

ความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในหญ้าข้าวนกต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว

Multiple-Herbicide Resistance in Pyribenzoxim Resistant Barnyardgrass

(*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) in Paddy Fields

จิราพร อินเต็ม¹ จำเนียร ชมภู¹ และทศพล พรพรหม^{1*}

Jiraphon Intem¹, Jamnian Chompoo¹ and Tosapon Pornprom^{1*}

Received: November 14, 2024

Revised: January 2, 2025

Accepted: January 6, 2025

Abstract: Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.) is a serious weed in 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 elucidate whether barnyardgrass populations have developed resistance to pyribenzoxim and to evaluate multiple herbicide resistance to other mechanisms of action that farmers commonly used to control barnyardgrass in paddy fields. Weed seeds were collected from farmer's fields to determine the physiological response to pyribenzoxim under greenhouse conditions. Both the resistant and susceptible barnyardgrass biotypes were investigated for I_{50} based on its visual injury at 7, 10, 14 and 21 days after application and GR_{50} based on plant height and fresh weight at 14 and 21 days after application. The resistance index of the resistant barnyardgrass was 25.70-42.74 folds higher than that of the susceptible biotype. Additionally, multiple-resistance of pyribenzoxim-resistant barnyardgrass for alternative management strategies using across mode of action of herbicides were determined. From the results, pyribenzoxim-resistant barnyardgrass have developed multiple resistance to clomazone (DOXP synthase Inhibitors) and cyhalofop-butyl (ACCase Inhibitors). However, it did not produce multiple resistance to propanil (Photosystem II Inhibitors) and profoxydim (ACCase Inhibitors). The results suggest that the alternative herbicides used to control pyribenzoxim-resistant barnyardgrass were controlled by propanil and profoxydim at the recommended rate of each herbicide. Farmers should rotate propanil to control and reduce the probability of pyribenzoxim-resistant barnyardgrass in paddy fields.

Keywords: Acetolactate synthase (ALS) inhibitors, Barnyardgrass, Multiple-resistance, Pyribenzoxim

บทคัดย่อ: หญ้าข้าวนกเป็นวัชพืชร้ายแรงที่พบทั่วไปในนาข้าว ส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยการใช้อนินทรมันไพริเบนโซซิม ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactate synthase (ALS) ในปัจจุบันเกษตรกรหลายรายในพื้นที่ ต.กระเจัน อ.อุทัย จ.สุพรรณบุรี เริ่มสังเกตเห็นว่าการใช้อนินทรมันไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์

¹ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: agrtpp@ku.ac.th

ให้แน่ชัดว่า หญ้าข้าวนกมีการพัฒนาความต้านทานต่อสารสารไพริเบนโซซิม จริงหรือไม่ ตลอดจนทดสอบความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งปฏิกิริยาในการยับยั้งพืชที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกจากแปลงเกษตรกรที่มีปัญหาเนื่องจากการใช้สารไพริเบนโซซิม เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิมในสภาพเรือนทดลอง เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษ ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังได้รับสาร และค่า GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์ ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า ไบโอไทป์ต้านทานสารมีค่าดัชนีของความต้านทานสารสูงกว่าไบโอไทป์ที่อ่อนแอมากถึง 25.70-42.74 เท่า จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร โคลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ DOXP synthase) และไซฮาโลฟอป-บิวทิล (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรฟานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบแสง II) และไพโรพอกซิดิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำ จากข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ เกษตรกรควรมีการสลับเปลี่ยนกลุ่มการใช้สารเป็นไพโรฟานิลและไพโรพอกซิดิม เพื่อควบคุมและลดจำนวนประชากรของหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

คำสำคัญ: สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS, ความต้านทานสารหลายกลุ่ม, หญ้าข้าวนก, สารไพริเบนโซซิม

คำนำ

ในปัจจุบัน Heap (2024) ได้รายงานว่ามีวัชพืชจำนวน 273 ชนิด (วัชพืชใบเลี้ยงคู่ 156 ชนิดและใบเลี้ยงเดี่ยว 117 ชนิด) ที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืชประมาณ 533 ชนิดทั่วโลก ซึ่งวัชพืชได้มีการพัฒนาความต้านทานตำแหน่งการเข้าทำลาย 31 ตำแหน่งจากสารกำจัดวัชพืช 168 ชนิด บริเวณพื้นที่แปลงปลูกพืช 101 ชนิด ใน 72 ประเทศ พบว่า วัชพืชต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetolactase synthase (ALS) มากที่สุด จำนวน 175 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 107 ชนิด และใบกว้าง 68 ชนิด รองลงมา คือ สารกลุ่มยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ระบบแสง II (Photosystem II Inhibitors) จำนวน 87 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 53 ชนิด และวัชพืชใบกว้าง 34 ชนิด สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPs) จำนวน 60 ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบ 28 ชนิด ใบกว้าง 32 ชนิด สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl CoA carboxylase (ACCase) จำนวน 51

ชนิด เป็นวัชพืชใบแคบทั้งหมด สำหรับสถานการณ์การเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชในประเทศไทยนั้น ได้มีรายงานการระบาดของหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase (Maneechote *et al.*, 2005) เช่นเดียวกัน Pornprom *et al.* (2006) รายงานว่า หญ้าดอกขาวต้านทานสาร fenoxaprop-P-ethyl ในนาข้าวบางพื้นที่ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ จากนั้น สุตานันท์ และคณะ (2558) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานต่อสาร bispyribac-sodium ต่อมา วัชร และคณะ (2560) รายงานว่า หญ้าแดงต้านทานสาร bispyribac-sodium เช่นเดียวกับ กนกวรรณ และคณะ (2565) รายงานว่า หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum* Salisb.) ต้านทานสาร pyribenzoxim นอกจากนี้ Pinyosak and Pornprom (2017) ได้รายงานที่ กทมหวดปลาดุก (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl) ต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าว จะสังเกตได้ว่าการเกิดวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช

ส่วนใหญ่มักจะพบในเขตพื้นที่ภาคกลาง และในเขตจังหวัดภาคเหนือตอนล่างของประเทศ ในปัจจุบันนี้มีการทำนาข้าวหวานน้ำตมกันอย่างแพร่หลาย วัชพืชเป็นปัญหาหลักที่สำคัญในนาข้าว การแข่งขัน ของวัชพืช ทำให้ข้าวเจริญเติบโตช้า ปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตข้าวลดลง ซึ่งวัชพืชโดยทั่วไปที่พบในนาข้าว ได้แก่ เทียนนา (*Ludwigia hyssopifolia* (G.Don)) ผักปอดนา (*Spenoclea zeylanica* Gaertn.) ตาลปัตรฤๅษี (*Limnocharis flava* (L.) Buchenau) หญ้าดอกขาว หญ้าแดง หญ้าข้าวนก กกทราย (*Cyperus iria* L.) กกขนาก (*Cyperus difformis* L.) และหนวดปลาชุก เป็นต้น (พิสิฐ และคณะ, 2550) เกษตรกรนิยมนำสารกำจัดวัชพืชมาใช้ในการควบคุมวัชพืช เนื่องจากประหยัดเวลาและแรงงาน (Borah, 2023) อย่างไรก็ตาม การใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดเดิมซ้ำ ๆ ติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เกิดมีวิวัฒนาการวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชได้

ในช่วง 2 - 3 ปี ที่ผ่านมา เกษตรกรหลายรายในเขตพื้นที่ ต.กระเจัน อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี ได้รายงานว่ามีภาวะระบาดของหญ้าข้าวนกในนาข้าว การใช้สารไพริเบนโซซิมมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกลดลง ซึ่งก่อนหน้านี้หลายปีการใช้สารชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ดี ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประชากรของหญ้าข้าวนกมีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานต่อสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวหรือไม่ และพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าประชากรของหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิม อาจจะทำให้เกิดความต้านทานไปยังสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน ที่นิยมนำมาใช้สำหรับการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว จากผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถเป็นแนวทางให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้หลายกลุ่มที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน โดยมีการสับเปลี่ยนหมุนเวียนสารกำจัดวัชพืช เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมกำจัดหญ้าข้าวนกที่ต้านทานสารไพริเบนโซซิมได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ไม่เป็นพิษต่อข้าว และประหยัดต้นทุนสำหรับการทำนาหวานน้ำตมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนก

เก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าข้าวนกที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา จากแปลงนาข้าวหวานน้ำตมของเกษตรกรในเขตพื้นที่ ต.กระเจัน อ.อุ้มทอง จ.สุพรรณบุรี จำนวน 20 แปลง ในช่วง 2-3 ปี ที่ผ่านมา โดยมีพื้นที่จำนวน 17 แปลง เกษตรกรเริ่มสังเกตเห็นว่าการใช้สารไพริเบนโซซิมไม่สามารถควบคุมหญ้าข้าวนกได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งก่อนหน้านี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดี ซึ่งคาดว่าจะน่าจะเป็น ไบโอไทป์ต้านทานสาร (resistant-biotype) ในขณะที่พื้นที่อีก 3 แปลง การใช้สารไพริเบนโซซิมมีประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกได้ ซึ่งคาดว่าจะน่าจะเป็น ไบโอไทป์ที่อ่อนแอ (susceptible-biotype) จากนั้น นำเมล็ดใส่ของกระดาสีน้ำตาล เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งทำการทดลอง ก่อนทำการทดลองนำไปทำลายการพักตัวในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิม

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกทั้งสองไบโอไทป์จำนวน 50 เมล็ด เพาะลงในหัวกระถางพลาสติกสีดำ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง 6 นิ้ว ที่บรรจุดินเหนียวจากแปลงนาที่ปราศจากวัชพืช วางกระถางไว้ในโรงเรือนทดลองของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม รดน้ำให้ชุ่มทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง เวลา 8.00 น. เมื่อต้นกล้าหญ้าข้าวนกอายุได้ 10 วัน หลังปลูก (หรือมีใบจริง 2-4 ใบ) ถอนแยกให้เหลือ 20 ต้นต่อกระถาง แล้วพ่นสารกำจัดวัชพืชทันที วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยหลัก คือ อัตราการใช้สาร pyribenzoxim จำนวน 6 อัตรา ได้แก่ 0 15.63 31.25 62.50 125 และ 250 g a.i./ ha (อัตราแนะนำ คือ 31.25 g a.i./ ha) ส่วนปัจจัยรอง คือ หญ้าข้าวนกไบโอไทป์ที่

อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทานสารพ่นสารกำจัดวัชพืช ด้วยถึงพ่นสารแบบสับโยกสะพายหลังที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ขนาดความจุ 15 ลิตร ใช้หัวฉีดรูปพัด (flat fan type) อัตราการพ่นสาร 80 ลิตรต่อไร่

การบันทึกข้อมูลระดับความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืชที่พืชได้รับ ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร โดยประเมินระดับความเป็นพิษด้วยระดับสายตา ให้คะแนนเป็นเปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นพิษต่อพืช และ 100 หมายถึง พืชตาย (Burritt *et al.*, 1976) จากนั้น วัดความสูงลำต้นวัชพืช (หน่วย: เซนติเมตร) และชั่งน้ำหนักสด (หน่วย: กรัมต่อต้น) ของหญ้าข้าวนก จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

จากนั้น นำข้อมูลการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มีต่อสารไพริเบนโซซิม วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Fisher's protected least significant difference test (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ด้วยโปรแกรม R version 4.0.2 (Development Core Team, 2020) พิจารณาค่า I_{50} (คือ ปริมาณสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้พืชตายไป 50 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมด) และ GR₅₀ (คือ ปริมาณของสารกำจัดวัชพืชที่ทำให้การเจริญเติบโต

ของพืชลดลง 50 เปอร์เซ็นต์) ด้วยวิธีของ PROC PROBIT ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามโปรแกรม PriProbit program version 1.63 (Sakuma, 1998) และพิจารณาค่าดัชนีความต้านทานสาร (Resistance index) จากสัดส่วนของไบโอไทป์ต้านทานสารต่อไบโอไทป์ที่อ่อนแอ ตามวิธีของ Valverde *et al.* (2000) จากสมการ ดังนี้

ดัชนีความต้านทานความเป็นพิษของสาร = I_{50} ของไบโอไทป์ต้านทานสาร / I_{50} ของไบโอไทป์ที่อ่อนแอ

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

นำเมล็ดหญ้าข้าวนกไบโอไทป์ต้านทานสารจำนวน 50 เมล็ด เพาะลงในกระถางที่บรรจุดินเหนียวจากแปลงนาที่ปราศจากวัชพืช นำไปไว้ในเรือนทดลองวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ เมื่อต้นกล้าของหญ้าข้าวนกมี อายุ 10 วันหลังออก ทำการถอนให้เหลือหญ้าข้าวนก 20 ต้นต่อกระถาง พ่นสารกำจัดวัชพืชแต่ละชนิดตามอัตราแนะนำของสาร (Table 1) โดยมีหญ้าข้าวนกที่ไม่ได้พ่นสารกำจัดวัชพืชเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (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	7-12
3. clomazone	DOXP synthase Inhibitors	48% EC	25	7-12
4. cyhalofop-butyl	ACCase Inhibitors	20% EC	150	15
5. profoxydim	ACCase Inhibitors	7.5% EC	121.88	12-15
6. propanil	Photosystem II Inhibitors	36% EC	2025	15

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

DAS = days after sowing, and EC = emulsifiable concentrate

ผลการทดลองและวิจารณ์ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกที่มี ต่อสารไพริเบนโซซิม

จากการประเมินความเป็นพิษของสารไพริเบนโซซิมด้วยสายตา ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า การใช้สารไพริเบนโซซิม ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ แสดงอาการได้รับพิษในระดับปานกลางถึงรุนแรง แม้ว่าจะใช้สารต่ำกว่าอัตราแนะนำก็ตาม โดยที่หญ้าข้าวนกจะแสดงอาการได้รับพิษเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในอัตรามากขึ้นและเวลานานขึ้น ในขณะที่หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อใช้สารระดับความเข้มข้นมากขึ้นจากอัตราแนะนำ 31.25 g a.i./ha จนถึง 250 g a.i./ha โดยที่ 7 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.00-2.55 เท่า (Figure 1A) จากนั้นที่ 10 วันหลังพ่นสาร พบว่า หญ้าข้าวนกข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.00-2.46 เท่า (Figure 1B) ในขณะที่ 14 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 2.76-2.86 เท่า (Figure 1C) ส่วนที่ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร แสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่า ใบโอโทปที่อ่อนแอ อยู่ในช่วง 1.76-2.57 เท่า (Figure 1D)

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตด้านความสูง ที่ 14 และ 21 วันหลังพ่นสาร พบว่า การใช้สารไพริเบนโซซิมในแต่ละอัตรากับหญ้าข้าวนกทั้งสองใบโอโทป มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การตอบสนองด้านความสูงจะลดลงตามอัตราการใช้สารที่สูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อได้รับสารไพริเบนโซซิม อัตรา 15.63 - 250

g a.i./ ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอมีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าใบโอโทปด้านทานสาร พบว่า ความสูงของหญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารไพริเบนโซซิมในอัตราสูงกว่าอัตราแนะนำ 125 และ 250 g a.i./ha ในขณะที่การใช้สารอัตราแนะนำ ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ มีความสูงลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารอัตรา 125 และ 250 g a.i./ha ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ มีความสูงลดลง 15.43 และ 10.46 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ 14 วันหลังพ่นสาร (Figure 2A) อย่างไรก็ตาม ที่ 21 วันหลังพ่นสาร หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ ไม่สามารถวัดความสูงได้หรือตาย เมื่อใช้สารในอัตราดังกล่าวข้างต้น (Figure 2B)

การตอบสนองต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสด ที่ 14 วันหลังพ่นสาร (Figure 3A) พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำ ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอและใบโอโทปด้านทานสาร มีน้ำหนักสด เท่ากับ 34.38 และ 83.08 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งใบโอโทปด้านทานสารมีน้ำหนักสดมากกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ เท่ากับ 2.42 เท่า เมื่อใช้สารอัตรา 62.35, 125 และ 250 g a.i./ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่าใบโอโทปที่อ่อนแอ เท่ากับ 2.46, 3.56 และ 4.38 เท่า ตามลำดับ ส่วนการสะสมน้ำหนักสดของหญ้าข้าวนกที่ 21 วันหลังพ่นสาร (Figure 3B) พบว่า การใช้สารอัตรา 15.63, 31.25 และ 62.50 g a.i./ha หญ้าข้าวนกใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักแห้งมากกว่า ใบโอโทปที่อ่อนแอเท่ากับ 1.63, 2.63 และ 4.78 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารในอัตรา 125 และ 250 g a.i./ha ทำให้หญ้าข้าวนกใบโอโทปที่อ่อนแอ ตาย ในขณะที่ใบโอโทปด้านทานสาร มีการสะสมน้ำหนักสด 57.27 และ 47.27 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

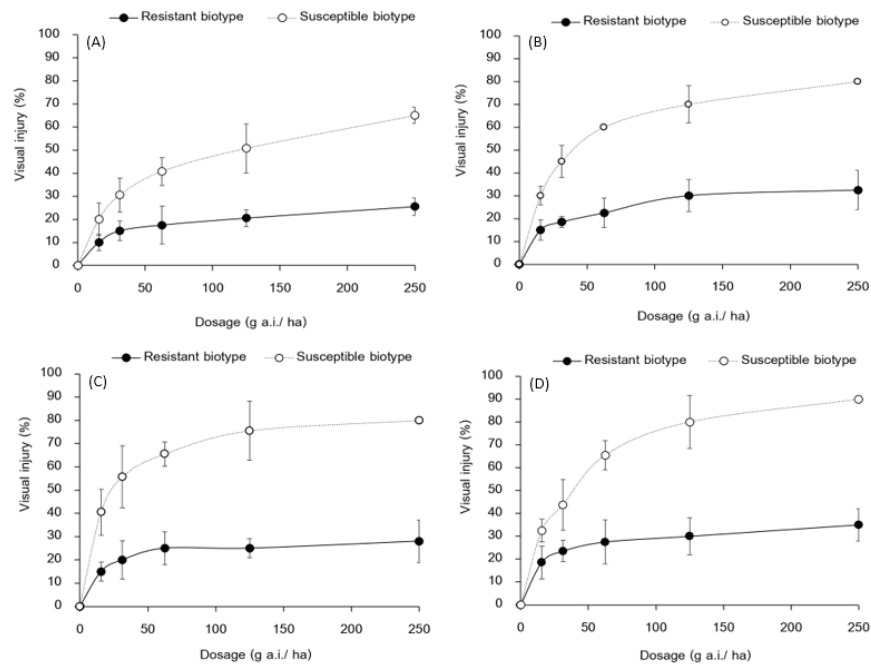


Figure 1 Visual injury of pyribenzoxim on susceptible- and resistant-biotypes at 7 (A), 10 (B), 14 (C) and 21 (D) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error ($n = 4$).

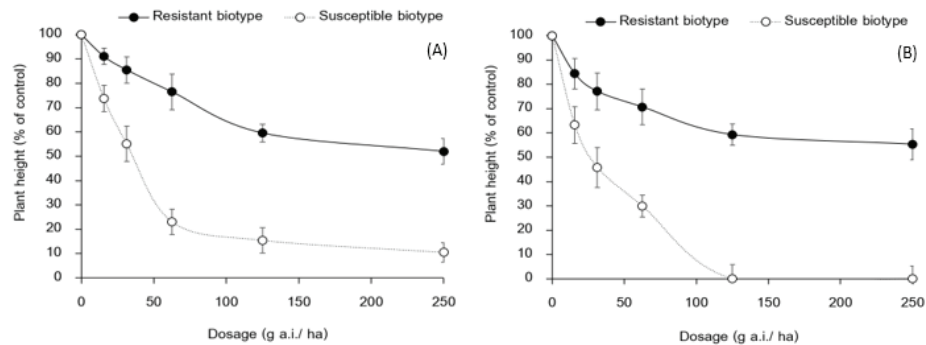


Figure 2 Effect of pyribenzoxim on plant height of susceptible- and resistant-biotypes at 14 (A) and 21 (B) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error ($n = 4$).

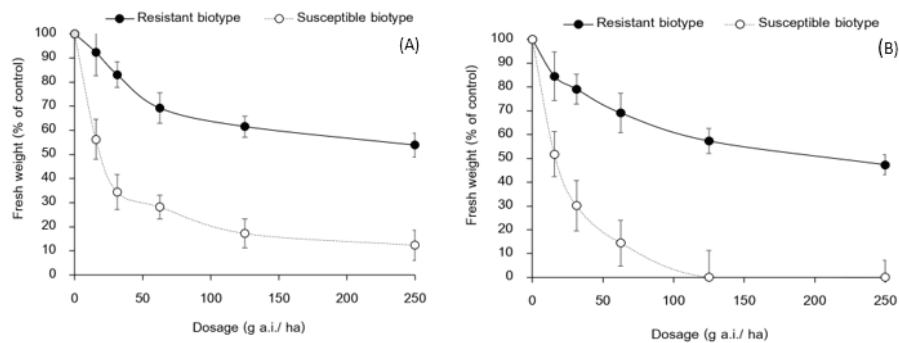


Figure 3 Effect of pyribenzoxim on fresh weight of susceptible- and resistant-biotypes at 14 (A) and 21 (B) days after application. Vertical bars represent the mean $\pm$ standard error ($n = 4$).

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทานสารจากอาการที่พืชได้รับพิษทั้งใบไอบีที่อ่อนแอและใบไอบีที่ต้านทานสาร ที่ 7 10 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า I_{50} เท่ากับ 38.29 40.02 52.14 และ 41.29 g a.i./ ha ตามลำดับ และใบไอบีที่ต้านทานสารมีค่า I_{50} เท่ากับ 1105.20 1235.50 1634.74 และ 1064.22 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานความเป็นพิษของสาร 28.90 25.70 31.39 และ 25.77 เท่า ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารจากความสูงที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า GR_{50} เท่ากับ 14.59 และ 19.91 g a.i./ ha และใบไอบีที่ต้านทานสาร มีค่า GR_{50} เท่ากับ 573.73 และ 795.30 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 39.52 และ 39.95 เท่า เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความต้านทานสารจากน้ำหนักสด ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่อ่อนแามีค่า GR_{50} เท่ากับ 21.41 และ 31.57 g a.i./ ha และใบไอบีที่ต้านทานสารมีค่า GR_{50} เท่ากับ 915.04 และ 1072.63 g a.i./ ha ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าดัชนีความต้านทานสาร 42.74 และ 33.98 เท่า (Table 2)

ความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม

การศึกษาความต้านทานสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่มของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน ไปยังสารโคลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ DOXP synthase) ไชฮาโลฟอป-บิวทิล และไพโรพอกซิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และไพโรพานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบแสง II) ซึ่งมีกลไกการเข้าทำลายพืชที่แตกต่างกัน (Table 1) พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสาร มีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล แต่ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล และไพโรพอกซิม

เมื่อพิจารณาจากระดับความเป็นพิษของหญ้าข้าวนกที่ 7 10 14 และ 21 วัน หลังจากได้รับสาร รวมทั้งพิจารณาจากความสูงและน้ำหนักสด ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร (Table 3) พบว่า การประเมินความเป็นพิษความสูง และน้ำหนักสดของสารกำจัดวัชพืชหลายกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยหลังจากได้รับสารไพโรพอกซิม และไพโรพานิล หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสาร แสดงอาการได้รับพิษมีการชะงักการเจริญเติบโต และตายไปในที่สุด ในขณะที่เมื่อ ได้รับสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล แสดงอาการเป็นพิษเล็กน้อย มีการชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก แต่สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ในเวลาต่อมา ดังนั้น การใช้สารชนิดนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารลดลง จากการประเมิน การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม ไปยังสารกลุ่มอื่น ๆ ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืชที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม มีการพัฒนาเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซน และไชฮาโลฟอป-บิวทิล อย่างไรก็ตาม หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานสารไพโรเบนโซซิม ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล และไพโรพอกซิม จากการศึกษาของ Kanan et al. (2020) พบว่า ประชากรหญ้าข้าวนก 24 ประชากร จาก 38 ประชากร เกิดความต้านทานสารพิน็อกซูแรม โดยที่การใช้สารในอัตราสูงกว่าอัตราแนะนำ (>20.2 g a.i./ ha) จึงจะสามารถทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งลดลง 50 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวน 14 ประชากร ใน 24 ประชากร ที่ต้านทานสารพิน็อกซูแรมสามารถต้านทานสารไพโรพอกซิมได้ ในขณะที่ Hwang et al. (2022) ได้ศึกษาหญ้าข้าวนกที่ต้านทานและอ่อนต่อสารในกลุ่มยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ได้แก่ ไชฮาโลฟอป-บิวทิล ฟิโนซาพโรป-เอทิล และควิซาโลฟอป-เอทิล พบว่าหลังพ่นสารไชฮาโลฟอป-บิวทิล และฟิโนซาพโรป-เอทิล หญ้าข้าวนกใบไอบีที่ต้านทานและอ่อนต่อสารมีอัตราส่วน

ความต้านทานต่อความอ่อนแอ เท่ากับ 7.9-14.4 ส่วนการพ่นสารและควิซาโลฟอป-เอทิล หญ้าข้าวนกมีอัตราโดยที่ไปโอโทปีที่ต้านทานมีอัตราส่วนความต้านทานต่อความอ่อนแอ เท่ากับ 2.4-3.1 ซึ่งหญ้าข้าวนกมีความต้านทานสารไซฮาโลฟอป-บิวทิลมากกว่า 1.6 เท่า หลังจากพ่นสาร 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า หญ้าข้าวนกเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงที่พบมากในนาข้าว สามารถปรับตัวต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชได้หลากหลายชนิดและหลายกลุ่ม โดยที่ Qiong *et al.* (2019) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสารกลุ่มที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เกิดความต้านทานไปยังสารควินคลอแรก ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการสังเคราะห์ cellulose นอกจากนี้ มงคล และคณะ (2565) รายงานว่า หญ้าข้าวนกต้านทานสารพิน็อกซูแรม สามารถเกิดความต้านทานสารข้ามไปยังสารบิสไพริเบค-โซเดียม ไพริเบนซอกซิม และไตรอะฟาโมน ซึ่งเป็นสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าหญ้าข้าวนกไปโอโทปีสามารถต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารควินคลอแรก (สารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอริโมนพืช) ไพริฟอกซิมและเมทามิฟอป (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) และไพริพานิล (สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ระบบแสง II) ซึ่งแตกต่างไปจากงานวิจัยที่มีการใช้สารไพริพานิล ในอัตราแนะนำ 2,025 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดหญ้าข้าวนก ทำให้หญ้าข้าวนกตาย 100 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกันที่เกษตรกร

นิยมนำมาใช้ในการควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว โดยพิจารณาจากการตอบสนองทางด้าน สรีรวิทยาของหญ้าข้าวนกไปโอโทปีที่ต้านทานสาร เมื่อพิจารณาที่ระดับค่า I_{50} และ GR_{50} จากที่อัตราแนะนำของสารกำจัดวัชพืช แต่ละชนิด (Table 3) พบว่า หญ้าข้าวนกไปโอโทปีที่ต้านทานสารได้รับความเป็นพิษจากการใช้สารไพริพานิลมากที่สุด ส่งผลทำให้ มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงและน้ำหนักแห้ง มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สารไพริฟอกซิม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารดังกล่าวนี้ ในอัตราแนะนำ (หรือการใช้สารในอัตราที่มากกว่า) ทำให้ไม่สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารโคลมาโซนและไซฮาโลฟอป-บิวทิล ที่มีการนำมาใช้สำหรับควบคุมหญ้าข้าวนกในนาข้าว ดังนั้น แนวทางการเปลี่ยนชนิดของสารกำจัดวัชพืชที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งของสารภายในพืชที่แตกต่างกัน และการหลีกเลี่ยงไม่ใช้ สารกำจัดวัชพืชชนิดเดิมซ้ำ ๆ ติดต่อกันในพื้นที่เดียวกันเป็นเวลานาน เป็นวิธีการป้องกันและการจัดการวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืช นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับการเปลี่ยนชนิดสารกำจัดวัชพืช เช่น การปลูกพืชหมุนเวียน เนื่องจากวัชพืชที่ขึ้นในแปลงจะเปลี่ยนไปตามชนิดของพืชปลูก หรือการเกษตรกรรมที่มีการลดการใช้สารกำจัดวัชพืช โดยใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรในการกำจัดวัชพืช ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถแนะนำเป็นแนวทางให้เกษตรกรเลือกใช้สารกำจัดวัชพืชได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และนำมาใช้ในการควบคุมและป้องกันการแพร่ระบาดของประชากรหญ้าข้าวนกต้านทานสารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ALS ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Table 2 Resistance index levels of barnyardgrass populations to pyribenzoxim.

Biotypes of barnyard grass	Visual injury (I_{50})				Plant height (GR_{50})		Fresh weight (GR_{50})	
	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
Resistant-biotypes	1105.20	1235.50	1634.74	1064.22	573.73	795.30	915.04	1072.63
Susceptible-biotypes	38.29	48.02	52.12	41.29	14.59	19.91	21.41	31.57
Resistance index	28.90	25.70	31.39	25.77	39.32	39.95	42.74	33.98

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

Table 3 Multiple-resistance of pyribenzoxim barnyardgrass resistant to the other herbicides mechanism of action.

	Visual injury (%)				Plant height (cm)		Fresh weight (g)	
	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA	7 DAA	10 DAA	14 DAA	21 DAA
1. Control	0 f	0 f	0 f	0 f	22.1 a	29.3 a	0.87 a	1.00 a
2. pyribenzoxim	25.0 de	30.0 d	30.5 e	25.0 d	17.2 b	25.0 c	0.33 c	0.55 c
3. clomazone	30.0 cd	30.5 d	40.0 d	27.5 d	17.4 b	24.1 c	0.30 c	0.67 bc
4. cyhalofop-butyl	35.0 c	54.0 c	47.5 c	37.5 c	17.5 b	27.0 b	0.43 b	0.63 bc
5. profoxydim	52.5 b	67.5 b	75.0 d	65.0 b	12.8 c	19.3 d	0.15 d	0.20 d
6. propanil	90.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	0.0 d	0.0 e	0.0 e	0.0 d
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	13.6	8.6	9.5	10.3	4.6	3.6	4.5	2.1

DAA = Day after application

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

สรุป

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าข้าว
นกโบไอบีต้านทานสารและโบไอบีที่อ่อนแอต่อ
สารไพริเบนโซซิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
ALS) เมื่อพิจารณาจาก I_{50} จากระดับความเป็นพิษ
และ GR_{50} จากความสูงและน้ำหนักสด พบว่า หญ้า
ข้าวนกโบไอบีต้านทานสารมีค่าดัชนีความต้านทาน
สารสูงกว่าโบไอบีที่อ่อนแอมากถึง 31.43-62.36 เท่า
จากนั้น ศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้า
ข้าวนกโบไอบีต้านทานสารไปยังสารในกลุ่มอื่น ๆ
ที่มีตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในการยับยั้งภายในพืช
ที่แตกต่างกัน พบว่า หญ้าข้าวนกโบไอบีต้านทาน
สารมีวิวัฒนาการเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่ม
ไปยังสาร โคโลมาโซน (สารที่ยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ DOXP synthase) และไซฮาโลฟอป-บิวทิล
(สารที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase) แต่ไม่
เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารไพโรพานิล
(สารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ระบบ
แสง II) และไพพรอกซิดิม (สารที่ยับยั้งการทำงานของ
เอนไซม์ ACCase) จึงทำให้มีประสิทธิภาพใน
การควบคุมหญ้าข้าวนกโบไอบีต้านทานสาร
ไพริเบนโซซิมได้ตามอัตราแนะนำ ดังนั้น ควรแนะนำ
ให้เกษตรกรมีการสลับเปลี่ยนหมุนเวียนไปใช้สาร
ไพโรพานิล และไพพรอกซิดิม เพื่อควบคุมและ
ลดจำนวนประชากรของหญ้าข้าวนกโบไอบี
ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ดาราหมาน, จำเนียร ชมภู และทศพล
พรพรม. 2565. การเกิดความต้านทานสาร
กำจัดวัชพืชหลายกลุ่มในประชากรหญ้าแดง
ต้านทานสารไพริเบนโซซิมในนาข้าว.
วารสารเกษตร 38(1): 63-75.
- มงคล ศรีเพียงจันทร์, จำเนียร ชมภู และทศพล
พรพรม. 2565. ทางเลือกการใช้สารกำจัด
วัชพืชในการจัดการหญ้าข้าวนกต้านทาน
สารฟีนอกซีแลมในนาข้าว. เกษตร
50(3): 760-771.
- วัชรามณฑาทิพย์, จำเนียร ชมภู และทศพล พรพรม.
2560. หญ้าแดง (*Ischaemum rugosum*
Salisb.) ต้านทานต่อสารปีสไพริเบค-
โซเดียมในข้าวนาหว่านน้ำตม. หน้า 933-
946. ใน: การประชุมวิชาการอรัญวิทยา
แห่งชาติ ครั้งที่ 13 ณ โรงแรมเรือรัฐฯ, ตรัง.
- พิสิฐ พรหมนารถ, อาทิตย์ กุคำ, ปัญญา ร่มเย็น,
สุรพล จตุพร, นิตยา รื่นสุข, สำนัญ อินแถลง,
เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม, อมรรัตน์ อินทร์มัน
และพีระ ดุงสูงเนิน. 2550. คู่มือการป้องกัน
กำจัดวัชพืชในนาข้าว. โรงพิมพ์ชุมนุม
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด,
กรุงเทพมหานคร. 87 หน้า.
- สุตานันท์ โพธิ์สวัสดิ์, สุรพล อินทากานันท์, จำเนียร
ชมภู และทศพล พรพรม. 2558. การศึกษา

- หญ้าข้าวนกด้วนทานสารปีสไฟรีแบค-ไฮเดียมในนาหว่านน้ำตม. หน้า 116-117. ใน: การประชุมวิชาการอารักขาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 12. ณ โรงแรมดุสิตไฮสแลนด์ รีสอร์ท, เชียงราย.
- Borah, D. 2023. Different methods of weed management. *AgroScience Today* 4(9): 660-662.
- 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.
- Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. (Online). Available Source: <http://www.R-project.org> (November 1, 2024).
- Heap, I. 2024. The international herbicide-resistant weed database. (Online): Available Source: <http://www.weedscience.org> (November 1, 2024).
- Hwang, J.-I., J.K. Norsworthy, F. González-Torralva, L.B. Piveta, L.T. Barber and T.R. Butts. 2022. Cross-resistance of barnyardgrass [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.] to aryloxyphenoxypropionate herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 184: 105089, doi: 10.1016/j.pestbp.2022.105089.
- Kacan, K., N. Tursun, H. Ullah and A. Datta. 2020. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.) resistance to acetolactate synthase-inhibiting and other herbicides in rice in Turkey. *Plant, Soil and Environment* 66(7): 357-365.
- Maneechote, C., S. Samanwong, X.-Q. Zhang and S.B. Powles. 2005. Resistance to ACCase-inhibiting herbicides in sprangletop (*Leptochloa chinensis*). *Weed Science* 53(3): 290-295.
- Phinyosak, R. and T. Pornprom. 2017. Resistance of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl populations to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. In: 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 in conferring resistance to fenoxaprop-P-ethyl in Chinese sprangletop (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees). *Pest Management Science* 62(11): 1109-1115.
- Qiong, P., H. Heping, Y. Xia, B. Lianyang, Y. Qin and S.B. Powles. 2019. Quinclorac resistance in *Echinochloa crus-galli* from China. *Rice Science* 26(5): 300-308.
- Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology* 33(3): 339-347.
- 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, X.L., Z.Y. Zhang, X.M. Xu and G. Li. 2019. The density of barnyard grass affects photosynthesis and physiological characteristics of rice. *Photosynthetica* 57(2): 705-711.