บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าวเหนียวก่ำพื้นเมืองหรือข้าวก่ำ

ข้าวเหนียวก่ำ เป็นข้าวสายพันธุ์พื้นเมืองส่วนใหญ่ปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี เพราะมีลักษณะเป็นข้าวไวแสงและมีการบริโภคในลักษณะที่แป้งที่มีคุณสมบัติเป็นข้าวเหนียว โดยข้าวเหนียวก่ำจะปรากฏของสีม่วงบนส่วนต่างๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เรียกตามลักษณะสีของเมล็ด โดยเฉพาะเปลือกของข้าวกล้อง (aleurone layer) ที่มีสีม่วงดำหรือแดงก่ำ สารที่ทำให้เกิดสีนี้เป็นสารประกอบ (pigments) พวกแอนโทไซยานิน (antrocyanins) ซึ่งสารประกอบประเภทนี้จะให้สีแตกต่างกันไปตั้งแต่สีชมพูจนถึงม่วงดำ และจะมีการกระจายของสารประกอบไปยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ โดยส่วนใหญ่จะพบในทุกส่วนของต้นข้าวทั้งที่เป็นส่วนของลำต้น (vegetative organs) และเกือบทุกส่วนของช่อดอก (flora organs) ยกเว้นในส่วนของ คัพภะ (embryo) และแป้งอาหาร (endosperm) ที่ไม่มีสีของแอนโทไซยานิน (Chang, 1964) และปริมาณหรือความเข้มของ แอนโทไซยานิน จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของข้าว เช่น ในการงอก มักไม่พบแอนโทไซยานิน แต่ในช่วงหลังการออกดอก จะพบว่าแอนโทไซยานินจะไปสะสมรวมกันอยู่ที่ส่วนของใบ เปลือก และเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น (สรศักดิ์, 2531) นอกจากนี้ดำเนินและศันสนีย์ (2543) พบความหลากหลายในการแสดงสีสันตั้งแต่สีเขียวไปจนถึงสีม่วงเข้มของลำต้น (node and internode) ใบ (leaf sheath and leaf blade) เมล็ด (hull and aleurone layer) โดยส่วนของกาบใบ (leaf sheath) และแผ่นใบ (leaf blade) จะปรากฏเป็นสีเขียวปนม่วงมากกว่าสีอื่น ตรงกันข้ามกับเยื่อกันฝน (ligule) ที่มีสีม่วงเป็นส่วนมาก การแสดงสีของเยื่อกันน้ำฝนจะเป็นไปอย่างอิสระจากการแสดงสีของกาบใบและแผ่นใบ ส่วนปล้อง (internode) จะแสดงสีตาม สีของกาบใบ แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสีของแผ่นใบ สำหรับสีในส่วนของเมล็ด อันได้แก่เปลือกหุ้มเมล็ด (hull) ที่พัฒนามาจากกลีบดอกชั้นใน (inner glume) และเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง (aleurone layer) ที่พัฒนามาจากผนังของรังไข่ (ovary wall) ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด โดยเปลือกหุ้มเมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะแสดงสีสันทั่งม่วงแก่ม่วงอ่อนและสีเหลืองฟาง ในขณะที่เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวกล้องจะแสดงเฉพาะสีม่วงแก่หรือม่วงอ่อนเท่านั้น และการแสดงสีของลักษณะนี้จะเป็นอิสระไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับพรรณพฤษ์ของลักษณะอื่นของต้น (สุณิสา, 2542)

การพัฒนาเมล็ดข้าวและการสะสมน้ำหนัก

การพัฒนาเมล็ดข้าวหลังจากการปฏิสนธิ จะใช้เวลาแบ่งเซลล์ของเอ็นโดสเปิร์ม ภายในระยะเวลา 3 ถึง 10 ชั่วโมง ต่อจากนั้นเมล็ดจะเพิ่มขนาดและจำนวนเซลล์ภายใน 24 ชั่วโมง สามารถสังเกตเห็นได้ตั้งแต่วันที่ 3 จนกระทั้งสุกแก่ (Chandraratna, 1964) เมล็ดข้าวจะมีการพัฒนา ทางด้านยาวเร็วกว่าด้านกว้าง โดยการพัฒนาความยาวใช้เวลา 4 วันหลังออกดอก ส่วนการพัฒนาเมล็ดทางด้านกว้าง และความหนาใช้เวลาประมาณ 14 ถึง 21 วันหลังออกดอก (Hoshikawa, 1985) สอดคล้องกับ วิวัฒน์ (2529) ทำการศึกษาการพัฒนาขนาดเมล็ดของข้าวไร่พันธุ์ซิวแม่จัน พบว่าการพัฒนาขนาดเมล็ดด้าวยาวใช้เวลาสั้นที่สุด รองลงมาได้แก่ด้านกว้างใช้เวลา 14 วันหลังดอกบาน และความหนาของเมล็ดใช้เวลานานที่สุดถึง 21 วันหลังดอกบาน และธรารัตน์ (2536) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเมล็ดของข้าว Japonica พันธุ์ ที.ซี.ซี ที่ปลูกในฤดูนาปีและนาปรัง พบว่าการพัฒนาเมล็ดในช่วงระยะพัฒนาการของเมล็ดที่มีอายุ 2 วันหลังออกดอก พบว่าขนาดของเมล็ดยังไม่สามารถที่จะวัดขนาดได้ และภายในวันที่ 3 หลังออกดอก จะสังเกตการสะสมของแป้งและขนาดของเอ็ดโดสเปิร์มเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้เวลาพัฒนาทางด้านยาว ใช้เวลา 10 วันหลังออกดอกในฤดูนาปรัง ส่วนฤดูนาปีใช้เวลา 16 วันหลังออกดอก ส่วนความกว้างและความหนาใช้เวลาในการพัฒนาพร้อมๆกัน โดยใช้เวลา 30 วันหลังออกดอก ช้ากว่าในฤดูนาปรัง 2 วันที่ใช้เวลาเพียง 28 วัน โดยการพัฒนาเมล็ดข้า Japonica จะมีการพัฒนาการและการสะสมน้ำหนักดังภาพที่1 ซึ่ง Sasahara *et al.* (1982) กล่าวว่าข้าวสายพันธุ์ Japonica ใช้เวลาในการพัฒนาเมล็ด ที่ยาวนานกว่าข้าวสายพันธุ์ Indica ส่วนข้าวสายพันธุ์ Javanica ใช้เวลาในการพัฒนาเมล็ดน้อยที่สุด และCarter and Poneleit (1971) พบว่าข้าวพันธุ์ที่มีลักษณะขนาดของเมล็ดใหญ่ จะใช้เวลาในการพัฒนาเมล็ดยาวนานมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดเล็ก

ในส่วนของการสะสมน้ำหนัก Jones *et al.* (1979) กล่าวว่าลักษณะที่แตกต่างกันของการสะสมน้ำหนักเมล็ด มีผลจากพันธุกรรมและปัจจัยของสภาพแวดล้อม ซึ่งอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเมล็ด และขนาดเมล็ดมีความสำคัญต่ออัตราการสะสมน้ำหนักของเมล็ด โดยขึ้นอยู่กับการถ่ายเทอาหารในช่วงเวลาของการพัฒนาเมล็ด และ Matsushima (1966) กล่าวว่าการสร้างน้ำหนักเมล็ดมีขีดจำกัดโดยมีขนาดของเปลือกเป็นตัวจำกัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์กับความหนาของเมล็ด (Lai and Tai, 1982) โดยการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดจะเริ่มเพิ่มขึ้นเมื่อข้าวอายุ 5 วันหลังออกดอก จนถึงจุดที่เมล็ดสุกแก่ทางสรีระวิทยาประมาณ 28 วันหลังออกดอก (Houston, 1972) และนงลักษณ์ (2528) กล่าวว่าการพัฒนาการสะสมน้ำหนักเมล็ด ในช่วง 8-10 วันหลังออกดอก จะมีการแบ่งเซลล์อย่างมากมาย หลังจากนั้นอีก 10 ถึง 14 วันหลังออกดอก มีการเพิ่มน้ำหนักแห้งของเมล็ดอย่างช้าๆ เนื่องจากการสะสมอาหารต่างๆ เช่นน้ำตาล แป้ง ไขมัน และโปรตีน และจะเพิ่มสูงสุด ณ จุดสุกแก่ทางสรีระ และการสะสมน้ำหนักเมล็ดจะลดต่ำลง เมื่อได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูง เนื่องจากเมล็ดจะถูกเร่งให้เมล็ดสุกแก่เร็วขึ้น (บุญเลิศ, 2533; Tezuka *et al*., 1989) สอดคล้องกับรายงานของ Tashiro *et al*. (1989) กล่าวว่าในช่วงที่กำลังสร้างเมล็ดนั้นหากมีอุณหภูมิของอากาศสูง ทำให้การสะสมน้ำหนักเมล็ดต่ำกว่าขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนั้น Tanaka (1976) พบว่าเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการสะสมน้ำหนักของเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตสูงตามไปด้วย สอดคล้องกับ Takeda *et al*. (1956) ยังพบว่าอัตราการลดลงของผลผลิตที่เกิดจากการถูกบดบังแสงของรวงตั้งแต่ช่วงออกรวง (heading) ที่ 10, 20 และ 30 วันหลังออกรวง ส่งผลให้อัตราการสะสมน้ำหนักของเมล็ดลดลงทำให้ผลผลิตลดลง 4.8, 5.3 และ 7.8% ตามลำดับ และธรารัตน์ (2536) ได้ทำการศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว Japonica พบว่าฤดูปลูกมีผลต่อการสะสมน้ำหนักเมล็ด โดยพบว่าข้าวที่ปลูกในฤดูนาปรังเมล็ดข้าวมีการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดมากว่าข้าวที่ปลูกฤดูนาปี

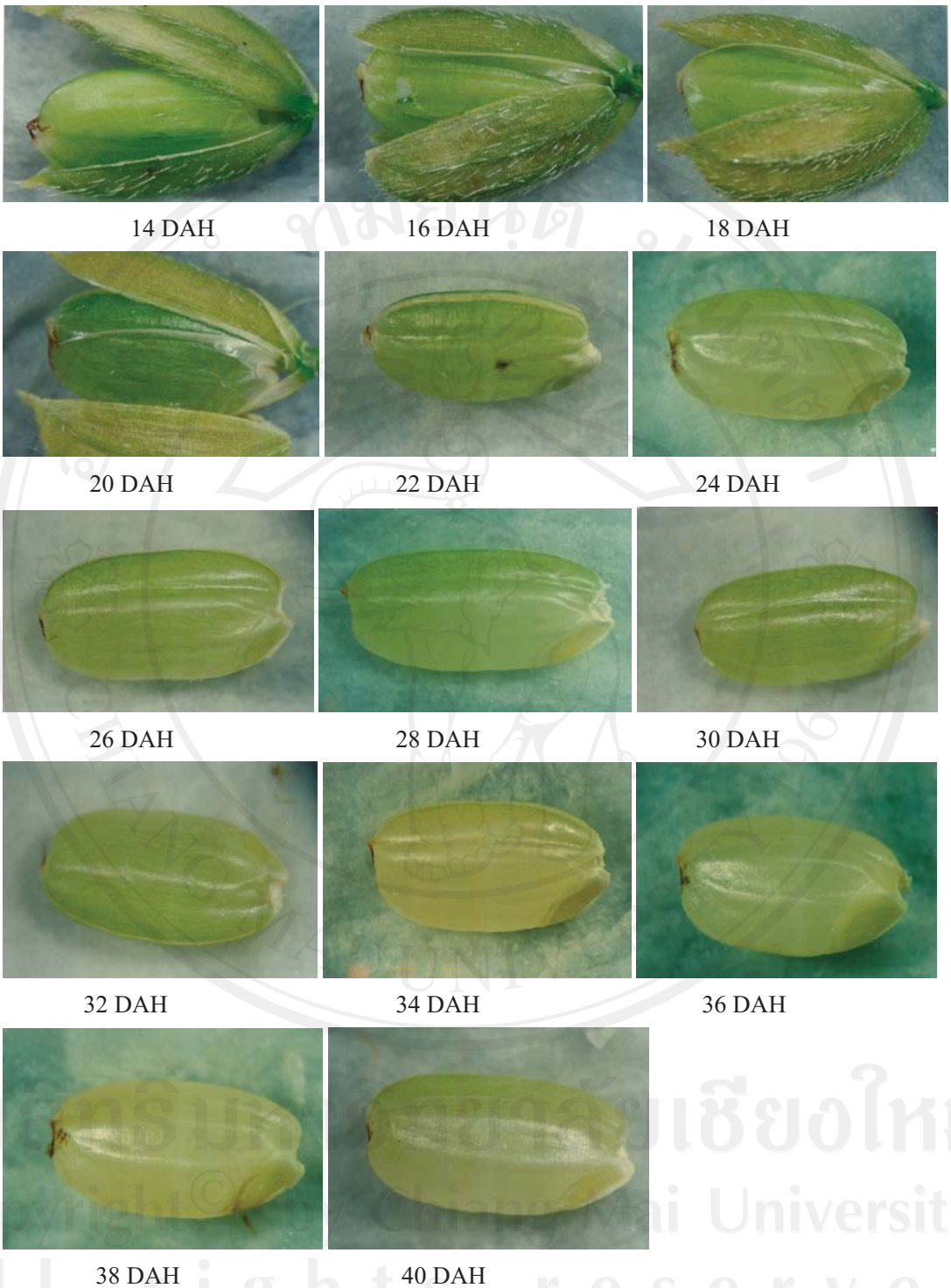
2 DAH 3 DAH 4 DAH

8 DAH 10 DAH 12 DAH

หมายเหตุ DAH (Day after heading) = จำนวนวันหลังออกรวง

ภาพที่ 1 การพัฒนาเมล็ดข้าว Japonica พันธุ์ ที.ซี.ซี ที่ปลูกฤดูนาปี (ธารารัตน์, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



หมายเหตุ DAH (Day after heading) = จำนวนวันหลังออกรวง

ภาพที่ 1 (ต่อ) การพัฒนาเมล็ดข้าว Japonica พันธุ์ ที.ซี.ซี ที่ปลูกฤดูนาปี (ธารารัตน์, 2536)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ดภายในรวงข้าว

การพัฒนาเมล็ดภายในรวงมีส่วนสำคัญในกำหนดผลผลิตของข้าว แต่เนื่องจากลำดับการผสมเกสรของดอกภายในช่อเดียวกันเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยดอกจะบานจากปลายรวงลงมาถึงยังโคนรวง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนดอกที่มีอยู่ในรวงและสภาพแวดล้อม (มุทิตา, 2548) และเมล็ดแต่ละเมล็ดภายในรวงจะมีการพัฒนาไม่พร้อมกัน โดยเป็นไปตามลำดับการบานของดอก ซึ่งการสะสมอาหารจะเกิดที่เมล็ดบนระแง้ปฐมภูมิก่อน (primary branch) แล้วจึงมาสะสมที่เมล็ดบนระแง้ทุติยภูมิ (secondary branch) ดังนั้นการพัฒนาเมล็ดจึงเกิดบริเวณปลายรวงก่อน (จารุวรรณและคณะ, 2542) จากการที่เมล็ดพัฒนาไม่พร้อมกัน ส่งผลถึงการสะสมอาหารของเมล็ดภายในรวง มีผลทำให้น้ำหนัก และความหนาแน่นของเมล็ดภายในรวงข้าว มีความแปรปรวนตามไปด้วย (งามชื่น, 2542) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของเมล็ดภายในรวง และลำดับของการพัฒนาเมล็ดภายในรวงข้าว ได้แก่ปัจจัยทางพันธุกรรม โดยจำรัส (2534) กล่าวว่าความแปรปรวนของเมล็ดภายในรวงและลำดับของการพัฒนาเมล็ดภายในรวงข้าว เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมทางพันธุกรรมที่สัมพันธ์กับลำดับการผสมเกสรของดอกข้าว นอกจากนี้รูปแบบของการปลูกข้าว ยังส่งผลต่อความแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ด โดยการปลูกข้าวนาหว่านมีความแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ดน้อยกว่าการปลูกข้าวนาดำ เนื่องจากการปลูกข้าวนาหว่าน ต้นข้าวจะไม่ค่อยแตกกอทำให้รวงข้าวแต่ละรวงสุกแก่พร้อมกัน เมล็ดข้าวมีการสุกแก่สม่ำเสมอ ส่วนการปลูกนาดำนั้นข้าวมีการแตกกอมากกว่าและหน่อข้าวที่แตกกอออกมาก่อนโตไม่ทันต้นหลัก ทำให้เกิดปัญหาข้าวออกรวงไม่สม่ำเสมอ (สำนักงานเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2524) และอุณหภูมิก็ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของเมล็ดภายในรวง โดยถ้าเมล็ดได้รับอุณหภูมิสูง เมล็ดจะถูกเร่งให้เมล็ดสุกแก่เร็วขึ้นทำให้การพัฒนาภายในรวงเมล็ดมีความไม่สม่ำเสมอ (บุญเลิศ, 2533) รวมถึงปัจจัยแสง ซึ่ง Yoshida and Hara (1977) พบว่าเมื่อปริมาณแสงเพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดมีการสะสมเมล็ดน้ำหนักเมล็ดได้มากขึ้น และ Tanaka (1976) รายงานว่าเมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการสร้างอาหารของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งล้วนส่งผลถึงความแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ดภายในรวง และจำนวนดอกและลักษณะของรวง ลักษณะของช่อดอกและจำนวนดอก มีผลต่อความแปรปรวนในการพัฒนาเมล็ดภายในรวงเช่นกัน เนื่องจากช่อดอกเล็ก (รวงบาง) ซึ่งมีดอกน้อย ดอกข้าวจะบานหมดเร็วกว่าช่อดอกใหญ่หรือรวงหนา และก้านของช่อดอกที่เรียวยาว มีผลต่อการสร้างตำแหน่งของดอกซึ่งมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเมล็ดภายในรวง (จำรัส, 2534) ซึ่ง Tsunoda and Takahashi (1984) กล่าวว่าลักษณะ Panicle type โดยแบ่งจากการกระจายตำแหน่งของดอกบน secondaryrachis-branches จะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์กับอัตราการพัฒนาเมล็ด (rate of grain filling) ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของการพัฒนาเมล็ดภายในรวง

อุณหภูมิสะสม หรือ Growing degree day (GDD) กับการพัฒนาของพืช

เป็นวิธีการคำนวณค่าของอุณหภูมิ หรือพลังงานความร้อน (Heat Unit) จำนวนหนึ่งในแต่ละวันโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) อุณหภูมิต่ำสุด (minimum tempera ture) ของอากาศในแต่ละวัน ตลอดช่วงฤดูปลูกของพืชแต่ละชนิด และอุณหภูมิวิกฤติต่ำสุดที่พืชแต่ละชนิดจะมีชีวิตอยู่รอดได้ แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (base temperature) เพื่อนำค่าอุณหภูมิรายวันที่คำนวณได้ มาหาผลรวมของอุณหภูมิสะสม (accumulated growing degree-day หรือ $\sum$GDD) ที่สัมพันธ์กับระยะพัฒนาการของพืชจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะหนึ่ง โดยไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาหรืออายุปลูกของพืช ศักดิ์ดา (2548) กล่าวไว้ว่าระยะพัฒนาการของพืชในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิตนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนสะสมหรือค่าอุณหภูมิสะสมที่เรียกว่า accumulated growing degree-days ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิดังกล่าวหมายถึงปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อนที่พืชต้องการ เพื่อที่จะพัฒนาหรือเปลี่ยนจากระยะการเจริญเติบโตจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะการเจริญเติบโตอีกระยะหนึ่ง เช่นการกำเนิดใบแรกไปสู่การกำเนิดใบที่สอง หรือจากระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ไปสู่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านสืบพันธุ์ ส่วนเฉลิมพล (2542) ได้กล่าวว่าถึงแม้ว่าสภาพภูมิอากาศที่พืชขึ้นอยู่จะผันแปรไป อย่างไรก็ตาม พืชจะเจริญถึงระยะนั้นได้จะต้องมี GDD ถึงจำนวนที่กำหนดก่อนให้ ถ้าในระหว่างที่พืชนั้นขึ้นอยู่มีอากาศหนาวเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำ พืชก็จะต้องใช้เวลานานขึ้น ในการพัฒนาระยะนั้นๆ เพื่อรวมอุณหภูมิให้ได้ถึงจำนวนที่กำหนดก่อน ในทางตรงกันข้ามถ้าพืชนั้นเจริญอยู่ในระหว่างที่มีอุณหภูมิสูง พืชก็ใช้จำนวนวันน้อยกว่าในการสะสมอุณหภูมิให้ได้จำนวนเดียวกันนั้น

ดังนั้น จึงมีการนำข้อมูลในส่วนของอุณหภูมิที่พืชได้รับในแต่ละวันมาเป็นปัจจัยหนึ่งเพื่อใช้ในการทำนายการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชในแต่ละระยะตลอดจนกระทั่งพืชนั้นสุกแก่ (Huang *et al*, 1998) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$\sum GDD = \frac{T.max + T.min}{} - T_{base}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อ T.max = อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน

T.min = อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน

T_{base} = อุณหภูมิต่ำสุดที่พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

อนุมูลอิสระ (Free radicials) และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

อนุมูลอิสระ (Reactive Oxygen Species ; ROS) หรือ free radicals คือโมเลกุล หรืออิออนที่มีอิเลคตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก และมีอายุสั้นมากประมาณ 1 หรือ 10^{-3}-10^{-10} วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยสามารถตรวจวัดด้วย Electron Spin Resonance (ESR) โมเลกุลหรืออิออนชนิดนี้ เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีพลังทำลายที่รุนแรงมาก เกิดจากผลพวงของการเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงานภายในร่างกาย และจะเข้าไปเกาะตามผนังเซลล์ทำให้เซลล์ถูกทำลาย และยังเกิดจากแหล่งอื่นอีก เช่นแสงอัตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ น้ำมันพืชที่ถูกความร้อน สารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำ อากาศ อาหาร เครื่องดื่ม บุหรี่ และสารก่อมะเร็งอื่นๆ เมื่อเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายมากๆ มีผลทำให้เป็นโรคต่างๆ ง่าย ทำให้ร่างกายอ่อนแอทรุดโทรม แก่เร็วเป็นสาเหตุที่ให้เกิดโรค ได้แก่ โรคหัวใจ โรคปอด โรคมะเร็ง เป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) คือสารที่มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระโดยจะทำหน้าที่ในการให้อิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระ เพื่อขับไล่อนุมูลอิสระจับตัวกับโลหะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือลดการก่อตัวของซิงเกล็ทออกซิเจน (singlet oxygen) ซึ่งเป็นออกซิเจนที่อยู่ในรูปที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคปอด และโรคอื่นๆ สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารแอนติออกซิแดนท์ ได้แก่ วิตามินอี เอ ซี ดี ซีลีเนียม บีตาแคโรทีน พฤกษาเคมี (phytochemicals)ต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอลิค (polyphenols) นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เช่น Flavanones, Flavones, Flavonols, Catechins และ Anthocyanidins โดยทั่วไป เราสามารถพบสารแอนติออกซิแดนท์ได้ในส่วนประกอบของพืชเกือบทุกชนิด พรทิพย์ (2546) พบว่าในเมล็ดพืชมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าส่วนอื่นของพืช โดยสามารถศึกษาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียรใช้เป็น reagent เพื่อทดสอบ antioxidant activity

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในธัญพืชและพืชอื่นๆ

Emmons and Peterson (1999) ศึกษาแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ (คัพภะ) ทั้งเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดข้าวโอ๊ต 4 สายพันธุ์ คือสายพันธุ์ Dane, Gem, Belle และ Ontana พบว่าสารสกัดส่วนเอ็มบริโอของทั้ง 4 สายพันธุ์มีแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคด้วยเทคนิค Reversed-Phase HPLC และFolin-Ciocateu พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิคในส่วนเอ็มบริโอ และเปลือกหุ้มเมล็ดใกล้เคียงกัน แต่บางสายพันธุ์ในส่วนของเอ็มบริโอสูงกว่า โดยชนิดของสารประกอบฟีนอลิคในแต่ละส่วนก็แตกต่างกัน และสามารถแยกได้ถึง 10 ชนิดคือ gallic acid (GA), vanilic acid (VA), vanillin (VAN), ferulic acid (FA), synapic acid (SI), protocatechuic acid (PRO), ρ-hydroxybenzaldehyde (PHB), caffeic acid (CA), ρ-coumaric acid (PCA) และ *trans*-cinnamic acid (TCA) โดยชนิดสารประกอบฟีนอลิคที่มีแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันสูง คือ CA, SI, PRO, FA และVAN ส่วน PHB และPCA ซึ่งพบมากในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดและมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันต่ำ

Quettier-Deleu *et al.* (2000) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคชนิดต่างๆ ในสารสกัดหยาบจากส่วนเปลือก (hulls) และแป้ง (flour) ของเมล็ดบัควีต พบว่ามีสารประกอบ ฟีนอลิคหลายชนิด ได้แก่ ฟีนอลิค ฟลาโวนอน โปรแอนโธไซยานิน และฟลาโวนอยด์ โดยสารสกัดหยาบด้วยเมทานอลจากทั้งสองส่วนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดใกล้เคียงกัน ปริมาณฟลาโวนอยด์พบมากในส่วนเปลือก โดยชนิดที่เด่นคือ rutin ส่วนปริมาณฟลาโวนอยด์ และโปรแอนโธไซยานินมีปริมาณสูงในส่วนของแป้ง เมื่อวิเคราะห์แอคติวีตีในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการต่างกัน ได้แก่ hydrogen peroxide (H_2O_2) scavenging, hypoclorous acid (HOCL) และ superoxide anion ($O^{\cdot}_2$) scavenging พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดหยาบที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระให้ลดลง 50% (IC_{50}) ของแป้งต่ำกว่าเปลือกเมล็ด โดยแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณฟลาโวนอยด์ที่แสดงบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยมีชนิดที่สำคัญคือ Procyanidin dimer B2 dimer (epicatechin-(4β→8)-epicatechin) Zielinski and Kozlowska (2000) ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชหลายชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ ข้าวโอ๊ต และบัควีต พบว่า สารสกัดด้วยเมทานอน 80% ของเมล็ดธัญพืชดังกล่าวแสดงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน โดยเรียงลำดับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูล ABTS (2,2'–azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)) จากมากไปน้อยดังนี้ บัควีต ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรน์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของเมล็ดธัญพืชที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลิคด้วย เรียงลำดับความสัมพันธ์จากมากไปน้อย ได้แก่ เปลือกเมล็ด แป้งของเมล็ดข้าว, คัพภะ, เมล็ดข้าวกล้อง, เยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกของเมล็ดข้าวกล้อง และเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นกลางของเมล็ดข้าวกล้องตามลำดับ

Yu and Zhou (2004) ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากรำข้าวสาลี (Platte wheat) ที่มีแหล่งปลูกแตกต่างกัน 5 แหล่งของรัฐโคราโด ของประเทศอเมริกา เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยและสภาพแวดล้อมในบริเวณแหล่งปลูก ที่อาจมีผลต่อแอคติวิตีในการออกซิเดชัน โดย 4 แหล่งแรกเป็น nonirrgated location ได้แก่ เมือง Akron, Burlington, Julesburg, Walsh และ irrigated location ซึ่งได้แก่ เมือง Fort Collins ใช้การวิเคราะห์แอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธีการวัดประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ และความสามารถในการทำลายเหล็กไอออน พบว่าสารสกัดหยาบแต่ละแหล่งมีแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดจากรำข้าวที่ปลูกที่เมือง Fort Collins มีแอคติวิตีสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมบริเวณแหล่งปลูกมีผลต่อประ สิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันโดยมีกลไกการต้านแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดก็พบว่าสารสกัดจากรำข้าวทั้ง 5 แหล่งไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

Negro *et al.* (2003) ทำการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดจาก marc (grape processing by-product), เมล็ดและเนื้อผลขององุ่นแดง พบว่าในส่วน marc มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคสูง และมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนสารสกัดจากเมล็ดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดมากที่สุด โดยชนิดที่เด่นคือ tannins และ proanthocyanidins แต่มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่า

Li *et al.* (2005) ศึกษาแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากพุทราจีน (Zizyphus jujube) จำนวน 5 สายพันธุ์ โดยวิธี DPPH scavenging assay และ reducing power และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค พบว่าในบางสายพันธุ์มีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สูงกว่า α–tocopherol ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิค

Ichikawa *et al.* (2001) ทำการศึกษาแอนโธไซยานินที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากเมล็ดข้าวสีดำม่วงและบลูเบอรี่ พบว่าในเมล็ดข้าวนี้มี cyanidin-3-O-ß-D-glucoside (Cy-3-Glc) เป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียว และมีแอคติวิตีในการกำจัด superoxide สูงกว่า trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetrametyl-chroman-2-carboxylic acid) ซึ่งเป็น reference antioxidant ในขณะที่สารสกัดจากบลูเบอรี่มีแอนโธไซยานินหลายชนิด และสามารถกำจัด superoxide ได้ดีมากกว่าสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สกัดจากเมล็ดข้าวรวมทั้ง trolox แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัด hydroxyl radical ก็ยังต่ำกว่า Cy-3-Glc จากเมล็ดข้าวอยู่มาก

สารประกอบฟีนอลิค

สารประกอบฟีนอลิคถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ของพืช จัดอยู่ในกลุ่มของ secondary metabolites มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเบนซีนที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซี (-HO) เกาะอยู่อย่างน้อย 1 กลุ่ม มักรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) พบได้ในส่วนของแวคคิวโอลภายในเซล และพบได้มากในธรรมชาติ อันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ธัญพืช และในอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ชอกโกแลต กาแฟ ชา และไวน์แดง โดยจะพบในปริมาณที่แตกต่างกัน ในพืชต่างชนิดหรือชนิดเดียวกัน แต่มาจากสถานที่ผลิตต่างกัน ก็ทำให้ปริมาณและชนิดแตกต่างกันด้วย เนื่องจากปัจจัยของพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นฤดูกาลเก็บเกี่ยว การจัดการและวิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป และวิธีการเก็บรักษา จึงมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น (Yu *et al.,* 2004 ; Zhou *et al.,* 2004)

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิคคือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยสารประกอบฟีนอลิคทำหน้าที่กำจัดโมเลกุลของอนุมูลอิสระ และกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษต่อเซล ป้องกันกระบวนการสร้างอนุมูลอิสระภายในเซล รวมถึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่เกิดปฏิกิริยากับสารอื่นต่อไป สารประกอบฟีนอลิคเป็นสารมีคุณสมบัติต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และต้านการสลายลิ่มเลือดและสามารถลดความดันโลหิต ช่วยในการขยายหลอดเลือด นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคบางชนิด ยังสามารถรวมกับอนุมูลอิสระของสารตัวอื่นตัวช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟีนอลิคในเมล็ดข้าว

ในข้าวพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิดในสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว เช่น ในส่วนรำข้าว (bran) มีสารประกอบฟีนอลิคชนิด ferulic acid, *p*-coumaric acid และ synapic

acid (Yoshida *et al.,*1970) ส่วนในข้าวขาวพบสารประกอบฟีนอลิคชนิด guaiacol, phenol, *p*-cresol, 4-vinylguaiacol และ 4-vinylphenol (Yajima, 1978) กัปนาท (2548) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิค และแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธีการวัดการฟอกจางสีของเบตาแคโรทีน ของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ เอ็นโดสเปริม์ และทั้งเมล็ดของข้าวเจ้าที่พบในเขตภาคเหนือของไทย จำนวน 15 สายพันธุ์ โดยเป็นข้าวขาว 10 สายพันธุ์และข้าวดำ 5 สายพันธุ์ พบว่าสารสกัดหยาบจากเอ็มบริโอ มีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าเอ็นโดสเปริม์ และทั้งเมล็ด ทั้งนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และแอคติวีตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดหยาบนี้ Zhou *et al*. (2004) ทำการศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิค ที่พบในสารสกัดหยาบจากเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาว 3 สายพันธุ์ในประเทศออสเตรเลีย ได้แก่ Koshihikari Kyeema และ Doongara ด้วยเทคนิค HPLC พบ ferulic acid และ *p*-coumaric acid มีปริมาณสูงสุดในข้าวกล้อง รองลงมาคือ gallic acid, vanillic acid และ caffeic acid ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันไปในเมล็ดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บรักษาสารสกัดหยาบ โดยปริมณฟีนอลิคทั้งหมดลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น นิรมล (2548) ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ เอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ด ที่มีสารประกอบฟีนอลิคของเมล็ดข้าวเหนียว 15 สายพันธุ์ซึ่งประกอบด้วยข้าวขาว 7 สายพันธุ์ และข้าวดำ 8 สายพันธุ์ ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีการวัดการฟอกจางสีของเบตาแคโรทีน พบว่าสารสกัดหยาบจากเอ็มบริโอ มีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าเอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด ด้วยวิธีการเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ พบว่าสารสกัดจากทุกๆ ส่วนที่ทำการศึกษา พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และมีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดหยาบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved