บทที่2
การตรวจเอกสาร

ความหลากหลายทางพันธุกรรม (Genetic diversity)

หมายถึงความแปรปรวน (variance) ระหว่างพันธุ์ (between varieties) หรือภายในประชากรของพันธุ์ (within population) ซึ่งลักษณะความแตกต่างทาง Phenotype ที่เกิดจากยีน (Gene) ควบคุมต่างกันทำให้เกิดความแตกต่างของพันธุกรรม (genotype) ความแตกต่างเหล่านี้หากมีปริมาณมากเรียกว่าเป็นความหลากหลายทางพันธุกรรม และจะเพิ่มขึ้นหากมีการแตกต่างของลักษณะการผสมพันธุ์และการแพร่กระจายของสายพันธุกรรมนั้นๆ (Oka, 1991)

ความหลากหลายทางพันธุกรรมสามารถวัดจากลักษณะภายนอกที่เห็นได้ชัด เช่น ชื่อพันธุ์ ขนาด รูปร่าง และสีของเมล็ด รสชาติ ความต้านทานโรคและแมลง ความสุกแก่ และลักษณะทางปริมาณที่สามารถนับได้ (Power and Mcsorley, 2000) ในข้าวนั้นเทคนิคในการประเมินความหลากหลายทางพันธุกรรมนั้นมีมากมายทั้งทาง morphological characterization, biological characterization และ molecular markers (Brush, 2003) ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคอื่นๆ อีกมากเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ในระดับ unit analysis เช่น genome, locus หรือ DNA base sequence

ความสำคัญและความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ภายในประชากรของข้าวพันธุ์พื้นเมืองจะมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ปรับปรุงที่ประชากรมีความสม่ำเสมอทางพันธุกรรม (Oka, 1988) ซึ่งความแปรปรวนของข้าวพันธุ์ปรับปรุงที่เกิดส่วนใหญ่นั้น เกิดจากความแตกต่างของสภาพท้องถิ่นและระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะปลูกทั้งนี้เพราะข้าวพันธุ์ปรับปรุงเป็นพันธุ์แท้ (pure line) มีสภาพของประชากรภายในเป็น homogeneous population ส่วนความหลากหลายของข้าวพันธุ์พื้นเมืองนั้นจะมีโครงสร้างภายในประชากรในลักษณะของ heterogeneous population สาเหตุมาจากการที่ต้องปรับตัวเข้ากับความแตกต่างของท้องถิ่นหรือสภาพท้องถิ่นที่ประชากรนั้นสามารถเจริญเติบโตเป็นเวลานาน ส่งผลให้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรสูง (Frankel *et al*,.1995) การที่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรสูงนั้น มีข้อได้เปรียบคือเมื่อสภาพแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงจะพบว่าข้าวพันธุ์พื้นเมืองมักไม่ได้รับความเสียหายมากนัก เช่นเมื่อเกิดโรคระบาดโรคใดโรคหนึ่งจะพบว่ากลุ่มประชากรนี้ยังคงมีชีวิตอยู่ได้ เพราะภายในประชากรของข้าวพันธุ์พื้นเมืองนั้นประกอบด้วยแหล่งยีนต้านทานโรคหลายๆ ชนิดปนกันอยู่ (Harlan,1992)

พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกทั่วไปที่เป็นพันธุ์พื้นเมือง (primitive cultivar) มักมีชื่อพันธุ์เรียกแตกต่างกันไป เช่น ข้าวเจ้าเหลืองทอง ข้าวเจ้าเก้ารวง ข้าวเจ้าเล็บมือนาง ข้าวเหนียวพันธุ์ขี้ตม ข้าวเหนียวพันธุ์ปล้องแอ้ว ซึ่งความหลากหลายของชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเหล่านี้ ย่อมหมายถึงความหลากหลาย ของลักษณะประจำพันธุ์อย่างมากมาย Cheng-Jun Wu, et al (2004) ได้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากรข้าว *Oryza granulata* จำนวน 14 พันธุกรรม และศึกษาความหลากหลายภายในประชากรข้าวอีก 2 พันธุกรรม จากเมืองยูนนาน ประเทศจีน พบว่า มีความหลากหลายทางพันธุกรรมระหว่างประชากรข้าวในระดับสูง แต่ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรนั้นกลับมีระดับต่ำแสดงให้เห็นว่าการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรข้าวนั้นเพิ่มขึ้นอยู่อย่างต่อเนื่อง

