

การตรวจเอกสาร

1. ปลวก (Termite)

1.1 วงจรชีวิต

ปลวกเป็นแมลงสังคมชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในอันดับ ไอโซอพเทอร่า (Isoptera) มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า termite หรือ white ant เพราะมีลักษณะทางสัณฐานภายนอก รวมทั้งสี คล้ายกับมด คำว่า termite มีรากศัพท์มาจากภาษาโรมันว่า termes หมายถึง หนอนไม้ ซึ่งมี การพัฒนาการมากกว่า 150 ล้านปี พบอาศัยอยู่ทั่วไปในโลก (Krishna and Weener, 1970) ในช่วงฤดูฝนเป็นช่วงการผสมพันธุ์และสร้างรังใหม่ของตัวเต็มวัยที่มีปีก ซึ่งจะเกิดขึ้นเพียง 1-2 ครั้ง ต่อปี รูปแบบการสร้างรังของปลวกมีหลายแบบ เช่น สร้างจอมปลวกเหนือดินบนต้นไม้ และได้ ดิน เป็นต้น ภายในรังปลวกจะมีคุณสมบัติพิเศษในการควบคุมการระบายอากาศ อุณหภูมิ และ ความชื้น อาหารของปลวกคือเซลลูโลส ได้แก่ ไม้ ชากไม้ หรือกิ่งไม้ที่ตายแล้ว ปลวกบาง ชนิดกินหญ้าอ่อนหรือหญ้าเน่าเปื่อยเป็นอาหาร สังคมของปลวกจะแบ่งออกเป็นวรรณะต่างๆ 3 วรรณะ ได้แก่ ปลวกงาน ปลวกทหาร และวรรณะสืบพันธุ์ ซึ่งปลวกสองวรรณะแรกประกอบ ด้วยปลวกเพศผู้และเพศเมียที่เป็นหมัน วงจรชีวิตของปลวกเริ่มจากราชินีและราชาปลวก บินออกจากรังขึ้นสู่อากาศเพื่อการผสมพันธุ์ เมื่อจับคู่ได้แล้วจะบินลงสู่พื้นดิน และสลัดปีกทิ้งไป เพศเมียจะปล่อยเฟอโรโมนส์ให้เพศผู้เข้าหาและเคลื่อนที่เข้าไปหาแหล่งอาหารเพื่อทำรังและ ผสมพันธุ์ หลังจากนั้น 2-4 สัปดาห์จะวางไข่ชุดแรก ไข่มีรูปร่างยาวเรียวค่อนข้างกลม ส่วน หัวและท้ายกลมแบน สีขาว ขนาดเล็กมักวางเป็นฟองเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่มคล้ายไข่แมลงสาบ แต่ขึ้นกับชนิดปลวก เมื่อนางพญาปลวกอายุตั้งแต่ 1 ปี ขึ้นไปอัตราการวางไข่จะมากขึ้น หลังจากนั้น 3 สัปดาห์ ไข่จะฟักเป็นตัวอ่อนระยะแรก (nymphs) ซึ่งมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตัว เต็มวัยทุกประการยกเว้นขนาดเล็กกว่า จำนวนปล้องหนวดน้อยกว่าและไม่มีปีก ตัวอ่อนระยะ แรกขนาดเล็ก มีการลอกคราบหลายครั้ง หลังการลอกคราบแต่ละครั้งปลวกมีขนาดใหญ่กว่า ระยะแรก บางชนิดลอกคราบ 4-10 ครั้ง ตัวอ่อนจะกินอาหารและมูลจากนางพญาปลวก (Harris, 1971) ข้อแตกต่างของปลวกกับแมลงสังคมอื่น คือปลวกมีรูปแบบการเจริญเติบโตเป็น แบบง่าย กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากระยะไข่เป็นตัวอ่อน มีการลอกคราบ 2-3 ครั้ง ก่อนเจริญเป็นตัวเต็มวัย ในช่วง 3-4 ปีแรกนางพญาปลวกจะผลิตปลวกงานและปลวกทหารเพื่อ ช่วยงานด้านการขยายขนาดของรัง เมื่อรังปลวกมีอายุ 3-4 ปี นางพญาปลวกจะเริ่มวางไข่เพื่อ

ผลิตปลวกวรรณะสืบพันธุ์ที่มีปีกสมบูรณ์ เพื่อสร้างรังใหม่ นางพญาและราชาปลวกมีอายุยืนยาวตั้งแต่ 10-20 ปี บางชนิดอายุยืนกว่านี้

1.2 ความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ปลวกเป็นแมลงที่ต้องการเซลลูโลสสำหรับการดำรงชีวิต และเนื่องจากเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ จึงทำให้ปลวกมีความสำคัญ โดยเฉพาะปลวกใต้ดิน (subterranean termite) ซึ่งอาศัยอยู่ใต้อาคารก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจปีละไม่น้อยกว่า 100 ล้านบาท ยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและการจัดซื้อสารเคมีในการป้องกันกำจัดปลวก สำหรับในประเทศไทยเสียค่าใช้จ่ายปีละมากกว่า 25 ล้านบาท (ดำรงค์, 2527) ประเภทของปลวกแบ่งตามลักษณะของวัสดุที่เข้าทำลายได้ดังนี้

1.2.1 ปลวกที่ทำลายไม้ยืนต้นที่มีชีวิต ได้แก่ ปลวก *Microtermes* spp. ปลวกชนิดนี้จะทำรังด้วยดินห่อหุ้มกิ่งหรือลำต้น แต่ไม่ทำให้ต้นไม้ตาย แต่กระทบกระเทือนต่อการทรงตัวของต้นไม้ ปลวกบางชนิดทำอันตรายต้นไม้ที่อ่อนแอ เช่น ต้นไม้ตาย หรือกิ่งหักและแห้งตาย โดยเข้าทางบาดแผล หรือกิ่งที่หักตามธรรมชาติ เช่นกรณีปลวกที่ทำอันตรายต้นสักยืนต้น เช่น *Kaloterms militaris* จะทำรังอยู่ในโพรงลำต้น

1.2.2 ปลวกที่ทำลายไม้กลางแจ้ง ได้แก่ ปลวก *Coptotermes*, *Microtermes*, *Neotermes* เป็นต้น ซึ่งจะเข้าทำลายต้นไม้ที่หักโค่นตามธรรมชาติ ไม้ท่อนซุง ไม้แปรรูป ไม้หมอนรองรถไฟ เสารั้ว เสาเข็ม ไม้คอสะพาน โดยเฉพาะเสารั้ว ความเสียหายที่เกิดขึ้นปีละไม่ต่ำกว่า 25 ล้านบาท

1.3 การประเมินความเสียหาย

ดำรงค์ (2527) รายงานการประเมินความเสียหายที่เกิดจากการเข้าทำลายของปลวกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้คือ

1.3.1 กล้าไม้หรือลูกไม้ที่ย้ายปลูกใหม่ๆ โดยเฉพาะในปีที่มีฝนแล้งผิดปกติ ทำให้กล้าไม้ขาดน้ำ อ่อนแอ และถูกปลวกใต้ดินเข้าทำลาย โดยเฉพาะไม้สักในปี 2523 อัตราความเสียหายคิดเป็นมูลค่าเสียหายทางเศรษฐกิจทั่วประเทศไม่น้อยกว่า 3 ล้านบาท

1.3.2 ไม้ยืนต้น ได้แก่ ไม้สัก อายุ 10-15 ปี พบทั่วไปในบริเวณสวนผัก อ. พุแค จ. สระบุรี คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย 100,000 บาทต่อปี

1.3.3 อาคาร และสิ่งปลูกสร้าง ปลวกทำความเสียหายในอาคารบ้านเรือน ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ที่ใช้ก่อสร้าง ในปัจจุบันมีราคาแพงต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีคุณภาพต่ำ ไม้ทนต่อการเข้าทำลายของปลวก เชื้อรา จากการประเมินความเสียหายในแต่ละปี พบว่า ความเสียหายของไม้ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของอาคาร เช่น เสา คาน ตง คร่าว กระดานพื้น ได้รับอันตรายจากปลวกในทุกภาคของประเทศ ประมาณ 20 ล้านบาทต่อปี

นอกจากนี้ยังพบว่าปลวกก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจกับพืชผลที่กำลังเจริญเติบโต เช่น ถั่วลิสง พบปลวก *Odontotermes obesus* ทำลายต้นอ่อนซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจประมาณ 10%, ป่าไม้ เช่น สอนยาง ป่ายูคาลิปตัส โดยพบการระบาดของเมื่อพืชอายุ 3 ปี (Beeson, 1941 อ้างตาม Harris, 1971) ปลวก *O. obesus* เป็นแมลงศัตรูที่ทำลายอ้อยที่ปลูกในดินที่ค่อนข้างแห้งแล้ง อ้อยที่ถูกปลวกทำลายจะแสดงอาการเหี่ยวคล้ายขาดน้ำเนื่องจากปลวกขุดดินเข้าไปแทนที่ ทำให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำท่ออาหาร ทำให้พืชเหี่ยว (เกษม, 2519) อย่างไรก็ตาม ปลวกก็ยังมีประโยชน์ คือ ทำหน้าที่เป็นผู้ย่อยสลายซากพืช ใบไม้ เป็นการช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน และปลวกยังเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และสัตว์อื่น โดยปลวกในวรรณะสืบพันธุ์ที่มีปีกหรือเรียกว่า แมลงเม่า (Harris, 1971)

ปลวก *Odontotermes feae* (Wasman) จัดอยู่ในวงศ์ (family) Termitidae วงศ์ย่อย (subfamily) Macrotermitinae สกุล (genus) *Odontotermes* เป็นปลวกที่สร้างรังอยู่ในดิน ลึกจากผิวดิน 1.5-2.5 ม. รังเป็นรูปประซัง เส้นผ่าศูนย์กลางรัง 75 ซม. การบินของแมลงเม่า (swarming) ที่เมือง Brisso ประเทศอินเดีย พบในเดือนมิถุนายน และกันยายน โดยจะพบแมลงเม่าในช่วงหลังฝนตก 1-2 ซม. (Mathur และ Sen- Serma อ้างตาม Krishna และ Weener, 1970) ปลวกชนิดนี้เข้าทำลายไม้ยืนต้น โดยจะเข้าทำลายบริเวณโคนต้นก่อน จากนั้นจึงสร้างทางเดินดินขึ้นไปบนต้น และกัดกินตามผิวไม้ (Krishna and Weener, 1970)

2. ไส้เดือนฝอย

2.1 ชีววิทยาของไส้เดือนฝอย

ไส้เดือนฝอยที่ทำให้เกิดโรคกับแมลง *Steinernema carpocapsae* (Weiser) วงจรชีวิตประกอบด้วย ตัวอ่อน 4 ระยะ ตัวเต็มวัยเพศผู้และเพศเมีย และมีระยะที่เข้าทำลายแมลงซึ่งเรียกไส้เดือนฝอยระยะนี้ว่าระยะ infective juvenile มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานและสรีรวิทยาให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ ขณะรอการเข้าทำลายแมลงอาศัย ลำตัวของไส้เดือนฝอยระยะเข้าทำลายปกคลุมด้วยผนังบางๆ ของไส้เดือนฝอยระยะที่ 2 (second stage cuticle) ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า "ensheathed nematodes" มีการพัฒนาของ amphids และ papillae ที่บริเวณส่วนหัว เพื่อการค้นหาตำแหน่งและที่อยู่ของแมลงอาศัย ปากและทวารปิด การทำงานของระบบการย่อยอาหารลดลง และมีการสะสมสารอาหารในร่างกายไว้บริเวณ hypodermal glands และ intestinal cell (Poinar and Himsworth, 1967)

Campbell และGaugler (1991, 1992) พบว่าไส้เดือนฝอยที่ไม่มีผนังลำตัวห่อหุ้ม (exsheath nematodes) จะเคลื่อนที่ได้ช้าลง และได้รับอันตรายจากจุลินทรีย์อื่นที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น เชื้อรา *Hersutell rhossiliensis* และ *Drechmeria coniospora* ที่ทำให้เกิดโรคกับไส้เดือนฝอย *Heterorhabditis heriothidis* และ *Steinernema* spp. ในสภาพ ensheath ได้ง่ายกว่าในสภาพที่มี sheath หุ้มลำตัว (Timper and Kaya, 1989)

ไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* (Weiser) ระยะเข้าทำลายแมลงจะเริ่มเจริญเติบโตหลังจากเข้าสู่ระบบเลือดภายในช่องว่างลำตัวแมลง ไส้เดือนฝอยจะปล่อย symbiotic bacteria ที่อาศัยอยู่ในลำไส้และเริ่มเพิ่มปริมาณในช่องว่างลำตัวของแมลง แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของไส้เดือนฝอยนี้มีชื่อว่า *Xenorhabdus nematophilus* จัดเป็นแบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ จึงไม่มีระยะที่ต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ และไม่พบอยู่ตามดินในธรรมชาติเหมือนแบคทีเรียอื่นทั่วไป (Akhurst, 1980, 1983) ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียกับไส้เดือนฝอยเป็นแบบพึ่งพาอาศัยกัน กล่าวคือไส้เดือนฝอยทำหน้าที่ช่วยป้องกันอันตรายและเป็นพาหะพาแบคทีเรียเข้าสู่ตัวแมลง ในขณะที่แบคทีเรียทำหน้าที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่อาศัยอยู่ภายในช่องว่างลำตัวแมลง และเป็นแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอย (Akhurst, 1983; Poinar and Thomas, 1966) การเพิ่มปริมาณของไส้เดือนฝอยในแมลงขึ้นอยู่

กับความสามารถในการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียในเลือดแมลง และระดับความอ่อนแอของแมลง แต่ละชนิดต่อการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย (Akhurst and Boemar, 1990)

Akhurst (1980) รายงานว่าแบคทีเรียที่พบในไส้เดือนฝอยมีความเฉพาะเจาะจงต่อชนิดของไส้เดือนฝอย พบว่าแบคทีเรีย *X. nematophilus* มี 2 ระยะ โดยระยะที่ 1 แยกได้จากไส้เดือนฝอยระยะเข้าทำลายแมลง จัดเป็นระยะที่ไม่คงที่ และสามารถเปลี่ยนเป็นแบคทีเรียระยะที่ 2 เพื่อการอยู่รอดได้ (Akhurst and Boemare, 1990) ส่วนแบคทีเรียระยะที่ 2 แยกได้จากหนอนที่ตายด้วยไส้เดือนฝอยเป็นเวลานานหลายวันแล้ว ข้อแตกต่างของแบคทีเรียทั้งสองระยะคือ การดูดซึมสีน้ำเงินของ bromthymol blue จากอาหารวุ้น โดยพบว่า แบคทีเรียระยะที่ 1 จะดูดซึมสีน้ำเงิน ส่วนระยะที่ 2 ไม่ดูดซึม และลักษณะของโคโลนี เมื่อเลี้ยงเชื้อบนอาหาร NA agar โดยโคโลนีของแบคทีเรียระยะที่ 1 ลักษณะกลมมน ผิวเรียบ สีเหลืองครีม และขนาดของโคโลนี เล็กกว่าแบคทีเรียระยะที่ 2 ซึ่งโคโลนีจะมีขนาดใหญ่ กลมแบน และสีอ่อนกว่า (Akhurst, 1983, 1980; Akhurst and Boemare, 1990) และข้อแตกต่างด้านชีวเคมี เช่นการสร้างสาร antibiotic เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่อาศัยอยู่ในช่องว่างลำตัวแมลง โดยแบคทีเรียระยะที่ 1 มีการสร้างสาร antibiotic ส่วนแบคทีเรียระยะที่ 2 ไม่สร้าง antibiotic (Nealson et al., 1990)

2.2 การทำให้เกิดโรคกับแมลง

การทำให้เกิดโรคกับแมลงของไส้เดือนฝอยโรคแมลงประกอบด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญคือ

2.2.1 พฤติกรรมการค้นหาแมลงอาศัย

ไส้เดือนฝอยที่หากินอิสระสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ โดยการเคลื่อนที่ตอบสนองต่อสารเคมี เพื่อการค้นหาแหล่งอาหาร หรือเพื่อการจับคู่ผสมพันธุ์ เช่น การค้นหาแหล่งอาหารของไส้เดือนฝอย *Ceanorhabditis elegans* และ *Panagellus redivivus* ด้วยกระบวนการรับส่งสัญญาณทางเคมี ระหว่างไส้เดือนฝอยกับแหล่งอาหารในที่นี้คือแบคทีเรีย *Escherichia coli* (Jannson and Nordbring Hertz, 1983, 1984; Jannson et al., 1984; Jeyaprakash et al., 1985)

ไส้เดือนฝอยที่ทำให้เกิดโรคกับพืช *Meloidogyne incognita* เข้าทำลายรากมะเขือเทศ โดยการตอบสนองต่อสารเคมีรวมทั้ง amino acid ที่ไหลมาจากราก oxidizing agents และ

กาซคาร์บอนไดออกไซด์จากพืช (McClure and Zuckerman, 1982; Zuckerman and Esnard, 1994)

สำหรับไส้เดือนฝอยโรคแมลง *S. carpocapsae* สามารถเคลื่อนที่ตอบสนองของแมลงอาศัยโดยการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆ เช่น กาซคาร์บอนไดออกไซด์ (Gaugler and Campbell, 1988; Choo, 1989; Gaugler et al., 1980, 1991), อุณหภูมิในตัวแมลง (Byers and Poinar, 1982; Burman and Pye, 1980), แบคทีเรีย (Pye and Burman, 1981) และมูลของแมลง *G. mellonella* (Schmidt and All, 1978, 1979; Zuckerman and Jansson, 1984) และตอบสนองต่อสารเคมีในเลือดแมลง (Khlibsuan et al., 1992a, b)

2.2.2 การเข้าสู่ตัวแมลง

เมื่อไส้เดือนฝอยค้นพบแมลงอาศัย ไส้เดือนฝอยจะผ่านเข้าสู่ตัวแมลงโดยทางรูเปิดธรรมชาติ ได้แก่ ทางปาก, ทวารหนัก (Poinar and Himsforth, 1967; Kondo and Ishibashi, 1986; Kaya, 1985; Gaugler and Molloy, 1981), รูหายใจ (Triggiani and Poinar, 1976; Kaya and Hara, 1981) แล้วเข้าสู่ทางเดินอาหารบริเวณกระเพาะส่วนกลาง หลังจากนั้นไส้เดือนฝอยจะไชเข้าสู่ช่องว่างในลำตัว Sheath ที่หุ้มลำตัวจะหลุดออก จากนั้นไส้เดือนฝอยจะพัฒนาเป็นไส้เดือนฝอยระยะที่ 4 แทรกตัวระหว่างชั้น epithelial cell ของกระเพาะอาหาร เคลื่อนเข้าสู่ผนังลำไส้ และระบบหมุนเวียนโลหิต ขณะเดียวกันไส้เดือนฝอยจะขยายขนาดลำตัวใหญ่ขึ้น esophageal bulb เริ่มทำงาน เซลล์แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ใน lumen ของทางเดินอาหารส่วนหลังจะผ่านออกทางทวารหนัก และเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วภายในช่องว่างลำตัวแมลง เป็นสาเหตุทำให้โลหิตเป็นพิษ หลังจากแมลงอาศัยตาย ไส้เดือนฝอยจะแทรกตัวอยู่ตามชั้นไขมัน กล้ามเนื้อ เจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิตภายในแมลงโดยกินของเหลวในตัวแมลง รวมทั้งเซลล์แบคทีเรียซึ่งจัดเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ดีในการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอย (Poinar, 1990) ตำแหน่งในตัวแมลงที่พบไส้เดือนฝอย คือ ส่วนอก, ส่วนหัวและ lumen คิดเป็นร้อยละ 85, 13 และ 2 ตามลำดับ (Nguyen and Smart, 1991) เมื่อไส้เดือนฝอยเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย เพศผู้และเพศเมียจะผสมพันธุ์กัน เพศเมียจะผลิตไข่ ซึ่งไข่จะฟักเป็นตัวอ่อนภายใน 2 วัน ตัวอ่อนมีการลอกคราบ 3 ครั้งก่อนเป็นตัวเต็มวัยภายในซากแมลง เมื่ออาหารและสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม การเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยจะหยุดชะงักอยู่ที่ตัวอ่อนระยะที่ 3 และพัฒนาเป็นไส้เดือนฝอยระยะเข้าทำลายแมลง (infective juvenile) ก่อนออกจากซากแมลงเพื่อค้นหาแมลงอาศัยใหม่ต่อไป

2.3 ความเฉพาะเจาะจงของไส้เดือนฝอย

Gaugler (1988) พบว่าไส้เดือนฝอยมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ควบคุมแมลงศัตรูที่อาศัยในดินและหลบซ่อนในที่มืดชิดตามแหล่งต่างๆ ในแหล่งน้ำไส้เดือนฝอยจะขาดออกซิเจนและไม่สามารถค้นหาแมลงอาศัยได้ (Begley, 1990) หรือค้นหาแมลงเจอแต่ไม่สามารถทำให้เกิดโรคกับแมลงได้ เนื่องจากถูกทำลายโดยกระบวนการ encapsulation ทันทีที่ไส้เดือนฝอย *Neoplectana carpocapsae* ผ่านเข้าสู่ทางเดินอาหารของลูกน้ำยุงลาย *Aedes aegypt* (L.) แสดงให้เห็นว่าไส้เดือนฝอยไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ป้องกันกำจัดแมลงในน้ำ (Welch and Bronskill, 1962) หากกระบวนการ encapsulation เกิดหลังจากไส้เดือนฝอยปล่อยแบคทีเรียออกมาสู่ระบบหมุนเวียนโลหิต และเพิ่มปริมาณมาก สามารถทำให้แมลงตายได้ แต่ไม่สามารถสืบพันธุ์สร้างลูกหลานภายในลูกน้ำยุงได้ (Welch and Bronskill, 1962) พฤติกรรมการหลบหลีกการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยมีความแตกต่างกันในแต่ละระยะการเจริญ พบได้ในหนอน Noctuid (Kaya, 1985) และหนอน root worm ที่ทำลายรากพืชจะหลบเข้าไปในรากและลำต้นก่อนที่ไส้เดือนฝอยจะค้นพบแมลงอาศัย (Royer et al., 1996)

Kondo และ Ishibashi (1987) พบว่าขนาดและอายุของแมลงอาศัยมีผลต่อการเข้าสู่ตัวแมลงของไส้เดือนฝอย หนอนขนาดเล็กจะมีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนไส้เดือนฝอยที่เข้าสู่ตัวแมลงได้น้อยกว่าหนอนที่มีขนาดใหญ่ และระยะเวลาในการเก็บรักษาไส้เดือนฝอยมีผลต่อการเข้าสู่ตัวแมลงของไส้เดือนฝอย โดยการเก็บไส้เดือนฝอยไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เป็นเวลานาน 1-2 เดือน มีผลต่อพฤติกรรม nictated ในทางบวก (Ishibashi et al., 1994)

Bedding และ Molyneux (1982) พบว่าโครงสร้างของแมลงบางชนิดไม่เหมาะสมกับการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย เช่น ดักแด้ของด้วง *Phyllophaga hirticula* มีรูหายใจขนาดเล็กและมีแผ่นเนื้อเยื่อปิด (Forschler and Gardner, 1991) ปากที่มีขนาดเล็กของลูกน้ำยุงเป็นอุปสรรคในการเข้าสู่ตัวแมลงของไส้เดือนฝอย (Gaugler and Molloy, 1981)

Kung และคณะ (1990a) พบว่าประสิทธิภาพการทำให้เกิดโรคของไส้เดือนฝอยจะลดลง เมื่อสภาพความเป็นกรดต่างของดินลดลงต่ำกว่า pH 4 ไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* ไม่สามารถทำให้เกิดโรคกับหนอน *G. mellonella* ได้เมื่อ pH เท่ากับ 10 และไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* ทนสภาพที่มีกาซออกซิเจนต่ำได้ดีกว่า *S. glaseri* แต่ไม่สามารถเข้าทำลายแมลงได้

Barbercheck และ Kaya (1991) พบว่าสภาพของแมลงทดสอบมีผลต่อการค้นหาแมลงอาศัยและการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอย โดยแมลงอาศัยที่ตายตามธรรมชาติ หรือตายเนื่องจากถูกเชื้อโรคเข้าทำลาย ดึงดูดให้ไส้เดือนฝอยเคลื่อนที่เข้าหาน้อยกว่าแมลงที่มีชีวิต

Molyneux และ Bedding (1984) รายงานไว้ในสภาพห้องปฏิบัติการไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* และ *S. glaseri* สามารถเข้าทำลายแมลงที่อาศัยในดินทรายได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าในดินร่วนเหนียว แต่ในสภาพธรรมชาติพบว่าในดินร่วนเหนียวไส้เดือนฝอยสามารถเข้าทำลายแมลงได้ดีกว่าในดินทราย เนื่องจากดินทรายมีการอุ้มน้ำได้น้อยกว่าในดินร่วนเหนียว และไม่มีหยดน้ำเกาะตามผิวดินทราย ซึ่งมีผลต่อการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอย

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลยับยั้งการเข้าทำลายแมลง เมื่ออุณหภูมิต่ำมีผลยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียและไส้เดือนฝอย (Kaya, 1990; Griffin and Downer, 1991; Kung et al., 1991) จากรายงานของ Georgis และ Hague (1988) พบว่าในธรรมชาติที่มีอุณหภูมิ 12-14 °C การใช้ไส้เดือนฝอยควบคุมแมลงไม่ประสบผลสำเร็จ และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเข้าทำลายแมลงอยู่ระหว่าง 16-28 °C

การศึกษาผลกระทบของเชื้อจุลินทรีย์หรือแตนเบียนร่วมกับไส้เดือนฝอยในการควบคุมแมลงพบว่า ไส้เดือนฝอย *N. carpocapsae* มีความสัมพันธ์กับแตนเบียน *Apanteles militaris* กล่าวคือหากไส้เดือนฝอยเข้าทำลายหนอนเจาะสมอฝ้าย *Heliothis armigera* หลังการเบียนหนอนสมอฝ้าย พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการพัฒนาการของแตนเบียน แต่ถ้าหากไส้เดือนฝอยเข้าทำลายแมลงก่อนที่แตนเบียนจะเบียนหนอน พบว่ามีผลกระทบต่อการพัฒนาเจริญเติบโตของแตนเบียน ซึ่งจะมีชีวิตรอดเพียง 2-3 วัน และตายไปในที่สุด (Kaya, 1978)

Barbercheck และ Kaya (1990) ศึกษาความสัมพันธ์ของไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* และ *H. heliothidis* กับเชื้อรา *Beauveria bassiana* พบว่าที่อุณหภูมิ 22 °C และ 30 °C แบคทีเรีย *Xenorhabdus* ที่ไส้เดือนฝอยปล่อยออกมา หลังการพ่นไส้เดือนฝอย 12 ชม. มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *B. bassiana* และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อรา หลังจากเชื้อราเข้าทำลายแมลงนาน 12 ชม. เชื้อราจะสร้างเส้นใยและผลิตสารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยทั้งสองชนิด (Barbercheck and Kaya, 1990)

Morris (1985) พบว่าไส้เดือนฝอย *S. feltiae* Filipjev และ *H. bacteriophora* Poinar ทำให้แมลงทดสอบตาย 31 ชนิด โดยเป็นแมลงในอันดับ Lepidoptera 7 วงศ์, อันดับ Diptera 3 วงศ์ และ Coleoptera 3 วงศ์ พบ 27 ชนิดที่อ่อนแอต่อไส้เดือนฝอย *S. feltiae* และ 21 ชนิดที่อ่อนแอต่อ *H. bacteriophora* โดยหนอนในอันดับ Lepidoptera เป็นแมลงอาศัยที่อ่อนแอที่สุด และไส้เดือนฝอยยังสามารถขยายพันธุ์ในหนอนผีเสื้อได้

Kaya และ Burlando (1989) พบว่าในแมลงอาศัยที่ตายเนื่องจากไวรัส Nuclear polyhedrosis virus นั้นไส้เดือนฝอย *S. feltiae* สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้ และไส้เดือนฝอยระยะเข้าทำลายแมลงที่ได้จากการเพิ่มปริมาณในหนอนที่ตายจากเชื้อไวรัสมีประสิทธิภาพทำให้หนอนกระทู้ผัก *S. exigua* ตาย 44-58% แต่หนอนที่ตายด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* ไส้เดือนฝอยไม่สามารถเพิ่มปริมาณได้

Nuutinen และคณะ (1990) พบว่าไส้เดือนฝอยสามารถเคลื่อนที่ตอบสนองต่อดักแด้และเข้าทำลายดักแด้ที่ยังไม่ฟักได้ ในขณะที่เชื้อราไม่สามารถตอบสนองต่อดักแด้ได้

2.4 การใช้ไส้เดือนฝอยป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช

ในต่างประเทศการใช้ไส้เดือนฝอยในการควบคุมแมลงศัตรูพืช มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางและผลิตเป็นการค้าในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย อังกฤษ ฝรั่งเศส อิตาลี สาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น สำหรับงานวิจัยในประเทศที่ผ่านมาเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไส้เดือนฝอยมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชในสภาพธรรมชาติ พบว่ามีประสิทธิภาพในการเข้าทำลายแมลงศัตรูที่สำคัญได้หลายชนิด เช่น ตัวงวงม้นเทศ หนอนกระทู้หอม หนอนกินใต้ผิวเปลือกลองกอง เป็นต้น (วัชร และคณะ, 2534,)

จากรายงานของ วัชร และคณะ (2529) พบว่าการใช้ไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* ป้องกันกำจัดหนอนกินใต้ผิวลองกองกลางสาด *Cossu* sp. ที่จับพบในสภาพสวนที่มีความชื้น 60-80 % โดยใช้ในอัตรา 2 ล้านตัวต่อน้ำ 1 ลิตร พ่น 3-5 ลิตรต่อต้น สามารถควบคุมหนอนได้ 80 %

เนื่องจากไส้เดือนฝอยแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงแตกต่างกัน จึงควรทดสอบประสิทธิภาพและคัดเลือกสายพันธุ์ (strain) ของไส้เดือนฝอย เพื่อความเหมาะสมในการป้องกันกำจัดแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของไส้เดือนฝอยและสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อนิสัยของไส้เดือนฝอย เมื่อนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และชนิดของแมลงอาศัย เป็นต้น

Georgis และ Gaugler (1991) พบว่าความชื้นมีผลต่อการเคลื่อนที่ การอยู่รอด และการเข้าทำลายแมลงของไส้เดือนฝอย การเพิ่มความถี่ของการให้น้ำจาก 7-10 วันต่อครั้ง เป็น 1-4 วันต่อครั้ง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของไส้เดือนฝอย *H. bacteriophora* ในการควบคุมหนอน

Downing (1994) พบว่าการให้น้ำก่อนและหลังการพ่นไส้เดือนฝอย หรือการให้น้ำทุกวันสามารถควบคุมแมลงได้มากกว่า 80 % ในสภาพที่แห้งไส้เดือนฝอย *N. carpocapsae* จะตายอย่างรวดเร็ว ภายใน 16 ชม ที่อุณหภูมิ 37 °C.

Kaya (1977) พบว่าไส้เดือนฝอยไม่สามารถเจริญเติบโต หากอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C หรือสูงกว่า 33 °C และหากไส้เดือนฝอยถูกแสงแดดเป็นเวลา 1 ชม. การทำให้เกิดโรคกับแมลงของไส้เดือนฝอยจะลดลง (Petersen, 1982)

Yeh และ Alm (1992) พบว่า การใช้ไส้เดือนฝอยควบคุมแมลงให้ประสบผลสำเร็จขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และอัตราความหนาแน่นไส้เดือนฝอยที่ใช้ การใช้ไส้เดือนฝอย *S. glaseri* ควบคุมด้วง *Popillia japonica* มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ *S. carpocapsae*, *S. feltiae* และ *H. bacteriophora*

Epsky และ Capinera (1994) ศึกษาประสิทธิภาพการเข้าทำลายแมลงของไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* 2 สายพันธุ์คือ All และ Mexican strain พบว่า การทำให้เกิดโรคกับหนอน *G. mellonella* และ *S. frugiperda* ของไส้เดือนฝอยขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของไส้เดือนฝอย แต่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนไส้เดือนฝอยที่เข้าสู่ตัวแมลง Kaya และคณะ (1993) พบว่าพฤติกรรมของไส้เดือนฝอยมีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันกำจัดแมลง โดยไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* ส่วนใหญ่จะอยู่นิ่ง ๆ ใกล้ผิวดินเพื่อรอแมลงอาศัยผ่านมา ขณะที่ไส้เดือนฝอย *H. bacteriophora* จะเคลื่อนที่ออกค้นหาแมลงอาศัย

Klein (1990) พบว่าการใช้ไส้เดือนฝอย *H. bacteriophora* สามารถควบคุมหนอนด้วงที่เป็นศัตรูสวนหม่อน *Popillia japonica* ได้ดีกว่าการใช้ไส้เดือนฝอย *S. carpocapsae* และสามารถควบคุมได้นาน 1 ปี การใช้ไส้เดือนฝอย *H. bacteriophora* ในอัตรา 2.5×10^5 ตัวต่อเฮกตาร์ ให้ผลในการป้องกันกำจัดแมลงดีที่สุด ในช่วงปลายฤดูร้อนหรือต้นฤดูใบไม้ร่วง ที่อุณหภูมิ 20 °C สภาพดินร่วนที่มีชั้นของอินทรีย์วัตถุหนาไม่เกิน 10 ม.ม. และมีการให้น้ำ 1-4 วันต่อครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี (Georgis and Gaugler, 1991)

Poinar (1990) พบว่าสามารถใช้ไส้เดือนฝอยร่วมกับแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* มีสารเคมีบางชนิดที่มีผลกระทบกับไส้เดือนฝอย (Hara and Haya, 1983) แต่สามารถใช้ด้วยกันได้ โดยการพ่นสารเคมีก่อนแล้วจึงพ่นไส้เดือนฝอยตามในภายหลัง จากรายงานของ Georgis และคณะ (1991) เพื่อศึกษาความคงทนของไส้เดือนฝอยในสภาพแวดล้อม โดยการเก็บตัวอย่างดินหลังการพ่นไส้เดือนฝอยเป็นระยะ ๆ และนำมาทดสอบกับหนอน พบว่าไส้เดือนฝอยสามารถทำให้หนอนด้วงศัตรูสวนหม่อนตาย 84-98% และหลังจากนั้น 4 สัปดาห์ หนอน

จะตายเพียง 17-21 % และไส้เดือนฝอยสามารถเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิตได้ หากในดินมีปริมาณหนอนพอเพียงที่จะเป็นแหล่งอาหาร (Kaya, 1990; Klein, 1990)

การป้องกันกำจัดปลวกโดยการพ่นสารเคมีที่นิยมเป็นสารในกลุ่ม BHC 1-2 กิโลกรัม/เฮกตาร์ และสารในกลุ่มออกาทรีโนคลอร์ลีน เช่น ออลดริน, ดีลดริน และเฮปตาร์คลอ เป็นต้น ซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวมีฤทธิ์ตกค้างนาน แต่ยังคงมีการใช้สารกันอย่างมาก และปัจจุบันมีปัญหาเรื่องสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเป็นพิษต่อผู้ใช้ เนื่องจากสารในกลุ่มดังกล่าว มีพิษตกค้างในดินนาน ดังนั้นจึงควรหาวิธีการป้องกันกำจัดปลวกโดยไม่ใช้สารเคมี เพื่อลดปัญหาดังกล่าว วิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การป้องกันกำจัดปลวกโดยชีววิธี เช่นการใช้แมลงศัตรูธรรมชาติ ได้แก่ มด แมงมุม ต่อแตน แมงป่อง และเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ไวรัส (Nuclear polyhedrosis virus), แบคทีเรีย (*Bacillus truringiensis*), เชื้อรา (*Metarhizium anisozopilae*) และไส้เดือนฝอยโรคแมลง เป็นต้น (Krishna and Weener, 1970)

2.5 การใช้ไส้เดือนฝอยป้องกันกำจัดปลวก

Kaya (1985) รายงานว่าไส้เดือนฝอย *Steinernema* (= *Neoaplectana*) และ *Heterorhabditis* สามารถป้องกันกำจัดแมลงเจาะทำลายไม้ *Prionoxystus robiniae* (Peck) ซึ่งทำลายต้นโอ๊กได้ผล และจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงการนำไส้เดือนฝอย *Steinernema feltiae* Filipjev (= *Neoaplectana ormosanus* Weiser) มาใช้ป้องกันกำจัดปลวกใต้ดิน เช่น *Coptotermes formosanus* Shiraki, *Nasutitermes costalis* Holmgren และ *Reticulitermes* sp. (Reese, 1971; Filipjev, 1975 อ้างตาม Epsky และ Capinera, 1988) โดยการพ่นไส้เดือนฝอยลงบนบริเวณที่มีร่องรอยของการทำลายของปลวก อุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดพ่นเป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ฉีดพ่นสารเคมี

Mauldin และ Beal (1989) ทำการศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของไส้เดือนฝอย 2 strain คือ *S. feltiae* และ *S. bibionis* ในการทำให้เกิดโรคกับปลวกใต้ดิน *Reticulitermes flavipes* ในห้องปฏิบัติการ และการทำให้เกิดโรคกับปลวกใต้ดิน *Reticulitermes* spp. ก่อนนำกลับไปปล่อยในรัง พบว่าไม่ค่อยประสบผลสำเร็จ เนื่องจากปลวกมีการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วและมีการสร้างหลอดดินหน่อหุ้มทางเดิน ซึ่งเป็นอุปสรรคในการค้นหาแมลงอาศัยของไส้เดือนฝอย โอกาสที่ไส้เดือนฝอยจะค้นหาปลวกพบและทำให้เกิดโรคน้อย ส่งผลให้ปลวกมีการรอดชีวิตสูงหลังพ่นไส้เดือนฝอย 9 สัปดาห์

Epsky และ Capinera (1988) ศึกษาการป้องกันกำจัดปลวกได้ *Reticulitermes tibialis* ด้วยไส้เดือนฝอย *S. feltiae* Filipjev (= *Neoplectana formosanus* Weiser) โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและในแปลงทดสอบ พบว่าในสภาพห้องปฏิบัติการปลวกจะอ่อนแอต่อไส้เดือนฝอย แต่ต้องใช้ไส้เดือนฝอยในปริมาณที่มาก และต้องใช้ไส้เดือนฝอยมากถึง 15,000 ตัวต่อปลวกในการทำให้ปลวกทดสอบตายร้อยละ 50 ของปลวกทดสอบ และการพ่นไส้เดือนฝอยในสภาพไร่อัตราความหนาแน่นของไส้เดือนฝอยเท่ากับ 10,000,000 ตัวต่อตารางเมตร ให้ผลในการป้องกันกำจัดนาน 2-3 สัปดาห์

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีรายงานการใช้ไส้เดือนฝอยควบคุมปลวก

3. การเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอย

โดยธรรมชาติไส้เดือนฝอย *Steinernema* เจริญเติบโตภายในแมลงอาศัยเท่านั้น Dutky และคณะ (1964) พบว่าการผลิตไส้เดือนฝอยให้ได้ปริมาณมากในหนอน *G. mellonella* สามารถผลิตไส้เดือนฝอยวัย 3 ระยะเข้าทำลายแมลง ประมาณ 200,000 ตัว ต่อหนอน 1 ตัว แต่วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมในการผลิตเชิงธุรกิจ เนื่องจากต้นทุนในการผลิตสูง ต่อมามีการพัฒนาการผลิตในรูปแบบผลิตในอาหารเทียม ปัจจุบันสามารถเลี้ยงเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอยได้ในอาหารเทียม และมีการพัฒนาระบบการเลี้ยงแบบใหม่ โดยการเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอยในอาหารเทียมในรูปของอาหารเทียมบนฟองน้ำ (Bedding, 1981) หรือการเพิ่มปริมาณในอาหารเหลว สามารถเลี้ยงขยายได้ไส้เดือนฝอยวัย 3 ประมาณ 1×10^5 ตัวต่ออาหารที่ใช้เลี้ยง 3 กก. (Friedman, 1990) ซึ่งเป็นวิธีที่คุ้มทุน จากรายงานของ Georgis และ Hague (1988) พบว่าการเลี้ยงเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอย 2 ชนิด *S. carpocapsae* และ *S. feltiae* ในถังหมักขนาด 15,000-80,000 ลิตร ให้ผลผลิต 100,000 ตัวต่ออาหาร 1 มล. และเนื่องจากไส้เดือนฝอยมีความแตกต่างกันทางสรีรวิทยา (Akhurst and Boemar, 1990; Poinar, 1990) สารอาหารที่ใช้เลี้ยงย่อมมีความแตกต่างกัน แต่โดยหลักทั่วไปประกอบด้วย แหล่งของโปรตีนและไขมัน

จากการพัฒนารูปแบบการเพิ่มปริมาณไส้เดือนฝอยดังกล่าว Friedman (1990) พบว่าการเติม symbiotic bacteria ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ไส้เดือนฝอยระยะเข้าทำลายแมลงสามารถเพิ่มผลผลิตไส้เดือนฝอยวัย 3 สูงขึ้นได้ Buecher และคณะ (1989) พบว่าการเติม yeast, peptone, trypticsoy และ cholesterol ลงในสูตรอาหารเทียมที่ใช้เลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย แบคทีเรียมีการเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วและมีปริมาณพอเพียงสำหรับการพัฒนาเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยในช่วงแรก นอกจากนี้ยังพบว่า การเลี้ยงไส้เดือนฝอยในอาหารเหลวประสบกับ

ปัญหาเรื่องอากาศภายในภาชนะที่ใช้เลี้ยง ซึ่งมีขนาดใหญ่และเกิดการทับถมของอาหารทำให้ไส้เดือนฝอยแย่งอากาศกันมีผลทำให้ได้ผลผลิตลดลง และการบีบอากาศหรือการเขย่าภาชนะที่ใช้เลี้ยง และการเติมอาหารใหม่บ่อยๆ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและขึ้นอยู่กับความเสถียรภาพของแบคทีเรียระยะที่ 1 (primary form bacteria) ความสัมพันธ์ของแบคทีเรียกับไส้เดือนฝอย (Friedman et al., 1990) สูตรผสมอาหาร และอุณหภูมิ (Han et al., 1991)