษกรองที่วางไว้ในจานแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตรให้ทั่ว ปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปทำการทดลอง 2 ชุด โดยการทดลองชุดที่ 1 ทดสอบกับตัวหนอนที่อายุ 12 วัน และตัวเต็มวัยของมอดแป้งที่อายุ 1 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 3 ซ้ำ การทดลองชุดที่ 2 ทดสอบกับไข่ตัวหนอนที่อายุ 6 วัน ดักแด้ และตัวเต็มวัยของมอดแป้งที่อายุ 1 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ วางบนกระดาษกรองที่ทาสารแขวนลอยดินเบาแต่ละความเข้มข้นในจานแก้ว จำนวน 20 ตัวต่อจาน ใช้น้ำกลั่นทากระดาษกรองเป็นชุดควบคุม ปิดฝาแล้ววางไว้ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 28 – 33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ ทำการตรวจนับการตายของหนอนและตัวเต็มวัยของมอดแป้ง ตรวจนับอัตราการฟักออกจากไข่ และประเมินการพัฒนาจากดักแด้เป็นตัวเต็มวัย ทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตายโดยวิธี Least significant difference (LSD) หากพบการตายในชุดควบคุม ทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายด้วย Abbott's formula (Abbott, 1925)

## ผล

## ประสิทธิภาพของดินเบาในการกำจัดด้วงงวงข้าวโพด

ด้วงงวงข้าวโพดในข้าวเปลือกที่คลุกด้วยดินเบาที่มีอนุภาค 250 ไมโครเมตร ที่อัตรา 0 (ชุดควบคุม), 250, 500, 750 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม มีอัตราการตายแตกต่างกันทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) หลังจากสัมผัสข้าวเปลือกที่คลุกดินเบา 1 วัน และการตายเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อัตราการตายเป็น 0, 45.8±19.1, 85.0±34.0, 88.3±35.4 และ 100.0±0.0% ตามลำดับ (Table 1)

Table 1. Percentage mortality of *Sitophilus zeamais* adult after 7 days of exposure with four dose rates of 250 microns diatomaceous earth (DE)

Weight of diatomaceous earth (g/rough rice 1 Kg)	1 day	7 days
Untreated (control)	0.0±0.0b	0.0±0.0c
250	12.5±1.5ab	45.8±19.1b
500	10.0±0.6ab	85.0±34.0a
750	32.5±3.5a	88.3±35.4a
1,000	22.5±3.6a	100.0±0.0a

Means within the column followed by different letters are significantly different at 95% confidence level ( $P < 0.05$ ) by Least Significant Difference (LSD) comparison.

## ประสิทธิภาพของดินเบาในการกำจัดมอดแป้ง

หลังจากมอดแป้งอายุ 12 วันสัมผัสกับดินเบาขนาดอนุภาค 125 ไมโครเมตร ที่อัตราความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 10 และ 20% ที่ทาบกระดาษชรองและวางไว้ในจานแก้ว (petri dish) พบว่ามีการตายที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนผลการทดสอบในระยะดักแด้ พบว่ามีการตายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 7.50±1.1 (ชุดควบคุม), 16.67±4.2 (10% DE) และ 26.67±4.01 (20% DE) ตามลำดับ (Table 2) และเมื่อทำการทดลองซ้ำ กับมอดแป้งระยะไข่ หนอน (อายุ 6 วัน) ดักแด้ และตัวเต็มวัย พบว่า ระยะไข่และตัวเต็มวัยของมอดแป้งมีการตายต่ำกว่า 10% ไม่แตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี ส่วนระยะหนอนวัยอ่อน (อายุ 6 วัน) การตายของหนอนแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยมีการตาย 0, 92.0±3 และ 61.0±15.7% ตามลำดับ (Table 3)

Table 2. Percentage mortality of *Tribolium castaneum* larvae (12 days old) and pupae after 3 days of exposure with two concentrations of 125 microns diatomaceous earth (DE)

DE concentrations (%)	Older larvae (12 days old)	Pupae
Untreated (control)	4.17 ± 2.7a	7.50 ± 1.1b
10	9.17 ± 1.5a	16.67 ± 4.2ab
20	10.83 ± 2.4a	26.67 ± 4.01a

Means within the column followed by different letters are significantly different at 95% confidence level ( $P < 0.05$ ) by Least Significant Difference (LSD) comparison.

Table 3. Percentage mortality different stages of *Tribolium castaneum* after 3 days of exposure with two concentrations of 125 microns diatomaceous earth (DE)

DE concentrations (%)	Eggs	Young larvae (6 days old)	Pupae	Adults
Untreated (control)	0.0±0.0a	0.0±0.0c	10.0±6.1ab	0.0±0.0a
10	5.0±3.2a	92.0±3.4a	19.0±5.8a	0.0±0.0a
20	0.0±0.0a	61.0±15.7b	3.0±3.0b	2.0±1.2a

Means within the column followed by different letters are significantly different at 95% confidence level ( $P < 0.05$ ) by Least Significant Difference (LSD) comparison.

