บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

อุณหภูมิสะสม หรือ Growing degree day (GDD) กับการพัฒนาของพืช

เป็นวิธีการคำนวณค่าของอุณหภูมิหรือพลังงานความร้อน (Heat Unit) จำนวนหนึ่งในแต่ละวัน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature) อุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature) ของอากาศในแต่ละวันตลอดช่วงฤดูปลูกของพืชแต่ละชนิด และอุณหภูมิวิกฤติต่ำสุดที่พืชแต่ละชนิดจะมีชีวิตอยู่รอดได้ แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (base temperature) เพื่อนำค่าอุณหภูมิรายวันที่คำนวณได้ มาหาผลรวมของอุณหภูมิสะสม (accumulated growing degree-day หรือ ∑GDD) ที่สัมพันธ์กับระยะพัฒนาการของพืชจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะหนึ่งโดยไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาหรืออายุปลูกของพืช

ศักดิ์ดา (2548) กล่าวไว้ว่า ระยะพัฒนาการของพืชในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิตนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนสะสมหรือค่าอุณหภูมิสะสมที่เรียกว่า accumulated growing degree-days ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิดังกล่าวหมายถึงปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อนที่พืชต้องการ เพื่อที่จะพัฒนาหรือเปลี่ยนจากระยะการเจริญเติบโตจากระยะหนึ่งไปสู่อีกระยะการเจริญเติบโตอีกระยะหนึ่ง เช่น การกำเนิดใบแรกไปสู่การกำเนิดใบที่สอง หรือจากระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบไปสู่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านสืบพันธุ์ ส่วนเฉลิมพล (2542) ได้กล่าวว่าถึงแม้ว่าสภาพภูมิอากาศที่พืชขึ้นอยู่จะผันแปรไป อย่างไรก็ตามพืชจะเจริญถึงระยะนั้นได้จะต้องมี GDD ถึงจำนวนที่กำหนดก่อนให้ ถ้าในระหว่างที่พืชนั้นขึ้นอยู่มีอากาศหนาวเย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำ พืชก็จะต้องใช้เวลานานขึ้น (ในการเจริญถึงระยะนั้นๆ) เพื่อรวมอุณหภูมิให้ได้ถึงจำนวนที่กำหนดก่อน ในทางตรงกันข้ามถ้าพืชนั้นเจริญอยู่ในระหว่างที่มีอุณหภูมิสูง พืชก็ใช้จำนวนวันน้อยกว่าในการสะสมอุณหภูมิให้ได้จำนวนเดียวกันนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

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

$$\sum GDD = \frac{T.max + T.min}{2} - T_{base}$$

เมื่อ T.max = อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน

T.min = อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน

T_{base} = อุณหภูมิต่ำสุดที่พืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

คุณภาพการสีและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสี

คุณภาพการสี เป็นคุณภาพทางกายภาพอย่างหนึ่งที่อ้างอิงกับขบวนการสีข้าว (rice milling) ซึ่งเป็นกรรมวิธีแยกข้าวสารออกจากข้าวเปลือก โดยเริ่มจากการแยกส่วนที่เรียกว่าข้าวกล้อง (brown rice) ออกจากเปลือกหุ้ม หรือแกลบ (hull) และขัดสีเยื่อหุ้มส่วนผิวข้าวกล้องจนได้เป็นข้าวสาร (milled rice) ความยาวต่างๆ เนื่องจากการแตกหักในระหว่างการสี และข้าวสารที่ได้นี้คัดแยกขนาดออกเป็นข้าวที่เต็มเมล็ด และข้าวหักที่มีขนาดความยาวต่างๆ ออกเป็นเกรดต่างกันตามเกณฑ์ของแต่ละตลาด (จิรวัฒน์, 2539) โดยคุณภาพการสี ประกอบด้วย ส่วนของข้าวที่เป็นข้าวสารทั้งหมด (milled rice recovery หรือ milling yield) และเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น (head rice recovery) ซึ่งหมายถึงข้าวต้น (head rice) หรือข้าวที่เหลือความยาวอย่างน้อยในสัดส่วนของข้าวเต็มเมล็ด ตามมาตรฐานที่กำหนดต่อข้าวเปลือกหรือต่อข้าวกล้อง (IRRI, 1992) ซึ่งกรมวิชาการเกษตร(2543) กำหนดสัดส่วนของเมล็ดข้าวเป็น 10 ส่วน โดยข้าวเต็มเมล็ดคือ ข้าวที่ไม่มีส่วนใดหัก ข้าวต้นคือ ข้าวที่มีส่วนของเมล็ด 8-9.9 ส่วน ข้าวหักใหญ่คือ ข้าวที่มีส่วนของเมล็ดเล็กกว่า 5-7.9 ส่วนข้าวหักคือ ข้าวที่มีส่วนของเมล็ด 2.5-4.9 ส่วน และปลายข้าวคือ ข้าวที่มีส่วนของเมล็ดเล็กกว่า 25 ส่วน ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวมมีความแปรปรวนไม่มากนักและอยู่ในช่วง 55%-70% เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่มีบทบาทมากกว่าในการกำหนดราคา และมีความผันแปรมาก โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 25-50% ของข้าวเปลือก (นิยม, 2519 ; IRRI, 1992 ; Juliano *et al*., 1992) และ Efferson (1985) รายงานว่า ราคาข้าวเปลือกที่มีการแตกหักน้อย มีราคาสูงกว่าข้าวที่มีการแตกหักมากประมาณ 25% โดยจากราคาที่แตกต่างกันนี้ คุณภาพการสีของข้าวจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ข้าวสารเต็มเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น (40-50% คุณภาพการสีดี, มากกว่า 50% คุณภาพการสีดีมาก) และค่าท้องไข่อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า1) (ประสูติและคณะ, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระทรวงพาณิชย์ได้กำหนดมาตรฐานการส่งออกโดยใช้เปอร์เซ็นต์การหัก หรือคุณภาพการสีของข้าว เป็นตัวกำหนดและแบ่งคุณภาพข้าวได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ข้าวคุณภาพดี (ข้าวหอมข้าวขาว 100%- 5%) ข้าวคุณภาพปานกลาง (ข้าวขาว 100%- 5% ข้าวเหนียว 10%) และข้าวคุณภาพต่ำ (ข้าวขาว 25% และปลายข้าว) (สำนักวิจัยเศรษฐกิจเกษตร, 2542) โดย Kunze (1985) พบว่าสัดส่วนของเมล็ดข้าวที่ร้าว จะเกิดการแตกหักเมื่อนำไปขัดสี ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเมล็ด รูปร่างเมล็ด ระบบการสี และระดับการสี และ De Datta (1981) รายงานว่า การเก็บเกี่ยวเร็วเกินไป เมล็ดข้าวยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ และมีความชื้นภายในเมล็ดสูง ข้าวแห้งยาก ทำให้เกิดการแตกหักง่ายเมื่อนำไปขัดสี หรือการเก็บเกี่ยวช้าเกินไป ข้าวก็จะเกิดการแตกหักเนื่องจากการดูดความชื้นเข้าไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ Seetanum and De Datta (1973) และ Sajawan *et al*. (1990) รายงานว่าไนโตรเจนช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น โดยเฉพาะลดความเป็นท้องไข่ที่ทำให้เมล็ดแตกหักง่าย โดยบุญลักษณ์และคณะ (2517) อธิบายว่า ไนโตรเจนเพิ่มโปรตีนในข้าวต้น ทำให้เม็ดแป้งจับตัวกัน ข้าวจึงต้านทานการแตกหักจากการขัดสี

ส่วนความสูญเสียข้าวในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อราคาข้าวสาร คือ การแตกหักของข้าวสาร ข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักมากจะขายได้ในราคาที่ต่ำกว่าข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักน้อยกว่า สาเหตุการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าวน่าจะเกิดจากการแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าว การแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าวที่มีอยู่แล้วอาจเกิดจากกรรมวิธีใดๆ ก่อนกระบวนการสีข้าว ซึ่งคุณภาพการสีของข้าวแปรปรวนมากน้อยขึ้นกับ

1. พันธุ์ คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าวเช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก หรืออ้วน หรือมีท้องไข่มาก จะทำให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นต่ำ ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดข้าวค่อนข้างยาว เรียวและเมล็ดใส หรือพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกสีอ่อน เปลือกบางเมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นสูง และถ้าพันธุ์ข้าวให้ลักษณะข้าวกล้องสีเข้มต้องใช้แรงงานในการขัดขาวสูง ขัดขาวนานเพื่อให้ได้ข้าวสารขาวจึงอาจเป็นผลทำให้เกิดข้าวหักมากได้ (เครือวัลย์, 2536; อังคณาและเครือวัลย์, 2539)

2. การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว การระบายน้ำออกจากแปลงนาก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยวและการตากสะดวกได้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นสูง

3. ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ กล่าวคือข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียว การสร้างแป้งยังไม่แน่นเต็มเมล็ดเมื่อตากแห้งแล้วนำไปสี ข้าวเมล็ดเขียวหรือเมล็ดอ่อนเหล่านี้จะหักปนไปรวมอยู่กับส่วนรำ แกลบและข้าวหัก ทำให้ได้เนื้อข้าวสารและข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นน้อย เช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากเมล็ดแก่และแห้งแล้ว หากปล่อยทิ้งไว้ในนา เมล็ดจะถูกแดดในตอนกลางวันและได้รับสภาพชื้นจากน้ำค้างในตอนกลางคืนสลับกันเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นในเมล็ดเมื่อนำไปสีข้าวจะหักมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย การเก็บเกี่ยวข้าวควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 28-35 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22-26% ลักษณะรวงข้าวจะโน้มลง เมล็ดในรวงมีสีฟางหรือเหลือง โคนรวงอาจมีเมล็ดเขียวบ้างเล็กน้อย ระยะเวลาดังกล่าวนี้เมล็ดจะสุกแก่พอเหมาะ การเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้น้ำหนักเมล็ดสูง ข้าวปริมาณมากและมีคุณภาพการสีดี

4. การตากข้าวเปลือก เป็นการลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน เสื่อมคุณภาพช้า การตากข้าวกระทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก คือต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นในเมล็ด 12-14% สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

5. การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกันเช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ย่ำ นวดโดยใช้รถไถและนวดด้วยเครื่องจักรเป็นต้น การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักมากขึ้น

6. การเก็บรักษา เป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยว นวดและตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขายหรือเก็บไว้บริโภค การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา การเกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสี ทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นน้อยลง

7. กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี คือ การกะเทาะเปลือกหรือการขัดขาวใน 2 ขั้นตอนนี้ กัญญา(2545) สรุปว่าข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะและระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรืองแท่งเหล็กในเครื่องขัดขาว ถ้าตั้งชิดเกินไปจะทำให้ข้าวหักมากขึ้น
2. อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร ถ้าหมุนเร็วมากข้าวจะหักมาก
3. อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะหรือเครื่องขัด ถ้าสูงข้าวจะหักมาก
4. ระยะเวลาในการขัดสี ถ้าขัดนานข้าวจะหักมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิทธิพลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพการสีของข้าว

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืชและสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมากรวมทั้งของข้าว เนื่องจากไนโตรเจนมีอิทธิพลต่อต้นข้าวทั้งในระยะ Vegetative growth และ Reproductive growth มีผลต่อการเจริญทางลำต้นและใบ พื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และการสะสมน้ำหนักแห้งตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว โดยค่าดัชนีพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นตามอายุของพืช และสูงสุดในระยะที่ข้าวออกรวง (heading) หลังจากนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบจะลดลงเป็นลำดับเนื่องจากใบล่างแห้งตาย ข้าวอาจให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบถึง 10 หรือมากกว่าถ้าหากปลูกด้วยระยะปลูกที่ชิด และให้ปุ๋ยไนโตรเจนมากพอ (IRRI, 1970) ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวเป็นอย่างมาก และอัตราและวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนก็มีส่วนสัมพันธ์กับการดูดใช้และการให้ผลผลิตของข้าว โดยสุชาติ (2530) กล่าวว่า ข้าวที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแบ่งใส่มีประสิทธิภาพการนำไนโตรเจนไปใช้ได้ดีกว่าการใส่ด้วยวิธีรองพื้นเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแบ่งใส่จะช่วยให้พืชใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้อย่างเต็มที่และป้องกันการสูญเสียปุ๋ยจากการชะล้างได้ดีกว่า นอกจากนี้ผลผลิตของข้าวจะสัมพันธ์กับค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (harvest index :HI) โดยมีความสัมพันธ์ในทางลบกับความสูงของลำต้น ซึ่งความสูงนี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนเป็นสำคัญ ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่า HI ต่ำเนื่องจากข้าวเกิดการหักล้มทำให้ผลผลิตเสียหาย (IRRI, 1997) สอดคล้องกับที่ประสูติและคณะ (2539) รายงานว่า ข้าวบาสมาติพันธุ์ BMT5854 เป็นข้าวต้นสูง ฟางอ่อน เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราสูงจะทำให้ข้าวหักล้ม เมล็ดร่วงหล่น ควรพิจารณาใส่ปุ๋ยอัตรา 8-4-4 กก.N/ไร่ ส่วนข้าวพันธุ์ PK487 เป็นข้าวต้นเตี้ย แตกกอดี ควรพิจารณาใส่ปุ๋ยอัตรา 12-4-4 กก.N/ไร่ จะเห็นว่าพันธุ์ข้าวที่มีลำต้นเตี้ยจะสามารถตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงได้ดีกว่า และมีอัตราการหักล้มน้อยกว่าพันธุ์ข้าวที่มีลำต้นสูง ดังนั้นเราจึงควรศึกษาอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อพันธุ์ข้าว เพื่อให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพและให้ผลผลิตได้สูงสุด

นอกจากนี้มีรายงานพบว่า ไนโตรเจนสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น โดยเฉพาะพันธุ์ที่เป็นท้องไข่ สามารถลดระดับความเป็นท้องไข่ที่ทำให้เมล็ดแตกหักง่าย และเนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนหรือโปรตีน การเพิ่มไนโตรเจนจึงทำให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดเพิ่มขึ้นด้วย และอธิบายว่าไนโตรเจนเพิ่มโปรตีนในเมล็ดข้าวทำให้เม็ดแป้งจับตัวกัน จึงมีความต้านทานต่อการแตกหักระหว่างการสีของเมล็ดข้าวมากขึ้น (บุญลักษณ์ และคณะ, 2517) และมีรายงานว่า ปริมาณโปรตีนในแกลบที่เพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดข้าวลดการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศ ทำให้เมล็ดข้าวมีการแตกหักจากการสีน้อยลง (Sajawan *et al*., 1990) นอกจากนั้น Nangju and De Datta (1970) และ Seetanum and De Datta (1973) พบว่าไนโตรเจนเป็นตัวเพิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีนในเมล็ดข้าว ทำให้เม็ดแป้งจับตัวกัน และทำให้เกิดความต้านทานต่อการแตกหักระหว่างการสีเพิ่มขึ้นNangju and De Datta (1970); Seetanum and De Datta (1973); (Sajawan *et al*., 1990) รายงานพ้องกันว่าไนโตรเจนสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น และยังมีรายงานว่าโปรตีนในเยื่อหุ้มเมล็ดหรือรำ ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เมล็ดข้าวมีการแตกหักจากการสีน้อยลง เนื่องจากโปรตีนในเยื่อหุ้มเมล็ด (รำ) จะทำให้เมล็ดข้าวลดการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศ (ตติยะ, 2538 อ้างโดยจิรวัฒน์, 2539) ซึ่ง Henderson (1954) กล่าวว่าการดูดและคายความชื้นจะชักนำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ด กล่าวคือเมื่อผิวส่วนนอกเมล็ดดูดน้ำหรือได้รับอุณหภูมิสูงจนทำให้ผิวนอกของข้าวกล้องขยายตัวมากกว่าแรงดึงภายใน ในขณะที่ส่วนกลางเมล็ดไม่ยืดหยุ่น จะทำให้ผิวนั้นร้าวออก สอดคล้องกับ Kunze (1985); Srinivas *et al*. (1978); Sibenmorgen (1994) ที่กล่าวว่าความชื้นและอุณหภูมิจะก่อให้เกิดแรงเครียดและแตกร้าวของส่วนเอ็นโดเสปิร์ม (Endosperm) ในเมล็ดข้าว นอกจากนั้นแล้วการจัดการที่เหมาะสมสำหรับการดูดซึมไนโตรเจน เช่นการแบ่งใส่ไนโตรเจน (Ali *et al*., 1992a) การเตรียมดินจะทำให้เพิ่มปริมาณโปรตีนและเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น (Ali *et al*., 1992b) อีกทั้ง Seetanum and De Datta (1973) รายงานว่าการเก็บเกี่ยวข้าวในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นกับพันธุ์และระดับปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และระดับโปรตีนในเมล็ดสูงที่สุด และจากรายงานของกิติยา และคณะ (2539); เครือวัลย์ และคณะ (2528) พบว่าเมื่อเก็บเกี่ยวช้ากว่าวันที่เหมาะสมที่สุด จะทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลง แต่จะไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร แต่จากผลการศึกษาของแขสุมาลย์ (2543) ไม่พบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1 แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาของ Perez *et al*. (1996) พบว่าผลกระทบของระดับไนโตรเจนที่ระยะออกดอก จะเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น และปริมาณโปรตีนขึ้นได้ 30%-60% และระดับของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ด้านบวกกับเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสาร และสังเกตพบความขุ่นของเมล็ดซึ่งคาดว่าระดับปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มคุณภาพการสี และคุณค่าทางโภชนาการได้

ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมีผลต่อปริมาณ soluble และ storage protein และขนาดของเมล็ดแป้ง โดยข้าวที่มีปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดสูงจะทำให้ความเข้มข้นของ soluble โปรตีนในเมล็ดสูงและมีปริมาณ storage โปรตีนมากกว่าข้าวที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดต่ำ นอกจากนี้จะทำให้เมล็ดแป้งในข้าวมีขนาดลดลงเล็กน้อยในข้าวที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดสูง และพบว่าความเข้มข้นของ glutelin ในเมล็ดข้าวจะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดและเปอร์เซ็นต์ข้าวไม่หัก และท้ายที่สุดพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดจะเพิ่มปริมาณการสะสมและกระจายของ storage โปรตีนในส่วนผิวของเมล็ดข้าว มากไปกว่านั้นปริมาณการสะสมของ storage โปรตีนที่บริเวณด้านข้างของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมล็ดนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวต้น คือเมล็ดที่มีโปรตีนตามผิวมากจะหักน้อยเมื่อนำไปสี (มานพ, 2546)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาของอรุณชัย (2543) พบว่าการเก็บรักษาข้าวจะทำให้คุณภาพข้าวเปลือกเปลี่ยนไป คือ ช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษาเปลี่ยนไป 1 เดือน จะมีผลทำให้ข้าวมีเปอร์เซ็นต์ความแข็งเพิ่มขึ้น 0.06% องค์ประกอบทางเคมีของข้าวจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่าง 3-4 เดือนแรกของการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น การลดลงของโปรตีนและเม็ดแป้งที่ละลายน้ำ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน กลิ่นหอมของข้าวหายไป ข้าวจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้น

ในระยะเวลา 3-4 เดือนหลังเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เนื่องจากเอนโดสเปิร์มจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น หากเมล็ดไม่ถูกแมลงทำลายในระหว่างการเก็บรักษาและจากการศึกษาของ Kondo and Okamura (1937) พบว่าความแข็งของข้าวกล้องต่อการแตกหักและแรงบดจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยความแข็งนี้จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงต่างๆในกระบวนการสีซึ่งจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3-6 เดือน (Perez and Juliano, 1982) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวจะเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง โปรตีน และไขมัน (งามชื่น, 2545)

Badawi (1982) พบว่าเมื่อระยะเวลาของการเก็บรักษาข้าวนานขึ้นทุกๆ 3 เดือนเป็นระยะเวลา 1 ปี จะทำให้เปอร์เซ็นต์แกลบ เปอร์เซ็นต์การสีลดลงแต่เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นทุก 2% จากความชื้นมาตราฐาน (14%) และเก็บไว้ทุกๆ 3 เดือนจะพบว่าเปอร์เซ็นต์แกลบ เปอร์เซ็นต์การสีจะลดลงแต่เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะเพิ่มขึ้นตามความชื้นที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นด้วย

Wasserman *et al.* (1958) รายงานว่าข้าวที่ปลูกในอเมริกาตะวันตกเมื่อนำไปสีทันทีภายหลังการลดความชื้นจะไม่มีการสูญเสียของ milling yields และภายหลังจากเก็บไว้ 3, 6 และ 9 สัปดาห์แล้วนำไปสีพบว่า milling yields ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวเมล็ดสั้นจะมี head yields ที่สูงภายหลังการลดความชื้นและนำไปสีทันที

Pominski *et al.* (1965) ศึกษาข้าวเมล็ดยาวและข้าวเมล็ดยาวปานกลางในอเมริกาใต้พบว่าเมื่อนำไปสีทันทีภายหลังการลดความชื้นจะไม่มีการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น นอกจากนั้น milling yields จะไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเก็บไว้นานเกิน 4 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Sorenson (1973) รายงานว่ามีการเพิ่มของ milling head yields (4%-6%) สำหรับข้าวที่เก็บไว้นานเกิน 10 เดือน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Choudhary (1970) ที่พบว่าความแข็งของข้าวเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษานี้

และจากการศึกษาของ Mujahid (2004) พบว่า antioxidants ในรำข้าวจะไม่คงสภาพอยู่ในช่วงการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์แกลบ เปอร์เซ็นต์การสีจะลดลงแต่เปอร์เซ็นต์ข้าวหักจะเพิ่มขึ้นตามความชื้นที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นด้วย

อนุมูลอิสระ (Free radicials)และสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

อนุมูลอิสระ (free radicals) หรือ Reactive Oxygen Species (ROS) คือโมเลกุลหรืออิออนที่มีอิเลคตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมากประมาณ 1 หรือ 10^{-3}-10^{-10} วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยสามารถตรวจวัดด้วย Electron Spin Resonance (ESR) โมเลกุลหรืออิออนชนิดนี้เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีพลังทำลายที่รุนแรงมาก เป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงานภายในร่างกาย และจะเข้าไปเกาะตามผนังเซลทำให้เซลถูกทำลายได้ และยังเกิดจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น จากแสงอาทิตย์ น้ำมันพืชที่ถูกความร้อน การถูกแสงอัตราไวโอเลตเป็นเวลานานๆ สารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำ อากาศ อาหาร ควันบุหรี่ และจากสารก่อมะเร็งอื่นๆ เมื่อเกิดอนุมูลอิสระมากๆ ในร่างกาย จะทำให้ร่างกายทรุดโทรม แก่เร็ว ทำให้เป็นโรคต่างๆ ง่าย ได้แก่ โรคหัวใจ โรคปอด โรคมะเร็ง เป็นต้น

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidants) คือสารที่มีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ในการทำลายอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารที่ไม่มีอันตราย โดยทำหน้าที่ในการให้อิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระ ขับไล่อนุมูลอิสระจับตัวกับโลหะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือลดการก่อตัวของซิงเกล็ทออกซิเจน (singlet oxygen) ซึ่งเป็นออกซิเจนที่อยู่ในรูปที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคปอด และโรคอื่นๆ สารที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ได้แก่ วิตามินอี เอ ซี ดี ซีลีเนียม บีตาแคโรทีน พฤกษาเคมีต่างๆ (phytochemicals) เช่น สารประกอบฟีนอลิค (polyphenol) ซึ่งมีมากในอาหารที่พวกมังสวิรัติจะขาดไม่ได้ คือ จมูกข้าวสาลี ข้าวกล้อง ธัญพืช เมล็ดเต็ม (ไม่ขัดขาว) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) เช่น Flavanones, Flavones, Flavonols, Catechins และ Anthocyanidines โดยทั่วไป เราสามารถพบสารแอนติออกซิแดนท์ได้ในส่วนประกอบของพืชเกือบทุกชนิด ซึ่ง Evans and Miller (1996) ได้ศึกษาสารแอนติออกซิแดนท์ในอาหารหลายชนิด ได้แก่ น้ำแอ๊ปเปิ้ล น้ำส้ม ลูกเกด และใบชา และพรทิพย์(2546)ได้ศึกษาโดยเฉพาะในส่วนที่เป็นเมล็ดของพืช เช่น เมล็ดองุ่น เมล็ดมะขาม มะม่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถั่ว เมล็ดธัญพืช และเมล็ดข้าว ที่ใช้บริโภค พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าส่วนอื่นของพืช เราสามารถศึกษาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้โดยใช้ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร ใช้เป็น reagent ทดสอบ antioxidant activity

สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติ

สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิคเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเบนซีนที่มีจำนวนหมู่ไฮดรอกซี(-OH) เกาะอยู่อย่างน้อย 1 กลุ่ม มักรวมอยู่กับโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) และพบได้ในส่วนของแวคคิวโอลภายในเซล นอกจากนั้นยังเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอกและพบได้มากในธรรมชาติ อันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ กาแฟ ชาเขียว ชาดำ ชอกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ซึ่งจะพบในปริมาณที่แตกต่างกันในพืชต่างชนิดหรือชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตต่างกันก็ทำให้ปริมาณและชนิดแตกต่างกันด้วย เนื่องจากกระบวนการสร้างมีปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นระยะหรือฤดูกาลเก็บเกี่ยว วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป และวิธีการเก็บรักษา จึงล้วนแต่มีผลต่อสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น (Yu *et al*., 2004; Zhou *et al*., 2004) ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิคมากกว่า 8,000 ชนิดในธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น กรดฟีนอลิค ฟีนิลโปรพานอยด์ ฟลาโวนอยด์ ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน

ในข้าวพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิดในสารสกัดจากส่วนต่างๆของเมล็ดข้าว เช่น ในส่วนรำข้าว (bran) มีสารประกอบฟีนอลิคชนิด ferulic acid, ρ-coumaric acid และ synapic acid (Yoshiza *et al*., 1970) ส่วนในข้าวขาวพบสารประกอบฟีนอลิคชนิด guaiacol, phenol, p-cresol, 4-vinylguaiacol และ 4-vinylphenol (Yajima, 1978)

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันของสารประกอบฟีนอลิคคือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยสารประกอบฟีนอลิคทำหน้าที่กำจัดโมเลกุลของอนุมูลอิสระและกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษต่อเซล ป้องกันกระบวนการสร้างอนุมูลอิสระภายในเซล รวมถึงป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่เกิดปฏิกิริยากับสารอื่นต่อไป นอกจากนั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคบางชนิดยังสามารถรวมกับอนุมูลอิสระตัวอื่นเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารสำคัญของกลุ่มโพลีฟีนอล เป็นกลุ่มสารที่ให้สีสรรแก่พืช รวมถึงสีสรรสวยงามของกลีบดอกไม้ สารกลุ่มนี้สามารถดูดซับรังสี ultraviolet ได้ดีและเปล่งออกมาเป็นแสงสีต่างๆของดอกไม้ เราจะพบสารกลุ่มนี้ได้โดยเฉพาะในพืชที่อยู่บนดิน หรือพืชที่อยู่เหนือน้ำ แต่จะไม่พบในพืชที่อยู่ในทะเลลึก เช่น marine algae เข้าใจกันว่าในระหว่างการวิวัฒนาการขึ้นมาบนบก พืชได้พัฒนากระบวนการสร้างฟลาโวนอยด์ขึ้นเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี ultraviolet

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ (Rice-Evans *et al*., 1977 ; Shahidi and Naczk, 2004)

flavon-3-ols เช่น quercertin และ kaemperol

flavone เช่น rutin, luteolin และ apigenin

flavan-3-ols เช่น epicatechin และ epigallocatechin

flavanone เช่น taxifolin, narirutin และ hesperidin

anthocyanin เช่น cyanidin และ delphinidin

บทบาทฟลาโวนอยด์ทางสรีรวิทยาในต้นพืช

1. เป็นสารต้านอนุมูลอิสระและเร่งขบวนการขนส่งอิเลคตรอน การขนถ่ายอนุมูลอิสระและเป็นส่วนประกอบในเซลพืช เช่น quercetin, myricetin

2. เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ เช่น quercetin จะทำหน้าที่จับกับเอนไซม์ทำให้เอนไซม์ถูกจำกัดออกก่อนเอนไซม์จริงจะทำงาน ซึ่งเมื่อเซลมีอายุมากขึ้นหรือถูกกระตุ้นเช่น เกิดบาดแผลจะทำให้ฟลาโวนอยด์หลุดจากเอนไซม์มีผลทำให้เอนไซม์ เช่น hydrolase enzyme ทำงานจึงเกิดขบวนการสุกของผลไม้

3. เป็นสารตั้งต้นของสารพิษต่างๆ เช่น phloridzin ซึ่งสลายตัวเป็น ρ-coumaric acid และ phloroglucinol ß-glucoside ซึ่งสามารถเป็นตัวยับยั้งต่อการหายใจเช่นเดียวกับ phloridzin

4. เป็นสารทำให้เกิดสี ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงต่างๆกัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ล่อแมลง

5. เป็นตัวกรองแสงเพราะฟลาโวนอยด์ค่อนข้างคงตัวทั้งในช่วงแสงที่มองเห็นและแสงอัลตราไวโอเลต

6. ป้องกันพืชจากสารพิษอื่นๆ โดยทำหน้าที่เป็นสารที่ไวต่อแสง (Photosensitizing compound) ในสภาพที่มีแสงจะฆ่าเชื้อโปรโตซัวและทำลายทอกซิน (toxin) ได้

7. ฟลาโวนอยด์มีส่วนควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยทำหน้าที่ร่วมกับ growth hormone เช่น Indole acetic acid (IAA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. เป็น phytoalexin ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคในพืช สารนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อราและแบคทีเรียเข้าทำลายเซล

9. ขนส่งอิเลคตรอนและควบคุม Ion channel ในขบวนการหายใจและการสังเคราะห์แสงของพืช

10. ช่วยในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพืช เช่น การงอกของราก

ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อคนและสัตว์

1. ให้รสชาติและกลิ่น เช่นรสของ condensed tannin ในชา กาแฟเป็นที่ยอมรับของคน แต่สัตว์และแมลงไม่ชอบ

2. ฤทธิ์ด้านจุลชีพ เช่น anthocyanins มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียพวก *Salmonelia typhose, Staphylococcus aureus*

3. ให้ฤทธิ์ต้านการเกิดมะเร็ง ผลจากห้องปฏิบัติการพบว่า eupatin และ eupatoretin มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดเนื้องอกในคอหอยส่วนจมูก (nasopharynx) โดยการยับยั้ง $(Na^{+}\text{-}K^{+})$ATPase ในเซลมะเร็ง ตัวอย่างเช่น quercetin

4. เดิมเรียกฟลาโวนอยด์ว่า วิตามิน P มีฤทธิ์ทำให้เลือดหยุดไหลในกรณีเลือดออกในกระเพาะอาหารและลำไส้ โดยยับยั้งการสังเคราะห์ prostaglandin

5. ให้ฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน ตัวอย่างเช่น genistein, coumestrol

6. ให้ฤทธิ์เป็นยาชาเฉพาะที่ และการผ่าตัดในช่องปาก ใช้แก้พิษแมลงสัตว์กัดต่อยโดยยับยั้ง phosphollpase A_2 ตัวอย่างเช่น quercetin

7. ต้านการอักเสบและระงับปวด โดยยับยั้งการสังเคราะห์ prostaglandin ตัวอย่างเช่น quercetin

8. ทำให้ความดันในลูกตาลดลงและเพิ่มความแข็งแรงของหลอดเลือดในผู้ป่วยเบาหวาน โดยยับยั้ง aldose reductase ตัวอย่างเช่น quercetin

9. ต้านอาการแพ้โดยยับยั้ง H^{+}-ATPase ของ mast cell ตัวอย่างเช่น disodium chromoglycate

10. ต้านเชื้อไวรัสโดยยับยั้ง H^{+}-ATPase Enzyme ในภาวะการติดเชื้อไวรัสและโรคหวัด ตัวอย่างเช่น quercetin

11. ฟลาโวนอยด์มีสูตรโครงสร้างคล้ายกับ nucleosides, isoalloxazine และ folic acid ซึ่งชอบจับกับโปรตีน โลหะหนัก ทำให้มีฤทธิ์ขนถ่ายอนุมูลอิสระ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

12. ต้านฤทธิ์เชื้อไวรัส HIV เช่น (-)-epicatechin-3-O-gallate จับกับ gp120, kaempferol ยับยั้ง protease, quercetin ยับยั้งเอนไซม์ integrase ในเซลเพาะเลี้ยง

การศึกษาฟลาโวนอยด์ในข้าว

ในปี ค.ศ. 1998 Markhan และคณะ ได้รายงานการศึกษาฟลาโวนอยด์ในใบข้าวที่ได้รับพลังงานกระตุ้นจาก 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 และคณะ ได้รายงานการศึกษาการออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเครื่องดื่มคอกเทล ที่ได้จากการหมักกับเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งในเครื่องดื่มนี้มีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ quercetin, quercetin glycoside และ kaempferol พบว่าเครื่องดื่มเหล่านี้มีคุณสมบัติป้องกันการเกิด antioxidation และเป็น anti-inflammatory

แอนโธไซยานินในข้าวเหนียวดำ

แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่ให้สีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีม่วง มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant)อยู่ในพืช สีที่เกิดจากแอนโธไซยานินนั้นจะปรากฏในเกือบทุกส่วนของพืช พบว่าส่วนใหญ่แล้วสีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างๆของข้าวเหนียวดำ เกิดจากรงควัตถุแอนโธไซยานินและรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แอนโธไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์และละลายในน้ำได้ (Moskowitz and Hrazdina.1981) ในข้าวมีสารประกอบที่ให้สีคือ แอนโธไซยานินโดยมีไซยานิดิน (cyanidin) และพีโอนิดิน (peonidin) เป็นองค์ประกอบหลัก เรียกข้าวชนิดนี้ว่า “purple rice” (Hayashi *et al*.,1952) โดยไซยานิดินมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแรงกว่าพีโอนิดิน (Tsuda et al.,1994)

รงควัตถุแอนโธไซยานินจะให้สีม่วงบนต้นข้าวที่แตกต่างกันออกไป และมีการกระจายไปตามส่วนต่างๆของต้นในระดับความเข้มของสีม่วงแตกต่างกันตามสายพันธุกรรม ส่วนใหญ่พบรงควัตถุและให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็นลำต้น ใบ (vegetative part) และดอก (glumes) ยกเว้นในส่วนของ embryo หรือ endosperm จะไม่พบการกระจายของรงควัตถุดังกล่าว แต่จะพบการสะสมของรงควัตถุในเมล็ด โดยเฉพาะในเปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp) และระดับความเข้มของสีม่วงก็จะแตกต่างกัน (สุณิสา,2542) แอนโธไซยานินจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสีไปตามค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเป็นกรด ด่างของสารละลายในแวคคิวโอลที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้า pH เท่ากับ 1 จะมีสีแดงส้ม ถ้า pH น้อยกว่า 6 จะไม่มีสี ถ้า pH มากกว่า 6 จะมีสีม่วงหรือสีน้ำเงิน และถ้า pH เป็นด่างมากเกินไป โครงสร้างของแอนโธไซยานินจะเสียไป นอกจากนี้สีของแอนโธไซยานินยังถูกควบคุมด้วยโครงสร้างของแอนโธไซยานินเอง นั้นคือหากในโครงสร้างวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่เมธอกซิล($-OCH_3$) มากขึ้นจะทำให้แอนโธไซยานินมีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย โดย Masaru *et al.* (1999) พบว่าสีที่ปรากฏของไซยานิดินและพีโอนิดินนั้นมีสีน้ำเงินและสีแดงตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและความเข้มของแอนโธไซยานิน

1. ปัจจัยทางพันธุกรรม (genetic factor)

ลักษณะของสีที่ปรากฏบนต้นข้าว เกิดจากการทำงานร่วมกันของยีน 2 คู่ (C,A) โดยลักษณะสีบนเยื่อกันน้ำฝน เขี้ยวกันแมลง ปล้อง ยอดดอก และยอดเกสรตัวเมีย ถูกควบคุมด้วยยีนที่มีปฏิกิริยาระหว่างยีนแบบ complete dominance ส่วนลักษณะสีบนต้นกล้า แผ่นใบ และกาบใบ พบปฏิกิริยาระหว่างยีนแบบ incomplete dominance ดังนั้นการเกิดสีม่วงบนต้นกล้าจะต้องมี genotype แบบ homozygous dominance ของยีนทั้งสองคู่ (CCAA) สีเขียวปนม่วง พบว่า genotype ของยีนทั้งสองคู่ต้องมี allele ใด allele หนึ่งที่มีสภาพเป็น dominance (C_A_) และสีเขียวมี genotype สองลักษณะคือ ยีนทั้งสองคู่เป็น homozygous recessive (ccaa) และยีนคู่ใดคู่หนึ่งมีสภาพเป็น homozygous recessive (ccA_,C_aa) สำหรับ สีบนเปลือกหุ้มเมล็ดและเยื่อหุ้มเมล็ด คาดว่าน่าจะถูกควบคุมด้วยยีนจำนวนมากกว่า 2 คู่ และมีปฏิกิริยาควบคุมระหว่างยีนเป็นแบบ incomplete dominance (สุนิสา,2542)

2. ปัจจัยแสง (light factor)

มีผลต่อการสร้างหรือสังเคราะห์รงควัตถุ ถ้าพืชได้รับแสงมากจะทำให้การสังเคราะห์รงควัตถุมากขึ้นด้วย เช่นผลแอปเปิ้ลที่อยู่บริเวณร่มเงาของต้นที่ไม่โดนแสงหรือได้รับแสงน้อย การพัฒนาของสีแดงของเปลือกจะน้อยลงและลดลงกว่าผลที่ได้รับแสงเต็มที่ (Magness,1928) และการสะสมของแอนโธไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความเข้มของแสงมากขึ้น (Siegelman and Hendricks,1958)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ปัจจัยอุณหภูมิ (temperature factor)

มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน โดยอุณหภูมิต่ำจะกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโธไซยานินและอุณหภูมิสูงจะยับยั้งการสังเคราะห์แอนโธไซยานิน K.Wiriyasak *et al*. (2003) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญของการสะสมปริมาณแอนโธไซยานินในเมล็ดข้าวโดยที่ข้าวที่ปลูกในฤดูหนาวหรือปลูกที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีปริมาณแอนโธไซยานินสะสมมากกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูร้อนและอุณหภูมิสูง

Cheon chae *et al*. (2000) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง Cyanidin 3-glucoside (C3G) ในช่วงที่ข้าวกำลังสุกแก่ โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 18, 21, 24 และ 27 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

4. ปัจจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและความชื้นในดิน (soil fertility and soil moisture)

ความอุดมสมบูรณ์ของดินและความชื้นในดินจะกระตุ้นการสร้างแอนโธไซยานิน ในสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง หรือในฤดูที่อากาศแห้งแล้ง มีความชื้นในดินต่ำ พบว่าการสังเคราะห์แอนโธไซยานินจะลดลง (Saure,1990) ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างแอนโธไซยานิน แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปการสร้างแอนโธไซยานินจะลดลง (Kliewer,1977)

5. ระยะการเจริญเติบโตของพืช (growth stage)

พบว่าปริมาณหรือความเข้มของแอนโธไซยานินจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของพืช เช่น ในการงอก (Germination) มักไม่พบแอนโธไซยานิน และในช่วงหลังออกดอกจะพบว่าแอนโธไซยานินจะไปสะสมรวมกันในส่วนของใบ เปลือก และเมล็ดมากกว่าส่วนอื่นๆ (สรศักดิ์, 2531) ในองุ่น การสร้างแอนโธไซยานินจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญและจะมีปริมาณลดลงเมื่อถึงระยะสุกแก่เต็มที่ (Riberau-Gayon,1982)

6. การเก็บรักษา

Cabrita *et al*. (2000) พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินจะสูงสุด 70% หลังจาก 60 วัน ที่ pH 1-3 และเก็บที่ 10 องศาเซลเซียสและความคงตัวจะลดลงถ้าค่า pH สูงขึ้น และถ้า pH 5-6 ความคงตัวจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากเก็บได้ 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแตกต่างของปริมาณแอนโธไซยานินในเมล็ดข้าว

ในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จะมีความหลากหลายของรงควัตถุแอนโธไซยานินแตกต่างกัน โดยในสายพันธุ์ข้าว indica นั้นจะมีความหลากหลายของสีปรากฏให้เห็นเด่นชัด บางสายพันธุ์จะปรากฏที่ทุกส่วนของเนื้อเยื่อพืช ในขณะที่บางสายพันธุ์จะเห็นสีแดงหรือม่วงในเนื้อเยื่อเพียงบางส่วนเท่านั้น (Reddy *et al*., 1995) ขณะที่ Ryu *et al*. (1998) ได้ทำการทดสอบหาปริมาณแอนโธไซยานินในข้าว (japonica type) 10 สายพันธุ์ พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวนั้นมีตั้งแต่ 0 จนกระทั่งถึง 493 mg/100 g grain ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ปริมาณแอนโธไซยานินที่สะสมอยู่ในข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในธัญพืชและพืชอื่นๆ

กัปนาท (2548) ศึกษาสารประกอบฟีนอลิคและแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีการวัดการฟอกจางสีของเบตา-แคโรทีนของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ เอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ดของข้าวเจ้าที่พบในเขตภาคเหนือของไทยจำนวน 15 สายพันธุ์ โดยเป็นข้าวขาว 10 สายพันธุ์และข้าวดำ 5 สายพันธุ์ พบว่าสารสกัดหยาบจากเอ็มบริโอมีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าเอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ด ทั้งนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดหยาบนี้

นิรมล (2548) ศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ เอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ด ที่มีสารประกอบฟีนอลิคของเมล็ดข้าวเหนียว 15 สายพันธุ์ซึ่งประกอบด้วยข้าวขาว 7 สายพันธุ์และข้าวดำ 8 สายพันธุ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีการวัดการฟอกจางสีของเบตา-แคโรทีน พบว่าสารสกัดหยาบจากเอ็มบริโอมีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดสูงกว่าเอ็นโดสเปริม์และทั้งเมล็ด เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดด้วยวิธีการเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ พบว่าสารสกัดจากทุกๆส่วนที่ทำการศึกษามีสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดกับแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารสกัดหยาบนี้

Emmons and Peterson (1999) ศึกษาแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากส่วนเอ็มบริโอ ทั้งเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดของเมล็ดข้าวโอ๊ต 4 สายพันธุ์คือ สายพันธุ์ Dane, Gem, Belle และ Ontana พบว่าสารสกัดส่วนเอ็มบริโอของทั้ง 4 สายพันธุ์มีแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารประกอบฟีนอลิคด้วยเทคนิค Reversed-Phase HPLC และ Folin-Ciocateu พบว่าปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบฟีนอลิคในส่วนเอ็มบริโอและเปลือกหุ้มเมล็ดใกล้เคียงกัน แต่บางสายพันธุ์ในส่วนเอ็มบริโอมีปริมาณสูงกว่า โดยชนิดของสารประกอบฟีนอลิคในแต่ละส่วนก็แตกต่างกันและสามารถแยกได้ถึง 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 และ VAN ส่วน PHB และ PCA ซึ่งพบมากในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดและมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันต่ำ

Quettier-Deleu *et al*. (2000) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคชนิดต่างๆในสารสกัดหยาบจากส่วนเปลือก (hulls) และแป้ง (flour) ของเมล็ดบัควีต พบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคหลายชนิด ได้แก่ ฟีนอลิค ฟลาโวนอล โปรแอนโธไซยานิน และฟลาโวนอยด์ โดยสารสกัดหยาบด้วยเมทานอลจากทั้งสองส่วนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดใกล้เคียงกัน ปริมาณฟลาโวนอยด์พบมากในส่วนเปลือกโดยชนิดที่เด่นคือ rutin ส่วนปริมาณฟลาโวนอยด์และโปรแอนโธไซยานินมีปริมาณสูงในส่วนของแป้ง เมื่อวิเคราะห์แอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการต่างกันได้แก่ hydrogen peroxide (H_2O_2) scavenging, hypoclorous acid (HOCL) และ superoxide anion ($O^{\bullet}_2$) scavenging พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดหยาบที่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระให้ลดลง 50% (IC_{50}) ของแป้งต่ำกว่าเปลือกเมล็ด โดยแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดแต่ขึ้นอยู่กับปริมาณฟลาโวนอยด์ที่แสดงบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยมีชนิดที่สำคัญคือ B_2 dimer (epicatechin (4ß6--> 8)-epicatechin)

Zielinski and Kozlowska (2000) ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดธัญพืชหลายชนิด ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ ข้าวโอ๊ต และบัควีต พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอล 80% ของเมล็ดธัญพืชดังกล่าวแสดงคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน โดยเรียงลำดับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูล ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) จากมากไปน้อยดังนี้ บัควีต ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรน์ ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าสารสกัดจากส่วนต่างๆของเมล็ดธัญพืชที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับสารประกอบฟีนอลิคด้วย เรียงลำดับความสัมพันธ์จากมากไปน้อย ได้แก่ hulls, endosperm with embryo, whole grains และ pericarb with testa ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ichikawa *et al*. (2001) ทำการศึกษาแอนโธไซยานินที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากเมล็ดข้าวสีดำม่วงและบลูเบอรี่ พบว่าในเมล็ดข้าวนี้มี cyanidin-3-o-ß-D-glucoside (Cy-3-Glc) เป็นองค์ประกอบเพียงชนิดเดียวและมีแอคติวิตีในการกำจัด superoxide สูงกว่า trolox (6-hydroxy-2,5,7,8- tetrametyl-chroman-2-carboxylic acid) ซึ่งเป็น reference antioxidant ในขณะที่สารสกัดจากบลูเบอรี่มีแอนโธไซยานินหลายชนิดและสามารถกำจัด superoxide ได้ดีกว่า สารสกัดจากเมล็ดข้าวรวมทั้ง trolox แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัด hydroxyl radical ก็ยังต่ำกว่า Cy-3-Glc จากเมล็ดข้าวนี้อยู่มาก

Negro *et al*. (2003) ทำการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบฟีนอลิคในสารสกัดจาก marc (grape processing by-product), เมล็ดและเนื้อผลขององุ่นแดง พบว่าในส่วน marc มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนสารสกัดจากเมล็ดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดมากที่สุด โดยชนิดที่เด่นคือ tannin และ proanthocyanidines แต่มีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำกว่า

Yu and Zhou (2004) ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากรำข้าวสาลี (Platte wheat) ที่มีแหล่งปลูกแตกต่างกัน 5 แหล่งของรัฐโคราโดของประเทศอเมริกา เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยและสภาพแวดล้อมในบริเวณแหล่งปลูกที่อาจมีผลต่อแอคติวิตีในการออกซิเดชัน โดย 4 แหล่งแรกเป็น nonirrgated location ได้แก่ เมือง Akron, Burlington, Julesburg, Walsh และ irrigated location ซึ่งได้แก่ เมือง Fort Collins ใช้การวิเคราะห์แอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีการวัดประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ อนุมูล $DPPH^{\bullet}$ และความสามารถในการทำลายเหล็กไอออน พบว่าสารสกัดหยาบแต่ละแหล่งมีแอคติวิตีในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดจากรำข้าวที่ปลูกที่เมือง Fort Collins มีแอคติวิตีสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมบริเวณแหล่งปลูกมีผลต่อประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน โดยมีกลไกการต้านแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดก็พบว่าสารสกัดจากรำข้าวทั้ง 5 แหล่งไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

Zhou *et al*. (2004) ทำการศึกษาชนิดของสารประกอบฟีนอลิคที่พบในสารสกัดหยาบจากเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาว 3 สายพันธุ์ในประเทศออสเตรเลีย ได้แก่ Koshihikari, Kyeema และ Doongara ด้วยเทคนิค HPLC พบ ferulic acid และ ρ-coumaric acid มีปริมาณสูงสุดในข้าวกล้อง รองลงมาคือ gallic acid, vanillic acid และ caffeic acid ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดและ bound phenolic acid พบว่ามีปริมาณแตกต่างกันไปในเมล็ดแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เก็บรักษาสารสกัดหยาบ โดยปริมาณฟีนอลิคทั้งหมดลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Li *et al*. (2005) ศึกษาแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากพุทราจีน (*Zizyphus jujube*) จำนวน 5 สายพันธุ์ โดยวิธี linoleic acid system, DPPH• scavenging assay และ reducing power และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค พบว่าในบางสายพันธุ์มีแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สูงกว่า α-tocopherol ทั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างแอคติวิตีในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิค

Keskitalo (2003) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะลดการสะสมของ phenolics (สารที่เป็น antioxidants) ในพืชและในทางตรงกันข้ามการขาดปุ๋ยไนโตรเจนจะชักนำให้มีการสร้าง phenolics นอกจากนั้น Kliewer (1914) พบว่าธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างแอนโธไซยานิน แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปการสร้างแอนโธไซยานินจะลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved