

พฤติกรรมการทำลายข้าวของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางของประเทศไทย

The Feeding Behavior on Rice Plants of Brown Planthopper in the Central Irrigated Rice Field of Thailand

ฐานันท์ ฤ พัทลุง และวิภา ตังคนานนท์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Thanat Na-Phatthalung and Wipa Tangkananond*

Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การระบาดและการเป็นแมลงพาหะนำโรคไวรัสข้าวของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล นับเป็นปัญหาสำคัญของกระบวนการปลูกข้าวในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางของประเทศไทยและพื้นที่ปลูกข้าวเอเชีย ซึ่งส่งผลกระทบต่อและก่อให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้างต่อผลผลิตข้าวเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก ตั้งแต่ระดับ 10-100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่นาชลประทาน นาหว่านน้ำตม และนาปรัง และตั้งแต่ระดับ 5-60 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่นาดำและนาปี ตามลำดับ กลไกการทำลายข้าวของแมลงสามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของต้นข้าวทำให้ใบเหลืองซีดและต้นข้าวแห้งตาย (ฮอปเพอร์เบิร์น) โดยสามารถถ่ายทอดไวรัสโรคข้าวได้ในทุกระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว เนื่องจากเป็นแมลงชนิดปากเจาะดูด ซึ่งจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของต้นข้าว ทำให้ได้รับธาตุอาหารพืชและไวรัสจากน้ำเลี้ยงพืช โดยธาตุอาหารพืชจะถูกลำเลียงผ่านระบบทางเดินอาหารที่สมบูรณ์ของแมลง ซึ่งจะวางขนานไปตามความยาวของลำตัวจนถึงทวารหนัก และไวรัสจะมีการเพิ่มจำนวนภายในอวัยวะภายในของแมลง จากนั้นธาตุอาหารพืชและไวรัสจะไหลเวียนเข้าสู่กระแสโลหิตของแมลง ซึ่งเป็นระบบหมุนเวียนโลหิตแบบเปิด ทำหน้าที่ในการลำเลียงสารต่าง ๆ เพื่อเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของแมลง นอกจากนี้จะส่งผลกระทบต่อต้นข้าวและแมลงพาหะแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อระบบการบริหารจัดการเพื่อความสมดุลของระบบนิเวศน์ในนาข้าว และภาพรวมในระดับเศรษฐกิจทั้งระดับจุลภาคและมหภาค การบูรณาการข้อมูลทางด้านชีววิทยา กีฏวิทยา ไวรัสพืชวิทยา ระบาดวิทยา และพฤติกรรมการทำลายข้าวของแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าว จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำคัญสำหรับการกำหนดยุทธศาสตร์ที่เป็นรูปธรรมในการบริหารจัดการเพื่อป้องกัน ควบคุม และกำจัดแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุดอย่างยั่งยืน รวมทั้งสอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต

คำสำคัญ : เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล; โรคไวรัสข้าว; การถ่ายทอดไวรัสโรคข้าว; พฤติกรรมทำลายข้าว

Abstract

The outbreak and rice viral transmission of brown planthoppers are the major problem in rice cultivation of the central irrigated rice field of Thailand and neighboring countries. They are affecting and causing widespread damages to rice yields for domestic consumption and exports. The ranges of damages are from 10 to 100 % of irrigated rice, wet-seeded rice and off-season rice field, and from 5 to 60 % of wetland rice and rained rice field. Insect damage mechanism can cause changes in physical appearance of rice plants, yellowing and drying leaves (hopperburn) and rice viral transmissions at all stages of rice plant growth because it is the sap-sucking insect, which sucks the rice sap from the xylem and phloem of the rice plants. The insect gets plant nutrients and rice viruses from rice sap and transports through the complete digestive tract of insects, which paralleled to the length of anus body. The rice virus replicates within the insect's internal organs. After that, the plant nutrients and rice viruses circulate into the bloodstream of insect, which is an open circulatory system for transporting various nutrients to its tissues. In addition, it affects rice plants, insect vectors, and the management system of ecological balance in rice fields and the overall of micro and macroeconomics. The integration of biology, entomology, plant virology, epidemiology, and feeding behavior of insect vectors and rice viral diseases, will be an important preliminary data for establishing the concrete strategy to protect, control and eliminate the insect vectors and rice viral diseases. This would result sustainable effectiveness, relevant to the current situation and in the future.

Keywords: brown planthopper; rice viral diseases; rice viral transmission; rice feeding behavior

1. คำนำ

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญที่สุดของกระบวนการปลูกข้าวในพื้นที่นาชลประทานภาคกลางของประเทศไทย และพื้นที่ปลูกข้าวเอเชีย นอกจากนี้ยังเป็นแมลงพาหะในการถ่ายทอดไวรัสโรคข้าวที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับพันธุ์ข้าวใหม่ๆ และสามารถเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็วและมหาศาลในสภาพธรรมชาติ เนื่องจากเป็นแมลงที่มีการอพยพในระหว่างฤดูและสิ้นสุดการปลูกข้าว ทำให้ยากต่อการป้องกัน ควบคุม และกำจัด อุบัติการณ์การระบาดของแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าวเพิ่มขึ้นในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นยุคแรกของการปฏิวัติเขียว (first green revolution) ในการเร่งรัดผลผลิต

ข้าว โดยมีสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศแกนนำในการนำเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาและปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ในการเร่งรัดการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้มีความสอดคล้องกับประชากรของโลกที่เพิ่มมากขึ้น สหรัฐอเมริกาได้ก่อตั้งสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI, International Rice Research Institute) เมื่อปี พ.ศ. 2503 ขึ้นที่เมืองลอสบันโยส (Los Banos) ประเทศฟิลิปปินส์ โดยความร่วมมือของมูลนิธิฟอร์ด (Ford) และมูลนิธิร็อกกี้เฟลเลอร์ (Rockefeller) กับรัฐบาลฟิลิปปินส์ เพื่อวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีเกี่ยวกับข้าวให้แก่นักวิชาการของประเทศต่าง ๆ โดยให้ประเทศสมาชิกส่งเมล็ดพันธุ์ข้าวพื้นเมืองมาเก็บรักษาไว้ที่สถาบัน ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศสมาชิกที่ตอบรับ

นโยบายดังกล่าว จนกระทั่งปี พ.ศ. 2509 รัฐบาลไทยได้มีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรไทยปลูกพันธุ์ข้าวที่ผ่านการพัฒนาสายพันธุ์จากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิต (บริบูรณ์, 2544) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชื้อพันธุ์ข้าวเดิมและมีการส่งเสริมวิธีการปลูกข้าวโดยใช้รูปแบบของเทคโนโลยีสำเร็จรูป (package of technology) ที่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบ และวิธีการเดิมในกระบวนการปลูกข้าวของประเทศไทยจากนาคามาเป็นวิธีการปลูกข้าวแบบนาหว่าน ผนวกกับการใช้สารเคมีเพื่อการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ทางการเกษตร ที่ส่งผลกระทบต่อเป็นระบบลูกโซ่ของการปรับตัวของแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าวในสภาพธรรมชาติเพื่อต้านทานต่อสายพันธุ์ข้าวและรูปแบบการปลูกที่ได้มีการพัฒนาขึ้น จนเกิดการระบาดอย่างกว้างขวาง ต่อเนื่อง และรุนแรงในทุกแหล่งปลูกข้าวของทวีปเอเชีย

ผลที่ได้จากการปฏิวัติเขียวในครั้งนี้หนึ่งมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้มีความสอดคล้องกับประชากรของโลกที่เพิ่มมากขึ้น จากการรายงานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) พบว่าในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2517-2532 ผลผลิตข้าวในโลกเพิ่มมากขึ้นถึง 46 เปอร์เซ็นต์ (รังสรรค์, 2534) แต่ในขณะเดียวกันได้ก่อให้เกิดการทำลายระบบนิเวศน์ มีการใช้สารฆ่าแมลงกันอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุนี้ระบบการเกษตรจึงต้องปรับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ในขณะเดียวกันก็มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ ทำให้เกิดการปฏิวัติเขียวเป็นครั้งที่สองขึ้น (second green revolution) จนถึงปัจจุบัน พร้อม ๆ กับการระบาดของแมลงศัตรูข้าวและโรคข้าวที่เพิ่มมากขึ้นจนยาก

ที่จะควบคุม ประเทศไทยนั้นเป็นหนึ่งในหลาย ๆ ประเทศ ที่เผชิญกับปัญหาการระบาดของแมลงศัตรูข้าวและโรคข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ระบาดในพื้นที่นาชลประทานบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวแหล่งใหญ่ของประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 และมีการระบาดเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยแมลงสามารถก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตข้าวได้ในทุกระยะการเจริญเติบโต ทั้งนี้ความรุนแรงของการระบาดและความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นผลสืบเนื่องจากการปรับตัวตามธรรมชาติของแมลงพฤติกรรมการใช้สารฆ่าแมลงของเกษตรกร การปรับเปลี่ยนวิถีเกษตรกรรม และการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น

บทความฉบับนี้จึงได้รวบรวมและบูรณาการข้อมูลโดยสังเขปทางด้านชีววิทยา กีฏวิทยา ไวรัสพืชวิทยา นิเวศวิทยา ระบาดวิทยา การถ่ายทอดโรค ปฏิสัมพันธ์และพฤติกรรมการทำลายข้าวของแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าว ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการกำหนดยุทธศาสตร์ด้านการรักษาข้าว การพยากรณ์ และการบริหารจัดการแมลงพาหะและไวรัสโรคข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประสิทธิผลสูงสุดอย่างเป็นรูปธรรมที่ยั่งยืน

2. เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล [brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål)] เป็นแมลงศัตรูข้าวจำพวกดูดกินน้ำเลี้ยง (sap-sucking phytophagous insect) จัดอยู่ในวงศ์ Delphacidae วงศ์ย่อย Fulgoroidea (delphacid planthoppers) อันดับ Hemiptera อันดับย่อย Homoptera (วันทนา และคณะ, 2558) ที่มีการแพร่ระบาดก่อให้เกิดการทำลายต้นข้าวอย่างฉับพลันและรุนแรง และเป็นแมลงพาหะที่สำคัญในการถ่ายทอดไวรัสใบหงิกข้าว (*Rice ragged stunt virus*, RRSV) และไวรัสเขียว

เตี้ย (*Rice grassy stunt virus*, RGSV) ที่สร้างความเสียหายแก่ผลผลิตข้าวประมาณ 10-100 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่เขตอบอุ่น (temperate zone) เขตกึ่งร้อน (subtropical zone) และเขตร้อน (tropical zone) ของทวีปเอเชียมากที่สุด ได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ลาว เวียดนาม มาเลเซีย อินเดีย ศรีลังกา บังกลาเทศ ไต้หวัน เกาหลี จีน ญี่ปุ่น เนปาล ปากีสถาน รวมทั้งหมู่เกาะแปซิฟิก และออสเตรเลีย (สุวัฒน์, 2533; สุเทพ, 2552; Khush, 1979; Hibino, 1996; Bing *et al.*, 2007; Latif *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2014) แมลงมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น Bena perang (มาเลเซีย) (Hashim, 1989) Wereng coklat (อินโดนีเซีย) (Effendi and Munawar, 2013) และ Tobi-ro-unka (ญี่ปุ่น) (Wada and Munakata 1967) สำหรับประเทศไทยเกษตรกรในบริเวณพื้นที่นาชลประทานภาคกลางเรียกว่าเพลี้ยกระโดด เพลี้ยจักจั่น เพลี้ยจักจั่นสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเทา เพลี้ยหลุม และเพลี้ย (วันทนา, 2553)

3. วงจรชีวิตของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีวงจรชีวิต (life cycle) และการเจริญเติบโตแบบเปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่สมบูรณ์ (incomplete metamorphosis หรือ hemimetamorphosis) โดยอาศัยวิธีการลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะไข่ (egg stage) ประมาณ 8-9 วัน (2) ระยะตัวอ่อน (nymphal state) ประมาณ 14-17 วัน ซึ่งตัวอ่อนจะมี 5 วัย (instar) และมีพัฒนาการในแต่ละวัยตั้งแต่วัยที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 จะใช้ระยะเวลาประมาณ 4, 3-5, 2-4, 3-5 และ 4-5 วัน ตามลำดับ และ (3) ระยะตัวเต็มวัย (adult stage) ประมาณ 13-15 วัน ซึ่งลักษณะตัวเต็มวัยของแมลงทั้งเพศผู้และเพศเมียมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะปีกสั้น (brachypterous form หรือ short winged form) และลักษณะ

ปีกยาว (macropterous form หรือ long winged form) โดยตัวเต็มวัยทั้งชนิดปีกสั้นและปีกยาว เพศเมียมีอายุประมาณ 15 วัน และเพศผู้มีอายุประมาณ 13 วัน (สุวัฒน์, 2533) ตามลำดับ รวมระยะเวลาตลอดวัฏจักรชีวิตประมาณ 30-40 วัน ลักษณะของตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะมีรูปร่างโดยทั่ว ๆ ไปที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะบางอย่างของแต่ละระยะพัฒนาการที่เพิ่มขึ้น เช่น ขนาดลำตัว และปีกที่ใหญ่ขึ้น สีของตาตามระยะพัฒนาการจากสีแดงในระยะตัวอ่อนและค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นเมื่อเจริญเข้าสู่ตัวเต็มวัย สีของลำตัวตามระยะพัฒนาการที่เปลี่ยนจากสีขาวในระยะตัวอ่อนและค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม และสีดำเมื่อเจริญเข้าสู่ตัวเต็มวัย และความสมบูรณ์ของอวัยวะอื่น ๆ (Manjunath, 1977; Ayoade *et al.*, 1996; Xu and Zhang, 2016)

4. พฤติกรรมการทำลายข้าวของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

พฤติกรรมการทำลายข้าวของแมลงเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) การดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชอาหารซึ่งเป็นพฤติกรรมการทำลายทางตรง โดยทำให้ต้นข้าวมีลักษณะใบเหลืองและแห้งตายทั้งต้นที่เรียกว่าอาการไหม้ (hopper burn) ความรุนแรงของอาการต้นข้าวใบเหลืองและแห้งตายนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและความต่อเนื่องของการดูดกินของแมลง และ (2) การถ่ายทอดไวรัสโรคข้าวซึ่งเป็นพฤติกรรมการทำลายทางอ้อม ซึ่งพฤติกรรมทั้งสองลักษณะนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายในระดับ 10-100 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะการถ่ายทอดไวรัสจะมีความไม่แน่นอน (intermittent) และจากการศึกษาพบว่าแมลงมีเปอร์เซ็นต์การถ่ายทอดไวรัสได้ในระดับที่ต่างกัน ได้แก่ 12-40 เปอร์เซ็นต์ (Hibino *et al.*, 1977; Senboku *et al.*, 1978) 6-7 เปอร์เซ็นต์ (Ghosh *et*

al., 1979) และ 34-49 เปอร์เซนต์ (Habibuddin and Ang, 1984) ซึ่งลักษณะพฤติกรรมการทำลายข้าวดังกล่าวมีปัจจัยสำคัญเพื่อความอยู่รอดและการแสดงออกทางพฤติกรรมของแมลง ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ของพืชอาหารและพืชอาศัย ปริมาณความหนาแน่นของประชากร อุณหภูมิ ความชื้น แสง ความชื้น รวมทั้งทิศทาง ระยะเวลา และอิทธิพลของลมมรสุม (monsoon) หรือลมประจำฤดู (seasonal wind) ซึ่งเป็นกระแสลมช่วยในการอพยพ (wind borne migration) ที่พัดเปลี่ยนทิศทางไปตามฤดูกาลเป็นช่วงระยะเวลาประมาณทุกครึ่งปี และมีทิศทางพัดที่แน่นอน (Kisimoto, 1977) โดยส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของวัฏจักรชีวิตและกระบวนการทำลายข้าวของแมลง ดังนี้

4.1 การอพยพเข้ามาในพื้นที่นาชลประทานในประเทศไทย

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลปีกยาวสามารถเคลื่อนย้าย (displacement) และอพยพ (migration) ไปได้ในระยะทางที่ไกลและไกล (Xu and Zhang, 2016) โดยแมลงจะเคลื่อนย้ายและอพยพออก (emigration) จากเขตอบอุ่นตามกระแสลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (north-east monsoon) และลมฝ่ายตะวันออกเฉียง (eastern wind) ที่พัดจากทางเหนือสู่ทางใต้ในระยะทางที่ไกลมาสู่เขตกึ่งอบอุ่นและเขตร้อนประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนมกราคม (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2556) และจะอพยพเข้าสู่พื้นที่นาชลประทานในประเทศไทย (immigration) เพื่อเพิ่มปริมาณและทำลายต้นข้าวในช่วงหลังการหว่านหรือการปักดำ (transplantation stage) ประมาณเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน (wet-season rice) และประมาณเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นฤดูข้าวนาปรัง (dry-season rice) ตั้งแต่ต้นข้าวอายุได้ประมาณ 3-5 วัน และสามารถ

พบปริมาณของแมลงสูงสุดเมื่อต้นข้าวอายุได้ประมาณ 15-19 วัน (วันทนา, 2553)

สภาพพื้นที่ของประเทศไทยภาคกลางส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มมีน้ำท่วมเหมาะแก่การปลูกข้าว และด้วยสภาพสังคม การขาดแคลนแรงงาน และเศรษฐกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงไป มีการนำเทคโนโลยีแบบใหม่เข้ามาใช้ในการปลูกข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ให้มีปริมาณมากขึ้น รวมถึงการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่สำหรับเก็บกักน้ำไว้เพื่อการชลประทานให้แก่เกษตรกรในการเพาะปลูกข้าว ทำให้พื้นที่การปลูกข้าวเพิ่มมากขึ้นและสามารถปลูกข้าวได้ตลอดทั้งปี พันธุ์ข้าวที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาดี แต่ไม่ต้านทานต่อการทำลายของแมลง โดยพื้นที่นาของเกษตรกรโดยส่วนมากจะเป็นพื้นที่นาเช่า เกษตรกรจึงต้องปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการพักนา เพื่อรักษาสีเขียวในการเช่าพื้นที่นาเพื่อการเพาะปลูก มีการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้ดี ร่วมกับการใช้สารฆ่าแมลงในกลุ่มที่มีพิษร้ายแรง และชักนำให้เกิดการระบาดของที่เพิ่มมากขึ้นหลังการใช้ (insecticide inducing resurgence) ทั้งในลักษณะสารเดี่ยว สารผสม สารชนิดเม็ด และสารพ่นฝุ่น แม้ว่าเกษตรกรไทยจะมีการใช้สารฆ่าแมลงเมื่อพบการอพยพเข้ามาและการระบาดในพื้นที่นา แต่ด้วยระดับประชากรแมลงที่มีจำนวนมาก และมีการอพยพเคลื่อนย้ายอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากลักษณะการปลูกข้าวของเกษตรกรไม่พร้อมกัน ทำให้แมลงมีแหล่งพืชอาศัยและพืชอาหารอย่างต่อเนื่อง อันเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพนิเวศน์การเกษตร เป็นผลให้แมลงสามารถขยายแพร่พันธุ์ต่อไปอย่างรวดเร็วเมื่อเชื่อมต่อกับฤดูปลูกข้าวใหม่ จนเกิดปัญหาการระบาดของแมลงและไวรัสโรคข้าวตามมา (วันทนา และคณะ, 2554) การเปรียบเทียบวิธีการปลูกข้าว การบริหารจัดการ ลักษณะที่ส่งเสริมการอพยพเข้ามาในพื้นที่นาและการระบาดของเพลี้ย

กระโดดสีน้ำตาล และโอกาสของการระบาดของ (เปอร์เซ็นต์) ในพื้นที่นาของประเทศไทยดังตารางที่
ไวรัสโรคข้าว แมลงศัตรูข้าว และความเสียหาย 1 (ฐานัญ, 2557)

ตารางที่ 1 การปลูกข้าว การบริหารจัดการ และลักษณะที่ส่งเสริมการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลใน พื้นที่นาของประเทศไทย (ที่มา : จดหมายข่าว เกษตรนครหลวง, 2555; พงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2555; วาทีณี, 2557; วรณวิไล, 2560)

การปลูกข้าวและลักษณะที่ส่งเสริมการระบาดของแมลง	นาชลประทาน ^{1/}	นาหว่านน้ำตม ^{2/}	นาดำ ^{3/}	นาปีหรือนาน้ำฝน ^{4/}	นาปรัง ^{5/}
ปริมาณการใช้เมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสม (กก./ไร่)	~10-15	~8-15	~5-15	~10-15	~10-15
ความหนาแน่นของต้นข้าว	สม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ
ความสม่ำเสมอของระยะปลูก (ซม.)	~20 x 25	ไม่สม่ำเสมอ	~20 x 25	~25 x 25	~20 x 25
ระบบน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก	ชลประทาน	ชลประทาน	น้ำฝน	น้ำฝน	ชลประทาน
การควบคุมปริมาณน้ำ	ง่าย	ยาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
ระดับน้ำที่เหมาะสมในแปลง (ซม.)	~5-15	~5-10	~5-10	≤ 50	~5-10
ความชื้นและร่มเงาในแปลง	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
การควบคุมวัชพืช	ง่าย	ยาก	ง่าย	ยาก	ง่าย
การควบคุมแมลงศัตรูข้าว	ปานกลาง	ยาก	ง่าย	ปานกลาง	ง่าย
โอกาสของการระบาดของไวรัสโรคข้าว แมลงศัตรูข้าว และความเสียหาย (เปอร์เซ็นต์)***	10-100	10-100	5-60	5-60	10-100
ต้นทุนการปลูก	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูง
ผลผลิต	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง-สูง	สูง	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง

^{1/}นาชลประทาน (irrigated rice) คือ นาข้าวในเขตที่มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์; ^{2/}นาหว่านน้ำตม (wet-seeded rice) คือ นาข้าวที่ปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ดลงไปในพื้นที่เตรียมพื้นที่ไว้แล้วโดยตรง; ^{3/}นาดำ (wetland rice) คือ นาข้าวที่มีการนำเมล็ดข้าวไปเพาะในแปลงที่เตรียมไว้แห้งเป็นต้นกล้า แล้วถอนต้นกล้าไปปักดำในพื้นที่เตรียมไว้; ^{4/}นาปีหรือนาน้ำฝน (rained rice) คือ นาข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติตามฤดูฝน ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละภาคและท้องที่ ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง (photoperiod insensitive varieties); ^{5/}นาปรัง (off-season rice) คือ นาข้าวที่ต้องปลูกนอกฤดูทำนา ส่วนมากจะใช้พันธุ์ข้าวไวแสง (photoperiod sensitive varieties); ***ขึ้นอยู่กับความรุนแรงในการระบาดและการบริหารจัดการ

4.2 พืชอาหารและพืชอาศัยเพื่อการดำรงชีวิตของแมลง และการปรับตัวเพื่อทำลายข้าวพันธุ์ต้านทาน

ข้าวเป็นพืชอาศัย (host plant หรือ alternative host) และพืชอาหารหลัก (food plant) ของแมลง โดยแมลงจะมีความสามารถในการ

ปรับตัวเข้ากับพันธุ์ข้าวใหม่ ๆ ได้อย่างรวดเร็ว (ปรีชา และเฉลิม, 2540; วันทนา และธรรมนุญ, 2541) ตัวเต็มวัยเพศเมียทั้งชนิดปีกลันและปีกยาวสามารถผสมพันธุ์ได้หลังจากเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัยแล้วประมาณ 2-4 และ 3-6 วัน ตามลำดับ และจะเริ่มวางไข่โดยใช้อวัยวะวางไข่ (ovipositor) ที่มีลักษณะเป็นเดือยแหลมเจาะเข้าไปใน parenchymatous tissue ตามบริเวณกาบใบข้าวซึ่งอยู่เหนือหรือใกล้ระดับน้ำ หลังจากการอพยพเข้ามาในแปลงนาแล้วประมาณ 13-20 วัน โดยตัวเต็มวัยเพศเมียชนิดปีกลันและปีกยาวมีช่วงระยะเวลาก่อนวางไข่ (preoviposition period) 3-4 และ 3-10 วัน ตามลำดับ และมีปริมาณไข่ (fecundity) ประมาณ 300 และ 100 ฟอง ตามลำดับ (Xu and Zhang, 2016) ในขณะที่ตัวเต็มวัยเพศผู้ทั้งชนิดปีกลันและปีกยาวจะสามารถผสมพันธุ์ได้ทันทีหลังจากเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย และสามารถผสมพันธุ์ได้สูงสุดเฉลี่ย 6 ครั้ง/วัน และตลอดทั้งชีวิตสามารถผสมพันธุ์ได้เฉลี่ย 21 ครั้ง โดยในหนึ่งฤดูปลูกข้าว แมลงสามารถที่จะเพิ่มปริมาณได้ประมาณ 3-4 ช่วงอายุขัย (generation) (Kisimoto, 1977)

แมลงจะอาศัยดูดกินน้ำเลี้ยง (plant sap) ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน และเจริญเติบโตบริเวณกาบใบข้าวในบริเวณเหนือระดับผิวน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีร่มเงาและความชื้นสูง สำหรับพื้นที่นาชลประทานของประเทศไทยความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลงประมาณ 70-90 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (สุวรรณ, 2533) โดยแมลงสามารถเพิ่มจำนวนบนข้าวพันธุ์และลักษณะความต้านทานได้ในระดับที่แตกต่างกัน ดังนี้ กข 1 (พันธุ์ไม่ต้านทาน 21 เท่า) กข 7 (พันธุ์ไม่ต้านทาน 13-14 เท่า) และ กข 21 (พันธุ์ค่อนข้างต้านทาน 6-7 เท่า) ตามลำดับ (ปรีชา, 2533) ในกลุ่มประชากรของแมลงเดียวกันและแมลงแต่ละตัวจะมีความ

หลากหลายทางพันธุกรรม เมื่อเกิดการระบาดและทำลายข้าวในพื้นที่นาที่ปลูกข้าวพันธุ์ต้านทานเป็นพื้นที่กว้างต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาอันยาวนานโดยไม่มี การพักนา จะทำให้ข้าวพันธุ์ต้านทานถูกทำลายและสูญเสียลักษณะความต้านทานต่อการทำลายของแมลง ความหลากหลายของแมลงในการทำลายข้าวที่มีลักษณะของยีนต้านทานที่แตกต่างกัน ซึ่งเรียกลักษณะความแตกต่างนี้ว่าชีวชนิด (biotype) (วันทนา และคณะ, 2554) ทั้งนี้จากรายงานของ นิภา (2537) ได้รายงานว่าเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทยเป็นลักษณะชีวชนิดแบบผสม (mixed biotype) โดยตัวอย่างลักษณะการสูญเสียความต้านทานของพันธุ์ข้าวต่อการทำลายของแมลง ได้แก่ การปลูกข้าวพันธุ์ กข 21 และ กข 25 ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาอันยาวนาน 3 ปี (สมพงษ์, 2537) และการปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาอันยาวนาน 2-3 ฤดูปลูก (นิภา และจินตนา, 2539) เป็นต้น

ลักษณะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงจะมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลดำ รวมทั้งยังมีความแตกต่างในลักษณะของปีกทั้งชนิดปีกลันและปีกยาวในระยะตัวเต็มวัย หากความหนาแน่นประชากรไม่ถึงระดับเศรษฐกิจ (1 ตัว/ต้น) ลำตัวของแมลงจะมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลเข้ม และส่วนใหญ่จะเป็นชนิดปีกลัน แต่หากประชากรหนาแน่นในระดับที่มากกว่า 100 ตัว/ต้น ลำตัวของแมลงจะมีสีน้ำตาลดำ และส่วนใหญ่จะเป็นชนิดปีกยาว สีของลำตัวแมลงนี้สามารถใช้เป็นข้อสังเกตในการสุ่มสำรวจเพื่อเตือนการระบาดได้ โดยพบว่าลักษณะดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่และความอุดมสมบูรณ์ของพืชอาหาร เนื่องด้วย ความหนาแน่นของประชากรแมลงที่ไม่ถึงระดับเศรษฐกิจ มีความอุดมสมบูรณ์ของพืชอาหารและพืชอาศัยมาก ลักษณะเนื้อเยื่อของต้นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มและอวบน้ำเหมาะต่อการดูดกินน้ำเลี้ยงโดย

การใช้ปากแทงดูดน้ำเลี้ยง (วันทนา และคณะ, 2558)

องค์ประกอบทางเคมี (phytochemicals) ของน้ำเลี้ยงต้นข้าวในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตจะมีปริมาณน้ำตาล ธาตุไนโตรเจน และกรดอะมิโนอิสระสูง ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก (aspartic acid, Asp) เซอรีน (serine, Ser) กรดกลูตามิก (glutamic acid, Glu) อะลานีน (alanine, Ala) วาลีน (valine, Val) ลิวซีน (leucine, Leu) และฟีนิลอะลานีน (phenylalanine, Phe) เป็นต้น ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (60-65 วัน) (vegetative growth phase) มีการเตรียมสารอาหารเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ก่อนระยะการกำเนิดช่อดอก และระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (30-35 วัน) (reproductive growth phase) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของต้นข้าวนี้จะกระตุ้นให้แมลงเข้ามาการดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าว (feeding stimulant) (ภมร และคณะ, 2557; Li *et al.*, 1996) ระดับอุณหภูมิ (20-30 องศาเซลเซียส) ที่เหมาะสมต่อพัฒนาการของการเจริญเติบโตและการผลิตเซลล์สืบพันธุ์ของต้นข้าว (ไม่ควรต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) และระดับความชื้นสัมพัทธ์ในแปลงนา (70-90 เปอร์เซ็นต์) ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแมลงจนครบวัฏจักรชีวิตและสามารถเพิ่มปริมาณได้ ในทางกลับกันเมื่อประชากรแมลงหนาแน่นขึ้นในระดับที่มากกว่า 100 ตัว/ต้น ซึ่งเกิดจากปริมาณของแมลงสะสมที่เพิ่มปริมาณอย่างต่อเนื่องมาจากระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของต้นข้าวในช่วงแรก จนทำให้เกิดความขาดแคลนพืชอาหารและพืชอาศัย ต้นข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะออกรวงใกล้จะเก็บเกี่ยว (20-25 วัน) (ripening phase) ตั้งแต่ระยะดอกบาน การพัฒนาการของเมล็ด และการสุกแก่ของเมล็ด ซึ่งในระยะนี้เนื้อเยื่อต้นข้าวมีลำต้นแข็งไม่เหมาะต่อการดูดกินน้ำเลี้ยง องค์ประกอบ

ของน้ำเลี้ยงต้นข้าวถูกใช้เพื่อการสร้างเมล็ด ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส และระดับความชื้นสัมพัทธ์ในแปลงนาที่ลดลงเนื่องจากใกล้ฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้ตัวเต็มวัยของแมลงจะปรับตัวให้มีลักษณะปีกยาวเพื่อการอพยพไปหาแหล่งอาหารอื่น ๆ ต่อไป (สุวัจน์, 2544; วันทนา, 2553; วิโรจน์ และคณะ, 2557)

ลักษณะองค์ประกอบของธาตุอาหารในต้นข้าวที่มีปริมาณธาตุไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้แมลงสามารถอยู่รอดและแพร่ขยายพันธุ์ได้ดี จากการศึกษาพบว่าหากปริมาณไนโตรเจนในต้นข้าวมีประมาณ 1.6 เปอร์เซ็นต์ แมลงจะวางไข่ได้ประมาณ 210 และ 80 ฟอง และหากปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แมลงจะวางไข่ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 400 และ 200 ฟอง ที่ระดับอุณหภูมิ 28 และ 38 องศาเซลเซียสตามลำดับ ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพในการวางไข่และฟักไข่ของแมลงจะลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณธาตุไนโตรเจนในต้นข้าวเพิ่มมากขึ้น ในภาวะปกติแมลงตัวเต็มวัยเพศเมีย 1 ตัว สามารถวางไข่ได้ถึง 8 ล้านฟองต่อการทำนา 1 รอบ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแมลงสามารถวางไข่ได้เพิ่มขึ้นถึง 320,000 ล้านฟองต่อการทำนา 1 รอบ และส่งผลต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการอยู่รอดของตัวอ่อนแมลงและมีวัฏจักรชีวิตในระยะพัฒนาการสั้นลงขณะที่ตัวเต็มวัยเพศเมียจะมีขนาดตัวที่ใหญ่ขึ้นสามารถวางไข่ได้ปริมาณมากขึ้น และมีวัฏจักรชีวิตที่ยาวนานขึ้น ปริมาณธาตุไนโตรเจนในต้นข้าวจากการปรับเปลี่ยนทางนิเวศวิทยาจะช่วยเพิ่มความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมให้กับแมลงและชีววิทยาของแมลง โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทนทานต่อการขาดแคลนพืชอาหารได้ยาวนานขึ้น และส่งผลให้แมลงสามารถที่จะอพยพไปหาแหล่งอาหารใหม่ ๆ ได้ในระยะทางที่ไกลมาก

ขึ้น (พุทธรักษา และจตุพร, 2553; กรสิริ และคณะ, 2557)

ความสำคัญของพฤติกรรมการดำรงชีวิตของแมลงบนพืชอาศัยและพืชอาหาร นอกจากจะส่งผลต่อการขยายพันธุ์ของแมลงแล้วยังส่งผลต่อพฤติกรรมการอยู่รอดข้ามฤดูเพาะปลูก (survival of plant pathogen) และการถ่ายทอดไวรัสโรคข้าว (rice viral transmission) อีกด้วย โดยแมลงและไวรัสสามารถที่จะดำรงอยู่เพื่อที่จะเป็นกำลังหรือพลังงานทางชีววิทยาในการเข้าทำลายพืช (inoculum potential) จากการรายงานของ ดารา และคณะ (2533) พบว่าตอซังหรือลูกข้าว (rice stubble) วัชพืช (weed) และข้าวป่า (wild rice) ซึ่งมักจะพบได้ทั่ว ๆ ไปในแปลงนาและบริเวณใกล้เคียงจะเป็นแหล่งของพืชอาศัยและพืชอาหาร ทั้งในช่วงฤดูและนอกฤดูทำนาได้ตลอดทั้งปี และจะเป็นจุดเริ่มต้นในการแพร่ระบาดของแมลงและไวรัสต่อไปได้ (source of inoculum)

4.3 กระบวนการดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชอาหาร

4.3.1 อวัยวะในการดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืชอาหาร

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีปากแบบเจาะดูด (piercing-sucking type) (Cheng and Zhu, 2005; Du *et al.*, 2015) ซึ่งโดยทั่วไปแมลงเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเพียงชนิดเดียวที่มีปากประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัว (head) ส่วนอก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen) ตามลำดับ ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงจะดูดกินน้ำเลี้ยง (plant sap) จากกาบใบข้าว (leaf sheath) โดยใช้ส่วนของปาก (stylet sheath) ที่มีลักษณะแหลมเป็นเส้น (piercing) และประกบกันเป็นหลอดยาว (stylet tip หรือ stylet bundle) เจาะเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อลำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) ในเนื้อเยื่อพืช (Morgan *et al.*, 2013) โดยแมลงจะมีกระบวนการ

การหลั่งน้ำลายลงในเนื้อเยื่อพืชเป็นระยะ ๆ และหลั่งซ้ำ (Huang *et al.*, 2015a; Huang *et al.*, 2015b) ซึ่งลักษณะการหลั่งน้ำลายจะมี 2 แบบ ได้แก่ (1) การหลั่งน้ำลายชนิดเหนียว (mucous หรือ gelling saliva) สำหรับห่อหุ้มส่วนของปากที่มีลักษณะแหลมและเล็กคล้ายเข็มที่เรียกว่า stylet เพื่อสร้างเป็นปลอกน้ำลาย (salivary sheath feeding หรือ feeding sheath) ทำให้เกิดเป็นท่อสำหรับเป็นช่องทางให้ stylet ขึ้นลงได้สะดวก โดยมีทั้งแบบเดี่ยว (single branch sheath) และแบบแขนง (multi-branch sheath) ขนาดยาวประมาณ 300-750 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8.2-9.8 ไมโครเมตร ลักษณะปลอกน้ำลายที่สร้างขึ้นนั้นมีพื้นผิวด้านนอก (outer surface) ลักษณะขรุขระ (protuberances) เป็นปุ่มนูน (bud) และผิวบาง (pit-like structure) พื้นผิวด้านใน (inner surface) มีลักษณะเรียบ (smooth) และส่วนปลายของปลอกน้ำลายจะเป็นช่องทางเปิดออก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5-4.5 ไมโครเมตร เพื่อเป็นช่องทางสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้นลงของ stylet (Sogawa, 1970; Wang *et al.*, 2008) และ (2) การหลั่งน้ำลายชนิดใส (watery saliva) ลงในท่อลำ (xylem) และท่ออาหาร (phloem) ของเนื้อเยื่อพืชเพื่อช่วยย่อยเซลล์พืช (Huang *et al.*, 2016)

4.3.2 การหลั่งน้ำลายและการย่อยเซลล์พืชเพื่อดูดกินน้ำเลี้ยง

ธาตุอาหารและสารชีวโมเลกุล ได้แก่ ซูโครส (sucrose) กลูโคส (glucose) ฟรุคโตส (fructose) แรฟฟิโนส (raffinose) สแตชิโอส (stachyose) และโมเลกุลอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) โปรตีน (protein) และกรดอะมิโน (amino acid) เป็นต้น จะสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ชั้น mesophyll และถูกเคลื่อนย้ายไปยังเซลล์อื่น ๆ ผ่านมัดท่อลำเลี้ยง (vascular bundle) ซึ่งประกอบด้วยท่อลำและท่ออาหาร (Will *et al.*, 2013) เมื่อแมลง

ดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืช แมลงจะหลั่งน้ำลายจากต่อมน้ำลาย (salivary gland) ที่มีอยู่ 2 ข้าง ขนาดความกว้างประมาณ 250 ไมโครเมตร และยาวประมาณ 500 ไมโครเมตร ตั้งอยู่บริเวณส่วนอก (thorax) ต่อมน้ำลายของแมลงประกอบด้วยอวัยวะ 3 ส่วน ได้แก่ (1) principal glandular lobules จำนวน 1 คู่ (2) accessory gland จำนวน 1 คู่ และ (3) ท่อน้ำลาย (salivary duct) ตามลำดับ ซึ่งแมลงจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารในเนื้อเยื่อพืช โดยอาศัยน้ำลายช่วยย่อยเซลล์พืช ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์เพื่อดูดกินธาตุอาหารจากเซลล์พืชได้ง่าย และจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของการดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของแมลงที่เป็นพาหะของการถ่ายทอดไวรัสโรคข้าว (infected insect vector) และแมลงปกติ (healthy insect vector) นั้นไม่แตกต่างกัน (วันทนา และ ดารา, 2540) ดังนั้นเมื่อแมลงปกติดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าวที่มีไวรัสแฝงตัวอยู่จะได้รับไวรัสเข้าสู่ตัวแมลงและกลายเป็นแมลงพาหะของการถ่ายทอดไวรัส โดยไวรัสจะเคลื่อนที่ไปยังต่อมน้ำลายและจะเข้าไปอยู่ปะปนกับน้ำลาย เมื่อแมลงพาหะไปดูดกินต้นข้าวต้นอื่น ๆ จะมีการปล่อยน้ำลายเพื่อช่วยย่อยเซลล์พืช ไวรัสจึงสามารถถ่ายทอดไปยังต้นข้าวต้นอื่น ๆ ต่อไปได้

น้ำลายของแมลงจำพวกดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารในเนื้อเยื่อพืชประกอบด้วยเอนไซม์ที่สำคัญสำหรับการย่อยน้ำตาล คือ แอลฟาไกลูโคซิเดส (alpha-glucoside glucohydrolase หรือ alpha-glucosidase) จัดอยู่ในแฟมิลีที่ 13 ของกลุ่มเอนไซม์ glycoside hydrolase ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide หรือ double sugar) ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) โดยเร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะแอลฟาไกลูโคซิดิก

(α -glucosidic bond) จากด้านปลาย non-reducing เพื่อปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสจากสารตั้งต้น ซึ่งสารตั้งต้นธรรมชาติของแอลฟาไกลูโคซิเดสโดยทั่วไปนั้นจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ได้แก่ ซูโครส (sucrose) มอลโทส (maltose) น้ำตาลสามโมเลกุล (maltotriose) และน้ำตาลสี่โมเลกุล (maltotetraose) เป็นต้น แมลงในระยะตัวอ่อนจะสามารถสร้างเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ในปริมาณสูง เพื่อใช้ย่อยสลายน้ำตาลซูโครสในน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของพืช เพื่อให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และนำเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ในการดำรงชีวิตต่อไป (Xia *et al.*, 2008; Arthan, 2010; Ji *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2016)

4.3.3 ระบบทางเดินอาหาร การลำเลียงอาหาร และการขับถ่ายหยดน้ำหวานหรือมูลหวาน (honeydew) ของแมลง

(1) ระบบทางเดินอาหารของแมลง

เพ็ลี่ยกระโดดสีน้ำตาลเป็นแมลงที่มีระบบทางเดินอาหารสมบูรณ์ (complete digestive tract) ประกอบด้วยช่องเปิด 2 ช่อง ได้แก่ ปาก (mouth หรือ oral cavity) ซึ่งเป็นทางเปิดให้อาหารเข้า และทวารหนัก (anus) ซึ่งเป็นช่องเปิดเพื่อการกำจัด (elimination) กากอาหารออก หรือการขับถ่าย (excretion) โดยน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของพืชที่แมลงดูดกินเข้าไปจะเคลื่อนที่ในระบบย่อยอาหารของแมลงซึ่งมีลักษณะเป็นท่ออาหาร เริ่มต้นจากปากและวางขนานไปตามความยาวของลำตัวจนถึงทวารหนักทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ (1) ลำไส้ส่วนหน้า (foregut หรือ stomodeum) (2) ลำไส้ส่วนกลาง (midgut หรือ mesenteron หรือ ventriculus) และ (3) ลำไส้ส่วนหลัง (hindgut หรือ proctodeum) ตามลำดับ (Jia *et al.*, 2012; Temitope, 2013)

(2) กระบวนการลำเลียงธาตุอาหารและไวรัสของแมลง

กระบวนการลำเลียงธาตุอาหาร และไวรัสของแมลงพาหะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายคลึงกับแมลงอื่น ๆ กล่าวคือ ธาตุอาหารและไวรัสในน้ำเลี้ยงจากท่อหน้าและท่ออาหารในเนื้อเยื่อพืชจะถูกลำเลียงจากปากของแมลงผ่านมาทางคอหอย (pharynx) โดยอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อ cibarial muscles ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างบริเวณหัวและผนังคอหอยด้านหน้า เมื่อเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อนี้ขึ้นทำให้ผนังคอหอยถูกดึง ส่งผลให้คอหอยขยายใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการดูดน้ำเลี้ยงจากท่อหน้าและท่ออาหารในเนื้อเยื่อพืชขึ้นมา (suction pump หรือ sucking pump หรือ cibarial pump) (Novotny and Wilson, 1997) จากนั้นอาหารจะถูกลำเลียงต่อไปยังหลอดอาหาร (esophagus) และกระเพาะพักอาหาร (crop) ตามลำดับ โดยอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อผนังหลอดอาหารที่เชื่อมต่อกันระหว่างคอหอยและกระเพาะพักอาหาร ซึ่งในบริเวณนี้จะมีลิ้นเปิดปิดทำหน้าที่บังคับให้อาหารเคลื่อนที่จากลำไส้ส่วนหน้าไปยังลำไส้ส่วนกลาง (stomodaeal valve หรือ cardiac valve) และเข้าสู่ลำไส้ส่วนกลาง ซึ่งส่วนนี้จะมีลักษณะยาวและแคบ เป็นบริเวณที่มีการย่อยอาหารด้วยน้ำย่อยและดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วเข้าสู่กระแสโลหิตของแมลงซึ่งมีระบบหมุนเวียนโลหิตแบบเปิด (open circulatory system) และเป็นระบบที่กระแสโลหิตไม่ได้ไหลเวียนไปตามเส้นเลือดตลอดเวลา โดยธาตุอาหารและไวรัสจะเคลื่อนผ่านผนังกระเพาะอาหาร และจะไหลเวียนเข้าสู่ช่องว่างกลางลำตัว (haemocoel) ซึ่งทำหน้าที่ในการลำเลียงธาตุอาหารเพื่อเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยจะมีการสัมผัสโดยตรงกับส่วนต่าง ๆ ของเนื้อเยื่ออวัยวะภายใน และไวรัสจะเคลื่อนย้ายไปยังต่อมน้ำลายผ่านทางช่องว่างกลางลำตัวดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ส่วนปลายของลำไส้ส่วนกลางจะมีลิ้นเปิดปิดทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของอาหารจากลำไส้ส่วนกลางไปยังลำไส้ส่วนหลัง

(pyrolic valve) โดยจะเป็นจุดเริ่มต้นของท่อขับถ่าย (malpighian tubule) ซึ่งท่อขับถ่ายของแมลงจะมีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กและยาว อยู่ภายในช่องว่างของลำตัวและทำหน้าที่ขับถ่ายของเสียต่อไปตามลำดับ (Yurkiewicz *et al.*, 1983; Pacheco *et al.*, 2014; Jing *et al.*, 2015)

ไวรัสโรคข้าวและแมลงพาหะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีปฏิสัมพันธ์กันแบบยั่งยืน (persistent propagative manner) กล่าวคือ ไวรัสจะสามารถคงอยู่ในตัวแมลงได้ตลอดวัฏจักรชีวิต และแมลงพาหะจะต้องมีช่วงเวลาดูดกินพืชที่เป็นโรค (viral infected rice plant) ก่อนการถ่ายทอดโรค (transmission) อย่างน้อยนาน 3 ชั่วโมง (acquisition feeding period) จากนั้นไวรัสจะต้องใช้เวลาแฝงตัวและเพิ่มจำนวนในตัวแมลง (latent period) ประมาณ 4-17 วัน (เฉลี่ย 8 วัน) แมลงจึงจะมีลักษณะเป็นแมลงอมไวรัส (viruliferous insect) คือ สามารถที่จะถ่ายทอดไวรัสผ่านการลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโตได้แต่ไม่สามารถถ่ายทอดไวรัสผ่านทางไข่ได้ (transovarial) ซึ่งไวรัสนี้จะเกิดการแฝงตัวและเพิ่มจำนวนในอวัยวะภายในของแมลงพาหะโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแมลง และลักษณะของไวรัสที่อาศัยช่วงเวลาในการแฝงตัวและเพิ่มจำนวนในแมลงนี้จัดเป็นลักษณะที่เรียกว่า propagative ในการถ่ายทอดโรคนั้นแมลงจะต้องใช้เวลาดูดกินต้นข้าวปกต้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง (inoculation feeding period) แมลงจึงจะสามารถถ่ายทอดไวรัสสู่ต้นข้าวได้ (วิชชชดา, 2553)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาระยะเวลาการแฝงตัว การเพิ่มจำนวน กลไกการดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อหน้าและท่ออาหารในเนื้อเยื่อพืช และการถ่ายทอดไวรัสโดยแมลงพาหะ จะพบว่าธาตุอาหารพืชและไวรัสพืชจะถูกส่งต่อสู่การลำเลียงอาหารในระบบทางเดินอาหารของแมลง หลังจากนั้นจึงเคลื่อนที่ไป

ยังระบบหมุนเวียนโลหิตของแมลง และหมุนเวียนเข้าสู่ช่องว่างกลางลำตัว (haemocoel) และสุดท้ายจะสะสมไปที่ต่อมน้ำลายของแมลงพาหะ ตามลำดับ และจากการศึกษาระยะแฝงตัว (latent period) และการเพิ่มจำนวนของไวรัสใบหริกข้าว (RRSV) (Jia *et al.*, 2012) และไวรัสเขี้ยวเตี้ย (RGSV) (Zheng *et al.*, 2014) ในแมลงพาหะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลพบว่าสามารถตรวจพบไวรัสได้ในอวัยวะภายในของแมลงที่ระยะเวลาสั้นที่สุดภายหลังจากการถ่ายทอดไวรัสจากต้นข้าวสู่แมลงพาหะที่ช่วงระยะเวลา (วัน) ไม่แตกต่างกัน ได้แก่ เนื้อเยื่อบุผิวลำไส้ส่วนกลาง (midgut epithelium) (3 วัน) กล้ามเนื้อเรียบลำไส้ส่วนกลาง [smooth muscle หรือ visceral muscle (midgut)] (3-4 วัน) หลอดอาหาร (esophagus) (4-6 วัน) ผนังหลอดอาหารและลำไส้ (anterior diverticulum) (4 วัน) กล้ามเนื้อเรียบลำไส้ส่วนหลัง [smooth muscle หรือ visceral muscle (hindgut)] (6 วัน) และต่อมน้ำลาย (salivary gland) (6 วัน) ตามลำดับ

(3) การขับถ่ายของแมลง

แมลงจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของเนื้อเยื่อพืชในปริมาณที่มากกว่าที่จะย่อยได้ ซึ่งน้ำเลี้ยงของพืชนี้จะมีน้ำตาลในปริมาณที่สูง และจะถูกขับออกมาจากแมลงในรูปของเหลวที่เรียกว่าหยดน้ำหวานหรือมูลหวาน (honey dew) ซึ่งจะตกอยู่บริเวณโคนต้นข้าว หรือติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช และเมื่อแห้งจะทำให้พืชเกิดรอยดำหนิเป็นคราบสีขาวหรือสีดำ และเป็นบ่อเกิดของเขม่าราต่าง ๆ ตามมา ซึ่งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงจะสามารถขับถ่ายหยดน้ำหวานออกมาได้ประมาณ 6-11 มก./วัน และตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตสามารถขับถ่ายหยดน้ำหวานออกมาได้ประมาณ 13 ไมโครลิตร ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาล (sugar) และกรดอะมิโน (amino acid) ประมาณ 270 และ 12 กรัม ตามลำดับ (Sogawa and Cheng,

1979)

4.4 การอพยพออกจากแปลงนาเพื่อหาแหล่งอาหารใหม่

ปัจจัยสำคัญของการอพยพออกจากพื้นที่นาชลประทานเพื่อหาแหล่งอาหารใหม่ของแมลง ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ของพืชอาหาร อุณหภูมิ ความหนาแน่นของประชากร (population density) และอิทธิพลของลมมรสุม เมื่อสภาพภูมิอากาศมีความอบอุ่นมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นฤดูกาลปลูกข้าวใหม่ในเขตตอนบน แมลงจะอพยพออกจากพื้นที่นาชลประทานของประเทศไทย และกลับไปยังเขตกึ่งอบอุ่นและเขตตอนบนใหม่ ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (south-west monsoon) ลมฝ่ายใต้ (southern wind) และลมตะวันตก (western wind) (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2556) ซึ่งเป็นช่วงต้นข้าวใกล้แก่และเข้าสู่ฤดูเก็บเกี่ยวข้าวในฤดูข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน ได้แก่ ภาคกลางตอนกลางเก็บเกี่ยวในเดือนสิงหาคม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน ภาคเหนือและภาคกลางตอนบนเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม ตามลำดับ ในฤดูข้าวนาปรัง ได้แก่ ภาคกลางตอนกลาง เก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนกรกฎาคม ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคม ตามลำดับ (ปรีชา และเฉลิม, 2540)

กรณีที่พืชอาหารมีความอุดมสมบูรณ์ แมลงจะมีอัตราการเกิดชนิดปีกสั้นมากกว่าชนิดปีกยาว เพื่อต้องการที่จะขยายพันธุ์ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของแมลงชนิดปีกสั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของธาตุอาหารพืช โดยจะสัมพันธ์กับปริมาณธาตุไนโตรเจน โปรตีน กรดอะมิโนอิสระ (free amino acid) และบริเวณอาศัย ทั้งนี้แมลงจะอาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงต้นข้าว ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกาบใบส่วนล่างของต้นข้าวในบริเวณเหนือหรือใกล้ระดับผิวน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีร่มเงาและ

ความชื้นสูง (Zhang, 1983) และหากความหนาแน่นของประชากรมีมาก (population density) ทำให้พืชอาหารขาดแคลน แมลงจะมีอัตราการเกิดชนิดปีกยาวมากกว่าชนิดปีกสั้น เพื่อต้องการที่จะอพยพไปหาแหล่งอาหารอื่นต่อไป (นิภา, 2522; Sokawa, 1970; Kisimoto, 1977; Jianguang *et al.*, 1997)

ลักษณะการอพยพของแมลงออกจากแปลงนาเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) การอพยพออกย่อย (minor emigration) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงที่แมลงเพิ่มปริมาณในแต่ละช่วงอายุ และ (2) การอพยพออกหลักหรือการอพยพเป็นกลุ่มใหญ่ (mass emigration) ซึ่งแมลงตัวเต็มวัยเพศเมียชนิดปีกยาวจะอพยพออกในขณะที่รังไข่ยังไม่แก่ (immature ovaries) เพราะแมลงผสมพันธุ์วางไข่เป็นรุ่นที่ 3 ในช่วงต้นข้าวอยู่ในระยะออกดอกจนถึงระยะที่เมล็ดเริ่มแข็ง (flowering stage-dough stage) หลังจากวางไข่แล้ว บางส่วนจะเริ่มอพยพออกจากแปลงนาเมื่อต้นข้าวแก่หรือออกรวงแล้ว เพราะใกล้ฤดูเก็บเกี่ยว (harvesting stage) (อายุข้าวมากกว่า 80 วัน ขึ้นไป) ในฤดูข้าวนาปีหรือข้าวหน้าน้ำขึ้นจะอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม และฤดูข้าวนาปรังจะอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม ตามลำดับ (ปรีชา, 2540)

แมลงจะมีระยะก่อนการบินอพยพ (teneral period) และในระยะนี้แมลงจะไม่ดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นข้าว โดยมีความสัมพันธ์กับระยะทางและอุณหภูมิ ได้แก่ 21.5-23.0 และ 50-55 ซม. ที่อุณหภูมิ 27.5 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นแมลงจะกระพือปีกอย่างต่อเนื่องเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการอพยพ (Kisimoto, 1977) หากแมลงบินอพยพออกในช่วงระยะเวลาพลบค่ำหรือรุ่งเช้าจะเป็นการอพยพไปในระยะทางที่ไกล (long distant displacement) ความเร็วของลม 11 กม./ชม. การอพยพออกหลักหรือการอพยพเป็นกลุ่มใหญ่ จะใช้ความเร็วในการบินประมาณ 5.5

กม./ชม. และบินได้สูงประมาณ 0.2-1.5 กม. (วันทนา, 2553) อุณหภูมิประมาณ 17 องศาเซลเซียส ซึ่งลักษณะอุณหภูมิในเขตนานชลประทานเช่นนี้ ต้นข้าวไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และแมลงไม่สามารถอยู่ข้ามฤดู (diapause) เพื่อดำเนินวัฏจักรชีวิตได้อย่างสมบูรณ์ (ปรีชา และเฉลิม, 2540)

5. ผลกระทบจากการแพร่ระบาดและทำลายข้าวของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทย

สภาพพื้นที่ของประเทศไทยภาคกลางเป็นพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมขังเหมาะแก่การปลูกข้าว ผนวกกับสภาพสังคม เศรษฐกิจ และสภาพนิเวศน์ การเกษตรที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยการนำเทคโนโลยีแบบใหม่เข้ามาใช้ในกระบวนการปลูกข้าวเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิต และการนำพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูง (high-yielding varieties) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ที่สถาบันวิจัยข้าวระหว่างประเทศ (International Rice Research Institute, IRRI) เป็นผลให้เกิดปัญหาการระบาดของแมลงขึ้น

ผลกระทบจากการแพร่ระบาดของไวรัสโรคข้าวและแมลงพาหะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล สามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับข้าวปลูก (*Oryza sativa* L.) ทั้งชนิดจาปอนิกา (Japonica) และอินดิกา (Indica) พันธุ์ต่าง ๆ แล้ว ยังสามารถที่จะก่อให้เกิดความเสียหายกับข้าวไร่และข้าวป่าพันธุ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย เมื่อแมลงดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของต้นข้าวโดยใช้ปากเจาะดูด แมลงจะสร้างปลอกน้ำลายเพื่อให้ส่วนของปากสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงเพื่อดูดกินน้ำเลี้ยงจากท่อน้ำและท่ออาหารของต้นข้าวได้สะดวก ในกระบวนการดูดกินน้ำเลี้ยงส่วนของปลอกน้ำลายที่แมลงสร้างขึ้นนี้ยังคงติดอยู่กับเนื้อเยื่อของต้นข้าว ทำให้ท่อน้ำและท่ออาหาร

ของต้นข้าวนั้นเกิดการอดต้น เป็นเหตุให้การลำเลียงอาหารในต้นข้าวเกิดการชะงัก และจะทำให้เกิดอาการต้นเหลืองซีดและแห้งตาย มีลักษณะอาการไหม้เป็นหย่อม (hopper burn) โดยทั่วไปสามารถพบได้ในระยะข้าวแตกกอถึงระยะออกรวง ซึ่งลักษณะอาการเช่นนี้เกิดเร็วมากในสภาพอากาศคลุ้มฝน และมีเมฆมาก การสังเคราะห์แสงในวันที่มีแสงแดดจะทำให้ต้นข้าวสามารถฟื้นตัวจากการถูกแมลงทำลายได้ (Cheng *et al.*, 2013; Fujita *et al.*, 2013) ในขณะที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ข้าวบางสายพันธุ์มีอายุสั้นลงและส่งผลให้ผลผลิตลดลง และมีการระบาดของแมลงศัตรูข้าวและโรคข้าวเพิ่มขึ้นตามลำดับ (อานนท์, 2554)

ความรุนแรงของลักษณะอาการของโรคไวรัสข้าวที่ปรากฏบนพืชอาศัยนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและช่วงอายุของต้นข้าวขณะที่ได้รับไวรัส ซึ่งสามารถที่จะเกิดกับต้นข้าวได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต โดยต้นข้าวที่ได้รับการถ่ายทอดไวรัสใบหงิกข้าวและไวรัสเขียวเตี้ยด้วยแมลงพาหะเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล จะปรากฏลักษณะอาการของโรคภายหลังจากการถ่ายทอดไวรัสแล้วประมาณ 25-30 และ 7-14 วัน ตามลำดับ (วิชชุตา, 2553) ซึ่งมีลักษณะอาการของโรคโดยทั่วไป ได้แก่ ลำต้นเตี้ยแคระแกรน (stunt) ลักษณะใบแคบ มีสีเหลืองซีดเหลืองอมเขียวจนถึงเหลืองอ่อน ซึ่งเกิดจากบริเวณเนื้อเยื่อพืชที่มีการติดเชื้อมันสูญเสียมวลคลอโรฟิลล์และรงควัตถุ มีการแตกกอและแขนงกอเพิ่ม ต้นข้าวที่เป็นโรคมักจะไม่ออกรวงหรือออกรวงช้า และเมล็ดต่างสี ในกรณีต้นข้าวที่มีอายุในช่วงแรกของระยะพัฒนาการทางลำต้น (vegetative phase) หรืออยู่ในระยะเริ่มแตกกอ (tillering stage) (อายุข้าว 15-45 วัน) ถ้าได้รับไวรัสจะแสดงอาการของโรครุนแรงมาก แต่หากได้รับไวรัสในระยะการเจริญด้านการสืบพันธุ์ (reproductive phase) (อายุข้าว 60 วันขึ้นไป)

จะแสดงอาการไม่รุนแรง และหากได้รับไวรัสในระยะที่ข้าวเริ่มสร้างช่อดอก (panicle initiation stage) จะเป็นช่วงที่ต้นข้าวอ่อนแอต่อโรคมามากที่สุดสำหรับข้าวที่เกิดขึ้นใหม่บนตอซังหรือลูกข้าว (rice stubble) ของต้นข้าวที่เป็นโรคนั้นยังสามารถแสดงอาการของโรคให้เห็น และเป็นแหล่งแพร่ระบาดของไวรัสได้ต่อไป และในกรณีที่มีโรคแทรกเข้าซ้ำเติม เช่น โรคเมล็ดด่าง (dirty panicle disease) และโรคใบขีดสีน้ำตาล (narrow brown spot disease) ซึ่งทั้งสองโรคนี้นี้มักจะพบเกิดขึ้นเสมอกับต้นข้าวที่เป็นโรคใบหงิกและโรคเขียวเตี้ย อาจทำให้ผลผลิตเสียหายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การระบาดของโรคใบหงิกและโรคเขียวเตี้ยมักพบหลังจากที่มีการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล อย่างไรก็ตาม ต้นข้าวในระยะแก่และสุกของเมล็ด (maturity and ripening phase) ซึ่งออกรวงแล้วจะส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้อยที่สุดโดยอาจจะปรากฏอาการเพียงเส้นใบบวมขึ้นเท่านั้น และถึงแม้ว่าจะยังไม่ปรากฏอาการให้เห็นแต่ก็สามารถตรวจพบไวรัสได้ (ดาราและคณะ, 2533; ดารา, 2547) จากการศึกษาความสัมพันธ์และเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคใบหงิกในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ กับปริมาณตัวเต็มวัยของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในช่วงข้าวอายุ 30 วัน หลังการหว่านพบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และ กข 23 มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคใบหงิก 12-100 และ 86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ปรีชา, 2533)

การแพร่ระบาดและทำลายข้าวของแมลงในประเทศไทยเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2516 ที่อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี (ประพาส และคณะ, 2518) หลังจากนั้นได้มีรายงานการระบาดของที่รุนแรงต่อเนื่องกันร่วมกับการระบาดของไวรัสโรคข้าว และสร้างความเสียหายแก่ผลผลิตข้าวในประเทศที่สำคัญ โดยสามารถสรุปได้ 4 ช่วง คือ ปี พ.ศ. 2518-2527, 2531-2533, 2541-2542 และ 2552-2553 ตามลำดับ ในบริเวณพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือตอน

ตารางที่ 2 ประวัติพื้นที่การระบาดของที่สำคัญของเพ็ญกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทย พ.ศ. 2516-2560 (ที่มา : ประพาส และคณะ, 2518; วรรณพรรณ และคณะ, 2553; วันทนา และคณะ, 2554; อรกช, 2556; หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2556; เติลินิวส์, 2557; ผู้จัดการออนไลน์, 2554; ผู้จัดการออนไลน์, 2557; ชมชื่น, 2558; กลุ่มประชาสัมพันธ์, 2559; กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2560)

ปี พ.ศ.	พันธุ์ข้าว	พื้นที่การระบาด	ความเสียหาย
ช่วงการระบาดครั้งที่ 1			
2516	กข 7	อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี	-
2517-2520	กข 1, กข 7, กข 9 และกข 11	อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และภาคกลาง	~60-80 เปอร์เซ็นต์
2523-2524	กข 7 และกข 11	ภาคกลาง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวม 13 จังหวัด 72 อำเภอ	1,074,567 ไร่
2527-2530	กข 7 และสุพรรณบุรี 60	เขตภาคกลาง	-
ช่วงการระบาดครั้งที่ 2			
2531-2533	กข 7 และสุพรรณบุรี 60	ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง	3,553,549 ไร่
ช่วงการระบาดครั้งที่ 3			
2541	ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60	ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง	3,344,940 ไร่
2542	ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60	ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง	1,648,280 ไร่
ช่วงการระบาดครั้งที่ 4			
2552-2553	ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 3 และสุพรรณบุรี 60	ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง	2,386,555 ไร่
ช่วงการระบาดเพิ่มเติม (พ.ศ. 2554-2560)			
2554	-	จังหวัดพิจิตร 15 ตำบล 6 อำเภอ	100,412 ไร่
2555	ปทุมธานี 1 และพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่ได้รับการรับรอง	ภาคกลาง ภาคเหนือตอนบน และภาคเหนือตอนล่าง	~1,500,000 ไร่
2556	ปทุมธานี 1, ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 60 และพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่ได้รับการรับรอง	ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง	30,000 ไร่
2557	ชัยนาท 1 และสุพรรณบุรี 60	จังหวัดอุบลราชธานี 63 ตำบล 11 อำเภอ ภาคเหนือ และภาคใต้	55,000 ไร่
2558	ชัยนาท 1, สุพรรณบุรี 60 และพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่ได้รับการรับรอง	ภาคเหนือ และภาคใต้	5,297 ไร่
2559	ขาวดอกมะลิ 105, กข 6 และพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่ได้รับการรับรอง	ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวม 11 จังหวัด	62,020 ไร่
เม.ย.-พ.ค. 2560	กข 31 และพันธุ์พื้นเมืองที่ไม่ได้รับการรับรอง	ภาคกลาง และภาคเหนือตอนล่าง รวม 7 จังหวัด	3,893 ไร่

ล่าง ภาคตะวันตก และภาคตะวันออก และมีการระบาดต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน (ตารางที่ 2) แม้ว่า จะสามารถควบคุมการระบาดได้ในระดับหนึ่ง แต่ก็ กลับมาระบาดเพิ่มขึ้นอีกเป็นระยะ ๆ ซึ่งลักษณะ การระบาดของแมลงที่รุนแรงอย่างต่อเนื่องทั้งในอดีตและปัจจุบันเช่นนี้ จัดเป็นการระบาดประเภท มากกว่าระดับเศรษฐกิจ (economic threshold) ความหนาแน่นของประชากรแมลง 100-200 ตัว/กอ การระบาดในลักษณะเช่นนี้จะไม่มีวิธีการใดที่มี ประสิทธิภาพเพียงพอในการป้องกัน ควบคุม และ กำจัดแมลงในสภาพธรรมชาติได้ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ ก่อให้เกิดการระบาดที่รุนแรงและโอกาสที่จะกลับมา ระบาดได้อีก ได้แก่ การใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกต่อไร่ สูงและการเลือกพันธุ์ข้าวปลูกที่มีลักษณะแตกกอสูง ซึ่งตอบสนองปุ๋ยเคมีได้ดี โดยเป็นพันธุ์ข้าวที่ให้ ผลผลิตสูงแต่ไม่ต้านทานต่อการทำลายของแมลง ได้แก่ กข 1, กข 7, กข 9, กข 11, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 3, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 การ เปลี่ยนแปลงลักษณะการปลูกจากการปลูกข้าวแบบ นาดำเป็นนาหว่านน้ำตม ซึ่งเป็นสภาพนาข้าวที่ เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยและขยายพันธุ์ของแมลง โดยปลูกเป็นพื้นที่กว้างติดต่อกันหลายปี เนื่องมาจากราคาข้าวที่สูง ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า มากกว่าพืชเกษตรชนิดอื่น ๆ รวมทั้งการพัฒนา ความสามารถของแมลงต่อสารฆ่าแมลงชนิดต่าง ๆ โดยกระบวนการปรับตัวซึ่งเป็นไปตามธรรมชาตินี้ เกิดจากการใช้สารฆ่าแมลงที่ไม่ถูกต้องทั้งชนิด วิธีการใช้ ปริมาณที่ใช้ และสารฆ่าแมลงที่เกษตรกร นิยมใช้ฉีดพ่นนั้นมักอยู่ในกลุ่มเป็นพิษร้ายแรงส่งผล กระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ในระบบนิเวศ จึง ส่งผลให้เกิดการระบาดที่เพิ่มขึ้นและรุนแรงเกินที่จะ ควบคุม (วรรณพรธนะ และคณะ, 2553; วันทนา และคณะ, 2554; อรกช, 2556)

เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่มาจากบริเวณสภาพ ภูมิศาสตร์และสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน จะมีความ

รุนแรงในการทำลายข้าวที่แตกต่างกัน เนื่องจาก พันธุ์ข้าวที่มีความต้านทานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งอาจ มีความอ่อนแอต่อการทำลายของแมลงในอีกพื้นที่ หนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการปรับตัวของแมลงต่อ พันธุ์ข้าวที่มีการปลูกในพื้นที่นั้น ๆ (Claridge *et al.*, 1985) ด้วยข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นโดยรวมทั้งหมด นี้ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทยสามารถที่ จะเกิดการระบาดได้ต่อเนื่องทั้งในปัจจุบันและ อนาคต เนื่องด้วยความหลากหลายทางพันธุกรรม และการปรับตัวตามธรรมชาติเพื่อการทำลายข้าว ดังนั้นการเข้าใจถึงพฤติกรรมทางธรรมชาติของ แมลง และการบริหารจัดการแมลงพาหะอย่างยั่งยืน จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยป้องกัน ควบคุม และกำจัดการแพร่ระบาดได้ วิธีการที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ การใช้พันธุ์ข้าว ต้านทานกับพันธุ์หนานหรือพันธุ์อ่อนแอปานกลาง หลาย ๆ พันธุ์ ที่ต้านทานต่อการทำลายของแมลง พาหะและไวรัสโรคข้าว มาใช้ในพื้นที่ปลูกที่ประสบ ปัญหาการระบาดร่วมกับการบริหารจัดการที่ เหมาะสม เพื่อชะลอการปรับตัวของแมลงและลด ความเสียหายในกรณีนี้ที่อาจจะเกิดการระบาดที่ รุนแรง หรือการงดเว้นการปลูกข้าวในช่วงที่มี รายงานการระบาดของแมลง เพื่อเป็นการตัด วัฏจักรชีวิตของแมลง นอกจากนี้การเฝ้าระวัง การ สำรวจ และการสุ่มตรวจปริมาณการระบาดของ แมลงอย่างเป็นระบบ มีความต่อเนื่องและสม่ำเสมอ การประเมินความเสียหายหรือการลดลงของผลผลิต ข้าว การบูรณาการข้อมูลทุกภาคส่วน และการเผยแพร่ความรู้ให้แก่เกษตรกรผ่านวิธีการเรียนรู้แบบมี ส่วนร่วม (participatory learning practices) จะเป็น มาตรการสำคัญเพื่อการบริหารจัดการการเพาะปลูก ทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการปลูก การคัดเลือก พันธุ์ข้าวปลูก และการพยากรณ์การระบาดของโรค ข้าวและแมลงพาหะ สำหรับการเตือนภัยเกษตรกร ได้อย่างมีประสิทธิภาพทันทั่วทั้งที่ และเกิดประสิทธิ-

ผลสูงสุด เพื่อสร้างวิถีเกษตรกรรมของประเทศไทย ให้มีความมั่นคงทางด้านอาหาร ความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ และความยั่งยืนในการบริหารจัดการ

6. สรุป

กระบวนการทำลายต้นข้าวและการแพร่ระบาดของกว้างขวางและรวดเร็วยากต่อการป้องกัน ควบคุม และกำจัดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและไวรัสโรคข้าว สามารถเกิดขึ้นกับต้นข้าวได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต และในทุกฤดูกาลทำนาของเกษตรกรไทยในพื้นที่ชลประทานภาคกลาง โดยมีอุบัติการณ์การระบาดของแมลงและไวรัสโรคข้าวเพิ่มขึ้นในช่วงยุคปฏิวัติเขียว ที่มีการนำเทคโนโลยีสำเร็จรูปสมัยใหม่มาใช้เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อด้อยที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์เกษตร รูปแบบและวิถีเกษตรกรรมแบบดั้งเดิม จนกลายมาเป็นนโยบายหลักที่รัฐบาลของทุกประเทศทั่วโลกส่งเสริมให้เกษตรกรยอมรับในระบบเกษตรแบบใหม่ดังกล่าว ซึ่งระบบเกษตรแบบใหม่นี้มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าว การใช้เครื่องจักรกล รวมทั้งมีการใช้สารเคมีเพื่อการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช แม้ว่าจะสามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตได้ ในขณะเดียวกันยังทำให้เกิดการปรับตัวของแมลงศัตรูข้าวและไวรัสโรคข้าวในสภาพธรรมชาติอีกด้วย ทั้งการดำรงอยู่เป็นกำลังหรือพลังงานทางชีววิทยาในการเข้าทำลายต้นข้าวและต้านทานต่อสายพันธุ์ข้าวปลูกที่ได้มีการพัฒนาขึ้น การอยู่ข้ามฤดูปลูก การอพยพเข้าและออกของแมลงในพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นการเรียนรู้พฤติกรรมและการปฏิบัติสัมพันธ์ของแมลงและไวรัสโรคข้าวที่ทำลายต้นข้าวในสภาพธรรมชาติ โดยบูรณาการศาสตร์และศิลป์ที่มีมาแต่เดิมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่ง

สามารถใช้ได้จริงและสอดคล้องกับนโยบายของชาติเข้าไว้ด้วยกัน รวมทั้งถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้สู่เกษตรกร ซึ่งจะนำไปสู่การบริหารจัดการเพื่อความยั่งยืนและความสมดุลของระบบนิเวศน์ในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อความมั่นคงและความมั่งคั่งทางด้านอาหารและเกษตรกรรมของประเทศ

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (Research and Researchers for Industries, RRI) ระดับปริญญาเอก เลขที่สัญญา PHD59I0061 ภายใต้สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (The Thailand Research Fund, TRF) โดยมีบริษัท เจียไต๋ จำกัด (ในเครือเจริญโภคภัณฑ์) เป็นบริษัทเอกชนร่วมสนับสนุนทุนวิจัย

8. รายการอ้างอิง

กรสิริ ศรีนิล, นุจรินทร์ จังชันท์, ธราพร ยืนยงค์, กัลย์ธีรา คันธา, อัญธิกา ตนมิตร และเนตรนภา พุ่มห่าน, 2557, การเปลี่ยนแปลงประชากรของแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญในจังหวัดเชียงรายจากผลกระทบของสภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง, น. 211-224, รายงานการสัมมนาวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าว ภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง ประจำปี 2557. กลุ่มประชาสัมพันธ์ กรมการข้าว, 2559, พบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระบาดในนาข้าวเป็นวงกว้างกว่า 6 หมื่นไร่ เน้นชวาในจังหวัดสุรินทร์ - ศรีสะเกษ เร่งสำรวจและเฝ้าระวังการระบาด, แหล่งที่มา : <http://www.ricethailand.go.th/web/index.php/rice-news/>, 17 พฤษภาคม 2560. กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2560, สรุป

- สถานการณ์ศัตรูข้าวระหว่างวันที่ 27 เมษายน - 3 พฤษภาคม 2560, แหล่งที่มา : <http://psl-rrc.ricethailand.go.th/web/index.php>, 17 พฤษภาคม 2560.
- จดหมายข่าว เกษตรนครหลวง, 2555, วิธีการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการผลิตข้าวเพื่อเพิ่มผลตอบแทนในการผลิต, 2(7): 1.
- ชมชื่น ชูช่อ, 2558, โรคข้าวระบาดทุกพื้นที่, ไทยรัฐออนไลน์, แหล่งที่มา : <http://www.thairath.co.th/content/529832>, 17 พฤษภาคม 2560.
- ฐานัญ ณ พัทลุง, 2557, การเปรียบเทียบวิธี One-Step RT-PCR และ DIBA ในการตรวจสอบไวรัสใบหงิกข้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- ดารา เจตนะจิตร, 2547, โรคข้าวและการป้องกันกำจัด (โรคใบหงิก), น. 75-76, เอกสารวิชาการข้าว (ลำดับที่ 18/2547), กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ดารา เจตนะจิตร, สมคิด ดิสถาพร, อมรา สนิมทอง, เมธี ปุตตะ, วิชชุดา รัตนากาญจน์ และจรรยา อารยาพันธ์, 2533, โรคข้าวของข้าว, นสพ.กสิกร 63(4): 369-372.
- เดลินิวส์, 2557, เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลถล่มอุบล 3 หมื่นไร่, แหล่งที่มา: <http://www.dailynews.co.th/agriculture/267141>, 17 พฤษภาคม 2560.
- นิภา จันท์ศรีสมหมาย และจินตนา ทยาธรรม, 2539, การศึกษาพันธุ์ข้าวต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, รายงานผลการค้นคว้าวิจัยโครงการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคใบหงิก ปี พ.ศ. 2534-2539, กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- นิภา จันท์ศรีสมหมาย, 2522, ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะของปีกของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, น. 60, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 17 สาขาพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิภา จันท์ศรีสมหมาย, 2537, การพัฒนาเพื่อความอยู่รอดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล [*Nilaparvata lugens* (Stål)] บนข้าวพันธุ์ต้านทาน, ว. กัญและสัตววิทยา 16(1): 31-38.
- บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2544, สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) กับพันธุ์ข้าวไทย, จดหมายข่าวผลิกรมวิชาการเกษตร 4(9): 2-9.
- ประพาส วีระแพทย์, สมพงษ์ พงษ์ประเสริฐ, ถนอมจิตร จาตุรณรังสี และสมศักดิ์ กินสี, 2518, การทดลองและคัดเลือกพันธุ์ข้าวให้มีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, กองการข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ปรีชา วังศิลาบัตร และเฉลิม สินธุเสก, 2540, การศึกษาวิเคราะห์ช่วงเวลาการปลูก-เก็บเกี่ยวข้าวและการเคลื่อนย้ายของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, รายงานผลการค้นคว้าวิจัยโครงการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคใบหงิก ปี พ.ศ. 2534-2539, กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ปรีชา วังศิลาบัตร, 2533, ชาวนาจะแก้ปัญหาเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้อย่างไร, นสพ.กสิกร 63(5): 411-416.
- ปรีชา วังศิลาบัตร, 2540, สรุปกิจกรรมวิจัยและพัฒนาวิธีการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, รายงานผลการค้นคว้าวิจัยโครงการป้องกันกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคใบหงิก ปี พ.ศ. 2534-2539, กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- ผู้จัดการออนไลน์, 2554, พบนาข้าวพิจิตรเจอเพลี้ย

- กระโดดแล้วกว่าแสนไร่-ตะพานหินหนักสุด, แหล่งที่มา : <http://www2.manager.co.th/Crime/ViewNews>, 17 พฤษภาคม 2560.
- ผู้จัดการออนไลน์, 2557, อุบลฯ ประกาศภัยพิบัติเพลิงกระโดดสีน้ำตาลระบาด กินต้นข้าวแล้ว 11 อำเภอ, แหล่งที่มา : <http://www.manager.co.th/local/viewnews>, 17 พฤษภาคม 2560.
- พงศ์ศักดิ์ ชลธนะสวัสดิ์, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, บพิตร ตั้งวงศ์กิจ, ชูติ ม่วงประเสริฐ และสมชาย หล่อมหัทธนกกุล, 2555, การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตข้าว, น. 696-704, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.
- พุทธิมา นันทะวารการ และจตุพร เทียรมา, 2553, เกษตรยั่งยืน ความหวังสร้างโลกเย็น : พลิกวิกฤตโลกร้อนด้วยวิถีเกษตรกรรมยั่งยืน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 95 น.
- ภมร บัตตาวะตัง, เจตน์ คชฤกษ์ และสรุเดช ปาละวิสุทธิ, 2557, การศึกษาไกลไกลความต้านทานของข้าวสายพันธุ์ดีต่อเพลิงกระโดดสีน้ำตาล, น. 175-195, รายงานการสัมมนาวิชาการกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง ประจำปี 2557.
- รังสรรค์ ธนะพรพันธุ์, 2534, การปฏิวัติเขียวครั้งที่หนึ่ง, คอลัมน์ "จากท่าพระจันทร์ถึงสนามหลวง" ผู้จัดการรายวัน, แหล่งที่มา : <http://econ.tu.ac.th>, 18 พฤษภาคม 2560.
- วรรณพรรณ จันลาภา, ฌัญฉิชา แบ่งบุญเลิศ และกัลย์ธีรา คันธา, 2553, การศึกษาแหล่งพันธุกรรมต้านทานในข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ต้านทานเพลิงกระโดดสีน้ำตาลในเขตพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรีและสระแก้ว, น. 59-68, การประชุมวิชาการกลุ่ม ศูนย์วิจัยข้าวภาคกลางภาคตะวันออก และภาคตะวันตก ประจำปี 2553, ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี, ปราจีนบุรี.
- วรรณวิไล สนิทผล, 2560, เกษตรจังหวัดชัยนาทแนะนำป้องกันเพลิงกระโดดสีน้ำตาลระบาด, สำนักข่าวแห่งชาติ กรมประชาสัมพันธ์, แหล่งที่มา : <http://nwnt.prd.go.th>, 11 พฤษภาคม 2560.
- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์ และดารา เจตนะจิตร, 2540, ทดสอบคุณลักษณะทางชีววิทยาบางประการของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลที่มีเชื้อโรคใบหงิก, ว.กัญและสัตววิทยา 19(4): 212-223.
- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์ และธรรมนุญ พุทสมัย, 2541, ความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลบนพันธุ์ข้าวต้านทาน, น. 21-27, การประชุมสัมมนาทางวิชาการแมลงและสัตว์ศัตรูพืช ครั้งที่ 11, กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์, 2553, เพลิงกระโดดสีน้ำตาลศัตรูตัวร้ายของชาวนาในพื้นที่ชลประทาน, เกษตรก้าวหน้า 23(1): 20-32.
- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์, ศรีนทร์ วัชรบุศราคัม, วศินสินธุ์กัญญู และวรรณพรรณ จันลาภา, 2558, การประเมินความหนาแน่นของประชากรเพลิงกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวด้วยแอปพลิเคชันภาพถ่าย, ว.วิชาการข้าว 6(1): 80-90.
- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์, สุกัญญา อรัญมิตร และจินตนา ไชยวงศ์, 2554, สถานการณ์ระบาดของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลในประเทศไทย, ว.วิชาการข้าว 5(1): 79-95.
- วาทีณี จันท์ ช่วงโชติ, 2557, การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกข้าวหอมมะลิ 105 แบบหวานกับแบบหวานและปักดำของเกษตรกรอำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- วิษชุดา รัตนากัญจน์, 2553, โรคใบหงิกและโรค

- เขียวเตี้ย : ภัยร้ายของชาวนาที่มาจากเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, ว.วิชาการข้าว 4(1): 83-94.
- วิโรจน์ ขลิบสุวรรณ, युพา หาญบุญทรง, เกริก บันแห่งเพชร และวันทนา ศรีรัตนศักดิ์, 2557, แบบจำลองสถานการณ์ของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล, ว.แก่นเกษตร 42(2): 239-248.
- สมพงษ์ พงษ์ประเสริฐ, 2537, พันธุ์ข้าวต้านทานโรคและแมลง, การสัมมนาทางวิชาการการอารักขาพืช เพื่อความปลอดภัยและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร, กองแผนงานและวิชาการฝ่ายระบบวิจัยและบริการข้อมูล กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน, 2556, ลมมรสุมและทางเดินพายุที่ผ่านประเทศไทย, จุลสารสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา 1(2): 1-2.
- สุเทพ สหยา, 2552, การจัดการเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลอย่างยั่งยืน, ว.กีฏและสัตววิทยา 27(2): 63-65.
- สุวัฒน์ รวยอารีย์, 2533, เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล : ศัตรูข้าวตัวร้ายแห่งทศวรรษ, นสพ.กสิกร 63(1): 64-72.
- สุวัฒน์ รวยอารีย์, 2544, เรียนรู้การจัดการแมลงศัตรูข้าวโดยวิธีผสมผสาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- หนังสือพิมพ์แนวหน้า, 2556, เกษตรชนนาทเดือนเฝ้าระวังเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลระบาด, แหล่งที่มา : <http://www.thaigreenagro.com>, 17 พฤษภาคม 2560.
- อรกช เก็จพิรุฬห์, 2556, การเปรียบเทียบโครงสร้างต้นทูนและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการปลูกข้าวแบบเกษตรเคมีและเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษา ตำบลหนองโสน อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร. แก่นเกษตร 41(2): 171-180.
- อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2554, รายงานการสังเคราะห์และประมาณสถานภาพ องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย พ.ศ. 2554 คณะทำงานกลุ่มที่ 2 องค์ความรู้ ด้านผลกระทบความล่อแหลมและการปรับตัว, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 202 น.
- Arthan, D., 2010, Role of mosquito alpha-glucosidase in the larvicidal activity of *Bacillus sphaericus*, J. Trop. Med. Parasitol. 33: 87-92.
- Ayoade, O., Morooka, S. and Tojo, S., 1996, Metamorphosis and wing formation in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, after topical application of precocene II, Arch. Insect Biochem. Physiol. 32: 485-491.
- Bing, L., Hongxia, D., Maoxin, Z., Di, X. and Jingshu, W., 2007, Potential resistance of tricin in rice against brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), Acta Ecologica Sinica 27: 1300-1307.
- Cheng, J. and Zhu, Z., 2005, Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005, Plant Prot. 32: 1-4.
- Cheng, X., Zhu, L. and He, G., 2013, Towards understanding of molecular interactions between rice and the brown planthopper, Mol. Plant 6: 621-634.
- Claridge, M.F., Hollander, J.D. and Morgan, J.C., 1985, Variation in courtship signals and hybridization between geographically definable populations of the rice brown

- planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), Biol. J. Linn. Soc. 24: 35-49.
- Du, B., Wei, Z., Wang, Z., Wang, X., Peng, X., Du, B., Chen, R., Zhu, L. and He, G., 2015, Phloem-exudate proteome analysis of response to insect brown plant-hopper in rice, J. Plant Physiol. 183: 13-22.
- Effendi, B. and Munawar, D., 2013, Resistance test of rice lines against brown planthopper biotype 3 through population build-up, Indones J. Entomol. 10: 7-17.
- Fujita, D., Kohli, A. and Horgan, F., 2013, Rice resistance to planthoppers and leafhoppers, Crit. Rev. Plant Sci. 32: 162-191.
- Ghosh, A., John, V. T. and Rao, J.R.K., 1979, Suspected ragged stunt disease in India, IRRN 4(3): 13.
- Habibuddin, H. and Ang, O.C., 1984, Transmission of rice ragged stunt disease of rice in Malaysia, MARDI. Res. J., 12: 95-101.
- Hashim, H., 1989, Variation of brown planthopper population from major rice regions of Peninsular Malaysia, MARDI. Res. J., 17: 218-221.
- Hibino, H., 1996, Biology and epidemiology of rice viruses, Annu. Rev. Phytopathol. 34: 249-274.
- Hibino, H., Roechan, M., Sudarisman, S. and Tantera, D., 1977, A virus disease of rice (kerdil hampa) transmitted by brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål, in Indonesia, Contrib. Cent. Res. Inst. Agric. 35: 1-15.
- Huang, H.J., Bao, Y.Y., Lao, S.H., Huang, X.H., Ye, Y.Z., Wu, J.X., Xu, H.J., Zhou, X.P. and Zhang, C.X., 2015a, Rice ragged stunt virus-induced apoptosis affects virus transmission from its insect vector, the brown planthopper to the rice plant, Sci. Rep. 5: 1-14.
- Huang, H.J., Liu, C.W., Cai, Y.F., Zhang, M.Z., Bao, Y.Y. and Zhang, C.X., 2015b, A salivary sheath protein essential for the interaction of the brown planthopper with rice plants, Insect Biochem. Mol. Biol. 66: 77-87.
- Huang, H.J., Liu, C.W., Huang, X.H., Zhou, X., Zhuo, J.C., Zhang, C.X. and Bao, Y.Y., 2016, Screening and functional analyses of *Nilaparvata lugens* salivary proteome, J. Proteome Res. 15: 1883-1896.
- Ji, R., Yu, H., Fu, Q., Chen, H., Ye, W., Li, S. and Lou, Y., 2013, Comparative transcriptome analysis of salivary glands of two populations of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, that differ in virulence, PLoS ONE 8(11): 1-11.
- Jia, D., Guo, N., Chen, H., Akita, F., Xie, L., Omura, T. and Wei, T., 2012, Assembly of the viroplasm by non-structural protein Pns-10 is essential for persistent infection of Rice ragged stunt virus in its insect vector, J. Gen. Virol. 93: 2299-2309.
- Jianguang, D., Qun, W. and Xianian, C., 1997, Histological study on the wing dimorphism of the brown planthopper, Acta Entomol. Sin. 40: 135-138.
- Jing, X., White, T.A., Yang, X. and Douglas, A.E., 2015. The molecular correlates of organ loss: The case of insect Malpighian

- tubules, Biol. Lett. 11: 1-5.
- Khush, G., 1979, Genetics of and breeding for resistance to the brown planthopper, brown planthopper: Threat to rice production in Asia, Los Baños, IRRI, 321-333.
- Kisimoto, R., 1977, Bionomics, forecasting of outbreak and injury caused by the rice brown planthopper, The rice brown planthopper ASP. AC. 27-41.
- Latif, M.A., Omar, M.Y., Rafii, M.Y., Malek, M.A. and Tan, S.G., 2013, Evidence of sibling species between two host-associated populations of brown planthopper, *N. lugens* (stål) (Homoptera: Delphacidae) complex based on morphology and host-plant relationship studies, Comptes Rendus Biologies 336: 354-363.
- Li, G.Q., Wang, Y.C., Han, Z.J., Gao, J.H. and Gu, Z.Y., 1996, Resistant factors in the blade of NJ 14 and their influence on food utilization and survival of brown planthopper, J. Nanjing Agric. Univ. 19: 42-47.
- Li, Z., An, X.K., Liu, Y.D. and Hou, M.L., 2016, Transcriptomic and expression analysis of the salivary glands in white-backed planthoppers, *Sogatella furcifera*. PLoS ONE 11(7): 1-20.
- Manjunath, T.M., 1977, A note on oviposition in the macropterous and brachypterous forms of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae), Proc. Ind. Acad. Sci. 86: 405-408.
- Morgan, J.K., Luzio, G.A., Ammar, E.D., Hunter, W.B., Hall, D.G. and Shatters, Jr.R.G., 2013, Formation of stylet Sheaths in air from eight species of phytophagous hemipterans from six families (Suborders: Auchenorrhyncha and Sternorrhyncha), PLoS ONE 8(4): 1-11.
- Novotny, V. and Wilson, M.R., 1997, Why are there no small species among xylem-sucking insects?, Evol. Ecol. 11: 419-437.
- Pacheco, C.A., Alevi, K.C.C., Ravazi, A. and de Azeredo Oliveira, M.T.V., 2014, Review: Malpighian tubule, an essential organ for insects, Entomol. Ornithol. Herpetol. 3: 1-3.
- Senboku, T., Shikata, E., Tiengco, E.R. and Ling, K.C., 1978, Transmission of rice ragged stunt disease by *Nilaparvata lugens* in Japan, IRRN 2(5): 7.
- Sogawa, K., 1970, Studies on feeding habits of the brown planthopper, I. Effects of nitrogen-deficiency of host plant on insect feeding, Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 14: 101-106.
- Sogawa, K., and Cheng, C. H., 1979, Economic thresholds, nature of damage, and losses caused by the brown planthopper, pp. 125-155, In Brown Planthopper: Threat to rice production in Asia, International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna.
- Temitope, O., 2013, Morphology and histology of the alimentary tract of adult palm weevil, *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae), J. Dev. Biol. Tissue Eng. 5(2): 13-17.
- Wada, K. and Munakata, K., 1967, An insecticidal alkaloid, cocculolidine from *Cocculus trilobus*, DC. Agric. Biol. Chem. 31: 336-339.
- Wang, Y., Tang, M., Hao, P., Yang, Z., Zhu, L.

- and He, G., 2008, Penetration into rice tissues by brown planthopper and fine structure of the salivary sheaths, *Entomol. Exp. Appl.* 129: 295-307.
- Will, T., Furch, A. and Zimmermann, M., 2013, How phloem-feeding insects face the challenge of phloem-located defenses, *Front Plant Sci.* 4(336): 1-12.
- Xia, W., GuoXin, Z., CaiYu, X., MengHao, D., JiaAn, C., ShuSheng, L. and YongGen, L., 2008, β -Glucosidase treatment and infestation by the rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* elicit similar signaling pathways in rice plants, *Chin. Sci. Bull.* 53: 53-57.
- Xu, H.J. and Zhang, C.I., 2016, Insulin receptors and wing dimorphism in rice planthoppers, *Phil. Trans. R. Soc. B* 372: 1-6.
- Yu, H., Ji, R., Ye, W., Chen, H., Lai, W., Fu, Q. and Lou, Y., 2014, Transcriptome analysis of fat bodies from two brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) populations with different virulence levels in rice. *PLoS ONE* 9(2): 1-12.
- Yurkiewicz, W.J., 1983, A demonstration of active transport using insect malpighian tubules, *Am. Biol. Teach.* 45: 158-176.
- Zhang, Z.Q., 1983, A study of the development of wing dimorphism in the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål, *Acta Entomol. Sin.* 26: 260-267.
- Zheng, L., Mao, Q., Xie, L. and Wei, T., 2014, Infection route of *Rice grassy stunt virus*, a tenuivirus, in the body of its brown planthopper vector, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) after ingestion of virus, *Virus Res.* 188: 170-173.