บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ระบบนิเวศวิทยาโรงเก็บผลผลิตทางการเกษตรมีปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น ส่งเสริมให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น แมลง ดร และเชื้อรา ซึ่งเป็นศัตรูสำคัญทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและอาศัยอยู่ในโรงเก็บ (Roesli *et at*., 2003; Trematerra and Sciarretta, 2004) โดยแมลงสามารถเจริญเติบโตในโรงเก็บที่อุณหภูมิระหว่าง 26-37 องศาเซลเซียส (New, 1987) โดยผลผลิตในโรงเก็บ เช่น ข้าวโพด รำ กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง ข้าว ซึ่งผลผลิตเหล่านี้เป็นอาหารที่ดีของแมลงศัตรูในโรงเก็บ เช่น มอดแป้ง (*Tribolium castaneum* (Herbst) และ *T. confusum* (J. Du Val)) ด้วงงวง (*Sitiphilus* spp.) ผีเสื้อข้าวโพด (*Ephestia cautella* (Hübner)) เป็นต้น (Trematerra and Fiorilli, 1999) ทำให้มีการแพร่ระบาดของแมลงเป็นไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อนและชื้น จึงส่งเสริมให้แมลงศัตรูในโรงเก็บมีการระบาดตลอดทั้งปี ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้แมลงยังเป็นสาเหตุของการสูญเสียน้ำหนัก ทำให้ผลผลิตมีการปนเปื้อนจากการเข้าทำลายของเชื้อรา และแบคทีเรีย ซึ่งเชื้อราส่วนใหญ่เติบโตได้ดีที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิมากกว่า 25 องศาเซลเซียส และที่ระดับอุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้นการเจริญเติบโตของแมลงก็จะเพิ่มมากขึ้น (New, 1987)

การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร

การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร มีความสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพ โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบบรรจุกระสอบ ซึ่งนิยมทำกันมากโดยเฉพาะในฟาร์มที่ใช้วัตถุดิบไม่มากจนเกินไป เพราะสะดวกในการขนส่ง และการจัดการ ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นการเก็บแบบเทกองรวมบนพื้นในโรงเก็บ หรือบรรจุในถังไซโล ซึ่งมักทำในฟาร์มหรือโรงงานผลิตที่ใช้ผลผลิตจำนวนมาก (วันดี, 2544) สถานที่เก็บรักษาต้องสะอาด มีการระบายอากาศดี ทนแดด และฝน สามารถป้องกันการเข้าทำลายของนก หนู แมลง และสัตว์อื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตที่เก็บ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และเวลา โดยความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เพราะผลผลิตโดยเฉพาะเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงมากกว่า 16 เปอร์เซ็นต์ จะมีการหายใจอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิจะสูงขึ้น ทำให้อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของแมลง และเชื้อรา โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แมลงจะมีการแพร่พันธุ์เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ และเชื้อรามีการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ผลผลิตเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี คุณภาพของผลผลิตลดลง เนื่องจากแมลงจะขับเอนไซม์ไลเปส (enzyme lipase) ซึ่งช่วยเสริมให้กระบวนการทางเคมีของอาหารเสื่อมลง ดังนั้นการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรจึงควรลดความชื้นของผลผลิตไม่ให้สูงเกิน 13 เปอร์เซ็นต์ เพราะหากความชื้นสูงจะทำให้เกิดการเจริญของเชื้อรา การงอกของเมล็ด และเกิดการหมัก รวมทั้งควรเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อต้องการเก็บผลผลิตไว้เป็นเวลาเกิน 1 เดือน ผลผลิตนั้นควรมีเปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำ เพื่อไม่ให้เกิดการหืนของผลผลิตขึ้น และการป้องกันการเข้าทำลายของแมลง เพราะการที่แมลงกินไขมันในผลผลิตนั้นจะทำให้ผลผลิตมีกลิ่น และรสชาติผิดปกติ มีคุณค่าทางอาหารลดลง (Chow, 1978) การเก็บรักษาผลผลิตไว้นาน จะทำให้คุณภาพของผลผลิตลดลงตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น และระหว่างการเก็บรักษาต้องหมั่นตรวจสอบคุณภาพของผลผลิต รวมทั้งการเข้าทำลายของแมลง เมื่อพบแมลงเข้าทำลายควรมีการรมยาเพื่อกำจัดให้หมดไป (จรัส, 2548; วันดี, 2544)

ผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ปลายข้าว รำ กากถั่วเหลือง เป็นต้น ผลผลิตเหล่านี้สามารถเป็นอาหารของแมลงศัตรูโรงเก็บได้ จึงมีโอกาสที่แมลงศัตรูจะปนเปื้อนติดไปได้ จากการสำรวจโรงเก็บผลผลิตทางการเกษตรในประเทศอิตาลีพบว่า แมลงที่เข้าทำลายผลผลิตทางการเกษตรคือแมลงในอันดับ Lepidoptera พบประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยผีเสื้อข้าวโพด (*Ephestia kuehniella* (Zeller)) ผีเสื้ออินเดีย (*Plodia interpunctella* (Hübner)) และผีเสื้อยาสูบ (*Ephestia elutella* (Hübner)) อันดับ Coleoptera จำนวน 40.43 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย มอดแป้ง (*T. castaneum* (Herbst) และ *T. confusum* (J. Du Val)) มอดฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis* L.) ด้วง black carpet beetle (*Attagenus brunneus* (Fald)) มอดสมุนไพร (*Stegobium paniceum* L.) และด้วงงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* L.) (Trematerra and Fiorilli, 1999) ขณะที่การสำรวจโรเก็บผลผลิตทางการเกษตรจำนวน 8 แห่ง ในอเมริกาตะวันตกตอนกลาง พบแมลงศัตรูทำลายผลผลิตอันดับ Coleoptera 21 ชนิด และอันดับ Lepidoptera 3 ชนิด โดยพบมอดแป้ง (*T. castaneum*) มากที่สุด 43.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือด้วงในโกดัง (*Trogoderma variabile* (Ballion)) 18.6 เปอร์เซ็นต์ และผีเสื้ออินเดีย (*P. interpunctella*) 9.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแมลงศัตรูเหล่านี้ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ภายในโรงเก็บมากที่สุด รองลงมาคือภายนอกโรงเก็บ บริเวณบรรจุผลผลิต และบริเวณรับส่งผลผลิต (Larson *et al.,* 2008)

ประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อน และชื้น ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลง ทำให้แมลงมีการระบาดตลอดปี การเข้าทำลายของแมลงในผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าว ข้าวโพดถั่วลิสง มันสำปะหลังแห้ง ยาสูบ แป้ง รำ อาหารสำเร็จรูป รวมทั้งผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และอาหารสัตว์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียทั้งในด้านคุณภาพ และปริมาณ โดยแมลงไม่เพียงกัดกินสร้างความเสียหายให้กับผลผลิตเท่านั้น ชิ้นส่วนของแมลงอาจมีการปนเปื้อนไปกับผลิตภัณฑ์อีก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วย (พรทิพย์, 2548) การดำเนินกิจกรรมของแมลงเป็นการผลิตความร้อน และความชื้น ซึ่งบริเวณที่มีแมลงอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นอาจมีอุณหภูมิสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการพัฒนาจุดร้อน (hotspot) ขึ้น และเป็นสาเหตุให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และเชื้อราตามมา อาจทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 75 องศาเซลเซียส อันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต และบางครั้งอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้ (Chow, 1987; Neethirajan *et al*., 2007)

ความเสียหายเนื่องมาจากแมลงในโรงเก็บ

ผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาเก็บไว้ในโรงเก็บ หรือในโกดังมักจะเกิดความเสียหายโดยมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ ปัจจัยทางกายภาพ (physical factor) ได้แก่อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ ปัจจัยทางชีวภาพ (biological factor) ได้แก่ แมลง ไร เชื้อรา นก หนู แต่แมลงถือเป็นศัตรูที่สำคัญ และทำความเสียหายให้ผลิตผลมากที่สุด เนื่องจากแมลงมีขนาดเล็ก ต้องการอาหารในการดำรงชีวิตน้อย สามารถขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว และเจริญเติบโตได้ในเวลาอันสั้น ประกอบกับอุณหภูมิ และความชื้นในประเทศไทยเหมาะสมกับการแพร่ขยายพันธุ์ของแมลง ดังนั้นการแพร่ระบาดของแมลงจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว (ชุมพล, 2533) แมลงศัตรูหลังการเก็บเกี่ยวเป็นปัญหาสำคัญที่พบอยู่ทั่วโลก แม้ว่าในแต่ละแห่งจะพบแมลงศัตรูที่สำคัญเฉพาะพืชเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้น แต่เนื่องจากแมลงศัตรูโรงเก็บสามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วโลกซึ่งเป็นลักษณะที่พิเศษกว่าแมลงชนิดอื่น ๆ คือ สามารถอาศัย และมีชีวิตอยู่ได้ในทุกสภาพอากาศ และภูมิภาคต่าง ๆ เนื่องจากแมลงเหล่านี้มีการเคลื่อนย้าย และแพร่กระจายไปได้อย่างกว้างขวางโดยติดไปกับผลิตผลที่เป็นสิ่งบริโภคที่มีการซื้อขายแลกเปลี่ยนกันทั่วโลก และยังเป็นไปได้อย่างรวดเร็วตามระบบค้า และการขนส่งที่ทันสมัยในยุคปัจจุบัน เราจึงพบว่าแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรมีการแพร่ระบาดไปทั่วโลก และระบาดได้ตลอดปี (ชูวิทย์ และคณะ, 2526) ลักษณะการทำลายของแมลงต่อผลิตผลเกษตร ได้แก่ การกัดกิน หรือแทะเล็มภายนอก (external feeder) คือการที่แมลงอาศัย และทำลายอยู่ภายนอกเมล็ด ทำความเสียหายเฉพาะภายนอกโดยทำให้เกิดขุย ผิวของเมล็ด หรือผลิตผลถูกทำลายคุณภาพตลอดจนถักใยให้เมล็ดพืช หรือผลิตผลมาเกาะติดกันเป็นก้อน รวมถึงพวกที่กัดกินเศษอาหาร แมลงประเภทนี้ได้แก่ ผีเสื้อข้าวสาร มอดแป้ง ไร เหาหนังสือ และการที่แมลงอาศัยกัดกินอยู่ภายในเมล็ด (internal feeder) คือการที่แมลงอาศัย และทำลายอยู่ภายในเมล็ด โดยตัวเต็มวัยของแมลงจะวางไข่อยู่ที่ผิวภายนอกเมล็ด เมื่อฟักไข่เป็นตัวหนอนเจาะเข้าไปภายในกัดกินเจริญเติบโตจนกระทั่งครบวงจรชีวิต ตัวเต็มวัยจะเจาะเมล็ดออกมาทำให้เป็นรู และภายในเป็นโพรง แมลงประเภทนี้ได้แก่ ด้วงงวงข้าว ด้วงงวงข้าวโพด ผีเสื้อข้าวเปลือก และมอดหัวป้อม (วิเชียร, 2525)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเสียหายของผลผลิตที่เกิดจากแมลงมีมากมาย โดยอาจแบ่งความเสียหายได้หลายประการ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ซึ่งเกิดจากการที่แมลงกัดกินเข้าทำลายเมล็ด การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร (nutrition loss) คือการที่แมลงเข้าทำลายส่วนของเอนโดสเปิร์มในเมล็ดซึ่งเป็นแหล่งอุดมไปด้วยวิตามิน การสูญเสียความงอก (germination loss) คือการที่แมลงเข้ากัดกินภายในเมล็ด ทำให้เมื่อนำเมล็ดไปเพาะ เมล็ดจะไม่สามารถงอกได้ หรืองอกได้ต้นไม่สมบูรณ์ การสูญเสียคุณภาพ (quality loss) คือการที่ผลผลิตถูกแมลงเข้าทำลาย และเกิดฝุ่นผง ชิ้นส่วน หรือของเสียของแมลงปนเปื้อนในเมล็ดทำให้คุณภาพของเมล็ดเสียหาย และก่อให้เกิดความชื้นจนเป็นเชื้อราได้ การสูญเสียเงิน (money loss) เมื่อแมลงเข้าทำลายผลผลิต ทำให้น้ำหนักผลผลิตลดลงมากทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ และราคาผลผลิตตกต่ำลง และการสูญเสียชื่อเสียง (loss of goodwill) คือการที่แมลงเข้าทำลายผลผลิต ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ทำให้ผู้ซื้อ และผู้บริโภคหมดความไว้วางใจในสินค้า ทำให้เสียชื่อเสียง (ชูวิทย์ และคณะ, 2526)

แมลงที่พบเข้าทำลายข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในประเทศไทยมีหลายชนิด ดังนี้ ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม ด้วงงวงข้าว มอดแป้ง (ภาพ 2.1) มอดฟันเลื่อย ผีเสื้อข้าวสาร มอดสยาม ผีเสื้อข้าวโพด ด้วงท้องแบน เหาหนังสือ และไรแป้ง เป็นต้น นอกจากแมลงศัตรูที่สำคัญดังกล่าวแล้วยังพบแมลงอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งเป็นทั้งแมลงศัตรูทำลายผลผลิต และแมลงศัตรูธรรมชาติซึ่งเป็นศัตรูของแมลงเหล่านั้น แมลงบินอื่น ๆ ที่บินตามแสงไฟเข้าไปในโรงเก็บ และรวมถึงแมลงศัตรูในบ้านเรือนประเภท ยุง แมลงวัน และแมลงสาบ เป็นต้น การป้องกันกำจัดแมลงที่ดีจำเป็นจะต้องรู้จักชนิดของแมลง รูปร่าง ลักษณะ วงจรชีวิต และลักษณะการเข้าทำลาย จึงจะสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ชูวิทย์ และคณะ, 2526)

ภาพ 2.1 ความเสียหายที่เกิดจากมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)

มอดแป้ง (red flour beetle)

มอดแป้งจัดอยู่ในอันดับ Coleoptera วงศ์ Tenebrionidae เป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของแป้ง กัดกินภายนอกเมล็ดพืชทุกชนิด รวมทั้งข้าวเปลือก ปลายข้าว รำ แกลบ ถั่วชนิดต่าง ๆ เมล็ดพืชน้ำมัน เครื่องเทศ ผลไม้แห้ง หนังสัตว์ รวมถึงอาหารสัตว์สำเร็จรูป สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้อาหารนั้นมีกลิ่นเหม็นและสกปรก ซึ่งเกิดจากการปล่อยฮอร์โมน benzoquinones ที่ผลิตจากต่อมที่อยู่ตรงส่วนท้อง และกลิ่นนี้จะติดทนนานในอาหารจึงไม่เหมาะสมสำหรับนำไปบริโภค (พรทิพย์ และคณะ, 2548; อุดม, 2526)

รูปร่างลักษณะและชีวประวัติ

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 ลักษณะที่จะแยกความแตกต่างระหว่างมอดแป้งทั้ง 2 ชนิดออกจากกันได้คือ red flour beetle มีขอบเหนือตาไม่เว้า ตาแยกจากกันเป็นระยะน้อยกว่า 2 เท่าของความกว้างของตา ปล้องหนวด 3 ปล้องสุดท้ายขยายใหญ่ออกเป็นแบบลูกตุ้ม (capitate) ด้านข้างของอกมีลักษณะโค้ง ส่วน confused flour beetle ขอบตามีลักษณะเว้า แยกออกจากกันเป็นระยะ 3 เท่าของความกว้างของตา ปล้องหนวด 5 หรือ 6 ปล้องสุดท้ายค่อย ๆ ขยายออกเป็นแบบกระบอง (clavate) ด้านข้างของอกมีลักษณะตรง (อุดม, 2526) (ภาพ 2.2) ตัวเมียในชั่วชีวิตอาจจะผสมพันธุ์หลายครั้ง และสามารถวางไข่ได้ 400-500 ฟอง ตามกระสอบ รอยแตกของเมล็ดข้าว ภาชนะที่ใช้บรรจุ หรือบนแป้ง ไข่มีรูปร่างยาวรี สีขาว เมื่อวางไข่เสร็จตัวเมียจะขับสารเหนียวหุ้มทำให้ไข่เกาะติดอาหารได้ง่าย (ภาพ 2.3) ไข่จะฟักภายใน 3-7 วัน กลายเป็นหนอนสีน้ำตาลอ่อนเรียวยาว ส่วนหัวสีเข้ม ตรงส่วนปลายสุดของลำตัวมีลักษณะที่เป็นอวัยวะยื่นออกมาเป็น 2 แฉก (forked tail) หนอนมี 5-12 instars ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมี 7 หรือ 8 instars ระยะหนอน 21-40 วัน (ภาพ 2.4) เข้าดักแด้แบบ exarate นาน 3-7 วัน (ภาพ 2.5) แล้วกลายเป็นตัวเต็มวัย มอดแป้งอาจครบวงจรชีวิตภายใน 20-40 วัน (ภาพ 2.6) ในขณะที่สภาพแวดล้อมเหมาะสม คือที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ มอดแป้งจะมีการพัฒนาจากไข่จนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลาเพียง 19-20 วัน (Arbogast, 2000) แต่ถ้าสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมอาจใช้เวลานาน 3-4 เดือน ตัวเต็มวัยอาจมีชีวิตอยู่ได้นาน 6 เดือน หรือมากกว่า (ชุมพล, 2533)

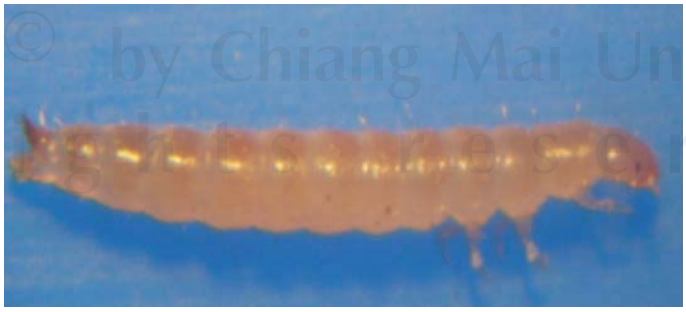
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

T. Castaneum *T. Confusum*

ภาพ 2.2 ความแตกต่างระหว่างมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst) และ *Tribolium confusum* (J. Du Val)

ที่มา: PaDIL (2009a, 2009b)

ภาพ 2.3 ไข่ของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)



ภาพ 2.4 หนอนของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.5 ดักแด้ของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)

ภาพ 2.6 ตัวเต็มวัยของมอดแป้ง *Tribolium castaneum* (Herbst)

การแพร่กระจายและฤดูกาลระบาด

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การป้องกันกำจัดมอดแป้ง

โดยทั่วไปการป้องกันกำจัดมอดแป้งและแมลงศัตรูโรงเก็บอื่น ๆ แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การป้องกัน ซึ่งเป็นการกระทำก่อนที่แมลงจะลงทำลาย และการกำจัดเป็นการกระทำหลังจากที่มีแมลงทำลายเรียบร้อยแล้วสำหรับการกำจัดนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อย คือ การกำจัด หรือทำลายให้หมดไป และการกำจัดให้ปริมาณของแมลงลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับกันทั่วไป (ชุมพล, 2533)

1. การป้องกัน และกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมี

ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวเพื่อลดการใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรู เป็นการหลีกเลี่ยงอันตรายอันเนื่องมาจากการใช้สารเคมี เช่น พิษตกค้างที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และผู้ทำงานด้านนี้ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาการสร้างความต้านทานต่อสารเคมีของแมลง ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีการที่ไม่ใช้สารเคมีมาปฏิบัติแทน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการป้องกันหรือควบคุม ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้สิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบข้างแมลงไม่ให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตหรือการเจริญเติบโตของแมลง เช่น การทำความสะอาด การใช้ความร้อน และความเย็น การใช้พลังงานเสียง การใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า การใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันแมลง การใช้พันธุ์ต้านทาน การใช้กับดัก การใช้สารไล่ และสารดึงดูดแมลง เป็นต้น โดยอาจเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งตามความเหมาะสม หรือใช้ควบคู่กันไปเพื่อให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

สำหรับวิธีการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลงนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งความร้อนจากการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้แมลงตาย เนื่องจากขาดน้ำ และสูญเสียพลังงานจากการเผาผลาญของร่างกายที่เพิ่มขึ้น โดยแมลงแต่ละชนิดและแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ย่อมมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ไม่เท่ากัน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและแพร่ขยายพันธุ์ของแมลงศัตรูในโรงเก็บคือ 25-32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 วัน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิมากกว่า 62 องศาเซลเซียสขึ้นไป สามารถทำให้แมลงตายได้ภายใน 1 นาที (ตาราง 2.1) (Banks and Fields, 1995) การอบเมล็ดพืชที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถกำจัดมอดแป้งและแมลงได้ทุกชนิด (พรทิพย์ และคณะ, 2548) การใช้ความร้อนในการกำจัดมอดแป้งในแป้งสาลี โดยใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 55 นาที สามารถกำจัดตัวเต็มวัยได้ และเมื่อใช้เวลา 90 นาที สามารถกำจัดดักแด้ได้ (Roesli *et al*., 2003) นอกจากนี้การใช้ไอน้ำร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง สามารถกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บได้ โดยความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน DNA และ RNA การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และไอออนในแมลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละระยะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเจริญเติบโตของแมลง โดยทั่วไปในระยะตัวอ่อนจะมีความทนทานต่อความร้อนสูงกว่าตัวเต็มวัย และพบว่าหนอนวัยแก่ และดักแด้ของมอดแป้งทนความร้อนมากที่สุดโดยสามารถอยู่รอดได้เมื่อมีการกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอ ทำให้มอดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิค หรือผลิตเมแทบอไลต์ เพิ่มการสังเคราะห์โปรตีน (heat shock protein) เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของเซลล์ จึงเพิ่มความอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แต่ในกรณีที่มีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอจะพบว่าหนอนวัยอ่อนมีความทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าวัยอื่นโดยหนอนวัยอ่อนจะตายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในขณะที่วัยอื่น ๆ จะใช้เวลาเพียง 20 นาที (Mahroof *et al*., 2003)

ตาราง 2.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อแมลงศัตรูโรงเก็บ

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 a hour
Above 62	Death with in a minute

ที่มา: Banks and Fields (1995)

2. การป้องกัน และกำจัดโดยใช้สารเคมี

การป้องกันและกำจัดแมลงโดยใช้สารเคมี คือ การนำเอาสารเคมีที่ใช้โดยทั่วไป (ตาราง 2.2) ได้แก่ สารฆ่าแมลง สารดึงดูดแมลง สารไล่ และสารเคมีอื่น ๆ มาใช้ในการป้องกันและกำจัดแมลง โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัด หรือลดปริมาณแมลงที่อยู่ในโรงเก็บ รวมทั้งแมลงที่เคลื่อนย้ายเข้ามาจากแหล่งอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 สารฆ่าแมลงที่ใช้โดยทั่วไปกับผลผลิตทางการเกษตร

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า	สูตร	LD_{50} (mg/kg) oral	Dermal
Organophosphorus insecticides				
1.chlorpyrifos	Lorsben	50% EC	900	-
2.chlorpyrifos methyl	Reldan	50% EC	941-2,140	2,000
3.etrimphos	Satisfar	50% EC	1,800	-
4.fenitrothion	Folithion	50% EC	250-500	3,000
5.malathion	Malathion	50% EC, 5% WP	1,375	4,000
6.methacrifos	Damfin	50% EC	680	-
7.phoxium	Baythion	50% EC	1,845	-
8.pirimiphos methyl	Actellic	50% EC	2,050	2,000
9.tetrachlorvinphos	Gardona	75% EC	4,000	5,000
Synthetic pyrethriod insecticide				
10.bioresmethrin	Bioresmethrin		9,000	-
11.cyfluthrin	Baythorid	10% WP, 10% EC	540-1,189	-
12.cypermethrin	K-orthene	25% EC	4,000	-
13.deltamethrin	Ripcord	15% EC	2,200	-
14.permethrin	Coopex	10% EC	4,000	4,000
Fumigants				
15.methyl bromide	Methyl bromide, Dowfum			
16.aluminium phosphide	Celphos, Phostoxin			

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการที่ใช้สารเคมีมีหลายแบบ ดังนี้

1. การพ่นสารเคมีภายในและภายนอกโรงเก็บ โดยใช้สารเคมีพ่นไปตามฝาผนัง พื้น เพดาน หรือใต้หลังคาให้ทั่ว ซึ่งส่วนใหญ่จะทำหลังจากทำความสะอาดภายในโรงเก็บเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีแมลงตกค้างหลงเหลืออยู่ สารฆ่าแมลงที่นำมาใช้ควรมีพิษตกค้างนานพอสมควร เพื่อที่จะได้ไม่ต้องทำการพ่นบ่อยครั้ง สารฆ่าแมลงที่ควรนำมาใช้กับโรงเก็บ ได้แก่ pirimiphos methyl, malathion, fenitrothion, chlorpyrifos methyl, bromophos, tetrachlorvinfos, iodophenfos, chlorpyrifos, methacrifos, phoxim, permethrin และ carbaryl ส่วนอัตราการใช้สารฆ่าแมลง (ตาราง 2.3) มีอัตราการใช้ที่แตกต่างกันตามคุณสมัติของสาร และรูปแบบในการใช้ (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

2. การพ่นสารเคมีตามผิวหน้าของกองเมล็ด หรือบนกระสอบที่บรรจุเมล็ดพืช หรือผลิตผล โดยพ่นสารเคมีตามผิวหน้าของกองเมล็ด ซึ่งอาจทำในระยะที่เมล็ดถูกขนถ่ายเข้าโรงเก็บโดยผ่านทางสายพาน ซึ่งต้องติดหัวฉีดของเครื่องพ่นไว้เหนือสายพาน สารจะถูกพ่นออกไปในขณะที่เมล็ดผ่านไปตามสายพาน นอกจากนั้นการพ่นสารเคมีบนกระสอบที่บรรจุเมล็ดพืช อาจทำได้หลายแบบ เช่น พ่นสารบนกระสอบเป็นชั้น ๆ ไป คือวางกระสอบชั้นแรกก่อนแล้วพ่นสารทางด้านบน เสร็จแล้ววางชั้นที่สองแล้วพ่นสารแบบเดียวกัน ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นบนสุด วิธีการนี้จะช่วยป้องกันการย้อนกลับเข้ามาของแมลง และกำจัดแมลงที่อยู่ตามผิวกระสอบ สารฆ่าแมลงที่สามารถนำมาใช้ในการพ่นกระสอบได้ในปัจจุบันมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส ได้แก่ pirimiphos methyl, malathion, fenitrothion, bromophos, tetrachlorvinfos, chlorpyrifos methyl และกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ ได้แก่ permethrin และ deltamethrin (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

3. การพ่นสารเคมีเพื่อรมตามช่องว่างในโรงเก็บ โดยมักจะพ่นในรูปฝอยละเอียดมาก เพื่อกำจัดแมลงในโรงเก็บที่ยังว่างเปล่าก่อนที่จะนำผลิตผลมาเก็บไว้ และเป็นการป้องกันไม่ให้แมลงกลับเข้ามาทำลายผลิตผล สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ phoxim, fenitrothion และ chlorpyrifos methyl อัตรา 0.5–2.0 กรัมของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตร ควรพ่นหลังทำความสะอาดโรงเก็บ พ่นตามพื้นและฝาโรงเก็บให้ทั่ว ทั้งภายในและภายนอกโรงเก็บ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีแมลงรอดชีวิตอยู่ (พรทิพย์ และคณะ, 2548) ส่วนการพ่นสารแบบหมอกควัน โดยใช้เครื่องพ่นหมอกควัน พ่นไปบนกองเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในยุ้งฉาง โรงเก็บ หรือห้องที่มีสภาพปิดได้มิดชิด วิธีนี้สามารถกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือกได้เป็นอย่างดี สารฆ่าแมลงที่ใช้คือ fenitrothion อัตรา 20 มิลลิลิตร หรือ esbioallethrin, deltamethrin (Deltacide R) อัตรา 5 มิลลิลิตร ผสมน้ำมันโซล่า 100 มิลลิลิตรต่อข้าวเปลือก 6 ตัน (กรมการข้าว, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.3 อัตราการใช้สารฆ่าแมลงบางชนิดโดยวิธีต่าง ๆ

ชนิดของสารฆ่าแมลง	การคลุกเมล็ด	พ่นโรงเรือน	พ่นกองเมล็ด
	g.ai/100 kg		
1.chlorpyrifos	0.4-0.6	-	-
2.chlorpyrifos methyl	0.6-0.8	-	-
3.fenitrothion	0.8-1.0	0.5-1.0	0.5-1.0
4.phoxium	0.4-0.6	0.5	0.5-1.0
5.pirimiphos methyl	0.4-0.6	0.5	0.5-1.0

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (2548)

4. การคลุกสารเคมีกับเมล็ดพืช (ตาราง 2.3) วิธีนี้จะใช้เมล็ดพันธุ์เท่านั้น และควรทำหลังจากเก็บเกี่ยว ใหม่ ๆ เพราะการทำลายของแมลงในระยะนั้นยังมีน้อย การใช้สารเคมีคลุกเมล็ดเหมาะสำหรับเมล็ดที่ใช้เป็นเมล็ดพันธุ์เท่านั้น ไม่เหมาะกับเมล็ดที่จะนำมาบริโภค สารเคมีที่ใช้คลุกเมล็ดมีหลายชนิดได้แก่ chlorpyrifos methyl และ pirimifos methyl แต่ในข้าวเปลือก ซึ่งแม้ว่าจะทำไปเพื่อจุดประสงค์ของการทำเมล็ดพันธุ์ แต่เมล็ดที่เหลือใช้ เกษตรกรอาจนำไปเลี้ยงสัตว์หรือสีเพื่อบริโภคในครอบครัว ดังนั้นสารเคมีที่ใช้คลุกเมล็ดจึงมีน้อยชนิด สารเคมีที่นำมาใช้คลุกเมล็ดควรเป็นสารประเภทไพรีทรอยด์ ไพรีทรอยด์สังเคราะห์ ออร์กาโนฟอสฟอรัส และสารประเภทคาร์บาเมท (สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.4 สารฆ่าแมลงที่ให้ใช้ในการคลุกเมล็ด

ชื่อสามัญ	ชื่อการค้า
ใช้กับเมล็ดพันธุ์และเมล็ดที่ใช้บริโภค	
1.pirimiphos methyl	Actellic
2.chlorpyrifos methyl	Reldan
3.methacrifos	Damfin
4.cypermethrin	K-orthene
5.deltamethrin	Ripcord
6.fenitrothion	Sumithion
ใช้กับเมล็ดพันธุ์เท่านั้น	
1.chlorpyrifos	Lorsben
2.etrimphos	Satisfar
3.phoxium	Baythion

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (2548)

สารเคมีประเภทไพรีทรอยด์และไพรีทรอยด์สังเคราะห์ ได้แก่ pyrethrin, bioresmetrin และ permethrin เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถกำจัดมอดข้าวเปลือกได้ผลดีกว่าสารชนิดอื่น สารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสที่นำมาใช้คลุกเมล็ดพันธุ์และให้ผลยาวนานหลายเดือนคือ pirimiphos methyl ซึ่งให้ผลดีในการกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือก ด้วงงวง และมอดชนิดอื่น ๆ สารเคมีชนิดอื่นในกลุ่มนี้ที่นำมาใช้คลุกเมล็ดได้ ได้แก่ chlorpyrifos methyl, fenitrothion และ etrimphos แต่พบว่าแมลงศัตรูในโรงเก็บหลายชนิดได้พัฒนาความต้านต่อสารดังกล่าว (Arthur, 1996; Beeman and Wright, 1990) สารประเภทคาร์บาเมทที่นำมาใช้คลุกเมล็ดสำหรับทำเมล็ดพันธุ์ได้แก่ carbaryl (savin) ซึ่งเป็นสารฆ่าแมลงที่มี LD_{50} ทางปากและผิวหนังน้อยกว่าสารเคมีประเภท คาร์บาเมทชนิดอื่น และค่อนข้างคงทน เมื่อนำมาทำการคลุกเมล็ดจะให้การป้องกันกำจัดแมลงได้นานหลายเดือน สารเคมีชนิดนี้อยู่ในรูปของผงละลายน้ำ ต้องนำผงของสารฆ่าแมลงมาละลายน้ำให้เจือจางลงแล้วทำการคลุกกับเมล็ดพืช (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

5. การชุบสารเคมีตามกระสอบ หรือถุงที่ใช้บรรจุ วิธีนี้จะช่วยชะลอ หรือป้องกันการเข้าทำลายของแมลงศัตรูได้ แต่โอกาสที่แมลงถูกสารเคมีน้อยและแมลงยังสามารถเข้าทำลายผลิตผลได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายหลัง อีกทั้งวิธีนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงเพราะต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก และทำให้กระสอบเปื่อยเร็ว สารเคมีที่นำมาใช้ในการชุบกระสอบคือ pirimiphos methyl, phoxim เป็นต้น (พรทิพย์ และคณะ, 2548)

จากกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ผ่านมา ได้มีการใช้สารในกลุ่มต่าง ๆ โดย Lorini and Galley (1999) พบว่า มอดหัวป้อมสามารถต้านทานสาร deltamethrin ได้ในประเทศบราซิล นอกจากนั้น จากการรายงานผลการทดลองความต้านทานสารฆ่าแมลงในมอดหัวป้อมจากประเทศบราซิล และอเมริกา พบว่า มอดหัวป้อมมีการต้านทานสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส โดยมีค่าอัตราส่วนความต้านทาน (resistance ratio) ซึ่งได้จากค่าสัดส่วน LC_{50} ของประชากรมอดหัวป้อมที่ต้องการศึกษาต่อประชากรมอดหัวป้อมที่อ่อนแอในสารกลุ่ม organophosphate ได้แก่ malathion, pirimiphos และ chlorpyrifos methyl โดยมีค่าสัดส่วนความต้านทาน เป็น 2.1-12.2, 2.4-9.2 และ 5.6-167.9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอดหัวป้อมมีความต้านทานต่อ chlorpyrifos methyl สูงมากซึ่งไม่เคยมีการรายงานมาก่อนทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา และบราซิล (Carvalho *et al*., 1996)

6. การรมสารเคมีกับผลิตผล เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการป้องกันกำจัดแมลง และรมสินค้าเพื่อการส่งออก เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต รวมทั้งยังทำลายศัตรูชนิดอื่น ๆ เช่น นก หนู ไร และเชื้อรา สารที่ใช้ในการรมนั้นแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะทางกายภาพ คือ สารรมในสภาพก๊าซ ของแข็ง และของเหลว สารรมส่วนใหญ่เข้าสู่ตัวแมลงผ่านทางระบบหายใจ หรือซึมผ่านผนังลำตัวของแมลง สารรมเป็นตัวกันการดูดซึมออกซิเจนของเนื้อเยื่อของแมลง มีผลทำให้แมลงขาดออกซิเจน รวมทั้งมีผลต่อเอนไซม์ของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของแมลง ซึ่งส่งผลต่อการดูดซึมออกซิเจนไปใช้ และสารรมยังมีผลต่อระบบประสาท จึงทำให้แมลงตายเร็วขึ้น การรมให้ได้ผลดีนั้นต้องดำเนินการโดยมีการใช้วัสดุที่เหมาะสมสามารถเก็บกักก๊าซที่ใช้รมให้อยู่เฉพาะบริเวณที่กำจัดโดยไม่ให้รั่วไหลออกมาสู่บริเวณอื่น ที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกอบรมที่ถูกต้อง มีการระมัดระวังเพื่อความปลอดภัยอย่างเข้มงวด การรมที่มีการปฏิบัติอย่างไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดอันตราย และเสียค่าใช้จ่ายมาก ผลิตผลที่รมอาจเสียหาย หรือได้รับผลกระทบที่ตรงข้ามกับความต้องการ อีกทั้งยังทำให้แมลงศัตรูสร้างความต้านทานสารรม (ชุมพล, 2533)

สารรมที่นิยมนำมาใช้รมผลิตผลทางการเกษตรอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออกคือสารเมทิลโบรไมด์ และสารฟอสฟีน ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้สารฟอสฟีนเพิ่มขึ้นเพื่อทดแทนสารเมทิลโบรไมด์ เนื่องจากสารเมทิลโบรไมด์แม้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ดี และใช้ระยะเวลาในการรมสั้น แต่ถูกระบุว่าเป็นสารที่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ มีผลทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุลตร้าไวโอเลตส่องผ่านมายังโลกมากกว่าปกติ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (พรทิพย์ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คณะ, 2548; Mason and Obermager, 2006; Weaver and Petroff, 2004) ผลกระทบเหล่านี้ทำให้สารเมทิลโบร์ไมด์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของพิธีสารมอนทรีออลว่าด้วยการเลิกใช้สารที่ทำลายชั้นบรรยากาศที่องค์กรเพื่อสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติได้จัดทำขึ้นเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2530 โดยประเทศไทยได้ลงนามพิธีสารฉบับนี้ จึงต้องมีการควบคุมปริมาณการใช้ และยกเลิกการใช้ภายในปี พ.ศ. 2558 (ใจทิพย์, 2549)

สารฟอสฟีนเป็นสารรมอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการรมผลิตผลเกษตร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงได้ดีเมื่อใช้อย่างถูกต้อง เปรียบเทียบกับสารเมทธิลโบรไมด์แล้ว การใช้สารฟอสฟีนจะประหยัดกว่า และใช้ง่ายกว่า แต่ข้อจำกัดของสารฟอสฟีนคือ ต้องใช้ระยะเวลาหลายวันในการรมแต่ละครั้ง อีกทั้งแมลงบางชนิดสามารถสร้างความต้านทานต่อสารเคมีชนิดนี้ (Roesli *et al*., 2003; Zettler *et al.*, 1989) ส่วนมอดแป้งพบว่ามีการพัฒนาในการสร้างความต้านทานต่อสารฟอสฟีน (Chaudhry, 2000)

บุษรา และคณะ (2537) รายงานว่า ผลจากการทดสอบความต้านทานของมอดข้าวเปลือกต่อสารฟอสฟีน พบว่า มอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงราย สุพรรณบุรี และสกลนคร แสดงความต้านทานต่อสารนี้ และมอดข้าวเปลือกจากจังหวัดเชียงรายต้านทานต่อสารฟอสฟีน สูงถึง 3 เท่าของอัตราที่กำหนดไว้ทดสอบ

สารฟอสฟีนที่ความเข้มข้นมากกว่า 1.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถลุกไหม้ได้ นอกจากนี้การใช้สารฟอสฟีนยังทำให้ผลิตผลปนเปื้อนไปด้วยเศษผงของสารเคมี สารฟอสฟีนเป็นสารไม่มีสีและไม่มีกลิ่น แต่สารชนิดอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นปะปนพร้อมสารฟอสฟีนจะมีกลิ่นคล้ายกระเทียม สารฟอสฟีนที่ระดับความเข้มข้นของการรมจะกระจายตัวสู่อากาศได้อย่างรวดเร็ว และมีคุณสมบัติในการกระจายตัวได้ดีมาก ที่ระดับปริมาณการใช้ปกติสารฟอสฟีนจะไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ดที่ระดับความชื้นเหมาะสม แต่อาจจะมีผลทำให้ความสามารถในการงอกลดลงถ้าใช้กับเมล็ดที่มีความชื้นสูง สารฟอสฟีนละลายน้ำได้เล็กน้อย และมีความสามารถในการทำละลายต่ำในตัวทำละลายส่วนใหญ่ นอกจากนี้สารฟอสฟีนจะทำปฏิกิริยากัดกร่อนทองแดง และโลหะผสมทองแดง เช่น ทองเหลือง ในสภาวะที่มีความชื้นและเกลือในอากาศ เช่น น้ำทะเล สารฟอสฟีนอาจจะทำลายเครื่องมือที่ทำด้วยทองแดงหรือโลหะผสมทองแดง รวมทั้งฟิล์มถ่ายรูป ดังนั้นก่อนใช้สารฟอสฟีนจำเป็นต้องมีการคลุมหรือเคลือบเครื่องมือต่าง ๆ ก่อน (พรทิพย์ และคณะ, 2548) จากข้อเสียเหล่านี้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการใช้สารฟอสฟีนแบบใหม่ขึ้น โดยนำฟอสฟีนไปผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารผสมที่เรียกว่า ECO_2FUME ซึ่งมีสารฟอสฟีน 2.6 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรสารผสมนี้สามารถใช้รมผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดรวมทั้งอาหารและยาสูบ (Williams, 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การนำวิธีอื่นมาใช้ร่วมกับสารฟอสฟีนเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรสามารถทำได้ เช่น การใช้สารฟอสฟีนร่วมกับความร้อน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดลองพบว่าการใช้สารฟอสฟีน 50 - 100 ppm (9-18 เปอร์เซ็นต์ ของสารฟอสฟีน ความเข้มข้นมาตรฐาน) ที่อุณหภูมิ 32-37 องศาเซลเซียสร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ 4-6 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำให้แมลงหลายชนิด เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดแป้ง และด้วงงวงข้าว ในทุกระยะของการเจริญเติบโตมีเปอร์เซ็นต์การตายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์มีผลให้แมลงที่ศึกษานั้นอ่อนแอต่อสารฟอสฟีน ประโยชน์ของการใช้สารฟอสฟีนและคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกันนี้ นอกจากสามารถกำจัดแมลงได้ทุกระยะแล้ว การใช้สารฟอสฟีนในอัตราความเข้มข้นต่ำยังลดการสึกกร่อนของโลหะอันเป็นปัญหาที่เกิดจากการใช้สารฟอสฟีนอย่างเดียว ปัจจุบันนักวิจัยพยายามปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของสารและอุณหภูมิที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความเหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ บริษัทเอกชนที่เป็นผู้ประกอบการรมในสหรัฐอเมริกา ได้จดสิทธิบัตรเทคโนโลยีนี้แล้วเมื่อปี พ.ศ.2538 ในขณะที่การพัฒนาก็เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยให้ความสนใจกับประสิทธิภาพที่มีต่อแมลงหลากหลายชนิด ความสามารถในการแทรกซึมของสารทั้งสองชนิดในผลิตผลเกษตร และการสึกกร่อนของโลหะ (ใจทิพย์, 2549)

คาร์โบนิลซัลไฟด์เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การใช้สารเคมีชนิดนี้อาจเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อทดแทนสารเมทธิลโบรไมด์สำหรับผลิตผลเกษตรในการรมเพื่อป้องกันกำจัดแมลง Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ประเทศออสเตรเลีย เริ่มทำการวิจัยประสิทธิภาพของสารนี้ และจดสิทธิบัตรการใช้สารนี้เป็นสารรมเมื่อปี พ.ศ. 2536 ขณะนี้ United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service (USDA/ARS) กำลังประเมินศักยภาพของสารนี้ในการควบคุมแมลงหลังเก็บเกี่ยวของผลไม้ โดยได้ศึกษาความเป็นพิษกับแมลง 5 ชนิดคือ ตัวอ่อนของ navel orangeworm (*Amyelois transitella* (Walker)) ตัวเต็มวัยของมอดฟันเลื่อย (sawtoothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.)) ด้วงผลไม้ (dried-fruit beetle, *Carpophilus hemipterus* (L.)) มอดยาสูบ (cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (F.)) และมอดแป้ง (confused flour beetle, *Tribolium confusum* (J. Du Val)) พบว่า แมลงแต่ละชนิดมีความอ่อนแอต่อสารนี้แตกต่างกัน โดยค่า LC_{90} อยู่ระหว่าง 2.66 - 15.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากงานทดลองในประเทศออสเตรเลียพบว่า ใช้คาร์โบนิลซัลไฟด์อัตรา 60 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีผลให้ทุกระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวง (*Sitophilus* sp.) ตาย 99 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส อัตราที่ใช้จะลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อใช้เวลาเท่ากัน และนอกจากใช้กับแมลงศัตรู

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตผลเกษตรแล้วยังแนะนำให้ใช้กับพืชผักสดในอัตราที่สูงขึ้นแต่ระยะเวลาสั้นลงสำหรับการขนส่งสินค้า (ใจทิพย์, 2549)

ยังมีทางเลือกอีกหลายทางที่จะสามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันกำจัดแมลงได้ ถึงแม้ว่าทางเลือกต่าง ๆ จะไม่สามารถแทนที่การใช้สารเมทธิลโบรไมด์ได้หมดในอุตสาหกรรมเกษตร แต่ทางเลือกเหล่านี้ก็มีศักยภาพในการลดปริมาณศัตรูที่สำคัญของผลิตผลเกษตรได้ เมื่อนำไปใช้ร่วมกัน ในการบริหารศัตรูแบบบูรณาการ บางวิธีก็ได้มีการใช้อยู่แล้ว และบางวิธียังอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนา (ใจทิพย์, 2549; พรทิพย์ และคณะ, 2548)

การพ่นสารเคมีชนิดมีฤทธิ์ตกค้าง (residual spray)

การพ่นสารเคมีชนิดมีฤทธิ์ตกค้าง คือการพ่นเคมีให้มีฤทธิ์ตกค้างบนพื้นผิวอาคารบ้านเรือน กระท่อม เพิง ที่พักอาศัย เฉพาะพื้นผิวที่ยุงพาหะในพื้นที่ชอบเกาะพัก กรมควบคุมโรค (2552) ได้รายงานว่าสารเคมีที่ใช้ คือ deltamethrin 5% WDP. พ่นบนพื้นผิวภายในอาคารบ้านเรือนให้มีสารออกฤทธิ์ติดพื้นผิวขนาด 20 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ปีละ 1 หรือ 2 รอบ ซึ่งรอบของการพ่นเคมีต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 3 เดือน กรณีใช้สารเคมีอื่น ๆ ความถี่ของรอบการพ่นเคมีปรับตามความคงทนของสารออกฤทธิ์ตกค้างบนพื้นผิว ในขนาดความเข้มข้นของสารเคมีที่ได้กำหนดไว้

สมศักดิ์ (2550) ได้รายงานว่าวัตถุประสงค์ของการพ่นสารเคมีทางเกษตรที่พ่นสารเคมีลงพื้นที่ผิวที่คาดว่าแมลงจะมาเกาะหรือคลานผ่านบริเวณที่ฉีดพ่นสาร ซึ่งวิธีการพ่นทางการเกษตรว่า residual spray ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการพ่นกำจัดแมลงบินจึงมักเลือกใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์แบบถูกตัวตาย หายใจแล้วตาย และมักจะใช้สารเคมีที่สลายตัวได้เร็ว มีฤทธิ์ทนทานได้นานหลายเดือน คุณสมบัติของสารดังกล่าวให้ผลในการควบคุมกับแมลงที่บินในบ้าน หรือโกดังเก็บสินค้า ทั้งนี้เพราะสถานที่ดังกล่าวพื้นที่น้อยกว่ามากและมีกำแพงกั้นรอบด้าน ละอองสารเคมีจะติดเกาะได้ในปริมาณมากพอที่จะฆ่าแมลงได้แมลงมาเกาะและรับสารเคมีเข้าไป

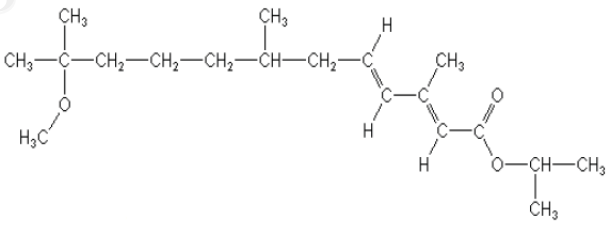
สมบัติ และฏากร (2547) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อการควบคุมไข้มาลาเรียโดยการพ่นสารเคมีมีฤทธิ์ตกค้างด้วย deltamethrin 5% WDP. ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าในพื้นที่ที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร deltamethrin และพื้นที่ที่มีการฉีดพ่นสาร deltamethrin มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และพบว่าการพ่นสารเคมีมีฤทธิ์ตกค้างด้วย deltamethrin ทำให้อัตราเคยวางไข่ (parous rate) ของยุง *An. minimus* ลดลงแตกต่างจากพื้นที่ที่ไม่มีการฉีดพ่นสาร อัตรากการวางไข่ที่ลดลงนี้น่าจะแสดงถึงการลดลงของประชากรยุงที่ได้เข้ากัดคนในบ้านและไปแพร่เชื้อได้ ทำให้ลดโอกาสในการแพร่เชื้ออันเป็นวัตถุประสงค์หลักของการพ่นสารเคมีมีฤทธิ์ตกค้างในปัจจุบัน แม้ว่าจะไม่สามารถลดความหนาแน่นของยุงโดยภาพรวมได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Mohandass *et al.* (2006b) ได้ทำการทดลองสาร hydroprene ซึ่งเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง อยู่ในในกลุ่มสาร juvenile hormone analog (JHA) ทำการทดลองกับตัวหนอนของผีเสื้ออินเดีย (Indianmeal Moth, *P. interpunctella* (Hübner)) สาร hydroprene ที่ความเข้มข้น $1.9x10^{-3}$ มิลลิกรัมของสารออกฤทธิ์ต่อตารางเมตร ที่ฉีดพ่นบนวัสดุพื้นผิวคอนกรีตที่เทลงบน petri dishes กับหนอนเป็นเวลา 1, 3, 6, 12, 18, 24 และ 30 ชั่วโมง กับอุณหภูมิที่ 16, 20, 24, 28 และ 32 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 57 เปอร์เซ็นต์ สาร hydroprene มีผลทำให้แมลงตายโดยมีการตอบสนองกับพื้นผิววัสดุคอนกรีต และสารใช้ได้ผลดีเช่นเดียวกับสารป้องกันกำจัดแมลง (insecticide) ที่ใช้ฉีดพ่นกับพื้นผิววัสดุทั่วไป และสารมีฤทธิ์ตกค้างได้ดีในพื้นผิวคอนกรีตโดยตัวหนอนมีอัตราการตายมากที่สุดคือ 82.0±0.1 เปอร์เซ็นต์ หลังฉีดพ่นสาร 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และตัวหนอนมีอัตราการตายน้อยที่สุดคือ 0.0±0.5 เปอร์เซ็นต์ หลังฉีดพ่นสาร 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส

สารเมโธพรีน (methoprene)

สารเมโธพรีนเป็นสารเคมีที่ควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง มีโครงสร้างดังภาพ 2.7 เข้าทำลายเฉพาะแมลงขณะที่เป็นตัวหนอน ดักแด้ และไข่ โดยพบว่าในแมลงศัตรูในโรงเก็บ ได้แก่ มอดแป้ง (red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst)) มอดฟันเลื่อยใหญ่ (merchant grain beetle, *Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) และผีเสื้อข้าวสาร (rice moth, *Corcyra cephalonica* (Stainton)) เข้าทำลายเมล็ดบริเวณภายนอกของเมล็ดข้าว นอกจากนี้การวางไข่ของแมลงดังกล่าวจะมีการวางไข่ภายนอกของเมล็ดข้าว ดังนั้นการใช้สารเมโธพรีนจะสามารถทำการฉีดพ่นสารได้ในระยะไข่ได้ และมีผลต่อการได้รับสารเมโธพรีนได้มากกว่าใน ด้วงงวงข้าว (Rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.)) ผีเสื้อข้าวเปลือก (angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (Olivier)) และมอดข้าวเปลือก (lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.)) ซึ่งแมลงเหล่านี้จะมีการทำลายเมล็ดข้าวโดยเข้าไปทำลายเมล็ดข้าวบริเวณภายใน มีการวางไข่ภายในบริเวณเมล็ดข้าว ดังนั้นการรับสารเมโธพรีน ของแมลงเหล่านี้จะมีโอกาสในการในการได้รับสารน้อยกว่าแมลงจำพวกแรก (Chanbang, 2005)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพ 2.7 โครงสร้างสารเมโธพรีน (Bloomquist, 1999)

สารเมโธพรีนเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโต ในกลุ่ม terpenoid ผลิตโดย บริษัท Wellmark International เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยสูง มีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำ และไม่ทำให้เกิดผลเสียกับสิ่งแวดล้อม ใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูในชุมชน เช่น ยุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกน้ำยุง แมลงศัตรูสัตว์เลี้ยง และแมลงศัตรูในโรงเก็บ (Wellmark International, 2006)

สารเมโธพรีนมีคุณสมบัติเป็นสารสังเคราะห์เลียนแบบฮอร์โมนจากต่อม corpora allata ของแมลงซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง ความเป็นพิษมีคุณสมบัติคล้าย juvenile hormone analog (JHA) ทำให้แมลงไม่เจริญเติบโตไปเป็นตัวเต็มวัย มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีเป็นแบบละลายในน้ำมัน (EC, emulsifiable concentrate) มีค่า Oral LD_{50} (rat) : >5100 mg/kg bw. ค่า Dermal LD_{50} (rabbit) : >2,100 mg/kg bw. และค่า Inhalation LC_{50} (rat)> 5.19 mg/L air (S) Methoprene สารเมโธพรีนละลายได้ดีในตัวทำละลาย สารเมโธพรีนมีกลไกการออกฤทธิ์โดยเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง โดยจะไปขัดขวางการสร้าง chitin ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผิวภายนอกของแมลงในระยะที่เป็นตัวอ่อน เมโธพรีนจะให้ทำให้แมลงเจริญเติบโตช้า การลอกคราบใช้เวลานานกว่าปกติ แมลงไม่สามารถลอกคราบไปเป็นดักแด้ได้ และจะตายไปในที่สุด (Auther, 2004; Chanbang, 2005) สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลงมีข้อดีคือมีความจำเพาะเจาะจงต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นเป้าหมาย จึงไม่มีอันตรายหรือมีอันตรายน้อยมากต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น ปลา และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม การใช้สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลงเพื่อทดแทนสารเคมี จะเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาพิษตกค้างสารเคมีและการดื้อสารเคมีของแมลง (ศานิต, 2550; Wellmark International, 2006)

สารเมโธพรีนเป็นสารเคมีในกลุ่มสารยับยั้งการเจริญเติบโตชนิดเดียวที่สามารถนำไปใช้คลุกเมล็ดธัญพืชบางอย่างได้ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Oberlander and Silhacek, 2000) ซึ่ง Arthur (2004) รายงานว่าสามารถใช้ป้องกัน มอดข้าวเปลือกที่เข้าทำลายข้าวสาลีได้ แต่พบการตายของตัวเต็มวัยของมอดข้าวเปลือก และ ด้วงงวงข้าว ในระดับต่ำ ในการทดลองของ Chanbang (2005) พบว่าสารเมโธพรีนมีผลยับยั้งอัตราการฟักไข่ของมอดข้าวเปลือกได้ 40 เปอร์เซ็นต์ และหากระยะหนอนของมอดข้าวเปลือกสามารถรอดชีวิตจะเจริญเติบโตได้ระยะหนึ่ง ในที่สุดจะไม่สามารถพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ สารเมโธพรีนอัตรา 1 ppm สามารถป้องกันมอดข้าวเปลือกไม่ให้เจริญเติบโตได้ในรุ่นลูกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (Chanbang, 2005) และสารเมโธพรีนมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของ มอดแป้ง 2 ชนิดได้แก่ *T. castaneum* และ *T. confusum* อีกด้วย (Loschiavo, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ Oberlander and Silhacek (2000) รายงานว่าการใช้สารเมโธพรีนกับตัวเต็มวัยของมอดข้าวเปลือก *R. dominica* ที่ทำลายข้าวสาลี โดยทำการใช้สาร 0.1 – 4 ppm ในเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า มอดข้าวเปลือก *R. dominica* เคลื่อนตัวออกจากข้าวสาลีที่มีการใช้สารเมโธพรีนไปยังข้าวสาลีที่ไม่ใช้สารเมโธพรีน และสารเมโธพรีนในความเข้มข้นที่ 0.10 และ 0.25 ppm มีผลทำให้ลดจำนวนประชากรของรุ่นลูกได้ 38.3-89.3 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารเมโธพรีนทำให้ลดจำนวนการเกิดเป็นตัวเต็มวัยของผีเสื้อข้าวสาร (*C. cephalonica*) มอดแป้ง (*T. castaneum*) และด้วงถั่วเขียว (*Callosobruchus maculatus* (F.))

สารตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร

ปริมาณสารตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร เป็นปัจจัยสำคัญที่ประเทศผู้นำเข้าใช้เป็นมาตรการกีดกันการนำเข้าสินค้าเกษตรจากประเทศผู้ส่งออก ทั้งนี้เพื่อป้องกันผู้บริโภค ซึ่งต้องแน่ใจว่าปริมาณสารตกค้างนั้นมีน้อยที่สุด และต้องมีความปลอดภัยในระดับสากล สารพิษตกค้างคือปริมาณของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ยังคงเหลืออยู่ในพืชหลังจากเก็บเกี่ยว หรือเก็บรักษา อาจเป็นช่องทางให้มีการปนเปื้อนในห่วง โซ่อาหาร โดยจะวัดค่าสารที่ตกค้างได้เป็นเศษส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) ในปัจจุบันได้มีหน่วยงานสากลระหว่างประเทศ คือองค์การอาหาร และเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลก(WHO) เป็นผู้ประเมินความเสี่ยง และกำหนดค่าปริมาณสารตกค้างสูงสุดในผลิตผลทางการเกษตร ที่เราเรียกว่าค่า เอ็ม อาร์ แอล (MRL) เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการค้าระหว่างประเทศ ซึ่งปกติจะกำหนดไว้ ในระดับที่ต่ำกว่าระดับความปลอดภัยของสารเคมีที่ร่างกายจะสามารถรับได้ในแต่ละวันตลอดชีวิต ที่ทางนักวิทยาศาสตร์เรียกว่าค่า เอ ดี ไอ (ADI=Acceptable Daily Intake) (สมาคมอารักขาพืชไทย, 2553)

ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit; MRL) หมายถึง ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่มีได้ในสินค้า (ตาราง 2.5) กำหนดโดยคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ หรือหน่วยงานที่มีอำนาจหน้าที่ตามกฎหมาย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสารพิษตกค้างต่อกิโลกรัมสินค้า (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.5 ค่าพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit : MRL ที่แนะนำโดย FAO/WHO Joint Meeting on Pesticide Residues เป็น mg/kg (ppm))

Insecticides	**Grain**	**Rice in husk**	**Bran (raw)**
dichlorvos	2	2	
malathion	8	-	20
bromophos	10	-	20
chlorpyriphos methyl	10	-	20
fenitrothion	10	-	20
pirimiphos methyl	10	-	20
carbaryl	5, 10	5	20
lindane	0.5	0.5	-
pyrethrin	3	0.5	-
bioresmethrin	5	-	-
piperony butoxide	20	-	-
phenothrin	5	-	15
fenvalerate	5	-	10
permethrin	2	-	10
Fumigant	**Raw cereal**	**Milled cereal**	**Cook cereal**
methyl bromide	5	1	0.01
carbon tetrachloride	50	10	0.01
ethylene dichloride	50	10	0.10
ethylene dibromide	20	5	0.01
carbon disulphide	10	2	0.50
inorganic bromide	50	50	-
phosphine	0.1	0.01	-

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved