



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/} ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์เดียวกัน ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

4.1.1 ทดสอบหาค่า LC₅₀ 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 LC₅₀ ของ malathion จากการทดสอบ พบว่า มอดแป้งจากโรงเก็บในแต่ละพื้นที่มีเปอร์เซ็นต์การตายที่แตกต่างกัน (ตาราง 8) โดยสารฆ่าแมลง malathion ความเข้มข้นที่สูงขึ้น มีผลทำให้มอดแป้งจากทุกแหล่งมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalequzzaman and Nahar (2001) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มระดับของ malathion สูงขึ้น มอดแป้งมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มสูงขึ้น

จากการประเมินความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง malathion โดยพิจารณาจากค่า LC₅₀ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แสดงความเข้มข้นของสารพิษ ซึ่งทำให้สัตว์ทดลองตายภายในระยะเวลาที่กำหนด ใช้หน่วยเป็น พีพีเอ็ม (part per million; ppm) (สุภาณี, 2540) พบว่า เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นค่า LC₅₀ ของ malathion พบว่า ค่า LC₅₀ ที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดพะเยามีค่าสูงสุดคือ 7,603 ppm รองลงมาคือที่ทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและเพชรบูรณ์ มีค่า 6,491 และ 5,280 ppm ตามลำดับ (ตาราง 9) ซึ่งค่า LC₅₀ ที่ได้ทดสอบกับมอดแป้งที่มาจากต่างพื้นที่กันมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมอดแป้งจากโรงเก็บข้าวโพดในแต่ละพื้นที่มีความต้านทานต่อสาร malathion ที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Horton (1984) ที่รายงานว่ามอดแป้ง *T. castaneum* จากโรงเก็บต่าง ๆ ใน South Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกา สร้างความต้านทานต่อสาร malathion แตกต่างกัน โดยพบว่ามอดแป้งจากพื้นที่ Blacksburg มีความต้านทานต่อสาร malathion มากกว่าพื้นที่ Townville

ค่า LC₅₀ ของ malathion ที่ได้จากการนำไปทดสอบกับมอดแป้งจากจังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ มีค่าสูงมากเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของ malathion ที่แนะนำให้ใช้กับมอดแป้ง คือ 445 ppm แสดงให้เห็นว่ามอดแป้งจากทั้ง 3 แหล่งดังกล่าว โดยเฉพาะมอดแป้งจากจังหวัดเชียงรายและพะเยา มีความต้านทานต่อ malathion อย่างชัดเจน

ตาราง 8 เปอร์เซนต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดใน
จังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ malathion ในแต่ละความเข้มข้น
ที่ระยะเวลา 2 วัน

ความเข้มข้น (ppm)	เปอร์เซนต์การตาย		
	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 ที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

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

พื้นที่	malathion (ppm)		
	ค่า LC ₅₀ * (อัตราแนะนำ: 445 ppm)	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* ที่เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บเช่นเดียวกันได้ถึง 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 เช่นเดียวกับ ของ 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)		
	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 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 12)

ตาราง 12 เเปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดใน
จังหวัดเชียงราย พะเยา และเพชรบูรณ์ เมื่อทดสอบกับ permethrin ในแต่ละความเข้มข้น
ที่ระยะเวลา 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 ที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี LSD

เมื่อประเมินความเป็นพิษของสารฆ่าแมลง permethrin โดยพิจารณาจากค่า LC_{50} พบว่า
ค่า LC_{50} ของ permethrin เมื่อทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บในแต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกัน โดย
ค่า LC_{50} ของ permethrin ที่ทดสอบกับมอดแป้งจากโรงเก็บในจังหวัดเชียงรายและพะเยามีค่าสูงมาก
ใกล้เคียงกัน คือ 15,520 และ 13,863 ppm และค่า LC_{50} ต่ำที่สุดคือ 2,974 ppm ได้จากการทดสอบ
กับมอดแป้งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ (ตาราง 13) เมื่อพิจารณาจากค่า LC_{50} ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า มอดแป้ง
จากโรงเก็บในจังหวัดเชียงรายและพะเยาแสดงความต้านทานต่อสาร permethrin อย่างชัดเจน โดย
ที่ปริมาณความเข้มข้นที่ทำให้มอดแป้งตาย 50 เปอร์เซ็นต์ (LC_{50}) มีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นที่แนะนำ
(มักกำหนดไว้สูง อาจเป็น LC_{90}) ให้ใช้ คือ 4,780 ppm ประมาณ 3 เท่า ในกรณีนี้สอดคล้องกับ
การรายงานของ Zettler and McDonald (1984) ที่พบว่า สาร permethrin มีประสิทธิภาพต่ำใน
การป้องกันกำจัด *T. castaneum* และ *T. confusum* ขณะที่มอดแป้งจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ความเข้มข้น
ของ permethrin เพียง 2,974 ppm ก็สามารถทำให้มอดแป้งตายได้ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า สารฆ่าแมลง
permethrin ยังคงใช้กำจัดมอดแป้งใน โรงเก็บของจังหวัดเพชรบูรณ์ได้



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 แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่ให้อยู่ในระดับค่อนข้างสูง จึงให้เห็นแนวโน้มที่มอดแป้งจากทั้ง 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)		
	(อัตราแนะนำ: 1,500 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 ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำจากตัวแมลงและผลกระทบบางส่วนจากการที่ดินเบาขัดขวางผนังลำตัวแมลง (Mewis and Ulrichs, 2001) จากการศึกษากลไกการทำงานของสาร malathion ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม organophosphate มีผลต่อแมลงโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cholinesterase ส่วนสาร permethrin เป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่ม pyrethroids มีผลต่อแมลงโดยเป็นพิษต่อระบบประสาทของแมลงสูง ทำลายสมดุลของประจุโซเดียมและ โพแทสเซียมที่เยื่อหุ้มประสาท (สุภานี, 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 นอกจากนี้ดินเบาที่จำหน่ายในทางการค้ายังมี

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 การใช้ดินเบาสหรัฐอเมริกามีเปอร์เซ็นต์การตายของมอดแป้งสูงกว่าการใช้ดินเบาลำปาง (ตาราง 16, 17, 18 และ 19)

ตาราง 16 เปอร์เซ็นต์การตายของตัวเต็มวัยมอดแป้ง *Tribolium castaneum* จากโรงเก็บข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย 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/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน 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/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน 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/} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกัน 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 ^c

^{1/} ค่าเฉลี่ยในสมรภูมิเดียวกัน 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 (ธัญธรม, 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 พบว่า ค่า 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* จากโรงเก็บข้าวโพคในจังหวัดเชียงราย 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)