

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลงในการกำจัดมอดแป้ง

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 (ตาราง 7) สารฆ่าแมลงที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับคือ deltamethrin, permethrin และ malathion ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kljajic *et al.* (2006) ที่รายงานว่าสาร pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพสูงกว่า deltamethrin และ malathion ในการกำจัด *S. granarius* ซึ่งเป็นแมลงในโรงเก็บเช่นเดียวกับมอดแป้ง

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ

| สารฆ่าแมลง | ความเข้มข้นที่ แนะนำให้ใช้ (ppm) | เปอร์เซ็นต์การตาย ^{1/} | | |
|-------------------|--|---------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | เชียงราย | พะเยา | เพชรบูรณ์ |
| malathion | 445 | 0 ^c | 0 ^d | 0 ^c |
| 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/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

4.1.1 ทดสอบหาค่า LC_{50} ของ malathion

สารฆ่าแมลง malathion ในอัตราที่แนะนำให้ใช้ คือ 445 ppm ไม่สามารถกำจัดมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นเป็น 5 ระดับ คือ 5,353, 6,224, 7,113, 8,002 และ 8,892 ppm เพื่อนำมาทดสอบกับมอดแป้งและนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า LC_{50} ของ malathion จากการทดสอบ พบว่า มอดแป้งจากโรงเก็บในแต่ละพื้นที่มีเปอร์เซ็นต์การตายที่แตกต่างกัน (ตาราง 8) โดยสารฆ่าแมลง malathion ความเข้มข้นที่สูงขึ้น มีผลทำให้มอดแป้งจากทุกแหล่งมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalequzzaman and Nahar (2001) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของ malathion สูงขึ้น มอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มสูงขึ้น

จากการประเมินความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง malathion โดยพิจารณาจากค่า LC_{50} ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แสดงความเข้มข้นของสารพิษ ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายภายในระยะเวลาที่กำหนด ใช้หน่วยเป็น พีพีเอ็ม (part per million; ppm) (สุภานี, 2540) พบว่า เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่า LC_{50} ของ malathion พบว่า ค่า LC_{50} ที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยามีค่าสูงสุดคือ 7,603 ppm รองลงมาคือที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและเพชรบูรณ์ มีค่า 6,491 และ 5,280 ppm ตามลำดับ (ตาราง 9) ซึ่งค่า LC_{50} ที่ได้ทดสอบกับมอดแป้งที่มาจากต่างพื้นที่กันมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในแต่ละพื้นที่มีความต้านทานต่อสาร malathion ที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Horton (1984) ที่รายงานว่ามอดแป้ง *T. castaneum* จากโรงเก็บต่าง ๆ ใน South Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกา สร้างความต้านทานต่อสาร malathion แตกต่างกัน โดยพบว่ามอดแป้งจากพื้นที่ Blacksburg มีความต้านทานต่อสาร malathion มากกว่าพื้นที่ Townville

ค่า LC_{50} ของ malathion ที่ได้จากการนำไปทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มีค่าสูงมากเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของ malathion ที่แนะนำให้ใช้กับมอดแป้ง คือ 445 ppm แสดงให้เห็นว่ามอดแป้งจากทั้ง 3 แหล่งดังกล่าว โดยเฉพาะมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา มีความต้านทานต่อ malathion อย่างชัดเจน

ตาราง 8 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ malathion ในแต่ละความเข้มข้นที่ระยะเวลา 2 วัน

| ความเข้มข้น (ppm) | เปอร์เซ็นต์การตาย | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | เชียงราย | พะเยา | เพชรบูรณ์ |
| 5,353 | 50.0 ^a | 45.0 ^a | 50.0 ^a |
| 6,224 | 62.5 ^a | 52.5 ^a | 55.5 ^a |
| 7,113 | 62.5 ^a | 55.0 ^a | 67.5 ^a |
| 8,002 | 67.5 ^a | 57.5 ^a | 75.0 ^a |
| 8,892 | 77.5 ^a | 60.0 ^b | 77.5 ^a |
| check | 0 | 0 | 0 |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

ตาราง 9 ค่า LC₅₀ ของสารฆ่าแมลง malathion ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | malathion (ppm) | | |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | ค่า LC ₅₀ * | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
| เชียงราย | 6,491 | 4,261 | 413,778 |
| พะเยา | 7,603 | 6,961 | 49,634 |
| เพชรบูรณ์ | 5,280 | 1,332 | 6,033 |

* LC₅₀ 95% confidence limits calculated from Logit PC program

4.1.2 ทดสอบหาค่า LC₅₀ ของ pirimiphos-methyl

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพสารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl กับมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในพื้นที่ต่าง ๆ และบันทึกผลภายใน 2 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 2,287, 5,575, 11,150, 16,725 และ 22,300 ppm ตามลำดับ มอดแป้งจากโรงเก็บแต่ละพื้นที่มีเปอร์เซ็นต์การตายที่แตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้น 11,150 ppm พบว่า มอดแป้งจากโรงเก็บจังหวัดพะเยา มีการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่มอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและเพชรบูรณ์มีการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 16,725 ppm (ตาราง 10) แสดงให้เห็นว่าสาร pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพในการควบคุมมอดแป้งจากโรงเก็บอย่างได้ผลดี โดยในความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้คือ 5,575 ppm สามารถกำจัดมอดแป้งได้อย่างสมบูรณ์ สอดคล้องกับการรายงานของ Ferguson and Waller (1982) ที่พบว่า pirimiphos-methyl มีประสิทธิภาพในการกำจัด *S. granarius* ที่เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บเช่นเดียวกัน ได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับการรายงานของ Huang and Subramanyam (2005) ที่รายงานว่า การใช้ pirimiphos-methyl สามารถกำจัดตัวเต็มวัย *R. dominica*, *T. castaneum* ได้มากกว่า 72 เปอร์เซ็นต์ และ ระยะหนอนของผีเสื้อ *P. interpunctella* ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 10 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ pirimiphos-methyl ในแต่ละความเข้มข้น ที่ระยะเวลา 2 วัน

| ความเข้มข้น (ppm) | เปอร์เซ็นต์การตาย | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | เชียงราย | พะเยา | เพชรบูรณ์ |
| 2,287 | 40.0 ^a | 22.5 ^b | 50.0 ^a |
| 5,575 | 67.0 ^a | 85.0 ^a | 77.5 ^a |
| 11,150 | 97.5 ^{ab} | 100.0 ^a | 90.0 ^b |
| 16,725 | 100.0 ^a | 100.0 ^a | 100.0 ^a |
| 22,300 | 100.0 ^a | 100.0 ^a | 100.0 ^a |
| check | 0 | 0 | 0 |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate เช่นเดียวกับของ malathion พบว่า ค่า LC_{50} ที่ทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มีค่า LC_{50} เท่ากับ 4,790, 4,312 และ 3,662 ppm ตามลำดับ (ตาราง 11) และเมื่อนำค่า LC_{50} มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้คือ 5,575 ppm พบว่า ค่า LC_{50} ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า สารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl ยังสามารถใช้กำจัดมอดแป้งจากโรงเก็บทั้ง 3 จังหวัดได้ และมอดแป้งจาก 3 จังหวัดดังกล่าว ยังไม่สามารถสร้างความต้านทานต่อสาร pirimiphos-methyl

ตาราง 11 ค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลง pirimiphos-methyl ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | pirimiphos-methyl (ppm) (อัตราแนะนำ: 5,575 ppm) | | |
|-----------|--|-----------|-----------|
| | ค่า LC_{50} * | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
| เชียงราย | 4,790 | 3,672 | 7,144 |
| พะเยา | 4,312 | 3,386 | 6,069 |
| เพชรบูรณ์ | 3,662 | 0 | ***** |

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

4.1.3 ทดสอบหาค่า LC_{50} ของ permethrin

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารฆ่าแมลง permethrin 10% EC และบันทึกผลภายใน 2 วัน ที่ความเข้มข้น 1,195, 2,395, 4,780, 9,560 และ 19,120 ppm ตามลำดับ ตัวเต็มวัยมอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายที่แตกต่างกัน โดยความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้คือ 19,120 ppm สามารถกำจัดมอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ได้เท่ากับ 50.0, 57.0 และ 67.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตาราง 12)

ตาราง 12 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ permethrin ในแต่ละความเข้มข้นที่ระยะเวลา 2 วัน

| ความเข้มข้น (ppm) | เปอร์เซ็นต์การตาย | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | เชียงราย | พะเยา | เพชรบูรณ์ |
| 1,195 | 30.0 ^a | 17.5 ^a | 42.5 ^a |
| 2,395 | 37.0 ^a | 30.0 ^a | 52.5 ^a |
| 4,780 | 42.5 ^a | 35.0 ^a | 55.0 ^a |
| 9,560 | 45.0 ^a | 42.5 ^a | 60.0 ^a |
| 19,120 | 50.0 ^a | 57.0 ^a | 67.5 ^a |
| check | 0 | 0 | 0 |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

เมื่อประเมินความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง permethrin โดยพิจารณาจากค่า LC_{50} พบว่าค่า LC_{50} ของ permethrin เมื่อทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บในแต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกัน โดยค่า LC_{50} ของ permethrin ที่ทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงรายและพะเยามีค่าสูงมากใกล้เคียงกัน คือ 15,520 และ 13,863 ppm และค่า LC_{50} ต่ำที่สุดคือ 2,974 ppm ได้จากการทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ (ตาราง 13) เมื่อพิจารณาจากค่า LC_{50} ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า มอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงรายและพะเยาแสดงความต้านทานต่อสาร permethrin อย่างชัดเจน โดยที่ปริมาณความเข้มข้นที่ทำให้มอดแป้งตาย 50 เปอร์เซ็นต์ (LC_{50}) มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นที่แนะนำ (มักกำหนดไว้สูง อาจเป็น LC_{90}) ให้ใช้ คือ 4,780 ppm ประมาณ 3 เท่า ในกรณีนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Zettler and McDonald (1984) ที่พบว่า สาร permethrin มีประสิทธิภาพต่ำในการป้องกันกำจัด *T. castaneum* และ *T. confusum* ขณะที่มอดแป้งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ความเข้มข้นของ permethrin เพียง 2,974 ppm ก็สามารถทำให้มอดแป้งตายได้ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า สารฆ่าแมลง permethrin ยังคงใช้กำจัดมอดแป้งในโรงเก็บของจังหวัดเพชรบูรณ์ได้

ตาราง 13 ค่า LC₅₀ ของสารฆ่าแมลง permethrin ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | permethrin (ppm) (อัตราแนะนำ: 4,780 ppm) | | |
|-----------|---|-----------|-----------|
| | ค่า LC ₅₀ * | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
| เชียงราย | 15,520 | 6,493 | 81,968 |
| พะเยา | 13,863 | 7,603 | 58,778 |
| เพชรบูรณ์ | 2,974 | 2,437 | 5,043 |

* LC₅₀ 95% confidence limits calculated from Logit PC program

4.1.4 ทดสอบหาค่า LC₅₀ ของ deltamethrin

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง deltamethrin กับมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่ความเข้มข้น 375, 750, 1,500, 3,000 และ 6,000 ppm พบว่า มอดแป้งจากโรงเก็บแต่ละแหล่ง มีเปอร์เซ็นต์การตายที่ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทุกอัตราความเข้มข้นที่ใช้ โดยที่ระดับความเข้มข้น 6,000 ppm มอดแป้งจากทุกโรงเก็บ มีเปอร์เซ็นต์การตายที่สูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 14) ถึงแม้ว่าสารฆ่าแมลง deltamethrin ให้เปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่ใช้อยู่ในระดับค่อนข้างสูง ซึ่งให้เห็นแนวโน้มที่มอดแป้งจากทั้ง 3 แหล่งจะแสดงความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง deltamethrin สำหรับในต่างประเทศมีรายงานการใช้สาร deltamethrin กับแมลงในโรงเก็บชนิดอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น Kljajic *et al.* (2006) รายงานว่า deltamethrin มีประสิทธิภาพในการควบคุมตัวเต็มวัยของ *S. zeamais* และ *S. oryzae* ได้ดีกว่าสาร bifenthrin และ malathion นอกจากนี้ Arthur (1997) รายงานว่าสาร deltamethrin ชนิดผง มีประสิทธิภาพในการควบคุมตัวเต็มวัยของ *T. castaneum* และ *R. dominica* ได้ถึง 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การประเมินความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง deltamethrin โดยพิจารณาจากค่า LC₅₀ พบว่าค่า LC₅₀ ของ deltamethrin เมื่อทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บแต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกัน โดยมอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์มีค่า LC₅₀ ใกล้เคียงกันคือ มีค่าเท่ากับ 3,529, 3,301, และ 3,781 ppm ตามลำดับ (ตาราง 15) เมื่อนำค่า LC₅₀ ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้น

ที่แนะนำให้ใช้คือ 1,500 ppm ซึ่งมีค่าสูงกว่าประมาณ 1 เท่า แสดงให้เห็นแนวโน้มว่า มอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดทั้ง 3 แห่ง เริ่มสร้างความต้านทานต่อสาร deltamethrin แล้ว

ตาราง 14 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ deltamethrin ในแต่ละความเข้มข้น ที่ระยะเวลา 2 วัน

| ความเข้มข้น (ppm) | เปอร์เซ็นต์การตาย | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | เชียงราย | พะเยา | เพชรบูรณ์ |
| 375 | 47.5 ^a | 50.0 ^a | 45.0 ^a |
| 750 | 52.5 ^a | 52.5 ^a | 65.0 ^a |
| 1,500 | 62.5 ^a | 57.75 ^a | 67.5 ^a |
| 3,000 | 67.5 ^a | 67.5 ^a | 82.5 ^a |
| 6,000 | 80.0 ^a | 85.0 ^a | 87.5 ^a |
| check | 0 | 0 | 0 |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

ตาราง 15 ค่า LC₅₀ ของสารฆ่าแมลง deltamethrin (ppm) ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | deltamethrin (ppm) | | |
|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | ค่า LC ₅₀ * | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด |
| เชียงราย | 3,529 | 2,508 | 5,965 |
| พะเยา | 3,301 | 2,561 | 4,604 |
| เพชรบูรณ์ | 3,781 | 2,881 | 5,541 |

* LC₅₀ 95% confidence limits calculated from Logit PC program

4.2 การประยุกต์ใช้สารฆ่าแมลงร่วมกับดินเบาในการกำจัดมอดแป้ง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง พบว่า มอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา มีแนวโน้มต้านทานต่อสาร malathion และ permethrin ดังนั้น นำสารฆ่าแมลงทั้ง 2 ชนิดมาใช้ร่วมกับดินเบาจากจังหวัดลำปางและดินเบาจากสหรัฐอเมริกา ที่ผลิตเป็นการค้าคือ Perma-Guard® เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งให้ดียิ่งขึ้น จากผลการทดสอบ พบว่า การใช้ดินเบาร่วมกับสารฆ่าแมลงทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งได้ดีกว่าการใช้สารฆ่าแมลงและการใช้ดินเบาเพียงอย่างเดียว โดยมีผลให้เปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งสูงขึ้น (ตาราง 16, 17, 18 และ 19) ทั้งนี้ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสารฆ่าแมลงได้เนื่องจากดินเบามีผลดูดซับไขมันที่ผนังลำตัวชั้นนอกของแมลง ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำจากตัวแมลงและผลกระทบบางส่วนจากการที่ดินเบาจับข่วนผนังลำตัวแมลง (Mewis and Ulrichs, 2001) จากการศึกษากลไกการทำงานของสาร malathion ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate มีผลต่อแมลงโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase ส่วนสาร permethrin เป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม pyrethroids มีผลต่อแมลงโดยเป็นพิษต่อระบบประสาทของแมลงสูง ทำลายสมดุลของประจุโซเดียมและโพแทสเซียมที่เยื่อหุ้มประสาท (สุภาณี, 2540; Ware, 1989; Subramanyam and Hagstrum, 1985) ดังนั้น การใช้ดินเบาร่วมกับสาร malathion และ permethrin จึงมีผลร่วมจากการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase และทำลายสมดุลของโซเดียมและโพแทสเซียม ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทจากสารเคมี ประกอบกับมอดแป้งเกิดการสูญเสียน้ำซึ่งเป็นผลมาจากดินเบา ทำให้แมลงเกิดสภาวะเครียด และมีการตายมากขึ้น ดังรายงานการศึกษาการใช้ spinosad ซึ่งเป็นสารเคมีกลุ่มใหม่ มีต้นแบบมาจากสารพิษที่ได้จากจุลินทรีย์ในดิน *Saccharopolyspora spinosa* มีกลไกการออกฤทธิ์ที่ระบบ GABA receptor และ acetylcholine receptor ในระบบประสาทของแมลง เมื่อนำมาใช้ร่วมกับดินเบาในการกำจัด *T. confusum* และ *S. oryzae* พบว่า ดินเบามีผลในการเพิ่มสภาวะเครียด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาโบลิซึมภายในลำตัวแมลง ช่วยเสริมประสิทธิภาพของ spinosad ได้ดียิ่งขึ้น (Chintzoglou *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ Fields and Korunic (2000) รายงานว่า ดินเบา Protect-It™ ซึ่งเป็นดินเบาจากสหรัฐอเมริกา มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งน้ำทะเล ส่วน Dryacide® เป็นดินเบาจากออสเตรเลีย มีแหล่งกำเนิดจากแหล่งน้ำจืด โดยดินเบาทั้ง 2 แหล่ง มี SiO₂ เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน คือมีอัตรา 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 นอกจากนี้ดินเบาที่จำหน่ายในทางการค้าอาจมี

การเติมสารบางชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงให้สูงขึ้น เช่น ดินเบา Insecticide-D-20 และ Perma Guard Kleen Bin-D-20 มีการเติมสาร piperonyl butoxide และ pyrethrins (Fields and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงรายและพะเยา เมื่อใช้ดินเบาจากสหรัฐอเมริกาและจากลำปาง พบว่า การใช้ดินเบาสหรัฐอเมริกา มีเปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งสูงกว่าการใช้ดินเบาจากลำปาง (ตาราง 16, 17, 18 และ 19)

ตาราง 16 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดใน จังหวัดเชียงราย ที่ทดสอบกับ malathion, malathion+ดินเบา (ลำปาง) และ malathion+ ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ระยะเวลา 2 วัน

| กรรมวิธี | เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัย <i>T. castaneum</i> แต่ละความเข้มข้น (ppm) | | | | | |
|------------------------|---|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 4,446 | 5,353 | 6,224 | 7,113 | 8,002 | 8,892 |
| malathion | 37.5 ^a | 50.0 ^a | 55.0 ^a | 62.5 ^a | 65.0 ^a | 70.0 ^a |
| malathion+DE (Lampang) | 45.0 ^a | 62.5 ^a | 65.0 ^a | 70.0 ^a | 70.0 ^a | 72.5 ^a |
| malathion+DE (USA) | 45.0 ^a | 72.5 ^a | 77.5 ^a | 77.5 ^a | 80.0 ^a | 87.5 ^a |
| DE (Lampang) | 10.0 ^b | 10.0 ^c | 10.0 ^b | 10.0 ^b | 10.0 ^b | 10.0 ^b |
| DE (USA) | 30.0 ^{ab} | 30.0 ^{bc} | 30.0 ^b | 30.0 ^b | 30.0 ^b | 30.0 ^b |
| check | 0 ^b | 0 ^d | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^c |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมมุติเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

DE =ดินเบา (Diatomaceous Earth)

ตาราง 17 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดใน
จังหวัดพะเยา ที่ทดสอบกับ malathion, malathion+ดินเบา (ลำปาง) และ malathion+
ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ระยะเวลา 2 วัน

| กรรมวิธี | เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัย <i>T. castaneum</i> แต่ละความเข้มข้น (ppm) | | | | | |
|------------------------|---|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 4,446 | 5,353 | 6,224 | 7113 | 8002 | 8892 |
| malathion | 40.0 ^a | 42.5 ^{ab} | 50.0 ^a | 57.5 ^a | 60.0 ^a | 70.0 ^a |
| malathion+DE (Lampang) | 42.5 ^a | 47.5 ^a | 60.0 ^a | 62.5 ^a | 70.0 ^a | 77.5 ^a |
| malathion+DE (USA) | 42.5 ^a | 50.0 ^a | 57.5 ^a | 72.5 ^a | 80.0 ^a | 85.0 ^a |
| DE (Lampang) | 15.0 ^b | 15.0 ^c | 15.0 ^b | 15.0 ^b | 15.0 ^b | 15.0 ^b |
| DE (USA) | 27.5 ^{ab} | 27.5 ^{bc} | 27.5 ^b | 27.5 ^b | 27.5 ^b | 27.5 ^b |
| Check | 0 ^c | 0 ^d | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^c |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมรภูมิเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

DE =ดินเบา (Diatomaceous Earth)

ตาราง 18 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดใน
จังหวัดเชียงราย ที่ทดสอบกับ permethrin, permethrin+ดินเบา (ลำปาง) และ
permethrin+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ระยะเวลา 2 วัน

| กรรมวิธี | เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัย <i>T. castaneum</i> แต่ละความเข้มข้น(ppm) | | | | | |
|--------------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | 597 | 1,195 | 2,395 | 4,780 | 9,560 | 19,120 |
| permethrin | 17.5 ^{bc} | 27.5 ^a | 32.5 ^{ab} | 45.0 ^{ab} | 45.0 ^b | 52.5 ^{ab} |
| permethrin +DE (Lampang) | 25.0 ^{ab} | 35.0 ^a | 42.5 ^{ab} | 60.0 ^a | 67.5 ^a | 72.5 ^a |
| permethrin +DE (USA) | 32.5 ^a | 47.5 ^a | 47.5 ^a | 62.5 ^a | 72.5 ^a | 75.0 ^a |
| DE (Lampang) | 10.0 ^c | 10.0 ^b | 10.0 ^c | 10.0 ^c | 10.0 ^d | 10.0 ^c |
| DE (USA) | 30.0 ^{ab} | 30.0 ^a | 30.0 ^b | 30.0 ^{bc} | 30.0 ^c | 30.0 ^{bc} |
| check | 0 ^d | 0 ^c | 0 ^d | 0 ^d | 0 ^d | 0 ^d |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมรภูมิเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความ
เชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

DE =ดินเบา (Diatomaceous Earth)

ตาราง 19 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดพะเยาที่ทดสอบกับ permethrin, permethrin+ดินเบา (ลำปาง) และ permethrin+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ระยะเวลา 2 วัน

| กรรมวิธี | เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัย <i>T. castaneum</i> แต่ละความเข้มข้น (ppm) | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | 597 | 1,195 | 2,395 | 4,780 | 9,560 | 19,120 |
| permethrin | 25.0 ^{ab} | 42.5 ^{ab} | 42.5 ^{ab} | 50.0 ^{ab} | 60.0 ^b | 65.0 ^b |
| permethrin +DE (Lampang) | 35.0 ^{ab} | 42.5 ^{ab} | 42.5 ^{ab} | 57.5 ^a | 65.0 ^b | 80.0 ^a |
| permethrin +DE (USA) | 37.5 ^a | 45.0 ^a | 47.5 ^a | 70.0 ^a | 87.5 ^a | 90.0 ^a |
| DE (Lampang) | 15.0 ^b | 15.0 ^b | 15.0 ^b | 15.0 ^c | 15.0 ^c | 15.0 ^d |
| DE (USA) | 27.5 ^{ab} | 27.5 ^{ab} | 27.5 ^{ab} | 27.5 ^{ab} | 27.5 ^c | 27.5 ^c |
| check | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^c | 0 ^d | 0 ^d | 0 ^e |

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

DE =ดินเบา (Diatomaceous Earth)

เมื่อพิจารณาค่า LC_{50} จากการใช้ดินเบาพร้อมกับ malathion และ permethrin พบว่า มีค่า LC_{50} ลดลงทั้งการใช้ malathion และ permethrin ร่วมกับดินเบาจากลำปางและ ดินเบาจากสหรัฐอเมริกา (ตาราง 20 และ 21) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงของสารทั้ง 2 ชนิด และวิธีการใช้ดินเบาพร้อมกับ deltamethrin ในการกำจัดแมลง *R. dominica*, *S. oryzae* และ *T. castaneum* และพบว่า ดินเบาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของสาร deltamethrin ในการกำจัดแมลงดังกล่าวได้ (Korunic and Rozman, 2010)

เมื่อเปรียบเทียบค่า LC_{50} เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินเบาจากลำปางกับดินเบาจากสหรัฐอเมริกา พบว่า ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) มีค่า LC_{50} มีค่าต่ำกว่าดินเบา (ลำปาง) แสดงให้เห็นว่า ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion (ตาราง 20) และ permethrin (ตาราง 21) ได้ดีกว่าดินเบา (ลำปาง) ซึ่งเป็นผลมาจากแหล่งที่มาของดินเบาที่แตกต่างกัน ทำให้มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และอาจมีการเติมสารบางชนิดไปในดินเบา (Fields and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000)

โดยที่ดินเบาที่มีแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดมอดแป้งได้แตกต่างกัน เนื่องจากดินเบาแต่ละแหล่ง มีองค์ประกอบที่ต่างกัน (ชัยรัศม์, 2553; Fields and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000) นอกจากนี้ดินเบาที่จำหน่ายในทางการค้ามีการเติมสารบางชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงให้สูงขึ้น เช่น ดินเบา Insecticide-D-20 และ Perma Guard Kleen Bin-D-20 มีการเติมสาร piperonyl butoxide และ pyrethrins (Fields and Korunic, 2000; Subramanyam and Roesli, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของดินเบาจากจังหวัดลำปางกับดินเบาจากสหรัฐอเมริกา พบว่าค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงเมื่อใช้ร่วมกับดินเบาสหรัฐอเมริกา มีค่าต่ำกว่าค่า LC_{50} ของสารฆ่าแมลงเมื่อใช้ร่วมกับดินเบาลำปาง แสดงให้เห็นว่า ดินเบาสหรัฐอเมริกาสามารถเสริมประสิทธิภาพของสารฆ่าแมลง malathion และ permethrin ได้ดีกว่าดินเบาลำปาง (ตาราง 20 และ 21) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของดินเบาที่แตกต่างกัน ซึ่งดินเบาจากจังหวัดลำปางและดินเบาจากสหรัฐอเมริกา มีองค์ประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ 66% (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3, 2550) และ 89% ตามลำดับ (Korunic, 1998) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติในการกำจัดแมลงของดินเบาสหรัฐอเมริกาทำให้แมลงตายได้มากกว่าดินเบาลำปาง

ตาราง 20 ค่า LC_{50} ของ malathion, malathion+ดินเบา (ลำปาง) และ malathion+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย และพะเยา ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | ค่า LC_{50} (ค่าต่ำสุด, สูงสุด) | | |
|----------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|
| | malathion | malathion+DE (Lampang) | malathion+DE (USA) |
| เชียงราย | 5,755 (4,444 , 6,607) | 4,565 (1,822, 5,553) | 4,507 (3,359, 5,143) |
| พะเยา | 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 = ดินเบา (Diatomaceous Earth)

ตาราง 21 ค่า LC_{50} ของ permethrin, permethrin+ดินเบา (ลำปาง) และ permethrin+ดินเบา (สหรัฐอเมริกา) ที่ทดสอบกับตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย และพะเยา ที่ระยะเวลา 2 วัน

| พื้นที่ | ค่า LC_{50} (ค่าต่ำสุด, สูงสุด) | | |
|----------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------|
| | permethrin | permethrin+DE (Lampang) | permethrin+DE (USA) |
| เชียงราย | 15,845 (7,089, 198,721) | 4,151 (2,726, 6,623) | 2,404 (1,294, 3,945) |
| พะเยา | 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 = ดินเบา (Diatomaceous Earth)