# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

## ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับด้วงเต่า ลักษณะที่ใช้จำแนกด้วงเต่าตัวห้ำและด้วงเต่าศัตรูพืช

ด้วงเต่าหรือด้วงเต่าลาย (Ladybug, Ladybird, Lady beetle and Ladybird beetle) เป็นแมลงปีกแข็งกลุ่มหนึ่งอยู่ในวงศ์ Coccinellidae อันดับ Coleoptera ทั่วโลกมีด้วงเต่าลาย 490 สกุล (สมหมาย, 2545) มากกว่า 5,000 ชนิด ซึ่งมีขนาดลำตัวเล็กมากจนถึงขนาดใหญ่มาก มีทั้งด้วงเต่าที่มีประโยชน์ เรียกว่า ด้วงเต่าตัวห้ำ และด้วงเต่าศัตรูพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงลักษณะสำคัญของด้วงเต่าที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายในสภาพสวนหรือสภาพไร่ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องในการจัดจำแนก และนำไปสู่การจัดการว่าควรอนุรักษ์ หรือทำการป้องกันกำจัด โดยสามารถจำแนกชนิดของด้วงเต่าตัวห้ำ และด้วงเต่าศัตรูพืช จากลักษณะของผิวลำตัว ซึ่งพบว่าโดยทั่วไปด้วงเต่ามีลักษณะของผิวลำตัว 2 แบบ คือ ผิวลำตัวมีลักษณะมันเงางาม ไม่มีขนละเอียดปกคลุม มองเห็นส่วนหัวและหนวดได้ไม่ชัดเจนสันนิษฐานในเบื้องต้นได้ว่าเป็นด้วงเต่าตัวห้ำ แต่หากสังเกตเห็นส่วนหัวและหนวดได้ชัดเจน นั้นเป็นด้วงเต่าแตง วงศ์ Chrysomelidae ซึ่งเป็นด้วงเต่าศัตรูพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกับด้วงเต่าตัวห้ำ สำหรับด้วงเต่าที่มีผิวลำตัวปกคลุมด้วยขนเส้นละเอียดเล็ก ๆ ต้องพิจารณาร่วมกับลักษณะอื่น คือ ด้วงเต่าตัวห้ำที่มีขนละเอียดบนปีกแข็ง มีลำตัวขนาดเล็กยาวประมาณ 1.0-3.5 มิลลิเมตร ลำตัวส่วนหลังโค้งเป็นรูปทรงกลมและรูปไข่ มีจำนวนจุดบนปีกแข็งน้อย บางชนิดมีลาย แต่บางชนิดไม่มีทั้งจุดและลาย หากเป็นด้วงเต่าศัตรูพืชที่มีขนละเอียดบนปีกแข็ง ลำตัวมีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ยาวประมาณ 5.0-10.0 มิลลิเมตร ลำตัวส่วนหลังโค้งมากเห็นได้ชัดเจนค่อนไปทางรูปไข่ มีจำนวนจุดบนปีกแข็งค่อนข้างหนาแน่น จำนวนตั้งแต่ 10-28 จุด (สมหมาย, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**บทบาทและความสำคัญของด้วงเต่าตัวห้ำในการควบคุมแมลงศัตรูพืช**

ด้วงเต่าหลายชนิดในอันดับ Coleoptera วงศ์ Coccinellidae เป็นตัวห้ำที่สำคัญของแมลงศัตรูพืชและสัตว์ศัตรูพืชหลายชนิด เช่น แมลงศัตรูพืชจำพวกปากดูด และมีลำตัวอ่อนนุ่มเช่น เพลี้ยอ่อน เพลี้ยแป้ง เพลี้ยหอย ไข่และตัวหนอนของผีเสื้อ แมลงวันหนอนชอนใบ รวมทั้งไรศัตรูพืช พบแพร่กระจายทั่วไปอย่างกว้างขวางทั่วโลก ด้วงเต่าในวงศ์ย่อย Coccinellinae และ Scymninae ถือเป็นตัวห้ำที่สำคัญของเพลี้ยอ่อนที่เข้าทำลายพืชหลายชนิด เช่น พริก เบญจมาศ อัลฟัลฟ่า และข้าวโพด เป็นต้น (สมหมาย, 2545; Volkl *et al*., 2007; และ Hoheisel and Fleischer, 2007) มีบทบาทในการดำเนินงานการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีและการควบคุมศัตรูพืชแบบผสมผสาน ในหลายประเทศมีรายงานการนำด้วงเต่าตัวห้ำมาใช้ควบคุมเพลี้ยอ่อน ในสภาพโรงเรือนเพาะชำ โรงเรือนกระจก และในสภาพแปลงเพาะปลูก (ตารางที่ 1 และ 2) โดยการปลดปล่อยแบบท่วมท้น (augmentative release) (Powell and Pell, 2007) และทั่วโลกมีมากกว่า 85 บริษัทที่ผลิตศัตรูธรรมชาติมากกว่า 125 ชนิดเป็นการค้า เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมศัตรูพืชโดยชีววิธีโดยการปลดปล่อยแบบท่วมท้น และด้วงเต่าตัวห้ำเป็นหนึ่งในแมลงศัตรูธรรมชาติที่มีการผลิตออกจำหน่ายในเชิงการค้าอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เช่น ด้วงเต่า *Delphastus pusillus* (LeConte) ควบคุมแมลงหวี่ขาว ด้วงเต่า *Harmonia axyridis* (Pallas) และด้วงเต่า *Hippodamia convergens* Guerin-Meneville ควบคุมเพลี้ยอ่อน (van Lenteren, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 1** ตัวอย่างการปลดปล่อยด้วงเต่าตัวห้ำในต่างประเทศสำหรับควบคุมเพลี้ยอ่อนในโรงเรือนกระจก

| ชนิดของด้วงเต่า | ชนิดเพลี้ยอ่อน | พืช | ประเทศ |
|---|---|---|---|
| *Coccinella septempunctata*<br>*Adalia bipunctata* | *Myzus persicae*<br>*Macrosiphum rosae* | พริกหวาน<br>เบญจมาศ<br>กุหลาบตัดดอก | ฟินแลนด์ |
| *Coccinella septempunctata*<br>*Hippodamia variegate* | *Aphis gossypii* | แตง | โมรอคโค |
| *Coccinella undecimpunctata undecimpunctata* | *Aphis fabae* | ถั่วเหลือง | อียิปต์ |
| *Hippodamia convergens* | *Aphis gossypii*<br>*Macrosiphum euphorbiae* | สตรอเบอรี่ | เบลเยียม |
| *Harmonia axyridis* | *Macrosiphum euphorbiae* | กุหลาบตัดดอก | สหรัฐอเมริกา |
| *Harmonia axyridis* | *Aphis gossypii* | แตง | ญี่ปุ่น |

ที่มา: Powell and Pell (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 2** ตัวอย่างการปลดปล่อยด้วงเต่าตัวห้ำในต่างประเทศสำหรับควบคุมเพลี้ยอ่อนในสภาพแปลงปลูกพืช

| ชนิดของด้วงเต่า | ชนิดเพลี้ยอ่อน | พืช | ประเทศ |
|---|---|---|---|
| *Hippodamia convergens* | *Schizaphis graminum* | ข้าวฟ่าง | สหรัฐอเมริกา |
| | *Capitophorus elaeagni* | *Elaeahnus* hedge | สหรัฐอเมริกา |
| | *Monellia caryella* | Pecan orchard | สหรัฐอเมริกา |
| | *Monelliopsis pecanis* | ข้าวสาลี | สหรัฐอเมริกา |
| | *Diuraphis noxia* | | |
| *Harmonia axyridis* | *Macrosiphum rosae* | Amenity roses | ฝรั่งเศส |
| | *Phorodon humuli* | Hops | ฝรั่งเศส |
| *Coccinella septempunctata* | *Aphis gossypii* | ฝ้าย | จีน |
| *Propylea japonica* | | | |
| *Coccinella septempunctata brucki* | *Acyrthosiphon kondoi* | Lucerne (alfalfa) | ญี่ปุ่น |
| *Coccinella septempunctata* | *Lipaphis pseudobrassicae* | Mustard | อินเดีย |
| *Cheilomenes sexmaculatus* | | | |
| *Coccinella undecimpunctata undecimpunctata* | *Aphis gossypii* | Okra | อียิปต์ |
| *Adalia bipunctata* | *Dysaphis plantaginea* | แอ็ปเปิ้ล | สวิตเซอร์แลนด์ |
| *Synonycha grandis* | *Ceratovacuna lanigera* | อ้อย | จีน |
| *Coleophora biplagiata* | | | |

ที่มา: Powell and Pell (2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ด้วงเต่าลายหยัก *M. sexmaculatus***

จากการศึกษาและรวบรวมด้วงเต่าในวงศ์ Coccinellidae อันดับ Coleoptera ในประเทศไทย พบด้วงเต่าเป็นจำนวน 133 ชนิด โดยเป็นด้วงเต่าตัวห้ำ 112 ชนิด และด้วงเต่าศัตรูพืช 21 ชนิด ซึ่งถือว่าประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ เป็นด้วงเต่าที่มีประโยชน์ (สมหมาย, 2545) โดยด้วงเต่าลายหยัก (*M. sexmaculatus*) เป็นด้วงเต่าที่พบได้ทั่วไป และเป็นตัวห้ำที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมและทำลายเพลี้ยอ่อน ในบริเวณแปลงปลูกผัก ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วฝักยาว ถั่วฝักยาวไร้ค้าง ถั่วพุ่ม ฝ้าย อ้อย และกระถิน (นุชรีย์, 2538; พิมลพร และคณะ, 2544) นอกจากนั้นยังพบบริเวณไม้ดอกที่มีเพลี้ยอ่อนเข้าทำลาย เช่น ต้นดอกรัก โดยแนะนำให้ปล่อยด้วงเต่าตัวห้ำ เพื่อควบคุมเพลี้ยอ่อน ไข่ผีเสื้อ หนอนศัตรูพืช และตัวอ่อนแมลงศัตรูส้ม และพืชตระกูลถั่ว ในอัตรา 100 ตัวต่อไร่ ช่วงเวลาเช้าหรือเย็น (สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร, 2548) หากสำรวจพบแมลงศัตรูพืชปริมาณสูง สำหรับพืชไร่ พืชผัก และไม้ดอกให้ปล่อยด้วงเต่าอัตรา 2,000 ตัวต่อไร่ และในไม้ผลให้ปล่อยด้วงเต่า ในอัตรา 2,000 ตัวต่อต้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552)

