การพัฒนาเครื่องพ่นสารป้องกันกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดแบบอุโมงค์ลม
Development of an Air Assist Boom Sprayer for Fall Armyworm

ยุทธนา เครือหาญชาญพงค์[1/] พฤทธิชาติ ปุญวัฒโท[2/] พักตร์วิภา สุทธิวารี[1/]
พงษ์ศักดิ์ ต่ายก้อนทอง[1/] อัคคพล เสนาณรงค์[1/]
Yuttana Khaehanchanpong[1/] Pruetthichat Punyawattoe[2/] Phakwipa Suttiwaree[1/]
Pongsak Taikonthong[1/] Akkapol Senanarong[1/]

Received 10 Jan. 2023 /Revised 18 Feb. 2023 /Accepted 16 Mar. 2023

ABSTRACT

The objective of this research is to address the challenges associated with conventional pest control sprayers, which miss the pest target by over 80% due to the impact of natural wind, resulting in wastage of chemicals, time, and labour. To overcome these challenges, an air assist boom sprayer was developed using the principle of wind to effectively spray liquid ejected into an aerosol of 80-90 micrometers. This was achieved by generating wind power using a shaft-operated gear that drives the fan at speeds of up to 100 km/h, which creates a working width of 6 meters, with 11 nozzles installed at a distance of 50 cm, using a 34-horsepower tractor as the power generator. To determine the density of droplets falling on the target area, paint was sprayed and the density was found to be 80.16 droplets/cm^2, with a spray rate of 21.3 rai/hr, an efficiency of 95%, and a fuel consumption of 0.40 l./rai. The effectiveness of the air assist boom sprayer in controlling the fall armyworm was tested in the fields in Tak and Sukhothai provinces in 2020-2021. The prototype was found to be efficient in controlling the fall armyworm and was able to reduce the amount of chemical by 20% when compared to the conventional spraying method that used 60 l./rai of water. Emamectin benzoate 5% SG at the rate of 30 g/ 20 l. water/rai was used for the test. The prototype also demonstrated an increased precision of droplets falling on the target area. Moreover, the prototype can be used to spray the nematodes, a biocontrol agent for fall armyworm effectively, reducing the use rate of nematodes biocontrol product from 300 to 240 million units/rai/time. After 4 nematodes sprays, the damage level of corn leaves did not show significant differences from that of the chemical treatment. The break-even point in using the sprayer is estimated to be 489 rai/year. As a result of these findings, one private sector has already initiated commercial production of the prototype.

Keywords: air assist boom sprayer, pesticides insecticide, nematodes biocontrol, fall armyworm, corn

[1/] สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[1/] Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900

[2/] กองวิจัยและพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[2/] Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900

*** Corresponding author: yuttanakhae@hotmail.com**

บทคัดย่อ

การป้องกันกำจัดศัตรูพืชด้วยเครื่องพ่นสารแบบคานหัวฉีด พบว่า ละอองสารสัมผัสศัตรูพืชเพียง 20% เท่านั้น เนื่องจาก ลมธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญในการพัดพาละอองสารปลิวไปนอกเป้าหมาย ทำให้สิ้นเปลืองทั้งค่าสารเคมี เวลา และแรงงาน เพื่อแก้ปัญหาการพ่นสารป้องกันหนอนกระทู้ข้าวโพดที่ขาดประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้ จึงพัฒนาเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม ที่ใช้หลักการของการใช้แรงลมช่วยแทรกหรือตีของเหลวที่พ่นออกให้เป็นละอองฝอยขนาด 80-90 ไมโครเมตร แนวคิดการสร้างแรงลมด้วยการทำงานของเพลาอำนวยกำลังติดรถแทรกเตอร์ผ่านเกียร์ทดไปยังพัดลมอัตราความเร็ว 100 กม./ชม. อุโมงค์ลมมีหน้ากว้างในการทำงาน 6 ม. ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 34 แรงม้า ติดตั้งหัวฉีดแบบพัดระยะห่าง 50 ซม. จำนวน 11 หัวฉีด การทดสอบความหนาแน่นของละอองสารที่ตกลงพื้นที่เป้าหมายด้วยวิธีพ่นสี พบว่า ละอองสารมีความหนาแน่น 80.16 ละออง/ตร.ซม. พ่นสารได้ 21.3 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงาน 95% สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.40 ล./ไร่ เมื่อนำไปทดสอบพ่นสารเคมีควบคุมหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด โดยใช้สาร Emamectin benzoate 5% SG 2 อัตรา คือ 30 ก./น้ำ 20 ล./ไร่ และ 24 ก./น้ำ 20 ล./ไร่ เปรียบเทียบกับวิธีคานหัวฉีด ใช้น้ำ 60 ล./ไร่ ในพื้นที่ จ.ตาก และ สุโขทัย ระหว่างปี 2563-2564 ผลการทดสอบพบว่า เครื่องพ่นอุโมงค์ลมมีประสิทธิภาพในการควบคุมหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้ โดยใช้สาร Emamectin benzoate 5% SG ที่อัตรา 24 ก./น้ำ 20 ล./ไร่ สามารถลดปริมาณสารได้ 20% และช่วยให้ละอองสารตกสู่พื้นที่เป้าหมาย นอกจากนั้น ได้นำเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมมาทดสอบใช้กับสารชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยในการกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดที่อัตรา 240 ล้านตัว/ไร่/ครั้ง ทำการพ่นสาร 4 ครั้ง พบว่า มีประสิทธิภาพในการควบคุมหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดไม่แตกต่างจากการใช้สารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุนในการใช้งานเท่ากับ 489 ไร่/ปี ต้นแบบเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องพ่นสารแบบอุโมงค์ลม, สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช, ชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยกำจัดแมลง, หนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด, ข้าวโพด

บทนำ

การป้องกันความเสียหายจากการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด นิยมใช้การพ่นสารป้องกันศัตรูพืชเนื่องจากสะดวก รวดเร็ว ง่ายในการปฏิบัติ (Lund-Hoie, 1985) การพ่นสารแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบน้ำน้อย โดยเครื่องพ่นแรงลมสะพายหลังด้วยแรงงานคน อัตรา 20-25 ล./ไร่ แต่ยังไม่มีใช้งานในเครื่องที่ติดพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ และ แบบน้ำมาก โดยเครื่องพ่นสารแรงดันน้ำสูง อัตรา 60 ถึง 100 ล./ไร่ การพ่นน้ำน้อยจะยืนพ่นเหนือลม หลีกเลี่ยงการสัมผัสสาร และมีแนวพ่น 5-6 ม. แต่มีเกษตรกรมักพ่นสารในอัตราที่สูงกว่าคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำให้สิ้นเปลืองและเพิ่มต้นทุนการผลิต วิธีการพ่นสาร เกษตรกรเดินเข้าไปแปลงปลูกแล้วพ่นสารโดยส่ายหัวฉีดไปมาทางซ้ายและขวา เกษตรกรมีโอกาสสัมผัสสารได้ การพ่นดังกล่าวแม้เร็ว แต่พบความหนาแน่น และการตกค้างของละอองสารมาก ทำให้การกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ อีกทั้งการพ่นขึ้นกับทักษะและความตั้งใจของผู้พ่นเป็นหลัก (Pojananuwong *et al.*,1998) กรณีเกษตรกรจ้างแรงงานพ่น ผู้พ่นอาจขาดทักษะและความรับผิดชอบ ทำให้การพ่นสารไม่โดนตัวหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด

ที่ชอบแอบหลบซ่อนอยู่ในกรวยใบ ใต้ใบ ทำให้ไม่สามารถควบคุมการระบาดได้

เพื่อให้การพ่นสารโดนตัวหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด และสามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรมีการนำเทคโนโลยีแบบใหม่มาใช้แทนวิธีเดิม ซึ่งคานประกอบหัวฉีด (boom sprayer) เป็นอุปกรณ์ที่มีศักยภาพ เนื่องจากสามารถพ่นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชได้หลายชนิด มีความปลอดภัยสูงต่อผู้พ่น (Nuyttens *et al.*, 2004) สามารถนำมาประกอบเข้ากับเครื่องต่าง ๆ ได้ ปัจจุบันคานประกอบหัวฉีดที่มีการใช้และจำหน่ายในประเทศส่วนใหญ่ เป็นคานหัวฉีดที่ประกอบหัวฉีดแรงดันของเหลว จากการสำรวจของ ยุทธนา (2562) พบว่า คานหัวฉีดดังกล่าว ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขหลายประการ เช่น การเลือกใช้หัวฉีดที่ไม่เหมาะสม รวมถึงความเร็วที่เหมาะสมต่อการพ่นสาร นอกจากคานหัวฉีดดังกล่าวแล้ว ยังมีคานหัวฉีดอีกชนิดหนึ่งที่ควรนำมาประยุกต์ใช้ คือ คานหัวฉีดแบบใช้แรงลมช่วย (air assist boom sprayer) โดยใช้แรงลมช่วยส่งละอองสารเข้าสู่ต้นพืชทรงพุ่มและใต้ใบ สามารถควบคุมการแพร่ระบาดของศัตรูพืชได้เป็นอย่างดี (Taylor *et al.*1989) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องพ่นในรูปแบบใหม่ตลอดจนเทคนิคการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อควบคุมการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด โดยทดสอบการพ่นทั้งในห้องปฏิบัติการ และแปลงทดสอบ พร้อมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพ่นในการพ่นชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยกำจัดแมลง เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม

ศึกษารูปการใช้แรงลมช่วยปั๊ม ระบบการฉีดพ่น ชนิดของหัวฉีด ตลอดจนข้อกำหนดต่าง ๆ ในการพ่นสารเคมี และสร้างต้นแบบโดยนำต้นแบบของ ยุทธนา และคณะ (2562) ที่ได้ออกแบบเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมสำหรับใช้งานในนาข้าวมาพัฒนาปรับปรุงข้อบกพร่อง เพื่อให้ได้ต้นแบบที่เหมาะสมสำหรับการพ่นในงานไร่ โดยทำการปรับตำแหน่งถังพ่นจากตำแหน่งด้านหลังมาวางไว้ด้านหน้ารถแทรกเตอร์ และ ปรับตำแหน่งสมดุลของอุปกรณ์สร้างลม เพื่อไม่ให้น้ำหนักโน้มไปทางด้านหลังสามารถปรับระยะหัวพ่นตามความกว้างของแถวปลูกข้าวโพดได้ และทำการเปลี่ยนล้อจากล้อเหล็กเป็นล้อยางหน้าแคบ เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มความสูงของคานของรถแทรกเตอร์ให้ทำงานในทุกช่วงความสูงของต้นข้าวโพด ทำให้สามารถทำงานในสภาพไร่ได้เป็นอย่างดี

2. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม

2.1 ทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASABE standard S572.1 (Anonymous. 2023)

ศึกษาการพ่นสารตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ทำการลดปริมาณสารเคมี และอัตราการใช้น้ำ โดยดัดแปลงมาจาก ยุทธนา และคณะ (2562) ที่ใช้เครื่องพ่นแบบใช้แรงลม ช่วยสร้างลมความเร็ว 100 กม./ชม. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดวัชพืช เพลี้ยไฟข้าว หนอนห่อใบข้าว และโรคเมล็ดด่างในแปลงนา ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาจากข้อ 1 กับสาร Emamectin benzoate 5% SG ที่ใช้ควบคุมหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด โดยลด

อัตราสารเคมีจากแนะนำเดิมลง 20 % เปรียบเทียบกับวิธีแนะนำของกรมวิชาการเกษตร กรรมวิธีดังแสดงใน Table 1

ศึกษารูปแบบกระจายตัวของละอองสารเพื่อออกแบบระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวฉีด โดยทดสอบเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมกับหัวฉีดแบบพัด 3 ขนาด คือ Hypro โมเดล F 110-02 (สีเหลือง) F110-03 (สีน้ำเงิน) และ F 110-04 (สีแดง) ใน 2 รูปแบบ คือ พ่นในขณะน้ำเต็มถังและครึ่งถัง ทั้งไม่ใช้ลมและใช้แรงลมช่วย ทำการทดสอบ 3 ครั้ง (Figure 1) และทดสอบวัดความเร็วลมในห้องปฏิบัติการ ที่รอบเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ 540 รอบ/นาที รอบเครื่องยนต์ 2,400 รอบ/นาที

2.2 ศึกษาความหนาแน่นของละอองสาร การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน และการปลิวของละอองบนพื้นที่นอกเป้าหมายด้วยวิธี Colorimetric method

ติดกระดาษ Chromulux ขนาดกว้าง 1.5 ซม. บนใบข้าวโพดขนาดความยาวตามขนาดของใบข้าวโพดที่อายุการเจริญเติบโต 14 วันหลังปลูก ทุกระยะ 2 ม. นับจากขอบแปลง จำนวน 20 แปลงย่อย ติดกระดาษทั้งหมด 6 จุด ๆ ละ 5 ต้น ในแต่ละต้นติดกระดาษ 4 ตำแหน่ง ด้านเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก และวางกระดาษลงบนพื้นดินระหว่างต้นข้าวโพดนอกพื้นที่เป้าหมาย หลังติดกระดาษ พ่นสารละลายของสี Kingkol tartrazine จากนั้น นำกระดาษมานับจำนวนละอองสารด้วยโปรแกรมประมวลภาพ Imagepro ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นจำนวน ละออง/ตร.ซม.

Table 1 Treatment used in laboratory test

Treatment	Water (liter)	Emamectin benzoate 5% SG (g)	Concentration (mg/l)
Air assist boom sprayer (AirBoom 1)	20	30	75
Air assist boom sprayer (20% decrease) (AirBoom 2)	20	24	60
DOA recommendation (Boom 1)	60	30	25
DOA recommendation (20% decrease) (Boom 2)	60	24	20

Figure 1 Spraying coverage zone and distance test of nozzle

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมต้นแบบในแปลง

2.3.1 ทดสอบการพ่นด้วยสารเคมี

ดำเนินการที่ อ.พบพระ จ.ตาก ระหว่าง มิ.ย.-ส.ค. 2563 วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 5 วิธี คือ กรรมวิธีที่ 1 พ่นด้วยเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม ด้วยสาร Emamectin benzoate 5% SG อัตรา 30 ก./ไร่ (อัตราแนะนำ) (Airboom 1) กรรมวิธีที่ 2 พ่นด้วยเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม อัตรา 20 ล./ไร่ ด้วยสาร Emamectin benzoate 5% SG อัตรา 24 ก./ไร่ (ลดสารจากอัตราแนะนำ 20%) (Airboom 2) กรรมวิธีที่ 3 พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกร อัตรา 60 ล./ไร่ ด้วยสาร Emamectin benzoate 5% SG อัตรา 30 ก./ไร่ (Boom 1) กรรมวิธีที่ 4 พ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกร อัตรา 60 ล./ไร่ ด้วย สาร Emamectin benzoate 5% SG อัตรา 24 ก./ไร่ (Boom 2) และกรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำ 60 ล./ไร่ (กรรมวิธีควบคุม)

ปลูกข้าวโพดระยะ 25x75 ซม. ในแปลงขนาด 18x48 ม. ระยะระหว่างแปลงย่อย 10 ม. ประเมินความเสียหายของใบข้าวโพดจากการทำลายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดตามวิธีการของ Davis and William (1992) ก่อนพ่นสาร โดยสุ่มตรวจนับ 3 ใบยอด จาก 4 แถวกลาง จำนวน 20 ต้น/แปลงย่อย บันทึกข้อมูลระดับการทำลายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด ก่อนและหลังพ่นสาร 3 และ 7 วัน ในแต่ละกรรมวิธี พ่นสารจำนวน 3 ครั้ง หลังข้าวโพดอายุ 7 วัน โดยพ่นสารทุก 7 วัน

2.3.2 ทดสอบการพ่นชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยสายพันธุ์ไทย

ดำเนินการที่ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย ระหว่าง ธ.ค. 2563 – มี.ค. 2564 วางแผนการทดลองแบบ RCB 5 วิธี 4 ซ้ำ กรรมวิธีที่ 1 พ่นผลิตภัณฑ์ไส้เดือนฝอย 300 ล้านตัว/น้ำ 60 ล./ไร่ ด้วยเครื่องพ่นอุโมงค์ลม (Nema-Airboom 1) กรรมวิธีที่ 2 พ่นผลิตภัณฑ์ไส้เดือนฝอย 240 ล้านตัว/น้ำ 20 ล./ไร่ (ลดอัตราน้ำ) ด้วยเครื่องพ่นอุโมงค์ลม (Nema-Airboom 2) กรรมวิธีที่ 3 พ่นสาร Emamectin benzoate 5% SG ด้วยอัตรา 30 ก./ไร่ โดยใช้อัตราน้ำ 60 ล./ไร่ (Chem-Boom 1) กรรมวิธีที่ 4 พ่นสาร Emamectin benzoate 5% SG ด้วยอัตราสาร 24 ก./ไร่ โดยใช้อัตราน้ำ 20 ล./ไร่ (Chem-Boom 2) และกรรมวิธีที่ 5 พ่นน้ำ 60 ล./ไร่ เป็นกรรมวิธีควบคุม ขนาดแปลงข้าวโพดทดสอบ ระยะการปลูก และการประเมินความเสียหายของใบข้าวโพดจากการทำลายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด ก่อนและหลังพ่นสาร 3 และ 7 วัน ในแต่ละกรรมวิธีพ่นสารจำนวน 4 ครั้ง หลังข้าวโพดอายุ 7 วัน โดยพ่นสารทุก 7 วัน

3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

คำนวณต้นทุนค่าใช้จ่าย ของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม คิดอายุการใช้งาน อัตราดอกเบี้ย 10% ราคาซาก 10% ของราคาเครื่อง เปรียบเทียบกับค่าแรงงานในการพ่นสารที่ 60 บ./ไร่ เพื่อหาค่าจุดคุ้มทุนในการลงทุนซื้อเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมในการพ่นสารป้องกันการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดเพื่อใช้เองหรือรับจ้างตามวิธีของ Hunt (1995)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมต้นแบบที่พัฒนาจะมีขนาดเท่ากับพัดลมแบบ AM-630 E ที่อัตราการไหลของลม 284-142 CMM แรงดัน 20-110 mmH_2O. ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที (Figure 2) โดยลมถูกสร้างจากพัดลมที่รับกำลังจากเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ ผ่าน พูเล่ และ เกียร์ทด ด้านปลายของอุโมงค์ลม ใส่ท่อผ้าใบ ที่เจาะรูขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ห่างกัน 2 นิ้ว จำนวน 120 รู เพื่อให้ลมผ่านทางรูที่เจาะ กดให้สารออกฤทธิ์ออกจากหัวฉีดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทดสอบวัดความเร็วลมในห้องปฏิบัติการ ที่รอบเพลาอำนวยกำลังของรถแทรกเตอร์ 540 รอบ/นาที รอบเครื่องยนต์ 2,400 รอบ/นาที สร้างลมได้ 41-43 ม./วินาที เพียงพอกับความต้องการลมที่ทางออกประมาณ 28 ม./วินาที

ล้อที่ติดมากับรถแทรกเตอร์ซึ่งไม่เหมาะสมกับการทำงานในแปลงข้าวโพด เนื่องจากมีหน้ากว้าง ได้แก้ไขโดยเปลี่ยนเป็นล้อยางหน้าแคบสูง ทำให้ช่วงคานของรถแทรกเตอร์สูงขึ้น สามารถวิ่งบนพื้นถนนสาธารณะ และขนย้ายขึ้นรถบรรทุกได้ง่าย ตำแหน่งถังพ่นยาอยู่ทางด้านหน้าของตัวรถ เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างถังพ่นยากับชุดอุโมงค์ลมที่อยู่ทางด้านท้ายของรถแทรกเตอร์ สามารถยกสูงได้ถึง 180 ซม. ซึ่งเพียงพอกับการฉีดพ่นข้าวโพดในระยะก่อนติดฝัก ที่มีความสูงของข้าวโพดประมาณ 100 ซม. (Figure 3)

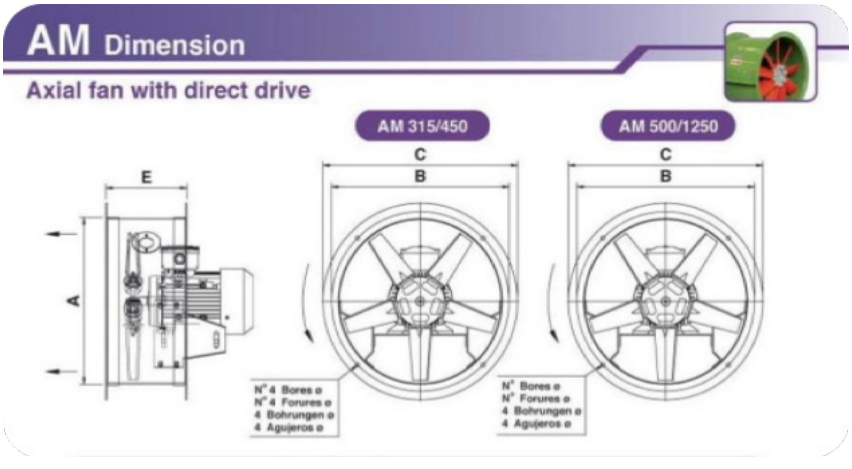

Figure 2 Ventilation system for prototype development

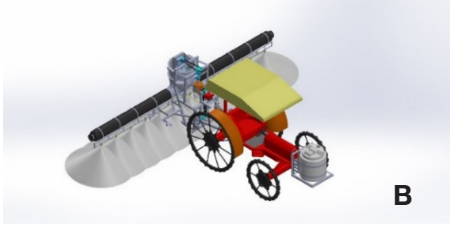

Figure 3 (A) Prototype of air assist boom sprayer (B) front view of air assist boom sprayer (C) side view of air assist boom sprayer

ปัจจัยที่มีผลต่อการพ่นสาร ได้แก่ ระยะแถว ระยะปลูก หัวฉีด อัตรา ทิศทาง ความเร็วของรถแทรกเตอร์ โดยปัจจัยหลักที่สำคัญ คือ ลมธรรมชาติ ที่ส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายของละอองสารปลิวไม่โดนต้นพืช เกิดการตกค้างบนดิน สูญเสียและสิ้นเปลือง (Planas *et al.*, 1998) จากการศึกษาของ Darvishvand and Brown (1997) พบว่า การพ่นโดยเครื่องพ่นอุโมงค์ลมจะลดการฟุ้งกระจายจากลมธรรมชาติ และลมที่มีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความเร็ว 100 กม./ชม. (27.7 ม./วินาที) เป็นความเร็วลมที่ส่งลมเข้าไปโดนใบพืชได้ดีที่สุด ลดการสูญเสีย และ ลดการปลิวของละอองสารไปตกค้างบนพื้นดิน Taylor *et al.*(1989) รายงานว่า ลมที่สร้างจากอุโมงค์ลมจะช่วยกดให้ละอองสารไปสู่เป้าหมาย นอกจากนี้ ยังช่วยให้เกิดการพลิกกลับของใบพืช ทำให้สารออกฤทธิ์สามารถโดนใต้ใบพืชได้โดยง่าย

2. ประสิทธิภาพของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมต้นแบบ

2.1 ประสิทธิภาพของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASAE standard S.572.1

ผลการทดสอบ พบว่า อัตราการไหลจากหัวฉีด Hypro โมเดล F 110-04, F 110-03 และ F 110-02 ที่แรงดัน 3 บาร์ มีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,000, 800 และ 580 มล./นาที ส่วนที่แรงดัน 5 บาร์ มีอัตราการไหลเฉลี่ย 1,800 1,250 และ 980 มล./นาที จึงเลือกหัวฉีด F 110-02 ที่แรงดัน 3 บาร์ สำหรับเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม อัตราพ่น 20 ล./ไร่ และวิธีการของเกษตรกรต้องใช้หัวฉีด Hypro โมเดล F 110-04 ที่แรงดัน 5 บาร์ ฉีดพ่น 40-60 ล./ไร่ โดยใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่เกียร์ 3 low, 1.4 m/s

2.2 ความหนาแน่นของละอองสาร การสูญเสียของละอองสารลงสู่ดิน และการปลิวของละอองบนพื้นที่นอกเป้าหมาย

เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม อัตรา 20 ล./ไร่ มีความหนาแน่นของละอองสาร แตกต่างจากการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกรอัตรา 60 ล./ไร่ (Table 2) ข้าวโพดที่อายุ 14 วันหลังปลูก จะมีความหนาแน่นของละอองสาร 80.16 และ 79.84 ละออง/ตร.ซม. ตามลำดับ มากกว่าการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกรอัตรา 60 ล./ไร่ ซึ่งมีละอองสาร 58.74 และ 55.23 ละออง/ตร.ซม. วิธีการพ่นสารมีผลต่อจำนวนละอองสารบนพื้นที่เป้าหมาย การพ่นสารที่มีประสิทธิภาพต้องการละอองสารอย่างน้อย 20-30 ละออง/ตร.ซม. สำหรับการป้องกันกำจัดแมลง และวัชพืชก่อนงอก ละอองสาร 30-40 ละออง/ตร.ซม. สำหรับวัชพืชหลังงอก และ 50–70 ละออง/ตร.ซม. สำหรับการป้องกันกำจัดโรคพืช (เทคนิคการใช้สารป้องกันศัตรูพืช, 2560) ส่วนการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดินนั้น ที่ข้าวโพดอายุ 14 วันหลังปลูก พบว่า การพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกรมีค่าเฉลี่ย 2.34 ไมโครกรัม/ตร.ซม. ขณะที่วิธีการพ่นด้วยเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลม มีการสูญเสียของละอองสารลงสู่ดินเฉลี่ย 1.50 ไมโครกรัม/ตร.ซม. นอกจากนี้ เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมเป็นการพ่นจากด้านบนเหนือเป้าหมาย ทำให้ละอองสารถูกพัดจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง พบการปลิวของละอองสารบนพื้นที่นอกเป้าหมายที่สามารถตรวจวัดได้ไกลที่สุดห่างจากแนวพ่นเพียง 3 ม. ซึ่งไม่แตกต่างจากการพ่นด้วยคานหัวฉีดแบบเกษตรกร

Table 2 The density of particles and amount of residue particles on the target

Treatment	Spray volume (liter/rai)	Insecticide usage (g ai/rai)	Corn (14 day after plant)	
			Density of particles droplets/cm^2	Amount of residue particles droplets/cm^2
Airboom 1	20	30	80.16 a	1.50 b
Airboom 2	20	24	79.84 a	1.52 b
Boom 1	60	30	58.74 b	2.32 a
Boom 2	60	24	55.23 b	2.42 a
Control	60	-	57.25 b	2.34 a
CV (%)			12.40	18.08

Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นอุโมงค์ลมในแปลง

2.3.1 ประสิทธิภาพการพ่นด้วยสารเคมี

จำนวนหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดก่อนพ่นสาร Emamectin benzoate 5% SG พบว่า มีจำนวน 0.80-1.27 ตัว/ต้น หลังการพ่นสารด้วยเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมที่อัตราสารตามคำแนะนำและลดปริมาณสารจากคำแนะนำลง 20 % พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด ได้เทียบเท่ากับการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรที่ใช้อัตราสารตามคำแนะนำ และมีประสิทธิภาพดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรที่ลดปริมาณสารจากคำแนะนำลง 20% หลังการพ่นสารครั้งที่ 3 เป็นเวลา 7 วัน พบหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดเฉลี่ย 0.003-0.69 ตัว/ต้น วิธีการพ่น Airboom 1 และ Airboom 2 พบต่ำสุดเฉลี่ย 0.003 ตัว/ต้น ไม่แตกต่างกับการพ่นวิธี Boom 1 ที่พบ 0.01 ตัว/ต้น แต่น้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติกับวิธีการพ่น Boom 2 ที่พบหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด 0.09 ตัว/ต้น ทุกกรรมวิธีที่พ่นสารพบหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด ต่ำกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธีไม่พ่นสารที่พบ 0.69 ตัว/ต้น (Table 3)

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของใบข้าวโพด พบว่า การพ่นด้วย Airboom 1, Airboom 2 และ Boom 1 ระดับความเสียหายของใบข้าวโพดหลังพ่นสารครั้งที่ 3 เป็นเวลา 7 วัน พบว่า มีค่าเฉลี่ย 9.0-9.9% น้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับวิธี Boom 2 ที่พบค่าเฉลี่ย 29.9 % ทุกกรรมวิธีระดับความเสียหายของใบข้าวโพดน้อยกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ควบคุม (Table 3) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมเป็นการพ่นแบบน้ำน้อยสามารถลดปริมาณน้ำลงได้ 66.6 % และลดปริมาณสารเคมีลง 20 % โดยยังสามารถควบคุมการระบาดของหนอนกระทู้ข้าวโพดได้ดีไม่ต่างจากการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรที่ใช้อัตราสารตามคำแนะนำ

2.3.2 ประสิทธิภาพการพ่นชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยสายพันธุ์ไทย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการพ่นชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยด้วยเครื่องพ่นอุโมงค์ลมเปรียบเทียบกับการพ่นสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชที่มีระดับความเสียหายของใบข้าวโพดจากการทำลายของหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุด 49.8-57.8 % พบว่าหลังการพ่นครั้งที่ 1 ความเสียหายของใบข้าวโพด

Table 3 Number of larvae per plant when applied with emamectin benzoate 5% SG for controlling fall armyworm with different application spray techniques in Phop Phra District, Tak Province, Thailand during June - August 2020

Treatment	Spray volume (liter/rai)	Insecticide usage (g ai/rai)	Before Spraying	Number of larvae per plant 1/					
				Day after the 1st spraying		Day after the 2nd spraying		Day after the 3rd spraying	
				3 days	7 days	3 days	7 days	3 days	7 days
Airboom 1	20	30	0.97 b	0.08 a	0.20 a	0.04 a	0.13 a	0.04 a	0.003 a
Airboom 2	20	24	1.27 c	0.46 b	0.22 a	0.07 a	0.17 a	0.05 a	0.003 a
Boom 1	60	30	1.26 c	0.58 bc	0.24 a	0.12 a	0.18 a	0.09 a	0.01 a
Boom 2	60	24	1.15 c	0.70 c	0.35 a	0.26 a	0.21 a	0.15 a	0.09 b
Control			0.80 a	0.97 d	1.03 b	1.00 b	0.38 b	0.85 b	0.69 c
CV (%)			7.30	15.04	27.27	37.42	20.45	58.94	23.37

1/ Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Table 4 Percent of leaf damage when applied with emamectin benzoate 5% SG for controlling fall armyworm with different application spray techniques in Phop Phra District, Tak Province, Thailand during June - August 2020

Treatment	Spray volume (liter/rai)	Insecticide usage (g ai/rai)	Before Spraying	leaf damage (%)1/					
				Day after the 1st spraying		Day after the 2nd spraying		Day after the 3rd spraying	
				3 days	7 days	3 days	7 days	3 days	7days
Airboom 1	20	30	54.1 a	55.5 a	30.1 a	22.8 a	13.4 a	10.4 a	9.3 a
Airboom 2	20	24	52.7 a	52.0 a	43.9 b	33.9 b	22.2 b	18.5 a	9.9 a
Boom 1	60	30	60.9 b	59.8 b	46.1 b	35.5 b	26.5 b	16.2 a	9.0 a
Boom 2	60	24	56.1 a	57.5 a	43.5 b	34.1 b	43.7 c	36.4 b	29.9 b
Control			53.4 a	58.3 a	66.2 c	70.6 c	68.0 d	67.1 c	50.7 c
CV (%)			7.9	6.1	7.4	13.3	12.0	13.9	15.3

1/ Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

ลดลงต่อเนื่อง จนถึงการพ่นครั้งที่ 4 หลังการพ่นทุก ๆ 7 วัน ในทุกกรรมวิธีที่มีการพ่นสาร โดยการพ่นชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอย 240 ล้านตัว ใช้น้ำ 20 ล./ไร่ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้สารเคมี ขณะที่กรรมวิธีควบคุมมีความเสียหาย 34.0 % (Table 5) การใช้เครื่องพ่นอุโมงค์ลม ช่วยให้สารละลายไส้เดือนฝอยเป็นละอองขนาดเล็กตกบนใบและกรวยยอดของข้าวโพดได้ครอบคลุมทั่วต้น มีความชุ่มชื้นเพียงพอให้ไส้เดือนฝอยคงอยู่ได้นานเพื่อรอหนอนศัตรูเข้ามากัดกินใบพร้อมไส้เดือนฝอยเข้าไปด้วย เมื่อไส้เดือนฝอยเข้าสู่ตัวหนอนจะทำให้หนอนเกิดโรคและตายภายในเวลาไม่เกิน 24 ชม. (นุชนารถ, 2563)

Table 5 The Percent of corn leaf damage due to infestation of fall armyworms under the efficacy test plots of commercial nematode biocontrol products compared to Emamectin benzoate using air assist boom sprayer in Si Samrong District, Sukhothai Province during December 2020-March 2021

Treatment	Before Spraying	Percent of leaf damage (%)[1/]							
		Days after the 1st spraying		Days after the 2nd spraying		Days after the 3rd spraying		Days after the 4th spraying	
		3	7	3	7	3	7	3	7
Nema-Airboom 1	57.8	25.1	21.6 a	23.31a	11.9 a	17.9 a	18.9 a	11.7 a	10.5 a
Nema-Airboom 2	49.8	29.3	19.3 a	26.8 a	17.6 ab	16.2 a	11.7 a	13.8 a	6.80 a
Chem-Boom 1	53.9	42.9	39.7 bc	27.8 a	26.9 b	11.7 a	7.44 a	6.71 a	6.31 a
Chem-Boom 2	51.5	43.8	35.5 b	20.3 a	18.6 ab	11.3 a	6.96 a	3.80 a	4.89 a
Control	51.9	48.0	49.6 c	42.0 b	44.8 c	41.9b	35.9 b	35.2 b	34.0 b
CV (%)	8.1	34.2	24.2	27.1	36.9	61.9	49.7	51.5	44.4

1/ Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT
Nema-Airboom 1 = Nematode 300M/60l water/rai ; Nema-chem2 = Nematode 240M/20l water/rai

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมราคา 100,000 บาท คิดอายุการใช้งาน 7 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ราคาซาก 10% ของราคาเครื่อง เปรียบเทียบกับค่าแรงงานในการพ่นสารที่ 60 บ./ไร่ พบว่า จุดคุ้มทุนในการใช้งานเครื่องพ่นสารแบบอุโมงค์ลม อยู่ที่ 489 ไร่/ปี (Figure 4)

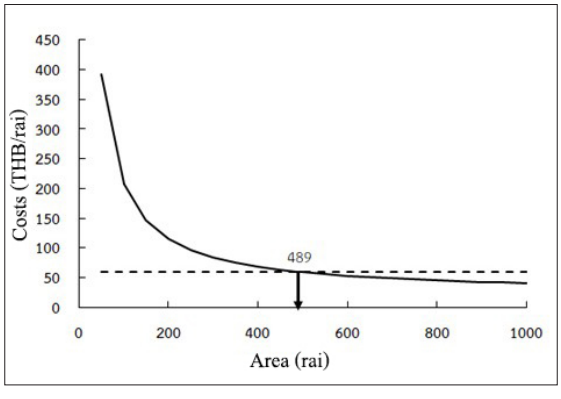

Figure 4 Break-even point of the Air assist boom sprayer

เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมที่พัฒนาขึ้น ช่วยให้ละอองสารมีความสม่ำเสมอมากกว่าการพ่นจากคานหัวฉีดแบบน้ำมาก และใช้อัตราน้ำที่น้อยกว่า ทำให้การปฏิบัติงานรวดเร็ว เนื่องจาก สามารถลดจำนวนครั้งในการผสม และการเติมสาร ทั้งยังสามารถพ่นได้พื้นที่มากกว่าถึง 2 เท่า เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากลดการปลิวของละอองสารนอกพื้นที่เป้าหมาย และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากชั่วโมงทำงานที่ลดลงของรถแทรคเตอร์ได้มากกว่า 30% ลดการใช้ทรัพยากรน้ำที่ค่อนข้างมีจำกัดได้มากกว่า 60% ตลอดจนลดความเสี่ยงที่ผู้ปฏิบัติงานปนเปื้อนสารเคมี

สรุปผลการทดลอง

การพ่นด้วยเครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมอัตรา 20 ล./ไร่ มีความหนาแน่นของละอองสารสูงสุด โดยมีการสูญเสียลงดินที่น้อยกว่าและมีการปลิวสู่พื้นที่นอกเป้าหมายไม่แตกต่างจากการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกร และการพ่นด้วยเครื่องพ่น

แบบอุโมงค์ด้วยอัตราสารตามคำแนะนำ และลดปริมาณสารจากคำแนะนำลง 20 % มีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้เทียบเท่า การพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรที่ใช้อัตราสารตามคำแนะนำ และมีประสิทธิภาพดีกว่าการพ่นด้วยคานหัวฉีดของเกษตรกรที่ลดปริมาณสารจากคำแนะนำลง 20% รวมทั้งเครื่องพ่นอุโมงค์ลมสามารถนำมาใช้พ่นสารชีวภัณฑ์ไส้เดือนฝอยกำจัดหนอนกระทู้ข้าวโพดลายจุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดระดับความเสียหายของใบข้าวโพดหลังการพ่นสาร 4 ครั้ง โดยมีจุดคุ้มทุนในการใช้งานเครื่องพ่นสารแบบอุโมงค์ลม ที่ 489 ไร่/ปี เมื่อค่าใช้จ่ายในการพ่นสารไร่ละ 60 บาท

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณข้าราชการ ลูกจ้าง สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรตาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย ที่ได้ทุ่มเทให้กับงานวิจัยนี้จนประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

เทคนิคการใช้สารป้องกันศัตรูพืช. 2562. กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 119 หน้า.

นุชนารถ ตั้งจิตสมคิด. 2563. การเพาะขยายไส้เดือนฝอยสายพันธุ์ไทยเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูผักแบบทำใช้เอง. เอกสารวิชาการ สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ, กรมวิชาการเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. 38 หน้า.

ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ พักตร์วิภา สุทธิวารี พฤทธิชาติ ปุญวัฒโท นลินา ไชยสิงห์ และนิรุติ บุญญา. 2562. เครื่องพ่นแบบอุโมงค์ลมสำหรับนาข้าว. รายงานเรื่องเต็ม สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร. 30 หน้า.

Anonymous. 2023. ASABE standard S572.1 Available at: https://cdn2.hubspot.net/hub/95784/file-32015844-pdf/docs/asabe_s572.1_droplet_size_classification.pdf. Accessed : 15 กุมภาพันธ์ 2566

Darvishvand, M. and R.B. Brown. 1997. Performance of an air assisted forestry boom sprayer. *Canadian Agril. Engg.* 399 (4): 281-287.

Davis, F.M., and W.P. Williams. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworrm. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station, Technical Bulletin 186, Mississippi State University, MS39762, USA. 9 p.

Hunt D. 1995. Farm Power and Machinery Management. Iowa State University, Iowa State. United States of America. 220 p.

Lund-Hoie, K. 1985. Efficacy of glyphosate in forest plantation. pp. 328-338. *In:* The Herbicide Glyphosate. E. Grossbard and D.Atkinson. eds. London, Endland: Butterwort & Co.

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

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

Pojananuwong, S.; D. Wechakit; S. Armeen and A. Chaimanee. 1998. Field efficacy test of low volume application of pesticides against important insect pests and weeds in broadest rice. pp 58-65. *In*: Biennial report, Division of Entomology and Zoology, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.

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. pp. 631-639. *In* Brighton Crop Protection Conference-Weeds. Farnham, Surrey, England: British Crop Protection Council.