บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ว่านหางจระเข้ *Aloe babradensis*, Miller.

2.1.1. ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของว่านหางจระเข้

การจัดจำแนก (Classification)

Kingdom Plantae
Phylum Magnoliophyta
Class Liliopsida
Order Asparagales
Family Asphodelaceae

วิทยาศาสตร์ : *Aloe babradensis,* Miller., *Aloe vera* (L.)

ชื่อท้องถิ่น : ว่านไฟไหม้ (ภาคเหนือ), ว่านหางจระเข้, หางตะเข้ (ภาคกลาง), ว่านหางเข้ (ใต้)

ถิ่นกำเนิด : แอฟริกา

คำว่า “อะโล” (Aloe) เป็นภาษากรีกโบราณ หมายถึง ว่านหางจระเข้ ซึ่งแผลงมาจากคำว่า “Allal” มีความหมายว่า ฝาดหรือขม ในภาษายิว ฉะนั้นเมื่อผู้คนได้ยินชื่อนี้ ก็จะทำให้นึกถึงว่านหางจระเข้ ว่านหางจระเข้เดิมเป็นพืชที่ขึ้นในเขตร้อนต่อมาได้ถูกนำไปแพร่พันธุ์ในยุโรป และเอเชีย

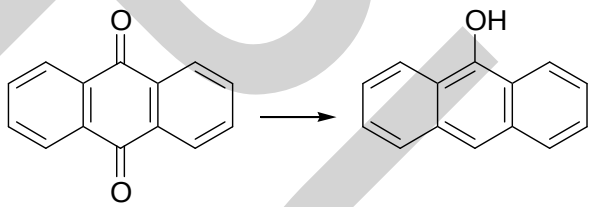
ว่านหางจระเข้ที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้มีกว่า 300 ชนิด แต่ในจำนวนนี้มีอยู่ไม่กี่ชนิดที่ใช้รักษาโรคให้ผลชะงัด ซึ่งได้แก่ ว่านหางจระเข้เขียว แหล่งดั้งเดิมมาจากแอฟริกา ว่านหางจระเข้แหลมกู๊ดโฮป และว่านหางจระเข้ไบรา (BEIRA) เป็นต้น

ว่านหางจระเข้เป็นต้นพืชที่มีเนื้ออิ่มอวบ แหล่งกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในชานฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกา พันธุ์ของว่านหางจระเข้มีมากมายกว่า 300 ชนิด ซึ่งมีทั้งพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่มากจนไปถึงพันธุ์ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 เซนติเมตร (พเยาว์, 2529)

2.1.2. สารเคมีในว่านหางจระเข้

สารเคมีที่พบในการตรวจวิเคราะห์จากว่าหางจระเข้นั้นประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว สารกลุ่มสเตอรอยด์ กลุ่ม triterpenoids และกลุ่ม alkaloid (G.R.Waller *et.al*, 1978)

2.1.2.1 แอนทราควิโนน (Anthraquinones) ที่พบในว่านหางจระเข้มีลักษณะเป็นยางสีเหลืองพบได้ในส่วนของเปลือกว่านหางจระเข้ในรูปของ แอนทราควิโนน ไกลโคไซด์ (Anthraquinone glycoside) ฤทธิ์ที่สำคัญของแอนทราควิโนน ไกลโคไซด์ (Anthraquinone glycoside) คือใช้เป็นยาระบายโดยมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ คือ อโลอิน (Aloin A และ B)ที่พบในยาดำซึ่งเป็นน้ำยางบริเวณใต้ผิวของใบว่านหางจระเข้ (นุชนาฏ, 2549) และอโล-อีโมดิน (Aloe-emodin) โดยแอนทราควิโนน (Anthraquinone) เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย จะถูกแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่รีดิวซ์ให้เป็นแอนทรานอล (Anthranol) ซึ่งระคายเคืองต่อลำไส้มีฤทธิ์เป็นยาระบาย (ภาพที่ 1) และเป็นอันตรายกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเมื่อใช้ในปริมาณมากเท่านั้น โดยมีค่าความเป็นพิษเฉียบพลันทางปาก (Acute oral toxicity) LD_{50} มากกว่า 5000 มก./กก. (Anthraquinone Fact Sheet,1998)



anthraquinone anthranol

ภาพที่ 1 แอนทราควิโนน (Anthraquinone) ถูกรีดิวซ์ได้แอนทรานอล (Anthranol) โดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่

ที่มา: อดุลย์ (2537)

2.1.2.2 ชีวสังเคราะห์ของสารประกอบแอนทราควิโนน (Anthraquinone)

1.) Acetate-malonate route โดยมีสารตั้งต้นเป็น Acetate และ Malonate ผ่าน Aromatic polyketides ตัวอย่าง Anthraquinone ที่ได้จากขบวนการชีวสังเคราะห์แบบนี้ได้แก่ Emodin, Chrysophanol

2.) Shikimate and malonate route สารประกอบ Anthraquinone ที่ได้จาก Pathway นี้จะมีหมู่แทนที่เฉพาะที่ ring C เท่านั้น Anthraquinone กลุ่มนี้มักพบในพืชวงศ์ Rubiaceae, Bignonaceae และ Verbenaceae ตัวอย่าง Anthraquinone ที่ได้จากขบวนการชีวสังเคราะห์แบบนี้ได้แก่ Alizarin

2.1.2.3 ไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) วุ้นใสๆในใบว่านหางจระเข้นั้น มีสารสำคัญจำพวกไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) ชื่ออะลอคตินเอ (Aloctin A) และอะลอคตินบี (Aloctin B) มีสรรพคุณในการลดอาการอักเสบ ช่วยรักษาแผลที่เกิดจากไฟไหม้ และบรรเทาอาการแสบร้อน ช่วยลดอาการข้างเคียงสำหรับคนที่ทำรังสีบำบัด และรักษาแผลกระเพาะอาหารได้อีกด้วย

2.1.2.4 ซาโปนิน (Saponins) ที่พบในว่านหางจระเข้อยู่ในรูปไกลโคไซด์ (Glycoside) ที่มีส่วน Aglycone (Sapogenin) เป็นสารจำพวก Steroids หรือ Triterpenoids ซึ่งจะจับกับน้ำตาล หรืออนุพันธ์ของน้ำตาลที่ตำแหน่ง C3 ได้เป็น O-glycoside น้ำตาลที่พบมักจะเป็น Oligosaccharide 1 - 5 หน่วย ซาโปนิน (Saponin) มีคุณสมบัติเป็น detergent เมื่ออยู่ในน้ำซาโปนิน (Saponin) จะเกิดเป็น Colloidal solution ซึ่งเมื่อเขย่าจะเกิดฟอง เนื่องจากส่วน Aglycone เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีจำนวน carbon 27 – 30 อะตอม ทำให้ส่วน Aglycone มีคุณสมบัติ Lipophillic และมีส่วนของน้ำตาลซึ่งละลายน้ำได้ จึงมีคุณสมบัติ Hydrophillic จากการที่ Saponin มีคุณสมบัติ Lipophillic / Hydrophillic อยู่ในโมเลกุล จึงมีความสามารถในการลดแรงตึงผิว และใช้ในการชะล้างได้ และมีฤทธิ์ทำลายเม็ดเลือดแดงโดยทำให้เกิดการแตกทำลายของเม็ดเลือดแดง (Hemolysis) (อดุลย์, 2537)

2.2 หนอนใยผัก *Plutella xylostella* L.

2.2.1. วงจรชีวิต

การจัดจำแนก (Classification)

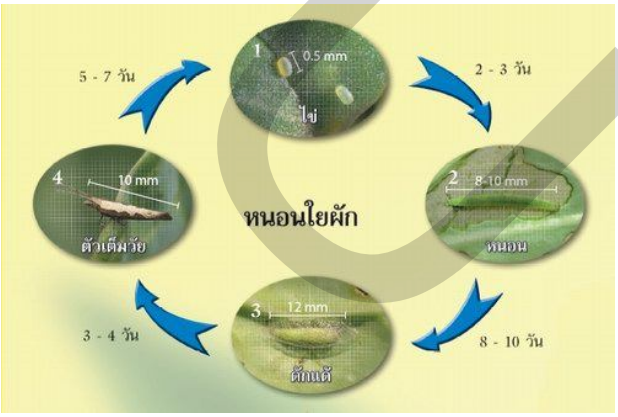
Kingdom Animalia
Phylum Arthropoda
Class Insecta
Order Lepidoptera
Family Plutellidae

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Plutella xylostella* L.
ชื่อสามัญ : Diamondback Moth
พืชอาหาร : พืชผักตระกูลกะหล่ำ เช่น คะน้า

วงชีวิตของหนอนใยผักมีการเจริญเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสมบูรณ์ (Complete metamorphosis) ประกอบด้วยระยะ ไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ตัวเต็มวัยของหนอนใยผักเป็นผีเสื้อกลางคืน ผีเสื้อหนอนใยผักมีขนาดเล็ก มีความยาวลำตัวประมาณ 6 - 7 มิลลิเมตร ปีกสีเทา ส่วนหลังมีแถบสีเหลืองส้มเมื่อเกาะนิ่งปีกแนบลำตัว มีหยักหลายหยักบนปีกคู่หน้าหนวดเป็นแบบเส้นด้านแต่ละปล้องหนวดมีสีดำสลับขาว ผีเสื้อเพศเมียวางไข่เพียงฟองเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มๆ ละ 2 - 3 ฟอง (มยุรา, 2536) และผีเสื้อตัวหนึ่งสามารถวางไข่ตลอดชั่วอายุได้จำนวนมากถึง 100 - 150 ฟอง ไข่มีขนาดเล็กลักษณะค่อนข้างแบน และยาวรีมีสีเหลืองอ่อนเป็นมัน เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอนจะเข้าทำลายกัดกินใบผักจนเป็นรูพรุน ตัวหนอนยาวประมาณ 8 - 9 มิลลิเมตร หัวแหลม ท้ายแหลม ลำตัวเรียวยาว ส่วนท้ายมีปุ่มยื่นออกไปเป็น 2 แฉก ตัวหนอนมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวปนเหลืองหรือเทาอ่อน เมื่อหนอนถูกรบกวนจะดิ้น และทิ้งตัวลงข้างล่างโดยอาศัยเส้นใยที่สร้างขึ้น หนอนใยผักเข้าดักแด้บริเวณใบผักโดยสร้างเส้นใยปกคลุมตัวดักแด้มีขนาดยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2-4) ในประเทศไทยมีรายงานว่าวงชีวิตของหนอนใยผักประมาณ 18 - 23 วัน ประกอบด้วย ระยะไข่ ตัวอ่อน ดักแด้ และตัวเต็มวัย 2 - 3, 8 - 10, 3 - 4, 5 - 7 วันตามลำดับ (วินัย, 2535) วงชีวิตของหนอนใยผักจะผันแปรไปตามสภาพแวดล้อม เช่น อาหาร อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ประเทศอินเดียมีรายงานหนอนใยผักมีวงชีวิต 36 วัน โดยมีระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ดังนี้ คือ 4, 16, 6, 10 วัน ตามลำดับ (Satpathi, 1993) ในประเทศไต้หวันหนอนใยผักมีวงชีวิต 23 วัน โดยมีระยะไข่ 1 วัน หนอน 6 - 7 วัน ดักแด้ 3 - 5 วัน และตัวเต็มวัย 7 - 10 วัน (ปิยรัตน์ และคณะ, 2530) ในประเทศไทยในเขตเกษตรกรรมที่สูงเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ หนอนใยผักมีวงชีวิตประมาณ 17 - 18 วัน ในเดือนเมษายน-พฤษภาคม และ 29 วัน ในเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม (ปิยรัตน์ และคณะ, 2531)

หนอนใยผักสามารถผสมพันธุ์หลังออกจากดักแด้ภายใน 1 วัน (พิสิษฐ์, 2516) อัตราส่วนของเพศผู้ และเพศเมียในสภาพธรรมชาติเป็น 1 : 1 ในการวางไข่พบว่าผีเสื้อตัวเมียวางไข่บริเวณยอดของพืชอาหารซึ่งอาจพบบนใบหรือใต้ใบ โดยวางเป็นฟองเดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่มๆ 2 - 3 ฟอง ตัวหนอนที่เกิดขึ้นจะกินพืชอาหารจนกระทั่งเติบโตเป็นตัวเต็มวัย การเคลื่อนที่ของหนอนจากต้นหนึ่งไปอีกต้นหนึ่งนั้นเกิดขึ้นได้ยาก โดยเฉพาะตัวหนอนระยะที่ 1 - 3 ส่วนระยะที่ 4 อาจเกิดขึ้นได้เพื่อหาบริเวณเข้าดักแด้ (Harcout, 1968) หนอนใยผักมีขนาดเล็กใช้อาหารในการ เจริญเติบโตน้อยจึงสามารถอยู่ร่วมกันอย่างหนาแน่น ในกระหล่ำปลี 1 หัว อาจพบหนอนใยผักถึง 270 ตัว หรือในผักกาดเขียวปลีอาจพบหนอนใยผัก 30 ตัวต่อต้น (กอบเกียรติ์ และคณะ, 2517)

หนอนใยผักเป็นแมลงที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี (Stepanova, 1962) สามารถเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 10 - 30 องศาเซลเซียส (Arkhipov, 1980) การระบาดของหนอนใยผักเริ่มระบาดในฤดูหนาวและระบาดอย่างรุนแรงในฤดูร้อนโดยเฉพาะเดือนเมษายน การระบาดจะลดน้อยลงในฤดูฝนเพราะฝนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หนอนใยผักตาย (ปิยรัตน์ และคณะ, 2531) ในประเทศแคนาดามีรายงานการระบาดของหนอนใยผักน้อยมากในฤดูฝน เนื่องจากฝนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตายของหนอนใยผักระยะที่ 1 สูงสุด 46.5% (Harcout, 1968)



ภาพที่ 2 วงจรชีวิตหนอนใยผัก *Plutella xylostella* L.
ที่มา: ปิยรัตน์ (2531)

ภาพที่ 3 ลักษณะตัวหนอนของหนอนใยผัก *Plutella xylostella* L. ระยะที่ 4
ที่มา: ปิยรัตน์ (2531)

ภาพที่ 4 ลักษณะตัวเต็มวัยของหนอนใยผัก *Plutella xylostella* L.
ที่มา: ปิยรัตน์ (2531)

2.2.2 การป้องกันกำจัดหนอนใยผักมีการใช้สารสกัดจากพืชในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก วิธีนี้เป็นทางเลือกใหม่ของเกษตรกร ซึ่งมีรายงานการวิจัยการใช้สารสกัดจากพืชเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น

สารสกัดจากสะเดา โดยสกัดจากเมล็ดสามารถฆ่าหนอนใยผักในระยะที่ 2 และระยะที่ 4 มีค่า LD_{50} เท่ากับ 0.49 และ 4.50% ตามลำดับ (กฤษกนธ์, 2530) สารสกัดจากยี่โถ โดยทำการแยกก้าน ใบ ดอก และลำต้นในการสกัด ผลปรากฏว่าสารสกัดจากดอกยี่โถความเข้มข้น 0.4 g/cc. มีฤทธิ์ทำให้หนอนใยผักตาย 95.99% ที่เวลา 72 ชม. (อารมณ์ และคณะ, 2535) นอกจากนี้สารสกัดจากดอกรัก โดยนำใบของต้นดอกรักมาทำการสกัด พบว่าสารสกัดจากใบดอกรักความเข้มข้น 0.3 g/cc. มีผลต่อการตายของหนอนใยผัก 65.39% ที่เวลา 72 ชม.

(ชัยพัฒน์ และคณะ, 2535) และสารสกัดจากใบคนทีเขมา *Vitex negundo* (L.) ความเข้มข้น 100 และ 200 mg/l ทำให้หนอนใยผักระยะที่ 3 ตาย 97 และ 100% ที่เวลา 72 ชม. ตามลำดับ (Rejesus, 1993)

หนอนใยผักเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ เนื่องจากพบการระบาดอยู่เสมอ และเข้าทำลายพืชผักตระกูลกะหล่ำซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจของประเทศ จึงมีแนวทางป้องกันกำจัดหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การใช้สารเคมีในการป้องกันกำจักหนอนในผัก สารเคมีมีมากมายหลายชนิด เช่น

การใช้สารเคมีกลุ่ม Organochlorine เริ่มมีการใช้ DDT ในปี พ.ศ. 2491 ซึ่งใช้ได้ผลดี เกษตรกรจึงนิยมใช้ DDT ในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก ต่อมารัฐบาลยกเลิกการใช้ DDT เมื่อเดือนมีนาคม 2526 เนื่องจากเป็นสารอันตรายอาจก่อให้เกิดมะเร็ง และมีฤทธิ์ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนาน (จันทร์ทิพย์, 2535) ปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้สารกลุ่มนี้ในการป้องกันกำจัด

การใช้สารเคมีกลุ่ม Organophosphate ในประเทศไทยใช้ Ethymalathion, Methyl malathion ในปี พ.ศ. 2493 ในปัจจุบันมีการใช้สารกลุ่ม Organophosphate เพราะมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดได้ดี และมีพิษตกค้างไม่นาน เช่น Chlopyrifos, Methy parathion, Malathion, Metamidiphos, Diazinon monocrotophos เป็นต้น (Yu and Nguyen, 1992)

การใช้สารเคมีกลุ่ม Carbamate ในปี พ.ศ. 2513 ใช้ Methomyl เพราะฤทธิ์ของสารชนิดนี้ทำให้หนอนสลบหล่นลงมาจากพืชทันที (กอบเกียรติ์, 2536) เช่นเดียวกับประเทศมาเลเซียมีการใช้ Methomyl และ Carbofuran ในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก (Sudderudin, 1978)

การใช้สารเคมีกลุ่ม Pyrethroid เริ่มมีการใช้สารกลุ่มนี้ พ.ศ. 2513 (Tabashnik *et al*., 1995) มีการระบาดอย่างรุนแรงของหนอนใยผักเมื่อปี พ.ศ. 2519 จึงมีการใช้สารกลุ่ม Pyrethroid ในการป้องกันกำจัดหนอนใยผักแทนสารเคมีในกลุ่ม Organophosphate และ Carbamate สารเคมีกลุ่มนี้มีการใช้มาก คือ Permetrin, Cypermetrin, Fenvalerate, Fluvalinate เนื่องจากค่อนข้างขยายตัวเร็วและเป็นอันตรายต่อสัตว์เลือดอุ่นค่อนข้างน้อย เกษตรกรใช้ในระยะก่อนเก็บเกี่ยวผักสด 5 - 7 วัน (กอบเกียรติ์, 2536)

การใช้สาร Insect growth regulator (IGR) สารกลุ่มนี้ใช้ในปี พ.ศ. 2523 (Kao and Sun, 1995) สารสำคัญในกลุ่มนี้ คือ Teflubenzuron, Chlorfluazuron เป็นต้น แต่บางพื้นที่เกษตรกรไม่นิยมใช้เนื่องจากออกฤทธิ์ค่อนข้างช้า คือ หนอนต้องกินเข้าไป และตายภายหลังรับสาร 3 - 4 วัน (กอบเกียรติ์, 2536)

นอกจากนี้การใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัด ยังมีวิธีอื่นๆ ที่สามารถนำมาป้องกันกำจัดหนอนใยผัก ซึ่งวิธีการดังกล่าว ได้แก่

การใช้จุลินทรีย์ เชื้อจุลินทรีย์ที่นิยมใช้กันมาก คือ *Bacillus thuringiensis* มีประสิทธิภาพดีในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก เมื่อหนอนกิน *Bacillus thuringiensis* จะมีฤทธิ์ยับยั้งการกิน และตายในที่สุด (วินัย, 2535) ในเขตปลูกผักในประเทศไต้หวันมีการใช้ *Bacillus thuringiensis* ซึ่งให้ผลการทำลายสูง ปลอดภัย และสะดวกต่อการนำไปใช้ (Liu *et al*., 1982) ปัจจุบันผลิตออกมาในรูปการค้าหลายชนิด

การใช้ศัตรูธรรมชาติในการป้องกันกำจักหนอนใยผัก มีรายงานจากหลายประเทศ เช่น ในประเทศแคนาดาพบแตนเบียน 3 ชนิด คือ *Didegma plutella, D. insularis* และ *Microplitis plutellae* สามารถทำลายหนอนใยผักได้ 4.6%, 12.12%, 17.1% ตามลำดับ (Harcourt, 1968) ในประเทศนิวซีแลนด์พบหนอนใยผักที่กำลังระบาดถูกทำลายโดยแตนเบียน 2 ชนิด คือ *Angitia cerophage* และ *Didromus collaris* (Todd, 1959) ในประเทศญี่ปุ่นมีการศึกษาแมลงศัตรูธรรมชาติของหนอนใยผัก ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน พบแตนเบียน 3 ชนิด คือ *Apanteles plutella* เข้าทำลายในระยะหนอน ส่วนแตนเบียนอีก 2 ชนิด *Itoplectis alternans* และ *Brachymeria sp.* เข้าทำลายในระยะดักแด้ของหนอนใยผัก (มยุรา, 2537) สำหรับในประเทศไทยมีรายงานการพบแตนเบียน *Apanteles plutellae, Thyrarella collaris, Trichogramma confusum* และ *Trichogramma bactrae* (พรพิมล และคณะ, 2534) ในเขตที่สูงพบแตนเบียนไข่ *T. confusum* ในเขตที่ราบพบ *T. bactrae* มีประสิทธิภาพในการควบคุมไข่ของหนอนใยผัก 16.2 - 45.2% นอกจากนี้ยังพบแตนเบียนหนอน *Cotesia plutellae* ควบคุมหนอนใยผักได้ 6.1 - 32.4% (ปิยรัตน์ และคณะ, 2531)

การใช้สารล่อเพศเป็นการดักสารเพศซึ่งมีส่วนผสมของ Cis-11-hexadecenyl acetate, Cis-11-hexadecenal และ Cis-11-hexadecenol ในอัตราส่วน 5 : 5 : 0.1 จำนวน 0.1 มิลลิกรัม มีประสิทธิภาพในการจับผีเสื้อหนอนใยผักเพศผู้ (พิสมัย และคณะ, 2538)

การใช้กับดักกาวเหนียวสีเหลืองทรงกระบอกหรือกระป๋องทาด้วยกาวเหนียว Polybutane ความเข้มข้น 5% ในสารละลาย Hexane โดยทา 10 - 15 วันต่อครั้ง สามารถดักผีเสื้อหนอนใยผักเฉลี่ย 16 ตัวต่อกับดัก โดยอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 0.79 : 1 เมื่อติดตั้งกับดักจำนวน 80 อันต่อไร่ สามารถลดการใช้สารฆ่าแมลงได้ถึง 50% (วินัย, 2535)

การใช้โรงเรือนตาข่ายไนล่อน เป็นการปลูกผักกางมุ้งในโรงเรือนขนาด 4 x 2.50 เมตร คลุมด้วนตาข่ายไนล่อนขนาด 16 ช่องต่อตารางนิ้ว สามารถป้องกันการเข้าทำลายของหนอนใยผักได้ดี และผักที่ปลูกสามารถเจริญเติบโตปกติ (วินัย, 2535)

หนอนตายหยาก (*Stemono* spp.: Stemonaceae) เป็นพืชที่พบทั่วไปในแถบเอเชียมีสรรพคุณเป็นสมุนไพรในการรักษาโรค ปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการอารักขาพืช การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหนอนตายหยากต่อหนอนใยผัก (*Plutella xylostella* L.) หนอกกระทู้ผัก (*Spodoptera litura* Hubner) และด้วงถั่วเขียว (*Callosobruchus maculates* F.) ในห้องปฏิบัติการพบว่า สารสกัดด้วย methanol มีประสิทธิภาพสูงในลักษณะสัมผัสตายโดยมีค่า LC_{50} ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 535 2,313 และ 2,108 ppm ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วย methanol จากตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ตัวอย่างจากพื้นที่ภูเวียงมีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งเป็นหนอนตายหยากชนิด *Stemona tuberose* Lour. การวิเคราะห์สารสกัดด้วยเทคนิค TLC และ HPLC ไม่พบสาร rotenone แสดงว่า rotenone ไม่ใช่สารออกฤทธิ์ที่มีผลต่อแมลง จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า สารสกัดหนอนตายหยากด้วย methanol มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในการควบคุมแมลงได้ (สุภาณี และคณะ, 2546)

การวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสาร azadirachtin จากสารสกัดเมล็ดสะเดาอินเดีย (*Azadirachta indica* A. Juss) สะเดาช้าง (*Azadirachta excelsa (Jack) Jacobs*) และสะเดาไทย (*Azadirachta indica* var *siamensis* Valeton) โดยวิธี HPLC และทดสอบฤทธิ์การยับยั้งการกินของสารสกัดสะเดาต่อหนอนใยผัก จากการศึกษาพบว่าสารสกัดเมล็ดสะเดาไทยที่เก็บจากจังหวัดขอนแก่นและสุพรรณบุรี มีสาร azadirachtin เท่ากับ 0.25% และ 0.82 % ตามลำดับ และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ azadirachtin ในเมล็ดสะเดาทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเก็บมาจากแหล่งปลูกต่างที่ต่างกัน พบว่าสะเดาอินเดีย (จากจังหวัดขอนแก่น) ปริมาณ azadirachtin มากกว่าสะเดาช้าง (จากจังหวัดสุราษฎร์ธานี) และสะเดาไทย (จากจังหวัดขอนแก่น) ตามลำดับ เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดสะเดาทั้งสามชนิดต่อการตายของหนอนใยผัก ที่เวลา 72 ชั่วโมง พบว่า เมล็ดสะเดาทั้ง 3 สายพันธ์มีค่า LC_{50} ตามลำดับดังนี้ 9,550 , 8,430 ,14,510 ppm และผลการยับยั้งการกินใบคะน้าของหนอนใยผักเท่ากับ 55.69 , 79.69 และ 44.45 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณสาร azadirachtin ในสะเดาไม่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการกำจัดหนอนใยผัก (รติยา และคณะ, 2547)

2.2.3. การต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดของหนอนใยผัก ปัจจุบันมีแมลงมากกว่า 500 ชนิด ที่สร้างความต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัด รวมทั้งแมลงที่เป็นพาหะนำโรค แมลงศัตรูพืช แมลงศัตรูในโรงเก็บ สิ่งที่บ่งบอกถึงความต้านทาน คือ การใช้สารเคมีในอัตราเท่าเดิมแต่ประสิทธิภาพไม่เท่าเดิม การสร้างความต้านทานของแมลงมีหลายรูปแบบ ดังนี้

2.2.3.1 การสร้างความต้านทานโดยสร้างชั้นไขมันบริเวณผนังลำตัวของแมลง ทำให้สารเคมีซึมเข้าสู่ตัวแมลงได้ช้าลง

2.2.3.2 การสร้างความต้านทานโดยการเปลี่ยนพฤติกรรม เช่น การหลีกเลี่ยงไม่กินอาหารที่มีสารเคมี โดยการไม่บินไปเกาะหรือเลี่ยงไปกินที่ไม่มีสารเคมี

2.2.3.3 การสร้างความต้านทานโดยปฏิกิริยาเคมีภายในตัวแมลง เช่น แมลงสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อลดความเป็นพิษให้น้อยลงหรือไม่มีฤทธิ์เลย

2.2.3.4 การสร้างความต้านทานโดยการเพิ่มความรวดเร็วในการขับถ่ายเพื่อทำลายสารพิษ

2.2.3.5 การสร้างความต้านทานโดยการสร้างไขมันเพื่อดูดซับสารพิษมากขึ้น เพื่อลดความเป็นพิษของสาร (พรรณเพ็ญ, 2539)

หนอนใยผักเป็นแมลงศัตรูพืชชนิดหนึ่งที่มีการพัฒนาความต้านทานต่อสารเคมีหลายชนิดที่ใช้ในการป้องกันกำจัดดังผลการวิจัยต่อไปนี้

จากการศึกษาผลของสารสกัดจากใบสาบเสือ *Chromolaena odorata* (L.) ต่อการตายและการเปลี่ยนแปลงระดับเอนไซม์ทำลายพิษของหนอนใยผัก *Plutella xylostella* L.พบว่าสารสกัดจากใบสาบเสือทำให้ระดับเอสเทอเรส (esterase) เพิ่มขึ้นประมาณ 20, 40 และ 90% ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.25 และ 0.50% ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เพิ่มขึ้นประมาณ 5 และ 20% ที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.50% ระดับโมโนออกซิจีเนส (monooxygenase) เพิ่มขึ้นประมาณ 10 และ 30% ที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.50%

สำหรับผลการทดลองสารสกัดจากใบสาบเสือผสมกับ Synergists พบว่า DEM ทำให้ระดับกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) ลดลงประมาณ 5% ส่วน PB มีผลต่อระดับเอสเทอเรส (esterase) และโมโนออกซิจีเนส (monooxygenase) ลดลงประมาณ 10% สำหรับ TPP มีผลทำให้ระดับเอสเทอเรส (esterase) ลดลงประมาณ 10 - 20% (มนัญญา, 2539)

การต้านทานสารเคมีกลุ่ม Organophosphate หนอนใยผักมีความต้านทานต่อสารเคมีกลุ่มนี้ในระดับค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการใช้สารเคมีกลุ่มนี้ในระยะนาน ในประเทศมาเลเซียหนอนใยผักมีการต้านทานต่อ Malathion 2,096 เท่า Chlopyrifos-methyl 626 เท่า และ Dichlorvos 40 เท่า (Sudderuddin and Kok, 1978) มีรายงานในประเทศไต้หวันพบหนอนใยผักต้านทานต่อสาร Cynofenphos และ Methyl parathion มากกว่า 1,000 เท่า Malathion, Profenofos และ Prothionfos 3,000 - 6,000 เท่า และน้อยกว่า 1,000 เท่าในสาร Dichlorvos (Liu *et al*., 1982) ในฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกาหนอนใยผักมีการต้านทานสาร Chloropyrifos 21 เท่า Methyl parathion 35 เท่า Malathion 20 เท่า Methamidophos 35 เท่า Diazinon 73 เท่า (Yu and Nguyen, 1992)

การต้านทานสารเคมีกลุ่ม Organochlorine พบการต้านทานครั้งแรกที่ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งต้านทานต่อ DDT (Ankersmit, 1953) ในประเทศไต้หวันหนอนใยผักต้านทาน DDT 2,870 เท่า (Liu *et al*., 1982) ในสหรัฐอเมริกาที่ฟลอริดาหนอนใยผักต้านทานต่อสาร Endosultan 25 เท่า (Yu and Ngugen, 1992)

การต้านทานต่อสารเคมีกลุ่ม Carbamate สารกลุ่มนี้นิยมใช้ในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก คือ Carbaryl และ Methomyl และพบการต้านทานต่อสาร 2 ชนิดนี้ในประเทศไต้หวัน 33 เท่า และ 111 เท่า ตามลำดับ (Liu *et al*., 1982) เช่นเดียวกับประเทศสหรัฐอเมริกาพบการต้านทานต่อ Carbofuran 504 เท่า และ Methomyl 409 เท่า (Yu and Nguyen, 1992) ในประเทศญี่ปุ่น (Hama, 1983) และประเทศมาเลเซีย (Sudderudin and Kok, 1978) มีรายงานการต้านทานสารกลุ่มคาร์บอเมทของหนอนใยผัก

การต้านทานสารกลุ่ม Pyrethroid ประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้สารกลุ่มนี้เมื่อปี พ.ศ. 2523 ที่ฟลอริดา และเพียงระยะเวลาไม่นานหนอนใยผักสามารถต้านทาน Permetrin และ Fenvalerate ในปี พ.ศ. 2534 หนอนใยผักมีความต้านทาน Permetrin 2,132 เท่า Cypermetrin 11,177 เท่า Fenvalerate 12,278 เท่า Cyhalothrin 10,699 เท่า Fenverate 2, 305 เท่า Fluvalinate 12,278 เท่า(Yu and Nguyen, 1992)

การต้านทานสารกลุ่ม Insect growth regulator (IGR) จากการศึกษาการใช้สารระงับการลอกคราบ Teflubenzuron ในการป้องกันกำจัดหนอนใยผักพบการต้านทานต่อสารชนิดนี้ 12 เท่า ในหนอนใยผักรุ่นที่ 29 (Perng *et al*., 1987) ส่วนในประเทศไทยพบหนอนใยผักจากทับหลวง และบางแก้ว ต้านทาน Chlorfluazuron 400 เท่า และ 3,400 เท่าตามลำดับ (Fahmy *et al*., 1991)

การต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus thuringiensis* ของหนอนใยผัก ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการศึกษาการต้านทานของหนอนใยผักต่อ *Bacillus thuringiensis* 2 สายพันธุ์ คือ *Bacillus thuringiensis kustaki* และ *Bacillus thuringiensis aizawai* พบการต้านทานต่อ *Bacillus thuringiensis kustaki* ที่มีชื่อทางการค้า Biobit HP และ Javelin WG 461.1 และ 320.7 เท่า ตามลำดับ และการต้านทานต่อ *Bacillus thuringiensis aizawai* ที่มีชื่อทางการค้า Xentari, Agree และ NB 200 FC 3.0, 3.5 และ 4.1 เท่า ตามลำดับ เห็นได้ว่าแม้จะเป็น *Bacillus thuringiensis* สายพันธุ์เดียวกันแต่แต่ผลิตจากต่างบริษัทการต้านทานก็แตกต่างกัน (Shelton *et al*., 1993)

2.3 คุณสมบัติสารทุติยภูมิในพืช

สารทุติยภูมิในพืชมีมีมากมายหลายชนิด บางชนิดเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่นสารพวก alkaloids มักมีรสขมและมีฤทธิ์เป็นด่าง ได้แก่ rotenone ,nicotine , pyrethrin สารพวก saponin , tannin , glycoside ในรูปอนุพันธ์ต่าง ๆ น้ำมันหอมระเหย (essential oil) สามารถควบคุมแมลงหลายชนิดได้ สำหรับสาเหตุและกระบวนการสร้างหรือวิธีการเปลี่ยนแปลงของสารเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ทั้งนี้เนื่องจากมีอุปสรรคในการศึกษาหลายประการ เช่น สารอาจถูกสร้างในปริมาณที่น้อยมาก หรืออาจถูกสร้างเพียงชั่วระยะเวลาใดเวลาหนึ่งแล้วเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดอื่น หรือปริมาณของสารอาจเปลี่ยนแปลงตามชนิด อายุ ประเภทเนื้อเยื่อของพืช ตัวอย่างเช่น สาร ∝ -tomation จะพบมากในเนื้อเยื่อเจริญมากกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่น ๆ ในมะเขือเทศ (Juvik and Stevens, 1982) นอกจากนั้น ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพของดิน ฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลาที่พืชได้รับแสง ก็มีผลต่อปริมาณของสารนี้ด้วย (ทิติยา, 2532)

สารเคมีทุติยภูมิในพืชที่มีผลต่อการควบคุมแมลงอาจแบ่งประเภทตามปฏิกิริยาการตอบสนองของแมลงต่อสารเคมี เช่น มีกลิ่นขับไล่หรือดึงดูดแมลงให้เข้าหา มีรสที่ระงับการกินของแมลง หรือกระตุ้นให้แมลงกิน มีพิษต่อแมลงโดยอาจทำให้แมลงตาย หรือมีกระบวนการเมทาบอลิซึมผิดปกติ เช่น ทำให้แมลงมีขนาดเล็ก ใช้ระยะเวลานานมากขึ้นในการพัฒนาจนครบวงชีพ มีอัตราการวางไข่น้อยลง หรือมีอัตราตายสูงในขณะลอกคราบ โดยมีตัวอย่างจากผลการศึกษาที่น่าสนใจเกี่ยวกับสารเหล่านี้พอสังเขป

2.3.1 สารที่มีผลระงับการกินหรือการทำลายของแมลง (antifeedant , feeding deterrent , feeding inhibitor) จากผลการศึกษาเกี่ยวกับงานด้านนี้พอจะกล่าวได้ว่า สารที่มีผลระงับการกินหรือหยุดยั้งการเข้าทำลายของแมลงมักมีรสขมหรือฝาด ซึ่งมักมีสาร alkaloids เป็นส่วนประกอบ ปัจจุบันกลุ่มของ terpenoids เป็นสารที่ได้รับความสนใจค่อนข้างมาก ผลการศึกษาที่น่าสนใจ ได้แก่

2.3.1.1 Wada and Munakata (1971) ทำการศึกษาผลวิจัยของ terpenoids จากพืช 6 ชนิดซึ่งอยู่ในกลุ่ม sesauitepernoids , diterpenoids และ triterpenoids ที่ความเข้มข้น 0.030 ถึง 0.5% ใน acetone กับตัวอ่อนของหนอนเจาะมันฝรั่ง *Spodoptera littoralis* พบว่าสารในกลุ่มของ sisquiterpenoids เช่น pinquison และ absinthin ให้ผลดีที่สุดที่ความเข้มข้น 0.125% และ 0.03% ตามลำดับ และไม่พบสารในกลุ่มของ diterpenoids หรือ triterpenoids แสดงผลยับยั้งการกินของแมลงดังกล่าว

2.3.1.2 Reed et al. (1982) ตลอดจนนักวิจัยอีกหลายท่านที่ได้ให้ความสนใจนำน้ำมันสกัดจากเมล็ดสะเดา Azadirachtin ซึ่งเป็น tetranor-triterpinoid มีผลควบคุมแมลงได้

หลายด้าน ตัวอย่างเช่น สามารถหยุดยั้งการกินอาการของแมลงวันบ้าน ตัวอ่อนหนอนใยผัก ด้วงเต่าแดง นอกจากนี้สาร azadirachtin ยังมีผลควบคุมแมลงในด้านอื่นอีกหลายด้าน

2.3.2 สารที่มีผลทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของแมลงผิดปกติ (antibiosis) สารที่มีผลทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของแมลงผิดปกติ จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการผิดปกติหลายประการในแมลง เช่น

2.3.2.1 ทำให้แมลงวางไข่และฟักไข่น้อยกว่า Hyde et al.(1985) รายงานว่าหนอนใยผักที่ได้รับสารสกัดหยาบจากเมล็ดสะเดา ตั้งแต่ระยะที่ 2 จะมีอัตราการวางไข่ลดลงจากปกติ 20-100% ขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ได้รับ และมีรายงานผลของน้ำมันสะเดาในด้านนี้ต่อแมลงชนิดอื่น ๆ คล้ายคลึงกับผลการทดลองของ Hyde et al.(1985) นี้อาจเป็นผลที่เกิดโดยตรงเนื่องจากแมลงได้รับสารนี้เข้าไป หรือเป็นผลโดยอ้อมที่เกิดจากสารนี้มีต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของแมลงในด้านอื่น ๆ แล้วพลอยทำให้แมลงวางไข่หรือมีอัตราการฟักของไข่น้อยกว่าปกติ โดยทั่วไป สารที่มีผลหยุดยั้งการกินของแมลง หรือขัดขวางหรือรบกวนการสร้างโปรตีน นิวคลีอิคแอสิด หรือสารที่จำเป็นอื่น ที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของแมลงย่อมจะมีผลทำให้อัตราการวางไข่ และการฟักไข่ลดต่ำลง จึงเป็นสาเหตุทำให้ประการของแมลงลดลงตามไปด้วย

สำหรับสารเคมีจากพืชชนิดที่มีแนวโน้มว่าจะนำมาใช้ควบคุมแมลงได้ดีนั้น ส่วนใหญ่จะมีผลทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมของแมลงผิดปกติเกือบทั้งสิ้น งานวิจัยในเรื่องนี้จึงได้รับความสนใจมากทั้งในด้านการพัฒนาไปผลิตในทางอุตสาหกรรมหรือเพื่อการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีสารดังกล่าวในปริมาณสูงขึ้น เพื่อการใช้เป็นพันธุ์ต้านทานต่อแมลงศัตรูเป้าหมาย

2.3.3. สารที่มีผลไล่แมลงไม่ให้เข้าทำลายพืชหรือเข้าวางไข่ ผลจากงานวิจัยจำนวนมากรายงานว่า สารที่มีผลไล่แมลงมักเป็นสารที่มีกลิ่น ได้แก่ น้ำมันระเหยซึ่งเป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น citral , carvacol citronellal , cincole และ citronellol ซึ่งพบมากในเครื่องเทศ ได้แก่ สาระแหน่ กะเพรา โหระพา กานพลู กระชาย ฯลฯ หรือในพืชที่มีกลิ่น เช่น ยูคาลิปตัส สารดังกล่าวมักระเหยได้ดี จึงไล่แมลงได้ในระยะไกล แต่อาจมีระยะเวลาในการไล่แมลงได้เพียงชั่วระยะเวลาสั้น ๆ เนื่องจากระเหยหมดเร็ว การศึกษาในด้านนี้จึงมักให้ความสนใจกับสาร alkaloids บางชนิดที่มีผลไล่แมลงได้เป็นระยะเวลายาวนานกว่า ตัวอย่างของสารที่น่าสนใจ ได้แก่

2.3.3.1 สาร azadirachtin และ salanine ซึ่งพบมากในเมล็ดสะเดา สามารถไล่แมลงศัตรูในโรงเก็บได้ดีกว่า sisquiterpene ketone เมื่อใช้ความเข้มข้นเท่ากัน (Jilani and Su, 1983) Mansour and Ascher (1984) รายงานว่าประสิทธิภาพของสารสกัดจากสะเดาในการไล่ไรแดง *Tetranychus cinnobarinus* ขึ้นกับสารที่ใช้ในการสกัดโดยมีประสิทธิภาพเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ chloroform > n-butanol> acetone> methanol > น้ำ

2.3.3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่แมลงของน้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัส *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* ที่เก็บในฤดูแล้งและฤดูฝนต่อหนอนกระทู้ผัก *Spodoptera litura Fabricius* พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากใบที่เก็บในฤดูแล้งมีประสิทธิภาพในการไล่หนอนกระทู้ผักได้ดีกว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบที่เก็บในฤดูฝน โดยน้ำมันหอมระเหยจากใบที่เก็บในฤดูแล้งไล่แมลงได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 3.5 % ปริมาตร/ปริมาตร ให้ระดับการไล่แมลงเท่ากับ 4 และน้ำมันหอมระเหยจากใบที่เก็บในฤดูฝนที่ความเข้มข้น 4.0 % ปริมาตร/ปริมาตร ให้ระดับการไล่แมลงเท่ากับ 3 อย่างไรก็ตามไม่เหมาะสมที่จะใช้น้ำมันหอมระเหยจากใบยูคาลิปตัสเป็นสารไล่หนอนกระทู้ผัก เนื่องจากไล่ได้ดีที่สุด คือ 60-80 % เมื่อใช้เวลา 15 นาที ประสิทธิภาพในการไล่หนอนกระทู้ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อใช้เวลา 5 ชั่วโมง หนอนถูกไล่เพียง 45-72 % (ศิริพรรณ และคณะ, 2550)

2.3.3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพสารสมุนไพรในการไล่หนอนใยผักพบว่าสมุนไพรไทย 2 ชนิดคือหนุมานประสานกาย *Scheffera venulosa* Harms และตะไคร้หอม *Cymbopogon nardus* Rendle มีปริมาณสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการไล่ตัวอ่อนหนอนใยผักในสภาพห้องทดลองได้เป็นอย่างดี

2.3.4. สารที่มีผลฆ่าแมลง มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากพืชเพื่อฆ่าแมลงมาตั้งแต่สมัยโบราณ พืชซึ่งเป็นที่รู้จักและใช้กันมาก ได้แก่ หนอนตายอยาก *Stenona spp.* ซึ่งมีสารพวกโรตีโนนส์ ยาสูบ *nicotina tabacum* ซึ่งมีสารนิโคติน และต้นไพรีทรัม *Chrysanthemum cinerariaefolium* ซึ่งมีสารไพรีทรินส์ สารดังกล่าวเป็นสารพวก alkaloid ที่สามารถฆ่าแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด แต่ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับสารทั้ง 3 ชนิดนี้ เนื่องจากมีผู้เขียนรายงานและมีข้อมูลมากแล้วจึงขอกล่าวถึงสารชนิดอื่น ๆ ที่พบในพืชและมีผลฆ่าแมลง ตัวอย่างเช่น สารประเภท saponin , tannin และ resin ฯลฯ โดยมีรายงานที่น่าสนใจดังนี้

2.3.4.1 นารีรัตน์ และคณะ (2526) พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากไพลประกอบด้วยสารต่าง ๆ อย่างน้อย 10 สาร สารสำคัญที่พบ ได้แก่ pinine , myrcene และ terpinene เป็นต้น สารเหล่านี้มีผลฆ่าหนอนกระทู้ผักได้ดีมาก

2.3.4.2 Mariappan and Saxena (1984) พบว่า สารสกัดจากเมล็ดน้อยหน่ามีสาร alkaloid หลายชนิด เช่น anonaine และ resin บางชนิดที่ฆ่าเพลี้ยจั๊กจั่นสีเขียวได้ที่ความเข้มข้น 20% ใน acetone

2.3.4.3 สำหรับสาร azadirachtin และ salanin ซึ่งสกัดได้จากเมล็ดสะเดานั้น มีผู้สนใจศึกษามาก และพบว่าสามารถฆ่าแมลงได้หลายชนิด ปัจจุบันจึงมีการสกัดสารดังกล่าวเพื่อใช้ฆ่าแมลง Schmutterer (1992) และนักวิจัยอีกมากต่างมีความเห็นพ้องกันว่า สารดังกล่าวมีความปลอดภัยและเหมาะสมมากจะนำมาใช้ควบคุมแมลง โดยเฉพาะในประเทศที่สามารถปลูกพืชดังกล่าวได้ดี เนื่องจากมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่าสารเคมีสังเคราะห์ชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.4 ระบบเอนไซม์ของแมลง

2.3.1 กระบวนการทำลายสารพิษเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะมี 2 ขั้นตอน คือ

2.3.1.1 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงระยะที่ 1 สารพิษเมื่อเข้าสู่เซลล์จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยมีเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม คือ แตกตัวเป็นสารที่มีขั้วและละลายน้ำเพื่อกำจัดออกจากร่างกาย ปฏิกิริยาที่สำคัญ ได้แก่ Oxidation, Hydrolysis เป็นต้น

2.3.1.2 ขั้นตอนการจับตัวระยะที่ 2 สารพิษที่ยังไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแล้วจะจับตัว (Conjugation) กับสารที่มีอยู่ภายในเซลล์เพื่อให้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีขึ้นเพื่อขับออกจากร่างกาย

2.3.2 ในแมลงมีเอนไซม์ในการทำลายพิษที่สำคัญ 3 ชนิด คือ เอสเทอเรส (esterase), กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) และโมโนออกซิจีเนส (monooxygenase) (Dauterman and Hodgson, 1978)

2.3.2.1 เอสเทอเรส (esterase) เป็นเอนไซม์ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระยะที่ 1 มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการทำลายสารพิษ หรือสารแปลกปลอมโดยเร่งปฏิกิริยา Hydrolysis ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารพิษเพื่อกำจัดออกจากร่างกาย ในแมลงเราพบเอนไซม์ชนิดนี้ใน Cytosol, Microsome, Mitochondria, Nucleus ของลำไส้ และพบว่าการทำงานของเอสเทอเรส (esterase) ในเพศผู้จะมากกว่าเพศเมีย 25%

Cohen *et. al*. (1977) พบว่าการทำงานของ Esterase ในแมลงชนิดเดียวกันแต่ต่างระยะกัน จะมีการทำงานของเอสเทอเรส (esterase) ต่างกันด้วย ใน *Tribolium castaneum* (Herbst) ในระยะไข่จะมีการทำงานของเอสเทอเรส (esterase) น้อย และจะเพิ่มขึ้นในระยะตัวหนอน และจะลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะดักแด้ และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะตัวเต็มวัย เอสเทอเรส (esterase) มีหน้าที่สำคัญในการทำลายสารพิษหรือสิ่งแปลกปลอม ก่อให้เกิดการต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดป้องกัน เช่นสารเคมีในกลุ่มOrganophosphate, Pyrethroid, Chitin inhibitor

2.3.2.2. กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เป็นเอนไซม์เกี่ยวกับกระบวนการทำลายสารพิษ หรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระยะที่ 2 โดยจะไปเร่งปฏิกิริยาการรวมกันของ กลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) กับสารประกอบสารพิษที่เข้ามาในร่างกาย (Chasscaud, 1979) เอนไซม์ชนิดนี้พบในพืช โปรโตซัว รา แบคทีเรีย สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และแมลง (Jakoby, 1978) มีรายงานเกี่ยวกับการทำงานของกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) หนอนใยผัก ว่าการทำงานของเอนไซม์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากระยะตัวหนอนไประยะดักแด้ (Rose and Wallbank, 1986)

ในหนอนใยผักสายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสารฆ่าแมลงสูงกว่าสายพันธุ์ที่ไม่ต้านทานถึง 3 - 4 เท่า และกลูตาไธโอน เอส-ทรานสเฟอเรส (glutathione S-transferase) เป็นเอนไซม์ทำลายพิษพิษชนิดหนึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดการต้านต่อสารเคมีของแมลง (Jakoby, 1978) โดยเฉพาะสารเคมีในกลุ่ม Organophosphate, Organochlorine, Pyrethroid carbamate (Motoyama and Dauterman, 1980)

2.3.2.3. โมโนออกซิจีเนส (monooxygenase) เป็นเอนไซม์สำคัญชนิดหนึ่งที่เกี่ยวกับกระบวนการทำลายสารพิษซึ่งอยู่ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระยะที่ 1 โดยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารพิษ หรือสารแปลกปลอมที่ง่ายต่อการกำจัดออกจากร่างกาย ปฏิกิริยาสำคัญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Oxidation, Hydrolysis, Reduction, Conjugation เป็นต้น เอนไซม์ชนิดนี้พบในพืช สัตว์ จุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารพิษนอกจากจะทำให้สารพิษมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีขึ้นแล้วยังทำให้สารพิษมีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์เปลี่ยนแปลงไปคือ เปลี่ยนแปลงจากสารพิษที่ไม่สามารถออกฤทธิ์การเกิดพิษเป็นสารที่ออกฤทธิ์ได้ เปลี่ยนแปลงสารพิษที่ออกฤทธิ์ให้มีฤทธิ์น้อยลง หรือไม่มีฤทธิ์เลย หรือออกฤทธิ์เป็นพิษมากกว่าเดิม (ชัยวัฒน์, 2539)

2.3.3 เอนไซม์ทำลายพิษ (Detoxification enzyme) ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.3.3.1 อยู่ในออร์แกเนลของเซลล์ที่ได้รับสารพิษ หรือสารแปลกปลอมอยู่เป็นประจำ เช่น เซลล์ไขมัน และลำไส้ของแมลง

2.3.3.2 เป็น Non specific enzyme คือ สามารถทำปฏิกิริยากับสารแปลกปลอมได้หลายชนิดไม่จำเพาะเจาะจง

2.3.3.3 เมื่อร่างกายได้รับสารพิษ หรือสารแปลกปลอมแล้วจะสร้างเอนไซม์ขึ้นอย่างรวดเร็ว