### วิจารณ์ผล

ด้วงวงข้าวโพดในข้าวเปลือกที่คลุกด้วยดินเบาที่มีอนุภาค 250 ไมโครเมตร เริ่มพบการตายหลังจากสัมผัสดินเบา 1 วัน และอัตราการคลุก 1,000 มิลลิกรัมต่อข้าวเปลือก 1 กิโลกรัม สามารถทำให้ด้วงวงข้าวโพดตายได้ 100% ในวันที่ 7 หลังการสัมผัสดินเบา ในอัตราเดียวกันนี้ Chanbang *et al.* (2008) พบว่าดินเบาที่ทำเป็นสารกำจัดแมลงเป็นการค้าสามารถทำให้มอดหัวบ่อ (*Rhizopertha dominica*) ตายได้ 46-100% เช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้ ผลของการใช้ดินเบาทางวัสดุพื้นผิวป้องกันกำจัดมอดแป้ง มีผลทำให้มอดแป้งระยะหอนอายุ 12 วัน และดักแด้ที่สัมผัสกับดินเบามีการตายต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาทดสอบกับมอดแป้งระยะตัวเต็มวัย ระยะไข่ หนอนวัยอ่อน (อายุ 6 วัน) และทดสอบกับดักแด้อีกครั้งโดยใช้ดินเบาขนาดอนุภาค 125 ไมโครเมตร พบว่าดินเบาที่นำมาทาอยู่บนพื้นผิววัสดุ มีผลกับหนอนวัยอ่อนมีการตายที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับหนอนที่ไม่ได้สัมผัสดินเบา โดยทำให้หนอนวัยอ่อนมีอัตราการตายสูงกว่า 61 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Vayias and Athanassiou (2003) ได้รายงานในทำนองเดียวกันว่าหนอนวัยอ่อนของมอดแป้ง *Tribolium confusum* มีความอ่อนแอต่อดินเบา เมื่อเทียบกับระยะตัวเต็มวัย ซึ่งมีการใช้ดินเบาขนาด 8-12 ไมโครเมตร เมื่อพิจารณาจากมอดแป้งในระยะหอนซึ่งอยู่นอกเมล็ดจะมีการเคลื่อนไหว คลานอยู่ในกองปะปนอยู่กับข้าว ซึ่งทำให้มีโอกาสมีโอกาสที่จะสัมผัสดินเบา และทำให้มอดแป้งที่คลานอยู่มีโอกาสรอดได้น้อยลง เนื่องจากดินเบาเมื่อผสมกับเมล็ดและดูดซับไขมันที่ผนังลำตัวของแมลงจนทำให้เกิดการขาดน้ำและตายในที่สุด อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของดินเบา เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพบรรยากาศที่ส่งผลให้แมลงได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำเพิ่มมากขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมลดลง (Chanbang *et al.*, 2007)

### สรุป

การใช้ดินเบาคลุกเมล็ดข้าวเปลือกในอัตรา 1,000 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม สามารถใช้ป้องกันกำจัดด้วงวงข้าวโพดได้ ทำให้ด้วงวงข้าวโพดตาย 100 เปอร์เซ็นต์หลังจากสัมผัสเมล็ดที่คลุกด้วยดินเบาเป็นเวลา 7 วัน และการใช้สารแขวนลอยดินเบาที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ทาผิววัสดุมีผลทำให้มอดแป้ง ในระยะหนอนวัยอ่อน (อายุ 6 วัน) มีการตาย 61 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการสัมผัสดินเบาเป็นเวลา 3 วัน

### คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณบริษัท เอสซีจี ซิเมนต์ จำกัด สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- พรทิพย์ วิสารทานนท์, กุสุมา นวลวัฒน์, บุษรา จันทร์แก้วมณี, ใจทิพย์ อุไรชื่น, รังสิมา เก่งการพานิช, กรรณิการ์ เฟิงคัม, จิราภรณ์ ทองพันธ์, ดวงสมร สุทธิสุทธิ, ลักขณา ร่มเย็น และภาวินี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการ หลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 158 หน้า.
- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18: 265-267.
- Chanbang, Y., F.H. Arthur, G.E. Wilde and J.E. Throne. 2007. Efficacy of diatomaceous earth to control *Rhizopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in rough rice: Impacts of temperature and relative humidity. *Crop Protection* 26: 923-929.
- Chanbang, Y., F.H. Arthur, G.E. Wilde and J.E. Throne. 2008. Control of *Rhizopertha dominica* in stored rough rice through a combination of diatomaceous earth and varietal resistance. *Insect Science* 15: 455-460.
- Losic, D. and Z. Korunic. 2018. Diatomaceous earth, a natural insecticide for stored grain protection: recent Progress and perspectives. pp. 219-247 *In*: Losic, D. (Ed.). *Diatom Nanotechnology: Progress and Emerging Applications*.
- Stathers, T.E., M. Denniff and P. Golob. 2004. The efficacy and persistence of diatomaceous earths admixed with commodity against four tropical stored product beetle pests. *Journal of Stored Products Research* 40(1): 113-123.
- Vayias, B.J. and C.G. Athanassiou. 2003. Factors affecting the insecticidal efficacy of the diatomaceous earth formulation SilicoSec against adults and larvae of the confused flour beetle, *Tribolium confusum* DuVal (Coleoptera: Tenebrionidae). *Laboratory of Agricultural Zoology and Entomology* 23(2004): 565-573.