

## รายงานผลงานเรื่องเติมการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย :

2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเครื่องพ่นสารแบบแรงดันลมเพื่อป้องกันศัตรูข้าว

3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) วิจัยและพัฒนาเครื่องพ่นสารแบบแรงดันลมเพื่อป้องกันศัตรูข้าว  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ)

4. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นายยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

ผู้ร่วมงาน : นายวีระ สุขประเสริฐ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

นายพงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

นายนิรุติ บุญญา สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

นางสาวพัทรวีภา สุทธิวาริ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

นายพฤทธิชาติ ปุญวัฒน์โท สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางนลินา ไชยสิงห์ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสาวสุภางคนา ธีรวัช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสาวสุชาดา สุพรศิลป์ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นางสาวยุรวรรณ อนันตมณี สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นายอภิรักษ์ สมฤทธิ์ สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นายวรวิช สุตจริตรธรรมจริยางกูร สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

นายอัคคพล เสนาณรงค์ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

5. บทคัดย่อ (ภาษาไทย) การพ่นสารกำจัดศัตรูพืชในนาข้าวด้วยวิธีเดิมใช้แรงงานและเวลาในการพ่นค่อนข้างมาก ด้วยอัตราการใช้น้ำปริมาณมากแต่ละองสารเคมีไม่ตกกระทบถึงต้นพืช งานวิจัยนี้จึงออกแบบคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย โดยสร้างแรงลมจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ผ่านเกียร์ทด พู่เล่ย์ ไปยังพัดลมที่สร้างแรงลมด้วยความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คานหัวฉีดขนาดกว้าง 6 เมตร ใช้หัวฉีดแบบพัด 9 หัว ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ 34 แรงม้า ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นในนาข้าว ด้วยวิธี colorimetric method ใช้น้ำ 20 ลิตรต่อไร่ ประสิทธิภาพการทำงาน 95 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทำงาน 21.1 ไร่/ชม. สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.38 ลิตรต่อไร่ เปรียบเทียบกับคานหัวฉีดของเกษตรกรใช้น้ำอัตรา 40 ลิตรต่อไร่ และก้านพ่นแบบปรับมุมด้านท้ายใช้น้ำอัตรา 40-60 ลิตรต่อไร่ ซึ่งการตกค้างของละอองสารเคมีบนต้นข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบการพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ สารกำจัดวัชพืช เฟล็กโซไพราฟ โพรพิซอแลน โพรพิซอแลน โพรพิซอแลน พบว่าทุกกรรมวิธีมีประสิทธิภาพไม่แตกต่าง

กันทางสถิติ โดยการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยสามารถลดอัตราการใช้สารเคมีและน้ำได้ 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)** Rice pesticide spraying requires high volume of water and is a labor-intensive and time-consuming process. To resolve this, the research team developed an air-assisted boom sprayer. The wind is generated from a tractor power take-off through a reduction gear and then to a fan with the blowing speed of 100 km/hr. This 6-metre-wide air-assisted boom sprayer with 9 nozzles is mounted to a 34-horsepower tractor. This equipment has the field capacity of 21.1 rai/hr, the field efficiency of 95%, and the fuel consumption rate of 0.38 l/rai. The efficacy test employing the colorimetric method was conducted during the seedling stage. A comparison between the developed equipment with the spray volume of 20 l/rai and a boom sprayer widely used by farmers with the spray volume of 40 l/rai, both employing a spray lance with the spray volume of 40 and 60 l/rai, was also performed. The findings showed that the developed boom sprayer produces the highest droplet density and that the spray deposition on rice plants is not different from that produced by the other sprayers. Moreover, to evaluate the bio-efficacy of spraying techniques, The results indicated that all spray applications provide similar effect for control of pre-emergence weed, rice thrips, rice leaf folder. Also, the pesticide spraying employing the developed air-assisted boom sprayer helps reduce water use by 50% and chemical use by 20%.

## 6. คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ปี 2561 มีพื้นที่ปลูก 65 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 22 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 320 กิโลกรัม/ไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ ต่ำกว่าประเทศคู่แข่ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) เพราะเกิดการเข้าทำลายของศัตรูพืช (วัชพืช แมลงศัตรูพืช และ โรคพืช) ในทุกระยะการเจริญเติบโต เกษตรกรต้องใช่วิธีต่างๆ ในการป้องกันกำจัด ซึ่งวิธีที่นิยมมากที่สุด คือ การพ่นสาร เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และง่ายในการปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการป้องกันกำจัดอื่นๆ

การพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในข้าว แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบการพ่นแบบน้ำน้อยโดยเครื่องยนต์พ่นสารแบบใช้แรงลมสะพายหลัง ด้วยหัวฉีด 2 ชนิด คือ หัวฉีด Wizza และหัวฉีด Air shear มีใช้เฉพาะแรงงานคน ยังไม่มีในเครื่องสำหรับติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ และระบบที่ 2 คือ การพ่นแบบน้ำมากโดยเครื่องยนต์พ่นสารแบบแรงดันน้ำสูง ทั้งแบบสะพายหลังและแบบลากสายด้วยก้านฉีดแบบปรับมุมพ่นด้านท้าย (Spray lance) ที่ติดตั้งหัวฉีดแบบกรวยกลวง คำแนะนำกรมวิชาการเกษตร แนะนำการพ่นแบบน้ำน้อยที่อัตรา 20 ลิตรต่อไร่ และการพ่นแบบน้ำมากโดยที่อัตรา 60 – 80 ลิตรต่อไร่

อย่างไรก็ตามเกษตรกรมักพ่นสารในอัตราที่สูงกว่าคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำให้สิ้นเปลืองและเพิ่มต้นทุนการผลิตโดยไม่จำเป็น วิธีการพ่นของเกษตรกรมักพ่นในลักษณะที่เดินผ่านแนวพ่นสารเข้าไปพ่นสายหัวฉีดไปมาทางด้านซ้ายและขวา พ่นที่แนวพ่นประมาณ 5 – 6 เมตร การพ่นดังกล่าวแม้จะพ่นได้เร็วแต่มักพบความหนาแน่นของละอองสารและการตกค้างของละอองสารในทรงพุ่มบนต้นข้าว จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดไม่ดี อีกทั้งประสิทธิภาพในการพ่นจะขึ้นอยู่กับทักษะและความตั้งใจของผู้พ่นเป็นหลัก (Pojananuwong *et al.*, 1997, 1999 และ 2001) ซึ่งในกรณีนี้จ้างคนพ่นและพบผู้พ่นที่ขาดทักษะและความรับผิดชอบ จะทำให้ประสิทธิภาพในการพ่นครั้งนั้นต่ำไปด้วย

เมื่อมองถึงความปลอดภัยในการพ่นสารแล้ว การพ่นแบบเกษตรกรซึ่งไม่คำนึงถึงทิศทางในการพ่นเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้พ่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกระทรวงสาธารณสุขระหว่างปี 2548 – 2555 พบแนวโน้มของเกษตรกรโดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวนามีอัตราการป่วยจากสาเหตุของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเพิ่มขึ้นทุกปี (MOPH, 2013)

นอกจากปัญหาดังกล่าวแล้วค่าจ้างพ่นที่สูงขึ้น เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น รวมทั้งปัญหาภัยแล้งที่ทวีความรุนแรงขึ้นและไม่มีทีท่าว่าจะยุติ ทำให้เกิดข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากรน้ำที่จะนำมาใช้ในการผลิต รวมถึงนำมาพ่นสารด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต การนำเทคโนโลยี ซึ่งได้แก่เทคโนโลยีชนิดใหม่ในการพ่นสารมาประยุกต์ทดแทนวิธีการเดิมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วน จากข้อมูลทางวิชาการพบว่าเครื่องฉีดพ่นสารแบบใช้แรงลมช่วย (air assisted boom sprayer) เป็นอุปกรณ์พ่นสารที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชหลายชนิด และมีความปลอดภัยสูงต่อผู้พ่น (Nuyttens *et al.*, 2004 และ 2009; Ade and Rondelli, 2007; Halley *et al.*, 2011) เครื่องฉีดพ่นสารแบบใช้แรงลมช่วยนี้เป็นการรวมการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบแรงดันของเหลวและการพ่นสารโดยใช้แรงลมเข้าด้วยกัน เป็นการพ่นน้ำน้อย ซึ่งในประเทศไทยมีรายงานว่ามีการพ่นน้ำน้อยด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบใช้แรงลมโดยใช้หัวฉีดแบบ Wizza อัตราพ่น 20-25 ลิตรต่อไร่ มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดและวัชพืชในนาข้าวได้ดีเทียบเท่าการพ่นสารแบบน้ำมาก อัตราพ่น 60-80 ลิตรต่อไร่ (Pojananuwong *et al.*, 1997 และ 1999) แม้จะใช้น้ำน้อยกว่าถึง 3 เท่า แต่เนื่องจากการพ่นชนิดนี้มีลมเข้าช่วยพัดพาละอองสารเข้าสู่ทรงพุ่มและใต้ใบ จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชชนิดต่างๆ

จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำเครื่องฉีดพ่นสารแบบใช้แรงลมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูข้าวในประเทศไทย อีกทั้งยังมีข้อมูลสนับสนุนในต่างประเทศว่าเครื่องฉีดพ่นสารชนิดนี้ สามารถใช้ปริมาณน้ำในการพ่นสารน้อยลง โดยมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเทียบเท่าการพ่นสารในอัตราพ่นที่สูง (Ade and Rondelli, 2007; Halley *et al.*, 2011) ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ในการพัฒนาอุปกรณ์พ่นสารดังกล่าวตลอดจนเทคนิคที่เหมาะสมในการป้องกันศัตรูพืชในข้าว โดยเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดและปลอดภัย

## 7. วิธีการดำเนินการ

### อุปกรณ์

คานหัวฉีดแบบใช้ลมช่วย สี Kingkol tartrazine กระดาษ Chromulux เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ นาฬิกาจับเวลา ตลับเมตร เครื่องวัดน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช เครื่องพ่นสารแบบใช้ลมช่วยต้นแบบ รถแทรกเตอร์ 34 แรงม้า

### วิธีการ

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

#### 1. การออกแบบและพัฒนาคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย

ศึกษารูปแบบของปั๊ม ออกแบบระบบการฉีดพ่น สร้างคานหัวฉีดต้นแบบ, ทดสอบการใช้งานเบื้องต้น และปรับปรุงแก้ไขตามมาตรฐาน ASAE standard S572.1., ศึกษารูปแบบคานหัวฉีดแบบใช้แรงดันลมช่วย ชนิดของหัวฉีด ตลอดจน ข้อกำหนดต่างๆ ในการพ่นสารเคมี โดยศึกษาถึงชนิดของหัวฉีดทั้ง 3 แบบ คือ แบบกรวย แบบปะทะ และแบบรูปพัด, ทดสอบประสิทธิภาพคานหัวฉีดแบบใช้แรงดันลมช่วยที่ออกแบบ เก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ, ทดสอบประสิทธิภาพสารป้องกันศัตรูพืช (วัชพืช แมลง โรคพืช) ในข้าว

#### 2. การทดสอบประสิทธิภาพของคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 ศึกษาปริมาณการตกค้างของละอองสารละลายของสีบนส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน และการปลิวของละอองบนพื้นที่นอกเป้าหมายด้วยวิธี Colorimetric method ที่ต้นข้าวอายุ 5, 15, 45, 65, 95 วันหลังหว่านเมล็ด (พ่นป้องกันกำจัด วัชพืช, เพลี้ยไฟข้าว, หนอนห่อใบข้าว, โรคเมล็ดต่าง)

##### การพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช

- ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืชประเภทก่อนออก

##### การพ่นป้องกันกำจัดแมลง

- ข้าวระยะกล้า (15 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว

- ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดหนอนห่อใบข้าว

##### การพ่นป้องกันกำจัดโรคพืช

- ข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่าง

- ข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่าง

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยในศัตรูพืชชนิดต่างๆ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน

2.2.1 ศึกษาปริมาณการตกค้างของละอองสารละลายของสีบนพื้นดิน บนส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน และการปลิวของละอองบนพื้นที่นอกเป้าหมายด้วยวิธี Colorimetric method

### 2.2.1.1 แบบและวิธีปฏิบัติการทดลอง

#### - การพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืชประเภทก่อนงอก

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี โดยทดสอบ แปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 20 เมตรวางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 กรรมวิธี จำนวน 7 ซ้ำ

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยประกอบหัวฉีดแบบพัดสีเหลือง ที่แรงดัน 3 บาร์อัตรา 20 ลิตร/ไร่ (Air boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้แรงลมประกอบหัวฉีดแบบพัดสีแดง ที่แรงดัน 5 บาร์ อัตรา 40 ลิตร/ไร่ (Boom 40, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุน้อยกว่า 40 วัน)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงยี่ห้อ Maruyama รุ่น MS 073D ขนาดความจุถัง 25 ลิตร ประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมพ่นด้านท้ายความยาว 70 เซนติเมตร อัตรา 40 ลิตร/ไร่ (MKS 40, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุน้อยกว่า 40 วัน)

ทุกกรรมวิธีจะพ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ในอัตราที่เท่ากันคือ 400 กรัมต่อไร่ สำหรับการพ่นด้วยคานหัวฉีดทั้ง 2 กรรมวิธี และการพ่นด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูง คานหัวฉีดอยู่สูงจากต้นข้าวประมาณ 0.5 เมตร ก่อนทำการทดลองตรวจวัดสภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

#### - การพ่นป้องกันกำจัดแมลง ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี แปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 20 เมตรวางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 กรรมวิธี จำนวน 7 ซ้ำ

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยประกอบหัวฉีดแบบพัดสีเหลือง ที่แรงดัน 3 บาร์อัตรา 20 ลิตร/ไร่ (Air boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้แรงลมประกอบหัวฉีดแบบพัดสีแดง ที่แรงดัน 5 บาร์ อัตรา 40 ลิตร/ไร่ (Boom 40, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุน้อยกว่า 40 วัน)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงยี่ห้อ Maruyama รุ่น MS 073D ขนาดความจุถัง 25 ลิตร ประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมพ่นด้านท้ายความยาว 70 เซนติเมตร อัตรา 40 ลิตร/ไร่ (MKS 40, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุน้อยกว่า 40 วัน)

ทุกกรรมวิธีจะพ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ในอัตราที่เท่ากันคือ 400 กรัมต่อไร่ สำหรับการพ่นด้วยคานหัวฉีดทั้ง 2 กรรมวิธี และการพ่นด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูง คานหัวฉีดอยู่สูงจากต้นข้าวประมาณ 0.5 เมตร ก่อนทำการทดลองตรวจวัดสภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

- **ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดหนอนทอใบข้าว**

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี แปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะห่างระหว่างแปลง 20 เมตรวางแผนการทดลองแบบ RCB มี 3 กรรมวิธี จำนวน 7 ซ้ำ

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยประกอบหัวฉีดแบบพัดสีเหลือง ที่แรงดัน 3 บาร์ อัตรา 20 ลิตร/ไร่ (Air boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้แรงลม ประกอบหัวฉีดแบบพัดสีแดง ที่แรงดัน 5 บาร์ อัตรา 60 ลิตร/ไร่ (Boom 60, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุมากกว่า 40 วัน)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงยี่ห้อ Maruyama รุ่น MS 073D ขนาดความจุถัง 25 ลิตร ประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมพ่นด้านท้าย ความยาว 70 เซนติเมตร อัตรา 60 ลิตร/ไร่ (MKS 60, อัตราแนะนำสำหรับข้าวที่อายุมากกว่า 40 วัน)

ทุกกรรมวิธีจะพ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ในอัตราที่เท่ากันคือ 600 กรัมต่อไร่ สำหรับการพ่นด้วยคานหัวฉีดทั้ง 2 กรรมวิธี และการพ่นด้วยเครื่องยนต์พ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูง คานหัวฉีดอยู่สูงจากต้นข้าวประมาณ 0.5 เมตร ก่อนทำการทดลองตรวจวัดสภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

- **การพ่นป้องกันกำจัดโรคพืชข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่าง**

กรรมวิธีและรายละเอียดการพ่นเช่นเดียวกับการทดลองในข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)

- **ข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน) ระยะการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่าง**

กรรมวิธีและรายละเอียดการพ่นเช่นเดียวกับการทดลองในข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)

## 2.2.2 ขั้นตอน

### การศึกษาความหนาแน่นของละอองสารบนเป้าหมาย

การพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช จะติดกระดาษ Chromulux ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร บนจานเลี้ยงเชื้อวางบนพื้นดินแปลงย่อยละ 30 ตำแหน่ง การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง ทำการติดกระดาษบนใบ สำหรับการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช ทำการติดกระดาษบนใบในระยะข้าวตั้งท้อง และบนรวงในระยะข้าวออกรวง กระดาษจะติดบนต้นข้าวทุกระยะ 2 เมตรนับจากขอบแปลง โดยใน 1 แปลงย่อยติดกระดาษทั้งหมด 6 จุดๆ ละ 5 ต้น ในแต่ละต้นติดกระดาษทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ด้านเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ดังนั้นใน 1 แปลงย่อยจะติดกระดาษรวม 120 แผ่น/แปลงย่อย หลังติดกระดาษพ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine ตามกรรมวิธีด้วยอัตราตามที่ได้กล่าวข้างต้น จากนั้นนำกระดาษมานับจำนวนละอองสารด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นจำนวนละออง/ตารางเซนติเมตร นำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

## การศึกษาปริมาณการตกค้างของละอองสารบนเป้าหมาย

ใช้สารละลายของสี Kingkol tartrazine อัตราตามที่ได้กล่าวข้างต้น พ่นตามกรรมวิธี ที่ไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อให้สารละลายของสีแห้งแล้วทำการเก็บตัวอย่าง โดยการพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช จะเก็บจานเลี้ยงเชื้อแปลงย่อยละ 30 ตำแหน่ง สำหรับการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลงและโรคพืช จะเก็บตัวอย่างต้นข้าวทั้งหมด 6 จุดๆ ละ 5 ต้น รวม 30 ต้น/แปลงย่อย ตัวอย่างทั้งหมดจะทำการตัดแยกโดยการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลงทำการตัดแยกใบ สำหรับการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช ทำการตัดแยกใบในระยะข้าวตั้งท้อง และตัดแยกรวงในระยะข้าวออกรวง ตัวอย่างทั้งหมดจะทำการใส่ในถุงพลาสติก ปิดถุงให้สนิทและเก็บไว้ในกล่องกันแสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อป้องกันการสลายตัวของสี นำตัวอย่างที่ได้มาล้างสีด้วยน้ำสะอาดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปล่อยให้แห้งให้ตกตะกอน กรองตะกอนแล้วดูดสารละลายใส่ลงในภาชนะใส่สารตัวอย่าง (cuvette) ขนาด 3 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าความเข้มแสงด้วยเครื่อง Colorimeter ที่ค่าดูดกลืนแสง 470 นาโนเมตร นำใบข้าวและรวงข้าวมาวัดพื้นที่และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณการตกค้างซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตรของใบข้าวและรวงข้าว ตามลำดับนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

### - การศึกษาการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน

ใช้จานเลี้ยงเชื้อขนาด 20 x 100 มิลลิเมตร ติดตั้งบนก้านเหล็กสูงประมาณ 0.1 เมตรในแปลงข้าวทุกระยะ 2 เมตร นับจากขอบแปลง โดยใน 1 แปลงย่อยจะวางจานเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 6 จุด นำจานเลี้ยงเชื้อมาล้างและวิเคราะห์ข้อมูลดังอธิบายในข้างต้น จากนั้นนำค่าที่ได้มาหารด้วยพื้นที่ของจานเลี้ยงเชื้อ ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร นำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

### - การศึกษาการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมาย

ใช้จานเลี้ยงเชื้อติดตั้งบนก้านเหล็กสูงประมาณ 0.1 เมตร วางทุกระยะ 1 เมตร จากแนวพ่นแนวสุดท้ายเป็นระยะทาง 10 เมตร ทั้งด้านเหนือลมและใต้ลม ดังนั้นใน 1 แปลงย่อยจะวางจานเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 20 ตำแหน่ง พ่นสารละลายของสีตามกรรมวิธี และดำเนินการเช่นเดียวกับการศึกษาการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน

## 2.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัด

### 2.3.1 การพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันวัชพืชประเภทก่อนงอก

ทดสอบในแปลงย่อยขนาด 12x30 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 10 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นแบบน้ำปานกลางด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลม อัตรา 60 ลิตรต่อไร่ ผสมสารชีวทาคลอร์ 60% EC อัตรา 240 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำแนะนำสูงสุด, Boom1)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นแบบน้ำปานกลางด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลม อัตรา 60 ลิตรต่อไร่ ผสมสารชีวทาคลอร์ 60% EC อัตรา 200 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำแนะนำต่ำสุด, Boom2)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นแบบน้ำน้อยด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตรต่อไร่ ผสมสารชีวทาคลอร์ 60% EC อัตรา 240 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำแนะนำสูงสุด, Air boom1)

**กรรมวิธีที่ 4** พ่นแบบน้ำน้อยด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตรต่อไร่ ผสมสารชีวทาคลอร์ 60% EC อัตรา 200 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำแนะนำต่ำสุด, Air boom2)

**กรรมวิธีที่ 5** พ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังชนิดแรงดันน้ำสูงประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมด้านท้ายของเกษตรกร อัตรา 60 ลิตร/ไร่ ผสมสารชีวทาคลอร์ 60% EC อัตรา 240 มิลลิลิตร/ไร่ (MKS 60)

**กรรมวิธีที่ 5** ไม่พ่นสาร

ทำการประเมินความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชต่อพืชปลูก: ที่ระยะ 15 และ 30 วันหลังพ่นสาร โดยวิธีประเมินด้วยสายตา ตามระบบ 0-10 ตามลักษณะที่ปรากฏดังนี้ โดย 0 = ไม่เป็นพิษต่อพืชปลูก, 1-3 = เป็นพิษเล็กน้อย, 4-6 = เป็นพิษปานกลาง, 7-9 = เป็นพิษรุนแรง และ 10 พืชปลูกตาย

สำหรับผลการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืช สุ่มเก็บตัวอย่างและจำแนกชนิดของวัชพืชในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ระยะ 30 วันหลังพ่นสารกำจัดวัชพืช โดยจำแนกวัชพืชเป็นชนิด ประเภทวัชพืชใบแคบวงศ์หญ้า ประเภทใบกว้าง และประเภทก่นำจำนวนต้นวัชพืชต่อพื้นที่ดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

### 2.3.2 การพ่นป้องกันกำจัดแมลง

- **ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน) ระยะพ่นสารป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว**

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.บางเลน และ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐมแปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 10 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 ลิตร/ไร่ ด้วยสารไทอะโคลพริด 24% SC อัตรา 6 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, Boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตร/ไร่ ด้วยสารไทอะโคลพริด 24% SC อัตรา 6 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, Air boom1)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตร/ไร่ ด้วยสารไทอะโคลพริด 24% SC อัตรา 4.8 มิลลิลิตร/ไร่ (ลดจากอัตราแนะนำ 20%, Air boom2)

**กรรมวิธีที่ 4** พ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังชนิดแรงดันน้ำสูงประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมด้านท้ายของเกษตรกร อัตรา 40 ลิตร/ไร่ (อัตราพ่นแนะนำในข้าวอายุน้อยกว่า 40 วัน) ด้วยสารไทอะโคลพริด 24% SC อัตรา 6 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, MKS 40)

**กรรมวิธีที่ 5** ไม่พ่นสาร

ในการทดสอบประสิทธิภาพจะเริ่มพ่นสารเมื่อพบการระบาดของเพลี้ยไฟข้าวมากกว่า 2 ตัว/ต้น โดยสุ่มนับจำนวนเพลี้ยไฟข้าวก่อนพ่นสาร 1 วัน และหลังพ่นสาร 3, 5, 7, 10 และ 14 วัน จากต้นข้าวแปลงย่อยละ 40 ต้น ตรวจนับทุกใบตามแนวเส้นทแยงมุม เว้นห่างจากขอบแปลง 50 เซนติเมตร บันทึกจำนวนเพลี้ยไฟข้าว



และลักษณะความเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับพืชปลูกนำข้อมูลจำนวนเฉลี่ยไปเข้ามาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

- **ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน) ระยะพ่นสารป้องกันกำจัดหนอนห่อใบข้าว**

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี แปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 10 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลม อัตรา 40 ลิตร/ไร่ ด้วยสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC อัตรา 12 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, Boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตร/ไร่ ด้วยสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC อัตรา 12 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, Air boom1)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตร/ไร่ ด้วยสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC อัตรา 10.5 มิลลิลิตร/ไร่ (ลดจากอัตราแนะนำ 20%, Air boom2)

**กรรมวิธีที่ 4** พ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังชนิดแรงดันน้ำสูงประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมด้านท้ายของเกษตรกร อัตรา 60 ลิตร/ไร่ (อัตราพ่นแนะนำในข้าวอายุมากกว่า 40 วัน) ด้วยสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC อัตรา 12 มิลลิลิตร/ไร่ (อัตราแนะนำ, MKS 60)

**กรรมวิธีที่ 5** ไม่พ่นสาร

ในการทดสอบประสิทธิภาพจะเริ่มพ่นสารเมื่อพบการระบาดของหนอนห่อใบมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ โดยสู่มันการทำลายก่อนพ่นสาร 1 วัน และหลังพ่นสาร 3, 5, 7, 10 และ 14 วัน จากต้นข้าวแปลงย่อยละ 40 ต้น ตรวจนับทุกใบตามแนวเส้นทแยงมุม เว้นห่างจากของแปลง 50 เซนติเมตร บันทึกจำนวนเปอร์เซ็นต์การทำลาย และลักษณะความเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับพืชปลูกนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test

**2.3.3 การพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช**

- **ข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน) และข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน) ระยะพ่นสารป้องกัน กำจัดโรคเมล็ดต่าง**

ทดสอบในแปลงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ อ.กำแพงแสน จ. นครปฐม แปลงย่อยขนาด 12 x 30 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 10 เมตร วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block มี 5 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่

**กรรมวิธีที่ 1** พ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลม อัตราพ่น 60 ลิตรต่อไร่ ด้วยสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG อัตรา 28 กรัมต่อไร่ (อัตราแนะนำ, Boom)

**กรรมวิธีที่ 2** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตราพ่น 20 ลิตรต่อไร่ ด้วยสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG อัตรา 28 กรัมต่อไร่ (อัตราแนะนำ, Air boom1)

**กรรมวิธีที่ 3** พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตราพ่น 20 ลิตรต่อไร่ ด้วยสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG อัตรา 23 กรัมต่อไร่ (ลดจากอัตราแนะนำ 20%, Air boom2)

**กรรมวิธีที่ 4.** พันด้วยเครื่องพันสารสะพายหลังชนิดแรงดันน้ำสูงประกอบก้านฉีดแบบปรับมุมด้านท้ายของเกษตรกร อัตราพัน 60 ลิตรต่อไร่ (อัตราพันแนะนำในข้าวอายุมากกว่า 60 วัน) ด้วยสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG อัตรา 28 กรัมต่อไร่ (อัตราแนะนำ, MKS 60)

#### **กรรมวิธีที่ 5.** ไม่พันสาร

ทำการพันตามกรรมวิธี จำนวน 2 ครั้ง ในระยะข้าวตั้งท้องและออกรวงหลังจากนั้นทำการประเมินความรุนแรงของโรคเมล็ดด่างแต่ละแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวหนึ่งสัปดาห์ โดยสุ่มเก็บรวงข้าวในแนวเส้นทแยงมุมสองทิศทางของแปลงจำนวน 20 จุดๆ ละ 5 รวง รวมจำนวน 100 รวงต่อแปลงย่อย หลังจากนั้นนำไปแยกนับเมล็ดข้าวที่ปกติและปนโรคเมล็ดด่างในแต่ละรวง จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวที่เป็นโรคเมล็ดด่างนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีDuncan's Multiple Range Test

### **3. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของคานหัวฉีดแบบใช้ลมช่วยในทุกช่วงระยะเจริญเติบโตของต้นข้าว (กล้า แดกกอ ตั้งท้อง และ ออกรวง)**

