

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### อาหารสัตว์

อุตสาหกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างหนึ่ง คือ อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีจำนวนผู้ผลิตในอุตสาหกรรมนี้เป็นจำนวนมาก เพื่อรองรับการขยายตัวของการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ อาหารสัตว์เป็นปัจจัยสำคัญ และเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในการประกอบการเลี้ยงสัตว์ โดยการผลิตสัตว์ทุกชนิดมีต้นทุนการผลิตมาจากอาหาร 50-80 เปอร์เซ็นต์ (จรัส, 2548)

อาหารสัตว์ (feed) หมายถึง อาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่เป็นพิษต่อร่างกาย เมื่อสัตว์ได้รับอาหารอย่างเพียงพอสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ การดำรงชีพ การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การให้ผลผลิต และการให้พลังงาน (จรัส, 2548)

การผลิตอาหารสัตว์ เกิดจากการนำวัตถุดิบทางการเกษตร และเศษวัตถุดิบเหลือใช้ (by-products) มารวมกันในรูปของสูตรอาหารสัตว์ตามความต้องการโภชนาการของสัตว์ โดยเป็นการแปรมูลค่าสินค้าเกษตรที่มีราคาต่ำมาเป็นเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์สัตว์ที่มีมูลค่ามากขึ้น และเป็นที่ต้องการของตลาด (โกเมศ และคณะ, ม.ป.ป.)

#### ประโยชน์ของอาหารสัตว์

อาหารสัตว์มีประโยชน์ต่อกิจกรรมต่าง ๆ ของสัตว์ ดังนี้

1. เพื่อการดำรงชีพ อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะนำไปใช้ในการทำงานในร่างกาย ดังนี้
  - 1.1 ให้พลังงานในการทำงานต่าง ๆ ของชีวิต เช่น การหายใจ การสูบฉีดโลหิตของหัวใจ เป็นต้น
  - 1.2 ให้ความร้อนแก่ร่างกาย รักษาอุณหภูมิของร่างกายเป็นปกติ
  - 1.3 ซ่อมแซมโปรตีนส่วนที่สึกหรอต่าง ๆ
  - 1.4 ทดแทนแร่ธาตุ และวิตามินที่สูญเสียไป
  - 1.5 ทดแทนน้ำที่ถูกระบายออกไป
2. เพื่อการเจริญเติบโต อาหารจะถูกนำไปเสริมสร้างเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย เป็นการเพิ่มกล้ามเนื้อ กระดูก อวัยวะ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่าง ๆ ทำให้สัตว์มีขนาด และน้ำหนักมากขึ้น
3. เพื่อการสืบพันธุ์ ให้ความสมบูรณ์พันธุ์เป็นไปตามปกติ

4. เพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และปริมาณมาก
5. เพื่อให้พลังงาน การเคลื่อนไหวของอวัยวะต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนไหวยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ในอวัยวะส่วนที่ใช้ทำงาน (จรัส, 2548)

#### อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่

อุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ปีกที่มีความสำคัญที่สุดในปัจจุบัน คือ ไก่ไข่ และไก่เนื้อ ซึ่งประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศได้ให้ความสนใจ มีการนำไปเลี้ยงเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารโปรตีน และเป็นรายได้สำคัญของประเทศ โดยมีคุณสมบัติพิเศษที่สัตว์เลี้ยงประเภทอื่นไม่มีคือ

1. เป็นสัตว์เลี้ยงชนิดเดียวที่สามารถเพิ่มปริมาณครั้งละจำนวนมาก ๆ ได้ด้วยการใช้เครื่องจักร (เครื่องฟักไข่) ช่วย
2. สามารถนำมาเลี้ยงได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ
3. สามารถให้ลูกได้ในระยะเวลาสั้น โดยแม่ไก่เนื้อ 1 ตัว สามารถให้ลูกได้ปีละ 120 ตัว และแม่ไก่ไข่ 1 ตัว สามารถให้ไข่ได้ปีละไม่ต่ำกว่า 200 ฟอง
4. ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงเพียง 6-7 อาทิตย์ ไก่เนื้อก็สามารถเจริญเติบโตได้น้ำหนักถึง 2 กิโลกรัม โดยใช้อาหารประมาณ 4 กิโลกรัม
5. สามารถเลี้ยงได้ง่ายโดยไม่มีปัญหาในเรื่องสภาพดินฟ้าอากาศมากนัก เมื่อมีน้ำและอาหารคุณภาพดีอย่างเพียงพอ
6. ทุกคนบริโภคได้ทั้งเนื้อ และไข่ เป็นที่ยอมรับของบุคคลในทุกศาสนา
7. ลูกไก่อายุวันเดียวจำนวนนับแสนตัวสามารถขนส่งโดยทางเครื่องบินไปยังระยะทางไกล ๆ ได้ (ปฐม, 2540)

เนื้อไก่ และไข่นั้นเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่ย่อยง่าย และมีคุณภาพสูง โดยมีโปรตีนสูงกว่าเนื้อโค และเนื้อสัตว์อื่น อีกทั้งไข่ยังมีวิตามินเอ ดี อี เค และวิตามินบีทุกชนิด เป็นแหล่งแร่ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อมนุษย์ครบถ้วน นอกจากนี้ไก่ยังใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม และการวิจัยอีกด้วย ไข่ที่ไม่ใช่บริโภคสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ และปุ๋ย ไข่ขาวใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา ผลิตสี นำมาขัดเงา กาว หมึกพิมพ์ งานอัดรูป งานทำปกหนังสือ การผลิตเหล้าไวน์ ฟอกหนัง และย้อมผ้า ส่วนไข่แดงนำไปใช้ในการทำขนมเค้ก สบู่ ลี แชมพู ฟอกหนัง และทำปกหนังสือ เป็นต้น ทั้งนี้ยังมีการนำลูกไก่มาทำการวิจัยเกี่ยวกับความต้องการโภชนะต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งนับว่าลูกไก่มีความเหมาะสมมากกว่าการใช้หนู เนื่องจากลูกไก่มีความไวต่อการขาดโภชนะต่าง ๆ จึงทำให้การศึกษาเกี่ยวกับความต้องการวิตามิน แร่ธาตุ และกรดอะมิโนมีความถูกต้องกว่า และอีกประการหนึ่งความต้องการโภชนะต่าง ๆ ของไก่ใกล้เคียงกับมนุษย์มากกว่าหนู นอกจากนี้ลูกไก่ยังมีราคาถูก ขยายพันธุ์ได้ง่าย และสะดวกกว่าการใช้หนูในการทดลอง (ปฐม, 2540)

อุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ในประเทศไทยได้เริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2492 ภายใต้การนำของ ศาสตราจารย์ ดร.หลวงสุวรรณ วาจกสถิจ อดีตอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้ซึ่งได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาแห่งอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่ของประเทศไทย ภายใต้การส่งเสริมการเลี้ยงไก่ของรัฐบาล ทำให้ประชาชนได้มีการตั้งฟาร์มเลี้ยงไก่เป็นการค้าประสบความสำเร็จไปทั่วประเทศ และยังสามารถผลิตไข่ส่งออกไปขายยังต่างประเทศเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2498 ปัจจุบันประเทศไทยนับเป็นประเทศที่ส่งออกไก่เนื้อที่สำคัญ สามารถทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท โดยมีตลาดต่างประเทศที่สำคัญ ได้แก่ ญี่ปุ่น สิงคโปร์ และฮ่องกง เป็นต้น (ปฐม, 2540)

จากการคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2573 ประชากรของโลกจะเพิ่มขึ้นอีกเกือบสองพันล้านคน ทำให้ความต้องการอาหาร อาทิ เนื้อสัตว์ ไข่ และนม จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นความต้องการอาหารสัตว์ก็จะมีมากขึ้นเช่นกัน (กรมการค้าต่างประเทศ, 2547) ประเทศไทยได้มีความต้องการอาหารสัตว์มากขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี โดยปี พ.ศ. 2551 มีความต้องการอาหารสัตว์คิดเป็นปริมาณ 11,621,470 ตัน (สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย, 2550)

ตาราง 2.1 ปริมาณความต้องการอาหารสัตว์ และการใช้วัตถุดิบของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2551

ชนิดสัตว์	อาหารสัตว์ (ตัน)	ปลาป่น (ตัน)	กากถั่วเหลือง (ตัน)	ข้าวโพด (ตัน)	ปลายข้าว (ตัน)
ไก่เนื้อ	3,113,510	93,405.3	934,053.1	1,930,376.4	0.0
ไก่พ่อแม่พันธุ์	489,888	14,696.6	122,472.0	293,932.8	0.0
ไก่ไข่เล็กรุ่น	597,285	17,918.6	149,321.3	358,371.0	0.0
ไก่ไข่ให้ไข่	1,333,800	66,690.0	333,450.0	733,590.0	0.0
ไก่ไข่พ่อแม่พันธุ์	18,000	540.0	4,500.0	10,800.0	0.0
หมูขุน	3,334,680	100,040.4	666,936.0	833,670.0	666,936.0
หมูพันธุ์	778,410	38,920.5	155,682.0	0.0	350,284.5
เป็ดเนื้อ	189,907	11,394.4	37,981.4	28,486.1	66,467.5
เป็ดพันธุ์	16,425	985.5	4,927.5	1,642.5	7,391.3
เป็ดไข่	117,000	9,360.0	17,550.0	0.0	46,800.0
โคนม (ตัว)	320,288	0.0	16,014.4	48,043.1	0.0
กึ่ง (ตัน)	794,700	90,945.0	155,268.0	0.0	0.0
ปลา (ตัว)	517,577	103,515.3	155,273.0	155,273.0	0.0
รวม	11,621,470	548,411.6	2,753,428.6	4,394,184.9	1,437,879.3

ที่มา: สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ไทย (2550)

## อาหารไก่

อาหารคุณภาพดีเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของความสำเร็จในการเลี้ยงไก่ ไก่ที่ได้รับอาหารดี มีโภชนาครบถ้วน และเพียงพอต่อความต้องการ จะทำให้ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตสูง มีสุขภาพร่างกายแข็งแรง มีความต้านทานโรคสูง และให้ผลผลิตดี (อาวูธ, 2538) ไก่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ง่าย และโตเร็วกว่าสัตว์ประเภทอื่น ดังนั้นไก่จึงต้องได้รับโภชนาที่จำเป็นอย่างเพียงพอเพื่อผลิตเนื้อ และไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปฐม, 2540)

### โภชนา (nutrients)

หมายถึง สารเคมี หรือกลุ่มของสารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน และเป็นส่วนประกอบของอาหารที่ร่างกายสัตว์สามารถนำไปใช้ มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และสุขภาพของสัตว์ แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และน้ำ (อาวูธ, 2538; ปฐม, 2540)

#### 1. โปรตีน (protein)

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์อันซับซ้อน มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ นอกเหนือจากธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน โปรตีนบางชนิดยังประกอบด้วยฟอสฟอรัส เหล็ก และกำมะถันในปริมาณเล็กน้อยอีกด้วย โปรตีนประกอบขึ้นด้วยโมเลกุลของกรดอะมิโน ชนิดต่าง ๆ กว่า 20 ชนิด โดยกรดอะมิโนบางชนิดร่างกายไก่สามารถสังเคราะห์ได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย เรียกว่า กรดอะมิโนไม่จำเป็น ขณะที่กรดอะมิโนบางชนิดไม่สามารถสังเคราะห์ได้เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเสริมลงไปในอาหารคือ กรดอะมิโนจำเป็น ซึ่งในไก่มี 11 ชนิด คือ อาร์จินีน ไลซีน เมทไธโอนีน ทรีโตนีน ทรีโอนีน ไอโซลูซีน ลูซีน เฟีนิลอะลานีน ฮิสติดีน เวลีน และไกลซีน ถ้าหากไก่ได้รับกรดอะมิโนในปริมาณไม่เพียงพอก็จะส่งผลให้ไก่มีการเจริญเติบโตช้า ร่างกายอ่อนแอ เป็นโรคได้ง่าย และให้ผลผลิตน้อย (อาวูธ, 2538; ปฐม, 2540) โปรตีนมีความสำคัญต่อไก่คือ เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น กล้ามเนื้อ กระดูก หนัง ขน เล็บ เอ็น เป็นต้น เป็นโครงสร้างของกลไกสำคัญในการดำรงชีพ เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน รวมถึงทำหน้าที่ในการขนส่งสารบางชนิดในร่างกาย อีกทั้งเป็นภูมิคุ้มกัน และช่วยรักษาสมดุลของของเหลวภายใน และภายนอกเซลล์ (อาวูธ, 2538) ดังนั้นในอาหารไก่จึงต้องมีโปรตีนในปริมาณแตกต่างกันไปตามความต้องการของไก่ในแต่ละวัย เช่น ไก่เนื้อระยะ 0-3 สัปดาห์ ต้องการโปรตีนในอาหารสูงถึง 23-24 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไก่เนื้อระยะ 3-6 และ 6-8 สัปดาห์ ต้องการโปรตีนในปริมาณลดลงคือ 20-22 และ 19-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (สุวรรณ และคณะ, 2535)

## 2. คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates)

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในร่างกาย และเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารสัตว์ประมาณ 40-80 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตแบ่งตามลักษณะความยากง่ายในการย่อยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน (nitrogen free extract) ซึ่งเป็นส่วนที่ละลาย และย่อยง่ายโดยเอนไซม์จากสัตว์ ได้แก่ แป้ง และน้ำตาล โดยมีอยู่ในเมล็ดธัญพืช และหัวพืชทั่วไป และกาก หรือเยื่อใย (crude fiber) เป็นส่วนของพืชที่ประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งไก่ไม่สามารถย่อยได้ อย่างไรก็ตามเยื่อใยมีความจำเป็นในอาหารไก่ เนื่องจากเยื่อใยเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในไส้ติ่ง โดยแบคทีเรียจะย่อยเซลลูโลส และผลิตไวตามินเค และบี12 ซึ่งไวตามินนี้จะผ่านส่วนของลำไส้ และขับถ่ายออกมา ทำให้ไก่ได้รับไวตามินโดยการกิน หรือสัมผัสกับสิ่งที่ขับถ่ายออกมา นอกจากนี้เยื่อใยจะกระตุ้นลำไส้ และทำให้เกิดการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นการกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ แม้ว่าเยื่อใยจะทำให้อาหารเกิดความฟาม และมีคุณค่าทางโภชนาต่ำ แต่ก็มีส่วนช่วยในการควบคุมน้ำหนักตัวของไก่ระยะรุ่น และไก่พ่อแม่พันธุ์ (อาวูธ, 2538)

## 3. ไขมัน (fat)

ไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรต แต่ไขมันมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า และมีไฮโดรเจนสูงกว่า จึงทำให้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สูงกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า ไขมันเป็นโภชนาที่ได้จากไขมันสัตว์ และน้ำมันพืช ประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด ส่วนมากร่างกายไก่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ยกเว้นกรดไขมันบางชนิดที่จำเป็นต้องได้รับจากอาหารซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) ส่วนใหญ่จะได้จากกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช ได้แก่ กรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acid) ลิโนเลนิก (linolenic acid) และอาราชิโดนิก (arachidonic acid) กรดไขมันที่จำเป็นช่วยให้ไก่เนื้อเจริญเติบโตเร็ว ไม่สะสมไขมันไว้ในตับ ทำให้ไก่แข็งแรง และไม่เป็นโรคเกี่ยวกับระบบหายใจได้ง่าย อีกทั้งในไก่ยังช่วยให้ไข่ฟองโต และไข่ฟักออกดีอีกด้วย สำหรับกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งมีมากในไขมันสัตว์ ไก่เล็กไม่สามารถย่อยได้โดยเฉพาะกรดสเตียริก (stearic acid) ดังนั้นอาหารไก่เล็กจึงควรใช้แหล่งไขมันจากพืช และเมื่อไก่มีอายุมากขึ้นจึงสามารถใช้ไขมันจากสัตว์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งมีราคาถูกลงกว่า โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ผสมอาหารไก่จะประกอบด้วยไขมันในปริมาณค่อนข้างต่ำเพียง 2-5 เปอร์เซ็นต์ และไม่ควรมากเกิน 9 เปอร์เซ็นต์ ไขมันในอาหารที่ไม่ถูกย่อย หรือดูดซึมจะถูกขับออกมาทางมูล ปริมาณไขมันที่มากเกินไปจะทำให้ไก่ถ่ายเหลว หรือท้องเสีย ทำให้พื้นเปียกและ วัสดุรองพื้นจะเสียเร็ว (อาวูธ, 2538; ปฐม, 2540)



#### 4. ไวตามิน (vitamins)

ไวตามินเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และการดำรงชีพ ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกายดำเนินไปตามปกติ เป็นสารที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ไวตามินแบ่งตามคุณสมบัติในการละลายได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ไวตามินที่ละลายในไขมัน (fat soluble vitamin) ได้แก่ ไวตามินเอ ดี อี และเค กับ ไวตามินที่ละลายในน้ำ (water soluble vitamin) ได้แก่ ไรอามีน (thiamin) ไรโบฟลาวิน (riboflavin) กรดนิโคตินิก (nicotinic acid) กรดโฟลิก (folic acid) ไบโอติน (biotin) กรดแพนโทเทนิก (pantothenic acid) ไพริดอกซีน (pyridoxine) ไวตามินบี 12 (vitamin B<sub>12</sub>) และโคลีน (choline) (สุวรรณ และคณะ, 2535; อารุช, 2538; ปฐม, 2540)

#### 5. แร่ธาตุ (minerals)

แร่ธาตุเป็นสารอนินทรีย์เคมี ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงกระดูก เปลือกไข่ และทุกส่วนของเนื้อเยื่อของร่างกายไก่ ซึ่งมีแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไข่ทั้งฟอง (สุวรรณ และคณะ, 2535) แร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อไก่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แร่ธาตุที่ไก่ต้องการในปริมาณมาก (macro minerals) ได้แก่ แคลเซียม (calcium) ฟอสฟอรัส (phosphorus) แมกนีเซียม (magnesium) โซเดียม (sodium) คลอรีน (chlorine) โพแทสเซียม (potassium) และกำมะถัน (sulfur) ส่วนแร่ธาตุที่ไก่ต้องการปริมาณน้อย (trace minerals) ได้แก่ เหล็ก (iron) ทองแดง (copper) โคบอลต์ (cobalt) ไอโอดีน (iodine) แมงกานีส (manganese) สังกะสี (zinc) โมลิบดีเนียม (molybdenium) ซีลีเนียม (selenium) และฟลูออรีน (fluorine)

#### 6. น้ำ (water)

น้ำเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของร่างกาย โดยร่างกายไก่มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 55-78 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของไก่ โดยไก่เล็กประกอบด้วยน้ำในปริมาณสูงกว่าไก่โต น้ำมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของร่างกาย การสูญเสียน้ำเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของร่างกายอาจทำให้ไก่ตายได้ (อารุช, 2538) ดังนั้นน้ำจึงมีประโยชน์ต่อร่างกายไก่ เป็นส่วนประกอบสำคัญของโลหิต น้ำเหลือง และของเหลวอื่น ๆ ในร่างกาย หล่อเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ เป็นสื่อพาอาหารมาย่อยทำให้อาหารอ่อนตัวแล้วนำไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และนำของเสีย หรือกากขับถ่ายออกจากร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยระบายความร้อนจากตัวไก่โดยผ่านทางปอด ต่อม และผิวหนัง ในอาหารไก่ประกอบด้วยน้ำประมาณ 6-12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีน้ำที่ใหม่ และสะอาดให้ไก่กินตลอดเวลา

### ความต้องการโภชนะของไก่

ความต้องการโภชนะของไก่ทางด้านเศรษฐกิจ หมายถึง ความต้องการโภชนะต่าง ๆ ในปริมาณขั้นต่ำสำหรับการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพในการใช้อาหาร การให้ไข่ และการฟักออกที่ดีที่สุด โดยไก่ต้องการโภชนะต่าง ๆ เพื่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และเพื่อป้องกันการเป็นโรคจากการขาดโภชนะบางอย่าง (ปทุม, 2540)

#### 1. ความต้องการพลังงาน

ปกติไก่จะกินอาหารในปริมาณตามความต้องการของอาหารพลังงาน โดยไก่จะกินอาหารที่มีพลังงานต่ำในปริมาณที่มากกว่าอาหารที่มีพลังงานสูง เพื่อให้ได้ปริมาณอาหารพลังงานที่ต้องการเท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อมด้วย ในหน้าร้อนไก่จะกินอาหารปริมาณน้อยกว่าในหน้าหนาว เพราะในหน้าร้อนไก่ต้องการอาหารพลังงานน้อยกว่าหน้าหนาว ด้วยเหตุนี้การให้อาหารไก่ในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน จำเป็นต้องให้อาหารสูตรที่มีโภชนะต่าง ๆ ที่ค่อนข้างเข้มข้น และมีความแน่นสูง ดังนั้นอาหารผสมในรูปอาหารอัดเม็ดจึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการเลี้ยงไก่ในเมืองไทย

#### 2. ความต้องการโปรตีน

ความต้องการโปรตีนของไก่เป็นความต้องการขั้นต่ำของกรดอะมิโนที่จำเป็นกับไนโตรเจนในปริมาณที่มากพอสำหรับให้ไก่สังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น ซึ่งการเพิ่มโปรตีนในสูตรอาหารจะทำให้ไก่เจริญเติบโตเร็วขึ้น และให้ไข่มากขึ้น

ตาราง 2.2 ความต้องการ โปรตีน และพลังงานในไก่ระยะต่าง ๆ

ชนิด	โปรตีน	พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)
ไก่เนื้อ		
ระยะ 0-3 สัปดาห์	23.0	3,200
ระยะ 4-6 สัปดาห์	20.0	3,200
ระยะ 7-8 สัปดาห์	18.0	3,200
ไก่ไข่		
ระยะ 0-6 สัปดาห์	18.0	2,900
ระยะ 7-14 สัปดาห์	15.0	2,900
ระยะ 15-20 สัปดาห์	12.0	2,900
ระยะวางไข่ และไก่พันธุ์ไข่	14.5	2,900
ไก่พันธุ์เนื้อ	14.5	2,850

ที่มา: อารุท (2538)

ตาราง 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนที่ไก่ต้องการ

กรดอะมิโน	กรดอะมิโนในโปรตีนของอาหาร (เปอร์เซ็นต์)	
	ไก่เล็ก-รุ่น (เปอร์เซ็นต์)	ไก่ไข่ (เปอร์เซ็นต์)
อาร์จินีน	5.0	5.5
ไกลซีน และเซอรีน	1.0	-
ฮิสติดีน	2.0	2.1
ไอโซลิวซีน	4.0	5.5
ลูซีน	7.0	8.4
ไลซีน	5.0	4.5
เมทไธโอนีน	2.0	2.1
เมทไธโอนีน และซิสทีน	3.6	3.9
เฟนิลอะลานีน	3.5	4.9
เฟนิลอะลานีน และไทโรซีน	7.0	7.2
ทรีโอนีน	3.5	3.9
ทริปโตเฟน	1.0	1.1
เวอรีน	4.3	5.5

ที่มา: ปฐม (2540)

### 3. ความต้องการวิตามิน

ในทางปฏิบัติการให้วิตามินในอาหารผสมจะให้ในปริมาณที่มากกว่าความต้องการขั้นต่ำ เพื่อเพื่อไว้สำหรับวิตามินที่อาจสูญเสียในระหว่างการผสมอาหาร การขนส่ง และระหว่างการเก็บรักษา วิตามินบางชนิดร่างกายไก่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ เช่น วิตามินซี ซึ่งการให้วิตามินซีเพิ่มในอาหารพบว่าสามารถช่วยให้ไก่ไข่ดีขึ้น และช่วยลดอาการเครียด

### 4. ความต้องการแร่ธาตุ

การให้แร่ธาตุต่าง ๆ ในทางปฏิบัติจะให้ในปริมาณที่สูงกว่าความต้องการขั้นต่ำเช่นเดียวกับวิตามิน ไก่ระยะกำลังเจริญเติบโตมีความต้องการธาตุแคลเซียม และฟอสฟอรัสเพื่อสร้างกระดูก และไก่อายุให้ไข่ต้องการธาตุแคลเซียมสำหรับสร้างเปลือกไข่ ไก่ต้องการแร่ธาตุบางชนิดในปริมาณเพียงเล็กน้อย และในอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อแร่ธาตุชนิดหนึ่งมากเกินไปก็จะทำให้แร่ธาตุอีกชนิดหนึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายได้ อันได้แก่ ปริมาณของธาตุแคลเซียมกับแมกนีสิียม หรือสังกะสี ซิลิเนียมกับเมอร์คิวรี และทองแดงกับโมลิบดีนัม เป็นต้น



ตาราง 2.4 ระดับวิตามินที่แนะนำให้ใช้สำหรับอาหารไก่ 1 กิโลกรัม

วิตามิน	ไก่เล็ก และไก่เนื้อ	ไก่รุ่น และไก่เนื้อ	ไก่ไข่	ไก่พันธุ์
วิตามินเอ (ไอ.ยู.)	11,000	6,600	8,800	11,000
วิตามินดี (ไอ.ยู.)	1,100	660	1,100	1,100
วิตามินอี (ไอ.ยู.)	11	88	-	11
วิตามินเค (ไอ.ยู.)	2.2	2.2	2.2	2.2
โซอามีน (มก.)	2.2	2.2	2.2	2.2
ไรโบฟลาวิน (มก.)	4.4	4.4	4.4	5.5
กรดแพนโทเทนิค (มก.)	14.3	13.2	5.5	16.5
ไนอาซีน (มก.)	33.0	33.0	26.4	33.0
ไบโอทีน (มก.)	0.13	0.11	0.11	0.18
กรดโฟลิก (มก.)	1.32	0.40	0.40	0.88
โคลีน (มก.)	1.3	990.0	1,100.0	1,100.0
วิตามิน บี <sub>12</sub> (มก.)	0.011	0.007	0.007	0.011

ที่มา: ปฐม (2540)

ตาราง 2.5 ปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ไก่ต้องการต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

แร่ธาตุ	ไก่เล็ก และไก่เนื้อ	ไก่รุ่น และไก่เนื้อ	ไก่ไข่	ไก่พันธุ์
แคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)	1.0	0.8	3.7	3.7
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.50	0.50	0.55	0.55
โซเดียม (เปอร์เซ็นต์)	0.15	0.15	0.15	0.15
โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.40	0.40	0.40	0.40
คลอไรด์ (เปอร์เซ็นต์)	0.15	0.15	0.15	0.15
แมกนีสิียม (มก.)	55	55	33	33
แมกนีเซียม (มก.)	550	550	550	550
เหล็ก (มก.)	88	88	88	88
ทองแดง (มก.)	11	11	11	11
ซีลีเนียม (มก.)	0.154	0.154	0.154	0.154
ไอโอดีน (มก.)	0.374	0.374	0.374	0.374

ที่มา: ปฐม (2540)

### วัตถุดิบอาหารไก่

อาหารไก่ประกอบด้วยวัตถุดิบต่าง ๆ ซึ่งเป็นแหล่งให้โภชนะในสัดส่วนที่เหมาะสม อาหารวัตถุดิบแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามแหล่งที่ให้โภชนะต่าง ๆ แก่สัตว์คือ อาหารวัตถุดิบที่เป็นแหล่งอาหารพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ ไวตามิน และน้ำ (อาวฐ, 2538; ปฐม, 2540)

ตาราง 2.6 วัตถุดิบสำคัญที่นิยมใช้ผสมในอาหารไก่

คาร์โบไฮเดรต	โปรตีนจากพืช	โปรตีนจากสัตว์	ไวตามิน	แร่ธาตุ
ไซสตร์	กากถั่วเหลือง	เนื้อกระดูกป่น	หญ้าสด	หินปูน
น้ำมันพืช	กากถั่วลิสง	ปลาป่น	ใบกระถิน	เปลือกหอย
รำข้าว	กากฝ้าย	เศษซากไก่	หางเนย	กระดูกป่น
ข้าวเปลือก	กากนุ่น	ขนไก่ป่น	กากหรือสำเหล้า	ซิงค์ซัลเฟต
ปลายข้าว	กากมะพร้าว	เลือดป่น	ยีสต์	แมงกานีสซัลเฟต
ข้าวโพด	กากปาล์ม	แกลบ หรือกากกุ้ง	ไวตามินทาง การค้า	โพแทสเซียมไอโอไดน์
ข้าวฟ่าง	กากกระเจียบ	ยีสต์		โคแคลเซียมฟอสเฟต
มันเส้น	กากเมล็ดยาง			เฟอร์รัสซัลเฟต
มันเทศ	กลูเต็นข้าวโพด			โคบอลท์ซัลเฟต
กากน้ำตาลอ้อย	กากทานตะวัน			จุนลี
				หินฟอสเฟต

ที่มา: สุวรรณ และคณะ (2535)

สูตรอาหารไก่ที่ประกอบขึ้นมาควรทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง มีโภชนะครบถ้วน ไก่สามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย มีรสชาติดี มีความน่ากิน มีสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารแหล่งพลังงาน 70-75 เปอร์เซ็นต์ แหล่งโปรตีน 15-20 เปอร์เซ็นต์ และสารเสริมอาหารอื่น ๆ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีสารพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อไก่ ไม่มีสิ่งปนปลอม รวมถึงเชื้อราต่าง ๆ และมีต้นทุนค่าสูตรอาหารต่ำ (จรัส, 2548) ปริมาณการใช้วัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ในสูตรอาหารไก่แตกต่างกันไปตามอายุและชนิดของไก่ เช่น สูตรอาหารไก่เนื้อระยะแรก (อายุ 1-3 สัปดาห์) วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้คือ ข้าวโพด 39.20-61.19 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียด 5.00-19.30 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 9.00-19.30 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดถั่วเหลือง 22.75 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดถั่วมะแฮะ 30.00 เปอร์เซ็นต์ ปลาป่น 10.00-12.30 เปอร์เซ็นต์ กากเรปซิด 12.67 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันรำข้าว 1.17-3.78 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตรอาหารไก่เนื้อระยะสอง (อายุ 4-6 สัปดาห์) ใช้ข้าวโพด 44.96-67.60

เปอร์เซ็นต์ ไร่ละเอียด 2.50-10.00 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลือง 8.20-18.43 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดถั่วเหลือง 20.46 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดถั่วมะแฮะ 30.00 เปอร์เซ็นต์ ปลาป่น 7.71-9.00 เปอร์เซ็นต์ และกากเรปซิด 11.70 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันรำข้าว 0.94-4.78 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (บุญล้อม, 2542)

### การแปรรูปอาหารสัตว์

การแปรรูปอาหารสัตว์เป็นกิจกรรมใด ๆ ก็ตาม ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมทางกายภาพ เคมี ความร้อน การหมัก หรืออื่น ๆ ที่กระทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์เปลี่ยนแปลงก่อนที่จะนำไปเลี้ยงสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. เปลี่ยนลักษณะทางกายภาพ หรือขนาดของวัตถุดิบที่ประกอบเป็นอาหารสัตว์
2. เพื่อรักษาคุณภาพอาหาร
3. เพื่อแยกส่วนประกอบที่สำคัญบางส่วนออกมา
4. เพื่อปรับปรุงให้มีรสชาติ และความน่ากินสูงขึ้น
5. เพื่อปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารให้สูงขึ้น
6. เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณ โภชนะที่มีอยู่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น (จรัส, 2548)

### กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์

กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์จำแนกออกเป็น 4 กรรมวิธี ดังนี้

1. การแปรรูปโดยวิธีกล หรือวิธีทางกายภาพ (mechanical หรือ physical processing) ได้แก่
  - 1.1 การสีเพื่อแยกเปลือกเมล็ดออก (dehulling)
  - 1.2 การบด (grinding)
  - 1.3 การทุบ (cracking หรือ rolling) เช่น การทุบแห้ง และการทุบโดยใช้ไอน้ำช่วย
  - 1.4 การสกัด (extrusion) เช่น การสกัดแห้ง และการสกัดเปียก
2. การแปรรูปโดยใช้ความร้อน (heat treatment) ได้แก่
  - 2.1 การใช้ความร้อนแห้ง (dry heat processing) เช่น การปิ้ง หรือย่าง การอบแห้ง การคั่ว หรือการอบสุก การอบด้วยความร้อนสูง และการอบด้วยรังสี เป็นต้น
  - 2.2 การใช้ความร้อนชื้น (moist heat processing) เช่น การต้ม หรือนึ่ง และการนึ่งภายใต้ความดัน
  - 2.3 การอัดแผ่น (flaking) เช่น การอัดแผ่นอาหารนึ่ง และการอัดแผ่นอาหารนึ่งภายใต้ความดัน
  - 2.4 การอัดเม็ดแข็ง (pelleting) เช่น การอัดเม็ดแข็งอาหารที่สุกบางส่วน และการทำให้อาหารอัดเม็ดแตกเป็นเล็ียง
  - 2.5 การอัดเม็ดพองตัว (expanding)

3. การแยกน้ำมัน (oil separation) เป็นกรรมวิธีการแปรรูปเมล็ดพืชน้ำมัน โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

3.1 วิธีกล ได้แก่ การอัดด้วยไฮดรอลิก และการอัดระบบต่อเนื่อง

3.2 วิธีสกัดด้วยสารเคมี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เดี่ยว ๆ และการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม

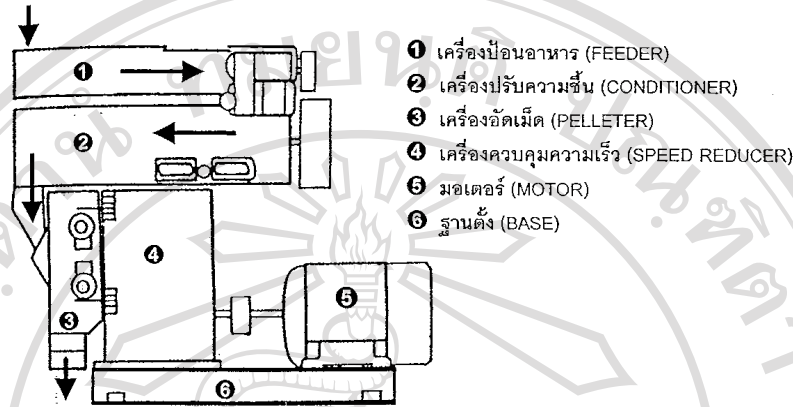
4. กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์แบบอื่น ๆ (other processing) เช่น กรรมวิธีการหมัก เพื่อผลิตแอลกอฮอล์ การแปรรูปผลพลอยได้จากซากสัตว์ และการแปรรูปอาหารหยาบ เพื่อเก็บรักษาไว้ใช้นานขึ้น (จรัส, 2548)

สำหรับกรรมวิธีการแปรรูปอาหารไก่ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย คือ การอัดเม็ด (pelleting) ซึ่งเป็นการทำอาหารให้เป็นก้อน หรือเม็ดแข็ง โดยการอัดผ่านเข้าไปในรูของจานอัด โดยใช้แรงอัดทางกายภาพ มีวัตถุประสงค์คือ

1. เพิ่มรสชาติ และความน่ากินของอาหาร
2. ทำให้อาหารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สัตว์เลือกกินไม่ได้จึงได้รับโภชนาที่สมดุล
3. สะดวกในการจัดการ การเก็บรักษา การขนย้าย และการให้อาหาร
4. เพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่เก็บน้อย
5. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยความร้อน และแรงดันจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อโรค รวมทั้งทำลายสารพิษและสารยับยั้งการเจริญเติบโต และเพิ่มการย่อยได้ตลอดจนการใช้ประโยชน์ของโภชนาในอาหาร (จรัส, 2548)

เครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตอาหารไก่ คือ เครื่องอัดเม็ดแข็ง (hard-type pelleting machine) (ภาพ 2.1) อาหารเม็ดที่ได้จะมีลักษณะแห้ง และแข็ง ซึ่งขั้นตอนการอัดเม็ดอาหาร มีดังนี้ วัตถุดิบอาหารถูกลำเลียงเข้ามายังช่องรับอาหาร เคลื่อนที่เข้าไปในห้องผสมไอน้ำ (steam conditioning chamber หรือ conditioner) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อยาว 1.0-1.2 เมตร เพื่อปรับสภาพอาหารด้วยไอน้ำร้อนก่อนอัดเม็ดอาหาร พร้อมกับการผสมคลุกเคล้าตลอดเวลาโดยเครื่องคลุก นาน 10-30 วินาที อาหารจะมีความชื้น 16-18 เปอร์เซ็นต์ มีการควบคุมความดัน และปรับอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ 70-90 องศาเซลเซียส อาหารภายในห้องผสมไอน้ำมีสภาพเปียกชื้น และสุกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเคลื่อนอาหารมายังห้องอัดเม็ด อาหารจะถูกลูกกลิ้งอัดผ่านรูจานอัดออกมาเป็นแท่งยาวตามขนาดของรูจานอัด และถูกใบมีดในมุมเฉียงตัดให้เป็นแท่งสั้นลง จากนั้นใช้ลมเป่าอาหารให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 6-8 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันความชื้นในอาหารจะถูกระเหยออกไป แล้วลำเลียงอาหารเม็ดเข้าสู่ drying cyclone เพื่อให้มีความเย็นเท่าอุณหภูมิของบรรยากาศ แล้วส่งผ่านไปยังเครื่องบีบเม็ด เพื่อขบเม็ดให้แตกมีขนาดเล็กลง

จากนั้นผ่านตะแกรงร้อนเพื่อคัดขนาดเม็ดที่ได้มาตรฐานเข้าไปเก็บไว้ยังถังบรรจุอาหารสำเร็จ และจะถูกนำไปบรรจุลงถุงอาหารเม็ดต่อไป (จรัส, 2548)



ภาพ 2.1 เครื่องอัดเม็ดแข็ง (Hard-type pelleting machine)

ที่มา: จรัส (2548)

อาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ส่วนใหญ่เป็นอาหารเม็ดแตกเป็นเล็ยง (crumble feed) ซึ่งเป็นอาหารเม็ดที่นำไปเข้าเครื่องขบให้แตกมีขนาดต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการทำอาหารเม็ดเล็ก ประหยัดเวลาในการอัดเม็ด และเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อย ซึ่งเหมาะสำหรับไก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไก่กระทง หรือไก่ที่มีอายุมากกว่า 4-5 สัปดาห์ขึ้นไป อาหารเม็ดมีผลดีต่อการผลิตไก่ ดังต่อไปนี้

1. ทำให้ไก่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น
2. ไก่จะได้รับโภชนาที่สมดุล ครบถ้วน และปลอดภัยโรคบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อไก่
3. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ทำให้ไก่กินอาหารเหยื่อได้มากขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น
4. ช่วยลดความต้องการน้ำของไก่
5. ลดการเคลื่อนไหวกของทางเดินอาหาร (จรัส, 2548)

#### การเก็บรักษาอาหารสัตว์

การเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารสัตว์ และอาหารสัตว์ มีความสำคัญต่อคุณภาพอาหาร และอายุการใช้ประโยชน์ของอาหาร โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบบรรจุกระสอบ ซึ่งนิยมทำกันมาก โดยเฉพาะในฟาร์มที่ใช้วัตถุดิบไม่มากจนเกินไป เพราะสะดวกในการขนส่ง และการจัดการ ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นการเก็บแบบเทกองรวมบนพื้นในโรงเก็บ หรือบรรจุในถังไซโล ซึ่งมักทำในฟาร์มหรือโรงงานผลิตอาหารสัตว์ที่ใช้วัตถุดิบจำนวนมาก ๆ (วันดี, 2544) สถานที่เก็บรักษาต้องสะอาด มี



การระบายอากาศดี ทนแดด และฝน สามารถป้องกันการเข้าทำลายของนก หนู แมลง และสัตว์อื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ และอาหารสัตว์ที่เก็บ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และเวลา โดยความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เพราะวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยเฉพาะเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงมากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์ จะมีการหายใจอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิจึงสูงขึ้น ทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของแมลง และเชื้อรา โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แมลงจะมีการแพร่พันธุ์เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ และเชื้อรามีการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้อาหารสัตว์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คุณภาพของอาหารสัตว์ลดลง เนื่องจากแมลงจะขับเอนไซม์ไลเปส (enzyme lipase) ซึ่งช่วยเสริมให้กระบวนการทางเคมีของอาหารเสื่อมลง ดังนั้นการเก็บรักษาอาหารสัตว์จึงควรลดความชื้นของอาหารสัตว์ไม่ให้สูงเกิน 13 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นสูงจะทำให้เกิดการเจริญของเชื้อรา การงอกของเมล็ด และเกิดการหมัก รวมทั้งควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อต้องการเก็บอาหารสัตว์ หรือวัตถุดิบไว้เป็นเวลานานเกิน 1 เดือน อาหารนั้นควรมีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำ เพื่อมิให้เกิดการหืนของอาหาร และป้องกันการเข้าทำลายของแมลง เพราะการที่แมลงกินไขมันในวัตถุดิบอาหารสัตว์จะทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์นั้นมึนกลิ่น และรสชาติผิดปกติ มีคุณค่าทางอาหารลดลง (Chow, 1978) อาหารสัตว์ที่ผสมตามสูตรเสร็จแล้วไม่ควรเก็บไว้นาน เพราะคุณภาพของอาหารจะเสื่อมลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น และระหว่างการเก็บรักษาต้องหมั่นตรวจสอบคุณภาพของอาหาร รวมทั้งการเข้าทำลายของแมลง เมื่อพบปัญหาแมลงควรมีการรมยาเพื่อกำจัดให้หมดไป (จรัส, 2548; วันดี, 2544)

ในพระราชบัญญัติควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ. 2525 แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2542 ได้กำหนดให้มีการขึ้นทะเบียนอาหารสัตว์ และโรงงานผลิตอาหารสัตว์ โดยโรงงานผลิตอาหารสัตว์จะต้องผ่านการรับรองมาตรฐาน GMP และ HACCP เพื่อให้มั่นใจว่าอาหารสัตว์ที่ผลิตมีความปลอดภัย และมีคุณภาพ นอกจากนี้กรมปศุสัตว์ได้นำระบบควบคุมความปลอดภัยมาใช้เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิตสินค้าปศุสัตว์ทั้งระบบ เพื่อให้ได้สินค้าปศุสัตว์มีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง หรือเชื้อโรค (พรรณนีย์, ม.ป.ป.) สหภาพยุโรป และสหรัฐอเมริกาได้ตระหนักถึงความปลอดภัยด้านอาหารสำหรับผู้บริโภค โดยเฉพาะอาหารสำเร็จรูป และยังรวมถึงอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์อีกด้วย ซึ่งหน่วยงานต่าง ๆ อาทิ สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ ของสหภาพยุโรป (European Feed Manufacturers Federation : FEFAC) ได้ออกกฎระเบียบเพิ่มความปลอดภัยในอาหารสัตว์ เช่น การจัดระบบ Quality Assurance Systems ที่สามารถเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต (traceability) ของอาหารสัตว์ ตั้งแต่เริ่มต้นจากการจัดหาวัตถุดิบ และผ่านกระบวนการผลิตจนถึงฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ในขณะที่สมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ของสหรัฐอเมริกา (American Feed Industry Association) ได้กำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยของ

อาหารสัตว์โดยใช้ระบบ Codex Animal Feed Document ซึ่งครอบคลุมถึงการเก็บข้อมูล แหล่งที่มาของวัตถุดิบอาหารสัตว์ แนวทางปฏิบัติในการควบคุม และตรวจสอบระหว่างการผลิต และเก็บรักษาอาหารสัตว์ ตลอดจนวิธีการให้อาหารสัตว์กับสัตว์เลี้ยง เป็นต้น (กรมการค้าต่างประเทศ, 2547)

มาตรฐานหลักเกณฑ์ที่ดีในการผลิตอาหารสัตว์ (GMP) กำหนดให้โรงงานผลิตอาหารสัตว์ มีการออกแบบให้สามารถป้องกันแมลงเข้าไปภายในบริเวณผลิต บริเวณเก็บวัสดุ และผลิตภัณฑ์ ไม่ให้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย หรือเพาะพันธุ์แมลง มีมาตรการควบคุมแมลงที่มีประสิทธิภาพโดยการ ป้องกันมิให้แมลงเข้ามาภายในบริเวณอาคารโรงงาน มีการตรวจสอบ ป้องกัน และกำจัดมิให้เกิด การปนเปื้อนไปสู่ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ (โกเมส และคณะ, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ลักษณะของอาหาร สัตว์ที่ดีต้องไม่มีความผิดปกติที่พบได้ทางกายภาพ ได้แก่ มีสีผิดปกติ มีกลิ่นเหม็น บุคเน่า กลิ่น สารเคมี มีรา แมลง หรือสิ่งเจือปนอื่น เช่น เศษแก้ว ตะปู เป็นต้น (เอกพันธ์ และคณะ, 2546) อีกทั้ง มาตรฐานวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้กำหนดให้วัตถุดิบอาหารสัตว์ไม่ควรมีการปนเปื้อนแมลง รวมทั้งการ ตกค้างของยาฆ่าแมลง (เขาวมาลัย, 2546; สุกัญญา, 2539)

วัตถุดิบอาหารสัตว์หลายชนิด อาทิ ข้าวโพด ปลายข้าว รำ กากถั่วเหลือง เป็นต้น วัตถุดิบ เหล่านี้สามารถเป็นอาหารของแมลงศัตรูโรงเก็บได้ จึงมีโอกาสที่แมลงศัตรูจะปนเปื้อนในอาหาร สัตว์ได้ จากการสำรวจโรงงานผลิตอาหารสัตว์ในประเทศอิตาลีพบว่า แมลงที่เข้าทำลายอาหาร สัตว์คือ แมลงในอันดับ Lepidoptera พบประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย *Ephestia kuehniella* Zeller, *Plodia interpunctella* Hübner และ *Ephestia elutella* Hübner อันดับ Coleoptera จำนวน 40.43 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย มอดแป้ง (*T. confusum* J. Du Val และ *T. castaneum* (Herbst)) มอดพื้นเลี้ยง (*Oryzaephilus surinamensis* L.) black carpet beetle (*Attagenus brunneus* Fald.) มอดสมุนไพร (*Stegobium paniceum* L.) และด้วงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* L.) (Trematerra and Fiorilli, 1999) ขณะที่การสำรวจโรงงานผลิตอาหาร สัตว์จำนวน 8 แห่ง ในอเมริกาตะวันตกตอนกลาง พบแมลงศัตรูทำลายอาหารสัตว์อันดับ Coleoptera 21 ชนิด และอันดับ Lepidoptera 3 ชนิด โดยพบมอดแป้ง *T. castaneum* มากที่สุด 43.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ *Trogoderma variabile* (Ballion) 18.6 เปอร์เซ็นต์ และ *P. interpunctella* 9.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแมลงศัตรูเหล่านี้ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในโรงงานมากที่สุด รองลงมาคือภายนอกโรงงาน บริเวณบรรจุสินค้า และบริเวณรับสินค้า (Larson et al., 2008)

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อน และชื้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลง ทำให้แมลงมีการระบาดตลอดปี การเข้าทำลายของแมลงในผลิตผลเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วลิสง มันสำปะหลังแห้ง ยาสูบ แป้ง รำ อาหารสำเร็จรูป รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และอาหารสัตว์

เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียทั้งในด้านคุณภาพ และปริมาณ โดยแมลงไม่เพียงกัดกินสร้างความเสียหายให้กับผลิตภัณฑ์เท่านั้น ชิ้นส่วนของแมลงอาจมีการปนเปื้อนไปกับผลิตภัณฑ์อีกด้วย (พรทิพย์, 2550) การดำเนินกิจกรรมของแมลงเป็นการผลิตความร้อน และความชื้น ซึ่งบริเวณที่มีแมลงอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นอาจมีอุณหภูมิสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการพัฒนาจุลินทรีย์ (hotspot) ขึ้น และเป็นสาเหตุให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อราตามมา อาจทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 75 องศาเซลเซียส อันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ และบางครั้งอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้ (Chow, 1987; Neethirajan *et al.*, 2007) อีกทั้งแมลงบางชนิดชักนำให้เกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร เช่น *Typhaea stercorea* (L.) ชักนำให้เชื้อ *Salmonella* มีการเจริญในอาหารสัตว์ (Larson *et al.*, 2008)

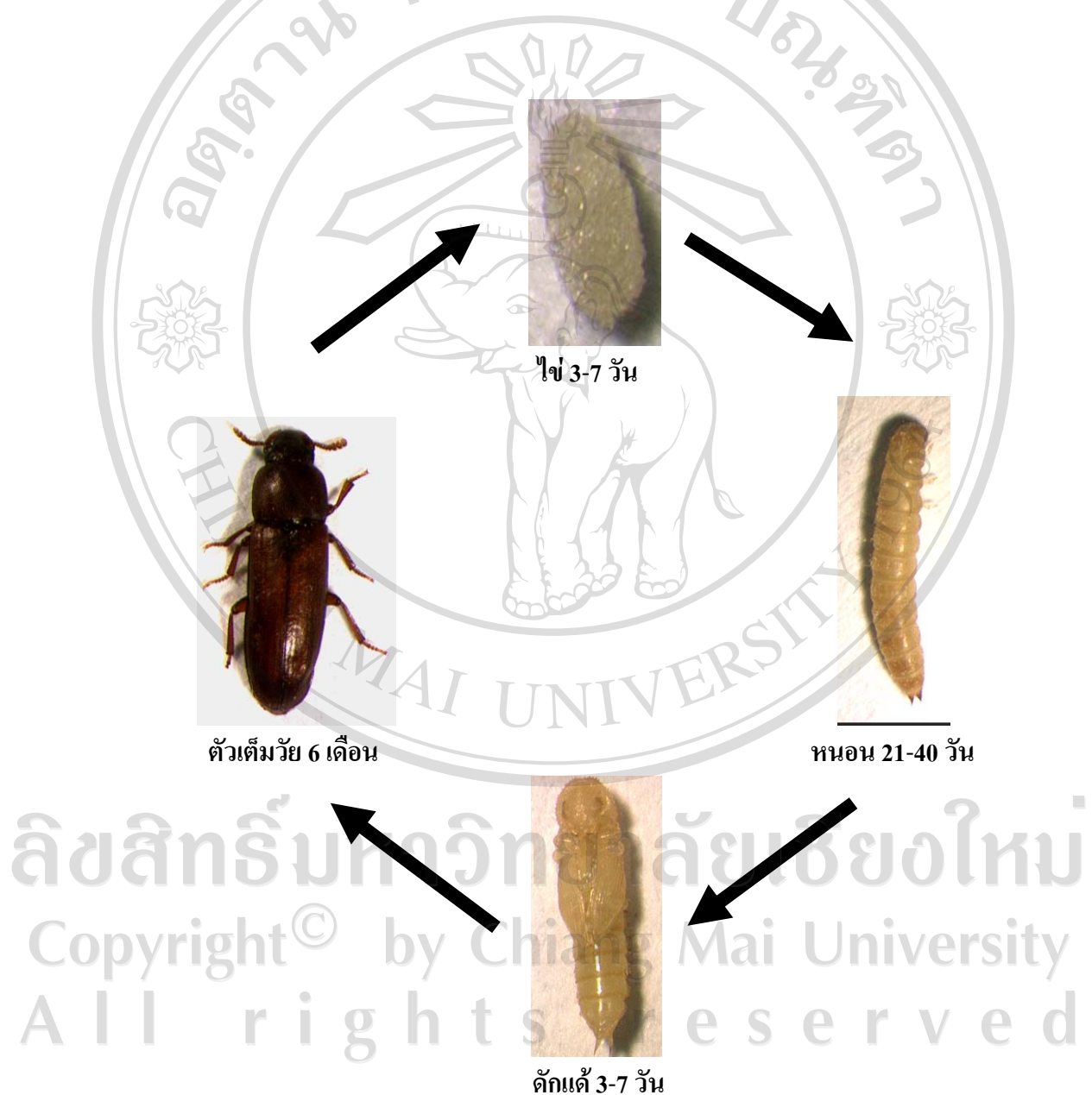
#### มอดแป้ง (red flour beetle)

มอดแป้งจัดอยู่ในอันดับ Coleoptera วงศ์ Tenebrionidae เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของแป้ง กัดกินภายนอกเมล็ดพืชทุกชนิด รวมทั้งข้าวเปลือก ปลายข้าว รำ แกลบ ถั่วชนิดต่าง ๆ เมล็ดพืช น้ำมัน เครื่องเทศ ผลไม้แห้ง หนังกุ้งแห้ง รวมถึงอาหารสัตว์สำเร็จรูป สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้อาหารนั้นมีกลิ่นเหม็น และสกปรก ซึ่งเกิดจากการปล่อยฮอโรโมน benzoquinones ที่ผลิตจากต่อมที่อยู่ตรงส่วนท้อง และกลิ่นนี้จะติดทนนานในอาหารจึงไม่เหมาะสำหรับนำไปบริโภค (พรทิพย์ และคณะ, 2548; อุคม, 2526)

#### รูปร่างลักษณะ และชีวประวัติ

มอดแป้งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ *T. castaneum* (red flour beetle) และ *T. confusum* (confused flour beetle) ตัวเต็มวัยทั้ง 2 ชนิด มีรูปร่างลักษณะโดยทั่วไปคล้ายคลึงกัน เป็นด้วงปีกแข็ง มีสีน้ำตาลปนแดง ลำตัวค่อนข้างแบน มีความยาว 2.3-4.4 มิลลิเมตร ลักษณะที่ จะแยกความแตกต่างระหว่างมอดแป้งทั้ง 2 ชนิดออกจากกันได้คือ red flour beetle มีขอบเหนือตาไม่ว่า ตาแยกจากกันเป็นระยะน้อยกว่า 2 เท่าของความกว้างของตา ปล้องหนวด 3 ปล้องสุดท้ายขยายใหญ่ ออกเป็นแบบลูกตุ้ม (capitate) ด้านข้างของอกมีลักษณะโค้ง ส่วน confused flour beetle ขอบตามีลักษณะเว้า ตาแยกออกจากกันเป็นระยะ 3 เท่าของความกว้างของตา ปล้องหนวด 5 หรือ 6 ปล้องสุดท้ายค่อย ๆ ขยายออกเป็นแบบกระบอง (clavate) ด้านข้างของอกมีลักษณะตรง (อุคม, 2526) ตัวเมียในชั่วชีวิตอาจจะผสมพันธุ์หลายครั้ง และสามารถวางไข่ได้ 400-500 ฟอง ตามกระสอบ รอยแตกของเมล็ดข้าว ภาชนะที่ใช้บรรจุ หรือบนแป้ง ไข่มีรูปร่างยาวรี สีขาว เมื่อวางไข่เสร็จตัวเมียจะจับสารเหนียวหุ้มทำให้ไข่เกาะติดอาหารได้ง่าย ไข่จะฟักภายใน 3-7 วัน กลายเป็นหนอนมีสีน้ำตาลอ่อนเรียวยาว ส่วนหัวสีเข้มตรงส่วนปลายสุดของลำตัวมีลักษณะที่เป็นอวัยวะยื่นออกมาเป็น 2 แฉก (forked tail) หนอนมี 5-12 instars ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมี 7 หรือ 8 instars

ระยะหนอน 21-40 วัน เข้าดักแต่แบบ exarate นาน 3-7 วัน แล้วกลายเป็นตัวเต็มวัย มอดแป้งอาจครบวงจรชีวิตภายใน 20-40 วัน ในขณะที่สภาพแวดล้อมเหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ มอดแป้งจะมีการพัฒนาจากไข่จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลาเพียง 19-20 วัน (Arbogast, 2000) แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมอาจใช้เวลานาน 3-4 เดือน ตัวเต็มวัยอาจมีชีวิตรอยู่ได้นาน 6 เดือน หรือมากกว่านี้ (ชุมพล, 2533)



ภาพ 2.2 วงจรชีวิตมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)



### การแพร่กระจาย และฤดูกาลระบาด

มอดแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้ แพร่กระจายไปทั่วโลก โดย red flour beetle พบระบาดในเขต  
อบอุ่น และเขตร้อน ในประเทศไทยพบทุกภาค และระบาดตลอดปี (พรทิพย์ และคณะ, 2548)  
ขณะที่ confused flour beetle พบในเขตอบอุ่นเป็นส่วนใหญ่ (Arbogast, 2000)

### การป้องกันกำจัดมอดแป้ง

โดยทั่วไปการป้องกันกำจัดมอดแป้ง และแมลงศัตรูโรงเก็บอื่น ๆ แบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ  
คือ การป้องกัน ซึ่งเป็นการกระทำก่อนที่แมลงจะลงทำลาย และการกำจัดเป็นการกระทำหลังจากที่มี  
แมลงทำลายเรียบร้อยแล้ว สำหรับการกำจัดนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อย คือ การกำจัด หรือทำลายให้  
หมดไป และการกำจัดให้ปริมาณของแมลงลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับกันทั่วไป (ชุมพล, 2533)

#### 1. การป้องกัน และกำจัดโดยใช้สารเคมี

การป้องกัน และกำจัดแมลงโดยใช้สารเคมี คือ การนำเอาสารเคมี อันได้แก่ สารฆ่าแมลง  
สารดึงดูดแมลง สารไล่ และสารเคมีอื่น ๆ มาใช้ในการป้องกัน และกำจัดแมลง โดยมีจุดประสงค์  
เพื่อกำจัด หรือลดปริมาณแมลงที่อยู่ในโรงเก็บ รวมทั้งแมลงที่เคลื่อนย้ายเข้ามาจากแหล่งอื่น ซึ่ง  
วิธีการใช้สารเคมีนั้นมีหลายแบบ ดังนี้

1) การพ่นสารเคมีในโรงเก็บ โดยใช้สารเคมีพ่นไปตามฝาผนัง พื้น เพดาน หรือใต้หลังคา  
ให้ทั่ว ซึ่งส่วนใหญ่จะทำหลังจากทำความสะอาดภายในโรงเก็บเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่  
มีแมลงตกค้างหลงเหลืออยู่

2) การพ่นสารเคมีตามผิวหน้าของกองเมล็ด หรือบนกระสอบที่บรรจุเมล็ดพืช หรือผลิตผล  
โดยพ่นสารเคมีตามผิวหน้าของกองเมล็ด ซึ่งอาจทำในระยะเวลาที่เมล็ดถูกขนถ่ายเข้าโรงเก็บโดยผ่านทาง  
สายพาน ซึ่งต้องติดหัวฉีดของเครื่องพ่นไว้เหนือสายพาน สารจะถูกพ่นออกไปในขณะที่เมล็ดผ่าน  
ไปตามสายพาน นอกจากนั้นการพ่นสารเคมีบนกระสอบที่บรรจุเมล็ดพืช อาจทำได้หลายแบบ เช่น  
พ่นสารบนกระสอบเป็นชั้น ๆ ไป คือวางกระสอบชั้นแรกก่อนแล้วพ่นสารทางด้านบน เสร็จแล้ว  
วางชั้นที่สองแล้วพ่นสารแบบเดียวกัน ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นบนสุด วิธีการนี้จะช่วยป้องกัน  
การย้อนกลับเข้ามาของแมลง และกำจัดแมลงที่อยู่ตามผิวกระสอบ

3) การพ่นสารเคมีเพื่อรมตามช่องว่างในโรงเก็บ โดยมักจะพ่นในรูปฝอยละเอียดมาก เพื่อ  
กำจัดแมลงในโรงเก็บที่ยังว่างเปล่าก่อนที่จะนำผลิตผลมาเก็บไว้ และเป็นการป้องกันไม่ให้แมลง  
กลับเข้ามาทำลายผลิตผล

4) การคลุกสารเคมีกับเมล็ดพืช วิธีนี้จะใช้กับเมล็ดพันธุ์เท่านั้น และควรทำหลังจากเก็บ  
เกี่ยวใหม่ ๆ เพราะการทำลายของแมลงในระยะนั้นยังมีน้อย



5) การขุบสารเคมีตามกระสอบ หรือถุงที่ใช้บรรจุก่อนนำกระสอบ หรือถุงไปบรรจุผลิตผล วิธีนี้จะช่วยชะลอ หรือป้องกันการเข้าทำลายของแมลงศัตรูได้ แต่โอกาสที่แมลงถูกสารเคมีน้อย และแมลงยังสามารถเข้าทำลายผลิตผลได้ภายหลัง อีกทั้งวิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก และทำให้กระสอบเปื่อยเร็ว

6) การรมสารเคมีกับผลิตผล เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในป้องกันกำจัดแมลง และรมสินค้าเพื่อการส่งออก เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งยังทำลายศัตรูชนิดอื่น ๆ เช่น นก หนู ไร และเชื้อรา สารที่ใช้ในการรมนั้นแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามลักษณะทางกายภาพ คือ สารรมในสภาพก๊าซ ของแข็ง และของเหลว สารรมส่วนใหญ่เข้าสู่ตัวแมลงผ่านทางระบบหายใจ หรือซึมผ่านผนังลำตัวของแมลง โดยสารรมเป็นตัวกั้นการดูดซึมออกซิเจนของเนื้อเยื่อของแมลง มีผลทำให้แมลงขาดออกซิเจน รวมทั้งมีผลต่อเอนไซม์ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของแมลง ซึ่งส่งผลต่อการดูดซึมออกซิเจนไปใช้ และสารรมยังมีผลต่อระบบประสาท จึงทำให้แมลงตายเร็วขึ้น การรมให้ได้ผลดีนั้นต้องดำเนินการโดยมีการใช้วัสดุที่เหมาะสมสามารถเก็บกักก๊าซที่ไอรรมให้อยู่เฉพาะบริเวณที่จำกัดได้ไม่ให้ออกมาสู่บริเวณอื่นที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกอบรมที่ถูกต้อง มีการระมัดระวังเพื่อความปลอดภัยอย่างเข้มงวด การรมที่มีการปฏิบัติอย่างไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดอันตราย และเสียค่าใช้จ่ายมาก ผลิตผลที่รมอาจเสียหาย หรือได้รับผลกระทบที่ตรงข้ามกับความต้องการ อีกทั้งยังทำให้แมลงศัตรูสร้างความต้านทานต่อสารรม (ชุมพล, 2533)

สารรมที่นิยมนำมาใช้รมผลิตผลทางการเกษตรอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออกคือ เมทิลโบรไมด์ และฟอสฟีน ในปัจจุบันมีการใช้สารรมฟอสฟีนเพิ่มขึ้น เพื่อทดแทนสารรมเมทิลโบรไมด์ เนื่องจากเมทิลโบรไมด์ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ดี และใช้ระยะเวลาในการรมสั้น แต่ถูกระบุว่าเป็นสารที่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ มีผลทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตราไวโอเล็ตส่องผ่านมายังโลกมากกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (พรทิพย์ และคณะ, 2548) ผลกระทบเหล่านี้ทำให้เมทิลโบรไมด์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของพิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยการเลิกใช้สารที่ทำลายชั้นบรรยากาศที่องค์กรเพื่อสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้จัดทำขึ้นเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2530 โดยประเทศไทยได้ลงนามในพิธีสารฉบับนี้ จึงต้องมีการควบคุมปริมาณการใช้ และยกเลิกการใช้ภายในปี พ.ศ. 2558 สำหรับการรมด้วยฟอสฟีนนั้นเป็นวิธีที่ประหยัด และง่ายกว่าการรมด้วยเมทิลโบรไมด์ แต่มีข้อจำกัดคือใช้ระยะเวลาหลายวันในการรมแต่ละครั้ง (ใจทิพย์, 2550) ซึ่งเป็นเหตุให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ไม่นิยมใช้สารฟอสฟีนในการรม เนื่องจากแมลงบางชนิดได้มีการพัฒนาสร้างความต้านทานต่อสารรมชนิดนี้ (Roesli *et al.*, 2003) และพบว่ามอดแป้งมีการพัฒนาในการสร้างความต้านทานต่อสารรมฟอสฟีน (Chaudhry, 2000)

## 2. การป้องกัน และกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมี

ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวเพื่อลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรู เป็นการหลีกเลี่ยงอันตรายอันเนื่องมาจากการใช้สารเคมี เช่น พิษตกค้างที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และผู้ทำงานทางด้านนี้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาการสร้าง ความต้านทานต่อสารเคมีของแมลง ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีการที่ไม่ใช้สารเคมีมาปฏิบัติแทน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการป้องกัน หรือควบคุม ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้สิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบข้างแมลงไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต หรือการเจริญเติบโตของแมลง เช่น การทำความสะอาด การใช้ความร้อน และความเย็น การใช้พลังงานเสียง การใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันแมลง การใช้พันธุ์ต้านทาน การใช้กับดัก การใช้สารไล่ และสารดึงดูดแมลง เป็นต้น โดยอาจเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งตามความเหมาะสม หรือใช้ควบคู่กันไปเพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

สำหรับวิธีการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลงนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งความร้อนจากการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้แมลงตาย เนื่องจากการขาดน้ำ และสูญเสียพลังงานจากการเผาผลาญพลังงานของร่างกายที่เพิ่มขึ้น โดยแมลงแต่ละชนิดและแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง กัน ย่อมมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ไม่เท่ากัน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและแพร่ ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูในโรงเก็บคือ 25-32 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 วัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิมากกว่า 62 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 นาที (ตาราง 2.7) (Banks and Fields, 1995) การอบเมล็ดพืชที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถกำจัดมอดแป้ง และแมลงได้ ทุกชนิด (พรทิพย์ และคณะ, 2548) การใช้ความร้อนในการกำจัดมอดแป้งในแป้งสาลี โดยใช้ อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 55 นาที สามารถกำจัดตัวเต็มวัยได้ และเมื่อใช้เวลา 90 นาที สามารถกำจัดดักแด้ได้ (Roesli *et al.*, 2003) นอกจากนี้การใช้ไอน้ำร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง สามารถกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ ได้ โดยความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน DNA และ RNA การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และไอออนในแมลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละระยะ การเจริญเติบโตของแมลง โดยทั่วไปแมลงในระยะตัวอ่อนจะมีความทนทานต่อความร้อนสูงกว่าตัวเต็มวัย และพบว่าหนอนวัยแก่ และดักแด้ของมอดแป้งทนความร้อนได้มากที่สุดโดยสามารถอยู่รอด ได้เมื่อมีการกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้มอดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึม หรือผลิต เมแทบอลิซึม เพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนชนิด heat shock protein เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหาย ของเซลล์ จึงเพิ่มความอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แต่ในกรณีที่มีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอจะพบว่าหนอนวัยอ่อนมีความทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าวัยอื่น โดยหนอนวัย

อ่อนจะตายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในขณะที่วัยอื่น ๆ จะใช้เวลาเพียง 20 นาที (Mahroof *et al.*, 2003a)

ตาราง 2.7 แสดงค่าอุณหภูมิที่มีผลต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ

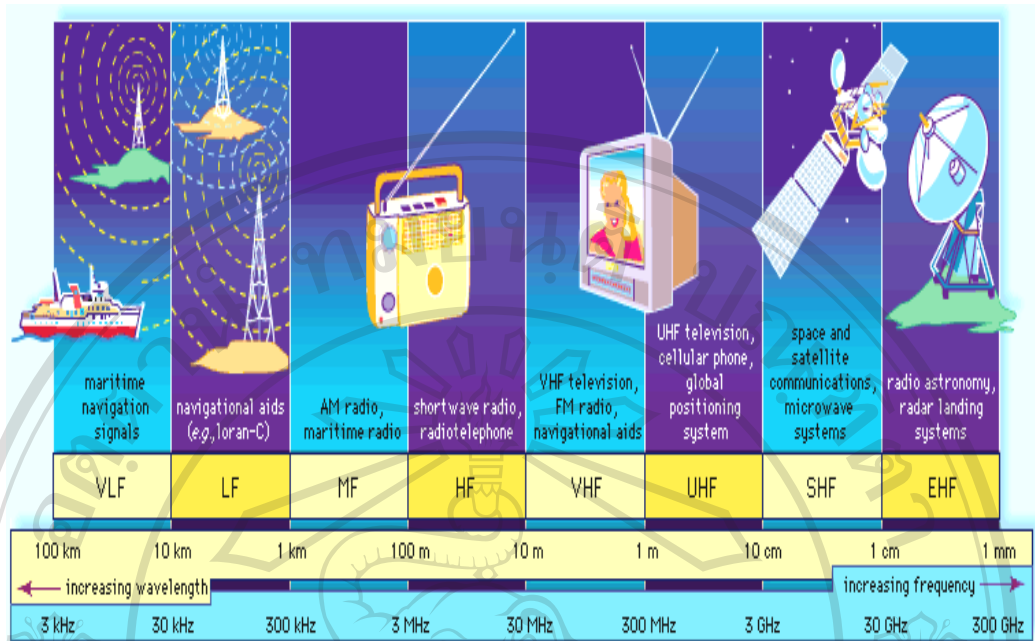
Temperature (degree Celsius)	Effect
25-32	Optimum for development
33-35	Upper limit for reproduction for most stored product insects
36-42	Populations die out, mobile insects seek cooler zones
45-49	Death with in a day
50-60	Death with in an hour
above 62	Death with in a minute

ที่มา: Banks and Fields (1995)

#### คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency; RF)

คลื่นความถี่วิทยุถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการสื่อสารทางไกล กิจการแต่ละด้านมีการใช้คลื่นความถี่แตกต่างกันไป เช่น วิทยุกระจายเสียงระบบ FM ใช้คลื่นความถี่ 88-108 MHz ส่วนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้คลื่นความถี่ 800, 900 และ 1800 MHz เป็นต้น (นัฐศักดิ์, 2548)

คลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นความถี่ไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3-300 MHz ส่วนคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้จะอยู่ในช่วงประมาณ 13, 27 และ 40 MHz การให้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้การเกิดกิจกรรมของเซลล์ลดลง สามารถนำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช และเชื้อโรคสาเหตุของการสูญเสียผลผลิตทางเกษตรได้ โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุนี้ ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนของโมเลกุลในตัววัตถุ แล้วทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น คล้ายกับการใช้ไมโครเวฟในการทำให้อาหารร้อนขึ้น แต่คลื่นความถี่วิทยุนี้มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสามารถกระจายพลังงานผ่านกอรวัตถุที่มีความหนาได้ดีกว่าไมโครเวฟ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ หรือวัตถุหลายชิ้นที่กองรวมกันได้ดี ซึ่งเป็นลักษณะของผลผลิตทางเกษตรที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ทำให้ผลผลิตเสีสรสชาติ และคงลักษณะ โครงสร้างทางอาหารได้ (Nelson, 1996; Wang and Tang, 2001)

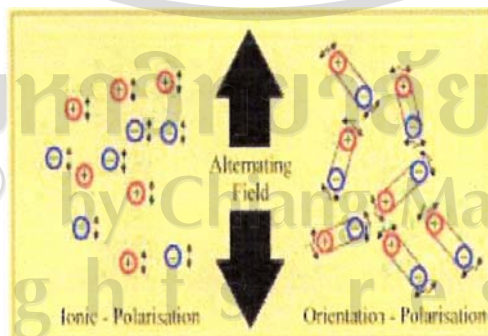


ภาพ 2.3 ช่วงคลื่นความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Encyclopedia Britannica (2009)

หลักการการทำงานของคลื่นความถี่วิทยุ

หลักการของคลื่นความถี่วิทยุโดยการสร้างความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ระดับคลื่นวิทยุปล่อยผ่านไปยังวัตถุซึ่งในวัตถุจะมีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำจะมีพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการสั่นสะเทือนตามการเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจำนวนล้าน ๆ ครั้ง ใน 1 วินาที ในขณะที่จะเกิดปรากฏการณ์ 2 อย่าง คือ



ภาพ 2.4 ลักษณะการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุ เมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : Wolfgang (2003)



1. Intermolecule friction เกิดจากแรงดึงดูดกันระหว่างโมเลกุล

2. Hysteresis เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องมาจากแรงเฉื่อย ซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุรวม และรูปร่างของโมเลกุล

เมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกัน ได้แก่

1. Ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า โดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้น และเร่งให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะที่เดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่าง ๆ

2. Dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวก และประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวก และประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น (Wolfgang, 2003)

การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ โดยในคลื่นความถี่วิทยุนี้ การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความถี่ในการหมุนตัว และการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาทีหลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่น ๆ เนื่องจากผลจากการเดือดของน้ำโดยกระบวนการนำความร้อน และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะใช้ระยะเวลาในการเกิดความร้อนที่สั้น และสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ติดมากับวัตถุได้ (Nelson, 1996) เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรมีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการกระจายของความร้อน โดยผลผลิตที่มีขนาดเล็กจะมีการกระจายความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าผลผลิตที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งผลผลิตที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่าผลผลิตที่มีความชื้นสูง ทำให้คลื่นความถี่วิทยุมีศักยภาพในการกำจัดแมลงในเมล็ดพืชได้ดีกว่าผลผลิตสด โดยสามารถคงคุณภาพของผลผลิตไว้ได้ (Wang *et al.*, 2008) ทั้งนี้คลื่นความถี่วิทยุให้ผลในการกำจัดแมลงแต่ละชนิด และแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณลักษณะทางสายพันธุ์ ซึ่งอาจจะเป็นทางชีวภาพหรือกายภาพ หรือองค์ประกอบภายในร่างกายของแมลงที่แตกต่างกัน และโดยทั่วไปแมลงตัวเต็มวัยจะมีความอ่อนแอมากกว่าตัวอ่อน (ชุมพล, 2533; Nelson, 1996) นอกจากนี้คลื่นความถี่วิทยุส่งผลให้แมลงมีพัฒนาการเปลี่ยนรูปร่างไม่สมบูรณ์ เช่น การพัฒนาส่วนหัว และอกของตัวหนอนและดักแด้



ผิดปกติ อีกทั้งยังส่งผลให้ความสามารถในการแพร่พันธุ์ลดลง โดยพบตัวเต็มวัยของ ตัวงวงข้าว และมอดแป้งในเมล็ดข้าวสาลีหลังจากได้รับคลื่นความถี่วิทยุ 39 MHz มีอัตราการแพร่พันธุ์ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เพราะความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุได้สร้างความเสียหายต่อเนื้อเยื่อรังไข่ จึงทำให้อัตราการฟักไข่ลดลง และไข่ที่ฟักออกมามีขนาดเล็กกล (Nelson, 1996)

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุในระดับอุตสาหกรรม และทางการค้า เพื่อกำจัดสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น เชื้อโรค จุลินทรีย์ และแมลง โดยใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก เป็นการลดขั้นตอนการจัดการ และไม่ทำลายคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรมสารเคมี โดยใช้ความถี่ที่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz (Wang and Tang, 2001; Tang *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังสามารถใช้คลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดแมลงร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ได้อีกด้วย เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และง่ายแก่การจัดการ เช่น การใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับวิธีการควบคุมสภาพบรรยากาศ โดยการลดก๊าซออกซิเจน เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มกระบวนการเกิดเมแทบอลิซึม และความต้องการก๊าซออกซิเจนของแมลงมากขึ้น แต่ควรคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่จะมีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และสามารถกำจัดแมลงได้อย่างสมบูรณ์ (Wang and Tang, 2001)

ได้มีงานวิจัยหลากหลายผลงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุในการควบคุมแมลงชนิดต่าง ๆ ได้แก่ การศึกษาการควบคุมแมลงศัตรูของเมล็ดวอลนัท โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ 27 MHz Wang *et al.* (2001) พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 43 และ 53 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 และ 3 นาที ตามลำดับ สามารถควบคุมตัวหนอน *Cydia pomonella* (L.) (codling moth) วัยที่ 3 และ 4 ที่เข้าทำลายในเมล็ดวอลนัทได้ ส่งผลให้ตัวหนอนตาย 78.6 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดวอลนัท อันได้แก่ ปริมาณของเปอร์ออกไซด์ และกรดไขมันรวมทั้งสีของเมล็ดวอลนัท นอกจากนี้ที่ระดับอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (Wang and Tang, 2004) และอุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที สามารถทำให้ตัวหนอน *Amyelois transitella* Walker (navel orangeworm) วัยที่ 5 ตาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณความชื้นของเมล็ดวอลนัทลดลงไปเพียงเล็กน้อย และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวอลนัท (Wang *et al.*, 2007) นอกจากนี้การใช้คลื่นความถี่วิทยุ 27.12 MHz ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที สามารถกำจัดตัวหนอนวัยที่ 3 ของมอดแป้งในเมล็ดวอลนัทได้อีกด้วย (Tang *et al.*, 2004)

การใช้คลื่นความถี่วิทยุนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในการการค้าวอลนัทเพื่อเป็นทางเลือกในการทดแทนการรมสารเคมี โดยมีการใช้กำลังไฟที่ 25 kW ความถี่ 27.12 MHz ระดับอุณหภูมิผิวของวอลนัทเฉลี่ย 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พร้อมกับการลำเลียงวอลนัทไปตามระบบ

สายพาน ส่งผลให้แมลงศัตรูอื่น ได้แก่ navel orangeworm, codling moth, indianmeal moth และมอดแป้งตาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวอลนัท และสามารถเก็บรักษาวอลนัทภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 2 ปี (Wang *et al.*, 2007)

Johnson *et al.* (2004) ได้จำแนกผลกระทบการเจริญเติบโตของมอดแป้ง (red flour beetle) ที่มีความทนทานต่อคลื่นความถี่วิทยุ 27 MHz พบว่าหนอนระยะวัยแก่ (วัย 6-8) มีความทนต่อคลื่นความถี่วิทยุ ที่ระดับอุณหภูมิ 48-50 องศาเซลเซียส มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ดักแด้ ตัวเต็มวัย ไข่ และหนอนวัยอ่อน ตามลำดับ และพบว่าที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สามารถกำจัดหนอนวัยแก่ในเมล็ดอัลมอนต์ วอลนัท และพิสทาชิโอได้ 100 เปอร์เซ็นต์

พิทยา และสุชาดา (2549) ได้ศึกษาผลของคลื่นความถี่วิทยุที่ระดับ 27.12 MHz ภายใต้ อุณหภูมิ 70, 75, 80 และ 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 วินาที ในการกำจัดเชื้อรา *Trichoconis padwickii*, *Fusarium* sp., *Bipolaris oryzae*, *Curvularia lunata* และมอดข้าวเปลือกที่เข้าทำลายเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าการปนเปื้อนของเชื้อรา ความมีชีวิตของมอดข้าวเปลือก และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุดในการกำจัดเชื้อรา และมอดข้าวเปลือก โดยการปนเปื้อนของเชื้อราลดลง 41 เปอร์เซ็นต์ และมอดข้าวเปลือกตายอย่างสมบูรณ์ (100 เปอร์เซ็นต์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved