วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ทางเลือกการใช้สารกำจัดวัชพืชในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทานสารพีน็อกซูแลมในนาข้าว

Alternatives to herbicide use in penoxsulam-resistant barnyardgrass management in paddy fields

มงคล ศรีเพียงจันทร์[1], จำเนียร ชมภู[1] และ ทศพล พรพรหม[1]*

Mongkol Sripeangchan[1], Jamnian Chompoo[1], and Tosapon Pornprom[1]*

[1] *ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140*
[1] *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand*

บทคัดย่อ: หญ้าข้าวนกเป็นวัชพืชหลักที่เป็นปัญหาสำคัญและก่อให้เกิดความเสียหายในนาข้าวได้มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ จากการสำรวจของเกษตรกร พบว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกได้ การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ให้แน่ชัดว่า ประชากรของหญ้าข้าวนกในพื้นที่ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี มีการพัฒนาความต้านทานต่อสาร penoxsulam ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS จริงหรือไม่ เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกจากแปลงเกษตรกรที่มีการรายงานว่าพบปัญหาที่เกิดจากการใช้สาร penoxsulam เพื่อทำการศึกษาตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam วางแผนการทดลองแบบ split plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร penoxsulam มี 6 อัตรา คือ (0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 และ 112.48 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) และปัจจัยรอง คือ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร พ่นสารที่ 12 วันหลังหว่าน เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษ และค่า GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 18.08-84.87 เท่า ต่อมาทำการศึกษาความต้านทานข้ามของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่นๆ ในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ พบว่า การใช้สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone ตามอัตราแนะนำ ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ได้ จากนั้นทำการศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานไปยังสารในกลุ่มอื่นๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า สาร profoxydim (สารที่ยับยั้งงานของเอนไซม์ ACCase), propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) และ florpyrauxifen-benzyl (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) มีประสิทธิภาพควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ได้ตามอัตราแนะนำ จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรมีการสลับหรือหมุนเวียนการใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ในนาข้าวต่อไป

คำสำคัญ: สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS; ความต้านทานข้าม; ความต้านทานสารหลายกลุ่ม; สารพีน็อกซูแลม; หญ้าข้าวนก

ABSTRACT: Barnyardgrass is the most important weed and cause serious yield losses up to 80% in paddy fields. Farmers have observed that barnyardgrass cannot be successfully controlled by ALS-inhibitor herbicides. This study was established in representative rice growing areas at Lat Lum Kaeo District, Pathum Thani with the objective of illumination whether barnyardgrass populations developed resistance to ALS-inhibitors, penoxsulam. Barnyardgrass

* Corresponding author: agrtpp@ku.ac.th

Received: date; February 9, 2021 Accepted: date; August 17, 2021 Published: date; June 5, 2022

seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to penoxsulam under greenhouse condition. The experimental design was a split plot in completely randomized design (CRD) with four replications having six penoxsulam dose rates as main plot (0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 and 112.48 g a.i./ha), and the sub plot was barnyardgrass of susceptible and resistant biotype. The experiment was treated with herbicides at 12 days after sowing (DAS). The susceptible and resistant biotype were examined on I_{50} base on visual injury and GR_{50} base on plant height and fresh weight. The resistance level of barnyardgrass was 18.08-84.87 fold higher than susceptible biotype. Then, the cross-resistant of penoxsulam-resistant barnyardgrass to ALS-inhibitors was determined. The experiment was conducted using CRD with four replications. The result presented that penoxsulam-resistant barnyardgrass was not controlled at the labeled rate of bispyribac-sodium, pyribenzoxim and triafamone. Additionally, multiple-resistance of penoxsulam-resistant barnyardgrass was defined across mode of action of herbicides. The alternative herbicides used to control penoxsulam-resistant barnyardgrass were controlled by profoxydim (Inhibitors of ACCase), propanil (Inhibitors of photosynthesis at PS II) and florpyrauxifen-benzyl (synthetic auxins) at the labelled rate. This suggested that farmers should rotate herbicides with difference of site of action and reduce the probability of penoxsulam-resistant barnyardgrass.

Keywords: ALS-Inhibitors; cross-resistance; multiple-resistance; penoxsulam; *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.

บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชทั่วโลก จากข้อมูลการสำรวจเกี่ยวกับวัชพืชต้านทานสารของประเทศสหรัฐอเมริกา Heap (2022) ได้รายงานว่า มีการระบาดของวัชพืชต้านสารกำจัดวัชพืชจำนวน 266 ชนิด (วงศ์หญ้า 113 ชนิด และวัชพืชประเภทใบกว้าง 153 ชนิด) วัชพืชได้มีการพัฒนาความต้านทานสารในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยายับยั้งภายในพืชมากถึง 21 ตำแหน่ง จาก 31 ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยายับยั้งภายในพืช ซึ่งมีความต้านทานสาร จำนวน 164 ชนิดที่แตกต่างกัน พบว่า มีวัชพืชที่เกิดความต้านทานสารจำนวน 95 ชนิด ในสภาพพื้นที่ทางการเกษตรมากกว่า 71 ประเทศทั่วโลก ซึ่งกลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่เกิดความต้านทานต่อวัชพืช ได้แก่ สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase (ACCase) สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD) สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II และสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช เป็นต้น สำหรับสถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น ได้มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Maneechote et al., 2005) เช่นเดียวกัน ได้มีรายงานว่า หญ้าดอกขาวต้านทานสาร fenoxaprop-P-ethyl ในนาข้าวพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ (Pornprom et al., 2006) จากนั้น ได้มีรายงานว่า หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในเขตพื้นที่ อ.บางหัน และ อ.นครหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา (สุตานันท์ และคณะ, 2558) ในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมา ได้มีรายงานว่า หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในข้าวนาหว่านน้ำตมในพื้นที่ อ.ศรีประจันต์ จ.สุพรรณบุรี และ อ.สามโก้ จ.อ่างทอง (วัชรา และคณะ, 2560) และกกหนวดปลาดุก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl.) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว ในพื้นที่ อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี และ อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท (Phinyosak and Pornprom, 2017) เป็นต้น

หญ้าข้าวนก เป็นวัชพืชที่สำคัญในนาข้าว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเหนียว หรือพื้นที่ลุ่มมีความชื้นในดินสูง มีความสามารถในการปรับตัวให้อยู่รอดในสภาพอากาศหนาวได้อย่างดี ต้องการแสงในการเจริญเติบโตอย่างมาก ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด (Caton et al*.,* 2004) สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วและทำให้ผลผลิตสูญเสียมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารกำจัดวัชพืชที่ระยะ 7-15 วันหลังหว่านข้าว ในการควบคุมกำจัดหญ้าข้าวนกกันอย่างแพร่หลายในพื้นที่ปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมในพื้นที่เขตภาคกลาง รวมทั้งภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบนของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้แก่ bispyribac-sodium, penoxsulam, pyribenzoxim และ triafamone เป็นต้น ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา เกษตรกรในเขตพื้นที่ อ.บางปะหัน และ อ.นครหลวง จ.พระนครศรีอยุธยา ได้รายงานว่า มีการระบาดอย่างรุนแรงของหญ้าข้าวนก (สุตานันท์ และคณะ, 2558) ต่อมา เกษตรกรในเขตพื้นที่ จ.พระนครศรีอยุธยา จ.ชัยนาท และ จ.สุพรรณบุรี ได้รายงานว่า การใช้สาร penox

sulam และ bispyribac-sodium ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรหญ้าข้าวนกลดลง (Sripeangchan et al., 2019) ซึ่งก่อนหน้านี้ การใช้สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ดี ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปัญหาที่แท้จริงของการเกิดหญ้าข้าวนกต้านทานสาร และพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร อาจจะเกิดความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่นๆ ในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS และสารในกลุ่มอื่นๆ ที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชที่แตกต่างกัน ที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าวได้หรือไม่ ซึ่งการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการใช้สารกำจัดวัชพืช เพื่อนำไปใช้ในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อนที่ประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารจะมีการแพร่กระจายพันธุ์ ซึ่งจะไม่สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการศึกษา

การเตรียมหญ้าข้าวนก

ทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกในเขตพื้นที่ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี จากบริเวณที่มีรายงานว่ามีปัญหาที่เกิดจากการใช้สาร penoxsulam (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) เพื่อใช้ทดสอบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam ซึ่งได้รับรายงานจากเกษตรกรหลายรายว่าการใช้สาร penoxsulam มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรของหญ้าข้าวนกลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้ การใช้สารดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ดี นำเมล็ดหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา เพาะลงในกระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว บรรจุดินและวัสดุปลูกเวอร์มิคูไลน์เพื่อช่วยรักษาความชื้น เก็บไว้ในสภาพเรือนทดลอง จนกระทั่งต้นกล้าวหญ้าข้าวนกมีอายุ 12 วันหลังงอก (หรือวัชพืชมีใบจริง 2-4 ใบ)

การทดลองที่ 1 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam

วางแผนการทดลองแบบ Split-plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ กำหนดให้ปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร penoxsulam สาร penoxsulam 2.5% OD จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0, 7.03, 14.06, 28.12, 56.24 และ 112.48 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ส่วนปัจจัยรอง คือ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร (Resistant-biotype) และไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (Susceptible-biotype) ทำการฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยถังพ่นสารแบบสูบโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด ใช้อัตราน้ำ 250 ลิตรต่อเฮกตาร์ ร่วมกับสาร penoxsulam ตามที่กำหนด พ่นสารในอัตราที่กำหนดไว้ โดยมีชุดที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษที่พืชได้รับ ที่ 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยการประเมินด้วยสายตา โดยให้เปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burrill et al., 1976) วัดความสูง (หน่วยเป็น เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) ของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารและไบโอไทป์ที่อ่อนแอ โดยเฉลี่ย 10 ต้นต่อกระถาง ที่ 14, 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ Split-plot design in CRD เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Fisher's Protected LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม R Version 3.1.1 (Development Core Team, 2014) นำไปพิจารณาค่า I_{50} (คือ ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด) และ GR_{50} (คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง 50 เปอร์เซ็นต์) โดยวิธีของ PROC PROBIT ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ตามโปรแกรม Priprobit program version 1.63 (Sakuma, 1998) และพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทาน ตามวิธีของ Valverde et al. (2000) จากสมการ ดังนี้

ดัชนีความต้านทานสาร = I_{50} ของไบโอไทป์ต้านทานสาร/ I_{50} ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ หรือ

= GR_{50} ของไบโอไทป์ต้านทานสาร/ GR_{50} ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ

การทดลองที่ 2 การศึกษาความต้านทานข้ามของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารเพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลองโดยวิธีการเตรียมเมล็ดวัชพืชเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดอัตราสารที่ฉีดพ่นตามอัตราแนะนำ (**Table 1**) โดยตั้งสมมุติฐานว่า ประชากรหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam (สารกลุ่ม Triazolopyrimidine) อาจจะเกิดความต้านทานข้ามไปยังสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ที่อยู่ในกลุ่มสารเดียวกันหรือต่างกลุ่ม แต่มีตำแหน่งที่สารแสดงปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่เป็นสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษที่พืชได้รับ ที่ 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยการประเมินด้วยสายตาของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร โดยให้เปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัดความสูง (หน่วยเป็น เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) โดยเฉลี่ย 10 ต้นต่อกระถาง ที่ 14, 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารที่มีต่อสารชนิดต่างๆ ในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Fisher's Protected LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรแกรม R-Version 3.1.1 (Development Team, 2014) เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1

Table 1 Cross-resistance herbicide treatments used during the experiment.

Herbicide	a.i. (%)	Dosage (g a.i./ ha)	Chemical family (group)	Application timing (DAS)
1. Control	-	-	-	-
2. penoxsulam	2.5% OD	14.06	Triazolopyrimidine	7-12
3. bispyribac-sodium	10% SC	25.00	Pyrimidinylthio-benzoate	12-15
4. pyribenzoxim	5% EC	31.25	Pyrimidinylthio-benzoate	9-12
5. triafamone	20% SC	62.50	Sulfonanilide	12-15

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

DAS = days after sowing, EC = emulsifiable concentrate, OD = oil dispersion, and SC = suspension concentrate

การทดลองที่ 3 การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร เพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลองโดยวิธีการเตรียมเมล็ดวัชพืชเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยกำหนดอัตราสารที่ฉีดพ่นตามอัตราแนะนำ (**Table 2**) โดยตั้งสมมุติฐานว่า ประชากรหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam (สารกลุ่ม Triazolopyrimidine) อาจจะเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิด และ/หรือกลุ่มอื่นๆ ที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในนาข้าวได้หรือไม่ ทำการบันทึกผลการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Fisher's Protected LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรแกรม R-Version 3.1.1 (Development Team, 2014)

Table 2 Multiple-resistance herbicide treatments used during the experiment.

Herbicide	Site of action	a.i. (%)	Dosage (g a.i./ ha)	Application timing (DAS)
1. Control	-	-	-	-
2. penoxsulam	ALS Inhibitors	2.5% OD	14.06	7-12
3. metamifop	ACCase Inhibitors	10% EC	100.00	10-12
4. profoxydim	ACCase Inhibitors	7.5% EC	121.88	12-15
5. propanil	PS II Inhibitors	36% EC	2250.00	12-15
6. quinclorac	Synthetic auxins	25% SC	750.00	10-12
7. florpyrauxifen-benzyl	Synthetic auxins	2.5% EC	25.00	10-14

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

DAS = days after sowing, EC = emulsifiable concentrate, OD = oil dispersion, and SC = suspension concentrate

ผลการศึกษา

การทดลองที่ 1 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam

เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาจากการประเมินระดับความเป็นพิษที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร ความสูงและน้ำหนักสดที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร ของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam ทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร พบว่า หญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ และอัตราสารมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารจะแสดงอาการได้รับพิษที่สูงขึ้นตามอัตราการใช้สาร เมื่อพิจารณาจากระดับความเป็นพิษของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า การใช้สารที่อัตราแนะนำ 14.06 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอ มีระดับความเป็นพิษ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีระดับความเป็นพิษ 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (**Figure 1**) จากนั้น นำข้อมูลความเป็นพิษของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ไปประเมินค่า I_{50} เพื่อพิจารณาค่าดัชนีความต้านทานสารต่อไป

การตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านความสูงของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า สารในอัตราแนะนำที่ 14.06 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอได้อย่างมีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ (วัชพืชตาย) ส่วนหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีความสูง 62.80 และ 71.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (**Figure 2**) เช่นเดียวกับ Ioannis et al. (2018) ที่รายงานว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 51.98 และ 59.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อัตราสารแนะนำ 14.06 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ และไม่พบน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอ จะเห็นได้ว่า การสะสมน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีแนวโน้มลดลงมากกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร จึงไม่สามารถชั่งหาน้ำนักสดได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ El-Naddy et al. (2012) (**Figure 3**) จากนั้น นำข้อมูลความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ไปประเมินค่า GR_{50} เพื่อพิจารณาค่าดัชนีความต้านทานสารต่อไป

จากการวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารของอาการที่พืชได้รับพิษจากสารกำจัดวัชพืชที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า I_{50} เท่ากับ 4.22 และ 210.64 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 49.91 เท่า และที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า I_{50} เท่ากับ 4.32 และ 253.17 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 58.60 เท่า เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารของการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านความสูงที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 8.12 และ 436.29 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่า

ดัชนีความต้านทานสาร 53.73 เท่า และที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 8.22 และ 477.30 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 58.07 เท่า และเมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารของการตอบสนองทางสรีรวิทยาน้ำหนักสดที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 8.54 และ 551.81 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 64.61 เท่า และที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 8.16 และ 692.53 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 84.87 เท่า (**Table 3**) เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam จะเห็นได้ว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 49.91-84.87 เท่า แสดงให้เห็นว่า หญ้าข้าวนกมีการพัฒนาเกิดความต้านทานต่อสาร penoxsulam จึงเป็นไปได้ว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชในตำแหน่งเดียวกันมาใช้ในการควบคุมกำจัดวัชพืชติดต่อกันนานหลายปี อาจจะส่งผลทำให้เกิดปัญหาหญ้าข้าวนกต้านทานสารต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดนั้นเพิ่มมากขึ้น

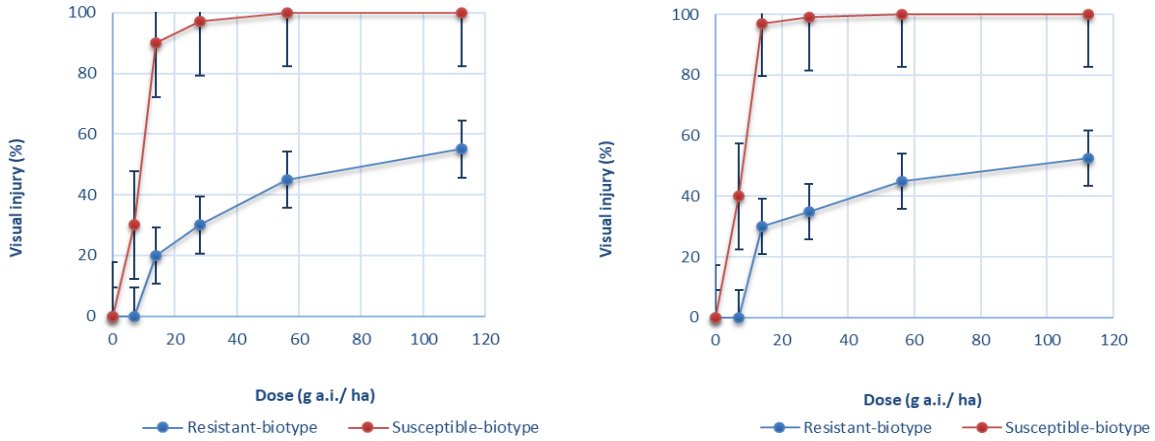

Figure 1 Visual injury of penoxsulam on susceptible and resistant-biotypes at 14 (a) and 21 days after application (b), expressed as a percentage of the mean (n = 10) ± SE.

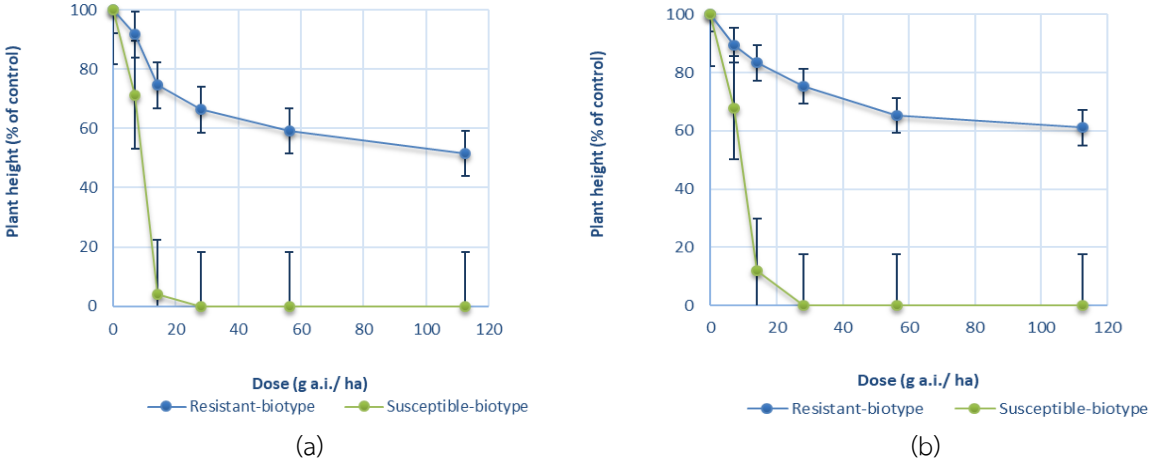

Figure 2 Effect of penoxsulam on plant height of susceptible and resistant-biotypes at 21 (a) and 30 days after application (b), expressed as a percentage of the mean (n = 10) ± SE.

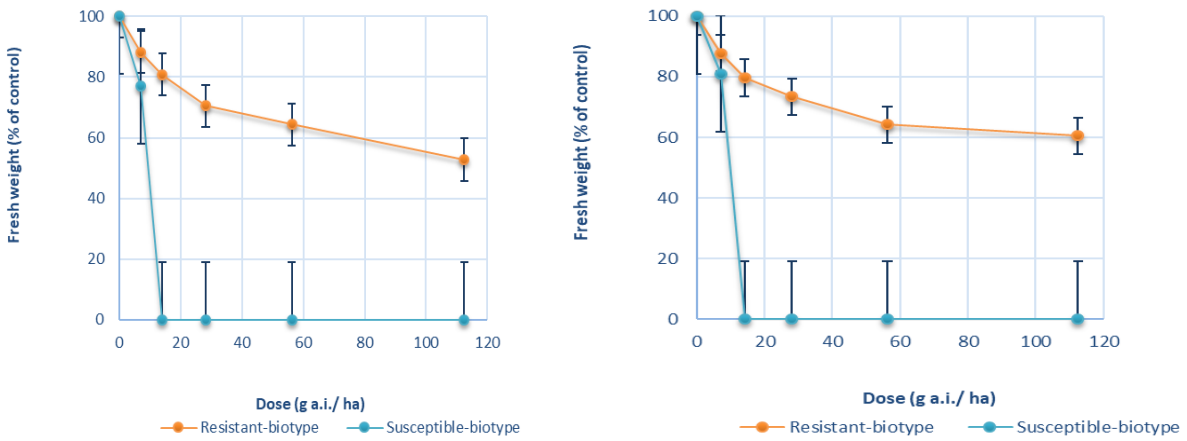

Figure 3 Effect of penoxsulam on fresh weight of susceptible and resistant-biotypes at 21 (a) and 30 days after application (b), expressed as a percentage of the mean (n = 10) ± SE.

Table 3 Resistance levels of penoxsulam in barnyardgrass populations at Lat Lum Kaeo District, Pathum Thani.

Barnyardgrass biotype	Visual injury (I_{50})		Plant height (GR_{50})		Fresh weight (GR_{50})	
	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
S-biotype	4.22	4.32	8.12	8.22	8.54	8.16
R-biotype	210.64	253.17	436.29	477.30	551.81	692.53
Resistance index	49.91	58.60	53.73	58.07	64.61	84.87

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

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

Resistance index = I_{50} value of resistant biotype/ I_{50} value of susceptible biotype or

= GR_{50} value of resistant biotype/ GR_{50} value of susceptible biotype

การทดลองที่ 2 การศึกษาความต้านทานข้ามของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam

การศึกษาความต้านทานข้ามของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ไปยังสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ชนิดต่างๆ ได้แก่ สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone โดยการประเมินระดับความเป็นพิษของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร ที่ 7 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า อัตราการใช้และชนิดของสารกำจัดวัชพืชมีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam จะแสดงอาการได้รับพิษเพิ่มขึ้นหลังจากได้รับสาร ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กัน เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความสูงและน้ำหนักสด ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่า หลังจากได้รับสาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone ทำให้หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ชะงักการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีไม่ใช้สาร (**Table 4**) จึงทำให้หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในข้างต้นนี้ ไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ได้

การทดลองที่ 3 การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ที่มีต่อสารกลุ่มต่างๆ ได้แก่ metamifop และ profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase), propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ในระบบแสง II), quinclorac และ florpyrauxifen-benzyl (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากระดับความเป็นพิษที่ 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร ความสูง และน้ำหนักสดที่ 14, 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษปานกลาง มีการชะงักการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย หลังจากได้รับสาร metamifop และ quinclorac แสดงให้เห็นว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารเกิดการพัฒนาความต้านทานต่อสาร metamifop และ quinclorac ดังนั้น การนำสารสองชนิดนี้มาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร อาจทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมลดลง ในขณะที่หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร เมื่อได้รับสาร profoxydim, propanil และ florpyrauxifen-benzyl จะแสดงอาการได้รับพิษใบเหลืองแห้ง และตายในที่สุด (**Table 5**) ดังนั้น ควรแนะนำให้เกษตรกรมีการสลับหมุนเวียนการใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิจารณ์

ปัญหาวัชพืชในพื้นที่ปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตมในพื้นที่เขตภาคกลาง รวมทั้งภาคเหนือตอนล่างและกลางตอนบนของประเทศไทย เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมกำจัดหญ้าข้าวนกกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้แก่ bispyribac-sodium, penoxsulam, pyribenzoxim และ triafamone เป็นต้น ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ได้มีรายงานว่า หญ้าข้าวนกเกิดความต้านทานสาร bispyribac-sodium (สุตานันท์ และคณะ, 2558) ต่อมาได้มีรายงานว่า การใช้สาร penoxsulam และ bispyribac-sodium มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรหญ้าข้าวนกลดลง (Sripeangchan et al., 2019) ซึ่งก่อนหน้านี้ การใช้สารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ดี จึงเป็นไปได้ว่า หญ้าข้าวนกมีการพัฒนาเกิดความต้านทานต่อสาร penoxsulam จากผลการทดลองข้างต้น เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสาร penoxsulam พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 49.91-84.87 เท่า กล่าวคือ การใช้สาร penoxsulam ที่อัตราแนะนำ (14.06 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแอได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมไบโอไทป์ต้านทานสารได้ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายพืชในตำแหน่งเดียวกัน นำมาใช้ในการควบคุมกำจัดวัชพืชติดต่อกันนานหลายปี อาจส่งผลทำให้เกิดปัญหาหญ้าข้าวนกต้านทานสารต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดนั้นเพิ่มมากขึ้น

เมื่อทำการศึกษาความต้านทานข้ามของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam โดยพิจารณาจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ที่มีต่อสาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่า การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารดังกล่าวมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาทางด้านความเป็นพิษ ความสูง และน้ำหนักสด แสดงให้เห็นว่า การใช้สาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น การนำสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มาใช้ควบคุมหญ้าข้าวนก จึงไม่สามารถทำการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ได้ จึงควรทำการศึกษาวิจัยการใช้สารกำจัดวัชพืชในกลุ่มอื่นๆ ที่มีกลไกการเข้าทำลายพืชที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาใช้ทดแทนในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทานสารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ก่อนที่จะไม่สามารถจำกัดพื้นที่การแพร่ระบาดและควบคุมการเกิดปัญหาหญ้าข้าวนกต้านทานสารในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

การใช้สารกำจัดวัชพืชในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานเอนไซม์ ALS ดังกล่าวติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดหญ้าข้าวนกพัฒนาความต้านทานข้ามได้ มีรายงานว่า หญ้าข้าวนกในรัฐอาร์คันซอ และมิสซิสซิปปี้ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่น imazamox, imazethapyr และ penoxsulam เกิดการพัฒนาความต้านทานข้ามไปยังสาร bispyribac-sodium (Riar et al., 2013) ต่อมา พบปัญหาหญ้าข้าวนกเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร triafamone, pyribenzoxim และ fenoxaprop ในเขตพื้นที่ จ.นนทบุรี จ.นครปฐม และ จ.สุพรรณบุรี (จรรยา และคณะ, 2560) อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ของการ

เกิดปัญหาหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ควรจะต้องหาแนวทางในการจัดการและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารในนาข้าว เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่อาจแพร่กระจายเพิ่มขึ้นจนไม่สามารถควบคุมได้ ในขั้นตอนการศึกษาวิจัยต่อไป จะทำการศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มในประชากรของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ซึ่งอาจจะเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิด และ/หรือกลุ่มอื่นๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยายับยั้งในพืชที่แตกต่างกัน

ในกรณีการศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกที่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS นั้น พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase), propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) และ florpyrauxifen-benzyl (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) แสดงให้เห็นว่า สารกำจัดวัชพืชที่มีกลไกการเข้าทำลายพืชที่ต่างกัน สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงที่ผ่านมา ได้มีรายงานการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มของวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายชนิด โดยที่ Heap และ Morison (1996) พบว่า วัชพืช *Setaria viridis* และ *Avena fatua* ที่ต้านทานสาร trifluralin เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร diclofop-methyl และ sethoxydim ต่อมาได้มีรายงานว่า วัชพืช *Echinochloa oryzoides* มีความต้านทานต่อสาร molinate และ thiobencarb ส่วน *E. phyllopogon* มีความต้านทานต่อสาร bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl, molinate และ thiobencarb แต่วัชพืชทั้งสองชนิดไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร propanil (Fischer et al., 2000) จากนั้น Panozzo et al. (2013) รายงานว่า ประชากรหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase นอกจากนี้ ยังพบว่า หญ้าข้าวนกที่ต้านทานสาร penoxsulam สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร cyhalofop-butyl, fenoxaprop-P-ethyl และ metamifop ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Guoqi et al., 2016) จากนั้น สุตานันท์ และคณะ (2558) ได้รายงานว่า หญ้าข้าวนกที่ต้านทานสาร bispyribac-sodium (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร quinclorac (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) เช่นเดียวกับ Phinyosak and Pornprom (2017) ได้รายงานว่า กกหนวดปลาดุกที่ต้านทานสาร chlorimuron-ethyl + metsulfuron-methyl (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) และ clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) ไม่สามารถควบคุมกกหนวดปลาดุกไบโอไทป์ต้านทานสารได้ จากนั้น Peng et al. (2019) รายงานว่า ประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานไปยังสาร quinclorac ทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมลดลงอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้ว่า วัชพืชที่ต้านทานสารกำจัดวัชชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มได้ จากการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam เกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone ที่อยู่ในกลุ่มสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS และสามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร metamifop (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์ไขมัน) และ quinclorac (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) อย่างไรก็ตาม หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase), propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) และ florpyrauxifen-benzyl (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) ดังนั้น เกษตรกรจึงควรมีการสลับหรือหมุนเวียนการใช้สารกำจัดวัชพืชในแต่ละกลุ่มที่มีกลไกการทำลายพืชที่แตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนก เพื่อเป็นการป้องกันและการจัดการหญ้าข้าวนก หรือหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายของหญ้าข้าวนกต้านทานสาร penoxsulam (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) ในนาข้าว อย่างไรก็ตาม เกษตรกรควรมีการสำรวจและสุ่มตัวอย่างวัชพืชที่ต้านทานสารอย่างสม่ำเสมอ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้สารกำจัดวัชพืช ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถแนะนำเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และนำมาใช้ในการควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Table 4 Cross-resistance of penoxsulam barnyardgrass resistant to the other chemical family of ALS-inhibitors.

Herbicide	Dose (g a.i./ha)	Visual injury (%)			Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
1. Control	0	0.0 b	0.0 c	0.0 c	74.6 a	81.8 a	58.1 a	69.8 a
2. penoxsulam	14.06	0.0 b	25.0 b	32.5 b	62.6 b	71.9 b	52.6 c	62.1 b
3. bispyribac-sodium	31.25	17.5 a	35.0 a	40.0 ab	60.4 c	69.0 c	51.5 d	62.2 b
4. pyribenzoxim	31.25	17.5 a	32.5 ab	45.0 a	59.8 c	69.0 c	52.0 cd	61.0 c
5. triafamone	62.50	0.0 b	30.0 ab	45.0 a	60.5 c	69.8 c	53.6 b	60.1 c
F-test		**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)		45.1	17.4	17.3	0.7	0.7	0.6	0.7

Means followed by different letters within a column are significantly different (LSD), and ** significantly different at P <0.01

Table 5 Multiple-resistance of penoxsulam barnyardgrass resistant to the other herbicides mode of action.

Herbicide	Dose (g a.i./ha)	Visual injury (%)			Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
		7 DAA	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
1. Control	0	0.0 e	0.0 e	0.0 d	75.8 a	84.7 a	61.2 a	68.2 a
2. penoxsulam	14.06	0.0 e	35.0 d	37.5 c	65.0 c	74.0 b	56.1 b	63.8 b
3. metamifop	100.00	25.0 d	45.0 c	50.0 b	62.1 d	71.0 d	55.4 b	63.0 b
4. profoxydim	121.88	45.0 c	85.0 b	97.5 a	0.0 e	0.0 e	0.0 d	0.0 c
5. propanil	2250.00	65.0 b	100.0 a	100.0 a	0.0 e	0.0 e	0.0 d	0.0 c
6. quinclorac	750.00	25.0 d	45.0 c	50.0 b	66.1 b	72.0 c	55.1 c	63.2 b
7. florpyrauxifen-benzyl	25.00	82.5 a	100.0 a	100.0 a	0.0 e	0.0 e	0.0 d	0.0 c
F-test		**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)		13.7	7.4	4.3	0.9	0.8	1.0	1.2

Means followed by different letters within a column are significantly different (LSD), and ** significantly different at P <0.01

สรุป

การศึกษาทางเลือกการใช้สารกำจัดวัชพืชในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทานสาร penoxsulam ในนาข้าว เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารและไบโอไทป์อ่อนแอที่มีต่อสาร penoxsulam จากค่า I_{50} ของระดับความเป็นพิษ และ GR_{50} จากเปอร์เซ็นต์ความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์อ่อนแอมากถึง 49.91-84.87 เท่า โดยที่หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารจะเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ triafamone ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ลดลง อย่างไรก็ตาม หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไม่เกิดความต้านสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase), propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) และ florpyrauxifen-benzyl (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) จึงสามารถเลือกใช้ และ/หรือสลับหมุนเวียนการใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีกลไกการทำลายพืชที่แตกต่างกันนี้สำหรับควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร penoxsulam ได้ เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

จรรยา มณีโชติ, ปรัชญา เอกฐิน และ ยุรวรรณ อนันตนมณี. 2560. พื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของหญ้าข้าวนกที่มีกลไกความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชแบบ multiple resistance ในนาข้าว. น. 2007-2019. ใน: รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2560. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

วัชรา มณฑาทิพย์, จำเนียร ชมภู และ ทศพล พรพรหม. 2560. หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานต่อสารบีสไพริแบค-โซเดียมในข้าวนาหว่านน้ำตม. น. 933-946. ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 13 ณ โรงแรมเรือรัษฎา จ.ตรัง.

สุตานันท์ โพธิ์สวัสดิ์, สุรพล ฉินทกานันท์, จำเนียร ชมพู และ ทศพล พรพรหม. 2558. การศึกษาหญ้าข้าวนกต้านทานสารบีสไพรีแบค-โซเดียมในนาหว่านน้ำตม. น. 116-117. ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 12. ณ โรงแรมดุสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท จ.เชียงราย.

Burrill, L.C., J. Cardenas, and E. Locatelli. 1976. Field manual for weed control research. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis.

Caton, B.P., M. Mortimer, and J.E. Hill. 2004. A Practical Field Guide to Weed of Rice in Asia. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

Development Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Available: http://www.R-project.org. Accessed Feb. 21, 2014.

El-Naddy, M.F., A.M. Hamza, and A.S. Derbalah. 2012. *Echinochloa colona* resistance to bispyribac-sodium in Egypt-Occurrence and identification. Journal of Plant Protection Research. 1(1): 139-145.

Fischer, A.J., C.M. Ateh, D.E. Bayer, and J.E. Hill. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* Fields. Weed Science. 48(2): 225-230.

Guoqi, C., Q. Wang, Z. Yao, L. Zhu, and L. Dong. 2016. Penoxsulam-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice fields in China. Weed Biology and Management. 16(1): 16-23.

Heap, I., and I.N. Morrison. 1996. Resistance to aryloxyphenoxypropionate and cyclohexanedione herbicides in green foxtail (*Setaria viridis*). Weed Science. 44(1): 25-30.

Heap, I. 2022. International survey of herbicide resistant weeds. Available: http://www.weedscience.org. Accessed Jan. 9, 2022.

Ioannis, V., K. Dhima, and T. Gitsopoulos. 2018. Management of penoxsulam- and bispyribac-resistant late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) biotypes and rice sedge (*Cyperus difformis*) in rice. Chilean Journal of Agricultural Research. 78(2): 276-286.

Maneechote, C., S. Samanwong, X.Q. Zang, and S.B. Powels. 2005. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in population of sprangletop (*Leptochloa chinensis* L. Nees) in Thailand. Weed Science. 53(3): 290-295.

Panozzo, S., L. Scarabel, P.L. Tranel, and M. Sattin. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. Pesticide Biochemistry and Physiology. 105(2): 93-101.

Peng, Q., H. Heping, Y. Xia., B. Lianyang, Y. Qin, and S.B. Powles. 2019. Quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* from China. Science Direct. Available: http://www.sciencedirect.com. Accessed Jan. 18, 2021.

Phinyosak, R., and T. Pornprom. 2017. Resistance of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *In*: Proceeding of the 26th Asian-Pacific Weed Science Society Conference 19-22 September 2017, at Kyoto Research Park, Kyoto, Japan.

Pornprom, T., P. Mahatamnuchoke, and K. Usui. 2006. The role of altered acetyl-CoA carboxylase conferring resistance to fenoxaprop in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* L. Nees.). Pest Management Science. 62(11): 1109-1115.

Riar, D.S., J.K. Norsworthy, V. Srivastava, V. Nandula, J.A. Bond, and R.C. Scott. 2013. Physiological and molecular basis of acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61(2): 278-289.

Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. Applied Entomology and Zoology. 33(3): 339–347.

Sripeangchan, M., L. Duy, T. Pornprom, M. Morell and S. Byron. 2019. Rinskor™ Active controls ALS-Resistant *Echinochloa crus-galli* (L.) in Direct Seeded Rice in Thailand. *In*: Proceeding of the 27th Asian- Pacific Weed Science Society Conference 3-6 September 2019, at Kuching, Sarawak, Malaysia.

Valverde, B.E., C.R. Riches, and J.C. Caseley. 2000. Prevention and Management of Herbicide Resistant Weeds in Rice: Experience from Central America with *Echinochloa colona*. CATIC, Turrialba, Costa Rica.