ทดสอบตาม RNAM Testcode เพื่อหาความสามารถในการพันสาร ประสิทธิภาพในการพันสาร ค่าการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบในแปลงทดสอบขนาด 40x80 เมตร ทุกระยะเจริญเติบโต ระยะละ 5 ซ้ำ

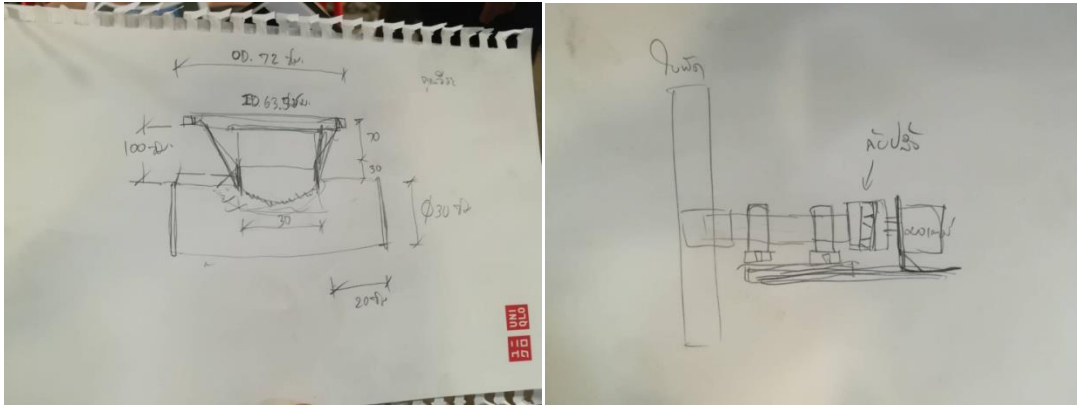
- เวลาและสถานที่ เริ่มต้น ตุลาคม 2560 สิ้นสุด กันยายน 2562
- สถานที่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม บริษัทคูโบต้า ก.แสงยนต์ ลูกแก กาญจนบุรี จำกัด แปลงเกษตรกรจังหวัด นครปฐม สุพรรณบุรี

## **8. ผลการทดลองและวิจารณ์**

### **1. การออกแบบและพัฒนาคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย**

ปัจจัยที่มีผลต่อการพันสาร คือ ระยะแถว, ระยะปลูก, หัวฉีด, อัตราการพัน, ทิศทางการพัน, ความเร็วของรถแทรกเตอร์ และ ปัจจัยหลักที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือลมธรรมชาติ ซึ่งลมนี้เอง ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของละอองยา ทำให้ไม่โดนต้นพืช และเกิดการตกค้างบนดินเป็นการสูญเสียและสิ้นเปลือง (Planas et al., 1998) ผลการตรวจเอกสารพบว่า การพันแบบใช้ลมช่วยจะช่วยลดการฟุ้งกระจายในสภาวะที่เกิดกระแสลมธรรมชาติ และ ลดการฟุ้งกระจายของละอองที่ออกมาจากหัวฉีด (Davishvand and Brown,1997) ลมที่สร้างจากอุโมงค์ลมจะช่วยกดให้ละอองสารที่ออกมาจากหัวฉีด ไปสู่เป้าหมายได้โดยตรง และช่วยให้เกิดการพลิกกลับของใบพืช ทำให้สารออกฤทธิ์สามารถโดนพื้นที่สัมผัสใต้ใบพืชได้โดยง่าย (Taylor et al.1989) การออกแบบจะต้องเลือกใบพัดลม ให้เหมาะกับต้นกำลังในการสร้างลม ซึ่งจากการศึกษาของ Davishvand and Brown (1997) ที่กล่าวว่าลมของการพันแบบอุโมงค์ลมที่มีประสิทธิภาพนั้นความเร็วลมที่ด้านปลายออกของลมต้องประมาณ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (28 เมตรต่อวินาที) จะสามารถส่งลมเข้าไปโดนใบพืชได้มากที่สุด ลดการสูญเสีย เนื่องจากลมธรรมชาติ และ ยังสามารถลดการสูญเสียบนพื้นดินได้อีกด้วย ดังนั้นในการเลือก พัดลมสำหรับสร้างลม โดยจากการศึกษา ลมต้องมีแรงลมที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เลือกพัดลมแบบ AM-630 E ที่ปริมาณลม 284-142 cmm. แรงดัน 20-110 mmWg. ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที (รูปที่ 1 และ 2)





รูปที่ 3 แบบร่างอุโมงค์ลมต้นแบบ



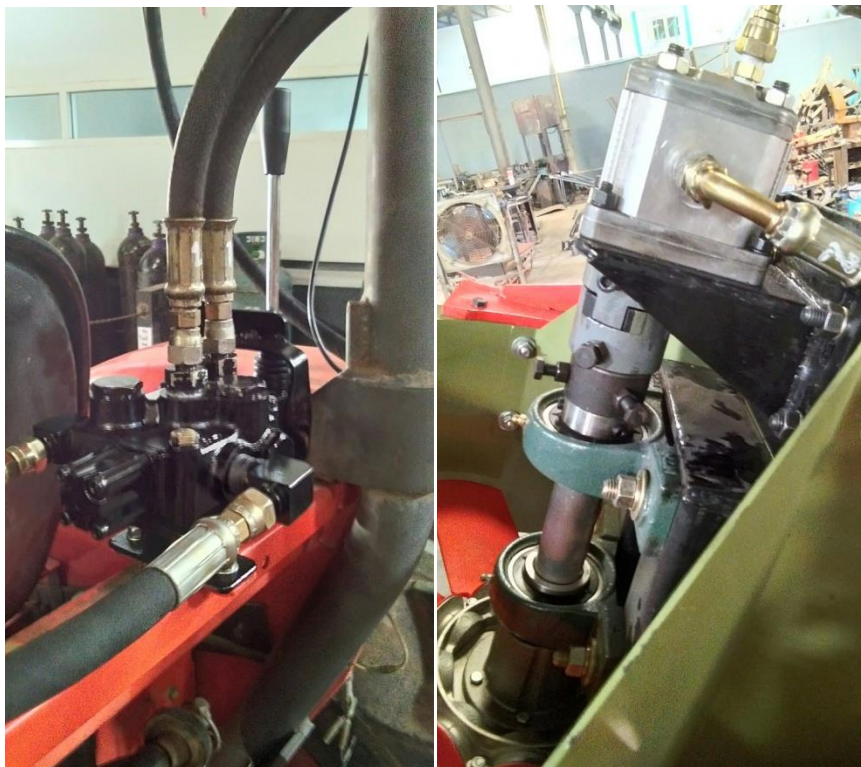
รูปที่ 4 อุโมงค์ลมต้นแบบ



รูปที่ 5 ติดตั้งพัดลมต้นแบบ



รูปที่ 6 ติดตั้งพัดลมต้นแบบกับอุโมงค์ลม



รูปที่ 7 ชุดมอเตอร์ไฮดรอลิก สำหรับขับใบพัดลม



### รูปที่ 8 ต้นแบบเครื่องพ่นปุ๋ยคลมต้นแบบที่ 1

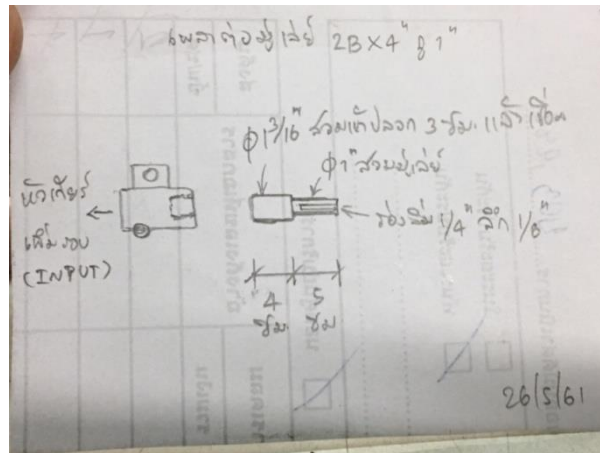
หลังจากติดตั้งต้นแบบที่ 1 แล้ว ทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการ พบว่า ไม่สามารถสร้างลมที่ความเร็วรอบของพัดลมที่ 2,500 รอบต่อนาทีได้ เพราะมอเตอร์ไฮดรอลิกร้อนเกินไป นอกจากนี้ ลมที่ผ่านอุโมงค์ลมเป็นลมที่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ลมตีกลับด้านหลัง ไม่สามารถสร้างลมที่ทางออกของท่อด้านข้างได้ ทำให้ต้องออกแบบอุโมงค์ลม และ ระบบขับเคลื่อนพัดลมใหม่

### 1.2 ออกแบบและสร้างเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม (ต้นแบบที่ 2)

โดยมีแนวคิดที่จะใช้หัวเกียร์ของจอบหมุนขนาด 36 แรงม้า ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย รับกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ ผ่านพูลเลย์ เพื่อขับเคลื่อนพัดลมให้ได้รอบที่ 2,500 รอบต่อนาที สำหรับสร้างลมที่ทางออกให้ได้ปริมาณลมตามต้องการ นอกจากนี้ยังทำการออกแบบท่อสร้างลมที่ต่อกับพัดลมใหม่ โดยออกแบบตัวสร้างลมให้มีปลายเปิดทั้งสองข้างที่มีขนาด 25 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ เมื่อได้อุโมงค์ลมแล้ว ใช้ท่อผ้าใบที่ขนาด 25 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 1 และ 1.5 นิ้ว ห่างกันทุก 2 นิ้ว ตลอดแนวท่อผ้าใบ เพื่อให้ลมผ่านทางบนรูที่เจาะ สำหรับไปกดให้สารออกฤทธิ์ที่ออกจากหัวฉีดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากสร้างต้นแบบ ทดสอบวัดความเร็วลมในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาอัตราของลมที่สร้างจากพัดลมต้นแบบ ทดสอบที่รอบเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ 540 รอบต่อนาที รูปที่ 10 รอบเครื่องยนต์รถแทรกเตอร์ 2,400 รอบต่อนาที สามารถสร้างลมที่ทางออกของรถแทรกเตอร์ได้ 41-43 เมตรต่อวินาที ซึ่งเพียงพอกับการคำนวณการสร้างต้นแบบที่ต้องการลมที่ทางออกประมาณ 28 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 11-16)



รูปที่ 9 หัวเกียร์ทดสำหรับสร้างต้นแบบที่ 2



รูปที่ 10 แบบของหัวเกียร์สำหรับต่อกับเพลลา



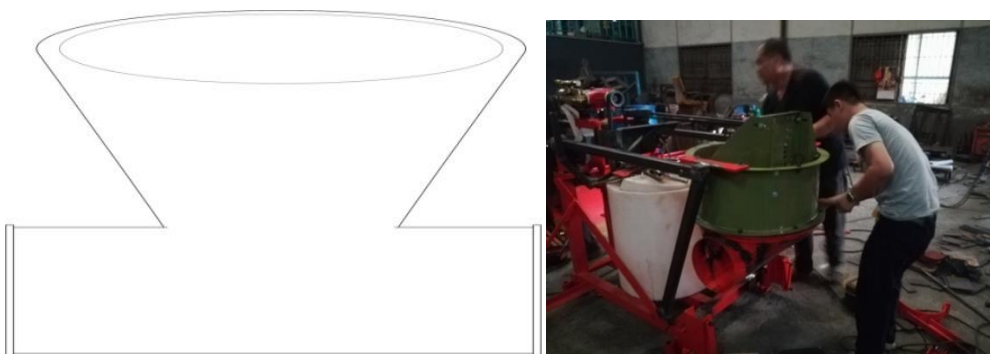
รูปที่ 11 ชุดขับเคลื่อนพัลลคมต้นแบบที่ 2



รูปที่ 12 ชุดขับเคลื่อนต้นแบบเมื่อประกอบกับพัดลม



รูปที่ 13 ชุดอุโมงค์ลมต้นแบบที่ 2



รูปที่ 14 ชุดอุโมงค์ลมต้นแบบที่ 2 เมื่อประกอบกับพัดลม





รูปที่ 15 ท่อผ้าใบและรูเจาะสำหรับให้ลมออก



รูปที่ 16 ท่อผ้าใบเมื่อประกอบกับต้นแบบ

หลังจากได้ต้นแบบที่ 2 แล้ว นำไปทดสอบแรงลมในห้องปฏิบัติการ พบว่าสามารถสร้างลมได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18



รูปที่ 17 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 18 ลมจากพัดลมสามารถสร้างลมได้

หลังจากที่ได้อุโมงค์ลมต้นแบบแล้ว ทำการออกแบบตำแหน่งของหัวฉีด วางหัวฉีดห่างกัน 70 เซนติเมตร โดยสร้างคานหัวฉีดยาวทั้งหมด 6 เมตร ประกอบด้วยหัวฉีด 9 หัว เพื่อให้มีมุมในการพ่นที่ความสูงจากระดับสูงสุดของพืชที่ทำการพ่น 50 เซนติเมตรที่มุมพ่น 110 องศา เลือกใช้หัวฉีดแบบพัด 3 ชนิด คือ แบบโมเดล 30-02F8OYE (สีเหลือง), 30-03F80UB (สีน้ำเงิน) และ 30-04F8ORE (สีแดง) ที่ความดันของปั๊มที่ 3 บาร์ และ 5 บาร์ (เลือกตามตารางการใช้แรงดันและน้ำของหัวฉีด) รูปที่ 19



รูปที่ 19 หัวฉีดแบบพัดสามชนิด

จากผลการทดสอบหัวฉีด ในเรื่องของอัตราการไหล พบว่าอัตราการไหลจากหัวฉีดสีต่างๆ ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ที่แรงดัน 3 บาร์ ซึ่งเป็นแรงดันที่ใช้สำหรับการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบน้ำน้อยติดแทรกเตอร์มีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,000, 800 และ 580 มล. ต่อนาที ตามลำดับ

สำหรับอัตราการไหลจากหัวฉีดต่างๆ ได้แก่ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ที่แรงดัน 5 บาร์ ซึ่งเป็นแรงดันที่ใช้สำหรับการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบน้ำมากติดแทรกเตอร์ของเกษตรกรมีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,800, 1,250 และ 980 มล. ต่อนาที ตามลำดับ ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 ทดสอบปริมาณน้ำที่ออกจากหัวฉีด

ตารางที่ 1 อัตราการพ่นของหัวฉีดต่างชนิดกันที่ความดันที่แตกต่างกัน

แรงดัน (bar)	อัตราการพ่น (CC/min)		
	เหลือง	น้ำเงิน	แดง
3	580	800	1,000
5	980	1,200	1,800

ดังนั้น ในการเลือกหัวฉีดพ่นสำหรับทดสอบพ่นในแปลงเกษตรกร จะเลือกใช้ หัวฉีดแบบสีเหลืองที่แรงดัน 3 บาร์สำหรับเครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วย (อัตราฉีดพ่น 20 ลิตรต่อไร่) และ วิธีการของเกษตรกรใช้หัวฉีดสีแดงที่แรงดัน 5 บาร์ (เป็นหัวฉีดและความดันที่เกษตรกรใช้พ่นสารกำจัดโรคและแมลงในนาข้าว) อัตราฉีดพ่น 60 ลิตรต่อไร่ (ใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 3 low 1.4 m/s)

เมื่อได้หัวฉีดแล้ว ทำการทดสอบหัวฉีดเมื่อประกอบกับคานหัวฉีดและอุโมงค์ลมพบว่า หลังจากทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่ายังมีปัญหาเล็กน้อย ที่ต้องแก้ไข โดยจะดำเนินการแก้ไขต่อไป

### 1.3 ออกแบบและสร้างเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม (ต้นแบบที่ 3)

หลังจากทดสอบการฉีดพ่นเบื้องต้นพบว่า หัวฉีดที่วางตำแหน่งหน้าทางออกของลมนั้น เวลาปฏิบัติงาน พบว่า ลมพัดให้ละอองฝอยที่ออกมาจากหัวฉีด ไปทางด้านหน้าของตัวรถ ทำให้ผู้ขับขี่ได้รับอันตรายจากสารพ่น ดังนั้น จึงทำการปรับตำแหน่งของหัวฉีดใหม่ ให้อยู่หลังตำแหน่งของทางออกลม เมื่อ

ทดสอบพบว่า ละอองฝอยไม่มีการทวนกลับไปทางด้านผู้ขับชี้ และ พืชได้รับละอองฝอยจากการฉีดพ่นได้ดีกว่า  
ด้วย (รูปที่ 21)



รูปที่ 21 เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมเมื่อปรับตำแหน่งหัวฉีด

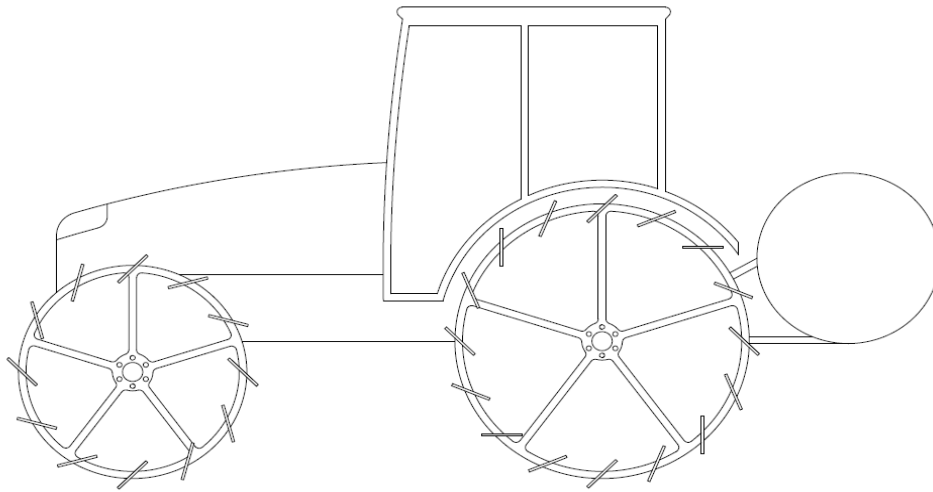
#### 1.4 การทดสอบวัดลม ตรงทางออกของช่องลม ในห้องปฏิบัติการ

การวัดลมตรงทางออกของช่องลมในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาอัตราของลมที่สร้างจากพัดลมต้นแบบ ทำ  
การทดสอบที่รอบเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ 540 รอบต่อนาที รอบเครื่องยนต์รถแทรกเตอร์ 2,400  
รอบต่อนาที สามารถสร้างลมที่ทางออกของรถแทรกเตอร์ได้ 41-43 เมตรต่อวินาที ซึ่งเพียงพอกับการคำนวณ  
การสร้างต้นแบบที่ต้องการลมที่ทางออกประมาณ 28 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 การวัดอัตราการลมที่ช่องทางออกของอุโมงค์ลม

รูปของเครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วยดันแบบและรถแทรกเตอร์ล้อสูง สำหรับประกอบต้นแบบ แสดงในรูป  
ที่ 23-26



รูปที่ 23 รถแทรกเตอร์ล้อสูงที่จะใช้ในโครงการ



รูปที่ 24 ล้อเหล็กสูงสำหรับรถแทรกเตอร์



รูปที่ 25 รถแทรกเตอร์ล้อเหล็กที่ใช้เป็นต้นแบบ



รูปที่ 26 รถแทรกเตอร์ต้นแบบเมื่อติดตั้งเครื่องพ่นแบบอู่มองค์ลม

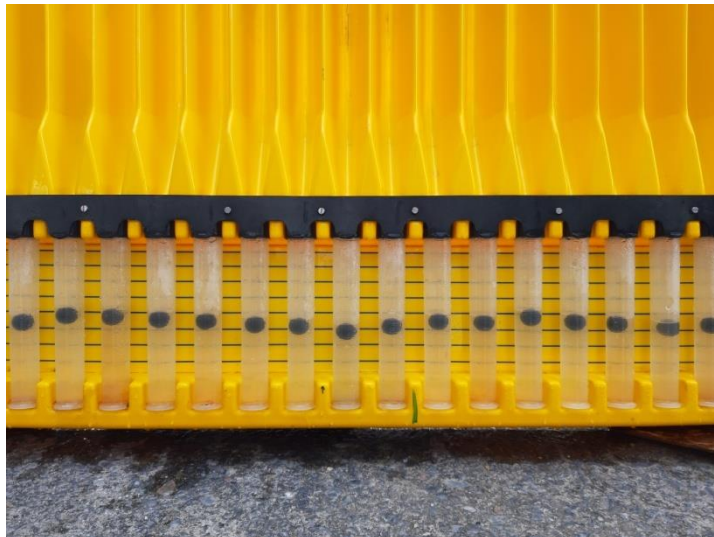
### 1.5 การศึกษารูปแบบกระจายตัวของละอองสารเพื่อการออกแบบระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวฉีด

ทำการทดสอบโดยใช้คานหัวฉีดที่ออกแบบติดตั้งหัวฉีด 2 แบบ คือหัวฉีดสีแดง และสีเหลือง ในการทดสอบจะติดตั้งคานหัวฉีดสูงเหนือเครื่อง patternator ประมาณ 50 เซนติเมตร โดยในเครื่อง patternator จะติดตั้งกระบอกตวงสารปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 48 กระบอก ตามแนวความยาวของคานหัวฉีดไว้เพื่อรองรับน้ำ การทดสอบแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ พ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นสารเต็มถังและพ่นเมื่อน้ำในถังมีเพียงครึ่งถัง ทั้งสภาพไม่ใช้ลมและสภาพที่ใช้แรงลมช่วย แรงดันที่ใช้ทดสอบจะพ่นที่แรงดัน 3 บาร์โดยหัวฉีดสีแดง ใช้เวลาพ่นทดสอบ 15 วินาที และหัวฉีดสีเหลืองใช้เวลาพ่นทดสอบ 30 วินาที ตามลำดับ การทดสอบในแต่ละ

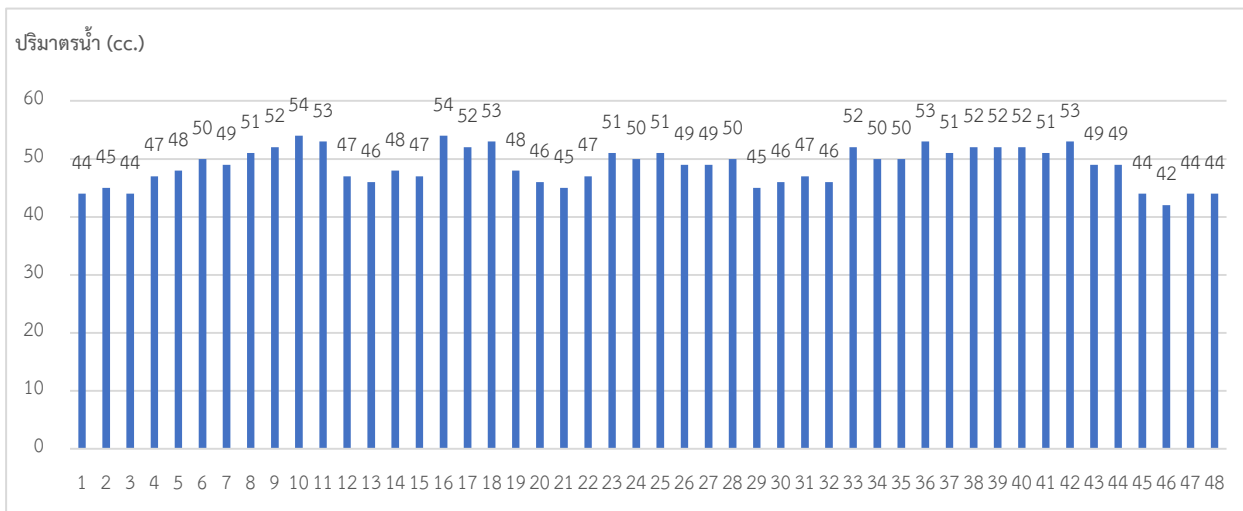
รูปแบบจะทำการทดสอบ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยบันทึกปริมาณน้ำที่พบในกระบอกตวงของเครื่อง patternator และปรับระยะห่างของหัวฉีดให้เหมาะสมโดยให้ปริมาณน้ำในกระบอกใกล้เคียงกันมากที่สุดผลการทดลองหลังการปรับระยะหัวฉีดจนเหมาะสมได้รูปแบบการกระจายตัวของละอองสารที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยมีปริมาณน้ำในกระบอกตวงต่างกันไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ในทั้ง 2 หัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 27-36



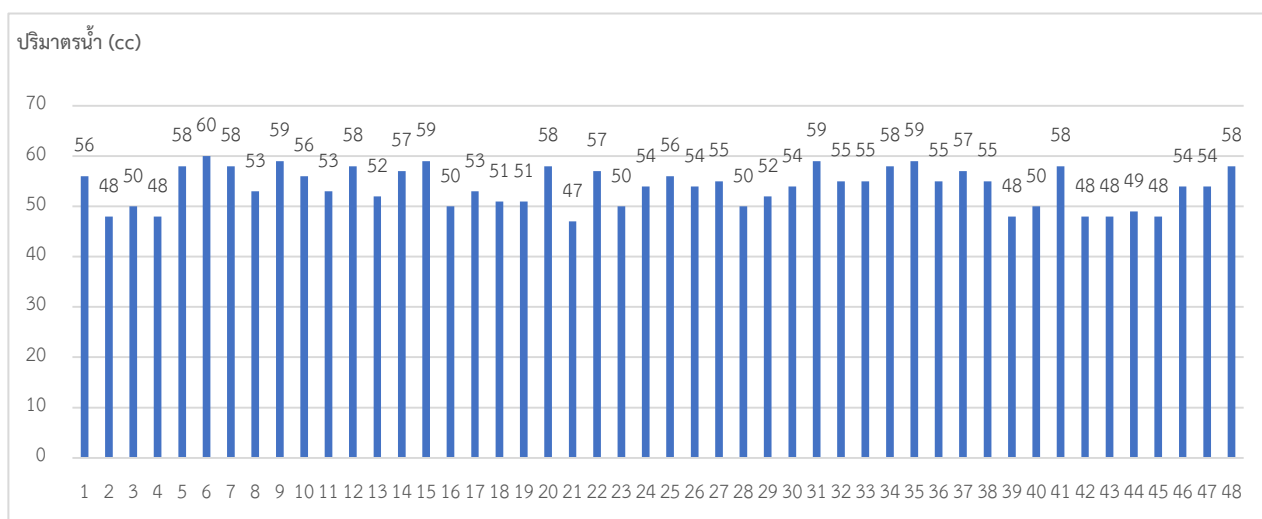
รูปที่ 27 ทดสอบการกระจายตัวของหัวฉีด



รูปที่ 28 ระดับปริมาณน้ำที่เกิดจากการทดสอบความสม่ำเสมอ

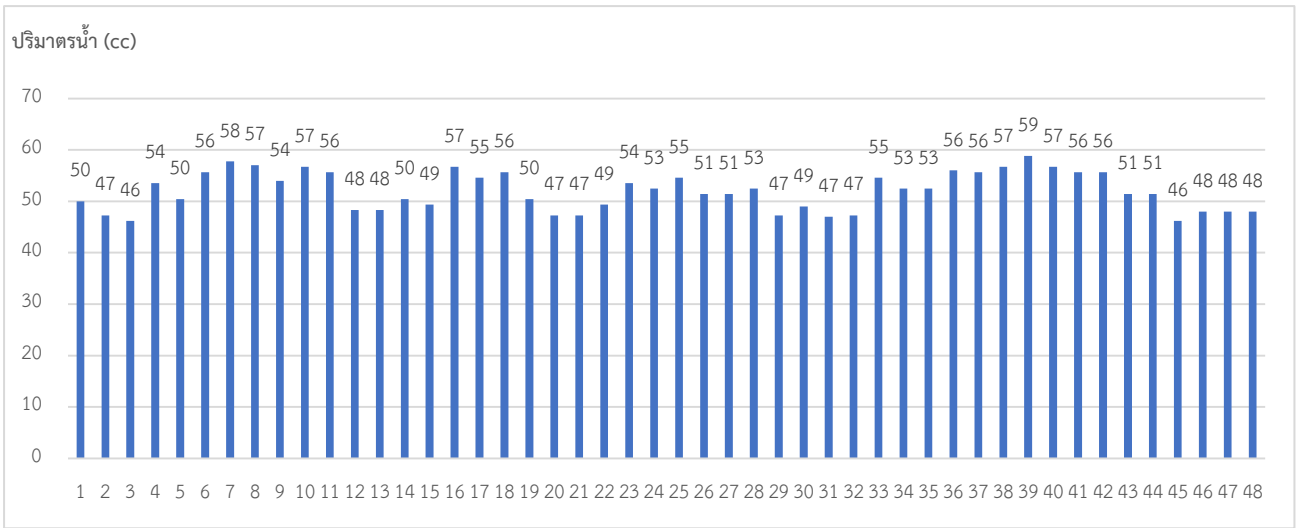


รูปที่ 29 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีแดงพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นสารเต็มถัง (ไม่ใช้ลม)

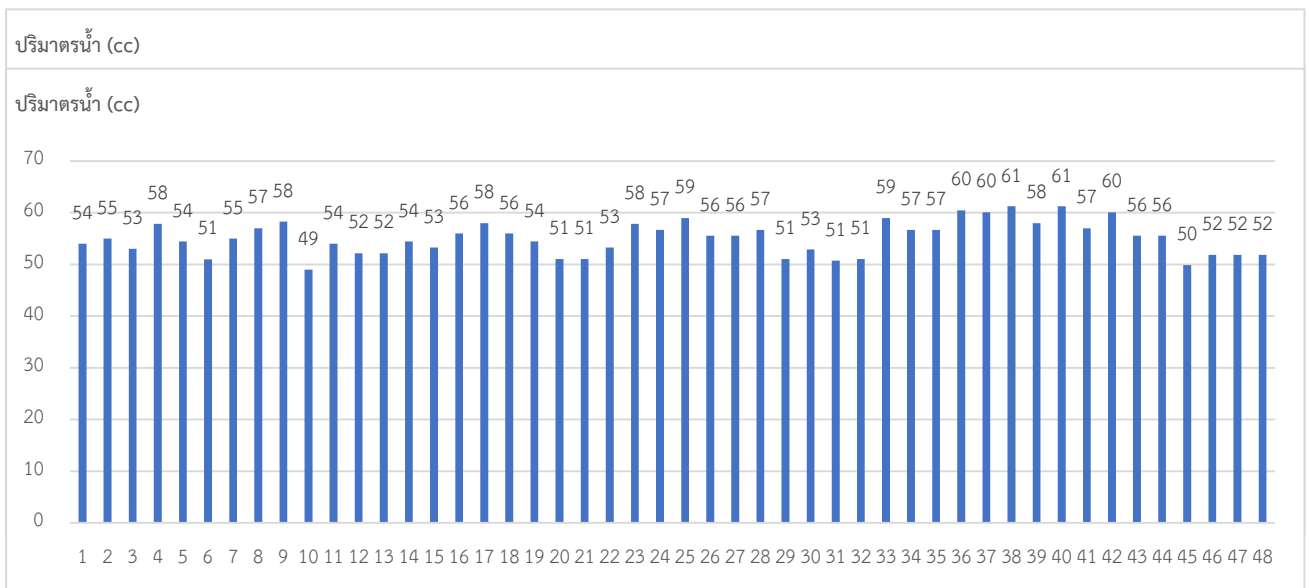


รูปที่ 30 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีแดงพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นมีเพียงครึ่งถัง (ไม่ใช้ลม)

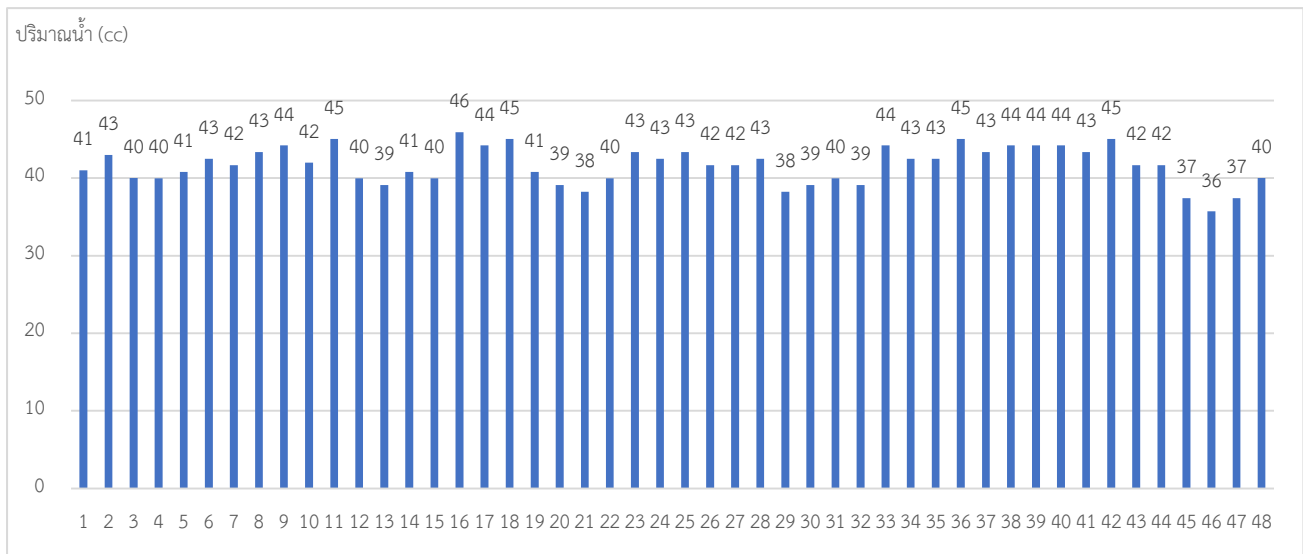




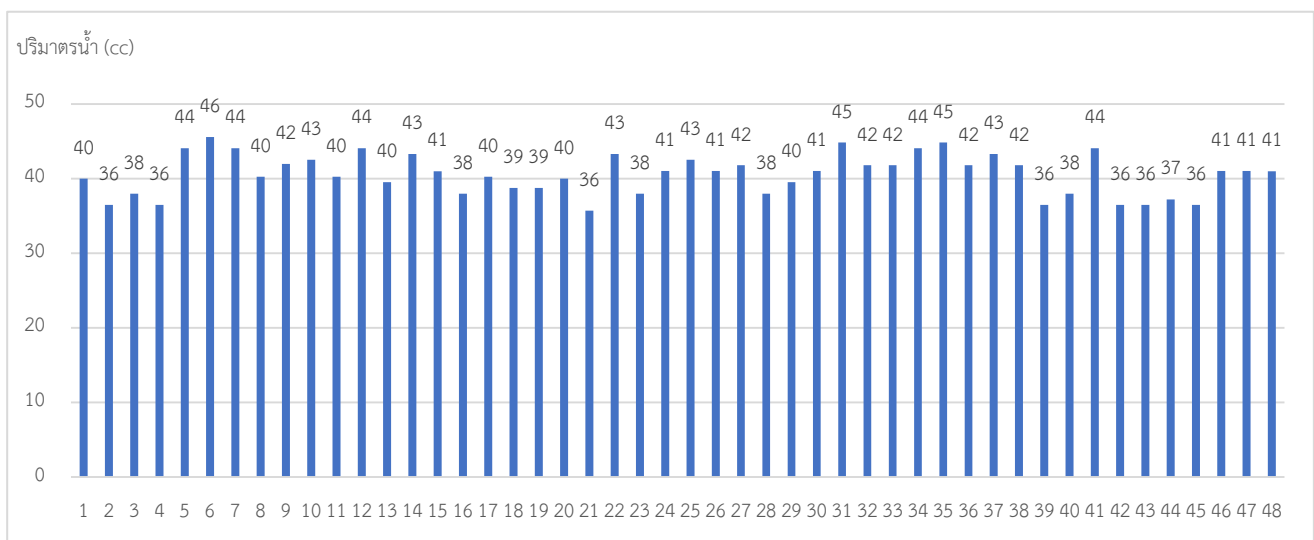
รูปที่ 31 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีแดงพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นสารเต็มถัง (ใช้ลมช่วย)



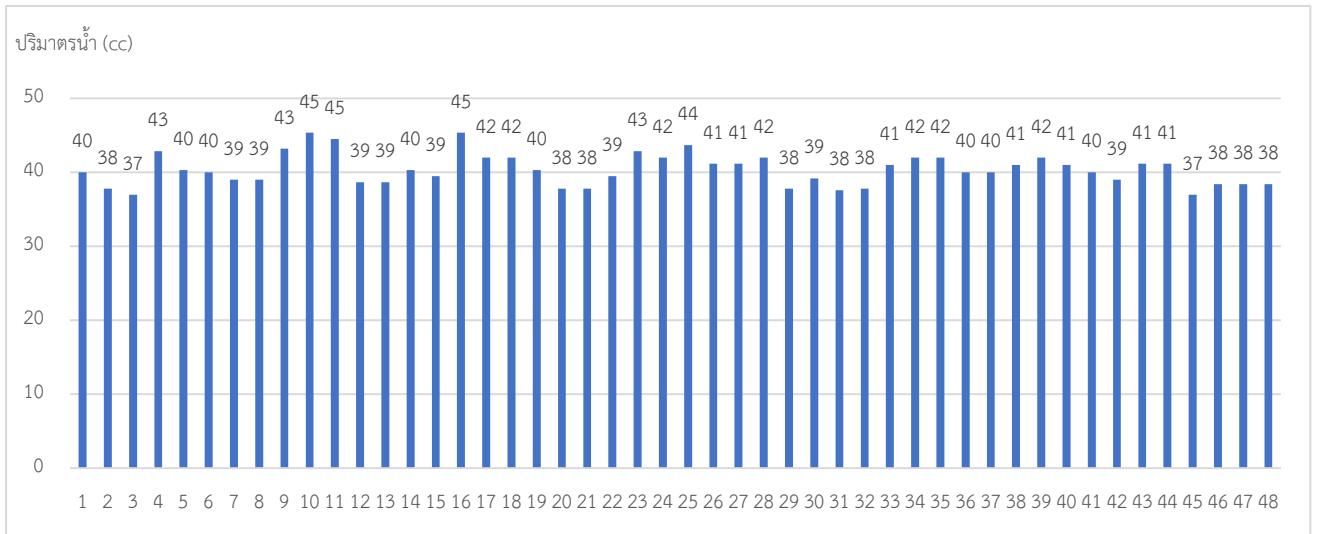
รูปที่ 32 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีแดงพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นมีเพียงครึ่งถัง (ใช้ลมช่วย)



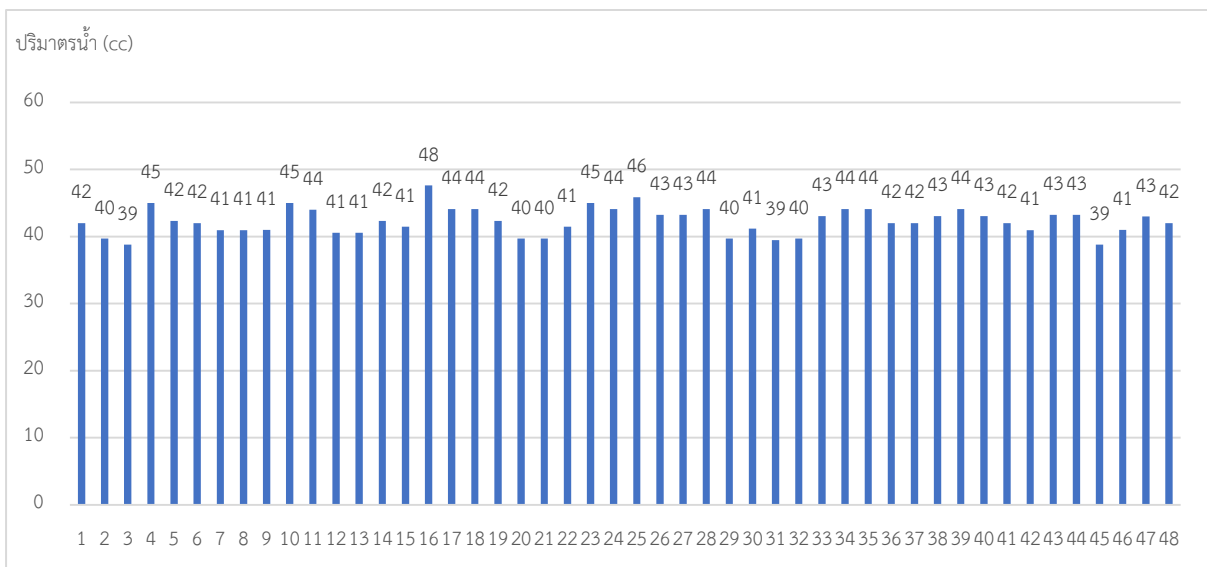
รูปที่ 33 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีเหลืองพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นสารเต็มถัง (ไม่ใช้ลม)



รูปที่ 34 ค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีเหลืองพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นมีเพียงครึ่งถัง (ไม่ใช้ลม)



รูปที่ 35 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีเหลืองพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นสารเต็มถัง (ใช้ลมช่วย)



รูปที่ 36 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำจากกระบอกตวงในเครื่อง patternator จากการพ่นด้วยหัวฉีดสีเหลืองพ่นในขณะที่มีน้ำในถังพ่นมีเพียงครึ่งถัง (ใช้ลมช่วย)

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย

2.1 การศึกษาความหนาแน่นของละอองสารบนต้นข้าว ปริมาณการตกค้างของละอองสารบนต้นข้าว การศึกษาการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน และการศึกษาการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมายด้วยวิธี Colorimetric method

ระหว่างทดสอบ ความเร็วลมมีค่าค่อนข้างคงที่คือมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.2-0.8 เมตร/ต่อวินาที อุณหภูมิเฉลี่ย  $26 \pm 2$  °ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ (RH %) มีค่าเฉลี่ย  $75 \pm 2\%$  ซึ่งเป็นสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการพ่นสาร (Miller *et al.*, 2018)

#### การศึกษาความหนาแน่นของละอองสารบนต้นข้าว

การพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ การพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ และด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ พบความหนาแน่นของละอองสารบนต้นข้าวเฉลี่ยมากกว่า 30 ละออง/ตารางเซนติเมตร (ตารางที่ 2) ความหนาแน่นของละอองสารมีผลอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพของการพ่นสาร การศึกษาก่อนหน้านี้ได้รายงานว่าการพ่นที่มีประสิทธิภาพสำหรับการป้องกันกำจัดแมลงต้องการละอองสารอย่างน้อย 20-30 ละออง/ตารางเซนติเมตร สำหรับวัชพืชต้องการละอองสารอย่างน้อย 30-40 ละออง/ตารางเซนติเมตร และสำหรับการป้องกันกำจัดโรคพืชต้องการละอองสารอย่างน้อย 50-70 ละออง/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (Ebert *et al.*, 1999 และ Matthews *et al.*, 2014) จากการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีมีละอองสารเพียงพอต่อการป้องกันกำจัดศัตรูพืช

#### การตกค้างของละอองบนเป้าหมาย

การพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ การพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ และด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ พบการตกค้างของละอองสารบนต้นข้าวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างกรรมวิธีในทุกระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว (ตารางที่ 2) การทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Cunningham and Harden, (1999) และ Matthews *et al.* (2014) ที่พบว่าการพ่นสารแบบนี้ด้วยเครื่องพ่นสารแบบใช้แรงลมอัตราพ่นระหว่าง 8-32 ลิตร/ไร่ นอกจากจะเป็นการพ่นสารที่มีความเข้มข้นสูงแล้ว ยังมีลมซึ่งผลิตจากเครื่องช่วยในการนำพาละอองสารเข้าสู่เป้าหมายได้ดี ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การพ่นแบบน้ำปานกลางที่ใช้อัตราพ่นระหว่าง 32-96 ลิตร/ไร่ ในกรณีที่ใช้ปริมาณสารออกฤทธิ์ (active ingredient) ในอัตราที่เท่ากันการพ่นแบบนี้จะพบการตกค้างของละอองสารบนเป้าหมายไม่แตกต่างจากการพ่นแบบน้ำปานกลาง



รูปที่ 37 สี Kingkol tartrazine อัตรา 1%



รูปที่ 38 เตรียมทดสอบในแปลงเกษตรกร



รูปที่ 39 กระดาษ Chromolux ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร



รูปที่ 40 ติดแผ่น plate เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ที่ระดับผิวน้ำ เพื่อตรวจดูการสูญเสียน้ำของละอองลงสู่ดิน



รูปที่ 41 การทดสอบการพ่นแบบใช้ช่วยลม



รูปที่ 42 การทดสอบโดยกรรมวิธีแบบเกษตรกรใช้ทั่วไป



รูปที่ 43 เครื่องพ่นแบบสะพายหลังแรงดันสูง



รูปที่ 44 ความหนาแน่นของสารพ่นบนกระดาศ

## ตารางที่ 2 ความหนาแน่นและปริมาณการตกค้างของละอองสารบนเป้าหมาย

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน)		ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน)		ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)		ข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน)		ข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน)	
		ความ หนาแน่น	การ ตกค้าง	ความ หนาแน่น	การตกค้าง ของละออง	ความ หนาแน่น	การตกค้าง ของละออง	ความ หนาแน่น	การตกค้าง ของ ละออง	ความ หนาแน่น	การตกค้าง ของ ละออง
		ของละออง สาร	ของ ละออง สาร	ของละออง สาร	สาร	ของละออง สาร	สาร	ของละออง สาร	สาร	ของ ละออง สาร	ของ ละออง สาร
Air boom	20	103.30 a	1.95	80.16a	2.48	98.30 a	2.44	92.30 a	2.48	89.80 a	2.54
Boom 40 <sup>1/</sup> และ 60 <sup>2/</sup>	40 และ 60	94.70 ab	1.90	68.00ab	2.72	87.7 ab	2.36	86.12 ab	2.36	82.20 ab	2.80
MKS 40 <sup>1/</sup> และ 60 <sup>2/</sup>	40 และ 60	85.30 b	2.06	53.00b	2.32	74.3 b	2.42	79.50 b	2.53	76.60 b	2.72
CV%		12.40	9.34	12.40	18.08	21.50	19.10	13.10	18.40	16.35	13.59

<sup>1/</sup> กรรมวิธีที่ใช้ในการพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืช (ข้าวระยะกล้า(5 วันหลังหว่าน)) และในการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน))

<sup>2/</sup> กรรมวิธีที่ใช้ในการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)) และในการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช (ข้าวระยะตั้งท้องและออกรวง (65 และ 95 วันหลังหว่าน))

<sup>3/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ P=0.05% โดยวิธี DMRT

### การศึกษาการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน

การศึกษานี้ไม่ได้ทำการทดสอบการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดินในการพ่นป้องกันกำจัดวัชพืช ข้าวระยะกล้า 5 วันหลังหว่าน) เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการพ่นเพื่อป้องกันกำจัดวัชพืชประเภทก่อนออกตั้งนั้นการพ่นจึงเป็นลักษณะพ่นโดยตรงไปบนพื้นดิน การทดลองนี้จึงทำการทดสอบเฉพาะข้าวในระยะ 14, 45, 65 และ 95 วันหลังหว่าน ซึ่งเป็นระยะในการพ่นป้องกันกำจัดแมลงและโรคพืชในข้าว จากผลการทดลองพบว่าการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายน้ำสูงอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ มีการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดินเฉลี่ยสูงสุด ไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้แรงลมอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ แต่มากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ (ตารางที่ 3)





รูปที่ 45 ละเอียดของสารที่สูญเสียลงสู่ดิน

จากการศึกษาในหลายงานวิจัยพบว่า การพ่นสารแบบน้ำมาก (>96 ลิตร/ไร่) และแบบน้ำปานกลาง (>32 ลิตร/ไร่) ก่อให้เกิดการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดินมากกว่าการพ่นแบบน้ำน้อย (<32 ลิตร/ไร่) (ดำรง และคณะ, 2551; Austerweil *et al.*, 2000; Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2012; Rincón *et al.*, 2017) ซึ่งในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองที่สอดคล้องกันกับการศึกษาก่อนหน้านี้

### ตารางที่ 3 การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน(ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร)				
		การพ่นสารป้องกัน กำจัดวัชพืช	การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง		การพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช	
		ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน)	ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน)	ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)	ข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน)	ข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน)
1. Air boom	20	<sup>3/</sup>	1.50 b <sup>4/</sup>	0.86b	0.67b	0.51b
2. Boom 40 <sup>1/</sup> และ 60 <sup>2/</sup>	40 และ 60	-	1.98 a	1.32a	0.99a	0.68a
3. MKS 40 <sup>1/</sup> และ 60 <sup>2/</sup>	40 และ 60	-	2.06 a	1.36a	1.09a	0.76a
CV%		-	10.44	11.41	8.24	12.03

<sup>1/</sup> กรรมวิธีที่ใช้ในการพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืช (ข้าวระยะกล้า(5 วันหลังหว่าน)) และในการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน))

<sup>2/</sup>กรรมวิธีที่ใช้ในการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน)) และในการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช (ข้าวระยะตั้งท้องและออกรวง (65 และ 95 วันหลังหว่าน))

<sup>3/</sup>ไม่ได้ทำการทดสอบ

<sup>4/</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ P=0.05% โดยวิธี DMRT

### การปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมาย

ในทุกการทดลองเป็นการพ่นในช่วงเวลาเช้า โดยมีอุณหภูมิในขณะพ่นเฉลี่ย  $26 \pm 2$  °ซ. และมีความชื้นสัมพัทธ์  $75 \pm 2\%$  และเป็นการพ่นในช่วงเวลาที่ความเร็วลมในพื้นที่น้อยกว่า 0.2 - 0.8 เมตร/วินาที สภาพ

ดังกล่าวเป็นสภาพอากาศที่เหมาะสมในการพ่นสาร ซึ่งสามารถช่วยลดการระเหยของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และลดการปลิวของละอองสารออกนอกเป้าหมายได้ ดังนั้นการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยจึงพบการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมายในข้าวทุกระยะที่สามารถตรวจวัดได้ไกลที่สุดห่างจากแนวพ่นเพียง 4 เมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีของเกษตรกรทั้งแบบการใช้คานหัวฉีดแบบไม่ใช้ลมและการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงที่พบการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมายที่ไกลที่สุดที่ระยะ 4 เมตร เช่นกัน (ตารางที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ (Pojananuwong *et al.*, 1999 และ Punyawattoe, 2013) ที่พบว่าการพ่นด้วยคานหัวฉีดที่ติดตั้งหัวฉีดแบบกรวยกลวงและแบบพัดสูงจากต้นข้าว ประมาณ 0.5 เมตรที่ความเร็วลมในพื้นที่ต่ำกว่า 0.2 เมตร/วินาที พบการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมายระยะไกลที่สุดไม่เกิน 5 เมตร จากแนวพ่นสุดท้าย

**ตารางที่ 4** การปลิวของละอองสาร (ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร) บนพื้นที่นอกเป้าหมายที่เริ่มวัดจากแนวพ่นแนวสุดท้าย

กรรมวิธี	ระยะที่ทำการทดสอบจากแนวพ่นแนวสุดท้าย (เมตร)									
	การปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมาย (ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร)									
	ด้านเหนือลม					ด้านใต้ลม				
	1	2	3	4	5-10	1	2	3	4	5-10
การพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืช(ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน))										
1. Air boom	0.26	0.12	0.02	-	- <sup>1/</sup>	0.32	0.15	0.02	-	-
2. Boom 40	0.28	0.13	0.03	-	-	0.25	0.09	0.02	-	-
3. MKS 40	0.28	0.15	0.05	-	-	0.30	0.16	0.02	-	-
การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะกล้า (14 วันหลังหว่าน))										
1. Air boom	0.30	0.18	0.04	-	- <sup>1/</sup>	0.32	0.15	0.05	-	-
2. Boom 40	0.30	0.18	0.04	-	-	0.28	0.12	0.02	-	-
3. MKS 40	0.28	0.17	0.06	-	-	0.31	0.18	0.04	0.02	-
การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะแตกกอ (45 วันหลังหว่าน))										
1. Air boom	0.27	0.16	0.03	-	- <sup>1/</sup>	0.29	0.13	0.04	0.02	-
2. Boom 60	0.32	0.14	0.02	-	-	0.24	0.10	0.02	-	-
3. MKS 60	0.30	0.19	0.05	-	-	0.36	0.20	0.05	-	-
การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะตั้งท้อง (65 วันหลังหว่าน))										
1. Air boom	0.31	0.20	0.08	-	- <sup>1/</sup>	0.28	0.18	0.06	-	-
2. Boom 60	0.29	0.14	0.03	-	-	0.29	0.15	0.04	-	-
3. MKS 60	0.30	0.22	0.06	0.04	-	0.30	0.20	0.08	0.05	-
การพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะออกรวง (95 วันหลังหว่าน))										
1. Air boom	0.29	0.14	0.05	-	- <sup>1/</sup>	0.30	0.18	0.06	0.02	-
2. Boom 60	0.32	0.22	0.10	0.02	-	0.24	0.11	0.02	-	-
3. MKS 60	0.31	0.20	0.07	0.02	-	0.31	0.18	0.04	0.02	-

## 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัด

### 2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันวัชพืชประเภทก่อนงอกในข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพสารกำจัดวัชพืชบิวทาคลอร์ 60% EC ด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย ที่ อ. ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี พบว่า ที่ระยะ 15 และ 30 วันหลังพ่นสารกำจัดวัชพืชบิวทาคลอร์ 60% EC ทุกกรรมวิธีไม่มีความเป็นพิษต่อต้นข้าว ต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่พ่นสารกำจัดวัชพืช (ตารางที่ 5) ประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชโดยรวม จากการประเมินด้วยสายตาที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังพ่นสารพบว่า ที่ระยะ 30 วัน ทุกกรรมวิธีมีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืช ประเภทใบแคบ ใบกว้าง และกก ได้ในระดับดี มีคะแนนจากการประเมินอยู่ระหว่าง 7-9 คะแนน ส่วนที่ระยะ 60 วันหลังพ่นสาร พบว่า ทุกกรรมวิธีมีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชได้ในระดับปานกลาง มีคะแนนจากการประเมินอยู่ที่ 5-6 คะแนน ยกเว้นกรรมวิธี Boom 1 ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชได้ในระดับดี (ตารางที่ 6)



รูปที่ 46 ทดสอบพ่นสารก่อนวัชพืชงอก

การสูมนับจำนวนต้นวัชพืชที่ระยะ 30 วัน พบชนิดวัชพืช ประเภทใบแคบ ได้แก่ หญ้าข้าวนก วัชพืช ประเภทใบกว้าง ได้แก่ ผักปอด และ วัชพืชประเภทกก ได้แก่ กกขนาก และหนวดปลาตุ๊ก กรรมวิธีที่พ่นสาร บิวทาคลอร์ 60% EC ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 60 ลิตร/ไร่ คานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย อัตรา 20 ลิตร/ไร่ และพ่นด้วยเครื่องพ่นสารแบบสูบโยกสะพายหลังอัตราน้ำ 80 ลิตร/ไร่ มีจำนวนต้นวัชพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติและมีจำนวนต้นน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ กรรมวิธีที่ไม่พ่นสาร (ตารางที่ 7)

**ตารางที่ 5** ความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืช ที่พ่นโดยใช้ boom spray ที่ระยะ 15 and 30 วันหลังพ่นสาร

กรรมวิธี	อัตรา กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่	ความเป็นพิษ	
		15 วันหลังพ่นสาร	30 วันหลังพ่นสาร
Boom 1	240	0 <sup>1/</sup>	0 <sup>1/</sup>
Boom 2	200	0	0
Air boom 1	240	0	0
Air boom 2	200	0	0
Control	-	0	0
MKS 60	240	0	0

<sup>1/</sup>ความเป็นพิษ : 0=พิษปลูกปกติ 1-3=เป็นพิษเล็กน้อย 4-6=เป็นพิษปานกลาง 7-9= เป็นพิษรุนแรง 10= พิษปลูกตาย

**ตารางที่ 6** ประสิทธิภาพกำจัดวัชพืชที่พ่นโดยใช้ boom spray ที่ระยะ 30 and 60 วันหลังพ่นสาร

กรรมวิธี	อัตรา กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่	ประสิทธิภาพ	
		30วันหลังพ่นสาร	60วันหลังพ่นสาร
Boom 1	240	9 <sup>1/</sup>	7 <sup>1/</sup>
Boom 2	200	7	6
Air boom 1	240	8	6
Air boom 2	200	7	6
Control	-	0	0
MKS 60	240	7	5

<sup>1/</sup>ประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืช: 0=ควบคุมไม่ได้ 1-3= ควบคุมได้เล็กน้อย 4-6= ควบคุมได้ปานกลาง 7-9= ควบคุมได้ดี 10= ควบคุมได้สมบูรณ์

**ตารางที่ 7 ผลการควบคุมวัชพืชของสารกำจัดวัชพืชพ่นโดยการ ใช้ boom spray ต่อจำนวนต้นวัชพืช ที่ระยะ 30 วันหลังพ่นสาร**

กรรมวิธี	อัตรา กรัมสารออกฤทธิ์/ไร่	จำนวนต้น (ต้น/ตารางเมตร)			
		วัชพืชประเภทใบ แคบ	วัชพืชประเภทใบ กว้าง	วัชพืชประเภทกก	
		หญ้าข้าวนก	ผักปอดนา	กกขนาก	หนวดปลาชุก
Boom 1	240	1.3c <sup>1/</sup>	5.3 ab	0.3 b	0.0 b
Boom 2	200	4.0 c	6.0 ab	1.3 b	0.0 b
Air boom 1	240	3.3 c	1.3 b	1.6 b	2.6b
Air boom 2	200	0.3c	1.5 b	9.3b	3.3b
Control	-	27.3 a	10.3 a	885.0 a	17.6 a
MKS 60	240	17.0 b	1.3 b	2.0 b	0.0 b
C.V.%		58.16	93.45	125.37	170.42

<sup>1/</sup> ตัวเลขในสมมุติเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

**2.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าวในข้าวระยะกล้า (14วันหลังหว่าน)**

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 2 แปลงทดสอบ ใน อ. บางเลน และ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน กล่าวคือกรรมวิธีที่พ่นสารไทอะโคลพริด 24% SC ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 ลิตร/ไร่ คานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ ทั้ง 2 กรรมวิธีและพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 40 ลิตร/ไร่ มีจำนวนเพลี้ยไฟข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 8-9) แต่น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่พ่นสาร



รูปที่ 47 ทดสอบพ่นกำจัดเพลี้ยไฟข้าวในแปลงเกษตรกร

**ตารางที่ 8** ประสิทธิภาพของสารไทอะโคลพริด 24% SC ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว; จากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. บางเลน จ. นครปฐม ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน 2562 (แปลงที่ 1)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	อัตราการใช้ (มิลลิลิตร/ไร่)	ก่อนพ่นสาร	จำนวนเพลี้ยไฟข้าว (ตัว/ต้น)				
				หลังพ่นสาร (วัน)				
				3	5	7	10	14
Boom	40	6	2.72	0.35b <sup>๔</sup>	0.25b	0.23b	0.15b	0.10b
Air boom 1	20	6	2.80	0.33b	0.26b	0.25b	0.18b	0.15b
Air boom 2	20	4.8	2.70	0.40b	0.30b	0.28b	0.28b	0.26b
MKS 40	40	6	2.82	0.48b	0.33b	0.33b	0.30b	0.23b
Control	-	-	2.75	3.42a	4.18a	5.35a	7.08a	7.25a
CV%			9.62	16.31	17.27	28.43	17.90	36.2

<sup>๔</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ P=0.05% โดยวิธี DMRT

**ตารางที่ 9** ประสิทธิภาพของสารไทอะโคลพริด 24% SC ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าว; จากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน 2562 (แปลงที่ 2)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	อัตราการใช้ (มิลลิลิตร/ไร่)	ก่อนพ่นสาร	จำนวนเพลี้ยไฟข้าว (ตัว/ต้น)				
				หลังพ่นสาร (วัน)				
				3	5	7	10	14
Boom	40	6	3.42	0.44b <sup>๔</sup>	0.32b	0.28b	0.19b	0.12b
Air boom 1	20	6	3.58	0.42b	0.32b	0.32b	0.22b	0.19b
Air boom 2	20	4.8	3.51	0.52b	0.39b	0.36b	0.35b	0.32b
MKS 40	40	6	3.64	0.61b	0.42b	0.40b	0.38b	0.29b
Control	-	-	3.58	4.46a	5.43a	6.94a	9.20a	9.43a
CV%			9.68	16.45	18.55	28.57	18.32	17.97

<sup>๔</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ P=0.05% โดยวิธี DMRT

### 2.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดหนอนห่อใบข้าวในข้าวระยะแตกกอ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 2 แปลงทดลอง ใน อ.ศรีประจันต์ จ. สุพรรณบุรี ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน กล่าวคือกรรมวิธีที่พ่นสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 ลิตร/ไร่ คานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ ทั้ง 2 กรรมวิธี และพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 60 ลิตร/ไร่ มีเปอร์เซ็นต์การทำลายของหนอนห่อใบข้าวเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 10-11) แต่น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่พ่นสาร



รูปที่ 48 ทดสอบเครื่องพ่นในข้าวระยะแตกกอ

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพของสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC ในการป้องกันกำจัด  
หนอนห่อใบข้าว; *Cnaphalocrocismedinalis* จากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. ศรีประจันต์ จ.  
สุพรรณบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน 2562 (แปลงที่ 1)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ ไร่)	อัตราการใช้ (มิลลิลิตร/ไร่)	ก่อนพ่นสาร	เปอร์เซ็นต์การทำลายของหนอนห่อใบข้าว		
				หลังพ่นสาร (วัน)		
				3	7	14
Boom	60	12	53.68	29.90 b	12.21 b	8.14 b
Air boom 1	20	12	54.99	28.45 b	11.78 b	8.35 b
Air boom 2	20	10.5	50.46	28.57 b	13.77 b	8.68 b
MKS 60	60	12	46.77	27.32 b	10.09 b	7.58 b
Control	-	-	47.62	44.80 a	30.16 a	25.63 a
CV%			15.30	23.03	33.95	27.94

<sup>1/2</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่P=0.05% โดยวิธีDMRT

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพของสารฟลูเบนไดอะไมด์ + ไทอะโคลพริด 24% + 24% SC ในการป้องกันกำจัด  
 หนอนท่อใบข้าว; *Cnaphalocrocismedinalis* จากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. ศรีประจันต์จ.  
 สุพรรณบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน 2562 (แปลงที่ 2)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ ไร่)	อัตราการใช้ (มิลลิลิตร/ไร่)	ก่อนพ่นสาร	เปอร์เซ็นต์การทำลายของหนอนท่อใบข้าว		
				หลังพ่นสาร (วัน)		
				3	7	14
Boom	60	12	47.94 a	29.56 ab	9.20 b	6.36 b
Air boom 1	20	12	42.96 ab	26.64 b	8.88 b	5.14 b
Air boom 2	20	10.5	39.46 ab	30.86 ab	10.76 b	6.52 b
MKS 60	60	12	36.54 ab	21.34 b	9.54 b	5.78 b
Control	-	-	34.20 b	45.06 a	20.56 a	12.02 a
CV%			17.02	38.08	16.59	48.92

๔ ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่  $P=0.05\%$  โดยวิธี DMRT

ในข้าวระยะแตกกอ ที่ 45 วันหลังหว่าน พบว่าความสูงของเครื่องพ่นใกล้เคียงโดนต้นข้าว จำเป็นต้อง  
 ออกแบบระยะความสูงของเครื่องพ่นใหม่ ให้พ้นความสูงของต้นข้าวในระยะตั้งท้องและออกรวง โดยทำการ  
 วางตำแหน่งของพัดลมใหม่ให้อยู่สูงขึ้นจากความสูงเดิม คือ จากความสูง 100 เซนติเมตร เป็น 160 เซนติเมตร  
 ซึ่งเพียงพอกับระยะในการฉีดพ่นข้าวที่อายุ 65 วัน ต้นแบบที่ปรับปรุงใหม่แสดงในรูปที่ 49 และ 50



รูปที่ 49 ความสูงของชุดหัวฉีดที่ปรับปรุงใหม่





รูปที่ 50 ความสูงหัวฉีดจากพื้นดิน 160 เซนติเมตร

#### 2.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่างในข้าวระยะตั้งท้อง และออกรวง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 2 แปลงทดสอบ ใน อ.กำแพงแสน จ. นครปฐมให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน กล่าวคือกรรมวิธีที่พ่นสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG ด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 ลิตร/ไร่ คานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ ทั้ง 2 กรรมวิธี และพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 60 ลิตร/ไร่ มีเมล็ดข้าวเป็นโรคเมล็ดต่างเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 12-13) แต่น้อยกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่พ่นสาร

##### ความเป็นพิษต่อต้นข้าว

ในการทดลองนี้ไม่พบอาการเป็นพิษของสารทดลองต่อต้นข้าวจากการพ่นสารในทุกกรรมวิธีของการทดลอง



รูปที่ 51 การทดสอบการพ่นในข้าวตั้งท้อง ออกรวง

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพของสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG ในการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่างจากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม 2562 (แปลงที่ 1)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	อัตราการใช้ (กรัม/ไร่)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวที่เป็นโรคเมล็ดต่าง
Boom	60	28	27.41b
Air boom 1	20	28	22.30b
Air boom 2	20	23	28.19b
MKS 60	60	28	23.15b
Control	-	-	50.33a
CV%			23.60

<sup>L</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่P=0.05% โดยวิธีDMRT

**ตารางที่ 13** ประสิทธิภาพของสารทีบูโคนาโซล + ไตรฟลอกซีสโตรบิน 50% + 25% WG ในการป้องกันกำจัดโรคเมล็ดต่างจากการพ่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม 2562 (แปลงที่ 2)

กรรมวิธี	อัตราพ่น (ลิตร/ไร่)	อัตราการใช้ (กรัม/ไร่)	เปอร์เซ็นต์เมล็ดข้าวที่เป็นโรคเมล็ดต่าง
Boom	60	28	20.67b
Air boom 1	20	28	17.36b
Air boom 2	20	23	21.26b
MKS 60	60	28	17.46b
Control	-	-	37.96a
CV%			23.71

<sup>bc</sup> ตัวเลขที่ตามด้วยอักษรเดียวกันหรือไม่มีตัวอักษรในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ P=0.05% โดยวิธี DMRT

การพ่นสารด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ เป็นการพ่นสารแบบน้ำน้อย สารฆ่าแมลงที่ผสมในการพ่นจึงมีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับการผสมสารพ่นแบบน้ำปานกลางด้วยคานหัวฉีดและเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงของเกษตรกร ดังนั้นเมื่อพ่นสารในอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เท่ากัน แม้ว่าปริมาณน้ำจะมีความแตกต่างจึงไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดแตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pojananuwong *et al.*, (1997) ที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการพ่นระบบน้ำน้อยด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังชนิดใช้แรงลมอัตราพ่น 20 ลิตร/ไร่ ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยสารอิมิดาโคลพริด 10% SL พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าการพ่นแบบน้ำปานกลางด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงของเกษตรกรที่อัตรา 40 ลิตร/ไร่ และเมื่อนำมาทดสอบด้วยสารเดียวกันโดยลดอัตราสารลง 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดไม่แตกต่างกับวิธีการของเกษตรกร นอกจากนี้ ดำรง และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษากาพ่นสารแบบน้ำน้อยด้วยหัวฉีด ULEM และ CDA อัตรา 20 ลิตร/ไร่ ในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าวด้วยสารฆ่าแมลง imidacloprid อัตราเนื้อสารบริสุทธิ์ 3 กรัม/ไร่ เปรียบเทียบกับการพ่นสารแบบน้ำปานกลางด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงของเกษตรกรที่อัตรา 40 ลิตร/ไร่ ผลการทดลองพบว่าการพ่นแบบน้ำน้อยด้วยหัวฉีด ULEM และ CDA มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเพลี้ยไฟข้าวได้ดีเทียบเท่าการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารของเกษตรกร อีกทั้งยังได้ทำการทดลองโดยลดอัตราสารลงมา 30 เปอร์เซ็นต์จากอัตราเนื้อสารบริสุทธิ์ 3 กรัม/ไร่ เป็น 2 กรัม/ไร่ ผลการทดลองยังคงพบว่าการพ่นสารแบบน้ำน้อยด้วยหัวฉีด ULEM และ CDA มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดได้ดีเทียบเท่าการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารของเกษตรกรเช่นกันในกรณีของ Qin *et al.* (2018) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างในข้าวโพดจากระบบการพ่นแบบน้ำน้อยมากด้วยสาร triadimefon 44%SC อัตราแนะนำที่ 450 กรัม/เฮกแตร์ พ่นด้วยเครื่อง UAV ที่อัตราพ่น 15 ลิตร/เฮกแตร์ เปรียบเทียบกับการพ่นระบบน้ำมากด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงที่อัตรา 300 ลิตร/เฮกแตร์ ผลการทดลองพบว่าการพ่นด้วยระบบ

น้ำน้อยมากด้วยเครื่องUAV มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างในข้าวโพดได้ดีเทียบเท่าการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารแบบแรงดันน้ำสูงของเกษตรกร นอกจากนี้ได้ทำการทดลองพ่นด้วยเครื่องUAV โดยลดอัตราสารลงมา 20เปอร์เซ็นต์ จากอัตราแนะนำที่ 450 กรัม/เฮกแตร์ เป็น 360กรัม/เฮกแตร์ การทดลองพ่นด้วยเครื่องUAV ก็ยังคงมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดโรคราน้ำค้างในข้าวโพดเทียบเท่ากับการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 300 ลิตร/เฮกแตร์ อย่างไรก็ตามในการลดอัตราสารจำเป็นต้องคำนึงถึงระดับความต้านทานของศัตรูพืชในพื้นที่และต้องมีการพ่นแบบสลับกลุ่มสารตามกลไกการเข้าทำลาย (Mode of action) เพื่อลดความเสี่ยงที่ศัตรูพืชจะสร้างความต้านทาน นอกจากนี้การพ่นแบบน้ำน้อยเป็นการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นก่อนการนำมาพ่นในสภาพไร่ ควรเลือกสูตรของสาร (formulation) ที่มีข้อมูล คำแนะนำหรือผ่านการทดสอบเรื่องความเป็นพิษต่อต้นข้าวมาแล้วมาใช้ สำหรับสูตรของสารบางสูตรที่มีความเสี่ยงในเรื่องความเป็นพิษต่อพืช เช่น EC หรือ WP ควรต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ นอกจากนี้สูตรของสารบางสูตร เช่น WP ในกรณีที่ผสมน้ำน้อยก่อให้เกิดการตกตะกอน จนทำให้อุดตันหัวฉีดหรือในกรณีที่ใช้ในอัตราสูงมากจะเกาะตัวเป็นชั้น จนไม่สามารถพ่นสารละลายออกมาได้

#### การทดสอบประสิทธิภาพการพ่นของคานหัวฉีดแบบใช้ลมช่วย

ผลการทดสอบความสามารถในการพ่นสาร ประสิทธิภาพในการพ่น อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในตารางที่ 14



รูปที่ 52 เตรียมทดสอบในแปลงเกษตรกร



รูปที่ 53 การพ่นทดสอบในแปลงทดสอบ

## ตารางที่ 14 ผลการทดสอบการผันสารที่ระยะการเจริญเติบโตของข้าว

	ระยะกล้า	ระยะแตกกอ	ระยะตั้งท้อง	ระยะออกรวง
ความสามารถในการทำงานจริง (ไร่/ชม)	21.5	21.2	20.9	20.8
ความสามารถในการทำงานตามทฤษฎี (ไร่/ชม)	22.4	22.8	22.0	21.9
ประสิทธิภาพการทำงาน (เปอร์เซ็นต์)	96	93	95	95
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ไร่)	0.35	0.40	0.39	0.38

### การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการใช้งานและจุดคุ้มทุนในการลงทุนซื้อเครื่องจักรกลการเกษตรในการผันสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว เพื่อใช้ในแปลงของเกษตรกรเองหรือเพื่อรับจ้าง

#### การคำนวณต้นทุนการถือครองและการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการใช้หรือถือครองเครื่องจักรกลการเกษตรคำนวณจากผลรวมต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรมีสูตรในการคำนวณดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วยค่าเสื่อมราคา ดอกเบี้ย แต่ในครั้งนี้อเฉพาะค่าเสื่อมราคาและค่าดอกเบี้ยเท่านั้นที่นำมาคำนวณเป็นต้นทุน ส่วนค่าโรงเรือน ค่าภาษี และ ค่าประกันไม่นำมาพิจารณาทั้งนี้เนื่องจากส่วนใหญ่ไม่มีการสร้างโรงเรือนเพื่อเก็บรักษาเครื่องจักรกลการเกษตรเป็นการเฉพาะหรือหากมีการสร้างแต่เป็นการสร้างแบบง่าย ๆ มีค่าใช้จ่ายไม่มากนักตลอดจนไม่พบที่มีการจ่ายภาษี และทำประกันภัยให้กับเครื่องจักรกลการเกษตร โดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{ต้นทุนคงที่} = \text{ค่าเสื่อมราคา} + \text{ดอกเบี้ย} \quad (1)$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = (P-S)/L \quad (1.1)$$

$$\text{ค่าดอกเบี้ย} = (P+S)/2 \times (i/100) \quad (1.2)$$

โดย P = ราคาซื้อเครื่องจักร (บาท)

S = ราคาซากเครื่องจักร (บาท)

L = อายุการใช้งาน (ปี)

i = อัตราดอกเบี้ย (เปอร์เซ็นต์/ปี)

2. ต้นทุนผันแปร เป็นค่าใช้จ่าย ที่ขึ้นอยู่กับการทำงานประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่า น้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมบำรุงและดูแลรักษา ค่าแรงงานคนขับ และค่าต้นกำลังในกรณีคำนวณอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

#### การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องผันแบบใช้ลมช่วย

ราคาเครื่องผันแบบใช้ลมช่วย 50,000 บาท

ราคาซาก 10 เปอร์เซ็นต์ของราคา

อายุการใช้งาน 7 ปี

อัตราดอกเบี้ย	10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	30 บาทต่อลิตร
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงรถแทรกเตอร์	0.40 ลิตรต่อไร่
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	20 เปอร์เซ็นต์ของราคาน้ำมัน บาท/ชม
ค่าแรงคนขับรถแทรกเตอร์	40 บาทต่อชั่วโมง
ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์	0.83 เปอร์เซ็นต์ของ P/100 ชม.

#### การต่อคำนวณต้นทุนปีของอุปกรณ์

เครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วย 50,000 บาท

#### ค่าต้นทุนคงที่

ค่าเสื่อมราคา	6,428.57 บาท/ปี
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	2,750 บาท/ปี
รวมต้นทุนคงที่	9,178.57 บาท/ปี

#### ค่าต้นทุนผันแปร

ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	264 บาท/ชม
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	52.8 บาท/ชม
ค่าแรงคนขับรถแทรกเตอร์	40 บาท/ชม
ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์	4.15 บาท/ชม
รวมต้นทุนผันแปร	360.95 บาท/ชม
ความสามารถในการทำงาน	20 ไร่/ชม
รวมต้นทุนผันแปร	18.04 บาท/ไร่

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องพ่นแบบลมช่วยในการพ่นป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (A) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนต่อปีในการใช้เครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วย (บาท/ไร่)} &= \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \\ &= (9,178.57/A) + 18.04 \end{aligned}$$

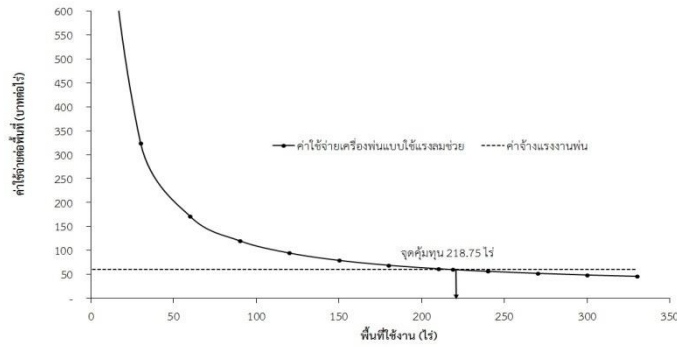
จุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วยในการพ่นป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว สามารถคำนวณได้เมื่อ ต้นทุนในการใช้งานเครื่องพ่น เท่ากับค่าจ้างในการพ่น โดยค่าจ้างในการพ่นต่อไร่คือ 60 บาท

ต้นทุนในการใช้งานเครื่องพ่นแบบใช้ลมช่วย = ค่าใช้จ่ายในการพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

$$60 = (9,178.57/A) + 18.04$$

$$A = 218.96 \text{ ไร่/ปี}$$

แต่จริงๆแล้วการฉีดพ่นของเกษตรกร ทำการฉีดพ่นในทุกๆระยะการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งในรายงานฉบับนี้ฉีดพ่นตั้งแต่ การฉีดพ่นกำจัดวัชพืช เพลี้ยไฟข้าว หนอนห่อใบ และ โรคมะลิต์ต่าง ซึ่งทำการพ่น 4 ครั้งในพื้นที่เดียวกัน ทำให้พื้นที่ในการคุ้มทุนก็น้อยลงตามไปด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ 54.74 ไร่ต่อปี ก็คุ้มทุน



รูปที่ 54 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องพ่นแบบใช้แรงลมช่วย

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพของคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยอัตรา 20 ลิตร/ไร่ เปรียบเทียบกับคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลมอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ และการพ่นด้วยเครื่องพ่นสารสะพាយหลังแบบแรงดันน้ำสูงอัตรา 40 และ 60 ลิตร/ไร่ ด้วยวิธี colorimetric method ในการพ่นสารป้องกันกำจัดวัชพืช (ข้าวระยะกล้า (5 วันหลังหว่าน)) ในการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลง (ข้าวระยะกล้า (14 และ 45 วันหลังหว่าน)) และในการพ่นสารป้องกันกำจัดโรคพืช (ข้าวระยะตั้งท้องและออกรวง (65 และ 95 วันหลังหว่าน)) พบว่าคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วยมีความหนาแน่นของละอองสารสูงสุด และพบการตกค้างของละอองสารบนต้นข้าวไม่แตกต่างกับการพ่นด้วยวิธีการอื่น ๆ โดยมีการสูญเสียลงสู่ดินน้อยกว่า และปลิวสู่พื้นที่นอกเป้าหมายเพียง 4 เมตร ซึ่งไม่แตกต่างจากวิธีการอื่น ๆ และเมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดวัชพืช เพลี้ยไฟข้าว หนอนห่อใบข้าว และโรคเมล็ดต่างด้วยอัตราแนะนำ และลดอัตราแนะนำลง 20 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรแบบไม่ใช้ลม และด้วยเครื่องพ่นสารสะพายหลังแบบแรงดันน้ำสูงพบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดวัชพืช เพลี้ยไฟข้าว หนอนห่อใบข้าว และโรคเมล็ดต่างได้ดีเทียบเท่ากับกรรมวิธีอื่น ๆ การพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบใช้แรงลมนอกจากช่วยลดอัตราน้ำได้ 50% ลดอัตราการใช้สารได้ 20% แล้วยังช่วยให้เกษตรกรมีความปลอดภัยไม่ต้องสัมผัสกับสารฆ่าแมลง ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นคำแนะนำ และสามารถนำไปขยายผลในศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ ทั้งในข้าวและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาสู่การอารักขาพืชแม่นยำสูง (Precision Crop Protection) ที่สอดคล้องกับนโยบายเกษตร 4.0 ของประเทศ

10. การนำไปใช้ประโยชน์ ถ่ายทอดสู่เกษตรกรที่ปลูกข้าว และ ดัดแปลงต้นแบบสำหรับฉีดพ่นในพืชไร่ชนิดอื่น อาทิเช่น ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง และ ผักแพ้วสู่เกษตรกรต่อไป

## 11 คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสมคิด พันธุ์ดี และคุณปรีดี รั้งงาม กลุ่มงานวิจัยการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช กลุ่มกีฏและสัตววิทยาสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชกรมวิชาการเกษตร ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลและช่วยเหลืองานด้านเทคนิค

## 12.เอกสารอ้างอิง

- ดำรง เวชกิจ จีรนุช เอกอำนวยการ พฤทธิชาติ ปุญวัฒน์โท สรรชัย เพชรธรรมรส สิริวิภา พลตรี. 2551. ศึกษาประสิทธิภาพของ ULEM เพื่อการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูกล้วยไม้บางชนิด. รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม. กรมวิชาการเกษตร. 57 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช ปี 2553 - 2556. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.oae.go.th/ewt\\_news.php?nid=146](http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=146) (สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2562).
- Ade, G. and V. Rondelli. 2007. Performance of an air-assisted boom sprayer in the control of Colorado beetle infestation in potato crops. *Biosyst. Engng.* 97: 181-187.
- Austerweil, M., A. Gamliel, B. Steiner, Y. Riven and V. Zilberg. 2000. Approaches to evaluating the performance of air-assisted pesticide application equipment in greenhouses. *Asp. Appl. Biol.* 57 : 391-398.
- Cunningham, G.P. and J. Harden. 1999. Sprayers to reduce spray volumes in mature citrus trees. *Crop Prot.* 18 : 275-281.
- Darvishvand, M. and Brown R.B. (1997). Performance of an air assisted forestry boom sprayer. *Canadian Agril. Engg.* 399(4):281-287.
- Ebert, T.A., R.A.J. Taylor, R.A. Downer and F.R. Hall. 1999. Deposition structure and efficacy 1 : Interaction between deposit size, toxicant concentration, and deposition number. *Pestic. Sci.* 55 : 783-792.
- Halley, S., V. Hofman, G. Van Ee and K. Misk. 2011. Best Methods for Applying Fungicide to Grain Heads Using Air-assist Sprayers. [Online]. Available from: <https://www.ag.nds.u.edu/pubs/ageng/machine/ae1480.pdf> (December 26, 2011).
- Matthews, G.A. 2014. *Pesticide Application methods*. 4<sup>th</sup> Ed. Blackwell Science. 432 pp.
- Miller, D.R., Stoughton, T.E., Steinke, W. E., Huddleston, E.W. and J. B. Ross. Atmospheric stability effects on pesticide drift from an irrigated orchard. [Online]. Available from: <http://www.prairieswine.com/pdf/2983.pdf> (23 October 2018).
- MOPH. 2013. Reported cases of notifiable disease by week Thailand, 2013.



Bureau of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (Online). Available. [http://www.boe.moph.go.th/boede/506data/54\\_wk36.pdf](http://www.boe.moph.go.th/boede/506data/54_wk36.pdf) (3 May, 2014).

Nuytten, D., S. Windey, and B. Sonck. 2004. Optimization of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. *Biosyst. Eng.* 89: 417 - 423.

Nuytten, D., P. Braekman, S. Windey and B. Sonck. 2009. Potential dermal exposure affected by greenhouse spray application technique. *Pest Manag. Sci.* 65: 781 - 790.

Planas, S., Solanelles, F., Fillat, A., Walklate, P., Miralles, A., Ade, G., Pezzi, F., Val, L., Andersen, P.G., 1998. Advances on Air-assisted Spraying on the Mediterranean Orchards (Fruit, Vine and Citrus). *EurAgEng Paper N° 98-A-019*. Oslo.

Pojananuwong, S., Wechakit, D., Armeen, S., Chaimanee, A., 1997. Field efficacy test of low volume application of pesticides against important insect pests and weeds in broadest rice. Biennial report, Division of Entomology and Zoology, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.

Pojananuwong, S., Wechakit, D., Ek-amnuay, J., Pechtamaros, S., Suwanathane, S., Chueyphan, S., 1999. Pesticide application technique against pests of rice. Biennial report, Division of Entomology and Zoology Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.

Pojananuwong, S., Armeen, S., Pamorn, P., Suwanathane, S., Pechtamaros, S., Chueyphan, S., 2001. Pesticide application technique for control of rice pests. Biennial report, Division of Entomology and Zoology, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.

Punyawattee, P. 2013. Rational insecticide application techniques for control of *Nilaparvata lugens* Stål in paddy fields. (Doctoral dissertation). Nanjing Agricultural University, China. 119 pp.

Rincón VJ, Sánchez-Hermosilla J, Páez F, Pérez-Alonso J, Callejón AJ (2017) Assessment of the influence of working pressure and application rate on pesticide spray application with a hand-held spray gun on greenhouse pepper crops. *Crop Prot* 96:7-13.

Sánchez-Hermosilla, J. F. Páez, V.J. Rincón and A.J. Callejón. 2013. Evaluation of a fog cooling system for applying plant-protection products in a greenhouse tomato crop. *Crop Prot.* 48 : 76-81.

Taylor, W.A., P.G. Andersen and S. Cooper 1989. The use of air assistance in a field crop sprayer to reduce drift and modify drop trajectories. In Brighton Crop Protection Conference-Weeds, 631-639. Farnham, Surrey, England: British Crop Protection Council.

