บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าวเหนียวก่ำ

ข้าวเหนียวก่ำเป็นการเรียกลักษณะของเมล็ดข้าวที่มีสีม่วงดำหรือแดงก่ำตามภาษาพื้นเมืองทางภาคเหนือ นิยมปลูกมากในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีปลูกทั่วไปในประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และสาธารณรัฐเวียดนาม อินเดีย ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาชนจีน ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวเหนียวก่ำ คือ เป็นข้าวพันธุ์ไวแสง ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี มีความสามารถในการทนแล้ง และการฟื้นตัวจากแล้งได้ดี ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว (วิไลลักษณ์, 2541) มีความสูงลำต้นเกินมาตรฐานของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ดำเนิน และ ศันสนีย์, 2543) และมีลักษณะทางการเกษตรที่ดี เช่น การแตกกออยู่ในเกณฑ์ดี การชูรวงอยู่ในระดับที่ดีถึงดีมากการร่วงของเมล็ดน้อยไม่มีหาง และเมล็ดมีขนาดใหญ่ (จารุณี, 2545) ลักษณะเด่นที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนแตกต่างไปจากข้าวที่นิยมปลูกทั่วไป คือ ข้าวเหนียวก่ำจะมีสีม่วงที่แสดงบนส่วนต่างๆ ของต้นข้าว และเมล็ด เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นต้น (ดำเนิน และ ศันสนีย์, 2543) ความหลากหลายของสีที่ปรากฏตามอวัยวะส่วนต่างๆของข้าวเหนียวก่ำนั้นเป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นจะมีการแยกชนิดข้าวเหนียวก่ำตามลักษณะสีม่วงที่แสดงบนส่วนต่างๆของต้นข้าว ได้แก่ ข้าวเหนียวก่ำไร่จะมีลักษณะสีม่วงเฉพาะส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดเท่านั้น ในขณะที่ข้าวเหนียวก่ำนา จะมีลักษณะสีม่วงปรากฏอยู่ในส่วนอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้อาจแบ่งลักษณะประจำพันธุ์ตามสีเยื่อหุ้มเมล็ด โดยเฉพาะข้าวเหนียวก่ำนาเรียกตามท้องถิ่น คือ ข้าวก่ำล้วน (เมล็ดข้าวมีสีม่วงทั้งเมล็ด) กับข้าวก่ำผ่า (เมล็ดมีสีม่วงบางส่วน) (จารุณี, 2545) การปลูกข้าวเหนียวก่ำในอดีตมิได้ปลูกเพื่อบริโภค แต่ปลูกเพื่อเป็นสมุนไพรใช้ในการรักษาโรคเท่านั้น โรคที่ใช้ข้าวเหนียวก่ำรักษา คือ การตกเลือดของหญิงคลอดลูก กล่าวกันว่า หญิงสตรีใดคลอดลูก และมีการตกเลือดไม่หยุด จะนำเอาต้นข้าวเหนียวก่ำมาต้มกับใบชาให้รับประทาน ดังนั้นการเก็บเกี่ยวจึงเก็บเกี่ยวไว้ทั้งต้น และมัดห้อยไว้จนกว่าจะนำมาใช้เป็นสมุนไพร ซึ่งธีรพงษ์ (2538) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของข้าวเหนียวก่ำ ประกอบด้วย ปริมาณโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และแคลเซียม ทั้งในส่วนของเปลือก และข้าวกล้อง พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วกลุ่มข้าวเหนียวก่ำมีปริมาณธาตุอาหารทั้ง 5 ชนิดในข้าวกล้องสูงกว่ากลุ่มข้าวขาว ซึ่งสอดคล้องกับ ดำเนิน และศันสนีย์ (2543) ที่พบว่าข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหนียวก่ำมีปริมาณโปรตีนโดยรวมสูงกว่าข้าวขาว และยังพบว่าข้าวเหนียวก่ำมีวิตามินอี และแคโรทีนเป็นองค์ประกอบ (He and Xiong, 1991) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Shi *et al*., 2001)

อุณหภูมิสะสม หรือ Growing Degree Day (GDD) กับการพัฒนาของพืช

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดการแพร่กระจาย และการเจริญของพืช พืชแต่ละชนิดมีการปรับตัว และตอบสนองต่ออุณหภูมิไม่เหมือนกัน มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดไม่เท่ากัน และยังต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อการสังเคราะห์แสง และเจริญเติบโตไม่เท่ากัน ช่วงอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และเหมาะสมของพืชเรียกว่า cardinal temperature ศักดิ์ดา (2548) กล่าวไว้ว่า ระยะพัฒนาการของพืชในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิตนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนสะสมหรือค่าอุณหภูมิสะสมที่เรียกว่า accumulated growing degree-days ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลซียส ค่าอุณหภูมิดังกล่าวหมายถึงปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อนที่พืชต้องการ เพื่อที่จะพัฒนาหรือเปลี่ยนจากระยะการเจริญเติบโตจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะการเจริญเติบโตอีกระยะหนึ่ง เช่น การกำเนิดใบแรกไปสู่การกำเนิดใบที่สอง หรือจากระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบไปสู่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านสืบพันธุ์

อุณหภูมิสะสมเป็นวิธีการคำนวณค่าของอุณหภูมิหรือพลังงานความร้อน (heat unit) จำนวนหนึ่งในแต่ละวันโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) อุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature) ของอากาศในแต่ละวันตลอดช่วงฤดูปลูกของพืชแต่ละชนิด และอุณหภูมิวิกฤตต่ำสุดที่พืชแต่ละชนิดจะมีชีวิตอยู่รอดได้ แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (base temperature) เพื่อนำค่าอุณหภูมิรายวันที่คำนวณได้ มาหาผลรวมของอุณหภูมิสะสม (accumulated growing degree-day หรือ ΣGDD) ที่สัมพันธ์กับระยะพัฒนาการของพืชจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะหนึ่งโดยไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาหรืออายุปลูกของพืช เฉลิมพล (2542) กล่าวว่า ถึงแม้สภาพภูมิอากาศที่พืชนั้นปลูกอยู่จะผันแปร อย่างไรก็ตามพืชจะเจริญถึงระยะนั้นๆ ได้จะต้องมี GDD ถึงจำนวนที่กำหนดให้ ถ้าในระหว่างที่พืชนั้นขึ้นอยู่มีอากาศหนาวเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำ พืชก็จะต้องใช้เวลานานขึ้น (ในการเจริญถึงระยะนั้นๆ) เพื่อรวมอุณหภูมิให้ได้ถึงจำนวนที่กำหนดก่อน ในทางตรงกันข้ามถ้าพืชนั้นเจริญอยู่ในระหว่างที่มีอุณหภูมิสูง พืชก็ใช้จำนวนวันน้อยกว่าในการสะสมอุณหภูมิให้ได้จำนวนเดียวกันนั้น จะเห็นได้ว่าการใช้ค่า GDD เป็นตัวกำหนดความแก่-อ่อน ของพืชจะมีความแปรปรวนน้อยกว่าการใช้วิธีนับจำนวนวัน จากหลักการนี้เราสามารถคาดคะเนการเจริญระยะต่างๆของพืชได้ โดยพิจารณา GDD เพียงมีการบันทึกอุณหภูมิของแต่ละวันไว้แล้วนำไปคำนวณหาค่า GDD ตามสูตรดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$GDD = \frac{(T.\max + T.\min)}{2} - T.base$$

โดยกำหนดให้

T.max (daily maximum temperature) คือ อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน

T.min (daily minimum temperature) คือ อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน

T.base (The minimum threshold temperature) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช

ได้มีการใช้อุณหภูมิสะสมในการทำนาย หรือกำหนดการเจริญของพืชในระยะต่างๆรวมทั้งระยะการพัฒนาตาดอก และการสุกแก่ของพืชกับพืชหลายชนิดอย่างได้ผลดี เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง และทานตะวัน เป็นต้น ส่วนข้าวสาลีที่ปลูกอยู่ในเขตร้อนนั้นเชื่อว่าอุณหภูมิสะสมมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาตาดอก และการเจริญหรือการสร้างจำนวนดอก จากการศึกษาของ เฉลิมพล และสมจิต (2532) กับข้าวสาลีพันธุ์สะเมิง 1 ที่จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปลูกเวลาต่าง ๆ กัน คือ กลางเดือนตุลาคมถึง ธันวาคม พบว่า การพัฒนาตาดอก เกิดขึ้นเมื่อมีค่า GDD อยู่ระหว่าง 550 -585 (T base = 3 องศาเซลเซียส) ในขณะที่ สาวิตร (2530) รายงานค่าดังกล่าวสำหรับพันธุ์เดียวกันนี้เมื่อปลูกที่จังหวัดลำปางอยู่ระหว่าง 422-473 แต่ไม่ได้บ่งบอกค่า Tbase ไว้ แต่อย่างไรก็ตามก็แสดงให้เห็นว่าค่า GDD มีความผันแปรน้อยมาก แสดงว่าข้าวสาลีจะพัฒนาตาดอกได้นั้นจะต้องได้รับอุณหภูมิสะสมถึงจุดหนึ่งที่กำหนดก่อน กมลทิพย์ (2551) พบว่า ข้าวเหนียวก่ำพันธุ์ 16815 ต้องการอุณหภูมิสะสมตั้งแต่ระยะปักดำจนกระทั่งถึงระยะสุกแก่ 1,956 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าพันธุ์หอมสกลที่ต้องการอุณหภูมิสะสม 1,598.05 องศาเซลเซียส และพันธุ์หอมนิลที่ต้องการอุณหภูมิสะสม 1,515.21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

อิทธิพลของวันปลูกต่อการเจริญเติบโต การพัฒนา และการสร้างผลผลิตในพืช

แม้ว่าสภาพภูมิอากาศในรอบวันของแต่ละปีจะมีความแปรปรวนแตกต่างกันไปบ้าง แต่การรวบรวมข้อมูล และตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเป็นเวลานานติดต่อกันก็พอที่จะประมาณลักษณะสภาพภูมิอากาศ และนำมาใช้กำหนดวันปลูกพืชของเกษตรกรได้เพื่อลดความเสี่ยงจากสภาพแห้งแล้ง การแพร่ระบาดของโรค แมลงได้ (Monteith and Elston, 1993) ซึ่งสาเหตุดังกล่าวนี้เองที่เป็นตัวบั่นทอนการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิตของพืช การวิจัยของ สุจิตร (2529)ได้ศึกษาการตอบสนองของพันธุ์ข้าวไร่ต่อวันปลูก เป็นพันธุ์ข้าวไร่ 8 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เจ้าฮ่อ อาร์ 293 อาร์ 258 อีต่ำ ขาวหนองหอย ซิวแม่จัน UPL Ri-3 และ C 171-136 และพันธุ์ข้าวนาสวน 1 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ กข 23 ที่ปลูกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 4 วันปลูกคือ วันที่ 20 พฤษภาคม วันที่10 มิถุนายน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วันที่ 8 กรกฎาคม และวันที่ 1 สิงหาคม ตามลำดับ พบว่า พันธุ์ UPL Ri-3, C 171-136 และพันธุ์ กข.23 จะให้ดัชนีพื้นที่ใบ ผลผลิต และมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูง เมื่อปลูกวันที่ 20 พฤษภาคม โดย พันธุ์อีต่ำ และขาวหนองหอย จะให้ผลผลิตสูงเมื่อปลูกวันที่ 8 กรกฎาคม

Panya (1993) ได้ศึกษาในข้าวนาดำ 3 สายพันธุ์ คือ เหนียวสันป่าตอง ขาวดอกมะลิ105 และ กข.7 ที่ปลูกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 5 วันปลูกโดยปักดำทุกอาทิตย์แรกของเดือน โดยเริ่มจากเดือน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน พบว่าเมื่อปลูกข้าวล่าออกไประยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ตกกล้าจนถึงเก็บเกี่ยวของพันธุ์เหนียวสันป่าตอง และขาวดอกมะลิ105 มีแนวโน้มลดลง

นิมิตร (2540) ได้ศึกษาข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 3 วันปลูกคือ วันที่ 15 พฤศจิกายน วันที่ 29 พฤศจิกายน และวันที่ 13 ธันวาคม พบว่าข้าวบาร์เลย์พันธุ์ บรบ.2 ที่ปลูกในวันที่ 29 พฤศจิกายน จะมีอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งเมล็ดที่สูงกว่าวันปลูกอื่นๆเท่ากับ 15.783 กรัม/ม^2/วัน มีประสิทธิภาพการถ่ายเทสารสังเคราะห์ไปสร้างเมล็ด รวง ลำต้น และใบ ได้สูงสุดถึง 97 % และยังให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 246 กก./ไร่

สมเจตต์ (2544) ได้ศึกษาการตอบสนองของข้าวต่อวันปลูก ในข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 เจ้าหอมคลองหลวง 1 และพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด ที่ปลูกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน 4 วันปลูกได้แก่ วันที่ 15 มิถุนายน 15 กรกฎาคม 15 สิงหาคม และ15 กันยายน พบว่าเมื่อปลูกในระยะเวลาที่แตกต่างกัน จะมีระยะพัฒนาการ (ระยะออกดอก และสุกแก่) วันที่ปรากฏน้ำหนักแห้งสูงสุด น้ำหนักแห้งสูงสุด และอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของต้น และใบมีแนวโน้มลดลงในพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และก่ำดอยสะเก็ด และพบว่าข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีผลผลิตสูงสุดเมื่อปลูกในวันที่ 15 กรกฎาคม

สมโรจน์ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาในข้าว 5 สายพันธุ์ คือ สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 ชัยนาท 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และสายพันธุ์ PTL 88114-10-1-1 ที่วันปลูกแตกต่างกัน 2 ช่วงวันปลูก ได้แก่ ช่วงปลูกก่อนน้ำท่วม (15 มิถุนายน 25 มิถุนายน 5 กรกฎาคม และ15 กรกฎาคม) และช่วงปลูกหลังน้ำลด (2 มกราคม 12 มกราคม 22 มกราคม และ1 กุมภาพันธ์) พบว่าช่วงปลูกก่อนน้ำท่วม ที่เหมาะสมของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์คือ กลางเดือนมิถุนายน ถึง ต้นเดือนกรกฎาคม และช่วงปลูกหลังน้ำลดที่เหมาะสม คือ ช่วงต้นเดือนมกราคม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อนุมูลอิสระกับกระบวนการเกิดโรค

อนุมูลอิสระ (free radicle) ในร่างกายนั้นเกิดจากของเสียของกระบวนการเผาผลาญอาหารโดยใช้ออกซิเจนเพื่อให้ได้พลังงาน (อภิชาติ, 2544) อนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญใน

กระบวนการเกิดโรค ทั้งเป็นต้นเหตุของการเกิดโรค และเป็นปัจจัยทำให้โรคมีพัฒนาการอย่างรวดเร็ว และมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม และความบกพร่องของเซลล์ประสาท และระบบสื่อประสาทในสมอง และภาวะขาดเลือดของอวัยวะที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต คือ หัวใจ และสมอง (โอภา, 2549) ซึ่งในภาวะที่ผิดปกติของร่างกาย เช่น ภาวะของโรคหรือภาวะที่ร่างกายแวดล้อมด้วยมลพิษจะส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลอิสระซึ่งมีความว่องไวสูงจะทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ต่างๆ และส่งผลทำให้เซล์เกิดการตาย หากหลายๆเซลล์เกิดการตายก็จะส่งผลทำให้เกิดความบกพร่องของอวัยวะ เช่น โรคความเสื่อมชนิดต่างๆของอวัยวะ ภาวะผิวพรรณเหี่ยวย่นก่อนวัย โรคความจำเสื่อม โรคหัวใจ โรคความดันโลหิต ฯลฯ (นวลศรี และ อัญชนา, 2545)

สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ (Natural Antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นคำศัพท์ที่แปลมาจากคำว่า antiradicle ปัจจุบันคำศัพท์นี้ได้ถูกบัญญัติใหม่เป็นสารขจัดหรือกำจัดอนุมูล (radical scavenger) เพื่อให้ถูกต้องตรงกับการทำงาน และอาจใช้คำว่าสารแอนติออกซิแดนท์แทน อย่างไรก็ตามในภาษาไทยยังคงใช้คำว่าสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไป หรือหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับทั่วไปในว่า การทำลายหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระ จะช่วยในการป้องกัน หรือรักษาโรคต่างๆที่เกิดขึ้น จากการศึกษาจำนวนมากยืนยันถึงการลดอัตราเสี่ยง และเพิ่มอัตราการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือด และหัวใจ รวมถึงโรคอื่นๆที่มีความสัมพันธ์กับอนุมูลอิสระ จากการบริโภคผักผลไม้ ซึ่งผลดังกล่าวมาจากมีความเกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายได้แก่ ไวตามินซี ไวตามินบี เบต้า-คาโรทีน และสารคาโรทีนอยด์ นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เช่น flavanones, flavones, flavonols, catechins และanthocyanidines เป็นต้น โดยในปัจจุบันพบว่าสารประกอบในกลุ่มโพลีฟีนอลิคเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ

สารประกอบฟีนอลิค

สารประกอบฟีนอลิคเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเบนซีนที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซี (-OH) เกาะอยู่อย่างน้อย 1 กลุ่ม มักรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) และพบได้ในส่วนของแวคคิวโอลภายในเซล ในปัจจุบัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบสารประกอบฟีนอลิคมากกว่า 8,000 ชนิดในธรรมชาตินับจากโมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิค ฟีนิลโปรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น นอกจากนั้นยังจัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอก และพบได้มากในธรรมชาติ อันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ กาแฟ ชาเขียว ชาดำ ชอกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในข้าวพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิดในสารสกัดจากส่วนต่างๆของเมล็ดข้าว เช่น ในส่วนรำข้าว (bran) มีสารประกอบฟีนอลิคชนิด ferulic acid, p-coumaric acid และ synapic acid (Yoshiza *et al*., 1970) ส่วนในข้าวขาวพบสารประกอบฟีนอลิคชนิด guaiacol, phenol, p-cresol, 4-vinylguaiacol และ4-vinylphenol (Yajima, 1978) แม้ว่าปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิคในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 มิลลิกรัม ถึง 1 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน ซึ่งจะพบในปริมาณที่แตกต่างกันในพืชต่างชนิดหรือชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตต่างกันก็ทำให้ปริมาณ และชนิดแตกต่างกันด้วยเนื่องจากกระบวนการสร้างมีปัจจัยทางพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นระยะหรือฤดูกาลเก็บเกี่ยว วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป และวิธีการเก็บรักษา จึงล้วนแต่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น (Yu *et al*., 2004; Zhou *et al*., 2004)

สารประกอบฟีนอลิคมีคุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมาก และเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญคือ การเป็นสารต้านออกซิเดชันเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือด เหล่านี้เป็นต้น อีกทั้งยังทำหน้าที่กำจัดโมเลกุลของอนุมูลอิสระ และกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษต่อเซล ป้องกันกระบวนการสร้างอนุมูลอิสระภายในเซล รวมถึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน และโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่เกิดปฏิกิริยากับสารอื่นต่อไป นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคบางชนิดยังสามารถรวมกับอนุมูลอิสระตัวอื่นเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นกลุ่มสารที่ให้สีสรรแก่พืช รวมถึงสีสรรสวยงามของกลีบดอกไม้ มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ สามารถละลายได้ในน้ำสารกลุ่มนี้สามารถดูดซับรังสี ultraviolet ได้ดี และเปล่งออกมาเป็นแสงสีต่างๆของดอกไม้ เราจะพบสารกลุ่มนี้ได้โดยเฉพาะในพืชที่อยู่บนดิน หรือพืชที่อยู่เหนือน้ำแต่จะไม่พบในพืชที่อยู่ในทะเลลึก เช่น marine algae เข้าใจกันว่าในระหว่างการวิวัฒนาการขึ้นมาบนบกพืชได้พัฒนากระบวนการสร้างฟลาโวนอยด์ขึ้นเพื่อ

ป้องกันอันตรายจากรังสี ultraviolet พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว สีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างๆของต้นข้าวเหนียวก่ำ เกิดจากรงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน

ในปี ค.ศ. 1998 Markhan และคณะได้รายงานการศึกษาฟลาโวนอยด์ในใบข้าวที่ได้รับพลังงานกระตุ้นจาก UV พบฟลาโวนอยด์กลุ่ม flavone glycoside 5 ชนิด ได้แก่ *iso*orientin, *iso*vitexin และ *iso*scoparin ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับแสง UV พบว่า *iso*orientin จะพบในข้าวที่ได้รับแสง UV มากกว่าไม่ได้รับแสง UV ในขณะที่ *iso*vitexin และ*iso*scoparin จะพบในปริมาณเท่าๆกัน

ปี ค.ศ. 2002 Deiana และคณะได้รายงานการศึกษาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเครื่องดื่มคอกเทล ที่ได้จากการหมักกับเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งในเครื่องดื่มนี้มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ quercetin, quercetin glycoside และkaempferol พบว่าเครื่องดื่มเหล่านี้มีคุณสมบัติป้องกันการเกิด antioxidation และเป็น anti-inflammatory

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืช

จากรายงานการค้นคว้าพบว่าสารแอนติออกซิแดนท์ มีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งของร่างกายในการป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระ (free radical) เราสามารถพบสารแอนติออกซิแดนท์ได้ในส่วนประกอบของพืชเกือบทุกชนิด มีการศึกษาถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดในพืชต่างๆมากมาย เช่น

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาเขียว พบว่า มีส่วนประกอบที่เป็นโพลีฟีนอลิคมากกว่า 44 % ในจำนวนนี้เป็นสารกลุ่ม cetechins ที่ถือว่าเป็นกลุ่มสารที่สำคัญของพืชตระกูลชา มีประมาณ 26.7 % เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากสารสกัดที่เป็นเฉพาะโพลีฟีนอลิค จะเห็นว่าสารสกัดชาเขียว มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของชาเขียวเกือบ 90 % มาจากสารกลุ่มนี้ และมีรายงานยืนยันว่าฤทธิ์ต้านมะเร็งทั้งในสัตว์ทดลอง และในมนุษย์ที่ได้จากชาเขียว เกิดมาจากสารกลุ่มโพลีฟีนอลิค

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไวน์ ที่ได้จากเปลือกหรือผิวสีขององุ่น และผลไม้ ตระกูลเบอร์รี่ (berries) ส่วนใหญ่ จะได้จากสาร cyanidin พบว่าในไวน์แดงจะมีปริมาณของสารฟีนอลิคสูงกว่าไวน์ขาว

นอกจากนี้ Rice-Evans and Miller (1996) ได้ศึกษาต้านอนุมูลอิสระในอาหารหลายชนิด ได้แก่ น้ำแอ๊ปเปิ้ล น้ำส้ม ลูกเกด และใบชา อีกทั้งพรทิพย์ (2546)ได้ศึกษาโดยเฉพาะในส่วนที่เป็นเมล็ดของพืช เช่น เมล็ดองุ่น เมล็ดมะขาม มะม่วง ถั่ว เมล็ดธัญพืช และเมล็ดข้าวที่ใช้บริโภค พบว่าในส่วนที่เป็นเมล็ดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าส่วนอื่นของพืช ไมตรี (2535) พบว่ารงค

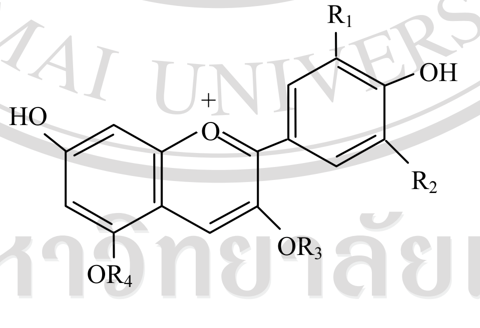
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัตถุที่มีสีม่วงเหล่านี้จะมีฤทธิ์ของการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิอื่นๆ และข้าวขาวทั่วไป

แอนโทไซยานินในข้าวเหนียวก่ำ

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่ให้สีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีม่วง มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น alcohol และสามารถละลายได้ในน้ำ ซึ่งสามารถสกัดสารสีออกมาได้ด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 80 % (Xu and Lin, 2003)

Nagao and Takahashi (1948) ได้อธิบายไว้ว่าความหลากหลายของสีที่เกิดจากปฏิกิริยาของแอนโทไซยานิน ในข้าวเหนียวก่ำมีอยู่ 4 ระดับคือ 1.colorless 2. rose red 3. pansy purple และ4. blackish red purple โดยสีที่เกิดจากแอนโทไซยานินนั้นจะปรากฏในเกือบทุกส่วนของพืช พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างๆของข้าวเหนียวก่ำเกิดจากรงควัตถุ แอนโทไซยานิน Hayashi *et al.* (1952) พบว่าในข้าวมีสารประกอบที่ให้สีคือแอนโทไซยานิน โดยมีไซยานิดิน (cyanidin) และพีโอนิดิน (peonidin) เป็นองค์ประกอบหลัก เรียกข้าวชนิดนี้ว่า "purple rice" โดยไซยานิดินมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแรงกว่าพีโอนิดิน (Tsuda *et al.*, 1994) ซึ่งได้แสดงภาพองค์ประกอบ และโครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวก่ำ (ภาพ 2.1)



Compound	R_1	R_2	R_3	R_4
1. C3G	OH	H	Glu	H
2. P3G	OCH_3	H	Glu	H

C3G: Cyanidin 3-glucoside , P3G;peonidin 3-glucoside (Ryu *et al.*, 1998)

ภาพ 2.1 องค์ประกอบ และโครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สุณิสา (2542) พบว่ารงควัตถุในกลุ่มแอนโทไซยานินจะให้สีบนต้นข้าวที่แตกต่างกันออกไป และมีการกระจายรงควัตถุตามส่วนต่างๆ ของต้นข้าวแตกต่างกันตามสายพันธุ์ ส่วนใหญ่พบรงควัตถุ และให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้น และใบ (vegetative part) และเกือบทุกส่วนของช่อดอก (floral part) ยกเว้นในส่วนของ embryo หรือ endosperm ที่ไม่พบการกระจายของรงควัตถุ

Gross (1987) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะของการแสดงออกของสีในพืชจะเป็นการแสดงออกที่คงที่มากกว่าลักษณะพื้นฐานอื่นๆ ที่เป็นลักษณะคุณภาพ (qualitative characters) ถึงอย่างไรก็ตามยังคงมีเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการปรากฏของสี เช่น ระยะของการเจริญเติบโต อุณหภูมิ หรือแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์ และการสลายตัวของแอนโทไซยานิน ทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และความเข้มข้นของสีที่ปรากฏเปลี่ยนไป

จักรกฤษณ์ (2550) ได้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของคุณภาพเมล็ดในข้าวเหนียวก่ำพันธุ์พื้นเมือง 19 พันธุ์โดย ใช้เทคนิค HPLC พบว่าลักษณะสีเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวกล้องของข้าวก่ำ มีความแตกต่างกันของปริมาณสารไซยานิดิน 3- กลูโคไซด์ที่แตกต่างกันในช่วง ตั้งแต่ 16.23 - 265.01 mg/100 g grain

ความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวเหนียวก่ำ

ข้าวเหนียวก่ำพื้นเมืองในประเทศไทยมีจำนวนมาก และมีระดับสีม่วงของสารแอนโทไซยานินแตกต่างกันไปเกือบทุกส่วนของลำต้น ดอก และเมล็ด โดยเฉพาะในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดข้าวกล้อง (จักรกฤษณ์, 2550) ข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จะมีความหลากหลายของรงควัตถุแอนโทไซยานินแตกต่างกัน โดยในสายพันธุ์ข้าว indica นั้นจะมีความหลากหลายของสีปรากฏให้เห็นเด่นชัดบางสายพันธุ์จะปรากฏที่ทุกส่วนของเนื้อเยื่อพืช ในขณะที่บางสายพันธุ์จะเห็นสีแดงหรือม่วงในเนื้อเยื่อเพียงบางส่วนเท่านั้น (Reddy *et al.*, 1995) ขณะที่ Ryu *et al.* (1998) ได้ทำการทดสอบหาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าว (japonica type) 10 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวมีตั้งแต่ 0 จนกระทั่งถึง 493 mg/100 g grain ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ปริมาณแอนโทไซยานินที่สะสมอยู่ในข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าว

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในข้าวเหนียวก่ำ

สิ่งแวดล้อมมีหลายปัจจัยที่ส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีในข้าวเหนียวก่ำได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. แสง มีการศึกษาพบว่าแสงมีผลต่อการสร้างหรือสังเคราะห์รงควัตถุ ถ้าพืชได้รับแสงมาก จะทำให้การสังเคราะห์รงควัตถุมากขึ้นด้วย เช่น ผลแอปเปิ้ลที่อยู่บริเวณร่มเงาของต้นที่ไม่โดนแสง หรือได้รับแสงน้อย การพัฒนาการของสีแดงของเปลือกจะน้อยลง และลดลงกว่าผลที่ได้รับแสงเต็มที่ (Magness, 1958) และการสะสมของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความเข้มของแสง

2. อุณหภูมิ มีการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน โดยอุณหภูมิต่ำจะกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และอุณหภูมิสูงจะยับยั้งการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน Wiriyasak *et al.* (2003) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญของการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าว โดยข้าวที่ปลูกในฤดูหนาวหรือปลูกที่อุณหภูมิต่ำนั้นปริมาณแอนโทไซยานินสะสมมากกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูร้อน และอุณหภูมิสูง

Cheon chae *et al.* (2000) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง cyanidin 3-glucoside (C3G) ในช่วงที่ข้าวกำลังสุกแก่ โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 18, 21, 24 และ27 พบว่าอุณหภูมิต่างกันจะทำให้เกิดความแปรปรวนของ cyanidin 3-glucoside (C3G) ต่างกัน โดยพันธุ์ Heugjinjubyeo และพันธุ์ Heugnambyoe จะมีปริมาณ C3G มากที่สุดที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณแอนโธไซยานินเท่ากับ 1,837 mg/100g ในพันธุ์ Heugjinjubyeo และในพันธุ์ Heugnambyoe จะมีปริมาณ C3G เท่ากับ 361 mg/100g ส่วนในพันธุ์ Ilpumbyeo พบว่าไม่มี C3G

3. ความชื้นในดิน และธาตุอาหารในดิน ความชื้นในดินกระตุ้นการสร้างสารแอนโทไซยานิน และในสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง หรือในฤดูที่อากาศที่แห้งแล้ง มีความชื้นในดินต่ำ พบว่าการสังเคราะห์แอนโทไซยานินลดลง Saure (1990) และ Kliewer (1977) พบว่า ธาตุไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างแอนโทไซยานิน ถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปการสร้างแอนโทไซยานินจะลดลง

4. ระยะการเจริญเติบโตของพืช พบว่าปริมาณหรือความเข้มข้นของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของพืช เช่น ในองุ่นการสร้างแอนโทไซยานินจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญ และจะมีปริมาณลดลง เมื่อถึงระยะสุกแก่เต็มที่ (Riberau,1982)

5. การเก็บรักษา จากการศึกษาของ Cabrita *et al.* (2000) ในผลสตอเบอรี่ เมล็ดข้าว ผล abies koreana และผลบลูเบอรี่ พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินจะสูงสุด 70% หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน ที่ pH 1-3 และเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส และความคงตัวจะลดลงถ้าค่า pH สูงขึ้น และถ้า pH 5-6 ความคงตัวจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาได้ 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved