

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดโรคและพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการเกิดโรค
เพื่อจำแนกระดับความรุนแรงของโรคใบไหม้แมลงใหญ่

Comparative Analysis of Percentage Disease Index and Area Under the Curve for
Classifying Northern Corn Leaf Blight Severity

ธีรวุฒิ วงศ์วรรตน์^{1/*} เชาวนาถ พฤทธิเทพ^{2/} สุวรา วุฒิอำพล^{3/} ภาณุวัฒน์ ศิลปศักดิ์ขจร^{3/}
Theerawut Wongwarat^{1/*} Chaowanart Phruetthithep^{2/} Suwara Wutthiaumphon^{3/}
Panuwat Sinlapasakkajohn^{3/}

Received 14 Mar. 2025/Revised 29 Apr. 2025/Accepted 7 May 2025

ABSTRACT

Northern corn leaf blight (NCLB, *Exserohilum turcicum*) is one of the most significant foliar diseases of maize, directly affecting sweet corn yield. Accurate assessment of disease severity is essential for screening resistant lines. This study compared the effectiveness of the percentage disease index (PDI) and the area under a disease progress curve (AUDPC) in evaluating the severity of NCLB in sweet corn. The experiment was conducted on the sixth generation (S_6) of self-pollinated hybrid sweet corn at the Chiang Mai Field Crops Research Center from December 2021 to February 2022. *E. turcicum* was artificially inoculated, and PDI was assessed at two time points: 28 and 55 days after planting (DAP). The AUDPC was then calculated and analyzed using the receiver operating characteristic (ROC) curve and Youden index to determine the critical threshold for disease severity classification. The correlation analysis revealed that PDI at 28 DAP was unsuitable for classifying disease severity, whereas PDI at 55 DAP and AUDPC based on observations at both 28 and 55 DAP showed a statistically significant correlation. Furthermore, the threshold value determined by AUDPC, in conjunction with ROC curve and Youden index was 910.88, with an area under the ROC curve (AUC) of 1, indicating highly accurate discrimination between resistant and susceptible sweet corn genotypes. Therefore, AUDPC combined with ROC curve and Youden's index was more effective and reliable than using PDI at 55 DAP alone and can serve as a valuable tool in future research on breeding sweet corn resistant to NCLB.

Keywords: sweet corn; northern corn leaf blight; disease severity

^{1/} ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000

^{1/} Khon Kaen Field Crops Research Center, Mueang, Khon Kaen 40000, Thailand

^{2/} สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

^{2/} Field and Renewable Energy Crops Research Institute, Phahonyothin Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

^{3/} ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท อ. สรรพยา จ. ชัยนาท 17150

^{3/} Chai Nat Field Crops Research Center, Sapphaya, Chai Nat 17150, Thailand

* Corresponding author: theerawut6949@gmail.com

บทคัดย่อ

โรคใบไหม้แผลใหญ่ (*Exserohilum turcicum*) เป็นหนึ่งในโรคทางใบที่สำคัญของข้าวโพด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน การประเมินความรุนแรงของโรคอย่างถูกต้องมีความจำเป็นต่อการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานโรค การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของค่าดัชนีการเกิดโรค (PDI) และพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการเกิดโรค (AUDPC) ในการจำแนกระดับความรุนแรงของโรคใบไหม้แผลใหญ่ในข้าวโพดหวาน โดยดำเนินการศึกษาในข้าวโพดลูกผสมตัวเองชั่วที่ 6 (S₆) ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ระหว่างเดือน ธ.ค. 2564 ถึง ก.พ. 2565 ทำการปลูกเชื้อรา *E. turcicum* และประเมินค่า PDI 2 ครั้ง คือ ที่ 28 วัน และ 55 วันหลังปลูก จากนั้นคำนวณค่า AUDPC ร่วมกับกราฟเส้นโค้ง ROC curve และดัชนี Youden เพื่อกำหนดจุดวิกฤต พบว่า ค่า PDI ที่ 28 วันหลังปลูก ไม่เหมาะสมสำหรับการจำแนกระดับความรุนแรงของโรค ขณะที่ค่า PDI ที่ 55 วันหลังปลูก และค่า AUDPC ที่ 28 และ 55 วันหลังปลูกมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถกำหนดค่าวิกฤตที่ 910.88 และค่าพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้ง (AUC) เท่ากับ 1 ซึ่งบ่งชี้ว่าสามารถจำแนกสายพันธุ์ข้าวโพดหวานที่มีระดับต้านทานและอ่อนแอต่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น วิธีการนี้จึงน่าเชื่อถือและเหมาะสมมากกว่าการใช้ค่า PDI ที่ 55 วันหลังปลูกเพียงอย่างเดียว และสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนงานด้านการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานต้านทานโรคได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน; โรคใบไหม้แผลใหญ่; ระดับความรุนแรงของโรค

บทนำ

โรคใบไหม้แผลใหญ่ (northern corn leaf blight; NCLB) เป็นโรคทางใบที่สำคัญของข้าวโพดมีสาเหตุมา

จากเชื้อรา *Exserohilum turcicum* (Pass.) K.J. Leonard and E.G. Suggs พบครั้งแรกในพื้นที่ปลูกข้าวโพดของประเทศอิตาลีเมื่อปี พ.ศ. 2419 (Atac, 1984) ความรุนแรงของโรค NCLB ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิต ประชากรข้าวโพดหวานที่มีการแสดงอาการระดับอ่อนแอต่อโรค NCLB 51-100% ส่งผลให้น้ำหนักฝักสดรวมเปลือกลดลงจาก 1,481 เป็น 1,331 กก./ไร่ (เขาวานถและคณะ, 2560) มีรายงานในประเทศอาร์เจนตินา พบว่า ความรุนแรงของโรค NCLB ที่เพิ่มขึ้นทุก 1% ส่งผลให้ผลผลิตลดลงเฉลี่ย 3.2 กก./ไร่ โดยค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ความเสียหายทางเศรษฐกิจ (economic damage thresholds) อยู่ที่ 1.09% ขณะที่ค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ความเสียหายที่ต้องจัดการ (action damage threshold) อยู่ที่ 0.88% ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจเฉลี่ย 2,472-7,117 บาท/ไร่ (De Rossi et al., 2022)

การประเมินความรุนแรงของโรค NCLB จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนจัดการโรคอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการใช้สารป้องกันกำจัดโรคพืช การคัดเลือกพันธุ์ และการบริหารจัดการโรคที่เหมาะสม โดยทั่วไปสามารถประเมินได้จากค่าดัชนีการเกิดโรค (percentage disease index, PDI) เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ และสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระดับความรุนแรงของโรค ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยอ้างอิงค่าที่ได้จาก PDI ตามมาตราส่วนลำดับ (ordinal scale) ซึ่งพิจารณาจากอาการของโรคที่ปรากฏบนพืช (Willoquet et al., 2023) อาการของโรคสามารถตรวจพบได้ทุกช่วงการเจริญเติบโต โดยเฉพาะช่วงท้าย ๆ ของระยะเจริญเติบโตทางลำต้นต้นข้าวโพดหวานอ่อนแอต่อโรคสูง เชื้อรา *E. turcicum* สามารถเข้าทำลายเซลล์พืชได้หลังจากการงอกของคอนิเดีย (Levy and Cohen, 1983) ทำให้เกิดแผลไหม้ หรือแผลเนื้อเยื่อตาย (necrosis lesions) บนใบ ลักษณะของแผลเป็นรูปกระสวย สีฟางหรือ

สีน้ำตาล และมีขอบแผลสีเหลือง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง และกระทบต่อการพัฒนาการของช่อดอกตัวผู้ (Stangarlin et al., 2022) เมื่อเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ต้นข้าวโพดหวานอ่อนแอต่อโรคสูงพบแผลไหม้ขนาดใหญ่ และอาจส่งผลให้ต้นเหี่ยวตาย ขณะที่ต้นข้าวโพดหวานที่อ่อนแอต่อโรคปานกลาง มักมีอาการแคระแกร็นและพัฒนาการของเมล็ดลดลง ส่งผลให้ผลผลิตลดลงมากกว่า 50% (Setyawan et al., 2016)

Min et al. (2012) ได้ประเมินความรุนแรงของโรค NCLB หลังการปลูกเชื้อรา *E. turcicum* 1 ครั้งเมื่อข้าวโพดอายุ 60 วัน ซึ่งเป็นระยะออกดอกและจำแนกระดับความรุนแรงของโรคเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ต้านทานโรคสูง (highly resistant) เกิดโรค 0-3% ต้านทานโรค (resistant) เกิดโรค 4-10% ต้านทานโรคปานกลาง (moderately resistant) เกิดโรค 11-30% อ่อนแอต่อโรคปานกลาง (moderately susceptible) เกิดโรค 31-70% และอ่อนแอต่อโรคสูง (highly susceptible) เกิดโรค มากกว่า 70% อย่างไรก็ตาม เซวานาและคณะ (2560) ได้ประเมินความรุนแรงของโรคหลังการปลูกเชื้อรา 2 ครั้ง ที่อายุ 28 และ 55 วันหลังปลูก ในข้าวโพดหวานลูกผสม 36 สายพันธุ์ พบว่า การประเมินที่อายุ 28 วัน ข้าวโพดหวานทุกสายพันธุ์มีความต้านทานต่อโรคปานกลาง แต่เมื่ออายุ 55 วัน ข้าวโพดหวานทุกสายพันธุ์กลับอ่อนแอต่อโรคระดับปานกลาง ยกเว้น 2 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ CH66C1)-9-311211/HX75C1)-17-221111 และ CH66C1)-9-311211/HX75C1)-8-122111 มีการเกิดโรคต่ำกว่าพันธุ์การค้า (40.9 และ 44.4% ตามลำดับ) สะท้อนให้เห็นว่าการประเมิน 1 ครั้ง อาจไม่เพียงพอ ดังนั้น การคำนวณพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการของโรค (area under the disease progress curve, AUDPC) จากการประเมินโรคหลายครั้ง จึงเหมาะสำหรับการประเมินความรุนแรงของโรคใน

ระดับภาคสนาม ช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูล และให้ข้อมูลที่แม่นยำเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคและพัฒนาการของโรคในพืช (Jeger and Viljanen-Rollinson, 2001)

แม้ AUDPC สามารถสะท้อนความรุนแรงของโรคตลอดช่วงการเจริญเติบโต แต่ AUDPC เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอสำหรับกำหนดเกณฑ์การจำแนก เนื่องจากไม่สามารถระบุค่าจุดตัด (threshold point) ที่เหมาะสมได้ ดังนั้น จึงใช้การวิเคราะห์กราฟเส้นโค้ง (receiver operating characteristic curve, ROC curve) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ AUDPC ในการจำแนก (Ruopp et al., 2008) โดยมีดัชนี Youden (Youden index) กำหนดจุดตัดที่สมดุลระหว่างค่าความไว (sensitivity) และค่าจำเพาะ (specificity) (Li et al., 2013) สำหรับการจำแนกความรุนแรงของโรคระดับทวิภาค (binary classification) ตามเกณฑ์ที่กำหนด (Lobo et al., 2008) กล่าวคือ ค่า AUDPC ต่ำ บ่งชี้ถึงความต้านทานโรค ขณะที่ค่า AUDPC สูง บ่งชี้ถึงอ่อนแอต่อโรค การใช้ AUDPC ควบคู่กับ ROC curve และดัชนี Youden จะได้ค่าพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้ง (area under the ROC curve, AUC) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแม่นยำของการจำแนก โดยค่า AUC ที่ใกล้ 1 แสดงถึงความสามารถในการจำแนกที่แม่นยำสูงสุด และช่วยกำหนดค่าวิกฤตที่ดีที่สุด (Corbacioğlu and Akse, 2023) สำหรับการจำแนกสายพันธุ์ระดับต้านทานโรคและอ่อนแอต่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าดัชนีการเกิดโรคและพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการเกิดโรค ในการจำแนกระดับความรุนแรงของโรค NCLB เพื่อสนับสนุนงานด้านการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานต้านทานโรค NCLB ของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมเชื้อรา *E. turcicum*

เก็บตัวอย่างใบข้าวโพดหวานที่แสดงอาการของแผลไหม้ของโรค NCLB ช่วงเดือน ก.พ. 2565 ที่มักพบอาการแผลไหม้รุนแรง จากแหล่งปลูกข้าวโพดหวานไร่เกษตรกร จ. เชียงใหม่ นำมาแยกเชื้อราโดยวิธี tissue transplanting และเลี้ยงเพิ่มปริมาณที่ห้องปฏิบัติการโรคพืช ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท จากนั้นทำการเลี้ยงเชื้อราบนอาหาร potato dextrose agar ก่อนย้ายลงบนเมล็ดข้าวฟ่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ แล้วนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25° ซ. จนเชื้อราเจริญเติบโตเต็มที่

2. การเตรียมตัวอย่างข้าวโพดหวาน

ปลูกข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเองชั่วที่ 6 แบ่งเป็น 2 ประชากร ได้แก่ CH66C1 38 สายพันธุ์ และ HX75C1 46 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นเชื้อพันธุ์กรรมสำหรับสร้างลูกผสมข้าวโพดหวานรุ่นใหม่ (ฉลองและคณะ, 2567) นอกจากนี้ มีข้าวโพดหวานลูกผสมสายพันธุ์การค้า 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กวก. สงขลา84-1 (DOA Song KLa84-1) อินทรี 2 (Insee2) ไฮบริกซ์ 3 (Hibrix3) ไฮบริกซ์59 (Hibrix59) ซูการ์75 (Sugar75) หวาน1351 (Wan1351) หวาน1796 (Wan1796) และ หวาน56 (Wan56) เป็นสายพันธุ์เปรียบเทียบ

ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ระหว่างเดือน ธ.ค. 2564 ถึง ก.พ. 2565 โดยปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ไฮบริกซ์3 (อ่อนแอต่อโรค) เป็นแถวคู่อ้อมรอบแปลงทดสอบเพื่อเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อ เมื่อมีอายุ 3 สัปดาห์ ทำการปลูกเชื้อราโดยหยอดเมล็ดข้าวฟ่างที่มีเชื้อราเจริญปกคลุมเต็มที่ลงบนยอดต้นข้าวโพดหลังจากปลูกเชื้อรา 2 สัปดาห์ จึงปลูกสายพันธุ์ทดสอบและสายพันธุ์เปรียบเทียบ ในแถวถัดจากต้นข้าวโพดที่แสดงอาการของโรค NCLB วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ 3 ซ้ำ ขนาดหน่วยทดลอง 20 ต้น ยกร่องปลูกเป็นแถวคู์ แถวยาว 2.5 ม. ระยะปลูก 75x20 ซม. 1 ต้น/หลุม ดูแลรักษาตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2565)

3. การประเมินระดับความรุนแรงของโรค

3.1 การประเมินดัชนีการเกิดโรค

ประเมินพื้นที่ใบเป็นโรค NCLB เมื่อข้าวโพดหวานอายุ 28 วัน (PDI_28DAP) ซึ่งอยู่ในระยะ V6 (ระยะพัฒนาช่อดอกตัวผู้) และเมื่ออายุ 55 วันหลังปลูก (PDI_55DAP) ซึ่งอยู่ในระยะ R1 (ระยะออกไหม) โดยนักวิชาการเกษตร 3 คนแยกอิสระกัน ภายใต้เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของโรค 1-9 คะแนน ตาม Hurni et al. (2015) (Table 1)

Table 1 Scoring of northern corn leaf blight incidence useful for assessing corn

Score	Phenotype
1	Plants do not show disease symptoms
2	First small lesion appears on few plants per row and occupies less than 5% of leaf surface
3	Many plants per row present in one leaf level lesions occupying 5-10%
4	Many plants per row present in several leaf level lesions occupying 10-20%
5	Lesions occupying 20-40% of the leaf and start to merge
6	Lesions occupying 40-60% of the leaf surface
7	Lesions occupying 60-80%. Half of the leaf is dry due to disease infection
8	Lesions occupying 80-90%. More than half of the leaf is dry due to disease infection
9	Lesions occupying 90-100%. Nearly the whole plant is dry due to disease infection

ค่าคะแนนที่ได้แต่ละต้นนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีการเกิดโรค ตามวิธีของ Wheeler (1969) จากสูตร 1

$$PDI (\%) = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับความรุนแรงของโรค \times จำนวนต้นที่พบในแต่ละระดับ)}}{(\text{จำนวนต้นทดสอบทั้งหมด} \times \text{คะแนนระดับความรุนแรงโรคสูงสุด})} \times 100 \quad (1)$$

ความรุนแรงเฉลี่ยของโรคแต่ละสายพันธุ์
จำแนกโดยค่า PDI อาศัยเกณฑ์ของ Min et al. (2012)
ดัดแปลงจาก 5 ระดับ ปรับเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ค่า PDI
0-30% บ่งชี้สายพันธุ์/พันธุ์ที่มีระดับต้านทานต่อโรค และ
ค่า PDI 31-100% บ่งชี้สายพันธุ์ที่มีระดับอ่อนแอต่อโรค

3.2 การคำนวณค่าพื้นที่ใต้กราฟพัฒนาการเกิดโรค

ค่า AUDPC_28_55DAP คำนวณตามวิธีของ
Campbell and Madden (1990) ที่ประเมินอาการ
เริ่มต้นที่ 28 และสิ้นสุดที่ 55 หลังปลูก จากสูตร 2

$$AUDPC = \sum \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

โดยที่ y_i = ระดับความรุนแรงของโรคที่ 28 วัน
 y_{i+1} = ระดับความรุนแรงของโรคที่ 55 วัน
 t_{i+1} = ประเมินโรคเมื่อวันที่ 55 วัน
 t_i = ประเมินโรคเมื่อวันที่ 28 วัน

3.3 การวิเคราะห์กราฟ ROC curve ใช้เพื่อ
ประเมินความแม่นยำของตัวแปรที่ใช้จำแนกระดับ
ความรุนแรงของโรค โดยในงานวิจัยนี้ได้จำแนก
สายพันธุ์/พันธุ์ข้าวโพดหวานออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม

ต้านทานต่อโรคและกลุ่มอ่อนแอต่อโรค แล้วใช้ค่า
ดัชนี Youden (Youden index; J) เพื่อหาค่าจุดตัด
ที่เหมาะสม (Fkih and Omri, 2012) จากสูตร 3

$$J = [\text{ค่าความไว (sensitivity)} + \text{ค่าจำเพาะ (specificity)}] - 1 \quad (3)$$

โดยที่ ค่าความไว = $TP / (TP + FN)$

ค่าจำเพาะ = $TN / (TN + FP)$

TP (true positive) = ประเมินโรคพบว่าเป็นโรค และเป็นโรคจริง

TN (true negative) = ประเมินโรคพบว่าเป็นโรค และไม่เป็นโรคจริง

FP (false positive) = ประเมินโรคพบว่าเป็นโรค แต่ไม่ปรากฏว่าเป็นโรคจริง หรือ ผลบวกกลาง

FN (false negative) = ประเมินโรคพบว่าเป็นโรค แต่ปรากฏว่าเป็นโรคจริง หรือ ผลลบกลาง

4. การวิเคราะห์สถิติ

4.1 การจัดกลุ่มสายพันธุ์ตามระดับความ
รุนแรงของโรค NCLB: ค่า PDI_28DAP PDI_55DAP
และ AUDPC_28_55DAP ปรับให้อยู่ในช่วง 0-1 (normalize)
โดย 0 หมายถึง ด้านทานสูงสุดต่อโรค NCLB ขณะที่ 1
หมายถึง อ่อนแอต่อโรคสูงสุด จากนั้นจัดกลุ่มแบบลำดับ

ชั้นด้วยวิธี Ward's linkage และคำนวณระยะห่างระหว่าง
ข้อมูลด้วย Euclidean distance แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบ
ของแผนภาพ heatmap

4.2 การทดสอบไคสแควร์: ทดสอบความเป็น
อิสระในการจำแนกระดับความต้านทานของข้าวโพด
หวานที่ได้จาก PDI และ AUDPC โดยเปรียบเทียบค่า

สังเกตกับค่าคาดหวัง ใช้การทดสอบข้อมูลจำแนก 2 ทาง หรือตารางการถัวขนาด 2x2 โดยกำหนดตัวแปรที่ 1 (row) เป็นกลุ่มสายพันธุ์ที่จัดจำแนกด้วยค่า AUDPC_28_55DAP และตัวแปรที่ 2 (column) เป็นกลุ่มสายพันธุ์ที่จัดจำแนกด้วยค่า PDI_55DAP การคำนวณค่าไคสแควร์ทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าสังเกตและค่าคาดหวัง ตามวิธีของ Rahman et al. (2025)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การประเมินดัชนีการเกิดโรคและการจำแนก ระดับความรุนแรง

1.1 ดัชนีการเกิดโรค

ค่า PDI_28DAP และ PDI_55DAP พบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าระดับความรุนแรงของโรคมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน PDI_28DAP มีค่า 2.6-58.3% ส่วน PDI_55DAP มีค่า 25.3-64.5%

1.2 การจำแนกระดับความรุนแรงของโรค ด้วยค่า PDI

การจำแนกระดับความรุนแรงของโรค NCLB ด้วยค่า PDI_28DAP พบว่า ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเอง ช่วงที่ 6 จำแนกให้อยู่ในกลุ่มต้านทานต่อโรค 65 สายพันธุ์ มีค่า PDI ระหว่าง 13.8-29.7% สายพันธุ์เปรียบเทียบ มี 2 สายพันธุ์ PDI ระหว่าง 2.6-26.2% ขณะที่กลุ่มอ่อนแอต่อโรค ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเอง ช่วงที่ 6 มี 19 สายพันธุ์ ค่า PDI ระหว่าง 30.3-53.8% และสายพันธุ์เปรียบเทียบมี 6 สายพันธุ์ มีค่า PDI ระหว่าง 32.2-58.3% ส่วนค่า PDI_55DAP พบว่า ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเอง ช่วงที่ 6 จัดอยู่ในกลุ่มต้านทาน 8 สายพันธุ์ มีค่า PDI ระหว่าง 25.3-30.0% ขณะที่กลุ่มอ่อนแอ ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเอง ช่วงที่ 6 มี 19 สายพันธุ์ ค่า PDI ระหว่าง 31.3-55.4% และสายพันธุ์เปรียบเทียบทั้ง 8 สายพันธุ์ มีค่า PDI ระหว่าง 44.8-64.5% แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะ

เวลาการเกิดโรคนานขึ้น ค่า PDI ของทุกสายพันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สะท้อนถึงพัฒนาการและการลุกลามของโรคในระยะ R1 ซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีความไวต่อการติดเชื้อสูง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากพันธุกรรมและปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการสะสมการเกิดโรค โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงนาน 6 ชม. ช่วยให้เชื้อรา *E. turcicum* เจริญเติบโตและเข้าทำลายสู่ต้นข้าวโพดได้ง่ายขึ้น (Levy and Pataky, 1992; Smith et al., 2004)

1.3 การจำแนกระดับความรุนแรงของโรค โดยวิธีใช้ AUDPC ร่วมกับ ROC curve และดัชนี Youden

ค่า AUDPC_28_55DAP พบว่า ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเอง ช่วงที่ 6 มีค่าอยู่ในช่วง 566-1,529 ส่วนสายพันธุ์เปรียบเทียบอยู่ในช่วง 664-1,722 การวิเคราะห์ ROC curve ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวและอัตราผลบวกлож โดย AUC มีค่า 1 แสดงถึงความแม่นยำสูง (Figure 1) ดัชนี Youden มีค่า 910.88 ซึ่งหมายความว่า $AUDPC < 910.88$ บ่งชี้ว่าสายพันธุ์นั้นอยู่ในกลุ่มต้านทานต่อโรค ขณะที่ค่า $AUDPC \geq 910.88$ อยู่ในกลุ่มอ่อนแอ โดยที่ค่าความไวและค่าความจำเพาะที่ได้อยู่ในระดับสูง แสดงว่าจุดตัดนี้มีประสิทธิภาพในการจำแนกสายพันธุ์ต้านทานโรคและอ่อนแอต่อโรคได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ Corbacioglu and Aksel (2023) ที่ระบุว่า $AUC > 0.80$ แสดงถึงความสามารถในการจัดจำแนกได้ดี และค่า $AUC = 1.00$ แสดงว่าเป็นการจัดจำแนกได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ Thapa et al. (2020) รายงานว่า การใช้ค่า AUDPC ร่วมกับการวิเคราะห์ ROC curve จากข้อมูลภาพถ่าย สามารถจำแนกโรคทางใบได้อย่างแม่นยำถึง 97% แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการวิเคราะห์รูปแบบนี้ ขณะที่ Hajian-Tilaka (2018) ได้อธิบายว่าจุดตัดที่เหมาะสมที่สุด

คือ จุดที่มีความไวสูง ใกล้ 1 และผลบวกหลง ใกล้ 0 ส่วนค่า AUC ที่มากกว่า 0.5 ถือว่าจำแนกได้ดี โดยเฉพาะ $AUC > 0.8$ ถือว่ามีประสิทธิภาพสูง และ $AUC = 1.0$ แสดงถึงการจำแนกได้อย่างสมบูรณ์แบบ (Yang and Berdine, 2017)

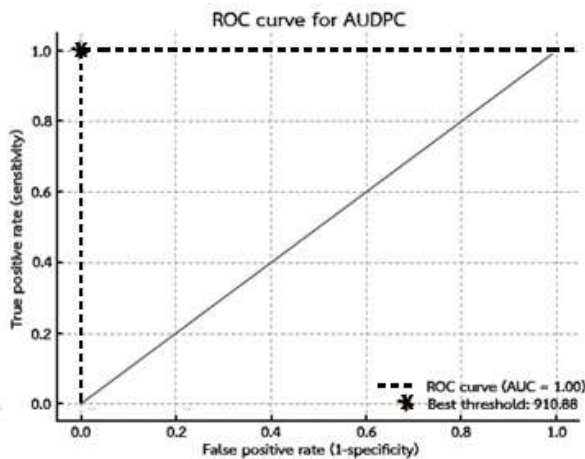


Figure 1 Receiver operating character (ROC) curve for AUDPC, with the optimal threshold set at 910.88 (asterisk), with provides the highest sensitive and specificity. The area under the curve (AUC) is 1.00 (dashed line), indicating perfect discrimination between resistant and susceptible groups

ข้าวโพดหวานลูกผสมตัวเองชั่วที่ 6 มีค่า AUDPC ระหว่าง 605-898 จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานต่อโรค 43 สายพันธุ์ ส่วนที่เหลือ 41 สายพันธุ์ มีค่า AUDPC ระหว่าง 911-1,529 จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอ ขณะที่สายพันธุ์เปรียบเทียบมีพันธุ์อินทรี 2 เท่านั้น (ค่า AUDPC = 664) ที่อยู่ในกลุ่มต้านทาน ส่วนสายพันธุ์อื่น ๆ อยู่ในกลุ่มอ่อนแอ (ค่า AUDPC ระหว่าง 1,269-1,722) แสดงให้เห็นว่า การจำแนกความรุนแรงของโรค NCLB โดยใช้ค่า AUDPC ร่วมกับ ROC curve และดัชนี Youden

มีประสิทธิภาพในการประเมินและจำแนกระหว่างสายพันธุ์ต้านทานและสายพันธุ์อ่อนแอ

2. การจัดกลุ่มพันธุ์ตามความรุนแรงของโรค

เมื่อเปรียบเทียบ PDI_28DAP PDI_55DAP และ AUDPC ด้วยแผนภาพ heatmap พบว่า ค่า AUDPC มีความสอดคล้องกับค่า PDI_55DAP มากกว่าค่า PDI_28DAP (Figure 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประเมินความรุนแรงของโรคในระยะปลายผลแม่นยำกว่าในระยะต้น และสามารถแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อยู่ส่วนบนของแผนภาพประกอบด้วยข้าวโพดหวาน 30 สายพันธุ์ ที่มีค่าของทั้ง PDI_28DAP PDI_55DAP และ AUDPC อยู่ในระดับต่ำทั้งหมด แสดงถึงความต้านทานต่อโรค NCLB ผลการจำแนกจากแถบ R/S annotation พบว่า PDI_28DAP และ AUDPC มีแถบแสดงความต้านทานครบทั้ง 30 สายพันธุ์ ขณะที่ PDI_55DAP ให้ผลเป็นต้านทานต่อโรค 8 สายพันธุ์ และอ่อนแอต่อโรค 22 สายพันธุ์

กลุ่มที่ 2 อยู่บริเวณตอนกลางของแผนภาพประกอบด้วยข้าวโพดหวาน 47 สายพันธุ์ มีค่า PDI_28DAP ต่ำ แต่ PDI_55DAP และ AUDPC สูง แสดงแนวโน้มว่าต้านทานต่อโรคในช่วงต้น แต่มีความไวต่อโรคในระยะปลาย ผลจาก R/S annotation พบว่า PDI_28DAP จำแนกเป็นสายพันธุ์ต้านทาน 16 สายพันธุ์ และอ่อนแอ 31 สายพันธุ์ ลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองต่อโรคตามช่วงอายุของพืช ซึ่งเมื่อเข้าสู่ระยะออกดอก กลไกความต้านทานอาจลดลง

กลุ่มที่ 3 อยู่ส่วนล่างสุดของแผนภาพประกอบด้วยข้าวโพดหวาน 15 สายพันธุ์ ที่มีค่าสูงในทุกตัวแปร และส่วนใหญ่มีแถบแสดงความอ่อนแอต่อโรค จึงจัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอต่อโรค

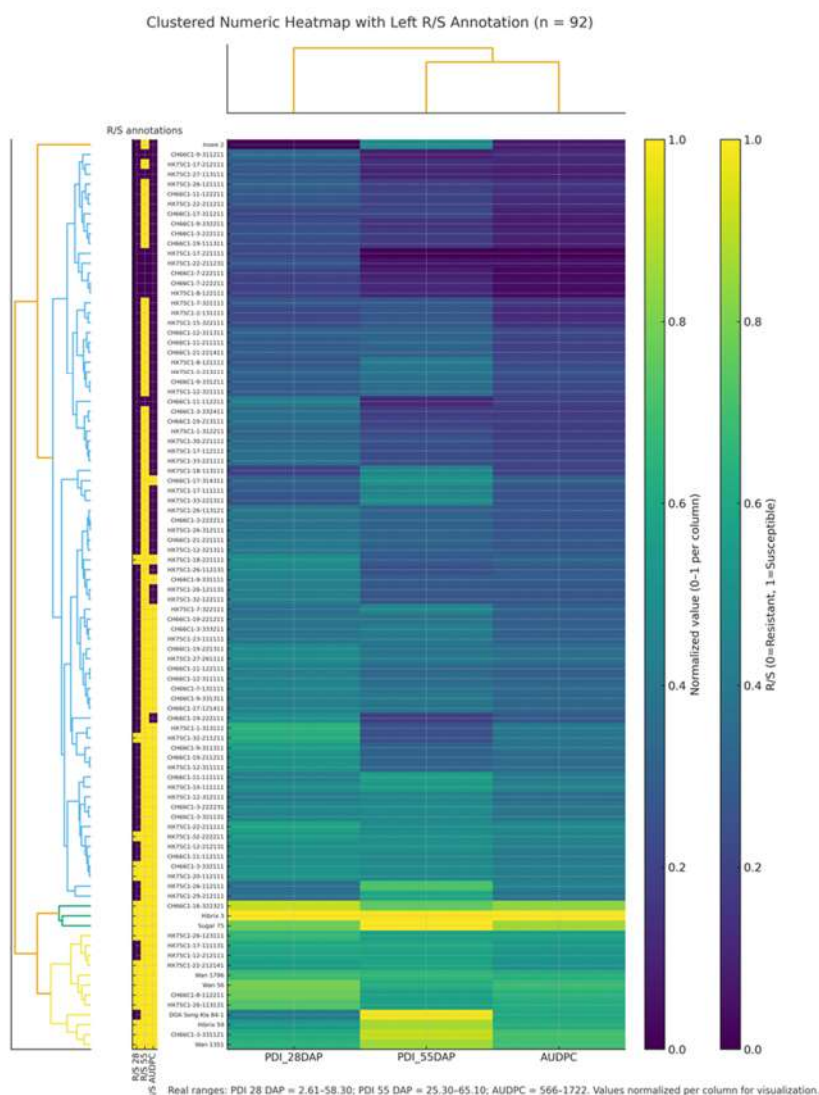


Figure 2 Clustered heatmap illustrating the grouping of sweet corn genotypes based on disease severity indices of northern corn leaf blight (NCLB), including PDI at 28 days after planting (PDI_28DAP), PDI at 55 days after planting (PDI_55DAP) and AUDPC. All values were normalized to a 0 - 1 scale (0 = resistant, 1 = susceptible) for cross-trait comparison. The left-side bar indicates resistant (R) and susceptible (S) classification. Hierarchical clustering was performed using Ward's linkage and Euclidean distance

ผลการวิเคราะห์พบว่า การประเมินความรุนแรงของโรคในระยะต้น หรือที่ 28 วันหลังปลูก ไม่สามารถสะท้อนระดับความต้านทานต่อโรคที่แท้จริงของแต่ละสายพันธุ์ได้ ผลนี้ไม่สอดคล้องกับรายงานของประชุมและคณะ (2544) ที่ระบุว่าการประเมินที่ 28 วันหลังการปลูกเชื้อ เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการคัดเลือกสายพันธุ์ต้านทานต่อโรค

เนื่องจากอาการของโรค NCLB มักปรากฏชัดในระยะหลังออกดอกถึงใบพัฒนาเต็มที่ โดย Smith et al. (2004) รายงานว่าเชื้อรา *E. turcicum* ต้องใช้ระยะพักตัว 10-14 วัน ในสายพันธุ์อ่อนแอต่อโรค และ 20 วัน ในสายพันธุ์ต้านทานต่อโรค ดังนั้น การประเมินที่ 28 วัน อาจยังไม่สะท้อนกลไกการตอบสนองของพืชได้เต็มที่

3. การเปรียบเทียบการจำแนกระดับความรุนแรงของโรคด้วย PDI และ AUDPC

จาก Figure 2 สามารถแยกกลุ่มของ PDI_28DAP ออกจาก PDI_55DAP และ AUDPC ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกัน จึงทดสอบไคสแควร์ PDI_55DAP และ AUDPC เพื่อยืนยันความแม่นยำของการจำแนกกลุ่มด้านทานและอ่อนแอต่อโรค NCLB ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการจำแนกระดับความรุนแรง

ของโรค NCLB ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (chi-square value = 9.17, $p < 0.01$) จำนวนข้าวโพดหวานที่จัดให้อยู่ในกลุ่มด้านทานทั้งจากค่า PDI_55DAP และค่า AUDPC มีเพียง 8 สายพันธุ์ ขณะที่สายพันธุ์ที่จัดให้ด้านทานจากค่า AUDPC แต่จัดเป็นอ่อนแอจากค่า PDI_55DAP จำนวน 37 สายพันธุ์ แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนในการจำแนกกลุ่มระหว่างตัวชี้วัดทั้งสอง (Table 2)

Table 2 Chi-square test of association between AUDPC and PDI of 55 days after planting

AUDPC	PDI_55 DAP: Resistant		PDI_55 DAP: Susceptible		Total of AUDPC
	Observed	Expected	Observed	Expected	
AUDPC: resistant	8	3.91	37	41.09	45
AUDPC: susceptible	0	4.09	47	42.91	47
Total of PDI-55	8		84		92
Chi-square value	9.17				
p-value	0.0025				

AUDPC มีข้อได้เปรียบในการสะท้อนพลวัตของการพัฒนาโรคตลอดช่วงเวลาได้ดีกว่า PDI ซึ่งเป็นค่าประเมินในจุดเวลาเดียว แม้ผลการทดสอบไคสแควร์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่ความแตกต่างนี้สามารถอธิบายได้จากธรรมชาติของการประเมินที่ต่างกัน กล่าวคือ ค่า PDI_55DAP ประเมินเฉพาะอาการของโรคในระยะปลาย ขณะที่ค่า AUDPC รวมผลสะสมของการพัฒนาโรคตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงระยะออกไหม ซึ่งให้ภาพรวมของการตอบสนองต่อโรคที่สมบูรณ์กว่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ค่า PDI_55DAP และ AUDPC พบว่า แม้ว่าค่า PDI จะเป็นวิธีที่ใช้สะดวก แต่สะท้อนเฉพาะ ณ เวลาที่ประเมินเท่านั้น แต่การใช้ค่า AUDPC ร่วมกับ ROC curve และดัชนี Youden สามารถประเมินการสะสมโรคได้ตลอดช่วงฤดูปลูก และกำหนดจุดตัดที่ชัดเจนในการจำแนกกลุ่มที่ด้านทานและอ่อนแอได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม การใช้ AUDPC ยังไม่สามารถใช้เป็นค่ามาตรฐานในการ

จำแนกระดับความรุนแรงของโรค NCLB ได้ เนื่องจากค่าวิกฤตจาก ROC curve อาจแปรผันตามปัจจัย เช่น พันธุกรรมข้าวโพดหวานและความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในแต่ละฤดูปลูก (Wilson et al., 2017) ความแตกต่างของเชื้อ *E. turicum* รวมถึงการจัดการแปลง (Bankole et al., 2023) ช่วงเวลาที่เกิดการติดเชื้อรา พื้นฐานพันธุกรรมของพืช สภาพแวดล้อมและปัจจัยการผลิต ความหนาแน่นของเชื้อราสาเหตุ การตอบสนองในการป้องกันตนเองของพืช เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างระดับความรุนแรงของโรค (Duffy et al., 2003; Pokhrel, 2021) ดังนั้น จึงควรมีการศึกษายืนยันในหลายพื้นที่และหลายฤดูกาล เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเหมาะสมของวิธีการ และเพื่อให้การประเมินความถูกต้องของวิธีการครบถ้วนมากขึ้นจึงแนะนำให้พิจารณาสถิติอื่นเพิ่มเติม เช่น accuracy sensitivity specificity หรือ Cohen's kappa

สรุปผลการทดลอง

การประเมินและการจำแนกระดับความรุนแรงของโรคใบไหม้แผลใหญ่ด้วย AUDPC ร่วมกับ ROC curve และดัชนี Youden มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าการใช้ PDI เนื่องจากสามารถกำหนดค่าวิกฤตที่ชัดเจนในการจำแนกระดับความรุนแรงของโรค NCLB ได้ ค่า AUDPC ที่ได้มีค่า AUC=1 หรือมีความสามารถในการจำแนกสูง แต่ค่าวิกฤตที่กำหนดจาก ROC curve อาจแปรผันได้ตามพันธุ์กรรมและสภาพแวดล้อม จึงควรใช้ AUDPC ร่วมกับ ROC curve และดัชนี Youden เป็นเครื่องมือและมีศักยภาพในการสนับสนุนงานวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานด้านต้านโรค NCLB ประเทศไทยในอนาคต

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น กรมวิชาการเกษตร และทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.)

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2565. การผลิตข้าวโพดหวาน. แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/01/การผลิตข้าวโพดหวาน.pdf>. สืบค้น: 9 กันยายน 2565.

ฉลอง เกิดศรี ภาณุวัฒน์ ศิลปศักดิ์ขจร ธีรวิทย์ วงศ์วรรัตน์ สุพรรณณี เป้งคำ เขาวนาถ พฤทธิเทพ วรรณมน มงคลพงศ์พันธุ์ เป้าทอง และธีรยุทธ อุดมสันติสุข. 2567. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมต้านทานโรคใบไหม้แผลใหญ่. หน้า 21-27. ใน: เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการปี 2567 ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. 31 ก.ค.-2 ส.ค. 2567. ณ บึงฉวากรีสอร์ท, สุพรรณบุรี.

เขาวนาถ พฤทธิเทพ กัลยา วิถี วรรณมน มงคล กิตติภาพ วายุภาพ พิระวรรณ พัฒนวิภาส จิราลักษณ์ ภูมิไธสง ชูชาติ บุญศักดิ์ และสมุนา งามผ่องใส. 2560. ผลกระทบ

ของโรคใบไหม้แผลใหญ่ที่เกิดจากเชื้อรา *Exserohilum turcicum* ต่อคุณภาพผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน. หน้า 235-243. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ครั้งที่ 38. กรมวิชาการเกษตร. 25-27 กรกฎาคม 2560. ณ โรงแรมแกรนด์ฮิลล์ รีสอร์ท แอนด์ สปา, นครสวรรค์.

ประชุม จุฬารัตนะ ธรรมศักดิ์ สมมาตรย์ อุดม ภูพิพัฒน์ และจิรนนท์ แหยมสูงเนิน. 2544. การคัดเลือกพันธุ์ต้านทานข้าวโพดใบไหม้แผลใหญ่. หน้า 101. ใน: ครอบรอบสิบปีสถาบันอินทรีจันทร์สถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Atac, A. 1984. Survey of fungus diseases of second crop maize in the Mediterranean region. Bitki Koruma Bultini. 24(3): 137-143.

Bankole, F.A., B. Badu-Apraku, A.O. Salami, T.D. Falade, R. Bandyopadhyay and A. Ortega-Beltran. 2023. Variation in the morphology and effector profiles of *Exserohilum turcicum* isolates associated with the Northern Corn Leaf Blight of maize in Nigeria. BMC Plant Biology. 23(1): 386.

Campbell, C.L. and L.V. Madden. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons. New York. USA. 532 p.

Corbacioglu, S.K. and G. Aksel. 2023. Receiver operating characteristic curve analysis in diagnostic accuracy studies: A guide to interpreting the area under the curve value. Turkish Journal of Emergency Medicine. 23(4): 195-198.

De Rossi, R.L., F.A. Guerra, M.C. Plazas, E.E. Vuetic, E. Brücher, G.D. Guerra and E.M. Reis. 2022. Crop damage, economic losses, and the economic damage threshold for northern corn leaf blight. Crop Protection. 154: 105901.

Duffy, B., A. Schouten and J.M. Raaijmakers. 2003. Pathogen self-defense: Mechanism to counteract microbial antagonism. Annual Review of Phytopathology. 41(1): 501-538.

Fkih, F. and M.N. Omri. 2012. Information retrieval from unstructured web text document based

- on automatic learning of the threshold. International Journal of Information Retrieval Research. 2(4): 12-30.
- Hajian-Tilaka, K. 2018. The choice of methods in determining the optimal cut-off value for quantitative diagnostic test evaluation. Statistical Methods in Medical Research. 27(8): 2374-2383.
- Hurni, S., D. Scheuermann, S.G. Krattinger, B. Kessel, T. Wicker, G. Herren, M.N. Fitze, J. Breen, T. Presterl, M. Ouzunova and B. Keller. 2015. The maize disease resistance gene *Htn1* against northern corn leaf blight encodes a wall-associated receptor-like kinase. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). 112(28): 8780-8785.
- Jeger, M.J. and S.L.H. Viljanen-Rollinson. 2001. The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. Theoretical and Applied Genetics. 102(1): 32-40.
- Levy, Y. and J.K. Pataky. 1992. Epidemiology of northern leaf blight on sweet corn. Phytoparasitica. 20(1): 53-66.
- Levy, Y. and Y. Cohen. 1983. Biotic and environmental factors affecting infection of sweet corn with *Exserohilum turcicum*. Phytopathology. 73(5): 722-725.
- Li, D.L., F. Shen, Y. Yue, J.X. Peng and P.Y. Chen. 2013. Weighted youden index and its two-independent-sample comparison based on weighted sensitivity and specificity. Chinese Medical Journal. 126(6): 1150-1154.
- Lobo, J.M., A. Jimenez-Valverde and R. Real. 2008. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. Global Ecology and Biogeography. 17(2): 145-151.
- Min, J., Z. ChunYu, H. Khalid, L. Nan, S. Quan, M. Qing, W. SuWen and L. Feng. 2012. Pyramiding resistance gene to northern leaf blight and head smut in maize. International Journal of Agriculture and Biotechnology. 14(3): 430-434.
- Pokhrel, B. 2021. Effects of environment factors on crop disease. Journal of Plant Pathology and Microbiology. 12(5): 553.
- Rahman, H.A., A.A. Noraidi, A.N.H. Khalid, A.Z. Mohamad-Adam, N.H. Zahari and N.E. Tuming. 2025. Practical guide to calculate sample size for chi-square in biomedical research. BMC Medical Research Methodology. 25: 144.
- Ruopp, M.D., N.J. Perkins, B.W. Whitcomb and E.F. Schisterman. 2008. Youden index and optimal cut-point estimated from observationa affected by a lower limit of detection. Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences. 50(3): 419-430.
- Setyawan, B., I. Suliansyah, A. Anwar and E. Swasti. 2016. Resistance of eleven new hybrid maize genotypes to turcicum leaf blight (*Exserohilum turcicum*). Biodiversitas. 17(2): 604-608.
- Smith, C.W., J. Betrán and E.C. Runge. 2004. Corn: Origin, History, Technology, and Production volume 4. John Wiley & Sons, USA.
- Stangarlin, J.R., E.L. Tartaro and S.F. Pascholati. 2022. Characterization of *Exserhilum turcicum* infection sites in maize genotypes. Revista Caatinga. 35(1): 1-13.
- Thapa, R., K. Zhang, N. Snarely, S. Belongie and A. Khan. 2020. The plant pathology challenge 2020 data set to classify foliar disease of apples. Applications in Plant Sciences. 8(9): e11390.
- Wheeler, B.E.J. 1969. An Introduction to Plant Diseases. John Wiley and Sons Ltd., London. 374 p.
- Willoquet, L., S. Savary and K.P. Singh. 2023. Revisiting the use of disease index and of disease scores in plant pathology. Indian Phytopathology. 76(3): 909-914.
- Wilson, C.R., N.W. Davies, R. Corkrey, A.J. Wilson, A.M. Mathews and G.C. Westmore. 2017. Receiver operating characteristic curve analysis determines association of individual potato operating characteristic curve analysis determines association of individual potato foliage volatiales with onion thrips preference, cultivar and plant age. PLoS ONE. 12(7): e0181831.
- Yang, S. and G. Berdine. 2017. The receiver operating characteristic (ROC) curve. The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles. 5(19): 34-36.