

การเกิดความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มใน ประชากรหญ้าแดงต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว

Occurrence of Herbicide Multiple-Resistance in Wrinkle Duck-beak (*Ischaemum rugosum* Salisb.) Population Resistant to Pyribenzoxim in Paddy Fields

กนกวรรณ ดารามาน จำเนียร ชมภู และ ทศพล พรพรหม*
Kanokwan Daramarn, Jamnian Chompoo and Tosapon Pornprom*

ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, Thailand

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

(Received: 10 October 2021; Accepted: 30 December 2021)

Abstract: Wrinkle duck-beak is a common weed of paddy fields, which is most often controlled by pyribenzoxim, acetolactate synthase (ALS) inhibitors. Currently, failures in controlling this weed have been reported by farmers in Krachan sub-district, U-Thong district, Suphan Buri, after several years of successful control. This study was conducted to determine whether wrinkle duck-beak populations have developed resistance to pyribenzoxim. Weed seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to pyribenzoxim under greenhouse conditions. Both the resistant and susceptible wrinkle duck-beak biotypes were investigated for I_{50} based on its visual injury and GR_{50} based on plant height and fresh weight at 3, 7, 14 and 21 days after application. The resistance index of the resistant wrinkle duck-beak was 31.43 - 62.36 folds higher than that of the susceptible biotype. Additionally, multiple-resistance of pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak for alternative management strategies using across mode of action of herbicides were studied. The results indicate that the alternative herbicides used to control pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak were controlled by profoxydim (Inhibitors of ACCase) and propanil (Inhibitors of photosynthesis at PS II) at the recommended rate for each herbicide. The results suggest that farmers should rotate profoxydim and propanil, which is a different herbicide site of action, to control and reduce the probability of pyribenzoxim-resistant wrinkle duck-beak in paddy fields.

Keywords: ALS-Inhibitors, multiple-resistance, pyribenzoxim, wrinkle duck-beak

บทคัดย่อ: หญ้าแดงเป็นวัชพืชที่พบทั่วไปในนาข้าว ส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยการไ้สารไพริเบนโซซิม ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ในปัจจุบันเกษตรกรหลายรายในพื้นที่ ตำบลกระเจียน อำเภอดู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี เริ่มสังเกตเห็นว่าการไ้สารไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าแดงได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าหญ้าแดงมีการพัฒนาความต้านทานต่อสารไพริเบนโซซิม จริงหรือไม่ เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าแดงจากแปลงเกษตรกรที่มีปัญหาเนื่องจากการไ้สารไพริเบนโซซิม เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสารไพริเบนโซซิมในสภาพเรือนทดลอง เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษ และค่า GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 31.43 - 62.36 เท่า จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานไปยังสารในกลุ่มอื่นๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า สาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในระบบแสง II) มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำของสารในแต่ละชนิด จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรจะหมุนเวียนการใช้สาร profoxydim และ propanil ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

คำสำคัญ: สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ความต้านทานสารหลายกลุ่ม สารไพริเบนโซซิม หญ้าแดง

คำนำ

จากข้อมูลการสำรวจเกี่ยวกับวัชพืชต้านทานสารของประเทศสหรัฐอเมริกา Heap (2021) ได้รายงานว่า มีการระบาดของวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชทั่วโลก จำนวน 266 ชนิด (พวงใบกว้าง จำนวน 153 ชนิด และพวงวงศ์หญ้า จำนวน 113 ชนิด) ซึ่งวัชพืชได้มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารขึ้นมาในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชมากถึง 21 ตำแหน่ง จาก 31 ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืช มีการแพร่กระจายในพืชปลูก 95 ชนิด ในสภาพพื้นที่ทางการเกษตรมากกว่า 71 ประเทศทั่วโลก พบว่า หญ้า *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald เกิดความต้านทานต่อสาร pyribenzoxim ในประเทศจีน (Wang *et al.*, 2018) และมีรายงานว่า หญ้า *Descurainia sophia* (L.) เกิดความต้านทานต่อสาร tribenuron-methyl สามารถเกิดความต้านทานข้ามต่อสาร halosulfuron-methyl, flumetsulam, imazethapyr และ pyribenzoxim (Deng *et al.*, 2016) เช่นเดียวกับหญ้า *Lolium perenne* เกิดความต้านทานต่อสาร

imazamox และ mesosulfuron สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร pinoxaden (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase หรือ ACCase) (Tehranchiar *et al.*, 2019) เป็นต้น สำหรับสถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น ได้มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Maneechote *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับ Pornprom *et al.* (2006) รายงานว่า หญ้าดอกขาวต้านทานสาร fenoxaprop-P-ethyl ในนาข้าวบางพื้นที่ ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ จากนั้น ได้มีรายงานว่า หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในบางพื้นที่ของ อำเภอบางปะหัน และ อำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (Posawat *et al.*, 2015) ต่อมา ได้มีรายงานว่า หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร bispyribac-sodium ในข้าวนาหว่านน้ำตม ในบางพื้นที่ของ อำเภอสรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอสสามโก้ จังหวัดอ่างทอง (Montatip *et al.*,

2017) และกกหนวดปลาชุก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวบางพื้นที่ของ อำเภอบางปลาม้า จังหวัด สุพรรณบุรี และ อำเภอสรรคบุรี จังหวัด ชัยนาท (Phinyosak et al., 2017) เป็นต้น จะสังเกตได้ว่าการเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช ส่วนใหญ่มักจะพบในเขตพื้นที่ภาคกลางและในเขตจังหวัดภาคเหนือตอนล่างของประเทศ ในปัจจุบันนี้ได้มีการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตามกันอย่างแพร่หลาย วัชพืชเป็นปัญหาหลักที่สำคัญในนาข้าว เกษตรกรยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารกำจัดวัชพืชในการควบคุมวัชพืช อย่างไรก็ตาม การใช้สารดังกล่าวนี้ติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้มีวิวัฒนาการเกิดเป็นวัชพืชต้านทานสาร และสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ต้านทานไปยังเมล็ดและส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ได้ จึงมีการแพร่ระบาดของวัชพืชต้านทานสารอย่างรุนแรงในนาข้าว ซึ่งต้องหาแนวทางในการควบคุมและจัดการวัชพืชต้านทานสาร เพื่อช่วยลดและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรวัชพืชที่ต้านทานสารในนาข้าวต่อไป

หญ้าแดงเป็นวัชพืชที่พบทั่วไปและเป็นปัญหาในนาข้าว อายุปีเดียว ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ชอบขึ้นในพื้นที่แห้งชื้น มักพบในสภาพที่มีน้ำท่วมขัง และมีการแพร่ระบาดอย่างกว้างขวาง ออกดอกตลอดปี ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์และผลผลิตข้าว ทำให้ได้รับความเสียหายมากถึง 70 - 80 % (Barkworth, 2020) เกษตรกรนิยมนำสารกำจัดวัชพืชมาใช้ในการควบคุมหญ้าแดงในนาข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่น bispyribac-sodium, pyribenzoxim และ penoxsulam เป็นต้น โดยพ่นสารที่ระยะ 7 - 15 วันหลังหว่านข้าว ในช่วง 2 - 3 ปีที่ผ่านมา เกษตรกรหลายรายในเขตพื้นที่ ตำบลกระเจียน อำเภอกู่ทอง จังหวัด สุพรรณบุรี ได้รายงานว่ามีผลกระทบอย่างรุนแรงของหญ้าแดงในนาข้าว การใช้สาร pyribenzoxim มีประสิทธิภาพในการควบคุมประชากรหญ้าแดงลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้หลายปี การใช้สารชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงได้ดี (Montatip et al., 2017;

Sookgul et al., 2017) ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประชากรของหญ้าแดงที่มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานต่อสาร pyribenzoxim ในนาข้าวหรือไม่ และพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าประชากรของหญ้าแดงที่ต้านทานสาร pyribenzoxim อาจจะทำให้เกิดความต้านทานไปยังสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน ที่นิยมนำมาใช้สำหรับการควบคุมหญ้าแดงในนาข้าว ผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้หลายกลุ่มที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน โดยมีการสลับหมุนเวียนการใช้สาร เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมและกำจัดหญ้าแดงที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เป็นพิษต่อพืชปลูก (ข้าว) และประหยัดต้นทุน สำหรับการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตามต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมหญ้าแดง

เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าแดงที่สุกแก่ทางศรีวิทยาจำนวน 20 แหล่ง ในพื้นที่ ตำบลกระเจียน อำเภอกู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า พื้นที่จำนวน 17 แหล่ง เกิดปัญหาหญ้าแดงมีการพัฒนาความต้านทานสาร pyribenzoxim เรียกว่า ไบโอไทป์ต้านทานสาร (resistant-biotype) ในขณะที่พื้นที่อีก 3 แหล่ง ไม่พบปัญหาหญ้าแดงต้านทานสาร pyribenzoxim เรียกว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (susceptible-biotype)

การทดลองที่ 1 การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim

นำเมล็ดหญ้าแดงทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารประมาณ 30 เมล็ด เพราะลงในกระถางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ที่มีดินร่วนเป็นวัสดุปลูก รดน้ำให้ชุ่มทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เก็บไว้ในสภาพเรือนทดลอง จนกระทั่งต้นกล้าของ

หญ้าแดงมีอายุ 10 วันหลังงอก (หรือวัชพืชมีใบจริง 2 - 4 ใบ) และถอนแยกให้เหลือ 20 ต้นต่อกระถาง วางแผนการทดลองแบบ split-plot design in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยที่ปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร pyribenzoxim จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0, 15.63, 31.25, 62.50, 125 และ 250 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ (อัตราแนะนำ คือ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) ส่วนปัจจัยรอง คือ หญ้าแดงใบโอบีที่อ่อนแอ และ ใบโอบีที่ต้านทานสาร จากนั้น พ่นสารกำจัดวัชพืชด้วยถังพ่นสารแบบสูบโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด (flat fan type) ใช้น้ำอัตรา 80 ลิตรต่อไร่ พ่นสารในอัตราที่กำหนดไว้ โดยมีหญ้าแดงที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษของสารที่พืชได้รับ ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร ทำการประเมินด้วยระดับสายตา โดยให้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burrill *et al.*, 1976) วัดความสูง (หน่วยเป็น เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) ของหญ้าแดงใบโอบีที่อ่อนแอและ ใบโอบีที่ต้านทานสารเฉลี่ยจากจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบ

ความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's protected least significant difference test (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ด้วยโปรแกรม R version 4.0.2 (Development Core Team, 2020) จากนั้น นำไปพิจารณาค่า I_{50} คือ ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด และ GR_{50} คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง 50 % โดยวิธีของ PROC PROBIT ระดับความเชื่อมั่น 99 % ตามโปรแกรม PriProbit program version 1.63 (Sakuma, 1998) และพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสาร (Resistance index) ตามวิธีของ Valverde *et al.*, (2000) จากสมการ ดังนี้

ดัชนีความต้านทานสาร = I_{50} ของใบโอบีที่ต้านทานสาร / I_{50} ของใบโอบีที่อ่อนแอ หรือ

ดัชนีความต้านทานสาร = GR_{50} ของใบโอบีที่ต้านทานสาร / GR_{50} ของใบโอบีที่อ่อนแอ

การทดลองที่ 2 ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงใบโอบีที่ต้านทานสาร pyribenzoxim

นำเมล็ดหญ้าแดงใบโอบีที่ต้านทานสารเพาะลงในกระถางที่เตรียมไว้ในสภาพเรือนทดลอง โดยวิธีการเตรียมเมล็ดวัชพืช เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ เมื่อต้นกล้าของหญ้าแดงมีอายุ 10 วันหลังงอก พ่นสารตามที่กำหนดใน (Table 1) โดยมีหญ้าแดงที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

Table 1. 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. pyribenzoxim	ALS Inhibitors	5 % EC	31.25	10
3. profloroxim	ACCCase Inhibitors	7.5 % EC	121.88	15
4. clomazone	Carotenoid Inhibitors	48 % EC	360	7
5. propanil	PS II Inhibitors	36 % EC	2025	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

การบันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของระดับความเป็นพิษที่พืชได้รับ ที่ 5, 10 และ 14 วันหลังจากได้รับสาร ทำการประเมินด้วยระดับสายตา โดยให้ระดับเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 วัดความสูง (หน่วยเป็นเซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วยเป็น กรัม) เฉลี่ยจากจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับสาร จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองของหญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสารที่มีต่อสารในกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Fisher's protected LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยใช้โปรแกรม R Version 4.0.2 (Development Core Team, 2020)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim

จากการประเมินระดับความเป็นพิษของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า การใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองใบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยหญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแอแสดงอาการเป็นพิษ มีการชะงักการเติบโตอย่างรวดเร็วและรุนแรงกว่าใบโอไทป์ต้านทานสาร ซึ่งการใช้สารในอัตราที่สูงขึ้นจะแสดงอาการได้รับพิษมากขึ้น โดยการใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแอมีระดับความเป็นพิษ 36.25, 53.75, 58.75 และ 63.75 % ตามลำดับ ในขณะที่ใบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษน้อยกว่า ทำให้มีการชะงักการเติบโตในช่วงแรก แต่การเติบโตมีการฟื้นตัวได้ตามปกติในเวลาต่อมา แม้ได้รับสารในอัตราที่สูงขึ้น ซึ่งหญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสาร มีระดับความเป็นพิษ 15, 32.50, 36.25 และ 40 % ตามลำดับ เมื่อได้รับสารในอัตราแนะนำ หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแอเมื่อได้

รับสารในอัตราที่สูงขึ้น ทำให้ตายได้ ในขณะที่หญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษ แต่การเติบโตจะมีการฟื้นตัวได้ตามปกติในเวลาต่อมา (Figure 1a-d) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสารจากอาการที่พืชได้รับพิษทั้งใบโอไทป์ที่อ่อนแอและใบโอไทป์ต้านทานสาร ที่ 3, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแามีค่า I_{50} เท่ากับ 7.77, 7.91, 7.66 และ 6.73 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และใบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า I_{50} เท่ากับ 477.78, 353.55, 308.89 และ 419.65 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีของความต้านทานสาร 61.49, 44.69, 40.33 และ 62.36 เท่า ตามลำดับ (Table 2)

การตอบสนองด้านความสูง พบว่า การใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองใบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยการตอบสนองด้านความสูงลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแามีการตอบสนองด้านความสูงมากกว่าหญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสาร โดยที่ใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ พบว่า หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแามีความสูง 10.90, 11.05, 11.78 และ 10.87 เซนติเมตร คิดเป็น 29.31 % ในขณะที่หญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสารมีความสูง 28.07, 29.36, 27.41 และ 28.58 เซนติเมตร คิดเป็น 71.14 % ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร ส่วนหญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแามีความสูง 11.01, 10.44, 9.22 และ 8.89 เซนติเมตร คิดเป็น 24.63 % ในขณะที่หญ้าแดงใบโอไทป์ต้านทานสารมีความสูง 30.15, 31.09, 29.81 และ 29.99 เซนติเมตร คิดเป็น 73.00 % ที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Figure 2) เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสาร จากค่า GR_{50} ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าแดงใบโอไทป์ที่อ่อนแอและใบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 9.70 และ 466.31 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 48.07 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 30 วันหลังจากได้รับ

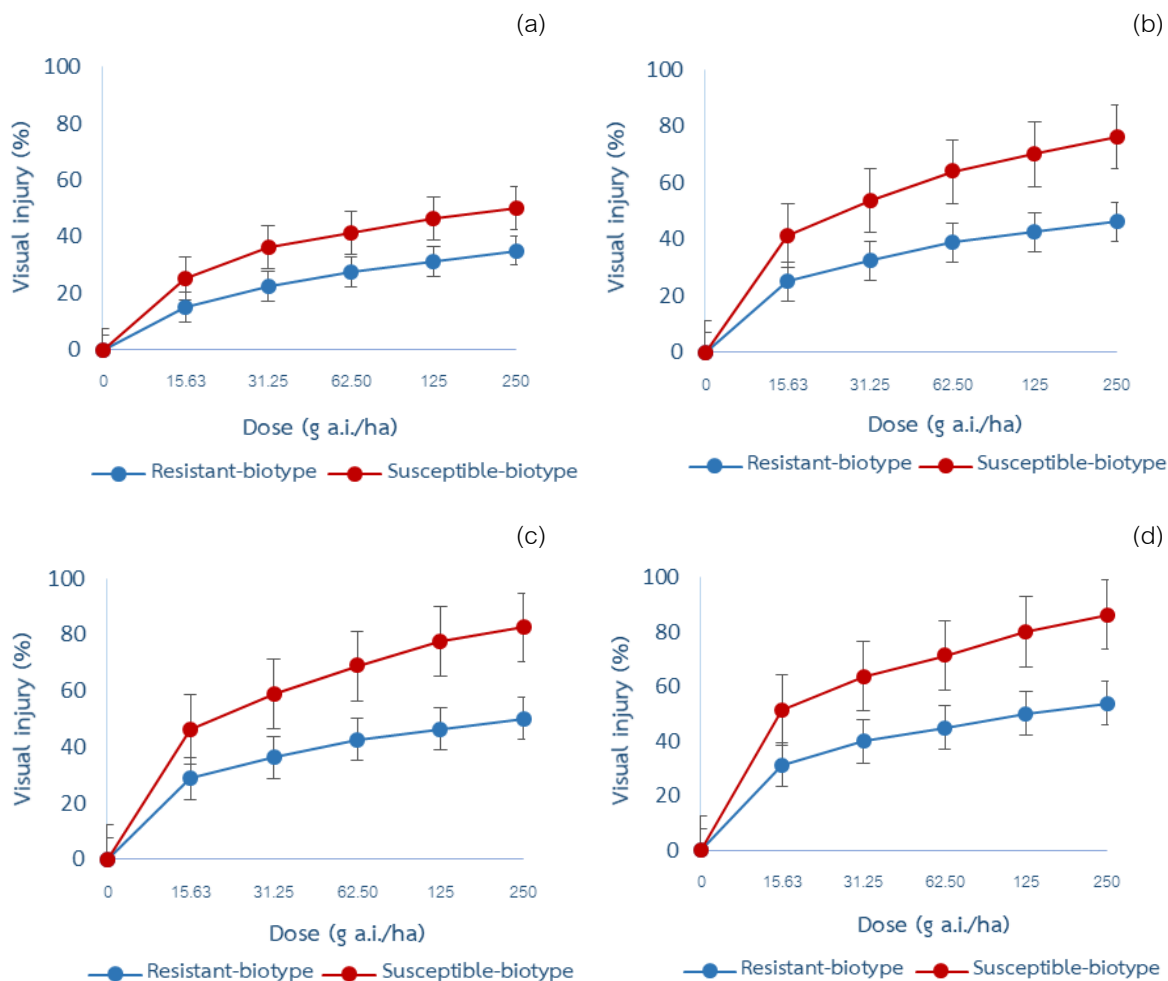


Figure 1. Visual injury of pyribenzoxim on susceptible and resistant-biotype at 3 (a), 7 (b), 14 (c) and 21 day after application (d). Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n = 20).

Table 2. Resistance levels of pyribenzoxim in wrinkle duck-beak populations at U-Thong district, Suphanburi

Wrinkle duck-beak biotypes	Visual injury (I_{50})				Plant height (GR_{50})		Fresh weight (GR_{50})	
	3 DAA	7 DAA	14 DAA	21 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
S-biotype	7.77	7.91	7.66	6.73	9.70	7.80	4.02	2.60
R-biotype	477.78	353.55	308.89	419.65	466.31	391.67	126.33	94.75
Resistance index	61.49	44.69	40.33	62.36	48.07	50.21	31.43	36.44

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

DAA = Day after application

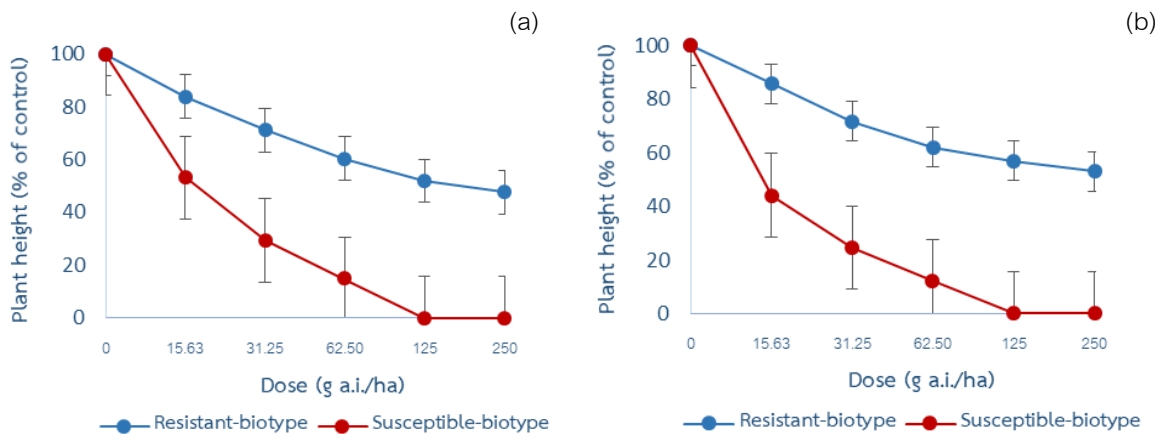


Figure 2. Effect of pyribenzoxim on plant height on susceptible and resistant-biotype at 21 day after application (DAA) (a) and 30 DAA (b). Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n = 10).

สารหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 7.80 และ 391.67 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 50.21 เท่า (Table 2) สอดคล้องกับ หญ้าข้าวนกต้านทานต่อสาร penoxsulam ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชเช่นเดียวกับสาร pyribenzoxim พบว่า ไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร (Ioannis *et al.*, 2018)

การตอบสนองของด้านน้ำหนักสด พบว่าการใช้สาร pyribenzoxim ในแต่ละอัตรากับหญ้าแดงทั้งสองไบโอไทป์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยน้ำหนักสดลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอมีการตอบสนองด้านน้ำหนักสดมากกว่าหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร โดยที่ใช้สารในอัตราแนะนำ 31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอน้ำหนักสด 1.19, 1.80, 0.70 และ 0.68 กรัม คิดเป็น 8.96 % ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 7.72, 5.72, 4.65 และ 6.71 กรัม คิดเป็น 44.54 % ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร ส่วนหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอน้ำหนักสด 0.57, 0.42, 1.42 และ 0.51 กรัม คิดเป็น 4.35 % ในขณะที่หญ้าแดงไบโอไทป์

ต้านทานสารมีน้ำหนักสด 7.89, 9.92, 8.94 และ 8.99 กรัม คิดเป็น 51.06 % ที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Figure 3) เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสาร ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่าหญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 4.02 และ 126.33 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 31.43 เท่า เมื่อพิจารณาที่ 30 วันหลังจากได้รับสาร หญ้าแดงไบโอไทป์ที่อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 2.60 และ 94.75 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 36.44 เท่า (Table 2) โดยสอดคล้องกับการศึกษาการสะสมน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่อ่อนแามีแนวโน้มลดลงมากกว่าไบโอไทป์ต้านทานสาร ซึ่งค่าดัชนีความต้านทานสารเท่ากับ 10.20 เท่า จากการใช้สาร bispyribac-sodium ซึ่งมีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชเช่นเดียวกับสาร pyribenzoxim (El-Naddy *et al.*, 2012)

การตอบสนองของหญ้าแดงที่มีต่อสาร pyribenzoxim เมื่อพิจารณาจากค่า I_{50} ของระดับความเป็นพิษ และ GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแามากถึง

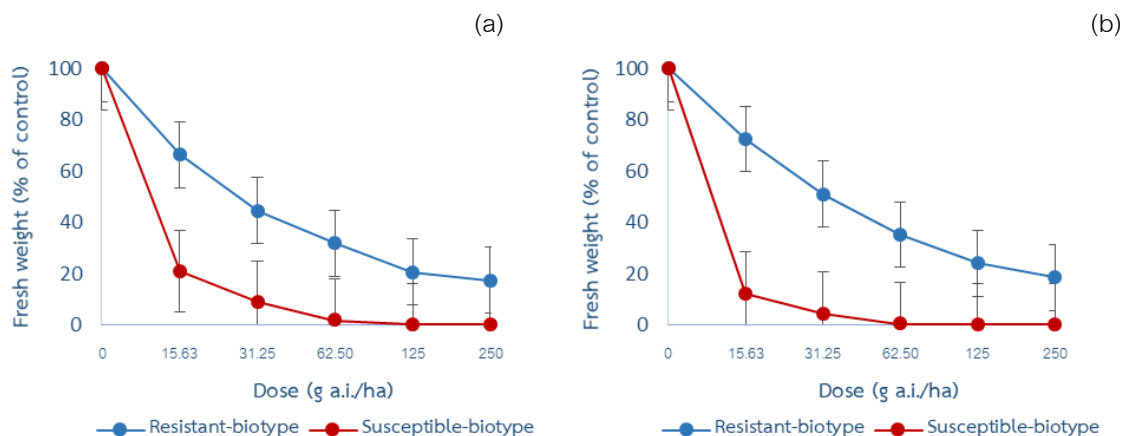


Figure 3. Effect of pyribenzoxim on fresh weight of on susceptible and resistant-biotype at 21 day after application (DAA) (a) and 30 DAA (b). Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error (n =

31.43 - 62.36 เท่า กล่าวคือ การใช้สาร pyribenzoxim ที่อัตราแนะนำ (31.25 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดงใบโอไต้ที่อ่อนแอได้ดี แต่ไม่สามารถควบคุมใบโอไต้ที่ต้านทานสารได้ ดังนั้น การใช้สารที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชตำแหน่งเดียวกัน ติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้วัชพืชมีวิวัฒนาการเกิดเป็นวัชพืชต้านทานสารขึ้นมาได้ จากการศึกษาวิจัยในช่วงที่ผ่านมา Riar *et al.* (2013) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสาร bispyribac-sodium และ penoxsulam ในนาข้าว ข้าวโพด และ ถั่วเหลือง ที่ปลูกบริเวณแม่น้ำอาร์คันซอและมิสซิสซิปปี สหรัฐอเมริกา และหญ้าแดงต้านทานสาร bispyribac-sodium ในนาข้าวประเทศโคลัมเบีย (Plaza and Hernández, 2014) ต่อมา ได้มีรายงานว่า หญ้า *Limnorcharis flava* (L.) Buchenau เมื่อได้รับสารในแต่ละกลุ่ม (chemical family) ที่ต่างกัน แต่เป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน ได้แก่ กลุ่ม sulfonyleurea (สาร bensulfuron-methyl, metsulfuron-methyl และ pyrazosulfuron-ethyl), กลุ่ม pyrimidinylthio-benzoate (สาร pyribenzoxim และ bispyribac-sodium) เป็นต้น พบว่า ใบโอไต้ที่อ่อนแอและใบโอไต้ที่ต้านทานสาร มีค่าดัชนีความต้านทานสารมากกว่า 11.7, 9, 5.4, 4.6 และ 6 เท่า ตามลำดับ

ในขณะที่การใช้สารกลุ่ม imidazolinone (สาร imazethapyr) และกลุ่ม triazolopyrimidine (สาร penoxsulam) โดยที่ใช้ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำนั้น สามารถควบคุมวัชพืชทั้งใบโอไต้ที่อ่อนแอและใบโอไต้ที่ต้านทานสารได้อย่างสมบูรณ์ แสดงว่า วัชพืชชนิดนี้มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารในกลุ่ม sulfonyleurea แต่ไม่เกิดความต้านทานสารในกลุ่ม imidazolinone และ triazolopyrimidine แม้ว่าสารในกลุ่มดังกล่าวนี้ จะมีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาการยับยั้งพืชในตำแหน่งเดียวกัน (Zakaria *et al.*, 2018) จากนั้น Fang *et al.* (2019) รายงานว่า หญ้าข้าวนกใบโอไต้ที่อ่อนแอเริ่มแสดงอาการได้รับพิษต่อสาร penoxsulam ในอัตราที่ต่ำกว่าอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ คือ 15-30 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) แต่ใบโอไต้ที่ต้านทานสารเริ่มแสดงอาการได้รับพิษ เมื่อใช้สารอัตรา 50.96 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ แสดงว่า อาการที่พืชได้รับจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับ หญ้ายาง (*Euphorbia heterophylla* L.) ทั้งใบโอไต้ที่ต้านทานสารและใบโอไต้ที่อ่อนแอ เมื่อได้รับสาร imazamox อัตรา 1,250.20 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้น้ำหนักสดของใบโอไต้ที่ต้านทานสารลดลง 50 % ในขณะที่ใบโอไต้ที่อ่อนแอ เมื่อได้รับสาร อัตรา 7.4 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้น้ำหนักสดลดลง

50 % แสดงให้เห็นว่า การใช้สาร imazamox อัตรา
แนะนำ 40 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ไม่สามารถ
ควบคุมหญ้าแดงใบโอไต้ปี้ต้านทานสารได้ (Rojano-
Delgado *et al.*, 2019)

ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงใบโอไต้ปี้ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของ
หญ้าแดงใบโอไต้ปี้ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim
(สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) ไปยังสาร
กลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้ง
ภายในพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ profoxydim (สารที่
ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) clomazone
(สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) และ
propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วย
แสงในระบบแสง II) เป็นต้น เมื่อพิจารณาจากระดับ
ความเป็นพิษของหญ้าแดง ที่ 5, 10 และ 14 วัน
หลังจากได้รับสาร รวมทั้งพิจารณาจากความสูง
และน้ำหนักสด ที่ 21 และ 30 วันหลังจากได้รับ
สาร (Table 3) พบว่า การประเมินความเป็นพิษ
ความสูง และน้ำหนักสดของสารกำจัดวัชพืช
หลายกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % โดยหลังจากได้
รับสาร profoxydim และ propanil หญ้าแดงใบโอไต้ปี้
ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษ มีการชะงัก
การเจริญเติบโต และตายไปในที่สุด ในขณะที่เมื่อ
ได้รับสาร clomazone แสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย
มีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก แต่สามารถ
เจริญเติบโตเป็นปกติได้ในเวลาต่อมา ดังนั้น การใช้
สารชนิดนี้ ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้า
แดงใบโอไต้ปี้ต้านทานสารลดลง จากการประเมิน
การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงใบโอไต้ปี้
ต้านทานสาร pyribenzoxim ไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มี
ตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่
แตกต่างกัน พบว่า หญ้าแดงใบโอไต้ปี้ที่ต้านทานสาร
pyribenzoxim มีการพัฒนาเกิดความต้านทานสาร
หลายกลุ่มไปยังสาร clomazone อย่างไรก็ดี หญ้า
แดงใบโอไต้ปี้ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim ไม่เกิด
ความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim
และ propanil

ในช่วงที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการเกิด
ความต้านทานสารหลายกลุ่มของวัชพืชที่ต้านทาน
สารหลายชนิด โดยที่ Fischer *et al.* (2000) รายงาน
ว่า *Echinochloa oryzoides* มีความต้านทานสาร

Table 3. Multiple-resistance of pyribenzoxim wrinkle duck-beak resistant to the other herbicides mode of action

Herbicide	Dose (g a.i./ha)	Visual injury (%)			Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
		5 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA	30 DAA	21 DAA	30 DAA
1. Control	0	0 d	0 e	0 e	33.53 a	38.21 a	2.28 a	3.07 a
2. pyribenzoxim	31.25	12.50 c	20.00 d	33.75 d	25.38 b	27.67 b	1.68 b	1.79 b
3. profoxydim	121.88	33.75 b	57.50 b	82.50 b	0 d	0 d	0 d	0 d
4. clomazone	240.00	37.50 b	50.00 c	53.75 c	19.93 c	21.26 c	0.77 c	1.13 c
5. propanil	2025.00	97.50 a	100.00 a	100.00 a	0 d	0 d	0 d	0 d
F - test		**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)		16.55	4.91	9.07	2.84	3.14	5.79	3.74

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

DAA = Day after application

molinate และ thiobencarb ส่วน *E. phyllopogon* มีความต้านทานสาร bispyribac-sodium, fenoxaprop-P-ethyl, molinate และ thiobencarb แต่วัชพืชทั้งสองชนิดไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร propanil และมีรายงานว่า ประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในตัวอย่างหญ้าข้าวนกจำนวน 14 ตัวอย่าง โดยที่มีจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีความต้านทานสูงต่อสารในกลุ่มที่ยับยั้งเอนไซม์ ALS ในขณะที่มีจำนวน 2 ตัวอย่าง มีความต้านทานต่อสารในกลุ่ม Sulfonyleurea แต่จะไม่เกิดความต้านทานต่อสารในกลุ่ม Imidazolinone นอกจากนี้ ยังมีจำนวนอีก 5 ตัวอย่าง ที่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase แสดงให้เห็นว่า วัชพืชที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืชชนิดไดซนินหนึ่งนั้น สามารถเกิดความต้านทานข้าม และความต้านทานสารหลายกลุ่ม ทำให้การควบคุมและกำจัดด้วยสารชนิดเดิม มีประสิทธิภาพลดลง (Panozzo *et al.*, 2013) นอกจากนี้ หญ้าข้าวนกต้านทานสาร penoxsulam สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร cyhalofop-butyl, fenoxaprop-P-ethyl และ metamifop ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Chen *et al.*, 2016) และหญ้าข้าวนกต้านทานสาร bispyribac-sodium (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร quinclorac (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช) (Posawat *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับ กนกหวดปลาดุกต้านทานสาร chlorimuron-ethyl + metsulfuron-methyl (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS) และ clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) ไม่สามารถควบคุมกนกหวดปลาดุกไบโอไทป์ต้านทานสารได้ (Phinyosak *et al.*, 2018) และหญ้า *Lolium perenne* เกิดความต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ได้แก่ สาร imazamox และ mesosulfuron เป็นต้น สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร pinoxaden (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) (Tehranchiar *et al.*, 2019) ซึ่งมีข้อสังเกตว่า วัชพืชที่ต้านทานสารชนิดใด

ชนิดหนึ่งนั้น มีโอกาสที่จะพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกันได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะเห็นว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ที่ต้านทานสาร pyribenzoxim มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร clomazone อย่างไรก็ตาม ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปย้งสาร profoxydim และ propanil เนื่องจากสาร clomazone ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 1-deoxy-D-xylose 5-phosphate synthetase (DOXP synthase) ในการสังเคราะห์ isoprenoids ในกระบวนการสังเคราะห์รงควัตถุแคโรทีนอยด์ ส่วนสาร profoxydim ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์พวกกรดไขมันภายในพืช และสาร propanil ยับยั้งการสังเคราะห์แสงซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของระบบ PS II (Pomprom, 2017) ดังนั้น ควรแนะนำเกษตรกรให้เลือกใช้สารที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าแดง โดยมีการสลับเปลี่ยนหมุนเวียนการใช้สารในแต่ละกลุ่มที่มีตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยลดและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว อย่างไรก็ดี จะต้องทำการตรวจและติดตามหญ้าแดงต้านทานสาร pyribenzoxim ในนาข้าว ในพื้นที่ที่มีการใช้สารในกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS อย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้พิจารณาประกอบในการวางแผนเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชในอนาคต ซึ่งเป็นการป้องกันและการจัดการปัญหาวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวในระยะยาวต่อไป

สรุป

การศึกษาในครั้งนี้ เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้สารที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน สำหรับนำไปใช้ในการป้องกันและการจัดการวัชพืชหญ้าแดงที่ต้านทานสาร

pyribenzoxim ในนาข้าว เมื่อพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารและไบโอไทป์ที่อ่อนแอที่มีต่อสาร pyribenzoxim จากค่า I_{50} ของระดับความเป็นพิษ และ GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 31.43-62.36 เท่า เมื่อพิจารณาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร clomazone (สารที่ยับยั้งการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์) แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร profoxydim (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และ propanil (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในระบบแสง II) ดังนั้น ควรแนะนำให้เกษตรกรมีการหมุนเวียนการใช้สาร profoxydim และ propanil เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าแดงไบโอไทป์ต้านทานสาร pyribenzoxim ในนาข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Barkworth, M.E. 2020. *Ischaemum rugosum* Salisb. (Online). Available: http://dev.Semanticfna.org/Ischaemum_rugosum (June 11, 2021).
- Burrill, L.C., J. Cardenas and E. Locatelli. 1976. Field Manual for Weed Control Research. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis. 63 p.
- Chen, G., 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.
- Deng, W., Q. Yang, H.T. Jiao, Y.Z. Zhang, X.F. Li and M.Q. Zheng. 2016. Cross-resistance pattern to four AHAS-inhibiting herbicides of tribenuron-methyl-resistant flaxweed (*Descurainia sophia*) conferred by Asp-376-Glu mutation in AHAS. *Journal of Integrative Agriculture* 15(11): 2563-2570.
- Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available: <http://www.R-project.org> (February 21, 2021).
- Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available: <http://www.R-project.org> (February 21, 2021).
- 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.
- Fang, J., 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). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 67(29): 8085-8095.
- 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.
- Heap, I. 2021. International survey of herbicide resistant weeds. (Online). Available: <http://www.weedscience.org/Home.aspx> (December 15, 2021).
- Vasilakoglou, I., 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. Powles. 2005. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in sprangletop (*Leptochloa chinensis*). Weed Science 53(3): 290-295.
- Montatip, W., J. Chompoo and T. Pornprom. 2017. Bispyribac-sodium resistance wrinkle grass (*Ischaemum rugosum* Salisb.) in direct-seeded rice. pp. 933-946. *In: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference*, Trang. (in Thai)
- Panozzo, S., L. Scarabel, P.J. 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.
- Phinyosak, R., J. Chompoo and T. Pornprom. 2017. The occurrence of multiple herbicide resistance in a population of tall fringe rush sedge resistant to ALS-inhibiting herbicides in rice fields. pp. 382-397 *In: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference*, Trang. (in Thai)
- Plaza, G. and F.A. Hernández. 2014. Effect of zone and crops rotation on *Ischaemum rugosum* and resistance to bispyribac-sodium in Ariari, Colombia. Planta Daninha 32(3): 591-599.
- Pornprom, T. 2017. Herbicides: Principles and mode of action. 3rd ed. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 405 p. (in Thai)
- 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 Management Science 62(11): 1109-1115.
- Posawat, S., S. Chintakanun, J. Chompoo and T. Pornprom. 2015. Investigation of bispyribac-sodium resistant barnyardgrass in direct-seeded rice fields. pp. 116-117. *In: Proceedings of the 12th National Plant Protection Conference*, Chiang Rai. (in Thai)
- 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.
- Rojano-Delgado, A.M., J.M. Portugal, C. Palma-Bautista, R. Alcántara-de la Cruz, J. Torra, E. Alcántara and R. De Prado. 2019. Target site as the main mechanism of resistance to imazamox in a *Euphorbia heterophylla* biotype. Scientific Reports. 9(1): 15423, doi: 10.1038/s41598-01951682-z.
- Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. Applied Entomology and Zoology. 33(3): 339-347.
- Sookgul, P., W. Montatip and T. Pornprom. 2017. Multiple herbicide resistance in wrinkle grass (*Ischaemum rugosum* Salisb.) in direct-seeded rice. pp. 947-961. *In: Proceedings of the 13th National Plant Protection Conference*, Trang. (in Thai)
- Tehranchian, P., V.K. Nandula, M. Matzrafi and M. Jasieniuk. 2019. Multiple herbicide resistance in California Italian ryegrass

- (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*): characterization of ALS-inhibiting herbicide resistance. *Weed Science* 67(3): 273-280.
- 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, San Jose.
- Wang, J.J., X.J. Li, D. Li, Y.J. Han, Z. Li, H.L. Yu and H.L. Cui. 2018. Non-target-site and target-site resistance to AHAS inhibitors in American sloughgrass (*Beckmannia syzigachne*). *Journal of Integrative Agriculture* 17(12): 2714-2723.
- Zakaria, N., M.S. Ahamad-Hamdani and A.S. Juraimi. 2018. Patterns of resistance to AHAS inhibitors in *Limnocharis flava* from Malaysia. *Plant Protection Science* 54(1): 48-59.
-