วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

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

วิธีการประเมินเชื้อพันธุกรรมอ้อยต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) พาหะนำโรคใบขาวอ้อย

Evaluation methods of sugarcane germplasm resistant to the leafhopper, *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) vector of sugarcane white leaf disease

กนกวรรณ คำสุเรศ[1], Youichi Kobori[2] และ ยุพา หาญบุญทรง[1]*

Kanokwan Kamsures[1], Youichi Kobori[2] and Yupa Hanboosong[1]*

[1] สาขากีฏวิทยาและโรคพืชวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[1] Department of Entomology and Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002
[2] Crop, Livestock and Environment Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki, Japan

บทคัดย่อ: โรคใบขาวอ้อยทำความเสียหายอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอ้อยในประเทศไทย มีเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) เป็นแมลงพาหะที่สำคัญนำเชื้อไฟโตพลาสมา ปัจจุบันยังไม่มีพันธุ์อ้อยที่ต้านทานต่อโรคใบขาวอ้อย การศึกษานี้เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินพันธุ์อ้อยต้านทานต่อแมลงพาหะ จากการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงพืชของแมลงโดยใช้รอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายและการปล่อยมูลหวาน ผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของแมลงพาหะ ผลการศึกษาได้จัดแบ่งระดับความต้านทานอ้อยที่ทดสอบ 7 เชื้อพันธุกรรม จาก 2 สกุล คือ *Erianthus* และ *Saccharum* ได้ 3 กลุ่ม 1) พันธุ์ต้านทานต่อแมลงพาหะ ในอ้อยสกุล *Erianthus* ได้แก่ เชื้อพันธุกรรม ThE10-6, ThE99-146, ThE99-91, ThE03-7 และ ThE03-5 พบจำนวนเฉลี่ยของรอยเจาะปลอกหุ้มน้ำลายมาก 20.50 ± 4.55 ถึง 23.50 ± 3.53 รอยเจาะ มีพื้นที่มูลหวานที่แมลงขับออกมา 0.13 ± 0.29 ถึง 0.78 ± 0.96 ตารางมิลลิเมตร แมลงพาหะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาสู่อ้อยได้ 2) พันธุ์ต้านทานปานกลางต่อแมลงพาหะ อ้อยสกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม UT5 และ 3) พันธุ์ไม่ต้านทานต่อแมลงพาหะ อ้อยสกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม KK3 มีจำนวนเฉลี่ยรอยเจาะปลอกหุ้มน้ำลายน้อยที่สุด 13.35 ± 4.56 รอยเจาะ มีพื้นที่มูลหวาน 15.13 ± 5.91 ตารางมิลลิเมตร แมลงสามารถดูดกินอ้อยได้ดีทำให้เจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิต มีระยะเวลาการพัฒนาจากระยะไข่จนถึงตัวเต็มวัย 62.69 ± 3.07 วัน อัตราการรอดชีวิต 83.33 % ดังนั้นการใช้วิธีการประเมินผลของความต้านทานของพันธุ์อ้อยต่อการดูดกินและการเจริญเติบโตของแมลงพาหะ สามารถใช้ในการคัดเลือกพันธุ์อ้อยที่ต้านทานต่อแมลงพาหะนำโรคใบขาวอ้อยได้

คำสำคัญ: เชื้อไฟโตพลาสมา; อ้อยสกุล *Erianthus*; อ้อยสกุล *Saccharum*; รอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย; มูลหวาน

ABSTRACT: Sugarcane white leaf disease causes great damage to the sugarcane industry in Thailand. Leafhopper *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) is an important insect vector that transmits sugarcane white leaf phytoplasma. At present, there is no resistant varietie of sugarcane for white leaf disease. The purpose of this study was to develop the evaluating methods for screening resistant cane varieties against insect vector based on insect feeding activities, as measured by the puncture of the salivary sheath and the excretion of honeydew, and the effect on the growth and survival rate of insect vector when feeding on sugarcane. Based on the results of the study, we were able to classify sugarcane resistance tested from 7 sugarcane germplasms of 2 genara *Erianthus* and *Saccharum* in 3 groups as 1) Resistant cane from Genus *Erianthus* including germplasms ThE10-6, ThE99-146, ThE99-91, ThE03-7 and ThE03-5 were found a high average number of salivary sheath puncture marks between 20.50 ± 4.55 to 23.50 ± 3.53 marks with a low average amount of honeydew drop area between 0.13 ± 0.29 to 0.78 ± 0.96

* Corresponding author: yupa_han@kku.ac.th

Received: date; July 21, 2021 Accepted: date; September 14, 2021 Published: date; February 5, 2021

square millimeters. In addition, the insect vector can not grow and transmit phytoplasma to sugarcane plants from this group. 2) Moderate resistance cane to insect vector from sugarcane genus *Saccharum* UT5 and 3) Non-resistance cane from sugarcane genus *Saccharum* KK3 which showed an average of low salivary sheath puncture marks at 13.35 ± 4.56 marks with an average amount of high honeydew drop area of 15.13 ± 5.91 square millimeters. Moreover, insect vector can grow until the full life cycle in the plants from this group. The development period from egg to adult is 62.69 ± 3.07 days and survival rates were 83.33 %. Therefore, using the method of feeding activities and growth of insect to evaluate sugarcane resistant varieties against insect vector can be used for breeding selection of sugarcane for white leaf disease.

Keywords: phytoplasma; sugarcane Genus *Erianthus*; sugarcane Genus *Saccharum*; salivary sheath; honeydew