ข้าวเหนียวดำหรือข้าวก่ำพื้นเมืองดั้งเดิมและความหลากหลาย

ดังได้กล่าวแล้วว่าข้าวเหนียวดำ หรือข้าวก่ำ คือข้าวที่มีลักษณะแตกต่างไปจากข้าวทั่วไปด้วยการปรากฏของสีม่วงบนส่วนต่างๆ ของต้น เช่น กาบใบ แผ่นใบ กลีบดอก เปลือกเมล็ด และเยื่อหุ้มเมล็ด สารที่ทำให้เกิดสีนี้ เป็นสารประกอบ (pigment) พวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รวบรวมพันธุ์ข้าวก่ำพื้นเมือง ได้จำนวน 19 พันธุ์ จากแหล่งปลูกในจังหวัดภาคเหนือตอนบน และจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดำเนิน และศันสนีย์ (2543) นอกจากจะวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ของการปรากฏสีม่วงในส่วนต่างๆ ดังได้อ้างอิงแล้วในบทนำ ยังได้ศึกษาลักษณะทางพืชไร่ของพันธุ์เหล่านี้ และสรุปไว้ว่า ข้าวก่ำมีความสูงเฉลี่ย 140 เซนติเมตร (สูงเกินมาตรฐานของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105) มีอายุการบานดอกของช่อดอกแรกสั้น (80 วัน) แต่มีช่วงการบานดอกของประชากรในกลุ่มยาวนานคือ 13 วัน แสดงความเป็น heterogeneous population ในลักษณะดังกล่าวมีขนาดของลำต้นและใบใหญ่ แต่รวงเล็ก ทำให้ได้ค่าดรรชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index) ต่ำ (0.22) มีจำนวนเมล็ดดีต่ำ (87%) เมล็ดโตและส่วนมากป้อม มีน้ำหนัก 1000 เมล็ดสูง (27 กรัม) (เป็นลักษณะเดียวที่มีค่าสูงกว่าพันธุ์ที่ใช้เปรียบเทียบคือ ขาวดอกมะลิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

105 และ กข 6) จำนวนรวงต่อกอ และจำนวนเมล็ดต่อรวงเป็นปัจจัยหลักของผลผลิตเมล็ด โดยมีผลผลิตเมล็ด (seed yield) ต่ำกว่าพันธุ์ที่ใช้เปรียบเทียบ มีเพียงลักษณะผลผลิตเมล็ดเท่านั้นที่แสดงความอยู่ตัว (stability) ในการอยู่รอด (fitness) ส่วนการอยู่รอดของลักษณะอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (environment) มีลักษณะขององค์ประกอบผลผลิต เช่น จำนวนเมล็ดต่อรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีแสดงความแตกต่าง (variation) ในประชากรสูง สามารถนำไปใช้เป็นฐานของพันธุ์พ่อแม่ (parental lines) ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวได้

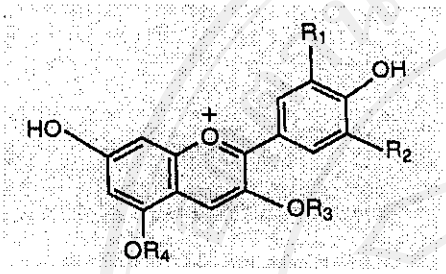
แอนโทไซยานินในข้าวเหนียวดำ

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ที่ให้สีตั้งแต่สีแดงไปจนถึงสีม่วงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) อยู่ในพืช สีที่เกิดจากแอนโทไซยานินนั้นจะปรากฏในเกือบทุกส่วนของพืช พบว่าส่วนใหญ่แล้ว สีที่ปรากฏขึ้นบนส่วนต่างๆของข้าวเหนียวดำ เกิดจากรงควัตถุแอนโทไซยานินและรงควัตถุที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แอนโทไซยานินสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์และละลายในน้ำได้ (Moskowitz and Hrazdina.1981) ใน Rice anthocyanin มีสารประกอบให้สีคือ แอนโทไซยานิน โดยมีไซยานิดิน (cyanidin) และพีโอนิดิน (peonidin) เป็นองค์ประกอบหลัก เรียกข้าวชนิดนี้ว่า “purple rice” (Hayashi *et al.*,1952) โดยไซยานิดินมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแรงกว่า พีโอนิดิน (Tsuda *et al.*,1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างทางเคมีของไซยานิดิน (cyanidin 3-glucoside) และพีโอนิดิน (peonidin 3-glucoside)

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)

รงควัตถุแอนโทไซยานินจะให้สีม่วงบนต้นข้าวที่แตกต่างกันออกไป และมีการกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของต้นในระดับความเข้มของสีม่วงแตกต่างกันตามสายพันธุกรรม ส่วนใหญ่พบรงควัตถุและให้สีในทุกส่วนของต้นข้าวที่เป็น ลำต้น, ใบ (vegetative part) และดอก (glumes) ยกเว้นในส่วนของ embryo หรือ endosperm จะไม่พบการกระจายของรงควัตถุดังกล่าว แต่จะพบการสะสมของรงควัตถุในเมล็ด โดยเฉพาะในเปลือกหุ้มเมล็ด (pericarp) และระดับความเข้มของสีม่วงก็จะแตกต่างกัน (สุณิสา, 2542) แอนโทไซยานินจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสีไปตามค่าความเป็นกรด ด่างของสารละลายในแวคคิวโอที่เปลี่ยนแปลงไปถ้า pH เท่ากับ 1 จะมีสีแดงส้ม ถ้า pH น้อยกว่า 6จะไม่มีสี ถ้า pH มากกว่า 6จะมีสีม่วงหรือน้ำเงิน และถ้า pH เป็นด่างมากเกินไปโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะเสียไปนอกจากนี้สีของแอนโทไซยานินยังถูกควบคุมด้วยโครงสร้างของแอนโทไซยานินเองนั่นคือหากในโครงสร้างวงแหวนฟีนิลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล หรือหมู่เมธอกซิล(-OCH_3) มากขึ้นจะทำให้แอนโทไซยานินมีสีเข้มขึ้น และสีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นด้วย โดย Masaru *et al.*,1999 พบว่าสีที่ปรากฏของไซยานิดิน และพีโอนิดินนั้นมีสีน้ำเงิน และสีแดงตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและความเข้มของแอนโทไซยานิน

1. ปัจจัยทางพันธุกรรม (genetic factor)

ลักษณะของสีที่ปรากฏบนต้นข้าว เกิดจากการทำงานร่วมกันของยีน 2 คู่ (C,A) โดยลักษณะสีบนเยื่อกันน้ำฝน เขี้ยวกันแมลง ปล้อง ยอดดอก และยอดเกสรตัวเมีย ถูกควบคุมด้วยยีนที่มีปฏิกิริยาระหว่างยีนแบบ complete dominance แสดงอัตราส่วนระหว่าง ม่วง : เขียวหรือขาว เป็น 9:7 หรือ 7 ม่วง:9 ขาว บนยอดเกสรตัวเมีย ส่วนลักษณะสีบนต้นกล้า แผ่นใบ และกาบใบ พบปฏิกิริยาระหว่างยีนแบบ incomplete dominance โดยแสดงอัตราส่วน 1ม่วง:8เขียว:7เขียว 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 ถ้าพืชได้รับแสงมาก จะทำให้การสังเคราะห์รงควัตถุมากขึ้นด้วย เช่นผลแอปเปิ้ลที่อยู่บริเวณร่มเงาของต้นที่ไม่โดนแสงหรือได้รับแสงน้อย การพัฒนาของสีแดงของเปลือกจะน้อยลงและลดลงกว่าผลที่ได้รับแสงเต็มที่ (Magness, 1928) และการสะสมของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความเข้มของแสงมากขึ้น (Siegelman and Hendricks, 1958)

3. ปัจจัยอุณหภูมิ (Temperature factor)

มีผลต่อการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน โดยอุณหภูมิต่ำจะกระตุ้นการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน และอุณหภูมิสูงจะยับยั้งการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน K.Wiriyasak *et al.* (2003) พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญของการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวโดยที่ข้าวที่ปลูกในฤดูหนาวหรือปลูกที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีปริมาณแอนโทไซยานินสะสมมากกว่าข้าวที่ปลูกในฤดูร้อนและอุณหภูมิสูง

Cheon chae *et al.* (2000) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง Cyanidin 3-glucoside(C3G)ในช่วงที่ข้าวกำลังสุกแก่ โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 18, 21, 24 และ27 พบว่าอุณหภูมิต่างกันจะทำให้เกิดความแปรปรวนของ Cyanidin-3-glucoside(C3G)ต่างกัน โดยพันธุ์ Heugjinjubyeo และพันธุ์Heugnambyoeจะมีปริมาณ C3G มากที่สุดที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะให้ปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 1,837 mg/100gในพันธุ์ Heugjinjubyeo และในพันธุ์ Heugnambyoe จะมีปริมาณ C3G เท่ากับ 361mg/100g ส่วนในพันธุ์ Ilpumbyeo พบว่าไม่มี C3G

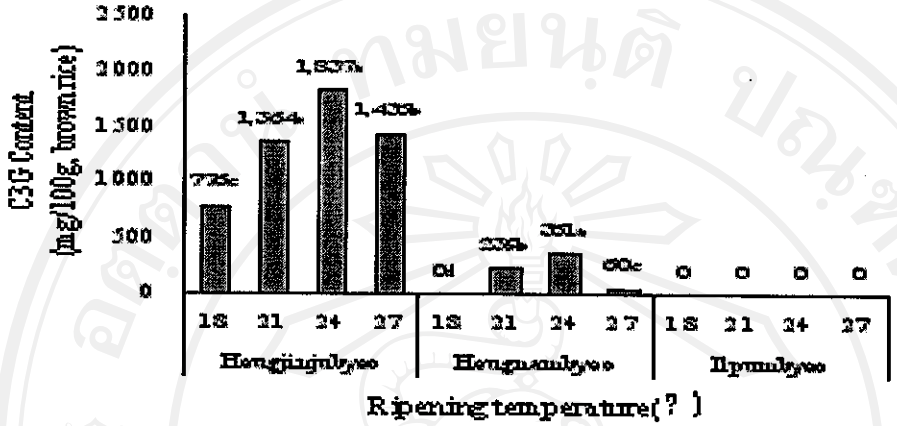


Figure1. Anthocyanin pigment Cyanidin-3-glucoside content as affected by ripening temperature in rice varieties. (Cheon chae *et al.*, 2000)

4. ปัจจัยความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความชื้นในดิน (soil fertility and soil moisture)

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความชื้นในดินจะกระตุ้นการสร้างแอนโทไซยานิน ในสภาพพื้นที่ที่แห้งแล้ง หรือในฤดูที่อากาศแห้งแล้ง มีความชื้นในดินต่ำ พบว่าการสังเคราะห์แอนโทไซยานินจะลดลง (Saure, 1990) ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างแอนโทไซยานิน แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปการสร้างแอนโทไซยานินจะลดลง (Kliewer, 1977)

5. ระยะการเจริญเติบโตของพืช (Growth stage)

พบว่าปริมาณหรือความเข้มของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของพืช เช่น ในการงอก (Germination) มักไม่พบแอนโทไซยานิน และในช่วงหลังออกดอกจะพบว่าแอนโทไซยานินจะไปสะสมรวมกันในส่วนของใบ เปลือก และเมล็ดมากกว่าส่วนอื่นๆ (สรศักดิ์, 2531) ในองุ่น การสร้างแอนโทไซยานินจะเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญและจะมีปริมาณลดลง เมื่อถึงระยะสุกแก่เต็มที่ (Riberau-Gayon, 1982)

6. การเก็บรักษา Cabrita *et al.* (2000) พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินจะสูงสุด 70 % หลังจาก 60 วัน ที่ pH 1-3 และเก็บที่ 10 องศาเซลเซียสและความคงตัวจะลดลงถ้าค่า pHสูงขึ้น และถ้า pH5-6 ความคงตัวจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากเก็บได้ 8 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความแตกต่างของปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าว

ในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ จะมีความหลากหลายของรงควัตถุแอนโทไซยานินแตกต่างกัน โดยในสายพันธุ์ข้าว indica นั้นจะมีความหลากหลายของสีปรากฏให้เห็นเด่นชัด บางสายพันธุ์จะปรากฏที่ทุกส่วนของเนื้อเยื่อพืช ในขณะที่บางสายพันธุ์จะเห็นสีแดงหรือม่วงในเนื้อเยื่อเพียงบางส่วนเท่านั้น(Reddy *et al.*,1995) ขณะที่ Ryu *et al.*, (1998) ได้ทำการทดสอบหาปริมาณแอนโทไซยานินในข้าว (japonica type) 10 สายพันธุ์พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวนั้นมีตั้งแต่ 0 จนกระทั่งถึง 493 mg/100 g grain ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ปริมาณแอนโทไซยานินที่สะสมอยู่ในข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของพันธุ์ข้าว

ลักษณะทางคุณภาพเมล็ดข้าวอื่นๆ

1. อะมิโลส (amylose)

ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าจะมีองค์ประกอบทางเคมีของแป้ง (Starch) ที่อยู่ในเมล็ดแตกต่างกัน โดยที่ความแตกต่างนี้เกิดจากชนิดของแป้งที่อยู่ในเมล็ด ซึ่งแป้งที่เกิดขึ้นนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ amylose และ amylopectin โดยปริมาณของแป้งทั้งสองชนิดนี้จะอยู่ในสัดส่วนที่ผกผันกัน (อรอนงค์, 2538) โดยข้าวเจ้าจะมีองค์ประกอบของแป้งชนิด amylose ในปริมาณที่สูงตั้งแต่ 13-33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในข้าวเหนียวจะมีปริมาณแป้งชนิด amylose ต่ำ คือมีเพียง 1-8 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (Jenning *et al.*, 1979)

องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของ amylose และ amylopectin ในข้าว

amylose เป็นแป้งในรูปแบบหนึ่ง โดยมีโครงสร้างเป็นการเกาะตัวกันของน้ำตาลกลูโคส โดยมีโครงสร้างเป็นแบบดี (D-glucose) โดย amylose เป็นการเกาะตัวกันของกลูโคส เรียงตัวอยู่บน แอลฟา – 1,4 ของกลูโคส (alpha-1,4 glucose linkages) เป็นเส้นยาวต่อกัน การเกาะรวมกันของกลูโคสจะเรียงตัวกันอยู่ระหว่าง 200-1000 หน่วยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง $1.6x10^5$ ถึง $7.1x10^7$ โดยในเมล็ดส่วนใหญ่จะมีกลูโคสประมาณ 300-400 หน่วย โดยทั่วไป amylose จะเสื่อมสภาพเมื่อมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Wayne and James,1994)

amylopectin เป็นแป้งที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า amylose ประมาณ 1000 เท่า มีการจัดเรียงตัวและการเกาะกลุ่มของกลูโคสประมาณ 300000-400000 หน่วย (วัลลภ, 2538) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่าง $5x10^4$ ถึง $1x10^6$ มีการเรียงตัวเป็นเส้นยาว โดยแอลฟา -1,4 และแตกกิ่งก้านสาขาออกไป โดยการเกาะกันด้วยบอนด์ (bond) แอลฟา -1,6 ของกลูโคส (alpha –1,6 glucosidic linkages) โดยที่แต่ละกิ่งก้านสาขามีกลูโคสประมาณ 20-25 หน่วย (วันชัย, 2537)

สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของ amylose และ amylopectin

การที่ข้าวจะสร้างปริมาณ amylose และ amylopectin ขึ้นมานั้น สภาพแวดล้อมจะมีผลกระทบต่อปริมาณของ amylose และ amylopectin ได้มีการรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของ amylose นั้น ในระยะที่เกิดการสุกแก่จะมีมาก เมื่อต้นข้าวได้รับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ (Juliano *et al.*, 1993) การปลูกข้าวในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันมากๆ ปริมาณของ amylose ที่เกิดขึ้นก็จะมีความแตกต่างกัน อีกทั้งเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องการแสดงออกของข้าวที่เป็น high-amylose นั้นจะถูกเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นข้าวที่มีปริมาณ low-amylose แสดงออกมาแทน ลักษณะดังกล่าวจะแสดงออกเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิที่อบอุ่นหรือต่ำ (Matsuo *et al.*, 1997) และยังพบว่าอุณหภูมิสามารถชักนำให้เกิดการสร้าง amylose ได้ โดยเกิดในช่วงการสุกแก่ ในช่วงนี้ถ้าไม่ได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมและเพียงพอก็จะไม่เกิดการสร้างขึ้น (IRRI,1975) นอกจากสภาพแวดล้อมจะเกี่ยวข้องกับการสร้าง amylose แล้วยังพบว่า interaction ของพันธุ์กับสิ่งแวดล้อมก็มีผลกระทบเช่นกัน รวมถึงลักษณะต่างๆ เช่น ร้อยละของการสี (Milling%) ร้อยละของต้นข้าว (Head rice%) และ Gelatinization temperature (G.T.) ด้วยเช่นกัน

ความแตกต่างในลักษณะปริมาณ amylose นี้ทำให้สามารถจำแนกกลุ่มพันธุ์ของข้าวได้ โดยมีการศึกษาถึงความแตกต่างว่า ถ้ามีปริมาณ amylose เท่าไรข้าวจะมีคุณลักษณะอย่างไร ดังนี้

การจำแนกลักษณะข้าวสุกตามปริมาณ amylose

ปริมาณ amylose (%)	ชนิดข้าว	ลักษณะข้าวสุก
1 – 2	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
3 – 9	ข้าวเจ้า amylose ต่ำมาก	เหนียวนุ่ม
10 – 20	ข้าวเจ้า amylose ต่ำ	เหนียวนุ่ม
21 – 25	ข้าวเจ้า amylose ปานกลาง	นุ่มค่อนข้างเหนียว
26 – 33	ข้าวเจ้า amylose สูง	ร่วนแข็ง

ที่มา : Juliano, 1985

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกชนิดของแป้ง (starch) ได้โดยใช้ปริมาณอะมิโลสเป็นตัวกำหนดความเป็นแป้งชนิดข้าวเหนียว (glutinous rice) หรือแป้งชนิดข้าวเจ้า (non-glutinous rice) หรือ intermediate ดังนี้

Amylose 1-8.9% คือแป้งข้าวเหนียว (glutinous)

Amylose 9-12.0% คือ intermediate

Amylose มากกว่า12.0% คือแป้งข้าวเจ้า (non-glutinous)

ที่มา: AOAC, 1993

2. โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ในเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายมนุษย์มีโปรตีนประมาณ 20% ของน้ำหนักตัวทั้งหมด โปรตีนส่วนใหญ่พบในกล้ามเนื้อ รองลงมาคือ กระดูก ผิวหนัง เลือด ผม เล็บ ลำไส้ เอ็นไซม์ ฮอร์โมนและแอนติบอดีส์ เป็นต้น ซึ่งโปรตีนในแต่ละส่วนของร่างกายจะทำหน้าที่แตกต่างกัน โปรตีนในเลือดช่วยนำส่งออกซิเจน โปรตีนในกระดูกเป็นโครงสร้างของร่างกาย โปรตีนที่กล้ามเนื้อทำหน้าที่เคลื่อนไหว โปรตีนในน้ำย่อยทำหน้าที่ย่อยอาหาร เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และฮอร์โมนต่างๆ ในร่างกาย ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาและขบวนการต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นแหล่งที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย ช่วยในการเจริญเติบโตของร่างกายและซ่อมแซมเนื้อเยื่อส่วนที่สึกหรออีกด้วย ดังนั้นโปรตีนจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นในเซลล์ทุกเซลล์ของร่างกายมนุษย์และสัตว์

โปรตีนประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 50% ไนโตรเจน 16% ออกซิเจน 22% และไฮโดรเจน 7% บางชนิดมีซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็กและทองแดงด้วย โปรตีนส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในธรรมชาติมีกรดอะมิโนประมาณ 20 กว่าชนิด ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่ต่างกันในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โปรตีนแต่ละตัวมีคุณสมบัติต่างกัน (ศศิเกษมและคณะ, 2530)

เมื่ออาหารในโปรตีนถูกย่อยจะกลายเป็นกรดอะมิโน กรดอะมิโนแบ่งออกเป็น 2 พวกได้แก่

1. กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential amino acids) หมายถึง กรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น กรดอะมิโนจำเป็นสำหรับมนุษย์มีอยู่ 8 ชนิด คือ ไอโซลูซีน (isoleucine) ลูซีน (leucine) ไลซีน (lysine) เมไธโอนีน (methionine) ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ธรีโอนีน (threonine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และวาลีน (valine) สำหรับเด็กทารกมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความต้องการฮีสติดีน (histidine) ในระยะที่ร่างกายกำลังเจริญเติบโต แต่ไม่จำเป็นสำหรับผู้ใหญ่ จึงรวมเป็น 9 ชนิด

2. กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย (Nonessential amino acids) หมายถึง กรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้เพียงพอกับความต้องการ ไม่จำเป็นต้องได้รับจากอาหารมีอยู่ 9 ชนิด กรดอะมิโนพวกนี้ ได้แก่ อาร์จินีน (arginine) ไทโรซีน (tyrosine) ไกลซีน (glycine) ซีรีน (serine) กรดกลูตามิค (glutamic acid) กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) ซีสทีน (cystine) โพรลีน (proline) และอะลานีน (alanine) (เสาวนีย์, 2542)

ความสำคัญของกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย (Essential Amino Acids)

1. ทริปโตเฟน (tryptophan) ช่วยบรรเทาอาการนอนไม่หลับ โดยช่วยให้นอนหลับได้สนิท ลดภาวะ "ซึมเศร้าและวิตกกังวล" ช่วยรักษาโรคปวดหัวไมเกรน ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันเข้มแข็งขึ้น ช่วยลดความเสี่ยงของภาวะหลอดเลือดหัวใจล้มเหลว ทำงานร่วมกับ "ไลซีน" เพื่อช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด

2. ไลซีน (lysine) ช่วยให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้อย่างเพียงพอกับความต้องการ ช่วยสร้าง "คอลลาเจน" เพื่อใช้ในการสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อยึดโยงต่างๆ ของร่างกาย ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายแข็งแรงขึ้น และไลซีนอาจช่วยรักษาโรคที่เกิดจาก "ไวรัสเริม" ได้ หากร่างกายขาด "ไลซีน" จะทำให้ร่างกายเกิดอาการ เมื่อยล้า สมาธิสั้น มีอาการระคายเคือง ตาแดง เจริญเติบโตช้า ผมร่วง โลหิตจาง และมีปัญหาความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์

3. เมไธโอนีน (methionine) ทำหน้าที่จ่าย "กำมะถัน" ให้แก่ร่างกาย ซึ่งจะช่วยไม่ให้เกิดความผิดปกติเกี่ยวกับเส้นผม ผิวหนังและเล็บ ช่วยในการลดระดับโคเลสเตอรอล โดยการกระตุ้นให้ตับเพิ่มการสร้าง "เลซิติน" เพื่อลดไขมันที่สะสมในตับ และช่วยปกป้อง "ไต" ช่วยกำจัดโลหะหนัก ควบคุมและกำจัด "สารพิษแอมโมเนีย" ที่เกิดขึ้นในร่างกาย ทำให้ปัสสาวะไร้แอมโมเนีย ซึ่งจะช่วยลดอาการระคายเคืองกระเพาะปัสสาวะ ช่วยกระตุ้นรากผม ทำให้เส้นผมใหม่เจริญเติบโต

4. ฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) สมองจะใช้ phenylalanine เพื่อสร้าง Nor epinephrine ซึ่งเป็นสารเคมีที่เป็นสื่อสัญญาณระหว่างสมองกับเซลล์ประสาท ทำให้ร่างกายของเรา "ตื่นตัว" อยู่ตลอดเวลา ช่วยลดอาการเจ็บปวดที่เกิดจากความหิว ต่อต้านภาวะซึมเศร้าและช่วยให้ความจำดีขึ้น

5. ธรีโอนีน (threonine) มีส่วนสำคัญในการสร้างคอลลาเจน อีลาสตินและโปรตีนอีนาเมล ซึ่งจะช่วยป้องกันการสะสมของไขมันในตับ ช่วยในการย่อยอาหารและทำให้ทางเดินอาหารทำหน้าที่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างราบรื่น ช่วยให้กระบวนการเมตาโบลิซึม (ย่อยสลาย ดูดซึมและเสริมสร้างร่างกาย) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. ฮีสติดีน (histidine) ฮิสติดีนจำนวนมากจะประกอบอยู่ใน "ฮีโมโกลบิน" (โปรตีนในเม็ดเลือดแดง) ใช้ในการรักษาโรคปวดข้อรูมาตอยด์ โรคภูมิแพ้ แผลในทางเดินอาหารและโรคโลหิตจาง หากร่างกายขาด "ฮีสติดีน" จะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับระบบการได้ยิน

7. วาลีน (valine) ส่งเสริมให้จิตใจสดชื่นมีชีวิตชีวา ช่วยทำให้กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ประสานงานกันได้เป็นอย่างดีและมีอารมณ์ที่เยือกเย็น

8. และ 9. ลูซีนและไอโซลูซีน (leucine and isoleucine) ช่วยตระเตรียม "สารตั้งต้น" เพื่อใช้ในการสร้างเสริมส่วนประกอบทางชีวเคมีที่จำเป็นต่างๆ แก่ร่างกาย เพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน ซึ่งจะช่วยให้เรามีความตื่นตัวมากและกระปรี้กระเปร่าตลอดเวลา (เสาวนีย์, 2542)

ลักษณะทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับกรดอะมิโนในข้าว

ความแปรปรวนของลักษณะทางฟีโนไทป์ของคุณค่าทางโภชนาการในข้าวจะมีอิทธิพลมาจากสภาพแวดล้อม ซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางพันธุกรรมและปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสิ่งแวดล้อม (GxE interaction) โดยจะเกิดขึ้นในช่วงระยะการเจริญเติบโต (Chen and Zue 1999; Shi *et al.*, 2000) ซึ่งลักษณะคุณค่าทางโภชนาการในข้าวจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของชนิดไซโตพลาสซึม (cytoplasm) (Yi and Cheg, 1991) ปริมาณโปรตีนและองค์ประกอบของกรดอะมิโนในข้าวอินดิกาจะมีปริมาณความแปรปรวนที่เกิดจากพันธุกรรมสูง (heritability) และมีความแตกต่างของลักษณะที่แสดงออกเนื่องจากพันธุกรรม (Chai *et al.*,1995) โดยลักษณะของกรดอะมิโนจำเป็นจะถูกควบคุมด้วยยีนแบบ triploid ในเอนโดสเปิร์ม และการถ่ายทอดลักษณะผ่าน cytoplasmic ของต้นแม่ (Shi *et al.*, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับ Wu *et al.*, (2004) ที่ศึกษาผลของปัจจัยทางพันธุกรรมและปฏิกิริยาร่วมของ GxE ในการสะสมกรดะมิโนจำเป็นของข้าวอินดิกา พบว่ากรดอะมิโนจำเป็นชนิด valine, methionine, leucine และ phenylalanine ถูกควบคุมด้วยลักษณะที่แสดงออกทางพันธุกรรมที่เป็นลักษณะเด่น ซึ่งถ่ายทอดจากส่วนของ cytoplasmic ของต้นแม่ ส่วนกรดอะมิโนจำเป็นชนิด threonine, cysteine และ isoleucine เป็นผลมาจากปฏิกิริยาร่วมของ GxE และพบว่ามีอัตราทางพันธุกรรมแบบแคบสูงอยู่ในช่วง 0.72-0.83 ซึ่งในกรดอะมิโนจำเป็นเหล่านี้ (ยกเว้น cysteine) จะมีความแปรปรวนที่เกิดจากพันธุกรรมมากกว่าความแปรปรวนที่เกิดจากปฏิกิริยาร่วมของ GxE

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ในข้าวได้มีการทดลองหาสารอาหารที่สำคัญ ซึ่งรวมถึงกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) ด้วย โดยทำในข้าวพันธุ์ China และ North American wild rice ซึ่งเป็นพันธุ์ป่า พบกรดอะมิโนทั้งหมด 18 ชนิด เป็น essential amino acids ถึง 8 ชนิดด้วยกัน (Zhai *et al.*, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lasztity (1996) พบว่าในข้าวมีโปรตีนประมาณ 12-15% และมีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (lysine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวประกอบด้วยโปรตีนที่มีคุณสมบัติเป็น hypoallergenic ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตสูตรอาหารสำหรับเด็กอ่อน โดยเหมาะสมสำหรับเด็กที่มีแนวโน้มที่เกิดการแพ้เนื่องมาจากอาหาร (Wang *et al.*, 1999)

Briggs *et al.*, (1979) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในอาหารต่างๆ พบว่าในข้าวเจ้าสีน้ำตาล (ข้าวกล้อง) จะมีปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นชนิด phenylalanine, tyrosine, lysine, threonine และ histidine สูงกว่าข้าวเจ้าที่ขัดขาวแล้ว (ข้าวซ้อมมือ) แต่ในข้าวเจ้าที่ขัดขาวแล้วพบว่ามีปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็นชนิด methionine, cystine, tryptophan, isoleucine และ valine สูงกว่า และมีกรดอะมิโนจำเป็นชนิด leucine เท่ากันในทั้งสองชนิด

Bradbury *et al.*, (1980) ได้ศึกษาปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว พบว่าในส่วนของ endosperm และ embryo มีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ 8 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย lysine, histidine, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine และ threonine โดยในส่วนของ endosperm มีกรดอะมิโนจำเป็นชนิด valine, methionine, isoleucine, leucine และ phenylalanine ในปริมาณที่สูงกว่าในส่วนของ embryo และไม่พบกรดอะมิโนจำเป็นชนิด tryptophan ในทั้งสองส่วน เสาวนีย์ (2542) พบว่าในข้าวเจ้าจะมีกรดอะมิโนจำเป็นพวก leucine, valine, isoleucine และ phenylalanine อยู่ปริมาณมาก แต่มีกรดอะมิโนจำเป็นพวก lysine, methionine, threonine และ tryptophan ปริมาณน้อย เช่นเดียวกับกล้าณรงค์และคณะ (2544) พบว่าปลายข้าวหอมมะลิจะมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยกรดอะมิโนจำเป็นชนิด leucine มีปริมาณมากที่สุด (386.75 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมปลายข้าว) รองลงมาคือ กรดอะมิโนจำเป็นชนิด phenylalanine, valine, threonine, lysine, isoleucine, tryptophan และ methionine มีปริมาณเท่ากับ 230.57, 219.80, 166.38, 153.15, 137.31, 62.58 และ 44.30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปลายข้าว ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved