

การเกิดความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในกหนดปลาตุก
ต้านทานสารพีน็อกซุแลมในนาข้าว

Occurrence of Multiple-herbicide Resistance in Penoxsulam-resistant
Grasslike Fimbristylis (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl.) in Paddy Fields

ณัฐพล ราชสภา^{1/} จำเนียร ชมพู^{1/} ทศพล พรพรหม^{1/*}

Nattapol Rachsapa^{1/} Jamnian Chompoo^{1/} Tosapon Pornprom^{1/*}

Received 20 Oct. 2021/Revised 21 Jan. 2022/Accepted 18 Feb. 2022

ABSTRACT

Grasslike fimbriatylis is a common weed of paddy fields, which is most often controlled by penoxsulam, acetolactate synthase (ALS) inhibitors. After several years of successful control there were recent failure reports by farmers in Krachan Sub-district, U-Thong District, Suphan Buri Province, This study was conducted to determine whether grasslike fimbriatylis populations have developed resistance to penoxsulam in paddy fields. Weed seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to penoxsulam. The experiment was designed as a split-plot design in CRD with four replications. The main plots consisted of six penoxsulam dose rates (0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 and 112.48 g a.i./ha) while sub-plots were comprised of grasslike fimbriatylis of susceptible and resistant biotypes. The experimental plots were treated with herbicides 15 days after seed sowing. Reaction of both resistant and susceptible biotypes to penoxsulam were assessed for resistance index, I_{50} based on visual injury and GR_{50} based on plant height and fresh weight at 5, 10, 14 and 21 days after application. The resistance index to penoxsulam of resistant biotype was approximately 27-66 times higher than that of the susceptible biotype. The cross-herbicide resistance of penoxsulam-resistant biotype to the other ALS-inhibiting herbicides with the same site of action was determined. Results indicated that penoxsulam-resistant grasslike fimbriatylis was not controlled at the labelled rate by bispyribac-sodium, pyribenzoxim and pyrazosulfuron-ethyl. In addition, the multiple herbicide resistance of penoxsulam-resistant biotype was subjected to treatments by other herbicides with different modes of action. Results indicated that alternative herbicides which could be used to control penoxsulam-resistant grasslike fimbriatylis were carfentrazone-ethyl (Contacts-membrane disrupters) and propanil (Inhibitors of photosynthesis at PS II) at the recommended rate of each herbicide. The results also suggested that farmers should rotate the application of carfentrazone-ethyl

^{1/} ภาควิชาพืชไร่ นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{1/} Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: Email: agrtpp@ku.ac.th

and propanil, which have different herbicide sites of action, to control and reduce the probability of penoxsulam-resistant grasslike *fimbristylis* occurrence in paddy fields.

Keywords: *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl., cross-resistance, multiple-resistance, ALS-Inhibitors, Penoxsulam

บทคัดย่อ

เกษตรกรหลายรายในพื้นที่ ต.กระจัน อ.อุทุมพร จ.สุพรรณบุรี สังเกตเห็นว่าการใช้สารพิน็อกซูแลม ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ไม่สามารถควบคุมกกหนวดปลาชุกได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าประชากรของกกหนวดปลาชุกมีการพัฒนาเกิดความต้านทานต่อสารพิน็อกซูแลมในนาข้าวหรือไม่ โดยเก็บตัวอย่างเมล็ดวัชพืชจากแปลงเกษตรกรที่มีปัญหาการใช้สารนำไปศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของกกหนวดปลาชุกที่มีต่อสารพิน็อกซูแลม (Penoxsulam) วางแผนการทดลองแบบ split-plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ สารพิน็อกซูแลม มี 6 อัตรา (0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 และ 112.48 กรัมสารออกฤทธิ์/เฮกตาร์) และปัจจัยรอง คือ กกหนวดปลาชุกไบโอไทป์ที่อ่อนแอ และไบโอไทป์ต้านทานสาร พนสารที่ 15 วันหลังหว่าน การประเมินดัชนีความต้านทานสาร โดยพิจารณา I_{50} จากความเป็นพิษ และค่า GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสดของกกหนวดปลาชุกทั้งสองไบโอไทป์ ที่ 5, 10, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 27.10-66.30 เท่า และศึกษาความต้านทานข้ามของกกหนวดปลาชุกไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS พบว่า การใช้

สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl ตามอัตราแนะนำไม่สามารถควบคุมกกหนวดปลาชุกไบโอไทป์ที่ต้านทานสารพิน็อกซูแลมได้ จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของกกหนวดปลาชุกไบโอไทป์ต้านทานไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้สาร carfentrazone-ethyl (สารล้มพัสและทำลายเยื่อหุ้มเซลล์) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) ตามอัตราแนะนำ มีประสิทธิภาพในการควบคุมกกหนวดปลาชุกไบโอไทป์ที่ต้านทานพิน็อกซูแลมได้ จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรปรับเปลี่ยนหมุนเวียนการใช้สาร carfentrazone-ethyl และ propanil ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของกกหนวดปลาชุกต้านทานสารพิน็อกซูแลมในนาข้าวต่อไป

คำสำคัญ: กกหนวดปลาชุก, ความต้านทานข้าม, ความต้านทานสารหลายกลุ่ม, สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS, สารพิน็อกซูแลม

บทนำ

สถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชที่รายงานโดย Heap (2022) มีจำนวนมากถึง 263 ชนิด โดยเป็นวัชพืชประเภทใบกว้าง 152 ชนิด และประเภทใบแคบ 111 ชนิด ในพืชปลูก จำนวน 95 ชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว ถั่วเหลือง ข้าวบาร์เลย์ ฝ้าย ไม้ผล และพืชผักชนิดต่าง ๆ ใน 71 ประเทศทั่วโลกต่อสารกำจัดวัชพืชมากถึง 164 ชนิด ใน 21 กลุ่มจาก 32 กลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่แบ่งตามตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา กลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่พบว่าเกิดปัญหาวัชพืชต้านทานสารมากที่สุด ได้แก่ กลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate

synthase (ALS Inhibitors) สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II (Photosystem II Inhibitors) สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase (ACCCase Inhibitors) สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช (synthetic auxins) และสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) อย่างไรก็ตามพบว่า วิวัฒนาการของวัชพืชต้านทานสารในกลุ่มสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ทั่วโลกมีวัชพืชทั้งประเภทใบกว้าง ประเภทใบแคบ และพวกกก ประมาณ 180 ชนิด ที่ต้านทานต่อสารในกลุ่มดังกล่าวนี้มากถึง 57 ชนิด (Heap, 2022) แสดงให้เห็นว่า วัชพืชที่ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มีปริมาณ 1 ใน 3 ของวัชพืชทั่วโลก

สถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCCase ในนาข้าว (Maneechote et al., 2005; Pornprom et al., 2006) หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) และหญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในข้าวนาหว่านน้ำตม (สุตานันท์ และคณะ, 2558; วัชรวิภา และคณะ, 2560) และกกหนวดปลาตุ๊ก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl.) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว (Phinyosak and Pornprom, 2017) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วัชพืชไบโอโทปที่ต้านทานสารได้มีการพัฒนาเกิดความต้านทานข้าม (cross-resistance) ไปยังสารชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่เหมือนกัน โดยที่ Zakaria et al. (2018) รายงานว่า ตาลปัตรฤๅษี (*Limnocharis flava* L.) เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารชนิดอื่น ๆ ภายในกลุ่ม ALS ในอัตราแนะนำ ได้แก่ เบนซิลฟูรอนเมทิล

เมทิลฟูรอน-เมทิล ไพราโซซัลฟูรอน-เอทิล และไพริเบนโซซิม เป็นต้น และ/หรือเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่ม (multiple-resistance) ไปยังสารกำจัดวัชพืช 2 กลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน โดยที่ Peng et al. (2019) รายงานว่า ประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร quinclorac (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในการควบคุมกนกหนวดปลาตุ๊กในนาข้าว

กนกหนวดปลาตุ๊ก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl) เป็นวัชพืชที่พบทั่วไปในนาข้าว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเหนียว หรือพื้นที่ลุ่มมีความชื้นในดินสูง ต้องการแสงในการเจริญเติบโตอย่างมาก ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด (Caton et al., 2010) สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วและทำให้ผลผลิตสูญเสียมากถึง 80% (Begum et al., 2008) เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมวัชพืช ระยะที่มีใบจริง 2-4 ใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ส่งผลให้เกิดการสะสมของ pyruvate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่เป็นลูกโซ่ ได้แก่ leucine, isoleucine และ valine จึงทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนเหล่านี้ได้ และทำให้พืชตายไปในที่สุด เช่น bispyribac-sodium, penoxsulam, pyribenzoxim และ triafamone เป็นต้น ในปัจจุบันเกษตรกรในพื้นที่ ต. กระจัน อ. อุทอง จ. สุพรรณบุรี สังเกตเห็นว่าการใช้สารพีน็อกซูแลม (สารกลุ่ม Triazolopyrimidine) ไม่สามารถควบคุมกนกหนวดปลาตุ๊กได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่า ประชากรของกนกหนวดปลาตุ๊กมีการพัฒนาเกิดความต้านทานต่อสารพีน็อกซูแลมในนาข้าวหรือไม่ และศึกษาความต้านทานข้ามของ

กหนดปลูกไบโอไทป์ที่ต้านทานสารฟีนอกซีแลม ไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่เหมือนกัน ตลอดจนศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของ กหนดปลูกไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร ไปยังสารกำจัดวัชพืช 2 กลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้สารได้หลายกลุ่ม ในการควบคุมกหนดปลูกต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเมล็ด

เก็บตัวอย่างเมล็ดกหนดปลูกที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา สังเกตได้จากการที่ลักษณะของเมล็ดมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม จากแปลงเกษตรกร ที่มีประวัติการใช้สารฟีนอกซีแลมอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 4-5 ปี จำนวน 20 แหล่ง ในพื้นที่ ต. กระจัน อ. อุ้มทอง จ. สุพรรณบุรี พบว่า พื้นที่จำนวน 17 แหล่ง เกิดปัญหาการกหนดปลูกมีการพัฒนาความต้านทานสารฟีนอกซีแลม เรียกว่า ไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร (resistant-biotype) ในขณะที่พื้นที่อีก 3 แหล่ง ไม่พบปัญหาการกหนดปลูกต้านทานสารฟีนอกซีแลม เรียกว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (susceptible-biotype) นำเมล็ดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 40 % จนกว่าจะใช้ในการทดสอบ

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของกหนดปลูกที่มีต่อสารฟีนอกซีแลม

ทำการทดลองในสภาพโรงเรือนทดลองของภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม นำเมล็ดกหนดปลูกทั้งไบโอไทป์ที่

อ่อนแอและไบโอไทป์ที่ต้านทานสารประมาณ 40 เมล็ดเพาะลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่มีดินร่วนเป็นวัสดุปลูก จนกระทั่งต้นกล้าของกหนดปลูกมีอายุ 12 วันหลังออก (หรือวัชพืชมีใบจริง 2-4 ใบ) และถอนแยกให้เหลือ 20 ต้นต่อกระถาง จึงทำการพ่นสารกำจัดวัชพืช วางแผนการทดลองแบบ split-plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ สารฟีนอกซีแลม จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 และ 112.48 กรัมสารออกฤทธิ์/เฮกตาร์ และปัจจัยรอง คือ กหนดปลูกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร พ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยถังพ่นสารแบบสับโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด อัตราน้ำ อัตรา 500 ลิตร/เฮกตาร์ พ่นสารกำจัดวัชพืชแต่ละอัตราที่กำหนดไว้ข้างต้นในเวลาเดียวกัน โดยมีกหนดปลูกที่ไม่ได้พ่นสารเป็นชุดควบคุมเปรียบเทียบกับความต้านทานสาร

บันทึกระดับความเป็นพิษของสารที่ 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร ทำการประเมินด้วยระดับสายตา โดยให้เปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burrill *et al.*, 1976) วัดความสูง (ซม.) และชั่งน้ำหนักสด สุ่มจำนวน 5 ต้น/กระถาง ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ด้วยโปรแกรม R 4.0.2 (R Core Team., 2020) หาค่า I_{50} หรือปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50% ของประชากรทั้งหมด และ GR_{50} คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง 50 % โดยวิธีของ PROC PROBIT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ด้วยโปรแกรม PriProbit 1.63 (Sakuma, 1998) และค่าดัชนีของความต้านทาน ตามวิธีของ Valverde *et al.*, (2000) จากสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความต้านทานสาร} &= I_{50} \text{ ของไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร} / I_{50} \text{ ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ หรือ} \\ &= GR_{50} \text{ ของไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร} / GR_{50} \text{ ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ} \end{aligned}$$

ความต้านทานข้ามของกหนดพลาตูกไบโอโทป์ ต้านทานสารพีน็อกซูแลม

การศึกษาความต้านทานข้ามของกหนดพลาตูกไบโอโทป์ต้านทานสารพีน็อกซูแลมไปยังสารชนิดอื่น ๆ โดยใช้สารที่อยู่ในกลุ่มสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS รวมถึงเป็นสารที่เกษตรกรนิยมใช้ในไรนา ได้แก่ สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl โดยนำเมล็ดกหนดพลาตูกไบโอโทป์ที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมเพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลอง โดยวิธีการปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ได้แก่ สารกำจัดวัชพืช 4 ชนิด และชุดควบคุม อัตราสารที่ฉีดพ่นตามอัตราแนะนำ (Table 1) พ่นสารหลังจากที่กหนดพลาตูกออก 12 วัน โดยตั้งสมมุติฐานว่าประชากรกหนดพลาตูกไบโอโทป์ต้านทานสารพีน็อกซูแลมอาจเกิดความต้านทานข้ามไปยังสารชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือสารต่างกลุ่มกัน แต่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ภายในพืชเช่นเดียวกัน

บันทึกข้อมูลระดับความเป็นพิษที่ 5, 14 และ 21 วันหลังฉีดพ่น โดยการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัตความสูง และชั่งน้ำหนักสดเฉลี่ย 5 ต้น/กระถาง ที่ 21 และ 30 วัน

หลังฉีดพ่น วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย

ความต้านทานสารหลายกลุ่มของกหนดพลาตูกไบโอโทป์ต้านทานสารพีน็อกซูแลม

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของกหนดพลาตูกไบโอโทป์ที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ 5 ชนิด ที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ 2,4-D sodium salt (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) carfentrazone-ethyl (สารสัมผัสและทำลายเยื่อหุ้มเซลล์) clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) ประเมินระดับความเป็นพิษของกหนดพลาตูกที่ 5, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสารวัตความสูง และชั่งน้ำหนักสดที่ 21 และ 30 วัน หลังจากได้รับสาร นำเมล็ดกหนดพลาตูกไบโอโทป์ที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลม เพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลอง การเตรียมเมล็ดวัชพืช (เช่นเดียวกับในการทดลองข้างต้น) วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดอัตราสารที่ฉีดพ่นตามคำแนะนำ (Table 2) โดยตั้งสมมุติฐานว่า กหนดพลาตูกไบโอโทป์

Table 1 Cross-resistance herbicide treatments used during the experiment

Herbicide	Formular a.i. (%)	Dosage (g a.i./ha)	Chemical family (group)	Application timing (days after sowing)
control	–	–	–	–
penoxsulam	2.5% OD	14.06	Triazolopyrimidine	7–12
bispyribac-sodium	10% SC	25.00	Pyrimidinylthio-benzoate	15
pyribenzoxim	5% EC	31.25	Pyrimidinylthio-benzoate	9
pyrazosulfuron-ethyl	10% WP	18.75	sulfonylurean	15

a.i. (%) = percent active ingredient, g a.i./ha = grams active ingredient per hectare (1 ha = 6.25 rai),

OD = oil dispersion, SC = suspension concentrate, EC = emulsifiable concentrate, and WP = Wettable Power

ด้านทานสารฟีนอกซูแลม อาจเกิดความต้านทาน สารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืช 2 กลุ่มหรือมากกว่า ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาการยับยั้ง ภายในพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้ควบคุมกกหนด ปลาตูกในนาข้าว บันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ทาง สถิติเช่นเดียวกับในการทดลองข้างต้น

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของกกหนด ปลาตูกที่มีต่อสารฟีนอกซูแลม

การประเมินระดับความเป็นพิษของกกหนด ปลาตูกที่มีต่อสารฟีนอกซูแลม พบว่า กกหนด ปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแอ แสดงอาการ ได้รับพิษ ชะงักการเติบโตอย่างรวดเร็ว และ อาการรุนแรงเมื่อได้รับพิษเพิ่มขึ้นตามอัตรา ความเข้มข้นของสารที่สูงขึ้น โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจาก ได้รับสาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแามี ระดับความเป็นพิษเฉลี่ย 24, 26, 33 และ 36% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ไบโอโทบ์ต้านทานสารแสดงอาการเป็นพิษ น้อยกว่า การชะงักการเติบโตในช่วงแรก แต่ยังสามารถเจริญเติบโตได้เป็นปกติ แม้ว่าจะได้รับ สารในอัตราที่สูงขึ้นก็ตาม ซึ่งกกหนดปลาตูก ไบโอโทบ์ต้านทานสารมีระดับความเป็นพิษเฉลี่ย 10, 10, 13 และ 13 % ตามลำดับ (Figure 1a-d) เมื่อพิจารณาดัชนีความต้านทานสารจากอาการ ที่พืชได้รับพิษ ที่ 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจาก ได้รับสาร พบว่า กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่ อ่อนแอ มีค่า I_{50} เท่ากับ 324.95, 19.65, 75.15 และ 24.21 ตามลำดับ ส่วนไบโอโทบ์ต้านทาน สาร มีค่า I_{50} เท่ากับ 18,304.7, 1,048.8, 3,012.9 และ 1,605.2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นดัชนีความ ต้านทานสาร 56.33, 53.36, 40.09 และ 66.30 เท่า ตามลำดับ (Table 3)

กกหนดปลาตูกทั้งสองไบโอโทบ์มีการ ตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านความสูงลดลงตาม อัตราการใช้สารในอัตราที่สูงขึ้น กกหนดปลาตูก ไบโอโทบ์ที่อ่อนแอจะมีความสูงน้อยกว่าไบโอโทบ์ ด้านทานสาร ที่อัตราแนะนำ 14.06 กรัมสารออก ฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ โดยกกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่ อ่อนแามีความสูง 45.71 และ 45.14 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ส่วนกกหนด ปลาตูกไบโอโทบ์ต้านทานสาร มีความสูง 89.62 และ 90.01% ของชุดควบคุม (Figure 2) เมื่อ วิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารของการตอบ สนองทางสรีรวิทยาด้านความสูง จากค่า GR_{50} ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 15.80 และ 451.02 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความ ต้านทานสาร 28.25 เท่า และที่ 30 วันหลังจาก ได้รับสาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแอและ ไบโอโทบ์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 15.70 และ 425.44 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความ ต้านทาน สาร 27.10 เท่า (Table 3)

น้ำหนักสดของกกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ ที่อ่อนแามีแนวโน้มลดลงมากกว่ากกหนดปลาตูก ไบโอโทบ์ต้านทานสาร ที่ 21 และ 30 วันหลังได้รับ สาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแอน้ำหนัก สด 29.16 และ 26.70 % เมื่อเปรียบเทียบกับชุด ควบคุม ส่วนไบโอโทบ์ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 49.72 และ 50.70 % ของชุดควบคุม (Figure 3) เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารของการตอบ สนองทางสรีรวิทยาน้ำหนักสดที่ 21 วันหลังจาก ได้รับสาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแอและ ไบโอโทบ์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 5.14 และ 222.37 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นดัชนีของความต้านทาน สาร 43.29 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 30 วันหลังจากได้ รับสาร กกหนดปลาตูกไบโอโทบ์ที่อ่อนแอและ ไบโอโทบ์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 2.06 และ 105.93 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นดัชนีของความต้านทาน สาร 51.36 เท่า (Table 3)

Table 2 Site of action and dose of herbicide for multiple-resistance herbicide tested

Herbicide	Site of action	Formular a.i. (%)	Dosage (g a.i./ha)	Application timing (days after sowing)
control	–	–	–	–
penoxsulam	ALS Inhibitors	2.5% OD	14.06	7–12
2,4-D	Hormonelike herbicides	84% SL	840	15–20
profloroxim	ACCCase Inhibitors	7.5% EC	121.88	15
propanil	PS II Inhibitors	36% EC	2,250	15
carfentrazone-ethyl	Contacts-membrane disrupters	40% WDG	50	10–15
clomazone	Carotenoid Inhibitors	48% EC	25	7–12

a.i. (%) = percent active ingredient, g a.i./ha = grams active ingredient per hectare (1 ha = 6.25 rai), OD = oil dispersion, SL = Soluble Concentrate, EC = emulsifiable concentrate, and WDG = Water Dispersible Granules

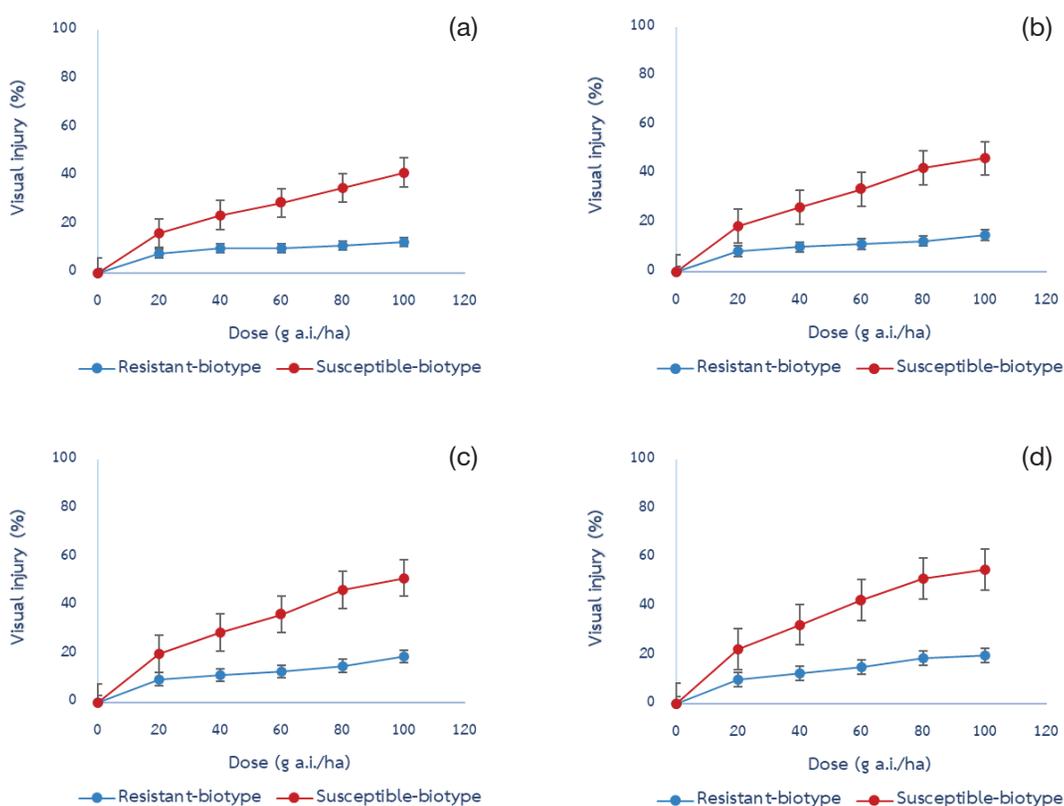


Figure 1 Visual injury of penoxsulam on susceptible and resistant-biotypes at 5 (a) 7 (b) 14 (c) 21 DAA (d) Vertical bars represent the mean standard error (n = 20)

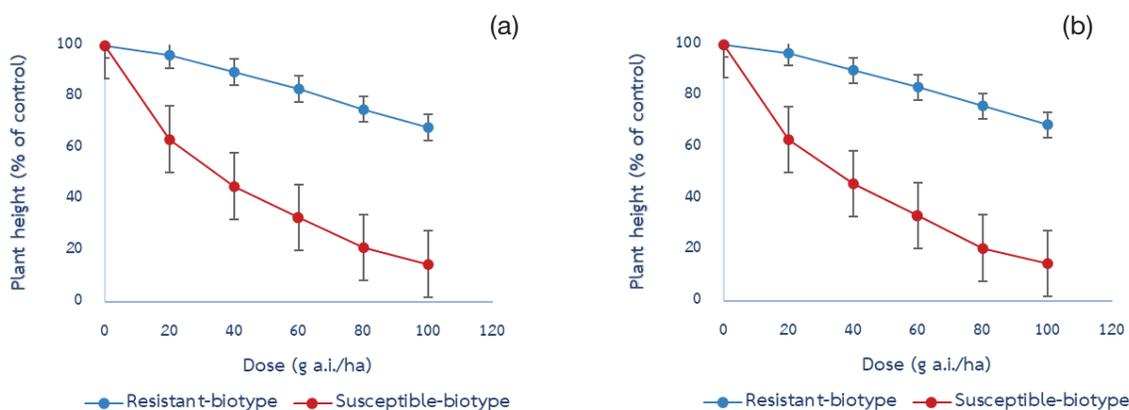


Figure 2 Effect of penoxsulam plant height of susceptible and resistant-biotypes at 21 DAA (a) and 30 DAA (b) Vertical bars represent the mean standard error (n = 5)

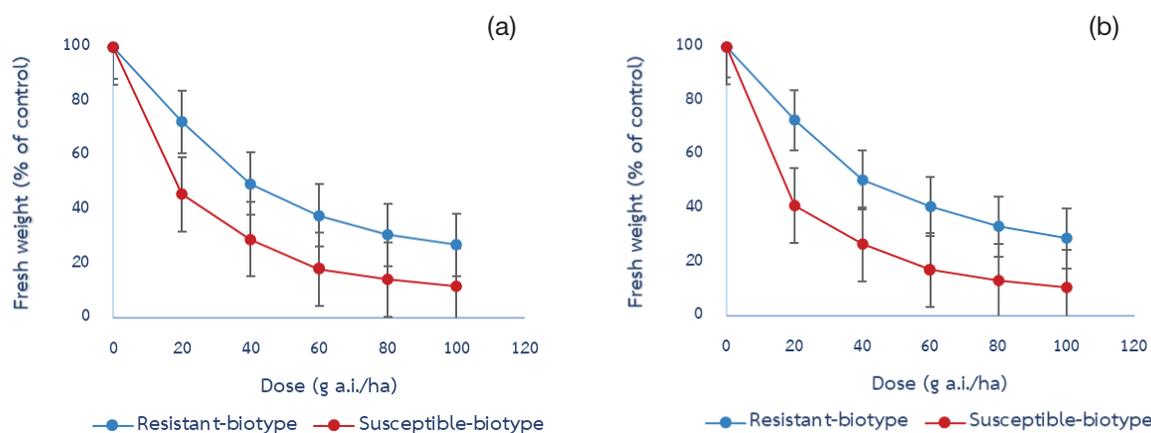


Figure 3 Effect of penoxsulam on fresh weight of susceptible and resistant-biotype at 21 DAA (a) and 30 DAA (b) Vertical bars represent the mean standard error (n = 5)

Table 3 Resistance levels of penoxsulam in *grasslike fimbriatylis* populations at U-Thong District, Suphanburi province

Grasslike fimbriatylis biotype	Visual injury (I_{50}) ¹				Plant height (GR_{50}) ²		Fresh weight (GR_{50})	
	5 DAA ³	7 DAA	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
R-biotype	18,304.70	1,048.79	3,012.96	1,605.19	451.02	425.44	222.37	105.93
S-biotype	324.95	19.65	75.15	24.21	15.80	15.70	5.14	2.06
Resistance index ⁴	56.33	53.36	40.09	66.30	28.25	27.10	43.29	51.36

¹ I_{50} = The herbicide rate required to cause 50% injury

² GR_{50} = The herbicides rate to reduce plant growth by 50% relative to untreated control

³DAA = days after application

⁴Resistance index (RI) = I_{50} value of resistant biotype/ I_{50} value of susceptible biotype หรือ
= GR_{50} value of resistant biotype/ GR_{50} value of susceptible biotype

เมื่อพิจารณาจากค่า I_{50} ของระดับความเป็นพิษ และ GR_{50} จากความสูง และน้ำหนักสด จะเห็นได้ว่า การตอบสนองทางสรีรวิทยาของกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารฟีนอกซูลแอม มีดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอโทปที่อ่อนแอมากถึง 27.10-66.30 เท่า กล่าวคือ การใช้สารฟีนอกซูลแอม ที่อัตราแนะนำ (14.06 กรัมสารออกฤทธิ์/เฮกตาร์) มีประสิทธิภาพในการควบคุมกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่อ่อนแอได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารได้ แสดงให้เห็นว่า กนกหวดปลาดุกมีการพัฒนาเกิดความต้านทานต่อสารฟีนอกซูลแอม จึงเป็นไปได้ว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชในตำแหน่งเดียวกันมาใช้ในการควบคุมกำจัดวัชพืชซ้ำ ๆ ติดต่อกันนานหลายปี ส่งผลทำให้กนกหวดปลาดุกเกิดความต้านทานสารกำจัดวัชพืชชนิดนั้นเพิ่มมากขึ้น

ปัญหาวัชพืชในพื้นที่ปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตามเขตภาคกลางของประเทศไทย เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมกนกหวดปลาดุกกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้แก่ bispyribac-sodium, penoxsulam, pyribenzoxim และ triafamone เป็นต้น ในช่วงที่ผ่านมา มีรายงานว่า กนกหวดปลาดุกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว ในหลายพื้นที่ของ อ. บางปลาม้า จ. สุพรรณบุรี และ อ. สรรคบุรี จ. ชัยนาท (Phinyosak and Pronprom, 2017) ซึ่งก่อนหน้านี้ การใช้สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี เช่นเดียวกับ Schaedler *et al.* (2013) รายงานว่า สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS สามารถควบคุมกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารได้เพียง 42-50% ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว นอกจากนี้ Chen *et al.* (2017) ได้รายงานไว้ว่า ประชากรของวัชพืช *Lolium rigidum* มีความต้านทานต่อสารไตรฟลูราลิน ในอัตราแนะนำมากถึง 32 เท่า เมื่อเทียบกับประชากรที่อ่อนแอ Jiapeng *et al.* (2019) รายงานว่า หน้

ข้าวทนไบโอโทปที่อ่อนแอเริ่มแสดงอาการได้รับพิษต่อสารฟีนอกซูลแอม ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ คือ 15-30 กรัมสารออกฤทธิ์/เฮกตาร์) แต่ไบโอโทปที่ต้านทานสารเริ่มแสดงอาการได้รับพิษเมื่อใช้อัตราสารที่สูงกว่าอัตราแนะนำ 50.96 กรัมสารออกฤทธิ์/เฮกตาร์ อาการที่พืชได้รับจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม วัชพืชที่ต้านทานสารชนิด (หรือกลุ่มสาร) ชนิดหนึ่งนั้น อาจเกิดความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่มได้ ดังนั้น การศึกษาในขั้นตอนต่อไป จึงทำการศึกษความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่มของกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารฟีนอกซูลแอม เพื่อเลือกหาสาร (หรือกลุ่มสาร) ชนิดใหม่ นำไปใช้ทดแทนสารชนิดเดิมในการควบคุมและลดจำนวนประชากรของกนกหวดปลาดุกที่ต้านทานสารฟีนอกซูลแอมในอนาคตต่อไป

ความต้านทานข้ามของกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารฟีนอกซูลแอม

การศึกษาความต้านทานข้ามของกนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารฟีนอกซูลแอมไปยังสารชนิดอื่น ๆ ได้แก่ สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl การประเมินระดับความเป็นพิษของไบโอโทปที่ต้านทานสารที่ 5, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า อัตราการใช้และชนิดของสาร มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % กล่าวคือ กนกหวดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับสารในแต่ละชนิด ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กันเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความสูงและน้ำหนักสด ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ความสูงและน้ำหนักสดของไบโอโทปที่ต้านทานสาร เมื่อได้รับสาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl เกิดอาการชะงักการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่ใช้สาร (Table 4) แสดงให้เห็นว่า ไบโอโทปที่ต้านทานสารมีการพัฒนาเกิดความต้านทานข้ามไปยังสารชนิดอื่น ๆ ที่มี

คุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้ ดังนั้น การใช้สารดังกล่าวนี้ จึงไม่สามารถควบคุม กกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมได้ แสดงให้เห็นว่า การใช้สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl มีประสิทธิภาพในการควบคุมกกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น การนำสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มาใช้ควบคุมกกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมได้ จึงควรใช้สารกำจัดวัชพืชในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาการทำลายพืชที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาใช้ทดแทนกลุ่มสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ Schaedler *et al.* (2013) รายงานว่า กกหนดปลาดุกที่ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารชนิดอื่นๆ ภายในกลุ่ม ALS ได้หลายชนิด ได้แก่ pyrazosulfuron ethyl, penoxsulam, bispyribac sodium, และ ethoxysulfuron เป็นต้น ดังนั้น ควรมีแนวทางในการควบคุมและป้องกันวัชพืชที่ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS อย่างเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหา กกหนดปลาดุกที่ต้านทานสารที่จะมีการแพร่ระบาดมากขึ้นจนไม่สามารถควบคุมได้

ความต้านทานสารหลายกลุ่มของกกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลม

ระดับความเป็นพิษของกกหนดปลาดุกที่ 5, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร profoxydim และ propanil กกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษ มีการชะงักการเจริญเติบโต และตายไปในที่สุด เมื่อได้รับสาร clomazone แสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย มีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก แต่สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ในเวลาต่อมา (Table 5) ดังนั้น การใช้สารชนิดนี้ ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมกกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารลดลงจากการประเมินการตอบสนองทางสรีรวิทยาของ กกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า กกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลมสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มีการพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone อย่างไรก็ตาม กกหนดปลาดุกไบโอโทปที่ต้านทานสารพีน็อกซูแลม ยังไม่เกิดความต้านทานต่อ carfentrazone-ethyl และ propnil แสดงให้เห็นว่า สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชที่แตกต่างกัน สามารถควบคุม

Table 4 Cross resistance of penoxsulam-resistant biotype to the other ALS-inhibiting herbicides

Herbicide	Dose (g a.i./ha)	Visual injury (%)			Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
		5 DAA ¹	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
control	0	0.00 d	0.00 c	0.00 d	24.96 a	27.37 a	1.25 a	1.83 a
penoxsulam	14.06	15.00 c	26.25 bc	31.25 bc	20.89 b	23.20 b	0.90 c	1.22 c
bispyribac-sodium	31.25	12.50 c	25.00 c	27.50 c	13.80 e	20.76 c	0.44 b	0.83 b
pyribenzoxim	31.25	18.75 b	30.00 ab	35.00 ab	15.67 d	19.92 c	0.76 c	1.04 c
pyrasosulfuron-ethyl	18.75	25.00 a	32.50 a	36.25 a	17.04 c	17.45 d	0.72 d	1.03 d
F-test		**	**	**	**	**	**	**
CV (%)		14.38	13.33	10.67	4.05	2.39	7.06	5.58

¹DAA = days after application

** significantly different at P <0.01

Means in the same column followed by a common letters are not significantly different at the 1% level by DMRT

กกหนดปลาตูกไบโอโทป์ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rudjana and Pornprom (2017) รายงานว่า กกหนดปลาตูกไบโอโทป์ที่ต้านทานสาร chlorimuron-ethyl + metsulfuron-methyl (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone ทำให้ไม่สามารถควบคุมกกหนดปลาตูกไบโอโทป์ต้านทานสารได้

จากข้อสังเกตจะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่การเกิดวัชพืชต้านทานสารมักจะพบในเขตพื้นที่ภาคกลาง และในเขตจังหวัดภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งได้มีการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตมกันอย่างต่อเนื่อง และแพร่หลาย โดยการทำนา 1 รอบมีระยะเวลาประมาณ 3 - 4 เดือน เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการเว้นระยะเวลาในการทำนารอบถัดไป ส่งผลให้เกิดวัชพืชต้านทานสารเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจาก กกหนดปลาตูกสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่น้ำท่วมขัง ซึ่งกกหนดปลาตูกสามารถขยายพันธุ์ได้เร็วโดยใช้เมล็ด และโรยเมล็ดทิ้งไว้ในการทำนารอบถัดไป ปัจจุบันวัชพืชนับว่าเป็นปัญหาหลักที่สำคัญในนาข้าว เกษตรกรยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมวัชพืช อย่างไรก็ตาม การใช้สารดังกล่าวนี้ซ้ำ ๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้มีวิวัฒนาการเกิดเป็นวัชพืชต้านทานสาร และสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ต้านทานสารไปยังเมล็ดและส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ได้ ส่งผลให้มีการแพร่ระบาดของวัชพืชต้านทานสารอย่างรุนแรงในนาข้าว นอกจากนี้วัชพืชที่ต้านทานสารชนิด (หรือกลุ่มสาร) ใด ชนิดหนึ่งนั้น สามารถเกิดความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่มได้ ดังนั้น เกษตรกรจึงควรมีการสลับเปลี่ยนหมุนเวียนการใช้สารที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชและมีตำแหน่ง

Table 5 Multiple herbicide resistance of penoxsulam-resistant biotype to a different herbicide site of action

Herbicides	Dose (g a.i./ha)	Visual injury (%)			Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
		5 DAA ¹	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
control	0	0.00 d	0.00 e	0.00 d	30.90 a	33.45 a	1.33 a	2.05 a
penoxsulam	14.06	15.00 c	20.00 d	25.00 b	21.55 b	23.88 b	0.91 b	1.36 c
2,4-D sodium salt	840	10.00 c	17.50 d	18.75 c	21.13 b	23.48 b	0.95 b	1.42 b
profoxydim	121.88	16.25 c	16.25 d	16.25 c	21.55 b	24.45 b	0.72 c	1.01 d
carfentrazone-ethyl	50	35.00 b	91.25 b	100.00 a	0.00 d	0.00 d	0.00 e	0.00 f
clomazone	240	12.50 a	25.00 c	26.25 b	18.80 c	21.03 c	0.66 d	0.93 e
propanil	2,025	90.00 a	100.00 a	100.00 a	0.00 d	0.00 d	0.00 e	0.00 f
F-test		**	**	**	**	**	**	**
CV (%)		19.97	7.78	6.47	5.14	3.92	4.85	4.14

¹DAA = days after application

** significantly different at P <0.01

Means in the same column followed by common letters are not significantly different at the 1% level by DMRT

ที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรของวัชพืชที่ต้านทานสารในนาข้าว อย่างไรก็ตาม เกษตรกรควรมีการสำรวจและสุ่มตัวอย่างวัชพืชที่ต้านทานสารอย่างสม่ำเสมอเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถแนะนำเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้สาร (หรือกลุ่มสาร) ได้หลายกลุ่มที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการทำลายพืชที่แตกต่างกัน

สรุปผลการทดลอง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของกกหนวดปลาดุกที่มีต่อสารพีน็อกซูลาม เมื่อพิจารณาจากค่า I_{50} ของระดับความเป็นพิษและ GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด ไบโอะโทป์ต้านทานสารมีดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอะโทป์ที่อ่อนแอมากถึง 27.10-66.30 เท่า จะเห็นได้ว่า ไบโอะโทป์ต้านทานสารมีการพัฒนาเกิดความต้านทานข้ามไปยังสารชนิดอื่น ๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ/หรือสารต่างกลุ่ม แต่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นกัน ได้แก่ bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ pyrazosulfuron-ethyl การใช้สารดังกล่าวจึงไม่สามารถควบคุมไบโอะโทป์ต้านทานสารได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ไบโอะโทป์ต้านทานสารนี้ยังไม่เกิดความต้านต่อสาร carfentrazone-ethyl (สารสัมผัสและทำลายเยื่อหุ้มเซลล์) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในระบบแสง II) จึงสามารถใช้สารนี้ ตามอัตราแนะนำ โดยการสลับเปลี่ยนหมุนเวียนชนิดสารที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาการยับยั้งในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของกกหนวดปลาดุกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- วัชรา มณฑาทิพย์ จำเนียร ชมภู และทศพล พรพรหม. 2560. หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานต่อสารบีสไพริเบค-โซเดียมในข้าวนาหว่านน้ำตม. น. 933-946. ใน: *การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13*, 21-23 พฤศจิกายน 2560, ตรัง.
- สุตฉานันท์ โพธิ์สวัสดิ์ สุรพล ฉินทกานันท์ จำเนียร ชมภู และทศพล พรพรหม. 2558. การศึกษาหญ้าข้าวทนต้านทานสารบีสไพริเบค-โซเดียมในนาหว่านน้ำตม. น. 541-550. ใน: *การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 12*, 20-22 พฤศจิกายน 2558, เชียงราย.
- Begum, M., A.S. Juraimi, S.R. Syed Omar, A. Rajan and M. Azmi. 2008. Effect of Herbicides for the Control of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl. in Rice. *J. Agronomy*. 7(3): 251-257.
- Burrill, L.C., J. Cardenas and E. Locatelli. 1976. *Field Manual for Weed Control Research*. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis. 630 p.
- Caton, B.P., M. Mortimer, J.E. Hill and D.E. Johnson. 2010. *A Practical Field Guide to Weed of Rice in Asia*. 2nd Ed. International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines. 118 p.
- Chen, J., Q. Yu, M. Owen, H. Han and S. Powles. 2017. Dinitroaniline herbicide resistance in a multiple-resistant *Lolium rigidum* population. *Pest Manag. Sci.* 74(4): 925-932.
- R Core Team. 2020. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Available at : <http://www.R-project.org>. Accessed: February 18, 2021.

- Heap, I. 2022. International survey of herbicide resistant weeds. Available at: <http://www.weedscience.org>. Accessed: January 02, 2022.
- Jiapeng, F., Y. Zhang, T. Liu, B. Yan, J. Li and L. Dong. 2019. Target-site and metabolic resistance mechanisms to penoxsulam in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv). *J. Agric. Food Chem.* 67(29): 8085–8095.
- Maneechote, C., S. Samanwong, X.Q. Zhang and S.B. Powles. 2005. Resistance to A Case-inhibiting herbicides in population of sprangletop (*Leptochloa chinensis* L. Nees). *Weed Sci.* 53(3): 290-295.
- Peng, Q., H. Heping, Y. Xia, B. Lianyang, Y. Qin and S.B. Powles. 2019. Quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* from China. *Rice Sci.* 26(5): 300-308.
- Phinyosak, R. and T. Pornprom. 2017. Resistance of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. pp.95. In: *The 26th Asian-Pacific Weed Science Society Conference*. 19-22 September 2017, Kyoto, Japan.
- Pornprom, T., P. Mahatamnuchoke and K. Usui. 2006. The role of altered acetyl-CoA carboxylase in conferring resistance to fenoxaprop-P-ethyl in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* L. Nees). *Pest Manag. Sci.* 62(11): 1109-1115.
- Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology.* 33(3): 339–347.
- Schaedler, C.E., J.A. Noldin, D.S. Eberhardt, D. Agostinetto and N.R. Burgos. 2013. Globe fringerush (*Fimbristylis miliacea*) cross resistance to ALS-inhibitor herbicides under field conditions in irrigated rice in the south of Brazil. *Planta Daninha.* 31(4): 893-902.
- Valverde, B.E., C.R. Riches and J.C. Caseley. 2000. Prevention and Management of Herbicide Resistant Weeds in Rice: Experiences from Central America with *Echinochloa colona*. Camara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica, Jan Jose. Available at: <http://www.weedscience.org/Bernal/RiceRW.html>. Accessed: January 1, 2022.
- Zakaria, N., M.S. Ahmad-Hamdani and A.S. Juraimi. 2018. Patterns of resistance to AHAS inhibitors in *Limnocharis flava* from Malaysia. *Plant Prot. Sci.* 54(1): 48–59.