บทนำ

โรคใบขาวของอ้อยสร้างความเสียหายอย่างมากให้กับอุตสาหกรรมการปลูกอ้อยในประเทศไทย และประเทศอื่น ๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Kobori and Hanboonsong 2017) โรคใบขาวอ้อยมีสาเหตุจากเชื้อไฟโตพลาสมา (phytoplasma) เชื้อเข้าไปทำลายคลอโรฟิลล์ของใบอ้อยทำให้ใบอ้อยเปลี่ยนเป็นสีขาวทั้งใบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลง ลำต้นมีระยะข้อปล้องสั้นและแตกตาข้างมาก ต้นอ้อยที่มีอาการโรครุนแรงทำให้ต้นแห้งตายหรือยืนต้นแห้งตาย (Chen, 1974; Wongkaew et al., 1997) ซึ่งเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวอ้อยเป็นจุลินทรีย์พวกโปรคาริโอต (prokaryote) เชื้อไม่สามารถแยกออกมาเพาะเลี้ยงภายนอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ แต่สามารถแพร่กระจายติดไปกับท่อนพันธุ์อ้อยและแมลงพาหะ 2 ชนิด ได้แก่ เพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) และเพลี้ยจักจั่นหลังขาว *Yamatotettix flavovittatus* Matsumura (Hanboonsong et al., 2002; 2006) โดยแมลงเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล เป็นแมลงพาหะที่มีจำนวนประชากรมากและมีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดเชื้อโรคใบขาวมากที่สุด (Hanboonsong et al., 2006) ปัจจุบันยังไม่มีพันธุ์อ้อยต้านทานโรคใบขาวและวิธีการป้องกันกำจัดโรคใบขาวได้อย่างยั่งยืน ถึงแม้ว่ามีการใช้ท่อนพันธุ์อ้อยสะอาดปลอดจากโรค แต่อ้อยก็สามารถได้รับเชื้อสาเหตุโรคใบขาวจากการเจาะดูดกินอ้อยที่เป็นโรคและถ่ายทอดเชื้อสู่ต้นอ้อยปกติของแมลงพาหะ ทำให้เกิดการระบาดของโรคได้เช่นกัน พฤติกรรมการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงพืชของแมลงพาหะโดยแมลงใช้ปาก (stylet) แทงเข้าเนื้อเยื่อพืชทางรอยต่อของเซลล์ (intercellular feed) พร้อมขับน้ำลายส่วนแข็งออกมาห่อหุ้มส่วนปากเพื่อป้องกันอันตรายจากพืชขณะดูดกินน้ำเลี้ยงทำให้เห็นเป็นรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย (salivary sheath) พร้อมทั้งแมลงมีการปล่อยมูลหวาน (honeydew) ออกมาด้วย (Ammar et al., 2013) ซึ่งจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายบนใบพืช และปริมาณของมูลหวานที่แมลงปล่อยออกมามีความสัมพันธ์กับการดูดกินของแมลงต่อพืชที่แมลงชอบหรือไม่ชอบ โดยถ้าแมลงสามารถเจาะดูดกินพืชและมีความชอบในพืช สามารถใช้น้ำเลี้ยงพืชเป็นอาหารได้ แมลงจะไม่เปลี่ยนถอนปากออกจากพืช ทำให้มีจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อย และมีปริมาณมูลหวานที่แมลงขับออกมามากในขณะดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืช ซึ่งแสดงถึงพืชนั้นมีความอ่อนแอหรือไม่ต้านทานต่อการเจาะดูดของแมลง (Sogawa and Pathak 1970; Kawabe 1985) ทำให้สามารถนำมาประเมินความสามารถในการดูดกินของแมลงต่อพืชต้านทานหรือไม่ต้านทานได้ (Sedano et al., 2012) ดังนั้นการประเมินวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกอ้อยพันธุ์ที่ต้านทานต่อการเจาะดูดกินและไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแมลงพาหะเพื่อเป็นข้อมูลใช้ในการปรับปรุงพันธุ์อ้อย จึงมีความจำเป็นและเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการระบาดของโรคใบขาวอ้อยได้อย่างยั่งยืน

วิธีการศึกษา

การเลี้ยงเพิ่มปริมาณแมลงพาหะ

เก็บตัวอย่างแมลงพาหะเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาลเพื่อเลี้ยงเพิ่มปริมาณแมลง โดยจับแมลงในพื้นที่ระบาดของแมลงพาหะที่แปลงอ้อย อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ตั้งกับดักแสงไฟล่อแมลง ชนิด Black light blue trap กำลังไฟ 20 วัตต์ แขวนหลอดไฟไว้กับท่อ PVC ตั้งเป็นทรงสามขา ยาว 2 เมตร นำผ้าขาวคลุมไว้รอบกับดัก เปิดไฟล่อแมลงในช่วงเวลา 18:00 – 20:00 น. ดูดแมลงพาหะโดยใช้หลอดดูดแมลง (aspirator) จากกับดัก นำแมลงใส่ในต้นอ้อยที่ครอบด้วยกระบอกพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความสูง 70 เซนติเมตร หลังจากนั้นย้ายแมลงที่ได้มาแบ่งเลี้ยงด้วยต้นอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ปลอดเชื้อไฟโตพลาสมา

ครอบต้นอ้อยด้วยกระบอกพลาสติกใส เลี้ยงในโรงเรือนเลี้ยงแมลงควบคุมอุณหภูมิที่ 28 ± 2 ℃ ความชื้นสัมพัทธ์ 69 – 85 % เพาะเลี้ยงแมลงพาหะจนได้รุ่นลูก (F1) และนำตัวเต็มวัยมาใช้ในการทดสอบในสภาพโรงเรือน

การเตรียมต้นอ้อยทดสอบ

เชื้อพันธุกรรมอ้อยที่ทดสอบได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ปลอดเชื้อโรคใบขาวอ้อย จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้อ้อย 2 สกุล *Erianthus* และ *Saccharum* จำนวน 7 เชื้อพันธุกรรม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 อ้อยป่าสกุล *Erianthus* ประกอบด้วยอ้อยเชื้อพันธุกรรม ThE10-6, ThE03-7, ThE03-5, ThE99-91 และ ThE99-146 กลุ่มที่ 2 อ้อยพันธุ์การค้าสกุล *Saccharum* ได้แก่อ้อยเชื้อพันธุกรรม UT5 และ KK3 จากนั้นนำต้นอ้อยมาปลูกในกระถาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร เก็บไว้ในโรงเรือนตาข่ายป้องกันแมลง อ้อยอายุ 2 เดือน จึงนำมาให้ใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อแมลงพาหะ

รอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย (salivary sheath) และการปล่อยมูลหวาน (honeydew)

เปรียบเทียบจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย และปริมาณการปล่อยของมูลหวาน ตามวิธีการของ Yorozuya and Tanaka. (2012) ของแมลงพาหะที่ดูดกินบนต้นอ้อยที่ทดสอบ 7 เชื้อพันธุกรรม ใช้แมลงพาหะเพศเมียในการทดสอบ โดยเตรียมตลับหนีบที่มีตาข่าย (leaf cage) สำหรับใส่แมลง และใส่กระดาษกรอง (filter paper) ที่ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เพื่อรองรับมูลหวาน (honeydew) ของแมลงที่ปล่อยออกมา ดูดแมลงพาหะใส่ในตลับหนีบ 1 ตัวต่อตลับหนีบ ไปหนีบที่ต้นอ้อย 7 เชื้อพันธุกรรมที่เตรียมไว้ดังที่กล่าวข้างต้น โดยนำไปหนีบ 1 ต้นอ้อยต่อตลับหนีบที่ใส่แมลงพาหะ 1 ตัว ทำทั้งหมด 20 ซ้ำต่อต้นอ้อยแต่ละเชื้อพันธุกรรม โดยหนีบบริเวณใบที่ 2 ของต้นอ้อย ซึ่งเป็นบริเวณใบอ่อนของต้นอ้อยที่แมลงชอบดูดกินมากที่สุด บันทึกผลเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 17:00 – 22:00 น. ซึ่งจากการทดสอบก่อนทำการทดลองพบว่าเป็นช่วงเวลาที่ต้นอ้อยคายน้ำออกน้อยที่สุดและเป็นช่วงเวลาที่แมลงดูดกินในชั้นท่อลำเลียงอาหารนานที่สุด (Roddee et al., 2017) เมื่อครบกำหนดนำใบอ้อยออกจากตลับหนีบไปจุ่มในสารละลาย Eosin 1% เพื่อย้อมสีดูรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายจากการดูดกิน ซึ่งจะที่มองเห็นเป็นจุดสีแดงบนใบ นับจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ส่วนการวัดปริมาณมูลหวานที่แมลงปล่อยออกขณะดูดกิน ทำโดยนำกระดาษกรองที่รองรับมูลหวานของแมลงไปจุ่มสารละลาย Ninhydrin 0.1% ซึ่งพื้นที่ที่มีมูลหวานของแมลงจะปรากฏให้เห็นเป็นสีม่วงบนกระดาษกรอง วัดพื้นที่การปล่อยมูลหวานโดยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ NIS-Elements D และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายและพื้นที่มูลหวานที่ได้จากแมลงขับถ่ายขณะดูดกินบนอ้อย ทดสอบ โดยวิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ด้วยโปรแกรม Statistix รุ่นที่ 10

การเจริญเติบโตของแมลงพาหะ

นำไข่ของแมลงที่มีอายุ 1 วัน วางลงโคนต้นของอ้อยทดสอบที่อายุ 2 เดือน จำนวน 1 ฟอง ต่อต้น ทำการทดลองจำนวน 30 ซ้ำต่ออ้อยทดสอบแต่ละเชื้อพันธุกรรม ทดสอบในโรงเรือนเลี้ยงแมลงที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 28 ± 2 ℃ ความชื้นสัมพัทธ์ 69 - 85 % บันทึกข้อมูลระยะเวลาและการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะไข่ ระยะตัวอ่อนวัยที่ 1 - 5 ไปจนถึงระยะตัวเต็มวัย อัตราการรอดชีวิต และอัตราการขยายพันธุ์ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของแมลงบนอ้อยทดสอบด้วยวิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ด้วยโปรแกรม Statistix รุ่นที่ 10

ความสามารถในการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาของแมลงพาหะ

นำแมลงพาหะตัวเต็มวัยอายุ 3 - 5 วัน ไปดูดกินต้นอ้อยที่เป็นโรคใบขาวอ้อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ระยะรับเชื้อ) แล้วนำแมลงไปบ่มเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อในตัวบนต้นอ้อยปกติเป็นเวลา 21 วัน (ระยะบ่มเชื้อ) แล้วจึงนำมาทดสอบโดยปล่อยให้แมลงพาหะที่เตรียมไว้ดูดกินต้นอ้อยทดสอบอ้อยเชื้อพันธุกรรมต่างๆเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใส่แมลง 1 ตัวต่อต้น พันธุ์ละ 10 ต้น ทดสอบในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิที่ 28 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 85 % ช่วงแสงตามธรรมชาติ จากนั้นนำแมลงออก และนำต้นอ้อยที่แมลงดูดกินย้ายไปเก็บไว้ในโรงเรือนที่มีตาข่ายป้องกันแมลงเพื่อติดตามการเกิดโรคในต้นอ้อยที่ได้รับการถ่ายทอดเชื้อ โดยตัดชิ้นส่วนใบอ้อยมาสกัดดีเอ็นเอเพื่อตรวจหาเชื้อไฟโตพลาสมาสาเหตุโรคใบขาวด้วยเทคนิค Real-time PCR หลังแมลงพาหะถ่ายทอดเชื้อ 14 วัน ตามวิธีการของ Hanboonsong et al. (2006) และสังเกตอาการแสดงออกของโรคใบขาวอ้อยหลังจากบ่มเพาะเชื้อในต้นอ้อยเป็นเวลา 30 วัน โดยคิดเปอร์เซ็นต์จำนวนต้นอ้อยที่แสดงอาการโรคใบขาวในอ้อยแต่ละเชื้อพันธุกรรม

การจัดกลุ่มความต้านทานของอ้อยต่อแมลงพาหะ

การจัดกลุ่มความต้านทานของสายพันธุ์อ้อยต่อแมลงพาหะ โดยรวมจากการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยง และการเจริญเติบโตของแมลงพาหะ ซึ่งแสดงผลเป็น 3 ลักษณะ (ตัวแปร) ได้แก่ 1) รอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย 2) การปล่อยมูลหวาน และ 3) อัตราการรอดชีวิตของแมลงพาหะ โดยพืชพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อแมลง แมลงไม่ชอบดูดกิน มีรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายบนพืชเป็นจำนวนมากแต่มีปริมาณการปล่อยมูลหวานน้อย และแมลงมีความผิดปกติของการเจริญเติบโต (Hanley et al., 2007 และ Amalraj et al., 2008) ส่วนพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อแมลง แมลงมีการดูดกินน้ำเลี้ยงได้ดี มีรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายบนพืชจำนวนน้อย มีปริมาณการปล่อยมูลหวานมาก และแมลงมีการเจริญเติบโตเร็ว อัตราการรอดชีวิตสูง (Pathak et al., 1982 และ Kawabe, 1985) ดังนั้นจึงนำเอาแต่ละลักษณะที่แมลงแสดงออกจากการดูดกินน้ำเลี้ยง และการเจริญเติบโตของแมลงมาจัดเรียงลำดับความต้านทานจากมากไปน้อย ระดับที่ 1 ถึง 3 ประกอบด้วย ระดับที่ 1 ต้านทาน ระดับที่ 2 ต้านทานปานกลาง และ ระดับที่ 3 ไม่ต้านทาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์จัดกลุ่มความสัมพันธ์ของความต้านทาน ด้วยวิธี K-Mean Cluster Analysis โดย Cluster Analysis จากโปรแกรม SPSS Statistics 19.0

ผลการศึกษา

รอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย (salivary sheath)

ผลจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายของแมลงพาหะบนอ้อย 7 เชื้อพันธุกรรม พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลาย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) และจัดแบ่งระดับความต้านทานตามจำนวนรอยเจาะบนใบอ้อย ซึ่งอ้อยที่จัดอยู่ในกลุ่มต้านทานต่อแมลงพาหะมาก มีจำนวนรอยของเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายมาก ส่วนในอ้อยพันธุ์ที่ไม่ต้านทานมีจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อย ซึ่งผลการศึกษานี้ได้แบ่งอ้อยเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มอ้อยต้านทานต่อแมลงพาหะ พบในอ้อยเชื้อพันธุกรรม ThE10-6, ThE99-146, ThE99-91, ThE03-7, ThE03-5 และ UT5 มีค่าเฉลี่ยจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายมาก อยู่ระหว่าง 20.50 ± 4.55 ถึง 26.10 ± 3.86 รอยเจาะ และ 2) กลุ่มอ้อยไม่ต้านทานต่อแมลงพาหะ พบในอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 มีค่าเฉลี่ยจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อยที่สุด 13.35 ± 4.56 รอยเจาะ **(Table 1)**

การปล่อยมูลหวาน (honeydew)

จากการศึกษาปริมาณการปล่อยมูลหวานของแมลงพาหะเมื่อดูดกินบนต้นอ้อยทั้ง 7 เชื้อพันธุกรรม พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณมูลหวานที่แมลงขับออกมามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$) และจัดแบ่งระดับความต้านทานจากปริมาณการปล่อยมูลหวาน ซึ่งกลุ่มอ้อยต้านทานต่อแมลงพาหะ แมลงเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงได้น้อยจึงปล่อยมูลหวานออกมาได้น้อย ส่วนกลุ่มอ้อยที่ไม่ต้านทานต่อแมลงพาหะ แมลงมีการดูดกินน้ำเลี้ยงได้ดี แมลงจึงปล่อยมูลหวานออกมาในปริมาณมาก ซึ่งผลการศึกษานี้ได้จัดความต้านทานของเชื้อพันธุกรรมอ้อยต่อแมลงพาหะ ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มอ้อยที่มีความต้านทานต่อแมลง

พาหะมาก ได้แก่ อ้อยเชื้อพันธุกรรม ThE03-5, ThE99-91, ThE10-6, ThE99-146 และ ThE03-7 แมลงปล่อยมูลหวานออกมาน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยพื้นที่มูลหวานอยู่ระหว่าง 0.13 ± 0.29 ถึง 0.78 ± 0.96 ตารางมิลลิเมตร รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 กลุ่มอ้อยที่มีความต้านทานต่อแมลงพาหะปานกลาง ได้แก่ อ้อยเชื้อพันธุกรรม UT5 มีค่าเฉลี่ยพื้นที่มูลหวาน 7.24 ± 2.58 ตารางมิลลิเมตร และกลุ่มที่ 3 อ้อยที่ไม่มีความต้านทานต่อแมลงพาหะ คือ อ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 มีค่าเฉลี่ยพื้นที่มูลหวานมากที่สุด 15.13 ± 5.91 ตารางมิลลิเมตร **(Table 1)**

Table 1 Number of salivary sheath puncture and amount of honeydew drop from leafhopper vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) feeding activities on different sugarcane germplasms.

Species name	Sugarcane germplasms (N=20)	Number of salivary sheaths (Mean ± SE)	Area of honeydew (mm^2) (Mean ± SE)
Erianthus arundinaceus	ThE10-6	26.10 ± 3.86 $^{a\ 1/}$ (1)$^{2/}$	0.21 ± 0.45 $^{c1/}$(1)$^{2/}$
	ThE03-7	20.90 ± 2.19 ^{a} (1)	0.13 ± 0.29 ^{c} (1)
	ThE99-91	21.65 ± 3.18 ^{a} (1)	0.25 ± 0.59 ^{c} (1)
	ThE99-146	23.50 ± 3.53 ^{a} (1)	0.21 ± 0.40 ^{c} (1)
Erianthus procerus	ThE03-5	20.50 ± 4.55 ^{a} (1)	0.78 ± 0.96 ^{c} (1)
Saccharum officinarum L. and *Saccharum spontaneum* Hybrid poly cross clone 87-2-103	UT5	21.15 ± 2.39 ^{a} (1)	7.24 ± 2.58 ^{b} (2)
Saccharum officinarum L. and *Saccharum spontaneum* Hybrid clones 85-2-352 x K 84-200	KK3	13.35 ± 4.56 ^{b} (2)	15.13 ± 5.91 ^{a} (3)
CV (%)		3.33	2.45
F-test		ns	*

$^{1/}$Means in the same column with different superscripts are significantly different according to HSD ($p \leq 0.05$)

$^{2/}$Number shows the degree of insect resistance to sugarcane varieties

Level 1 High resistance, Level 2 Moderate resistance and Level 3 Non-resistance

*; significantly different ($P \leq 0.05$), ns; non-significance

การเจริญเติบโตของแมลงพาหะ

ผลการเจริญเติบโตของแมลงพาหะที่เลี้ยงบนอ้อย 7 เชื้อพันธุกรรม พบว่า แมลงพาหะที่เลี้ยงบนอ้อยกลุ่มสกุล *Erianthus* แมลงพาหะสามารถมีอายุได้ถึงแค่ตัวอ่อนระยะที่ 1 ซึ่งมีอายุสั้นที่สุดได้เพียงแค่ 1.00 ± 0.10 วัน เท่านั้น และไม่สามารถพัฒนาเปลี่ยนวัยได้จนตายในที่สุด ดังนั้นอ้อยกลุ่มนี้มีความต้านทานต่อแมลงพาหะ แต่อ้อยกลุ่มพันธุ์การค้าที่เป็นลูกผสมของอ้อยสกุล *Saccharum* ได้แก่ อ้อยเชื้อพันธุกรรม UT5 และ KK3 แมลงพาหะสามารถเจริญเติบโตได้ดีจนครบวงจร โดยมีระยะเวลาการพัฒนาจากระยะไข่จนถึงระยะตัวเต็มวัย 56.26 ± 4.02 และ 62.69 ± 3.07 วัน ตามลำดับ มีอัตราการรอดชีวิตสูง 76.66 และ 83.33 % และ มีอัตราการขยายพันธุ์สุทธิ (R_0) 10.88 และ 32.72 ตามลำดับ ดังนั้นอ้อยกลุ่มพันธุ์การค้าเชื้อพันธุกรรม UT5 และ KK3 จึงไม่มีความต้านทานต่อแมลงพาหะ **(Table 2)**

Table 2 The growth development of leafhopper vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) feeding on different sugarcane germplasms.

Sugarcane germplasms (N=30)	Insect developmental time (days) (Mean ± SE)			Nymphs to adults (days)	Survival rate (%)	Reproductive rate (R_0) (%)
	Eggs	Nymphs 1st- 5th Instar	Adults			
ThE10-6	7.48 ± 0.71[a] 1/	1.33 ± 0.14 [b 1/]	0	0	0	0
ThE03-5	7.24 ± 0.78[a]	0.96 ± 0.45 [b]	0	0	0	0
ThE99-91	7.36 ± 0.70[a]	0.96 ± 0.70 [b]	0	0	0	0
ThE99-146	7.40 ± 0.71[a]	1.00 ± 0.10 [b]	0	0	0	0
TheE03-7	7.52 ± 0.59[a]	1.00 ± 0.46 [b]	0	0	0	0
UT5	7.20 ± 0.65[a]	12.40 ± 1.35 [a]	43.86 ± 3.25[a 1/]	56.26 ± 4.02[a 1/]	76.66	10.88
KK3	7.36 ± 0.81[a]	12.93 ± 1.26 [a]	49.76 ± 0.93[a]	62.69 ± 3.07[a]	83.33	32.72

[1/]Means in the same column with different superscripts are significantly different according to HSD (p≤0.05)

ความสามารถในการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาของแมลงพาหะ

จากการศึกษาความสามารถในการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาของแมลงพาหะสู่อ้อย พบว่าหลังจากแมลงพาหะถ่ายทอดเชื้อสู่ต้นอ้อย 14 วัน และต้นอ้อยยังไม่แสดงอาการใบขาว แต่ตรวจพบว่า อ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 มีจำนวนเชื้อไฟโตพลาสมาเฉลี่ยมากที่สุด 870.93 ± 22.55 เซลล์ของเชื้อไฟโตพลาสมาต่อนาโนกรัมของดีเอ็นเอพืช ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P ≤ 0.05) กับอ้อยทุกเชื้อพันธุกรรม UT5, ThE10-6, ThE03-7, ThE03-5, ThE99-91 และ ThE99-146 ที่ไม่สามารถตรวจพบเชื้อไฟโตพลาสมาได้เนื่องจากมีปริมาณเชื้อต่ำกว่า 5 เซลล์ของเชื้อไฟโตพลาสมาต่อนาโนกรัมของดีเอ็นเอพืช และหลังจากแมลงพาหะถ่ายทอดเชื้อ 30 วัน พบว่ามีเพียงอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 เท่านั้นที่แสดงออกของโรคใบขาว คิดเป็น 10% ของจำนวนต้นอ้อยที่ใช้ทดสอบ **(Table 3)**

Table 3 Transmission test of insect vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) feeding on different sugarcane germplasms.

Sugarcane germplasms (N=10)	(Mean ± SE) Copy number of SCWL* phytoplasma (cells/ng of plant DNA)	Number of plants showing white leaf symptom after different inoculation days		Percentage plants showing white leaf symptom
		14	30	
ThE10-6	<5 [b 1/]	0	0	0
ThE03-5	<5 [b]	0	0	0
ThE99-91	<5 [b]	0	0	0
ThE99-146	<5 [b]	0	0	0
ThE03-7	<5 [b]	0	0	0
UT5	<5 [b]	0	0	0
KK3	870.93±22.55 [a]	0	1	10

[1/]Means in the same column with different superscripts are significantly different according to HSD (p≤0.05)

*SCWL means sugarcane white leaf disease

การจัดกลุ่มความต้านทานของอ้อยต่อแมลงพาหะ

การจัดกลุ่มความต้านทานของอ้อยทดสอบต่อแมลงพาหะ โดยใช้ผลจากการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงอ้อยของแมลงพาหะ ซึ่งได้แก่ จำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายและปริมาณการปล่อยมูลหวาน รวมทั้งการเจริญเติบโตของแมลงพาหะบนอ้อยเชื้อพันธุกรรมต่าง ๆ ที่ทดสอบ พบว่า สามารถจัดกลุ่มระดับความต้านทานต่อแมลงพาหะ ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ระดับที่ 1 กลุ่มต้านทานต่อแมลงพาหะ ได้แก่ อ้อยกลุ่มสกุล *Erianthus* จากเชื้อพันธุกรรม ThE10-6, ThE99-146, ThE03-7, ThE99-91 และ ThE03-5 ซึ่งอ้อยกลุ่มนี้มีจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายมาก และแมลงพาหะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ครบวงจรชีวิต ระดับที่ 2 กลุ่มต้านทานปานกลางต่อแมลงพาหะ ได้แก่ อ้อยสกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม UT5 และ ระดับที่ 3 กลุ่มไม่ต้านทานต่อแมลงพาหะ คือ อ้อยสกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม KK3 ซึ่งมีจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อย และแมลงพาหะยังสามารถเจริญเติบโตได้จนครบวงจรชีวิตของแมลง (**Figure 1**)

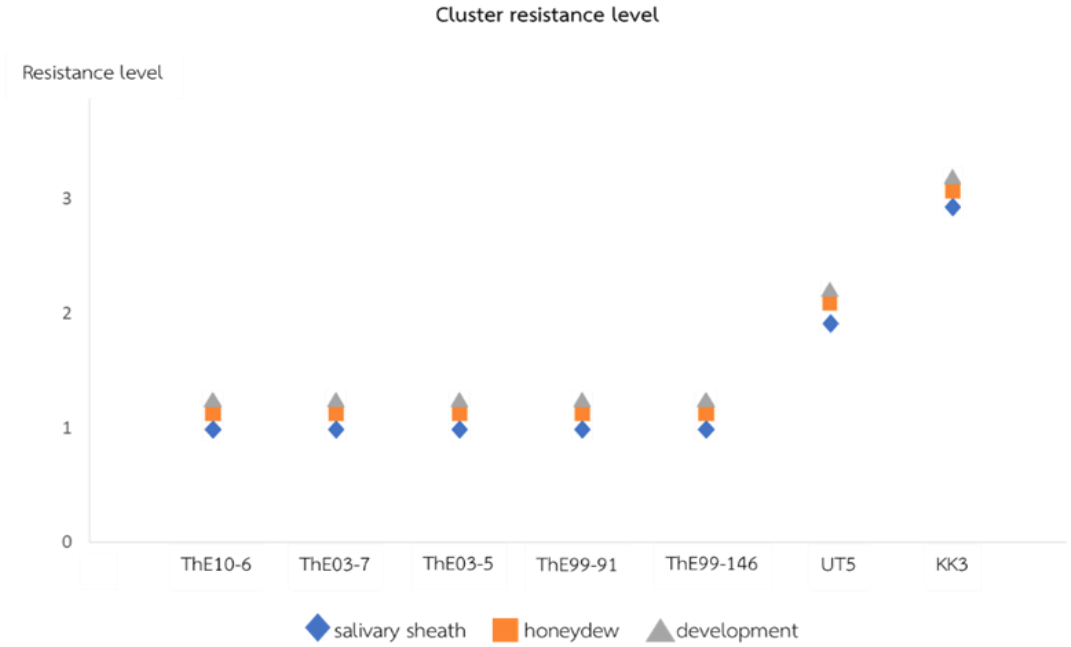

Figure 1 Grouping of sugarcane germplasms resistance to insect vector by feeding activities and the insect growth using cluster analysis; Level 1 high resistance; Level 2 Moderate resistance; Level 3 Non-resistance

วิจารณ์

ความต้านทานของพืชต่อแมลงมีสาเหตุหลักมาจากความไม่เหมาะสมของพืชที่แมลงใช้เป็นอาหาร อันเนื่องมาจากสัณฐานวิทยาของพืช เช่น ใบมีขน (trichome) หรือใบมีไข (wax) มาก มีผลต่อระบบสัมผัสของแมลง ทำให้เป็นอุปสรรคในการกินหรือวางไข่ รวมทั้งสาเหตุจากสรีวิทยาจากพืชเองที่มีสารชีวเคมี หรือสารอาหาร ที่ไม่เหมาะสมหรือเพียงพอต่อแมลง ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง โดยส่งผลทำให้แมลงใช้ระยะเวลานานมากขึ้นในการพัฒนาเปลี่ยนวัยทั้งในระยะหนอน หรือ ระยะตัวอ่อน มีอัตราการตายเพิ่มมากขึ้น หรือมีการรอดชีวิตต่ำ และมีการขยายพันธุ์ได้น้อยลง เป็นต้น (Rezaul et al, 1991; Saxena, 1987) ดังนั้นการคัดเลือกพันธุ์พืชที่ต้านทานต่อแมลงโดยประเมินจากการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงพืชและส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง จึงนำไปใช้ปฏิบัติในแมลงหลายชนิดโดยเฉพาะกลุ่มแมลงปากเจาะดูดกินที่เป็นแมลงพาหะนำโรคพืช เช่น ในเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลข้าว (*Nilaparvata lugens*) (Seo et al., 2010) เพลี้ยจักจั่นสีเขียวข้าว (*Nephotettix cincticeps*) (Kawabe, 1985) เพลี้ยจักจั่นสีเขียว (*Empoasca onukii*) (Yorozuya, 2017) เป็นต้น สำหรับแมลงพาหะเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล นำเชื้อไฟโตพลาสมาโรคใบขาวอ้อยนั้น ได้ประเมินวิธีการคัดเลือกพันธุ์

อ้อยต้านทานต่อแมลงพาหะ โดยใช้การวัดผลจากพฤติกรรมการเจาะดูดอ้อยของจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายและการปล่อยมูลหวานของแมลงพาหะที่ดูดกินอ้อย 7 เชื้อพันธุกรรม จาก 2 สกุล คือ สกุล *Erianthus* และ สกุล *Saccharum* ซึ่งพบว่า เชื้อพันธุกรรม ThE10-6, ThE99-146, ThE99-91, ThE03-7 และ ThE03-5 ในอ้อยสกุล *Erianthus* พบรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายมากและมีปริมาณพื้นที่การปล่อยมูลหวานน้อย ซึ่งอ้อยในสกุล *Erianthus* ในประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่ *E. procerus* (Roxb.) Raizada และ *E. arundinaceus* (Retz.) มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ใบมีขนและมีไขปกคลุมสูง ทนทานต่อโรคและแมลง (Ram et al., 2001; Tagane et al., 2011) ซึ่งพืชที่มีโครงสร้างใบที่มีขนและชั้นของไขปกคลุมบริเวณลำต้นและใบมาก เป็นลักษณะความต้านทานของพืชต่อแมลง ทำให้แมลงไม่ชอบดูดกินเพราะเป็นอุปสรรคต่อการแทงส่วนปากเพื่อดูดกินน้ำเลี้ยงในชั้นท่อลำเลียงอาหาร แมลงจึงต้องมีการแทงส่วนปากเข้าและออกหลายครั้งเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะดูดกินน้ำเลี้ยงจึงทำให้เกิดรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายของแมลงจำนวนมาก (Hanley et al., 2007; Amalraj et al., 2008; Chanchala et al., 2020) และเมื่อแมลงดูดกินน้ำเลี้ยงได้น้อยจึงปล่อยมูลหวานออกมาได้น้อย ปริมาณมูลหวานที่ปล่อยออกมาน้อยแสดงถึงลักษณะต้านทานของพืชเช่นกัน (Pathak et al., 1982; Kawabe, 1985; Goggin et al., 2015) และจากการศึกษานี้พบว่าแมลงพาหะไม่สามารถเจริญเติบโตได้เมื่อเลี้ยงด้วยอ้อยสกุล *Erianthus* เช่นกัน อาจเนื่องจากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพืชส่งผลให้ยากต่อการดูดกินของแมลง ทำให้แมลงไม่ได้รับสารอาหารจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Kumarasinghe et al., 2010; War et al., 2011) ดังนั้นจึงประเมินได้ว่าอ้อยสกุล *Erianthus* นี้มีความต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล ที่เป็นแมลงพาหะของโรคใบขาวอ้อย

ส่วนอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 และ UT5 ซึ่งเป็นลูกผสมที่พัฒนามาจากอ้อยสกุล *Saccharum* ของอ้อย 2 สายพันธุ์ *S. officinarum* และ *S. spontaneum* พบว่า พบรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อยและมีปริมาณพื้นที่มูลหวานมาก เมื่อเทียบกับอ้อยสกุล *Erianthus* โดยอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 มีรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อยที่สุดและมีปริมาณพื้นที่มูลหวานมากที่สุด อ้อยสกุล *Saccharum* มีลักษณะสัณฐานวิทยาของใบ กาบใบ และลำต้น มีขนและชั้นของไขปกคลุมไม่มาก (วีระพล และคณะ, 2554) ทำให้แมลงพาหะสามารถดูดกินน้ำเลี้ยงอ้อยได้ทันทีหลังจากแทงปากลงบนต้นอ้อยเพียงไม่กี่ครั้ง โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายเปลี่ยนตำแหน่งในการดูดกินบ่อยครั้ง ส่งผลให้พบจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายน้อย มีการดูดกินน้ำเลี้ยงพืชได้มาก และทำให้แมลงปล่อยมูลหวานออกมามากเช่นเดียวกัน และพบว่าแมลงพาหะเลี้ยงบนอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 และ UT5 สามารถพัฒนาจากระยะไข่ไปจนถึงระยะตัวเต็มวัยได้มีอัตราการขยายพันธุ์ได้ดีและมีอัตราการรอดชีวิตสูง ซึ่งลักษณะทางสัณฐานของพืชมีความเหมาะสมต่อการดูดกินน้ำเลี้ยงพืช ทำให้แมลงได้รับสารอาหารปริมาณมากจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตได้ดี (Schlink-Souza et al., 2018) อนึ่งแม้ว่าในอ้อยเชื้อพันธุกรรม UT5 แมลงพาหะสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่กลับมีจำนวนรอยเจาะของปลอกหุ้มมากและพื้นที่การปล่อยมูลหวานน้อยกว่า อ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 ทั้งนี้อ้อยเชื้อพันธุกรรมทั้ง KK3 และ UT 5 พัฒนามาจากสกุล *Saccharum* ซึ่งเป็นพืชอาหารหลักของแมลงพาหะ แต่อ้อยเชื้อพันธุกรรม UT5 คัดเลือกจากลูกผสมระหว่างผสมพันธุ์แบบหมู่ (poly cross) ของอ้อยโคลน ทำให้มีโอกาสที่ได้รับพันธุกรรมหลากหลายกว่า อ้อย KK3 ที่เป็นพันธุลูกผสม (hybrid) (ประสิทธิ์ และ สมพิศ 2558)

และเมื่อตรวจยืนยันอ้อยที่มีความอ่อนแอและความต้านทานต่อการเกิดโรคใบขาวจากการถ่ายทอดเชื้อโตพลาสมาจากแมลงพาหะสู่อ้อย พบว่า มีเพียงอ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 เท่านั้นที่มีจำนวนเชื้อไฟโตพลาสมาในต้นอ้อย และแสดงอาการของโรคใบขาวด้วย ซึ่งแสดงว่า อ้อยเชื้อพันธุกรรม KK3 เป็นอ้อยพันธุ์ที่ไม่ต้านทานต่อแมลงพาหะและโรคใบขาว ในขณะที่อ้อยสกุล *Erianthus* ที่มีโครงสร้างของใบมีขนและไขคลุมผิวใบสูงทำให้มีความต้านทานสูงต่อการถ่ายทอดเชื้อไฟโตพลาสมาสู่อ้อยแมลงพาหะ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fortes et al. (2020) รายงานว่าสายพันธุ์พืชที่ใบมีความหนาแน่นของขนมาก มีความต้านทานสูงต่อการถ่ายทอดเชื้อจากแมลงพาหะ และสามารถลดการแพร่กระจายของเชื้อไวรัสในพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่างจากสายพันธุ์พืชที่ใบมีความหนาแน่นของขนน้อย

สรุป

วิธีการประเมินเชื้อพันธุกรรมอ้อยที่ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นปีกลายจุดสีน้ำตาล พาหะนำโรคใบขาวอ้อย โดยประเมินจากการเจาะดูดกินน้ำเลี้ยงอ้อยของแมลงพาหะ ซึ่งวัดจากรอยเจาะของปลอกหุ้มน้ำลายและปริมาณการปล่อยมูลหวาน และผลที่มีต่อการ

เจริญเติบโตของแมลงพาหะ ให้ผลการศึกษาไปในทางเดียวกันและสามารถจัดกลุ่มความต้านทานต่อแมลงพาหะ ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1) อ้อยพันธุ์ต้านทาน ในสกุล *Erianthus* 2) อ้อยพันธุ์ต้านทานปานกลาง อ้อยสกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม UT5 และ 3) อ้อยพันธุ์ไม่ต้านทาน สกุล *Saccharum* เชื้อพันธุกรรม KK3 ดังนั้นอ้อยในสกุล *Erianthus* จึงเป็นอ้อยสกุลที่มีศักยภาพควรนำมาใช้เป็นคู่ผสมสำหรับการปรับปรุงพันธุ์อ้อยเพื่อสร้างความต้านทานต่อโรคใบขาวอ้อยได้ ซึ่งวิธีการประเมินผลพันธุ์อ้อยต่อการดูดกินและการเจริญเติบโตของแมลงพาหะ ใช้ระยะเวลาสั้นและง่ายในการทดสอบและสามารถนำไปใช้ในการคัดเลือกอ้อยพันธุ์ต้านทานต่อแมลงพาหะและโรคใบขาว

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ภายใต้โครงการ Development of integrated pest management techniques for sugarcane white leaf Disease based on the ecology of insect vectors โดยทุนวิจัยสนับสนุนจาก Japan International Research Institute of Agricultural Sciences (JIRCAS) ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารอ้างอิง

ประสิทธิ์ ใจศิล และ สมพิศ แย้มมั่นคง. 2558. พันธุอ้อยในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม และมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วีระพล พลรักดี, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, เพียงเพ็ญ ศรวัต, เทวา เมาลานนท์, ปรีชา กาเพ็ชร และอุดม เลียบวัน. 2554. ขอนแก่น 3 พันธุ์อ้อยสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารวิชาการเกษตร. 29: 283-301.

Amalraj, V.A., P. Rakkiyappan, D. Neelamathi, S. Chinnaraj, and S. Subramanian. 2008. Wild cane as a renewable source for fuel and fiber in the paper industry. Current Science. 95: 1599-1602.

Ammar, E.D., R. Alessandro, R.G. Shatters, and D.G. Hall. 2013. Behavioral, ultrastructural and chemical studies on the honeydew and waxy secretions by nymphs and adults of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). PLoS ONE. 8: 1-10.

Chanchala, K.M.G., V.K.A.S.M. Wanasinghe, K.S. Hemachandra, L. Nugaliyadde, and W.R.G. Witharama. 2020. Effect of the epicuticular wax level of leaf lamina on the behaviour of leaf hopper *Deltocephalus menoni* (Hemiptera: Cicadellidae); A vector of sugarcane white leaf disease. Tropical Agricultural Research. 31: 73-85.

Chen, C.T. 1974. Sugarcane white leaf disease in Thailand and Taiwan. Sugarcane pathologist's newsletter. 11: 12-23.

Fortes, I.M., R. Fernández-Muñoz, and E. Moriones. 2020. Host plant resistance to *Bemisia tabaci* to control damage caused in tomato plants by the emerging crinivirus tomato chlorosis virus. Frontiers Plant Science. 14: 1-9.

Goggin, F.L., A. Lorence, and C.N. Topp. 2015. Applying high-throughput phenotyping to plant–insect interactions: picturing more resistant crops. Current Opinion in Insect Science. 9: 69–76.

Hanboonsong Y., C. Choosai, S. Panyim, and S. Damak. 2002. Blackwell science Ltd transovarial transmission of sugarcane white leaf phytoplasma in the insect vector *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura). Insect Molecular Biology. 11: 97-103.

Hanboonsong, Y., W. Ritthison, C. Choosai, and P. Sirithorn. 2006. Transmission of Sugarcane white leaf phytoplasma by *Yamatotettix flavovittatus*, a new leafhopper vector. Journal of Economic Entomology. 99: 1531-1537.

Hanley, M.E., B.B. Lamont, M.M. Fairbanks, and C.M. Rafferty. 2007. Plant structural traits and their role in anti-herbivore defense. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 8: 157–178.

Kawabe, S. 1985. Mechanism of varietal resistance to the rice green leafhopper (*Nephotettix cincticeps* Uhler). Japan Agricultural Research Quarterly. 19: 115-124.

Kobori, Y., and Y. Hanboonsong. 2017. Effect of temperature on the development and reproduction of the sugarcane white leaf insect vector, *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Matsumura) (Hemiptera: Cicadellidae). Journal of Asia-Pacific Entomology. 20: 281–284.

Kumarasinghe, N.C., N. Salim, and W. Wijayarathne. 2010. Identification and biology of two whitefly species on cassava in sri lanka. Journal of plant protection research. 49: 373-377.

Pathak, P.K., R.C. Saxena, and E.A. Heinrichs. 1982. Parafilm sachet for measuring honeydew excretion by *Nilaparvata lugens* on rice. Journal of Economic Entomology. 75: 194-195.

Ram, B., T.V. Sreenivasan, B.K. Sahi, and N. Singh. 2001. Introgression of low temperature tolerance and red rot resistance from *Erianthus* in sugarcane. Euphytica. 122: 145–153.

Rezaul Karim, A.N.M., and R.C. Saxena. 1991. Feeding behavior of three *Naphotettix* species (Homoptera: Cicadellidae) on selected resistant and susceptible rice cultivars, wild rice, and graminaceaous weeds. Journal of Economic Entomology. 84: 1208-1215.

Roddee, J., Y. Kobori, H. Yorozuya, and Y. Hanboonsong. 2017. Characterization of direct current-electrical penetration graph waveforms and correlation with the probing behavior of *Matsumuratettix hiroglyphicus* (Hemiptera: Cicadellidae), the insect vector of sugarcane white leaf phytoplasma. Journal of Economic Entomology. 110: 893–902.

Saxena, R.C. 1987. Antifeedants in tropical pest management. Insect Science and Its Application. 8: 731–736.

Schlick-Souza, E.C., E.L.L. Baldin, R. Morando, and A.L. Lourenção. 2018. Antixenosis to chrysodeixis includens (Lepidoptera: Noctuidae) among soybean genotypes. Bragantia. 77: 1–10.

Sedano, M., N. Lam, I. Escobar, T. Cross, S.F. Hanson, and R. Creamer. 2012. Application of vascular puncture for evaluation of curtovirus resistance in chile pepper and tomato. Journal of Phytopathology. 160: 120–128.

Seo, B.Y., J.K. Jung, B.R. Choi, H.M. Park, S.W. Lee, and B.H. Lee. 2010. Survival rate and stylet penetration behavior of current Korean populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on resistant rice varieties. Journal of Asia-Pacific Entomology. 13: 1–7.

Sogawa, K., and M.D. Pathak. 1970. Mechanisms of brown planthopper resistance in mudgo variety of rice (Hemiptera: Delphacidae). Applied Entomology and Zoology. 5: 145-158.

Tagane, S., W. Ponragdee, T. Sansayawichai, A. Sugimoto, and Y. Terajima. 2011. Characterization and taxonomical note about Thai *Erianthus* germplasm collection: the morphology, flowering phenology and biogeography among *E. procerus* and three types of *E. arundinaceus.* Genetic Resources and Crop Evolution. 59: 769–781.

War, A.R., H.C. Sharma, M.G. Paulraj, M.Y. War, and S. Ignacimuthu. 2011. Herbivore induced plant volatiles: their role in plant defense for pest management. Plant Signaling and Behavior. 6: 1973–1978.

Wongkaew, P., Y. Hanboonsong, P. Sirithorn, C. Choosai, S. Boonkrong, T. Tinnangwattana, R. Kitchareonpanya, and S. Damak. 1997. Differentiation of phytoplasmas associated with sugarcane and gramineous weed white leaf disease and sugarcane grassy shoot disease by RFLP and sequencing. Theoretical Applied Genetics. 95: 660-663.

Yorozuya, H. 2017. Analysis of tea plant resistance to tea green leafhopper, *Empoasca onukii*, by detecting stylet-probing behavior with DC electropenetrography. Entomologia Experimentalis et Applicata. 165: 62–9.

Yorozuya, H., and J. Tanaka. 2012. The degrees of feeding damage and the numbers of probing punctures by tea green leafhopper, *Empoasca onukii* Matsuda in tea germplasms. Kyusyu Plant Protection Research. 58: 93–99.