ด้วงเต่าลายหยักเป็นด้วงเต่าขนาดกลาง รูปไข่ ลำตัวมันเป็นเงางาม มีทั้งสีแดง สีส้ม และสีเหลือง อกปล้องแรกสีเหลือง มีสัญลักษณ์คล้ายรูปตัวที (T-shaped) อยู่ตรงกลางเชื่อมต่อกับเส้นกลางปีกสีดำ ปีกแข็งพื้นสีเหลือง ปีกแต่ละข้างมีลายขวางเป็นหยัก 2 เส้น และตรงปลายปีกมีจุดสีดำข้างละ 1 จุด (โกศล และวิวัฒน์, 2538; Poorani, 2008) รัตนา (2534) และ Roongfar (1980) รายงานว่า ไข่ของด้วงเต่าลายหยัก มีลักษณะเป็นรูปไข่ สีเหลืองอ่อน โดยวางไข่เป็นกลุ่ม เรียงเป็นแถว หรือวางเป็นฟองเดี่ยวบนผิวพืชใกล้กับบริเวณที่มีกลุ่มเหยื่อ ระยะไข่โดยเฉลี่ย 2.47 ± 0.05 วัน ตัวอ่อนมี 4 วัย รูปร่างแบบ campodeiform ลักษณะคล้ายลูกจระเข้ มีขา 3 คู่ บริเวณด้านหลังและด้านข้างลำตัวมีปุ่มหนามอ่อน ๆ ยื่นออกมา ลำตัวมีสีดำ มีจุดหรือแถบสี เช่น สีเหลืองอ่อน สีส้ม สีขาว และสีดำอยู่ตามผนังลำตัว ระยะตัวอ่อนโดยเฉลี่ย 8.03 ± 0.05 วัน สำหรับดักแด้ของด้วงเต่าเป็นแบบ exarate โดยคราบของตัวอ่อนระยะที่ 4 จะถูกดันไปอยู่ตรงส่วนปลายสุดของลำตัวดักแด้ และเป็นส่วนที่ยึดติดกับพื้นผิวของพืช ระยะดักแด้โดยเฉลี่ย 2.70 ± 0.14 วัน ทั้งนี้ Volkl *et al*. (2007) รายงานว่าระยะการเจริญเติบโตของด้วงเต่าแต่ละชนิดไม่คงที่ และเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ จำนวนอาหารที่บริโภค รวมทั้งชนิดของเหยื่อ

ด้วงเต่าลายหยัก (*M. sexmaculatus*) กินอาหารได้หลากหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นแมลงและไรที่มีลำตัวอ่อนนุ่ม รวมถึงไข่ของแมลงและไรด้วย เช่น เพลี้ยอ่อนข้าวโพด เพลี้ยอ่อนฝ้าย เพลี้ยอ่อนผักกาด เพลี้ยอ่อนบุนนาค เพลี้ยอ่อนสำลี เพลี้ยอ่อนรัก เพลี้ยอ่อนถั่วเหลือง เพลี้ยอ่อนถั่ว เพลี้ยอ่อนส้มเหลือง เพลี้ยจักจั่นฝ้าย เพลี้ยจักจั่นละหุ่ง เพลี้ยไก่ฟ้ากระถิน เพลี้ยไก่แจ้ทุเรียน แมลงหวี่ขาว อ้อย เพลี้ยหอยอ้อย หนอนคืบละหุ่ง (โกศล และวิวัฒน์, 2538) และเพลี้ยแป้ง (IPM DANIDA,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2006) จากการศึกษาของ Roongfar (1980) พบว่า ตัวอ่อนของด้วงเต่าลายหยักสามารถกินเพลี้ยอ่อนได้เฉลี่ย 110.45 ± 4.04 ตัว และตัวเต็มวัยสามารถกินเพลี้ยอ่อนได้เฉลี่ย 1,056.90 ± 59.83 ตัว ตลอดชีวิตกินเพลี้ยอ่อนได้ 1,167.37 ± 62.72 ตัว ด้วงเต่าลายหยักเป็นตัวห้ำทั้งระยะที่เป็นตัวอ่อนและตัวเต็มวัย Volkl *et al*. (2007) มักพบอยู่ร่วมกันในบริเวณที่มีเหยื่อ สามารถทำลายแมลงศัตรูพืชได้ทุกระยะ ทั้งระยะไข่ ระยะหนอน ระยะดักแด้ และตัวเต็มวัย โดยตัวอ่อนวัยแรกจะกัดเหยื่อแล้วดูดกินของเหลวภายในตัวเหยื่อ ตัวอ่อนวัยถัดมา และตัวเต็มวัยจะกัดกินและเคี้ยวเหยื่อได้ทั้งตัว (สมหมาย, 2545; Hajek, 2004) นอกจากนี้ เมื่ออาหารขาดแคลนด้วงเต่าลายสามารถกินน้ำหวานที่แมลงกลั่นออกมา (honeydew) น้ำหวานจากดอกไม้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) และเกสรจากดอกไม้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551; IPM DANIDA, 2006) นอกจากนั้น Berkvens *et al*. (2008) ได้ศึกษาพบว่า เกสรผึ้งสามารถนำมาใช้เป็น alternative food ในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่า *H. axyridis* ในสภาพห้องปฏิบัติการได้

แม้ด้วงเต่าจะเป็นศัตรูธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายศัตรูพืชจำพวกปากดูด แต่ความเป็นจริงในสภาพธรรมชาติพบว่าด้วงเต่าตัวห้ำไม่สามารถควบคุมศัตรูพืชให้ต่ำกว่าระดับเศรษฐกิจได้ เนื่องจากหนอนของด้วงเต่ากัดกินไข่ หนอน และดักแด้กันเอง รวมทั้งด้วงเต่าตัวเต็มวัยที่กัดกินไข่ของตัวเอง นอกจากนั้นยังพบศัตรูธรรมชาติของด้วงเต่าเข้าทำลายทั้งในระยะหนอน ระยะดักแด้ รวมถึงระยะตัวเต็มวัย โดยส่วนใหญ่เป็นพวกแมลงเบียน ตัวหนอนของด้วงเต่าที่ถูกตัวเบียนเข้าทำลายจะเคลื่อนที่ช้าลง กินอาหารได้น้อย ลำตัวมีลักษณะแห้งดำ เช่นเดียวกับดักแด้ที่ถูกเบียน เรียกว่า “มัมมี่” จากปัจจัยดังกล่าวมีผลให้ประชากรศัตรูพืชเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว นุชรีย์ (2538) ศึกษาและเก็บรวบรวมหนอนและดักแด้ของด้วงเต่าที่มีสีดำในสภาพธรรมชาติ จากแปลงปลูกพืชหลายชนิด มาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ พบด้วงเต่า 5 ชนิด ในแปลงปลูกพืชที่มีเพลี้ยอ่อนลงทำลาย ส่วนใหญ่พบระยะหนอนมากกว่าระยะตัวเต็มวัย ได้แก่ ด้วงเต่า *Harmonia octomaculata*, *Coccinella transversalis*, *Menochilus sexmaculatus*, *Micraspis discolor* และ *Synonycha grandis* จากการศึกษาพบแมลงเบียนทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่

1. *Homalotylus flaminius* (Dalmen) (Hymenoptera: Encyrtidae)
2. *Pediobius foveolatus* (Crawford) (Hymenoptera: Eulophidae)
3. แมลงเบียนวงศ์ Pteromalidae 1 ชนิด
4. แมลงเบียนวงศ์ Eupelmidae 1 ชนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**สารอาหารที่จำเป็นสำหรับแมลง**

สารอาหาร หมายถึง สารเคมีที่สิ่งมีชีวิตต้องการสำหรับการเจริญเติบโต การสร้างเนื้อเยื่อ การขยายพันธุ์ และเป็นแหล่งพลังงาน (Genc, 2006) แมลงเป็นสิ่งมีชีวิตจำพวก heterotroph ต้องกินสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่มีชีวิตอยู่หรือตายแล้วเป็นอาหาร เพื่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการแพร่ขยายพันธุ์เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ โดยทั่วไปสารอาหารที่อยู่ในอาหารของแมลงแบ่งออกเป็นกลุ่มสารอาหารหลัก (macronutrients) ได้แก่ โปรตีนคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำ กลุ่มสารอาหารรอง (micronutrients) ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และ trade elements รวมทั้งกลุ่มของสารเคมีที่ไม่ใช่สารอาหาร (nonnutrient chemicals) (Barbehenn *et al*., 1999; Cohen, 2004; Meyer, 2006) ซึ่งความต้องการสารอาหารที่จำเป็นสำหรับแมลงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับ การเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ การพักตัว และการอพยพ (Genc, 2006) และความสัมพันธ์ระหว่างสารอาหารที่จำเป็น, ประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร และคุณภาพของอาหารของแมลง มีผลกระทบอย่างมากต่อการแพร่กระจาย การอยู่รอด และการขยายพันธุ์ของแมลง (Barbehenn *et al*., 1999) องค์ประกอบหลักในอาหารของแมลงประกอบด้วย

**1. โปรตีน และกรดอะมิโน**

แมลงส่วนใหญ่ต้องการโปรตีนในระดับที่เหมาะสมในอาหาร สำหรับการเจริญเติบโต เช่น การสร้างเซลล์ เนื้อเยื่อ และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ แตกต่างกันไปตามชนิดของแมลง แมลงมีความต้องการกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acids) หลายชนิดจากอาหารเช่นเดียวกับสัตว์ใหญ่และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอย่างน้อย 10 ชนิด เช่น arginine, histidine, leucine, isoleucine, lysine, methioneine, phenylalanine, threonine, trythophan และ valine นอกจากกรดอะมิโนที่จำเป็นแมลงหลายชนิดสามารถย่อยสลายโปรตีนจากอาหารเพื่อได้รับกรดอะมิโน (non-essential amino acids)

**2. คาร์โบไฮเดรต**

คาร์โบไฮเดรตถือเป็นแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญของแมลง ซึ่งแมลงบางชนิดสามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตได้จากไขมัน และกรดอะมิโน นอกจากนั้นคาร์โบไฮเดรตบางชนิดมีบทบาทในการกระตุ้นการกิน เช่น น้ำตาลซูโครส

**3. ไขมัน**

หน้าที่ของไขมัน คือ เป็นตัวขนส่งหรือเคลื่อนย้ายสารที่ละลายได้ในไขมันไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย แมลงหลายชนิดมีความต้องการ Cholesterol สำหรับการเจริญเติบโตในระยะตัวอ่อน และการสร้างไข่ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่คล้ายกับ juvenile hormone ที่ละลายอยู่ในไขมันของแมลง ในบางครั้ง Cholesterol อาจจะมีบทบาทในการสร้าง steroid hormone หลายชนิด เช่น ฮอร์โมนที่ใช้ในการลอกคราบ (ecdysteroid molting hormones) หากแมลงไม่ได้รับ sterol หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้รับในปริมาณไม่เพียงพอจะทำให้สูญเสียภูมิคุ้มกันและทำให้แมลงอ่อนแอ ได้รับการเข้าทำลายจากเชื้อแบคทีเรียได้ง่าย นอกจากนั้นกรดไขมันอิ่มตัวมีความจำเป็นสำหรับกระบวนการลอกคราบของแมลงเพื่อเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย

**4. วิตามิน**

มนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมถึงแมลงมีความต้องการวิตามินที่ละลายในไขมันและวิตามินที่ละลายในน้ำจากอาหาร โดยทั่วไปวิตามินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ วิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินซี และกลุ่มวิตามินบีรวม (thiamine; $B_1$, riboflavin; $B_2$, pyridoxine; $B_6$) อีกกลุ่มหนึ่งคือวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค ซึ่งแมลงมีความสามารถในการสังเคราะห์วิตามินชนิดนี้จากแหล่งอาหารอื่น ๆ บทบาทสำคัญของวิตามินคือการทำงานร่วมกับเอนไซม์หรือน้ำย่อยในกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร เพื่อให้เกิดการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

**5. แร่ธาตุ**

แร่ธาตุเป็นสารอนินทรีย์ที่สิ่งมีชีวิตต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับการทำงานในระบบต่าง ๆ ของแมลงมีหลายชนิด ได้แก่ sodium, potassium, calcium, magnesium chloride และ magnesium phosphate บทบาทหรือหน้าที่ของแร่ธาตุในอาหาร คือ การเป็นตัวเสริมหรือกระตุ้นให้เกิดการทำงานของปฏิกิริยาทางเคมีภายในเซลล์ แร่ธาตุบางชนิดช่วยปรับสมดุลความเป็นกรดด่างในร่างกาย บางชนิดเกี่ยวข้องกับการสร้างเม็ดเลือด บางชนิดเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์ฮอร์โมน เป็นต้น

**6. สารกระตุ้นการกิน (Phagostimulants)**

สารกระตุ้นการกิน หมายถึง สารประกอบทางเคมีที่มีผลต่อการกินอาหารของแมลง เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้แมลงเข้าหาอาหารหรือปฏิเสธที่จะเข้าหาอาหาร สารกระตุ้นการกินของแมลงมีหลายชนิด เช่น L-amino acids, γ-amino butyric acid, cucurbitacin B, น้ำตาล hexose, น้ำตาล sucrose, mustard oil glucosides, adenosine triphosphate ร่วมกับ sodium ions, lipids, phospholipids, triglycerides, sterols, sterol esters และ fatty acids เป็นต้น

**7. สารระงับการกิน (Feeding Deterrents)**

สารระงับการกิน หมายถึง สารประกอบในอาหารที่มีผลในการยับยั้งการกินอาหารของแมลง เช่น β-hydrastine, strychnine-HCl, ammonium nitrates และ sitona cylindricollis เป็นต้น (สมจิต และอรอนงค์, 2546; Gilmour, 1961; Patton, 1963; Barbehenn *et al*., 1999; Meyer, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**กระบวนการ freeze drying กับการพัฒนาอาหารเทียม**

การอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying หรือ lyophilization) เป็นกระบวนการที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำแห้งอาหาร ที่มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือและระบบทำความเย็นร่วมกับเครื่องปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำสุญญากาศ ทำให้จำกัดการใช้กับผลิตภัณฑ์บางชนิดเท่านั้น เช่น Biological substances ผลิตภัณฑ์ยา อาหารพร้อมรับประทานสำหรับกองทัพ และใช้ในการเก็บรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการแปรรูปอาหาร เป็นต้น (วนิดา, 2552; วิไล, 2543)

**หลักการหรือทฤษฎี**

กระบวนการ freeze drying หรือ lyophilization แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ 1) Pre-freezing 2) Primary drying และ 3) Secondary drying

**1) Pre-freezing**

เป็นการลดอุณหภูมิของสารเพื่อทำให้เกิดผลึกของน้ำในผลิตภัณฑ์ก่อนทำ Primary drying หรือเป็นการทำให้สารแข็งตัวใน freeze dryer เพื่อยึดโครงสร้างผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในสภาพ solid matrix ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพในขณะที่น้ำถูกกำจัดให้หมดไป ผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอย่างสมบูรณ์เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

**2) Primary drying**

เป็นสภาวะการระเหิด เพื่อดึงเอาน้ำแข็งออกจากผลิตภัณฑ์ เมื่อ Primary drying เสร็จสมบูรณ์ น้ำแข็งจะละลายหมดไป แต่ยังมีความชื้นหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ จึงต้องดึงความชื้นออกโดยใช้ Secondary drying

**3) Secondary drying**

เป็นกระบวนการดูดความชื้นที่ยังหลงเหลือจาก Primary drying

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดิบมาก คงคุณค่าทางด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถคงตัวอยู่ได้นาน ณ อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษายาวนานกว่า 12 เดือนหรือหลายปี หากเก็บรักษาในสภาพปิดมิดชิด และสามารถนำกลับมาละลายน้ำได้ง่ายและรวดเร็ว (วนิดา, 2552; วิไล, 2543; สุคนธ์ชื่น, 2546; Wikipedia, 2009) ซึ่งความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบดั้งเดิมและการอบแห้งแบบระเหิดนั้นได้อธิบายไว้ในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ตารางที่ 3** ความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบดั้งเดิมและการอบแห้งแบบระเหิด

| วิธีอบแห้งแบบดั้งเดิม | วิธีอบแห้งแบบระเหิด |
|---|---|
| 1. ได้ผลดีกับอาหารที่แห้งง่าย เช่น ผัก เมล็ด-ธัญพืช | 1. ได้ผลดีสำหรับอาหารส่วนใหญ่ แต่การใช้จำกัดอยู่กับอาหารที่อบแห้งยากด้วยวิธีอื่น |
| 2. โดยทั่วไปไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์เนื้อ | 2. ได้ผลดีกับเนื้อสุกหรือสด |
| 3. ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ 37-93 องศาเซลเซียส | 3. ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง |
| 4. ใช้ความดันบรรยากาศ | 4. ลดความดัน (27-133 Pa) |
| 5. อาศัยการระเหยน้ำจากผิวของอาหาร | 5. อาศัยการระเหิดของน้ำแข็ง |
| 6. เกิดการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายและอาจเกิดเปลือกแข็ง | 6. มีการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายน้อยที่สุด |
| 7. แรงเค้นในอาหารทำให้เกิดความเสียหายของโครงสร้างและเกิดการหดตัว | 7. เกิดความเสียหายของโครงสร้างและการหดตัวน้อยที่สุด |
| 8. เกิดการกำจัดน้ำอย่างช้า ๆ และไม่สมบูรณ์ | 8. เกิดการกำจัดน้ำขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ |
| 9. ได้ของแข็งหรืออาหารแห้งที่มีรูพรุนซึ่งมักจะมีความหนาแน่นสูงกว่าวัตถุดิบ | 9. ได้อาหารแห้งที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าวัตถุดิบเริ่มต้น |
| 10. กลิ่นรสมักผิดปกติ | 10. กลิ่นรสมักไม่เปลี่ยน |
| 11. สีมักจะคล้ำลง | 11. สีไม่ค่อยเปลี่ยน |
| 12. คุณค่าทางโภชนาการลดลง | 12. คุณค่าทางโภชนาการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก |
| 13. ต้นทุนต่ำ | 13. ต้นทุนสูง อาจสูงถึง 4 เท่าของวิธีอบแห้งแบบดั้งเดิม |

ที่มา: วิไล (2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**การเพาะเลี้ยงด้วงเต่าลายหยักด้วยอาหารเทียม**

มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาอาหารเทียมสำหรับเพาะเลี้ยงด้วงเต่าตัวห้ำมาเป็นระยะเวลายาวนาน แต่มีอาหารเทียมเพียงไม่กี่ชนิดที่ประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่าตัวห้ำได้ ดังนั้นในการพัฒนาอาหารเทียมจึงต้องผลิตอาหารเทียมที่ประกอบด้วยสารอาหารที่จำเป็น และคงความสามารถในการแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างมีคุณภาพและต่อเนื่อง นอกจากนั้นตัวห้ำที่ผลิตด้วยอาหารเทียมต้องยังคงความสามารถในการค้นหา การตั้งรกราก และการกำจัดเหยื่อเป้าหมายได้ดีในสภาพแปลง (Cohen, 2004)

การทดลองใช้อาหารเทียมเพาะเลี้ยงด้วงเต่าตัวห้ำในวงศ์ Coccinellidae ยังไม่มีการศึกษามากนักในประเทศไทย โดยสุกัญญา (2540) ได้ใช้ผงตัวอ่อนผึ้งในการเลี้ยงด้วงเต่าลายหยัก *M. sexmaculatus* เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วงเต่าด้วยเพลี้ยอ่อน พบว่า ผงตัวอ่อนผึ้งสามารถใช้เป็นอาหารเพื่อเพาะเลี้ยงขยายปริมาณด้วงเต่าลายหยักได้ แต่ตัวเต็มวัยจะไม่วางไข่ ถ้าให้เพลี้ยอ่อนเป็นอาหารแก่ตัวเต็มวัยจะสามารถวางไข่ได้ตามปกติ นอกจากนี้ มีคำแนะนำในระหว่างการเพาะเลี้ยงว่าควรให้วุ้นน้ำหวานชิ้นเล็ก ๆ สลับกับเหยื่อสด เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน โดยเฉพาะกับตัวเต็มวัยเพศเมียในช่วงก่อนการวางไข่ (กรมวิชาการเกษตร, 2549) หรือให้ใช้น้ำผึ้งหรือน้ำผึ้งผสมยีสต์ ควบคู่กับการให้อาหารอย่างเพียงพอในระยะตัวเต็มวัย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

สำหรับในต่างประเทศ มีรายงานว่า ในประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาอาหารเทียมขึ้นมาใช้เลี้ยงด้วงเต่าตัวห้ำ Japanese ladybird, *H. axyridis* (Matsuka and Niijima, 1985) และ vedalia beetles (Matsuka *et al*., 1982) ซึ่งประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี นอกจากนั้น Matsuka and Niijima (1985) ได้ทดลองเลี้ยงด้วงเต่าตัวห้ำหลายชนิดด้วยผงตัวอ่อนผึ้งเพศผู้ และด้วงเต่าตัวห้ำหลายชนิดสามารถเพาะเลี้ยงได้อย่างต่อเนื่องหลายรุ่น ได้แก่ ด้วงเต่า *Aiolocaria hexaspilota* เพาะเลี้ยงได้ 3 รุ่น ด้วงเต่า *Anisocalvia quatuordecimguttata* เพาะเลี้ยงได้ 2 รุ่น ด้วงเต่า *Chilocorus kuwanae* เพาะเลี้ยงได้ 2 รุ่น ด้วงเต่า *Coccinella explanata* เพาะเลี้ยงได้ 2 รุ่น ด้วงเต่า *Coccinella septempunctata bruckii* เพาะเลี้ยงได้ 4 รุ่น ด้วงเต่า *Coccinula crotchi* เพาะเลี้ยงได้ 3 รุ่น ด้วงเต่า *Eocaria muiri* เพาะเลี้ยงได้ 11 รุ่น ด้วงเต่า *Harmonia axyridis* เพาะเลี้ยงได้ 16 รุ่น ด้วงเต่า *Harmonia yedoensis* เพาะเลี้ยงได้ 8 รุ่น ด้วงเต่า *Hippodamia tredecimpunctata* เพาะเลี้ยงได้ 2 รุ่น ด้วงเต่า *Illeis koebelei* เพาะเลี้ยงได้ 3 รุ่น ด้วงเต่า *Lemnia biplagiata* เพาะเลี้ยงได้ 2 รุ่น ด้วงเต่า *Menochilus sexmaculatus* เพาะเลี้ยงได้ 8 รุ่น และด้วงเต่า *Propylea japonica* เพาะเลี้ยงได้ 6 รุ่น

Szumkowski ได้รับการกล่าวถึงว่าเป็นบุคคลแรกที่เลี้ยงขยายปริมาณด้วงเต่าด้วยอาหารเทียม โดยด้วงเต่า *Coleomegilla maculata maculata* (DeGeer) จัดเป็นด้วงเต่าตัวห้ำชนิดแรกที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ในห้องปฏิบัติการตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะตัวเต็มวัยและสามารถวางไข่ได้ ตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อ่อนถูกเลี้ยงด้วยตับสดผสมกับวิตามิน และสามารถพัฒนาสู่ระยะตัวเต็มวัยได้ถึง 86% ต่อมาได้มีการเพาะเลี้ยงด้วงเต่า *Hippodamia convergens* ในห้องปฏิบัติการด้วยอาหารกึ่งสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยสารสกัดจากตับ และในการทดลองกับด้วงเต่า *C. maculata maculata* และด้วงดิน *Calosoma sycophanta* ได้ยืนยันว่าตับเป็นแหล่งของสารอาหารสำหรับการพัฒนาการของด้วงเต่า (Thompson, 1999)

มีการศึกษาวิจัยการใช้อาหารเทียมเลี้ยงด้วงเต่าอย่างกว้างขวางในประเทศญี่ปุ่น เช่น Okada *et al*. (1971, 1972) และ Matsuka *et al*. (1972) ประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่า *H. axyridis* ได้ถึง 16 รุ่น และด้วงเต่า *M. sexmaculatus* ได้ 3 รุ่น ในห้องปฏิบัติการด้วยอาหารเทียมซึ่งประกอบด้วย ผงตัวอ่อนและผงดักแด้ของผึ้งพันธุ์เพศผู้ ส่วน Niijima *et al*. (1986) ได้อธิบายถึงการใช้ผงตัวอ่อนผึ้งในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่าหลายชนิดรวมถึง *A. bipunctata*, *Anatis halonis* Lewis, *Coccinella explanata* Miyatake, *C. septempunctata*, *Coccinula crotchi* (Lewis), *Eocaria muiri*, *H. axyridis*, *H. yedoensis* Takizawa, *H. convergens*, *Hippodamia tredecimpunctata* L., *Lemnia beplagiata* (Swartz), *M. sexmaculatus*, *Propylea japonica*, *S. hilaris* และ *S. otohime* ว่าให้ผลไม่แน่นอน แต่มีด้วงเต่า 3 ชนิดที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ตั้งแต่ระยะไข่ถึงระยะตัวเต็มวัยได้อย่างต่อเนื่องถึง 11, 16 และ 25 รุ่น ได้แก่ ด้วงเต่า *E. muiri*, *H. axyridis* และ *M. sexmaculatus* ตามลำดับ ซึ่งพัฒนาการของตัวอ่อน ช่วงชีวิตของตัวเต็มวัย และการขยายพันธุ์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนั้น Niijima *et al*. (1997) ได้พัฒนาอาหารที่มีต้นทุนต่ำและประหยัดแรงงาน สำหรับเพาะเลี้ยงขยายปริมาณด้วงเต่า *H. axyridis* ซึ่งผงตัวอ่อนผึ้งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่าชนิดนี้ และพบว่าน้ำตาลซูโครสมีบทบาทในการกระตุ้นให้เกิดการกิน (phagostimulant) นอกจากนั้น autolyzed yeast, ตับไก่ และอาหารปลา สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร เพื่อลดต้นทุนของผงตัวอ่อนผึ้ง

Smirnoff (1958) ประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงด้วงเต่าหลายชนิดด้วยอาหารเทียมในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ด้วงเต่า *Psyllobora* (= *Thea*) *virgintiduopunctata* (L.), *C. septempunctata*, *Oenopia* (= *Harmonia*) *doublieri* (Mulsant), *O.* (= *Harmonia*) *conglobata* (L.), *Rhizobius lophantae* (Blaisdell), *R. litura* (F.), *Rodolia cardinalis* (Mulsant), *Exochomus anchorifer* Allard, *E. quadripustulatus* (L.), *E. nigromaculatus* Erhorn, *Scymnus suturalis* Thunberg, *S. pallidivestis* Mulsant, *S. kiesenwetteri* Mulsant, *Stethorus punctillum* Weise, *Chilocorus bipustulatus* (L.), *Clitostethus arcuatus* Rossi, *Pharoscymnus numidicus* Pie และ *P. ovoideus* Sicard อาหารเทียมประกอบด้วยน้ำตาล sucrose, น้ำผึ้ง, แป้ง alfalfa, ยีสต์, นมผึ้ง และผงวุ้น ร่วมกับผงเหยื่ออบแห้ง นอกจากนั้นได้ใช้ผงตัวอ่อนผึ้งเพศผู้และเพศเมีย เป็นส่วนผสมหลักในการทำอาหารเทียมสำหรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลี้ยงแมลงช้างปีกใสและด้วงเต่าตัวห้ำ พบว่าประสบความสำเร็จเพียงบางส่วน เนื่องจากอาหารเทียมมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ขนาดของตัวเต็มวัย และการขยายพันธุ์

Smith (1965, 1966) ได้เพาะเลี้ยงด้วงเต่าหลายชนิด รวมถึง *C. maculate lengi* ด้วยเพลี้ยอ่อนอบแห้งผสมกับเกสร ต่อมา Attallah and Newsom (1966) เพาะเลี้ยงด้วงเต่าชนิดนี้ได้ 8 รุ่น ด้วยอาหารเทียมที่ประกอบด้วย casein, sucrose, wheat germ, soybean hydrolysate, glycogen, butter fat, corn oil, a liver factor, dextrose, cotton leaf extract (with carotenoids and steroids), brewer's yeast, ascorbate, inorganic salts, vitamins และ agar

DeBach (1964) กล่าวว่า การทดลองของ Szumkowski ในปี ค.ศ. 1952 กับด้วงเต่า *Coleomegilla* sp. ที่เลี้ยงด้วยไข่ผีเสื้อหลาย ๆ ชนิด พบว่า สามารถเพาะเลี้ยงด้วงเต่าตัวเต็มวัยได้ดีด้วยตับสดหรือเนื้อสด และมีช่วงชีวิตยาวนานกว่าด้วงเต่าที่เลี้ยงด้วยเพลี้ยอ่อน แต่ด้วงเต่าเหล่านี้ไม่วางไข่เมื่อเลี้ยงตัวอ่อนด้วยอาหารเทียมก่อนเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย การเติม Multivitamin Roche ผสมกับตับและวิตามินซี มีการพัฒนาของตัวอ่อนสู่ระยะตัวเต็มวัยเพิ่มมากกว่าอาหารที่มีตับผสมกับเพลี้ยอ่อน เมื่อเลี้ยงตัวเต็มวัยด้วยตับผสมกับวิตามินอี, ตับผสมกับวิตามินอีและเพลี้ยอ่อน พบว่าการวางไข่และการผสมพันธุ์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยตับสดหรือเนื้อสดเพียงอย่างเดียว

Henderson *et al*. (1992) พัฒนาอาหารเทียมสำหรับเพาะเลี้ยงด้วงเต่าสกุล Chilocorus 3 ชนิด คือ *Chilocorus bipustulatus* Linnaeus, *C. cacti* Linnaeus และ *C. infernalis* Mulsant พบว่าอาหารเทียมที่ประกอบด้วยตัวอ่อนต่อที่ผ่านกระบวนการ freeze drying ร่วมกับจมูกข้าวสาลี ยีสต์ วิตามินซี และนมผึ้ง สามารถเพาะเลี้ยงตัวอ่อนของด้วงเต่าชนิดนี้ได้

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอาหารเทียมบรรจุในแคปซูลเพื่อนำไปใช้เลี้ยงขยายปริมาณด้วงเต่า Pink spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* ในห้องปฏิบัติการเพื่อจำหน่ายเป็นการค้าสำหรับนำไปใช้ควบคุมแมลงศัตรูในโรงเรือน (Evans, 2002) นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาแคปซูลเรียกว่า “Hydrocapsule®” ซึ่งภายในบรรจุสารละลายของสารอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน สำหรับนำไปใช้เป็นอาหารของด้วงเต่าตัวห้ำ (Analytical Research System, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved