

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทั่วไปของการใช้อนุภาคระดับนาโนเมตรของเงิน

อนุภาคระดับนาโนของเงินซึ่งมีขนาดที่เล็กกว่า 10 นาโนเมตร จะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีพื้นที่ผิวและมีการกระจายตัวได้สูง มีงานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติในการกำจัดแบคทีเรีย โดยไอออนของเงินจะเกี่ยวข้องกับการหดตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ (cytoplasm membrane) หรือหลุดออกจากผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งส่งผลให้สารพันธุกรรมจับกันและสูญเสียความสามารถในการจำลองดีเอ็นเอ เนื่องจากการแทรกซึมเข้ามาของไอออนเงิน นอกจากนี้ยังพบว่า ไอออนของเงินยังไปทำปฏิกิริยากับกลุ่ม thiol group ของโปรตีน ซึ่งจะทำให้โปรตีนของแบคทีเรียไม่สามารถทำงานได้ (Jeong, et al., 2005) นอกจากนี้มีนักวิจัยได้พบกลไกการฆ่าเชื้อของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบมีกลไกการฆ่าเชื้อโดยซิลเวอร์ไอออนแตกต่างกัน โดย Feng และคณะ (Feng, et al., 2000) ได้ทำการทดลองใช้ Silver ion (Ag^+) กับแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* พบว่า Silver ion สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ และจากผลการทดลองพบว่า Silver ion จะกระจายอยู่ตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย และทำให้เกิดการรวมตัว (condensation) ของดีเอ็นเอภายในเซลล์ ทำให้คาดเดาได้ว่ากลไกในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของ Silver ion คือ Silver ion จับกับโปรตีนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่หมู่ thiol (-SH) (Silver ion เป็น Soft acid จึงสามารถจับกับ Soft base เช่น กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) ได้ดี) Soft ion ทำให้โปรตีนแปลงสภาพ (Denature) ส่งผลให้การควบคุมการขนส่งสารเข้าและออกจากเซลล์ผิดปกติ Silver ion จึงสามารถแทรกเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ Silver ion ที่แทรกเข้าไปภายในเซลล์ทำให้ดีเอ็นเอภายในเซลล์ที่ประกอบไปด้วยฟอสฟอรัส จำนวนมากเกิดการรวมตัวและสูญเสียความสามารถในการเพิ่มจำนวน (Replication) แบคทีเรียจึงไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ และ Silver ion ที่แทรกเข้าไปภายในเซลล์ยังสามารถจับกับโปรตีนที่สำคัญอื่นๆ อีก เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจภายในระดับเซลล์ เมื่อโปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำได้ตามปกติ แบคทีเรียก็จะตาย นอกจากนี้การขนส่งสารเข้าออกเซลล์ที่ผิดปกตินี้จะทำให้เซลล์แตก ทำให้แบคทีเรียตายในที่สุด กลไกการทำงานของ Silver ion ข้างต้นมีประสิทธิภาพสูงกับแบคทีเรียแกรมลบมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีชั้น Peptidoglycan ที่บางกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ใน

ความเป็นจริงกลไกการกำจัดแบคทีเรียด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตรของเงินยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด (Martínez-Castañón, Niño-Martínez, Martínez-Gutierrez, Martínez-Mendoza, & Ruiz, 2008) นักวิจัยบางท่านพบว่า Silver ion สามารถตัดห่วงโซ่ของการหายใจ (respiratory chain) ในปฏิกิริยา oxidative phosphorylation หรือทำลายแรงผลักดันที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่าน cytoplasmic membrane ซึ่งส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอนและการสร้างพลังงานของแบคทีเรีย (K. B. Holt & Bard, 2005) เป็นที่แน่นอนว่าอนุภาคระดับนาโนเมตรของเงินสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของอนุภาคด้วย (Morones, et al., 2005; Pal, Tak, & Song, 2007; Panacek, et al., 2006)

ปัจจุบันการเกษตรต้องเผชิญการปัญหาศัตรูพืชหลากหลายชนิด ได้แก่ สัตว์ วัชพืช แมลง เชื้อรา แบคทีเรีย ฯลฯ ซึ่งศัตรูพืชเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อผลผลิต คุณภาพและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาเคมีอินทรีย์ที่สามารถกำจัดได้อย่างเฉพาะเจาะจง เพื่อลดอัตราการสูญเสีย แต่อย่างไรก็ตามสารเคมีต่างๆ เหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเข้าไปสู่ระบบนิเวศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมอย่างมากเช่นกัน และข้อจำกัดที่สำคัญของการใช้สารเคมีต่างๆ เหล่านี้ คือ ปริมาณการใช้หรือความเข้มข้นไม่คงตัว กล่าวคือปริมาณจะสะสมสูงมากในระยะเริ่มแรก หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวยังไม่สามารถกำจัดศัตรูพืชได้ ดังนั้นต้องใช้อย่างต่อเนื่อง ความหวังใหม่ของการพัฒนาการเกษตร คือ การประยุกต์ใช้ศักยภาพของนาโนเทคโนโลยีซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบกับปัจจุบันจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการผลผลิตจำนวนมากต่อประชากรโลกที่มากขึ้น พื้นที่สำหรับการเกษตรมีจำกัด และภายใต้สภาวะการแปรเปลี่ยนไปของอุณหภูมิ ทำให้เกิดความกดดันทางสิ่งแวดล้อมมากมาย การพัฒนานวัตกรรมทางนาโนเทคโนโลยีจะส่งผลให้การเกษตรมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูงขึ้น กล่าวคือ สามารถช่วยให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความแน่นอนมากขึ้น นอกจากนี้ (Froggett & Advisor, 2009) ซึ่งให้เห็นว่านวัตกรรมด้านนาโนเทคโนโลยียังมีคุณสมบัติที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยกว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (pesticide) และปุ๋ยเคมี (fertilizer)

2.2 การจดสิทธิบัตรในงานที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันสิทธิบัตรด้านการประยุกต์ใช้อ่อนอนุภาคระดับนาโนเมตรของเงิน และ/หรือไอออนของเงินเพื่อการยับยั้งจุลินทรีย์ในประเทศไทยค่อนข้างน้อย และโดยส่วนใหญ่มีใช้เพื่อการเกษตรโดยตรง ส่วนมากในต่างประเทศพบว่ามีการใช้แพร่หลาย เช่น Denkewicz และคณะ

(2001, สิทธิบัตร US 6217780) ใช้ซิลเวอร์ไอออนเป็นองค์ประกอบในการทำหน้าที่ให้บริสุทธิ์ โดยซิลเวอร์ไอออนนี้จะทำหน้าที่กำจัดแบคทีเรียในน้ำ โดยมีความเข้มข้นในช่วง 0.01-0.05 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน ซึ่งซิลเวอร์ไอออนจะมีเสถียรในน้ำได้ต้องอาศัยสมดุลปฏิกิริยาระหว่างโลหะเงินกับ 1) ตัวออกซิไดซ์ 2) โลหะอื่นๆ ได้แก่ สังกะสี ทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก หรือแมงกานีส 3) ตัวกลางออกไซด์ของสารประกอบ Arata (2003, สิทธิบัตร US 6583176) เสนอระบบการกำจัดเชื้อโรคด้วยซิลเวอร์ไอออน โดยใช้การผ่านกระแสไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งซิลเวอร์ไอออนจะถูกทำให้เสถียรที่กรดซัลฟิวริก โดยระบบนี้สามารถฆ่าแบคทีเรียต่างๆได้คือ *Salmonella choleraesuis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* ซึ่งพบว่าแบคทีเรียลดลงมากถึง 99% เมื่อผ่านไป 5 นาที Ellison (1969, สิทธิบัตร US 3422183) เสนอระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยสารละลายซิลเวอร์ฟลูออไรด์ ที่ผ่านการฉายแสง UV ซึ่งสารละลายนี้มีคอลลอยด์ของเงินเป็นส่วนประกอบ โดยระบบนี้ถูกนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในอาหารและภาชนะใส่อาหาร และเป็นส่วนประกอบของการรักษาเนื้อไม้ ใช้ฆ่าแบคทีเรียในอาคารสถานที่ต่างๆ เป็นต้น Greatbatch (1981, สิทธิบัตร US 4291125) เสนอระบบฆ่าเชื้อแบคทีเรียในพืชและในสัตว์ และไวรัสในพืช ด้วยซิลเวอร์ไอออน ที่ถูกสร้างขึ้นโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วไฟฟ้า Antelman (Antelman, 1992a, สิทธิบัตร US 5078902; 1992b, สิทธิบัตร US 5089275) เสนอระบบฆ่าเชื้อโรค ด้วย divalent silver และ divalent silver halide ทั้ง 2 ระบบ สามารถกำจัดแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ภายใน 10 นาที และสามารถนำมาใช้ในการทำความสะอาดสระว่ายน้ำ Paknikar (2007, สิทธิบัตร US 20070218555) พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งแบคทีเรีย (Minimum inhibitory concentration, MIC) ของอนุภาคระดับนาโนเมตรของซิลเวอร์ อยู่ระหว่าง 1.56-3.12 ppm ส่วนความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถเป็นสารกำจัดแบคทีเรีย (Minimum bactericidal concentration, MBC) อยู่ระหว่าง 6.25-12.5 ppm ในแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ส่วนการยับยั้งเชื้อรา พบว่าค่า MIC อยู่ที่ 12.5 ppm และค่า MBC อยู่ที่ 50 ppm และอัตราการลดลงของแบคทีเรียโดยรวมที่มีชีวิต 90% จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นดังกล่าวของอนุภาคระดับนาโนเมตรของเงินในการกำจัดและยับยั้งจุลินทรีย์และเชื้อรายังไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาด รูปร่าง เวลา สารที่ทำให้เกิดการคงตัว และโดยเฉพาะกระบวนการเตรียม ฯลฯ (Kwon, 2005; Morones, *et al.*, 2005; Pal, *et al.*, 2007; Panacek, *et al.*, 2006) ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าประโยชน์ที่ได้จากสิทธิบัตรต่างๆ เหล่านี้จะก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรของไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจัดอยู่ในวงศ์หญ้า (Gramineae) เมล็ดข้าวเป็นอาหารสำคัญของประชากรทั่วโลก สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ตั้งแต่พื้นที่น้ำท่วมสูงไปจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา ทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่างๆ ที่แพร่กระจายไปทั่วโลกอย่างน้อย 23 ชนิด ซึ่งมีเพียง 2 ชนิดที่มนุษย์ปลูกเพื่อบริโภค คือ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) ข้าวมีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ (Diploid, $n = 12$ หรือ $2n = 24$) และมีสารพันธุกรรมเหมือนกัน นอกเหนือจากข้าวปลูก 2 ชนิดนี้แล้วที่เหลืออีก 21 ชนิดจัดอยู่ในชนิดข้าวป่า (wild rice) สำหรับข้าวเอเชียยังแบ่งออกเป็นข้าวอินดิกา (Indica) ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาวหรือยาวปานกลาง ปลูกทั่วไปในบริเวณเขตร้อน ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้น ปลูกในบริเวณเขตกึ่งร้อน เขตอบอุ่น และเขตที่มีอากาศหนาวเย็น และข้าวจาวานิกา (Javanica) เป็นข้าวที่มีลักษณะอยู่ระหว่างข้าวอินดิกาและจาปอนิกา เมล็ดสั้น ปลูกทั่วไปบริเวณศูนย์สูตร ซึ่งข้าวที่ปลูกในประเทศไทยคือข้าวพวกอินดิกา แบ่งออกเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ต้นข้าวเจริญเติบโตทั้งทางลำต้น และการสืบพันธุ์ โดยมีระยะเวลาของการเจริญเติบโตทั้ง 2 ทางแยกจากกันแน่นอน คือ

1. การเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth phase) เริ่มตั้งแต่ต้นข้าวออกจากเมล็ดข้าวไปจนถึงวันที่สร้างรวงอ่อนหรือช่อดอกใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยต้นข้าวจะสร้างราก ลำต้น ใบ และการแตกหน่อ ทำการสะสมอาหารไว้สำหรับการเจริญเติบโตในระยะสืบพันธุ์

2. การเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (reproductive growth phase) เริ่มตั้งแต่วันที่ต้นข้าวสร้างดอกอ่อน จนถึงวันที่รวงเริ่มโผล่ออกจากใบธง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-40 วัน ระยะแรกเรียกว่า ข้าวแตงตัว ต่อรวงอ่อนมีขนาดใหญ่พอสมควร ทำให้ต้นข้าวอ้วน กลม ป่องออก เรียกว่า ข้าวตั้งท้อง ระยะที่รวงข้าวเริ่มโผล่ออกจากลำต้น เรียกว่า ข้าวโผล่ง ต้นข้าวจะสร้างส่วนต่างๆ ของช่อดอกหรือรวงข้าว (panicle) และดอกข้าว (spikelet)

2.3.1 ราก (root)

รากข้าวเป็นระบบรากฝอย (fibrous) ที่ประกอบด้วยรากย่อย (rootlets) และรากขนอ่อน (root hairs) การเจริญเติบโตของรากเป็นระยะ คือ รากชุดแรก (seminal roots) จะแตกแขนงไม่มาก มีอายุอยู่ไม่นานหลังจากการงอก รากชุดเสริมชุดที่สอง (secondary root หรือ adventitious roots) จะเป็นรากที่เกิดจากข้อใต้ระดับดินของต้นข้าวที่อ่อน แตกแขนงอย่างอิสระ ต่อมาเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น จะมีรากอีกชนิด เรียกว่า รากเสริมชนิดค้ำจุน หรือ รากฝังดิน (mat roots) ซึ่งเกิด

จากข้อเหนือระดับผิวดิน บางส่วนจะงอกลงดินแต่บางส่วนจะกระจายไปในแนวระดับรากจะทำหน้าที่ยึดลำต้น และคุณ้ำและแร่ธาตุที่ละลายในดิน ลำเลียงไปยังส่วนต่างๆของต้นข้าว ผ่านลำต้นและกิ่ง

2.3.2 ใบ (leaf)

ใบข้าว เป็นใบแท้ (foliage leaf) ชนิดใบเดี่ยว (single leaf) เพราะข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) มีลักษณะเป็นแผ่นแบน บาง และยาวคล้ายหอก เกิดจากข้อของลำต้นเรียงสลับกันเป็นสองแนว ประกอบด้วย ใตใบ (leaf blade) กาบใบหรือก้านใบ (leaf sheath) ข้อต่อใบ (collar) หูใบ (stipule) หรือเยื่อเกี่ยวพันน้ำฝน (ligule) และเขี้ยวกันแมลง (auricle) ใบข้าวใบแรกที่เกิดจากต้นแม่ (main culm) จะเป็นใบที่ไม่สมบูรณ์มีลักษณะคล้ายกาบใบ ส่วนใบจริงจะเป็นใบข้าวที่อยู่บนสุดของต้นข้าว ได้ข้อข้าวหรือรวงข้าว ในระยะที่ข้าวออกดอกผสมเกสร สร้างรวงและสร้างเมล็ดนั้น จะได้รับอาหารจากใบจริงและใบล่างถัดลงมาอีก 2-3 ใบเป็นส่วนใหญ่เพราะใบอื่นๆ จะแก่และปรุงอาหารไม่ได้เกือบหมดแล้ว หน้าที่หลักของใบก็คือ การปรุงอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสง การคายน้ำ และการหายใจ (ภาพที่ 2.2)

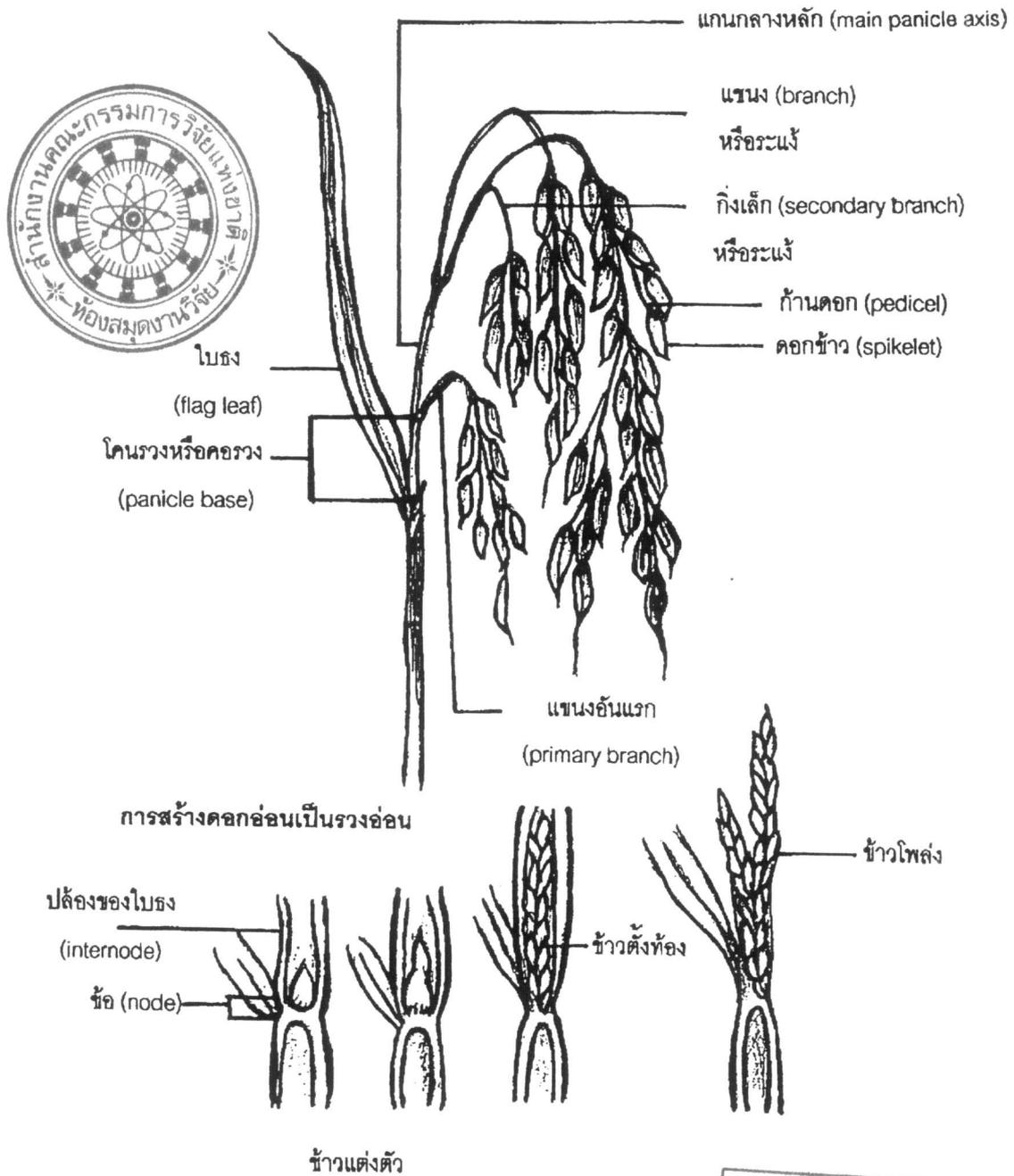
2.3.3 ลำต้น (culm)

ลำต้นข้าว เกิดจากซอกของข้อ (node) และปล้อง (internode) ที่ต่อเรียงสลับกัน โดยมีผนังกันข้อ (node septum) กัน มีนวมโคนกาบใบ (sheath pulvinus) หุ้มอยู่ จึงมีลักษณะบวมใหญ่ขึ้น บริเวณข้อจะเป็นที่เกิดของใบและตา (bud) ตามบนต้นข้าวที่บริเวณโคนต้นจะเจริญเติบโตแตกออกเป็นต้นใหม่ที่มีต้น ใบ ราก และมีรวงอยู่ด้วย พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการแตกกอไม่เท่ากัน ข้าวที่ปลูกในดินดีและห่างจะแตกกอมาก ลำต้นจะทำหน้าที่พุงใบ ดอก และรวง โดยเฉพาะให้ใบชูออกรับแสงแดด เพื่อสร้างอาหารจากการสังเคราะห์แสง และลำเลียงน้ำ อาหาร และแร่ธาตุไปยังส่วนต่างๆ ของข้าว (ภาพที่ 2.1) ต้นข้าวมีลำต้นกลวงและแบ่งเป็นปล้อง (internode) ภายในกลวง แต่ละปล้องปิดหัวท้ายด้วยข้อ (node) การพัฒนาของปล้องเริ่มจากเมล็ดงอกรากออกมาจากเมล็ดแล้ว ปลอกหุ้มใบ หรือเรียกว่า ปลอกหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) จะงอกตามออกมาทางด้านตรงกันข้ามกับที่รากงอกจะพัฒนาเป็นปล้อง ปล้องแรกๆ จะอยู่ใต้ผิวดินและสั้นกว่าปล้องอื่นๆ แต่ละปล้องจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอและขยายยาวขึ้นทางส่วนบน ความยาวของปล้องแตกต่างกัน จำนวนปล้องเท่ากับจำนวนใบ ปกติมีประมาณ 10-30 ปล้อง โดยปล้องที่โคนต้นจะสั้นโตและหนากว่าปล้องที่อยู่ปลายของลำต้น สำหรับข้าวขึ้นน้ำที่ต้องยึดปล้องให้ยาวเมื่อมีน้ำมาก ปล้องของข้าวขึ้นน้ำจะยาวและปล้องใกล้ผิวน้ำจะโตกว่าปล้องลึกลงไปในน้ำ ในต้นข้าวทั่วไปข้อที่กั้นระหว่างปล้อง จะตันและโป่งพองออกมา บริเวณข้อจะมีลักษณะเป็นวงสี่เหลี่ยมผืนผ้า บริเวณข้อตามโคนต้น จะมีตาอยู่ระหว่างซอกใบสำหรับเจริญเติบโตออกมาเป็นหน่อข้าว ข้อละหนึ่ง

ตาสลับกันไปจากข้อหนึ่งไปอีกข้อหนึ่ง สีของข้อแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ข้าว บางพันธุ์อาจเป็นสีเขียวอ่อนหรือม่วงก็ได้



ภาพที่ 2.1 แสดงทางพฤกษศาสตร์ของข้าว (*O. sativa*) (Grieve, 2009)



ภาพที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของรวงข้าว

2.3.4 ช่อข้าว (รวงข้าว)

ประกอบด้วย แขนงอันแรก (primary branch) ของช่อดอกเริ่มจากข้อด้านบนของคอรวง (panicle base) แขนงต่อไปเกิดจากแกนกลาง (panicle axis) ของรวงซึ่งมี 2 แบบ คือ แกนกลางหลัก และแกนกลางทั่วไป ไปจนถึงปลายรวง บนแขนงจะแตกกิ่งเล็ก ซึ่งแต่ละกิ่งจะมีดอก

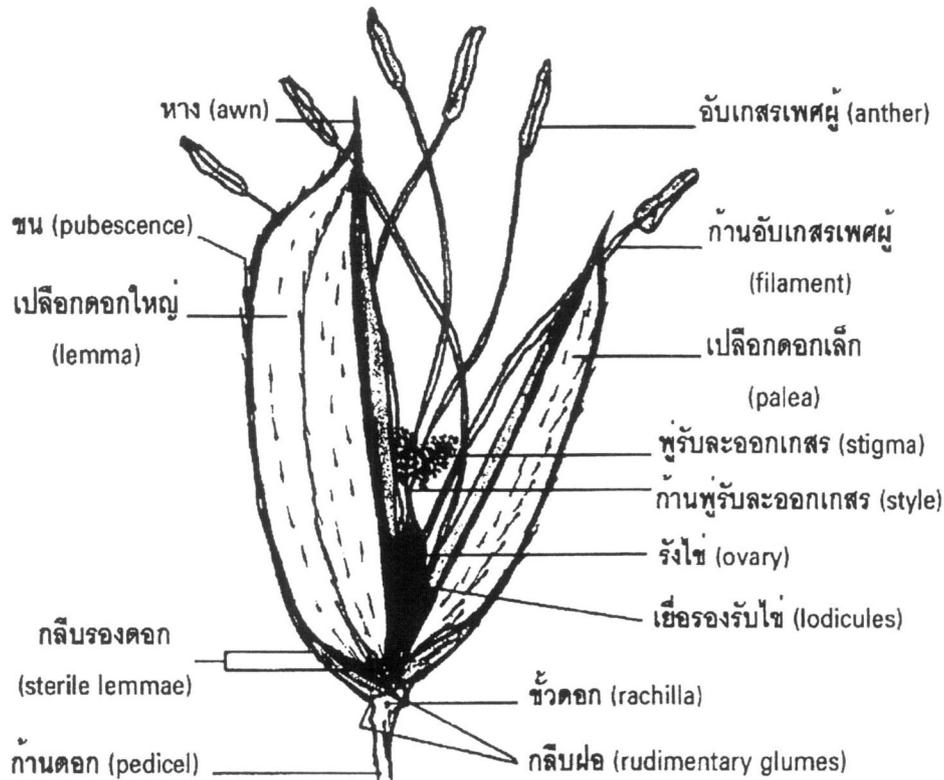
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
 ห้องสมุดงานวิจัย
 วันที่... 20 ก.พ. 2555
 เลขทะเบียน... 244105
 เลขเรียกหนังสือ.....

ข้าว ความถี่ห่างของแขนงกิ่งแตกต่างกันในข้าวแต่ละพันธุ์ แขนงและกิ่งเล็กเรียกอีกชื่อว่า กระจ่าง ถ้าข้าวพันธุ์ใดมีกระจ่างถี่แสดงว่า มีดอกในรวงจำนวนมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีกระจ่างห่าง (ภาพที่ 2.2)

2.3.5 ดอกข้าว

ประกอบด้วย กลีบฝ่อ (rudimentary glumes) มี 2 ปุ่ม ติดอยู่ที่คอรวง และส่วนปลายที่ต่อจากก้านดอกย่อย ช่อดอก (rachilla) อยู่ถัดจากกลีบฝ่อขึ้นมา มีลักษณะเป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองดอก (sterile lemmas) และเปลือกดอกใหญ่ (lemma) จะเป็นส่วนที่อยู่ติดกับเมล็ดของข้าว กลีบรองดอกเป็นกลีบเทียม 1 คู่ อยู่ติดกับช่อดอก และอยู่ระหว่างกลีบฝ่อและดอกข้าว เปลือกดอก ซึ่งมี 2 เปลือก คือ เปลือกดอกใหญ่ (lemma) และเปลือกดอกเล็ก (palea) บนส่วนยอดของเปลือกดอกใหญ่ในพันธุ์ข้าวบางพันธุ์จะมีปลายแหลมยื่นไป เรียกว่า หาง (awn) เปลือกดอกเป็นอวัยวะที่ใหญ่ที่สุดของดอกข้าว ทำหน้าที่ป้องกันและห่อหุ้มดอกไว้ข้างใน ดอกข้าวมีความกว้างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และความยาวประมาณ 5-10 มิลลิเมตร เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ที่มีอวัยวะสืบพันธุ์ครบทั้ง 2 เพศ คือ เกสรตัวผู้ (stamen) และเกสรตัวเมีย (pistil) อยู่ในดอกเดียวกัน (ภาพที่ 2.3) แต่เป็นดอกชนิดที่มีอวัยวะสำคัญของดอกไม่ครบหรือดอกไม่สมบูรณ์ (incomplete flower) คือไม่มีกลีบเลี้ยง (sepal) และไม่มีกลีบดอก (petal) ห่อหุ้มดอกไว้ ดอกข้าวสามารถผสมพันธุ์ได้ด้วยตนเอง (self-pollinated plant) เพศผู้มีอัณฑะเพศผู้ (anther) 6 อัน อยู่บนก้านอัณฑะ (filament) ภายในอัณฑะเพศผู้จะเต็มไปด้วยละอองเกสร (pollen grain) ขนาดเล็ก เพศเมียมีพู่รับละอองเกสรหรือยอดเกสรตัวเมีย (stigma) 2 อัน และรังไข่ (ovary) 1 รัง ซึ่งเชื่อมกันด้วยก้านพู่รับละอองเกสร (style) ก้านนี้มีขนาดสั้น เมื่อดอกข้าวบาน ปลายของพู่รับละอองเกสรจะอยู่ประมาณกึ่งกลางของดอกข้าว

ดอกข้าว (spikelet)



ภาพที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของดอกข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2542)

2.3.6 เมล็ดข้าว

โดยทั่วไปข้าวหมายถึง เมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain หรือ rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์หมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดียว ชนิดลอยตัว (superior ovary) ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อย ที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้จะติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือ เยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (dry fruit) ที่ไม่แตก (indehiscent fruit) เรียกว่า เมล็ด (caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มผล และเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) เชื่อมรวมกันอย่างแนบแน่นโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกต่างตามพันธุ์ ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหาง และขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (hull หรือ husk) เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว (หรือผล) เรียกว่า แกลบ และส่วนเนื้อผล หรือผลแท้ (true fruit หรือ caryopsis grain) หรือ ข้าวกล้อง โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วน ดังนี้

1. แกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ เปลือกเล็ก ขน หาง ข้าวเมล็ด และกลีบรองเมล็ด ซึ่งเชื่อมต่อกับกัน มีรายละเอียดดังนี้

- เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง มีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีหางก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยสัน ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้านในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างสนิท ประมาณ 2 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

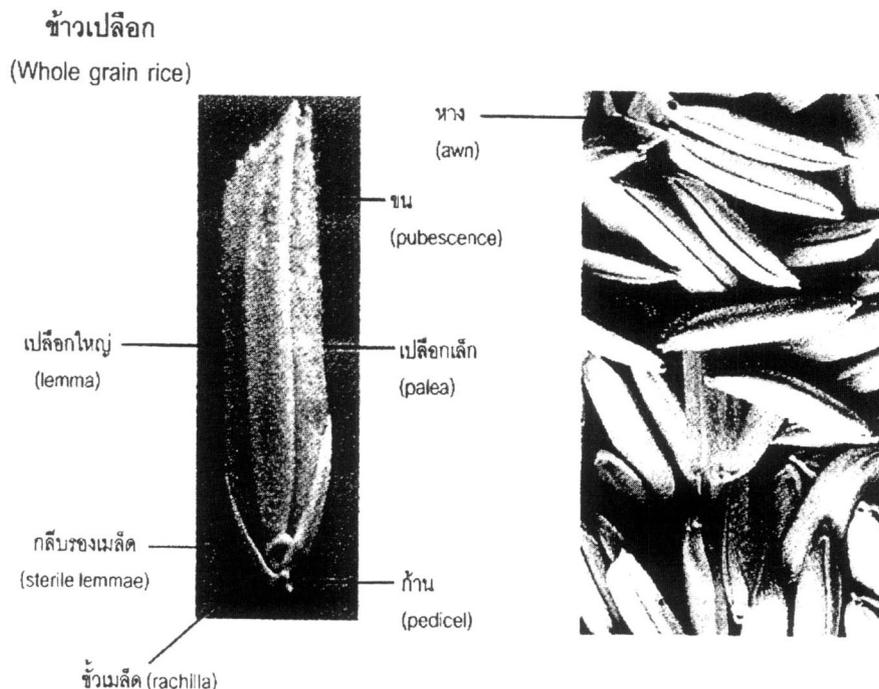
- เปลือกเล็กเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1 ใน 3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวความยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก อาจทำให้ข้าวกลิ้งเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (polishing) แล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสาร (milled rice) เรียกว่า สาแทรกข้าว

- ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่ และเปลือกเล็กเป็นบางส่วน อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขน แต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือ ส่วนของเซลล์ผิวหนัง (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเมล็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์ หรือสิ่งของต่างๆ ที่มีโอกาสสัมผัสเมล็ด จนทำให้เมล็ดหลุดติดไปด้วย

- หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดคอก (apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้น หรือยาว หรือไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์คล้ายขน

- ข้าวเมล็ด เป็นก้านสั้น อยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

- กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกัน ใต้สุดของเมล็ด (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ในข้าวเปลือก

2.4 โรคเมล็ดพันธุ์ข้าวที่สำคัญ

1. โรคเมล็ดค้าง (Dirty panicle) เป็นโรคที่ทำให้เมล็ดลีบ เป็นแผล เมล็ดค้าง มีสาเหตุจาก เชื้อราหลายชนิด เช่น *Curvularia lunata*, *Cercospora oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Alternaria padwickii*, *Fusarium semitectum*, *Trichoconis padwickii*, *Sarocladium oryzae* ลักษณะอาการเกิดการไหม้ทั้งรวงแต่แตกต่างจากโรคไหม้คอรวงตรงที่โรคนี้ไม่เกิดแผลที่คอรวงและคอรวงไม่หัก เมล็ดลีบ เป็นบางส่วน บนเมล็ดเต็มส่วนใหญ่จะมีแผลเป็นจุดสีน้ำตาล-ดำ บางส่วนก็มีลายสีน้ำตาล และบางพวกก็มีสีเทาปนชมพู เพราะมีเชื้อราหลายชนิดที่สามารถเข้าทำลายทำให้เกิดอาการแตกต่างกันไป มักจะเกิดในช่วงที่ดอกข้าวผสมแล้วอยู่ในช่วงเป็นน้ำนมและกำลังสุก เมื่อใกล้จะเก็บเกี่ยวอาการเมล็ดค้างจะปรากฏเด่นชัด โรคนี้สามารถแพร่กระจายไปกับลมและติดไปกับเมล็ด และอาจทำให้เชื้อราแพร่กระจายในยุ้งฉางได้

2. โรคใบจุดสีน้ำตาล (Brown spot) เกิดจากเชื้อ *Bipolaris oryzae* เป็นตั้งแต่ระยะกล้าถึงออกรวง มักเป็นรุนแรงกับต้นข้าวที่เครียดและขาดธาตุอาหาร พบโรคนี้ได้ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และบางจังหวัดในภาคกลาง ลักษณะอาการ แผลที่ใบข้าวเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มล้อมรอบด้วยขอบสีเหลือง หรือสีน้ำตาล มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 มิลลิเมตรจนถึงขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตร เมื่อขยายเต็มที่ตรงกลางมีสีเทา แผลอาจเกิดขึ้นข้าวเปลือก บาง

แผลเล็ก บางแผลใหญ่คลุมเต็มเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้เมล็ดข้าวสกปรก และพบว่าโรคนี้อาจเกิดซ้ำเติมรุนแรงกับข้าวที่เป็นโรคใบสีส้ม

3. โรคยอดฝักดาบ หรือโรคหลาว หรือโรคโคนเน่า มีเชื้อสาเหตุ คือ *Fusarium moniliforme* เชื้อราที่พบได้ในแหล่งปลูกข้าวทั่วไป ลักษณะอาการ ในระยะกล้า ต้นกล้าจะแห้งตายหลังจากปลูกได้ไม่กี่วัน แต่มักพบกับข้าวอายุเกิน 15 วัน ต้นข้าวที่เป็นโรคจะพอมชื้น มักยังปล้องทำให้มองเห็น ลำต้นที่สูงผิดปกติ มีรากเกิดที่ข้อต่อของลำต้น บางครั้งข้าวจะไม่ย่างปล้องแต่รากจะเน่าซ้ำ เวลาถอนกล้ามักจะขาดบริเวณที่ย่างปล้องขึ้นมา ต้นข้าวที่เป็นโรคมักจะตายและมีน้อยมากที่อยู่รอดจนถึงออกรวง เชื้อราจะติดไปกับเมล็ด สามารถมีชีวิตในซากต้นข้าวและในดินได้เป็นเวลาหลายเดือน

4. โรคไหม้ (Rice Blast) เกิดจากเชื้อ *Pyricularia grisea* เป็นตั้งแต่ระยะกล้าถึงระยะออกรวง ระยะกล้า ใบมีแผลจุดสีน้ำตาลคล้ายรูปตา มีสีเทาอยู่ตรงกลางแผล ถ้าโรครุนแรง กล้าข้าวจะแห้งพับตาย คล้ายถูกไฟไหม้ ถ้าเป็นระยะแตกกอ อาการพบได้ที่ใบ ข้อต่อของใบ และข้อต่อของลำต้นขนาดแผลจะใหญ่กว่าในระยะต้นกล้า แผลลุกลามติดต่อกันได้ที่บริเวณข้อต่อใบ ใบจะมีลักษณะแผลซ้ำ สีน้ำตาล และมักหลุดจากกาบใบ ถ้าเป็นในระยะออกรวงและข้าวเพิ่งเริ่มให้รวง เมื่อถูกเชื้อราเข้าทำลาย เมล็ดจะลีบหมด แต่ถ้าเป็นโรคตอนรวงข้าวแก่ใกล้เก็บเกี่ยว จะปรากฏรอยแผลซ้ำสีน้ำตาลที่บริเวณออกรวง ทำให้เปราะหักง่าย รวงข้าวร่วงหล่นเสียหายมาก เชื้อราสามารถติดไปกับเมล็ดข้าวแพร่กระจายไปตามดิน น้ำ ลม

2.5 เชื้อราที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว

เชื้อราที่สำคัญที่ควรตรวจสอบในห้องปฏิบัติการในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว มี 6 ชนิดที่สำคัญ ดังนี้

1. เชื้อรา *Alternaria padwickii* เมล็ดที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายจะมีจุดสีน้ำตาลหรือจุดสีขาว ขอบเข้ม เชื้อนี้ทำให้เกิดโรค Stackburn ของใบ เมื่อเชื้อเข้าทำลายเมล็ดทำให้เมล็ดเปลี่ยนสี และความงอกเสียไป โดยเกิดอาการเน่าของส่วนราก เมล็ด และ coleoptile เชื้อนี้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ พบเส้นใยเชื้อเจริญจำกัด หรือขึ้นพูนบนเมล็ด โดยจะพบส่วนของ conidia อยู่เหนือผิวเมล็ดแทรกอยู่ระหว่างเส้นใย ซึ่งจะเห็นได้หลังจากบ่มโดยใช้วิธี blotter 6 - 8 วัน

2. เชื้อรา *Bipolaris oryzae* เชื้อรานี้ทำให้เกิดโรค brown spot เชื้อนี้สามารถถ่ายทอดไปกับเมล็ด และทำให้เกิดโรคกับต้นกล้าได้ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ เมล็ดที่มีเชื้อ เมื่อตรวจด้วยวิธี blotter พบว่าเมล็ดถูกคลุมด้วยเส้นใยสีน้ำตาลกึ่งดำ ลักษณะของก้านชู

สปอร์จะพบกระจายอยู่บนผิวเมล็ด conidia รูปร่างโค้งเล็กน้อย สีน้ำตาลอ่อน มีผนังตามขวาง 6 - 14 septate

3. เชื้อรา *Fusarium moniliforme* เชื้อรานี้เป็นสาเหตุของโรคหลาว ซึ่งพบได้ในแหล่งปลูกข้าวทั่ว ๆ ไป ต้นข้าวที่เป็นโรคจะมีลักษณะผอม สูง เหลือง ในแปลงเพาะกล้าที่เป็นรุนแรงต้นกล้าจะแห้งตายก่อนที่จะย้ายปลูก ต้นที่เป็นโรคจะไม่แตกกอ และใบแห้งตายอย่างรวดเร็ว ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ เมล็ดที่มีเชื้อนี้อยู่เมื่อตรวจด้วยวิธี blotter จะพบเส้นใยของเชื้อสีขาวถึงขาวอมส้ม ขึ้นฟู ปกคลุมเมล็ด และมักจะปกคลุมทั้งเมล็ด

4. เชื้อรา *Macrodochium oryzae* เชื้อรานี้เป็นสาเหตุของโรค leaf scald ซึ่งพบทั่วไปในแหล่งที่ปลูกข้าวโดยอาการจะพบกับใบแก่ แผลมีลักษณะเป็นแผลซ้อนกัน เริ่มจากปลายใบ แผลมีลักษณะเป็นแผลยาว โดยมีขอบสีน้ำตาลอ่อน จากนั้นแผลจะขยายใหญ่ขึ้นเป็นรูปวงรีติดต่อกันทำให้เกิดอาการใบไหม้เป็นบริเวณกว้าง และจะเห็นไม้ขีดเมื่อแผลอายุมากขึ้น ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ เมื่อตรวจด้วยวิธี blotter พบเชื้อขึ้นอยู่เป็นกลุ่มสีส้มอ่อนบนผิวเมล็ด ซึ่งเป็นกลุ่มของ conidia

5. เชื้อรา *Pyricularia oryzae* เชื้อรานี้เป็นสาเหตุของโรคไหม้ โดยทำให้เกิดอาการได้ทั้งกับใบ ช่อ ช่อรวง และเมล็ดของข้าว บนใบจะเป็นแผลรูปกระสวย ขอบสีน้ำตาล ส่วนกลางแผลสีฟางข้าวเมื่อเกิดอาการที่ช่อก่อให้เกิดอาการเน่า แต่ถ้าเชื้อเข้าทำลายที่คอรวงก็จะทำให้เกิดอาการเน่า และช่อรวงหักพับลง ภายใต้อุปกรณ์จุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ เมล็ดที่มีเชื้อเมื่อตรวจโดยใช้ วิธี blotter เมล็ดจะปกคลุมด้วยกลุ่มของเชื้อสีเทาปนเขียวค่อนข้างละเอียด โดยก้านชูสปอร์จะสร้างกลุ่มของสปอร์อยู่ที่ส่วนปลาย สปอร์รูปร่างคล้ายลูกแพร์

6. เชื้อรา *Ustilaginoidea virens* เชื้อรานี้เป็นสาเหตุของโรคดอกกระถินของข้าว เชื้อเข้าทำลายเมล็ดข้าวที่เจริญเต็มที่แล้ว เปลี่ยนเป็นกลุ่มของสปอร์สีเหลืองปนเขียวตันให้เมล็ดแตกออก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร และต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนดำ ซึ่งเป็นกลุ่มของสปอร์ที่ปกคลุมอยู่ สปอร์ของเชื้อมีขนาดเล็ก ผิวเรียบ สีเขียวมะกอก กลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 ไมครอน