ประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงบางชนิดและการใช้ร่วมกับดินเบาในการกำจัดมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพด

Efficacy of some Insecticides and Their Use in Combination with Diatomaceous Earth Against *Tribolium castaneum* (Herbst) Collected from Corn Silos

เนตรนภา ศรีสองสม[1/] เยาวลักษณ์ จันทร์บาง[1/] และ ไสว บูรณพานิชพันธุ์[1/]

Netnapa Seesongsom[1/], Yaowaluk Chanbang[1/] and Sawai Buranapanichpan[1/]

Abstract: Laboratory tests were carried out in order to evaluate the efficacy of malathion, pirimiphos-methyl, permethrin and deltamethrin against red flour beetles, *Tribolium castaneum* (Herbst), which were collected from different corn silos in Chiang Rai, Phayao and Phetchabun provinces. The result revealed that pirimiphos-methyl, at the recommended dosage, was the most efficacious in controlling adults of red flour beetles from Chiang Rai, Phayao and Phetchabun provinces with the mortality of 67.0, 85.0 and 77.5 % respectively. In addition, it was found that the red flour beetles from Chiang Rai and Phayao showed resistance trend to permethrin and malathion insecticides. The use of diatomaceous earth (DE) originated from Lampang and USA (Perma-Guard®) in combination with each resisted insecticide was also investigated for the control of red flour beetles collected from Chiang Rai and Phayao provinces. The results showed that LC_{50} values of permethrin, permethrin+DE (Lampang) and permethrin+DE (USA) when applied against red flour beetles from Chiang Rai were 15,845, 4,151 and 2,404 ppm respectively while those from Phayao were 3,181, 2,590 and 1,709 ppm respectively. For malathion insecticide, LC_{50} values of malathion, malathion+DE (Lampang) and malathion+DE (USA) when applied against red flour beetles from Chiang Rai were 5,755, 4,565 and 4,507 ppm respectively while those from Phayao were 6,186, 5,456 and 5,294 ppm respectively. The LC_{50} values of insecticide+DE treatments were lower than insecticide alone treatments. This indicated that the use of diatomaceous earth in combination with insecticides could promote the efficacy of malathion and permethrin insecticides in controlling red flour beetles. Moreover, diatomaceous earth from the USA was more effective than those from Lampang province.

Keywords: Red flour beetle, diatomaceous earth, insecticide resistance

---

[1/]ภาควิชากีฏวิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

[1/]Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

บทคัดย่อ: การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion, pirimiphos-methyl, permethrin และ deltamethrin ในการกำจัดมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) ที่รวบรวมจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ พบว่า สารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพในการกำจัดตัวเต็มวัยมอดแป้งมากที่สุด โดยความเข้มข้นในอัตราที่แนะนำให้ใช้สามารถฆ่ามอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ได้สูงสุดคือ 67.0, 85.0 และ 77.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับคือ deltamethrin, permethrin และ malathion นอกจากนี้ ยังพบว่า มอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา แสดงแนวโน้มต้านทานต่อสารฆ่าแมลง permethrin และ malathion อีกด้วย และเมื่อใช้ดินเบาจากจังหวัดลำปาง และดินเบาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ที่จำหน่ายเป็นการค้าคือ Perma-Guard® ผสมกับสารฆ่าแมลง แต่ละชนิดที่มอดแป้งมีแนวโน้มต้านทาน นำมาทดสอบประสิทธิภาพกับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา พบว่า การใช้ permethrin, permethrin+ดินเบา (ลำปาง) และ permethrin+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) กับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย มีค่า LC_{50} เท่ากับ 15,845, 4,151 และ 2,404 ppm ตามลำดับ ส่วนที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยา มีค่า LC_{50} เท่ากับ 3,181, 2,590 และ 1,709 ppm ตามลำดับ สำหรับการใช้ malathion, malathion+ดินเบา (ลำปาง) และ malathion+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) กับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พบว่า มีค่า LC_{50} เท่ากับ 5,755, 4,565 และ 4,507 ppm ตามลำดับ ส่วนที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยา มีค่า LC_{50} เท่ากับ 6,186, 5,456 และ 5,294 ppm ตามลำดับ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงที่ใช้ร่วมกับดินเบามีค่าลดลง หมายความว่าการใช้ดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลงสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งได้ โดยดินเบาจากสหรัฐอเมริกาช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดแป้งได้ดีกว่าดินเบาจากจังหวัดลำปาง

คำสำคัญ: มอดแป้ง ดินเบา ความต้านทานสารฆ่าแมลง

คำนำ

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองจากข้าวสาลีและข้าว ประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดมากเป็นอันดับสองรองจากข้าว ซึ่งในปี พ.ศ. 2552 มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.10 ล้านไร่ ผลผลิตประมาณ 4.62 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 650 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) เมล็ดข้าวโพด ที่เก็บไว้ในโรงเก็บ มักประสบปัญหาการเข้าทำลายจากแมลงศัตรูโรงเก็บหลายชนิด ทำให้เกิดความเสียหายทางคุณภาพประมาณ 17% หลังจากเก็บไว้นาน 6 เดือน (Bell *et al.*, 1999) โดยมอดแป้ง [Red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst)] จัดเป็นแมลงศัตรูโรงเก็บที่สำคัญชนิดหนึ่ง สามารถทำลายผลผลิตทางการเกษตรได้หลายชนิด ได้แก่ เมล็ดธัญพืช แป้งชนิดต่าง ๆ รำข้าว เครื่องเทศ กาแฟ โกโก้ ผลไม้แห้ง หนังสัตว์ เป็นต้น และมักเข้าทำลายหลังจากแมลงอื่นเข้าทำลายแล้ว (ชุมพล, 2533; พรทิพย์ และคณะ, 2548) ตัวเต็มวัยของแมลงชนิดนี้มีต่อมกลิ่นอยู่ที่อกและท้อง สามารถสังเคราะห์ของเหลวที่ทำให้แป้งเปลี่ยนสี และมีกลิ่นเหม็นฉุน ซึ่งเกิดจากสารที่มีส่วนประกอบของ quinone หรือ benzoquinones (กุสุมา และคณะ, 2548) สามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีกลิ่นติดค้างเมื่อนำผลผลิตไปประกอบอาหาร ในการป้องกันกำจัดทำได้ยาก เนื่องจากมอดแป้งเป็นแมลงที่สามารถอยู่ได้ในอาหารหลากหลายประเภทตั้งแต่แป้ง เมล็ดพืช และอาหารสำเร็จรูป การป้องกันกำจัดส่วนใหญ่ใช้สารเคมีฆ่าแมลง เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว โดยนิยมพ่นสารฆ่าแมลงภายในและภายนอกโรงเก็บ บริเวณพื้นผิวโรงเก็บ โดยสารเคมีที่เลือกใช้มักเป็นสารเคมีที่มีพิษตกค้างนานและใช้ความเข้มข้นมากกว่าปกติ และเมื่อใช้สารเคมีดังกล่าวติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้แมลงสร้างความต้านทานและไม่สามารถใช้สารเคมีนั้นในการควบคุมมอดแป้งได้ ดังนั้น การควบคุมมอดแป้งด้วยดินเบา (diatomaceous earth) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการ

ควบคุมมอดแป้ง เนื่องจากดินเบาเป็นสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า ไดอะตอม สามารถนำมาใช้ควบคุมแมลงโดยดูดซับไขมันที่ผนังลำตัวชั้นนอกของแมลง และการที่ดินเบาขีดข่วนผนังลำตัวของแมลงก็จะช่วยให้แมลงสูญเสียน้ำได้ (อภิรักษ์ และคณะ, 2549; Chanbang, 2005; Mewis and Ulrichs, 2001; Subramanyam and Roesli, 2000) อีกทั้งดินเบายังเป็นพิษต่ำต่อมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น หาง่าย และมีราคาถูก นับได้ว่าการใช้ดินเบาหรือดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลงเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสม ที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมมอดแป้งได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเลี้ยงเพิ่มปริมาณมอดแป้ง

เก็บรวบรวมมอดแป้งตัวเต็มวัยจากโรงเก็บเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มาเลี้ยงในกระป๋องพลาสติกที่ฝาปิดเป็นตาข่ายเพื่อระบายอากาศและป้องกันแมลงหลบหนี โดยภายในกระป๋องพลาสติกบรรจุแป้งสาลีผสมผงยีสต์ในอัตราส่วน 95:5 เลี้ยงไว้ 5 วัน ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ตัวเต็มวัยมอดแป้งผสมพันธุ์และวางไข่ ทำการร่อนแยกไข่และตัวเต็มวัยมอดแป้ง โดยใช้ตะแกรงขนาดช่อง 250 ไมโครเมตร ซึ่งตัวเต็มวัยมอดแป้งไม่สามารถร่อนผ่านตะแกรงได้ นำตัวเต็มวัยที่ร่อนได้ไปเลี้ยงด้วยแป้งสาลีผสมยีสต์อีกครั้ง ส่วนไข่มอดแป้งจะอยู่รวมกับแป้งสาลีที่ผสมยีสต์นั้นปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 30-45 วัน เพื่อให้ไข่มอดแป้งดังกล่าวพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย และนำตัวเต็มวัยมอดแป้งอายุ 1-2 สัปดาห์ ไปใช้ในการทดลองต่อไป

ประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดแป้ง

การทดสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในการกำจัดตัวเต็มวัยมอดแป้งและคัดเลือกสารฆ่าแมลงที่ตัวเต็มวัยมอดแป้งมีแนวโน้มต้านทาน ได้ดำเนินการโดยใช้สารฆ่าแมลง 4 ชนิด ได้แก่ malathion 57% EC, pirimiphos-methyl 50% EC, permethrin 10% EC และ deltamethrin 3% EC แต่ละสารฆ่าแมลงใช้ 5 ความเข้มข้น คือ ตามอัตราแนะนำ สูงและต่ำกว่าอัตราแนะนำ 1 และ 2 เท่า ทดสอบความเข้มข้นละ 4 ซ้ำ โดยนำกระดาษกรองวางในจานแก้ว (Petri dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ทำการพ่นสารฆ่าแมลงแต่ละชนิดโดยใช้เครื่อง Potter spray tower พ่นให้ทั่วจานแก้ว รอจนสารฆ่าแมลงแห้ง จึงนำ ตัวเต็มวัยมอดแป้งจากพื้นที่จังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่เลี้ยงไว้มีอายุ 1-2 สัปดาห์หลังจากเจริญเป็นตัวเต็มวัย ใส่จานแก้วจำนวน 10 ตัว/จาน นำจานแก้วใส่ถุงผ้าตาข่ายละเอียดสีขาวโปร่งแสงและมัดปากถุงด้วยยางรัด เพื่อป้องกันตัวเต็มวัยมอดแป้งหลบหนี ส่วนในชุดควบคุม (check) ใช้น้ำกลั่นพ่น ตรวจนับและบันทึกการตายของมอดแป้งที่เวลา 12, 24 และ 48 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตายโดยวิธี Least significant difference (LSD) นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ ค่า LC_{50} โดยใช้โปรแกรม Logit PC และหากพบแมลงตายในชุดควบคุม ทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายใหม่ โดยใช้ Abbott's formula (Abbott, 1925) และคัดเลือกสารฆ่าแมลงที่มอดแป้งตัวเต็มวัยมีแนวโน้มต้านทานในแต่ละพื้นที่ มาทดลองใช้ร่วมกับดินเบาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมต่อไป

การใช้สารฆ่าแมลงร่วมกับดินเบาในการกำจัดมอดแป้ง

นำสารฆ่าแมลงชนิดและอัตราที่มอดแป้งตัวเต็มวัยมีแนวโน้มต้านทานที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพ มาผสมกับดินเบาจากจังหวัดลำปาง หรือดินเบาจากสหรัฐอเมริกาชื่อการค้าคือ Perma-Guard® ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร หยดของผสมดังกล่าวลงในจานแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ใช้พู่กันเกลี่ยให้ทั่ว รอจนแห้ง นำตัวเต็มวัยมอดแป้งในพื้นที่ที่มีแนวโน้มต้านทานสารฆ่าแมลง ปล่อยในจานแก้ว จำนวน 10 ตัว/จาน นำจานแก้วใส่ถุงตาข่ายละเอียดสีขาวโปร่งแสงและมัดปากถุงด้วยหนังยางวง กรรมวิธีที่ใช้มีดังนี้

กรรมวิธี 1 สารฆ่าแมลงชนิดที่ตัวเต็มวัยมอดแป้งมีแนวโน้มต้านทาน

กรรมวิธี 2 ดินเบาจากลำปาง + สารฆ่าแมลงชนิดที่ตัวเต็มวัยมอดแป้งมีแนวโน้มต้านทาน

กรรมวิธี 3 ดินเบาจากสหรัฐอเมริกา + สารฆ่าแมลงชนิดที่ตัวเต็มวัยมอดแป้งมีแนวโน้มต้านทาน

กรรมวิธี 4 ดินเบาจากลำปาง

กรรมวิธี 5 ดินเบาจากสหรัฐอเมริกา

กรรมวิธี 6 ชุดควบคุม (check)

แต่ละกรรมวิธีดำเนินการ 4 ซ้ำ ทำการตรวจนับและบันทึกผลการตายของตัวเต็มวัยมอดแป้งทุก 12, 24 และ 48 ชั่วโมง นำไปคำนวณหาค่า LC_{50} โดยใช้โปรแกรม Logit-PC หากพบแมลงตายในชุดควบคุม ทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายใหม่ โดยใช้ Abbott's formula

ผลการทดลองและวิจารณ์

ประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดแป้ง

การทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion, pirimiphos-methyl, deltamethrin และ permethrin กับตัวเต็มวัยมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ โดยใช้สารฆ่าแมลงดังกล่าวในอัตราความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้ พบว่า pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตัวเต็มวัยมอดแป้ง โดยทำให้มอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มีการตาย 67.00, 85.00 และ 77.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) สารฆ่าแมลงที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับคือ deltamethrin, permethrin และ malathion ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kljajic *et al.* (2006) ที่รายงานว่าสาร pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพสูงกว่า deltamethrin และ malathion ในการกำจัด *S. granarius* ซึ่งเป็นแมลงในโรงเก็บเช่นเดียวกับมอดแป้ง

สารฆ่าแมลง malathion ในอัตราที่แนะนำให้ใช้ไม่สามารถกำจัดมอดแป้งได้ จึงทำการเพิ่มความเข้มขึ้นเป็น 5 ระดับ โดยอยู่ในช่วง 8,353 – 8,892 ppm เพื่อนำมาทดสอบกับมอดแป้งในการหาค่า LC_{50} ของ malathion ซึ่งพบว่า ค่า LC_{50} ของ malathion กับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยามีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เชียงรายและเพชรบูรณ์ มีค่า LC_{50} เท่ากับ 7,603, 6,491 และ 5,280 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ malathion ที่แนะนำให้ใช้กับมอดแป้ง คือ 445 ppm แสดงให้เห็นว่ามอดแป้งจากทั้ง 3 แหล่ง โดยเฉพาะมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา มีความต้านทานต่อ malathion อย่างชัดเจน

สำหรับสารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate เช่นเดียวกับ malathion เมื่อนำมาทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มีค่า LC_{50} เท่ากับ 4,790, 4,312 และ 3,662 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 2) และเมื่อนำค่า LC_{50} มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้คือ 5,575 ppm พบว่า ค่า LC_{50} ที่ได้มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย มอดแป้งจาก 3 จังหวัดดังกล่าว ยังไม่สร้างความต้านทานต่อสาร pirimiphos-methyl

Table 1 Percentage mortality of *Tribolium castaneum* adults from Chiang Rai, Phayao and Phetchabun provinces after treated with insecticides at recommended dosage

Insecticide	Recommended dosage (ppm)	Mortality[1/]		
		Chiang Rai	Phayao	Phetchabun
Malathion	445	0 [c]	0 [d]	0 [d]
Pirimiphos-methyl	5,575	67.00 [a]	85.00 [a]	77.50 [a]
Deltamethrin	1,500	62.50 [a]	57.75 [b]	67.50 [ab]
Permethrin	4,780	42.50 [b]	35.00 [c]	55.00 [b]

[1/] Within column, means followed by a common letter do not differ by LSD test with 95% confidence level

Table 2 LC_{50} of malathion and pirimiphos-methyl on *Tribolium castaneum* adults collected from Chiang Rai, Phayao and Phetchabun provinces

Location	Malathion (ppm) (Recommended dosage: 445 ppm)			Pirimiphos-methyl (ppm) (Recommended dosage: 5,575 ppm)		
	LC_{50}*	Lower	Upper	LC_{50}*	Lower	Upper
Chiang Rai	6,491	4,261	413,778	4,790	3,672	7,144
Phayao	7,603	6,961	49,634	4,312	3,386	6,069
Phetchabun	5,280	1,332	6,033	3,662	0.00	******

* LC_{50} 95% confidence limits calculated from Logit PC program

สารฆ่าแมลงในกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ คือ permethrin และ deltamethrin ถูกนำมาใช้ทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ โดย permethrin มีค่า LC_{50} เท่ากับ 15,520, 13,863 และ 2,974 ppm ตามลำดับ ส่วน deltamethrin มีค่า LC_{50} เท่ากับ 3,529, 3,301, และ 3,781 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 3) สำหรับความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงของมอดแป้ง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในกรณีของการใช้ permethrin โดยเฉพาะมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย และพะเยา ที่มีค่า LC_{50} ของ permethrin สูงกว่าอัตราความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้ (4,780 ppm) ประมาณ 3 เท่า ส่วนการใช้ deltamethrin กับมอดแป้ง ค่า LC_{50} ที่ได้มีค่าสูงกว่าอัตราความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้ (1,500 ppm) ประมาณ 2 เท่า แสดงให้เห็นว่ามอดแป้งจาก 3 จังหวัด เริ่มมีแนวโน้มสร้างความต้านทานต่อ deltamethrin แล้ว

การใช้ดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดแป้ง

จากการประยุกต์ใช้ดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin ในการกำจัดตัวเต็มวัยมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงรายและพะเยาที่แสดงความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงทั้ง 2 ชนิด พบว่า การใช้ดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลงทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งได้ดีกว่าการใช้สารฆ่าแมลง และการใช้ดินเบาเพียงอย่างเดียว โดยมีผลให้เปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4 และ 5) ทั้งนี้ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสารฆ่าแมลงได้ เนื่องจากดินเบาก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำจากตัวแมลงมากขึ้น และทำลายชั้นไขมันที่ผนังลำตัวชั้นนอกของแมลง จากการศึกษากลไกการทำงานของสาร malathion ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate มีผลต่อแมลงโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase ส่วนสาร permethrin เป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม pyrethroids มีผลต่อแมลง โดยเป็นพิษต่อระบบประสาทของแมลงสูง ทำลายสมดุลของประจุโซเดียมและโพแทสเซียม ที่เยื่อหุ้มประสาท (สุภาณี, 2540; Ware, 1989; Subramanyam and Hagstrum, 1985) ดังนั้น การใช้ดินเบาร่วมกับสาร malathion และ permethrin จึงมีผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase และทำลายสมดุลของโซเดียมและโพแทสเซียม ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากมอดแป้งเกิดการสูญเสียน้ำมีผลทำให้เกิดสภาวะเครียด ดังรายงานการศึกษาการใช้ spinosad ร่วมกับดินเบาในการกำจัด *T. confusum* และ *S. oryzae* พบว่า ดินเบามีผลในการเพิ่มสภาวะเครียด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาโบลิซึมภายในลำตัวแมลง ช่วยเสริมประสิทธิภาพของ spinosad ได้ดียิ่งขึ้น (Chintzoglou *et al.* 2008)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินเบาที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องดินเบาจากที่แหล่งต่าง ๆ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน (ธัญรัศม์, 2553; Fields

Table 3 LC_{50} of permethrin and deltamethrin on *Tribolium castaneum* adults collected from Chiang Rai, Phayao and Phetchabun provinces

Location	Permethrin (ppm) (Recommended dosage: 4,780 ppm)			Deltamethrin (ppm) (Recommended dosage: 1,500 ppm)		
	LC_{50}*	Lower	Upper	LC_{50}*	Lower	Upper
Chiang Rai	15,520	6,493	81,968	3,529	2,508	5,965
Phayao	13,863	7,603	58,778	3,301	2,561	4,604
Phetchabun	2,974	2,437	5,043	3,781	2,881	5,541

* LC_{50} 95% confidence limits calculated from Logit PC program

Table 4 Percentage mortality of *Tribolium castaneum* adults from Chiang Rai (CRI) and Phayao (PYO) treated with malathion, malathion+DE (Lampang) and malathion+DE (USA)

Treatment	Percentage mortality of *T. castaneum* adults at various dosages (ppm)[1/]											
	4,446		5,353		6,224		7,113		8,002		8,892	
	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO
Malathion	37.5^{a}	40.0^{a}	50.0^{a}	42.5^{ab}	55.0^{a}	50.0^{a}	62.5^{a}	57.5^{a}	65.0^{a}	60.0^{a}	70.0^{a}	70.0^{a}
Malathion+DE (Lampang)	45.0^{a}	42.5^{a}	62.5^{a}	47.5^{a}	65.0^{a}	60.0^{a}	70.0^{a}	62.5^{a}	70.0^{a}	70.0^{a}	72.5^{a}	77.5^{a}
Malathion+DE (USA)	45.0^{a}	42.5^{a}	72.5^{a}	50.0^{a}	77.5^{a}	57.5^{a}	77.5^{a}	72.5^{a}	80.0^{a}	80.0^{a}	87.5^{a}	85.0^{a}
DE (Lampang)	10.0^{b}	15.0^{b}	10.0^{c}	15.0^{c}	10.0^{b}	15.0^{b}	10.0^{b}	15.0^{b}	10.0^{b}	15.0^{b}	10.0^{b}	15.0^{b}
DE (USA)	30.0^{bc}	27.5^{ab}	30.0^{bc}	27.5^{bc}	30.0^{b}	27.5^{b}	30.0^{b}	27.5^{b}	30.0^{b}	27.5^{b}	30.0^{b}	27.5^{b}
Check	0.0^{d}	0.0^{c}	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}

[1/] Within column, means followed by a common letter do not differ by LSD test with 95% confidence level.

DE = Diatomaceous earth

and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000) Fields and Korunic (2000) รายงานว่า ดินเบา Protect-It™ เป็นดินเบาจากสหรัฐอเมริกา มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งน้ำทะเล ส่วน Dryacide® เป็นดินเบาจากออสเตรเลีย มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งน้ำจืด โดยดินเบาทั้ง 2 แหล่ง มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบในอัตรา 87 และ 94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่าดินเบา Protect-It™ และ Dryacide® มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้ง *T. castaneum* ได้ถึง 92 และ 68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ดินเบาที่จำหน่ายในทางการค้าอาจมีการเติมสารบางชนิดเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงให้สูงขึ้น เช่น ดินเบา Insecticide-D-20 และ Perma Guard Kleen Bin-D-20 มีการเติมสาร piperonyl butoxide และ pyrethrins เข้าไปด้วย (Fields and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000)

ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) เป็นองค์ประกอบหลักในดินเบาที่มีบทบาทในการดูดซับไขมันที่ผนังลำตัวของแมลงและเป็นเหตุให้แมลงสูญเสียน้ำและตายได้ ดินเบาจากจังหวัดลำปางและดินเบาจากสหรัฐอเมริกา มีองค์ประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ 66% (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3, 2550) และ 89% ตามลำดับ (Korunic, 1998) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติในการกำจัดแมลงของดินเบาสหรัฐอเมริกาทำให้แมลงตายได้มากกว่าดินเบาลำปาง

ค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin เมื่อใช้ร่วมกับดินเบาจากลำปางและดินเบาจากสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารฆ่าแมลงเพียงลำพัง โดยค่า LC_{50} ของ malathion, malathion+ดินเบาลำปาง และ malathion+ดินเบาสหรัฐอเมริกา เมื่อทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้งจากเชียงราย มีค่า เท่ากับ 5,755, 4,565 และ 4,507 ppm ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยา มีค่า LC_{50} เท่ากับ 6,187, 5,456 และ 5,294 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 6) สำหรับการใช้สารฆ่าแมลง permethrin, permethrin+ดินเบาลำปาง และ permethrin+ดินเบาสหรัฐอเมริกา กับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พบว่ามีค่า LC_{50} เท่ากับ 15,845, 4,151 และ 2,404 ppm ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยา มีค่า LC_{50} เท่ากับ 3,181, 2,590 และ 1,709 ppm ตามลำดับ (ตารางที่ 7) จากข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin ในการกำจัดมอดแป้งได้ ซึ่งสอดคล้องรายงานของ Korunic and Rozman (2010) ที่กล่าวว่าการใช้ดินเบาร่วมกับ deltamethrin ในการกำจัดแมลงในโรงเก็บคือ *R. dominica, S. oryzae* และ *T. castaneum* และพบว่า ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของสาร deltamethrin ในการกำจัดแมลงดังกล่าวได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินเบาจากจังหวัดลำปางกับดินเบาจากสหรัฐอเมริกา พบว่า ค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงเมื่อใช้ร่วมกับดินเบาสหรัฐอเมริกา มีค่าต่ำกว่าค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงเมื่อใช้ร่วมกับดินเบาลำปาง แสดงให้เห็นว่า ดินเบาสหรัฐอเมริกาสามารถเสริมประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin ได้ดีกว่าดินเบาลำปาง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของดินเบาที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ดินเบาลำปางยังคงให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงและมีผลช่วยให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมต่อไป

สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง 4 ชนิด คือ malathion, pirimiphos-methyl, permethrin และ deltamethrin ที่นำมาใช้ในการกำจัดมอดแป้งที่รวบรวมจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ พบว่า สารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดมอดแป้งทั้ง 3 แหล่ง ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ คือ deltamethrin, permethrin และ malathion โดยมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา

Table 5 Percentage mortality of *Tribolium castaneum* adults from Chiang Rai (CRI) and Phayao (PYO) treated with permethrin, permethrin+DE (Lampang) and permethrin+DE (USA)

Treatment	Percentage mortality of *T. castaneum* adults at various dosages (ppm)											
	597		1,195		2,395		4,780		9,560		19,120	
	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO	CRI	PYO
Permethrin	17.5^{bc}	25.0^{ab}	27.5^{a}	42.5^{ab}	32.5^{ab}	42.5^{ab}	45.0^{ab}	50.0^{ab}	45.0^{b}	60.0^{b}	52.5^{ab}	65.0^{b}
Permethrin+DE (Lampang)	25.0^{ab}	35.0^{ab}	35.0^{a}	42.5^{ab}	42.5^{sb}	42.5^{ab}	60.0^{a}	57.5^{a}	67.5^{a}	65.0^{b}	72.5^{a}	80.0^{a}
Permethrin+DE (USA)	32.5^{a}	37.5^{a}	47.5^{a}	45.0^{a}	47.5^{a}	47.5^{a}	62.5^{a}	70.0^{a}	72.5^{a}	87.0^{a}	75.0^{a}	90.0^{a}
DE (Lampang)	10.0^{c}	15.0^{b}	10.0^{b}	15.0^{b}	10.0^{c}	15.0^{b}	10.0^{c}	15.0^{c}	10.0^{d}	15.0^{c}	10.0^{c}	15.0^{d}
DE (USA)	30.0^{ab}	27.5^{ab}	30.0^{a}	27.5^{ab}	30.0^{b}	27.5^{ab}	30.0^{bc}	27.5^{ab}	30.0^{c}	27.5^{c}	30.0^{bc}	27.5^{c}
Check	0.0^{d}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{c}	0.0^{d}	0.0^{c}	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{d}	0.0^{e}

1/ Within column, means followed by a common letter do not differ by LSD test with 95% confidence level.

DE = Diatomaceous earth

Table 6 LC_{50} of malathion, malathion+DE (Lampang) and malathion+DE (USA) on *Tribolium castaneum* adults collected from Chiang Rai and Phayao provinces

Population	LC_{50} (Upper, lower)		
	Malathion	Malathion+DE (Lampang)	Malathion+DE (USA)
Chiang Rai	5,755 (4,444 , 6,607)	4,565 (1,822, 5,553)	4,507 (3,359, 5,143)
Phayao	6,186 (4,952 , 7,274)	5,456 (4,280, 6,171)	5,294 (4,506, 5,830)

* LC_{50} 95% confidence limits calculated from Logit PC program

DE = Diatomaceous earth

Table 7 LC_{50} of permethrin, permethrin+DE (Lampang) and permethrin+DE (USA) on *Tribolium castaneum* adults from Chiang Rai and Phayao provinces

Location	LC_{50} (Upper, lower)		
	Permethrin	Permethrin+DE (Lampang)	Permethrin+DE (USA)
Chiang Rai	15,845 (7,089, 198,721)	4,151 (2,726, 6,623)	2,404 (1,294, 3,945)
Phayao	3,181 (678, 6,466)	2,590 (1,972, 5,050)	1,709 (1,118, 2,387)

* LC_{50} 95% confidence limits calculated from Logit PC program

DE = Diatomaceous earth

แสดงความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin นอกจากนี้ ได้ทดลองใช้ดินเบาจากจังหวัดลำปางและดินเบาจากสหรัฐอเมริกา (Perma-Guard®) ร่วมกับสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงทั้งสองชนิดที่มอดแป้งแสดงความต้านทานแล้ว และพบว่าดินเบาช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงทั้งสองชนิดดังกล่าวในการกำจัดมอดแป้งได้ โดยพิจารณาจากค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงที่ลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารฆ่าแมลงแต่ละชนิดโดยลำพัง และดินเบาจากสหรัฐอเมริกาช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงได้ดีกว่าดินเบาจากจังหวัดลำปาง

เอกสารอ้างอิง

กุสุมา นวลวัฒน์ พรทิพย์ วิสารทานนท์ บุษรา จันทร์แก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม และ จิราภรณ์ ทองพันธ์. 2548. แมลงศัตรูข้าวเปลือกและการป้องกันกำจัด. เอกสารวิชาการ. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 80 หน้า.

ชุมพล กันทะ. 2533. หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ. ขอนแก่นการพิมพ์, ขอนแก่น. 249 หน้า.

ธัญรัศม์ เลิศโฆษิตพงศ์. 2553. การสังเคราะห์วัสดุจีโอพอลิเมอร์จากดินไดอะตอมลำปาง. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 123 หน้า.

พรทิพย์ วิสารทานนท์ กุสุมา นวลวัฒน์ บุษรา จันทร์แก้วมณี ใจทิพย์ อุไรชื่น รังสิมา เก่งการพานิช กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม จิราภรณ์ ทองพันธ์ ดวงสมร สุทธิสุทธิ์ ลักขณา ร่มเย็น และ ภาวินี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. เอกสารวิชาการ. กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 150 หน้า.

สุภาณี พิมพ์สมาน. 2540. สารฆ่าแมลง. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 58 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. ข้อมูลผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปี 2552. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/statistic/yearbook54/crops/03_%20maize.xls (5 มีนาคม 2554).

สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3. 2550. รายงานผลการทดสอบดินเบา. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3, เชียงใหม่.

อภิรักษ์ ชัยเสนา เมษายน แก้วทุ่น และ ปัญญา พลรักษ์. 2549. การเตรียมโซเดียมซิลิเกตจากดินเบาแหล่งลำปาง. สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ลำปาง.

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol.18: 265-267.

Bell, A., O. Mück, P. Mutla and H. Schneider. 1999. Integrated Post-Harvest Protection Is Worth Its Money. GTZ, Eschborn. 36 p.

Chanbang, Y. 2005. Evaluation of diatomaceous earth and methoprene and varietal resistance to control *Rhyzopertha dominica* (F.), the lesser grain borer in stored rice. Ph.D. Dissertation. Department of Entomology, University of Kansas, Kansas, U.S.A.

Chintzoglou, G., C. G. Athanassiou and F. H. Arthur. 2008. Insecticidal effect of spinosad dust in combination with

diatomaceous earth against two stored-grain beetle species. J. Stored Prod. Res. 44(4): 347-353.

Fields, P. and Z. Korunic. 2000. The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earth from different geographical locations against stored-product beetles. J. Stored Prod. Res. 36(1): 1-13.

Kljajic, P., G. Andric and I. Peric. 2006. Effect of several contract insecticides on adults of three *Sitophilus* species. pp. 338-343. *In*: Proceedings of Ninth International Working Conference of Stored Product Protection. Sao Paulo, Brazil.

Korunic, Z. 1998. Diatomaceous earth, a group of natural insecticides. J. Stored Prod. Res. 34(2-3): 87-97.

Korunic, Z. and V. Rozman. 2010. A synergistic mixture of diatomaceous earth and deltamethrin to control stored grain insects. pp. 894-898. *In*: Proceedings of the Tenth International Working Conference of Stored Product Protection. Estoril, Portugal.

Mewis, I. and C. Ulrichs. 2001. Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. J. Stored Prod. Res. 37(2): 153-164.

Subramanyam, Bh. and D. W. Hagstrum. 1985. Integrated management of insects in stored products. Marcel Dekker Publishing, Inc., New York, U.S.A. 426 p.

Subramanyam, Bh. and R. Roesli. 2000. Inert dusts. pp. 321-380. *In*: Bh. Subramanyam and D. W. Hagstrum (eds.). Alternative to Pesticides in Stored-Product IPM. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

Ware, G. W. 1989. The Pesticide Book. Thomson Publications, Fresno, California. 336 p.